

Von der Bohrkernauswertung zur Gebirgsklassifikation am Beispiel des Projektes Kraftwerk Ybbs/Persenbeug - 7. Maschine

G. JUNG

1. Einleitung und Projektvorstellung

Das Donaukraftwerk Ybbs/Persenbeug wurde in den Jahren 1954 bis 1958 als erstes Flußkraftwerk im österreichischen Donauabschnitt errichtet. Die Angleichung an den Ausbaugrad der später errichteten Kraftwerke erforderte den Einbau eines zusätzlichen (7.) Hauptmaschinensatzes, der nur im rechtsseitigen Uferbereich bewerkstelligt werden konnte. Der volle Betrieb der anderen Maschinen mußte aber während der gesamten Bauzeit garantiert werden. Um die erforderliche Baugrube herzustellen, mußte die bestehende Untergrunddichtung im rechten Ufer gequert werden (Abbildung 1), die Dichtfunktion durfte jedoch zu keiner Zeit verloren gehen. Erschwerend wirkte sich aus, daß sämtliche Bauarbeiten unter voller Stauhaltung durchzuführen waren. Die Planung des Projektes und die Bauüberwachung wurde von der DKE (Donaukraft Wasserbau Engineering & Consulting GmbH) ausgeführt, die seit 1995 Teil der Verbundplan ist.

Die Planung der Felsicherungsmaßnahmen für die bis zu 40 m hohen, senkrechten Baugrubenwände erfolgte durch die bauausführende Arge. Die Bauarbeiten erfolgten in den Jahren 1993 bis 1995. Die 50 NW Rohrturbine wird Anfang 1996 in Betrieb gehen.

In diesem Bericht wird schwerpunktmäßig auf die Felsklassifikation eingegangen, also auf den Weg von der Felsbeschreibung zu den Gebirgskennwerten, die dann Eingang in die statischen Berechnungen finden. Bezüglich einer umfassenderen geologischen Beschreibung wird auf WEISS & JUNG, 1995, verwiesen.

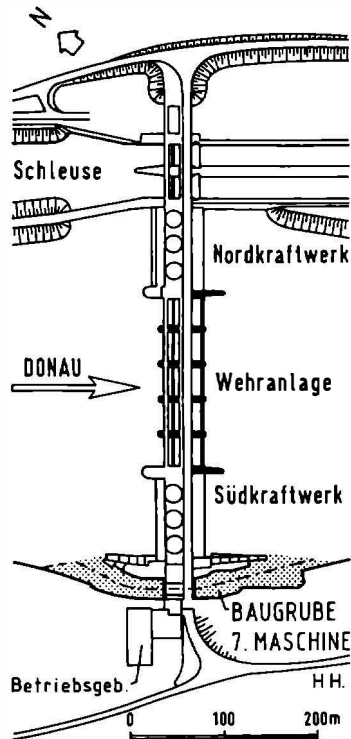


Abbildung 1: Kraftwerk Ybbs-Persenbeug, Lageplan der Baugrube für den Einbau der 7. Maschine

2. Geologische Übersicht

Das Kraftwerk befindet sich im Verbreitungsgebiet der Böhmisches Masse. Die kristallinen Gesteinsserien werden dem moldanubischen Gneisgebirge zugezählt und zwar den südwestlichen Ausläufern der sogenannten „Bunten Serie“, die sich aus einer vielfältigen Gesteinsvergesellschaftung zusammensetzt. Diese besteht hauptsächlich aus Paragneisen in unterschiedlicher Ausbildung, daneben sind häufig Amphibolite, Quarzite, Kalksilikatfelse, Graphitschiefer und Mannore festzustellen. Obwohl die Lagerungsverhältnisse starken Schwankungen unterworfen sind, herrscht generelles Einfallen nach Südosten vor (FUCHS & MATURA, 1976).

Die Gneisserien werden von mehreren Ganggesteinsgenerationen durchschlagen. Zur ältesten Generation zählen die Leukogranitgänge, die oft auch noch eine Überprägung erlitten haben und ein Gneisgefüge aufweisen. Danach intrudierten Lamprophyrgänge mit überwiegend kersantitischer Zusammensetzung und zuletzt Granitporphyre. Unterlagert wird die Bunte Serie von den Cordieritgneisen der Monotonen Serie, im Hangenden folgt der Gföhler Gneis.

Ca. 10 km östlich der Baustelle verläuft die Diendorfer Störung, die eine Nordost - Südwest Streichrichtung aufweist und die das bedeutendste geologische Strukturelement in der Umgebung darstellt (siehe Abbildung 2).

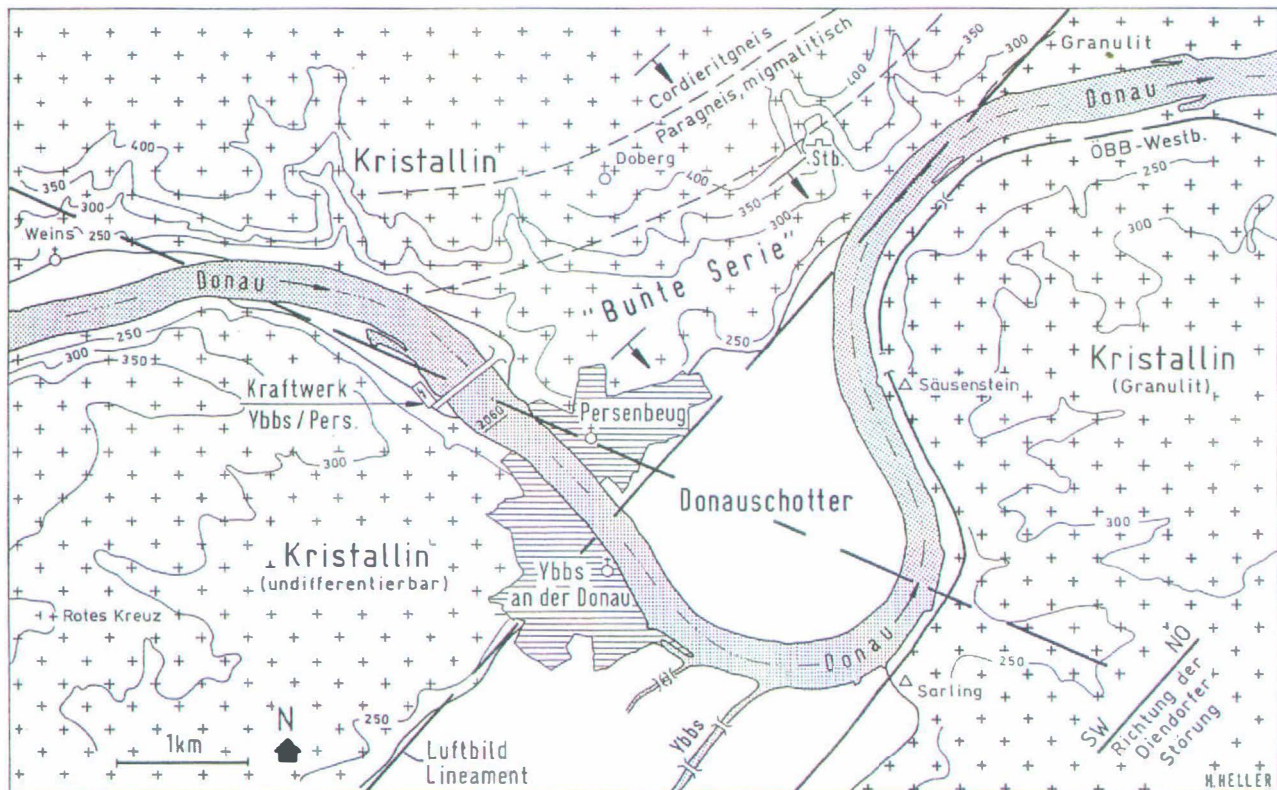


Abbildung 2: Geologische Übersichtskarte der Umgebung des Kraftwerkes Ybbs-Persenbeug,
Zusammengezeichnet nach FUCHS & MATURA, 1976, MATURA, 1984, und eigenen Ergänzungen

Diese Richtung stimmt auffälligerweise auch mit der Richtung des Donauverlaufes östlich der Stadt Ybbs und dem Verlauf der Ybbs überein. Es liegt daher die Vermutung nahe, daß auch in diesem Bereich eine regionale Schwächezone im kristallinen Untergrund parallel zur Diendorfer Störung verläuft. Weiters sei hier auch noch angemerkt, daß der Donauverlauf im Kraftwerksbereich parallel beziehungsweise in Fortsetzung der Donau - und Pfahlstörung ausgerichtet ist.

3. Untergrundverhältnisse im Baustellenbereich

Im Kraftwerksbereich befindet sich über dem kristallinen Untergrund eine ca. 20 m mächtige Schicht aus Donaukiesen. Im Talquerschnitt (Abbildung 3) bildet die Grenzfläche zwischen den beiden Einheiten eine annähernd horizontale Fläche, die im Kleinbereich eine flachwellige Ausbildung besitzt. Das Kraftwerk ist zur Gänze auf metamorphen Gesteinen gegründet, die Montagehalle und das Betriebsgebäude wurden auf Lockergestein errichtet.

Die Herstellung der Baugruben erforderte in der Lockergesteinsüberlagerung eine Baugrubensicherung aus Bohrpfählen oder Schlitzwänden, in den tieferen Bereichen mußte eine Felssicherung geplant und ausgeführt werden, die auch die Auflast einer ca. 20 m mächtigen Sedimentlage zu berücksichtigen hatte (Abbildung 4).

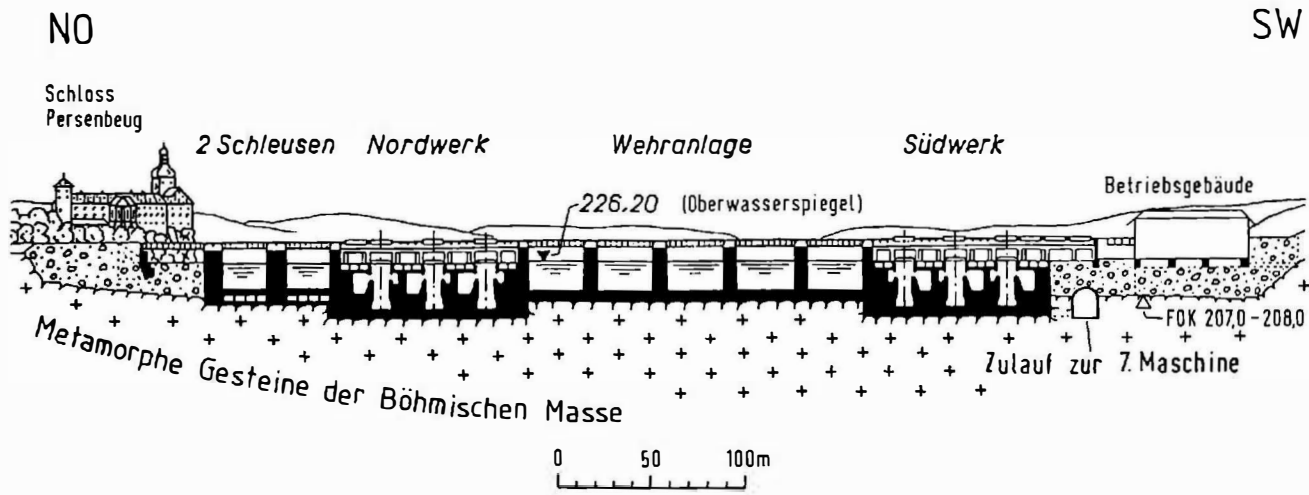
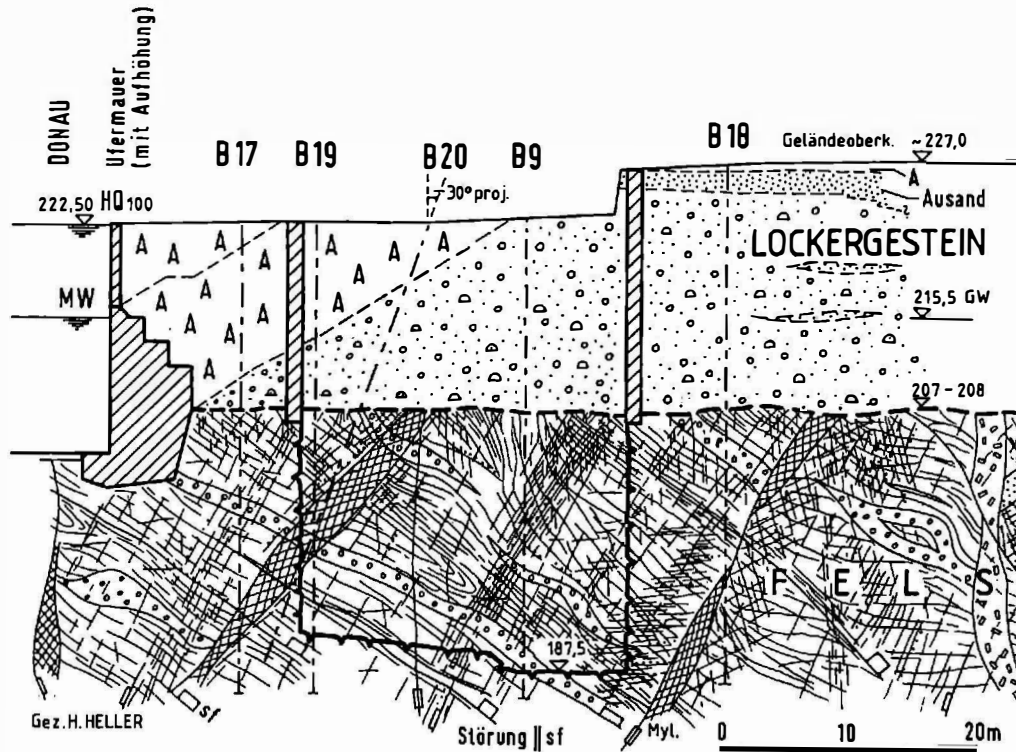


Abbildung 3: Geologischer Talquerschnitt in Achse des Kraftwerkes Ybbs-Persenbeug

NO

SW



67

Abbildung 4: Querschnitt durch die unterwasserseitige Baugrube mit Prognose der geologischen Verhältnisse

Aufgrund der unmittelbaren Nähe zur Donau war eine Abdichtung des Felsbereiches wirtschaftlich nicht durchführbar, sodaß mit ständigen Wasserzuflüssen aus dem Felsbereich zu rechnen war. Bei der Unterfahrung der Montagehalle, mit einem Ausbruchsquerschnitt von ca. 220 m², war erschwerend zu berücksichtigen, daß die Kalotte in nicht verkitteten Donaukiesen aufgefahren werden mußte, und der Strossenvortrieb im Felsbereich erfolgte. Um eine Beschädigung der Montagehalle und der darüber befindlichen Kranbahnschienen zu verhindern, mußten die Verformungen auf das unvermeidliche Minimum reduziert werden.

Ein zusätzliches Problem stellte die Erschütterungsempfindlichkeit der Turbinen dar, sodaß die Felslösung darauf unbedingt Rücksicht zu nehmen hatte. Ein Schaden an den Maschinen sollte auf jeden Fall vermieden werden. Die Erschütterungsproblematik wird bei JUNG et al., 1995, näher beschrieben.

4. Kenntnisse vor Baubeginn

Die Kenntnisse über den Untergrund stammten vor allem aus der geologischen Dokumentation der Sperrenaufstandsfläche von MAKOVEC et al., 1960, und zusätzlich aus der Auswertung der neu ausgeführten Erkundungsbohrungen.

Die Kartierung der Sohle des bereits bestehenden Kraftwerkes zeigte einen geologischen Bau, der von den Verhältnissen der Umgebung deutlich abweicht. Das Gesteinsinventar entspricht zwar den Gneisen der Bunten

Serie, jedoch ist die tektonische Beanspruchung deutlich intensiver als dies aus den Aufschlüssen der Umgebung zu erkennen wäre. Die geologische Detailkartierung zeigte ein dichtes Netz von Kleinstörungen und Klüften, die eine kräftige Zerteilung des Gebirges bewirkten. Im Bereich des Südkraftwerkes dominierten West - Ost gerichtete Störungen, im Kluffgefügediagramm zeigte sich aber keine bevorzugte Orientierung. Die Schieferungsflächen streuten beträchtlich, jedoch dominierte generelles Einfallen nach Süden.

Bei der Planung der tiefen Baugruben für die 7. Maschine ergaben sich Fragen, die nicht ausschließlich mit der Erfahrung aus der Zeit der Kraftwerkerrichtung gelöst werden konnten. Dies betraf vor allem die Standsicherheit der 40 m hohen, senkrechten Wände unter Berücksichtigung der erhöhten Wasserdrücke.

Eine der wesentlichen und auch heftig diskutierten Fragen betraf die mechanische Wirksamkeit der Schieferungsflächen und deren Bedeutung im Vergleich zum intensiv ausgebildeten Klufsystem. Diese Beurteilung bestimmte nämlich maßgeblich den Umfang der erforderlichen Fellsicherungsmaßnahmen für die unabhängig voneinander zu beurteilenden Seiten der Baugrube.

5. Erkundungsbohrungen und projektspezifische Dokumentation

Für das Projekt der 7. Maschine wurden *zwei Bohrkampagnen* durchgeführt, eine erste mit insgesamt 8 Bohrungen, die ca. 7 Jahre vor Baubeginn

ausgeführt wurde und eine zweite zu Beginn der Bauausführung (Abbildung 5). Bei der ersten Erkundungsphase wurden alle Bohrungen bis ca. 5 m unter das geplante Aushubniveau abgeteuft und Wasserabpreßversuche im Felsbereich durchgeführt. Die Versuche ergaben generell sehr hohe Wasseraufnahmen, die auf ein sehr klüftiges und durchlässiges Gebirge schließen ließen. In der zweiten Bohrphase wurden 11 Bohrungen abgeteuft, wovon 5 Bohrungen auch den Felsbereich erkundeten, die restlichen nur die Lockergesteinsüberlagerung.

Zur *Dokumentation* der Bohrungen wurden alle Bohrungen photographiert und ein eigenes Aufnahmeblatt für die Felsstrecken entworfen. Es wurde dabei die ÖNORM B 4401 Teil 4 und die DIN 4022 Teil C mitverwendet. Zur Dokumentation wurden solche Parameter ausgewählt, die zusätzlich zu den sonst üblichen Beschreibungsmerkmalen auch eine Felsklassifikation nach BIENIA WSKI, 1976, ermöglichen sollte.

Folgende Felseigenschaften wurden erfaßt:

Gesteinsart

Verwitterungsgrad

Zerlegungsgrad

Anzahl der Trennflächen pro m

Kerngewinn

Kernform

Trennflächenoberfläche

Trennflächenbestege

Einfallswinkel der Trennflächen

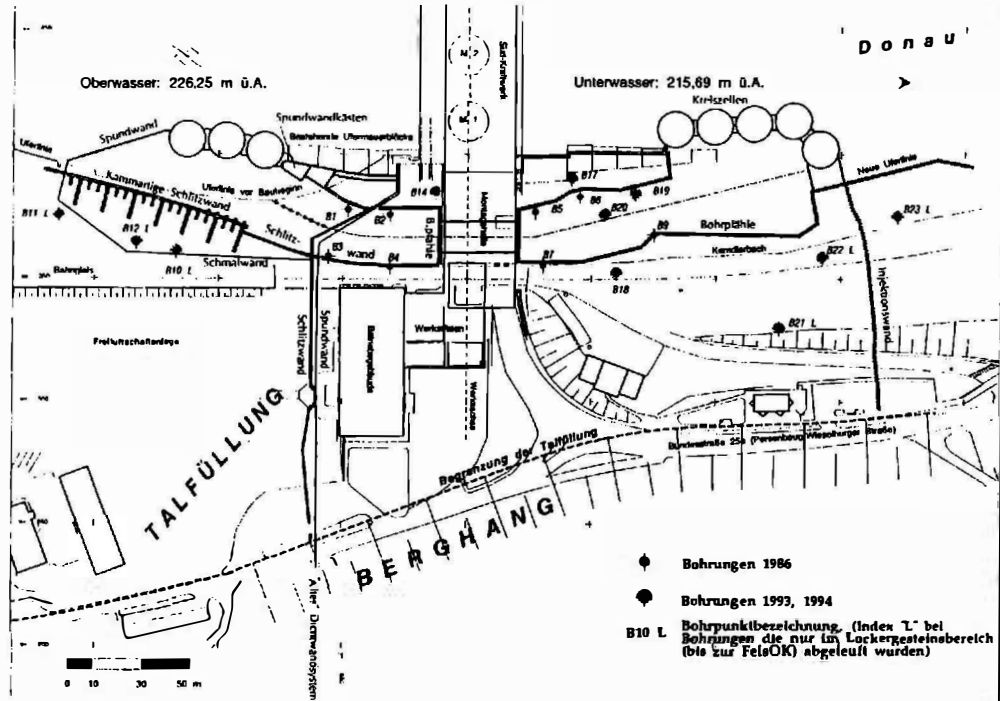


Abbildung 5: Detaillageplan mit Bohrpunkten

Einige ausgewählte Parameter werden im folgenden kurz erläutert:

Bei der Dokumentation des Verwitterungsgrades und des Zerlegungsgrades wurde das Klassifikationsschema der ÖNORM B4401 Teil 4 verwendet (siehe Tabellen 1 und 2).

Tabelle 1 : Verwitterungsgrad „v“ nach ÖNORM B 4401 Teil 4

Verwitterungsgrad (Benennung)	Symbol
unverwittert	V1
angewittert (von den Trennflächen ausgehende Verfärbung)	V2
mäßig bis stark verwittert (gesamter Klufkörper zur Gänze bräunlich verfärbt)	V3
vollständig verwittert (tonige Umsetzung und vollkommene Entfestigung des Klufkörpers)	V4

Tabelle 2: Zerlegungsgrad „z“ nach ÖNORM B 4401 Teil 4

Zerlegungsgrad (Benennung)	Symbol
gering zerlegt (rissefrei, gering klüftig, Kernlänge und Klufkörper >10cm)	Z1
mäßig zerlegt (klüftig, rissig, Kernlänge und Klufkörper 2cm bis 10cm)	Z2
stark zerlegt (brekziös, zerschert, Kernlänge und Klufkörper kleiner als 2 cm)	Z3
vollständig zerlegt (zerdrückt bis zermahlen, Mylonit, Gesteinszerreibsel)	Z4

Vergleicht man den Zerlegungsgrad der ÖNORM mit der international üblichen Kennzahl zur Charakterisierung der Zerlegung der Bohrkerne, den

RQD-Index nach DEER et al.,1976, so ergeben sich wesentliche Unterschiede im Beurteilungsspektrum.

Der RQD-Index ist definiert als der prozentuelle Anteil der Kernstücklängen > 10 cm bezogen auf die Länge der Kernstrecke. Der Wert kann zwischen 100 und 0 schwanken. Null ist der ungünstigste Wert und trifft für Bohrkerne mit Kernstücken von weniger als 10 cm Länge zu. Eine noch intensivere Gebirgszerlegung ist durch den RQD nicht mehr zu differenzieren. Die ÖNORM hingegen sieht in diesem Bereich eine Unterteilung in drei Klassen (Z2 bis Z4) vor. Daraus folgt, daß die ÖNORM besser geeignet ist, starke Gebirgszerlegungen zu beschreiben, als der RQD-Index.

Im gegenständlichen Projekt erwies es sich als sinnvoll, auch die Kernform im Sinne der deutschen Norm (DIN 4022) zu berücksichtigen (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Form des Bohrkernes nach DIN 4022

Kernform (Beschreibung)	Kurzzeichen
Kernstücke mit vollständig erhaltener Mantelfläche beliebiger Länge und Zerteilung	A
Kernstücke mit nur teilweise erhaltener Mantelfläche	B
Kernstücke, die nicht mehr zu einem Zylinder zusammengefügt werden können	C
kleinstes Bohrgut wie z. B. Grus und Feines <0.6 mm	D

Die Kernform ermöglicht bei starkem Zerlegungsgrad eine Beurteilung, durch welche Art von Trennflächen das Gebirge am stärksten beeinflusst ist, ob zum Beispiel die Schichtflächen oder die Klüftflächen die größere Bedeutung haben. Diese Angaben sind aus dem Zerlegungsgrad oder der Zahl der Trennflächen nicht ableitbar. So zeigt zum Beispiel im Fall von flacher oder mittelsteiler Lagerung ein hoher Zerlegungsgrad (hohe Klüftigkeitszahl) kombiniert mit der Kernformklasse A, daß die Felszerlegung weitgehend von den Schieferungsflächen bestimmt wird. Dies wäre beispielsweise bei dünnblättrigen, schiefriegen Gesteinen der Fall.

Abbildung 6 zeigt eine typische Bohrkernaufnahme der Felsstrecke der Bohrung B19.

Auffällig ist die meist hohe Trennflächenanzahl (>32), die in der Regel den Zerlegungsgradklassen Z2 oder Z3 entsprach. Diese Klassen wären beide einem RQD-Wert von Null vergleichbar und somit mittels dieses Index nicht differenzierbar.

An den Bohrkernen war auch ersichtlich, daß diese nach sehr unterschiedlichen Klüftscharen, aber nur untergeordnet an den Schieferungsflächen zerbrochen waren. Dies drückte sich auch durch das häufige Auftreten der Kernformklassen B und C aus (siehe Tabelle 3). Die Oberflächen der Trennflächen waren sehr unterschiedlich ausgebildet und waren teils glatt mit Harnischstriemung und teilweise rau, ohne daß eine Zuordnung der Oberflächenbeschaffenheit zu einer Raumstellung möglich gewesen wäre.

KW-Ybbs - 7. Maschine	Bohr. Nr.: B 19	Ausführende Firma: Insond
Koordinaten: x = 384, 284 y = 1067, 636	Ausführungsdatum: 9.-25.08.1993	Bohrkernbeschreibung: Jung

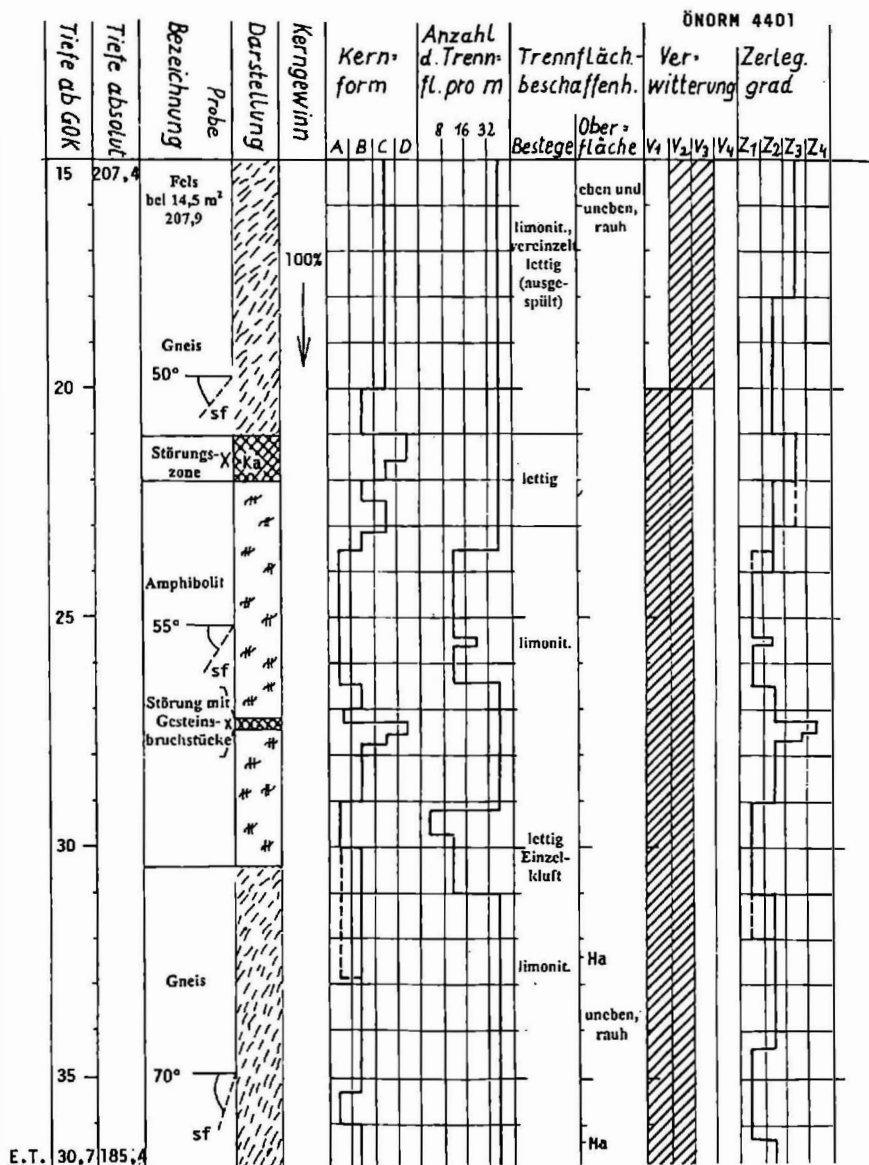


Abbildung 6: Bohrkerndokumentation der Felsstrecke der Bohrung B 19

Die Existenz von fettigen Kluftbelägen war nicht vorbehaltlos zu beurteilen, da diese in der Regel durch die Wasserspülung bei den Bohrarbeiten ausgewaschen wurden. In einzelnen Bereichen, wo ohne Spülung gebohrt wurde, waren fettige Beläge allerdings häufig zu beobachten. Der Einfallswinkel der Schieferungsflächen konnte am Bohrkern gemessen werden. Jedoch ließ die starke Zerrüttung keine sinnvolle Auswertung der Raumstellung der Klüfte oder der zerrütteten Zonen zu.

6. Ermittlung der Gebirgsparameter

Bei der Zusammenfassung der Erkenntnisse mußte man feststellen, daß genaue Angaben zur Orientierung der mechanisch wirksamen Trennflächen nicht möglich waren. Noch viel weniger war es möglich, einer Trennflächenschar spezielle Scherfestigkeiten zuzuschreiben. Bei der Beurteilung der Versagensmöglichkeiten war somit am ehesten jener Fall zu erwarten, wie er in Abbildung 7 oben dargestellt ist. Somit mußten Gebirgsparameter (Reibungswinkel und Kohäsion) angegeben werden, die typisch für das Gebirge mit all seinen Klüften und Störungen sind.

Ein wichtiger Orientierungswert waren die an Störungszonenmaterial ermittelten Scherparameter. An zwei Mylonitproben (abgesiebtes Material < 2 mm) wurden Restscherwinkel von 30 und 33 Grad ermittelt. Die Analysen wurden von Prof. Brandl an der TU - Wien nach dem Wiener Routinescherversuch ausgeführt. Außerdem wurden alle Indizien betreffend die Existenz, Orientierung und Erstreckung von Myloniten und Kataklasiten verwertet.

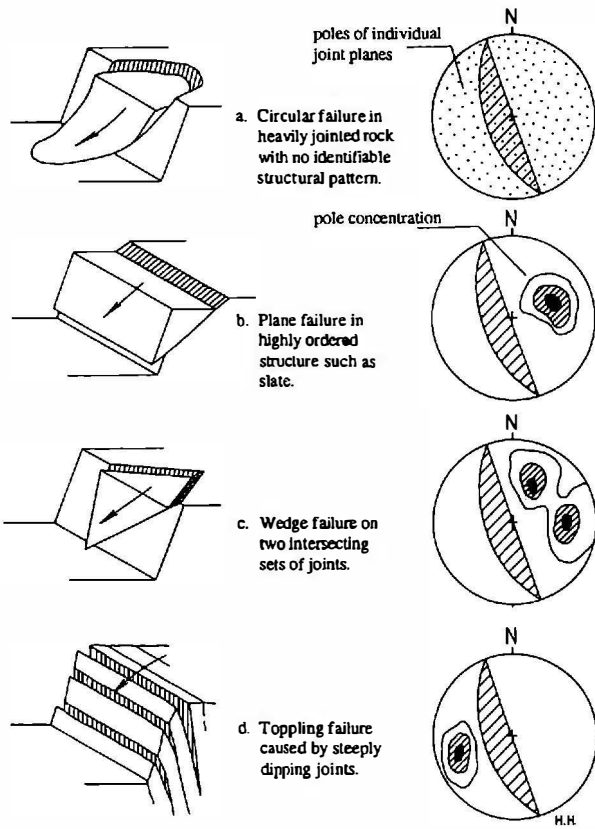


Abbildung 7: Versagensmöglichkeiten von Böschungen nach ISRM 1977

Parallel zu dieser Vorgehensweise wurde auch eine Felsklassifikation nach BIENIAWSKI, 1976, („Geomechanics classification“) durchgeführt. Die Eingangswerte für dieses Verfahren wurden der Bohrkernbeschreibung entnommen. Die Bewertung der Parameter erfolgte nach dem in Tabelle 4 dargestellten Schema. Die für das Projekt der 7. Maschine verwendeten Bewertungszahlen wurden graphisch hervorgehoben. Die Summe ergibt die Zahl „22“, die in die Klasse IV „schlechter Fels“ fällt. Dieser Klasse sind die in Tabelle 5 dargestellten Werte für den Reibungswinkel und die Kohäsion zugeordnet.

Die so ermittelten Gebirgskennwerte stimmten weitgehend mit den vom Sachverständigen für Erd- und Grundbau (Prof. Brandl) festgelegten Größen überein.

Berechnungsfestlegung:	Reibungswinkel	= 35°
	Kohäsion	= 90 kN/m ²

Unter Verwendung dieser Gebirgsparameter wurden dann die Felssicherungsmaßnahmen, insbesondere die Ankerlängen und die Ankerdichte berechnet.

Tabelle 4:

Z.T. BIENIAWSKI/1973: Klassifikationsparameter und deren Bewertung

1	Gesteinsfestigkeit Einachsiale Druckfest.	> 200 MPa	100-200 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	< 25 MPa
	I_1	15	12	7	4	2 - 0
2	Bohrkernqualität RQD	90 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25
	I_2	20	17	13	8	3
3	Kluftabstand	> 3 m	1 - 3 m	0,3 - 1 m	0,05 - 0,3 m	< 0,05 m
	I_3	30	25	20	10	5
4	Orientierung der Klüfte (bei Böschungen)	Sehr günstig	Günstig	Mittel	Ungünstig	Sehr ungünstig
	I_4	0	-5	-25	-50	-60
5	Beschaffenheit der Klüfte	Nicht durchgehend rauhe Oberfläche keine Kluftöffnung		< 1mm	1 mm	Durchgehend glatte Oberfläche Kluftfüllung
		I_5	25	20	12	6
6	Gebirgswasser	Völlig trocken		feucht	mäßiger Druck	schwerwieg. Wasser- probleme
		I_6	10	7	4	0

Gebirgsklasse allgemein: Summe $I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6$

Projekt Ybbs / 7. Maschine: 15 3 10 (-25) 12 7 = 22

Tabelle 5:

Bestimmung der Gebirgsklasse

$I_1 + \dots + I_6$	81 - 100	61 - 80	41 - 60	21 - 40	< 20
Klasse	I	II	III	IV	V
Beschreibung	sehr guter Fels	guter Fels	mäßig guter Fels	schlechter Fels	sehr schlechter Fels
Kohäsion (kN/m ²)	> 300	200 - 300	150 - 200	100 - 150	100
Reibungswinkel	> 45°	40 - 45°	35 - 40°	30 - 35°	30°

Um die erforderliche Sicherheit zu gewährleisten, mußten noch folgende Auflagen während der Aushubarbeiten erfüllt werden:

- Geologische Kartierung der Baugrubenwände zur Überprüfung der getroffenen Annahmen
- Meßtechnische Überwachung der Baugrundverformungen (siehe SCHWEITZER et al, 1995).

Nach Abschluß der Tiefbaumaßnahmen läßt sich rückblickend feststellen, daß die gewählten Felsparameter weitgehend den natürlichen Gegebenheiten entsprochen haben. Örtlich wurden allerdings noch ungünstigere Verhältnisse angetroffen, sodaß vereinzelt Zusatzankerungen erforderlich wurden.

Gelegentlich wird fachliche Kritik an derartigen Felsklassifikationssystemen geäußert, die meist gegen die erforderliche Vereinfachung und Schematisierung der geologischen Verhältnisse gerichtet ist. Trotz dieser Bedenken ist der Autor der Auffassung, daß Felsklassifikationssysteme hilfreiche Werkzeuge des Geologen sind, die mithelfen, subjektive Beobachtungen zu objektivieren.

Literaturverzeichnis:

BIENIAWSKI, Z., T.: Rock mass classification in rock engineering. Wiley 1976.

BRANDL, H.: Ergebnisse der bodenphysikalischen Untersuchungen. Institut für Grundbau und Bodenmechanik der TU Wien, Wien 1993.

DEER, D., U., HENDRON, A., J., PATTON, F., D. and CORDING, E., J.: Design of surface and near surface construction in rock. Proc. 8th U.S. Symp. Rock Mech., AIME, New-York, 1967, pp 237-302.

FUCHS, G., MATURA, A.: Zur Geologie des Kristallins der südlichen Böhmisches-Masse. Geolog.B.A., Wien 1976.

JUNG, G.,GANGL, G.,SCHWEITZER, E. und FREUDENTHALER, A.: Felslösung im Meißelbetrieb zur Erschütterungsminimierung beim Bau der 7. Maschine des Donaukraftwerkes Ybbs-Persenbeug. Felsbau, Bd. 4/95. Verlag Glückauf Essen, 1995.

MAKOVEC, F.: Geologische Karte der Aufstandsfläche des Kraftwerkes Ybbs/Persenbeug -Aufnahme 1954-1957 durch Makovec, F., Häusler,H. und Hominger, G., 1960.

MATURA, A.: Das Kristallin am Südostrand der Böhmisches Masse zwischen Ybbs/Donau und St.Pölten, 1:50 000. JB. Geol. B.A., Bd.127. Wien 1984.

SCHWEITZER, E., KÖHLER, G., JUNG, G., GRAFINGER, H.:
Geotechnische Messungen beim Bau der 7. Maschine des
Donaukraftwerkes Ybbs/Persenbeug. Felsbau, Bd. 4/95. Verlag
Glückauf Essen 1995.

WEISS; E.H., JUNG, G.: Die baugeologischen Verhältnisse beim Bau der
7. Maschine des Donaukraftwerkes Ybbs-Persenbeug. Felsbau, Bd.
4/95. Verlag Glückauf Essen, 1995.

Autor: Dr. Gerald JUNG
DKE Donaukraft Wasserbau
Engineering & Consulting GmbH
Parkring 12
1010 Wien,