

Baugeologische Probleme bei der Planung und beim Bau von Wasserkraftwerksanlagen in Asien

G. RIEDMÜLLER

EINLEITUNG

Sämtliche Appelle und Maßnahmen zum Energiesparen werden nicht verhindern können, dass der Weltenergiebedarf in den nächsten Jahrzehnten weiterhin beträchtlich ansteigen wird. Mittelfristig wird die weltweite Bewältigung der Energieprobleme zur Hauptsache durch den Ausbau der Wasserkraft ermöglicht werden. Es sei dabei angemerkt, dass merkwürdigerweise von Umweltschützern die umweltfreundliche Energienutzung durch Wasserkraft auf das entschiedenste bekämpft wird, während vergleichsweise kalorische Kraftwerke weit weniger im Visier gezielter Umweltpolemiken liegen.

Während in den westlichen Industrieländern entweder keine Ausbaumöglichkeiten für die Wasserkraft mehr zur Verfügung stehen oder noch bestehende Ausbaumöglichkeiten, wie etwa in Österreich, aus kurzfristigen, betriebswirtschaftlichen Überlegungen nicht genutzt werden, kommt es in Südamerika und Asien derzeit zu einem gewaltigen Boom beim Bau von Wasserkraftwerksanlagen, die meist neben der Energiegewinnung auch für die Trinkwasserversorgung, für Bewässerung und für Hochwasserschutzmaßnahmen genutzt werden. Im folgenden wird über einige baugeologische Probleme bei der Planung und beim Bau von Wasserkraftwerken in der Türkei, im Iran, in Bhutan, in Thailand und in China berichtet.

CINE Dam & HEPP

Das Wasserkraftwerk, welches sich ca. 100 km nordöstlich von Bodrum in der Westtürkei befindet, soll den Cine Fluß, der bei Aydin in den Großen Menderes einmündet, energiewirtschaftlich nutzen (Abb.1). Die Sperrenstelle liegt im Menderes Gebirge. Es ist dies ein aus Augengneisen und Marmoren bestehender Kristallinkomplex mit neogenen, tonig-schluffigen Deckschichten.

Im Auftrag der Geoconsult-Wien bestand meine Aufgabe in der geologischen Beurteilung einer RCC-Damm Variante, die an Stelle des ausgeschriebenen, ca. 115 m hohen Steinschüttdammes gebaut werden sollte.

Die vom Bauherrn durchgeführten geologisch-geotechnischen Untersuchungen für das Ausschreibungsprojekt ergaben sehr günstige Untergrundverhältnisse für die Gründung der Sperre. Es wurde festgestellt, dass der Untergrund aus kompakten Gneisen mit hoher Festigkeit besteht. Einzelne hohe Wasserdurchlässigkeitswerte wurden als lokale Phänomene gedeutet.

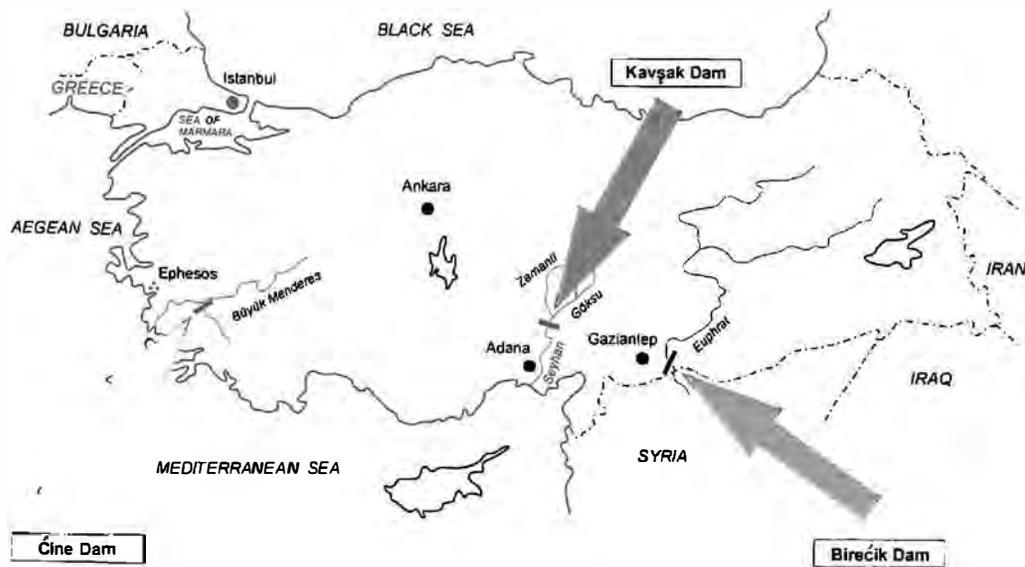


Abb. 1: Übersicht

Im Gegensatz zu dieser optimistischen Beurteilung fanden sich bei unseren ersten Geländebegehungen¹ Hinweise auf wesentlich ungünstigere Gründungsverhältnisse. Es wurden flache, mehrere Dezimeter bis Meter mächtige Kataklysezonen beobachtet. Im Hangenden dieser Störungen kam es offensichtlich durch Blockkriechen zu einer tiefreichenden Gebirgsauflockerung nach vertikalen Hauptklüften.

Weiters wurde festgestellt, dass die in der Umgebung anstehenden und beim Aushub anfallenden Gneise infolge ihres hohen Glimmeranteils als Betonzuschlagstoffe nicht verwendet werden können. Als geeignete Betonzuschlagstoffe fanden sich Kalkmarmore, die in einer Entfernung von ca. 5 km in Steinbrüchen abgebaut werden.

Als eine wesentliche Voraussetzung für die ökonomische Errichtung des RCC-Dammes wurde ermittelt, dass in einer Entfernung von einigen Zehnerkilometern von der Sperrenstelle Flugasche in einem kalorischen Kraftwerk produziert wird.

HEPP Kavşak

Das Projektgebiet befindet sich im östlichen Taurus nördlich von Adana (Abb. 1).

Unterhalb des Zusammenflusses von Göksu und Zamanlı (Yenice), die sich zum Seyhan Fluß vereinigen, soll eine Kraftwerkstufe, bestehend aus Wehr, Triebwasserstollen und Krafthaus errichtet werden. Der Triebwasserstollen mit einer Länge von ca. 9 km und einem Durchmesser von ca. 10 m ist der kritische Bauteil dieses Projektes. Gemäß

¹Die Geländebegehungen erfolgten gemeinsam mit Dipl.Ing.J.Daller (Geoconsult-Wien).

Ausschreibungsprojektierung, die vom türkischen Bauherrn durchgeführt wurde, waren keine nennenswerten geotechnischen Probleme zu erwarten. Trotz dieser günstigen Prognose wurde die Geoconsult-Salzburg vor Baubeginn von der bauausführenden Firma mit einer geotechnische Risikobeurteilung und technischen Optimierung des Vortriebes beauftragt.

Bei den geologischen Geländearbeiten², die als Grundlage für die geotechnische Risikobeurteilung in Form einer flächendeckenden geologischen Kartierung im Maßstab 1:5000 durchgeführt wurde, ließ sich ein komplizierter geologischer Bau erkennen. Es wurde festgestellt, dass eine verschuppte Serie von paläozoischen Kalkmarmoren, Mergeln und Tonschiefen vorliegt. Die zerscherten, zu tonigen Kataklasiten umgewandelten Tonschiefer bildeten Bewegungshorizonte, auf denen es zu gravitativen Kriechbewegungen großer Kalkmarmorschollen kam. Im Zuge der quartären Talbildung erfolgte ein langsames Ablösen von Marmorkörpern aus dem Gebirgsverband. Es entstand ein charakteristisches Hangprofil mit Verebnungen, hangparallelen Furchen, die steilstehende Störungen abbildeten, und Steilhängen. In Richtung Hangfuß kam es zu einer zunehmenden Auflösung der Marmorschollen in ein grobes Blockwerk (Abb. 2, 3).

Die geotechnischen Folgerungen aus dem Geländebefund waren ein hohes Gefährdungspotential durch Bergwassereinbrüche, längere Stollenabschnitte in tonigen Kataklasiten mit druckhaften Verhältnisse sowie Standsicherheitsprobleme infolge tieferreichender Gebirgsauflockerung.

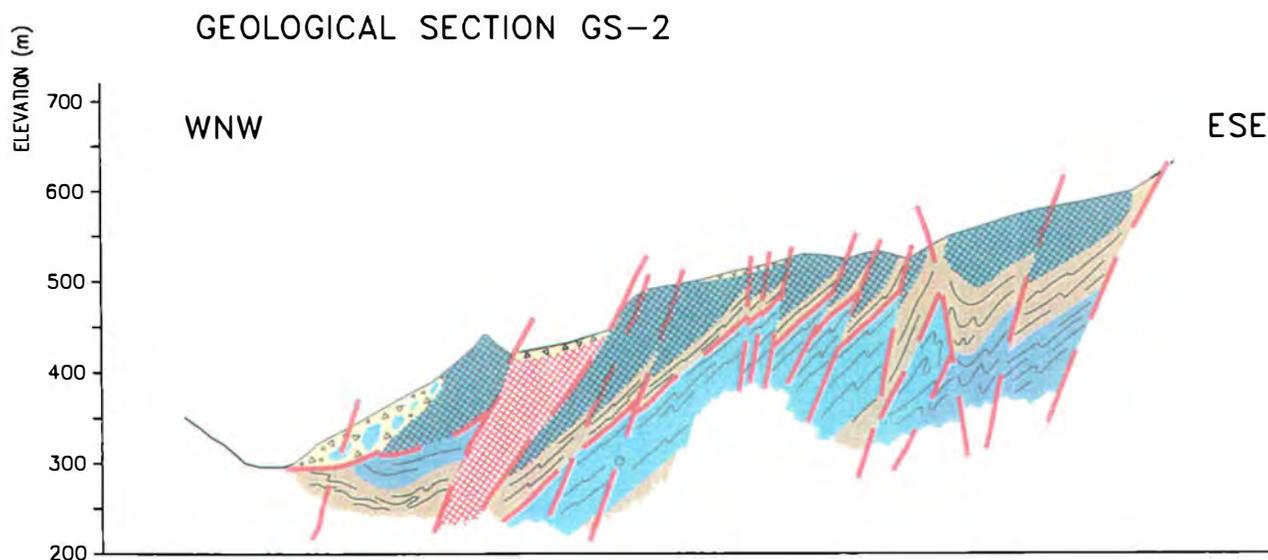


Abb. 2: Hepp Kavsak

²Die geologische Kartierung wurde in Teamarbeit mit Mag.I.Pöschl und Dr.J.Kleberger (Geoconsult) sowie Mag.A.Fasching und Mag.A.Steidl (Gruppe Geotechnik Graz) durchgeführt.

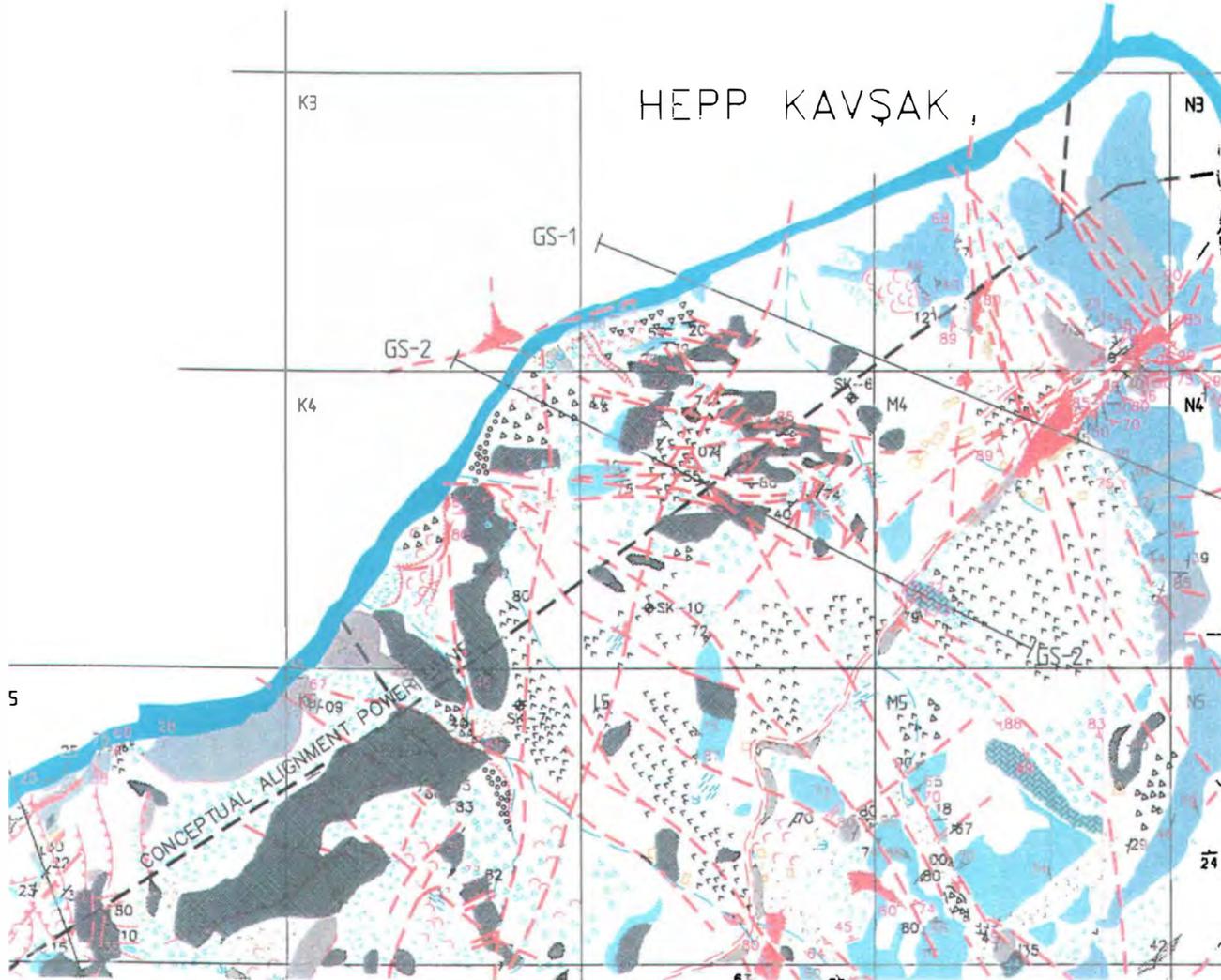


Abb. 3: Hepp Kavsak

HEPP Birecik Multipurpose Dam Project

Das Wasserkraftwerk Birecik gehört zum ehrgeizigen Energieversorgungs- und Bewässerungsprogramm GAP, mit dem die türkische Regierung eine wesentliche Voraussetzung zur wirtschaftlichen Entwicklung und politischen Stabilisierung Ostanatoliens schaffen will.

Die Dammsstelle befindet sich am Euphrat, wenige Kilometer flußaufwärts der Ortschaft Birecik (Abb. 1).

Das Dammbauwerk mit einer Gesamtkronenlänge von 2510 m und einer maximalen Höhe von 62,5 m besteht aus einem Schüttdamm mit Innendichtung und einer Betongewichtsmauer. Die Betriebseinrichtungen - Entnahmebauwerk und Hochwasserentlastung - sind in die Betongewichtsmauer integriert. Die installierte Leistung beträgt 672 MW. Als mittlere Jahresarbeit sind 2500 GWh geplant. Die Hochwasserentlastung ist für einen maximalen Abfluß (PMF) von 17353 m³/s ausgelegt.

Die ersten Variantenuntersuchungen für das Kraftwerksprojekt begannen bereits im Jahre 1970. Sie wurden an fünf Standorten durch die türkische Regierung (General Directorate of Electrical Survey Administration) und die staatliche Elektrizitätsgesellschaft (General Directorate of State Hydraulic Works) durchgeführt. Als günstigste Sperrenstelle fand sich ein Bereich wenige Kilometer flußaufwärts der Ortschaft Birecik.

Die Machbarkeitsstudie wurde 1984 durch eine Planungsgemeinschaft aus Verbundplan Wien und Temelsu Ankara durchgeführt. Von derselben Gruppe erfolgte 1985 der Ausschreibungsentwurf. Er bildete die Basis für ein BOT (Built-Operate-Transfer) Modell, das im Jahr 1987 einem internationalen Konsortium übergeben wurde. 1994 wurde von der Verbundplan, als Mitglied des Konsortiums, die Detailplanung begonnen.

Der Auftrag zur Untergrunderkundung für die Detailplanung erging an das Institut für Technische Geologie und Angewandte Mineralogie der TU Graz. Die Erkundungsarbeiten wurden in Zusammenarbeit mit der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik Wien, Abteilung Ingenieurgeophysik, durchgeführt.

Die geologisch - geotechnischen Erkundungen für den Basic Design, die von 1980 bis 1984 durchgeführt wurden, umfassten Luft- und Satellitenbildauswertungen, geologische Kartierungen, Kernbohrungen im Umfang von 3292 m, Lugeon Tests, Versuchsinjektionen, Grundwassermessungen, geophysikalische Untersuchungen und Laborversuche. Als Ergebnis wurde festgestellt, dass der Fels aus flach lagernden tertiären Kalken besteht, die von ca. 10 bis 15 m mächtigen Flussalluvionen bedeckt werden. Es wurde darauf verwiesen, dass im Bereich des Dammes keine tektonischen Störungen vorliegen und Felsbereiche mit hohen Wasserdurchlässigkeiten auf eine schmale oberflächennahe Zone beschränkt sind.

Die günstigen Erkundungsergebnisse des Basic Designs bildeten die Grundlage für den BOT - Vertrag, der 1993 an ein internationales Baukonsortium vergeben wurde.

Im Auftrag des Konsortiums wurden von uns im Zeitraum von 1994 bis 1996 die geologisch-geotechnischen Erkundungen für die Detailplanung durchgeführt. Das Erkundungsprogramm bestand aus einer geologischen Kartierung im Maßstab 1:5000, geophysikalischen Messungen³, Kernbohrungen, Bohrloch in situ Versuche und Labor Tests. Über die Ergebnisse dieser Erkundung wurde bereits mehrmals berichtet (1, 2, 3).

Bei unserer systematisch durchgeführten Erkundung konnte gezeigt werden, dass die zunächst sehr einfach dargestellten geologischen Verhältnisse doch deutlich komplizierter sind. Es fand sich im Bereich der Sperrenstelle ein Störungssystem, bestehend aus älteren Abschiebungen und jüngeren dextralen Seitenverschiebungen (Abb. 4).

³ Die geophysikalische Erkundung mittels Refraktionsseismik und Geoelektrik wurde von Dr.S.Seren (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien) durchgeführt.

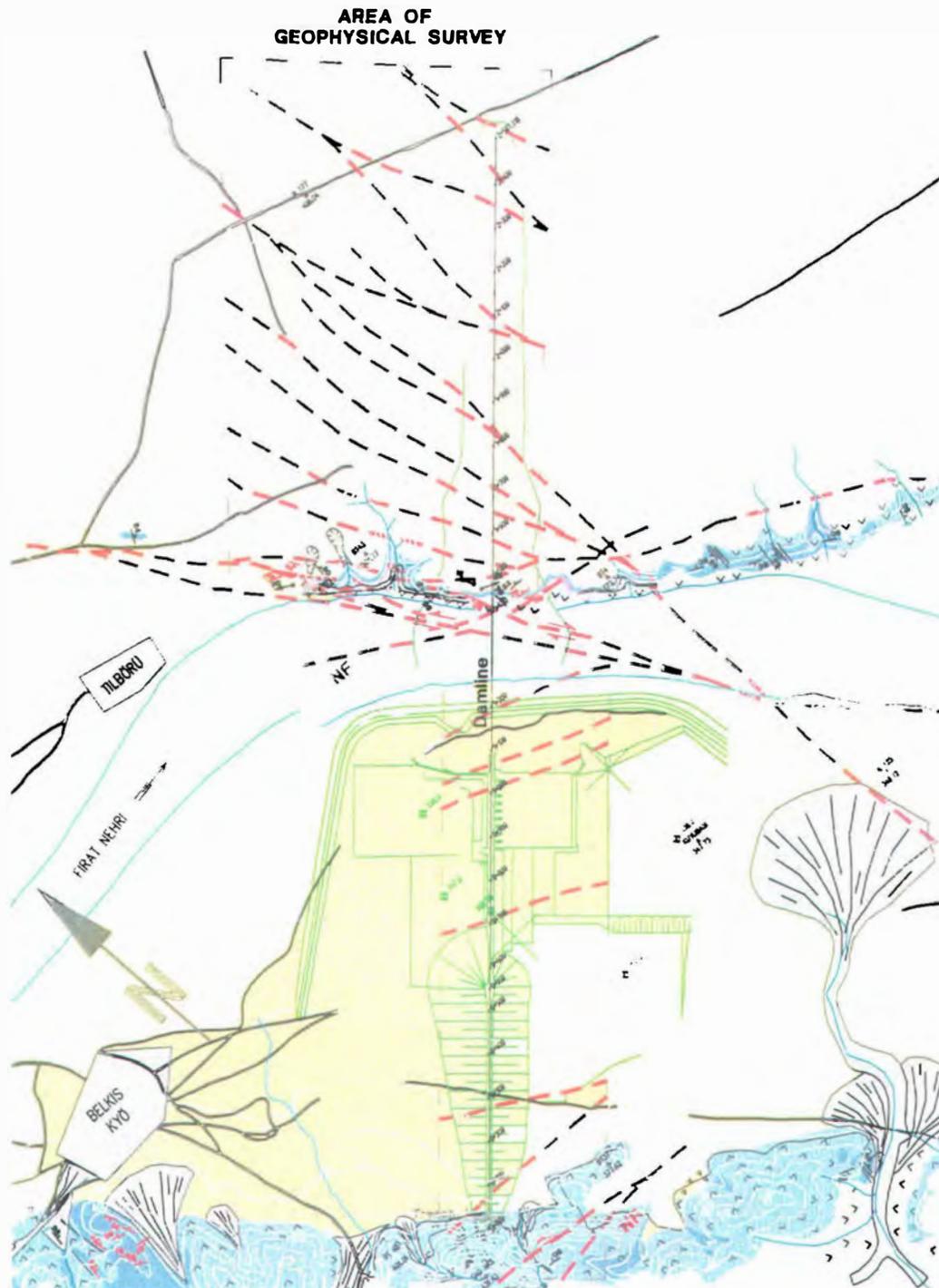


Abb. 4: Lageplan

Aus einer Analyse der Störungskinematik, Beobachtungen der Kluftmorphologie und seismischen Messungen wurde auf eine horizontal orientierte größte Druckspannung geschlossen (1).

Lugeon-Tests, die infolge des vertikalen, orthogonalen Kluftsystems ausschließlich in geneigten Bohrungen durchgeführt wurden, ließen erkennen, dass die Störungen bis in große Tiefen hohe Wasserdurchlässigkeiten aufwiesen. Besondere Aufmerksamkeit galt schmalen Einschaltungen von Mergeln und Tonen, für die eine große Horizontbeständigkeit festgestellt wurde.

Für die Beurteilung der Dammgründung und Gestaltung des Dichtschirms wurde ein Gebirgsklassifizierungssystem entwickelt (3). Es stützte sich auf visuell erfaßbare Bohrkernparameter, wie Lithologie, RQD-Wert, Zerlegungsgrad und Verwitterungsgrad (Abb.5). Die daraus ermittelten Gebirgsqualitäten korrelierten mit geophysikalischen Meßdaten und den Ergebnissen der Lugeon-Tests (Abb.6).

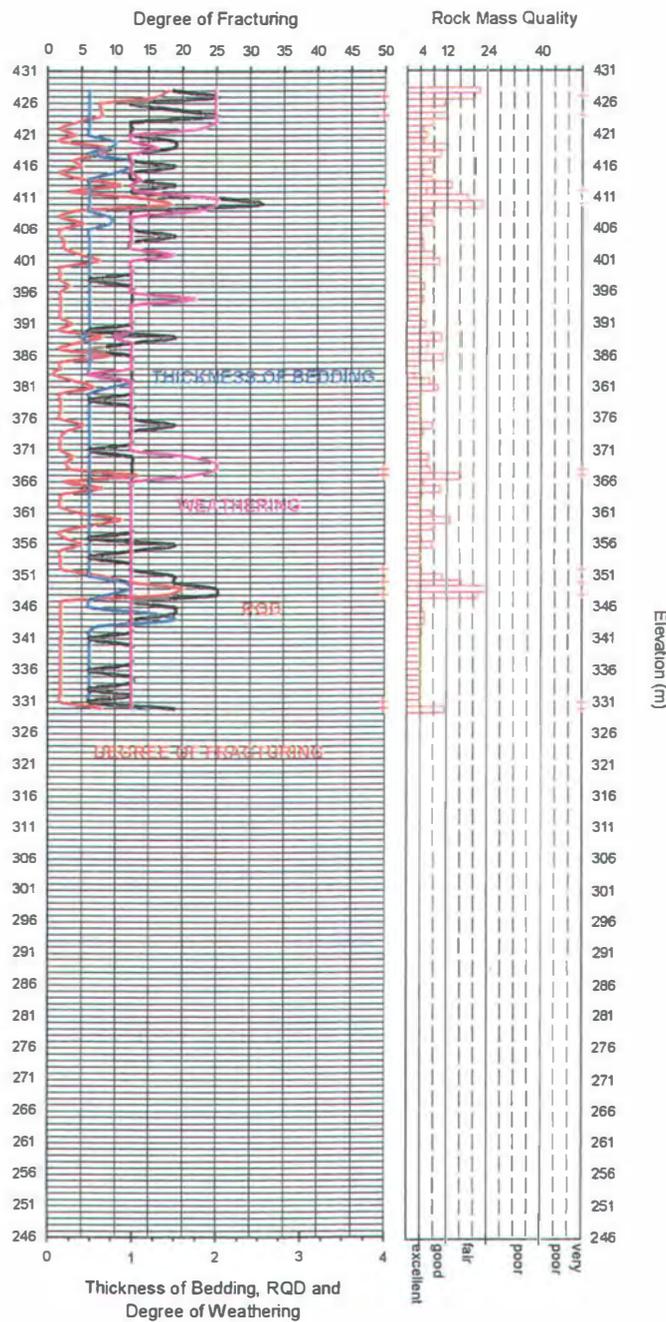


Abb. 5: Bohrkernparameter

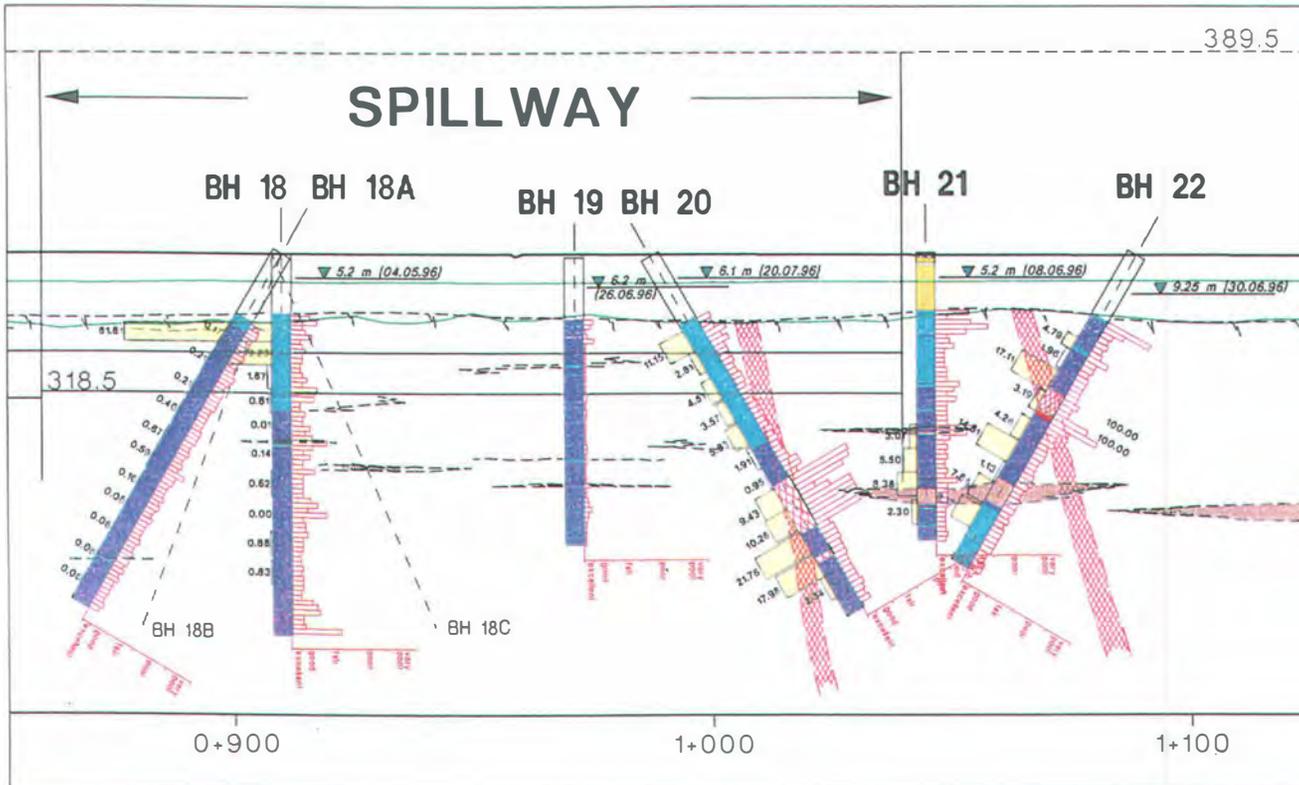


Abb. 6: Meßergebnisse

Die geologisch-geotechnischen Erkundungen für die Detailplanung und den Bauentwurf führten zu einer wesentlichen Ergänzung des aus dem Basic Design vorliegenden Untergrundmodells und ermöglichten eine Optimierung von Planung und Bauausführung.

Kourhang III Diversion Project

Es ist dies ein Bewässerungsprojekt westlich von Isfahan im Iran. Das Projekt besteht im wesentlichen aus einem Steinschüttdamm und einem ca. 23 km langen Überleitungsstollen. Mit dem Bau des Stollens wurde vor kurzem begonnen. Im Auftrag der Geoconsult - Wien bestand meine Aufgabe in einer geotechnischen Beurteilung der Dammstelle im Kourhang Tal⁴.

Der Untergrund besteht aus kretazischen bis alttertiären Kalken, die diskordant von roten miozänen und grauen bis grünen altpleistozänen Mergeln überlagert werden. Die jüngsten Ablagerungen bilden quartäre, teilweise konglomerierte Flußterrassen und Bergsturzmassen sowie Hangschutt.

Der Geländebefund ergab, dass die von einer international erfahrenen, europäischen Beratungsfirma ausgesuchte Dammstelle ungeeignet ist.

⁴Die Geländebegehungen erfolgten gemeinsam mit Dipl.Ing.J.Daller (Geoconsult-Wien).

Die Talmorphologie ließ erkennen, dass im Bereich des linken Dammwiderlagers eine epigenetische Talfurche vorliegt, die durch quartäre Mergel und Bergsturzmassen verfüllt ist. Eine stabile, in Richtung Hang einfallende Kalkrippe am linken Flußufer bildete vor der Erosion des epigenetischen Tales die ursprüngliche rechte Talflanke. An der rechten Talseite wurden tiefreichende Massenbewegungen und seichte aktive Rutschungen sowie Schuttströme beobachtet.

Aufgrund des Geländebefundes wurde eine Neuplanung des Dammes flußaufwärts der vorgesehenen Dammsstelle empfohlen.

Baso Chhu - Ruri Chhu Projekt

Das von der österreichischen Entwicklungshilfe finanzierte Wasserkraftwerk Baso Chhu - Ruri Chhu in Bhutan nützt die Energie der Flüsse Baso Chhu und Ruri Chhu. Es sind dies Nebenflüsse des Sankosh Flusses. Der Sankosh befindet sich in einer Höhe von ca. 1000 m. Die Wasserscheide zwischen den beiden Nebenflüssen erreicht eine Höhe von ca. 2200m (Abb.7).

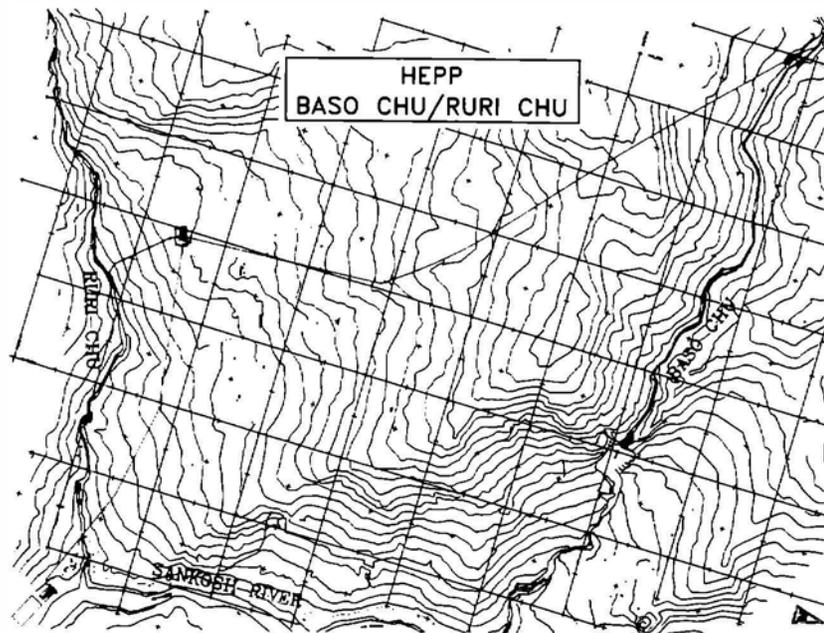


Abb. 7: Übersicht

Das Wasserkraftwerk ist zweistufig. Die Oberstufe besteht aus einem Wehr im Baso Chhu mit einem Einlaufbauwerk in einer Höhe von 1790 m. Der Triebwasserstollen hat eine Länge von 2700 m bei einer max. Überlagerung von 466 m. Das Krafthaus befindet sich auf einer Terrasse in 1435 m. Die Rohfallhöhe beträgt 333 m. Die Unterwasserrückgabe (max. 8 m³) erfolgt durch ein Ausgleichsbecken über einen temporär freien Abfluß in den Ruri Chhu.

Die Oberstufe befindet sich im Bau. Derzeit erfolgt der Vortrieb des Triebwasserstollens. Für die Unterstufe erfolgt gegenwärtig die Detailplanung.

Dort, wo die Scherzonen zu Tage treten, finden sich instabile, erosionsanfällige Hangbereiche. Bei der Detailplanung des Kraftwerkes konnten die geologischen Gegebenheiten insofern berücksichtigt werden, als bei der Situierung wichtiger Bauteile, wie z.B. Kraftwerk, Wasserschloß, Stollenportal und Unterwasserrückgabe geologische Problemzonen rechtzeitig vermieden wurden (Abb.9).

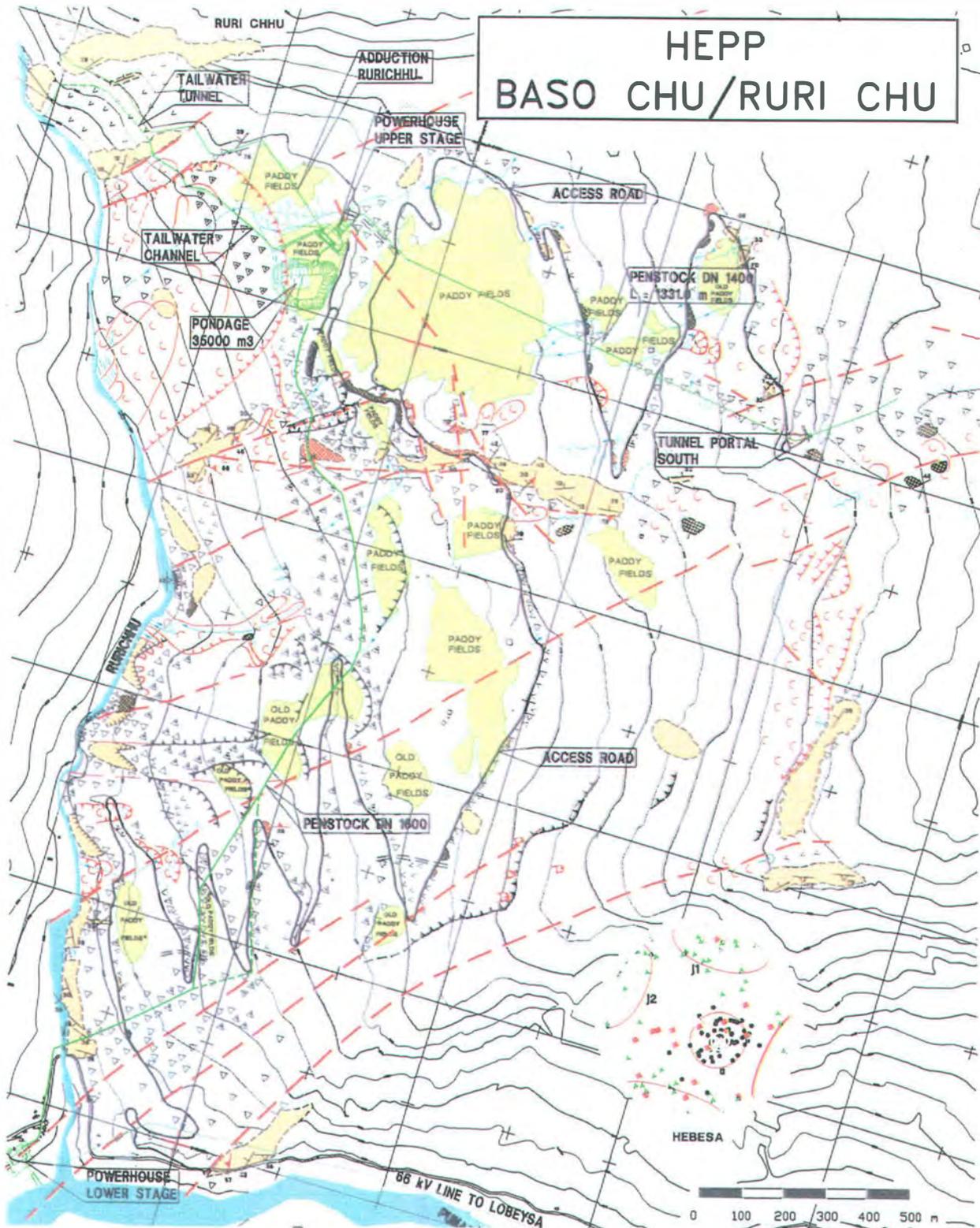


Abb. 9: Geologische Übersicht

Das Projektsgelände befindet sich in einem Gebirge mit Höhen zwischen 1000 und 1500 m. Die Höhen der Talungen variieren zwischen 50 m, 260 m und 700 m.

Die Untergrundverhältnisse sind ungemein komplex. Das Grundgebirge besteht aus polymetamorphen präkambrischen Schiefergneisen, Glimmerschiefern und Biotitmarmoren. Das präkambrische Kristallin wurde durch eine junge Granitisierung teilweise anatektisch aufgeschmolzen. Das sedimentäre Deckgebirge setzt sich aus einer wechselhaften Abfolge von Quarziten, Tonschiefern, Grauwacken, Siltsteinen, Konglomeraten, Kalken und Dolomiten zusammen, deren zeitlicher Umfang vom Kambrium bis in die Trias reicht. Im Zuge der variszischen und alpidischen Gebirgsbildung kam es zu einer starken Einengungstektonik und teilweise zu einer schwach metamorphen Überprägung. Kretazische und tertiäre magmatische Aktivität führte zur Bildung basaltischer, andesitischer und rhyolithischer Gänge. Die jüngsten tektonischen Vorgänge bewirkten die Bildung von Pull-apart Becken, die mit neogenen Sedimenten gefüllt sind (4).

Eine der markantesten Störungszonen ist die „Moei-Uthai Thani Fault“. In der geologischen Literatur wird eine mögliche Aktivität der Störung diskutiert. Wir gewannen im Gelände aufgrund morphologischer Merkmale den Eindruck, dass die Störung zumindest in Teilabschnitten aktiv ist.

Nachdem nur sehr lückenhafte geologische und geotechnische Daten vorlagen, wurde für den Variantenvergleich eine Gebirgsklassifizierung entwickelt, die sich auf Klassifizierungsparameter stützte, die bei allen Varianten anwendbar waren.

Die Parameter umfassten lithologische Kenndaten, differenziert nach einer Abschätzung der Gesteinsfestigkeit, die Orientierung von Schieferungsflächen zur Stollenachse, eine Abschätzung der Abrasivität aufgrund von Quarzgehalt und einachsialer Gesteinsfestigkeit und eine Gliederung des Deformationsverhaltens des Gebirges in drei Kategorien ($\sigma_{1\text{-Gebirge}} / \sigma_{\text{tangential}} < 1$, $\sigma_{1\text{-Gebirge}} / \sigma_{\text{tangential}} = 1$, $\sigma_{1\text{-Gebirge}} / \sigma_{\text{tangential}} > 1$). Diese Einstufung ermöglichte eine vergleichende Ermittlung eines Auslastungsgrades des Gebirges entlang der Stollentrassen.

Xiaolangdi Mehrzweckwasserkraftwerk

Dieses Wasserkraftwerksprojekt am Gelben Fluss ist das Kernstück eines Investitionsprogrammes Chinas in der Höhe von ca. 7 Mrd US\$, mit dessen Hilfe zwischen den Jahren 1992 und 2010 der Hochwasserschutz für mehr als 100 Millionen Menschen stromabwärts verbessert und die Sedimentablagerungen durch den Gelben Fluss vermindert werden sollen. Die Lebensdauer ist wegen der hohen Verlandungsrate auf 40 - 60 Jahre beschränkt⁷. Derzeit müssen die Deiche des Unterlaufes jedes Jahr um mindestens 10 cm erhöht werden.

⁷die durchschnittliche Schwebfracht beträgt 941 kg/m³. Das sind 1.44⁹ m³ Sediment /Jahr. Der maximale Wert wurde 1947 mit 71.9⁹ m³ erreicht.

Durch den Bau des Dammes wird die Sedimentation im Unterlauf für einen Zeitraum von mindestens 20 Jahren gestoppt. In diesem Zeitraum sollen geeignete Hochwasserschutzanlagen gebaut werden, die eine kontrollierte Abgabe bis zum Gelben Meer ermöglichen sollen.

Ferner dient der Damm zur Stromerzeugung mit einer Kapazität von 1,800 MW und der Bereitstellung von Wasser für die Bewässerung von 2 Millionen Hektar landwirtschaftlich genutzter Fläche.

Das Projektgebiet befindet sich nahe der Stadt Luoyang (Abb.11) am südlichen Rand des nordchinesischen Blockes, im Bereich des ESE - WNW streichenden Qinling Shan Störungssystem, das den nordchinesischen Block vom südchinesischen Block trennt.

Nahe dem Damm findet sich als weiteres Störungssystem der NNE-SSW streichende Shanxi Graben, der seit dem Pliozän aktiv ist.

Im Projektgebiet läßt sich eine ESE einfallende Schichtfolge aus permischen bis triassischen Sandsteinen und Siltsteinen beobachten. Das Grundgebirge wird von Lössen und quartären Flußablagerungen bedeckt.

Im Ausschreibungsprojekt wurden aufgrund einer quantitativen Gebirgsklassifizierung günstige Untergrundverhältnisse für die Herstellung der Untertagebauten vorhergesagt.



Abb. 11: Geographische Übersicht

Beim Vortrieb der weitläufigen Stollensysteme (Abb.12) ergaben sich Probleme infolge eines systematischen Überprofils und des Auftretens von Bohrlochverstürzen. Die laut Ausschreibung vorgesehenen SN-Anker konnten nur schwer eingebaut werden. Infolge offener Klüfte und durch Ausspülen toniger Zwischenlagen kam es zu einer Vergrößerung der Bohrlöcher. Dieser Umstand sowie häufiger Bohrlachnachfall führte zu Schwierigkeiten bei der Verfüllung der Bohrlöcher mit Zement.

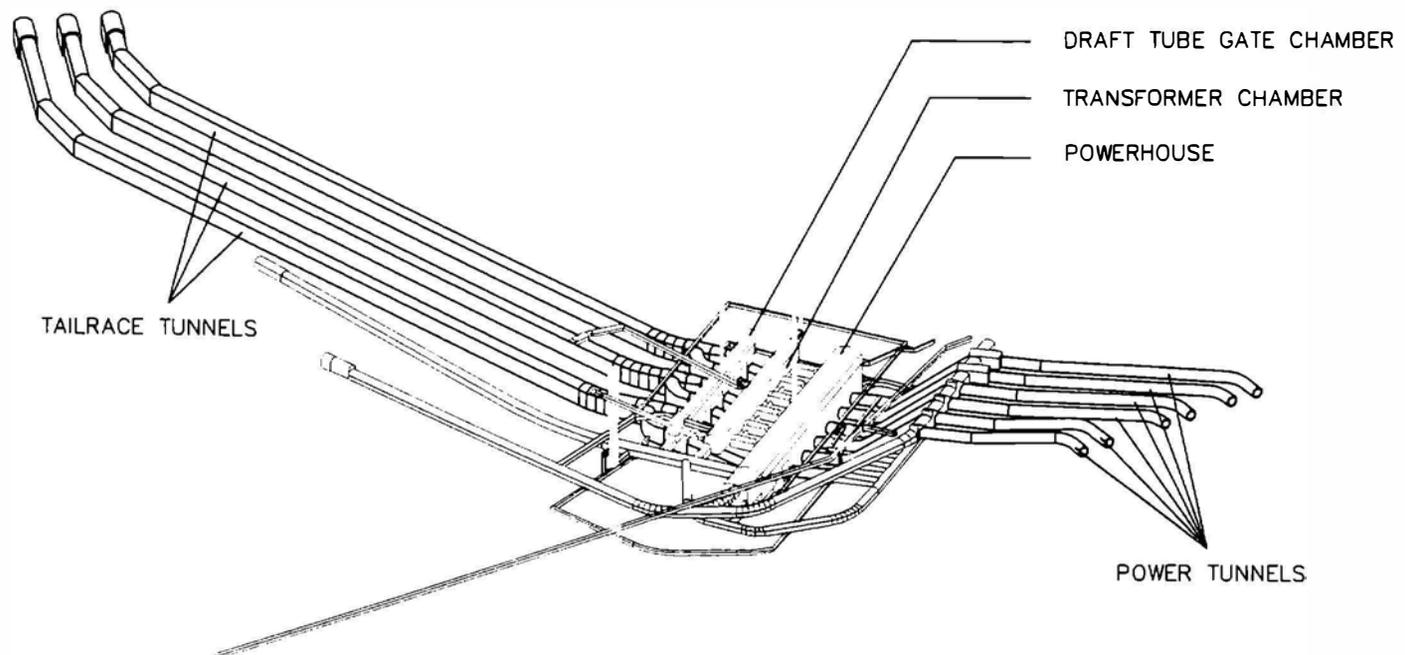


Abb. 12: Untergrundstrukturen

Die Probleme beim Vortrieb der Stollen waren für zwei europäische Firmenkonsortien Anlass von Nachtragsforderungen. Mit der Durchführung der ingenieurgeologischen Erkundung zur Unterstützung der Nachtragsforderung wurde das Institut für Technische Geologie und Angewandte Mineralogie der TU Graz beauftragt⁸.

Bei den geologischen Untersuchungen stützten wir uns zur Hauptsache auf geologische Geländebeobachtungen sowie auf die Ergebnisse der Stollendokumentation. Die Rekonstruktion der quartären geologischen Entwicklung des Projektgebietes ermöglichte eine geologische Begründung für die unerwarteten Vortriebserschwerisse. Es konnte nachgewiesen werden, dass quartäre Extensionstektonik in Verbindung mit gravitativen Kriechbewegungen von Sandsteinschollen auf zerscherten Tonschieferinschaltungen zu einer tiefgründigen Gebirgsauflockerung geführt hatten (5).

⁸ Die geologischen Untersuchungen wurden gemeinsam mit Mag.A.Steidl durchgeführt.

Schlußfolgerungen

Wenn man aus dieser unsystematischen Zusammenstellung von geologischen Problemen bei Wasserkraftwerksprojekten in Asien eine Schlussfolgerung ziehen will, so ist es jene, dass der Bau von Wasserkraftwerken entgegen dem Trend in den westlichen Industrieländern nach wie vor große Bedeutung hat, und dass die Planung und der Bau von Wasserkraftwerken zu den reizvollsten und interessantesten Aufgaben für Ingenieure und Geologen gehört.

Literatur:

1. Riedmüller, G., Steidl, A., Seren, S. & Halbmayer, H.: Auswirkung des primären Spannungszustandes auf die Gründung des Birecik Dammes.- Mitteilungsheft 15, 12. Christian Veder Kolloquium, "Baugrunderkundung" vom Inst. für Bodenmechanik und Grundbau, TU Graz, 3. - 4.4.1997.
2. Riedmüller, G., Steidl, A., Seren, S., Naderer, R. & H. Halbmayer: The influence of Site Investigations on the Birecik Dam, Design and Construction Contract.- Second International R & D Conference, 21. - 24. 10. 1997, Vadodara, India.
2. Riedmüller, G., Liu, Q., Pölsler, P. & A. Steidl: Determination of rock mass qualities for the foundation of the Birecik dam.- 8th Congress IAEG, 21.-25.9.1998, Vancouver, Canada, 3281-3286, Balkema, Rotterdam.
4. Baum, F., E. v. Braun, L. Hahn, A. Hess, K. E. Koch, G. Kruse, H. Quarch & M. Siebenhüner: On the Geology of Northern Thailand.- Beiheft Geol. Jahrb., H.102, 23 p. Hannover, 1970.
5. Riedmüller, G., Steidl, A. & W. Schubert: The importance of understanding the geological history for problem solutions in engineering practise", NARM-Congress 98, 3. - 5.6.1998, Cancun, Mexiko.