

# Der Wangentalkanal - Projekt und Ausführung des Hauptstranges der neuen Abwasserkanäle der Stadt Bern in Bümpliz

Autor(en): **Grossen, Heinrich / Müller, Werner**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **96 (1978)**

Heft 36: **SIA-Heft, 4/1978: Grosskalibrige Abwasserkanalbauten der Stadt Bern**

PDF erstellt am: **26.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-73739>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Nun ist aber ein Kanalnetz kein Bauwerk, das sich einfach «vergrössern» lässt, wie dies – zum mindesten baulich – bei einem Strassennetz möglich ist. Kanäle sind unterirdische Anlagen und auf sehr lange Sicht und gerade deshalb mit grosser Vorsicht und Voraussicht zu planen und auszuführen, d. h. es muss eine gewisse Reservekapazität vorgesehen werden.

Sicher dachte noch vor wenigen Jahrzehnten niemand an Abwasserkanäle, die beinahe die Grösse eines Eisenbahntunnels haben und doch wurden solche notwendig, wie das nachfolgend erläuterte Beispiel zeigt.

Da es nicht angeht, aus einem bestehenden zusammenhängenden Kanalnetz einzelne Stränge für sich zu untersuchen, drängte sich eine gründliche Untersuchung des gesamten Netzes auf, um Überlastungen, Flaschenhälse und mögliche Reservekapazitäten zu finden und damit die entsprechenden Sanierungen zu berechnen, zu projektieren und schliesslich zu realisieren. Eine Nachrechnung des Kanalnetzes hat auf Neuplanungen für Verkehrswege, die Erweiterung der Baugebiete sowie auf den Anschluss noch nicht kanalisierter Wohngebiete und auf Nachbargemeinden Rücksicht zu nehmen.

Im Blick auf die rechtzeitige Bereitstellung und die möglichst wirkungsvolle Verwendung der nötigen massiven Geldmittel, bedarf es zudem eines Prioritätenplanes für die in den kommenden Jahrzehnten auszuführenden Sanierungsmassnahmen. In die Überprüfung sind auch die sich aufdrängenden

Belange der zum System gehörenden Abwasserreinigungsanlage(n) mit einzubeziehen. Aus Kostengründen musste die Gesamtbauteilzeit von 25 Jahren eingesetzt werden.

Glücklicherweise bot sich zum Zeitpunkt der Entschlussfassung – 1970 – eine moderne Methode für eine solche Untersuchung an, die imstande war, mittels elektronischer Datenverarbeitung (Ganglinien-Volumen-Methode) innert sehr kurzer Frist und mit vertretbarem Aufwand zum gewünschten Ziele zu führen. Aufgrund einschlägiger Referenzen gab deshalb die Stadt Bern im Jahre 1971 den Ingenieurbüros Emch & Berger AG, Bern, und Dorsch AG, München, den Auftrag für eine «Gesamtkonzeption Abwasseranlagen Bern und angeschlossene Gemeinden». Gleichzeitig wurden ortsansässige Ingenieurbüros mit der Trassierung neuer Sammelkanäle im Raume Bümpliz beauftragt.

Dank der intensiven Zusammenarbeit zwischen Dorsch und dem Tiefbauamt Bern und den beteiligten Ingenieuren gelang es in nur drei Jahren, die Aufgabe soweit abzuschliessen, dass mit der Detailprojektierung und Ausführung von Elementen des Gesamtsanierungsplanes begonnen werden konnte. Eines dieser Elemente ist der Wangentalkanal, dessen Projektierung und Ausführung nachfolgend durch die damit beauftragte Ingenieur-Unternehmung beschrieben wird.

Bernhard Schaer, dipl. Ing. ETH, Stadtingenieur Bern

## Der Wangentalkanal – Projekt und Ausführung des Hauptstranges der neuen Abwasserkanäle der Stadt Bern in Bümpliz

Von Heinrich Grossen und Werner Müller, Bern

### Projekt

#### Einleitung

Im Zusammenhang mit dem Zusammenschluss der Gemeinden Bümpliz und Bern setzte in der Agglomeration Bümpliz–Bethlehem eine rege Bautätigkeit ein. Es entstanden u. a. folgende Grossüberbauungen mit je mehreren 1000 Einwohnern: Tscharnergut, Gäbelbach, Bethlehemacker, Klee-feld und Fellergut. Geplant waren weitere Siedlungen dieser Art, die jedoch noch nicht zur Ausführung kamen.

Für die Sanierung des nach Bern entwässernden alten Kanalisationsnetzes, dessen Unzulänglichkeit *lokale Überschwemmungen bei Platzregen* anzeigten, mussten von den Stadtbehörden wichtige Entscheide getroffen werden.

Im Jahre 1971 beschloss der Gemeinderat im Auftrag des Stadtrates die Erarbeitung eines Gesamtkonzeptes für Sanierung und Ausbau der Abwasseranlagen der Stadt Bern und der angeschlossenen Gemeinden. Die Untersuchung zeigte, dass:

- der Ausbau der im Jahre 1968 in Betrieb genommenen Abwasserreinigungsanlage Neubrück (ARA I) forciert werden soll (Ende 1976 waren etwa 270000 Einwohnergleichwerte aus Bern und den Vorortgemeinden angeschlossen).
- das Meteorwasser von Bümpliz nicht mehr durch das alte überlastete Kanalisationsnetz abfliessen, sondern durch neu zu erstellende Kanäle direkt in den Vorfluter Aare abgeleitet werden soll. In einer späteren Ausbauphase wäre für die Agglomeration Bümpliz–Bethlehem und die künftigen Baugebiete in Bern-West und Frauenkappelen–Riedern eine eigene Kläranlage im Raume Eymatt (ARA II) zu erstellen.
- als natürliche Trennungslinie zwischen den Einzugsgebieten der ARA I und ARA II die Wasserscheide zwischen Brem-

gartenwald und Könizbergwald längs dem Autobahnviadukt Weyermannshaus bestimmt wurde.

Aus der genannten Untersuchung «Gesamtkonzeption Abwasseranlagen der Stadt Bern und angeschlossene Gemeinden» ging neben einer Vielzahl von lokalen Sanierungen, ein Gerippe von neu zu erstellenden Kanälen hervor. Ein Teil dieses Gerippes bildet der Wangentalkanal über dessen Projektierung und Ausführung hier berichtet wird.

#### Vorstudien

Im Wangental war das Trasse des Sammelkanals durch Projekte der Gemeinde Köniz festgelegt. Vertraglich hatte sich die Stadt Bern verpflichtet, das Könizer Abwasser in der Rehhagstrasse zu übernehmen. Es galt die Weiterführung des Kanals durch die in voller Entwicklung begriffenen Einzugsgebiete Bümpliz–Bethlehem durch Variantenstudien unter folgenden Bedingungen zu optimieren:

- Doppelfunktion des Kanals: In der ersten Phase als reine Regentlastung, später als Hauptsammelleitung für Mischwasser zur Kläranlage ARA II;
- Entlastung in den Wohlensee unter Weglassung der für die Aufnahme des Überlaufwassers zu kleinen Gewässer Stadtbach und Gäbelbach;
- Berücksichtigung möglicher Anschlüsse aus künftigen Bauzonen.

Unter Einbezug aller Randbedingungen, wie Topographie, Bodenbeschaffenheit, Grundwasser, der Anschlussmöglichkeiten an das bestehende Netz, der Werkleitungen und der bestehenden sowie der geplanten Überbauungen ergab sich aus den untersuchten Varianten als wirtschaftlichste und zweckmässigste Lösung das zur Ausführung vorgeschlagene Kanaltrasse (Bild 1).

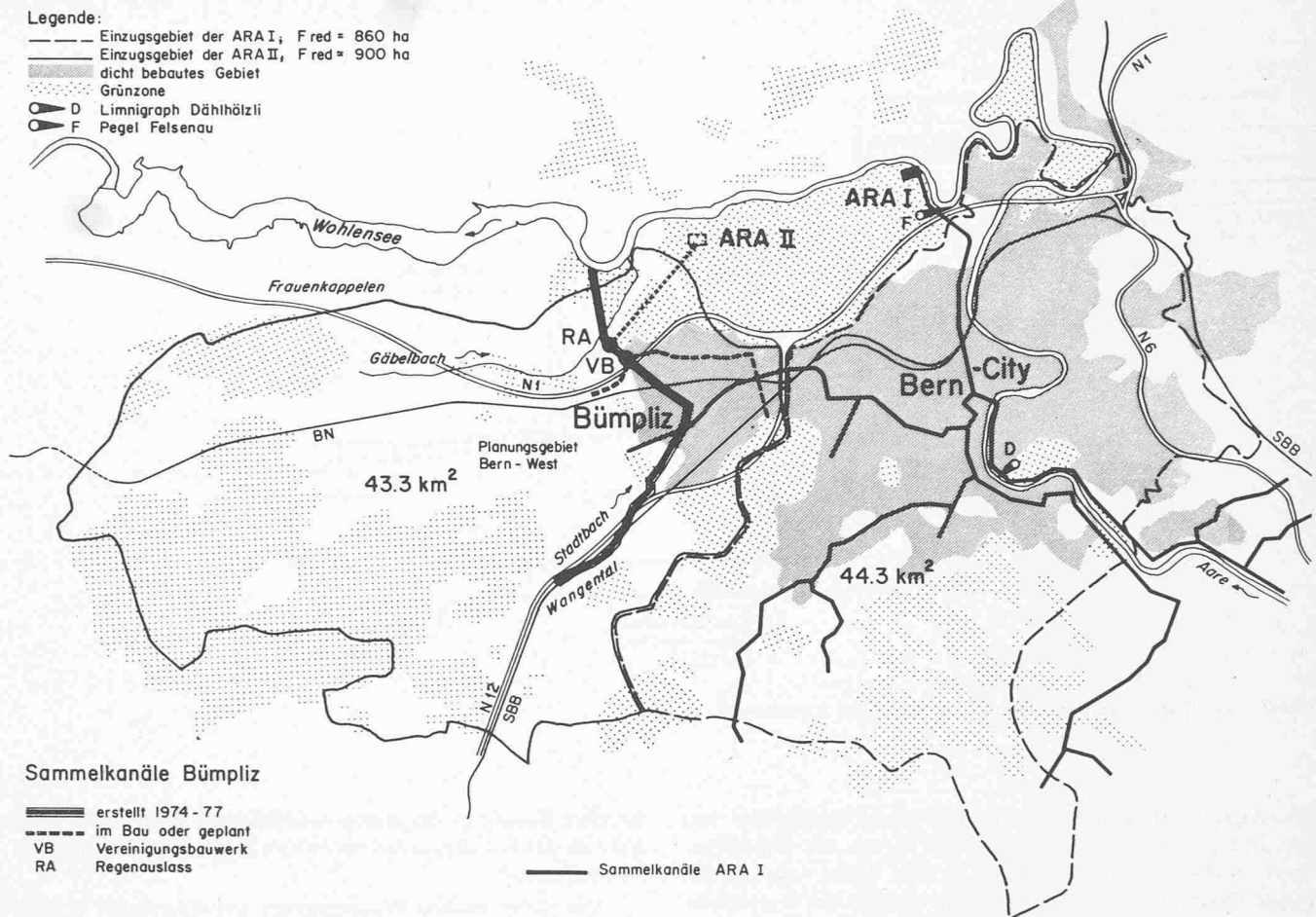


Bild 1. Abwasserkanäle der Stadt Bern, Übersichtsskizze

## Ausführungsprojekt

### Erste Phase: Regenentlastung

Der Sammelkanal Wangental führt von der Gemeinde Köniz über die Rehhagstrasse, Bümpfizstrasse, Stapfenstrasse und den Asylweg zum Vereinigungsbauwerk Brünnen (Bild 1). In der ersten Ausbauphase dient er zur Entlastung des bestehenden Kanalisationsnetzes, ist aber bemessen und konzipiert für den Endausbau. Im sogenannten Vereinigungsbauwerk wird der, die Agglomeration Bethlehemacker entwässernde, Sammelkanal Waldmannstrasse angeschlossen und die Einführung der künftigen, Bern-West entsorgenden Sammelleitung vorbereitet.

Beim Regenauslass Eichholz wird das Meteorwasser aus dem Gäbelbachquartier und von der Autobahn N1 in den Entlastungsstrang eingeleitet. Anschlüsse für den Schmutzwasserstollen nach der zukünftigen Kläranlage ARA II und für den vorgesehenen Gäbelbachkanal aus den Bauzonen Frauenkappelen—Riedern werden vorbereitet.

Schmutzwasserzuleitungen, die mit natürlichem Gefälle in die Abwasserkanäle der ARA I nicht eingeleitet werden können, müssen in der 1. Phase in das alte Netz hinaufgepumpt werden.

### Zweite Phase: Vollausbau des Hauptstranges als Mischwasserkanal und zweite Kläranlage

Im Vollausbau hat der Hauptstrang das Überlaufwasser einiger Regenentlastungen und das Mischwasser des gesamten Abwassernetzes der Agglomeration Bümpfiz—Bethlehemacker und der weiter angeschlossenen Gebiete zu übernehmen.

Zu der beim Forsthus Eymatt vorgesehenen zweiten Kläranlage (ARA II) ist vom Regenauslass Eichholz ausgehend ein 1800 m langer Schmutzwasserkanal zu erstellen. Die an den Regenauslass Eichholz anschliessende Kanalanstrecke von rund 900 m und einem Volumen von 9000 m<sup>3</sup> wird als Speicherstollen dienen (Bild 2).

Das gesamte System arbeitet als Speicheranlage; der in der 1. Phase erstellte kreisrunde Entlastungsschacht erfüllt die Funktion eines zentralen Regenauslasses mit hochgezogener Überlaufkrone.

Funktionsmässig und ausführungstechnisch kann die ganze Strecke wie folgt unterteilt werden:

1. Sammelkanal Wangental, Abschnitt 1 und 2
2. Vereinigungsbauwerk Brünnen, Abschnitt 3
3. Sammelstrang Holenacker, Abschnitt 3
4. Regenauslass Eichholz, Abschnitt 3
5. Entlastungsstollen Wohlensee, Abschnitt 4
6. Auslaufbauwerk, Abschnitt 4

### Bemessung, Wassermengen

Schon bei den Variantenstudien erwies sich deutlich, dass der Hauptstrang Wangental auf den Vollausbau des Einzugsgebietes zu bemessen sei; eine spätere Ergänzung in Form eines weiteren Stranges oder Regenbeckens hätte Schwierigkeiten und unverhältnismässige Kosten hervorgerufen.

Für das vorgeschlagene System der Sammelkanäle wurde das gesamte Kanalisationsnetz elektronisch, unter Berücksichtigung der zeitlich veränderlichen Energie- und Rückstauhöhen, nach der Ganglinien-Volumen-Methode durchgerechnet.

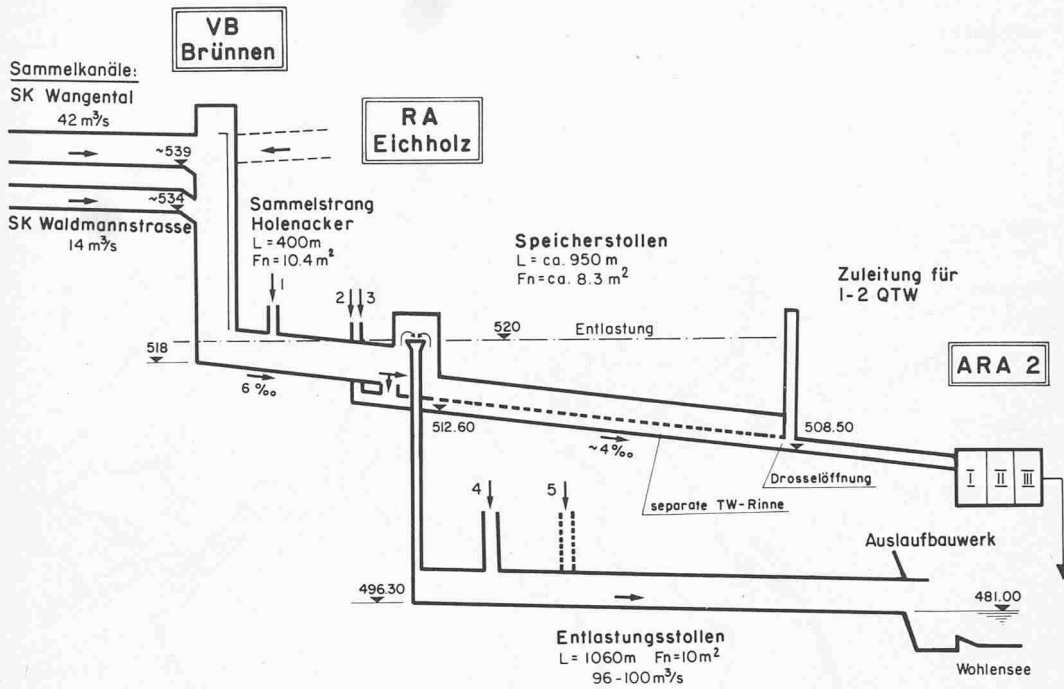


Bild 2. Kanalisationskonzept Bümpliz, schematisches Längenprofil

net. Als Grundlage für die *Netzberechnung* (ausgeführt von der Dorsch Consult, München/Zug) diente die *Intensitätskurve* nach EAWAG mit den alle fünf Jahre auftretenden Regenintensitäten ( $Z = 5$ ). Bestimmt wurden die Durchflussmengen ( $Q_{TW}$ ,  $Q_{max}$ ,  $Q_{voll}$ ,  $Q_{krit}$ ), Energielinienhöhen, Wassertiefen und andere hydraulische Werte für die Regendauer von 10, 15, 20 und 200 Minuten. Bei Projektänderungen wurde die hydraulische Rechnung nachgeführt. Sie zeigte, wo

die alten Kanäle in der ersten Ausbauphase zu entlasten sind und wie das Kanalnetz auf die beiden Kläranlagen ausgerichtet werden soll.

Die rechnerischen Wassermengen am Kanalende sind in Tabelle 1 dargestellt. Darin bedeuten:

Tabelle 1. Wassermengen am Kanalende

Sammelkanal	Fred ha	QTW m³/s	Q <sub>krit</sub> m³/s	Q <sub>max</sub> m³/s
1. Wangental	248	0,75	4,45	42,0
2. Waldmannstrasse	95	0,45	1,85	14,0
3. übrige	180	0,40	3,10	35,0
Sammelstrang Holenacker etwa	523	1,60	9,40	rd. 91,0
Entlastungsstollen Q <sub>max</sub>				ca. 110 m³/s

Fred Einzugsgebiete bezogen auf undurchlässige Fläche  
 Q<sub>TW</sub> Trockenwetterabfluss  
 Q<sub>krit</sub> kritische Wassermenge  
 Q<sub>max</sub> max. Abflussspitze im Kanal

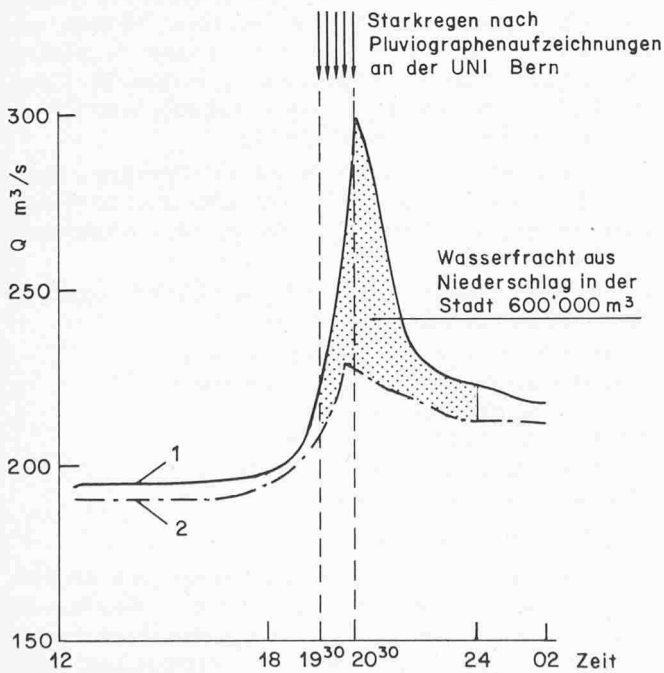


Bild 3. Hochwasserspitzen, verursacht durch Starkregen in Bern am 25. Juli 1969.

- 1 Ganglinie der Abflussmengen bei Felsenau,
- 2 Ganglinie der Abflussmengen beim Limnigraph Dählhölzli
- Q<sub>DM</sub> Tagesmittel der Abflussmengen bei Dählhölzli = 194 m³/s
- Q<sub>DS</sub> Abflussspitze bei Dählhölzli = 230 m³/s
- Q<sub>F</sub> Hochwasserspitze bei Felsenau = 300 m³/s

Zur Untermauerung der errechneten Wassermengen wurde der *Beziehung zwischen Starkregen und Abfluss* in der Stadt Bern in folgender Weise nachgegangen: Oberhalb der Stadt liegt die hydrometrische Station Aare-Dählhölzli; unterhalb der Stadt die Pegelstation Felsenau. Auf der dazwischenliegenden 10 km langen Strecke entlasten fast alle Regenauslässe des städtischen Kanalisationsnetzes (ca. 90 Stück) in die Aare.

Für die grossen Starkregen wurden die Pluviographenaufzeichnungen der Universität Bern (Bild 3) und die entsprechenden Ganglinien der Durchflussmengen in der Aare ausgewertet. Der Vergleich zeigt die Wirkung der Starkregen auf die Wasserfracht in der Aare und den entstandenen Schwall.

Diese Auswertungen lassen erkennen, dass bei Vollausbau im Entlastungsstollen Wohlensee eine Hochwasserspitze in der Grössenordnung von 100 m³/s zu erwarten ist.

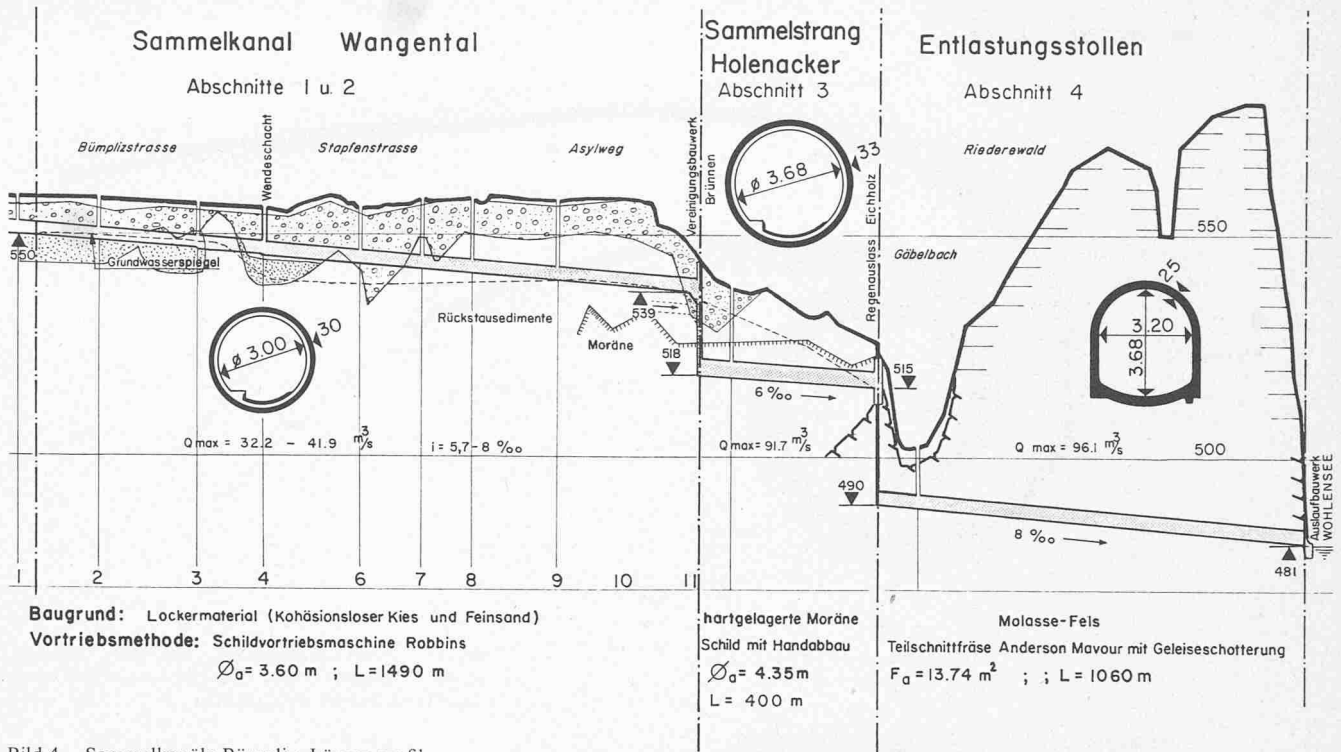


Bild 4. Sammelkanäle Bümpliz, Längenprofil

#### Längenprofil und Querschnittswerte

Das mittlere Gefälle von der Baugrenze des Hauptstranges (Schacht 1) bis zum Vorfliuter beträgt 2,3% auf 3050 m. Der gesamte Höhenunterschied ist aus topographischen, baulichen und hydraulischen Überlegungen auf drei Stufen (Bild 4) so unterteilt, dass bei Trockenwetterabfluss die Geschwindigkeiten den Wert von 1,5 m/s nicht unter- und bei mittleren Wassermengen den Wert von 6 m/s nicht überschreiten. Bei Vollausbau erreichen diese, während der sehr kurz dauernden Abflussspitzen im Entlastungsstollen 10 m/s.

Die hydraulische Funktionsweise der drei Kanalstufen ist verschieden:

**Sammelkanal Wangental.** Kreisrunder Freispiegelkanal mit lichter Weite von 3,00 m und 5,7‰ bis 8,0‰ Gefälle auf 1490 m Länge;  $Q_{\max}$  32,3 bis 41,9 m<sup>3</sup>/s; (Bild 5).

**Sammelstrang Holenacker.** 400 m Länge. Er vereinigt die drei grossen Kanäle vor dem Regenauslass; bei kleinen Wassermengen (2 QTW) fliesst das Wasser mit freiem Spiegel ab. Beim Ansteigen des Meteorwassers arbeitet der Kanal als Speicherraum; lichter Durchmesser 3,68 m.

**Entlastungsstollen.** 1060 m Länge, Gefälle von 8‰. Er arbeitet bis 60 m<sup>3</sup>/s als Freispiegelstollen, ohne Rückstau. Bei grösseren Wassermengen kommt der Stollen unter Druck und kann im Maximum bis 110 m<sup>3</sup>/s bei einer Geschwindigkeit von ca. 10 m/s abführen; der benetzte Querschnitt beträgt 10,1 m<sup>2</sup>.

#### Vereinigungsbauwerk Brünnen

Im Bauwerk werden Zuflüsse aus drei grossen Kanalisationssträngen mit einer Gesamtwassermenge von 91 m<sup>3</sup>/s vereinigt (siehe Bild 6 und Tabelle 1).

Im Fallschacht wird eine Höhenstufe von 21 m überwunden und die überschüssige Energie vernichtet. Das Bauwerk ist als *Wirbelschacht mit tangentialer Einmündung der Sammelstränge* ausgebildet: Seitlich des grossen Schachtes von 6 m Innendurchmesser ist ein Entlüftungs- und Kontroll-

schacht hochgezogen. Der Trockenwetterabfluss wird in einem separaten, mit Kunststoff ausgekleideten, By-Pass-Schacht von 60 cm  $\varnothing$  abgeleitet. In den Einlaufspiralen ist die Sohle durch einen Überzug geschützt. Da die Schacht-

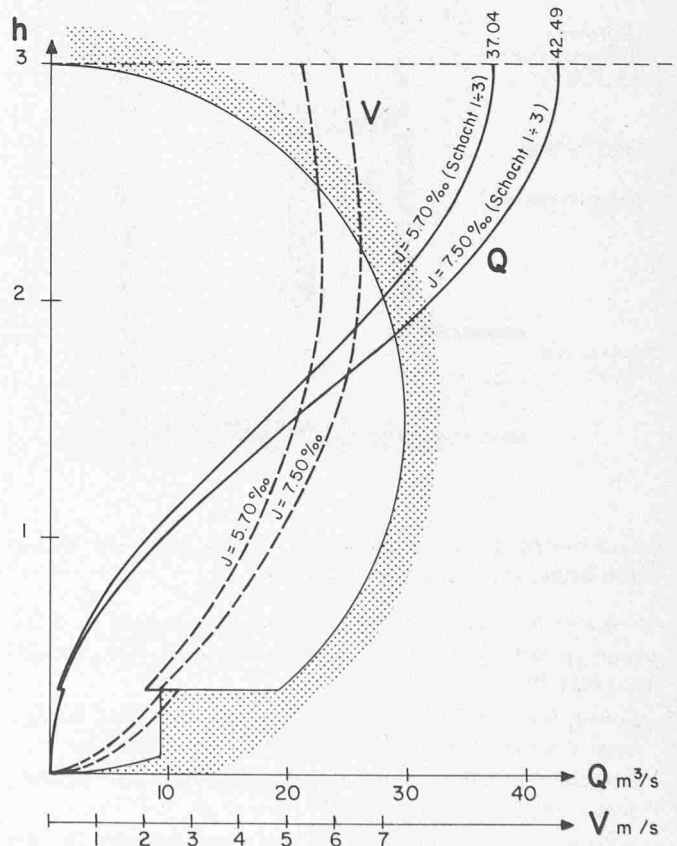


Bild 5. Sammelkanal Abschnitt 1+2, Durchflussmengen und Geschwindigkeiten (nach Strickler und Thormann  $k = 87$ )

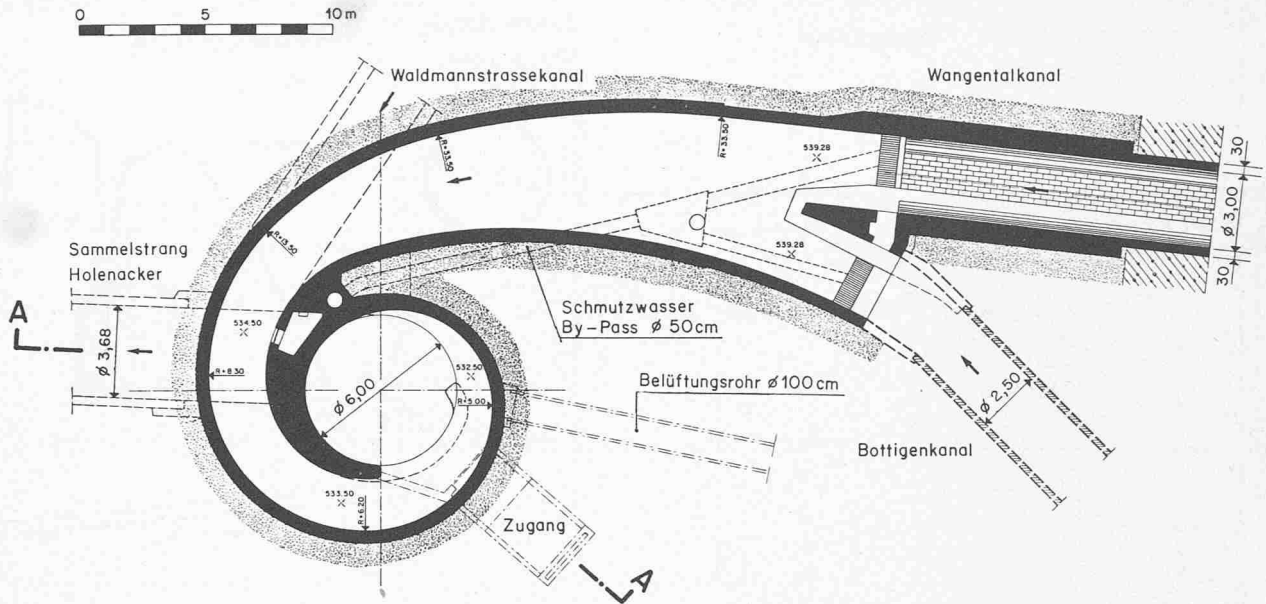


Bild 6. Vereinigungsbauwerk Brünnen, Einlaufspirale Wangental- und Bottigenkanal. Grundriss (oben) und Schnitt A-A (unten)

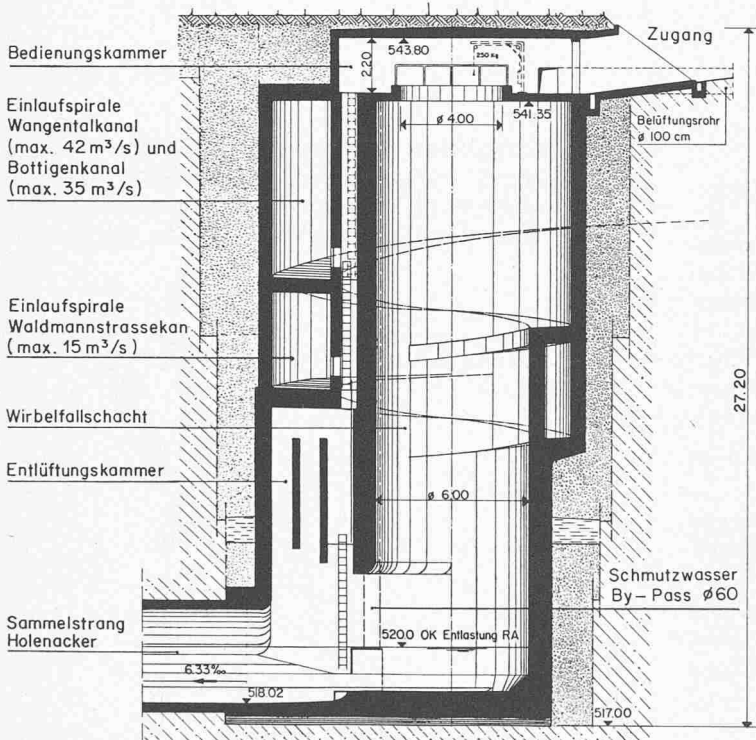
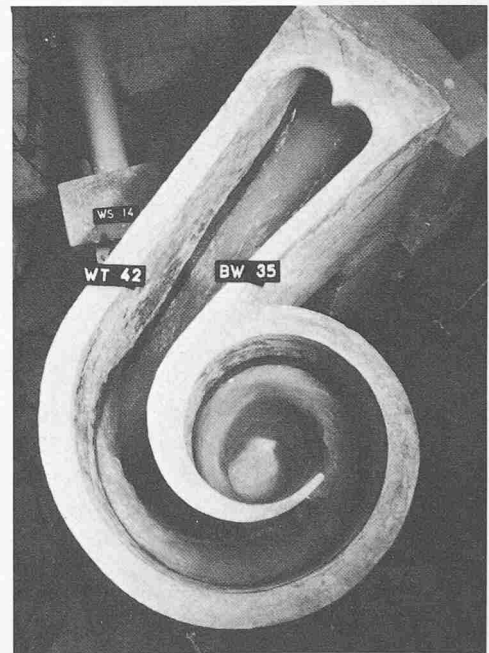


Bild 7. Vereinigungsbauwerk, Modellaufnahme



wände nur bei Regenwetter benetzt werden, erhält der Wandbeton keine besondere Auskleidung.

Im hydraulischen Modell an der Versuchsanstalt für Wasserbau an der ETH Zürich wurden untersucht (vgl. Modellfoto, Bild 7):

- Formgebung der Einlaufspiralen, insbesondere die Einmündung des tieferliegenden Sammelkanals Waldmannstrasse;
- Strömungsverhältnisse und Wasserspiegellagen bei verschiedenen Betriebszuständen;
- Formgebung des Überganges aus dem Schacht in den anschliessenden Sammelstrang Holenacker;
- Gestaltung der Entlüftungskammer. Durch Absonderung der mitgerissenen Luft wird der Eintritt von Luftblasen in

den Sammelstrang behindert und dieser von Wasserschlägen freigehalten. Ein Maximum von entweichender Luft wurde bei ca. 30% Beaufschlagung (25 m³/s) beobachtet. Bei Wassermengen über 60 m³/s gelangen gleichwohl einige Luftblasen in den Kanal. Zu deren Absonderung wird 77 m stromabwärts ein zweiter Lüftungskamin hochgezogen.

#### Regenauslass Eichholz

Der Regenauslass (Bild 8) ist konzipiert und bemessen für den Vollausbau und für folgende Funktionen:

- Zentraler Regenauslass des neuen Netzes für eine max. Wassermenge von 90 m³/s;
- Beckenüberlauf mit hochzogener Krone, angeordnet im oberen Viertel des Speicherkanals.

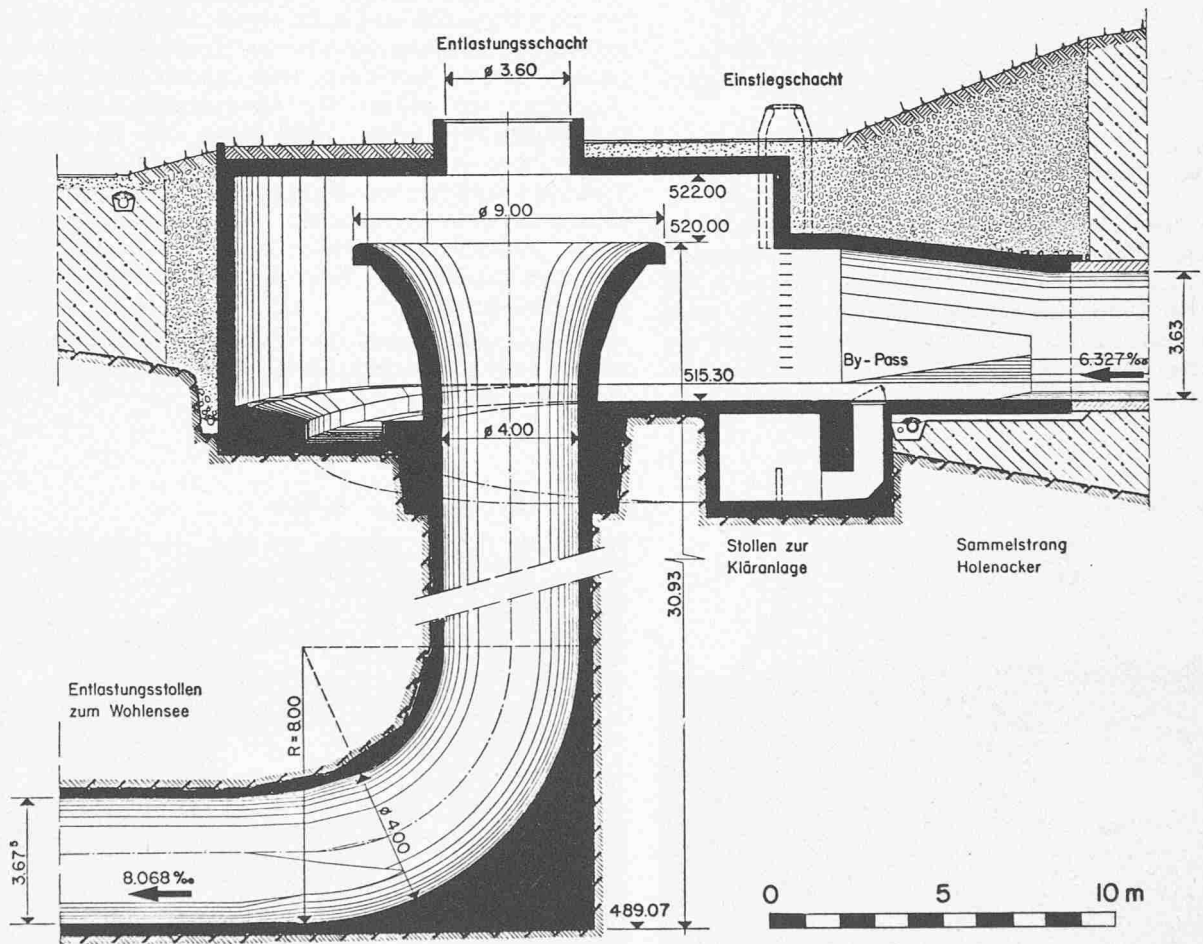
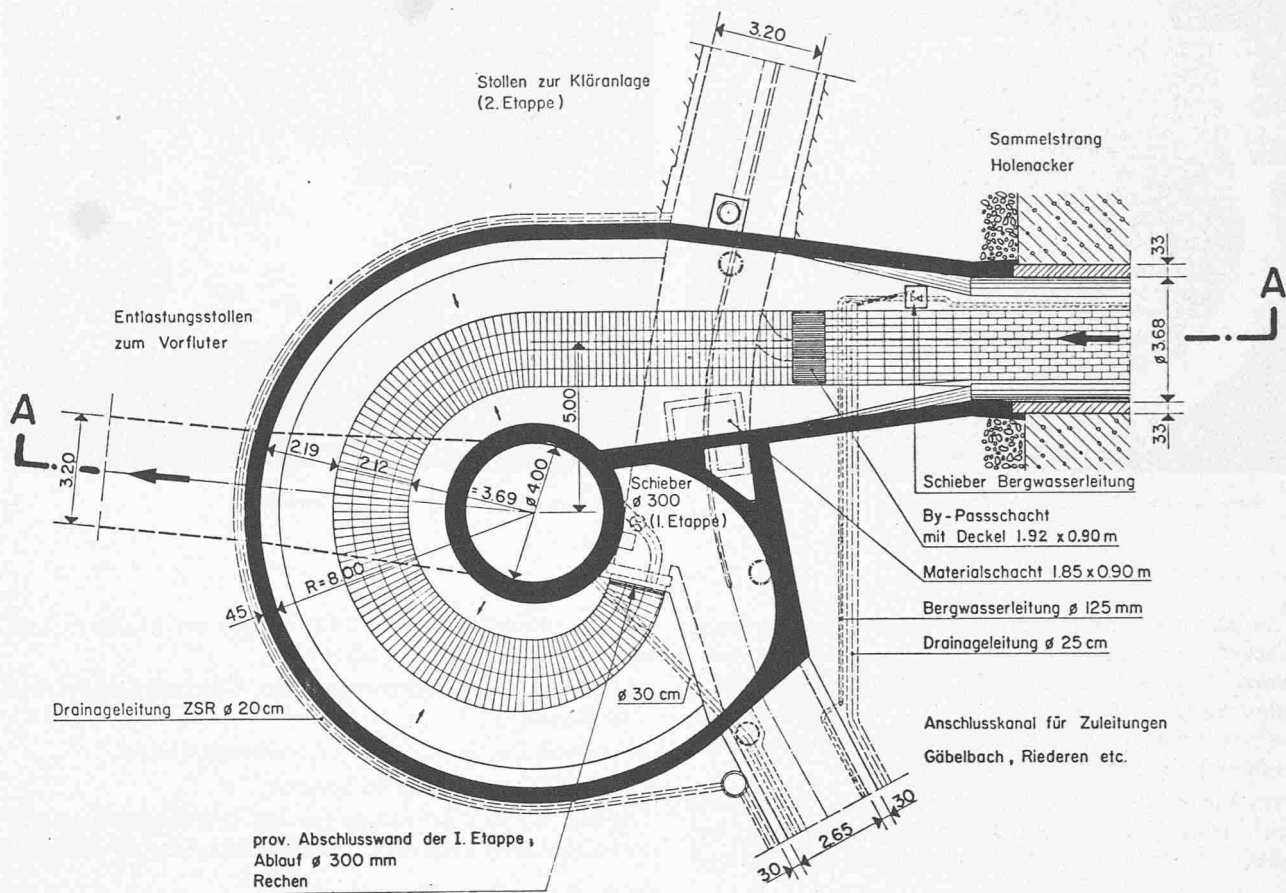


Bild 8. Regenablass Eichholz, Grundriss (oben) und Schnitt (unten)

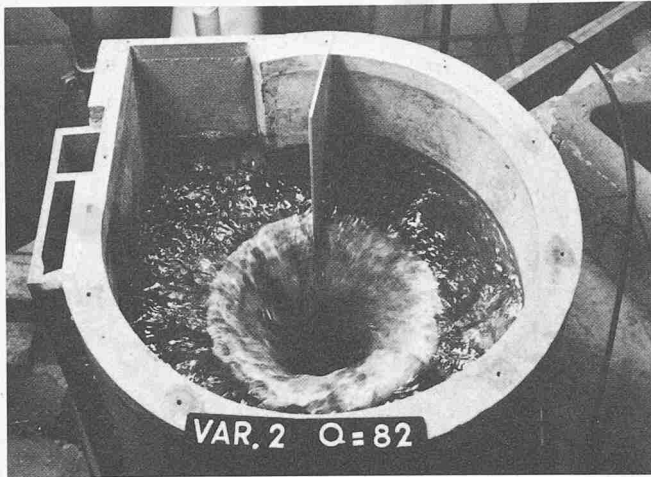


Bild 9. Regenauslass Eichholz, Modellaufnahme

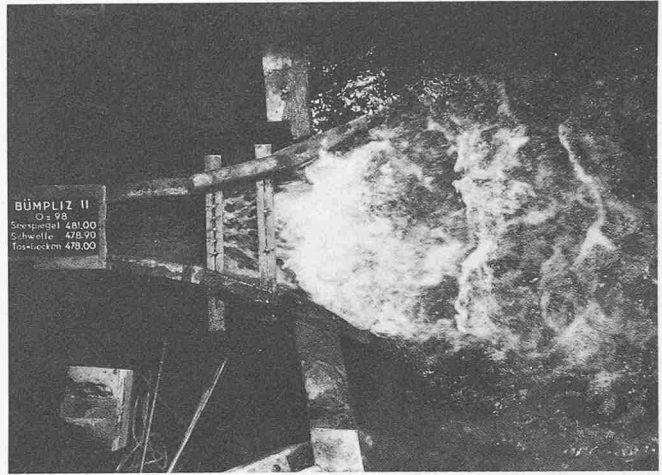


Bild 10. Auslaufbauwerk, Modellaufnahme

Die obere Teilstrecke von rund 400 m (Sammelstrang Holenacker) wird von der Gesamtwassermenge durchflossen; der untere Teil des Speicherkanals, mit gedrosseltem Ablauf Richtung ARA II, nur von maximal 2 Q<sub>TW</sub>. Bei Überschreitung dieser Wassermenge füllt sich der Speicherkanal, nachher beginnt der Überlauf in den Vertikalschacht.

Das kreisrunde Bauwerk mit tangentialen Zulauf und zentrisch gelegenem tulpenförmigem Entlastungsschacht hat gegenüber konventionellen Ausführungsarten folgende Vorteile:

- gedrängte Bauweise (kleines Bauvolumen pro zu entlastende Wassermenge),
- gute Anpassung an die topographischen Gegebenheiten,
- einwandfreie hydraulische Verhältnisse bei allen Wassermengen,
- Ausnützung der gesamten Energiehöhe zum Transport des Überfallwassers durch den Entlastungsstollen.

In der ersten Phase arbeitet der Regenauslass als Absturzbauwerk des Entlastungsstranges bei einem Höhenunterschied von rund 25 m und nimmt sekundäre Zuflüsse aus den tieferliegenden Einzugsgebieten (Gäbelbachquartier, Riedern) auf. Die aus baulichen Gründen angeordnete Drosselung des Bodenablaufes bewirkt Verzögerung und Ausgleich des ersten Überfallstosses.

Am Modell an der ETHZ wurden im Massstab 1:25 untersucht (Modellphoto, Bild 9):

- Abflusskapazität, Dimensionen des Überfallschachtes und der Kammer;
- Varianten mit tangentialem und radialem Einlauf;
- Stabilität des Abflusses im Schacht;
- Abfluss durch Dosieröffnungen bei Q-TW und Q<sub>krit</sub> (für fallengelassene Variante mit Regenklärbecken bei ARA II).

#### Auslaufbauwerk

Die Ausmündung aus dem Entlastungsstollen in den Vorfluter Wohlensee erfolgt am steilen, bewaldeten Wohlenseeufer. Die durch das Stauwehr des Kraftwerkes Mühleberg gestaute Aare ist dort 115 m breit und hat einen benetzten Querschnitt von 410 m<sup>2</sup>. Die Maximalgeschwindigkeit im Entlastungsstollen beträgt rund 10 m/s. Die überschüssige Energie wird in einem ca. 4 m tiefen und 13 m langen Tosbecken vernichtet und die Ausflussgeschwindigkeit in den See auf etwa 3,3 m/s reduziert. Die die Decke tragenden ovalen Stützen von  $\varnothing$  55/40 cm dienen zur Energievernichtung. Den Abschluss des Tosbeckens bildet eine 90 cm hohe Gegenschwelle.

Die Gestaltung und die Arbeitsweise des Tosbeckens wurden am hydraulischen Modell überprüft (siehe Modellphoto, Bild 10).

Bild 11. Schild mit festem Brustverbau vor dem Einsatz

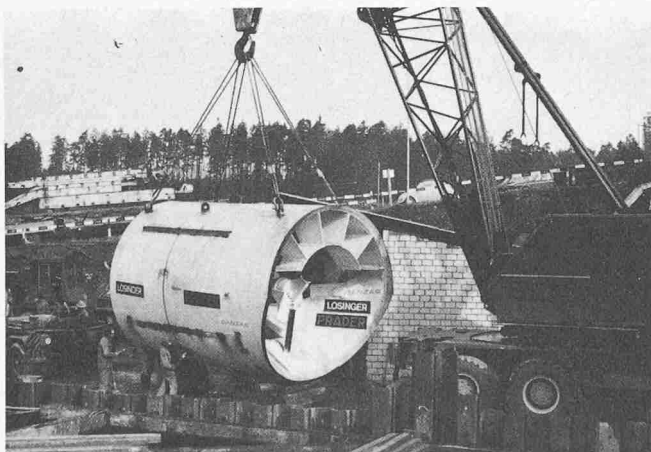
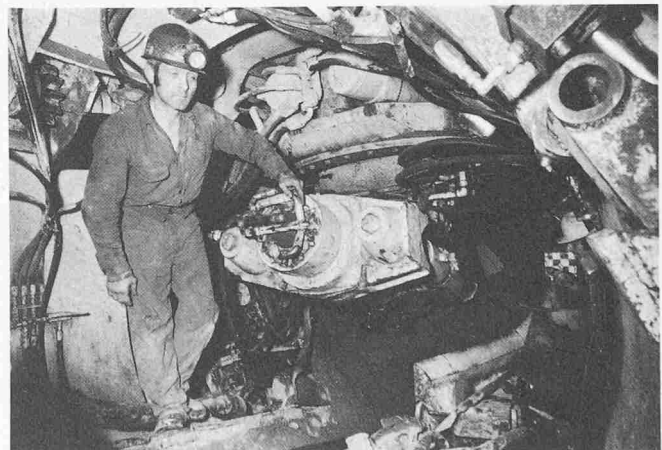


Bild 12. Schildmaschine im Vortrieb





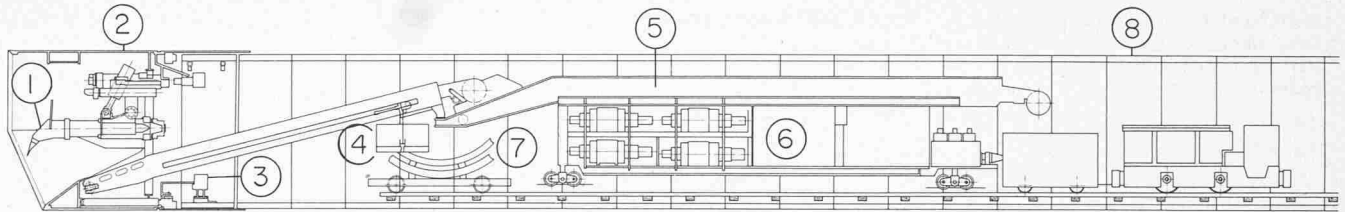


Bild 13. Schematischer Längsschnitt durch die Schildmaschine Robbins. 1 Abbaugerät, 2 Schildmantel, 3 Erektor, 4 Hebevorrichtung, 5 Beladeband, 6 hydraulische und elektrische Aggregate, Tübbingelemente, 8 fertige Tübbingauskleidung

## Bauausführung

### Sammelkanal Wangental, Abschnitt 1+2

#### Bodenbeschaffenheit

Auf seinen ersten 900 m durchquert der Kanal (Stollen) die sogenannten *Felderschotter*, die restlichen rund 600 m liegen in den *Rückstausedimenten*. Die Überdeckung über dem Stollenscheitel schwankt zwischen 6 und 15 m.

Bei den Rückstausedimenten handelt es sich um sehr wechselvolle, fluviatile und lakustrische Ablagerungen. In den fluviatilen Ablagerungen sind die angetroffenen Komponenten meist eindeutig getrennt, zum Beispiel Feinsande, Mittelsande oder fast sandfreie Kiese. Die lakustrischen Ablagerungen sind gekennzeichnet durch meist fein laminierte, beige Tone, Silte und Feinsande. Es kommen jedoch auch grössere Komponenten bis Blockgrösse, teils vereinzelt, teils derart häufig vor, dass ein Kies mit toniger Matrix vorliegt und der lakustrische Charakter der Sedimentation nicht mehr zu erkennen ist.

Die Felderschotter sind im Gebiet westlich der Stadt Bern eine recht gleichförmige Schotterabfolge, bestehend aus sandigen Kiesen mit viel Steinen und mit gelegentlichen Einschaltungen von Sandbänken.

Ein *Grundwasserspiegel in den Rückstausedimenten* des unteren Stollenabschnittes konnte mittels Kleinfiterbrunnen auf einer Länge von ca. 70 m leicht auf die Höhe der Stollensohle um etwa 50 cm gesenkt werden. Ein weiterer, recht ausgiebiger in den Felderschottern von Bümpliz fließender Grundwasserstrom musste auf eine Länge von ca. 490 m um rund 2 m abgesenkt werden.

#### Stollenabmessungen

Länge des Stollens:	1490 m
Aussendurchmesser:	3,60 m
Innendurchmesser:	3,00 m
Mittl. Gefälle:	0,7%
Äussere Auskleidung:	4teiliger, 15 cm starker Stahlbetontübbingring mit konischem Schlussstein
Innere Auskleidung:	15 cm starke Ortsbetonverkleidung
Kleinster Kurvenradius:	100 m

#### Baumethode

Für den Vortrieb nach der *Schildvortriebsmethode* setzte die Arbeitsgemeinschaft Losinger-Prader eine neuartige, speziell für die Baugrundverhältnisse in Bümpliz konzipierte Schildmaschine der Firma Robbins (Seattle, USA) mit folgenden Merkmalen ein (Bilder 11, 12, 13):

– Zweiteiliger Schildmantel mit einem Aussendurchmesser von 3,69 m und mit im Gelenk angeordneten Steuerpressen. Der vordere steuerbare Teil hatte eine Länge von 3,44 m; im 2,11 m langen hinteren Teil waren 24 Vortriebspresen mit einer Gesamtvorschubkraft von 1400 Tonnen eingebaut.

- Ein um die eigene Achse rotierendes Abbaugerät mit einer horizontal und vertikal schwenkbaren, flachen Schaufel mit Reisszahn, welche jeden Punkt an der Schildschneide erreichen konnte.
- Ein im Schildschwanz montiertes Versetzgerät für den Einbau des 1,20 m langen vierteiligen Tübbingringes.
- Nachläufer mit dem für den Vortrieb und die Steuerung des Schildes erforderlichen elektrischen und hydraulischen Versorgungselementen sowie dem darüber montierten Beladeband.

Der Vortrieb wickelte sich in vier Phasen ab:

1. Versetzen des Tübbingringes.
2. Abbau mit gleichzeitigem Vorschieben des Schildes.
3. Mörtelinjektionen zum Auffüllen des Schildschwanzhohlraumes.
4. Periodisches Nachziehen der Rollbahn- und der Nachläufergeleise, der Ventilations- und der Versorgungsleitungen.

Der Schild wurde von zwei Mann bedient; der eine besorgte das Vorpresen und die Steuerung, der andere das Manövrieren mit dem Abbaugerät. Insgesamt bestand die Vortriebsschicht aus sechs Mann, tagsüber kam noch Unterhalts- und Aufsichtspersonal dazu.

Zwei separate Züge mit je sieben Wagen zu 2 m<sup>3</sup> Inhalt plus ein Plattrollwagen zur Aufnahme der Tübbing-Elemente und einer Komposition mit Trommelmischer für den Transport des Injektionsgutes und angekoppeltem Wagen mit der Injektionspumpe ergänzten diese *vollmechanisierte Baustelle*. Das Entladen der vollen Muldenwagen geschah durch Abheben und Kippen der Wagen auf ein Förderband mit einer hydraulisch gesteuerten Kippvorrichtung.

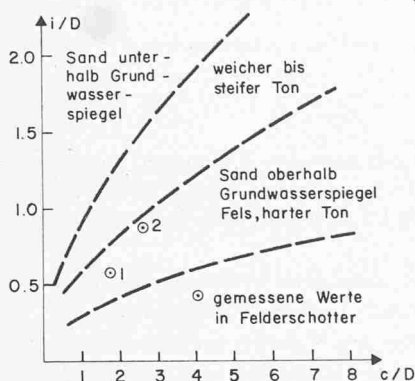
Bei Beginn eines Vortriebsspiels stand ein entleerter Zug mit beladenem Plattrollwagen (vier Tübbingelemente plus Schlussstein) unter dem Nachläufer zur Aufnahme des Ausbruchmaterials bereit. Ein Vorschub entsprach dem Volumen der voll beladenen Zugskomposition. Damit war die Kontrolle über die abgebaute Materialmenge pro Vorschub gewährleistet.

Je nach Bodenbeschaffenheit wurden die Schildschwanzinjektionen nach jedem oder erst nach zwei eingebauten Tübbingringen ausgeführt.

#### Leistungen

Im April 1974 wurde mit dem Installieren der Baustelle begonnen. Nach der Erstellung des Anfahrwiderlagers und nach Eintreffen der Schildmaschine im Januar 1975 wurde mit den Vortriebsarbeiten anfangs März 1975 begonnen. Sie dauerten bis Anfang April 1976. In 225 Arbeitstagen wurden insgesamt 1226 Tübbingringe, entsprechend 1465,2 m, eingebaut. Die *mittlere tägliche Vortriebsleistung* betrug ca. 6,50 m. Die *maximale Tagesleistung* von 14,40 m/AT wurde in den sandigen Rückstausedimenten mehrmals erreicht. Das *grösste Monatsmittel* betrug 228 m. Die *mittlere Solleistung* von 8,65 m/AT wurde an 39 Tagen überschritten.

Beziehung zwischen relativer Überdeckung und Breite der Setzungsmulde (nach Peck 1969)



Profil mit Setzungszonen

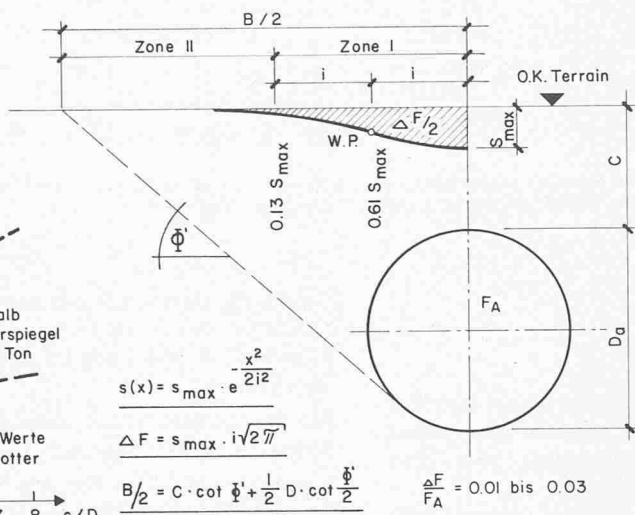


Bild 14. Setzungsprognose nach Peck, Diagramm

Gelegentliche *Vortriebsbehinderungen* entstanden in den sandarmen, gleichförmigen Kiesen, sowie durch grosse, vor der Schildkante eingekleitete Steine. Im oberen Kanalschnitt wurde der Vortrieb nicht nur durch Grobkörnigkeit und fehlende Kohäsion des Baugrundes erschwert, sondern auch durch geringe Überdeckung (in der Bümplizstrasse 5 bis 6 m über dem Stollenscheitel) und damit durch den Schwerverkehr (Busse) auf den zu unterfahrenden Strassen.

Die Vortriebsleistung wurde hauptsächlich durch die Beschaffenheit des Baugrundes sowie auch vom Einfühlungsvermögen der beiden schildsteuernden Maschinisten beeinflusst. Insbesondere bei den kohäsionslosen, rolligen Böden war es nicht immer leicht, nur die Materialmenge dem Förderband zuzuführen, die dem im gleichen Zeitraum erfolgten Vortrieb entsprach.

Die *Ortbetonverkleidung* wurde mit einer teleskopierbaren Vollprofil-Schalung in 6 Monaten ausgeführt.

Parallel zu den Vortriebs- und Auskleidungsarbeiten wurden die Schachtbauwerke erstellt. Die Einlaufschächte wurden als Bohrschächte mit einem Aussendurchmesser von 1,25 m ausgeführt. Der Anschluss an den Sammelkanal erfolgte bergmännisch, durch Aufbrechen der Tübbingverkleidung vom Stollen her.

Die kombinierten *Einstieg- und Einlaufschächte* wurden innerhalb einer durch Kanaldielen gesicherten Baugrube, nach erfolgtem Vortrieb, erstellt.

Die *Sohlenverkleidung mit Steinzeugplatten* konnte im März 1977 fertiggestellt und die Baustelle auf Mitte Jahr geräumt werden.

#### Setzungen, Sicherungsmassnahmen

Die zu erwartenden Setzungen wurden mit Hilfe der von Peck erarbeiteten Diagramme vorausgesagt (Bild 14). Daraus waren Setzungen bis zu 4 cm zu gewärtigen. In den zu erwartenden, kohäsionslosen Böden schien es angemessen, mit Setzungen von 7 bis 8 cm zu rechnen.

In den Rückstausedimenten wurden Setzungen bis zu 2 cm effektiv gemessen, in den Felderschottern bis zu etwa 4 cm und in einzelnen Fällen bis zu 7 cm. Die ermittelten Verhältniszerte ( $k = \Delta F/F$ ) betragen 0,01 in den sandigen Böden und 0,02 bis 0,03 in den vorwiegend kiesigen Böden.

Über dem Stollenstrasse wurden zwei Gefahrenzonen ausgedehnt. Die Zone I als eigentliche Setzungszone und

die setzungsgefährdete Zone II. Innerhalb der gefährdeten Zone wurden durch eine unabhängige Instanz alle Gebäude ( Fassaden und Räume) photographisch aufgenommen und ein lückenloses Risseprotokoll erstellt.

Bei Gebäuden, deren Fundamente oder Teile davon in der Zone I zu liegen kamen, wurden besondere Sicherungsvorkehrungen getroffen. Im einzelnen handelte es sich um folgende, dem Vortrieb vorausgehende Massnahmen:

- Unterfangungen in 2 Fällen;
- Bodenverfestigung mittels Injektionen - in 5 Fällen;
- Eine Verfestigung von Material über dem Stollen mittels Injektionen in einer stark befahrenen Kreuzung;
- Sicherung von auffälligen Gas- und Wasserleitungssträngen durch Neuverlegung;
- Markierung des Standortes der Schildmaschine an der Oberfläche und Fernhalten des Verkehrs in diesem Bereich;
- Gaskontrolle Untertag im Bereich von Gasleitungen.

Auf der rund 1,5 km langen Vortriebsstrecke ereigneten sich vier Tagbrüche, die mit insgesamt 90 m<sup>3</sup> Kies aufgefüllt werden mussten. Ferner waren sechs kleinere, unbedeutende Tagbrüche zu verzeichnen.

#### Erfahrungen

Die Bauausführung hat gezeigt, dass das Konzept, sowohl in der Projektierung wie auch in der Ausführung richtig war und sich gut bewährt hat. An einzelnen Stellen wäre es wünschbar gewesen einen noch grösseren Vorschubdruck zu haben, was jedoch stärkere Tübbingelemente erfordert hätte. Die Tübbinge waren ohnehin mit einer mittleren Pressung von rund 85 kg/cm<sup>2</sup> bis zur obersten Grenze beansprucht. Der hohe Mechanisierungsgrad ermöglichte grosse Vortriebsleistungen mit kurzer Zeitspanne vom Ausbruch bis zum Injizieren des Schildschwanzhohlraumes, was seinerseits das Zeit-Setzungsverhalten des Bodens günstig beeinflusste.

Das Einhalten von Richtung und Nivellette war gut, kleinere Abweichungen in der Höhe konnten durch Anpassen des Längsgefälles leicht ausgeglichen werden.

Die erzielten *Vortriebsleistungen* entsprachen den Erwartungen. Erschwernisse traten immer dann auf, wenn im oberen Teil der Brust rolliges Material anstand, der Schild aber, infolge eines hohen Widerstandes im unteren Bereich, nicht genügend rasch in das Erdreich gedrückt werden konnte.

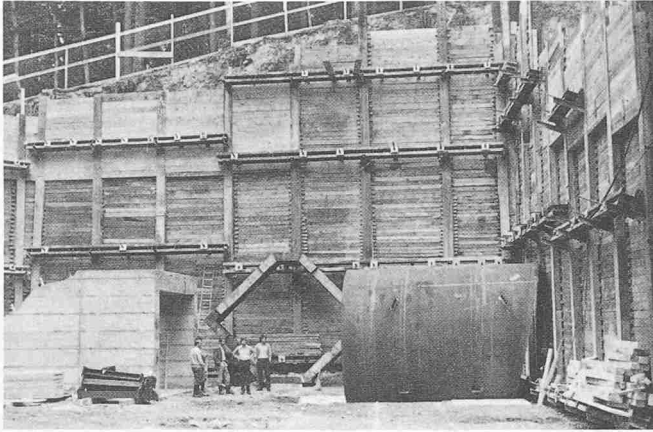


Bild 15. Sammelstrang Holenacker, Schild am Anfahrwiderlager

te. In solchen Situationen entstanden die meisten Tagbrüche. Die Stärke des Ort beton-Innenringes von 15 cm muss als ein Minimum angesehen werden. Bedingt durch die Steuerung des Schildes bilden die eingebauten Tübbinge in den Kurven einen Polygonzug mit Seitenlängen von 1,20 m (mit Abweichungen bis zu 5 cm). Beim Betonieren mit der teleskopierbaren Vollprofilschalung von 5 m Länge mussten an einzelnen Stellen Wandstärken von nur 10 cm in Kauf genommen werden.

Abschliessend muss bemerkt werden, dass die ausserordentlich gute und erspriessliche Zusammenarbeit Bauherr-Bauleitung-Unternehmung, und insbesondere die zwei gut eingespielten Arbeitsequipen, zum erfolgreichen Abschluss der Arbeiten massgeblich beigetragen haben.

### Sammelstrang Holenacker, Abschnitt 3

#### Bodenbeschaffenheit

Der Sammelstrang liegt auf seiner ganzen Länge in einer hartgelagerten, wasserundurchlässigen *Grundmoräne*. Im Laufe des Vortriebes sind einige wasserführende Kieseinschlüsse angefahren worden, die sich zum Teil in kurzer Zeit komplett entleerten, andere, die wahrscheinlich mit dem darüberliegenden Grundwasserspiegel in Verbindung standen, führten bis zu 2 l/s Wasser in den Stollen.

#### Stollenabmessungen

Länge des Stollens:	400 m
Aussendurchmesser:	4,34 m
Innendurchmesser:	3,68 m
Mittl. Gefälle:	0,63 %
Äussere Auskleidung:	4teiliger, 18 cm starker Stahlbetontübbingring mit zwei Betonblöcken als Schlusssteine
Innere Auskleidung:	15 cm starke, armierte Ort betonverkleidung

#### Baumethode (Bild 15, 16)

Die bauausführende Unternehmung, Frutiger Söhne AG, Thun, setzte einen *hydraulisch gesteuerten Schild* mit einer Vorschubkraft von 1200 t ein (Bilder 15 und 16). Der Abbau der hartgelagerten Moräne geschah von Hand mit Abbauhämmern.

Ein im Schildschwanz montiertes Seilzug-Versetzergerät diente zur Montage der vier Tübbingelemente. Mit einer hydraulischen Presse wurden die versetzten Tübbinge an der unteren Längsfuge expandiert und zwei Betonklötze als

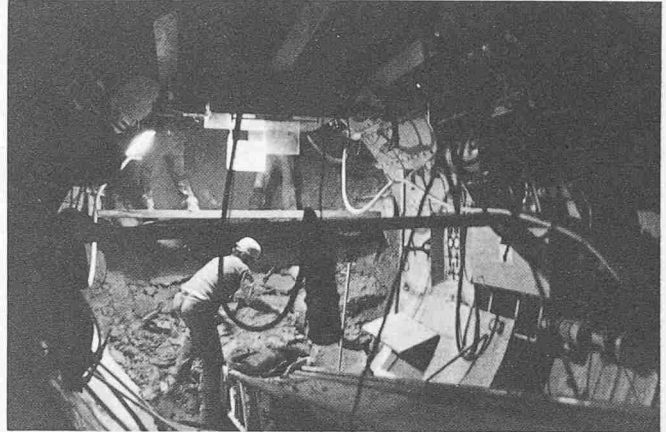


Bild 16. Sammelstrang Holenacker, Brustabbau

Schlusssteine eingesetzt. In einer späteren Phase wurde der restliche Fugenraum ausbetoniert.

Zur Verfüllung des Schildschwanzhohlraumes wurde nach jedem versetzten Tübbingring trockener Splitt 0-4 mm pneumatisch eingebracht. Das sich in diesem Hohlraum ansammelnde Bergwasser wurde durch eine im Bankett verlegte Drainageleitung abgeführt. Im normalen Betrieb wird das Drainagewasser durch einen Schieber im Berg zurückgehalten und kann gelegentlich sonstwie gebraucht werden.

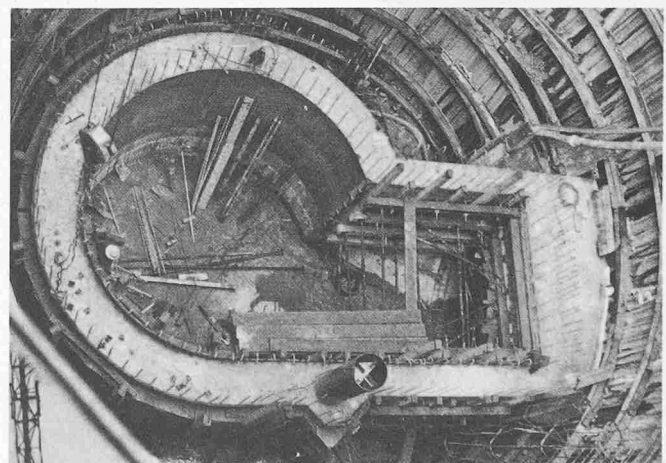
Vor dem Einbringen der Innenverkleidung wurden die Tübbingfugen abgedichtet. Zusammen mit dem armierten Innenring soll damit verhindert werden, dass vom kurzzeitig unter Druck stehenden Sammelstrang Abwasser ins Grundwasser durchsickert.

#### Bauabwicklung

Der 400 m lange Sammelstrang wurde im Zweischiebenbetrieb, mit einer durchschnittlichen Leistung von rund 2,5 m je Arbeitstag, aufgeföhren. Im nachhinein hat sich gezeigt, dass diese arbeitsintensive Methode leistungsmässig am zuverlässigsten abgeschätzt werden konnte.

Die Auskleidungsarbeiten dauerten ca. sechs Monate. Zunächst wurde die Sohle, dann die Gewölbverkleidung eingebracht. Anschliessend wurde der Sohlenbeton aufgeraut und die Trockenwetterrinne mit Steinzeugplatten verkleidet.

Bild 17. Vereinigungsbauwerk Brünnen, Fundamentblock



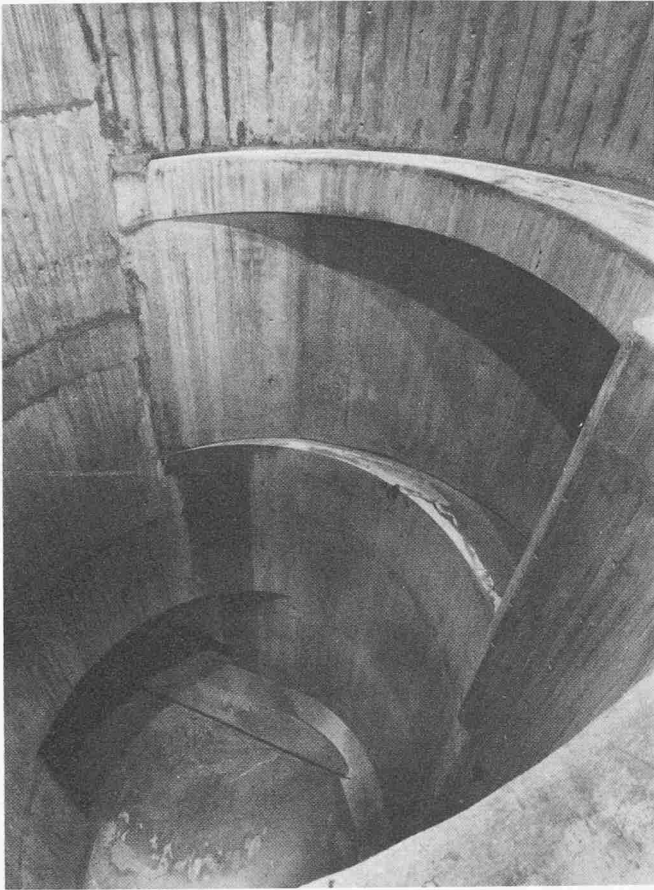


Bild 18. Vereinigungsbauwerk Brünnen, Schachtfuss, in Bildmitte: Spiralauslauf vom Waldmannstrassekanal

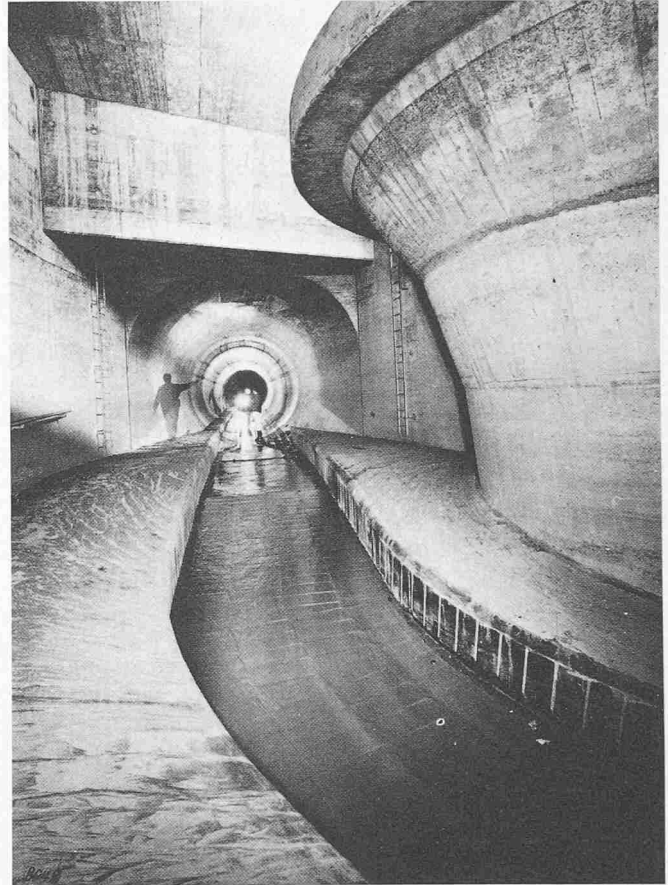
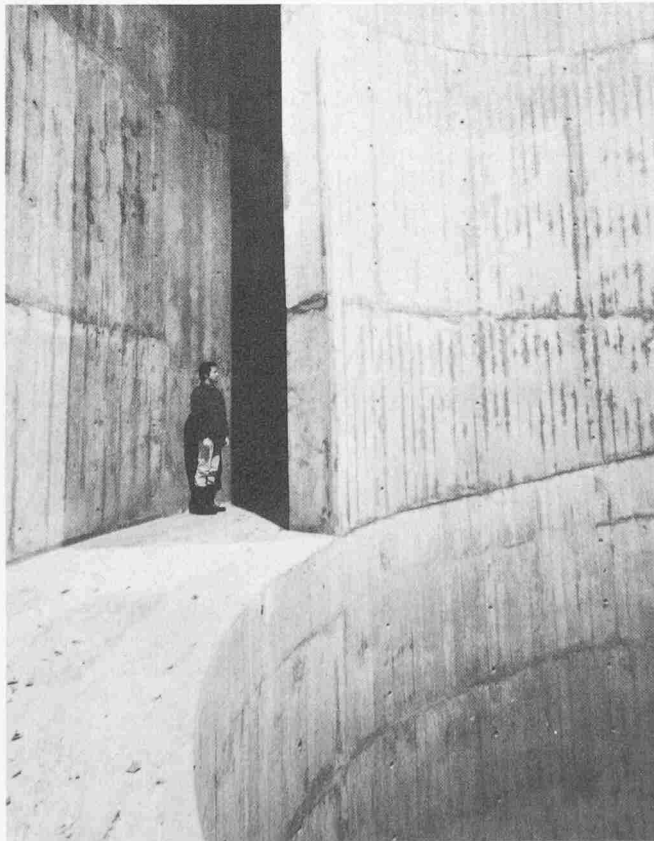


Bild 20. Regenauslass Eichholz gegen Sammelstrang Hohenacker

Bild 19. Vereinigungsbauwerk Brünnen, Einlaufspirale Wangentalkanal



### Vereinigungsbauwerk Brünnen (Bild 7, 17, 18, 19)

#### Bodenbeschaffenheit

Der Baugrund bestand im unteren Drittel aus *festgelagerter Moräne*, darüber lagen Sande der Rückstausedimente und zuoberst Kiese der Felderschotter. Der Grundwasserspiegel wurde in ungefähr 10–12 m Tiefe angetroffen.

#### Ausmasse

Aushub:	4900 m <sup>3</sup>
Spundbohlen Belval Profil III	860 m <sup>2</sup>
Kanaldielen	370 m <sup>2</sup>
Beton	1013 m <sup>3</sup>
Schalung	2927 m <sup>2</sup>
Spriessung bei Einlaufspiralen	385 m <sup>2</sup>
Höhe des Bauwerkes	27 m
Aussendurchmesser	17,50 m

#### Baumethode

Für die Ausführung des Schachtbauwerkes wurde eine 24 m tiefe, kreisrunde Baugrube mit einem Durchmesser von 14 bis 17 m erstellt. Die Baugrubenumschliessung bestand im oberen, kiesigen Bereich aus zwei Stufen Belval Spundbohlen und im unteren Teil (Moräne) aus zwei Stufen Kanaldielen. Der Grundwasserspiegel wurde mit einem Filterbrunnen abgesenkt und das seitlich einsickernde Wasser mit offener Wasserhaltung abgeleitet.

## Regenauslass Eichholz (Bild 8 und 20)

### Bodenbeschaffenheit

Der Regenauslass befindet sich in einer steilen Waldböschung am Rande der Gäbelbachsiedlung. Die Fundamente wurden auf gewachsenem *Molassefels* erstellt. Darüber liegt kompakte Moräne mit verschiedenen, kleineren, wasserführenden Kieseinschlüssen.

### Ausmasse

Aushub:	4450 m <sup>3</sup>
Rühlwand:	675 m <sup>2</sup>
Rühlwandständer:	84 t
Longarinen:	18 t
Vorspannanker:	109
Bauwerkshöhe mit Schacht:	35,0 m
Aussendurchmesser:	16,9 m

### Baumethode

Vor Beginn des Aushubes wurden die Schächte zur Aufnahme der Rühlwandständer gebohrt und die Ständerfüsse im *Molassefels* einbetoniert. Die vorgesehene Ankerkraft von 30 t der Alluvial-Anker von der Firma Stump Bohr AG konnte trotz Trockenbohrungen und Nachinjizieren nicht immer erreicht werden. Dagegen konnte mit zunehmender Baugrubentiefe festgestellt werden, dass die Baugrundverhältnisse in bezug auf Stabilität und Erddruck günstiger waren als es die Sondierbohrungen vermuten liessen.

## Entlastungsstollen Wohlensee, Abschnitt 4

### Bodenbeschaffenheit

Das durchgeführte Gestein ist der *unteren Süswasser-molasse* (Aquitani) zuzuordnen. Die angetroffene Schichtung fällt ~10% Richtung Norden (gegen das Vortriebsportal). Die Wasserinfiltrationen beschränkten sich auf Zonen mit stark porenhaltigem Sandstein. Bedingt durch die bis zu einem halben Meter starken *Mergelbänke* wurde die Stollensohle zur Aufnahme eines evtl. auftretenden Quelldrucks mit einem Gewölbe ausgebildet. Zum Schutz gegen Verwitterung wurde unmittelbar hinter dem Vortrieb die Felsoberfläche mit einer Gunitverkleidung versehen. Die mittlere einachsige Zylinderdruckfestigkeit des ausgebrochenen Felsens schwankte von 250 bis 400 kg/cm<sup>2</sup> und der mittlere Quarzgehalt zwischen 20 und 35%.

### Stollenabmessungen

Länge des Stollens:	1060 m
Ausbruchfläche:	13,70 m <sup>2</sup>
Mittl. Gefälle:	0,8%
Auskleidung inkl. 5 cm Gunit:	25 cm stark

### Baumethode und Bauabwicklung

Der Ausbruch erfolgte mit einer *Teilschnitt-Fräse* vom Typ Anderson Mavor RH 1 (Bilder 21 bis 23), die durch die Unternehmung A. Marti AG, Bern, neu angeschafft wurde. Zunächst wurde der Stollen auf die ganze Länge mit einer gegenüber dem Normalprofil etwas erhöhten, flachen Sohle ausgebrochen und eine Kiesschicht als Drainage- und Geleiseschotter eingebracht. Nach Beendigung des Vortriebs und unmittelbar vor dem Betonieren der Auskleidung wurde der Kies wieder entfernt und das Sohlgewölbe plangemäss nachprofiliert. Der Verkleidungsbeton wurde hinter einer teleskopierbaren Vollprofil-Stahlschalung eingefüllt.

Die 1040 Stollenmeter wurden in 296 Arbeitstagen zum grösseren Teil zweischichtig, vorgetrieben. Die mittlere Leistung betrug somit rund 3,5 m je Arbeitstag, wobei in den letzten drei Monaten Leistungen bis 5 m/AT erreicht wurden.

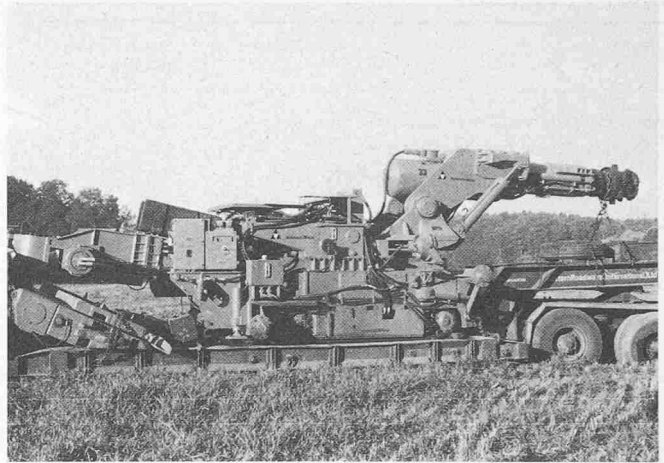


Bild 21. Teilschnittfräse auf dem Baugelände im Entlastungsstollen

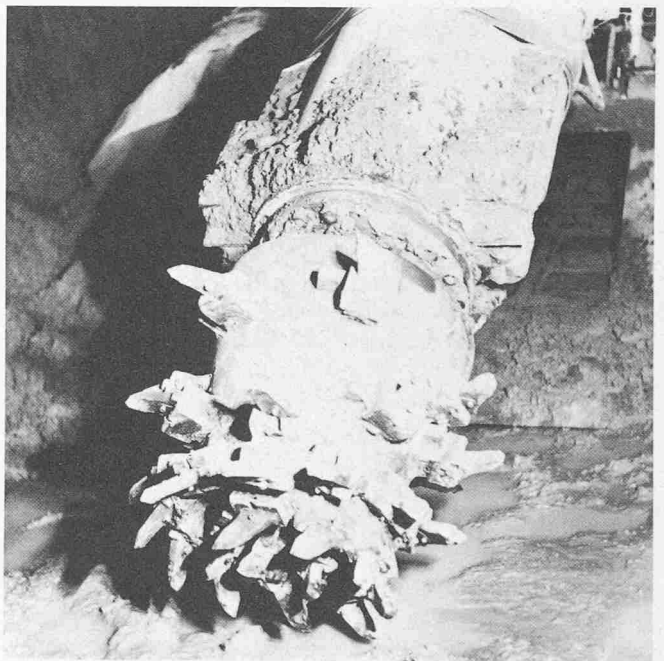


Bild 22. Fräskopf der Teilschnittfräse

Bild 23. Gefräste Vortriebsbrust im Molassefels des Entlastungsstollens



Tabelle 2. Baukosten

Objekt	Kosten total (in Mio Fr.)	Kosten spezifisch (Fr./per)
<b>Sammelkanäle mit Untertagevortrieb:</b>		
- SK Wangental (Abschnitt 1/2) Vortrieb im kohäsionslosen Locker- material mit Kontrollschächten und Einleitung der Nebenkanäle; Lichte Weite 3,00 m; Länge = 1493 m	11,260	7 475.-/lfm
- SK Holenacker (Abschnitt 3) im Lockermaterial mit Kohäsion, mit Entlüftungsschacht; Lichte Weite 3,68 m; Länge = 400 m	2,681	6 702.-/lfm
- Entlastungsstollen (Abschnitt 4) im Molassefels mit Mergelschichten; Lichter Querschnitt 10,1 m <sup>2</sup> ; Länge = 1066 m	5,347	5 016.-/lfm
<b>Spezialbauwerke im Tagbau</b>		
- Vereinigungsbauwerk von 3 Kanälen im Lockermaterial mit GW-Absenkung; Höhe 27 m; Aushub 4900 m <sup>3</sup> ; Beton 1015 m <sup>3</sup> für total rd. 90 m <sup>3</sup> /s	1,913	21 257.-/m <sup>3</sup> /s
- Regenauslass, zum Teil in Locker- material, zum Teil in Fels; Höhe etwa 35 m; Aushub 4450 m <sup>3</sup> ; Rühlwand 675 m <sup>2</sup> ; Entlastungs- wassermenge 90 m <sup>3</sup> /s	2,002	22 243.-/m <sup>3</sup> /s
- Auslaufbauwerk des Entlastungs- stollens in den Vorfluter im Molasse- fels für etwa 110 m <sup>3</sup> /s	0,369	3 355.-/m <sup>3</sup> /s

Zu Beginn der Vortriebsarbeiten hatte die Unternehmung lange Ausfälle infolge Maschinenschäden zu verzeichnen. Zur Ausführung der vorgeschriebenen Sicherungsarbeiten (Fels-

anker+Netze oder Gunit) musste der Vortrieb gedrosselt werden. Zeitweilig betrug die reine Vortriebszeit bloss sechs Stunden im Arbeitstag.

Technische Daten der Teilschnittmaschine:

Gewicht	29 t
Elektr. Leistung	120 PS
Fräsbereich seitlich	3,4 bis 4,0 m
Fräsbereich in der Höhe	3,3 bis 5,10 m
Grösster Fräskopf-Durchmesser	813 mm
Schneidzähne	32 Stück

#### Auslaufbauwerk, Abschnitt 4

Das Auslaufbauwerk steht auf Molassefels. Die Aushub- und Betonierungsarbeiten wurden im Schutze einer bis auf den Fels geschlagenen *Spundwand* ausgeführt. Die wichtigsten Ausmasse lauten:

Felsausbruch	1080 m <sup>3</sup>
Beton	380 m <sup>3</sup>
Schalung	600 m <sup>2</sup>
Armierung	9 t

#### Baukosten

Die Baukosten der grossen Sammelkanäle von total rund 3 km Länge mit Schächten und Spezialbauwerken betragen 23,8 Mio Franken (ohne Honorare). Alle drei Bauabschnitte konnten innerhalb des Kostenvoranschlages abgerechnet werden. Die Tabelle 2 zeigt die Kosten der einzelnen Objekte.

Adresse der Verfasser: H. Grossen, dipl. Ing. ETH, und W. Müller, Ing. SIA, c/o Ingenieur-Unternehmung AG Bern, Thunstr. 2, 3000 Bern 6

## Wasserelektrolyse, Basis einer künftigen Wasserstoffwirtschaft

Von M. Braun, Baden

Die Primärenergien der Zukunft (Kohle, Wasserkräfte, Kern- und Sonnenenergie) fallen meist nicht am gewünschten Ort, nicht zur gewünschten Zeit und nicht in der gewünschten Form an. Die Verbindung zwischen Primärenergie und Energieendverbrauchern übernehmen Sekundärenergieträger wie beispielsweise die Elektrizität.

Ein *Sekundärenergieträger*, von dem viele Fachleute annehmen, dass er in Zukunft neben der *Elektrizität* und der *Fernwärme* zur Nutzung der Abwärme von Wärmekraftwerken eine wichtige Rolle spielen werde, ist der Wasserstoff. Er weist nämlich folgende *Vorzüge* auf:

- Er ist kompatibel mit den zukünftigen Hauptenergiequellen, d.h., er lässt sich sowohl aus fossilen (Kohle, Teersande) als auch mit Hilfe nicht fossiler (Kernkraftwerk, geothermischen und solaren) Energiequellen aus Wasser herstellen.
- Er ist kompatibel mit andern sekundären Energieträgern, z.B. mit der Elektrizität. Mit ihrer Hilfe kann er durch Elektrolyse aus dem Wasser gewonnen und in Brennstoffzellen oder Gasturbogeneratoren wieder in sie zurückverwandelt werden. Er eignet sich auch als Brennstoff für Heizkraftwerke.
- Er ist kompatibel mit den meisten Energieendformen, d.h., er lässt sich beim Endverbraucher in elektrische Energie umwandeln. Er kann aber auch direkt in Wärmekraftmaschinen (wie Kolbenmotoren oder Turbinen) oder in

Haushalt und Industrie zu Wärmegewinnungszwecken verbrannt werden.

- Wasserstoff ist speicherbar, sowohl im gasförmigen (Druckflasche, Aquiferspeicher) als auch im flüssigen (Kryotanks) oder festen Zustand (Metallhydride).
- Bei der Verteilung von Wasserstoff kann auf bestehende Infrastrukturen zurückgegriffen werden, z.B. auf Erdgasnetze nach geringfügigen Modifikationen.
- Er ist umweltfreundlich. Wasserstoff lässt sich aus Wasser herstellen. Einziges Nebenprodukt ist dabei Sauerstoff. Bei der Verbrennung von Wasserstoff entsteht wieder nur Wasser. Das Verbrennungsprodukt NO<sub>x</sub> kann bei richtiger Prozessführung vermieden werden. Wasserstoff ist daher der sauberste chemische Brennstoff überhaupt; seine Verbrennung beeinflusst auch den CO<sub>2</sub>-Kreislauf der Natur nicht.
- Er ist bezüglich Sicherheit im praktischen Einsatz dem Erdgas ungefähr gleichzustellen.

#### Gegenwärtiger Stand und Entwicklungsmöglichkeiten

Schon heute gibt es einen ansehnlichen Markt für Wasserstoff. Damit ist selbstverständlich auch ein breites Know-how für Erzeugung, Speicherung Transport und Verwendung vorhanden. Dieser Markt hat ein Volumen von über 270 × 10<sup>3</sup> m<sup>3</sup>, entsprechend 25 × 10<sup>2</sup> t und wächst mit rund 7% je Jahr (Tab. 1).