

Baugeologische Untersuchungs- ergebnisse vom Untergrund der Sperr Hochwurten (Weißsee), Sonnblick

Kraftwerksgruppe Fragant der Kärntner Elektrizitäts-AG
(Kelag)

Von Heinz LITSCHER und Ernst H. WEISS

(Mit 6 Abbildungen und 3 Tabellen)

Die Kärntner Elektrizitäts-AG hat im Jahre 1961 das Projekt „Kraftwerksgruppe Fragant-Oscheniksee“ an das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft zur Erklärung zum bevorzugten Wasserbau eingereicht. Neben dem Hauptspeicher Oscheniksee war bereits in diesem Projekt – allerdings noch ohne genaue geologische Untersuchungen –, allein auf Grund der Geländekenntnisse, ein kommunizierender Doppelspeicher mit dem Groß- und dem Weißsee enthalten (H. KISSLING 1969). Dabei wäre die Wasserfracht aus dem Einzugsgebiet des Großsees am oberen Zirknitzbach zum aufgestauten Weißsee am oberen Wurtenbach übergeleitet und aus diesem Fernspeicher das Wasser in den Schwarzsee abgegeben worden, um schließlich von dort in einer Stufe zur Wurtenalm genutzt zu werden. Ausschlaggebend waren für diese Speichergruppe die im Talschluß des Wurtengebietes gemessenen großen Niederschlagshöhen.

Vom Schareck (3122 m) zieht das Wurtenkees in das Hochtal des Weißsees, in das früher noch die Gletscherlappen aus dem Kammbereich Alteck (2949 m) – Niedere Scharte (2693 m) – Fraganter Scharte (2753 m) einmündeten. Die Eismassen des Wurtenkees schürften während ihrer Hochstadien die Talung aus, die später mit dem Rückgang des Eises durch dessen Schmelzwasserablagerungen verlandete. Dieses Gletschertal (2400 m) wird im mittleren Abschnitt durch das Vorgreifen steiler Felswände eingengt (Abb. 1).

Weißsee - Schwarzsee

(Blick nach Südosten)

Freigegeben v. BMfLuF mit
Zl. 2696-RAbt. B/68

Ausschnitt:

Sperrenstelle
Hochwurten

(Blick nach Nordwesten)

Im Bildvordergrund das
verlandete Weißseebecken.

s₁ .. primär s-Flächen-
gefüge

s₂ .. versteiltes s-Flä-
chengefüge im
Sackungsbereich

ST₁, ST₂ .. Störungslinien

Foto Lackner



Abb. 1: Weißsee – Schwarzsee

Im Südosten des Weißseebeckens liegt der Schwarzsee (2318 m), der sich morphologisch vom Weißseetal wesentlich unterscheidet. Während der Weißsee in einem langgezogenen Zungenbecken liegt, stellt der Schwarzsee eine typische Karmulde mit einer talseitigen Moränenbegrenzung dar.

Sowohl geologische Untersuchungen an der Oberfläche als auch Aufschlußbohrungen im Talgrund mußten erst die Eignung für die Lage der Sperrenbauwerke feststellen.

Ursprünglich war gedacht, den Weißsee einschließlich der Verlandungsfläche an der zum Teil von Moränen abgeriegelten Stirnseite abzdämmen und das flache Verlandungsbecken als Speicher bis zum

Spiegel des Großsees (2373 m) um 8 m aufzustauen. Die geologischen Untersuchungen zeigten aber hohe Wasserdurchlässigkeiten sowohl an der Flanke gegen die Stübelealm als auch im Moränenrücken gegen den Schwarzsee, so daß nur die Engstelle oberhalb des verlandeten Beckens für eine größere Sperre (Hochwurten¹) in Frage kam, wofür noch genaue Erkundungen des Untergrundes notwendig waren.

Unter Zuhilfenahme der Kartierung von Ch. EXNER (1964) wurden von E. H. WEISS im Bereich des Weiß- und des Schwarzsees, einschließlich der vorhin erwähnten Einengung im Weißseebecken, detaillierte geologische Aufnahmen durchgeführt (Abb. 2).

Damit lagen erste konkrete Hinweise für die Erstellung eines geologischen Untersuchungsprogrammes an den geplanten Sperrenstellen Hochwurten und Schwarzsee vor.



Abb. 2: Hydrogeologische Verhältnisse im Bereich Weißsee-Schwarzsee (aufgenommen von E. H. Weiss);

- 1) Weißsee (2363), 2) Schwarzsee (2318), 3) Stübelesee (2200), 4) Wurtenalm (1685), 5) mögliche Entwässerung entlang von Klüften und Schieferungsfugen, 6) Entwässerung nach Kluftscharen, 7) Wasserzüge in Blockmoränen.

¹ Mit Hochwurten wurde von der Kelag die Engstelle im Weißseebecken in Anlehnung an die bereits auf 1600 m errichtete Sperre Wurten bezeichnet.

Tabelle 1

Hoch- wurten Bohrung Nr.	Anzahl der WPT	Unge- störte Boden- proben	Penetro- meter- test	End- teufe in m	Bohrmeter in:		Material- gewinn in %	Bemerkungen
					Über- lage- rung	Fels		
HW 1	4 × 1	/	/	30,00	0,20	29,80	95	Wegen Wintereinbruchs abgebrochen
HW 2	3 × 1	/	/	32,00	/	32,00	95	
HW 3	4 × 1	/	/	30,00	/	30,00	95	
HW 4	5 × 3	/	/	43,00	0,40	42,60	95	
HW 5	5 × 3	/	/	32,00	0,60	31,40	95	Überl.: 85 Fels: 95
HW 6	5 × 3	/	/	21,60	6,00	15,60	95	
HW 7	3 × 3	/	/	30,00	14,15	15,85	60	} Weißsee- Störungszone
HW 8	/	/	/	33,50	12,00	21,50	95	
HW 8a	/	/	/	50,00	12,00	38,00	40	
HW 9	/	/	/	31,00	19,00	12,00	40	
HW 10	7 × 3	/	/	69,50	/	69,50	95	Probeinjektion Kontrollbohrung
HW 10a	/	/	/	30,30	/	30,30	95	
HW 11	/	/	/	21,70	/	21,70	95	Wegen Wintereinbruchs abgebrochen
HW 13	/	/	/	31,00	30,00	1,00	95	
HW 14	/	/	/	18,50	13,50	5,00	95	Überl.: 78 Fels: 91
HW 14a	/	/	/	4,50	4,50	/	95	
HW 15	/	1	4	39,50	26,00	13,50	95	
HW 17	/	/	/	21,00	21,00	/	95	Konnte nicht zu Ende gebohrt werden, da die Krone klemmte Zwischen 9 und 19 m
HW 18	/	/	/	24,00	22,00	2,00	25,5	
HW 19	/	/	/	30,00	15,50	14,50	95	Überl.: 95 Fels: 95
HW 20	/	/	/	30,00	15,50	14,50	95	
HW 21	} wurden nicht gebohrt		/	34,00	25,10	8,90	95	
HW 22	/	1	/	34,00	25,10	8,90	95	

Im Jahre 1970 ließ die Kelag zwei Rotationsbohrungen im Bereich der Sperrenachse Hochwurten zur Erkundung der Sedimentmächtigkeit niederbringen. Außerdem wurden seismische Untersuchungen in drei Querprofilen und einem Längsprofil im Sperrenbereich Hochwurten durchgeführt (siehe Abb. 3). Die Kenntnisse aus diesen Erkundungen gaben den Ausschlag zu weiteren Aufschließungsarbeiten.

Bereits im Jahre 1971 folgten 21 Kernbohrungen mit den dazugehörigen Wasserabpreßversuchen (WPT²) zur Erkundung des Gebirges (Festlegung der Sperrtype) und zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit im Felsuntergrund (Tabelle 1). Außerdem wurden Zementinjektionsversuche in einem Horizontalbohrloch (HW 10) vorgenommen. Mit diesen Injektionsversuchen sollten in erster Linie die dem Gebirge zumutbaren Injektionsdrücke in verschiedenen Einpreßtiefen und die optimale Ausbreitung des Injektionsgutes in den einzelnen Injektionsstufen ermittelt werden. Durch die Kontrollbohrung HW 10a, ein Meter entfernt und parallel zum Bohrloch HW 10, erfolgte die Überprüfung.

Neben diesen Aufschließungsarbeiten liefen die geologischen Kartierungen in der Seeumrahmung und in der Abstiegstrasse vom Weißsee zum Stübelesee und weiter zum Wurtenspeicher. Die Auswertung sämtlicher geologischen Teiluntersuchungen, die in Verbindung mit der Sperre Hochwurten stehen, sind im weiteren Gegenstand dieser Arbeit.

1.0. Geologische Übersicht (Abb. 3)

Die beiden Seen und die Weißseetalung liegen eingebettet in den Zentralgneiskomplex der östlichen Hohen Tauern, der nach Ch. EXNER (1964) dem NW streichenden Sonnblickgneiskern zugehört. Die sich von NW nach SE erstreckende sogenannte „Sonnblicklamelle“ schleift in das durch eine regionale Störung geprägte Untere Mölltal aus. Weitere Angaben sind den geologischen Arbeiten von Ch. EXNER (1964), E. H. WEISS (1964, 1969) und H. LITSCHER (1974) zu entnehmen.

1.1. Die Gesteine

Die Talflanken im Bereich des Weißsees und der Sperre Hochwurten werden vorwiegend von Augengneisen und porphyrischen Gneisen aufgebaut, welche teilweise durch die tektonische Beanspruchung deutlich geschiefert sind. Die Amphibolite zeigen häufig eine Chloritisierung der Glimmer und Hornblenden. In diesen Gesteinen liegen s-parallel oder in Gängen Aplite und basische glimmerreiche Einschaltungen.

In Begleitung von tektonischen Nahtlinien kann es zu Phyllonitisierung (im Extremfall auch zu Mylonitisierung) von Gesteinspaketen kommen, welche dann als Gneisphyllonite oder phyllonitische Quarzite auszuscheiden sind; die begleitenden Mylonite sind grün bis graugrün,

² Water-pressure-test.

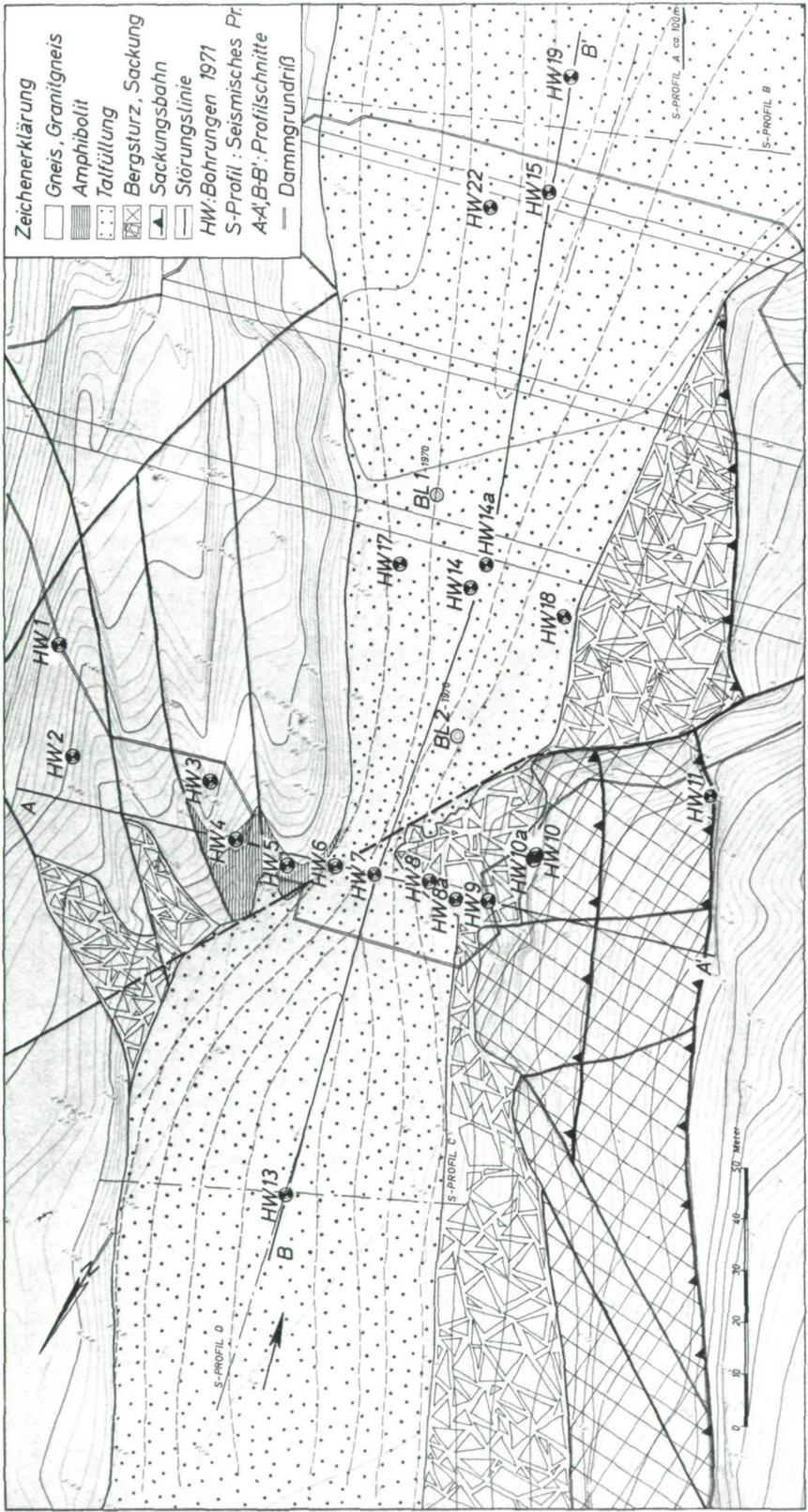


Abb. 3: Geologie der Sperrenstelle Hochwurten mit eingetragener Lage der Bohrungen und seismischen Profilen.

feinkörnig und plastisch. Im Bereich der Weißsee-Störungszone können diese Indikatoren mechanischer Gesteinszerlegung beobachtet werden.

1.2. Die Lagerungsverhältnisse und die tektonischen Strukturen

Tiefe Erosionsfurchen folgen allgemein jenen Störungslinien, die parallel zum Streichen der NW-SE gerichteten Hauptfaltungssachse und den zugehörigen Schieferungsflächen der Sonnblicklamelle durchreißen. Diese Linien wurden von E. H. WEISS (1969) als „Fraganter Störung“ und „Oschenikseestörung“ ausgedehnt. Der Abschnitt der „Fraganter Störung“ wurde im Untergrund des verlandeten Weißsees durch Bohrungen in einer über 10 m breiten Störungszone (Weißsee-Störungszone) angefahren. Die Entstehung des einengenden Felsriegels im mittleren Teil der Talfurche wird bei der geologischen Beschreibung der westlichen Felsflanke näher erläutert.

2.0. Die geologische Situation an den Sperrenflanken Hochwurtten (Abb. 3 und 4)

2.1. Die westliche Talflanke

Die Untersuchungen haben ergeben, daß in diesem Bereich eine tiefgreifende Felssackung durch Unterschneidung der Felsflanke bei Vorstoß- und Rückzugsbewegungen des Wurtengletschers erfolgt ist. Außerdem war der Gebirgsverband durch das Durchreißen zahlreicher Störungsbündel parallel zur Weißsee-Störungszone bereits geschwächt und für den Sackungsmechanismus vorbereitet.

Eine Studie des s-Flächengefüges in Verbindung mit einer Detailkartierung der Bruchlinie brachte aber eine Einschränkung der vorerst angenommenen Größenordnung. Es stellte sich heraus, daß nur Gesteinspartien bewegt wurden, die entweder nach Großfugen zerglitten und in der Folge als Teilkörper absackten oder in Form von Bergstürzen in die Weißseefurche niederbrachen: In Abb. 1 sind die Störungsbahnen ST 1 und ST 2 sowie die erwähnten Bergsturzmassen am Hangfuß zu erkennen. Das s-Flächengefüge s_1 ist mit 20° bis 40° nach SW geneigt, im Bereich der Sackung versteilt sich das Einfallen auf 40° bis 80° (s_2).

Durch die bereits erwähnten Bohrungen HW 10 und HW 11 wurden die geologischen und tektonischen Verhältnisse in den vordersten Partien der Felsflanke erkundet.

2.1.1. Die Ergebnisse der Kernbohrungen HW 10 und HW 11

Die Horizontalbohrung HW 10 erreicht eine Teufe von 69,50 m. Störungen in Form von Ablösezon des Sackungsvorganges wurden in 14–17,5 m, 30–32 m sowie 53–60 m angefahren. Demnach begann der ungestörte Gesteinsverband erst bei 60 m Bohrteufe. An den Bohrkernen ist auch das Umschwenken der steilstehenden s-Flächen innerhalb der

abgesackten Teilkörperverbände in die flache Lagerung des unbewegten Gebirges ab 60 m abzulesen.

Wie bereits vorher erwähnt, wurden die Wasserabpreßversuche (WPT) in Verbindung mit nachfolgenden Zementinjektionen zur Ermittlung der dem Gebirge zumutbaren Injektionsdrücke und der günstigsten Zusammensetzung des Injektionsgutes durchgeführt.

Tabelle 2

Wasser- und Zementaufnahme in Bohrung HW 10:

Bohrstation	WPT in Lugeon	Zementaufnahme fest/lfm
0 m – 5 m		Umläufigkeit
5 m – 10 m		
10 m – 15 m	0,5	100 kg
15 m – 20 m	5,2	480 kg
25 m – 30 m	2,4	1000 kg
40 m – 45 m	6,2	770 kg

Der hohe Lugeonwert in 40–45 m Bohrteufe weist schon auf eine mögliche hohe Zementaufnahme (770 kg/lfm) hin. In Bohrteufe 25–30 m, wo der Lugeonwert nur 2,4 beträgt, steigt jedoch die Zementaufnahme auf 1000 kg/lfm an. Die Zementaufnahme nimmt in Bohrteufe 15–20 m, bei einem Lugeonwert von 5,2 wieder auf 480 kg/lfm ab. Die extrem hohe Zementaufnahme in 25–30 m Tiefe bei nur 2,4 Lugeon läßt mit Sicherheit auf ein weitverzweigtes Kluftsystem schließen. Durch Erhöhung des Injektionsdruckes in dieser Passe (bis 25 kp/cm²) wurde vom Injektionsgut jedoch ein größerer Bereich durchströmt, als dies im Gegensatz zu den angrenzenden Passen bei nur 10–15 kp/cm² Druck geschehen ist. Außerdem wurde die Zusammensetzung des Injektionsgutes vom ursprünglichen Mischungsverhältnis 1:3 (1 Teil Zement, 3 Teile Wasser) auf 1:5 verändert. Mit dem neuen Mischungsverhältnis 1:5 war eine sichtbare Mehraufnahme von Injektionsgut bei einer nicht allzu großen Druck-erhöhung festzustellen. Die gewonnenen Kennwerte wurden auf die einzelnen Injektionsstufen, in Abhängigkeit von der jeweiligen Bohrtiefe, übertragen. Damit konnten folgende Druckstufeneinteilung und Injektionsmengenbegrenzung (Zement/fest) beim Injizieren des Dichtschleiers festgelegt werden:

Tabelle 3

Bohrtiefe	Injektionsdruck	Max. Zementmenge fest
0 m – 5 m	0 – 3 kp/cm ²	} 1000 kg/lfm
5 m – 10 m	3 – 10 kp/cm ²	
10 m – 15 m	10 – 15 kp/cm ²	
15 m – 20 m	15 – 20 kp/cm ²	
20 m – 25 m	20 – 25 kp/cm ²	

Max. Druck ab 25 m Bohrtiefe 30 kp/cm²

LEGENDE

-  Gneis, Granitgneis, Augengneis
-  Amphibolit
-  Gneisphyllonit, Weißschiefer Mylonit
-  Blockwerk
-  Grundmoräne
-  Sande, Kiese
-  Seeablagerung
-  Sackungsbahn
-  Klüfte und Spalten
-  Weißsee-Störungszone
-  Gestörter Bereich
-  Trümmerzone
-  s-Flächengefüge
-  Felslinie nach dem seismischen Profil C
- HW, LP, BP, RP Rotationsbohrungen

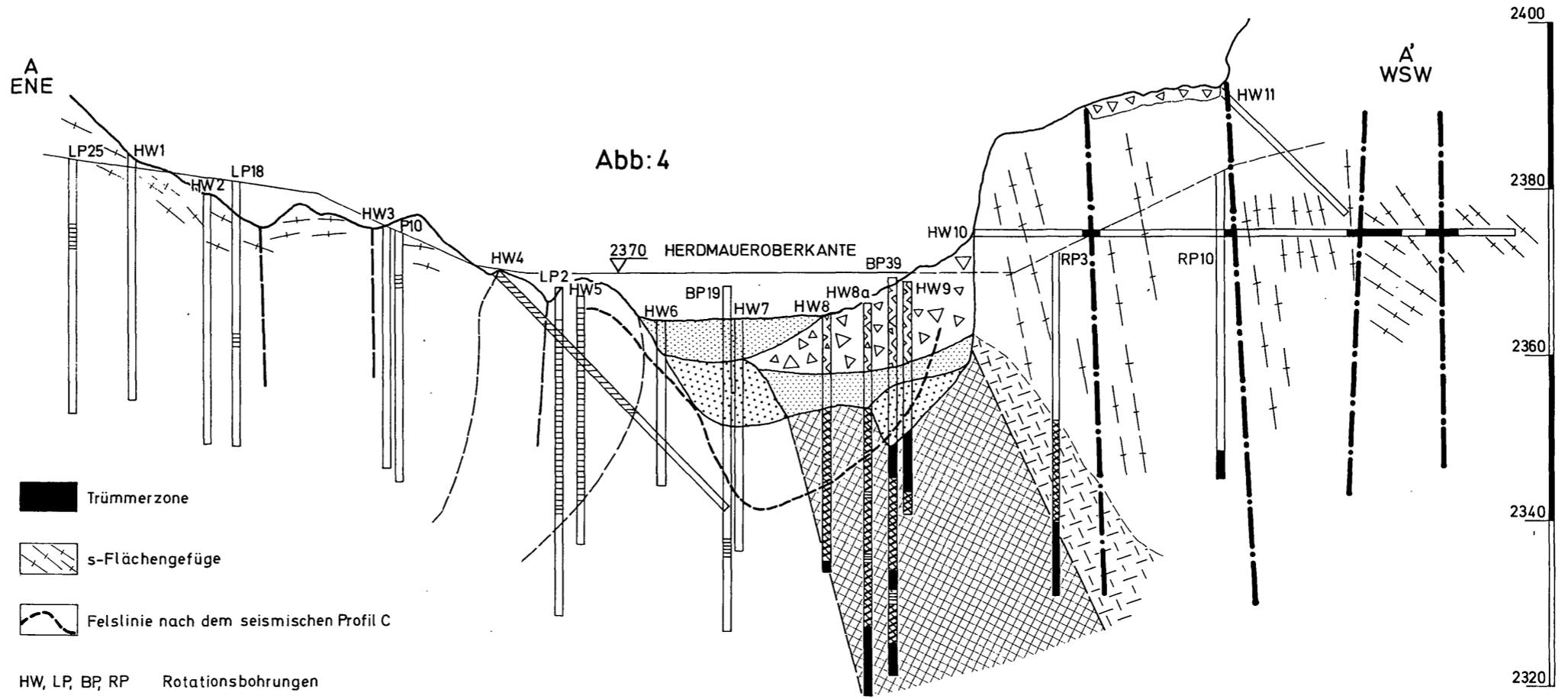


Abb: 4

Abb. 4: Sperre Hochwurten. Geologischer Schnitt A-A' (in Dammschneise).

Abb: 5

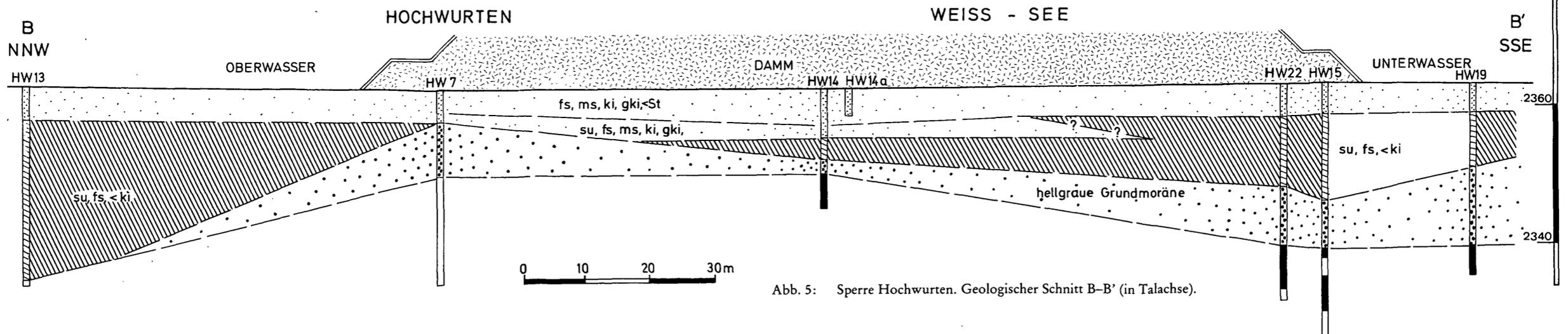


Abb. 5: Sperre Hochwurten. Geologischer Schnitt B-B' (in Talachse).

Zur weiteren Untersuchung der Felsflanke wurde die Bohrung HW 11 als Schrägbohrung mit 45° Inklination gegen 254° Azimut so abgeteuft, daß sie in 50 m Bohrteufe auf HW 10 auftreffen mußte. Wegen des einsetzenden Winters wurde jedoch diese Bohrung bei einer Teufe von 21,70 m eingestellt. In den Kernen dieser Bohrung konnten die bereits bekannten Gefügeverhältnisse aus Bohrung HW 10 von 32 bis 45 m Bohrteufe wiedergefunden werden.

2.2. Die östliche Talflanke

Die Ostflanke der Sperre liegt zur Gänze in den tektonisch stark durchgearbeiteten Gneisen des Wurtenkeiles (Ch. EXNER 1964). Vier steilstehende Kluftgassen zerlegen den Gesteinskomplex in tektonisch begrenzte Teilverbände. Die Beschaffenheit der Trennflächen könnte, da steilstehend und vom Blockwerk an der Oberfläche abgedeckt, nur in den zwei Störungen, die von der Schrägbohrung HW 4 durchfahren wurden, exakt geklärt werden. In den Störungsbahnen sind dünne Mylonitstreifen eingelagert; die Trennflächen tragen Harnisch-Strömungen.

Die Bohrungen HW 1, HW 2 und HW 3 liegen im Augen- und Granitgneis; HW 4 wurde mit 50° Inklination parallel zur vorgesehenen Herdmauer (250° Azimut) gebohrt. Diese Bohrung, die einen walzenförmigen Amphibolitkörper von 0–26 m Bohrtiefe schräg durchstößt, sollte eine von der Seismik angenommene Tiefenrinne aufschließen, die jedoch in Wirklichkeit nicht vorhanden war. Bei 43 m Teufe wurde diese Bohrung Ende Oktober 1971, bedingt durch einsetzenden Schneefall, abgebrochen.

3.0. Der Felsuntergrund an der Sperrenstelle und die Sedimente im Weißseebecken (Abb. 4 und 5)

Die Bohrungen HW 6, HW 7, HW 8, HW 8a, HW 9 und HW 9a in der Achse der geplanten Herdmauer (Anschlußbauwerk Sperre-Untergrund) dienen der Erkundung des Felsuntergrundes und der Feststellung der Sedimentbeschaffenheit im mit Grundwasser gefüllten Verlandungsbecken.

Die Bohrungen HW 6 und HW 7 schlossen den Felsverlauf im Untergrund und die Zusammensetzung der Überlagerung auf.

Bei den Bohrungen HW 8, HW 8a, HW 9 und HW 9a wurden nach Durchörterung der bis zu 10 m mächtigen Bergsturzmasse im Fußbereich der rechten Talflanke die Weißschiefer und Gneisphyllonite der Weißsee-Störungzone angefahren. Um Hinweise auf die Genese der Weißschiefer (Ch. EXNER 1964) zu erhalten, wurden Materialproben aus Bohrkernen lichtoptisch, röntgendiffraktometrisch und mittels Differential-Thermo-Analyse untersucht. Die von G. RIEDMÜLLER und B. SCHWAIGHOFER (1971) durchgeführten Bestimmungen brachten den Nachweis einer Phyllonitisation bis Mylonitisation von Granit. Damit wird auf die

sehr intensive Durchbewegung des Gesteins in einer breiten Front entlang der Weißsee-Störungszone hingewiesen, wobei selbst die weiter entfernten Gesteinsbereiche noch betroffen sind. Auch konnte die Felsoberfläche mit dem Ausbiß der Weißschiefer fixiert werden. Durch die Anordnung der Bohrungen HW 8, HW 8a, HW 9 und HW 9a ist außerdem für den lokal begrenzten Untersuchungsabschnitt die Orientierung der Weißsee-Störungszone mit NW-SE-Streichrichtung und einem Einfallen von 60° bis 70° nach SW anzunehmen.

Problematisch bei der technischen Bewertung des Untergrundes, im besonderen bei einem Sperrerbauwerk, sind die Lockergesteine und deren sedimentologischer Aufbau. Bei den Untersuchungen im Sperrerbereich Hochwurten wurden daher neben den Bohrungen in Achse der Herdmauer auch mehrere, die Feinkornablagerungen bis zur Felsoberkante durchstoßende Bohrungen entlang des Talverlaufes abgeteuft.

Im aufgetragenen Längsprofil wird der Aufbau dieser Sedimente dargestellt (Abb. 5). Eine aus Mittelsanden und Kiesen (junge Bachablagerungen) aufgebaute, 5–7 m starke Lockergesteinslage ruht auf feinklastischen (Sand und Schluff) Sedimenten einer postglazialen Seebeckenfüllung. Diese ca. 25 m mächtige Sedimentfolge liegt entweder über einer dicht gepreßten Grundmoräne oder unmittelbar auf dem anstehenden Fels. Die Grundmoräne füllt meist durch Gletscherschurf entstandene Rinnen aus.

Auch der Verlauf des Felsuntergrundes wurde ermittelt; er zeichnete sich im Taluntergrund genau im Bereich der Engstelle als Höcker ab. Die Felsoberfläche fällt sowohl talaufwärts als auch talabwärts ab.

3.1. Bodenmechanische Untersuchungen

Konform mit den geologischen Aufschließungsarbeiten in der Talfüllung wurden auch bodenmechanische Untersuchungen vorgenommen. Sowohl in den Bohrungen als auch im Labor konnten Kennwerte für die verschiedenen Materialkomponenten bestimmt werden.

In mehreren Bohrlöchern versuchte man, die Lagerungsdichte des feinklastischen Materials der Seeablagerungen durch Penetrometertests zu ermitteln. Die Versuche waren jedoch nicht erfolgreich, da in den schluffigen bis feinsandigen Sedimenten wiederholt kleinere Steinchen das Durchgehen der Penetrometerflügel verhinderten.

Die Scherwinkel aus ungestört entnommenen Bodenproben für die sandig-kiesigen Fraktionen der höheren Sedimentbereiche (0–7 m) lagen durchschnittlich bei 36° . Der Maximalwert von $38,5^\circ$ wurde nur bei einer Probe erreicht. Auch für die tiefer gelegenen, vorwiegend schluffig bis feinsandigen Seeablagerungen lagen die Werte um 36° .

4.0. Ergebnisse der Voruntersuchungen und deren Auswirkungen auf die Wahl des Sperrentypus

Die Kernbohrungen und die geologischen Oberflächenkartierungen, in Verbindung mit den refraktionsseismischen Untersuchungen, ergaben ein Bild vom geologischen und tektonischen Aufbau der Sperrenflanken und vom Verlauf des Felsuntergrundes sowie von dem mit Sedimenten gefüllten Talbecken, welches durch den bereits erwähnten Höcker in seinem Längslauf zweigeteilt ist.

Die über 20 m mächtige Überlagerung schloß sowohl den Bau einer Gewichtsmauer als auch den einer Bogenmauer aus, denn beide Sperrentypen verlangen einen unmittelbaren Felsanschluß. Der hierfür erforderliche Aushub hätte vor allem für die Gewichtsmauer ein zu großes Ausmaß erreicht. Außerdem wäre die Wasserhaltung in der Baugrube mit großen Schwierigkeiten verbunden gewesen. Aus diesen Gründen und wegen der Tatsache, daß das Seebecken mit kiesigen Sedimenten gefüllt ist, entschied sich die Kelag für den Bau eines auch wirtschaftlicheren Kiesdammes mit einer Oberflächen-Asphaltlichthaut.

Der gerade am Sperrenstandort sehr heterogene Aufbau der Lokersedimente ist für die Herstellung des Dichtschirmes problematisch (H. CAMBEFORT 1969). Die grobblockigen Bergsturzmassen und die sandig bis schluffigen Sedimente verlangten unterschiedliche Abdichtungsmaßnahmen. Es wurde daher die Überlagerung in den feinklastischen Sedimentpartien durch eine Bohrpfahlwand und in der Bergsturzmasse durch einen dreireihigen Injektionsschleier (Zement und chemische Injektionen) abgedichtet. Der Fels im Untergrund und in den Flanken wurde durch einen einreihigen Injektionsschirm bis in eine Maximaltiefe von 41 m ab Felsoberkante abgedichtet.

Zur Entlastung der schwach gespannten Grundwässer in der Umgebung der Bergsturzmassen wurden im Aufstandsbereich des Dammes gleichmäßig verteilt Grobkiespfähle eingerüttelt. Das Auslaufen des Grund- und Porenwassers hat lokal begrenzte Setzungen im sandig-schluffigen Anteil der Sedimente verursacht und gleichzeitig einen Teil der zu erwartenden Setzungen beim Dammschüttvorgang vorweggenommen.

Im Frühjahr 1972 begannen die Arbeiten mit dem Aushub des Herdmauereinschnittes, den Injektions- und den Dammschütтарbeiten. Im Herbst 1974 konnten diese abgeschlossen werden.

5.0. Aufbau der Dichtungsfront

5.1. Dichtungsmaßnahmen in den Alluvionen

5.1.1. Die Bohrpfahlwand

Die Unterteilung der Beckenfüllung in die orographisch links liegenden Bachsedimente und in die Bergsturzmassen im rechten Flankenbereich verlangten, wie erwähnt, unterschiedliche Dichtungsmaßnah-

men im Untergrund. Die homogenen, bis 10 m mächtigen Bachablagerungen ermöglichten den Einbau einer Bohrfahlwand. Dazu wurden insgesamt 29 Bohrfähle bis zu einer Maximaltiefe von 8,2 m benötigt. Ihr Anschluß zum Felsuntergrund erfolgte durch Zementinjektionen.

5.1.2. Die Injektionen in den Alluvionen

Im Anschluß an die bis zur Talmitte vorstoßende Bohrfahlwand wurde die Dichtungsfront mit einem dreireihigen Injektionsschleier im Bergsturz bis zum anstehenden Fels der rechten Flanke fortgesetzt. In die luft- und wasserseitigen Injektionsreihen wurde Zement, in der mittleren Reihe zusätzlich Bentonitgel und Wasserglas eingepreßt. Der Injektionsablauf in der mittleren Bohrlochreihe erfolgte meist in drei Durchgängen, erhöhte sich jedoch bei größerer Aufnahmefähigkeit des Bodens auf fünf. Zur Kontrolle, ob der gewünschte Dichtungserfolg eingetreten ist, der mit einem K-Wert von 10^{-6} cm/s festgelegt war, teufte man zwei Bohrungen ab, die mit 60° von der Horizontalen innerhalb der mittleren Schleierebene geneigt waren. Die K-Wert-Bestimmungen lagen durchwegs im geforderten Rahmen.

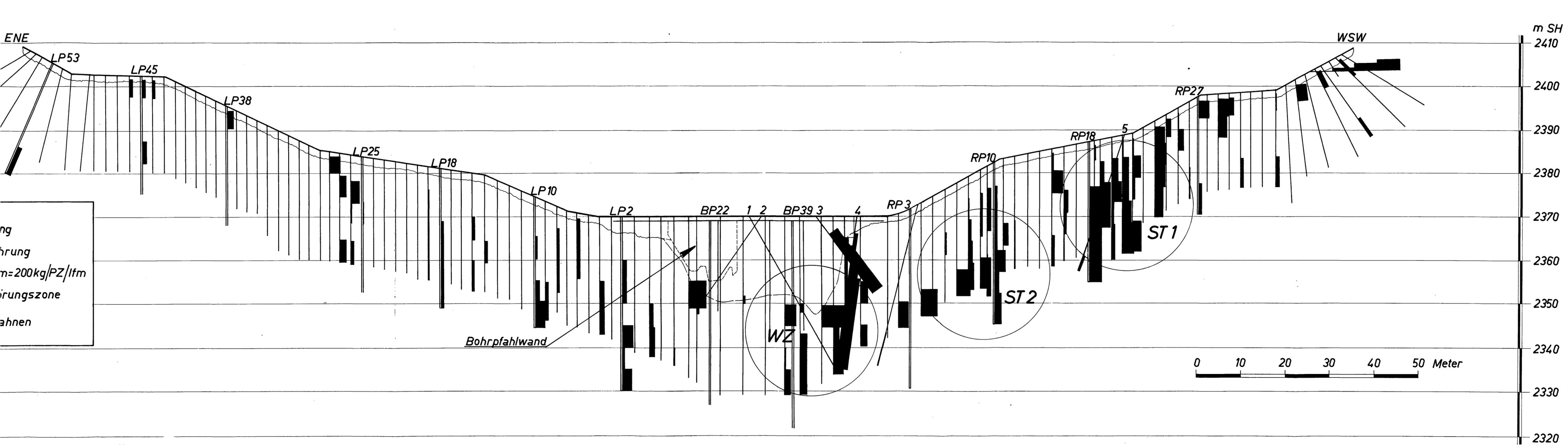
5.2. Die Felsinjektionen (Abb. 6)

5.2.1. Injektionen in der rechten Talflanke

Die Felsinjektionen konnten nach den aus den Voruntersuchungen bekannten Störungsbahnen orientiert werden. Im Abstand von 2,5 m wurden 41 Injektionsbohrlöcher bis zu einer Maximaltiefe von 41 m gebohrt, davon vier Rotationsbohrungen mit Kerngewinn; sie dienten zur Gewinnung zusätzlicher felsmechanischer Kennwerte. Hohe Lu-geonwerte wurden vor allem in der Bohrung RP 3 in der Passe von 14,5 bis 19,5 m angetroffen. Diese Bohrung liegt im vordersten Gleitkörper nahe der Störungsbahn ST 2. In den danebenliegenden Injektionsbohrlöchern, die noch vor RP 3 injiziert wurden, konnten hohe Zementaufnahmen im Bereich der Störungsbahn festgestellt werden. Die Bohrung RP 10 streifte die Störungsbahn ST 2 und reichte mit ihrem Endpunkt in den begleitenden Zerrüttungsstreifen der Weisseestörung.

Die Injektionsbohrungen, welche die Störung ST 2 erreichen, weisen Zementaufnahmen bis zum gesetzten Limit von 1000 kg auf. Damit ergab sich ein weiterer Nachweis für die Auflösung des Gefügeverbandes entlang dieser Störungsbahn.

Die Rotationsbohrung RP 3 und die begleitenden Injektionsbohrungen im Hang aufwärts befinden sich im Auflockerungsbereich der Störungen ST 1 und ST 2. Hier waren sehr hohe Zementaufnahmen festzustellen. Nach Abschluß der Injektionsarbeiten wurde die schräg geneigte Kontrollbohrung 5 zur Überprüfung abgeteuft; die Wasser- und die Zementaufnahme in dieser Bohrung blieben unter den behördlich geforderten Werten.



orten. Abgewickelter Schnitt nach dem Verlauf der Fels.

Die Rotationsbohrung RP 27 zeigte mit 9,27 Lugeon eine hohe Wasseraufnahme in der tiefsten Passe, die Zementaufnahme war in diesem Abschnitt mit 400 kg/lfm aber gering.

Vergleicht man die Abschnitte im Injektionsschleier, die eine erhöhte Zementaufnahme aufweisen, mit den Ergebnissen aus den geologischen Voruntersuchungen, so ist zu erkennen, daß die Sackungsbahnen von Trümmerzonen begleitet werden. Auch die durch die Voruntersuchungen festgestellte Tatsache, daß aber die einzelnen Gleitkörper innerhalb der Sackungsmasse einen festen Gefügeverband aufweisen, kommt im Injektionsschleier durch geringe Zementaufnahmen zum Ausdruck.

5.2.2. Injektionen in der linken Talflanke

Obwohl die linke Sperrenflanke tektonisch stark durchbewegt ist („Wurtenkeil“ nach Ch. EXNER 1964), sind offene Kluftsysteme selten. Vermutlich ist eine Abdichtung der vorerst offenen Spalten und Fugen durch eingeschlammte Feinbestandteile aus den überlagernden Moränen oder durch die Bildung von Myloniten in Bewegungsbahnen eingetreten. Nur die steilstehenden und parallel zum Tal verlaufenden Störungszonen bilden sich im Injektionsschleier ab. Insgesamt wurden 56 Injektionsbohrungen mit einer Maximaltiefe von 40 m in diesem Abschnitt niedergebracht, davon sieben Rotationsbohrungen mit Kerngewinn. Die in einigen Passen festgestellten Wasserdurchlässigkeiten decken sich mit den Zementaufnahmen. Im Bereich der Bohrung LP 25 bewirkten die Schieferungsfugen eine hohe Zementaufnahme. Ein Teil des Injektionsgutes kam entlang der s-Flächen bis an die Oberfläche.

5.2.3. Injektionen in der Talmitte

Um den Anschluß der Dichtungsfront in der Überlagerung mit dem anstehenden Fels herzustellen, wurden 17 Injektionsbohrlöcher bis zu einer Tiefe von 47 m ab Geländeoberkante niedergebracht. Große Schwierigkeiten bereitete das Bohren in den tektonisch aufgelockerten Randbereichen der Weißsee-Störungszone (WZ). Obwohl die Weißschiefer und die Mylonite in diesem Bewegungshorizont sehr dicht gelagert sind, nahmen sie dennoch viel Injektionsgut auf. Vermutlich beeinflusste der im Süden anschließende, gestörte Bereich mit seiner Trümmerzone die Aufnahmebereitschaft. Vor allem die Bohrungen, die im Steilabbruch der rechten Talflanke lagen, hatten Aufnahmen bis zu 1000 kg Zement fest/lfm.

Nach Abschluß der Felsinjektionen in diesem Abschnitt wurde die Schrägbohrung 1 als Testbohrung von der Talmitte mit 60° nach SW geneigt und in der Dichtfront verlaufend bis zum Fuß des vordersten Gleitkörpers vorgetrieben; die dazugehörige parallele Kontrollbohrung 3 sollte den Dichtungserfolg im höheren Abschnitt des Gleitkörpers feststellen.

Die in diesen Bohrlöchern durchgeführten Wasserabpressungen blieben durchwegs unter einem Lugeon. Nur die Zementaufnahmen im

Bohrloch 3 waren sehr hoch. Die Sondierung 4 hat jedoch nach Abschluß der Injektion durch das Bohrloch 3 die endgültige Abdichtung nachgewiesen.

Größere Zementaufnahmen waren auch im Übergang vom flachen Felsuntergrund der Talmitte zum Anstieg der linken Flanke festzustellen. Hier dürfte es sich um eine Auffüllung von Hohlräumen im Übergang vom anstehenden Fels zu den Alluvionen handeln. Dieser Bereich wurde vermutlich durch die Verbindungsinjektionen Pfahlwandunterkante zu Felsoberfläche nicht verfüllt. Die Kontrollbohrung 2 bestätigte auch hier den Dichtungserfolg.

6.0. Schlußbetrachtung

Die mechanische Beanspruchung des Granitgneises in der Talachse und die starke Zertrümmerung sowie die Zerlegung des Granitkörpers in einzelne Keile mit Sackungerscheinungen zwangen zu einer schrittweisen Aufschließung und Prüfung des Untergrundes im Bereich der Sperrenstelle. Selbst die Lockerüberlagerungen konnten nur durch eine Vielzahl von Bohrungen im Detail erkundet und durch geeignete Maßnahmen beherrscht werden.

Die ausgewerteten Bohrergebnisse gaben ausreichend Auskunft über den Baugrund und die Aufstandsbedingungen für einen Damm. Dementsprechend mußten auch verschiedenartige Dichtungsmaßnahmen für die feinkörnigen Sedimente, für die Bergsturzmasse und für den Felsuntergrund entworfen und ausgeführt werden. Bedingt durch die starke Zerrüttung entlang von Schieferflächen und südseitig der Weißsee-Störungszone war auch die Injektionsgutaufnahme sehr hoch.

Der Aufwand an geotechnischen Untersuchungen war für diese kleine Sperre enorm hoch, im Hinblick auf die Sicherheit des Dammes und auf die Dichtigkeit des Untergrundes hat sich dieser Aufwand jedoch gelohnt.

LITERATUR

- CAMBIFORT, H. (1969): Bodeninjektionstechnik, Deutsche Bearbeitung: BACK, K., Bauverlag GmbH., Wiesbaden, Berlin.
- EXNER, Ch. (1964): Erläuterungen zur geologischen Karte der Sonnblickgruppe, 1:50.000. Geol. B. A., Wien.
- KIESSLING, H. (1969): Planung und Ausführung der Kraftwerksgruppe Fragant. Österreichische Zeitschrift für Elektrizitätswirtschaft (ÖZE). H. 10, 22:449–461.
- LITSCHER, H. (1974): Ein geologisches Profil durch die Südwestabdachung des Sonnblickkernes. Carinthia II, 164:161–173.
- RIEDMÜLLER, G., & SCHWAIGHOFER, B. (1971): Elektronenoptische Untersuchung von Kaoliniten aus Myloniten der Oscheniksee-Störung (Kärnten, Österreich). Carinthia II, 28. Sonderheft: 253–258.
- WEISS, E. H. (1965): Hydrogeologische Verhältnisse im Bereich Weißsee–Schwarzsee. Gutachtliche Stellungnahme. Archiv der Kärntner Elektrizitäts-AG.
- (1969): Die Kraftwerksgruppe Fragant. Geologische Übersicht, Voraussage und Erfahrungen beim Bau. Österreichische Zeitschrift für Elektrizitätswirtschaft (ÖZE). H. 10, 22:464–472.

Anschrift der Verfasser: Dr. H. LITSCHER, Kärntner Elektrizitäts-AG, Arnulfplatz Nr. 2, 9020 Klagenfurt; Univ.-Prof. Dr. E. H. WEISS, Villacher Straße Nr. 25, 9020 Klagenfurt.