

Die Bedeutung der Nutzung der Erdwärme ist im Zeitalter der Vergeudung der leicht zugänglichen fossilen Energieträger bisher unterschätzt worden, auch in unserem Land. Trotz jahrelanger erfolgreicher Nutzung der Geothermie im Nachbarland Ungarn ist in Österreich gerade erst jetzt im Jahr 1984/85 die erste Tiefbohrung mit dem Ziel der Nutzung geothermaler Energie im Fürstenfelder Becken in der Oststeiermark niedergebracht worden. Sie ist allerdings durch zu geringen Wasserzutritt erfolglos geblieben. Die bisher in Österreich genutzten Heißwässer der Tiefe aus Bohrungen (Oberlaa, Waltersdorf/Stmk., Geinberg/OÖ.) waren ja nur zufälliges Nebenprodukt von Tiefbohrungen mit anderen Zielsetzungen.

Literatur

M. BOCCALETTI et al., 1976; T. BOLDIZSÁR, 1968; BUNDESMIN. WISS. FORSCH., 1976; V. ČERMÁK, 1979; S. P. CLARK, 1961; R. GIESE, 1970; R. HAENEL, 1974, 1976; R. HAENEL & G. ZOTH, 1973; W. JANOSCHEK, 1976; H. JANSCHKE, 1975; A. KAUFMANN, 1977; B. KUNZ, 1978; K. LACHMAYER, 1980; H. LEDITZKY & H. ZOJER, 1984; E. OXBURGH & PH. ENGLAND, 1980; F. RONNER, 1974, 1980; W. J. SCHMIDT, 1979; L. STEGENA et al., 1975, Abb. 8; A. TOLLMANN, 1980 b; M. VENDEL, 1963; F. WEBER et al., 1981; M. WEIGL, 1978; G. WESSELY, 1983; H. ZOJER, 1977, 1984.

R TECHNISCHE GEOLOGIE

1. Überblick

Die erste zielbewußte Anwendung der geologischen Grundlagenforschung für die Praxis erfolgte in vielfältiger Form im Buch von E. SUESS „Der Boden der Stadt Wien“ (1862), in dem in minutiöser Weise der Zusammenhang zwischen geologischer Struktur, Lage der Friedhöfe der Stadt und Seuchenverbreitung im Grundwasserstrom unterhalb dieser Friedhöfe nachgewiesen worden ist. SUESS hat im Anschluß daran angewandte Geologie in weitestem Sinne betrieben, indem er auch noch die technischen Voraussetzungen zur Abhilfe von der Seuchengefahr – das Projekt einer Hochquellenleitung – selber schuf und auch selbst im Gemeinderat die Durchsetzung dieses Vorhabens gegen Unvernunft und Widerstand durchkämpfte.

Auch wenn wir uns hier im immens breiten Feld der angewandten Geologie auf den Bereich der technischen Geologie bzw. Ingenieurgeologie in Österreich beschränken wollen, hat auch diese Teildisziplin heute eine enorme Breite und praktische Bedeutung erlangt. Der technischen Geologie obliegt zunächst die technische Ma-



Abb. 116: Carl Ritter v. GHEGA, Pionier des Bergbahnbaues (10. 1. 1802–14. 3. 1860).

terialkunde, die von der Gewinnung des technisch verwendbaren Gesteins im Steinbruch (Steinbruchgeologie) über die vielfältige Prüfung der technischen Verwendbarkeit des Materials im Labor bis zur handwerklichen und künstlerischen Gestaltung des „Geistes im Stein“ (A. KIESLINGER) von der einen Seite bis zur Verwitterung auf der anderen Seite reicht. Ein nächster Zweig besonderer Bedeutung ist die gerade in Österreich speziell entwickelte Fels- bzw Gebirgsmechanik, die den geologisch-tektonischen Gefügeplan und den möglichen Spannungszustand des Gebirges in bezug auf seine auch rechnerisch erfassbaren technischen Auswirkungen hin prüft. Die in der Baugeologie wichtigen Fragen der Hangbewegungen, der Standfestigkeit, des Talzschubes und der Bergstürze sind eng damit verbunden. Das Zusammenwirken von exogenen Ereignissen mit den geologischen Gegebenheiten und möglicher Abhilfe analysiert die Arbeitsrichtung, die sich mit Lawinen, Wildbachverheerungen, Unwetterkatastrophen und Muren befaßt.

In der Baugeologie sind gerade nach dem Zweiten Weltkrieg in Österreich sehr wichtige Erfahrungen in allen Teilsektoren erzielt worden, im Straßenbau, in der Brückenpfeilerfundierung, im Hochbau, bei der Anlage von Pipeline-Trassen (H. ZAUNER, 1980), ganz besonders aber im Talsperrenbau sowie im Tunnel-, Stollen- und Kavernenbau, wobei gerade im Tunnelbau einerseits in Österreich Pionierarbeit geleistet worden ist, andererseits eine intelligente, kostensparende, moderne Methode entwickelt werden konnte.

Einen Überblick über den Aufgabenbereich der Ingenieurgeologie im allgemeinen gibt neben dem klassischen Werk von L. BENDEL (1944, 1948) der jüngst erschienene Bd. III von F. BENDER (1984).

2. Historische Entwicklung

Mehr als in außeralpinen Ländern stellen im Alpenland Österreich Relief und geologische Komplikation des Untergrundes Anforderungen an ingenieurgeologische Prognosen und an die Durchführung von Großbauten. Es ist daher kein Zufall, daß in diesem Land, durch eine derartige Problematik angeregt, eine alte Tradition und zugleich ein hohes Ausmaß an schöpferischen Ideen zur Bewältigung schwieriger technisch-geologischer Fragen gegeben ist.

a) Den grandiosen Auftakt im steten Ringen um die Beherrschung des Gebirges bei technischen Großbauten gab in Österreich die großartige Leistung eines C. v. GHEGA (1802 bis 1860), der nach detaillierten Erhebungen im Gelände gegen den heftigsten Widerstand aller Sachverständigen und des Ingenieur- und Architektenvereins den Bau der ersten Gebirgsbahn der Welt in tollkühnen Galerien, Tunneln und Viadukten quer durch Felswände und Schluchten im Semmeringgebiet durchzog – Abb. 116. Die im Jahre 1853 fertiggestellte Strecke mit dem damals einmaligen 1430 m langen, in vierjähriger Arbeit (1848 bis 1852) erstellten Scheiteltunnel in äußerst schwierigem, mobilem Gebirge war zuvor als absolut unüberwindlich für eine Adhäsionsbahn erachtet worden. Dabei ist diese Strecke in der „sanften“ Art, unter Verwendung der in unmittelbarer Nachbarschaft zur Verfügung stehenden Bausteine, mit Kreuzmeißel statt mit Bohrmaschinen in den Tunneln etc., bewältigt worden. Ein vergleichbarer, mit einfachsten Mitteln ohne jegliche technische Kunstbauten (abgesehen vom kurzen Scheiteltunnel) in die Landschaft eingefügter Bau war später das Werk der Glockner-Hochalpenstraße nach den Plänen von Ing. F. WALLACK.

Die nächsten großen Eisenbahntunnelbauten in Österreich erfolgten 1884 mit dem 10,2 km langen Arlbergtunnel (nachdem man damals bereits in den Westalpen gewisse Erfahrungen hierüber gesammelt hatte: 1871: Mont Cenis, 1882 Gottard), dann 1906 mit dem 8,1 km langen Karawankentunnel, 1909 mit dem 8,5 km langen Tauerntunnel etc. In dieser Zeit standen allerdings ingenieurgeologische und felsmechanische Überlegungen noch vollkommen zurück hinter einfacher Prognose der zu erwartenden geologischen Struktur der Tunneltrasse.

b) Die nächste Phase der Entfaltung der technischen Geologie in Österreich wurde durch die Anforderungen des um 1920 einsetzenden Wasserkraftwerkbaues eingeleitet, mit der Errichtung großer, auf Fels gegründeter Staudämme, unter besonderer Berücksichtigung der Hangstabilität und des zu erwartenden Verhaltens des Felses während und nach dem Eingriff. Durch diese Vorhaben wurde die enge Zusammenarbeit von Bauingenieur einerseits und Geologe andererseits stimuliert. Das Ausmaß dieses gewaltigen Lernprozesses kann man etwa an der von H. GRENGG (1961) publizierten Zusammenstellung über die bis dahin errichteten 43 österreichischen Großstaudämme ermessen (E. CLAR, 1964, S. 928; E. CLAR & W. DEMMER, 1982, S. 22).

Für eine derartige Zusammenarbeit waren in Österreich günstige Voraussetzungen gegeben: Einerseits hatten seit jeher Geologen mit großem Einfühlungsvermögen ihr Augenmerk auf technisch-geologische Bauvorhaben gerichtet, wofür etwa in früherer Zeit die Arbeiten von F. v. HOCHSTÄTTER (1873 Begriffsprägung „Ingenieurgeologie“) oder besonders von O. AMPFERER zeugen, der von der physikalischen Seite her zur Geologie gekommen war (J. STINY, 1953, S. 30). Ferner war mit B. SANDERS Gefügellehre das Werkzeug für die Arbeitsrichtung der Felsmechanik geschaffen worden. Andererseits kamen von der rein technischen Seite her bedeutende Forscher wie A. ROSIWAL oder K. TERZAGHI, der Schöpfer der Bodenmechanik, an die gemeinsame Fragestellung heran.

Der lang anhaltende Höhepunkt dieser Phase stand ganz unter dem Eindruck der souveränen Beherrschung der baueologischen Fragen der Praxis durch J. STINY (1880 bis 1958), die durch sein unerreichtes Einfühlungsvermögen Entscheidendes für den Talsperrenbau und für alle technisch-geologischen Fragen dieser Ära beigetragen hat. In 340 Publikationen und über 700 Gutachten hat er Wesentliches zum Zusammenspiel von „Geologie und Bauwesen“ (wie der Titel der von ihm über 23 Bände hindurch herausgegebenen Zeitschrift lautet) geleistet (vgl. Nachrufe von NN., 1950; A. KIESLINGER, 1958; L. MÜLLER, 1958; E. CLAR, 1977, 1981). L. MÜLLER(-SALZBURG) (1980, S. 47) schildert das „intuitive“ Erfassen der Probleme der Talsperren durch J. STINY als echte Erkenntnis derart: „Es war faszinierend, dabei zu beobachten, wie



Abb. 117: Gedenktafel für Prof. J. STINY an der Technischen Universität in Wien.

unmittelbar er, vom Großen ins Kleine gehend, zu einem ganz sicheren Ergebnis gelangte; viele dieser Talsperren sind ja inzwischen gebaut worden; dabei hat sich seine Beurteilung (sogar felsmechanisch) stets als zutreffend erwiesen, und es hat nie einen Mißerfolg oder auch nur wesentliche Überraschungen gegeben.“ – Abb. 117.

c) Die zweite Phase der Entfaltung der Technischen Geologie in Österreich ging weiterhin von der Geländebeobachtung und nicht vom Experiment oder von der Theorie aus: Es ist die durch L. MÜLLER(-SALZBURG) geprägte „Österreichische Schule der Felsmechanik“, die letzten Endes in den gefügekundlichen Erkenntnissen von B. SANDER (vgl. 1948, 1950) wurzelt, welcher selbst die Bedeutung dieser Arbeitsrichtung in der Baugeologie klar herausgestellt hatte (B. SANDER, 1956). L. MÜLLER kämpft seit der Gründung des „Salzburger Kreises“ und seinem ersten Kolloquium im Jahre 1951 für diese enge Verbindung von Praxis und Theorie (L. MÜLLER-SBG., 1982) und steht auch nicht an zu tadeln, daß gerade in neuerer Zeit unter der Begeisterung für Modell und Theorie bei manchen Technikern die ganzheitliche Betrachtung wiederum zurückgedrängt wird, ja sogar das erarbeitete „gute Werkzeug“ vielfach nicht mehr zum richtigen Einsatz kommt (L. MÜLLER-SBG., 1980 a, b; 1984, S. 6).

Gerade auch die Beobachtung des Gebirgsverhaltens in der Praxis am Beispiel der Stollenbaustellen von Prutz-Imst und Schwarzach hat ja zur Entwicklung der so ökonomischen fortschrittlichen „Neuen Österreichischen Tunnelbauweise“ geführt (vgl. E. CLAR & W. DEMMER, 1982, S. 23).

Es ist hier nicht möglich, auf die historische Entwicklung der technischen Geologie in Österreich in der ganzen Breite einzugehen. Symbolhaft soll hier zum Schluß nur eine der spezifischen Forschungsweisen dieser Richtung angeführt werden, um auf diese Vielfalt der Angewandten Geologie hinzuweisen: jene Richtung, die von der technischen Materialkunde, vom Steinbruch und Baustein über dessen Verwertbarkeit bis zur Kulturgeschichte im Stein, zum „Geist im Stein“ (1962) vorgestoßen ist, verkörpert im Geiste und in den grandiosen einschlägigen Werken A. KIESLINGERS (G. HORNINGER, 1975; W. EPPENSTEINER, 1978) – vgl. hierzu A. KIESLINGER 1935, 1938, 1949, 1951, 1953 a, b, 1954, 1956, 1962 a, 1964 a, b, 1969, 1972.

3. Geologisch-technische Materialkunde

Gerade diesem Sektor der angewandten Geologie ist in der Zeit nach dem Zweiten Weltkrieg mit dem rapiden Aufschwung im Baugewerbe besondere Beachtung geschenkt worden. Es beginnt mit der Fragestellung nach der Anlage von Steinbrüchen und Baustoffgruben (J. STINY, 1930), der regionalen Erfassung der Steinbrüche (Steinbruchkartei der Geologischen Bundesanstalt) und der auch kartennmäßigen Festlegung des Großraumpotentials (wie dies pioniermäßig derzeit vom Institut für Umweltgeologie in Graz unter der Leitung von Prof. W. GRÄF gerade für die Steiermark so mustergültig durchgeführt wird).

Die Untersuchungen setzen fort mit Arbeiten, die sich der speziellen Eignung des Gesteins im weitesten Sinne für Bauzwecke, aber auch technisch-industrielle Prozesse widmen: War hierbei zunächst das Augenmerk in erster Linie auf die technische

Verwertbarkeit der Festgesteine gerichtet (A. KIESLINGER, 1951 bis 1972; R. v. KLEBELSBERG, 1947; A. SCHMÖLZER 1938; O. FRIEDRICH, 1965; F. DE QUERVAIN, 1967; bis etwa zum Projekt STA32F des Instituts für Umweltgeologie in Graz, W. GRAF et al., 1984, über die Dekorsteine der Steiermark), so hat sich in jüngster Zeit das Interesse gleichermaßen den Lockergesteinen, den Industriemineralien, Tonen und Erden in Österreich zugewendet, wie eine Auswahl typischer, eben erschienener einschlägiger Untersuchungen mit modernsten chemischen, mineralogischen und sedimentologischen Methoden sowie zahlreiche weitere Artikel, besonders im Archiv für Lagerstättenforschung, bezeugen: E. FLÜGEL & J. HADITSCH (1975): Kalk; H. LOBITZER & R. SURENIAN (1984): Dolomit; W. GRAF (1982), W. GRAF, R. AIGNER et al. (1985), G. ZEZULA et al. (1983): Schotter; F. EBNER & W. GRAF (1982), K. CZURDA et al. (1983, 1984): Tone; M. GÖTZINGER (1984): Gesamtübersicht.

Eine besondere Bedeutung hat neuerdings die technische Gesteinskunde auf dem Sektor des Straßenbaues durch eine beeindruckende Verfeinerung der Untersuchungsmethodik und das wachsende Ausmaß dieser Untersuchungen an der „Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal“ in Wien erlangt. Gegenüber den einfachen Betrachtungen aus der Vorkriegszeit (vgl. R. GRENGG, 1930) geben Übersichten wie jene von E. SCHRÖLL (1970) und P. WIEDEN (1976) oder Spezialarbeiten wie jene von P. WIEDEN & J. PONAHLA (1970) und P. WIEDEN & F. KAPPEL (1973) Einblick in die ungemein vielfältige Art der heutigen Forschungsweise.

Schließlich aber ist nicht nur der Frage nach der Gewinnung und Nutzung von Bausteinen, sondern auch nach dem anderen Ende des Zyklus, der Zerstörungen an Steinbauten und Bausteinen durch Verwitterung, wiederholt Augenmerk gewidmet worden. Nach A. SCHMÖLZER (1936) war es vor allem wiederum A. KIESLINGER, der sich in zahlreichen Einzelarbeiten (1957, 1959 etc.) und in einer Buchpublikation (1932) dieses Themas annahm. Gerade heute kommt dieser Betrachtung durch die intensive Zerstörung von Steinbauten durch den beständig aggressiver werdenden Säureregen besondere Bedeutung zu, emittiert doch Österreich selbst an die halbe Million Tonnen Schwefeldioxyd, ferner Massen von Stickoxyden und Kohlenoxyden pro Jahr als gravierenden Beitrag zur Bildung der Säureregen!

Zur breiten Palette der durch diese Verantwortungslosigkeit bewirkten Schäden gehört auch die unwiederbringliche Zerstörung der steinernen kulturellen Zeugen vom Wert der romanischen Plastiken der Kirche von Schöngraben in NÖ., die unter dem Schwefelsäureregen vergipst und zerfallen, der bunten Glasfenster der gotischen Kirchen, der Gemälde in den Museen etc. Auch vor Betonkonstruktionen machen derartige aggressive Niederschläge nicht halt, wie die Techn. Mitt. des Österr. Ing. und Architekten-Vereins, 1981, H. 3, ausführen: „Im Bereich der DIN 4030 (Schutz des Betons vor angreifenden Wässern) ist ein p_H -Wert von 4,3 als stark angreifend einzustufen. Die durch diesen Säureniederschlag auftretenden Korrosionsschäden machen in Ballungszentren eine gründliche Überwachung der bestehenden Konstruktionen erforderlich.“

4. Felsmechanik, Gesteinsspannungen und Hangbewegungen

Die Unterscheidung der „Gebirgsfestigkeit“ gegenüber der „Gesteinsfestigkeit“ geht auf den Schweizer Geologen A. HEIM zurück, der auf den für die Baugewologie wesentlichen Umstand hinwies, daß die mechanische Eigenschaft großer Gesteinskomplexe auf Grund ihrer Bankung und Klüftung entscheidend von der Eigenschaft des gleichen Materials abweicht, die an homogenen Gesteinsstücken im Labor ermittelt wird. J. STINY, K. MÜLLER und E. CLAR (1963, 1965) haben in Österreich erfolgreich der Erforschung des diskontinuierlichen Gefüges des Gebirges im Rahmen der Felsmechanik den Weg gebahnt, indem sie die Ergebnisse der Gefügekunde B. SANDERS (1948/50) und F. KARLS (1954) der Praxis der Beschreibung und praktischen Berücksichtigung des Fugen-Gefüges vom „Fels“ bzw. „Gebirge“ (ober- oder untertage) dienstbar gemacht haben. Die detaillierte Aufnahme des Gefüges ist heute in der technischen Felskartierung unabdingbar geworden, für die Vorhersage ebenso wie während des Bauvorganges. E. CLAR (1965, S. 48) hat hier die oft mehrphasigen früheren, unter tektonischen Bedingungen einer fernen Vergangenheit aufgeprägten Verformungen des Gebirges abgetrennt von jenen, die die Felskörper unter Einwirkung der Schwerkraft unter den heutigen Geländeformen zusätzlich aufgeprägt erhalten und die meist für die ingenieurgeologische Betrachtungsweise am wesentlichsten sind: Hangtektonik, die zum „Talzuschub“ STINYS führt oder Hangbewegungen, die bis zum Bergsturz fortschreiten, sind Obertageäußerungen dieser jüngsten Zerlegung, Verformung und Verdrückung von Tunnel- und Stollenprofilen oder aber auch Gebirgsschläge, die auf Restspannungen im Gestein untertage zurückgehen (E. TSCHERNIGG, 1932, 1958 a etc.; A. KIESLINGER, 1960; F. KOHLBECK et al., 1981).

Aktuelle großräumige tektonische Bewegungen in den Ostalpen (T. GATTINGER, 1978, 1981), mehr aber noch die unter den postglazialen Geländeformen besonders unter Mitwirkung des Grundwassers und des Porenwassers wirksamen Massenbewegungen vom Gekriech über Erdbeben bis zum Fels- und Bergsturz (O. LANSER, 1967; G. ABELE, 1974) – Abb. 118 – stellen im alpinen Gelände besondere Anforderungen an den technischen Geologen. Die Gehägebewegungen werden bekanntlich seit J. STINY (1941) als „Talzuschub“ bezeichnet. Durch eine genaue Analyse der Erfolge und Mißerfolge (besonders auch der Großkatastrophe beim künstlich induzierten Bergsturz im Vajonttal in den Südalpen – E. H. WEISS, 1964; L. MÜLLER-SBG., 1968) sind heute gerade an alpinen Beispielen viele Zusammenhänge zwischen Geländeform, Gesteins-, Gefüge- und besonders Wasserverhältnissen (H. ZOJER & J. ZÖTL, 1975), aber auch der Tonmineral-Verteilung (G. RIEDMÜLLER, 1972; G. RIEDMÜLLER et al., 1977) bekannt geworden, ist der bedeutende Tiefgang der Deformationen erfaßt worden (L. MÜLLER-SBG., 1963), der Bewegungsablauf durch langfristige Messungen kontrolliert worden, sodaß man sowohl adäquate Maßnahmen zur Sanierung von Rutschungen (CH. VEDER, 1979) als auch zum Vortrieb und Ausbau von Tunneln in solch schwierigem Gebirge unter oft enormem technischem Aufwand entwickelt hat (G. SPAUN, 1979, S. 340 ff.). Ein vorsorgliches Umgehen solcher als in Bewegung befindlich erkannter Hangpartien ist allerdings nach wie vor die bessere Lösung des Problems, aber nicht immer möglich.



Abb. 118: Der hell beleuchtete Teil der Südbabstürze des Tschirgant in Tirol stellt die Ausbruchsnische des im Gschnitz-Stadiums (10.600–7.580 v. Chr.) auf den Ötztalglatscher niedergegangenen Bergsturzes dar. Die 180 Mio. m³ Material aus dieser Nische, vermischt mit Moränenmaterial, sind auf einer sieben Kilometer langen Fahrbahn quer über das Inntal hinweg ins Ötztal aufwärts gebrandet. Während solche großen, katastrophenartig niedergehenden Bergstürze seltene Naturereignisse darstellen, sind die langsamen Massenbewegungen in den Alpen durch glaziale Übersteilung und durch Mitwirkung des Klufwassers weithin verbreitet und für die technische Geologie von besonderer Bedeutung.

Als modern untersuchte Beispiele für alpine Großhangrutschungen aus neuerer Zeit seien die Arbeiten von E. CLAR & P. WEISS, 1965 (Millstätter Alpe), A. ALKER et al., 1969 (steirische Beispiele), J. HADITSCH, 1970 bis 1971 (Stubenberg, Stmk.), H. LITSCHER, 1979 (Gr. Fleißtal bei Heiligenblut) und E. HAUSWIRTH et al., 1982 (Wörschachwald im Ennstal) genannt. Zu einer Klassifikation der Massenverlagerungen in den Alpen haben W. LAATSCH & W. GROTTENTALER (1972) beigetragen. H. PETZNY (1967) und U. ZISCHINSKY (1967, 1969) haben sich um den allgemein gültigen Deformationsplan für instabile Felsböschungen bemüht.

Eine moderne Behandlung der vielfältigen Facetten des Themas der Felsmechanik erfolgte einerseits in der Leopold-MÜLLER-SBG.-Festschrift (E. BECKER et al., 1974), andererseits in der Festschrift für CH. VEDER (M. FUCHSBERGER, 1983) an Hand einer Vielfalt spezieller Probleme.

Die Bedeutung einer richtigen Bodenklassifikation bzw. Beurteilung der Bodenstandfestigkeit ist ja erst jüngst durch die am 18./19. Dezember 1985 in 150 m Länge bis 15 m tief abgesackte, soeben neu eröffnete Südautobahntrasse bei Pinkafeld im

Burgenland und den damit verbundenen finanziellen Schaden so recht ins Bewußtsein der Öffentlichkeit geraten. Dem viel zu hoch geschütteten Damm hat der hier bekannt labile tertiäre Untergrund nicht standgehalten. R. SCHWINGENSCHLÖGL & E. WEISS haben ja (1984, S. 223) gerade an Hand dieses Projektes der Südautobahn die Problematik der Bodenklassifikation im Tertiär (Beispiel Sinnersdorfer Schichten) als Baugeologen erörtert.

Eine regionale Erfassung sämtlicher Hangrutschungen, Bergzerreibungen, Bergstürze und aller übrigen Risikofaktoren von Österreich erfolgt auf der von der Geologischen Bundesanstalt unter der Ägide von G. SCHAFFER erstellten „Karte der geologisch-geotechnischen Risikofaktoren der Republik Österreich 1:50.000“. Seit der Planung im Jahre 1980 liegen sieben Blätter in Reinzeichnung vor, darunter das Blatt Gmunden, an Hand dessen das Prinzip dieses Kartentypus durch A. DAURER & G. SCHAFFER (1983) erläutert worden ist – vgl. S. 349.

5. Lawinen-, Muren- und Wildbachverbau

Die Bemühungen um Sicherheit vor Lawinen und Wildbachschäden haben in Österreich zufolge des hohen Anteils an der hochalpinen Region hohe Tradition. Dieser Wissenszweig erwuchs aus der Praxis. Wildbachverbauungen reichen in den österreichischen Alpenländern über Jahrhunderte zurück, wie die Maßnahmen im Raum Brixen in Südtirol in der Zeit des Fürstbischof A. KROSIN zeigen: O. LANSER (1962, S. 9 ff.) hat ausführlich über die frühen österreichischen Leistungen in der Wildbachverbauung berichtet. Pioniere der Wildbachverbauung waren die Tiroler F. v. ZALLINGER mit seinem Werk „Von den Ueberschwemmungen in Tyrol“ aus dem Jahre 1779 und insbesondere J. DUILE mit seinem Buch „Ueber die Verbauung der Wildbäche in Gebirgs-Ländern“ aus 1826. Ein langer Weg führt von diesen Vätern der Wildbachverbauung bis zu den heutigen wegweisenden Untersuchungen des Institutes für Wildbach- und Lawinenverbauung an der Universität für Bodenkultur in Wien unter Prof. H. AULITZKY

Der kontinuierliche systematische Aufbau und Ausbau dieses Wissenszweiges begann zu Beginn der achtziger Jahre des vorigen Jahrhunderts mit der Einrichtung eines Forsttechnischen Dienstes in den österreichischen Südalpen. Durch Freiherrn A. v. SECKENDORFF (1845 bis 1886), den Leiter des Forstlichen Versuchswesens in Mariabrunn, seit 1875 an der Hochschule für Bodenkultur Wien tätig, wurden die Voraussetzungen für die akademische Ausbildung in dieser Disziplin in Österreich geschaffen. Über die große Tradition des genannten Institutes an der Universität für Bodenkultur – dem ältesten Institut für Wildbach- und Lawinenverbauung der Welt – berichtete anlässlich des hundertjährigen Jubiläums der staatlichen Wildbachverbauung in Österreich eingehend H. AULITZKY (1984 a), dabei auch der Ausstrahlung österreichischer Wildbachverbauer im Ausland gedenkend.

Die Wildbach-, Lawinen- und Murentätigkeit wird heute einerseits von der Praxis her erfaßt und klassifiziert (Beispiel: Zweigeteilte Wildbachklassifikation durch H. AULITZKY, 1984 b), andererseits wird auf theoretischem Weg der Mechanismus

Die XXXVI. Figur.
Wie **Einfall** **Theurdanck** **in** **eine**
 andere Gefährlichkeit führet / under Schnee-
 Ballen.



Abb. 119: Die älteste überlieferte Darstellung einer Lawine aus dem „Theuerdanck“ Kaiser Maximilians aus Tirol (1517); teste W. KATZMANN et al. (1985, Abb. 43).

von Massenströmen der Lawinen und großen Bergstürze analysiert: Geschwindigkeit und Reibungskoeffizient von Lawinen mit langsam rutschender und rollender Bewegung, mit langsamer Fließbewegung und mit rascher, turbulenter Bewegung sind heute grundsätzlich ebenso berechenbar (W LAATSCH, 1977), wie sich Reichweite, Geschwindigkeit und Mechanismus auch der übrigen großen Massenströme vom Anbruch bis zur Ablagerung annäherungsweise nachvollziehen lassen (H. J. KÖRNER, 1976). Auch in den vergleichbaren westalpinen Arbeiten werden Praxis und theoretische Berechnung heute harmonisch verbunden (A. VOELLMY, 1955: Zerstörungskraft von Lawinen).

Der zweite Schritt, die technischen Maßnahmen zur Wiederherstellung der Hangstabilität bei wildbachbedingtem Talzus Schub und daran anknüpfend präventive Handlungen, bedient sich heute neben klassischen auch durchaus moderner Methoden (W FÜRLINGER, 1972; G. KRONFELLNER-KRAUS, 1974; H. AULITZKY, 1981 etc.): z. B. einer besonderen Verbauungstechnik mit umfassender Hebung der Bachsohle durch Geschiebeauflagen oder einer Entwässerung nicht nur auf mechanische (Dränage, Tiefbrunnen, wasserdichte Schürzen etc.) und biologische Art, sondern auch der bis in den ungestörten Boden gerammter Kurzschlußleiter, welche die den Wasserzustrom verursachende Elektrosmose durch den Abbau der elektrischen Potentialdifferenzen nach der Methode C. VEDER (1979) unterdrücken.

Eine Analyse des bisherigen Erfahrungsschatzes über das Ausmaß des Erfolges der verschiedenartigen Lawinenschutzmaßnahmen durch H. AULITZKY (1983) hat ergeben, daß die größten Sicherheitserwartungen bei permanenten Lawinenschutzverbauungen liegen, gefolgt von weiteren permanenten Bauten, während jene von temporären Maßnahmen (wie übrigens auch die Zuverlässigkeit der Lawinenvorhersagen) weit hinter den erstgenannten Maßnahmen zurückbleiben.

Den wichtigsten Schutz gegen Lawinen im alpinen Raum aber stellt der Wald dar. Eindringlich zeigt Tab. 3 bei W. KATZMANN et al. (1985, S. 64) den Zusammenhang zwischen dem Rückgang der Waldflächen und der Zunahme der Wildbach- und Lawinenflächen im Nordtiroler Raum seit dem Jahr 1774. Noch immer liegt die Zahl der Lawinenopfer in Österreich im Vergleich mit den übrigen Alpenländern am höchsten: bei 33 Prozent Anteil am Alpenbogen fallen 41,2 Prozent der Opfer auf Österreich (W KATZMANN et al., 1985, S. 67, Abb. 44).

Über die geologischen Grundlagen der Murentätigkeit und über Möglichkeiten der Vorbeugung vor Unwetterkatastrophen im alpinen Raum ist nach den klassischen Werken von J. STINY (1910, 1931 b) in neuerer Zeit von geologischer Seite mehrfach Stellung genommen worden (E. CLAR, 1959, 1971; N. ANDERLE, 1971; G. KRONFELLNER-KRAUS, 1974; TH. PIPPAN, 1977; W. KATZMANN et al., 1985 etc.). Neben der Bereitstellung des Lockermaterials sind natürlich erhebliche Unwetter die Voraussetzung für die oft verheerenden Vermurungen der Täler: Bei der Hochwasserkatastrophe im August 1958 im Mürtal in der Steiermark fiel dort innerhalb von zwölf Stunden ein Niederschlag von 500 mm, während der mittlere Jahresniederschlag in der Steiermark 1180 mm beträgt – Abb. 129 bis 130.

Einen regionalen Überblick über das Ausmaß der Lawinenverbauung in Österreich und speziell in Tirol hat jüngst H. AULITZKY (1975, 1984 a) gegeben.

6. Straßen-, Brücken- und Hochbau in Abhängigkeit von den geologischen Gegebenheiten

Wie bei den übrigen Eingriffen in den Untergrund sind bei den modernen großzügigen Straßenanlagen und deren Brücken mit oft bedeutender Spannweite und tiefen Pfeilerfundierungen ähnlich umfangreiche Überlegungen und Untersuchungen wie bei anderen technischen Großbauten im alpinen Raum vonnöten. Da wiederum die gleichen Fragen der Hang- und Untergrundstabilität wie beim Talsperrenbau auftreten, können wir uns hier kurz fassen.

Die Schwierigkeiten bei der Anlage groß dimensionierter Schnellstraßen und Autobahnen im alpinen Raum ergeben sich aus zwei Umständen: 1. Komplizierte geologische Verhältnisse zufolge der starken alpinen Tektonik und rascher Wechsel von Festgesteinen und eiszeitlichen Lockerablagerungen. 2. Geringe Ausweichmöglichkeiten zufolge der meist engen und besiedelten Talstrecken. Hierdurch bedingt müssen vielfach von vornherein Strecken eingeplant werden, die voraussehbare hohe geologische Risiken bringen.

Als Beispiele solch schwieriger Straßentrassen-Führungen aus neuerer Zeit seien etwa die von H. BRANDECKER & R. VOGELTANZ 1975 (Bundesstraße B 167 durch die Gasteiner Klamm), R. VOGELTANZ 1975 (Lammertal-Bundesstraße B 162), W. DEMMER 1976 a (Tauernautobahn Fritzbachtal) und R. VOGELTANZ 1983 (Pinzgauer Schnellstraße S 11 im Salzachtal zwischen Schwarzach und Taxenbach) beschriebenen Fälle erwähnt. Die Schwierigkeiten ergaben sich einerseits (Lammertal) aus unvorhergesehenen großen Hanganschnitten in Lockermassen, die durch eine flexible Krainerwand-Raumgitterkonstruktion beherrscht werden konnten und durch umfassenden Einsatz von Baustahlgitter, Alluvialnägeln und Spritzbeton während des Bauvorganges gesichert werden mußten. Es hat sich dort wiederum einmal mehr gezeigt, daß eine zu lockere geologische Vorerkundung nachträglich kostspieligere Sanierungsmaßnahmen erfordert und auch Kernbohrungen nicht einfach durch Rammsondierungen ersetzt werden können. Bei komplizierten Verzahnungen verschiedener quartärer Sedimente und Rutschmassen (Fritzbachtal) soll man naturgemäß bei Brücken größere Spannweiten wählen, um sich die Pfeiler in den tiefen Rutschmassen zu sparen und diese zu überbrücken. Daß naturgemäß mylonitische bruchtektonische Störungen, wie im Fall der Salzach-Längsstörung mit ihrem bis 200 m mächtigen Mylonit, die flach, schräg oder parallel angeschnitten werden, enorme Schwierigkeiten bringen, ergibt sich von selbst: Der in trockenem Zustand durchaus gründungsfähige Mylonit weicht natürlich durch Wasseraufnahme der Tone entsprechend auf und wird zur Gleitbahn.

In solchen mylonitisierten Großstörungen liegen naturgemäß auch bedeutende Gefahrenmomente bei der Fundierung von Brückenpfeilern. So hat etwa die Locierung des Südpfeilers der Melker Donaubrücke in NÖ. im Bereich der bereits aus dem Satellitenbild klar ersichtlichen Diendorfer Großstörung einen bedeutenden technischen Mehraufwand bei der Fundierung erfordert.

Ein Musterbeispiel für die sich in den endgültigen Kosten niederschlagenden erheblichen Schwierigkeiten der Fundierung auch nur im Nahbereich solcher großen Störungen lieferte bekanntlich die Europabrücke, die das Silltal im Zuge der Brenner-Autobahn 7 km südlich von Innsbruck quert (A. FUCHS, 1966; J. MALINA,

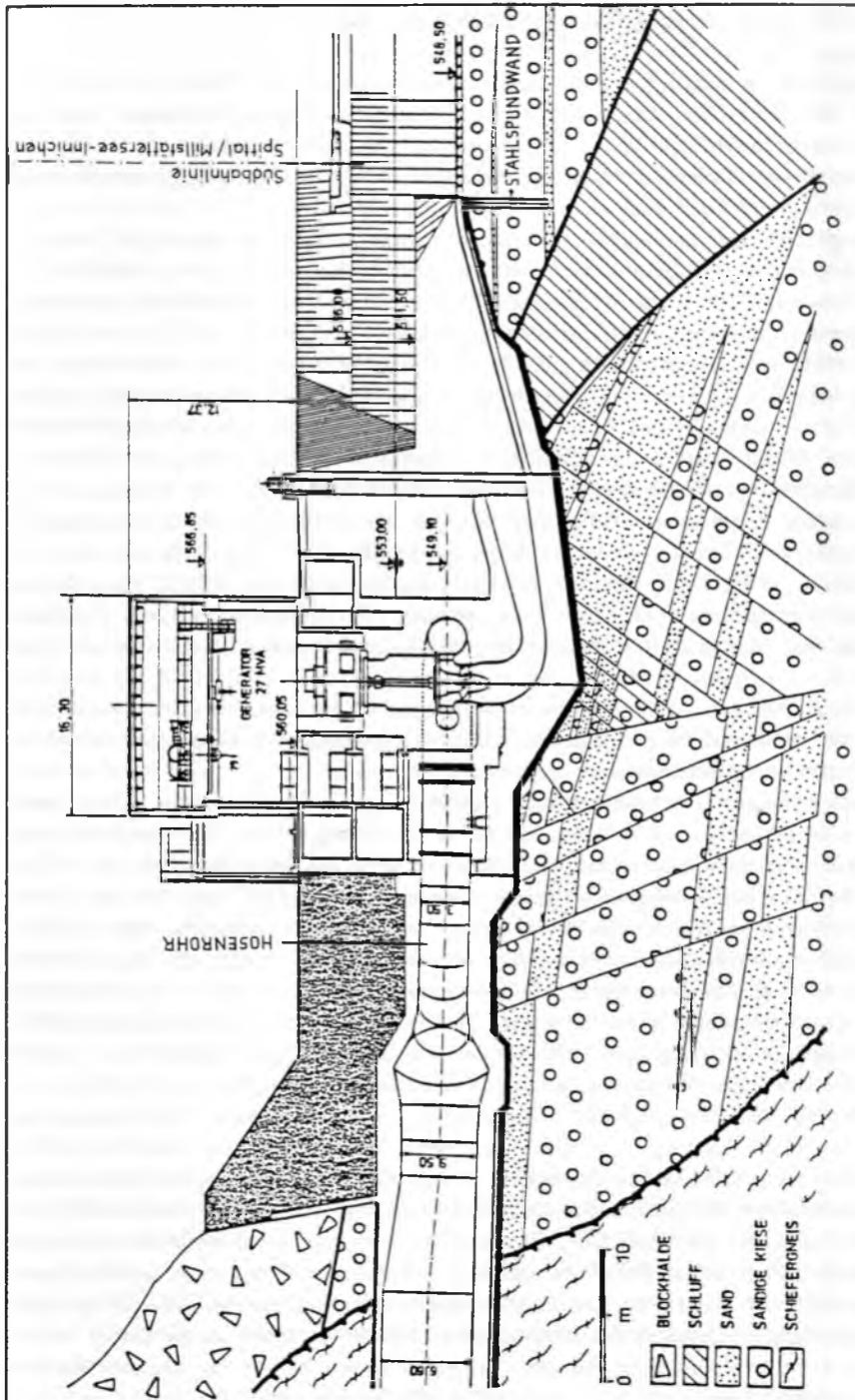


Abb. 120: Die Kraftstation Möllbrücke in Kärnten zeigt die technische Bewältigung einer schwierigen Untergrund-Situation. Am vorgegebenen Standort fanden sich von Brüchen durchsetzte alluviale Lockersedimente, verbunden mit Schluff, bedrängt vom Hangblockwerk, dahinter fester Schiefergneis; nach W. DENNER (1984, Abb. 6).

1969; G. HORNINGER & E. H. WEISS, 1980, S. 258). Die Gründung von vier der fünf vorgesehenen, bis zu 185 m hohen Pfeiler war deshalb so aufwendig, weil hier zur Silltal-Hauptstörung parallel mylonitisierte Nebenstörungen die Pfeilerareale durchzogen und dadurch schon beim Aushub der Baugruben Hangrutschungen und der Einsturz einer 22 m hohen Wand bei Pfeiler III verursacht worden waren. Am problemreichsten war Pfeiler I in einem hangparallel fallenden Quarzphyllit mit mylonitischen Klüften, noch dazu nahe dem Eisenbahntunnel.

Ein ausgezeichnetes Beispiel sorgfältiger technisch-geologischer Arbeit zur Vorbereitung des Baues der Hangbrücke Saag der Südautobahn in Kärnten nördlich des Wörther Sees hat E. H. WEISS (1973, S. 28 ff.) geschildert: Die Methodik der geotechnischen Untersuchung in diesem kritischen, mobilen, gleitanfälligen Glimmerschieferhang mit Hilfe von umfangreichen, bis 50 m tiefen Bohrungen, von 44 Schlitzten und Schächten und später einer ständigen Begutachtung und Bearbeitung der flächenmäßigen Aufschlüsse während des Baues sowie der danach gemeinsam mit Ing. F. PACHER abgestimmte Einsatz aller technischen Möglichkeiten wie Vergrößerung des Pfeilerabstandes, Fundierung in elliptischen Brunnen zur Ermöglichung des Vorbeikriechens der gleitenden Felsmassen, Abführung des gestauten Wassers durch verschiedene Dränagemethoden, stark variierte Pfeilergründungstiefe (vgl. H. BRANDECKER & R. VOGELTANZ, 1975, S. 42: Beispiel Lend), Ankerung einzelner Pfeiler nach System Loosinger, Vermeidung der durch die genaue Untersuchung erfaßten Veldener Störung usf. hat hier zu einem erkämpften Erfolg in schwierigerem geologischem Terrain geführt.

Grundsätzliches zur Gestaltung von Böschungen in Lockermaterial und in Fels bei Straßenanschnitten hat H. BRANDECKER (1971) – besonders an Hand von Beispielen aus Österreich – zusammenfassend dargelegt.

Daß bei anderen Hochbauten naturgemäß gleiche Überlegungen gelten, ergibt sich von selbst. Man wird also besonders bei erdbebengefährdeten Gebäuden wie etwa Atomkraftwerken, Schulen, Krankenhochhäusern etc. besonderes Augenmerk auf die Art und Struktur des Untergrundes legen müssen und nicht wie im Falle des Atomkraftwerkes Zwentendorf den Gebäudekomplex samt Sicherheitswanne unter Mißachtung der geologischen Gegebenheiten teils mit Magerbeton direkt auf festem Schlier, teils aber auf lockerem, wassergetränktem Donausand und -schotter der Nachrömerzeit gründen, damit sich nicht dann die daraus zwingend resultierenden Konsequenzen der verschiedenartigen Setzung, der Öffnung der Trennfugen, des Eintrittes von Grundwasser durch die Sicherheitswanne in das Reaktorgebäude einstellen (vgl. S. 185).

Als Beispiel für die geglückte Überwindung von schwierigen, heterogenen Untergrundbedingungen in dem von Staffelbrüchen durchzogenen, von Schluff durchsetzten, vom Talhang her durch eine Blockhalde belasteten jungen Tallalluvionen sei die Kraftstation Möllbrücke der Draukraftwerke-AG. angeführt, über die W. DEMMER (1984) berichtet hat (Abb. 120). Bauliche Maßnahmen wie Lastplattenversuche in der Baugrube, aber keine Rüttelverdichtung, keine Unterteilung des Tiefbaublockes, Dehnungsstücke im Ansatz an die Verteilrohrleitungen etc. konnten die richtig eingeschätzte geologische Ungunst des vorgegebenen Standortes völlig ausgleichen, wie die Praxis bewiesen hat: Die geringfügigen Setzungen waren bereits im zweiten Betriebsjahr völlig abgeklungen.

7. Alpiner Talsperrenbau

Abgesehen vom Tunnelbau mit seiner langen, bis auf Frh. C. v. GHEGA zurückreichenden Tradition hat auch der Bau von Talsperren in den österreichischen Alpenländern eine lange Vorgeschichte aufzuweisen: Sperren im Zusammenhang mit der Wildbachverbauung gehen über Jahrhunderte zurück; Sperren für Auffangbecken von Gletscherseebrüchen und Triftklausen zum Zwecke des Holzflößens waren in den beiden vorigen Jahrhunderten weit verbreitet (O. LANSER, 1962, S. 14 ff.). Der Talsperrenbau zur Schaffung von Ausgleichsspeichern für die Gewinnung elektrischer Energie setzt nach dem bescheidenen Vorläufer des Kraftwerkes Andelsbuch/Bregenzer Ache in Österreich mit der Errichtung der beiden Sperren Wienerbruck und Erlaufklause an der Erlaf in den Jahren 1908 bis 1911 ein, die für das Kraftwerk Wienerbruck im Zuge der Elektrifizierung der Mariazellerbahn errichtet worden sind (O. LANSER, 1962, S. 20; H. GRENGG, 1962, S. 36 ff.).

Der in den zwanziger Jahren unseres Jahrhunderts in zunehmendem Maße einsetzende Talsperrenbau der E-Wirtschaft stellt wohl die größte Herausforderung der Ingenieurgeologen dieser Epoche dar: Konnte hierbei doch nicht auf die aus dem Bergbau seit urdenklicher Zeit vorhandene Erfahrung zurückgegriffen werden, sondern kam nun als neuer Fragenkomplex das Verhalten des Felses mit all seinen individuellen Gefügemerkmalen obertage hinzu, zugleich die Notwendigkeit, seine Reaktion während des Baues der Staumauern, nach Belastung der Staumauer mit dem Wasserdruck, seine unterirdische Wegigkeit wegen Wasserverlusten sowie das künftige Verhalten der Felsflanken bei der völlig neuen Situation nach Erreichung des Stauzieles vorherzusagen, zu berechnen und in die Planung voll einzubeziehen. Mit Hilfe der verschiedensten Methoden hat man dieses Ziel zu erreichen getrachtet: Durch genaue Kartierung, exakte Gefügaufnahmen, geophysikalische Sondierungen, Bohrungen, Sondierstollen mit Stempeldruckversuchen, technische Feldversuche, Wasserabpreß- und Injektionsversuche, sodann durch Laborversuche am Gestein, felsmechanische Berechnungen, Modelluntersuchungen und mit Computermodellrechnungen.

Wie oben erwähnt, hat Österreich auf diesem Sektor eine gewaltige Erfahrung sammeln können, waren nach H. GRENGG (1962) allein in der Zeit zwischen 1920 bis 1960 bereits 43 österreichische Großprojekte von Talsperren und Staudämmen realisiert worden und schritt der Ausbau der Wasserkraft in den Alpentälern und an der Donau inzwischen zügig fort. Eine besondere Nachkriegsleistung und zugleich eine Quelle wertvoller Erfahrungen war der Ausbau des Kaprunertales durch die beiden Stufen des Tauernkraftwerkes „Glockner-Kaprun“ (J. GÖTZ, 1951; J. GÖTZ & R. EMANOVSKY, 1955).

Jede der Kraftwerksketten an den großen Flüssen (Donau, Drau, Mur, Enns, Salzach, Ziller usw.) brachte bei den geologisch so unterschiedlichen und komplexen Bedingungen der Standorte und mit zunehmender Einbeziehung der Geologen beim Baugeschehen einen rasch wachsenden Umfang an Erfahrungen in der Geologie des Talsperrenbaues. Österreich hat hierdurch auf diesem Sektor nicht nur eine lange Tradition aufzuweisen, sondern konnte auch zahlreiche internationale Spitzenleistungen vollbringen.

Einen Querschnitt über die aktuellen Fragen der im jeweiligen Zeitraum im Vor-

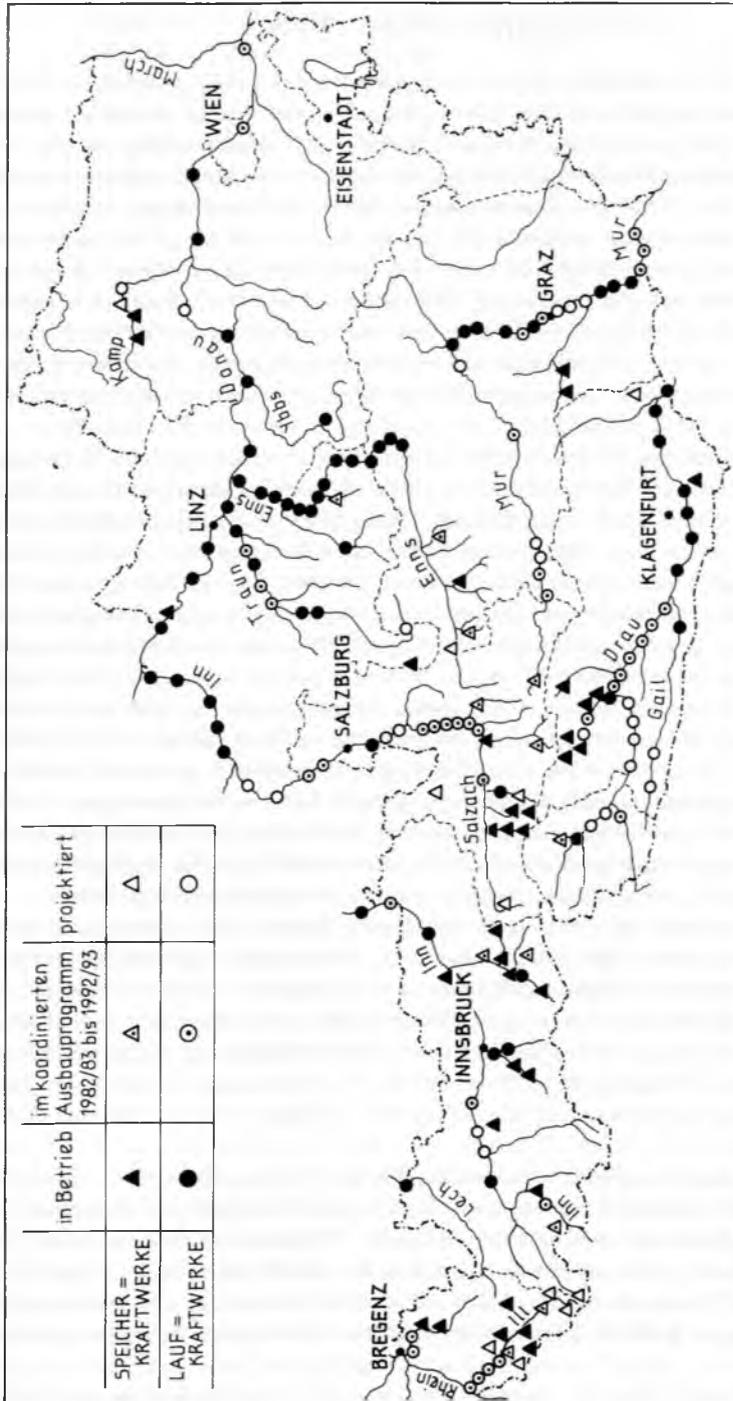


Abb. 121: Wasserkraftwerke und Talsperrenbau in Österreich. Aus dem koordinierten Ausbauprogramm der Österreichischen Elektrizitätswirtschaft; aus W. KATZMANN et al. (1985, S. 66).

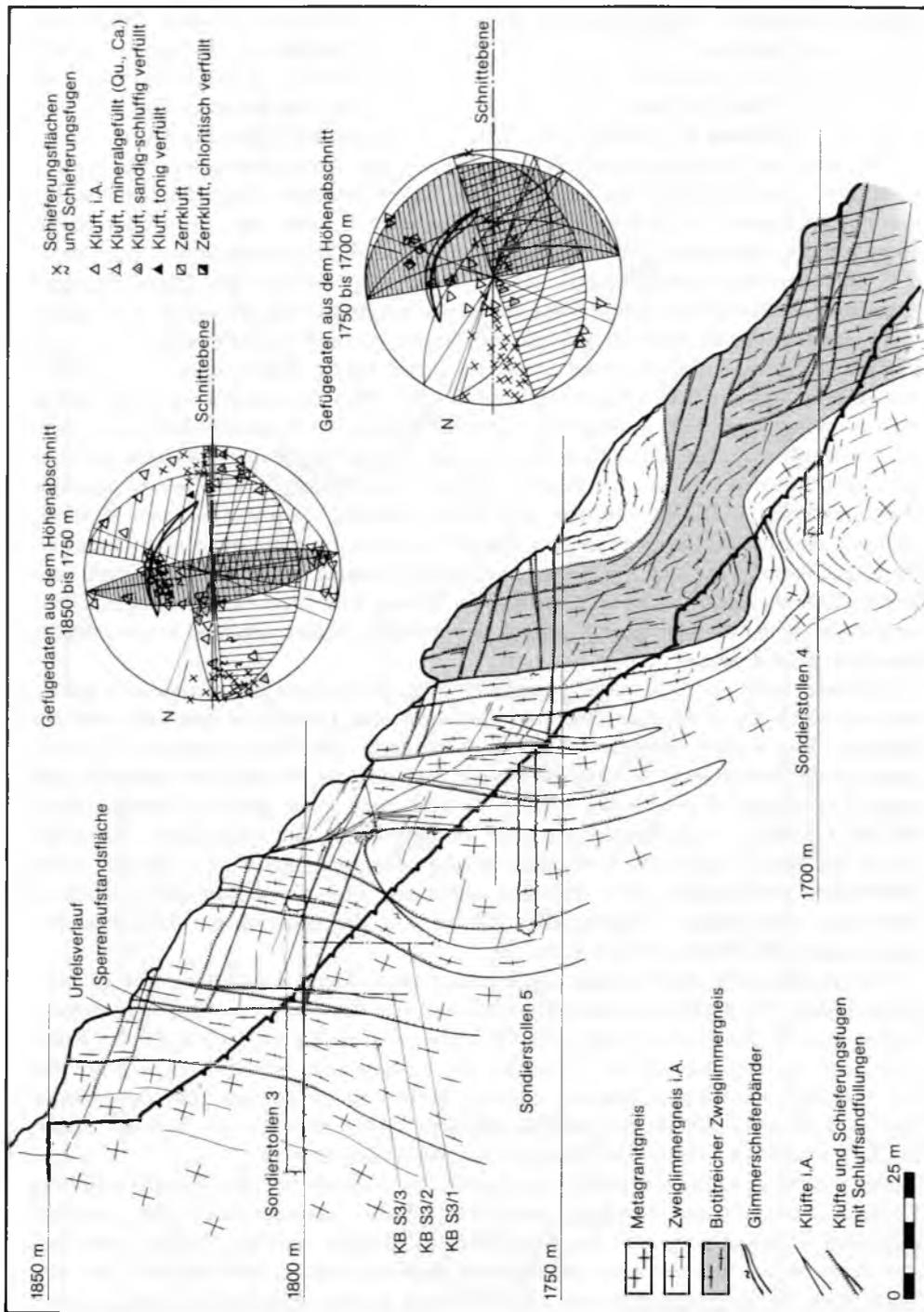
dergrund stehenden Talsperrenbauten geben Übersichtsarbeiten oder Exkursionsführer zum gestellten Thema wie etwa jene von H. GRENGG & H. LAUFFER, 1949; J. STINI, 1955; E. CLAR & G. HORNINGER, 1964; W. DEMMER, 1978; G. HORNINGER & E. H. WEISS, 1980; E. TENTSCHERT, 1983 und das 1986 erschienene Heft 29 von E. CLAR, W. DEMMER & G. HORNINGER [Hrsg.]: „Geologie der Talsperren Österreichs“

Während die theoretische Seite der Frage der Gründung von Talsperren, vor allem die Wahl der verschiedenen Talsperrentypen durch Modellversuche, von O. J. RESCHER (1981) durchgetestet worden ist und dabei aber das Verformungsverhalten des Sperrenuntergrundes auf diese Weise noch keineswegs befriedigend beurteilt oder berechnet werden kann, sind in zahlreichen praktischen Untersuchungen grundlegende Entscheidungshilfen für die vielfach auftretenden Probleme herausgearbeitet worden. Als Beispiel für solche umsichtigen Forschungsarbeiten für die Praxis sei jenes der Untergrunduntersuchung der Sperre Hochwurten am Weißsee, Sonnblickregion, durch H. LITSCHER & E. H. WEISS (1977) herausgegriffen: Mustergültig ist der Bezug zwischen geologischer Detailkartierung und parallel laufenden Aufschließungsarbeiten zur Erkundung des Gebirges mittels Bohrungen, Wasserabpressungen, Zementinjektionen etc. zur Feststellung der Durchlässigkeit und der zumutbaren Injektionsdrücke hergestellt worden. Der hohe Aufwand an geotechnischen Untersuchungen aber hat sich auch in diesem Beispiel mit dem zertrümmerten und versackten Granitgneisuntergrund und der Lockermaterialüberlagerung gelohnt, da hierdurch heute die Auswahl der adäquaten Sperrenart (in diesem Fall Damm), der nötigen Dichtungsmaßnahmen im Untergrund und in der lockeren Sedimentauflage verantwortlich getroffen werden kann.

Zahlreich sind die Fälle auch in neuester Zeit, wo ähnliche Schwierigkeiten auftraten und durch die Zusammenarbeit von Geologen und Technikern beherrscht werden konnten. Das jüngste Beispiel bietet die Gründung der Bogenstaumauer Zillergündl im Zentralgneis der Hohen Tauern, wo sich im Bereich der ungewöhnlich tiefen Gefügelockerung am rechten Talhang nach einer genauen Gefügaufnahme des Geländes, nach Bohrungen, einer Gefügeprüfung der freigelegten Aufstandsfläche der Sperre nach dem – auf Empfehlung bedeutend vertieften – Aushub unter zusätzlicher Heranziehung von Fernsehsondierungs- und Kernbohrungen schließlich doch eine zureichende Gleitsicherung (1,4 bis 1,6) der abgrenzbaren kritischen Bereiche ergab (W. NOWY, 1984) – Abb. 122.

Die rechnerische Abschätzung der Standfestigkeit durch Auswertung der geologischen Daten, der Meßdatenänderungen während des Baues und von Laborversuchsergebnissen muß die Kennlinien des Gebirges mit den Kennlinien für die Beanspruchung der Auskleidung von Schächten etc. entsprechend kombinieren, um den für den Gebirgsdruck nötigen Ausbauwiderstand bestimmen zu können. Am Beispiel des Schachtkraftwerkes Kühtai der Kraftwerksgruppe Sellrain-Silz in den Stubaiern hat R. WIDERHOFER (1983) eindrucksvoll diese Methode dargelegt.

Aber auch in kritischen Fällen, wo durch den Auftrieb bei der Staubeckenfüllung Felsgleitkörper der Gehänge mobilisiert werden, können durch eine ständige sorgfältige Überwachung, eine Speicherfüllung in Etappen bis zum Vollstau unter beständigem Messen der Bewegungen, Berechnung der Gleitbahn und Kontrolle im Modellversuch die Vorgänge gesteuert und beherrscht werden. Ein Beispiel hierfür liefert



die Kontrolle der Bewegung eines großen Hang-Gleitkörpers mit konkaver Bahn im Bereich von Hochmais am Gepatschspeicher mit seinem 153 m hohen Steinschüttdamm des Kaunertalkraftwerkes der TIWAG in Tirol (H. LAUFER et al., 1974). Trotz einer Gesamtverschiebung der Gleitscholle am Westhang des 140 Millionen m³ großen Speicherraumes um 11,15 m waren die Vorgänge durch Überwachung während des Vollstaus in drei Etappen von 1964 bis 1966 beherrschbar gewesen.

Zu den Fragen der sicheren Gründung der Talsperren und der Beherrschung von Gefügelockerung oder Felsgleitung in den Gehängen des Stauraumes kommt, namentlich im Karstgebiet, immer noch die Frage der Dichte und Abdichtungsmöglichkeiten des Untergrundes zur Vermeidung größerer Wasserverluste hinzu. J. ZÖTL (1974, S. 226 ff.) hat am Beispiel des Dießbachspeichers am Westrand des Steinernen Meeres in den Kalkhochalpen gezeigt, daß durch die Klärung der Karsthydrologie eines solchen Raumes mit den S. 276 erwähnten Methoden sowie Probebohrungen zur Ermittlung der Klufteigenheiten in der Tiefe auch in einem solchen kritischen Karstgebiet unter Einsatz von Zementinjektionen mit durchaus begrenztem Injektionsgut perfekte Dichtungsschleier erzielt werden können, sodaß dort im hochalpinen Dachsteinkalk-Karst ein absolut dichter Speicherraum zustande gekommen ist.

Beim Aufbau der Kette der Donaukraftwerke ist schließlich auch die ingenieurgeologische Erfahrung durch den sehr wechselnden Aufbau der einzelnen Abschnitte der Donau – vom kristallinen Grundgebirge bis zu den tertiären und quartären Flußstrecken – wesentlich bereichert worden. F. MAKOVEC (1976 a, b), R. FENZ et al. (1970) und J. KOBILKA (1984) gaben Einblicke in die geologischen und geotechnischen Verhältnisse der verschiedenen Staustufen. Eingehend wird 1976 (a) von F. MAKOVEC die geotechnische Situation der vier im Tertiär gegründeten Niederungskraftwerke Ottensheim-Wilhering, Abwinden-Asten, Wallsee-Mitterkirchen und Altenwörth geschildert. Hierbei kommen vor allem auch die geologischen und geophysikalischen Untersuchungsmethoden zur Sprache, einschließlich der bis 300 m langen, unter dem Strom ausgeführten Horizontalbohrungen und der hierbei angewandten Bohrlochendoskopie mit Fernsehbohrlochsonde zur exakten Erfassung von Gesteinsbeschaffenheit, Lagerung und Störungszonen. Mit Aufschlußschächten ist sparsam vorgegangen worden, im allgemeinen wurde nur je ein über 40 m tiefer Schacht pro Anlage erstellt.

Die jüngsten Erfahrungen von der 8. Donaustufe bei Melk in technischer und geophysikalischer Hinsicht haben G. GANGL et al. (1980), P. STEINHAUSER et al. (1980) und R. WAGNER (1982), jene der Stufe Greifenstein, die im Flysch gegründet ist, hat R. SCHWINGENSCHLÖGL (1984 a) mitgeteilt: Der Einsatz von fünf verschiedenen unabhängigen geophysikalischen Methoden bei Melk ist deshalb vorgenommen worden, da ja in südöstlicher Nachbarschaft die große, bis in die Gegenwart aktive Diendorfer Störung durchzieht und man die Bauwerksgründung außerhalb von etwaigen begleitenden Hauptstörungen sicherstellen wollte.

Abb. 122: Die Gründung der rechten Seite der Sperre Zillergründl der Tauernkraftwerke AG Salzburg in schwierigem Terrain mit z. T. flach talauswärts fallenden Klüften, mit von Schluffsandstein erfüllten Schieferungsfugen und chemisch zersetzten Glimmerschieferbändern innerhalb des Zentralgneises; nach W. NOWY (1984, Abb. 6).

Eine aufschlußreiche Zusammenfassung über die geologischen Erfahrungen beim Ausbau aller Draustufen durch die Draukraftwerke-AG. hat W. DEMMER (1978) vorgelegt: Die Reihe reicht von den problemlos auf anstehendem Fels fundierten Staustufen Schwabeck, Lavamünd und Edling an der unteren Drau – wo man lernte, die Schwebstoffe der Stauseen als natürliches Dichtungsmittel der Stauräume zu nutzen – über die bereits problemreichere Kraftwerksgruppe an der mittleren Drau, bei der das Kraftwerk Rosegg-St. Jakob mit dem sehr heterogenen Untergrund (W. DEMMER, 1975) und die Staustufe Annabrücke mit kräftig verstelltem pleistozänem Lockermaterial als Sockel (H. BRETH, W. DEMMER et al., 1982) Schwierigkeiten bereiteten, bis zur Kraftwerksgruppe der oberen Drau, bei der man bereits genügend Erfahrung hatte, um sämtliche Gründungen auf Lockergestein zu wagen.

Bei den Speicherkraftwerken dieser Draukraftwerkskette im hochalpinen Zentralgneisgebiet (W. DEMMER, 1978, S. 186 ff.), dem 1947 bis 1960 erbauten Winterspeicherwerk Reißbeck-Kreuzeck mit 1772 m Gefälldifferenz vom höchsten Speicher zur Kraftstation im Mölltal und dem in fünfjähriger Bauzeit errichteten Maltakraftwerk mit der 200 m hohen und an der Krone 626 m langen Bogenmauer der Kölnbreinsperre beim Hauptspeicher (W. FINGER et al., 1975; E. CLAR & W. DEMMER, 1979), lieferte namentlich die letztgenannte Sperre spezielle Probleme: Der nicht befriedigend abgestimmte technische Entwurf der Betonbogensperre in bezug auf den eher ungünstigen breiten glazialen Talboden, auf die große Steifigkeit des massigen Granitgneises und auf örtliche Diskontinuitäten zufolge weicherer Schiefergneiseinschlaltungen erbrachte bei hohem Aufstau eine Überbeanspruchung mit Rissebildung im Fundierungsbereich der mittleren Mauerblöcke, eine Schwächung der betroffenen Gründungsquerschnitte und eine erhöhte Wasserdurchlässigkeit. Über die schwierigen Probleme dieser Sperre und über die laufenden technischen Sanierungsmaßnahmen haben zuletzt W. DEMMER & H. LUDESCHER (1985) berichtet.

Der Bau der beiden erwähnten Hochgebirgsspeicher der Draukraftwerke-AG. war übrigens verbunden mit der Anlage von 90 km Stollensystemen. Die Erfahrungen, die bei diesen Anlagen erzielt worden sind – z. B. die Zweckmäßigkeit der zusätzlichen Konstruktion eines abdichtenden, bis 11 m dicken Betonvorbodens vor dem wasserseitigen Sperrenfuß – wurden bereits bei der nächsten im Bau befindlichen, 186 m hohen Bogenstaumauer Zillergründl in Tirol in die Praxis umgesetzt.

Eine der großen Sorgen im Talsperren- und Stollenbau – sei es im Sedimentgestein, sei es im kristallinen Fels – bildet die Gefahr des Eintrittes eines „Grundbruches“, d. h. des gewaltsamen Durchtritts des gespannten Wassers nach Aufstau durch den Porenraum bzw. die Klüfte des Gesteins. Auch hier hat man aus der Praxis gelernt – besonders am Beispiel dreier Stollen-Grundbrüche im Bereich des Kampkraftwerkes Dobra-Krumau, NÖ., mit Wasserausbrüchen bis zu 70.000 l/sec. (J. STINI 1956, S. 231): Die Panzerung des Stollens muß von außen her mindestens bis zu jenem Punkt reichen, an dem das Gewicht der Felsüberlagerung den hydrostatischen Druck ausgleicht. J. STINI hat dort (1956, S. 236 ff.) ferner über die technischen Maßnahmen zur Vermeidung von Grundbrüchen unter Talsperren an Hand einer Reihe von Beispielen berichtet – vgl. auch L. MÜLLER (1961).

Wesentlich für den Erfolg auf dem Sektor Talsperrenbau ist u. a. die laufende Kontrolle während des Bauvorganges, dann die genaue Überwachung während des

Füllens des Speichers und – bei kritischen Situationen – eine Revision in der Natur, in der Berechnung, unterstützt durch Modellversuche, und schließlich in der Folge eine langzeitige ständige Prüfung und Überwachung durch die Österreichische Staubeckenkommission mit Sitz im Ministerium für Land- und Forstwirtschaft (S. RADLER, 1980, S. K7).

Ein neuer Gesichtspunkt tritt in der letzten Zeit bei Kraftwerksbauten allmählich ins Bewußtsein – auch der beratenden Geologen: Im Zeichen des Wiederaufbauwillens nach dem Zweiten Weltkrieg war der Ausbau der Kraftwerksstufen in den Alpen und im Vorland zunächst selbstverständlich, dann aber in den folgenden Jahrzehnten noch gewohnheitsmäßig rein ökonomisch orientiert. Heute macht man sich in zunehmendem Maß Gedanken über die mit den Kraftwerksbauten verbundenen ökologischen Fragen, berücksichtigt bei der Wahl der Sperrmauern und Dämme auch Umweltbezüge, denkt daran, eventuell Pflichtwassermengen in den abgeleiteten Bächen (deren Zubringer ja meist auch in Beileitungen gefaßt sind) zu belassen, die Materialentnahmestellen zu rekultivieren, die Druckstollenleitungen mehr den Landschaftserfordernissen anzupassen etc. (S. RADLER, 1980; K. SCHIMUNEK, 1984).

8. Stollen-, Tunnel- und Kavernenbau

Schwierige und großartige Leistungen wurden in Zusammenarbeit österreichischer Ingenieure und Geologen seit der Pioniertat von Frh. von GHEGA vor 135 Jahren auf dem Sektor des Tunnelbaues vollbracht, ein gewaltiger Erfahrungsschatz wurde gesammelt – vgl. Zwischenbilanz J. STINI, 1950 – und schließlich wurde eine grundsätzlich neue, ökonomische, dem Verhalten des Gebirges am besten angepaßte Bauweise entwickelt (Neue Österreichische Tunnelbauweise – NÖT und ihre Varianten). Jeder dieser großen Eingriffe stellt Bauherren, Planer, Ingenieurgeologen und Baufirmen vor neue Probleme, da die tausendfältige Individualität des alpin-tektonisch geformten komplexen Gebirges jedesmal neue Überraschungen bereithält. Durch eine weit vorangetriebene Methodik der Vorerkundung in Zusammenwirken mit der heutigen Technik aber lassen sich vielfach Schwierigkeiten umgehen oder beherrschen. Man darf allerdings nicht vergessen, daß in vielen Fällen nicht die geologischen Verhältnisse des Untergrundes für die Planung der Trasse maßgebend sein können, mögen sie lokal auch noch so große Schwierigkeiten mit sich bringen. Gerade etwa der U-Bahnbau in Wien hat so anschaulich verdeutlicht, daß vielfach eben in erster Linie verkehrstechnische, städtebauliche Gesichtspunkte sowie spätere langfristige Betriebskosten für die Wahl der Trasse entscheidend sind und dann eben der Ingenieurgeologe mit den zu erwartenden Schwierigkeiten fertig werden muß (A. DOLLERL, 1976; H. PLACHY, 1976).

In stets wachsendem Maß hat auch in Österreich der Bau von Tunneln, Stollen und Kavernen immer gewaltigerer Längen und Dimensionen zugenommen: Wasserkraftwerkstollen mit Längen von 21 km und Vortriebsleistungen von 1 km/Monat (Beispiel Walgaustollen, H. LAUFFER, 1983) stehen neben Straßentunneln von 14 km (Arlberg, Ausbruchzeit 40 Monate). Und schon liegen detaillierte Pläne und Prognosen für einen Brennerflachbahntunnel mit der bevorzugten



Abb. 123: Südportal des Autobahn-Tauern隧nells bei Wald im Zederhautal (Lungau, Salzburg) während des Baues im Jahre 1971. Dieser Tunnel verbleibt in seiner gesamten Länge von 6.353 m in der mäßig nordfallenden penninischen Schieferhülle, welche die im Bereich des Tunnels auflagernden älteren, triadischen Kalke und Dolomite des Unterostalpins der Radstädter Tauern tektonisch flach unterlagert. Damit ist durch diesen Großaufschluß ein neuer Beweis für den Deckenbau im Bereich des Tauernfensters erbracht worden.

Ost-Variante zwischen Innsbruck und Aicha im Eisacktal mit 57,7 km Länge, 10,5 Jahren Bauzeit und 19,5 Milliarden Schilling Kosten (Preisbasis 1978) oder der gar 66,6 km langen Westvariante zwischen Innsbruck und Meran vor (M. KÖHLER, 1978). Dazu treten technische Anforderungen zur Auffahrung groß dimensionierter Kavernen verschiedenster Bestimmung auch in schwierigen Gebirgsarten auf (F. PACHER & G. SAUER, 1979). Keine Frage, daß neben dem hierdurch beständig weiter wachsenden geotechnischen Erfahrungsschatz durch solche vielfach profilmäßig die Tiefe aufschließenden Großbauten einschließlich der Pipeline-Stollen auch entscheidende geologisch-tektonische Erkenntnisse über die Struktur der Alpen anfallen: Man denke nur etwa beismalsmäßig an den Tunnel in den Radstädter Tauern (Tauern隧nell der Autobahn (Abb. 123) – Vorprojekt A. TOLLMANN (unveröff.), Bericht W. DEMMER (1976 b) –, der den einst so umstrittenen Deckenbau im Rahmen des Tauernfensters bewiesen hat, oder an den Schneecalpenstollen der I. Wiener Hochquellenleitung (T. GATTINGER, 1973), der die Antwort auf die Frage „Pilzfalten“ bei gebundener Tektonik im Sinn von W. SCHLAGER (1967) oder „Schneecalpen-Deckscholle“ im Sinn der Vertreter der Deckenlehre gebracht hat. An Hand dieses Beispiels könnte sogar die seinerzeit von H. P. CORNELIUS in der Öffentlichkeit an L. KOBER gerichtete ironische paradoxe Frage

„Sind Sie schon unter dem Schneeberg hindurchgekrochen, um den Deckenbau zu beweisen?“ heute durch „Ja“ beantwortet werden: Der Schneeanpenstollen führt im basalen Gebirge genau unter der flach auflagernden Deckscholle der Schneebergdecke hindurch!

Mit welcher weit größeren Gefahren in der Pionierzeit der Tunnelbau verbunden war, bei dem zwar eine geologische Vorhersage die groben Umrisse der Schichtfolge und Lagerung, aber keinerlei für die technische Durchführung im einzelnen wesentlichen Auskünfte gegeben hatte, zeigt sich etwa an dem Ringen mit den Schwierigkeiten beim Bau des ersten Semmeringtunnels (vgl.: Bau des neuen Semmeringtunnels, W. J. SCHMIDT, 1952) oder des Bosrucktunnels mit seinen Gebirgsnachbrüchen und gewaltigen Wassereinbrüchen (G. GEYER, 1907; vgl. W. NOWY & R. LEIN, 1984) – s. Bd. II, Abb. 115. Durch Fehlen der Möglichkeit, die Übertiefung glazialer Täler und deren pleistozäne Füllung geophysikalisch zu orten, ist man bei deren Untertunnelung in der Vergangenheit knapp an Katastrophen durch Wassergroßeinbrüche vorbeigegangen, wie das aus den Westalpen genommene Beispiel des Gotthardtunnels so eindrucklich dokumentiert (R. HAEFELI, 1968, S. 42), dem fast ein ähnliches Schicksal wie dem Lötschbergtunnel beschieden gewesen war: Die vorsorglich sehr tief unter dem Urserenbecken bei Andermatt geführte Gotthardtunneltrasse ging, wie man aus Bohrungen heute weiß, nur 40 m unter der Sohle des von (wassererfülltem) Alluvium und Moränen 250 m tief verschütteten Urserentals hindurch!

Sicherlich gibt es auch heute noch bei weniger umsichtiger Behandlung Divergenzen zwischen Vorerkundung, Ausschreibung und Ausführung derartiger Großprojekte im schwierigen alpinen Gebirge, wie W. FÜRLINGER (1978) am Beispiel des Mitterbergtunnels an der Packstraße und eine Reihe weiterer Autoren in K. SCHUSSEK (1974) ausgeführt haben. Muß man doch berücksichtigen, daß die Gebirgsgüteklasse nach E. H. WEISS bei Vollausbau von Tunneln gegenüber jener im Sondierstollen festgelegten im schwierigen Fels um ein bis eineinhalb Klassen schlechter zu erwarten ist, ja im angezeigten Beispiel des Mitterbergtunnels vielfach um zwei Klassen schlechter war. Für detaillierte Prognosen und eine gebirgsgerechte Klassifizierung sind eben außer (1.) einer sehr genauen Aufnahme der zugänglichen geologischen und geotechnischen Daten (wie etwa mustergültig von E. H. WEISS, 1976 a, 1978 und M. JOHN 1976, für den Arlbergtunnel oder von J. KAISER [1981] für den Dalaaser Tunnel der Arlbergstraße durchgeführt) – Abb. 124 – (2.) eine erschöpfende Auswertung der Daten der Vorerkundungsstollen im Sinn von T. R. SCHNEIDER (1979) und (3.) eine detaillierte laufende baugewissenschafliche Dokumentation der Aufschlüsse während des Baues, die verbesserte Aussagen über die unmittelbar bevorstehende Situation ermöglicht (E. H. WEISS, 1976), nötig.

Hierzu ist erläuternd zu bemerken:

(1.) Die Aufnahme, unterstützt etwa durch Bohrungen, geophysikalische Sondierungen etc., wird Angaben von der Gesteinsbeschaffenheit der Einzelabschnitte über das tektonische Gefüge, über tektonische Spannungszustände, Gebirgsfestigkeit und die Bergwässer liefern, sodaß bereits hierdurch gut begründete Aussagen über die Gebirgsgüteklassen möglich werden.

(2.) Bei Vorerkundungsstollen mit noch kleinem Ausbruch wird unter genauer Aufnahme eine Fülle weiterer Daten hinzukommen, obgleich man nicht einfach

GGKL	BEZEICHNUNG DES GEBIRGS- VERHALTENS	GEBIRGSBESCHAFFENHEIT – KRISTALLIN			
		GEFÜGEMERKMALE	CHEM. MERKMALE	BERGWASSER	
				ZUSTAND	BEEINFLUSSUNG
	1	2	3	4	5
I	standfest	massig, weitständige Klüftung		trocken bis bergfeucht	keine
II	nachbruchig	grob- bis mittel- bankig weit- bis mittel- ständige Klüftung	strichweise verwittert	bergfeucht bis schwaches Tropfwasser	keine bis schwacher Kluftwasserdruck
III	gebräch	dünnbankig, mittelständige Klüftung	sehr verwittert	lokal starkes Tropfwasser, sehr bergfeucht	geringe
	bis leicht druckhaft	bis dünn-schieferig, engständige Klüftung, Mylonitisierung, Zerrüttung	bis chemisch zersetzt oder ausgelaugt, sekundäre Ton- mineralbildungen	bis flächenhaft auftretendes Tropfwasser: schwache Quellen	mäßige hohe Kluftwasserdrücke
IV	druckhaft	plastische Schiefer, bindige Lockerüber- lagerungen, dünn- schieferige Zonen mit engständiger Klüftung, Verwerfer, Mylonitisierung Zerrüttungen	Sekundärbildungen von blähenden Tonmineralen, völlig verwitterte und entfestigte Partien	flächenhaft auftretendes Tropfwasser, intensive Durchfeuchtung und Quellen	hohe Beeinflussung der Gebirgsfestigkeit (Schwelldruck)
V	sehr druckhaft	plastische und blähende Schiefer, kohäsionslose Lok- kerüberlagerungen, Verwerfer, Mylonitisierung, Kluftscharen, Zerrüttungen	blähende Tonminerale, metallische Aggregate völlig zersetzt, Auslaugungen.	feucht, flächenhaft sehr hohe Bergfeuchte, Quellen, sehr naß	starke Beeinflus- sung der Gebirgs- festigkeit, plasti- sche Verformung, hoher Schwelldruck, Porenwasserüberdruck
VI	fließend	weich-plastisch, blähend, wasserge- sättigt, lehmige Schluffe, Tonmine- ralaggregate, kohäsionslose Schwimmsande bis Schluffe	gesunde bis angewitterte Minerale, thixotrope Eigenschaften	bergfeucht bis sehr naß	geringe bis maximale Beein- flussung (Materialausfluß)

SIGNATUREN

S SCHIEFERUNG

V VERWERFER

Z ZERRÜTTUNG

P PLASTISCHE SCHIEFER

K KLÜFTE

M MYLONITZONE

Sp SPALTEN

H HARNISCHFLÄCHEN

Abb. 124: Beispiel für die baueologische Beschreibung der Gebirgsgüteklassen an Hand des Arl-
bergtunnels durch E. H. WEISS (1976, Abb. 5).

GEBIRGSBESCHAFFENHEIT – ARLBERGTUNNELBEREICH							EINBAU-TYPEN
GESTEINS-TYPEN	SONDER-HEITEN	BERGWASSER		GEFÜGE			
		Z.	B.	S, P	K, V, M, Z	DIAGRAMM	
6	7	8	9	10	11	12	13
MUSKOWITGRANITGNEISE QUARZTSCHIEFER FELDSPATKNOTEN- UND BIOTITPLAGIOKLASGNEISE GNEISPHYLLITE ZERRÜTTUNGSZONEN MYLONITE PLASTISCHE EINSCHALTUNGEN LOCKERÜBERLAGERUNGEN		VORTUNNEL UND HAUPTTUNNEL: MASSIGE GESAMTWASSERMENGE; ABER STETIGE DURCHFÜHRUNG HAUPTTUNNEL: GERINGE GESAMTWASSERMENGE					Örtlicher Kopfschutz
							Firstverzug
	Abhängig von der Mächtigkeit und vom Bergwasserandrang		Veränderungen durch eine sehr hohe Bergfeuchte				Einbau in Firste und Ulme
							Einbau mit Sohlschluß
			kontinuierlich, stark tropfend; Gebirgsverband wird sehr beeinflusst				Einbau mit Brustverzug und Sohlschluß
			wie in IV				Einbau mit Brustverzug, Sohlschluß und eventuell mit vorliegender Stützung
						Sondermaßnahmen	

EINFALLSWINKEL DER GEFÜGEFLÄCHEN (EINHEITSQUADRATE) S-(P) K

0-15 15-40 40-65 65-80 80-90°



M, V, Sp, Z, H

TA TUNNELACHSE

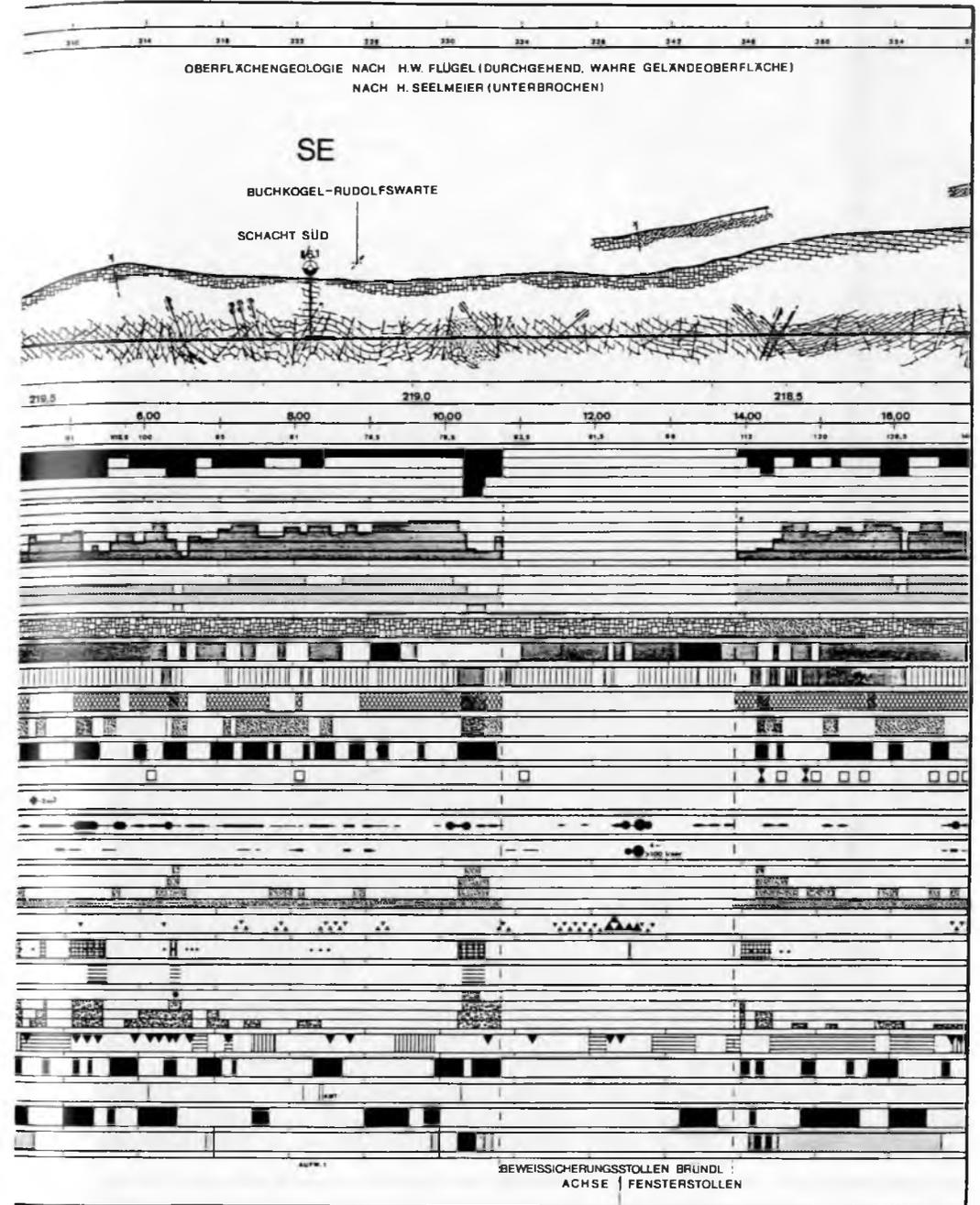
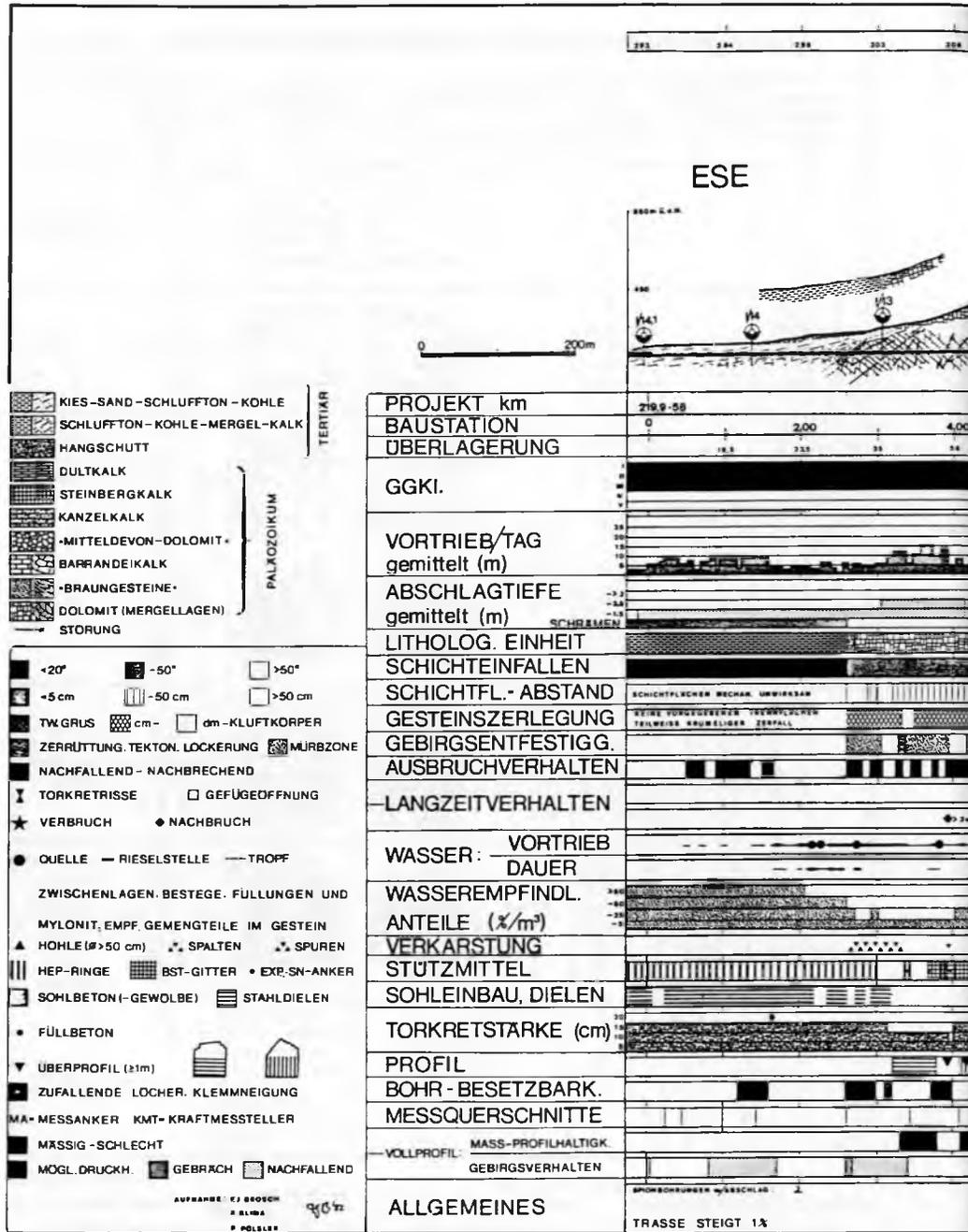


Abb. 125: Ausschnitt aus dem baugewissenschafter Längsprofil des Plabutschunnel-Sondierstollens der Pyhrnautobahn von F. Brosch et al. (1984, Abb. 1), um die Art der Dokumentation zu zeigen.

durch Extrapolation auf die große Fläche schließen kann, da geologische Körper auseinanderweichen, Fugen sich öffnen und viele Gefüge sich im Raum rasch verändern können. Es wird daher heute in kritischen Abschnitten lokal eine Ausweitung zu Vollprofilen vorgenommen (vgl.: J. BROSCHE et al., 1984: Plabutschunnel und Sondierstollen der Pyhrnautobahn westlich von Graz – Abb. 125). Das Materialverhalten kann in solchen Richtstollen im einzelnen in situ unter Berücksichtigung des Faktors Zeit studiert werden: Wesentliche Verbesserungen der Prognose für den Vollausschub ersparen oft mehr, als die Kosten des Richtstollens ausmachen (M. JOHN & J. WOGGIN, 1979). Die Anlage von Erkundungsstollen wird demnach besonders dort von Wert sein, wo Informationen über das Kurz- und Langzeitverhalten der zu erwartenden Gebirgstypen noch weitgehend fehlen.

(3.) Der Wert einer exakten beständigen baugewissenschaftlichen Dokumentation während des Vortriebes des Vollausschubes dient natürlich in Verbindung mit gleichzeitig geführten Erkundungsbohrungen nicht nur für die erwähnte genauere Prognose für die nächsten Ausbruchsmeter, sondern ist auch die beste Grundlage für eine vielleicht vorgesehene zweite Tunnelröhre und liefert natürlich auch die Beweissicherung für nachher aufgerollte Fragen mannigfaltiger Art. An mustergültigen derartigen Aufnahmen aus neuerer Zeit seien etwa die Arbeiten von W. NOWY (1976, mit sechs Beilagebänden; bzw. 1978), E. H. WEISS (1976 a: Arlbergtunnel) oder F. BROSCHE (1982: Kalcherkogeltunnel, Südautobahn Koralm bei Pack) genannt.

Die baugewissenschaftlichen Erfahrungen sind im Zuge des intensivierten Tunnel- und Stollenbaues der neueren Zeit deshalb so rasch angewachsen, da man angesichts der im Weltmaßstab sehr kleinräumigen stratigraphisch wie tektonisch vielfältigen Struktur der Ostalpen bei fast jedem dieser Projekte auf sehr unterschiedliche Gebirge mit ebenso unterschiedlichem Verhalten gestoßen ist – man vergleiche etwa nur die Vielfalt des Gebirges im 2 km langen Walgaustollen in Vorarlberg (G. INNERHOFER, 1983, Abb. 1 und 2; H. LOACKER, 1986). So hat man sich in neuerer Zeit mit verschiedenen Grundproblemen des Tunnelbaues mit Hilfe detaillierter Beobachtungen und neuer Methoden, die auch rechnerischen Ansatz ermöglicht haben, erfolgreich auseinandergesetzt, wie stichprobenartig genannte Beispiele aus jüngster Zeit zeigen sollen: Probleme des verschiedenartigen Reagierens des geschichteten Gebirges je nach Richtung der Verquerung führt U. ZISCHINSKY (1984) einschließlich der Ergebnisse von Modellversuchen aus, hierbei über qualitative Aussagen bezüglich der erforderlichen Eigenschaften zu angepassten technischen Maßnahmen vordringend. K. CZURDA & G. GINTHER (1983) teilen ihre Erfahrungen über das Quellverhalten der Molassemergel im Zuge der Anlage des Pfändertunnels bei Bregenz mit, das vom Gehalt an Montmorilloniten und der durch Klüftung gegebenen Wasserwegigkeit abhängt.

Über Sondermaßnahmen im gips- und anhydrithaltigen Gebirge berichteten A. KIESLINGER (1962 b), G. SPAUN (1974) und L. NÖSSING et al. (1979, S. 173 ff.), letztere nach Beobachtungen im Helbersbergtunnel bei Werfen im Zuge der Autobahn. Aus den Erfahrungen über die hohe Geschwindigkeit der Verformung des Gipsgebirges, besonders in feuchtem Zustand, das in Tunneln zu Sohlhebungen bis zu mehreren Metern führen kann, hat G. SPAUN (1974) die Reihenfolge der nach dem Ausbruch wirksam werdenden Faktoren festgehalten und daraus die zweckmäßigsten Tunnelprofile, Bauweisen und Auskleidungen abgeleitet.



Abb. 126: Die Trasse der in das gegebene Stadtbild eingeplanten Wiener Untergrundbahn U 1, deren Tunnelstrecke – an der Grenze vom Pleistozän zum Tertiär verlaufend – mannigfaltige Schwierigkeiten im verbauten, vielfach in Lockersedimenten liegenden Areal durch technische Maßnahmen zu überwinden hatte; nach A. DÖLLERL (1978, Photo 1).



Abb. 127: Inspiration unter dem Eindruck der bedrohlichen Situation beim Bau des Schneecalpenstollens in den Kalkhochalpen mit seinen gewaltigen Wasser- und Schlammeinbrüchen. Gemälde aus dem Jahr 1966 vom geologischen Stollenbetreuer, T. GATTINGER (1973, Frontispiz), mit dem Symbol des stygischen Fährmannes.

Besondere Schwierigkeiten stellen sich meist auch bei Tunnel- und Schachtbauten im Lockergestein ein. Solche Lockermassen können Hangschuttstrecken aus diluvialen oder alluvialen Material darstellen, die dann in schwierigen Fällen mittels eines Zement-Bentonit-Injektionsschirmes (L. NÖSSING et al., 1979, S. 161) bzw. in abgewandelter NÖT-Bauweise (W. TROPPER, 1979) beherrscht werden können. Sie können aber auch bis zum schwimmsandähnlichen Lockerboden reichen, wo dann tiefe Schächte, wie etwa beim Kavernenkraftwerk Fulpmes in Tirol, nur durch die Gefriermethode erfolgreich erstellt werden können (A. AGLASSINGER, 1984). Analoge Schwierigkeiten wie im Lockerterrain stellen sich in großem Umfang bei U-Bahn-Bauten in Großstädten, die, wie etwa in Wien, meist an der Grenze zwischen quartären Lockerbedeckungen und unverfestigtem Tertiär aus schluffigen Tonen verlaufen (vgl. geol. Profile der Linie U 1 in H. PLACHY, 1976, und L. MARTAK & H. PLACHY, 1978), wo bei den Untertagearbeiten vielfach der Schildvortrieb eingesetzt werden mußte (W. HINKEL, 1976) und aufwendige Sicherungsmaßnahmen nötig waren (A. DÖLLERL, 1976; H. KRIMMER & G. SAUER, 1985; J. PELZ & F. DEIX, 1985) – Abb. 126.

Über die nach wie vor schwer im einzelnen vorhersagbaren und beherrschbaren gravierenden Wasser- und Schlamm-(Kluftlehm-)Einbrüche beim Stollenbau im hochalpinen Karst mit großer Überlagerung hat eindrucksvoll T. GATTINGER (1973, S. 21, 28, 34) an Hand der Erfahrungen im rund 9,7 km langen Schnealpenstollen zwischen dem Karlgraben bei Neuberg/Mürz in der Steiermark im SW und dem Reistal bei Hinternaßwald/NÖ. im NE geschildert: Der Einbruch von maximal 1300 l/sec., begleitet von Lehm- und Sandschüttungen im Südtrum, konnte nicht beherrscht, sondern nur durch einen Umfahrungsstollen umgangen werden (vgl. auch P. STEINWENDER & J. DONNER, 1970; J. ZÖTL, 1974, S. 206 ff.) – Abb. 127.

Besonders im Karstgebiet sind bei derartigen Stollenbauten umfangreiche hydrogeologische Voruntersuchungen nötig, nicht nur im Hinblick auf Vorhersage, Planung und Beratung bei der Durchführung des Bauvorhabens selbst, sondern besonders auch wegen möglicher langfristiger Beeinflussung der Wasserversorgung umliegender Gemeinden durch ungewollte Anzapfung von relevanten Karstwasserreservoirs bei der Stollenanlage. J. ZÖTL (1974, S. 211 ff.) schildert an Hand der Beispiele des Triebwasserstollens der Ennskraftwerke Altenmarkt (OÖ./Steiermark) – vgl. E. CLAR, 1961, S. 119 ff. – und des rund 7 km langen Plöckentunnels der Ölleitung Triest–Ingolstadt in den Karnischen Alpen – vgl. Bd. II, Abb. 137c – die Beeinflussung der Karstwasserführung durch derartige Stollen. An letztgenanntem Beispiel (Plöckentunnel der TAL) zeigt er, daß eine rechtzeitig beauftragte hydrogeologische Vorsorgeuntersuchung kaum einige Prozent der dort dann tatsächlich gezahlten Entschädigungskosten betragen hätte.

Weiterentwickelt wurde inzwischen auch die segensreiche „Neue Österreichische Tunnelbauweise“ (NÖT, NATM), die unter Materialeinsparung auf die natürliche Umstellung des Gebirgsdruckes nach dem Eingriff und eine neue Gebirgsgewölbedruck-Ausbildung Rücksicht nimmt (vgl. B. MAIDL, 1984), indem bei beständiger Messung der Gebirgsdeformation die Verwendung der Stützmittel so gesteuert wird, daß wohl Deformationen, aber keine Brucherscheinungen des Gebirges eintreten. Die NÖT hat sich als anpassungsfähig auch an die Bedingungen im Lockergestein

(W. TROPPER, 1979), für kritische Zonen im Städtetunnelbau (R. KATZENBACH & H. BRETH, 1981), in Quetschzonen und schwierigen Gebirgsarten (G. FEDER & A. OLSACHER, 1978) sowie bei Großausbrüchen (F. PACHER & G. SAUER, 1979) erwiesen. Erst in neuester Zeit erzielt die NÖT (= NATM, New Austrian Tunneling Method) auch in den USA Erfolge gegenüber der konservativen ASSM (American Steel Support Method) – J. GOLSER & K. MUSSGER, 1985.

Hat die österreichische Fachwelt auf Grund des komplexen alpinen Aufbaues unseres Landes wertvolle Erfahrungen in der Methodik zur Analyse und Beherrschung kritischer Felsgefüge bei technischen Großbauten erzielt, bleibt ihr in unserem Land ein moderner Sektor auf technisch-geologischem Gebiet glücklicherweise vorenthalten: Die Problematik bei Großprojekten im Bereich von rezent aktiven Plattengrenzen, also im Bereich von Großstörungen, Seitenverschiebungen, verbunden mit Erdbeben. R. SCHWINGENSCHLÖGL hat 1984 (b) an Hand außerösterreichischer Beispiele über dieses Thema berichtet.

9. Anhang: Militärgeologie

Anhangsweise soll hier noch eine spezielle Sparte der Angewandten Geologie Erwähnung finden: Die Militärgeologie, die allerdings in Österreich – im Vergleich zu den rund 1000 einschlägigen Publikationen in der übrigen Welt – keine besondere Tradition aufweisen kann.

Während vor dem Zweiten Weltkrieg einzig die kurze Notiz von J. STINY & O. KÜHN (1937) die Aufgaben einer möglichen Wehrgeologie in Österreich umreißt, sind im Lauf des Zweiten Weltkrieges auch von Geologen unseres Landes im Rahmen der deutschen Organisation Todt wehrgeologische Aufgaben übernommen worden.

Aus der Zeit nach dem Zweiten Weltkrieg liegen bloß die Studien von J. SCHRAMM (1978 a, b) und H. HÄUSLER (1981 c, d) vor. Darin werden nach einem historischen Rückblick wiederum, nun ausführlicher, die Aufgaben der Geologie in der Landesverteidigung umrissen. Unter dem Begriff „Wehrgeologie“ werden allgemeine sachspezifische Arbeiten subsummiert, im Ausdruck „Militärgeologie“ spezielle regionale geologische Unterlagen für militärische Vorhaben inkludiert. Als Hauptaufgabe einer Wehrgeologie wird die Dokumentation des landesverteidigungsrelevanten geowissenschaftlichen Potentials Österreichs, zusammengefaßt möglichst in Form von thematischen Kartenwerken mit Erläuterungen, hervorgehoben. Themenkarten zu folgenden Faktoren sollen erstellt werden: Geländebefahrbarkeitskarten mit Ketten- und Radfahrzeugen zu verschiedenen Jahreszeiten, Hindernisbewertung von Gewässern (Furtbarkeit, Uferbeschaffenheit), Geländebearbeitbarkeitskarten („Baugrundkarten“), Gefahrenzonenkarten unter Eintragung der von Elementarereignissen (Steinschlag, Bergsturz, Muren, Lawinen, Hochwasser) bedrohten Regionen, Wasserversorgungskarten einschließlich möglicher Notwasserversorgungen, Baustoffversorgungskarten, Rohstoffpotentialkarten und schließlich als Zusammenfassung militärgeologische Karten, die die wesentlichsten Züge der oben genannten Faktoren synoptisch zur Darstellung

bringen, darüber hinaus noch Hohlräume von Kavernen sowie Dämme enthalten, deren Sprengung Großüberschwemmungen verursachen würde.

Die regionalgeologische Umsetzung dieses Projektes beginnt derzeit mit der in Druck befindlichen Arbeit von H. HÄUSLER (1986), die die Grundlagen für eine taktische Boden- und Untergrundkarte bereitstellt.

Literatur

- G. ABELE, 1974; A. AGLASSINGER, 1984; A. ALKER et al., 1969; N. ANDERLE, 1971; H. AULITZKY, 1975, 1981, 1983, 1984 a, b, c; L. P. BECKER, 1980; L. BENDEL, 1944, 1948; F. BENDER, 1981, 1984; H. BRETH et al., 1982; H. BRANDECKER, 1971; H. BRANDECKER & R. VOGELTANZ, 1975; F. BROSCHE, 1982; F. BROSCHE et al., 1984; E. CLAR, 1959, 1961, 1963, 1964, 1965 b, 1971 b, 1977, 1981; E. CLAR & W. DEMMER, 1979, 1982; E. CLAR & W. DEMMER et al., 1985; E. CLAR & G. HORNINGER, 1964; E. CLAR & P. WEISS, 1965; K. CZURDA & S. BERTHA, 1984; K. CZURDA & G. GINTHER, 1983; K. CZURDA et al., 1983; A. DAURER & G. SCHÄFFER, 1983; W. DEMMER, 1975, 1976 a, b, 1978, 1984; W. DEMMER & H. LUDESCHER, 1985; W. DEMMER & W. NOWY, 1979; H. DETZLHOFER, 1969; A. DOLLERL, 1976; J. DUILE, 1826; F. EBNER & W. GRÄF, 1982; E. FECKER et al., 1974; G. FEDER & A. OLSACHER, 1978; R. FENZ et al., 1970; W. FINGER et al., 1975; E. FLÜGEL & J. HADITSCH, 1975; O. FRIEDRICH, 1965; A. FUCHS, 1966; M. FUCHSBERGER, 1983; W. FÜRLINGER, 1972, 1978; G. GANGL et al., 1980; T. GATTINGER, 1973, 1978, 1981; G. GEYER, 1907; P. GMEINER, 1979; J. GOLSER & K. MUSSGER, 1985; J. GÖTZ, 1955; J. GÖTZ & R. EMANOVSKY, 1955; M. GÖTZINGER, 1984; W. GRÄF, 1982; W. GRÄF, R. AIGNER et al., 1985; H. GRENGG & H. LAUFFER, 1949; R. GRENGG, 1930, 1962; J. HADITSCH, 1970, 1971; R. HAEFELI, 1968; H. HÄUSLER, 1981 c, d, 1986; E. HAUSWIRTH et al., 1982; W. HINKEL, 1976; G. HORNINGER, 1975, 1976; G. HORNINGER & E. H. WEISS, 1980; G. INNERHOFER, 1983; M. JOHN, 1976; M. JOHN & J. WOGGIN, 1979; J. KAISER, 1980, 1981; F. KARL, 1954; R. KATZENBACH & H. BRETH, 1981; W. KATZMANN et al., 1985; A. KIESLINGER, 1932, 1935, 1938, 1949, 1951, 1953 a, b, 1954, 1956, 1957, 1958, 1959, 1960, 1962 a, b, 1964 a, b, 1965, 1969, 1972; R. v. KLEBELSBERG, 1947; J. KOBILKA, 1984; F. KOHLBECK & A. SCHEIDEGGER, 1981; M. KÖHLER, 1978, 1979, 1983; J. KÖRNER, 1976; H. KRIMMER & G. SAUER, 1985; G. KRONFELLNER-KRAUS, 1974; W. LAATSCH, 1977; W. LAATSCH & W. GROTTENTHALER, 1972; O. LANSER, 1962, 1967; H. LAUFFER et al., 1971; H. LITSCHER, 1979; H. LITSCHER & E. H. WEISS, 1977; H. LOACKER, 1986; H. LOBITZER & R. SURENIAN, 1984; B. MAIDL, 1984; F. MAKOVEC, 1976 a, b; J. MALINA, 1969; L. MARTAK & H. PLACHY, 1978; L. MÜLLER-SALZBURG, 1958, 1963, 1968, 1979, 1980 a, b, 1982, 1984; L. MÜLLER-SALZBURG et al., 1979; NN., 1950; L. NÖSSLING et al., 1979; W. NOWY, 1976, 1978, 1984; W. NOWY & R. LEIN, 1984; F. PACHER & G. SAUER, 1979; J. PELZ & F. DEIX, 1985; H. PETZNY, 1967; TH. PIPPAN, 1977; H. PLACHY, 1976; F. DE QUERVAIN, 1967; S. RADLER, 1980; O. RESCHER, 1981; G. RIEDMÜLLER, 1972; G. RIEDMÜLLER & B. SCHWAIGHOFER, 1977; B. SANDER, 1948, 1950, 1956; K. SCHIMUNEK, 1984; W. J. SCHMIDT, 1952; A. SCHMÖLZER, 1936, 1938; T. SCHNEIDER, 1979; J. SCHRAMM, 1978 a, b; E. SCHROLL, 1970; K. SCHUSSEK,

1974; R. SCHWINGENSCHLÖGL, 1984 a, b; R. SCHWINGENSCHLÖGL & E. H. WEISS, 1985; G. SPAUN, 1974, 1979; P. STEINHAUSER et al., 1980; P. STEINWENDER & J. DONNER, 1970; J. STINY, 1910, 1930, 1931 b; später: J. STINI, 1941, 1950, 1953, 1955, 1956; J. STINY & O. KÜHN, 1937; E. SUESS, 1862; E. TENTSCHERT, 1983; W. TROPPEL, 1979; E. TSCHERNIG, 1932, 1958 a; CH. VEDER, 1979; A. VOELLMY, 1955; R. VOGELTANZ, 1975, 1977, 1983; F. WALLACK, 1960; E. H. WEISS, 1964, 1973, 1976 a, b, 1978; R. WIDERHOFER, 1983; R. WIDMANN, 1983; P. WIEDEN, 1976; P. WIEDEN & F. KAPPEL, 1973; P. WIEDEN & J. PONAHL, 1970; F. v. ZALLINGER, 1779; H. ZAUNER, 1980; G. ZEZULA et al., 1983; U. ZISCHINSKY, 1967, 1969, 1984; H. ZOJER & J. ZÖTL, 1975; J. ZÖTL, 1974.

S UMWELTGEOLOGIE

1. Allgemeine Fragen

a) Aufgaben

Bisher wurde die Bedeutung der Geologie für den Schutz und die Erhaltung der menschlichen Umwelt und für eine sinnvolle, schonende Nutzung der Naturschätze im allgemeinen vollkommen unterschätzt. Meist fällt kaum ein Wort darüber in den einschlägigen Büchern oder Vorlesungen. Trotz der rasant fortschreitenden Zerstörung der Umwelt, auch in bezug auf den Sektor im Bereich der Erdwissenschaften, ist dies bis jüngst kaum ins Bewußtsein auch der Fachleute gedrungen. Aufrüttelnde Appelle kamen von anderer Seite: So etwa im Buch von H. GRUHL (1975): „Ein Planet wird geplündert“, der ausführt (S. 41): „Erst vor etwa 200 Jahren brach ein Teil der Menschheit einen ebenso gigantischen wie rücksichtslosen Eroberungskrieg gegen die wehrlos gewordene Natur vom Zaum. Sie wurde plötzlich nur noch als Objekt der Ausbeutung gesehen.“ Und weiter: „Die Menschheit lebt unbekümmert vom Kapital der Erde und bejubelt jede Steigerung des Tempos der Ausbeutung unwiederbringlicher Lagerstätten. Was die Menschen heute vernichten, ist zum größten Teil nicht ihre eigene Lebensgrundlage, sondern die ihrer Kinder und Enkel. Diese aber können ‚ihre Welt‘ nicht verteidigen. Was vermag ein Geisterheer von Ungeborenen in einer Welt, in der nicht Geist, sondern Materie herrscht“

Heute, wenige Jahre nach dieser eindringlichen Warnung GRUHLS, der voraussieht: „Sobald die ersten Zusammenbrüche gemeldet werden, wird uns nichts mehr möglich sein, als pausenlos Katastropheneinsätze jahraus und jahrein“, werden die ersten selbstverschuldeten heraufkommenden Großkatastrophen etwa an den Beispielen der Verseuchung der Luft, des Waldsterbens, der langfristigen Verseuchung bedeutender Grundwässertröge, aber auch andere Anzeichen, wie die durch eine unglaubliche Vergeudung verschuldete rasch absinkende Produktion aus den heimischen Kohlenwasser-