

Mitt. österr. geol. Ges.	83 (1990) Themenband Umweltgeologie	S. 31-56 15 Abb.	Wien, Februar 1991
--------------------------	---	---------------------	--------------------

## Geologisch – hydrogeologische Verhältnisse beim Innflußkraftwerk Oberaudorf-Ebbs (Tirol-Bayern) Prognose – Bauausführung

Von N. HEIM und W. NOWY\*)

Mit 15 Abbildungen

### Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung/Summary .....	31
1. Allgemeines und geologisch-hydrogeologische Vorarbeiten .....	32
2. Geologische Verhältnisse .....	35
2.1. Geologische Übersicht .....	35
2.2. Geologisch-sedimentologische Verhältnisse im Bereich des Hauptbauwerkes ..	35
3. Bauausführung .....	40
3.1. Bauablauf im Detail aus geologisch-geotechnischer Sicht .....	41
3.1.1. Baugrubenumschließung .....	41
3.1.2. Brunnenbau .....	42
3.2. Hydrologie und Grundwasserabsenkung .....	43
4. Geologische Erkenntnisse .....	47
4.1. Geologische Erkenntnisse während der Brunnenherstellung für die Grundwasserabsenkung .....	47
4.2. Geologische Erkenntnisse während des Aushubes der Baugrube .....	48
5. Schlußfolgerungen .....	54

### Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit soll am Beispiel des Baugrubenaushubes beim Innkraftwerk Oberaudorf-Ebbs, trotz Anwendung und Einsatzes moderner vorauseilender Untersuchungsmethoden, die Grenzen der Vorhersagemöglichkeiten für Grundwasserhältnisse bei komplizierten geologisch-sedimentologischen Strukturverhältnissen aufzeigen. Diese Grenzen und deren Ursachen konnten durch die geologisch-hydrogeologische Betreuung und Überprüfung während des Baugrubenaushubes sehr beispielhaft veranschaulicht werden.

Etwa 10 km nördlich von Kufstein wird von der ÖSTERREICHISCH-BAYERISCHE KRAFTWERKE AG am Inn ein Flußkraftwerk errichtet. Das Hauptbauwerk wird in Trockenbauweise errichtet, was eine Absenkung des Grundwassers in der Baugrube um zirka 20 m erforderte. Zu diesem Zweck wurden umfangreiche Voruntersuchungen angestellt und

\*) Adressen der Verfasser: Dr. Norbert HEIM: Büro Dr. W. NOWY, Buchberggasse 1/2/8, A-3400 Klosterneuburg.  
Dr. Walter NOWY: Ingenieurkonsulent für Technische Geologie, Buchberggasse 1/2/8, A-3400 Klosterneuburg, Österreich.

schließlich ein geologisch — hydrogeologisches Modell des Baugrundaufbaues als Grundlage für die Bemessung der Wasserhaltung entwickelt.

Während des Baugrubenaushubes war nun durch eine permanente geologisch — geotechnische Beratung und Dokumentation die Möglichkeit gegeben, das bestehende Modell kontinuierlich zu überarbeiten und zu verfeinern. Die unerwarteten Schwierigkeiten bei der Grundwasserabsenkung ergaben sich durch die vorhandenen komplizierten sedimentären Internstrukturen und Inhomogenitäten sowie insbesondere durch eine im Zuge der Vorerkundung nicht erfaßbare asymmetrische Schotterkörperaufwölbung, welche ein eigenes tieferes Grundwasserstockwerk mit gespanntem, artesischem Wasser bildete. Nur durch eine intensive Zusammenarbeit der planenden und projektierenden Ingenieure und Geologen sowie eine laufende Adaptierung des Absenkungskonzeptes an die geologischen Gegebenheiten konnte die Aufgabe der Grundwasserabsenkung bewältigt werden.

### Summary

The following paper should be understood as an example showing up very clearly the limits still existing in predicting ground water circumstances in complex geologic-sedimentologic soil structures, even when applying all available modern methods of preliminary ground-investigation.

The possibility herefor was offered by the design and construction of a power-station at the river Inn, which is built by the ÖSTERREICHISCH-BAYERISCHE KRAFTWERKE AG approximately 10 km north of Kufstein/Tirol. The power-house with its three turbines is built under dry conditions by preliminary diversion of the river around the construction site, which made necessary a lowering of the groundwater-level in the construction site of about 20 meters. A series of investigations was carried out to provide basic information for further calculations concerning the groundwater lowering concept which included a system of wells inside of a cut-off-wall. Based on these investigations a geologic — hydrogeologic model of the construction site was developed.

A continuous geologic — geotechnical documentation and consulting activity was given throughout the excavation works, thus offering the possibility of controlling and refining the existing geologic model with increasing knowledge of the soil composition. During the lowering of the groundwater-table unexpected difficulties had to be coped with. Those problems were caused by very complex internal sedimentary structures and discontinuities, but especially by an asymmetric accumulation of coarse gravel just below the construction site, representing an individual deeper ground water level which occurred to be artesian. The preliminary investigations could not clarify this underground configuration exactly. The intensive cooperation of the concerned engineers and geologists and the continuous adaptation of the groundwater lowering concept to the geologic circumstances finally led to a successful solution of those problems.

### 1. Allgemeines und geologisch-hydrogeologische Vorarbeiten

Die Flußkraftwerksanlage Innstufe Oberaudorf-Ebbs der ÖSTERREICHISCH BAYERISCHEN KRAFTWERKE AG wird unmittelbar unterwasserseitig der Einmündung des Jennbaches bei Inn km 211,345 errichtet. Als Hauptbauwerk ist im rezenten Flußbett ein Pfeilerkraftwerk mit zwei Turbinenpfeilern von je 20 m Breite und drei Wehrfeldern mit je 16 m lichter

Weite sowie zwei Ufermauern vorgesehen. Das Stauziel liegt bei 477,41 m ü. A. und die unterwasserseitige Eintiefung bei 464,5 m ü. A. Dadurch ergibt sich eine Spiegeldifferenz von  $\pm 13$  m.

Die geologischen und bodenmechanischen Vorstudien für das Projekt begannen im Jahr 1982 unter der Leitung der Herren Univ.-Prof. Dr. F. MAKOVEC und Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. BRANDL. Die Untersuchungen umfaßten die Projektteile Hauptbauwerk sowie die Uferstrecken entlang des Stauraumes. Als Grundlage für ihre Beurteilungen und Empfehlungen dienten die im Bereich des Hauptbauwerkes ausgeführten elf Aufschlußbohrungen [B 1.1 — 1.11] und die entlang der vorgesehenen Baugrubenumschließung situierten zehn Bohrungen [B 2.1 — 2.10] (Abb. 1). Die Bohrungen wurden alle als Rammkernbohrungen ausgeführt. Sie erbrachten und vermittelten eine Fülle von geotechnischen Kennwerten und Daten, wie Kornverteilung, Lagerungsdichte [SPT] sowie bodenmechanische Kennwerte wie Scherparameter und im Labor durchgeführte Durchlässigkeitsbeiwerte. Neben den im Zuge des Abteufens der Aufschlußbohrungen durchgeführten Pumpversuchen [Wiederanstiegsversuche] wurden auch zwei Leistungspumpversuche [Brunnen I 116/B 3.1 sowie R 191/B 2.10] durchgeführt.

Etwa zeitgleich erfolgte unter der Leitung von Herrn Prof. Dipl.-Ing. Dr. SCHUCH eine großregionale Studie der Grundwasserverhältnisse. Sie beinhaltete eine geophysikalische

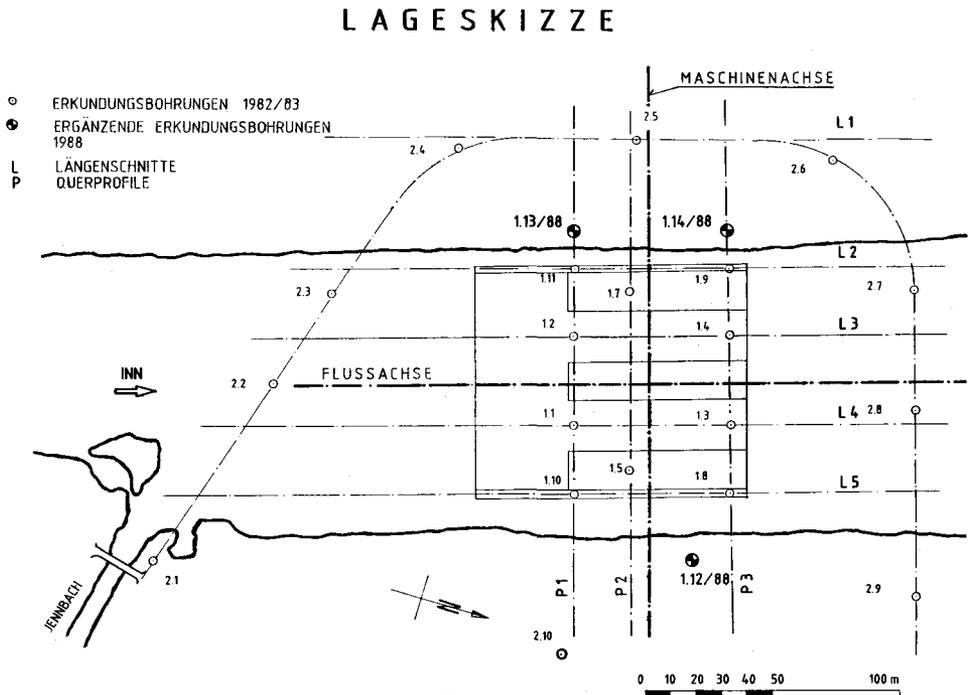


Abb. 1: Lageskizze des Hauptbauwerkes [ca. 1.5 km NW von Ebbs] und Anordnung der ausgeführten Erkundungsbohrungen [B 1.1 — 1.11 — Hauptbauwerk; B 2.1 — 2.10 — Baugrubenumschließung].

Kartierung der Lockersedimenttalauffüllung sowie die Auswertung niedergebrachter Aufschlußbohrungen, um die Mächtigkeit und das Relief der Oberkante des relativen Grundwasserstauers  $k=10^{-3}$  m/sec. zu erfassen sowie um zu einer örtlichen Verteilung der Durchlässigkeitsbeiwerte im potentiellen Grundwasserleiter zu kommen. Als Ergebnis konnte festgehalten werden, daß im linksufrigen Bereich des Inns sowohl die Längsachsen der Erosionsrinnen in der Oberkante des relativen Stauers, als auch die Schüttrichtungen der Lockersedimente des potentiellen Grundwasserleiters annähernd parallel dem rezenten Inn verlaufen. Entlang des rechten Innufers, im Bereich von Oberndorf — Niederndorf, werden hingegen die Untergrundverhältnisse weitestgehend durch die fluviatile Erosionstätigkeit des Vorläufers des Jennbaches und einige kleine, in die Talebene eintretende Zubringer des Inns, gekennzeichnet. Daraus resultiert eine generell vom Hang gegen den Inn gerichtete bevorzugte Wegigkeit des Grundwassers, zumindest oberhalb der Oberkante des relativen Grundwasserstauers. In diesem Abschnitt liegt das Hauptbauwerk. Die Mächtigkeit des potenten Grundwasserleiters kann entsprechend dem stark gegliederten Relief der Oberkante des relativen Grundwasserstauers sowie der Grundwasserspiegellagen bis zu 35 m betragen. Die Beantwortung detaillierter geologisch-hydrologischer Fragen, insbesondere für den Bereich im Hauptbauwerk der Innstufe Oberaudorf-Ebbs, war jedoch nicht Ziel dieser Studie.

Zum damaligen Zeitpunkt lag dem Gründungskonzept kein geologisch räumliches Vorstellungsmo­dell zugrunde, woraus die Art und Charakteristik des Untergrundaufbaues hervorging. Des weiteren ergaben sich Widersprüche und Unklarheiten betreffend jener Durchlässigkeitsbeiwerte, die als Bemessungsgrundlage für die Sickerwassermengen und Qualmwasserberechnung im Bereich des Hauptbauwerkes zugrunde gelegt wurden. Insbesondere bestand aber das Bedürfnis, die ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte einzelnen abgrenzbaren geologisch-sedimentologischen Zonen zuzuordnen, um eine bessere Beurteilung vornehmen zu können.

Diese zu ergänzende Aufgabe, nämlich die kritische Durchsicht aller bisher erarbeiteten Unterlagen sowie das Zusammenfassen und die Darstellung der Ergebnisse unter besonderer Berücksichtigung geologisch-sedimentologischer Fragen, wurde vom behördlichen Sachverständigen der Geologie, Herrn Dr. W. DEMMER verlangt und den Verfassern des Berichtes von der ÖSTERREICHISCH-BAYERISCHE KRAFTWERKE AG übertragen. Hierbei sollte, unter Zugrundelegung der gewonnenen neuen Erkenntnisse, eine neuerliche Anschätzung der Durchlässigkeitsverhältnisse, welche als Basis für die Erstellung eines mathematischen Grundwassermodelles notwendig sind, durchgeführt werden.

Die Aufgabenstellung machte es notwendig, die noch vorhandenen Bohrkern­e aus dem Bereich des Hauptbauwerkes, insbesondere im Hinblick auf sedimentologische Fragen, nochmals zu sichten. Obwohl aus dem Bereich der obersten 20 m Zone des Hauptbauwerkes keine [Bohrungen 1.1 — 1.11] und aus dem tieferen Untergrundbereich nur unvollständige und durch Verwitterungsverhältnisse stark beeinflusste Bohrkern­e vorgefunden werden konnten, vermittelten die vorhandenen Bohrkern­e sowie die fotografischen Bohrkernaufnahmen doch noch eine Fülle von sedimentologischen Details. Sie erlaubten, wenn auch mit gewissen Unsicherheiten, eine neue Darstellung der geologischen Untergrundverhältnisse in Längenschnitten sowie Profilschnitten. Diese Schnitte bildeten die Basis für eine neuerliche Anschätzung der Durchlässigkeitsbeiwerte.

## 2. Geologische Verhältnisse

### 2.1. Geologische Übersicht

Das Projektsgelände liegt im Inntal zirka 10 km nördlich von Kufstein. Das Inntal stellt ein durch die letzten Eiszeiten tief ausgeschürftes Trogtal dar, das nach dem Rückzug der Gletscher mehrere 100 m tief mit fluvioglazialen und fluvialen Sedimenten ausgefüllt wurde.

Die Umrahmung dieses Inntalabschnittes wird großteils durch Gesteine der Trias und des Jura der Nördlichen Kalkalpen aufgebaut. An den Talflanken sind außerdem Vorkommen von tertiären Gesteinen [Tonschiefer und Konglomerate der Häringer und Angerberger Schichten] Zeugen des letzten marinen Vorstoßes in das Unterinntaler Becken. Vorkommen tertiärer Gesteine finden sich hauptsächlich an den Nordabhängen des Zahnen Kaisers, am Fuß der Schanzer Wände und in kleineren Vorkommen auch an den westlichen Talflanken auf bayerischem Gebiet.

Die Auffüllung des glazial ausgeschürften und eingetieften Inntales ist äußerst komplex aufgebaut [grobes Blockwerk, Kiese und Sande bis hin zu Seetonlinsen als auch konglomerierten Lagen] und geprägt durch ein ehemals ständiges Mäandrieren des Inns sowie von Einflüssen wildbachähnlicher Seitenzubringer. Auch der Einfluß der naheliegenden, schroff aufragenden Felsmassive, insbesondere des Kaisergebirges, zeigt sich im wiederholten Einspießen von Schuttströmen und Blockwerkmaterial in die Flußsedimente.

Die Untergrundverhältnisse im Bereich der Baugrube für das Hauptbauwerk stellen sich somit sehr komplex dar, was sich im Zuge des Aushubes sowohl in lithologischer als auch hydrologischer Hinsicht sehr deutlich zeigte.

### 2.2. Geologisch-sedimentologische Verhältnisse im Bereich des Hauptbauwerkes

Zur Erkundung der Gründungsbedingungen im Bereich des Hauptbauwerkes wurden elf und für die Baugrubenumschließung zehn Rammkernbohrungen ausgeführt. Die Länge der einzelnen Bohrungen betrug, in Abhängigkeit ihrer jeweiligen Situierung — im Flußgerinne oder in den randlichen Uferbereichen — 18 bis 50 m. Damit konnten die Untergrundverhältnisse punktuell bis zirka 30 m unter die vorgesehene Gründungssole erkundet werden. Während des Abbohrens der Aufschlußbohrungen wurden neben Proben zur Bestimmung der Kornverteilung, der Durchlässigkeit und für die Ermittlung bodenmechanischer Kennwerte [Korndichte, Lagerungsdichte, Scherversuche] auch in-situ-Versuche wie Standard-Penetration-Tests und k-Wertbestimmungen in Form von Wiederanstiegsversuchen durchgeführt.

Die Bohrungen im Bereich des Hauptbauwerkes zeigten einen im Detail sehr unterschiedlich bis heterogenen, großräumig jedoch mehr oder weniger einheitlichen Aufbau. Die Ergebnisse erlaubten im wesentlichen eine Gliederung in eine

- jüngere Talauffüllung und
- ältere Talauffüllung

Die jüngere Talauffüllung ließ eine Unterteilung in eine Grobkieszone sowie Fein- bis Mittelkieszone und die ältere Talauffüllung in eine schluffig-kiesige Sandzone, schluffige Sandzone sowie sandreiche Kieszone zu.

Als jüngere Talauffüllung wurden die sandig bis stark schluffigen Ausande, die gering schluffig, sandig und steinig durchsetzten Fein- bis Grobkiese sowie die nicht klar gegen das Hangende abgrenzbaren, sandreichen Fein- bis Mittelkiese zusammengefaßt.

Die Gesamtmächtigkeit der Grobkieszone betrug nach Auswertung der Bohrungen im Bereich der beiden Ufer zirka 10 m, während im Flußbett die Mächtigkeit zwischen zwei und sechs m schwankte. Die Fein- bis Mittelkieszone wies eine Mächtigkeit, die zwischen einigen Metern bis 10 m schwanken kann, auf. Einschaltungen von langgestreckten und teilweise ineinander verzahnten Linsen und Lagen feinkörnigeren aber auch grobkörnigeren Kornaufbaues verdeutlichten die unterschiedlichen Sedimentationsbedingungen in diesem Raum.

Die erstellten Profilquerschnitte zeigten, daß die Mächtigkeit der jüngeren Talauffüllung [Grobkieszone und Fein- bis Mittelkieszone] rechtsufrig die größte Mächtigkeit mit zirka 21 m erreicht, während sie gegen die Innmitte sowie linksufrig z. T. abnimmt und durch Einschüttungen schluff- und sandreicherer Lagen bis auf 14 m reduziert wird. Die scheinbare Mächtigkeitszunahme der jüngeren Sedimentabfolge gegen das rechte Ufer, die sich im Zuge der Bauausführung bestätigte, beruhte vor allem auf dem Ergebnis der Bohrung 2.10, in welcher der Großpumpversuch durchgeführt wurde. Dies ist deshalb von Bedeutung, da der in der Bohrung 2.10 durchgeführte Großpumpversuch in einer Tiefe zwischen 17 und 22 m sehr wohl signifikant und in bezug zu seiner Durchlässigkeit für den untersten Bereich der jüngeren Talauffüllung repräsentativ ist, die in der Bohrung anzutreffende Mächtigkeit jedoch nicht für den gesamten Baugrubenaushubbereich übertragen werden konnte.

Die ältere, relativ klar von der Fein- bis Mittelkieszone abtrennbare Talauffüllung wird von meist schluffigen sandreichen Kiesen bis schluffigen, Fein- bis Mittelsanden aufgebaut. Der zusammengefaßte Komplex ist vor allem durch seinen signifikant höheren Feinkornanteil gekennzeichnet. Der Anteil  $< 0,63$  mm kann bereits im hangendsten Abschnitt  $> 20\%$  betragen. Dabei schwankt der Schluffanteil um zirka 10%. Der gesamte Komplex ist ebenfalls durch langgestreckte und ineinander verzahnte Linsen differenzierten Kornaufbaues zusammengesetzt. Hierbei ließen sich bis zu mehrere Meter mächtige schluffreichere Fein- bis Mittelsandlagen ausscheiden. Bei ihnen betrug der Schluffanteil zirka 20 bis max. 30% und der Kornanteil  $< 0,63$  mm konnte bis zu 100% betragen. Inwieweit diese schluffigen und glimmerreichen Feinsandschichten als durchgehende Horizonte vorliegen, oder in ihrer Länge und Geometrie nur begrenzte Körper darstellen, konnte nicht eindeutig beantwortet werden (Abb. 2).

Bei Übertragung der Bohrergebnisse in die entsprechenden Schnitte zeigte sich, daß eine Zusammenfassung dieser Schichten in lang erstreckende Körper und Lagen möglich war. Grundsätzlich ließ sich durch das Vorliegen einzelner „Leitschichten“ eine gewisse Horizontbeständigkeit ableiten, die einen Lagenbau bestätigt. Bereichsweise ließen die abgelagerten feinkörnigen Sedimente auch eine gute, annähernd horizontale Schichtung erkennen. Dies konnte noch an einigen Bohrkernrelikten festgestellt werden. Ebenso konnte an einzelnen Bohrkernen noch eine deutliche Feinstschichtung von fein- bis mittelsandigen und schluffigen Lagen im cm bis mm-Bereich beobachtet werden. Vereinzelt wurde auch eine Schrägschichtung [ $\pm 10^\circ$  bis  $15^\circ$ ] beobachtet.

Die wechselnden fluviatilen Sedimentationsvorgänge sowohl in der jüngeren als auch in der älteren Talauffüllung ließen eine potentiell bevorzugte Wegigkeit und damit Wasserdurchlässigkeit erwarten. Zur Ermittlung der Durchlässigkeiten sowie insbesondere bevorzugter Wegigkeiten entlang einzelner Schichten, wurden im Zuge des Abteufens der Erkundungsbohrungen Absenk- und Wiederaufstiegsversuche durchgeführt. Die Ergebnisse dieser in-situ-Versuche wurden durch im Labor bestimmte Durchlässigkeitsbeiwerte

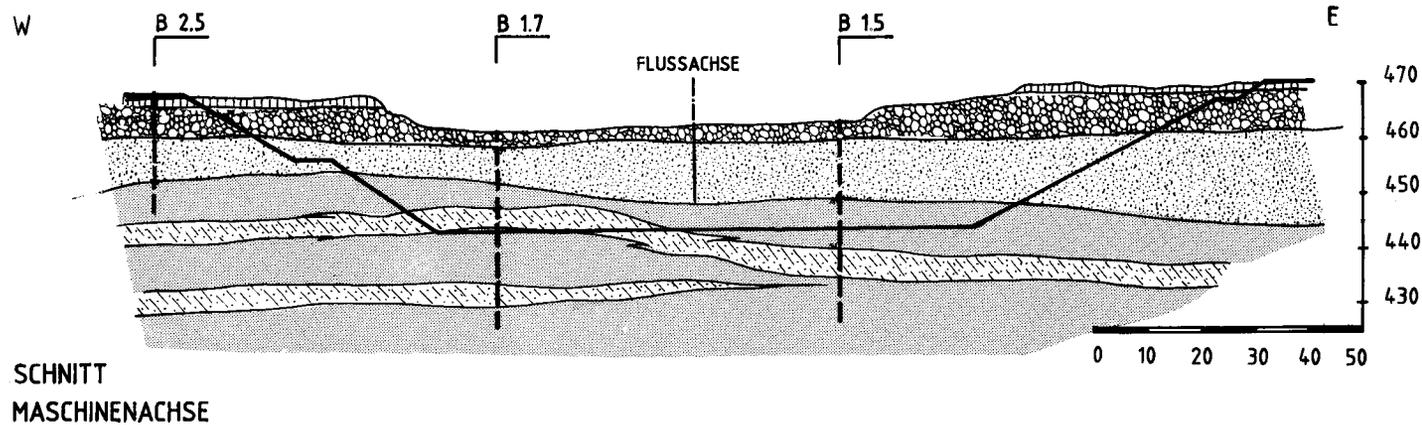
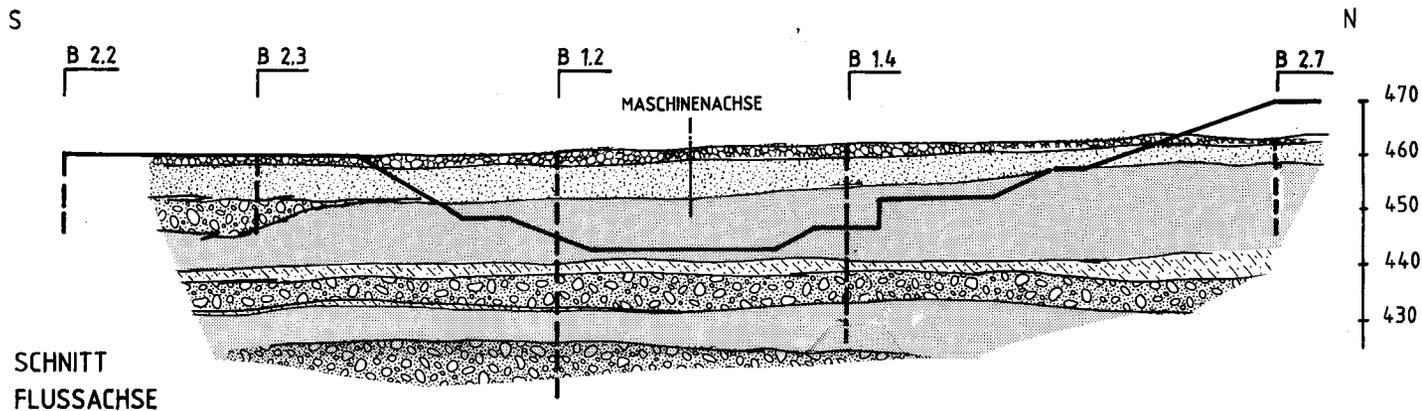


Abb. 2: Vereinfachter geologischer Schnitt entlang der Fluß- und der Maschinenachse [Legende siehe Abb. 7].

ergänzt. Sie dienten gemeinsam mit dem Leistungspumpversuch als Grundlage, um zu einem Vorstellungsbild über die hydrogeologischen Untergrundverhältnisse im Bereich des Hauptbauwerkes zu kommen und damit als Basis für die Berechnung der Sicker- und Qualmwassermengen.

Die Wiederanstiegsversuche zeigten, daß in der obersten Grobkieszone der jüngeren Talauffüllung Durchlässigkeitswerte in der Größenordnung von  $4 \times 10^{-4}$  bis  $6 \times 10^{-5}$  m/sec. vorlagen [bei 4 Versuchsdurchführungen in der Tiefe zwischen 4 und 9 m]. In der darunterliegenden Fein- bis Mittelkieszone lagen die Werte zwischen  $1,2 \times 10^{-4}$  und  $8,2 \times 10^{-5}$  m/sec. [aus 10 Versuchsdurchführungen]. Die Werte aus der älteren Talauffüllung lagen zwischen  $2 \times 10^{-4}$  und bei den schluffreichen Feinsanden um  $2 \times 10^{-6}$  m/sec.

Die zu Vergleichszwecken im Labor durchgeführten Durchlässigkeitsbeiwertbestimmungen ergaben gegenüber den Feldversuchen um 2 bis 3 Zehnerpotenzen geringere Durchlässigkeitsbeiwerte.

Bei Durchsicht der im Zuge des Abteufens angefertigten Berichte der ausführenden Firma war auch zu entnehmen, daß ab einer Tiefe von zirka 10 m sehr oft Auftriebserscheinungen festgestellt wurden. Diese Erscheinungen waren insbesondere in den Fein- bis Mittelsandschichten festzustellen. Die Bohrkernbesichtigung konnte keinen ausgeprägt heterogenen, stark unterschiedlich durchlässigen Bodenaufbau feststellen. Deshalb lag der Verdacht nahe, daß die Auftriebserscheinungen eventuell auf das zu schnelle Ziehen des Kernrohres entstand [hydraulischer Grundbruch]. Gespannte Wasserhorizonte konnten nicht registriert werden.

Ein Vergleich der errechneten k-Werte aus den in-situ-Pumpversuchen mit den ermittelten k-Werten aus der Körnungslinie für verschiedene Ungleichförmigkeitsgrade nach BEYER [ $k=C \times d_{10}^2$ ] zeigte nur teilweise eine gute Übereinstimmung. Übereinstimmung bestand für jene Werte, die aus der jüngeren Auffüllung errechnet wurden. Hingegen ist der Schluffanteil in den Feinsanden der unteren Talauffüllung zumeist  $> 10\%$  und damit die Gültigkeit der BEYER-Formel nicht mehr gegeben. Die große Differenz zu den im Labor ermittelten k-Werten mußte auf mögliche Fehlerquellen bei der Probenentnahme und beim Versuch zurückzuführen sein. Vor allem stellt die im Laboratorium eingebaute Probe durch die Entnahme immer nur eine Mischprobe dar, die mit den ursprünglichen sedimentologischen Ablagerungsbedingungen nicht mehr verglichen werden kann. Da aus den Bohrkernen z. T. noch eine deutliche Feinstschichtung zwischen feinsandigen und schluffigen Lagen nachgewiesen werden konnte, und die Feinsandlagen zum Teil sehr glimmerreich sind, mußte bei gestörter Probenentnahme und labormäßiger Aufbereitung mit einer relativ großen Verfälschung der Durchlässigkeitsbeiwerte gerechnet werden.

Die im Bereich des Hauptbauwerkes [B 2.10] und bei Fluß-km 212.600 [B. 3.10] durchgeführten Großpumpversuche erbrachten für den oberen Bereich der jüngeren Sedimentablagerungen [Grobkieszone] Durchlässigkeitsbeiwerte von  $a \cdot 10^{-2}$  m/sec. und für den unteren Abschnitt [Fein-Mittelkieszone]  $2 \cdot 5 \cdot 10^{-3}$  m/sec. Trotz der Unsicherheiten im Berechnungsverfahren, dem Modellvorstellungen zugrunde liegen, die in der Natur praktisch nicht angetroffen werden [schwankende GW-Leiter-Mächtigkeit; inhomogene und anisotrope Ausbildung des GW-Leiters; GW-Gefälle; Filterstrecke erfaßt nicht den gesamten GW-Leiter; unmittelbare Nähe des Innflusses], handelt es sich bei diesen Versuchen um die zuverlässigste Art der Durchlässigkeitsbestimmung. Aus der Zone der älteren Sedimentabfolge, die im Bereich der tiefsten Baugrubensohle anzutreffen sein wird, liegen keine Durchlässigkeitsbeiwerte aus einem Großpumpversuch vor. Bei einem Vergleich

mit den aus den Kurzpumpversuchen ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerten [Anstiegsversuche] liegen diese um zirka eine 10er Potenz niedriger als jene Werte, die bei den Großpumpversuchen ermittelt wurden. Die aus den beiden Großpumpversuchen ermittelten Durchlässigkeiten wurden als Grundlage für die Anschätzung herangezogen.

Unter Zugrundelegung der zusammengetragenen Daten und den neu dazugekommenen Details aus den Bohrkernaufnahmen wurde versucht, die unterschiedlich ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte einer kritischen Beurteilung zu unterziehen und diese den spezifisch-sedimentologischen Schichten zuzuordnen. Das Ergebnis wurde in den Längenschnitten und Profilschnitten dargestellt. Die horizontalen Durchlässigkeitsbeiwerte wurden im Abschnitt der jüngeren Talauffüllung in der Größenordnung von  $10^{-2}$  bis  $10^{-3}$  und in der älteren Talauffüllung mit Werten von  $10^{-4}$  bis  $10^{-5}$  m/sec. angeschätzt. Aus den Bohrungen wurde auch ersichtlich, daß geringmächtige zwischengeschaltene Schluffhorizonte, die eine wesentlich geringere Durchlässigkeit erwarten ließen, vorliegen. Die Mächtigkeit dieser Lagen beträgt 10 bis 15 cm. Sie fungieren aufgrund ihrer sicherlich wesentlich geringeren Durchlässigkeit als Sperrschichten. Es mußte jedoch angezweifelt werden, daß diese dünnen Lagen als durchgehende Sperrschichten vorliegen und damit zu einer Anlage verschiedener Grundwasserstockwerke führen.

Die in den Schnitten dargestellten geologischen Untergrundverhältnisse ließen erkennen, daß die Mächtigkeit der grobkörnigeren und damit stärker durchlässigen Sedimentabfolgen schwankt. Während im rechtsufrigen Abschnitt die Mächtigkeit bis zu 20 m beträgt, vermindert sich diese im Bereich der Innmitte und des linken Ufers durch Einschüttungen und Ablagerungen feinkörnigerer Sedimentabfolgen auf 12 bis 14 m. Die Durchlässigkeit in dieser Zone war zwischen  $10^{-2}$  und  $10^{-3}$  m/sec. zu erwarten.

Aus den schluffigen Fein- und Mittelsanden sowie schluffigen, sandreichen Kiesen der älteren Talauffüllung lagen keine Ergebnisse von Großpumpversuchen vor. Hier mußte die Anschätzung der Durchlässigkeit aufgrund der Laborversuche sowie der aus den Körnungslinien ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte von BEYER vorgenommen werden. Gerade diesen Sedimentabfolgen der älteren Talauffüllung, die im Bereich der Gründungssohle und dem darunter liegenden Abschnitt vorzufinden sind, kam aber in bezug auf die Anschätzung der Durchlässigkeitsbeiwerte entscheidende Bedeutung zu. Die Durchsicht der von diesem Abschnitt noch vorliegenden Bohrkerne ergab, daß ein angenähert horizontal geschichteter Untergrundaufbau vorliegt. Dieser erlaubt es, bei den Durchlässigkeitskalkulationen eine entsprechende Abminderung in vertikaler Richtung zuzulassen. Ein durchgehender, mehrere Meter mächtiger Schluffhorizont konnte ausgeschlossen werden, wodurch für die Dichtungselemente der Baugrubenumschließung nur ein relativer Stauer angenommen werden konnte, und damit vermutlich auch größere Einbindetiefen erforderlich wurden. Da die Untergrundabdichtung keinen Anschluß an eine dichte Sedimentschicht finden würde, mußte man auch nach den vorliegenden Ergebnissen mit einem unterströmten Bauwerk rechnen.

Nach Durchsicht und Analyse der Ergebnisse dieser ersten Erkundungsphase wurden aufgrund der bestehenden Lücken und Unsicherheiten, sowohl was die Zusammensetzung der Lockergesteinssedimente in spezifischen Abschnitten, die Mächtigkeit der jüngeren Sedimentablagerungen als auch die Zuordnung der ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte zu den einzelnen Schichten betraf, im Bereich des Hauptbauwerkes linksufrig noch zwei sowie rechtsufrig eine Aufschlußbohrung empfohlen. Sie sollten zur Überprüfung und vor allem Ergänzung des vorgelegten geologischen Vorstellungsmodells, dargelegt in Längen-

und Profilschnitten, dienen. Neben der Beantwortung offener geologisch-sedimentologischer Fragen sollte das Ziel sein, durch Kurzpumpversuche und einen Großpumpversuch, im Abschnitt unterhalb der Gründungssohle, die Durchlässigkeitsbeiwerte und deren Änderung gegen die Tiefe besser zu erfassen. Aufgrund der ergänzenden Informationen wurden die vorliegenden geologisch-hydrogeologischen Annahmen nochmals im Hinblick auf die angeschätzten Durchlässigkeitsbeiwerte überprüft und korrigiert.

Die erarbeiteten geologisch-sedimentologischen und hydrogeologischen Unterlagen bildeten die Grundlage für die Erstellung eines mathematischen Rechenmodelles, um auch den Sicherheitsnachweis gegenüber hydraulischem Grundbruch und die Berechnung der Qualmwassermenge durchzuführen.

### 3. Bauausführung

Nach erfolgter Umleitung des Inns in das bereits früher vorbereitete Umleitungsgerinne am orographisch linken Ufer wurde schließlich mit der Brunnenherstellung zur Grundwasserabsenkung begonnen.

Von diesem Zeitpunkt an war eine permanente geologisch-geotechnische Betreuung des gesamten Projektbereiches im Auftrag der ÖBK gegeben. Diese Betreuung umfaßte in erster Linie eine möglichst lückenlose Dokumentation des Baugrundes während des Aushubes der bis zu 25 m tiefen Baugrube und aller damit zusammenhängenden Detailfragen [Dokumentation in Form von zahlreichen Schnitten und Profilen, Fotodokumentation]. Weiters war auch eine beratende Tätigkeit gegenüber der ÖBK gegeben, und zwar in erster Linie in bezug auf die sich unerwarteterweise sehr schwierig gestaltende Grundwasserabsenkung bzw. Wasserhaltung (Abb. 3).

Beginnend mit den Brunnenbohrarbeiten und weiters mit fortschreitender Aushubtiefe wurden die dadurch gewonnenen neuen Aufschlüsse kontinuierlich in das bestehende Baugrundmodell eingearbeitet bzw. dieses den neuen Erkenntnissen angepaßt.

Es zeigte sich, daß sich im großen und ganzen der schichtige Zonenaufbau [Ausedimente, Grobkiese, kiesige Sande, schluffige Sande vom Hangenden ins Liegende], wie er in der Modelldarstellung der Prognose dargestellt wurde, bestätigte. Diese Bodenzonen mit den dazugehörigen, teils in Versuchen ermittelten, teils empirischen  $k$ -Wert-Verteilungen waren ja im wesentlichen Bestandteil und bis zu einem gewissen Grad Grundlage für die Berechnung der Wasserhaltung und sonstiger bodenmechanischer Fragen.

Die darauf basierenden Berechnungen bezüglich der Qualmwassermengen, Suffusionssicherheit und dergleichen ergaben eine Gesamtzutrittsmenge von zirka 500 l/s, die sicherheitshalber auf das Doppelte, also 1000 l/s erhöht wurden.

Aus rein lithologischer Sicht bestätigte sich also das geologische Vorstellungsmodell des Baugrundes; während des Aushubes traten jedoch sedimentologische Details zu Tage, die doch eine gravierende Änderung der hydrogeologischen Verhältnisse [ $k$ -Wert-Verteilung, Erhöhung der Wasserzutritte] bewirkten. Die Dichte und vor allem die Qualität der Aufschlußbohrungen hat sich somit für die Erfassung der hier auf engstem Raum sehr komplex vorliegenden Bodenverhältnisse als nicht ganz zufriedenstellend erwiesen.

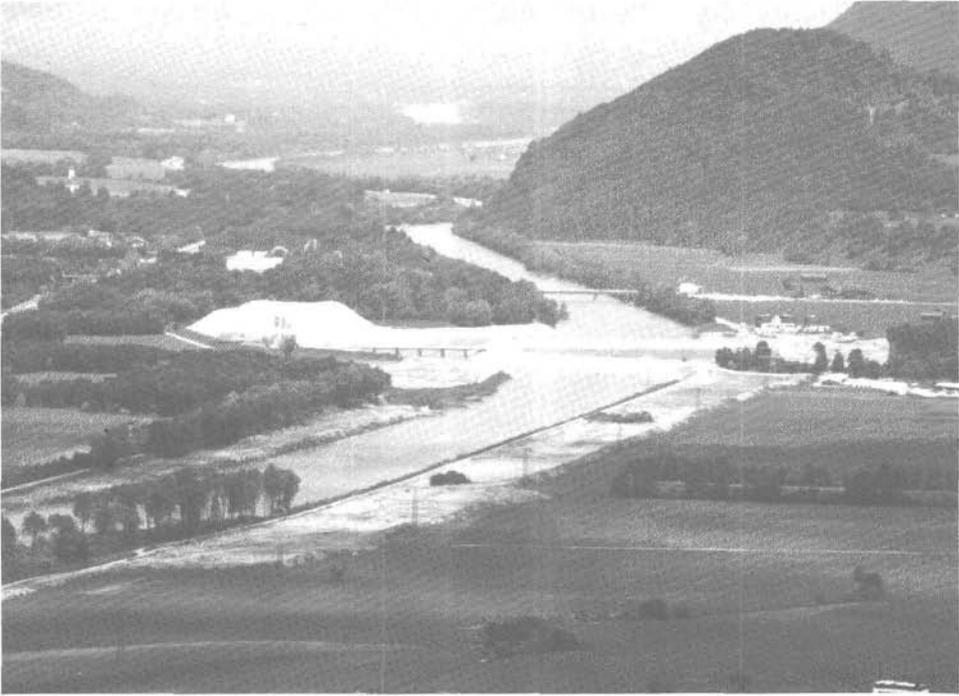


Abb. 3: Übersicht über den Baustellenbereich, Blickrichtung Norden.

### 3.1. Bauablauf im Detail aus geologisch-geotechnischer Sicht

#### 3.1.1. Baugrubenumschließung

Die Basis für die Bemessung der baugrubenumschließenden Dichtwand bildeten die vorauseilenden Erkundungsbohrungen und das daraus resultierende geologische Modell, das nach Abschluß von weiteren drei Bohrungen entwickelt wurde [siehe Abb. 1, Lageplan].

Unter Zugrundelegung dieser Kenntnisse über den Untergrundaufbau wurde von der ARGE ein Abdichtungskonzept entwickelt, das eine 20 m tiefe, kombinierte Schlitz- und Schmalwandlösung geschlossen rund um die Baugrube herum vorsah. Damit war vorhersehbar, daß eine Vertiefung der Dichtwand im Zuge der Bauausführung aus technischen Gründen nicht mehr möglich sein würde. Die Kombination mit einer die Schmalwand oben übergreifenden Einphasenschlitzwand war in den Abschnitten als notwendig erachtet worden, in denen eine dynamische Belastung der Dichtwand durch Wasserspiegelschwankungen und dergleichen angenommen werden konnte. Es waren dies die Bereiche der ober- und unterwasserseitigen Abriegelungsdämme, bzw. der ebenfalls neu angeschüttete linksufrige Damm entlang dem Umleitungsgerinne, also Abschnitte der Umschließung, in denen kein natürlich vorkonsolidierter Boden vorlag und somit Umlagerungen nicht auszuschließen waren. Solche Umlagerungen hätten in der eher sprödebrüchigen Schmalwand zu Rissen und Undichtigkeiten führen können.

Die Eindringgeschwindigkeiten der Schmalwandbohle spiegelten fast durchwegs den schichtigen Untergrundaufbau mit unterschiedlicher Lagerungsdichte wider. Auffallend

war, daß fast immer auf den letzten 2 bis 4 Metern [Kote 452-448] eine eher sprunghafte Abnahme der Eindringgeschwindigkeit feststellbar war, was grundsätzlich auf eine Einbindung in deutlich dichtere Schichten hindeutete. Die auffallende Konstanz dieser Erscheinung praktisch rund um die gesamte Baugrube und immer in  $\pm$  derselben Tiefe ließ allerdings schon bald die Vermutung entstehen, daß es sich dabei eventuell mehr um das Erreichen der Leistungsgrenze des Gerätes handelte. Die zunehmende Kenntnis über den Untergrundaufbau zeigte nämlich, daß mit einem derartigen konstanten Verlauf einer ausgeprägten Schichtgrenze in immer derselben Tiefe nicht gerechnet werden konnte.

### 3.1.2. Brunnenbau

Zeitgleich mit der Baugrubenumschließung wurde mit den Arbeiten zur Herstellung der Brunnen zur Grundwasserabsenkung und Wasserhaltung begonnen. Das von der ARGE vorgesehene Konzept beinhaltete ursprünglich einen äußeren Brunnenring [16 Brunnen], einen inneren Ring [13 Brunnen] und 2 in der Baugrubenmitte gelegene Brunnen.

Durch die Brunnenbohrarbeiten ergab sich zusätzlich eine Fülle von neuen Bodenaufschlüssen. Daneben konnten durch das systematische Messen der verschiedenen Brunnenwasserstände nach dem Abteufen auch schon einige Rückschlüsse auf die hydrologischen Gegebenheiten gezogen werden.

Sämtliche Brunnen wurden mit einem Verrohrungsdurchmesser von 900 mm abgebohrt, der Durchmesser des Bohrgerätes [Vakuummiesbüchse] betrug 700 mm. Der Ausbau erfolgte mit einem Durchmesser von 300 mm. Bei sämtlichen Brunnen wurden im Bereich der Filterstrecke [siehe Abb. 6] Proben genommen und anhand der Sieblinien nach einer etwas adaptierten Filterregel von TERZAGHI die geeignete Verkiesung bestimmt. Dementsprechend konnte durchwegs ein Filterkies der Körnung 4 bis 8 mm eingebaut werden.

Aufgrund der sich schon bald abzeichnenden äußerst unbefriedigenden Absenkleistung der Brunnen wurde beschlossen, die Brunnen bis zur Geländeoberkante zu verkiesen, um eine optimale horizontale Drainagierung des vertikal sehr schlecht durchlässigen Bodens zu erreichen. Desgleichen wurden 23 von insgesamt 64 Brunnen mit einer doppelten Garnitur von Brunnenrohren ausgebaut, um eine höhere Grundwasserentnahmemenge mit zwei Pumpen pro Brunnen zu ermöglichen.

Die Brunnentiefen wurden im äußeren Brunnenring mit einer Kote von 435 m ü. A., im inneren Ring mit 427 m ü. A. festgelegt. Die zusätzlichen Brunnen in der Baugrubenmitte wurden gemäß dem bis dahin erreichten Kenntnisstand über den Bodenaufbau lage- und tiefenmäßig einzeln festgelegt und variieren in ihrer Tiefe zwischen Kote 435 und 427 m. ü. A..

Zur Beobachtung der Absenkleistung bzw. der Interaktion der einzelnen Brunnen, wie auch der Wirksamkeit der Schmalwand wurden eine Reihe von Rammpegeln versetzt (Abb. 4).

Sämtliche Beobachtungen und Ergebnisse aus dem Brunnen- und Pegelbau [Bodenaufschlüsse, Lagerungsdichte, Wasserstände, Hydrochemie, udgl.] führten dazu, das ursprüngliche Absenkkonzept kontinuierlich zu überdenken, anzupassen und zu erweitern. Die eigentlichen Ursachen für die großen Probleme der Grundwasserabsenkung wurden erst im Zuge des fortschreitenden Aushubes und der damit entstehenden großflächigen Aufschlüsse deutlich.

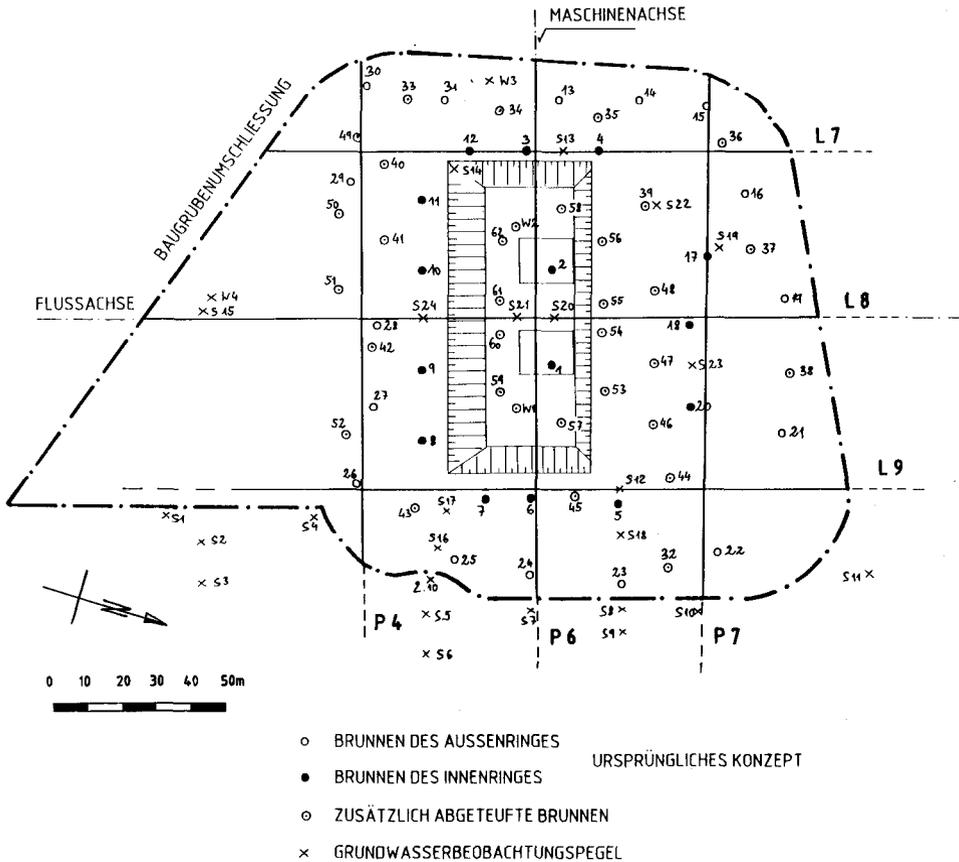


Abb. 4: Übersichtslageplan mit Eintragung der Baugrubenbrunnen und Grundwasserbeobachtungspegeln.

### 3.2. Hydrologie und Grundwasserabsenkung

Ab der Inbetriebnahme der Außenringbrunnen wurde alsbald erkennbar, daß es einerseits zur Ausbildung sehr steiler Absenktrichter kam [z. B. keine gegenseitige Beeinflussung benachbarter Brunnen beim Ein- und Ausschalten] und die Absenkleistung der Pumpen im Brunnenrohr trotz voller Leistung sehr gering war. Auch die Absenkung des freien Baugrubenwasserspiegels ging sehr schleppend bis gar nicht voran.

Im Zusammenhang mit der Herstellung der Innenringbrunnen, die 8 m tiefer [auf Kote 427] reichen als die des äußeren Ringes, ist von entscheidender Bedeutung, daß im noch unbetriebenen Zustand praktisch an allen diesen Brunnen wiederholt z. T. starke artesische Erscheinungen auftraten, und zwar im orographisch linken, westlichen Teil der Baugrube stärker als rechts (Abb. 5).

Diese Tatsache signalisierte deutlich zwei voneinander getrennte Grundwasserstockwerke, bzw. zumindest das Vorhandensein von Sperrschichten oder Sperrlinsen. Durch eine Reihe von Meßsonden in der Baugrube, die daraufhin installiert wurden, konnte diese



Abb. 5: Gespanntes Grundwasser am Brunnen 3.

Tatsache bestätigt werden. Diese Grundwassermesspegel in der Baugrube wurden gezielt versetzt, um mehrere Fragen zu beantworten; und zwar Fragen der Geometrie der Absenkrichter, Erfassung der arthesischen Phänomene, Lokalisierung der Absenkscheitel zwischen den Brunnen, und Messung der Grundwasserabsenkung i. a. in der Baugrubenmitte.

Um die sehr schleppend vor sich gehende Absenkung etwas zu beschleunigen, wurde zusätzlich zu den Brunnen eine offene Wasserhaltung mittels mehrerer Bibo-Pumpen in einem offenen Pumpensumpf betrieben. Ohne dieser begleitenden, ausreichend dimensionierten offenen Wasserhaltung wäre vermutlich die erreichte Absenkungsrate kaum erzielt worden. Die Entnahmemenge betrug im Mittel 350 bis 400 l/s und schwankte in Abhängigkeit von baubetrieblichen Einflüssen z. T. sehr stark. Diese Art der Wasserhaltung wurde etwa bis zu einer Aushubkote von 448 m ü. A. mitgezogen und bewirkte im wesentlichen ein „Abschöpfen“ des freien oberflächlichen Baugrubenwassers. Ab der Kote 448 wurde auf die offene Wasserhaltung verzichtet, um einen eventuellen Entzug von Feinteilen aus dem ab dieser Tiefe sehr sensiblen Baugrund [Mittel- bis Feinsand] und somit einen möglichen Grundbruch zu vermeiden [vgl. auch Auftriebserscheinungen während der Erkundungsbohrungen].

Insgesamt lag die Vermutung nahe, daß insbesondere mit den tiefreichenden Brunnen des Innenringes ein tieferliegendes Grundwasserstockwerk angezapft wird, das mit dem Baugrubenwasser nicht oder nur unwesentlich korrespondiert. Eine hydrochemische Untersuchung der verschiedenen Wässer erbrachte die Gewißheit, daß tatsächlich zwei verschiedene Grundwasserstockwerke vorlagen, und zwar ein höher mineralisiertes, mit dem Inn korrespondierendes oberes Stockwerk, und ein schwach mineralisiertes tieferes Stockwerk, das vermutlich aus dem verkarsteten Karbonatkomplex des Kaisergebirges gespeist wird.

Dieser Tatsache wurde schließlich Rechnung getragen, indem die noch notwendigen Brunnen in der Baugrubenmitte den geologischen und hydrogeologischen Gegebenheiten durch eine gezielte lage- und tiefenmäßige Situierung angepaßt wurden.

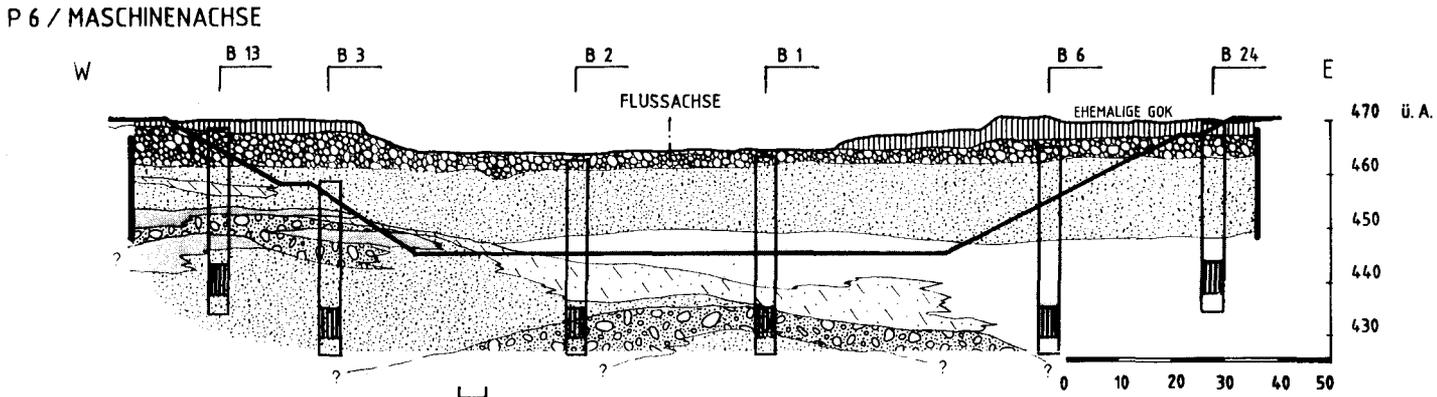
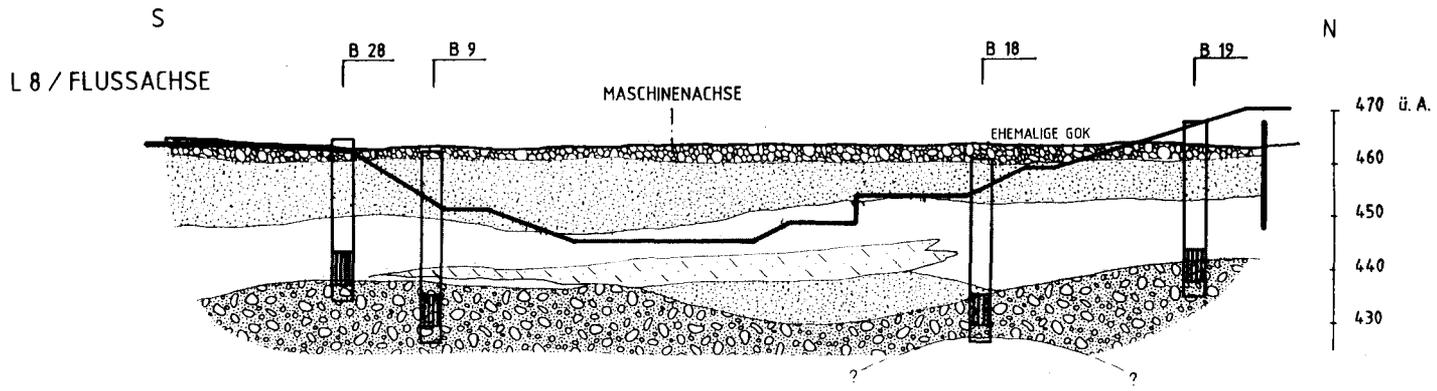
Um aufgrund der sehr mäßigen Absenkleistung alle möglichen Ursachen hierfür zu erfassen und zu lokalisieren, wurden am rechten Ufer quer über die Schmalwand hinweg zwei sogenannte Pegelharfen errichtet. Sie sollten die Wirksamkeit der Schmalwand überprüfen. Immerhin bestanden hier aufgrund der Bodenaufschlüsse Zweifel bezüglich der Einbindung der Schmalwand in den „relativen Stauer“. Die Pegelmessungen zeigten allerdings lange Zeit eine doch deutliche Abschirmungswirkung der Dichtwand gegen das umgebende Grundwasser [abgesehen von einer geringfügigen, aber zu erwartenden Absenkung außerhalb der Baugrube].

Gegen die Annahme eines vermehrten Wasserzutrittes vom rechten Ufer sprach aber auch recht bald eine sehr deutliche Diskrepanz in den Absenkleistungen der rechts- und linksufrig situierten Brunnen. Die Absenkleistung der linksufrigen äußeren Brunnenreihe war gegenüber der entsprechenden rechtsufrigen Reihe bei gleicher Pumpleistung durchwegs um 2 bis 3 m geringer. Die linksufrigen Brunnen hatten also einen deutlich höheren Wasserzutritt zu bewältigen, was erst durch die Zwischenschaltung zusätzlich abgebohrter Brunnen ausgeglichen werden konnte. Auch der deutlich kompliziertere geologische Aufbau der linken Baugrubenseite [häufiges Einspießen von kiesreichen Lagen in verschiedenen Tiefen, häufiger Schichtwechsel], der durch die zahlreichen zusätzlichen Aufschlüsse immer deutlicher wurde, zeigte auf, daß die erhöhten Wasserzutritte hauptsächlich von der orographisch linken Seite der Baugrube anzunehmen waren.

Die Abbildung 6 [geologischer Längs- und Querschnitt in der Baugrubenmitte] soll die Situierung der einzelnen Brunnen in bezug zum geologischen Aufbau des Untergrundes anhand einer generalisierten Darstellung verdeutlichen. Die Lage der Schnitte in der Baugrube kann dem Lageplan (Abb. 4) auf Seite 43 entnommen werden. Die hier beschriebenen Verhältnisse werden auch aus den Abbildungen 7 und 8 deutlich [kulissenartige Darstellung des Bodenaufbaues in der Baugrube] (Abb. 6).

Ab einer Gesamtentnahmemenge von mehr als 2000 l/s aus der Baugrube war eine deutliche Grundwasserabsenkung auch außerhalb der Baugrube in einem Umkreis von 1 bis 1,5 km zu beobachten [Trockenlegung von mehreren Brunnen und Wärmepumpen auf österreichischem und bayerischem Gebiet]. Bei einer Entnahme von zirka 2400 l/s zeigte sich schließlich in den Absenkkurven, die bisher sehr flach verliefen, ein deutlicher Knick mit einer Versteilung, also einer Beschleunigung der Absenkung. Das Absenkziel konnte dann auch bald, und zwar Ende Oktober 1989 mit einer Grundwasserkote von zirka 443-444 m ü. A. erreicht werden.

Diese doch plötzliche Änderung der Absenkungstendenz könnte insofern erklärt werden, als daß durch die permanent sehr hohe Entnahmemenge in den Baugrubenbrunnen im weiteren Umkreis um die Baugrube eine deutliche Absenkung des Grundwasserspiegels in der obersten Grobkieszone stattfand. Somit fand sozusagen eine Entleerung des oberen Grundwasserstockwerkes, das eine sehr gute Wasserwegigkeit aufweist [keine markanten Unterschiede zwischen horizontaler und vertikaler Durchlässigkeit] statt. Das Grundwasser, das jetzt unter der Schmalwand bzw. im tieferen Baugrubenbereich zuströmen will, muß nun höhere  $k$ -Werte, vor allem in vertikaler Richtung [ $K_h:K_v=10:1$  oder sogar mehr] überwinden, während das Reservoir in der Grobkieszone deutlich vermindert wurde. Man könnte vielleicht sagen, der „Großbrunnen Baugrube“ hat mit der jetzigen



 FILTERSTRECKEN

0 10 20 30 40 50  
GEOLOGISCHER AUFBAU DER BAUGRUBE  
UND DES UNTERGRUNDES

Abb. 6: Schematischer Längs- und Querschnitt in Baugrubenmitte mit Verteilung der Brunnen.

## LEGENDE ZU DEN PROFILEN UND SCHNITTEN

	ANSCHÜTTUNG UND AUSANDE
	GROBKIESZONE
	STARK SANDIGE GROB-FEINKIESE
	GROBSANDIGE MITTEL-FEINKIESE, SEHR HETEROGEN
	±HOMOGENE FEINKIESIGE GROB-FEINSANDE
	SCHLUFFIGE FEINSANDE IN LAGEN UND LINSEN

Entnahmемenge seine Leistungsgrenze erreicht und kann nun auch in einem stationären Pumpzustand eine Absenkung bewirken.

Zum Erreichen des Absenkzieles war eine konstante Grundwasserentnahme von 2,43 m<sup>3</sup>/s notwendig. Diese Pumpmenge wurde mit 23 Doppelbrunnen und 41 Einzelbrunnen, also insgesamt 87 Pumpen erzielt.

#### 4. Geologische Erkenntnisse

##### 4.1. Geologische Erkenntnisse während der Brunnenherstellung für die Grundwasserabsenkung

Während der baubetreuenden Tätigkeit mußten die Verfasser grundsätzlich einmal von dem auf den Erkundungsbohrungen aufbauenden Baugrundmodell ausgehen. Dieses Modell beinhaltete eine ± klare Einteilung in verschiedene sedimentologische Einheiten, denen entsprechende k-Wert-Zonen zugeteilt wurden. Der Großteil der Erkundungsbohrungen erfaßte den Bereich über der Baugrubensohle, während über die Verhältnisse unterhalb der Baugrubensohle, die ja im Hinblick auf Fragen bezüglich der Wasserhaltung von entscheidener Bedeutung sind, nur sehr lückenhafte Kenntnisse insbesondere über die dort vorherrschenden hydrogeologischen Gegebenheiten vorlagen. Die beiden im Baugrubenbereich durchgeführten Pumpversuche erfaßten nur den Bereich der obersten 20 m, während es über den Bereich darunter keine Angaben über die Verteilung der Durchlässigkeiten gab.

Aufbauend auf diesem bisherigen Kenntnisstand über den Baugrundaufbau kamen mit Beginn der Bauarbeiten kontinuierlich neue Informationen vorerst in Form von Brunnenbohrungen hinzu. Diese neuen Daten erlaubten durch die stetige Einarbeitung in das bestehende Modell eine laufende Verfeinerung der Kenntnisse über den Untergrundaufbau, nunmehr auch in größeren Tiefen unter der Baugrubensohle. Es muß hier allerdings angemerkt werden, daß aufgrund der Qualität der Brunnenbohrtechnik [Vakuumkiesbuchse, d. h. während des Bohrens ± intensive Durchmischung des jeweiligen Bodens] keine wie immer gearteten sedimentologischen Details [z. B. dünne Schluffbänder, linsige Verzäh-

nungen, Schrägschichtungen, Wechsellagerungen u. ä.] feststellbar waren, sondern nur eine grundsätzliche Zuordnung des durchmischten Materials zu bestimmten sedimentologischen Einheiten möglich war. Immerhin konnten aber auch schon mit diesen Aufschlußmethoden wichtige Rückschlüsse auf die geologischen Verhältnisse unterhalb der Baugrubensohle gezogen werden.

Schon bald erbrachte die ständige Ergänzung der Schnitte und Profile und die Anlage neuer Detailschnitte folgendes neue Bild über den tieferen Baugrund:

- Der sogenannte relative Stauer [Zone mit  $k$ -Werten in der Größenordnung von  $10^{-4}$  m/s] zeigt, wie erwartet, keinen durchgehenden Verlauf, sondern wird wiederholt von kiesigen Linsen durchspießt, wobei bemerkt werden muß, daß auch diese in größeren Tiefen auftretenden Kiese großteils nur kantengerundete Komponenten aufweisen.
- Die noch viel wichtigere Erkenntnis bestand aber darin, daß durch die Detailprofile, allerdings nur annähernd, die Oberkante einer stark kiesigen Sedimentabfolge unterhalb des relativen Stauers festgestellt werden konnte, die unterhalb der Baugrube sozusagen eine Aufwölbung erfährt. Einige Brunnenprofile zeigen ein Auftauchen dieser Kiese bis rund Kote 450, während im Umschließungsbereich solche Sedimente nicht oder nur in geringer Mächtigkeit erbohrt wurden.

Strukturell gesehen läßt sich aufgrund der vorliegenden Informationen feststellen, daß dieser „Kiesrücken“ [teils verzahnende Kieslinsen und -körper] in etwa aus dem oberwasserseitigen linken Baugrubenbereich in die Baugrubenmitte ansteigt und in Richtung Unterwasser rechts wieder abtaucht, bzw. auskeilt. Unter Umständen deutet sich also auch in tieferen Bodenschichten eine Art von Erosionsrinnen des ehemals alternierenden Innflusses an, wobei allerdings auch der Einfluß des seitlich von rechts einbringenden Jennbaches nicht unterschätzt werden darf, was sich im relativ schlechten Rundungsgrad der Komponenten auch andeutet.

Nach Abschluß aller Brunnenbohrungen und Vervollständigung sämtlicher detaillierter Baugrubenschnitte und -profile mit allen verfügbaren geologischen Informationen blieben folgende, geologisch relevanten Tatsachen bestehen:

- Der Bereich der orographisch linken Baugrubenseite bis zirka zur Baugrubenmitte ist wesentlich komplizierter aufgebaut [häufige Schichtwechsel und Verzahnungen verschiedener Sedimenttypen, wiederholtes Einspießen von grobkiesigen Körpern wechselnder Mächtigkeit] als die rechte Baugrubenhälfte.
- Das Vorhandensein des erwähnten „Kiesrückens“, der von Oberwasser links auf- und nach Unterwasser rechts abtaucht, bestätigte sich im wesentlichen in der Form, als daß der „Rücken“ zwar nicht als kompakter einheitlicher Körper vorliegt, aber doch eine Reihe von verschiedenen mächtigen Mittel- bis Grobkieslinsen in Summe eine solche Kuppelstruktur bilden. Diese Verhältnisse sind in detaillierten, kulissenartig angelegten Baugrubenquerschnitten und -längsprofilen anschaulich dargestellt [siehe Abb. 7 und 8].

#### 4.2. Geologische Erkenntnisse während des Aushubes der Baugrube

Die Aushubtätigkeit beschränkte sich lange Zeit aufgrund der ungenügenden Grundwasserabsenkung auf die obersten Bereiche der Ausande und die Grobkieszone. Während dieser Aushubphase kamen keine wesentlichen neuen Erkenntnisse bezüglich des detaillierten Untergrundaufbaues hinzu (Abb. 9).

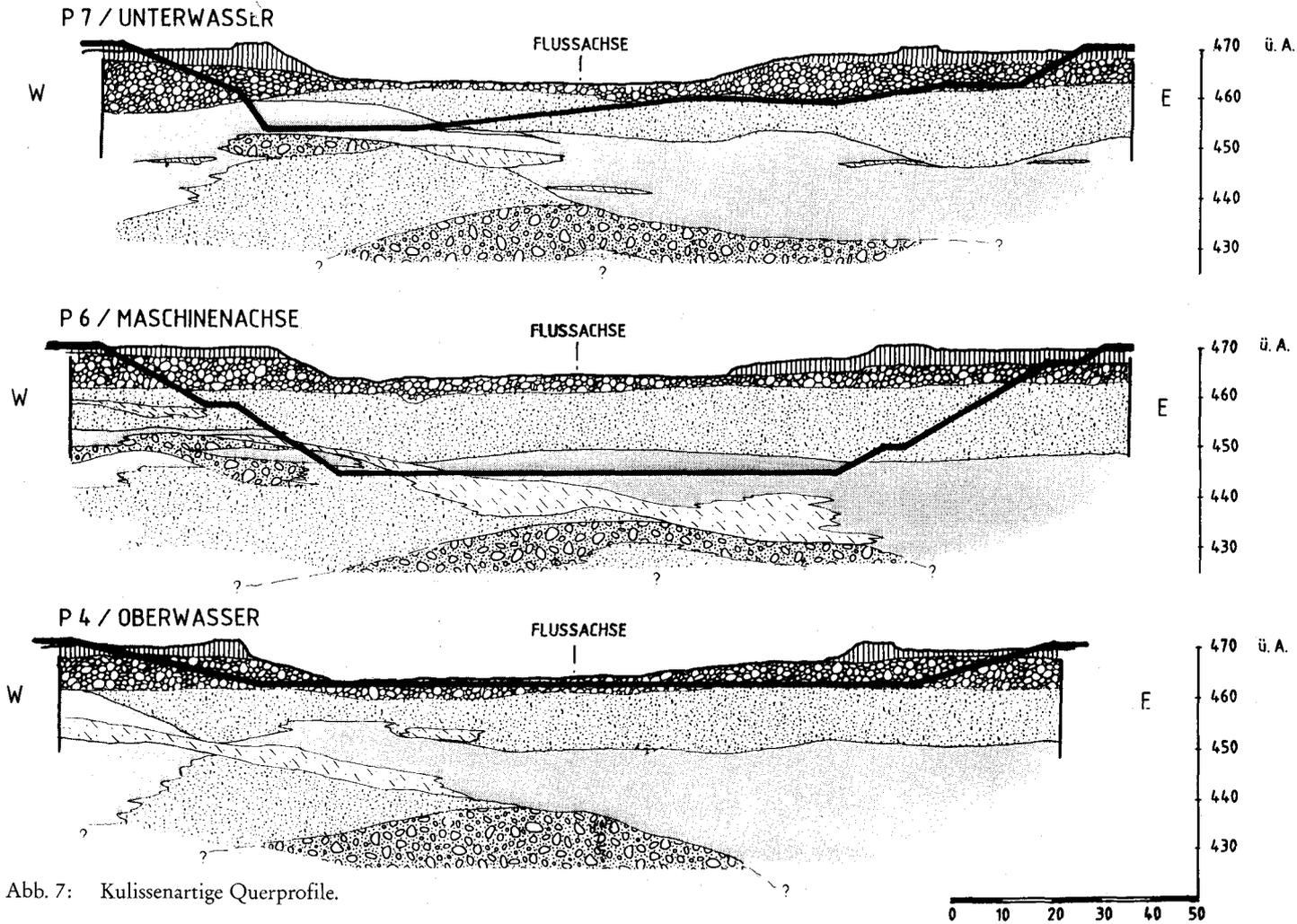


Abb. 7: Kulissenartige Querprofile.

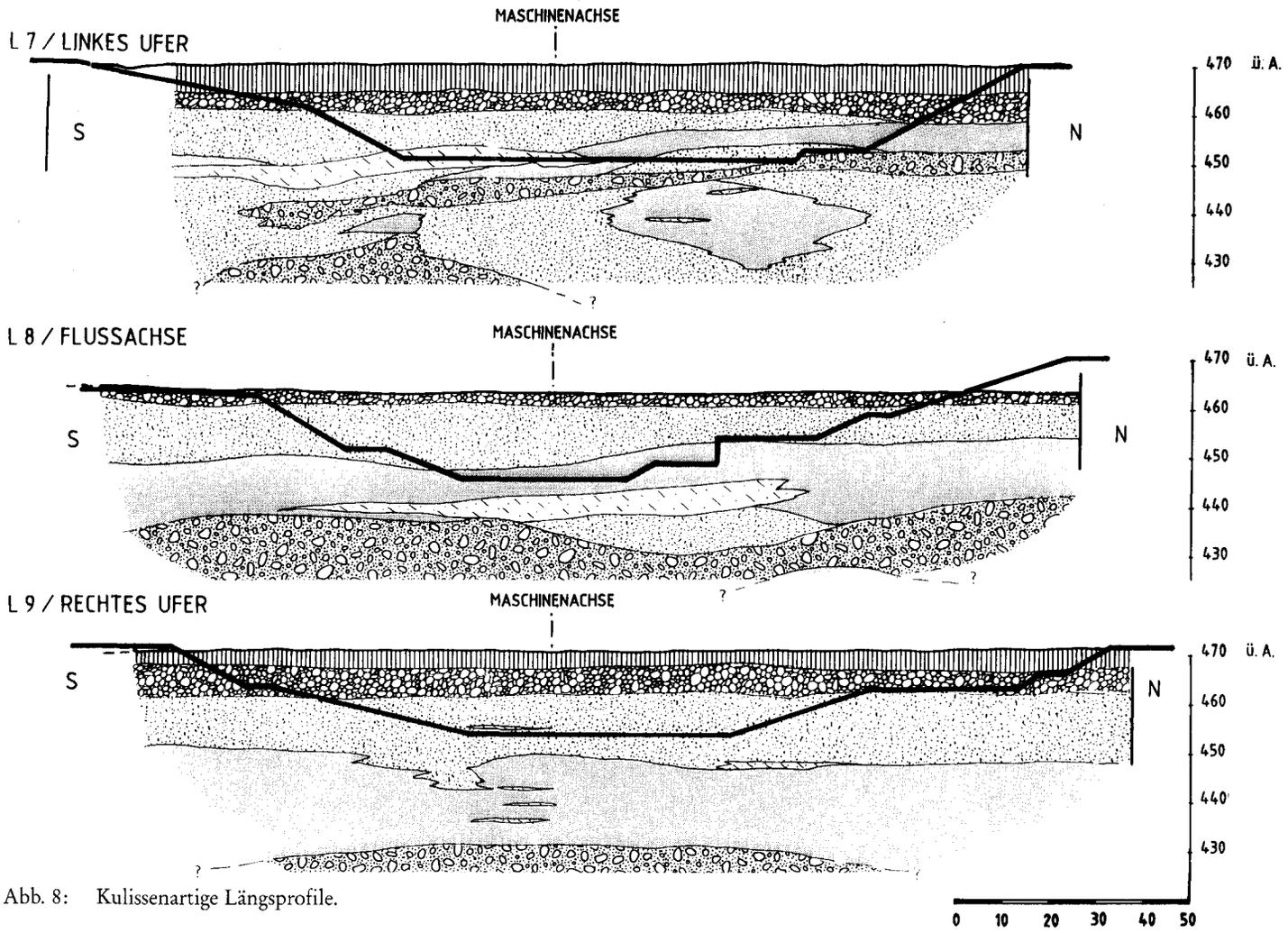


Abb. 8: Kulissenartige Längsprofile.

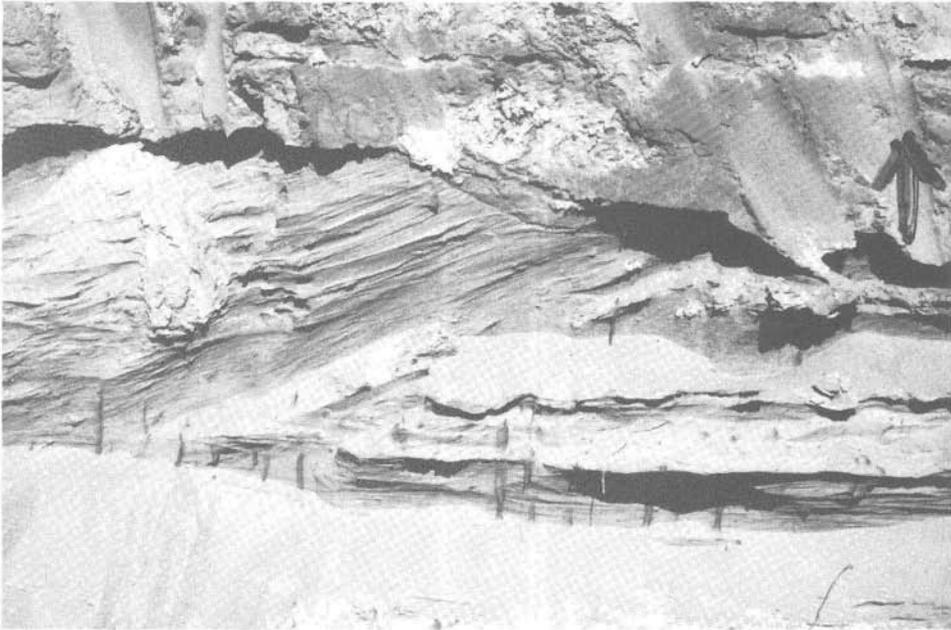


Abb. 9: Ausande mit deutlichen Sedimentstrukturen.

In den Grobkiesaufschlüssen waren deutliche horizontale Lagerungsverhältnisse erkennbar, die zumeist durch eine Einregelung der großteils leicht bis seltener stark abgeflachten Kieskomponenten und seltener durch Einschaltungen von dünnen Sandbändern verdeutlicht wurden. Die Kieskomponenten sind meistens gut bis vollkommen gerundet und weisen ein sehr breites Spektrum vom zentralalpiner Kristallin bis hin zu jungen kalkalpinen Geröllen auf. Entgegen den Erkenntnissen aus den Aufschlußbohrungen erwies sich der Bereich der Grobkiese als ziemlich sandreich. Auch schon in dieser recht seichten Position waren wiederholt dünne Lagen von konkretionär gebundenen Konglomeraten zu beobachten (Abb. 10).

Der fortschreitende Aushub zeigte im allgemeinen vom Hangenden ins Liegende zuerst eine grobkiesig, steinige  $\pm$  sandige Abfolge, deren Unterkante um Kote 460 pendelte. Der weitere Aushub erbrachte dann die stark sandige, feinkiesig durchsetzte Sedimentabfolge. Diese Zone zeigte einen z. T. ausgeprägten heterogenen Aufbau, der in den Aufschlußbohrungen nicht entsprechend, vor allem betreffend Sedimentstrukturen, festgestellt werden konnte. So konnten in den, vor allem im Hangenden dieser Zone auftretenden Mittel- bis Feinkieslinsen [Mächtigkeit 10 bis 40 cm] deutliche Schrägschichtungen mit Einfallswinkeln bis zu  $40^\circ$  [!] beobachtet werden. Desgleichen traten in verschiedenen Tiefen wiederholt konkretionär gebundene Kies- und Sande auf (Abb. 11).

Wichtig hervorzuheben ist, daß die Kieskomponenten im allgemeinen einen schlechten Rundungsgrad aufweisen. Diese Abfolge erreicht praktisch über die gesamte Baugrube eine Mächtigkeit von 12 bis 14 m.

Die Ergebnisse der Aufschlußbohrungen erbrachten in diesem Sedimentkomplex eine Unterscheidung in mittelkiesige und mehr feinkiesige Einheiten, die durch die Durchmi-



Abb. 10: Horizontale Schichtung in der Grobkieszone.



Abb. 11: Konkretionär gebundene Kieslagen, die in wechselnden Tiefen auftreten.

schung des Materials aufgrund der mangelhaften bohrtechnischen Möglichkeiten zustande kam. Im Aufschluß zeigte sich dann allerdings, daß diese wechselnd kiesigen Sande im wesentlichen zu einem einzigen Schichtglied zusammenfaßbar sind. Es handelt sich um rasche Grob- bis Mittelsande, die in sich  $\pm$  homogen sind. In diese homogenen Sande sind nun in wechselnder Häufigkeit und Mächtigkeit Kieslinsen und -körper eingelagert, die in entscheidender Art und Weise das hydrogeologische Verhalten des Gesamtkomplexes bestimmen. Diese Kieslinsen sind meist sandarm bis praktisch sandfrei und stellen häufig sogenannte „open framework“-Kiese, also Kiese mit offenen Sedimentstrukturen [„grain supported gravels“] dar. Sie zeigen zumeist, wie schon erwähnt, deutliche Sedimentationsstrukturen [Schrägschichtungen, Gradierung] und der Rundungsgrad der Komponenten ist sehr schlecht (Abb. 12).

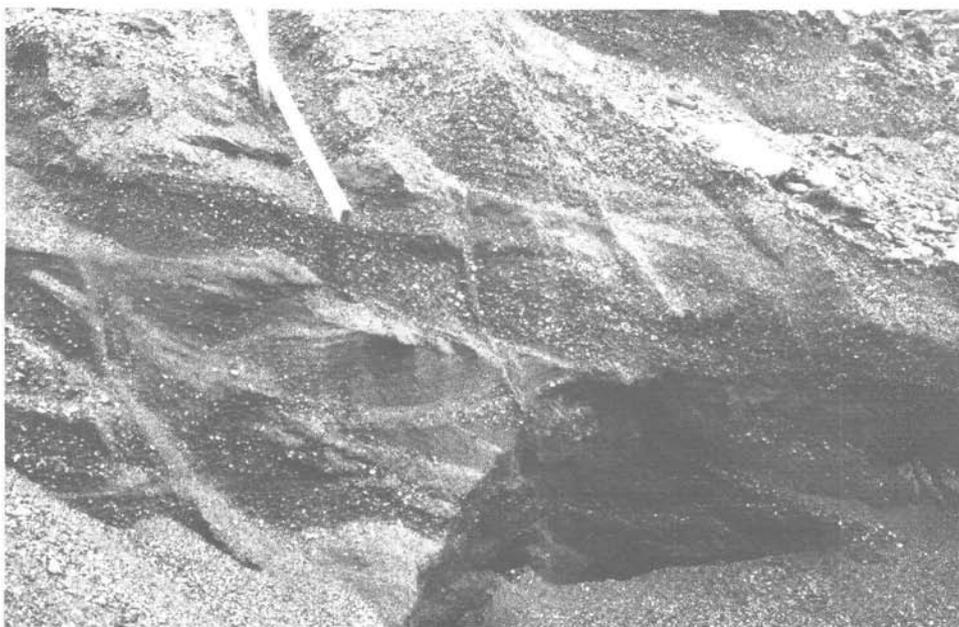


Abb. 12: Sedimentstrukturen im Liegenden der jüngeren Talauffüllung.

Während in den eingelagerten Kieslinsen zumeist reine Schrägschichtungsstrukturen vorherrschen, sind in den Sanden Kreuz- und Schrägschichtungen, gekappte Schichtungen, zwiebelschalenartige und fächerförmige Lagerungsverhältnisse, also die Ergebnisse sehr komplexer Sedimentationsvorgänge zu beobachten.

Trotz aller dieser Details des komplizierten Bodenaufbaues ist dennoch insgesamt eine generelle Aussage über die Lagerungsverhältnisse möglich. Die Verteilung der schrägschichteten Kieskörper sowie einige dünne Feinsand- bzw. Schluffbänder deuten auf ein sehr flaches Einfallen der Schichtung in Richtung Unterwasser rechtes Ufer [ca. NE] hin.

Ab einer Kote von etwa 448-446 m ü. A. nahm die Häufigkeit der kiesigen Einschaltungen deutlich ab. Es wurden tatsächlich  $\pm$  homogene Sande, und zwar weniger rasche Mittel- bis Feinsande ausgehoben, die örtlich diffus leicht feinkiesig verunreinigt sind.

Auch in diesem Abschnitt wurden wiederholt durch Schluffbänder größerer Erstreckung die eben erst erwähnten Lagerungsverhältnisse [flaches Einfallen in Richtung NE] angedeutet.

Diese Sedimente [leicht feinkiesige Mittel- bis Feinsande mit Schluffeinlagerungen in Form von dünnen Bändern] bauten schließlich auch die tiefste Baugrubensohle, also die Gründungssohle auf (Abb. 13).

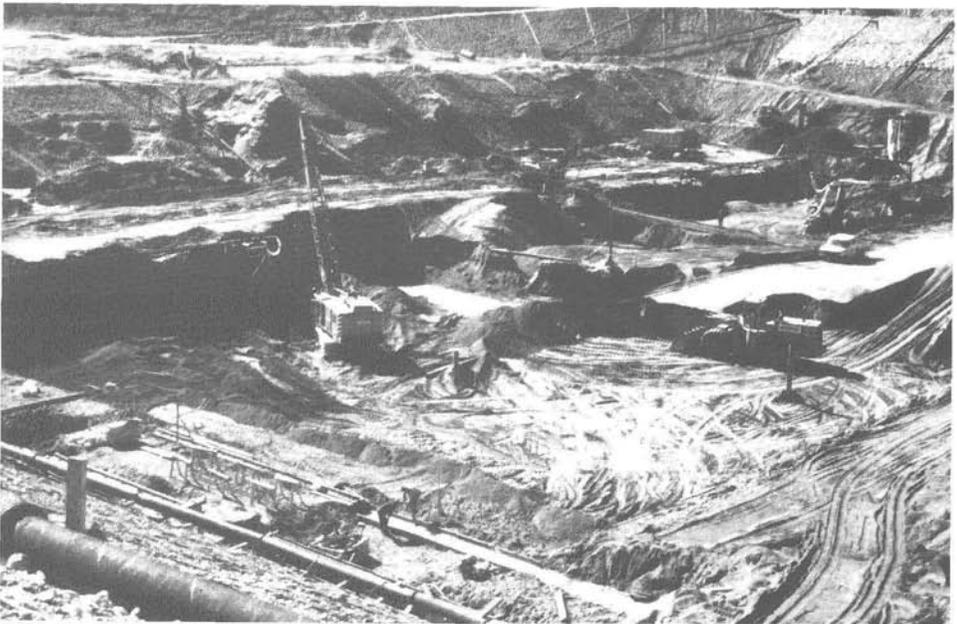


Abb. 13: Übersicht über die Baugrube bei Erreichen der tiefsten Aushubsohle.

## 5. Schlußfolgerung

Wie immer ist im Zuge einer baubetreuenden Tätigkeit und Dokumentation für den mit dieser Aufgabe Betrauten von entscheidendem Interesse, während des Baufortschrittes die Vorstellungen und Modelle der Prognose mit den tatsächlich angetroffenen Verhältnissen vergleichen zu können.

In diesem Fall war ein geologisches Baugrundmodell vorgegeben, das aufgrund einer Reihe von Aufschlußbohrungen sowie bodenmechanischen und hydrogeologischen Untersuchungen entwickelt wurde.

Dieses Modell zeigte eine  $\pm$  klar gegliederte „Sandwichbauweise“ des Baugrundes in verschiedene Zonen, denen entsprechende Durchlässigkeitswerte zugeordnet wurden. Die angeschätzten  $k$ -Werte wurden unter Zugrundelegung der Pumpversuche in situ, der Laborversuche und aus den Kornverteilungen von Proben der Kernbohrungen bestimmt. Wie erwähnt, beziehen sich die so ermittelten  $k$ -Werte ausschließlich auf die obersten 20 m der Baugrube. Bei der Festlegung der  $k$ -Wert-Zonen wurden auch Gegebenheiten wie Lagerungsdichte, Vorkonsolidierung, Überlagerungshöhe und Kenntnisse über die Sedimentationsbedingungen in die Überlegungen miteinbezogen. Über Details sedimentärer Struk-

turen lagen zu diesem Zeitpunkt nur sehr wenige Angaben vor. Nur im Falle von ausgesprochen bindigen Sedimenten, die aber nur sehr geringe Mächtigkeiten erreichen, blieben solche Details erhalten.

Im Zuge des Aushubes konnten laufend neue Erkenntnisse über sedimentäre Internstrukturen gewonnen werden. Zwei Punkte waren dabei von entscheidender Bedeutung:

1. Äußerst heterogener Aufbau von bisher als homogen betrachteten Sedimentzonen.
2. Auftreten von stark kiesigen Schichten in tieferen Bereichen unter der Baugrube.

ad 1. Es handelt sich dabei um die zwischen Kote 460-448 anstehenden kiesigen reschen Grobsande. Hier sind die Sande von zahlreichen, deutlich abgegrenzten Kieslinsen durchsetzt. Diese Linsen liegen oft in Form von „open framework“ — Kiesen vor, die aufgrund ihrer offenen Sedimentstrukturen eine ausgezeichnete Drainagewirkung besitzen.

Durch ihre zum Teil enge Verteilung und die örtlich geringe Dicke der Sandbrücken dazwischen können sie auch als „Drainageleitern“ fungieren, also dem durch die Absenkkräftigkeit gespannten Grundwasser eine gute Aufstiegsmöglichkeit bieten. Durch das Auftreten dieser Linsen wird natürlich der Gesamt-k-Wert der ganzen Zone beträchtlich vergrößert (Abb. 14).

- ad 2. Durch die Fülle an neuen Informationen über die Beschaffenheit des Baugrundes unter der Baugrubensohle in Form von Brunnenbohrungen wurde deutlich, daß in diesen Tiefen wiederum zum Teil stark kiesige Sedimente anstehen. Das Anbohren dieser Schichten durch die Brunnen des inneren Brunnenringes und das anschließende Überlaufen machte deutlich, daß das Grundwasser in dieser Tiefe in gespanntem Zustand vorliegt. Eine hydrochemische Analyse dieses Wassers machte außerdem klar, daß es sich dabei um ein vom hangenden Grundwasser des Inns als getrennt zu betrachtendes, tieferes Grundwasserstockwerk handelt.



Abb. 14: Durch erosive Ausschwemmung verdeutlichte Sedimentstrukturen.

Insgesamt erbrachte der Vergleich Prognose — tatsächliche Verhältnisse aus sedimentologischer Sicht folgendes Bild:

Im wesentlichen konnte der zonare Sandwichbau, wie er im geologischen Modell der Prognose vorgestellt wurde, bestätigt werden. Allerdings kamen einige wesentliche sedimentologische und strukturelle Details hinzu, die erst in flächigen, dreidimensionalen Aufschlüssen sichtbar wurden. Daneben wurde durch zusätzliche Tiefenaufschlüsse der Kenntnisstand über die Verhältnisse unter der Baugrubensohle erweitert [Vorhandensein von kiesigen, höher durchlässigen Schichten und deren räumliche Verteilung].

Die erwähnten, sedimentären und strukturellen Details bewirkten wesentlich komplexere hydrogeologische Verhältnisse als erwartet. Artesische Phänomene an unbepumpten Brunnen und hydrochemische Untersuchungen der Brunnenwässer zeigten auf, daß zwei getrennte Grundwasserstockwerke vorlagen, wobei tiefreichende Brunnen das tiefere Stockwerk teilweise anzapften. Die zahlreichen, in der Grobsandzone verteilten Drainagekieslinen in Form von „open framework“-Kiesen bewirkten eine viel höhere Migrationsfähigkeit allgemein und auch Aufstiegsmöglichkeit für Tiefenwässer als erwartet und insgesamt eine deutliche Erhöhung der Gesamtdurchlässigkeit der einzelnen Zonen (Abb. 15).

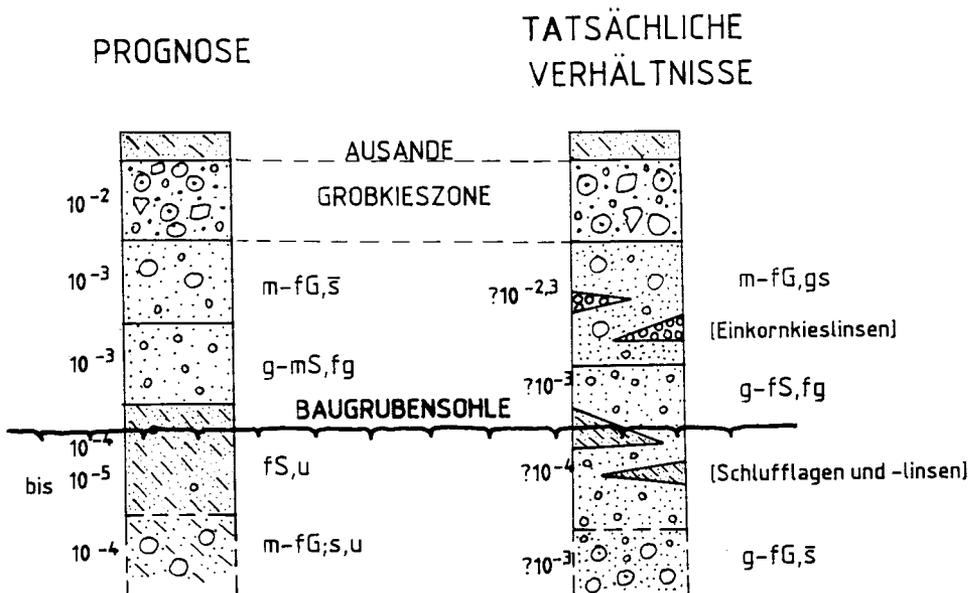


Abb. 15: Schematischer Vergleich Prognose — tatsächliche Verhältnisse.

Diese nicht zu erwartenden und durch die Aufschlußbohrungen auch nicht erkennbaren hydrogeologisch-strukturellen Details und die damit verbundenen Schwierigkeiten konnten erst in intensiver Zusammenarbeit aller Beteiligten bewältigt werden und führten dazu, daß das Absenkziel erst mit einer wesentlich höheren Entnahmemenge, als ursprünglich angenommen, erreicht wurde.