

# **KRAFTWERK FISCHING (Steiermark) - Bauen in überkonsolidierten Böden**

**L.P. BECKER**

*Herrn o. Univ.-Prof. Dr. Ernst H. WEISS zur Emeritierung gewidmet.*

## **1. Einleitung**

Das Kraftwerk Fischesing der Steirischen Wasserkraft- und Elektrizitäts- AG Graz (STEWEG) ist ein kombiniertes Stau- und Ausleitungskraftwerk in der M-förmigen Murschleife bei Mur km 304-308 zwischen Zeltweg und Judenburg. An dieser geologisch und morphologisch günstigen Stelle wurde am Beginn der ersten Murschleife (Abb. 1) ein dreifeldriges Wehr errichtet, das die Mur 11 m aufstaut und das Wasser über ein rund 1 km langes Triebwassergerinne dem Krafthaus zuführt. Die Ausbaufallhöhe beträgt rund 22 m, die Engpaßleistung liegt bei 19 MW, das Regelarbeitsvermögen bei 74 Mio kWh, wobei die Leistung der im Wehr liegenden Restwasserturbine (1,5 MW) mitberücksichtigt wurde. Einen Schnitt durch das überschüttete Krafthaus zeigt Abb. 2.

Im folgenden Bericht wird vornehmlich auf den Krafthausbereich eingegangen, da die übrigen Anlagenteile größtenteils in den Schottern des Quartärs gründen bzw. nur geringmächtig (wie das Wehr) in den Fels einbinden. Die Aushubarbeiten beim Krafthaus (KH) begannen zur Jahreswende 1991/92 und endeten - sieht man von Nacharbeiten im Auslaufbereich ab - im Herbst 1992. Der erste Sohlbeton wurde am 22.6.1992 eingebracht.

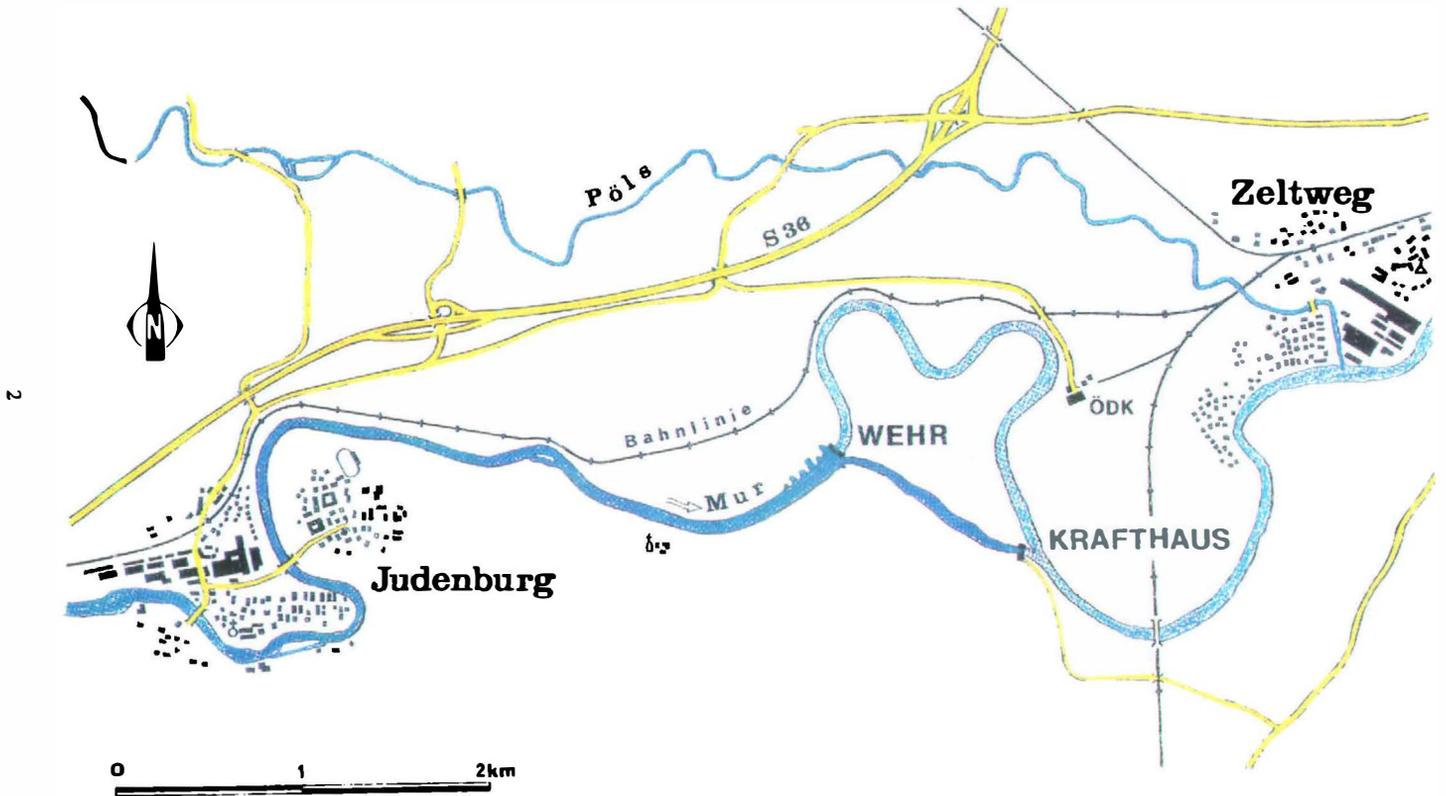


Abb. 1 : Übersichtsolan (STEWEG 1990).

# KRAFTHAUS - SCHNITT

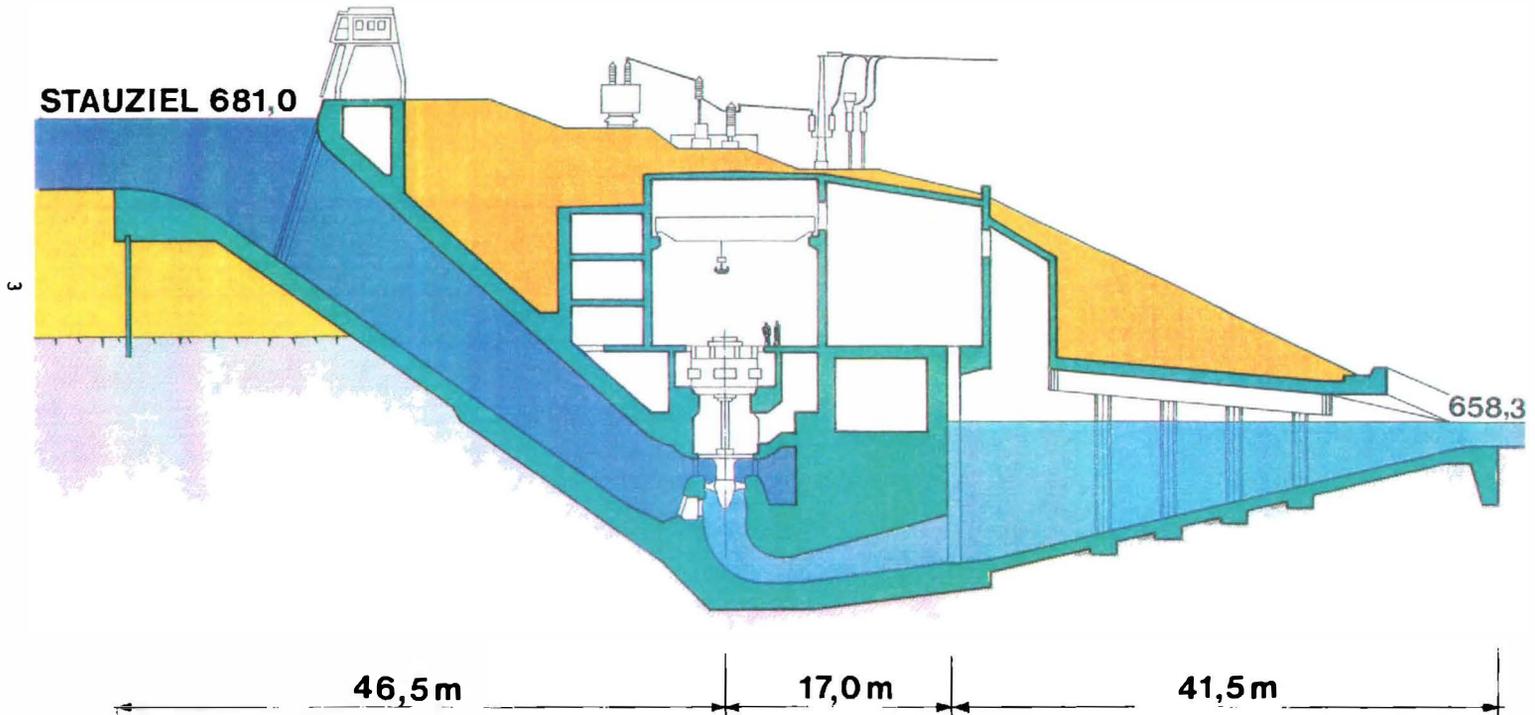


Abb.2: Schnitt durch d. Krafthaus entlang Maschine 1 (STEWEG 1990).

## 2. Geologischer Rahmen

Das KW Fischening liegt etwa im zentralen Bereich des Fohnsdorf-Knittelfelder Beckens, einem jungtertiären Becken der Norischen Senken, das unter- und umlagert wird vom mittelostalpinen Kristallin der Muriden (Abb. 3).

Durch den bis 1978 tätigen Kohlenabbau und die damit verbundenen, zahlreichen Bohrungen ist die Geologie bestens bekannt. Die Sedimentation (Abb. 4) beginnt im Karpat mit einer rund 1 m mächtigen, rötlich gefärbten Basalbrekzie, die rasch in einen bis 500 m mächtigen Sandstein mit einzelnen Konglomeratzügen übergeht ("Liegendschichten"). Dieser wird von einem bis zu 12 m starkem Kohleflöz (Glanzkohle) überlagert, dem dann die "Hangendschichten", zusammengesetzt aus Mergeln, Tonen, Sanden und Feinschottern folgen, in der Literatur häufig als "Mergelschiefer" oder "Tonmergel" zusammengefaßt. Im unteren Badenien wird die ältere Beckenfüllung von rund 1000 m mächtigen Blockschottern überlagert. Diese grobklastische Abfolge wird bei späteren Überlegungen noch von Bedeutung sein.

Die Tertiärschichten werden diskordant von quartären Sedimenten (Terrassenschotter, Sande und Konglomerate) überlagert, die stratigraphisch, betrachtet man den inneren Bereich des Beckens, der würmzeitlichen Niederterrasse zuzuordnen sind.

Tektonisch zeigt das Becken einen recht komplizierten asymmetrischen Synklinalbau : Der N-Schenkel fällt mit 15 - 30° gegen S ein, während der S-Flügel seiger bis leicht überkippt steht und von mehreren steilstehenden Verwerfern durchzogen wird.

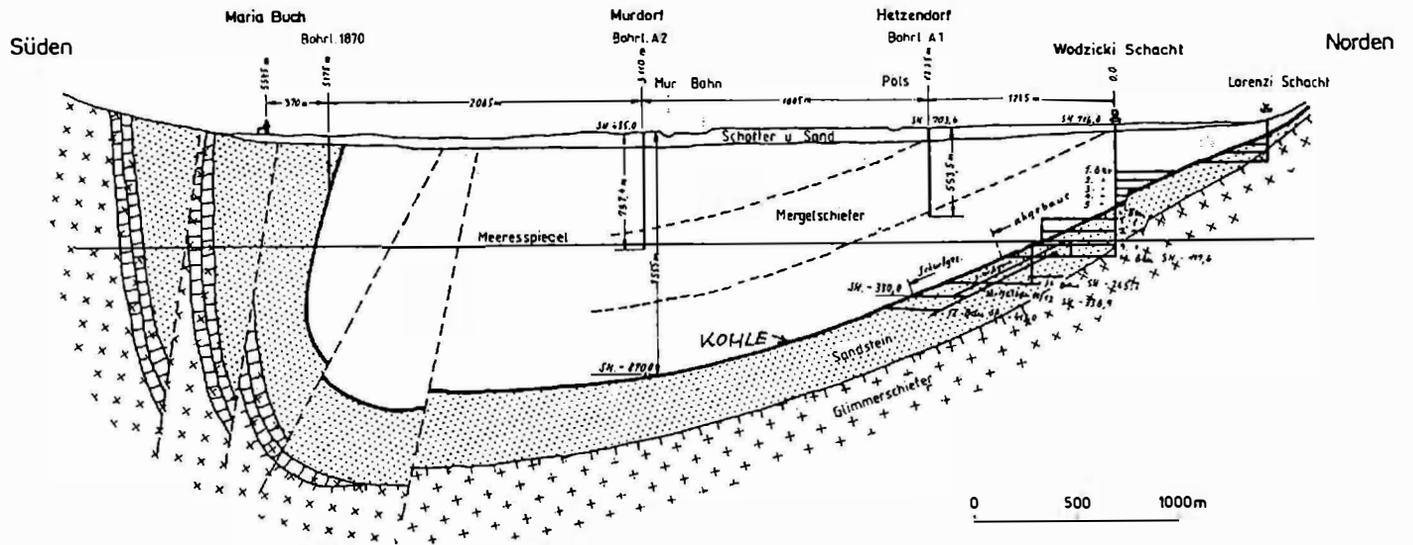


Abb. 3 : Geologisches Querprofil durch das Fohnsdorf-Knittelfelder Becken  
(nach W. PETRASCHKE, aus WEBER & WEISS 1983).

FOHNSDORF-KNITTELFELDER BECKEN (aus POLESNY H. 1970)	
UNTER-BADENIEN (UNTERTORTON)	<p>Ma. Bucher-Sinter Kraubather Magnesit (?) Kohlespuren</p> <p>Blockschotter <math>\geq 1000\text{m}</math></p> <p>Sandige Folge v. Apfelberg (50m) <math>\otimes</math> mit unterlagernden Blockschottern</p>
K A R P A T I E N (OBERHELVET)	<p style="text-align: center;">H A N G E N D S C H I C H T E N</p> <p>Zunahme der Schotterkomponente</p> <p>Tone, Sandsteine, Feinschotter u. Schotter</p> <p>Tone, sandige Tone, Sandsteine, Feinschotter u. Kohlespuren</p> <p>Mergel</p> <p>Fohnsdorfer Muschelkalk</p> <p>Brandschiefer</p> <p>-----</p> <p><b>■</b> Fohnsdorfer Horizont (-12m)</p> <p>-----</p> <p style="text-align: center;">L I E G E N D S C H I C H T E N</p> <p>Liegendsandstein <math>\otimes</math> (-500m)</p> <p>Liegendschotter</p> <p>Basisbrekzie Ton m. Kohlebrocken u. sandigen Bänken (Beckenmitte)</p>

Kohlenflöze **■** Tuffe  $\times$  Wirbellierfunde  $\otimes$

Abb. 4 Stratigraphische Tabelle des Fohnsdorf-Knittelfelder Beckens  
(BECKER 1980).

### **3. Geologie des Krafthausbereiches**

#### **3.1 Bohrergergebnisse**

Zur Vorerkundung des Krafthausstandortes wurden in den Jahren 1983 bis 1987 insgesamt sechs Kernbohrungen mit Endteufen bis zu 46 m niedergebracht. Sie zeigten die typische Sedimentverteilung der hangenden Karpatschichten halbfeste bis feste, tonige Schluffe ("Tonmergel"), dichtgelagerte Sande bis Sandsteine und sandige Kiese. Überlagert wurde das Tertiär von Quartärschottern (steinig, sandige Kiese) mit Mächtigkeiten bis zu 13 m, unregelmäßig schalten sich 0,5 bis 1,5 m starke Koglomeratbänke und -linsen ein. Die oberste Humusschicht wurde von einem 0,5 bis 1 m mächtigen Feinsandhorizont unterlagert. Die Tertiäroberkante zeigte eine im Mittel um 0,8 m mächtige Verwitterungsschwarte.

#### **3.2 Baugrube Krafthaus**

Die geologische Dokumentation erfolgte derart, daß jede freigelegte Aushubwand gezeichnet (auf Pläne im Maßstab 1:100 und 1:200) und fotografiert wurde. Die einzelnen Wandhöhen betragen im Tertiär 2 m, die Längen waren je nach Arbeitsphase unterschiedlich. Um eine möglichst genaue Aufnahme zu erhalten, wurden alle 2 m Profilmarkierungen an den Wänden aufgetragen. Ebenso wurden quer dazu weitere Profile in Abständen von 2 m markiert, sodaß sich ein fixierter Aufnahmeraster von

2x2 m ergab. Aufgrund der Aufnahmetechnik und den Übertragungen in die verschiedenen Planunterlagen wurde eine Dokumentationsgenauigkeit in den Plänen, trotz zahlreicher und z.T. intensiv wechsellagernder Schichten, von etwa 10 cm erzielt.

Die quartären Deckschichten im Krafthausbereich sind zeitlich der Würnniederterrasse zuzuordnen, im speziellen wird diese tiefere, bis zur Kote um 680 m üNN liegende Flur als "Neuer Hochstand" definiert. Gelegentlich war der Schotter konglomeriert. Ein leichtes Gefälle Richtung Osten war vor allem in sandigen Partien erkennbar.

Die Oberkante des Tertiärs lag um Kote 665 m üNN, die tiefste Aushubsohle wurde etwa bei Kote 643 m erreicht. Es wurde damit das Tertiär rund 22 m tief aufgeschlossen. Die größte Einschnitttiefe lag bei rund 35 m, die größten Aushubbreiten lagen im Quartär zwischen 70 und 43 m und im Tertiär zwischen 43 und 24 m.

### **3.2.1 Gesteinsarten**

Die quartären Schotter wurden aufgrund ihrer Korngröße als *sandige, steinige Kiese* mit unterschiedlichem Schluffanteil angesprochen. Die steinigen Komponenten erreichten i.allg. Durchmesser bis 20 cm, gröbere Blöcke wurden nur vereinzelt, und dann vor allem in der Quartärbasis angetroffen. Alle Kornfraktionen waren gut gerundet, das Geröllmaterial spiegelte die Gesteinsvielfalt der angrenzenden Kristallingebiete wider: Es dominierten Gneise, quarzitisches Glimmerschiefer und verschiedene

Hornblendegesteine, eher untergeordnet fanden sich Marmore, Silikatmarmore, Pegmatite und Quarzite. Die Sande waren großteils Fein- bis Mittelsande mit schwachem Schluff- und Feinkiesanteil. Die zwischengeschalteten *Konglomerate* lagen innerhalb der Koten 670 und 673 m üNN, ihre Mächtigkeiten schwankten zwischen 0,5 und 3 m.

Zum Liegenden hin folgte mit einer deutlichen Winkeldiskordanz das Tertiär. Es dominierten hier tonig-schluffige Sedimente ("Tonmergel"). Aus bodenmechanischer Sicht handelte es sich um *überkonsolidierte, schluffige Tone bis tonige Schluffe* mit wechselndem Feinsandgehalt. Ihre Farbe war überwiegend grau bis graublau, gelegentlich stahlgrau. Nur in den tieferen Aushubbereichen zeigte die Gesteinsfarbe graubraun bis graugrün, bedingt durch das Auftreten von Limonit und Chlorit. Gelegentlich waren in geringmächtigen Lagen die Schluffe schichtparallel wie auch schichtübergreifend (wolkig) karbonatisiert, wobei der Calcitgehalt bis zu 30 Vol % ansteigen konnte. Die Gesteine waren dann von hellgrauer Farbe und durch die Zementierung als hart anzusprechen.

Den Peliten zwischengeschaltet oder aber als Rinnen in diesen liegend, fanden sich schwach verkittete, *sandige Kiese bis Kiessande*, deren Kiesfraktionen fast zur Gänze aus Quarz bestanden (Quarz-Restschotter) und Durchmesser von 0,5 bis 2 cm aufwiesen (Mittelkies).

Den Schluffen und Kiesen eingeschaltet waren *Sande* (meist Fein- bis Mittelsande), die teils als durchlaufende Bänder oder aber als lateral bald auskeilende Züge vorlagen. Ihre Farbe wurde stets vom benachbarten Gestein bestimmt. Die Grenzen waren unscharf, meist lagen sanfte Übergänge vor.

Die Kiese und Sande waren in ihren Randzonen (meist aber im Hangendbereich) von rotbraunen *Sandsteinen* umlagert, ihre Entstehung ist auf eine lokal höhere Bodenverockerung zurückzuführen, wobei das Brauneisen mit der Oberfläche der Sandkörner eine feste Verbindung einging und zu einer Verringerung des Porenquerschnittes führte. Die Sandsteine zeigten häufig Schräg- und Diagonalschichtung, ferner war ein relativ hoher Feldspatgehalt feststellbar, sodaß eher von Arkosen (Sandsteine mit mehr als 25 Vol. % Feldspat) gesprochen werden kann.

Vor allem im Hangenden der Sand- und Kieskörper waren in mehreren Niveaus Kohlenreste (Glanzkohle) anzutreffen, die teils als feine Kohleschlunitzen, -schnüre oder als bis armdicke Äste schichtig vorlagen. Von geringmächtigen Flözen kann hier nicht gesprochen werden, da es sich um verschwemmtes Material aus den Randgebieten des Beckens (obertags ausbeißender Flöze) handeln dürfte.

Die Tertiäroberfläche, der *Verwitterungshorizont*, war bis rund 1 m tief stark aufgelockert, feinblättrig und bröckelig, der Farbton schwankte zwischen ockergelb und graubraun.

Abb. 5 zeigt als Idealprofil die Sediment- und Faziesabfolge innerhalb der KH-Baugrube, wobei eine Horizontierung der Schichtflächen vorgenommen wurde.

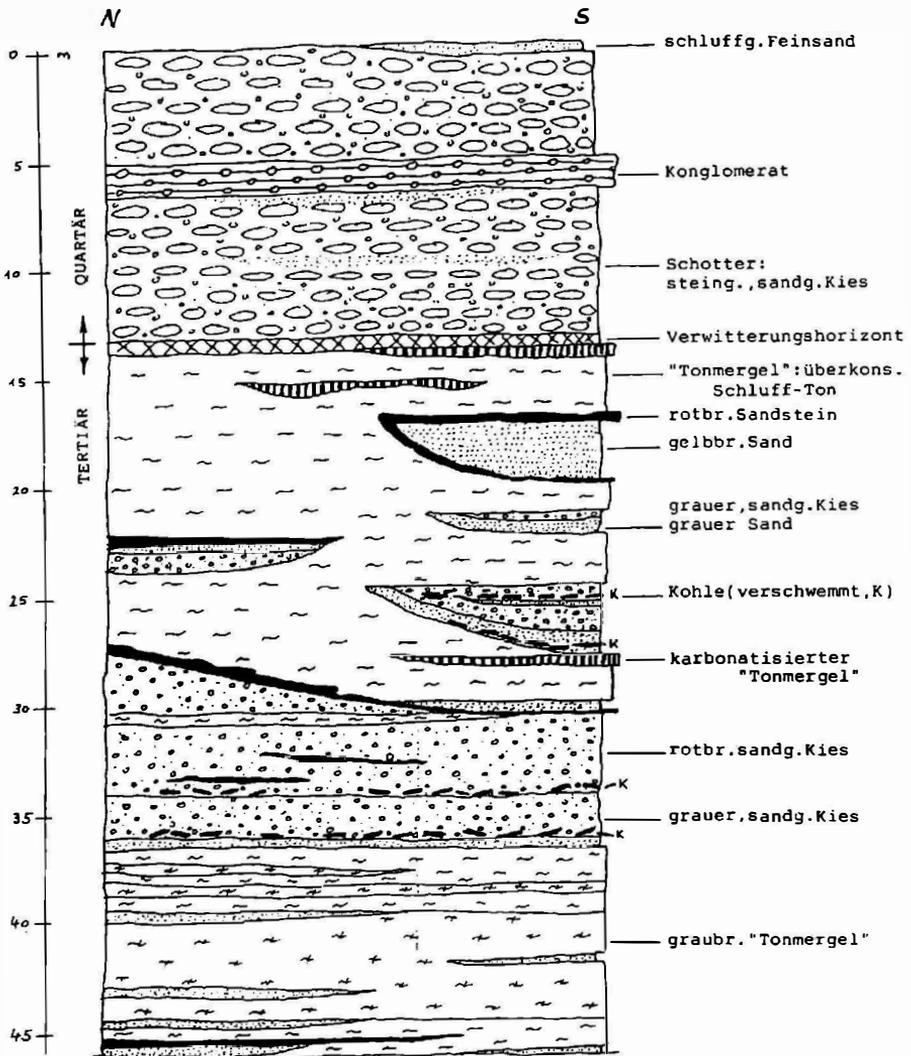


Abb. 5 : Idealprofil der Sediment- und Faziesabfolge im Krafthausbereich, die tertiären Schichten wurden horizontiert.

### **3.2.2 Lagerung der Schicht- und Trennflächen**

Die Sedimentschichten streichen um E-W bis ENE-WSW bei flachem Südeinfallen von 10 bis 20°. Schichtparallel liegt auch die dominierende Hauptkluftrichtung K1. Annähernd senkrecht dazu stehen K2 und K3, zwei Klufscharen, die fast ausschließlich im Liegenden des Aufschlusses beobachtet werden konnten (linke Flanke, tieferer Schlitzwandbereich). Diese steilstehenden NE-SW bzw. NW-SE streichenden Flächen sind glatt und zeigen deutlich horizontal gerichtete Bewegungen an. Sie können als Gleitungsklüfte im Sinne MOHRscher Scherflächen einer spät- bis nachtertiären N-S Einengung des Tertiärbeckens gedeutet werden.

## **4. Baugrubensicherung**

Die Abb. 6 zeigt in einem Schnitt in Maschinenquerachse die Sicherungsmaßnahmen der KH Baugrube. Die Quartärschotter wurden mit der Neigung 1:1 abgebösch, lediglich ein normales Drahtnetz wurde zur Sicherheit gegen herabrollende Steine aufgelegt.

Die obersten 10 m im Tertiär wurden mit der Neigung 2:1 abgebösch, mit BSTG Matten (CQS6) bewehrt und mit 15 cm Spritzbeton versiegelt. Die Anker (SN 200 kN) wurden im Raster von 2,0 m gesetzt, mit Längen von 4,0 und 6,0 m, bei einer Neigung von 15°.

Im Bereich beider Schlitzwände wurden zwei Ankerreihen ausgebildet, die Länge der 900 bis 1010 kN Litzenanker betrug 19 m, bei Abständen von 1,5 bis 2,0 m, auch hier betrug die Neigung 15° (Statische Nachweise Dipl.Ing.Dr. E. GARBER,Graz).

# SCHNITT IN MASCHINENQUERACHSE

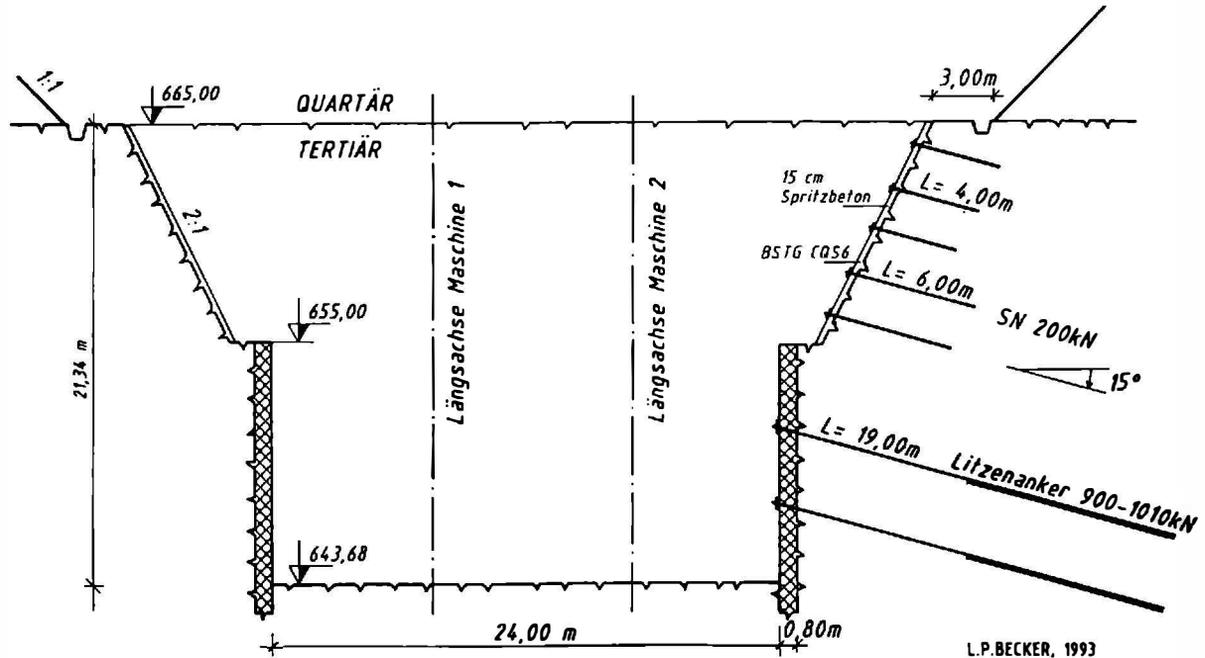


Abb. 6 Sicherungsmaßnahmen der Baugrube, nur in rechter Böschung eingezeichnet.

## **5. Boden-/Felsklassen**

Die Klassifizierung der Boden- und Felsklassen wurde aufgrund der geologischen Verhältnisse unter Berücksichtigung der ÖNORM B 2205 vorgenommen.

Die unverfestigten quartären Schotter und Sande wurden den Bodenklassen 3 - 5 (Einheitspreis) zugeordnet, die verfestigten Horizonte (Konglomerate) der Bodenklasse 7 (schwerer Fels, Sprengfels). Die Kubatur der Konglomerate wurde aufgrund geodätischer Messungen in den freiglegten Flanken und den geologischen Querprofilen ermittelt. Zum Lösen dieser Klasse wurden zwar keine Sprengmittel eingesetzt, dafür mußten aber schwere Reißgeräte und Hydraulikmeißel (Gerät: Liebherr 984) eingesetzt werden.

Schwieriger hingegen war die Zuordnung der Felsklassen im Tertiär.

In der Praxis werden die überkonsolidierten Tone und Schluffe des steirischen Tertiärs ("Opok") der Klasse 6, d.h. leicht lösbarer Fels bzw. Reißfels zugeordnet. Das Gestein ist noch baggerbar, gelegentlich wird der Einsatz eines Reißzahnes erforderlich. Härtere Zonen in diesen Schichten werden dann als Klasse 7, damit als schwerer Fels (Sprengfels) eingestuft.

Wo liegt aber nun die Grenze beider Klassen, wie kann man diese von den Festigkeitseigenschaften her abgrenzen?

Hierfür wurden mehrere Methoden eingesetzt, die rasch und mit relativ einfachen Geräten durchgeführt wurden. Die erste, wenn auch recht

primitive Methode, ist der Gebrauch des *Geologenhammers*. Der sandig-tonige Schluff hat einen dumpfen Klang, die Hammerspitze dringt mehrere Millimeter ein. Bei Klasse 7 ist ein heller Klang wahrnehmbar.

Die zweite Überprüfung ist der *Punktlastversuch*. Hierbei kann rasch, auch an unregelmäßigen Handstücken, der jeweilige Festigkeitsindex (point-load-index  $I_S$ ) bestimmt werden.

Als dritte Methode wurde der *Betonprüfhammer* (System Schmidt) eingesetzt. Diese Festigkeitsuntersuchungen sind rasch durchgeführt, haben aber den Nachteil, daß sie bei den weicheren, vor allem sandigen Schluffen keine reellen Werte mehr liefern.

Die vierte Methode, die *direkte Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit* an Prüfkörpern ist zwar die zeitaufwendigste, dafür aber die exakteste Bestimmung. Sie wurde zur Unterstützung und zur Überprüfung der voran beschriebenen Methoden verwendet.

Abb. 7 zeigt eine Gegenüberstellung der nach den einzelnen Methoden gewonnenen Druckfestigkeitswerte. Die über die Druckpresse ermittelten einaxialen Druckfestigkeiten ( $q_u$ ) der karbonatisierten Schluff- bis Sandsteine liegen mit Werten zwischen 20 und 35 N/mm<sup>2</sup> relativ weit über jenen der überkonsolidierten Schluffe, die unter 13 N/mm<sup>2</sup>, meist jedoch unter 10 liegen. Fast ein gleiches Bild zeigen die Werte des Schmidt-Hammers, hier ist eine deutliche Grenze um 14 N/mm<sup>2</sup> erkennbar. Die Punktlastwerte ( $I_S$  in N/mm<sup>2</sup>, rechte Ordinate) wurden mit den einaxialen Druckfestigkeiten  $q_u$  korreliert, auch hier zeigte sich eine deutliche Trennung um  $I_S = 2,8$  N/mm<sup>2</sup>. Vergleicht man nun diesen Wert mit  $q_u$ , so ist

dort 14 N/mm<sup>2</sup> abzulesen. Damit erhält man eine Umrechnung von  $q_U = 5 \cdot I_S$ .

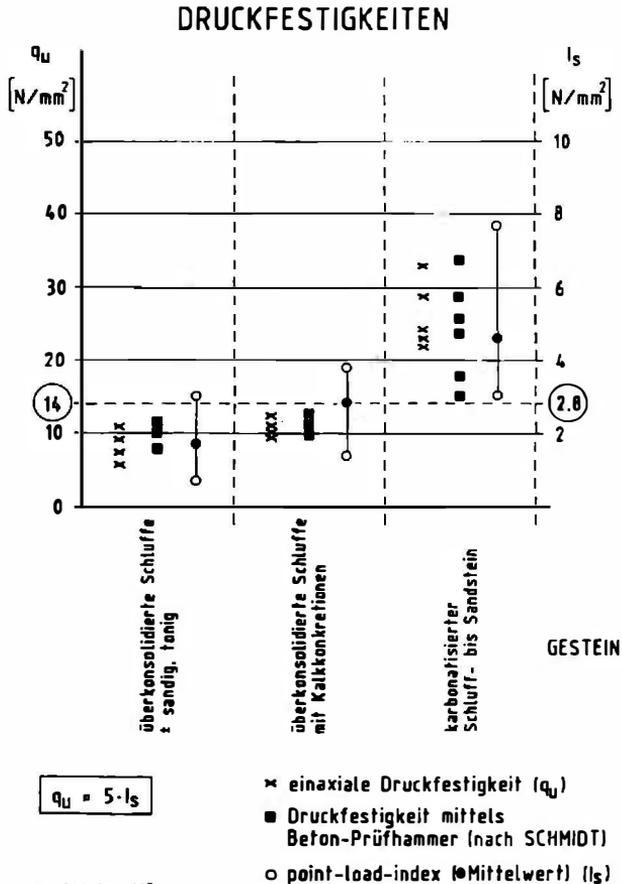


Abb. 7 : Festigkeitswerte der untersuchten Gesteinstypen (BECKER 1993).

In der Literatur wird meist der Faktor  $q_u/l_s$  mit 24 angegeben, gelegentlich auch mit 16. Für die hier behandelten Gesteine trifft dies nicht zu, darauf haben schon mehrere Autoren hingewiesen.

Um auf die Frage zurückzukommen, wo die Grenze der Klassen 6 und 7 liegt, so kann für die hier untersuchten Gesteine folgendes vorgeschlagen werden : Überkonsolidierte Schluffe mit Druckfestigkeiten unter  $14 \text{ N/mm}^2$  sind der Klasse 6 zuzuordnen, jene über diesem Wert der Klasse 7. Der Grenzwert  $14 \text{ N/mm}^2$  soll nicht als scharfe Grenze (die es auch nicht geben kann) verstanden werden; entscheidend ist, ob die ermittelten Werte deutlich über oder unter diesem Grenzwert liegen.

Beinhaltet ein mehrere Meter mächtiges Schluffpaket (Klasse 6) einzelne Gesteinshorizonte der Klasse 7, so kann eine prozentuelle Aufteilung vorgenommen werden, auch wenn die zwischengelagerten, härteren Partien mit schwereren Geräten noch reißbar sind.

Vergleicht man den genannten Grenzwert mit Festigkeitsklassifikationen in der Literatur, so findet man nicht selten in diesem Bereich Grenzen zwischen "soft rock" und "hard rock" oder "moderately weak" und "moderately strong".

Aufgrund des lithologischen Wechsels und vor allem der Festigkeitsunterschiede wurde das Tertiär vom Hangenden zum Liegenden insgesamt in vier "Abrechnungshorizonte" unterteilt :

- T 1: Verwitterungshorizont, vorwiegend auf- oder angewitterter  
"Tonmergel"  
(=überkonsolidierte Schluffe), stark klüftig und brüchig, leichter Fels,  
Klasse 6.
- T 2: "Tonmergel", z.T. sandig, durchzogen mit festen Sandsteinlagen und  
sehr harten,  
karbonatisierten Tonmergeln, Mischklasse mit 70 % Klasse 6 und 30  
%, Klasse 7.
- T 3: Horizont aus grauen oder braunen, sandigen Kiesen bis Kiessanden,  
sehr hoch  
verdichtet, bereichsweise schwach verfestigt, Klasse 6.
- T 4: "Tonmergel", z.T. leicht limonitisiert, z.T. durchzogen mit einzelnen  
Sandsteinlagen  
und wenig karbonatisierten Horizonten, Mischklasse mit 85 % Klasse 6  
und 15 % Klasse 7.

Die Grenzen der einzelnen Horizonte ergaben sich aus den sehr genauen geologischen Aufnahmeplänen, ebenso konnte aus diesen das Verhältnis der Mischklassen recht einfach entnommen werden.

Abbildung 8 zeigt stark schematisiert die Aufgliederung der Boden- und Felsklassen.

## IDEALISIERTES PROFIL DER BAUGRUBE KRAFTHAUS

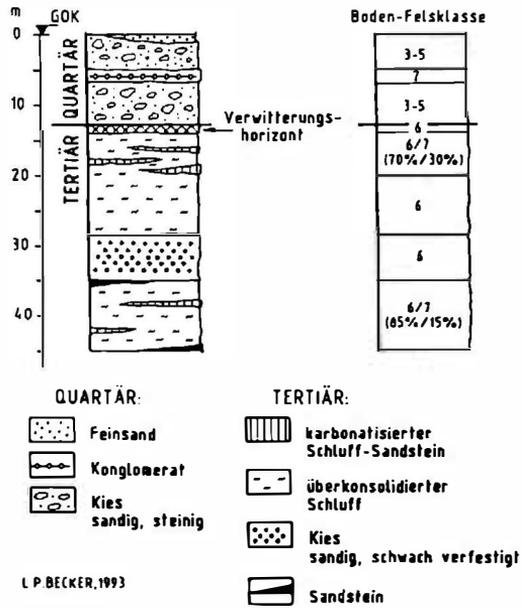


Abb. 8 : Verteilung der Boden-Felsklassen (BECKER 1993).

## **6. Zur Überkonsolidierung**

Wie aus der Bodenmechanik bekannt, werden feinklastische Böden (Tone, Schluffe), welche früher einem wesentlich höheren Überlagerungsdruck ausgesetzt waren als dies rezent der Fall ist, als überkonsolidierte Böden bezeichnet. Heute wird das Tertiär von maximal 13 m mächtigen Quartärschottern überlagert, der daraus resultierende Belastungsdruck reicht sicherlich für die hohe Überkonsolidierung nicht aus, selbst wenn man die älteren Hochterrassen des Riss berücksichtigen würde.

Ein Blick in die stratigraphische Tabelle (Abb. 4) löst rasch das Problem. Wenn auch heute fast zur Gänze erodiert, so wurden im unteren Badenien diese karpatischen Sedimente von rund 1000 m mächtigen Blockschottern überlagert.

Dieser Überlagerungsdruck reichte aus, um eine starke mechanische und eine beginnende chemische Kompaktion hervorzurufen.



Abb. 9 : Blick in die fast fertiggestellte Baugrube (Juni 1992)

## **7. Literaturverzeichnis und verwendete Unterlagen**

BECKER, L.P. (1980): Geologische Karte mit Erläuterungen zu Blatt 162 Köflach. - Geol.B.A., Wien.

BECKER; L.P. (1982): Geologischer Vorbericht zum KW Farrach. - Unveröff.Bericht, Graz.

BECKER, L.P. (1982): Geologie und Grundwasserverhältnisse im Bereich der Brunnenanlage bei Murdorf/Judenburg (Geologischer Bericht 2) KW Farrach. - Unveröff.Bericht, Graz.

BECKER, L.P. (1992): KW Fischening, Beurteilung der Boden- und Felsklassen im Krafthausbereich. - Unveröff.Bericht, Graz.

BECKER, L.P. (1992): KW Fischening, Geologische Dokumentation. - Unveröff.Bericht, Graz.

BECKER, L.P. (1993): Überkonsolidierte Schluffe Klasse 6 (leichter Fels) oder Klasse 7 (schwerer Fels). - Geotechnik 16, 1993/2, Stuttgart.

MÖRTH, W. (1984): Geologischer Bericht Farrach, Teil 1: Geologie auf Grund der Bohrergebnisse.-Unveröff.Bericht, Forschungsgesellschaft Joanneum, Graz.

MÖRTH, W. (1987a): Geologischer Bericht KW-Fischening/Farrach Teil 2: Bohrarbeiten 1987. - Unveröff.Bericht, Forschungsgesellschaft Joanneum, Graz.

MÖRTH, W. (1991): Geologischer Bericht KW-Fisching/Farrach, Teil 3  
(Endbericht). - Unveröff.Bericht, Forschungsgesellschaft Joanneum,  
Graz.

POLESNY, H. (1970): Beitrag zur Geologie des Fohnsdorf-Knittelfelder  
und Seckauer Beckens. - Unveröff.Diss. Univ.Wien.

STEWEAG (1990): Kraftwerksprojekt Fisching. - Broschüre, Graz.

WEBER, L. & WEISS, A. (1983): Bergbaugeschichte und Geologie der  
österreichischen Braunkohlevorkommen. Archiv f.  
Lagerst.forschung der Geol.B.A., Band 4, Wien.

Autor : Univ.-Prof. Dr. Leander P. BECKER  
Institut für Geologie und Paläontologie  
Universität Graz  
A- 8010 Graz, Heinrichstr. 26