

**Die Geologie der Gründungsfläche
des Donaukraftwerkes Greifenstein**

von

R. SCHWINGENSCHLÖGL

mit

14 Abb., 5 Fototaf., 8 Beil., 4 Karten
(= Beilagen 1–12)

Flyschzone
Donaukraftwerke
Gesteinsbestand
Tektonik
Ingenieurgeologie

Anschrift des Verfassers:

Univ. Oberass. Ing. Dr. Rudolf Schwingenschlögl
Universität für Bodenkultur
Institut für Bodenforschung und Baugeologie
Abteilung für Baugeologie
Gregor Mendel-Straße 33
1180 Wien



Inhaltsverzeichnis

	Zusammenfassung	2
1.0	Einleitung	3
2.0	Problemstellung	4
3.0	Gesteinsbestand	4
3.1	Schluff-Tongesteine	5
3.2	Wechselagerung (Tonsteine/Sandsteine)	6
3.3	Sandsteine	6
3.3.1	Glaukonit-führende Sandsteine	7
3.3.2	Mürbe Sandsteine	8
3.4	Mylonitbildungen	8
3.5	Brekzienbildungen (Intraformationelle Brekzien)	9
3.6	Wasserabpreß- und Injektionsversuche im Hauptbauwerk	10
4.0	Strukturen im Gründungsgestein	14
4.1	Kleintektonik an der Überschiebungszone (Flysch auf Molasse)	15
4.2	Kleintektonik im übrigen Gründungsbereich	16
4.2.1	Schichtenschleppungen und Mylonite	16
4.2.2	Plumose-ähnliche Kluftflächen	17
5.0	Klüftung und Ermittlung der Hauptspannungsrichtung	20
6.0	Ingenieurgeologische Karten	20
6.1	Kartenaufbau – Signaturen	21
6.2	Karteninhalt	21
6.2.1	Definitionen	22
6.2.2	Erläuterungen zu den Signaturen	22
7.0	Felsmechanische Betrachtungen	25
7.1	Krafthausbereich	25
7.2	Wehrbereich	25
7.3	Schleusenanlage	26
7.4	Sandsteinkeil im Krafthausabschnitt	27
8.0	Das Alter und einige Charakteristika der Flyschgesteine	28
9.0	Danksagung	29
10.0	Literaturverzeichnis	29

Zusammenfassung

Die in den Jahren 1982 bis 1984 während des Baues des Donaukraftwerkes Greifenstein durchgeführte großmaßstäbliche (1:200) geologische Baugrunderkundung erfaßte eine Aufschlußfläche von 96,5 ha Flyschgestein. Diese Geländebefunde bildeten die Grundlage für die Erstellung von ingenieurgeologischen Themenkarten. So wurden für das Hauptbauwerk drei, zum Teil farbige Karten angefertigt:

- a) Petrographie der Gründungsgesteine
- b) Klüftung der Gründungsgesteine
- c) Verwitterungsgrad der Gründungsgesteine

Die dabei verwendeten Signaturen und Definitionen wurden nach zum Teil in der Ingenieurgeologie bekannten und nach den bei der Geländeaufnahme gewonnenen Erfahrungen erarbeitet.

Dem Gesteinsbestand und der Kleintektonik wurden besondere Beachtung beigegeben. Von großem Interesse war die Zusammensetzung und Verwitterung der glaukonitischen Sandsteine.

Aus der gefügekundlichen Ermittlung der größten Einengungsrichtung in diesem Flyschabschnitt konnte eine Kraftwirkung aus SSE abgeleitet werden.

Abschließend wurde das Verformungsverhalten dieses Laufkraftwerkes vom Beginn des Aushubes (Herbst 1981) bis zum ersten Aufstau (Mai 1984) und bis zu dem Betriebsjahr 1986 einer kurzen felsmechanischen Betrachtung unterzogen.

Summary

The excavation for the Greifenstein power station on the river Danube encloses an area of an artificial opening nearly 96,5 ha in the Flysch of the Eastern Alps.

The geological mapping (scale 1:200) was done within the years 1982 and 1984. The basis for further engineering-geological maps were extensive studies of the basement excavation.

Three, partially coloured thematic geological maps were designed:

- a) lithology of the rock foundation,
- b) jointing of the rock foundation,
- c) weathering stages of the rock foundation.

Some new signatures and definitions were created.

An especially importance represents the lithology in this graded bedding sediment and the small-scale structures.

An analysis of the petrofabric in connection with the network of jointing was executed. The direction of the major principal normal stress is situated from SSE to NNW.

Short rock mechanic considerations to the kind of deformation describe this power station.

1.0 Einleitung

Im Herbst des Jahres 1981 begannen die Aushubarbeiten für das Donaukraftwerk Greifenstein. Dieses Flußkraftwerk liegt im Tullner Feld, ungefähr 12 km stromaufwärts von Wien in Strom-km 1949,18. Es ist dies das achte errichtete, rein österreichische Laufkraftwerk nach dem Stufenplan der Österreichischen Donaukraftwerke AG (s. Abb. 1).

Das Bauwerk wurde in der sogenannten „Trockenbauweise“ errichtet, das heißt, die Baudurchführung erfolgte in einer einzigen, nördlich des alten Stromregimes gelegenen und durch hochwassersichere Umschließungsdämme geschützten Baugrube. So wurde ein Flyschaufschluß von nahezu $400 \times 120 \text{ m} = 48.000 \text{ m}^2$ (Krafthaus und Wehrfelder) in N-S-Erstreckung und fast $350 \times 100 \text{ m} = 35.000 \text{ m}^2$ (Schleusenbauwerk) in E-W-Richtung geschaffen. Die Hafenummauerungsöffnungen ergeben noch zusätzlich $900 \times 15,0 \text{ m} = 13.500 \text{ m}^2$. Zusammen wurden ca. 96,5 ha Flyschgestein freigelegt. Daß dieser, für Europa wohl einmalige Aufschluß von synorogenen, klastischen Sedimentgesteinen auch eingehender ingenieurgeologischer Studien bedarf, muß hier sicher nicht näher betont werden.

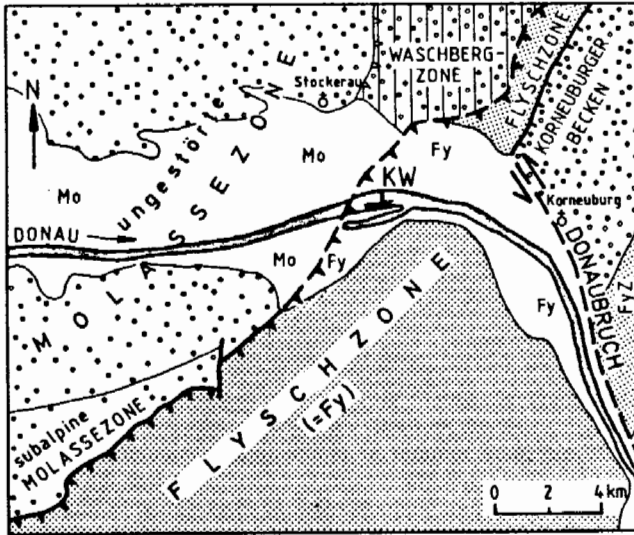


Abb. 1: Allgemeine tektonische Situation und geographische Lage des Donaukraftwerkes Greifenstein.

Vereinfacht nach Geol. Kt. Wien und Umgebung, Geol. B.-Anst., 1984.

Nach der früheren Arbeit (1984) des Verfassers über „Die geologische Baugrunderkundung des Donaukraftwerkes Greifenstein“ erscheint es nun angezeigt, diese außergewöhnlich umfangreiche Felsfreilegung in Form einer geologischen

Karte, unter Einbeziehung verschiedener Gesteins- bzw. Gebirgsparameter, in einer für bautechnische Belange anschaulicheren Art darzustellen.

2.0 Problemstellung

Um eine geotechnisch gut lesbare, geologische Karte zu erstellen, sollen Zweck und Nutzen von flächenhaften thematischen Darstellungen klargestellt werden.

Nach der primären Baugrunderkundung, bei welcher die Petrographie, die Lagerungsverhältnisse, der Verwitterungsgrad, die Klüftung und die Wasserführung des Gebirges im Vordergrund standen, wurden nun in der endgültigen Kartendarstellung die Petrographie der Gründungsgesteine, der Verwitterungszustand und das Klüftinventar auf das geotechnisch Wesentliche eingengt und nochmals in eine eigene Vorlage eingezeichnet. Dabei ist eine gewisse Generalisierung der geologischen Verhältnisse unumgänglich.

Wie schon in der Publikation (R. SCHWINGENSCHLÖGL, 1984) gezeigt, ist die Dokumentation eines für alle Zeiten unwiederbringlich verschwundenen Flyschaufschlusses wissenschaftlich ein überaus wichtiges Anliegen – nicht nur als Grundlage für die Beurteilung oder Sanierung auftretender Bauwerksschäden – sondern auch als eminent bedeutende Flysch-Kartierung im Rahmen der Ingenieurgeologie schlechthin.

3.0 Gesteinsbestand

Generell konnten schon nach der Voruntersuchung (F. MAKOVEC, 1981) wichtige Anhaltspunkte über die Petrographie des Gründungsgebietes gewonnen werden.

So wurden 1971 die ersten Informationsbohrungen durchgeführt und 1973 eine großflächige Seismik angesetzt, um vor allem die erwartete Lage der Überschiebung

Flysch auf Molasse zu lokalisieren. Die 34 Aufschlußbohrungen erfaßten das gesamte Projektgebiet und führten, neben Refraktionsseismik und Geoelektrik, zu einer sehr klaren Vorstellung über den geologischen Unterbau.

Für das Hauptbauwerk (darunter versteht man: das Krafthaus, die Wehr- und Schleusenanlage; s. auch Abb. 2) wurden 129 Bohrungen, für die Baugrubenumschließung und den Durchstich 45 Bohrungen niedergebracht. Die Erkundungstiefen lagen zwischen 30 und 80 m. Mittels Refraktionsseismik und Gravimetrie konnte die Lage der Überschiebungszone Flysch auf Molasse ziemlich genau festgestellt werden.

Prinzip der Standortwahl war: Das Kraftwerk muß, um einer Zerrüttungszone auszuweichen, so weit wie möglich von der Überschiebungszone nach Osten abrücken. Die Aufschlußbohrungen haben nun erwiesen, daß im Abschnitt der Krafthausgründung vor allem tonige Gesteine anstehen und im Bereich der Wehranlage und des Schleusenoberhauptes es zu Wechselagerungen von Ton-(Schluff-) und Sandsteinen kommt. Im Teil des Schleusenunterhauptes (= östliches Schleusenbauwerk) dominieren die Sandsteine.

Die aus der geotechnischen Voruntersuchung getroffene Dreigliederung des Gründungsgebietes wurde beim Baugrubenaushub bestätigt und folgende drei unterschiedliche Gesteinstypen sind hier abzugrenzen.

3.1 Schluff-Tongesteine

Der Anteil der reinen Schluff-Tongesteine größerer flächenhafter Verbreitung liegt im Bereich des nördlichen Krafthauses (s. Abb. 2) und dem westlichen Ende der o-

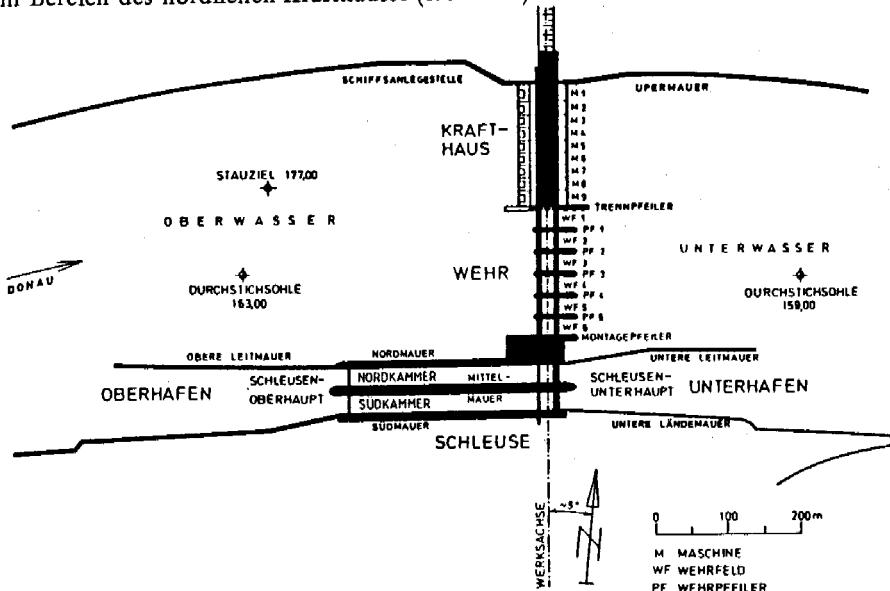


Abb. 2: Bauteilbezeichnung des Donaukraftwerkes Greifenstein (nach R. SCHWINGENSCHLÖGL, 1984).

ren Leitmauer. Auffallend war die intensive tektonische Zerlegung. Auch eingeschlossene Sediment-Quarzite und Quarzsandsteine waren davon betroffen, was auf die nahe Überschiebungszone von Flysch auf die Molasse zurückzuführen ist.

Sonst treten Pelite meist als Zwischenlagen von mehr oder weniger mächtigen Sandsteinlagen auf. Als Besonderheit sei die scherbige, polygonale Art der Verwitterung von grünlichgrauen Tonsteinen im Krafthausbereich erwähnt (s. Foto 1).

Um Auskunft über den Anteil an schwellfähigen Tonmineralen zu bekommen, wurden an 15 Proben, verteilt über den gesamten Hauptbauwerksbereich, Tonmineralanalysen vorgenommen. Diese wurden in dankenswerter Weise von den Herren Prof. Dr. B. SCHWAIGHOFER und Doz. Dr. H.W. MÜLLER an unserem Institut durchgeführt. Insgesamt war der Anteil an quellfähigen Tonmineralen, wie Montmorillonit, Illit und mixed-layer-Mineralen in der Fraktion $< 2 \mu$, nicht sehr hoch. Er lag bei fünf Proben zwischen 8–34 % bezogen auf das Gesamtgestein (s. R. SCHWINGENSCHLÖGL, 1984, S. 18 f.). Bei den restlichen Proben ließ die intensive Karbonatverwitterung keine Bestimmung mehr zu.

Zu den aufweitbaren Tonmineralen ist zu bemerken, daß sie bei Druckentlastung und geringer Wasserführung bereits zu quellen beginnen (H. PRINZ, 1982), was zu einer Volumsvergrößerung führt. Bei behinderter räumlicher Aufweitbarkeit dieser Schichtsilikate wird, bei entsprechend hohem Anteil von Montmorillonit beispielsweise, ein mitunter erheblicher Schwelldruck erzeugt.

Um allerdings über eine punktweise Beurteilung von Schwelldrücken im Gründungsgestein hinaus zu gelangen, sollten neben einem, im Labortest an einem Gesteinswürfel bestimmten Schwellwert immer in-situ-Versuche angesetzt werden. Es hat sich nämlich gezeigt, daß diese sogenannten „Laborwerte“ von Schwelldrücken sich nur begrenzt auf eine praktische Fragestellung übertragen lassen.

Erst eine detaillierte ingenieurgeologische Erkundung und eine Klassifizierung des Baugrundes in Verbindung mit Großversuchen an sorgfältig ausgewählten Stellen erlauben eine Extrapolation auf den gesamten Gründungsbereich.

Bei diesem Bauwerk werden die Schluff-Tongesteine mit einem erhöhten Tonmineralgehalt kaum für eine Beeinträchtigung der Bauwerksstandsicherheit sorgen, denn die Pelitschichten liegen meist zwischen Sandsteinbänken; und eine Quellung von Tonmineralen wird offene Klüfte und Fugen im Gestein eher abdichten und verstopfen, als sie zu erweitern oder ganze Bereiche zu heben.

3.2 Wechsellagerung (Tonsteine/Sandsteine)

Über große Flächen des Baugrubenaushubes wurden intensive Wechsellagerungen von fein-mittelkörnigen Quarzsandsteinen und Schluff-Tonsteinen (= Pelite) angetroffen. In der geologischen Kartierung wurden Bereiche von Peliten mit Sandsteinzwischenlagen von bis zu 1 m Mächtigkeit ausgeschieden.

3.3 Sandsteine

In der Fundierungsebene bilden die Sandsteine das häufigste Gründungsgestein. Sie sind petrologisch als Subarkosen und sublithische Arenite zu bezeichnen. Quarzarenite traten nur untergeordnet auf. Meist waren diese Gesteine in einem sehr guten

Erhaltungszustand und trotz des, für den Aushubvorgang oft vorteilhaften Lagerungsgefüges, nur durch Lockerungssprengungen zu lösen.

3.3.1 Glaukonit-führende Sandsteine

Diese Quarzsandsteine stehen im Bereich des Schleusenunterhauptes mit ca. 200 m² sowie der unteren Lände- und Leitmauer mit etwa 3.900 m² an. Das sind, bezogen auf den gesamten Baugrubenaushub für das Hauptwerk, nur 4,2 %! Makroskopisch sind es hellgraue Gesteine, unschwer an den reichlich auftretenden grünen Glaukonitmineralen zu erkennen. Nach der Feldmethode für ingenieurgeologische Gesteinsansprache sind sie als angewittert zu bezeichnen gewesen, was sich auch deutlich im dumpfen Hammerschlag äußerte. U. d. M. sind die Gesteine wie folgt zusammengesetzt:

Hauptgemengteile: Quarz, eckig bis angerundet, z. T. rissige Ausbildung. Glaukonit, körnig-grüne Oberfläche, angerundet. Alkalifeldspäte (Mikroklin), z. T. zersetzt.
(HGT)

Nebengemengteile: Helglimmer in dünnen Lamellen, verbogen oder abgeknickt. Chlorit und Biotit, z. T. limonitisiert, opake Minerale und eine schwarze, nicht auflösbare Tonsubstanz. Sehr selten Plagioklase und sehr wenig Karbonatzement.
(NGT)

Gefügebau: Die Korngrößen liegen zwischen 0,1 bis max. 0,5 mm. Meist liegt ein Quarz-Glaukonitpflaster vor mit nahezu keinem Kornzement. Das sedimentäre Gefüge wird nur durch dünne Muskowitplättchen angezeigt. Die Korngrenzen können als konvex-konkav bezeichnet werden.

Nach F. J. PETTIJOHN, P. E. POTTER und R. SIEVER (1972) sind die Sandsteine nach Komponentenauswertung als „sublithische Arenite“ einzustufen.

Ein überaus eindrucksvolles Phänomen war die Art der schnellen Verwitterung des im Aushub eigentlich gesund bzw. frisch aussehenden Glaukonit-führenden Sandsteines. Es zeigte sich nämlich, daß frisch aufgeschlossene, gesunde Glaukonitsandsteine schon nach wenigen Wochen mit der Hand (s. Foto 2/3) zu zerdrücken waren und durch die leichte Glaukonitverwitterung bald zu Sand zerbröselten.

Was nun die Besonderheit glaukonitführender Gesteine anlangt, so haben dies Q. ZARUBA & V. MENCL (1961, S. 269 f.) bereits eingehend beschrieben. Die Glaukonite enthalten nämlich mehr oder minder viel K₂O im Schichtgitter. Dieses Kalium wird bei Verwitterung freigesetzt und verursacht in zirkulierenden Wässern eine Erhöhung des pH-Wertes. Das nun alkalisch reagierende Wasser dispergiert feine Tonteilchen und schwemmt diese aus – der Wassergehalt nimmt zu, und das Gestein wird eine viskose Masse. 1981 hat in diesem Zusammenhang H.-J. BELLMANN die Glaukoniteigenschaften näher untersucht und auf die Bedeutung des jeweiligen Glaukonit-typs hingewiesen. Er postuliert, daß die Bestimmung des K₂O-Gehaltes und des Anteiles an quellfähigen Tonmineralen, wie mixed-layer-Mineralen, eine wichtige Grundlage darstellt, um die Glaukonitgesteine für ingenieurgeologische Bewertung zugänglich zu machen.

Von dem Glaukonit-führenden Sandstein wurden zwei 3cm-Würfel präpariert und in der in unserem Institut, von den Herren W. KLUG, Prof. Dr. B. SCHWAIGHOFER und Doz. Dr. H. MÜLLER im Jahre 1985 entwickelten dreiaxialen Schwelldruckapparat nach vorangegangener Ofentrocknung, unter völliger Wasserabdeckung, einem Schwelldrucktest unterzogen. Da auch nach 20 Stunden keinerlei Schwelldruck

gemessen werden konnte, wurde der Sandstein pulverisiert und die Glaukonitminerale wurden mittels eines Magnetschneiders separiert. Das so gewonnene Material wurde vier Minuten in einer Scheibenschwingmühle gemahlen und sodann mit dem Röntgendiffraktometer untersucht, wobei sich zeigte, daß neben Glaukonit besonders Kaolinit und Chlorit vorhanden sind. Der Anteil an aufweitbaren Tonmineralen hingegen erwies sich als eher gering. Nach den Auswertungen, wofür ich den Herren OTTNER und SCHWAIGHOFER herzlich danke, sind in der Fraktion $< 20\mu$ bloß mixed-layer-Mineralen aufgetreten und dies nach Aussage von Prof. SCHWAIGHOFER nur mit einem Anteil von max. 1 %! Das bedeutet nun, daß der Anteil an quellfähigen Tonmineralen in den glaukonitischen Sandsteinen so gering sein muß, daß sich eine allfällige Ausdehnung bereits im Korngerüst abgebaut hatte und die Zerstörung der im Freien liegenden Glaukonitsandsteine nur auf dem Lösungsweg nach Q. ZARUBA & V. MENCL (1961) herbeigeführt wurde. Der in Wasser nicht aufweitbare Chlorit spielt hierbei keine Rolle. Mikrorisse und die Temperaturverwitterung mit mehreren Naß-Trocken-Perioden haben letztlich diesen schnellen Verwitterungsprozeß noch entscheidend gefördert!

3.3.2 Mürbe Sandsteine

Hier handelt es sich um Fein-Grobsandsteine mit einem homogenen Quarzkorngefüge. Die bautechnisch einzig richtige Behandlung dieser Gesteine, um sie vor dem Verwitterungseinfluß zu schützen, bestand im äußerst schnellen Abdecken der Sohlfläche mit Schutzbeton.

Man konnte sehen, daß das beim Aushub noch bergfeuchte Gestein rasch austrocknete (mürbe Sandsteine, Foto 4) und noch kurz vor der Betoneinbringung mit 7 bar Druckluft trocken abgeblasen werden mußte. Die Bleichungsringen waren mit der Hand leicht abzubrechen. Diese Erscheinung in den mehr massigen Typen war in kleinen Flächen im Krafthaus-Bereich (ca. 500 m²) und im Wehr (etwa 200 m²) zu beobachten gewesen.

Wurde der Aushub bei Minusgraden durchgeführt, so war bei Tauwetter schon nach kurzem das Gestein mürbe und weich. Auch Flächen, nur einen Tag offenliegend, bekamen bereits 1 bis 3 cm dicke und mehrere dm²-große, helle Bleichungsringen. Um nicht zu große Gründungsabschnitte dieser schnellen Verwitterung auszusetzen, wurde die Aushubfläche mit 10–20 m² begrenzt, die freigelegte Sohle gesäubert und sofort zubetoniert.

3.4 Mylonitbildungen

Bei der Beschreibung dieser entfestigten Gesteine wird von der ingenieurgeologischen Definition (DGEG, 1982) ausgegangen. Also gemeint sind hier nicht Mylonite im streng petrographischen Sinne, sondern unverfestigte Gesteinszerreißel, an Störungen gebunden, meist in Ton- bis Feinkieskorngroße vorliegend.

Als mit der bloßen Hand „ausschöpfbar“ erwiesen sich Mylonite im Unterwasser-Kolkschutz des Wehrs (s. PROFILE, Beil. 12). Sie traten in 0,5 m mächtigen und 1,5 bis 2 m langen Abschnitten auf. Etwa bis zu 1/4 m tiefer als das Gründungsniveau ausgehoben wurden sie mit Beton aufgefüllt. Eine auffällige Mylonithäufung liegt im

Oberwasserbereich des Wehrpfeilers 1 vor. Diese Mylonite sind aus Grobsandsteinen bis Quarzkonglomeraten mit einer geringen Tonbeimengung hervorgegangen. Auf flächenmäßig wenigen m² liegen diese hellen, grünlich-dunkel-gesprenkelten Gesteine nahezu parallel zum Streichen der übrigen Flyschgesteine. Pastenartige bis weichplastische Konsistenz wiesen die meist N-S-streichenden Mylonite im Schleusenunterhaupt auf (Foto 5). So hatte der 5–20 cm breite Mylonit im Gründungsgestein des Unterhauptmittelmauer-Blockes beinahe 25 m Länge und lief auf beiden Enden spitz zu. Bei der Unterhauptnordkammer 2 ist der Mylonit die Störungsbahn zweier Brekzienflächen. Meist sind die Mylonite messerscharf zum intakten Nebengestein hin abgegrenzt. Manchmal werden sie auch von einer wenige cm-dünnen, schwarzen Tonlage begleitet. Die Korngrößen liegen zwischen Schluff- und Grobsand.

Für gewöhnlich sind die Mylonitstreifen maximal 10 m lang. Im Wehrbereich sowie an wenigen Stellen im Schleusenoberhaupt wurden frische, dicht bis engständig geklüftete Sandsteine registriert. In diesen Gesteinen streichen N-S-gerichtete, hellgraue Klüfte, welche 0,5 bis 5 mm dünn sind und aus völlig entfestigtem Fein-Mittelsandstein bestehen.

Mehrere m²-große mylonitisierte Flächen traten in den Abschnitten der unteren Leitmauer auf. Hier ist die rasche Gesteinsentfestigung vor allem auf das reichlich vorhandene Glaukonitmineral zurückzuführen.

Im Gründungsbereich Nordmauer 6 (= Schleusenteil) ist noch ein ebenfalls im speziellen Streichen liegender Mylonit zu erwähnen, der z.T. noch intakte Quarzkonglomerate und Brekzien eingelagert hat.

3.5 Brekzienbildungen (Intraformationelle Brekzien)

Im Schleusenoberhaupt (= OHS) kommen im sedimentären Verband mit grauem harten Sandstein Grobklastika vor. Die Gesteine sind von hellgrauer, leicht grünlicher Farbe und insgesamt ca. 1 m mächtig. Die Matrix liegt in der Fein-Mittelsand-Fraktion. Die Komponenten sind graubraune, angerundete Sandsteine und dunkelgrauschwarze, glänzende, eckig-angerundete Tonsteine. Letztere sind wegen ihres plättchenförmigen Habitus im ss gut eingeschlichtet. Auffällig sind noch bis zu feinkiesgroße, kantige, rosafarbene, eckige Quarze sowie selten auftretende, mm-kleine, rötliche Tonsteinpartikelchen. Die durchschnittliche Komponentengröße beträgt ca. 12 mm (s. Foto 6).

U.d.M. sehen diese Gesteine wie folgt aus:

- HGT: Quarz, Kalifeldspat (Mikroclin), beide angerundet, eckig-buchtig, Korndurchmesser 1–2 mm, Kalifeldspat z.T. mit Muskowit gefüllt.
- NGT: Karbonat (Kalzit) als Zwickelfüllung, Hellglimmer, Fossilbruchstücke, Plagioklas, Mörtelquarz sowie Gesteinsbruchstücke (Quarzsandsteine, Glaukonitsandsteine und Kalksandsteine).
- Gefüge: Schlecht sortiertes Gestein, Quarze meist rissig, geknitterte Hellglimmer, Kornverzahnung im ss.

Nach der Feldansprache ist dieses Gestein als frisch, dicht-engständig geklüftet, mit hoher Gesteinsfestigkeit (d.h. guter Kornbindung der Minerale) und sehr guter Verbandsfestigkeit zu bezeichnen gewesen.

Anders der Brekzientypus in der Unteren Leitmauer, im Aushub bei Block 2/3. Hier liegt taschenartig inmitten von grünlich-grauen, angewitterten, dicht bis engständig geklüfteten, Glaukonit-führenden Fein- bis Mittelsandsteinen, eine Fläche von mehreren m² umfassende Grobklastika.

Desgleichen bei Unterhauptnordkammer 2 und Unterhauptmittelmauer 1. Die Komponenten betragen hier bis zu 10 cm im Durchmesser und sind ebenfalls plattig eingeregelt. Es dominiert aber der Tonsteinanteil. Grüne Sandsteinbrocken und eine hellgraue, mittelsandige Matrix typisieren dieses Gestein. Da es zum Unterschied vom vorhergehenden Gestein sehr leicht zu zerschlagen ist, kann es als verwittert bis entfestigt gelten. Die Gesteinsfestigkeit ist nur mehr gering, wie auch die Verbandsfestigkeit. Es liegt hier also das diagenetisch wenig verfestigte Gestein zum Unterschied von der Brekzie im Schleusenoberhaupt vor.

3.6 Wasserabpreß- und Injektionsversuche im Hauptbauwerk

Trotz der weitgehend wasserundurchlässigen Flyschgesteine wurden vom Kontrollgang aus Versuchsbohrungen angesetzt, um die aushubbedingte Auflockerung in der Gründungssohle erfassen zu können.

Ein Versuchsfeld lag im Bereich der Ton- und Sandsteinwechsellagerung von Maschine 7, ein zweites in den Sandsteinen des Schleusenunterhauptes. Die Ton-Schluff-Gesteine im nördlichen Krafthausteil wurden von vornherein als geotechnisch „dicht“ angesehen. Es wurden in insgesamt acht Bohrungen jeweils Wasserabpreß (WAP)- und Injektionsversuche vorgenommen. Die bis zu 4 bar (die nutzbare Fallhöhe beträgt bei Regulierungsniederwasser 14,3 m) durchgeführten WAP-Versuche ergaben eine Wasseraufnahme von maximal 7,9 l/min.m (gemessen in der obersten Abpreßpasse), sonst nur maximal 1,1 l/min.m im intakten Felsgestein (s. auch Bohrprofile Beil. 1–8).

Die Durchlässigkeitsversuche wurden in Diagrammen dargestellt und zeigen deutlich die mit der Bohrlochtiefe beim Abpressen abnehmende Wassermenge (s. auch Abb. 3a und 3b).

Auch die Injektionsversuche wurden bis max. 4 bar bewerkstelligt. Hier ist ebenfalls im Bereich der Sohlfuge eine erhöhte Aufnahme des Injektionsgutes zu beobachten gewesen (max. 85 kg/m). In den tieferen Abpreßpassen waren es nur mehr ca. 12 kg/m. Als Injektionsmaterial wurde ein Gemisch aus Zement, etwas Feinsand und Wasser mit unterschiedlichem Mischungsverhältnis von 1:1 bis 1:3 verwendet. Die eingepreßte Injektionsgutmenge ist in den Balkendiagrammen (s. Beil. 1–8) dargestellt.

In der obersten (= dritten) Abpreßstrecke (s. Abb. 4) wurden jeweils die höchsten Wasseraufnahmemengen, wie auch das meiste Injektionsgut, registriert. Die Gründe dafür sind zunächst in der erhöhten Durchlässigkeit der tiefsten Schutzbetonlage zu suchen (hoher Porenanteil durch Grobkornhäufungen). Weiters wurden schon beim Bohrvorgang auffällig hohe Mengen an Schluff und Feinsand beobachtet, wohl deswegen, weil feine, mit hellem Sand gefüllte Klüfte leicht ausgespült wurden. Das erhöhte wiederum die Wasserwegigkeit, die vor allem auch durch die \pm horizontal liegenden Entspannungsklüfte in den mehr massigen und weitständig geklüfteten Sandsteinen noch gefördert wurde.

Die „Sohlfuge“ zwischen Bauwerk und Gründungsgestein, das Kreuzen (s. Abb. 4) von mehreren Kluftscharen, insbesondere jene horizontalen Trennflächen (diese wur-

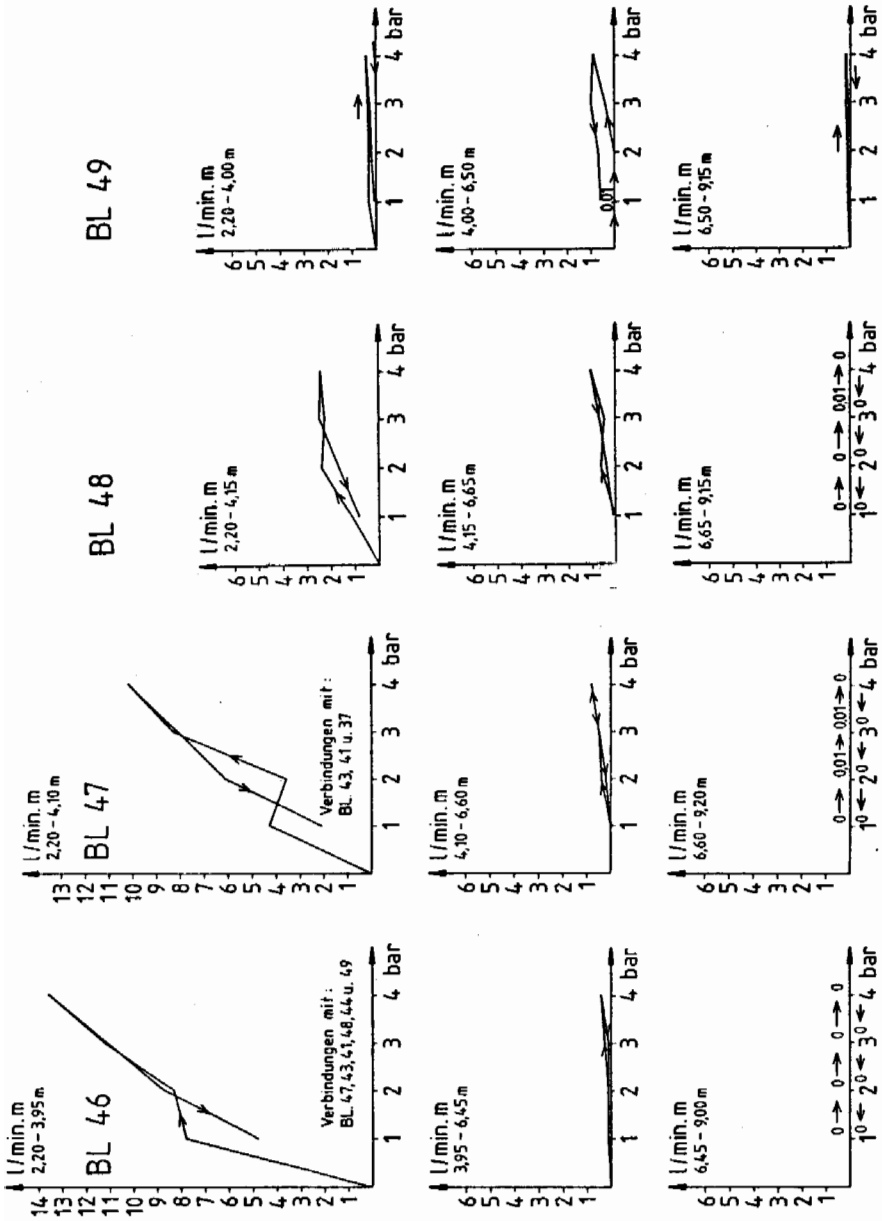


Abb. 3 a: Wasserabpressversuche (= WAP) vom Kontrollgang des Krafthauses aus, im Wechselagerungsbereich (Pelite-Psammitte) bei Maschinenblock M 7.

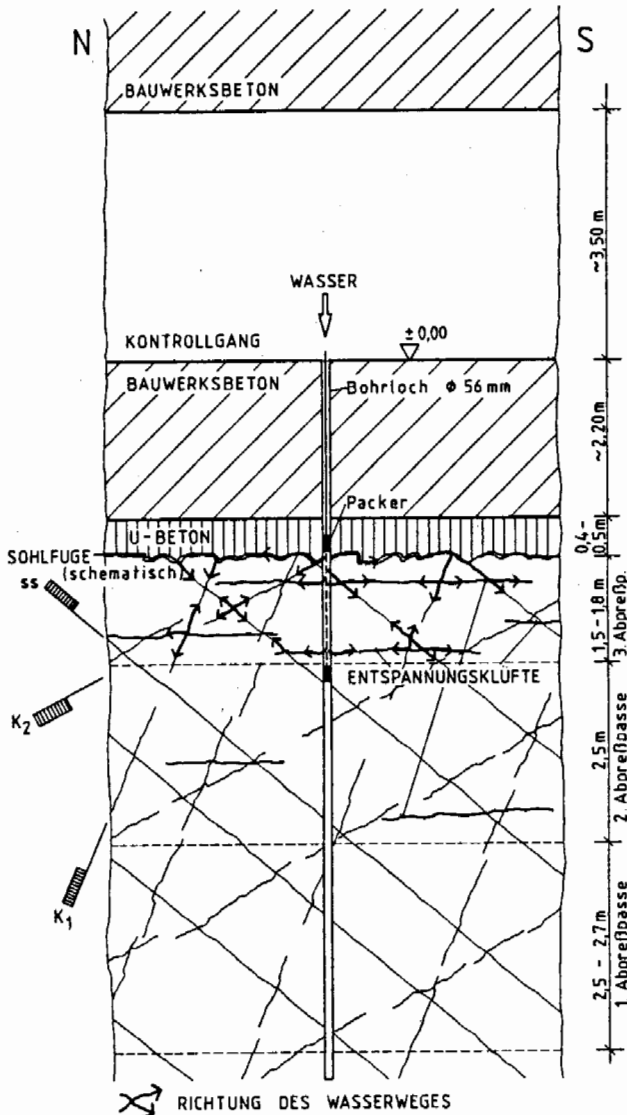


Abb. 4:
Wasserwegigkeit zwischen
Hauptbauwerksbeton und
Gründungsgestein.

den übrigens beim Aus-
hub für das Schleusen-
unterhaupt dokumentiert und auch in den
Bohrkernen erkannt) sorgten für den Anstieg
in der WAP- und Ver-
preßgutmenge.

Der größte Wasserdruck
an der Sohlfuge kann
durch die Höhendiffe-
renz von Stauziel
177,00 und Sohlfugen-
höhe 139,50 m, also
37,5 m Wassersäule, d.
h. mit 3,75 bar, ermit-
telt werden. Dieser Was-
serdruck tritt im Kraft-
hausabschnitt allerdings
nur kurzfristig im Revi-
sionsfall auf, das heißt,
bei Kontrolle oder Re-
paratur eines Maschi-
nensatzes. Bei den bei-
den anderen Hauptbau-
werksteilen, Wehr und
Schleuse, sind im Revi-
sionszustand die jeweils
auftretenden Sohlwas-
serdrücke kleiner. Mit
4 bar abzupressen und
zu injizieren wurde als
ausreichend angesehen

– es entspricht dies etwa dem um bloß 6 % erhöhten Wasserdruck. Eine Beschä-
digung des Bauwerkes ist bei diesem Injektionsdruck auszuschließen.

Die mit max. 4 bar begrenzten Druckstufen wurden hier sehr gut auf die litholo-
gischen Gegebenheiten abgestimmt. Es ist nämlich in den Sandsteinen, trotz guter
Kornbindung bzw. Gesteinsfestigkeit, das Ausspülen von Klüften leicht möglich (s.
Kapitel 3.3.2 „Mürbe Sandsteine“) und darüber hinaus sogar noch ein unter Druck
weiteres Aufreißen von kleinen Klüften. Diese, auch „cracks“ genannten Trennflä-
chen haben an den beiden, spitz zulaufenden Enden durch den tektonischen Bauakt
und nun noch durch den auftretenden Wasserdruck erhebliche Spannungsspitzen, die
immer wieder zu einem „Längerwerden“ dieser Klüfte führen.

K. H. HEITFELD (1979, Abb. 17) gibt nun anschaulich zulässige Grenzwerte bei einer Wasserdruckprüfung an. Daraus sieht man, daß die Kurve für „Stauhöhe bis 20 m“ (hier wäre die Staustufe Greifenstein einzuordnen), eine Dichtungsmaßnahme erst bei einer Wasseraufnahme von 2 l/min.m bei 4 bar nötig macht (in Greifenstein max. 1,1 l/min.m bei 4 bar im Gründungsgestein!).

Zur Beobachtung des Sohlwasserdruckes bzw. der Sohlwassermenge wurden Sammelglocken in den Fundamentbeton eingebaut. Sie erfassen jeden Bauteil des Hauptbauwerkes und sind in der Nähe des Kontrollganges mit einer Spülleitung ausgerüstet, um eindringendes Injektionsgut oder Feinkornanhäufungen ausschwemmen zu können.

Zusammenfassend zeigten die Wasserabpreß- und Injektionsversuche, daß die Auflockerung im Gründungsgestein sehr gering und nur in der Kontaktzone zwischen Bauwerk und Fundationsgestein erhöht ist. Sollte sich im Laufe der Stauerrichtung die Notwendigkeit ergeben, daß trotz des relativ undurchlässigen Untergrundes eine störende Wasserwegigkeit auftritt – hier ist dann auch an die Möglichkeit der Erosion von feinsandigen Kluffüllungen zu denken – so können auch zu einem späteren Zeitpunkt vom Kontrollgang aus entsprechende Injektionsarbeiten vorgenommen werden. Eine Verbesserung durch Kontaktinjektionen ist nach den vorliegenden Versuchsergebnissen zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht nötig, zumal auch ein gewisser Effekt der Selbstabdichtung durch Feinteilchen die Wasserdurchlässigkeit des Gründungsgesteins erheblich herabsetzen wird.

4.0 Strukturen im Gründungsgestein

Der generelle Bau der Flyschabfolge im Bereich des Hauptbauwerkes erwies sich als relativ einheitlich und ist durch sein mittelsteil bis steiles Einfallen nach SE gekennzeichnet (s. Abb. 5).

Eine Folge der Überschiebungs- bzw. Aufschiebungstektonik stellt die Zone im nördlichen Krafthausbereich dar. Stark zerscherte Pelite mit intensiv zerstückelten, wenigen Festgesteinsresten charakterisieren diese Aushubfläche.

Fehlen bis zur Grenze M1/M2 noch länger im Streichen anhaltende Sandsteinbänke, so beginnen nun, einen Schichtverband erkennen lassend, die Sandsteinzüge. Abschnittsweise treten Bereiche von mehreren m²-großen Sandsteinflächen auf, die manchmal der Lagerung folgend, isoliert, im pelitischen Material zu „schwimmen“ scheinen.

Der Übergang zu „ruhiger“ Lagerung ist etwa in Krafthausmitte anzusetzen. Bis zum südlichen Bauwerksende sowie bis zum Schleusenoberhaupt kommt es gelegentlich zu einer deutlichen Änderung der Fallrichtung und -winkel. Gleichzeitig nehmen in der angegebenen Abfolge die Sandsteinmächtigkeiten ab Wehranlagenmitte von wenigen dm bis zum südlichen Schleusenunterhaupt auf mehrere m zu.

Trotz der eher geringen Unterschiede im lithologischen Aufbau sind es vor allem die vielfältigen, kleinen Strukturen, die diesen Aushub charakterisieren (s. auch Profile-Beil. 12).

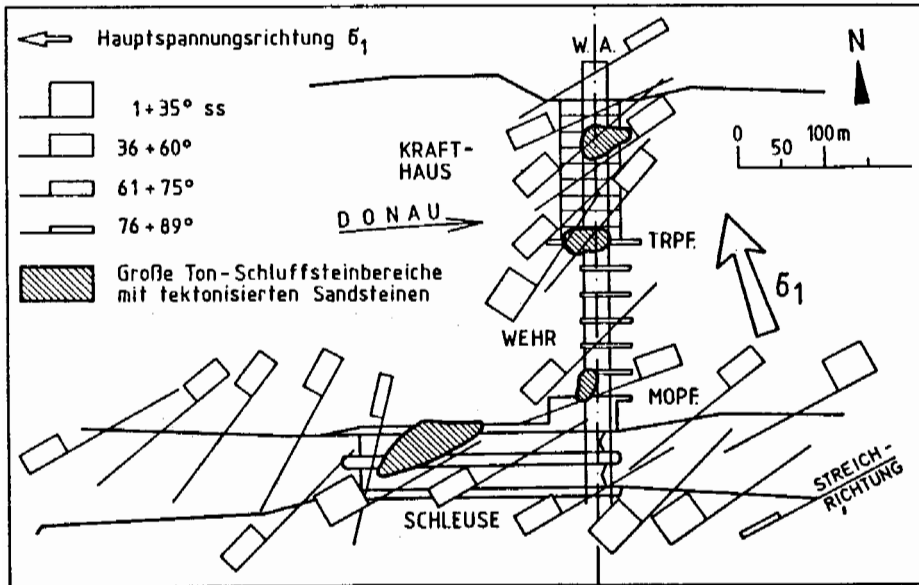


Abb. 5: Streichrichtungskarte des Gründungsgesteines.

4.1 Kleintektonik an der Überschiebungszone (Flysch auf Molasse)

Im nördlichsten Abschnitt des Krafthaus-Aushubes stehen intensiv beanspruchte Ton- und Schluffsteine an. Sie führen jene auffälligen, grünlich-grauen, glaukonitischen Quarzite und Quarzsandsteine, die sehr gut mit der „Gaultquarzitserie“ nach S. PREY (1974) verglichen werden können.

Durch den Effekt der Anpressung des Flysches auf die Molasse sind diese dunklen Pelite überaus deformiert worden, was sich in einer stark zerscherten, lamellig gebogenen und chaotisch lagernden Form der Klufkörper äußerte. Die harten Sandsteine reagierten bei dieser Beanspruchung spröde und wurden in vielfältiger Art und Weise zerbrochen. So liegen beispielsweise lanzenspitzenartige bis linsige, etwa 50 cm lange und 2 bis 15 cm dicke Sandsteintrümmer wohl im Schichtverband, aber in äußerst verdrehter Lage vor.

Kleinfältelung in den geringmächtigen Sandsteinen mit Achsenrichtungen flach nach Osten einfallend, wie auch boudinierte Quarzitlagen sind häufig. Die oftmalige Rotation der kompetenten Gesteine in den weichen Peliten führte sogar zur Ausbildung von sich kreuzenden Quarzitlagen (s. Foto 7).

Trotz des hohen Zerlegungsgrades der gesamten Gesteinsfolge im nördlichen Krafthausteil waren die etagenförmigen Aushubböschungen, mit Ausnahme einer kleineren Rutschung, allesamt standfest. Für die Feinausformung der Gründungsflächen im tiefsten Krafthausteil waren die Gesteinseigenschaften des „Pelit-Psammitgemisches“ sogar recht günstig, denn die geforderten Aushubformen waren sauber und maßgenau herzustellen.

Pelite mit zertrümmertem Hartgestein traten außer im Krafthaus-Nordabschnitt,

noch im Westen der oberen Leitmauer (s. R. SCHWINGENSCHLÖGL, 1984, Bild 3) auf.

4.2 Kleintektonik im übrigen Gründungsbereich

Einen besonderen Bauakt stellen die mm-dünnen, hellen Sandsteinklüfte und die durch dünnste Tonhäutchen markierten Schleppungen in den Sandsteinpartien des Schleusenunterhauptes dar. Beide Strukturen zeigen ungefähres N-S-Streichen, bei mittelsteilem bis steilem Einfallen nach Osten. So sind hier die angreifenden Überschiebungskräfte, wie auch alle nachfolgenden Ereignisse, zum Teil durch die plastische Verformung an und in den Tonlagen der Sandsteine abgebaut worden.

Betrachtet man nun ein Detail aus dem vom Sandstein dominierten UHS (= Schleusenunterhaupt), so sieht man (Abb. 6), daß auch hier die Scherkräfte meist in den

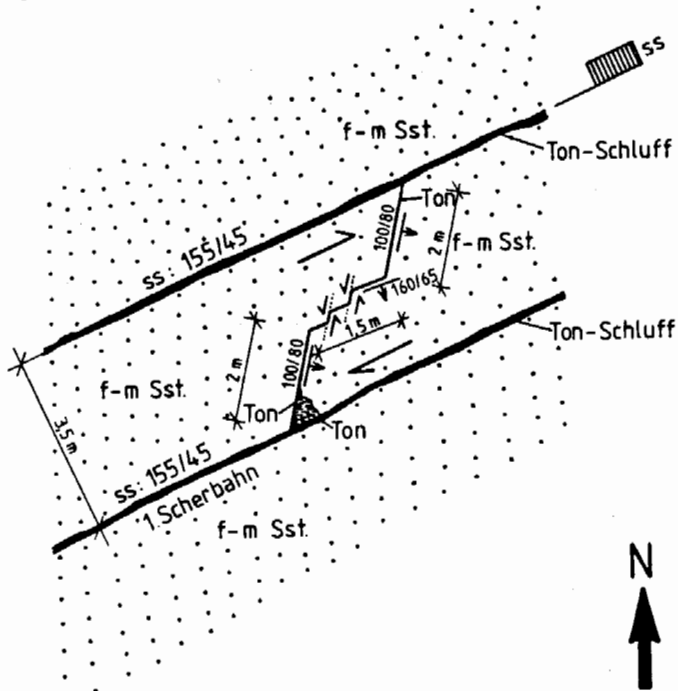


Abb. 6: Verformungen an Tonlagen im Sandstein.

Tonlagen in eine Deformation umgewandelt wurden. Die im ss liegenden Tonpartien bilden die Scherbahn für den ersten Bewegungsschub. Erst nachträglich wird die Versatzbahn, etwa in Bankmitte gelegen, durch eine steile, ca. N-S-streichende Richtung bruchstaffelartig versetzt.

4.2.1 Schichtenschleppungen und Mylonite

Von den insgesamt 40 beobachteten, eindeutigen Schleppungen im Gründungsbereich haben 29 einen Drehsinn gegen und nur 11 einen solchen im Uhrzeigersinn. Das

bedeutet, daß die angreifende Kraft bei der Überschiebung im Durchschnitt gesehen hier ein resultierendes Drehmoment mit negativem Rotationssinn erzeugt hat, welches die gesamte Flyschabfolge aus der WSW–ENE in die SW–NE-Streichrichtung verdreht haben muß. Die ist ja übrigens auch in der Änderung des gesamten Längsverlaufes des Flysches knapp vor dem Wienerwald in die „Karpatische Richtung“ deutlich zu sehen. Die vorgefundenen Schleppestrukturen lassen sich hinsichtlich ihrer Richtungswirksamkeit recht gut mit der Ansicht von G. HERTWECK (1961, S. 74 und 80) in Beziehung bringen. So sieht dieser Autor in der Streichrichtungsänderung der Flyschzone einen allmählich andauernden Vorgang und kein plötzliches Umknicken aus der „alpinen“ in die „karpatische“ Richtung. Seine aufgrund von petrofaziellen Unterschieden in den Randbereichen der östlichen Kalkvoralpen abgeleiteten, verschiedenen Streichrichtungen, gehen auf einen nachgosauischen NNW-gerichteten Bewegungsvorgang zurück. Gerade dieser Deckenvorstoß muß aber auch in der darunter liegenden Flyschzone seine Spuren hinterlassen haben, was sich auch in den Schichtungsschleppungen (s. Kluftröse, Abb. 7) manifestiert. Die Dominanz der linksdrehenden Schleppungen wird durch das immer wieder einseitige NNW-vorstößende Gebirge bestätigt. Das muß auch so sein, denn die Böhmisches Masse im Untergrund läßt nur ein Ausweichen nach N und nach E zu und nicht nach W. Der Flysch muß sich daher mit dem gesamten Alpenkörper an das variszisch gebildete Böhmisches Massiv anschmiegen.

Was nun die untersuchten *Mylonite* betrifft, so ist schon bei einem Blick auf die ingenieurgeologischen Karten des Kraftwerkes Greifenstein das Vorherrschen der $N10^{\circ}E$ -Richtung erkennbar. Die statistische Auswertung ergab hier eine gute Übereinstimmung dieses Astes mit dem NzuE-Verlauf der Schleppungen. Die NW–SE-Richtung findet ebenso korrelierte Verläufe (s. Kluftröse, Abb. 8).

Bei den Myloniten muß noch bemerkt werden, daß hier zwei genetisch verschiedene Typen vorliegen. Die nahezu N–S-verlaufenden stehen zur Flysch-Streichrichtung in einem spitzen Winkel und haben meist nur kleine Korngrößen (von der Sandfraktion abnehmend!). Mylonite, welche nahezu parallel zum Streichen liegen, gehören offenbar einem anderen Mechanismus an und weisen wesentlich größeres Korn auf (mitunter auch noch bis zur Steingröße).

4.2.2 Plumose-ähnliche Kluffflächen

Im Bereich der dickbankigen Sandsteine im Schleusenunterhaupt traten, vorwiegend an den Aushubböschungen und nicht im Gründungsgestein, Scharen von auffällig gekrümmten Kluffflächen auf. Im spitzen Winkel von $70-85^{\circ}$ zu der NW–SE-verlaufenden Hauptkluffschar bildeten sich walzenförmige, mehrere Meter reichende, Kluffkörper.

Ebenfalls im Fein-Grob-Sandstein des nur durch Auflockerungssprengungen lösaren Gebirges im Schleusenunterhaupt kam es zu schön ausgeformten, diskusartigen Trennflächen. Die konzentrisch ausgebildeten Ringstrukturen (s. Foto 8) deuten auf mögliche Zugbrucherscheinungen (NADAI, A., 1950) hin. Allerdings muß zugegeben werden, daß ein gewisser Detonationseinfluß beim Sprengen dieser klastischen Sedimente nicht auszuschließen ist.

Donaukraftwerk-Greifenstein
Schichtenschleppungen

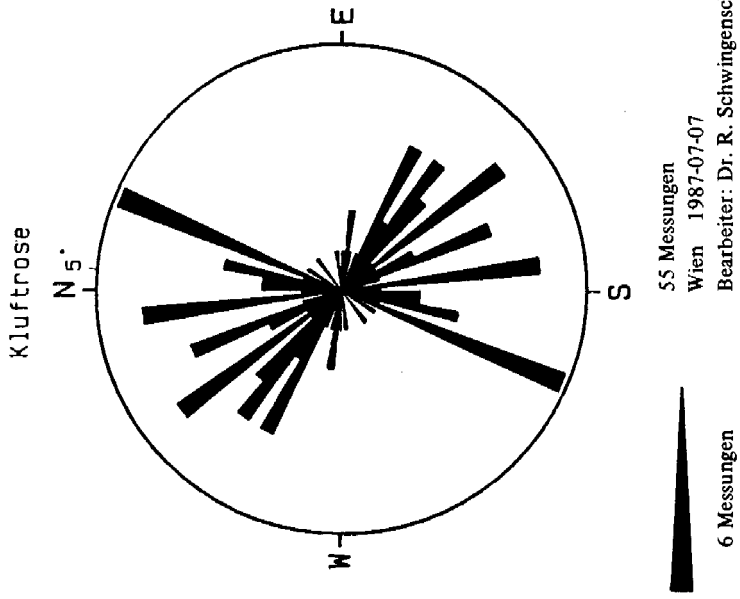


Abb. 7: Kluftrose – Schichtenschleppungen

Donaukraftwerk-Greifenstein
Mylonite

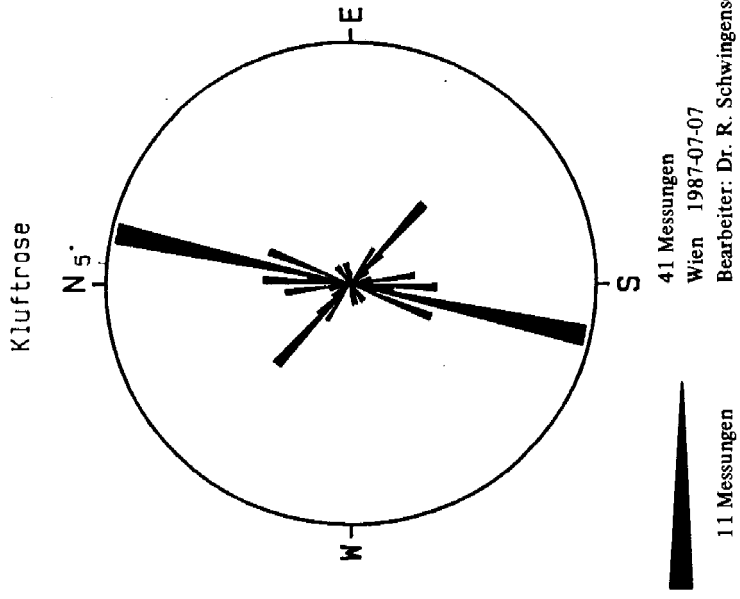
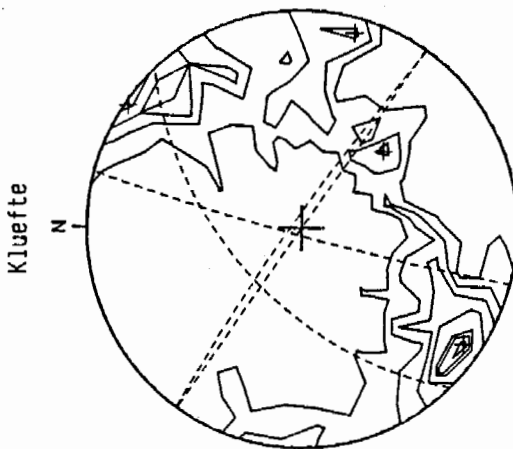


Abb. 8: Kluftrose – Mylonite

Donaukraftwerk Greifenstein
Hauptbauwerk



Besetzungsdichte
 0.0-0.5 % —
 0.5-1.0 % —
 1.0-1.5 % —
 1.5-2.0 % —
 2.0-2.5 % —
 2.5-2.7 % —
 2.7-2.9 % —
 2.9-3.0 % —

533 Messungen

Max. Besetzungsdichte: 3,0 %
 Auszählfläche entspricht
 0,31 % der Diagrammfläche

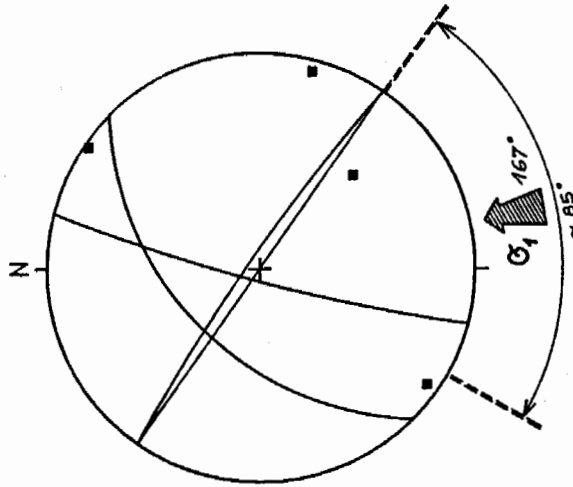
Wien 1987-11-20

Bearbeiter: Dr. R. Schwingenschlögl

Abb. 9: Klüfte - Hauptbauwerk, Isolinien-darstellung.

Donaukraftwerk-Greifenstein
Hauptbauwerk

Grosskreise aus Isolinien-ermittlung
 Hauptklufscharen



■ — Klufscharen

Wien 1987-07-07

Bearbeiter: Dr. R. Schwingenschlögl

Abb. 10: Hauptklufscharen im Hauptbauwerk des Donaukraftwerkes Greifenstein.

5.0 Klüftung und Ermittlung der Hauptspannungsrichtung

In den harten Quarzsandgesteinen und Konglomeraten, seltener in den Mergeln und Schluffsteinen, ist das diagonale Scherflächensystem deutlich ausgeprägt.

Die Teilabschnitte Krafthaus, Wehr- und Schleusenanlage wurden seinerzeit getrennt ausgewertet und interpretiert. Das ergab für die drei Hauptbauwerksbereiche drei verschiedene Hauptspannungsrichtungen, jeweils von SE nach NW bis ca. E nach W gerichtet. Betrachtet man nun aber die Klüftverteilung im Gründungsgestein für die gesamte Baugrube in einem Gefügediagramm, so liegt die Richtung der größten Einengung von SSE nach NNW vor. Wie aus der Lagenkugeldarstellung (s. Abb. 9/10) zu erkennen ist, liegt das σ_1 hier im spitzen Winkel zwischen zwei konjugierten Klüftscharen und halbiert einen Winkel von ca. 85° . Nach der üblichen Theorie diagonaler Scherflächenprägung wird wohl immer der spitze Winkel zwischen entsprechenden Klüftscharen herangezogen. Hier allerdings steht schon aufgrund des Geländebefundes eindeutig fest, daß die Richtung der Hauptnormalspannung σ_1 aus SSE kommen muß – die Überschiebung des Flynches auf die Molasse ist ja bekanntlich von S bzw. SSE nach N bzw. NNW erfolgt.

Aus drei Klüftanalysen, zunächst getrennt für Krafthaus, Wehr- und Schleusenanlage, geht anscheinend hervor, daß hier unterschiedlich orientierte Kräfte beteiligt waren. In der Gesamtschau hingegen wurde der Flynch im Raum Greifenstein aber von SSE aus beansprucht. Die Festlegung der Hauptspannungs- und Deformationsachsen kann eben nur aus dem ganzen Gründungsabschnitt abgeleitet werden (s. ASHGIREI, G.D., 1963) und nicht aus Teilbereichen. Nach Auswertung der Häufigkeitsverteilung konnte ich die einzelnen Maxima der Besetzungsdichte durch entsprechende Großkreise ersetzen (s. Abb. 10) und die Richtung der σ_1 -Spannung bei 167° (d. i. ungefähr SSE) ermitteln.

Ein Paradebeispiel für eine zweisecharige Scherflächenausbildung liegt im Oberwasser-Bereich der Maschinen M8/M9 vor. Mittel- bis grobkörnige Quarzsandsteine mit steil nach SE gerichtetem Einfallen werden bilderbuchartig von zwei Trennflächenscharen zerschnitten. Die erste Hauptklüftschar in diesem kompetenten Gestein streicht etwa N–S und fällt steil westlich ein. Die Zweite verläuft von ESE nach WNW und ist steil nach NNE gerichtet (s. Foto 9). Beide Hauptklüftstellungen nehmen einen Winkel von $85-65^\circ$ ein.

In der Winkelhalbierenden war überdies auch noch deutlich die beim weiteren Vorschub der einzelnen Gesteinspakete entstandene Gleitstriemung erkennbar.

6.0 Ingenieurgeologische Karten

Die aus der Baugrunderkartierung gewonnenen Darstellungen bildeten die Grundlage für die weitere Bearbeitung. Sie enthielten neben den in jeder geologischen Karte angegebenen Gesteins- und Gefügemerkmalen auch noch Angaben über zwei sehr wesentliche Gebirgs- und Gesteinseigenschaften. So wurde vor allem auf die Klüftung und den jeweiligen Verwitterungszustand der Gründungsgesteine besonders Bedacht genommen.

6.1 Kartenaufbau – Signaturen

Aus den Plänen der Baugrundaufnahme wurden für das Hauptbauwerk (s. auch Abb. 2) drei Karten angefertigt:

- a) Petrographie der Gründungsgesteine
- b) Klüftung der Gründungsgesteine
- c) Verwitterungsgrad der Gründungsgesteine

Es wurde dabei die Vielfalt der Flyschschichten in geotechnisch gleichwertige Typen zusammengefaßt.

Die Sandsteine mit Tonsteinzwischenlagen, nicht mächtiger als maximal 100 cm, wurden als Einheit ausgewiesen. Desgleichen die Pelite mit Sandsteinzwischenlagen, ebenfalls bis 100 cm Schichtdicke. Die sogenannte „Mischzone“, in der Sandsteine und Schluff-Tonsteine in ständig wechselnder Mächtigkeit auftraten, wurde ebenso dargestellt. Damit ist die Hauptgesteinsgliederung schon in der Kartenanlage leicht zu erkennen. Pelite mit stark tektonisierten Sandsteinen erhielten Übersignaturen.

Ölführende Sandsteine, Mergelzwischenlagen und Glaukonit-führende Quarzsandsteine behielten auch in der Generalisierung ihren Stellenwert. Alle anderen weniger signifikanten Gesteinseigenschaften wurden zu Gunsten einer rascheren und übersichtlichen Leseart weggelassen.

Bei Flyschsedimenten kommt es durch die Ablagerungen eines Trübestromes zu mannigfachen Faziesvergesellschaftungen, die eben eine recht bunte Signaturmischung erfordern. War es in der Erstfassung der Baugrundkarte noch Absicht, die jeweils dominierende Gesteinsart oder eine besondere Mineralanreicherung mit Übersignatur auszuweisen, so mußte bei der Petrographie-Karte dieses Merkmal, wenn es geotechnisch nicht sehr bedeutsam war, entfallen.

Für die sedimentär gebildeten Glaukonitquarzite in den weichen, pelitischen Lagen im nördlichen Krafthausbereich wurden Dreiecksübersignaturen gewählt, um den Typus der zerscherten und linsig-boudinierten Einzellagen zu unterstreichen.

Die Klüftung der Gründungsgesteine wurde nach dem Prinzip des Verschnittes Streichrichtung und Gründungsfläche durchgezeichnet. Weiters repräsentieren die Kluftausstriche das entsprechende Hauptkluftsystem. Die Klüftung wurde in vier, in der Ingenieurgeologie üblichen, vorwiegend nach L. MÜLLER (1963) entworfenen, Abstufungen dargestellt. Bei schleichendem Übergang von „engständig bis mylonitisch-zerrieben geklüftet“ wurde auch die Signatur, bestimmt von der primären Geländeaufnahme, angleichend gemischt. Die Strichabstände (= mittlere Kluftabstände) wurden bei den einzelnen Kluftintervallen im Verhältnis zueinander abgestimmt.

Bei der Unterscheidung der Verwitterungsstadien wurden ebenfalls vier Abstufungen getroffen. Hier soll nach der Farbintensität vom frischen bzw. unverwitterten (hellgelb) bis zum entfestigten Gestein (dunkelbraun) die chemisch-physikalische Umwandlung dokumentiert werden.

6.2 Karteninhalt

Um eine zweckmäßige Vereinheitlichung zu erreichen, mußten zwei Gesteins- und Gebirgsparameter definiert werden. Es wird damit gezeigt, daß eine feldgeologisch-empirische bzw. durch einfache Versuche determinierte Methode sehr wohl bestimmte Zustandsformen eines geologischen Körpers bewerten läßt.

6.2.1 Definitionen

Verwitterungsgrade: (n. H. PRINZ, 1982 und eigenen Vorstellungen)

Unverwittert oder frisch: Nur leichte bräunliche Verfärbung an den Trennflächen.

Mit dem Hammer nur schwer spaltbar. Schlagklang: hell. Gesteinsfarbe: kräftig. Die Minerale sind rein und/oder glänzen.

Angewittert: Das Gestein hat limonitisch belegte Trennflächen. Die meist braunen Eisenoxidlösungen sind jedoch nicht tief eingedrungen. Das Gestein bricht bei stärkerem Schlag. Schlagklang: hell bis dumpf.

Verwittert: Das Gestein ist teilweise entfestigt, aber der ursprüngliche Gesteinsverband liegt noch vor. Es kann mit dem Hammer leicht zerbrochen werden, teils sind auch mit der Hand Kanten abzubrechen. Die Limonitisierung ist in den Kornverband eingedrungen. Der Schlagklang ist eindeutig dumpf, die Gesteinsfarbe ist matt und die Minerale haben eine stumpfe Farbe.

Entfestigt oder zersetzt: Das Gestein hat keine mineralische Bindung mehr und die Eigenschaften eines Lockergesteins. Es reagiert beim Drücken mit den Fingern mit plastischer Verformung. Pastenartige, mylonitische Konsistenz tritt auf. Tonige Umwandlungen liegen im Bereich der Trennflächen.

Klüftung (n. L. MÜLLER, 1963):

	Abkürzungen	mittlerer Kluftabstand
Weitmaschig geklüftet	(w)	1000–100 cm
Dicht geklüftet	(d)	100– 10 cm
Engständig geklüftet	(eng)	10– 1 cm
Zerrieben bis mylonitisiert	(z)	1– 0,1 cm

Kornbindung bzw. Gesteinsfestigkeit (nach DIN 4022):

- a) = sehr gut: Gesteinsprobe mit einem Stahl Nagel oder einer Messerspitze nicht ritzbar.
- b) = gut: Gesteinsprobe mit einem Stahl Nagel oder einer Messerspitze schwer ritzbar.
- c) = mäßig: Gesteinsprobe mit einem Stahl Nagel oder einer Messerspitze leicht ritzbar.
- d) = schlecht: Abreiben von Gesteinsteilchen mit den Fingern ist leicht möglich.

Gesteinsfestigkeit bzw. Kornbindung:

- sehr fest = a): mit dem Hammer sehr schwer spaltbar
- fest = b): mit dem Hammer gut spaltbar
- mäßig fest = c): mit dem Hammer sehr gut spaltbar. Kanten mit den Fingern abzubrechen.
- entfestigt = d): Gestein mit den Fingern zerdrückbar.

6.2.2 Erläuterungen zu den Signaturen

Bereits 1963 hat H. HÄUSLER sen. für eine Anschätzung mechanischer Eigenschaften eines Gesteinsverbandes einen Ausschnitt der Aufstandsfläche des Donaukraftwerkes Ybbs-Persenbeug gewählt.

Er hat dabei über die reine geologische Kartierung hinaus den Verwitterungszustand und den tektonischen Beanspruchungszustand definiert. Beide Gesteinsmerkmale hatte er in einer eigenen Karte mit Schwarz-Weiß-Signaturen dargestellt, um so die Verteilung der relativen Festigkeitsunterschiede zeigen zu können.

Bei den, aus der Baugrunderkundung beim Kraftwerk Greifenstein gewonnenen Erkenntnissen werden nun Karten vorgestellt, die durch geeignete Signaturen und Farbgebungen den Gesteinsbestand, die Klüftung und den Verwitterungsgrad aufzeigen.

Es wird dabei die natürliche Vielfalt der Gründungsgesteine zu einzelnen Gruppen zusammengefaßt, denen jeweils gleichartige ingenieurgeologische Bedeutung zukommt.

Bei Betrachtung der petrographischen Karte wird auffallen, daß bestimmte Gesteinsverläufe nach Unterbrechung durch eine Unter-Betonfläche eine andere lithologische Fazies aufweisen. Das kann zum einen tatsächlich im Flyschsedimentgeschehen selbst liegen, zum anderen sind es auch konstruktiv bedingte Höhenunterschiede von mehreren Metern, die im Grundriß eine gewisse Diskrepanz von Gesteinszügen entstehen lassen.

Was die Klüftung betrifft, so wurde versucht, die einzelnen Intensitäten den tatsächlichen Verhältnissen soweit anzupassen, daß der tektonische Charakter entsprechend zur Geltung kommt. So sind zum Beispiel im Bereich des Trennpfeilers (zwischen Krafthaus und Wehranlage) die Signaturen absichtlich so unruhig dargestellt, um die Streichrichtungsänderung der Klufscharen hervorzuheben.

Generell ist hier noch anzumerken, daß bei dünnrhythmischer Wechsellagerung in Flyschsedimenten Unterschiede in der Klüftigkeit schwer ausgliederbar sind (K. PETERSS, 1980). So wurde gerade bei den Gesteinen der „Mischzone“ immer der Wechsel von kompetenten (Feinsandsteine) und inkompetenten (Silt-Tongesteine) als Kriterium angesehen. Die im Gelände ausgewiesene Klüftung ist weitgehend vom lithologischen Faktor bestimmt und wurde dann in eine Signatur übersetzt. Desgleichen ging der Einfluß der Schichtmächtigkeit in die Bewertung mit ein. Je geringer die Schichtdicke eines spröde reagierenden Gesteines ist, umso größer wird im allgemeinen die Kluftdichte sein und umgekehrt. Was übrigens ja auch leicht einzusehen ist, weil eine angreifende Kraft (beispielsweise aus fortschreitender Einengungstendenz) in einer dünnen Schichte (jetzt abgesehen vom Mineralaufbau und dem Gefüge) weniger Widerstand gegen Verformung vorfindet, als in einer sehr viel dickeren Gesteinsbank.

Die Kluftdichte wird auch im Gründungsbereich des Kraftwerkes eindeutig von der Tektonik bestimmt. Besonders gut ist dies im Abschnitt des Krafthauses (M1/M2) zu sehen, denn hier wirkt sich die nahe Überschiebungzone des Flysches auf die Molasse sehr stark auf die dunklen Tongesteine und Glaukonitquarzite aus. Die Zerschering und Verdrehung wurde auch in den Signaturen berücksichtigt.

In mehreren Gründungsabschnitten tritt der Effekt von lokalen Verdrehungen und Schuppungen (hervorgerufen durch unterschiedlichen Kräfteangriff) innerhalb dieser Flyscheinheit, in den Pelitzonen mit „schwimmenden“ Sandsteinbrocken, deutlich in Erscheinung. Daß die Klufscharen in den Peliten nicht sehr gut ausgebildet und somit meßbar sind, ist evident, deshalb wurden die Hauptkluftrichtungen aus den kompetenten Psammitlagen in die inkompetenten Feinsedimente hinein interpoliert.

In heute üblichen Betrachtungen über eine Verwitterungsgradierung wird häufig von einem Verwitterungsprofil ausgegangen. Damit ist die genaue Beschreibung des Gesteins- bzw. Gebirgszustandes vom frischen Gestein ausgehend bis hinauf zur aufgelockerten Zone und dem eigentlichen Boden, gemeint. Einige Auto-

ren, wie W. R. DEARMAN (1976) und E. WALLRAUCH (1969) definieren bis zu sechs Verwitterungsgrade. Mir ist dabei sehr wohl bewußt, daß die Festlegung von Verwitterungsstadien auch durch Labortests, im besonderen in der Frage der Tonmineralverteilung und des Gehaltes an Eisenoxid bzw. -hydroxid, liegen muß. Bei einfacheren Baugrundverhältnissen (O. KECK, 1976) aber genügt sicherlich die weithin gepflogene Vierer-Einteilung, wie ich sie im Kapitel 6.2.1 gewählt habe. Es hat sich nämlich gezeigt, daß für die praktischen Belange eine straffe Gradierung in vier Schritten besser ist, als eine mit sechs Möglichkeiten. Wohl auch deshalb, weil die Übergänge zwischen „mäßig verwittert“ und „verwittert“ sowie zwischen „schwach angewittert“ und „frisch/unverwittert“ im Gelände stets sehr schwer und nur äußerst subjektiv zu ziehen sind. Das wird besonders dann deutlich, wenn bei bankweise geschichteten Gesteinen – wie im Flysch – des öfteren markante Sprünge in der Verwitterung auftreten.

Erheblich schwieriger ist die Klassifizierung bei den Peliten. Die Schluff-Tongesteine und vermehrt noch die reinen Tongesteine zeigten oft auf kleinerem Raum schon erhebliche Verwitterungsunterschiede.

Für die Geländeaufnahme gewählte Verwitterungsgrade der Pelite waren:

- Zu den *f r i s c h e n / u n v e r w i t t e r t e n* Tongesteinen sind braune bis dunkelbraune, muschelig brechende, sehr schwer zu zerschlagende, auch gerne „kompakt“ genannte Typen, zu zählen.
- Als *a n g e w i t t e r t* wurden tonig-schluffige Gesteine dann bezeichnet, wenn man noch von Kluftkörpern sprechen konnte und diese an den Rändern bereits oxidiert bzw. plastifiziert waren.
- Im *v e r w i t t e r t e n* Zustand waren die Pelite meist zerschert, gebogen, wirt gelagert, im Bruch zerscherbelt und mattschwarz. Auch scherbilg-polygonal zerfallene Schluff-Tonsteine gehören zu dieser Kategorie.
- Dem stärksten Grad der Verwitterung, also *e n t f e s t i g t – z e r s e t z t*, sind Tongesteine mit einer intensiven Zerschierung und einem bröckeligen Charakter zuzuordnen. Weiters herrscht starke Plastifizierung vor und manche Tonsteine unterliegen einem dünnblättrigen Zerfall (s. Foto 10). Hartgesteinsreste sind nur mehr selten zu finden.

Je nach Aufgabenstellung werden in der Ingenieurgeologie standardisierte und im Gelände anwendbare Methoden zur Aufnahme und Charakterisierung von Verwitterungserscheinungen benötigt.

In Verbindung mit einfachen in-situ-Messungen, wie Tests mit dem Schmidt-Hammer, einem Punktlastgerät oder einem transportablen Felsschergerät, könnten bereits wichtige Parameter erfaßt werden. Daß eine fundierte Bestimmung von Verwitterungsstadien natürlich von der regionalen Kenntnis sehr vieler, verschiedener Gesteine, ihrer Mikrostruktur und deren Verhalten bei Beanspruchung abhängig ist, ist klar. Wie vielfältig dieser Fragenkomplex eigentlich ist, wird sehr deutlich durch K.-H. HEITFELD (1985) in einem umfassenden Werk über den „Grenzbereich zwischen Locker- und Festgesteinen“ dargelegt.

7.0 Felsmechanische Betrachtungen

Aushubbedingte Entlastungsbewegungen sind bei Bauwerken mit einer Flächenausdehnung von mehr als 90 ha sicher keine außergewöhnliche Erscheinung. Trotzdem möchte ich über den Hebungs- und Setzungsverlauf dieses Laufkraftwerkes auch einiges aus felsmechanischer Hinsicht anmerken.

Generell kann gesagt werden, daß nach den geringfügigen Hebungen in der gesamten Baugrube, also unmittelbar nach Entlastung durch den Aushub, mit dem Einsetzen der Betonierphasen und damit neuerlicher Belastung die Deformation wieder ausgeglichen und langsam in eine Setzung umgewandelt wurde. Dies entsprach im wesentlichen auch dem von der Berechnung erwarteten Verformungsverhalten.

Der Stand nach etwa dreijähriger Beobachtung der Baugrunddeformation ergibt nun folgendes Bild:

Seit der Periode des Aufstauens bis heute ist im Krafthausabschnitt eine Setzung von etwa 4 mm zu beobachten gewesen. Der Schleusenunterhaupt-Meßpegel ergab im gleichen Beobachtungszeitraum eine Hebung von ca. 4 mm. (Die Meßpegel sind in ein vertikales Bohrloch eingebaute Stangenextensometer, deren unteres Ende im Bohrloch-tiefsten verankert ist. Am oberen Ende dieses Meßpegels ist eine Ablesevorrichtung angebracht, welche es erlaubt, die Bewegungen des Fundierungsniveaus auf 0,01 bis 0,1 mm genau zu messen.) Die Wehranlage hat keinerlei vertikale oder horizontale Veränderungen mitgemacht.

7.1 Krafthausbereich

Zu einem guten Drittel wurden die neun Maschinensätze auf Sandsteinen und Quarzkonglomeraten gegründet. Des weiteren fällt etwa ein knappes Drittel auf den Wechsellagerungsbereich (Feinsand-Schluff/Tongestein) und nur der Rest des Bauwerkes ist in den Tonsteinbereich eingebunden. Die relative Vormacht feinsandiger und pelitischer Gesteine macht eine geringe Setzung in diesen Gesteinsflächen durchaus plausibel. Bekanntlich dauern auflastbedingte Verformungen in feinkörnigen, tonigen Gesteinen lange an, um sich nach einer Konsolidierungsphase einem endgültigen Gleichgewichtszustand anzupassen. Diese geringe Setzung oder besser das Maß der Zusammendrückbarkeit dieser tonigen bis tonig-siltigen Gesteine ist hier auch sicher durch die geringe Verwitterungsdauer (= Zeitspanne vom Freilegen des Gründungsgesteines bis zur Schutzbetonabdeckung) bedingt. Es hat sich also das ohnehin schon stark tektonisch beanspruchte (s. Abb. 2) und zum Teil auch als verwittert zu bezeichnende Material (besonders im nördlichen Krafthaus-Abschnitt) unter der Belastung der Maschinenblöcke im Laufe der Jahre um dieses zu Anfang genannte, bescheidene Maß eingedrückt.

7.2 Wehrbereich

Etwas anders liegen die Verhältnisse in der Wehranlage. Im Gegensatz zum Krafthausabschnitt, wo jeder einzelne Maschinenblock für sich standfest ist, wurde die Wehranlage so ausgebildet, daß sie vom Trennpfeiler bis zum Montagepfeiler als einheitliches statisches System wirkt. Das als Rahmenbauwerk konzipierte Wehr steht

zu mehr als 50 % auf verschiedenkörnigen Sandsteinen. Der Rest des Bauwerkes ist auf „Wechselagerungsgesteinen“ fundiert. Durch das einheitliche Tragvermögen der gesamten Anlage werden Setzungsunterschiede kaum auftreten. Außerdem sind hier die schluffig-tonigen Abschnitte nicht auf große Flächen konzentriert, etwa wie im Krafthaus-Nordabschnitt, sondern bilden kleinere, linsige oder zungenartige Lappen in den geschichteten Flyschsandsteinen.

7.3 Schleusenanlage

Bei den alttertiären Greifensteiner Schichten, in denen die glaukonitführenden Sandsteine liegen, ist auch von einer Vorbelastung oder besser von einer durch das Sedimentgeschehen bedingten Auflast zu sprechen. Das zeigt sich darin, daß die in den Sandsteinen innewohnenden Spannungen noch so groß waren, daß beim Aushub oder kurz danach deutliche, mehrere Meter anhaltende, horizontale bis subhorizontale Entlastungsklüfte auftraten (s. auch Abb. 4).

Nach S. PREY (1974) ist der Greifensteiner Schichtkomplex über 600 m mächtig gewesen. Wenn die Donau im Altquartär noch um etwa 100 m höher geflossen ist und dies natürlich auch im Bereich des heutigen Kraftwerksstandortes tat, vorgezeichnet durch den miozänen Bruch, der Bisamberg und Leopoldsberg versetzt, so muß noch mindestens 100 m dieses Sandsteinkomplexes mehr vorhanden gewesen sein. Daraus folgt, daß bei Annahme einer mittleren Dichte der Sandsteine von $0,27 \text{ MN/m}^3$ immerhin die theoretische Vertikalspannung von 27 MN/m^2 oder in der alten Einheit 270 kp/cm^2 betragen hat. Eine allfällige Auftriebskomponente ist dabei außer acht gelassen. Damit verbunden ist allerdings noch eine von SSE andrängende Kraft, die durch die Aufschiebung der Nördlichen Kalkalpen auf die Flyschzone gegeben war.

Beide Beanspruchungen haben nun die Sandsteine unter Spannung gesetzt, die sich im Laufe der Erosion durch die Donau in einer langsamen Entlastung äußerte und damit zu einer oberflächenparallelen Klüftung geführt hat.

Der ursprüngliche Verdacht auf schwellfähige Tonminerale hat sich in dem glaukonitführenden Sandstein wohl bestätigt, doch sind durch die sehr geringe Menge dieser Schichtsilikate sämtliche Quellvorgänge im Gesteinsgefüge bereits abgebaut worden. Es ist somit anzunehmen, daß in den, heute unter ständiger Wasserbedeckung liegenden Sandsteinen der Unteren Lände- und Leitmauer dieser geringe Anteil an mixed-layer-Tonmineralen (s. Kapitel 3.3.1) zu einem Hineinwandern, Ausfüllen und Verstopfen von Poren und Mikrorissen durch Tonmaterial geführt hatte. Das beweist auch der Schwelldruckversuch an den Sandsteinwürfeln, die nicht das geringste Anzeichen für eine Schwelldehnung auch nur in einer Achse, gezeigt haben!

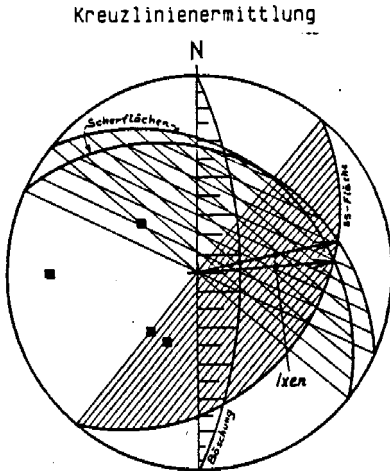
Da dieser Umstand für eine Hebung des Gründungsniveaus im Schleusenunterhaupt nunmehr entfällt, der Einfluß von Temperaturschwankungen mit nachfolgender Änderung des Spannungsgeschehens nach R. WOLTERS (1969) gegenüber dem Dominieren einer Überschiebungstektonik in diesem Raum mit einst wohl gewaltigen horizontalen und vertikalen Kräften eher sehr gering ist, bleiben nur die langsamen, erosionsbedingten Hebungen als Ursache für die Anlage von oberflächenparallelen Klüften.

7.4 Sandsteinkeil im Krafthausabschnitt

In geradezu lehrbuchmäßiger Form ist im Krafthaus bei M9/M8 beim oberwasserseitigen Böschungsaushub, ein von zwei gegensinnig einfallenden Tonsteinflächen begrenzter Sandsteinkeil mit flach nach Osten geneigter Ixe (s. Abb. 11), im März 1982

Donaukraftwerk Greifenstein
Sandsteinkeil M9/M8

Abb. 11: Sandsteinkeil bei M8/M9 oberwasserseitig – Kreuzlinienermittlung.



4 Messungen
■ — geot. wtg. Flächen
Wien 1987-07-07

Bearbeiter:
Dr. R. Schwingenschlögl

abgeglitten. Die Gesamthöhe des Keiles betrug etwa 12 m und der tiefste Punkt der Ixe fiel mit dem Gründungsniveau zusammen (s. Abb. 12/13).

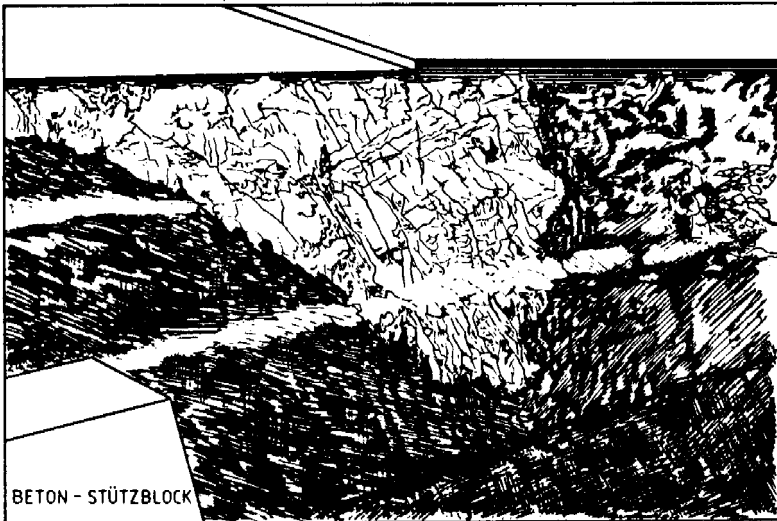


Abb. 12: Sandsteinkeil im Krafthausabschnitt, oberwasserseitige Böschung bei M8/M9.

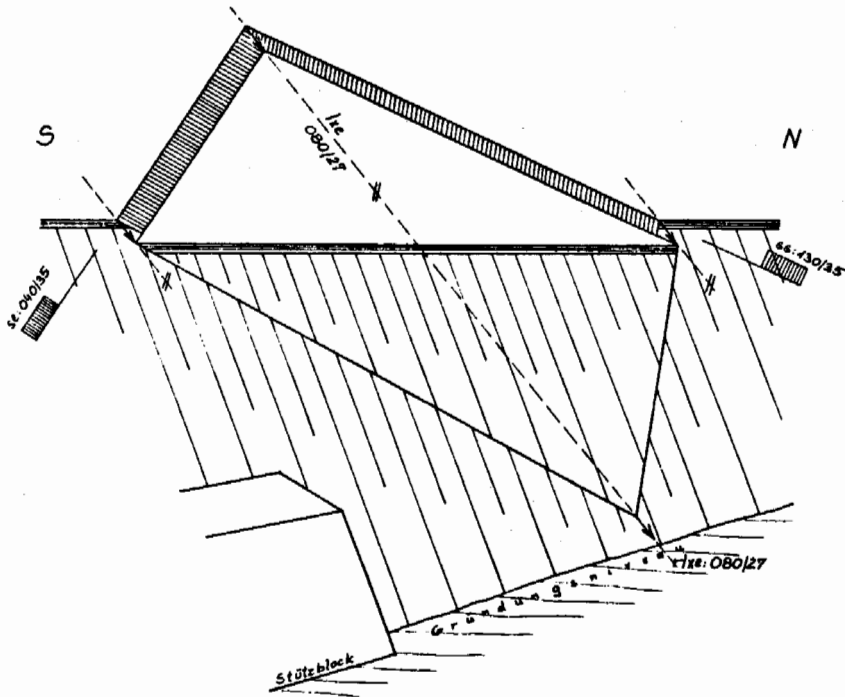


Abb. 13: Sandsteinkeil mit felsmechanischer Deutung (Aushubböschung stark idealisiert!)

Kinematisch handelt es sich hier um den Fall: „Gleiten eines Felskeiles parallel zur Schnittgeraden von se und ss“. Für das Problem des Gleitens in Richtung der Schnittgeraden gibt W. WITTKÉ (1984, S. 324 ff.) an, daß vor allem der Nachweis gegen Gleiten zu führen ist. Dazu müßten die Kennwerte φ und c auf den beiden tonigen Trennflächen ermittelt sowie das Volumen und das Gewicht des Felskeiles möglichst genau bestimmt werden. Seine Berechnungen für die erforderliche Ankerkraft von Vorspannankern sind in diesem Falle als theoretische Grundlage anzusehen. Genausogut könnte man durch einen geschickt gesetzten Stützblock, d. h. bei etwas veränderter Stützblockfolge (s. auch R. SCHWINGENSCHLÖGL, 1984, Bild 9 und 11), am Böschungsfuß eine bessere und schneller praktikable Lösung finden. Vom Gesichtspunkt des im Felsbau tätigen Geologen war es reizvoll, die Kluftstellungen und die Ixenlage dieses „Felskeiles“ einer hier ausschließlich theoretischen Betrachtung unterzogen zu haben.

8.0 Das Alter und einige Charakteristika der Flyschgesteine

Im Gründungsbereich des Hauptbauwerkes liegt eine aufrechte Schichtfolge, beginnend mit oberer Unterkreide (?) im nördlichen Krafthaus und endend mit altertären Greifensteiner Schichten im Schleusenabschnitt, vor. Die Grenze zwischen Krei-

de und Tertiär dürfte im Mittelteil des Krafthausabschnittes liegen. Fossilbelegt, durch Nannoplankton aus dem Campan-Maastricht, ist bloß der Typus der Altenglbacher Schichten zu Beginn der Wehranlage.

In den siltig bis feinsandigen Partien konnten in allen Bauwerksabschnitten der Gründungsfläche Strömungswülste gefunden werden. Im Durchschnitt zeigen diese Sedimentmarken mit einer Neigung zwischen 15 und 45° nach Ost bis Ostnordost. Desgleichen wurden häufig „load casts“ und Wickelschichtungen in den tonigen bis tonig-mergeligen Bereichen beobachtet.

Eine äußerst eigentümliche Form von Flyschsediment fand sich am Ende der Unteren Leitmauer im Schleusenabschnitt. Es waren dies sehr harte, kalkig zementierte Sandsteinkugeln mit einem Durchmesser von 60 bis 120 cm. Die Ausmaße im Anschnitt durch die Aushubböschung lassen auf eine kugelige bis ellipsoidische Form schließen. Beide „Kugeln“ liegen in schwach Glaukonit führenden Mittel- bis Grobsandsteinen. Auffällig war überdies, daß die Lage der „Kugeln“ genau die Sedimentationsschichtung widerspiegelt. An den Rändern zum umgebenden glaukonitischen Sandstein waren weder Eingleit- oder Eindrucksuren zu sehen, noch ergaben sich Hinweise auf die Herkunft des Materials. Obwohl im ganzen Gründungskomplex diese Erscheinung nur zweimal auftrat, glaube ich, daß es sich nach P. FAUPL (1981, S. 44 ff.) hier um zwei Olistholithe aus einem Schuttstrom handelt, deren gute Zurrundung auf einen längeren Transport hindeutet.

9.0 Danksagung

In erster Linie gilt mein Dank dem Verständnis der Donaukraftwerke-AG, welche durch ihren Herrn Vorstandsdirektor Dipl.-Ing. E. SCHMIDT eine großzügige finanzielle Unterstützung für die Druckkosten bereitgestellt hatte. Weiters gilt mein Dank Herrn Univ.-Prof. Dr. F. MAKOVEC (Vorstand am Institut für Grundbau, Geologie und Felsbau der TU-Wien), welcher auch diesmal die Manuskriptkorrektur übernommen hatte. Seine langjährigen Erfahrungen in Fundierungsfragen und geologischen Problemen beim Bau von Laufkraftwerken sowie den geotechnischen Voruntersuchungen und Messungen dazu, waren mir stets eine große Hilfe.

Bei meinen Herren Kollegen Prof. Dr. B. SCHWAIGHOFER und Dozent Dr. H. MÜLLER bedanke ich mich für die wichtigen Diskussionen und Hilfestellungen hinsichtlich der Frage der Tonmineralogie und der Analysenauswertung.

Zuletzt möchte ich mich noch bei Frau Helene HELLER bedanken, die in vorbildlicher Art und Weise die zeitaufwendigen Zeichenarbeiten übernommen hatte.

Auch den Herren Dr. M. ROCKENSCHAUB und F. OTTNER sei für die mühevollen Auf- und Zubereitung der Proben von glaukonitischen Quarzsandsteinen gedankt.

10.0 Literaturverzeichnis

- ASHGIREI, G.D. (1963): *Strukturgeologie*. – XVI + 572 S., 369 Abb., 22 Taf., Berlin (VEB Deutscher Verlag d. Wissenschaften).
- BELLMANN, H.J. (1981): Beitrag zu den Eigenschaften des Glaukonits und Glaukonit-führender Sedimente. – *Z. angew. Geol.*, 27 (1981), H. 10, S. 488–491, 3 Abb., Berlin.

- CLOOS, H. (1938): Geologisch Zeichnen. – Geol. Rundschau, 29, 599–604, 3 Abb., Stuttgart.
- DEARMAN, W.R. (1976): Weathering classification in the characterisation of rock: a revision. – Bull. Int. Ass. Engin. Geol., 13, 123–127, Paris.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (Hrsg., 1969): DIN 4022 – Schichtenverzeichnis für Untersuchungen und Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben. – 12 S., Berlin, Köln.
- DGEG (Ed., 1982): Grundbegriffe der Felsmechanik und der Ingenieurgeologie. – 426 S. (2. Aufl.), 46 Abb., Essen (Glückauf GmbH).
- EINSELE, G. et al. (1985): Auflockerung und Verwitterung in der Ingenieurgeologie: Übersicht, Feldansprache, Klassifikation (Verwitterungsprofile) – Einleitender Beitrag. – [In:] HEITFELD, K.-H. (1985): Ingenieurgeologische Probleme im Grenzbereich zwischen Locker- und Festgesteinen. – VIII + 695 S., 397 Abb. Berlin (Springer-Verlag).
- FAUPL, P. (1981): Die Entstehung der Flysche im Lichte der Kontinentalrandforschung. – Schrift. Ver. Verbrtg. naturwiss. Kenntnisse Wien, 39–73, 6 Abb., Wien.
- GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT (1984): Geologische Karte von Wien und Umgebung, 1:200000. – Geol. B.-A., Wien.
- HÄUSLER, H. (1963): Zur Anschätzung der mechanischen Eigenschaften des Gesteinsverbandes bei Fundierungen. – Mitt. Inst. Grundbau Bodenmech., 5, 35–44, 7 Abb., Wien.
- HEITFELD, K.-H. (1979): Durchlässigkeitsuntersuchungen im Festgestein mittels WD-Testen. – Mitt. Ing.- u. Hydrogeol., 9, 175–218, 20 Abb., 1 R., Aachen.
- HERTWECK, G. (1961): Die Geologie der Ötscherdecke im Gebiet der Triesting und der Piesting und die Frage der alpin-karpathischen Abbiegung in den niederösterreich. Kalkalpen. – Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud., 12, 3–84, 6 Taf., Wien.
- KECK, O. (1976): Ingenieurgeologische Untersuchungen an Verwitterungsgesteinen des Oberdevons im Raum Aachen. – Mitt. Ing.- u. Hydrogeol., 2, 1715, 84 Abb., 84 Abb., 8 Tab., Aachen.
- MAKOVEC, F. (1981): KW Greifenstein. Geologischer Bericht zum Einreichprojekt. – Unveröff. Ber. Österr. Donaukraftwerke AG, Bau-Geologie, 48 S., 8 Abb., Wien.
- MÜLLER, L. (1963): Der Felsbau. Bd. 1. – XXIV + 624 S., 307 Abb., 22 Taf., Stuttgart (Verl. Enke).
- NADAI, A. (1959): Theory of flow and fracture of solids. – 572 S., New York (Mc Graw Hill).
- PETERSS, K. (1980): Klüfte-Merkmale, Entstehungsdeutungen, ihre Verwendbarkeit für die Rekonstruktion von Spannungen sowie ihre Bedeutung für die Erdöl-Erdgas-Industrie. – Z. geol. Wiss., 8(7), 853–877, 5 Abb., 2 Tab., Berlin (DDR).
- PETTIJOHN, F.J. et al. (1972): Sand and Sandstone. – XVI + 618 S., 258 figs., Berlin-Heidelberg (Springer-Verl.).
- PREY, S. (1974): Die Flyschzone des Wienerwaldes. – 57 S., 5 Abb., 2 Tab., 1 Kt. – [In:] PLÖCHINGER, B. & PREY, S. (1974): Der Wiener Wald. – Sammlung Geol. Führer, 59, XI + 141, 23 Abb., 3 Tab., 2 Ktn., Stuttgart (Borntraeger).
- PRINZ, H. (1982): Abriß der Ingenieurgeologie. – XVI + 419 S., 252 Abb., 50 Tab., Stuttgart (F. E.).
- SCHMIDT, F. (1983): Ausbildung glaukonitischer Phasen in Sandsteinen von Ober-

- kreide, Flysch und Tertiär in Salzburg, Ober- und Niederösterreich. – Unveröff. Diss. Formal- u. Naturwiss. Fak. Univ. Wien, 164 S., 120 Abb., 27 Taf. Wien.
- SCHWINGENSCHLÖGL, R. (1984): Die geologische Baugrunderkundung des Donaukraftwerkes Greifenstein. – Felsbau, 2 (1984), Nr. 1, 16–25, 12 Abb., Essen.
- WALLRAUCH, E. (1969): Verwitterung und Entspannung bei überkonsolidierten tonig-schluffigen Gesteinen Südwest-Deutschlands. – Diss. Univ. Tübingen, 184 S., 46 Abb., 7 Taf., Tübingen.
- WITTKÉ, W. (1984): Felsmechanik. – XVII + 1050 S., 798 Abb., Berlin-Heidelberg (Springer-Verl.).
- WOLTERS, R. (1969): Zur Ursache der Entstehung oberflächenparalleler Klüfte. – Rock Mech., 1, 53–70, 9 Abb., Wien-New York (Springer-Verl.).
- ZARUBA, Q. & MENCL, V. (1961): Ingenieurgeologie. – 606 S., 384 Abb., 14 Tab., Berlin (Akademie).

Liste der Beilagen

- Beil. 1 bis 8: Bohrprofile der Wasserabpreß- und Injektionsversuche.
- Beil. 9: Petrographie der Gründungsgesteine.
- Beil. 10: Klüftung der Gründungsgesteine.
- Beil. 11: Verwitterung der Gründungsgesteine.
- Beil. 12: Profile

angenommen am 20. 11. 1987

Liste der Fotos

- Foto 1: Scherbig-polygonaler Zerfall (Schwindrisse durch Austrocknen) von grünlich-grauen Pelitgesteinen im Oberwasserbereich des Krafthausabschnittes (M5).
- Foto 2: Glaukonit-führender Quarzsandstein an der Unteren Leitmauer (= Unterwasserseite des Kraftwerkes). Im rechten, unteren Bildviertel erkennt man deutlich die an den sedimentären Schicht-, aber auch schräg liegenden Klufflächen beginnende Entfestigung dieser Gesteine.
- Foto 3: Glaukonitischer Sandstein an der Unteren Leitmauer. Mineralische Bindung bereits weitgehend herabgesetzt. Verhält sich wie ein Lockergestein und ist mit der Hand zu „zerbröseln“.
- Foto 4: Sandsteine im Wehrbereich nach einem Tag ungeschützt aufgeschlossen. Mehrere cm-breite und einige dm-lange Austrocknungs- bzw. Bleichungsrinden aufweisend.
- Foto 5: Zwei–fünf Zentimeter dicker Mylonit im Feinsandstein des Schleusenunterhauptes.
- Foto 6: Grobklastisches Gestein, im Verband mit Grobsandsteinen. Nach dem Überwiegen der eckigen Gesteins- und Mineralbruchstücke hier als Brekzie zu bezeichnen. Die gut gerundeten Komponenten in der oberen Bildhälfte sind quarzitisches-glaukonitische Feinsandsteine.
- Foto 7: Glaukonitische Quarzite im tiefsten Aushubteil des nördlichen Krafthausabschnittes. Durch die intensive tektonische Beanspruchung entstanden einander kreuzende Quarzitlinsen.
- Foto 8: Schalige, konzentrische Strukturen aufweisende, gekrümmte Klufflächen (oberhalb des Hammers), in den mehr massigen Sandsteinen der Schleusenunterhaupt-Böschung.
- Foto 9: Großer Kluffkörper im Grobsandstein von den beiden Hauptkluffscharen begrenzt. Das sedimentäre Schichtungsgefüge fällt mittelsteil zur Bildmitte hin ein. (Krafthausenteil bei M8/M9 – Oberwasser.) Der spitze Winkel zwischen den Haupttrennflächen beträgt hier 70° . Die Haupteinengung (σ_1) ist vom oberen zum unteren Bildrand zu denken.
- Foto 10: Millimeter bis 0,1 mm dünne, leicht grüne Schiefertone bei Maschine 1 im Krafthausbereich (oberwasserseitige Aushubböschung); entsprechen dem Typus des entfestigten, in völliger Auflösung begriffenen Ton–Schluffgesteines.

Tafel 1



1

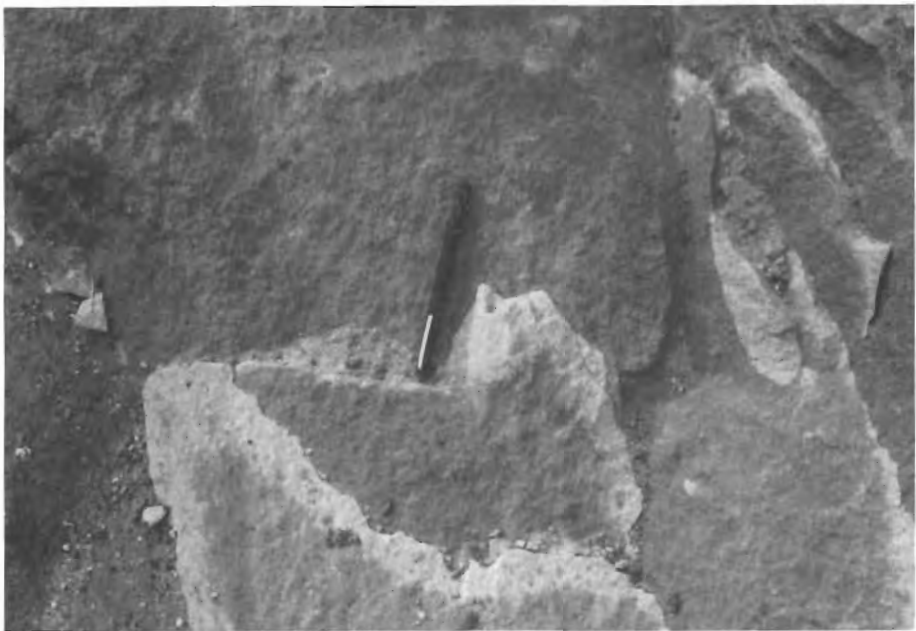


2

Tafel 2



3



4

Tafel 3



5

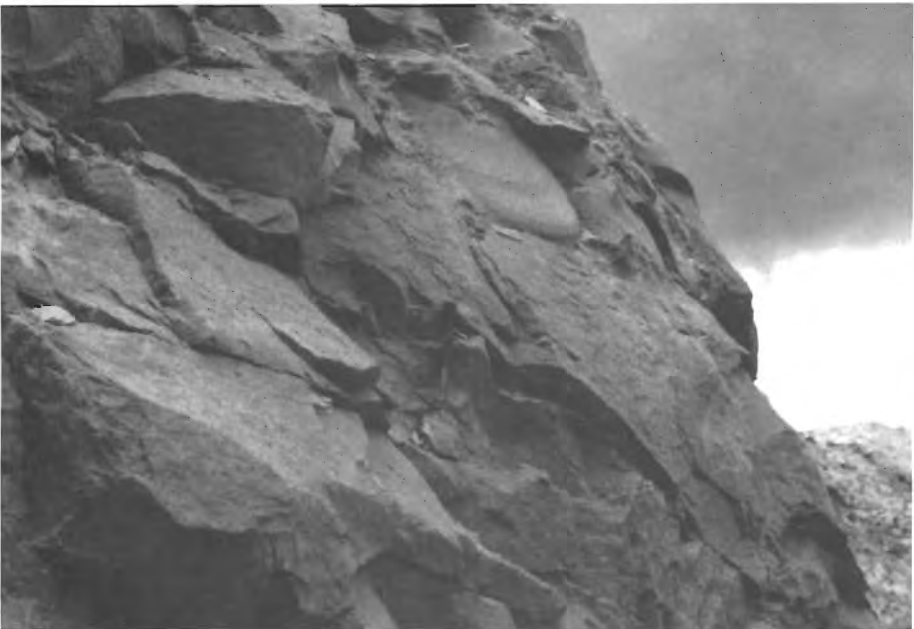


6

Tafel 4



7



8

Tafel 5



9



10

WASSERABPRESS - UND INJEKTIONSVERSUCHE IM HAUPTBAUWERK

BOHRUNG NR. 46

SIGNATUR	-2,45m	GESTEINSBESCHREIBUNG	Verwitterung												Klüftung					Gesteinsfest				RQD [%]					4 bar l/m × min			kg/m																																																															
			f			a			v			e			f			w			d			e			n			g			z			s			g			m			s			c			h			80			60			40			20			0			20			10			0			80			60			40			20			10			0		
			f			a			v			e			w			d			e			n			g			z			s			g			m			s			c			h			80			60			40			20			0			20			10			0			80			60			40			20			10			0					
	SOHLFUGE	grünlich - grauer Fein - Mittelsandst., stark Glaukonit führend.	[Hatched]												[Hatched]					[Hatched]				82 %					13,6			11,43																																																															
	-3,95m	grau - grünlichgrauer Fein - Mittelsandst.	[Hatched]												[Hatched]					[Hatched]				60 %					max. 0,4			5,94																																																															
	-6,45m	grau - hellgrünlicher Mittelsandstein (z.T. gefleckt - geädert)	[Hatched]												[Hatched]					[Hatched]				70 %					0,0			5,94																																																															
	-9,00m																																																																																														

WASSERABPRESS - UND INJEKTIONSVERSUCHE IM HAUPTBAUWERK

BOHRUNG NR. 47

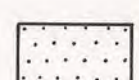

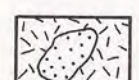








SIGNATUR	-2,60m	GESTEINSBESCHREIBUNG	4 bar l/m x min.													kg / m														
			Verwitterung			Klüftung			Gesteinsfest			R Q D [%]				W A P V.			Injektionsversuche											
			f	a	v	e	f	w	d	e	n	g	z	s	g	g	m	s	h	80	60	40	20	0	20	10	0	80	60	40
	SOHLFUGE	grauer, leicht grün = licher Feinsandstein (schwach Glaukonit führend)															80	60	40	20	0	10,21			52,6					
	-4,10m	grauer - grünlich = grauer Feinsandstein (schwach Glaukonit führend)															88	60	40	20	0	max. 0,80			10,8					
	-6,60m	grauer Fein - Mittelsandstein															45	60	40	20	0	max. 0,10			10,8					
	-9,20m																													

GEOLOGIE DER GRÜNDUNGSFLÄCHE DES DONAUKRAFTWERKES GREIFENSTEIN

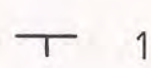
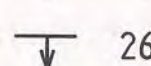
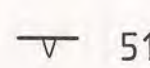
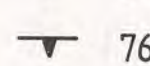
PETROGRAPHIE DER GRÜNDUNGSGESTEINE

RUDOLF SCHWINGENSCHLÖGL
1982 - 1984

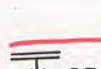
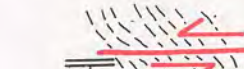

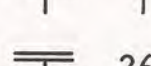

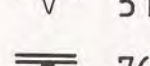
LEGENDE

-  SANDSTEINE mit TONSTEINZWISCHENLAGEN bis max. 100 cm
-  SCHLUFF-TONSTEINE mit SANDSTEINZWISCHENLAGEN bis max. 100 cm
-  PELITE, (= Schluff-Tonsteine) chaotisch lagernd mit SANDSTEINBRÖCKEN
-  STÖRUNGEN, VERWERFUNGEN (meist mit diversen Peliten gefüllt)
-  „MISCHZONE“ - SANDSTEIN / TONSTEIN in wechselndem VERHÄLTNIS
-  ERDÖLFÜHRENDE SANDSTEINE
-  MERGELZWISCHENLAGEN
-  MYLONIT z.B.: SANDSTEIN - MYLONIT
-  GLAUKONIT - FÜHRENDER SANDSTEIN mit TONSTEINLAGEN
-  tektonische BREKZIE aus SANDSTEIN / TONSTEIN in sandiger Matrix
-  UNTERBETON


FALLZEICHEN (ss - FLÄCHEN)

-  1 - 25°
-  26 - 50°
-  51 - 75°
-  76 - 89°

KLUFTFLÄCHEN und SCHLEPPUNGEN

-  35°
-  35°
-  1 - 25°
-  26 - 50°
-  51 - 75°
-  76 - 89°

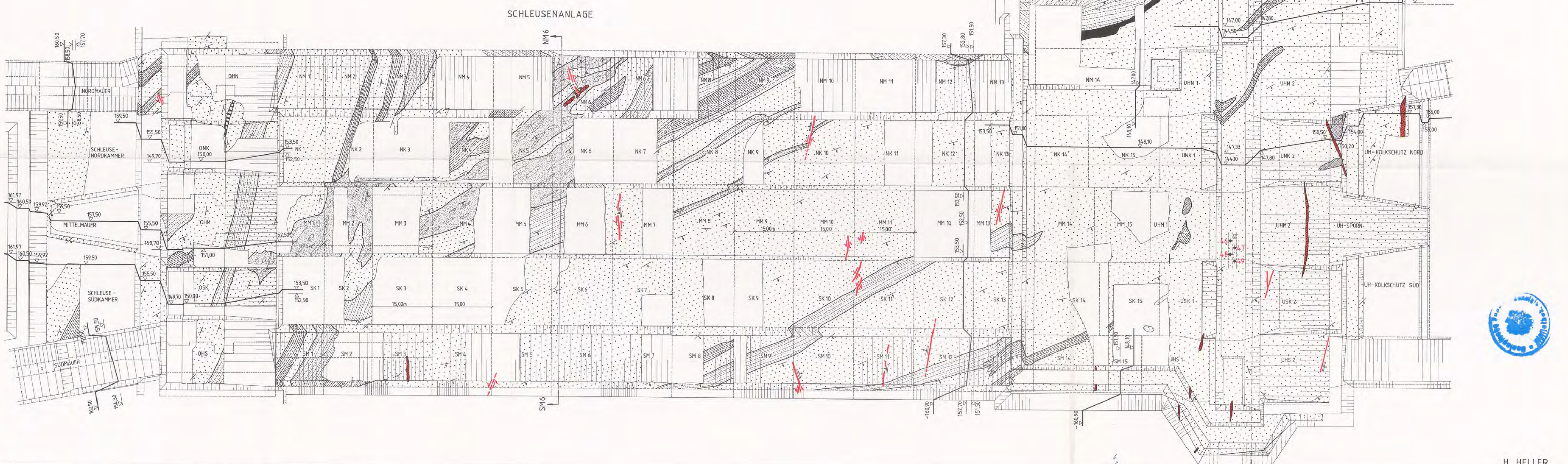
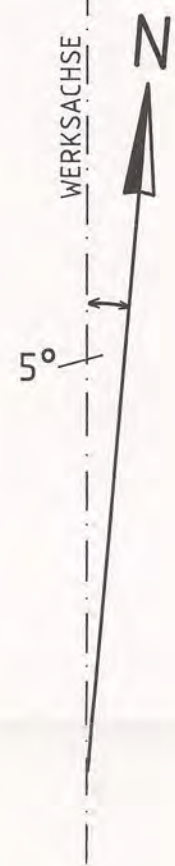
b - AXSEN

-  0 - 25°

PROFILLINIEN



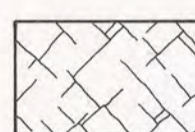
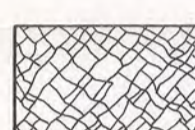

0 10 20 30 40 50 m

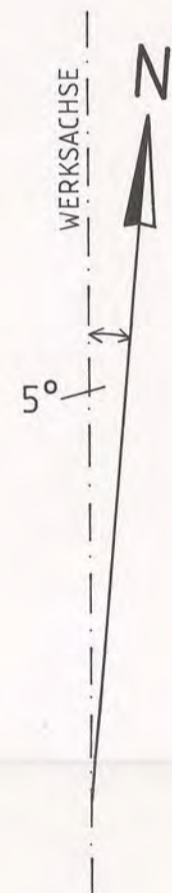
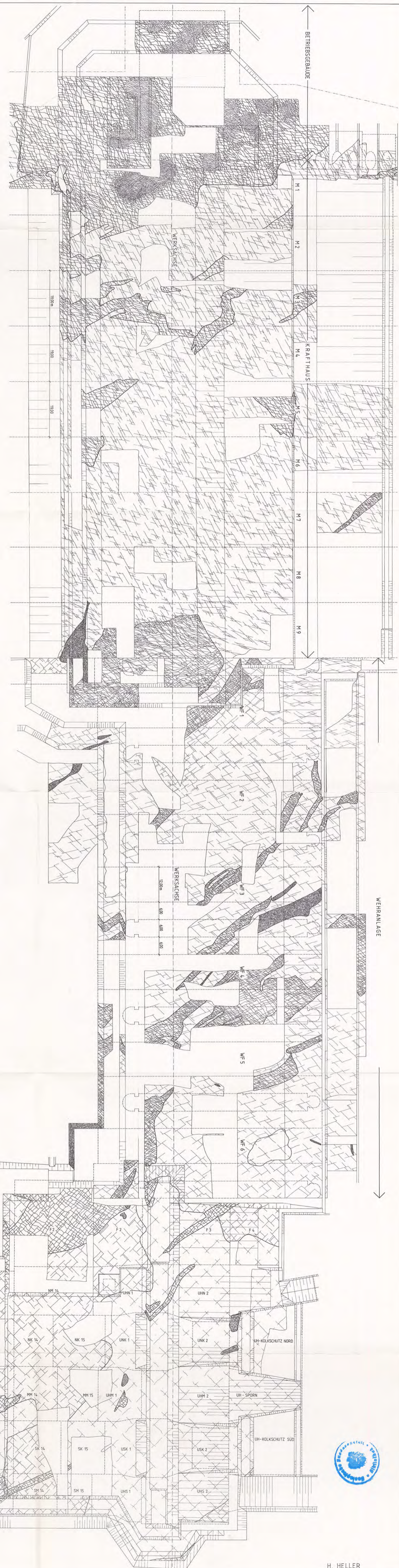


KLÜFTUNG DER GRÜNDUNGSGESTEINE

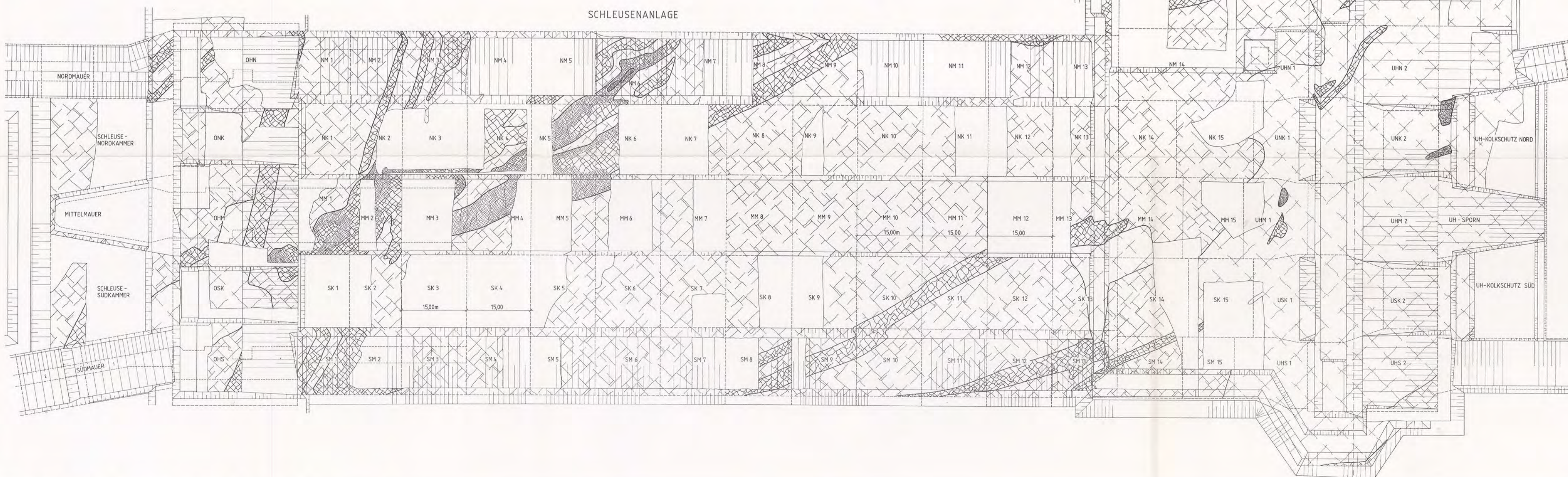
RUDOLF SCHWINGENSCHLÖGL
1982 - 1984

LEGENDE

-  dicht geklüftet (mittl. Kluffabstand 100 - 10 cm)
-  dicht - engständig geklüftet (mittl. Kluffabstand 100 - 1 cm)
-  engständig geklüftet (mittl. Kluffabstand 10 - 1 cm)
-  engständig - zerrieben geklüftet (mittl. Kluffabstand 10 - 0,1 cm)
-  mylonitisiert - zerrieben geklüftet (mittl. Kluffabstand 1 - 0,1 cm)
-  UNTERBETON



0 10 20 30 40 50 m



PS. 429,4

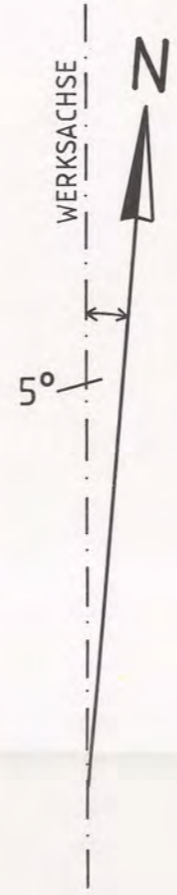
GEOLOGIE DER GRÜNDUNGSFLÄCHE DES DONAU-KRAFTWERKES GREIFENSTEIN

VERWITTERUNG DER GRÜNDUNGSGESTEINE

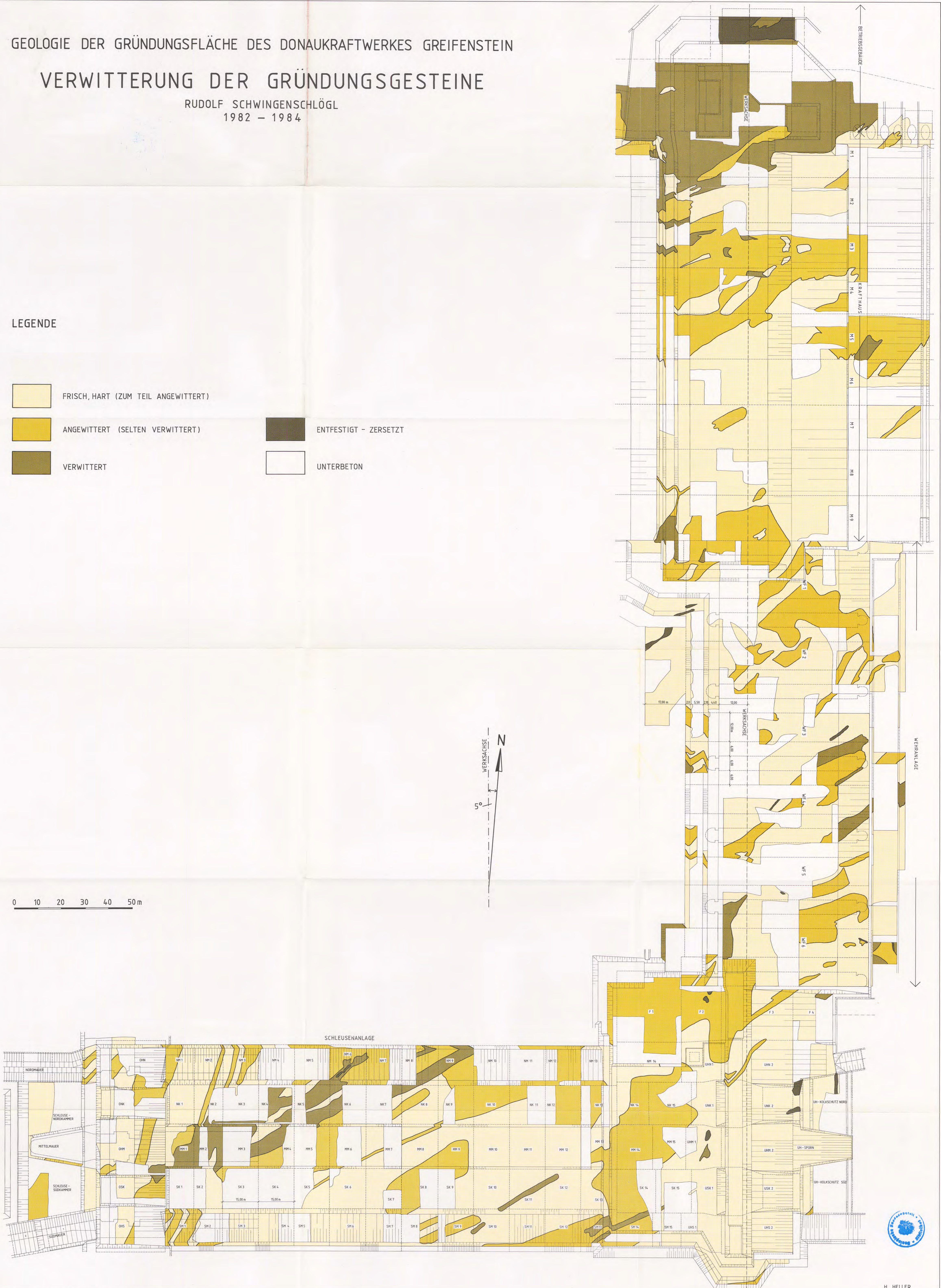
RUDOLF SCHWINGENSCHLÖGL
1982 - 1984

LEGENDE

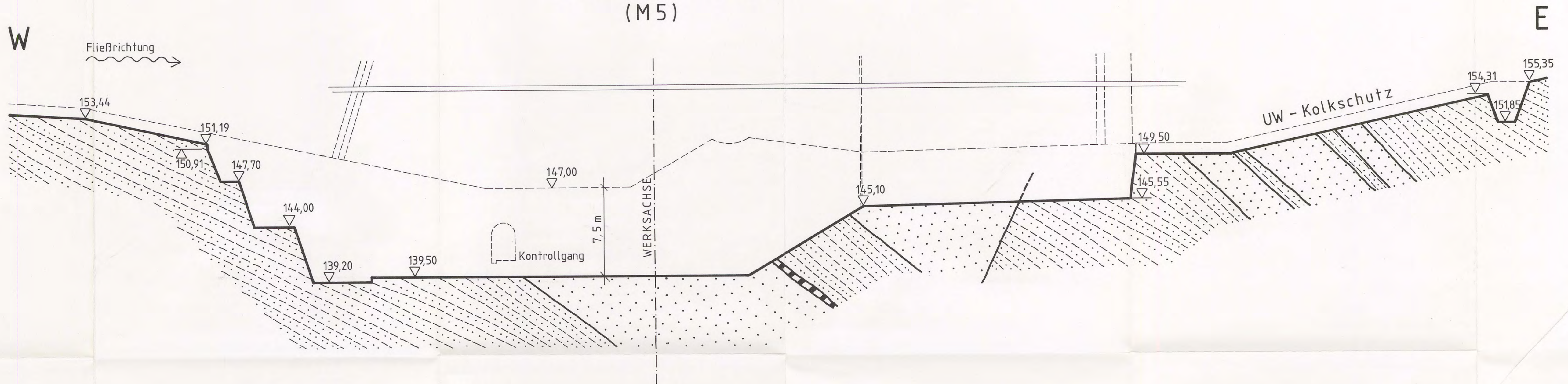
- | | | | |
|---|-------------------------------------|---|-----------------------|
|  | FRISCH, HART (ZUM TEIL ANGEWITTERT) |  | ENTFESTIGT - ZERSETZT |
|  | ANGEWITTERT (SELTEN VERWITTERT) |  | UNTERBETON |
|  | VERWITTERT | | |



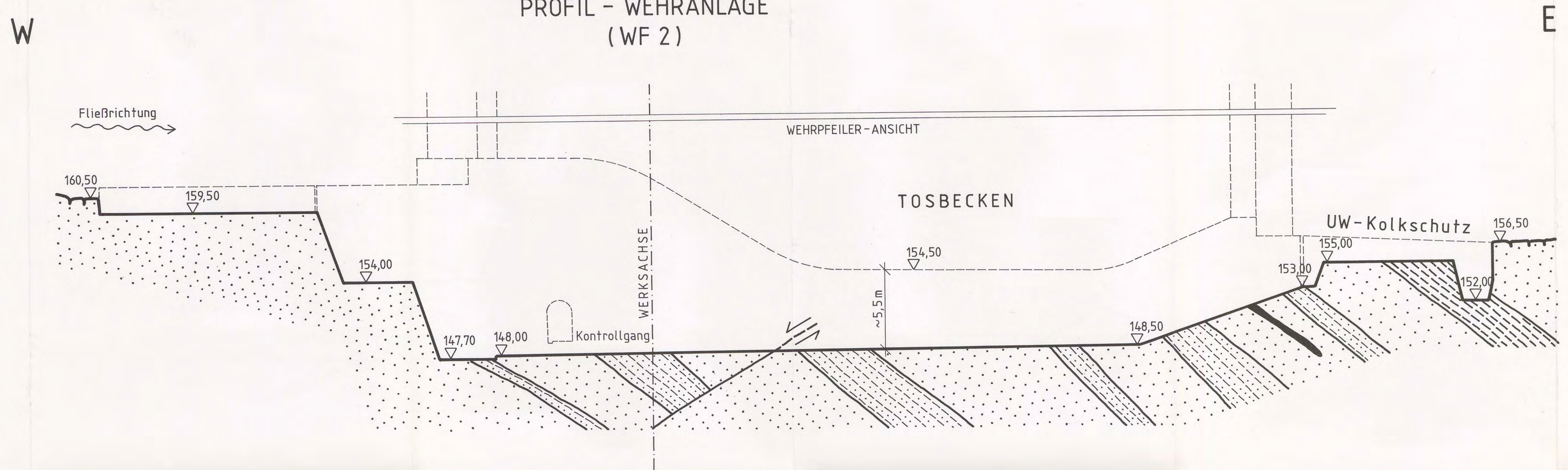
0 10 20 30 40 50 m



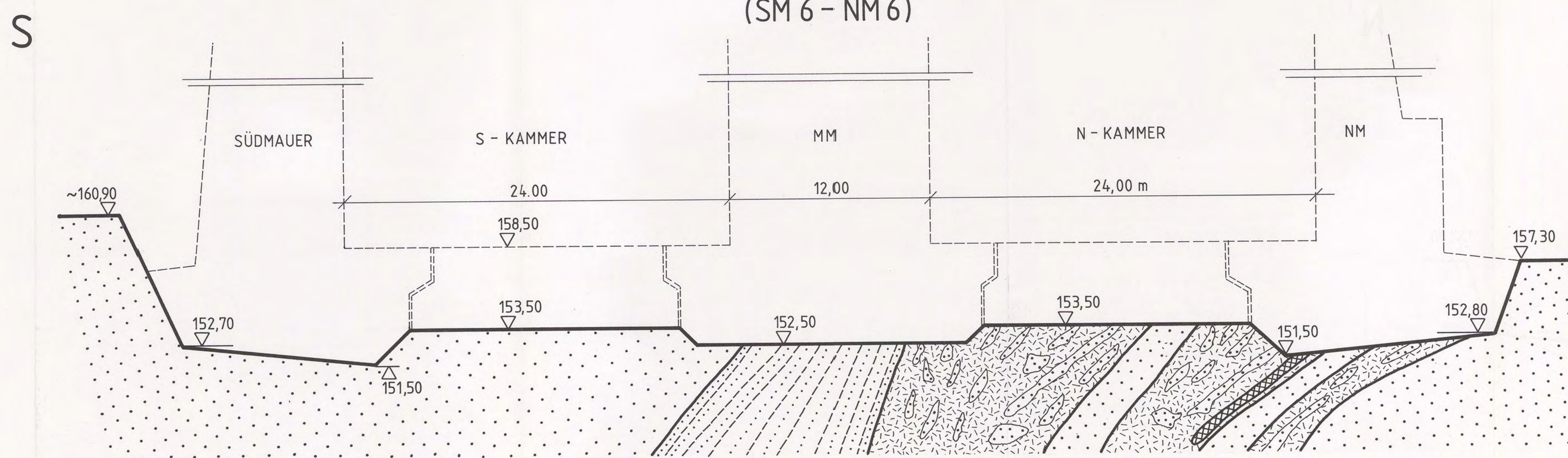
PROFIL - KRAFTHAUS
(M 5)




PROFIL - WEHRANLAGE
(WF 2)



PROFIL - SCHLEUSENANLAGE
(SM 6 - NM 6)



 stark tectonisierte Ton-Schluffsteine mit Sandsteinlagen

GEOLOGIE DER AUFSTANDSFLÄCHE
DONAUKRAFTWERK GREIFENSTEIN
GEOLOGISCHE PROFILE

BEARBEITET VON R. SCHWINGENSCHLÖGL 1987

H. HELLER