

DIE BAUGEOLOGIE IM WASSERKRAFTBAU TIROLS

von E. Tentschert*)

Meinem Lehrmeister und
väterlichen Freund
O. Schmidegg
zum 85. Geburtstag
in Dankbarkeit zugeeignet

Zusammenfassung

Die Baugeologie blickt in Tirol auf eine lange Tradition zurück. Die erste große Anwendung der Geologie für das Bauwesen erfolgte beim Eisenbahnbau, insbesondere beim Bau der großen Alpentunnel vor ca. 100 Jahren. Später wurde der Wasserkraftausbau zu einem der Träger der Baugeologie. Dabei hat die Geologie maßgeblich zum Erfolg der Bauleistungen beigetragen - "nebenbei" konnten auch regionalgeologisch wichtige Erkenntnisse gewonnen werden.

Es werden geologische Details aus den wichtigsten Bauvorhaben dargestellt und gleichzeitig die Entwicklung der Baugeologie im Wasserkraftausbau Tirols bis heute umrissen.

Summary

In Tirol engineering geology has a long tradition. The first application of geology for civil engineering purposes took place during the construction of the famous railway tunnels 100 years ago. 30-40 years later the hydro-power to become the key in the development of the field of engineering geology, generating a new scientific branch; Josef STINY has been recognized as the founding father of this new branch.

Since that period engineering geology has been playing a very important role in civil engineering and especially in hydro-power construction - additionally a great deal of scientific research for the classical alpine geology could be made.

Some geologic details of the most important hydro-power building-projects of Tirol are presented and the development of engineering geology is shown.

*) Anschrift des Verfassers: Dr. Ewald Tentschert, TIWAG, Landhausplatz 2, A-6020 Innsbruck, Austria

Tirol ist dank seiner markanten Topographie ein Land der Wasseerkraft, in dem heute an die 300 Wasserkraftwerke von > 10 kW in Betrieb stehen. Neben den beiden "Riesen" TIWAG (Landesgesellschaft Tirols) und Tauernkraftwerke (TKW, Sondergesellschaft der staatlichen Verbundgesellschaft) verfügen aber auch die Gemeindewerke von Innsbruck, Hall, Schwaz, Imst, Kufstein und Reutte sowie die ÖBB über eigene Werke, die zu hohen Eigenversorgungsanteilen führen. Ein großer Teil allerdings sind Klein- und Kleinstkraftwerke, teils gemeinde- bzw. genossenschaftseigen, teils in privatem oder Betriebseigentum. Diese kommen zumeist ohne größere Eingriffe in den Untergrund aus und werden dadurch selten mit geologischen Problemen konfrontiert.

Bereits 1888 ließ der Mühlenbesitzer L. Rauch ein Wasserkraftwerk am Mühlauer Bach bei Innsbruck errichten. Schon damals eine der ältesten Anlagen Österreichs, ist dieses Werk (mit kleinen Veränderungen) noch heute in Betrieb.

Aus Altersschwäche, aber auch aus Mangel an geologischen Vorarbeiten schadhaft geworden sind die Stollen der 1903 bzw. 1911 gebauten Werke Obere Sill (Stadtwerke Innsbruck) und Schönberg (ÖBB), die beide zur Zeit völlig neu errichtet und erweitert werden. Bei diesen sehr seicht liegenden, durch Hangtektonik beeinträchtigten, Lehnstollen (STINY, 1950, p. 140) wurden seinerzeit nur Fels, Ton und Überlagerung unterschieden. Dies ist insofern überraschend, da es schon für den Bau der Brennerbahn in den Jahren 1862-67 umfangreiche geologische Beratungen gab, und der Arlbergstunnel (1880-84) schon so weitgehend geologisch dokumentiert wurde, daß man für den Bau des Arlbergstraßentunnels noch brauchbare Informationen gewinnen konnte. In den Vorgutachten wird sogar von Bohrbarkeitsuntersuchungen in Abhängigkeit von geologischen Bedingungen berichtet (WOLF, 1872).

Auch der Begründer der Baugeologie, der gelernte Wildbachingenieur und promovierte Geologe Josef Stiny beklagt sich darüber, daß die Baugeologie nur zögernd Fuß fasse (STINY, 1924):

"Die einen besorgen sich zwar ein geologisches Gutachten für ihre Anlage, aber nur zu dem Zwecke, um sich der Behörde gegenüber zu decken; andere wiederum bezwecken nichts anderes, als die Verantwortung für allfällige Mißerfolge oder Kostenüberschreitungen von sich abzuwälzen und einem Sündenbock aufzuhaulen; manche Leute schließlich protzen mit dem geologischen Gutachten und zeigen es als Verzierung des technischen Planes gerne vor, ohne seine Ratschläge zu beherzigen."

Wenn sich die Situation inzwischen insbesondere beim Wasserkraftausbau wesentlich gewandelt hat (die großen Kraftwerksgesellschaften in Österreich haben durchwegs eigene Geologen im Rahmen ihrer technischen Stäbe), so begegnet man doch hie und da heute noch Epigonen der oben kritisierten Einstellung.

Im gleichen Jahr wie Stinys Aufschrei wurde die TIWAG gegründet und der Bau des Achenseekraftwerks begonnen; dem waren bereits mehrjährige, auch geologische, Voruntersuchungen vorausgegangen (AMPFERER et al., 1919; AMPFERER, 1923), die einer der besten Kenner der Tiroler Kalkalpen, Otto Ampferer, durchführte. Gerade in diesem Bereich (Staner-Joch-Gewölbe) hat er den Begriff der "Reliefüberschiebung" geprägt. Die Dichtheit der Seewanne durch einen Teppich aus Würm-Grundmoräne und damit die Unabhängigkeit von den südlich der Seebarre entspringenden Kasbach-Quellen wurde ebenso präzise prognostiziert wie die großen Wasserzutritte im Druckstollen beim Durchhörtern der Wettersteinkalkmulde des Bärenkopfes. Der hohe Pump-

aufwand für ca. 300 l/sec im fallenden Stollenvortrieb führte aber dennoch zu einer halbjährigen Unterbrechung des Stollenvortriebs bis zum Durchschlag von der Gegenseite (AMPFERER & PINTER, 1927). Die Bergwässer wurden später überwiegend über Rückschlagkappen eingeleitet. Besondere Aufmerksamkeit erforderten auch die Uferböschungen während der ersten Betriebsjahre, da es durch die 10 m tiefe Seeabsenkung zu Ufersackungen und Erdfällen kam (AMPFERER & BERGER, 1929; STINY, 1929). Bemerkenswert auch die detailliert dokumentierten Stollenbänder, die der Bergingenieur E. Hammerle im Einvernehmen mit O. Ampferer aufnahm.

Die Druckschachtpanzerung wurde ohne Gebirgsmitwirkung bemessen, bei geologischen Schwächezonen "... wo der Fels beim Hammerschlag nicht hart klingend war" wurde die Wandstärke der Rohre zum Erhöhen des Sicherheitsfaktors verstärkt.

Otto Ampferer blieb in der Folge ein gesuchter Gutachter, oft gemeinsam mit J. Stiny und dem Ingenieur und ebenfalls spätberufenen Geologen H. Ascher.

Das Hochdruck-Laufwerk Bösdornau der Zillertaler Kraftwerke AG (1929-1931) brachte im Tux-Stollen den Aufschluß der Grenzzone des Zillertaler Gneiskerns zu Kalken der Schieferhülle, wobei die Kontaktzone keine Schwierigkeiten verursachte. Der Zemmstollen liegt zur Gänze im Gneis, beide Bauwerke blieben größtenteils unverkleidet. Zur Umgehung eines Bergsturzes und einer Störungszone wurde der Tux-Stollen um 20 m höher angeschlagen, was die Errichtung eines Zwischenkraftwerks ermöglichte (PERNT, 1931). Die Erweiterung durch Beileitung des Stillupbaches durch die TIWAG (1939) erfolgte ohne geologische Schwierigkeiten. Das Werk gehört heute zum Bestand der TKW.

Das erste größere Niederdruckkraftwerk Tirols, das Innwerk Kirchbichl (TIWAG, 1938-1941) schneidet die große Innschleife bei Kirchbichl ab, wobei sowohl das Wehr als auch das Krafthaus auf groben, durchlässigen Innschottern gegründet wurde. Die max. 15 m tiefen Stahlspundwände gegen die Unterläufigkeit wurden z.T. durch Zementinjektionen, teils durch chemische Verfestigung noch um 6 m verlängert.

Gleichzeitig liefen die Vorarbeiten für das ebenfalls von der TIWAG errichtete, heute der TKW zugehörige Gerloskraftwerk (Bauzeit 1941-1945).

Die erste Gewölbemauer Österreichs ist in gesundem Quarzit der Wustkogelserie eingebunden. Wenn der Felsaushub z.T. stärker war, dann nicht wegen schlechter Felsqualität, sondern um ein gleichmäßigeres Profil für die Sperre zu erhalten (STINY, 1955). Mangels ausreichender Felsvorlage im oberen Teil der linken Flanke war ein künstliches Siderlager erforderlich; später wurde die ganze Sperre zu einer Bogengewichtsmauer umgebaut.

Der Druckstollen durchfährt zur zwei Dritteln Gesteine der äußeren Schieferhülle des Tauernfensters mit Quarziten, Phylliten, Sericitschiefern und Karbonaten, die z.T. stark gipsführend sind. Oftmaliger Gesteinswechsel und Schichtwiederholung deuten auf enge Verschuppung. Eine Serie von Störungszone, vor allem in den Sericitschiefern und Phylliten, verursachte durch Verbrüche und Sohlehebungen große Schwierigkeiten. Eine solche Stelle zwang durch Nachbrüche und starken Wasserzudrang zur Aufgabe von 140 m Stollenvortrieb und zum Ausweichen in benachbarte Kalke und Dolomite. Auch im Westabschnitt, im Quarzphyllit, kam es zu mehrmonatigen Verzögerungen durch Verbrüche und Wasserzutritte in Störungszone (JÜNGLING, 1950).

Stiny erkannte im Druckschachtang alte Hanggleitungen und empfahl daher ein Tieferlegen des Druckschachtes, womit auch eine geologisch günstigere Position des Wasserschlosses erreicht werden konnte (STINY, 1941).

Die 1945 und 1948 erfolgten Schäden in der Druckschachtpanzerung waren auf kriegsbedingte Material- und Verarbeitungsfehler, und nicht auf geologische Ursachen, zurückzuführen (NEUHAUSER, 1950). Während dieser Reparaturen stellte man im Druckstollen im Bereich der Tarntaler Schichten starke Sulfatschäden am Beton fest. Der starke Gipsgehalt (bis 1300 mg SO_3/l) war zwar vorher bekannt, durch Kriegseinfluß war aber nur bedingt sulfatbeständiger Beton eingebaut worden. Zur Unterbindung jeder Querströmung des Gebirgswassers wurden dort zusammen 1100 lfm Stahlblechauskleidung mit Betoninnenring eingebaut (JÜNGLING, 1950; STINY, 1950, 1955).

Der Bauzeitplan des KW Mühlau der Stadtwerke Innsbruck zog sich ebenfalls durch die Ereignisse in die Länge (1942-1953). Als Besonderheit wird hier das Trinkwasser der Stadt Innsbruck zur Energiegewinnung genutzt. Die Wasserführung der im alten Mühlauer Werk genutzten Quellen entspricht der Wassermenge eines mindestens zehnmal größeren Einzugsgebietes. Aufgrund des geologischen Aufbaus der Innsbrucker Nordkette reicht das hydrogeologische Einzugsgebiet noch weit über das topographische hinaus. Auf 1140 m Seehöhe wurden daher ca. 1700 lfm Stollen durch die Höttinger Breccie und die wasserstauenden Rohwacken bis zum Kluftaquifer (Muschelkalk) vorgetrieben, aus dem auf wenigen Stollenmetern 800-1500 l/sec zufließen. Wegen der starken Abflußverzögerung der Niederschläge im z.T. mehr als 2000 m hoch gelegenen Einzugsgebiet beträgt der Winteranteil 50%. Über eine Druckrohrleitung werden 450 m Fallhöhe abgearbeitet, das Unterwasser fließt direkt dem Trinkwasserbehälter zu. Die geologische Betreuung (AMPFERER, 1945; KLEBELSBERG, 1953) betraf aber in erster Linie die Wasserstollen.

Die Kriegseinwirkungen beeinträchtigten die bereits weit gediehenen Bauarbeiten der Ötzkraftwerke bis zur völligen Einstellung. Ein ursprüngliches Projekt sah einen Großspeicher von 400 Mio m^3 Inhalt von Längenfeld vor, in dem eine 135 m tiefe Falfüllung erbohrt wurde. Bei den Voruntersuchungen konnte die Bergsturnatur des "Mauracher Riegels" nachgewiesen werden. Wegen der schlechten geologischen Bedingungen sowie wegen des Widerstandes der Bevölkerung wurde der Großspeicher aufgegeben. An der Frage der Entstehungsgeschichte des Maurach-Riegels entspann sich aber ein intensiver Geologenstreit (AMPFERER, 1939, 1940; ASCHER, 1952 b; STINY, 1939, 1942). Der Nachweis über die tiefe Verschüttung des Horlachbachtals gelang erst mit dem 1950 vorgetriebenen Sondierstollen, der bei 2.1 km Länge in Querschlägen mehrmals die alte Tiefenrinne anfuhr, aber größtenteils im Fels unterhalb des Bergsturzmateriels verblieb (ASCHER, 1952 b). Die dabei geborgenen Baumstämme sind nach ^{14}C -Isotopenbestimmung ca. 10.000 Jahre alt (HEISSEL, 1972).

Ein geändertes Projekt mit Speichern bei Zwieselstein und oberhalb von Ötz (Stuibensperre) wurde aber 1941 begonnen. Die Fundamente der "Stuibensperre" für den Tagesspeicher oberhalb von Ötz waren 1944 bereits betonierfertig ausgehoben, der Stillen und der Druckschacht größtenteils fertiggestellt. Das Kraftwerk sollte einen Windkanal für die nach Tirol verlagerten Messerschmittwerke antreiben. Für die zusätzlich geplante Kraftwerkskaverne wurden erstmals umfangreiche Gefügeanalysen durchgeführt (SANDER, 1955), wie sie auch später für eine ebenfalls nicht gebaute Kaverne in Osttirol beschrieben sind (KARL, 1954).

Aus dieser Zeit stammen bereits die ersten geologischen Stellungnahmen zu Wasserkraftprojekten am Inn zwischen der Schweizer Grenze und Telfs sowie im Zillertal und Kaunertal (STINY, ASCHER, KLEBELSBERG).

Der Wiederaufbau nach 1945 und der damit verbundene wirtschaftliche Aufschwung führte zu einem verstärkten Ausbau der Wasserkräfte. Die nun projektierten großen Kraftwerke brachten Beanspruchungen des Baugrundes wie nie zuvor. Durch Rahmenpläne, Speicherplätze oder wegen des Landschaftsschutzes konnten jedoch nicht immer die geologisch günstigsten Positionen ausgesucht werden. Die Zeit war nun gekommen, in der die fallweisen Baubesuche eines Geologen zu einer regelmäßigen baugeologischen Betreuung wurden. Neben dem nach wie vor tätigen Duo ASCHER und STINY (AMPFERER verstarb 1947) erweiterte sich der Kreis um eine neue Geologengeneration, um den qualitativ und quantitativ gestiegenen Anforderungen gerecht zu werden.

Die Betreuung der Dürrachüberleitung (Erweiterung des Achensee-einzugsgebietes 1948-1951) mit der 30 m hohen Bogenmauer führte A. FUCHS nach Voruntersuchungen von H. ASCHER, E. CLAR und W. QUENSTEDT noch alleine durch. Während die Sperre auf gesundem, klufarmen Hauptdolomit steht, mußte der 8 km lange Stollen druckhafte Kössener Schichten und Neokommergel queren (HAMANN, 1951).

Zu den Variantenstudien des Kraftwerkes Prutz-Imst der TIWAG (1953-1956) gesellte sich noch O. SCHMIDEGG. Zusammen führten die beiden erstmals großräumige und systematische Luftbild- und Gefügeanalysen durch. Durch systematische Auswertung der geneigten B-Achsen gelang der Prognose SCHMIDEGGs eine überraschend genaue Voraussage der Unterfah- rung der Phyllitgneise von der Pillerhöhe und der Tauchtiefe der großen Muldenform des Landecker Quarzphyllits (CLAR et al., 1964).

Der Vortrieb des 12 km langen Stollens bezeichnet eine Wende im öster- reichischen Stollenbau, da hier im Richtstollen noch größtenteils gezimmert wurde, während man beim ausgeweiteten Stollen auf Sicherung mit Ankerung Spritzbeton überging (LAUFFER, 1958; DETZLHOFFER, 1960). Für die laufende geologische Betreuung wurden daher zusätzlich W. HEISSEL und K. MIGNON herangezogen, für Detailfragen wurden auch J. STINY und L. MÜLLER konsultiert, die inzwischen die Geomechanik als anerkannte eigene Fachrich- tung etabliert haben.

Der Kraftabstieg liegt bereits im schmalen Triasstreifen an der S-Seite des Inntals und beherbergt die Kaverne, die wegen des starken Grundwasser- stromes einem freistehenden Krafthaus vorgezogen wurde. Zwischen Kalkalpen und Quarzphyllit liegt keine scharfe tektonische Grenze vor, sondern eine Verschuppungszone mit steilen Bewegungsflächen (SCHMIDEGG, 1958, 1959).

Während im Druckstollen bis zu 140 l/sec aus dem Hauptdolomit zutra- ten, war der Kavernenbereich durch einen zwischengeschalteten "Regenschirm" aus Tonschiefern und Mergeln nahezu trocken. Durch die langjährigen Mes- sungen der Obertagequellen vor Baubeginn konnte im Zusammenwirken mit SCHMIDEGGs detaillierten geologischen Aufnahmen später der Kluftwasser- haushalt des Dolomitzuges rekonstruiert und das ausgebliebene Wasser der Gemeinde Arzl im Pitztal durch Bohrungen wieder erschrotet werden (TENTSCHERT, 1975, 1976).

Die von den Vorarlberger Illwerken über die Wasserscheide nach Vor- arlberg übergeleiteten Quellbäche der Rosanna und der Trisanna erforderten mehrere von O. REITHOFER betreute Beileitungsstollen. Diese verbleiben zumeist in baugeologisch günstigen Gesteinen des Silvretta-Altkristallins; am Ostende des Berglerstollens wurde die Überschiebung des Silvretta- kristallins auf den Flysch des Engadiner Fensters aufgeschlossen. Über nur

teilweise gestörten sandigen Schiefern taucht die Schubfläche mit ca. 20° nach W ab. Auch die basalen Kriatallinlagen zeigen nur eine schwache Diaphtorese (REITHOFER, 1952 a, b).

Das Kaunertal-Kraftwerk der TIWAG (1961-1964) brachte in mehrfacher Hinsicht neue Erkenntnisse für die Geologie. Der 13.6 km lange Druckstollen durchquert die Überschiebungsbahn der Ötztaler Masse über das Engadiner Fenster. Die Überschiebung selbst stellte eine recht glatte Fläche von ca. 25° Einfallen nach S dar und trennte relativ festen Amphibolit im Hangenden von kalkigen grauen Bündnerschiefern im Liegenden. Durch ein ausgespartes Fenster in der Betonierung blieb diese Grenzfläche für wallfahrende Geologieexkursionen längere Zeit sichtbar (CLAR et al., 1964). Stark tektonisch beansprucht war das darüberliegende Kristallinpaket, wie es in SCHMIDEGG's Prognose richtig erkannt wurde (DETZLHOFFER, 1968). Im Kraftabstieg verursachten gestörte gipsführende Sericitschiefer der Bunten Bündnerschiefer beträchtliche Schwierigkeiten.

Im Kristallinabschnitt war es durch hydrogeologische Untersuchungen SCHMIDEGG's (1961-1964) möglich, den Gebirgswasserhaushalt einigermaßen zu durchschauen. Im Zusammenhang mit Druckmessungen, Quellbeobachtungen, Registrierung der auslaufenden Wässer und Wasserabpressungen war erstmals in kristallinem Gestein der Klufthohlraum von ca. 1.7% rückrechenbar (DETZLHOFFER, 1969).

Der Staudamm Gepatsch steht auf Augengneis, während die Ufer der Speicherhänge von postglazialen Hangbewegungen geprägt sind (LAUFFER et al. 1971; MIGNON, 1971; ZISCHINSKY, 1965). Von ASCHER bereits 1947 erkannt, wurde auch nach Vortrieb zweier Sondierstollen (1949/50) eine weiter talaufwärts gelegene Sperrenstelle aufgegeben. Bemerkenswert war hier allerdings der gelungene Versuch ASCHER's, Gefügemessungen in Lockergesteinen durchzuführen, wie er es auch am Durlaßboden versucht hat (ASCHER, 1952 a). Von E. CLAR, der später auch als Behördenexperte fungierte, wurde bereits während der Bauzeit eine Dissertation angeregt, die dann durch die Katastrophe von Vajont (Oktober 1963) und die Hangbewegungen während der ersten Speicherfüllung beklebende Aktualität erlangte (ZISCHINSKY, 1965, 1967, 1968, 1969, 1970). Nach Einstellung des Aufstaus, umfangreichen Sondierungen, geologischen Studien (an denen neben O. SCHMIDEGG vorübergehend auch P. RUDAN beteiligt war), Berechnungen und Modellversuchen wurde der Auftrieb als Ursache der Bewegungen erkannt. In der dritten Stauperiode konnte nach Abklingen der Bewegungen der Vollstau erreicht werden (LAUFFER et al., 1971).

Beim Speicher Durlaßboden (TKW, 1964-1967) treten alte Hangbewegungen im Speicherraum und an der Sperrenstelle selbst auf. An der rechten Flanke erfolgte die Einbindung in eine intensiv erkundete Sackungsscholle aus Quarzit und Graphitphyllit der Schieferhülle, die sich in den Sedimenten der bis zu 130 m tiefen Taifüllung festgefahren und dabei diese noch gestaucht hat. Der vielreihige Dichtschirm bindet in einen ca. 50 m tief gelegenen, durchgehenden Schieferhorizont ein (ASCHER, 1952 a; CLAR et al., 1964; MIGNON, 1968).

Die geologischen Untersuchungen der Speicherhänge gingen über den bis dahin üblichen Rahmen hinaus. Die geologische Kartierung gliederte dabei verschiedene geotechnische Faziesbereiche nach voraussichtlichem mechanischen Verhalten, unabhängig von ihrer stratigraphischen Stellung (CLAR & ZISCHINSKY, 1968; ZISCHINSKY, 1970).

Auch der Druckstollen zum Krafthaus Funsingau ist von alten Sackungsstollen betroffen. Dabei blieben die Stollenabschnitte zwischen den Schollengrenzen ungestört und standen bis zur Betonierung frei ohne Sicherungsmaßnahmen. An einer Schollengrenze hingegen kam es zu einem 8 m hohen Verbruch mit starkem Wasserandrang (MIGNON, 1968).

Der Bau des Kraftwerkes Untere Sill (Stadtwerke Innsbruck, 1964-1966) brachte wieder einmal die Durchörterung einer großen alpinen Deckengrenze, und zwar der Aufschiebung der Ötztaler Gneise auf den Innsbrucker Quarzphyllit. Die Überschiebungsfläche selbst war beim Stollenbau weniger problematisch als die vertonten Quarzphyllit-Mylonite des Silltalbruches, die auch ein anderes Verformungsbild zeigten (SCHMIDEGG, 1966). Die auf 150 m Stollenlänge zu querenden Tone erforderten wegen ihrer Quellfähigkeit besondere Ausbaumaßnahmen. Im übrigen war der Quarzphyllit jedoch überwiegend standfest und gestattete auch den Ausbruch einer Krafthauskaverne (PARZER, 1966).

Die Zemmkraftwerke (TKW, 1966-1971) liegen mit ihren drei Stufen (die dritte Stufe, Zillergründl, ist zur Zeit in Bau) zur Gänze im Tauernfenster.

Die Sperrenstelle Schlegeis wurde von H. ASCHER und J. STINY bereits in den Zwanzigerjahren begangen und später von G. HORNINGER und K. MIGNON geologisch bearbeitet. Sie ist in festem Augen- und Flasergneis des Zentralgneiskernes gegründet.

Die geotechnischen Kennwerte des Gesteins zeigten eine deutliche Anisotropie entsprechend dem petrographischen Gefüge (EISELMAYER et al., 1970). Oberflächenparallele Entspannungsklüfte bis in 8 m Tiefe verursachten allerdings einen nicht unerheblichen Mehraushub, der stellenweise durch Betonplomben ersetzt wurde (MIGNON, 1972). Dieselbe Erscheinung trat übrigens auch beim Felsanschnitt des Krafthauses Roßag auf und erforderte dort umfangreiche Felssicherungen.

Der Erddamm Eberlaste des Stillup-Speichers ist auf einer > 100 m tiefen alluvialen Talverschüttung gegründet, deren kiesige und sandige Bachanlandungen randlich mit blockreichem Hangschutt verzahnen. Daher mußte die Abdichtungsschlitzwand von 23 m in Talmitte auf 53 m an den Flanken verlängert werden. Die aus einem Entspannungsbrunnen in 48 m Tiefe geförderten Holz- und Torfreste sind laut radiometrischen Altersbestimmungen 8760 Jahre alt (MIGNON, 1971), was einer Sedimentationsrate von 5.4 mm/a entspricht. Während die Triebwasserführung in der Längsachse des Gneiskernes liegt (HORMANN et al., 1971), wurde in der Tuxbachüberleitung die Grenze zur Schieferhülle durchstoßen (MIGNON, 1972).

Die obere Zemmbeileitung wurde so angelegt, daß ein Großteil des Stollens im Tuxer Granitgneis verblieb, sowie um die Greiner-Schieferserie etwas stumpfwinkliger zu queren. Trotzdem mußte eine ca. 250 m lange Strecke in einer Talkschiefer-Serpentinitserie wegen des starken Gebirgsdruckes aufgegeben werden, und wurde nach neuerlicher Abwinkelung senkrecht durchgeführt; dort traten dann keine Verformungen mehr auf (MIGNON, 1972; RIENÖSSL & MIGNON, 1971).

Die Flöitenbachbeileitung war Schauplatz des ersten Einsatzes einer Tunnelbohrmaschine in Österreich, sowie einer der ersten Versuche in kristallinen Gesteinen überhaupt. Die 264 lfm mit einem Prototyp aufgefahrenen Stollenmeter waren zwar nur ein Versuch, leiteten aber eine weitere Wende in der Stollenbautechnik als auch in der Stollengeologie ein.

Der Triebwasserstollen eines Industriekraftwerkes am Wattenbach war dann 1969 der erste planmäßige Einsatz einer Vollschnittfräse. Teilweise guten Vortriebsleistungen im gesunden Quarzphyllit standen Probleme der Verschlammung sowie Einbrechen der Ulmen längs stollenparalleler Mylonite gegenüber (MÜLLER, 1978, p. 424-425).

Das Kraftwerk Weißenhaus des EW Reutte (1966-1968) hat die Juragesteine der Allgäudecke unter der Lechtaldecke als tektonisches Fenster nachgewiesen. Die starke tektonische Verknüpfung, wodurch im Stollen angetroffene Gesteine mit der Aufnahme obertags nur bedingt korrelierbar waren, erschwerte naturgemäß die Prognose. In den Raibler Schichten waren Karbonatblöcke im Letten eingebettet, welcher bei Wasserzutritt im Stollen ausfloß (HEISSEL, 1969).

Bei der Querung des Hauptdolomitstockes des Thanneller (KW Heiterwang, EW Reutte, 1975-1977) mußte die eingesetzte Stollenfräse mehrfach zurückgezogen werden. Tektonisch stark zerrüttete Abschnitte mit starker Wasserführung wurden vor der Maschine saniert, worauf diese wieder vorgezogen wurde.

Die Grenzen des Maschinenvortriebs wurden beim Stollenvortrieb für das KW Vomp (Stadtw. Schwaz, 1975-1977) erreicht. Beim Queren von Begleitstörungen der Überschiebungsfläche zwischen Lechtal- und Inntaldecke kam es zu Verbrüchen, wovon einer durch einen sandführenden Wassereinbruch von ca. 140 l/sec die Fräse einsandete. nach ca. 10 m mühsamen konventionellen Vortriebs bei Drainage durch eine Pilotbohrung konnte die Fräse wieder eingesetzt werden und durchfuhr dann die eigentliche Deckengrenze ohne größere Schwierigkeiten (MOSTLER, H., MIGNON, K., mündl. Mitt.).

Die Kraftwerksgruppe Sellrain-Silz der TIWAG (1977-1981) brachte dann den bisher massivsten Einsatz des maschinellen Vortriebs; zeitweise standen vier Fräsen gleichzeitig in den kristallinen Schiefern der Ötztaler Masse im Einsatz, die zusammen 13,5 km Stollen auffuhren. Die von SCHMIDEGG ursprünglich für konventionellen Vortrieb erstellten geologischen Prognosen wurden für die Ausschreibung unter Berücksichtigung zusätzlich ermittelter geotechnischer Kennwerte für den Fräsvortrieb adaptiert (PIRCHER, 1980).

Bei zeitweise > 100 m Stollenvortrieb je Tag (Einzelleistungen bis 67 m/d) war die geologische Betreuung einschließlich der Aufstandsflächen der beiden Staudämme Finstertal und Längenta nur durch verstärkten Geologeneinsatz möglich. Neben O. SCHMIDEGG, schon seit Prutz-Imst ständiger Berater der TIWAG, und dem Autor des Berichts waren daher zeitweise W. LEIMSER und E. JACOBY tätig, als Vertreter der Wasserrechtsbehörde auch E. CLAR und W. DEMMER.

Ein durch eine Punktesystem quantifizierter Zerlegungsgrad ermöglichte in den Druckstollen Korrelationen zur Fräseleistung und zum dynamischen E-Modul (durch Stollenseismik ermittelt), wodurch geotechnische Homogenitätsbereiche auskartiert werden konnten.

Die im Druckschacht Silz infolge günstiger Randbedingungen und mehrjähriger Meßreihen ziemlich genau ermittelten Bergwasserverhältnisse ermöglichten bei Übertragung des hier gewonnenen Modells auf den Druckschacht der Oberstufe eine gezielte Abdichtung der betonausgekleideten Strecke durch Felsinjektionen. Das über die Bergwasserbilanz ermittelte Klufthohlraumvolumen betrug in der Unterstufe infolge Nähe der Inntallinie und Hangtektonik ca. 25 % der Felskubatur (TENTSCHERT, 1980). In der Oberstufe waren es lediglich 0.5 %; im unmittelbar benachbarten Dichtschirm des Staudammes

Finstertal wurde über die Kluftverfüllung der Kontrollbohrungen der gleiche Wert ermittelt (SCHWAB & TENTSCHERT, 1983).

Beim Neubau des Ruetzwerkes Fulpmes der ÖBB (in Fertigstellung) ist bemerkenswert, daß unterhalb der im Gefrierverfahren durchörterten Alluvionen Dolomite der Brennertrias erbohrt wurden, obwohl Ötztaler Gneise erwartet wurden. Dies war durch grabenbruchartige Absenkung an intensiven Staffelbrüchen möglich, welche vom Unterwasserstollen auch gequert werden mußten (MIGNON, mündl. Mitt.).

Die in schwedischer Bauweise errichtete Kaverne liegt zur Gänze im anfangs stark wasserführenden Dolomit (HEILBRUNNER, 1978).

In unmittelbarer Nähe ist zur Zeit der Neubau des KW Obere Sill der Stadtwerke Innsbruck im Gange. Die Überschiebungsbahn Ötztaler Gneismasse/Innsbrucker Quarzphyllit wurde trotz flachliegender, aber trockener Mylonitstreifen problemlos durchfahren, während die Gneise blockig zerlegt waren. Hohe SO_4 -Konzentrationen der Bergwässer lassen auf eingeschuppte Gesteine der Tarntaler Serie im Hangenden schließen, obwohl ein Durchörtern dieser Gesteine nicht erwartet wird. Der im Liegenden angetroffene Quarzphyllit ist relativ gut erhalten (HOINKES, mündl. Mitt.). Ähnliche Verformungsbilder der Ötztaler Überschiebung wurden vom Kaunertalkraftwerk und von der Unteren Sill beschrieben (SCHMIDEGG, 1966; CLAR, HORNINGER & SCHMIDEGG, 1964).

Die Sperre Zillergründl der TKW befindet sich zur Zeit ebenfalls im Bau. Die in Granitgneisen des Zentralgneiskerns des Tauernfensters gegründete Bogenmauer soll mit 180 m Höhe die höchste Talsperre Tirols und die zweithöchste Österreichs werden. Zum Teil auf den Arbeiten von KARL & SCHMIDEGG (1964 cum lit.) und zahlreichen anderen Tauernfensterbearbeitern fußend, haben G. HORNINGER, K. MIGNON und P. RUDAN die baugeologischen Voruntersuchungen durchgeführt. Der Triebwasserstollen zum Krafthaus Häusling wird die tuffitischen Gneise der Schönachmulde (Untere Schieferhülle) queren, während das Wasserschloß und Teile des Druckschachtes im Ahornkern zu liegen kommen. Auf die dort beschäftigten Baugeologen W. DEMMER, H. HALBMAYER, K. LIEGLER und W. NOWY warten somit interessante Aufgaben, deren Ergebnissen wir mit Spannung entgegensehen können.

Mit diesem gegenüber früheren Zeiten relativ großen Stab an Baugeologen, der durch die beiden von der prüfenden Behörde beigezogenen Professoren G. HORNINGER und E.H. WEISS ergänzt wird, manifestiert sich auch die wachsende Bedeutung der Geologie im Bauwesen. Nur durch die laufende Mitarbeit schon während der Entwicklung eines Projekts sowie die dauernde Anwesenheit auf der Baustelle, ist der Geologe in stetigem Kontakt mit dem planenden und ausführenden Ingenieur imstande, die einzelnen Mosaiksteine der geologischen Information zusammenzutragen und nutzbringend für das Bauwerk zu deuten. Dabei ist es naturgemäß nötig, oft wie bei einem Puzzle aus wenigen Steinen auf das geologische Gesamtbild zu extrapolieren, wobei dieses auch durch neue Informationen fallweise geändert werden muß. In diesen Fällen ist dann oft auch eine konstruktive Anpassung des Projekts an die geänderten Untergrundverhältnisse nötig. Die künftigen Projekte am oberen Inn, im Stubai, in Osttirol (Dorfertal-Matrei, Draustufe) oder die zunehmend auch in geologisch ungünstigeren Gegenden zu bauenden Kleinkraftwerke werden neben den Verkehrsbauten interessante und verantwortungsvolle Aufgaben für die Baugeologie in nächster Zukunft bringen. Diese zu meistern ist nur durch verstärkte Zusammenarbeit von Geologie und Bauwesen möglich, wie sie in der Vergangenheit in stets steigendem Maß gegeben war.

ERLÄUTERUNG ZUR ÜBERSICHTSKARTE

1	Achensee-KW	13	Untere Sill
2	Bösdornau	14	Schlegeis
3	Kirchbichl	15	Stillup
4	Gerlos	16	Wattenbach
5	Mühlau	17	Weißhaus
6	Sondierstollen Horlach	18	Heiterwang
7	Dürrach	19	Vomperbach
8	Kalserbach	20	Sellrain-Silz
9	Prutz-Imst	21	Ruetz
10	Überleitungen VIW	22	Obere Sill
11	Kaunertal	23	Zillergründl
12	Durlaßboden		

Literatur

- AMPFERER, O.: PERNT, M., REDL, Th. & K. INNEREBNER (1919): Der Achensee und die Ausnützung seiner Wasserkräfte. - Die Wasserwirtschaft, Sonderheft.
- AMPFERER, O. (1923): Geologische Bemerkungen zum Druckstollenproblem. - Z. Öst. Ing.- und Arch. Ver. 75, p. 283-285.
- AMPFERER, O. & K. PINTER (1927): Über geologische und technische Erfahrungen beim Bau des Achenseekraftwerkes in Tirol. - Jb. Geol. B.-A., 77, 279-333.
- AMPFERER, O. & J. BERGER (1929): Vom geologischen Aufbau der Achensee-Ufer, seine Auswirkung bei der Spiegelabsenkung. - Schweiz. Bauztg. 93, p. 170-174.
- AMPFERER, O. (1939): Die geologischen Hypothesen über die Formung des Talraumes zwischen Umhausen und Längenfeld im Ötztal. - Sitzber. Österr. Akad. Wiss., 148/H. 3, 4, p. 123-140.
- AMPFERER, O. (1939): Über die geologischen Deutungen und Bausondierungen des Maurachriegels im Ötztal. - Geologie und Bauwesen 11, p. 25-43.
- AMPFERER, O. (1943-1945): Geologische Ergebnisse bei den Quellaufschließungen in der obersten Mühlauer Klamm bei Innsbruck. - Mitt. Österr. Geol. Ges., 36.-38. Bd., p. 1-28.
- ASCHER, H. (1952): Über Gefügemessungen in Lockergestein (Gepatsch, Durlaßboden). - Geologie und Bauwesen 19/2, p. 69-76.
- ASCHER, H. (1952): Neuer Sachbestand und neue Erkenntnisse über das Bergsturzgebiet von Köfels (Ergebnisse des Taststollens Harlach). - Geologie und Bauwesen 19/2, p. 128-134.
- CLAR, E.; HORNINGER, G. & O. SCHMIDEGG (1964): Übersichtsexkursion Baugeologie. Mitt. Österr. Geol. Ges. 57/H. 1, p. 107-145.

- CLAR, E. (1965): Über den geologischen Gegensatz von Gestein und Fels. - Mitt. Inst. Grundbau und Bodenmechanik, TH Wien, H. 6, p. 41-53.
- CLAR, E. & U. ZISCHINSKY (1968): Stauraum Durlaßboden: Geologie der Hänge. - Österr. Zt. f. El.-Wirtsch., Jg. 21/H. 8, p. 397-405.
- DEMME, W. (1978): Geologie im Kraftwerksbau. - In: Energie aus schwarz und weiß, Koska-Verlag Wien-Berlin, p. 174-191.
- DETZLHOFFER, H. (1960): Die Stollenarbeiten für das Innkraftwerk Prutz-Imsst der Tiroler Wasserkraftwerke AG. - Montan-Rundschau, Sch. Tunnel- und Stollenbau.
- DETZLHOFFER, H. (1968): Verbrüche in Druckstollen. - Felsmech. u. Ing.-Geol., Suppl. IV, p. 158-180.
- DETZLHOFFER, H. (1969): Gebirgswassereinflüsse beim Stollenbau. - Rock Mech. 1, p. 207-240.
- EISELMAYER, M.; HUBER, H.; MIGNON, K. & R. WIDMANN (1970): Festigkeitseigenschaften des Gneises. - ISRM Belgrad, 3-41, p. 1-10.
- FUCHS, A. (1958): Über die Anwendung eines neuartigen räumlichen Modells in der praktischen Geologie. - Geol. u. Bauw., Jg. 24/2, p. 118-120.
- HAMANN, F. (1951): Die Dürrachzuleitung zum Achensee. - Österr. Zt. f. El.-Wirtsch., Jg. 4/H. 12, p. 389-398.
- HEILBRUNNER, J. (1978): Der Bau des Ruetzkraftwerkes Fulpmes. - Tiefbau, 6/78, p. 1-6.
- HEISSEL, W. (1969): Geologische Erfahrungen und Ergebnisse beim Bau des Triebwasserstollens für das Lech-Kraftwerk Weißhaus des EWK. - Festschrift EW Reutte, p. 36-39.
- HEISSEL, W. (1972): Gutachten zum Stuibenberg bei Umhausen/Ötztal. - Bundesministerium f. Land- u. Forstwirtschaft, Verhandlungsschrift KW Sellrain-Silz, p. 222-230.
- HÖRMANN, P.K.; MIGNON, K.; MORTEANI, G. & P. RUDAN (1971): Untersuchungen an Kugelgraniten aus den Zillertaler Alpen. - TPM, 16, p. 156-172.
- JÜNGLING, O. (1950): Das Gerloskraftwerk Zell am Ziller. - ÖWW, Jg. 2/H. 8-9, p. 153-172.
- KARL, F. (1954): Ein Beispiel für Anwendung gefügeanalytischer Arbeitsmethoden in der Baugeologie (Kraftwerkskaverne, Projekt Dorfertal-Huben, Osttirol). - Geol. u. Bauw., 21/1-2, p. 68-86.
- KARL, F. & O. SCHMIDEGG (1964): Exkursionsführer Hohe Tauern. - Mitt. Geol. Ges., 47, p. 1-15, Wien.
- KIESLINGER, A. (1957): Josef Stiny (mit Verz. d. Veröff.). Die Geschichte der Ingenieurgeologie. - Mitt. Geol. Ges., 50, p. 389-430, Wien.
- KLEBELSBERG, R.v. (1935): Geologie von Tirol. - Verlag Borntraeger, 872 pp.
- KLEBELSBERG, R.v. (1953): Die geologischen Verhältnisse. In: Das Trinkwasserwerk und Kraftwerk Mühlau. - Festschrift Stadtwerke Innsbruck, p. 41-46.
- LAUFFER, H. (1958): Gebirgsklassifizierung für den Stollenbau. - Geol. u. Bauw., 24/1, p. 46-51.

- LAUFFER, H. (1969): Wasserkraft im Bundesland Tirol. - ÖWW, 21, H. 9/10, p. 2-14.
- LAUFFER, H.; NEUHAUSER, E. & W. SCHÖBER (1971): Der Auftrieb als Ursache von Hangbewegungen bei der Füllung des Gepatschspeichers. - ÖIAZ, Jg. 14/H. 4, p. 101-113.
- MIGNON, K. (1958): Zur Tektonik zweier Gesteinsgruppen im Kaunertal und Pitztal. - Verh. Geol. B.-A., H. 1, p. 21-30.
- MIGNON, K. (1968): Zur Geologie im Raume der Oberstufe des Gerloskraftwerkes. - Österr. Zt. f. El.-Wirtsch., Jg. 21/H. 8, p. 391-397.
- MIGNON, K. (1971): Datierung von Holzfunden in Talverschüttungen im Montafon, Kaunertal und Zillertal. - Z. Gletscherkde u. Glazialgeol., VII/H. 1-2, p. 215-216.
- MIGNON, K. (1972): Überblick über die geologischen Verhältnisse (Zemmkraftwerke). - Österr. Zt. f. El.-Wirtsch., Jg. 25/H. 10, p. 432-436.
- MÜLLER, L. (1963): Der Felsbau, Teil 1. - Ferdinand-Enke-Verlag, 624 pp. cum lit.
- MÜLLER, L. (1978): Der Felsbau, Teil 3. - Ferdinand-Enke-Verlag, 945 pp. cum lit.
- NEUHAUSER, E. (1950): Die Ursache der Rohrbrüche im Druckschacht des Gerloskraftwerkes. - Österr. Zt. f. El.-Wirtsch., Jg. 2/8-9, p. 185-211.
- PARZER, J. (1966): Die Bauausführung Kraftwerk Untere Sill. - Festschr. Stadtw. Innsbruck, p. 46-65.
- PERNT, M. (1931): Das Kraftwerk zemm- und Tuxbach im Zillertal (Tirol). - Wasserkraft u. Wasserwirtsch., 12/15, Oldenbourg-Verlag, München.
- PIRCHER, W. (1980): Erfahrungen im Fräsvortrieb bei der Kraftwerksgruppe Sellrain-Silz. - Rock Mech., Suppl. 10, p. 127-154.
- PIRCHER, W. (1983): Österreichs alpine Wasserwirtschaft am Beispiel Tirols. - Schr.-Reihe ÖWW, H. 57, p. 175-221 (ÖWW-Tagung Feldkirch, Alpine Wasserkraft, 1983), Wien.
- REITHOFER, O. (1955): Der Berglerstollen am Westrande des Unterengadiner Fensters (Paznaun). - Jb. Geol. B.-A. 98, p. 1-14, Wien.
- REITHOFER, O. (1955): Geologische Beschreibung des Predigstollens (Paznaun, Tirol). - Mitt. Geol. Ges. 48, p. 207-220 (Kleblsberg-Festschrift), Wien.
- RIENÖSSL, K. & K. MIGNON (1971): Stollenbauten bei den Zemmkraftwerken. - Montan-Rundschau, H. 11, p. 275-283.
- SANDER, B. (1948): Einführung in die Gefügekunde geologischer Körper, Teil 1. - Springer-Verlag, Wien.
- SANDER, B. (1950): Einführung in die Gefügekunde geologischer Körper, Teil 2. - Springer-Verlag, Wien.
- SANDER, B. (1955): Gefügekunde und Baugeologie. - Mitt. Geol. Ges., 48, p. 257-270 (Kleblsberg-Festschrift), Wien.
- SCHMIDEGG, O. (1958): Geologische Aufnahme und Voraussage beim Bau des Wasserkraftwerkes Prutz-Imst (Tirol). - Geol. u. Bauw., 24/H. 1, p. 22-29.

- SCHMIDEGG, O. (1959): Geologische Ergebnisse beim Bau des Wasserkraftwerkes Prutz-Imst der TIWAG (Tirol). - Jb. Geol. B.-A., 102, H. 3, p. 353-406 + Beil., Wien.
- SCHMIDEGG, O. (1961-1964): Zur Höhe des Bergwasserspiegels (Druckstollen Kaunertal). - TIWAG, 5 interne Berichte.
- SCHMIDEGG, O. (1966): Zur Geologie der Kraftwerksgruppe Untere Sill. - Festschr. Stadtwerke Innsbruck, p. 21-32., Innsbruck.
- SCHWAB, H. & E. TENTSCHERT (1983, in Vorber.): Staudamm Finstertal - Geologie des Untergrundes und Abdichtung. - Felsbau, Glückauf-Verlag.
- STINY, J. (1922): Technische Geologie. - Enke-Verlag Stuttgart, 783 p.
- STINY, J. (1924): Die Mitarbeit des Geologen beim Bau von Wasserkraftanlagen. - Die Wasserwirtschaft, Nr. 2, p. 19-22.
- STINY, J. (1929): Einige Folgeerscheinungen der Spiegelsenkung von Speicherbecken. - Geol. u. Bauw., 1/1, p. 51-59.
- STINY, J. (1939): Gedanken über das Maurach von Umhausen-Köfels-Längenfeld. - Zentralbl. f. Min., Jg. 1939, Abt. B, H. 6, p. 209-216.
- STINY, J. (1941): Unsere Täler wachsen zu. - Geol. u. Bauw. 13, p. 71-79.
- STINY, J. (1942): Nochmals der "Talzuschub". - Geol. u. Bauw. 1, p. 9-14.
- STINY, J. (1950): Tunnelbaugeologie. - Springer-Verlag, 366 p., Wien.
- STINY, J. (1955): Die baugelogischen Verhältnisse der österr. Talsperren. - Die Talsperren Österreichs, H. 5, Verlag des ÖWW, Wien, 98 p. cum lit.
- TENTSCHERT, E. (1980): Kraftwerksgruppe Sellrain-Silz: Kluftwasserhaushalt der Druckschächte. - IV. Bodenseetagung für Ingenieurgeologie, Bregenz 1980. Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck, 10/5, p. 204-206 (Kurzfassung).
- TENTSCHERT, E. (1975, 1976): Hydrogeologische Berichte, Ersatzwasserversorgung Arzl im Pitztal. - TIWAG, interne Berichte.
- WOLF, H. (1872): Gesteinsuntersuchungen für das Arlbergbahnprojekt. - Ib. k.k. Geol. R.-A.
- ZISCHINSKY, U. (1965): Instabile Talflanken (über Bergzerreißung und Talzuschub). - Diss. Univ. Wien, 157 p. + Beil.
- ZISCHINSKY, U. (1967): Bewegungsbilder instabiler Talflanken. - Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud., H. 17, p. 127-168.
- ZISCHINSKY, U. (1968): Über Sackungen. - Felsmech. u. Ing.-Geol., 6/H. 4.
- ZISCHINSKY, U. (1969): Über Bergzerreißung und Talzuschub. - Geol. Rdsch., 59, p. 974-983.
- ZISCHINSKY, U. (1970): Ingenieurgeologische Karte Durlaßboden. - Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud., 19, p. 287-294.
- Darüber hinaus sei noch auf die umfangreiche geologische und technische Fachliteratur sowie auf unveröffentlichte geologische und geotechnische Berichte bzw. Gutachten in den Archiven der Bauherren, ausführenden Bau-firmen und der prüfenden Behörden hingewiesen.