

Zeitschrift: Bulletin der Vereinigung Schweiz. Petroleum-Geologen und -Ingenieure
Herausgeber: Vereinigung Schweizerischer Petroleum-Geologen und -Ingenieure
Band: 59 (1992)
Heft: 135

Artikel: Entwicklung einer Trinkwasserbohrung mit Salzsäure
Autor: Ziegler, Hans-Jakob
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-216067>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 26.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Entwicklung einer Trinkwasserbohrung mit Salzsäure

mit 5 Figuren

von HANS-JAKOB ZIEGLER¹⁾

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 m³ 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 2½- 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 m³). Les résultats de ces injections ont été contrôlé par moyen des essais de pompage et des mesurements 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 Cuchatquelle, 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 Versorgungsengpässe 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, Wasserzufluss);

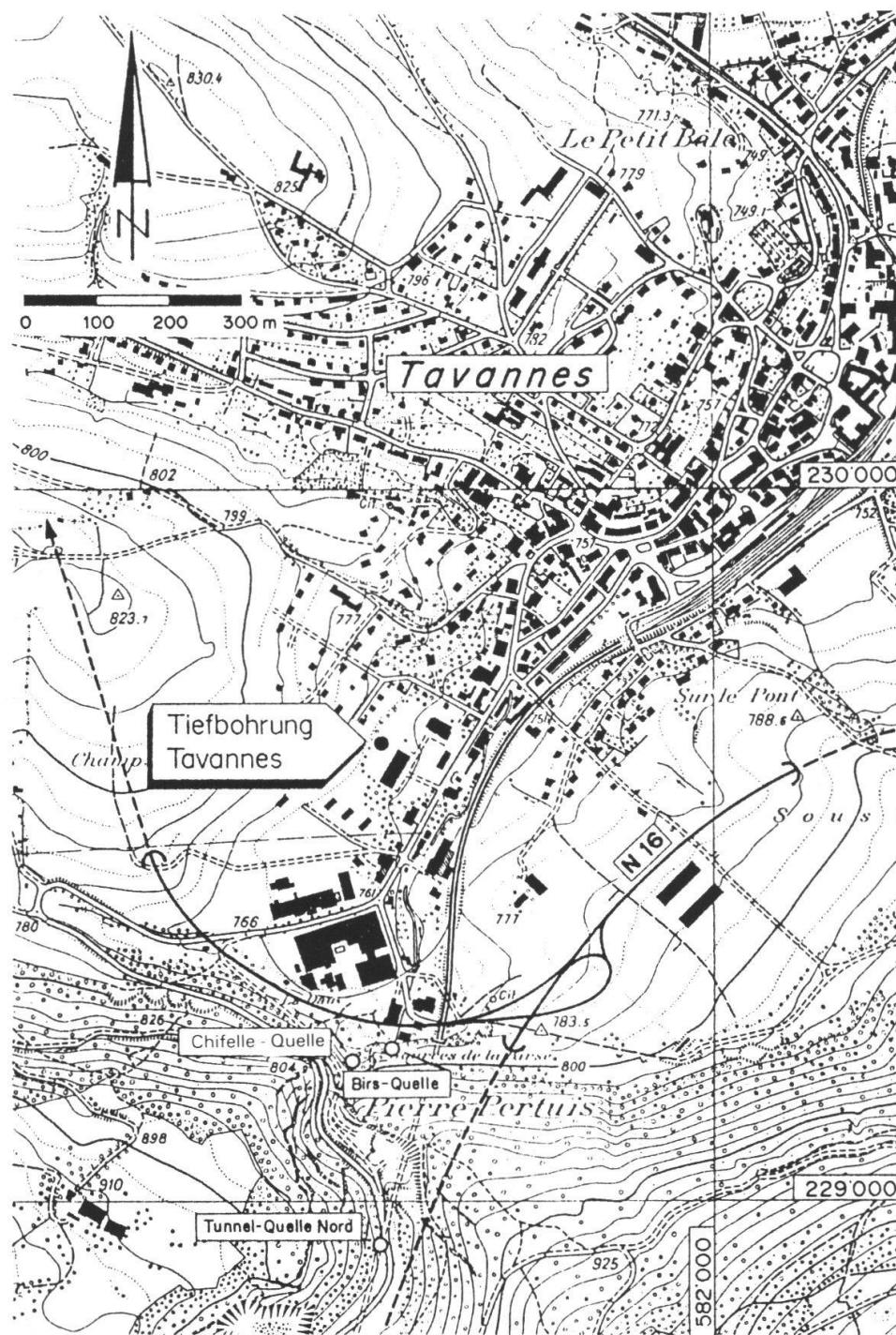


Fig. 1:
Lage der Bohrstelle

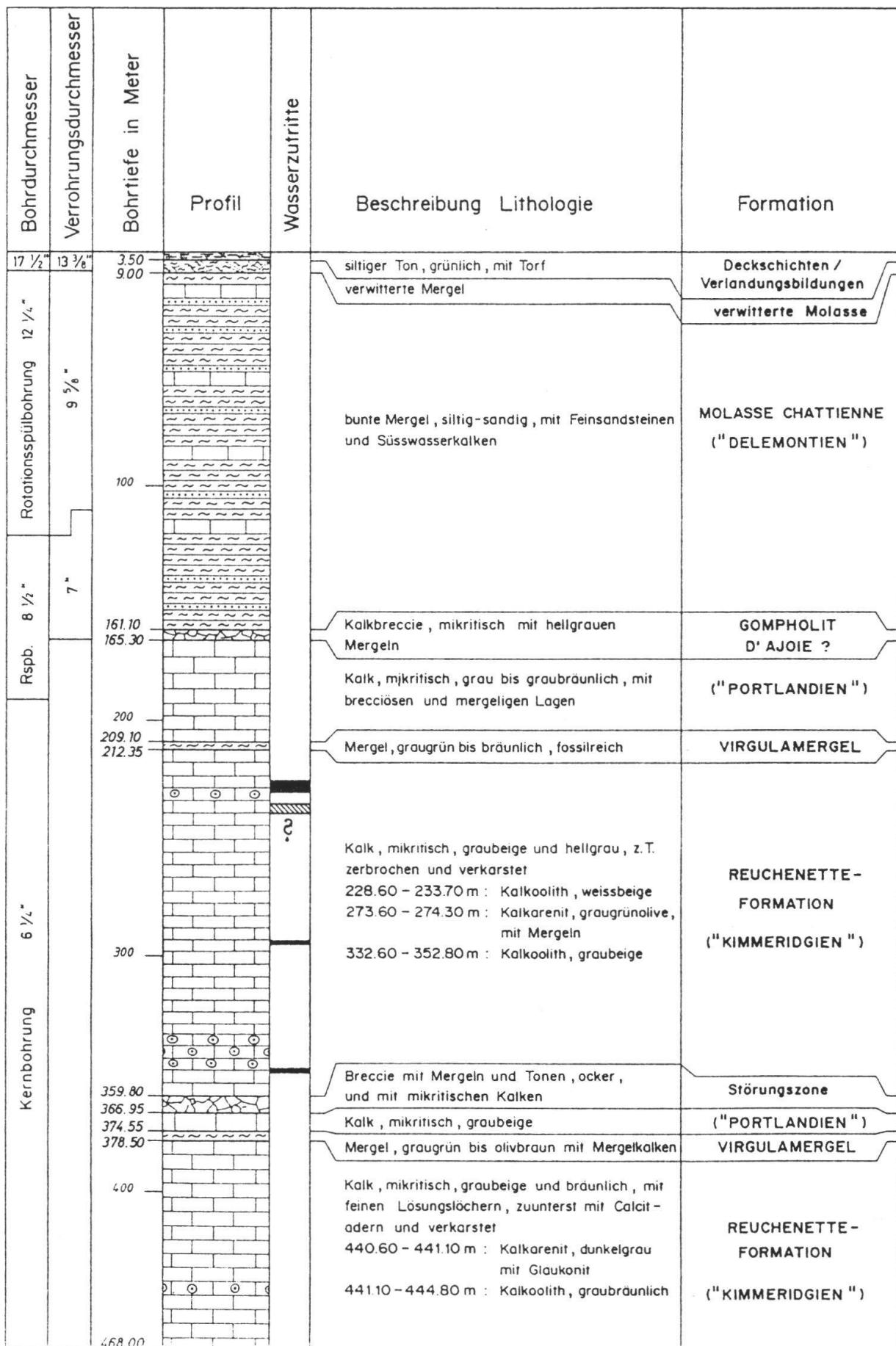
- randlicher Bereich des Beckens von Tavannes (geringere Bohrtiefe);
- grosses, hoch gelegenes Einzugsgebiet (Wassermenge, Wasserdruck);
- Karstwasserleiter mit gering durchlässigen Schichten überdeckt (Schutzzone);
- günstige Distanz zum Versorgungsgebiet (Kosten).

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 Kal-karenit-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**

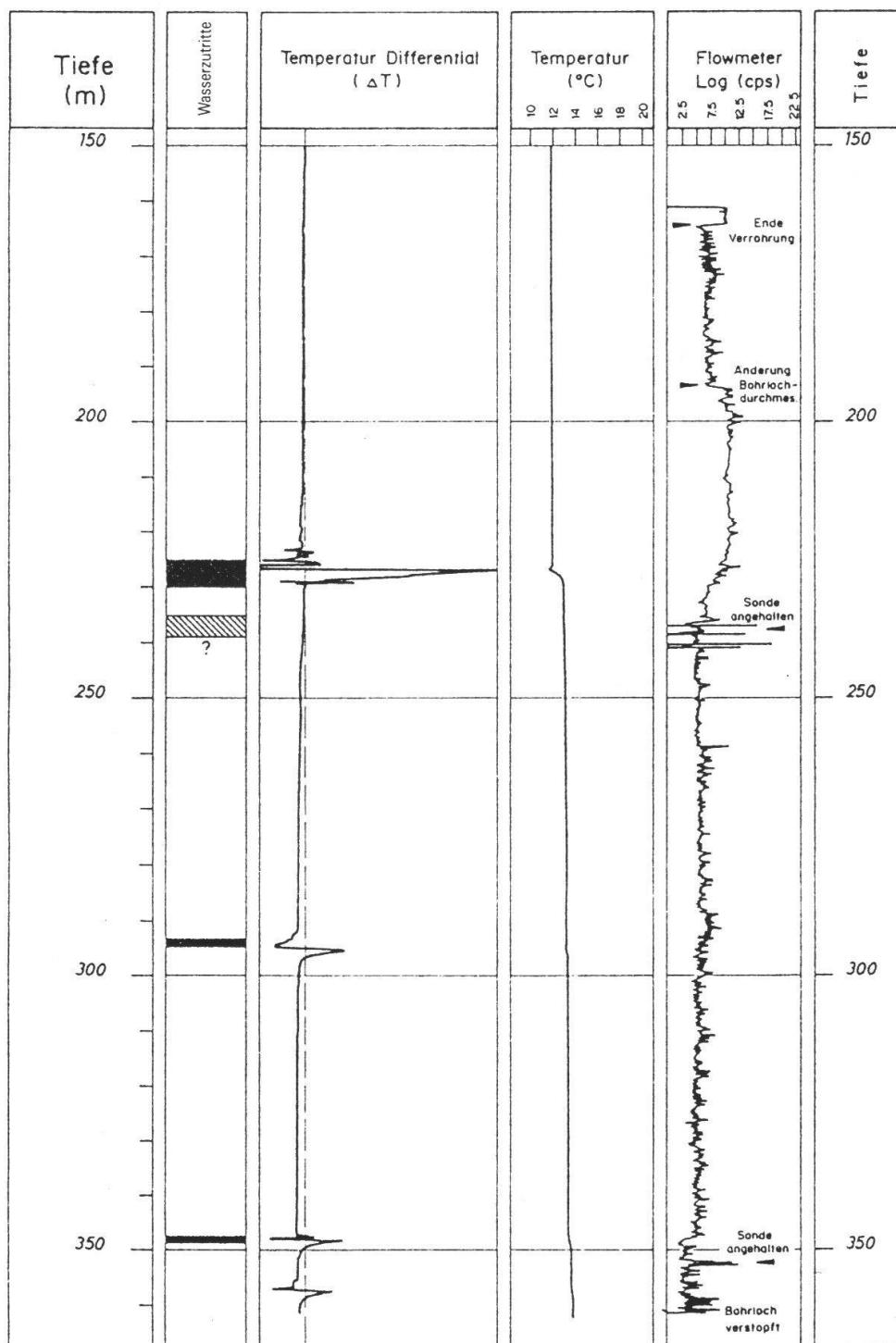


Figur 2: Geologisches Profil der Bohrung Tavannes

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.

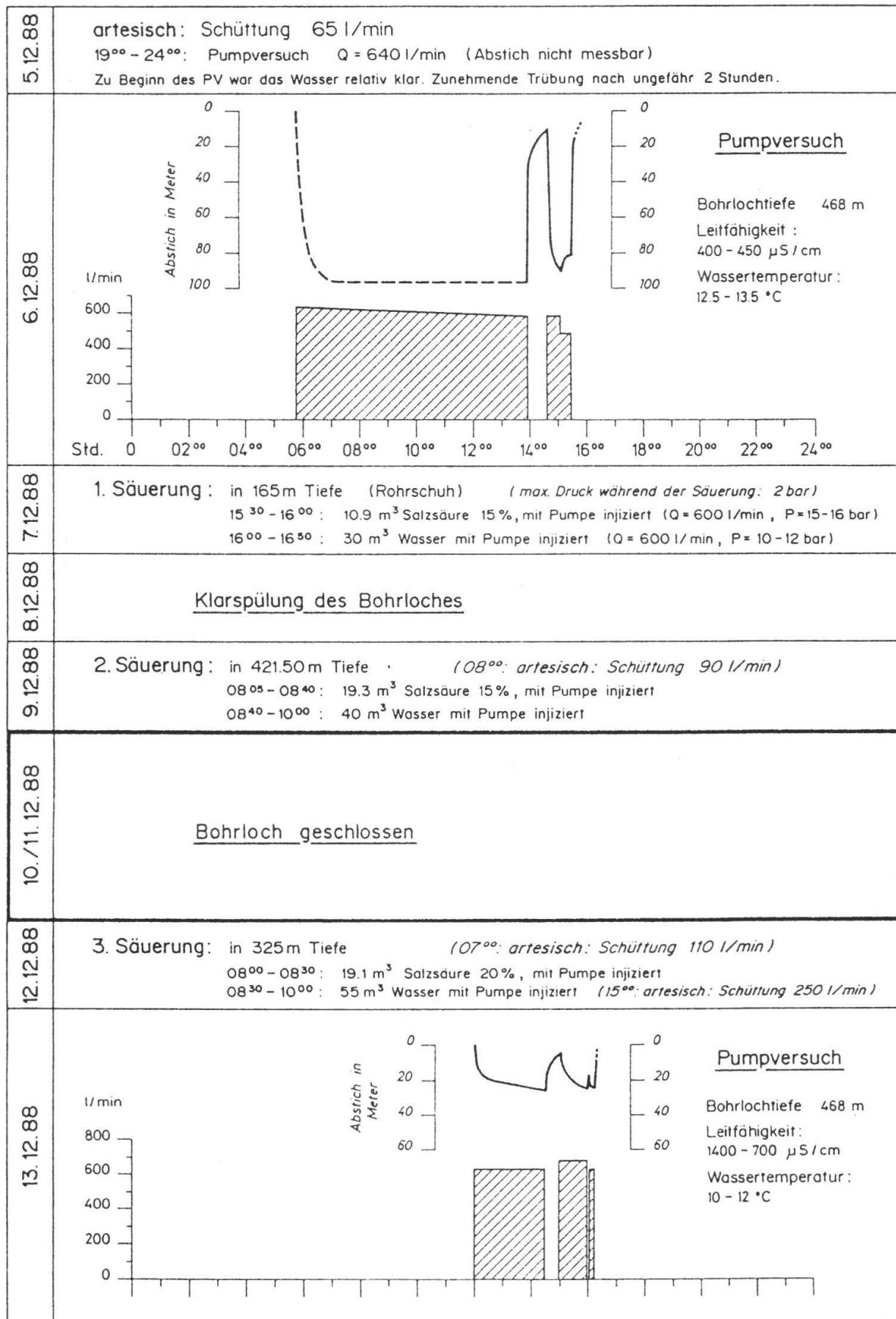
3. Entwicklung der Bohrung

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 Lehmbelägen 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 :



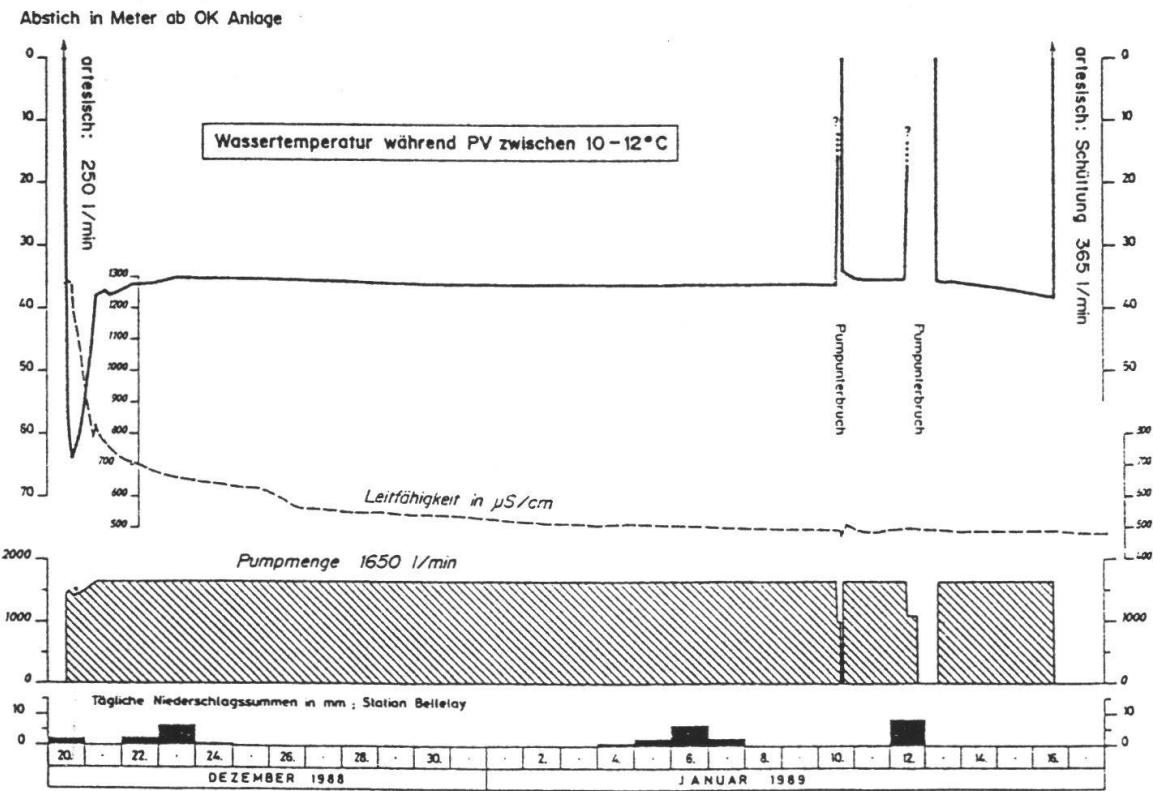
Daraus ergibt sich, dass mit einem Liter 15%iger Salzsäure ca. 225 g Kalk gelöst werden kann und dabei etwa 250 g CaCl_2 sowie 50 l CO_2 entsteht. Bei einem Liter 20%iger Salzsäure würden ca. 300 g Kalk gelöst. Die Wirkung der Salzsäureinjektion besteht aber nicht primär in der Kalklösung. Mit dem gewählten Vorgehen wurde die Salzsäure ja in die Klüfte gepresst. Durch den Verschluss der Bohrung baut sich in ihnen und den oft leicht verstopften Karstsystmen ein 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 m³ Kalk gelöst worden sein. Wie das nach den Injektionen gefahrene Kaliber-Log zeigte, ergaben sich keine wesentlichen Bohrlocherweiterungen. Die Salzsäureinjektionen bewirkten also, wie erhofft, vorwiegend eine Ausweitung bzw. Aktivierung der Klüfte. In Berücksichtigung, dass die ausgepressten Kluftfüllungen nur zum Teil aus Kalk bestehen, ist anzunehmen, dass insgesamt über 10 m³ Gestein gelöst oder aus den Klüften entfernt worden sind. Knapp 2 m³ 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 durchgeföhrten 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 durchgeföhrten Färbversuch nachgewiesen werden konnte, wird in der Tiefbohrung Tavannes zum Teil auch Wasser mit einer sehr geringen 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.

