

# Entwicklung einer Trinkwasserbohrung mit Salzsäure

Autor(en): **Ziegler, Hans-Jakob**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin der Vereinigung Schweiz. Petroleum-Geologen und -Ingenieure**

Band (Jahr): **59 (1992)**

Heft 135

PDF erstellt am: **12.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-216067>

## **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.

# Entwicklung einer Trinkwasserbohrung mit Salzsäure

mit 5 Figuren

von HANS-JAKOB ZIEGLER<sup>1)</sup>

## *Zusammenfassung*

Im Zusammenhang mit dem Bau des Tunnels Pierre Pertuis der N16 wurde in Tavannes (Berner Jura) eine 468 m tiefe Bohrung in den Karstwasserleiter (Malm) abgeteuft. In dieser Bohrung wurde im Malm eine Schichtwiederholung festgestellt, die am ehesten auf eine Auf- bzw. Überschiebung zurückzuführen ist.

Die Bohrung wurde in drei Etappen mit insgesamt knapp 50 m<sup>3</sup> Salzsäure entwickelt. Die Wirksamkeit dieser Salzsäureinjektionen mit dem dabei entstehenden Gasdruck wurde mittels Pumpversuchen und Überwachung des artesischen Ausflusses überprüft. Mit diesen Massnahmen konnte der artesische Ausfluss um das 2<sup>1/2</sup>-fache und der Leistungsquotient des Brunnens um das 3-fache erhöht werden.

## *Résumé*

Au cours de la construction du tunnel Pierre Pertuis de la N 16 à Tavannes (Jura bernois) on a foncé un forage avec une profondeur de 468 m dans l'aquifère karstique du Malm. Dans ce forage, on a constaté une répétition des couches du Malm qui sont à attribuer au plus probable à un type pli-faille ou un chevauchement.

Le forage a été développé par trois injections d'acide chlorhydrique (en total presque 50 m<sup>3</sup>). Les résultats de ces injections ont été contrôlé par moyen des essais de pompage et des measurements du débit artésien. Par ces mesures, le débit artésien a pu être augmenté deux fois et demie et le quotient de puissance du puits trois fois.

## **1. Einleitung**

Die beiden Tunnels «Côte de Chaux» und «Pierre Pertuis» der Nationalstrasse N16 (Biel — Delsberg) verlaufen innerhalb der Schutzzonen der Birs- resp. der Cuchattequelle, welche für die Wasserversorgungen der Gemeinden Tavannes, Reconvilier und Sonceboz (Berner Jura) genutzt werden. Während der Bauzeit dieser zwei doppelspurigen Tunnels kann somit eine Beeinträchtigung dieser zwei bedeutenden Karstquellen nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden. Daher — und auch im Hinblick auf den zukünftigen grossen Zusatzwasserbedarf für den Brandschutz und die Unterhaltsarbeiten in den Tunnels — beteiligte sich der Kanton Bern an der Neukonzeption der Wasserversorgung der 3 erwähnten Gemeinden.

Da in diesem Gebiet in den letzten Jahren während Trockenzeiten ohnehin grosse Versorgungsgänge auftraten, sollte mit den neuen Fassungen effektiv auch neue, bis anhin ungenutzte Wasservorkommen erschlossen werden. Zudem sollten diese neu zu erschliessenden Wasservorkommen möglichst ausserhalb des Einflussbereiches der N16 liegen, damit bei einer denkbaren temporären Verunreinigung der bestehenden Karstquellen durch den Strassenbau Ersatzwasser zur Verfügung steht.

---

1) KELLERHALS + HÄFELI AG, Geologiebüro, 3011 Bern

Nach sorgfältiger Abwägung der hydrogeologischen, schutztechnischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkte wurde beschlossen, durch eine Tiefbohrung den durch undurchlässige Molasse überdeckten Karstwasserleiter im Malmkalk in der komplex aufgebauten Mulde des Tales von Tavannes zu erschliessen.

Die Bohrstandortwahl erfolgte dabei nach den folgenden Kriterien:

- Axialbereich einer Sekundärantiklinale (potentielle Fließwege in offenen Klüften, geringe Bohrtiefe);
- intensive Klüftung möglichst in Kombination mit grösseren Brüchen und Störungszonen (Durchlässigkeit, Wasserzufuhr);

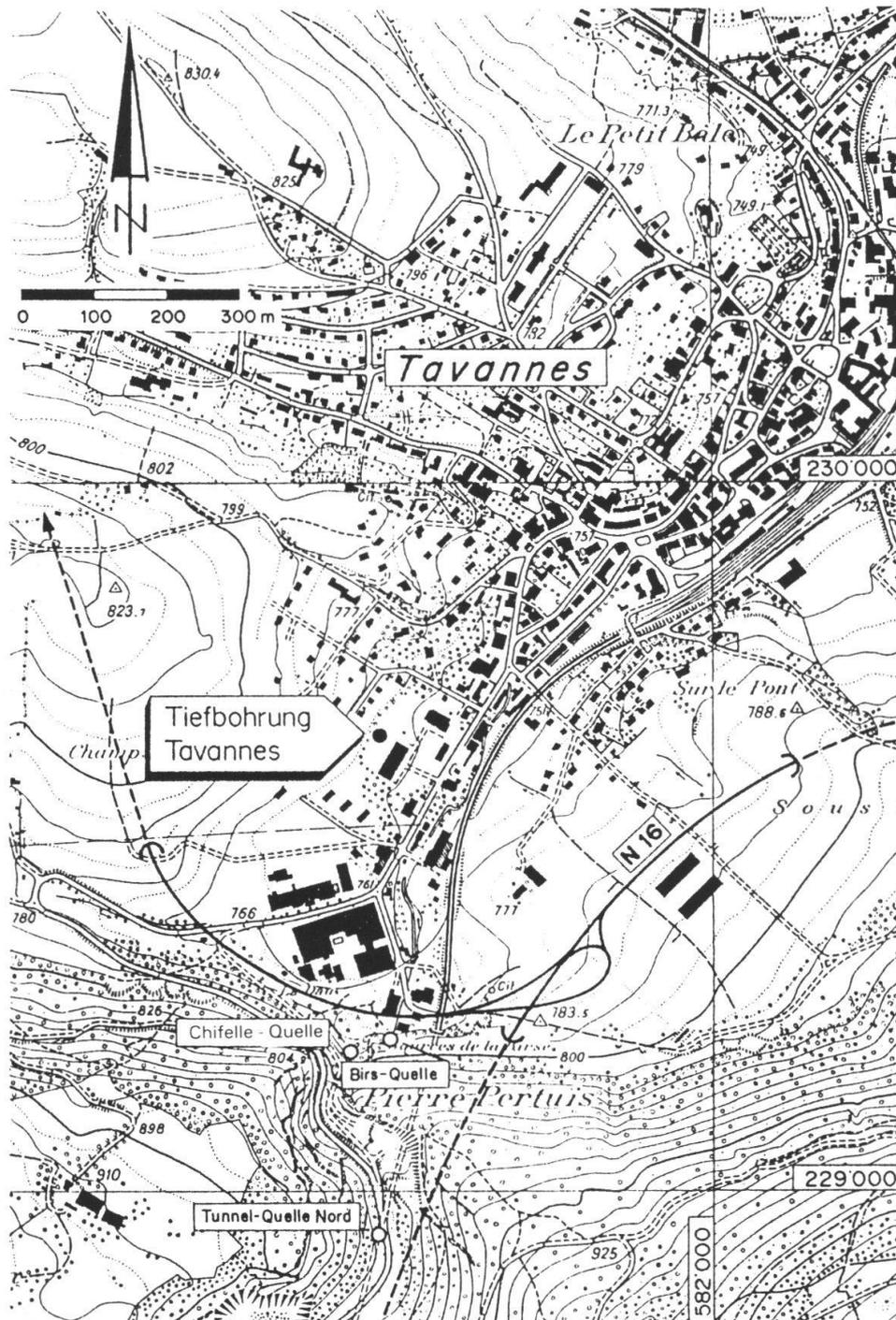


Fig. 1:  
Lage der Bohrstelle

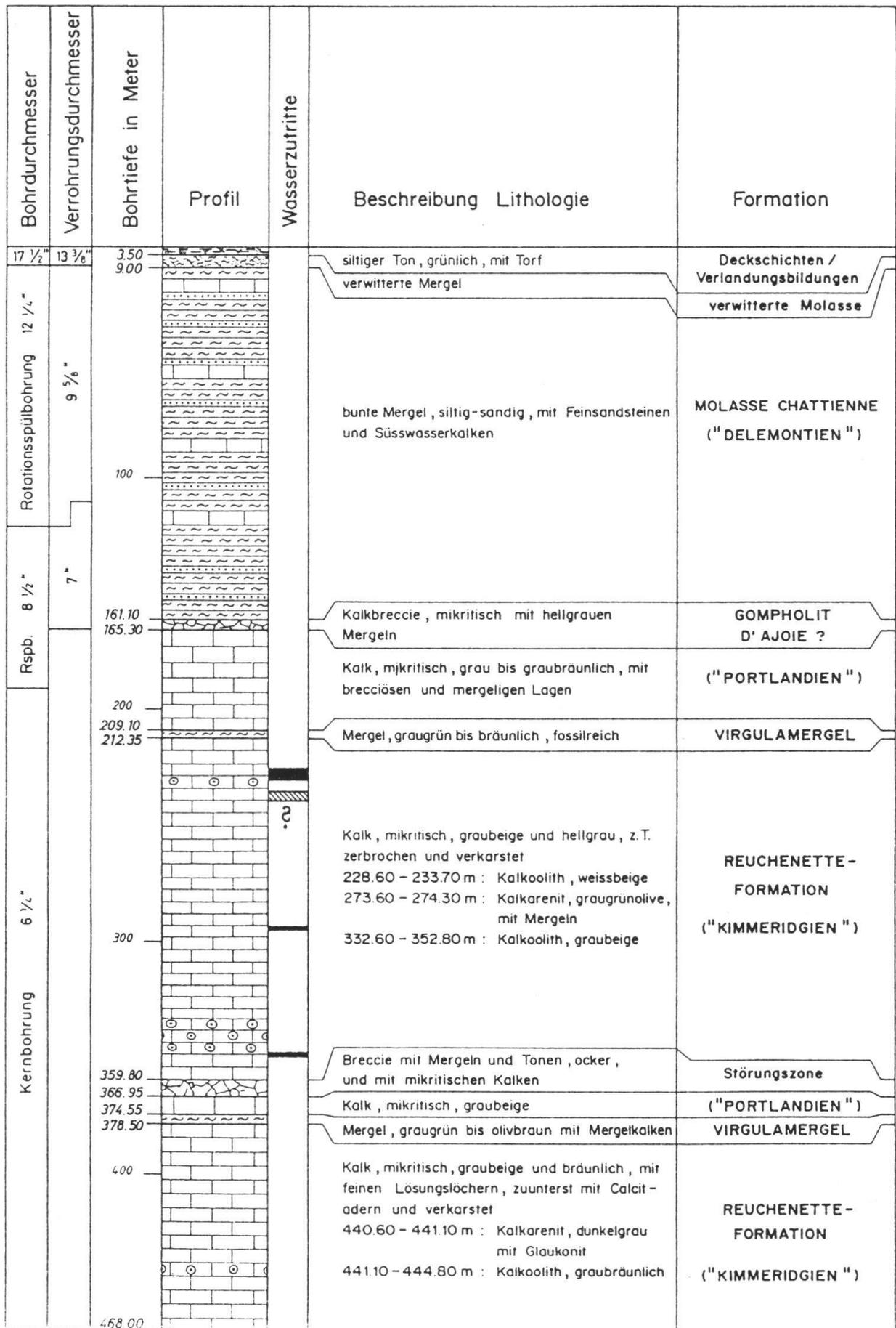
- randlicher Bereich des Beckens von Tavannes (geringere Bohrtiefe);
- grosses, hoch gelegenes Einzugsgebiet (Wassermenge, Wasserdruck);
- Karstwasserleiter mit gering durchlässigen Schichten überdeckt (Schutzzone);
- günstige Distanz zum Versorgungsgebiet (Kosten).

Entsprechende geologisch-strukturelle Analysen und Konstruktionen führten zu dem in Figur 1 dargestellten Standort. Wegen der Lage des Standortes mitten im Dorf Tavannes musste auf vorgängige geophysikalische Untersuchungen verzichtet werden.

## **2. Geologisches Profil der Bohrung**

Das generelle Bohrprofil ist aus der Figur 2 ersichtlich. Unterhalb der von 359.80 - 366.95 m durchbohrten Störungszone wurde eine Repetition der leicht kenntlichen Virgulamergel festgestellt. Ebenfalls zweimal durchfahren wurde der rund 60 m unter den Virgulamergeln, innerhalb der Reuchenette-Formation liegende, graugrüne Kalkarenit-Horizont. Ob es sich bei der Störungszone um eine Auf- bzw. Überschiebung oder um einen Bruch mit einem Versatz von rund 160 m handelt, kann aufgrund des Kernbefundes nicht entschieden werden. Fürs erstere spricht aber das relativ flache Einfallen von 20° - 30° dieser Zone.

→ Fig. 2

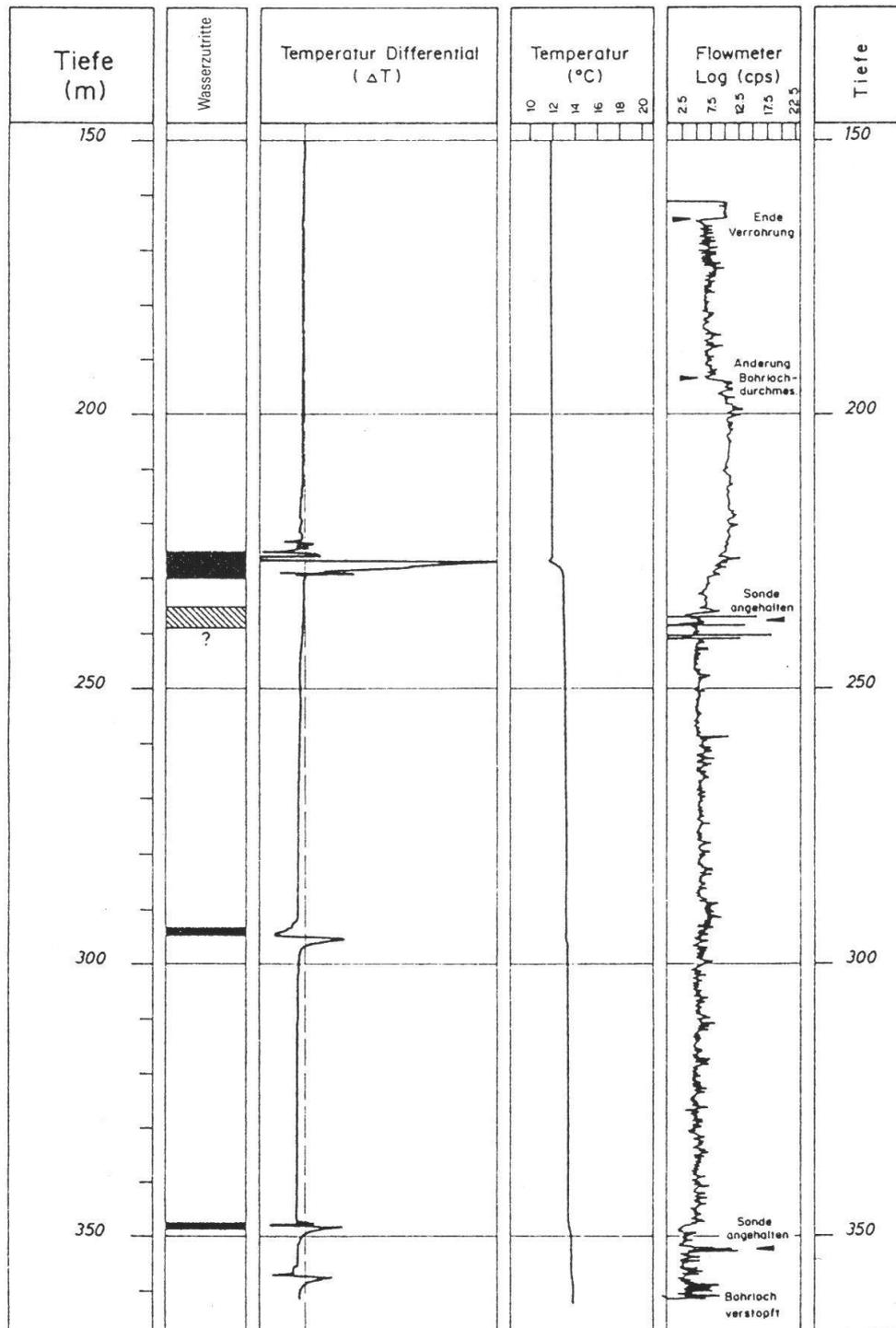


Figur 2: Geologisches Profil der Bohrung Tavannes

Die Schichten des Malm fallen generell mit 20° - 40° ein.

Anhand der relativ häufig auftretenden Breccierung und der Mergellinsen kann geschlossen werden, dass die Bohrung im Übergangsbereich zwischen süd- und nordjurassischer Facies liegt.

Die Bohrung durchfuhr bei 222 - 234 m, 315 - 332 m, 394 - 396 m, 420 - 430 m, 441 - 442 m und 448 - 450 m stärker zerbrochene und verkarstete Zonen. Die mit dem Flowmeter-Log (Figur 3) festgestellten Wasserzutritte korrespondieren jedoch nur im oberen Teil der Bohrung mit verkarsteten Zonen. Unterhalb von knapp 300 m Tiefe stehen sie dagegen in Verbindung mit einzelnen offenen Klüften.



**Figur 3:**  
Geophysikalische  
Bestimmung der  
Wasserzutritte

Schon beim Anfahren der ersten verkarsteten Zone trat im Bohrloch ein artesischer Wasserzutritt auf (Druckhöhe 0.2 — 0.5 bar). Um die Bohrung fortsetzen zu können, musste deshalb das spezifische Gewicht der Spülung leicht erhöht werden.

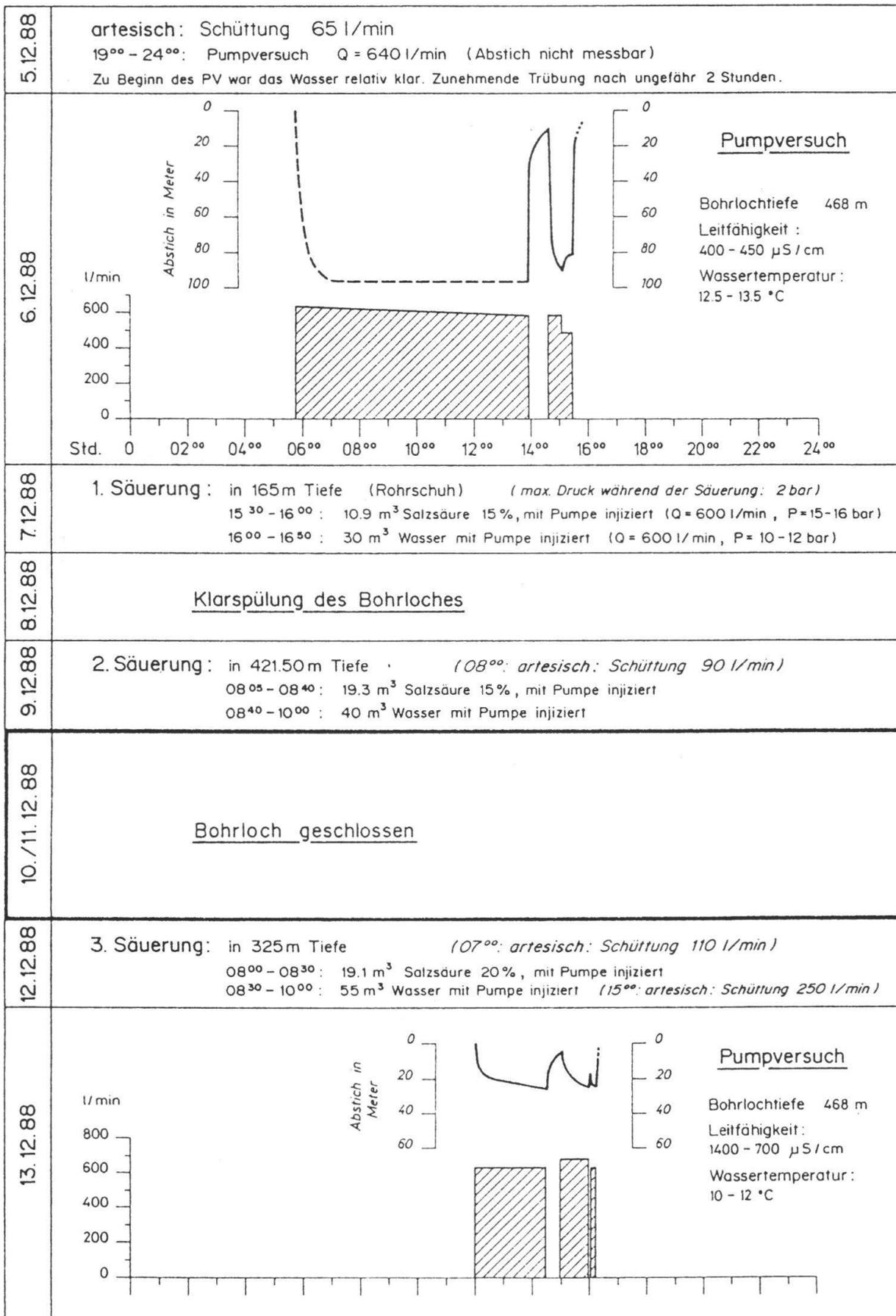
### **3. Entwicklung der Bohrung**

Nach Abschluss der Bohrarbeiten wurde ein Kurzpumpversuch durchgeführt, mit dem die angestrebte Fördermenge von 1'100 l/min nicht erreicht wurde. Daher entschied man sich zu einer Entwicklung der Bohrung mittels Säuerung. Zu diesem Zweck wurde in 2 Etappen 15%ige- und in einer dritten, abschliessenden Etappe 20%ige-Salzsäure in verschiedenen Tiefen ins Bohrloch injiziert (Figur 4). Daraufhin wurde der Kurzpumpversuch wiederholt, um die Wirksamkeit der Salzsäureinjektionen zu überprüfen.

Praktisch wurde so vorgegangen, dass die in Tankwagen angelieferte Salzsäure in die Spülbecken gefördert und von dort aus sofort mit der Spülpumpe durchs Bohrgestänge ins Bohrloch gepresst wurde. Dies war notwendig, weil die auf den Tankwagen installierten Pumpen keine ausreichende Leistung aufwiesen. Trotz dieser kurzfristigen, offenen Zwischenlagerung der Salzsäure war das Tragen von Schutzkleidung nicht erforderlich. Für die Injektion in verschiedenen Tiefen wurde das Bohrloch nicht mit zusätzlichen Packern unterteilt. Einzig das Bohrgestänge, über das die Injektion erfolgte, wurde bis in die gewünschten Tiefen eingebaut.

Mit diesen Injektionen sollten vor allem die vorhandenen Klüfte und Verkarstungen von Lehmbelegen gereinigt und erweitert werden. Dagegen war eine Erweiterung des Bohrloches unerwünscht, da dies zu Instabilitäten führen könnte. Deshalb, und um die Salzsäure möglichst weit ins Gestein hinein zu pressen, wurde direkt nach der jeweiligen Injektion rund die doppelte Menge Wasser nachgepresst. Anschliessend wurde das Bohrloch mit dem Preventer verschlossen und während zwei bis drei Stunden der einsetzende Druckaufbau kontrolliert. Daraufhin wurde das Bohrloch wieder geöffnet und mindestens 34 h bis zur nächsten Säuerung gewartet. Während dieser Zeit konnte wegen dem artesischen Druck das Wasser frei ausfliessen. Das ausfliessende Wasser wurde laufend auf seinen Säuregehalt kontrolliert, um das in die Kanalisation abgeleitete Wasser gegebenenfalls sofort mit Kalk neutralisieren zu können. Dies war, in geringem Umfang, nur nach der ersten Säuerung notwendig.

→ Fig. 4



Figur 4: Entwicklung der Bohrung

Bei der Salzsäureinjektion im Kalk läuft die folgende chemische Reaktion ab :



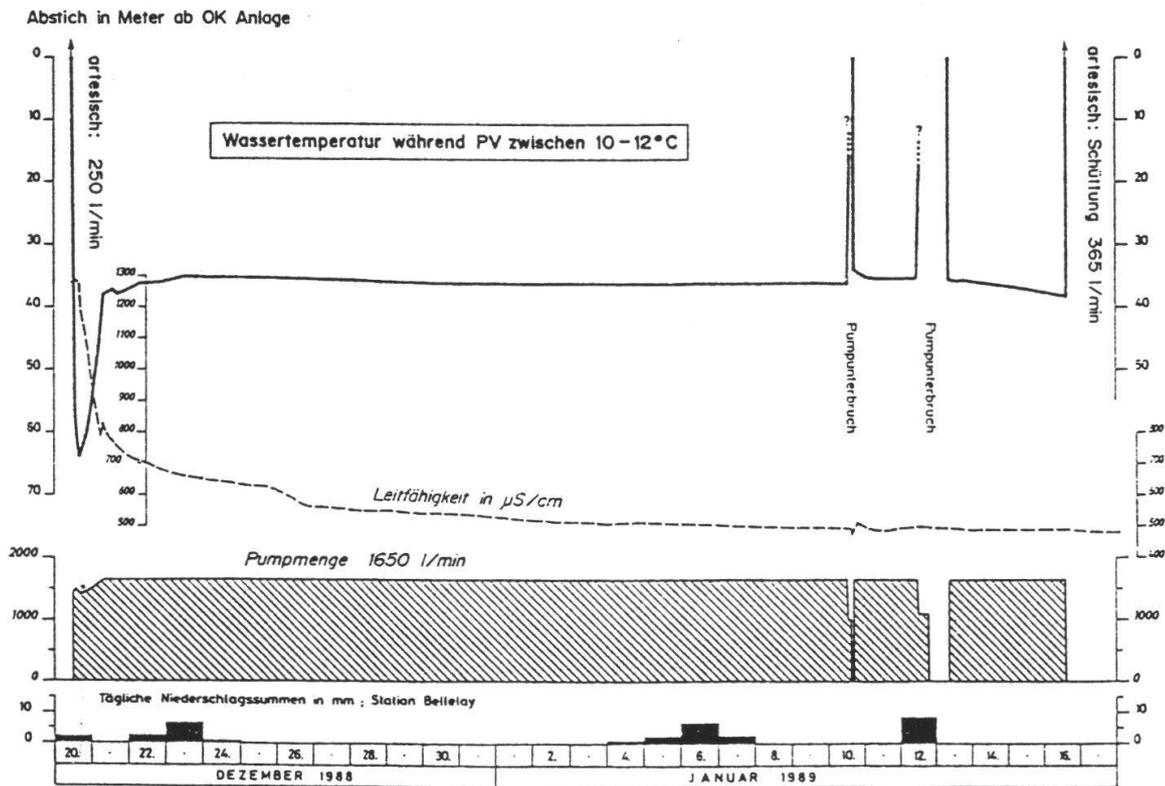
Daraus ergibt sich, dass mit einem Liter 15%iger Salzsäure ca. 225 g Kalk gelöst werden kann und dabei etwa 250 g  $\text{CaCl}_2$  sowie 50 l  $\text{CO}_2$  entsteht. Bei einem Liter 20%iger Salzsäure würden ca. 300 g Kalk gelöst. Die Wirkung der Salzsäureinjektion besteht aber nicht primär in der Kalklösung. Mit dem gewählten Vorgehen wurde die Salzsäure ja in die Klüfte gepresst. Durch den Verschluss der Bohrung baut sich in ihnen und den oft leicht verstopften Karstsystemen ein  $\text{CO}_2$ -Gasdruck auf, der dazu führt, dass Kluftfüllungen gelockert und teilweise ausgesprengt und damit die Durchflussbedingungen verbessert werden.

Durch die Salzsäurereaktion im Bohrloch dürften insgesamt ca. 5 m<sup>3</sup> Kalk gelöst worden sein. Wie das nach den Injektionen gefahrene Kaliber-Log zeigte, ergaben sich keine wesentlichen Bohrerweiterungen. Die Salzsäureinjektionen bewirkten also, wie erhofft, vorwiegend eine Ausweitung bzw. Aktivierung der Klüfte. In Berücksichtigung, dass die ausgesprengten Kluftfüllungen nur zum Teil aus Kalk bestehen, ist anzunehmen, dass insgesamt über 10 m<sup>3</sup> Gestein gelöst oder aus den Klüften entfernt worden sind. Knapp 2 m<sup>3</sup> dieses Materials befanden sich nach der Säuerung im untersten Teil des Bohrloches.

Der Erfolg der Salzsäureinjektionen zeigte sich darin, dass sich der artesische Ausfluss am Bohrlochkopf von anfänglich 65 l/min auf 165 l/min nach der dritten Säuerung erhöhte. Zudem konnte im anschliessenden Kurzpumpversuch eine Verdreifachung des ursprünglichen Leistungsquotienten (Pumpmenge/Absenkung) nachgewiesen werden (Figur 4).

Die grosse Auswirkung der Auflockerung der Kluftfüllungen zeigte sich aber erst während des folgenden Langzeitpumpversuches, bei dem die Ergiebigkeit des Brunnens noch einmal wesentlich erhöht werden konnte. Wie aus der Figur 5 ersichtlich ist, fiel der Wasserspiegel bei Beginn des Pumpversuches um rund 65 m ab, um daraufhin relativ rasch wieder etwa 30 m anzusteigen. Dies zeigt deutlich, dass mit den Salzsäureinjektionen eine namhafte Lockerung bzw. Loslösung von Kluftfüllungen erzielt wurde, die dann zu Beginn des Pumpversuches durch den dabei entstandenen Unterdruck ausgespült werden konnten. Daneben erfolgte mit Sicherheit noch eine gewisse zusätzliche «Entsandung» des Bohrloches.

→ Fig. 5



Figur 5: Langzeitpumpversuch in der Bohrung Tavannes

Die Qualität des geförderten Wassers wurde durch die Salzsäureinjektionen längerfristig nicht beeinträchtigt. Dies zeigten die durchgeführten Analysen deutlich. So nahmen zum Beispiel die anfangs wegen den gelösten Salzen stark erhöhten Leitfähigkeitswerte während dem Langzeitpumpversuch relativ rasch auf den vor der Säuerung vorhandenen Wert ab. Dasselbe gilt auch für die durch die Auflockerung und Auflösung entstandene Trübung, wobei diese aber wesentlich langsamer abnahm.

Wie mit einem zu einem späteren Zeitpunkt im Zusammenhang mit der Ausscheidung von Schutzzonen durchgeführten Färbversuch nachgewiesen werden konnte, wird in der Tiefbohrung Tavannes zum Teil auch Wasser mit einer sehr geringe Verweilzeit gefördert (ca. 90 m/Std). Dies führt dazu, dass das Wasser wegen den nach Niederschlägen auftretenden Trübungen und der ungenügenden Bakteriologie für die Trinkwassernutzung aufbereitet werden muss.

### Verdankungen

Dem Tiefbauamt des Kanton Bern (Hr. K. Jenk, Hr. F. Giudicetti) ist für den Entscheid zur Durchführung dieser Arbeiten sowie für die Bewilligung zur Publikation dieser Arbeit zu danken. Dank geht auch an Herrn Dr. P. Kellerhals für die entscheidenden Diskussionen sowie an Herrn Dr. A. Isler für die Durchsicht des Manuskriptes und an Herrn D. Baccalà für die Reinzeichnung der Figuren.

