

Probleme der Grundwassererschliessung und des Grundwasserschutzes im schweizerischen Mittelland

Autor(en): **Rutsch, Rolf F.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Eclogae Geologicae Helvetiae**

Band (Jahr): **63 (1970)**

Heft 2

PDF erstellt am: **17.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-163855>

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.

Eclogae geol. Helv.	Vol. 63/2	Seiten 483–499	8 Figuren	Basel, Juli 1970
---------------------	-----------	----------------	-----------	------------------

Probleme der Grundwassererschliessung und des Grundwasserschutzes im schweizerischen Mittelland

Von ROLF F. RUTSCH (Bern)

ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit wird versucht, die Fest- und Lockergesteins-Grundwässer des schweizerischen Mittellandes nach geologisch-genetischen Kriterien zu klassifizieren. An Hand einiger Beispiele wird die Bedeutung geologischer und geophysikalischer Voruntersuchungen für die Grundwassererschliessung aufgezeigt. Selbst in Talläufen, die bisher für eine Grundwassererschliessung als ungeeignet galten, gelang es, dank geologischer und seismischer Explorationsarbeiten, alte verschüttete Rinnen mit bedeutender Grundwasserführung festzustellen. In derartigen Fällen sind Entnahmetrichter und Entnahmbreite eines Filterbrunnens weitgehend durch die Gestalt der ursprünglichen Talläufe bedingt; die beobachtete Unt. Kulmination kann von der rechnerisch ermittelten weitgehend abweichen.

Zur Festlegung von Schutzzonen ist jede schematische Grenzziehung abzulehnen. Testversuche haben gezeigt, dass die in der Literatur geforderten Zeiten für die Verweildauer praktisch überhaupt nicht in Betracht kommen. Aus wirtschaftlichen Gründen ist es häufig sogar unmöglich, den Perimeter des Entnahmetrichters in die «Engere Schutzzone» einzubeziehen. Sportplätze sind in der «Engeren Schutzzone» nicht ohne weiteres zulässig. Schutzzonengrenzen sind immer fallweise zu bestimmen und dürfen in der Planung nicht schematisch festgelegt werden.

INHALT

1. Einleitung	483
2. Festgesteinsgrundwasser	484
2.1. Der mesozoische Untergrund des Molassebeckens	484
2.2. Grundwasserführung der Molasse	486
3. Lockergesteinsgrundwasser	486
4. Grundwassererschliessung	488
4.1. Grundwasserführung des Sensetales	489
4.2. Grundwasservorkommen im Schuttkegel des Dürrbachs bei Bowil	490
5. Grundwasserschutz: Grundwasservorkommen im Worblental	493
Literaturverzeichnis	498

1. Einleitung

Das schweizerische Mittelland, der zwischen Genfersee, Bodensee, Jurasüdrand und Alpennordrand gelegene Abschnitt der perialpinen Senke, umfasst ungefähr einen Drittel der Gesamtfläche der Schweiz und ist – neben der Region von Basel und dem Südtessin – der am dichtesten besiedelte und am stärksten industrialisierte Teil unseres Landes (siehe E. TRÜEB, 1969, Fig. 2, S. 4).

Grundwassererkundung, Grundwassererschliessung und gezielte Grundwassernutzung bilden hier eine der dringendsten Aufgaben der Orts- und Regionalplanung (BALDINGER 1969, CLERC 1969, TRÜEB 1969, UMBRICH 1968).

Bevor wir im folgenden auf einige Probleme der Grundwassererschliessung und des Grundwasserschutzes eintreten, ist es unumgänglich, den Begriff «Grundwasser» zu definieren, den man in der Schweiz immer noch in sehr verschiedenem Sinn verwendet, dies nicht zuletzt wegen der unglücklichen Formulierung im Schweiz. Lebensmittelbuch (S. 216).

Unseren Ausführungen liegen nachstehende Begriffsbestimmungen zugrunde:

- Grundwasser: Wasser, das Hohlräume der Erdrinde zusammenhängend ausfüllt und nur der Schwere (hydrostatischer Druck) unterliegt (DIN 4049I: 5.02).
- Quelle: Örtlich begrenzter natürlicher Grundwasseraustritt, auch nach künstlicher Fassung (DIN 4049I: 5.56).
- Grundwasserleiter: Ein Gesteinskörper, der geeignet ist, Grundwasser aufzunehmen und weiterzuleiten. Er besteht aus einem wassererfüllten und einem belüfteten Teil¹⁾.
- Grundwasserkörper: Das gesamte in einem Grundwasserleiter vorhandene Grundwasser.
- Grundwassersohle: Untere Grenzfläche eines Grundwasserleiters (DIN 4049I: 5.13).
- Schotter: Ein in fließendem Wasser transportiertes und abgelagertes, quartäres Lockergestein (Komponenten: Ton, Silt, Sand, Kies, Steine, Blöcke). Die Fraktionen Kies (2–60 mm) und Steine (60–200 mm) sind vorherrschend. Schotter können verkittet sein. Diese geologisch-genetische Definition des Begriffs Schotter ist vom technischen Begriff «Schotter» (= Brechkies 30–60 mm) zu unterscheiden (RUTSCH 1967: 42).

Figur 1 stellt den Versuch dar, die verschiedenen Grundwassertypen des schweizerischen Mittellandes nach geologisch-genetischen Kriterien zu klassifizieren.

2. Festgesteinsgrundwasser

2.1. Der mesozoische Untergrund des Molassebeckens

Die Südflanke des Kettenjura zwischen der Lägern und der Montagne de Vuache W Genf enthält verschiedene als Grundwasserleiter in Betracht fallende Gesteinskörper, welche Spalten- und Karst-Grundwasser in den Untergrund des Mittellandes abgeben. Es sind dies in erster Linie die Kalkgesteine des Ob. Malm und der Unt. Kreide (Hauterivienkalke, Urgonkalke), untergeordnet auch der Hauptrogenstein des Doggers und die Karbonatgesteine der Trias.

Die Stauquellen am Jurasüdrand, namentlich aber die Regionen, in welchen mesozoische Gesteine auf tektonischen Strukturen im Molassebecken auftauchen, beweisen, dass bedeutende Wassermengen in die mesozoische Unterlage gelangen. Am

¹⁾ Vgl. u.a. KEILHACK (1917: 69, als «Grundwasserträger») und KOEHNE (1948: 21), vgl. ferner WECHMANN 1964: 161.

Diese Definition steht in bewusstem Gegensatz zu DIN 4049I: 5.08, welche nur den Teil des Gesteinskörpers, der Grundwasser enthält, als Grundwasserleiter bezeichnen.

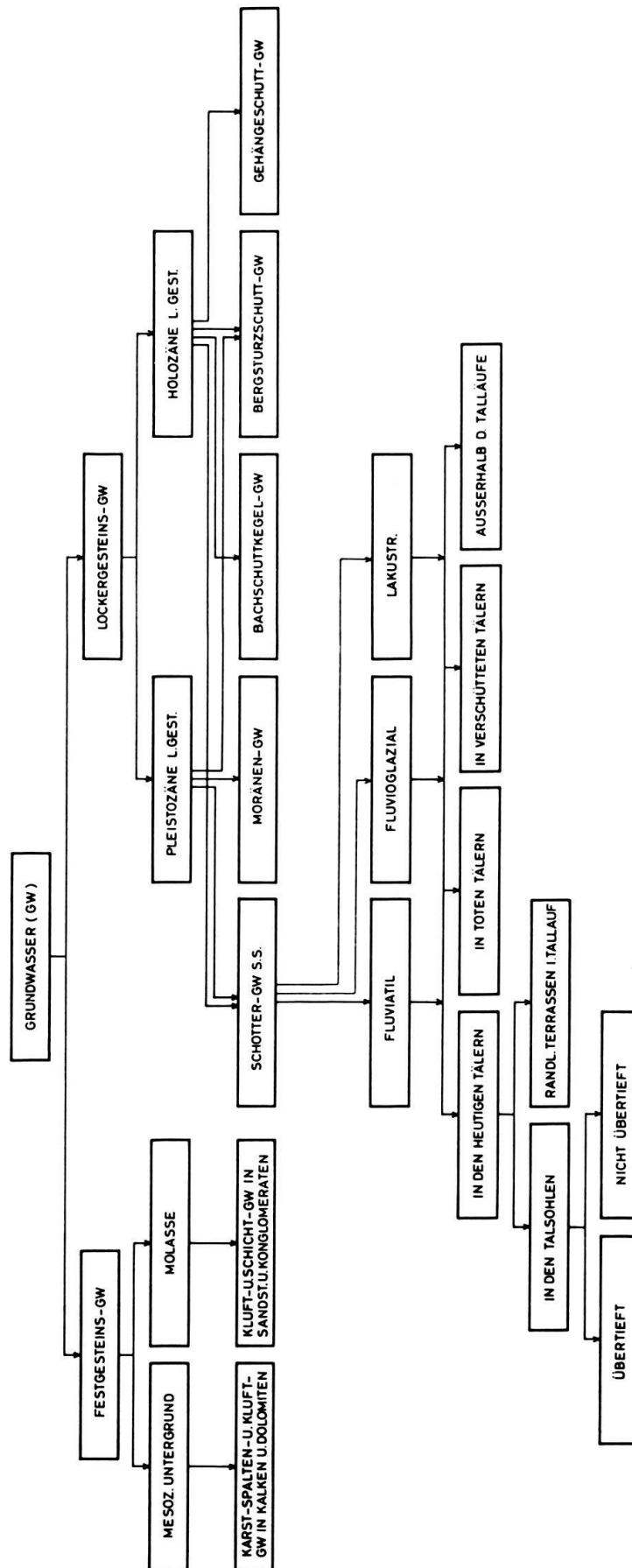


Fig. 1. Geologische Klassifikation des Grundwassers im schweizerischen Mittelland.

Chamblon bei Yverdon treten entlang von Querverwerfungen Karstquellen mit einer Schüttung von mindestens 15000 l/min. zutage (JORDI 1955: 79).

Eine überschlägige Berechnung der Wassermenge, welche aus der Südflanke des Kettenjura zwischen Baden und Genf in das Molassebecken abfließt, ergibt 1 bis 1,25 Mio m³/Jahr, eine ansehnliche Wassermenge, wenn man bedenkt, dass der Jahresverbrauch der Schweiz an Trink- und Brauchwasser etwa 1 Mia. m³/Jahr betragen dürfte (vgl. NÄNNY 1966b: 1, ferner SVGW 1969). Das Problem der Erschließung dieser Karstwässer wird sich früher oder später stellen, wobei umfassende geophysikalische Untersuchungen voranzugehen haben; die Ergebnisse der Erdöl-exploration im schweizerischen Molassebecken dürften dabei wertvolle Hinweise bieten.

Einen nicht zu vernachlässigenden Anteil am Grundwasserdargebot des Mittellandes liefert auch der nördliche Alpenrand. Karstgrundwässer, namentlich aus den Malm-Kalken und aus dem Schrattenkalk, treten unterirdisch in die Lockergesteins-Grundwasserleiter der Täler aus und gelangen damit ins Mittelland. An einzelnen Stellen kann diese Form der Grundwasserspeisung recht bedeutendes Ausmass annehmen.

2.2. Grundwasserführung der Molasse

Mengenmässig kommt dem Grundwasser der Molasse bei weitem nicht die Bedeutung der Lockergesteins- (vor allem der Schotter-) Grundwässer zu. Für den Einzelhof im subalpinen Gebiet sind aber 3 l/min ebenso lebenswichtig und schützenswert wie 30000 l/min für eine städtische Siedlung, wobei für die grosse Agglomeration Ausweichmöglichkeiten bestehen, die für den Einzelhof allein schon aus finanziellen Gründen ausser Betracht fallen.

Grundwasserleiter sind Sandsteine und Konglomerate (Nagelfluh, s. RUTSCH 1968), wobei vor allem Kluftgrundwässer von Bedeutung sind; Molassekluftquellen können eine Schüttung von einigen Hundert Minutenlitern erreichen, namentlich wenn sie mit Methoden erschlossen werden, wie sie RAMSEYER (1952: 212) vom Mont Vully beschrieben hat.

Molassequellen werden auch in Zukunft die einzige Wasserbezugsmöglichkeit für spärlich besiedelte Regionen des alpennahen Anteils des Mittellandes bilden.

3. Lockergesteinsgrundwasser

Die wichtigsten Grundwasserleiter unter den Lockergesteinen des Mittellandes sind die Schotter, namentlich diejenigen, welche als Füllung übertiefer Talläufe mächtige Grundwasserkörper enthalten und durch Uferfiltrat grösserer Flüsse gespiesen werden. Der Anteil dieses Filtratwassers kann nach der Methode von WIEDERHOLD näherungsweise berechnet werden und spielt in vielen Fällen eine entscheidende Rolle für die Grundwasserführung eines Tallaufes.

Auffallenderweise ist man, trotz der grossen wirtschaftlichen Bedeutung dieser Schottergrundwässer, über ihr Gefüge und die Art ihrer Durchströmung recht wenig

orientiert. Der bekannte, unseres Wissens von PAAVEL stammende Vergleich mit dem «blätterteigartigen Aufbau», der eine Parallelströmung begünstigt, kann kaum befriedigen.

Die holozänen und pleistozänen (namentlich fluvioglazialen) Schotter weisen in den meisten Fällen rasche horizontale und vertikale Fazieswechsel auf. Silt- und Silt-tonlinsen sind – oft nicht schichtparallel – zwischengeschaltet; es treten Deltaschichtung (z. B. fluviolakustrische Deltas), Schrägschichtungen usw. auf, deren Einfluss auf die Strömungsverhältnisse der Grundwasserfäden noch kaum bekannt ist.

Das gilt auch für das Gefüge der schlecht durchlässigen, durch ein meist kalkiges Bindemittel zu Festgesteinen zementierten Schotter («Löcherige Nagelfluh» ESCHER, «Lückennagelfluh» MOUSSON; s. RUTSCH 1968), in denen schon manche Bohrung verfrüht aufgegeben wurde, weil der Bohrmeister sie als Molassenagelfluh gedeutet hat.

Zurzeit sind im Rahmen eines Nationalfonds-Forschungsprojekts Untersuchungen im Gange, welche die hydrogeologische und hydrologische Bedeutung der sogen. diakenen Schichtung abklären sollen. Es handelt sich um die sehr durchlässigen Partien eines fluviatilen oder fluvioglazialen Schotter, denen als Folge eines als Suffosion (ZIEMS 1967) bezeichneten Vorgangs die Fraktionen Silt, Feinsand und Grobsand mehr oder weniger fehlen. Die Gerölle berühren sich gegenseitig (Korn zu Korn-Druck), wobei nicht selten charakteristische Zerbrechungserscheinungen und rostige bis schwarze Verfärbungen auftreten.

Über diese Verfärbungen teilen uns die Herren Prof. FEITKNECHT, Dr. GIOVANOLI und cand. BERNHARD folgende vorläufigen Ergebnisse mit:

«Die gelben bis roten Ablagerungen erweisen sich als Goethit.

Bei den braunen bis schwarzen fast röntgenamorphen Überzügen handelt es sich um Manganate (IV) (früher α - MnO_2 genannt). Unsere Röntgenuntersuchungen deuten auf

1. Birnessit, ein Mangan (II, III)-manganat (IV) mit Fremdkationen; im Röntgendiagramm intensiver Reflex bei $7\text{\AA}$; Struktur ähnlich derjenigen von Chalkophanit.

2. «Buserit» (interne und vorläufige noch nicht offiziell genehmigte Bezeichnung), ein Eisen (III)-manganat (IV) mit Fremdkationen; intensiver Röntgenreflex bei $10\text{\AA}$; Struktur wahrscheinlich verwandt mit derjenigen von Lithiophorit. Als Mineral auch in Manganschaum, Wad und von BUSER in Tiefseekonkretionen gefunden.»

Da diese diakenen Gefüge auch in Schottern auftreten, die heute kein Grundwasser mehr führen, könnten sie von einer fossilen (eiszeitlichen) Grundwasserdurchströmung herrühren; die Suffosion wäre in diesem Fall durch direkte Einwirkung von Gletscherschmelzwässern verursacht worden. Andernfalls müssten wir für einzelne dieser Vorkommen geomorphologische Verhältnisse annehmen, welche von den heutigen völlig abweichen (Reliefumkehr!).

Ein weiteres, für die Durchströmungsverhältnisse eines Schotters bedeutsames Problem bietet der Einfluss der Plattigkeit der Gerölle. Unsere Untersuchungen haben gezeigt, dass Grundwasserleiter, die überwiegend aus kugeligen Nagelfluhgeröllen zusammengesetzt sind, meist relativ gute Durchlässigkeitsbeiwerte (Grössenordnung 10^{-3} m/sec) aufweisen, während Grundwasserleiter mit ausgesprochen plattigen Geröllen k-Werte in der Grössenordnung 10^{-4} – 10^{-5} m/sec ergeben. KNIESEL (1967: 29) hat an Schottern mit plattigen Geröllen festgestellt, dass Durchlässigkeitskoeffizienten und nutzbare Porositäten wesentlich kleiner sind als die entsprechenden Parameter von Kugelpackungen gleicher Korngrössenzusammensetzung.

4. Grundwassererschliessung

Wenn Grundwasser in unseren Haupttalfurchen erschlossen werden soll – hydrogeologische Verhältnisse, wie sie namentlich in den Quertälern der Zentral- und Ostschweiz vorherrschen, wo heutige Talläufe und Achsen der quartären Gletschervorstösse im allgemeinen übereinstimmen –, versagt eine Prognose allein auf Grund oberflächengeologischer Untersuchungen. In solchen Fällen leisten geophysikalische Sondierungen wertvolle Dienste, unter der Voraussetzung allerdings, dass Problemstellung und Interpretation gemeinsam vom Geologen und Geophysiker bearbeitet werden.

Zu einer systematischen Grundwassererschliessung gehören heute in vielen Fällen auch kleinkalibrige Sondierbohrungen zur Durchführung von Kleinpumpversuchen. Zur Frage der anzuwendenden Bohrmethode zeigt die Erfahrung, dass da, wo es sich darum handelt, das geologische Profil möglichst lückenlos zu erfassen und Proben für Siebanalysen zu entnehmen, Rammkern- oder Rotationskernbohrungen vorzuziehen sind, während sich in Fällen, wo in erster Linie die Durchlässigkeitsverhältnisse bestimmt werden sollen, Rotationsspülbohrungen besonders eignen.

Pumpversuche aus dem Bohrloch sind den Steig- und Absenkversuchen (siehe z. B. Richtlinien 1968 der Schweiz. Gesellschaft für Bodenmechanik und Fundamentechnik) in den allermeisten Fällen überlegen.

Wenn die Kleinpumpversuche mit grösster Genauigkeit durchgeführt werden, vermitteln sie wertvolle Anhaltspunkte für die Ausgestaltung eines Produktionsbrunnens, dürfen aber in ihrer Bedeutung nicht überschätzt werden. Die aus dem Kleinpumpversuch ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte können von den später im Produktionsbrunnen festgestellten recht bedeutend abweichen: Aus dem sehr sorgfältig durchgeführten Kleinpumpversuch für den neuen Filterbrunnen der WV Steffisburg (Kt. Bern) wurde ein k -Wert von $3 \cdot 10^{-3}$ m/sec ermittelt, während man im definitiven Brunnen einen Durchlässigkeitsbeiwert von $5 \cdot 10^{-2}$ m/sec bestimmt hat. Entsprechend wurde aus dem Kleinpumpversuch eine maximal zulässige Entnahmemenge nach SICHARDT von 12600 l/min errechnet, während dem Produktionsbrunnen 30000 l/min entnommen werden können.

Angesichts derartiger Erfahrungen sind auch Transmissibilitätsberechnungen auf Grund von Kleinpumpversuchen vorsichtig zu beurteilen. Zur Frage der Bewertung von k -Werten seien die folgenden, uns von der VAW mitgeteilten Erfahrungen zitiert (unveröffentlichtes Gutachten):

«Erfahrungsgemäss bildet die Bestimmung des k -Wertes für ein grösseres Areal Schwierigkeiten, da infolge der relativen Inhomogenität eines jeden Grundwasserleiters örtliche Durchlässigkeitsunterschiede von der Grössenordnung von mindestens zwei Zehnerpotenzen möglich sind.»

Dies mahnt bei der wasserwirtschaftlichen Planung zur Vorsicht; für sie wird der Grosspumpversuch immer die zuverlässigste Grundlage bilden.

Zum Kapitel Grundwassererschliessung gehört auch die Anwendung moderner Methoden im Brunnenbau. Siebanalysen zur Bestimmung der Granulometrie des Brunnenfilterkieses sollten heute eine Selbstverständlichkeit sein. Filterbrunnen wurden bei uns bis jetzt fast ausschliesslich in Kiessandgemischen erstellt. Dabei ist es – wie die Beispiele im Ausland zeigen – durchaus möglich, Filterbrunnen mit bedeutender Leistung auch in Sanden zu erstellen.

In einem kürzlich für die Wasserversorgung Grenchen (SO) gebauten Horizontalfilterbrunnen in einem Grundwasserleiter mit raschen vertikalen und horizontalen Wechseln von Kiessandgemischen zu Sanden, siltigen Sanden und Silttonen mit wenig günstigen Durchlässigkeitsverhältnissen (k -Werte in der Grössenordnung 10^{-4} m/sec) konnten dank der, den granulometrischen Verhältnissen sorgfältig Rechnung tragenden Verwendung von Schlitzbrückenfiltern mit festem Kiesmantel (NOLD) Resultate erzielt werden, welche alle Erwartungen übertrafen. Während die Berechnungen auf Grund eines Pumpversuchs in einem vertikalen Versuchsbrunnen etwa 3000 l/min erwarten liessen, konnten in einem ca. 3 Wochen dauernden Pumpversuch im Horizontal-Produktionsbrunnen 12000 l/min entnommen werden, wobei bei einer Mächtigkeit des Grundwasserkörpers von 9 m eine Absenkung von nur 2 m registriert wurde. Derartige Brunnen in sandigen und sandig-siltigen Grundwasserleitern dürften namentlich auch in lakustrischen Lockergesteinen Erfolg haben.

Im folgenden seien einige Probleme der Grundwassererschliessung und des Grundwasserschutzes an Hand ausgewählter Beispiele erläutert²⁾:

Leider stehen der hydrogeologischen und hydrologischen Erforschung und Kartierung des schweizerischen Mittellandes in dieser Hinsicht bedeutende Schwierigkeiten entgegen. Für weite Gebiete liegen ausser den aus dem vorigen Jahrhundert stammenden, völlig veralteten Blättern im Maßstab 1:100000 keine gedruckten geologischen Karten vor.

Aber auch da, wo geologische Karten im Maßstab 1:25000 veröffentlicht sind, ist es häufig erwünscht, geologische Karten in 1:10000 oder noch grösseren Maßstäben zur Verfügung zu haben, wobei diese Karten als sogen. Aufschlusskarten konzipiert sein sollten. Wir verstehen darunter Karten, in welchen Fakten und Interpretation klar auseinandergehalten sind.

Der Hydrogeologe, dem die Exploration eines Grundwasservorkommens obliegt, muss daher häufig zuerst eine geologische Aufschlusskarte erstellen, bevor er überhaupt an die hydrogeologischen Probleme herantreten kann; wir haben daher alles Interesse, dass die geologische Kartierung unseres Landes möglichst rasch vorangetrieben wird.

4.1. Grundwasserführung des Sensetales

Dieses Beispiel wurde gewählt, weil es vorzüglich geeignet ist, die Abhängigkeit der hydrologischen Exploration eines Grundwasservorkommens von den geologischen Untersuchungen vor Augen zu führen.

Die Sense fliesst heute vom Alpenrand in einer ungefähr S-N verlaufenden cañon-artigen Schlucht bis Thörishaus, biegt dort fast rechtwinklig nach Westen ab, um bei Laupen in die Saane zu münden.

Im Riss-Würm-Interglazial dagegen floss die Sense bereits nahe dem Alpenrand nach Westen Richtung Freiburg. Die Wasserversorgung dieser Stadt nutzt das Grundwasser des alten, heute durch würmeiszeitliche Ablagerungen völlig verdeckten Tallaufes mittels eines Filterbrunnens, der ca. 6000 l/m liefert. Der Talabschnitt nördlich

²⁾ Ich benütze die Gelegenheit, um meinen Mitarbeitern, den Herren Dr. H. THALMANN und Dr. CH. HÄFELI, die bei diesen Untersuchungen massgebend beteiligt waren, meinen besten Dank auszusprechen.

dieser alten Ost-West gerichteten Rinne ist spät- bis postglazial entstanden und galt, weil die Molasse an manchen Stellen im Bett der Sense und in der Talsohle zutage tritt, für eine Grundwassererschliessung als ungeeignet.

Das war denn auch ein Grund, warum das Eidg. Amt für Wasserwirtschaft die Sense als Testgebiet gewählt hat und bei Thörishaus, wo der Fluss direkt auf der Molasse fliesst, eine Abflussmeßstelle errichtet hat, da keinerlei Hinweise dafür vorlagen, dass ein Teil des Wassers dieses Flussgebiets als Grundwasser neben dem heutigen Senselauf abfliessen könnte.

Die geologische Kartierung (RUTSCH 1967, RUTSCH & FRASSON 1953) liess nun aber vermuten, dass zumindest im nördlichen Abschnitt dieses Tales eine alte Rinne vorhanden ist, in welcher vor der Würmeiszeit zwar nicht die Sense, aber das Schwarzwasser floss. In dieser Auffassung sahen wir uns durch eine Bohrung bestätigt, welche die Wasserversorgung der Stadt Bern im Schwarzwasser kurz oberhalb der Einmündung in die Sense abteufen liess und in welcher man eine Übertiefung festgestellt hatte.

Die Untersuchungen, die im Auftrag der Wasserversorgung der Gemeinde Köniz durchgeführt wurden, haben das Vorhandensein eines alten, verschütteten Tallaufs bestätigt. Zunächst wurden geophysikalische (seismische) Sondierungen durchgeführt, welche eine fast U-förmige Schlucht mit einer Tiefe von ca. 30 m erwarten liessen. Die Bohrungen haben das Vorhandensein dieser Schlucht vollauf bestätigt (vgl. Fig. 2 bis 5).

In ihr hat die Fehlmann Grundwasserbauten AG./Bern zwei Vertikalfilterbrunnen gebaut, die bei Dauerentnahme etwa 5000–6000 l/min, bei 9 stündigem Wasserwerkbetrieb etwa 12000 l/min liefern.

Das Grundwasser selbst besteht zu einem wesentlichen Teil aus Uferfiltrat der Sense. Nach der Berechnungsmethode von WIEDERHOLD erreicht dieses bei einer Pumpmenge von 14500 l/min 46 %. In manchen Fällen ist der Anteil noch wesentlich höher; im Gebiet der Aare bei Steffisburg-Uetendorf-Heimberg kann er bis zu 70 % ansteigen.

Einen weiteren Beitrag zur Grundwasserbildung liefern in der Senseschlucht die Seitenflanken, wobei offenbar unterirdisch in den Grundwasserleiter einmündende Molassekluftquellen mitbeteiligt sind.

Über weitere Einzelheiten orientieren die Erläuterungen zu den Figuren 2–5.

4.2. Grundwasservorkommen im Schuttkegel des Dürrbachs bei Bowil

Einen ganz anderen Typ eines Grundwasservorkommens in Lockergesteinen repräsentiert das Gebiet von Bowil im Emmental. Der Grundwasserleiter wird hier durch den grossen Schuttkegel des Dürrbachs gebildet. Für die Beurteilung der Erschliessungsmöglichkeiten waren auch hier die geologischen Verhältnisse von ausschlaggebender Bedeutung.

Die Kartierung liess einen von der heutigen Achse des Dürrbachs fast rechtwinklig abzweigenden, mit Schottern erfüllten, würmeiszeitlichen Tallauf vermuten. Es war also zunächst die Frage abzuklären, ob das Grundwasser der heutigen oder der alten Talachse folgt (Fig. 6).

Die geophysikalischen und mechanischen Sondierungen haben den alten Tallauf bestätigt; seine Sohle liegt jedoch höher als der Grundwasserspiegel im Dürrbachschuttkegel. Der Grundwasserleiter hat hier eine Mächtigkeit von ca. 40 m und ist

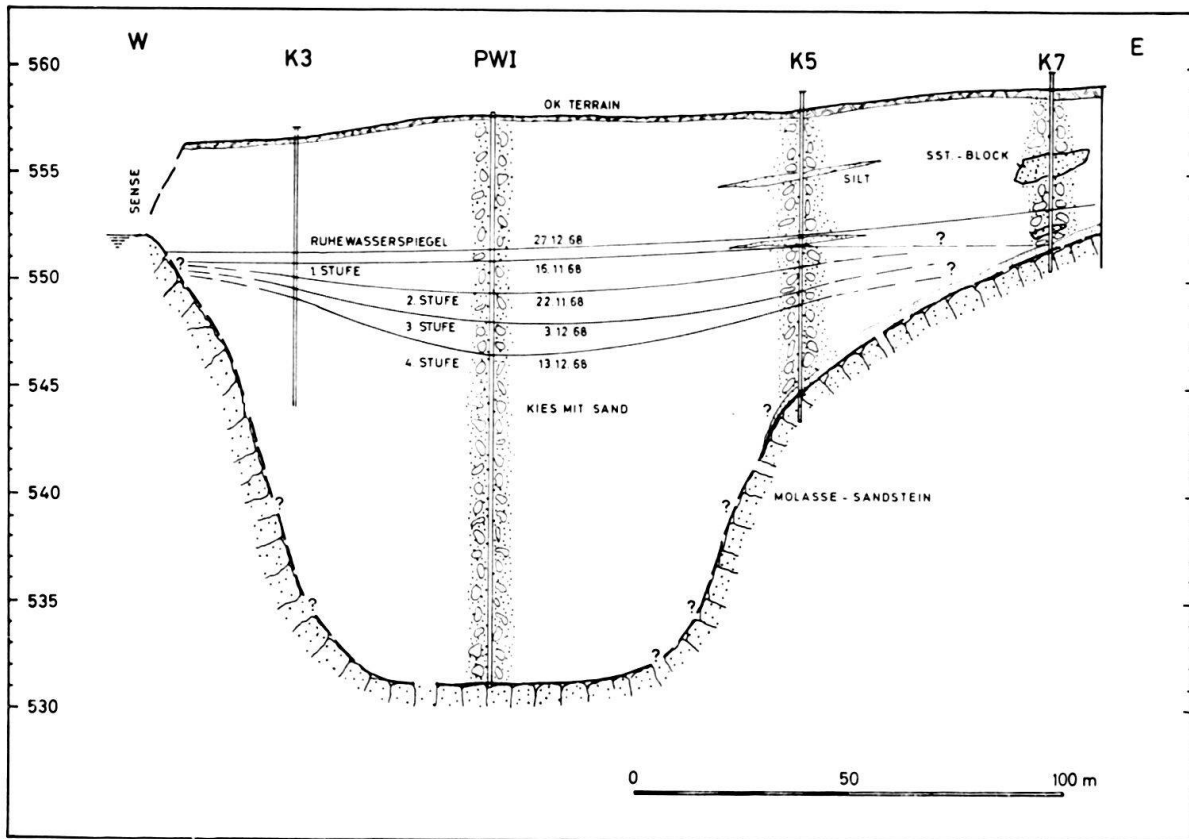


Fig. 2. Querprofil durch das Gebiet der Sensematt-Au. Lage des Ruhe- und der abgesenkten Grundwasserspiegel bei verschiedenen Entnahmemengen.

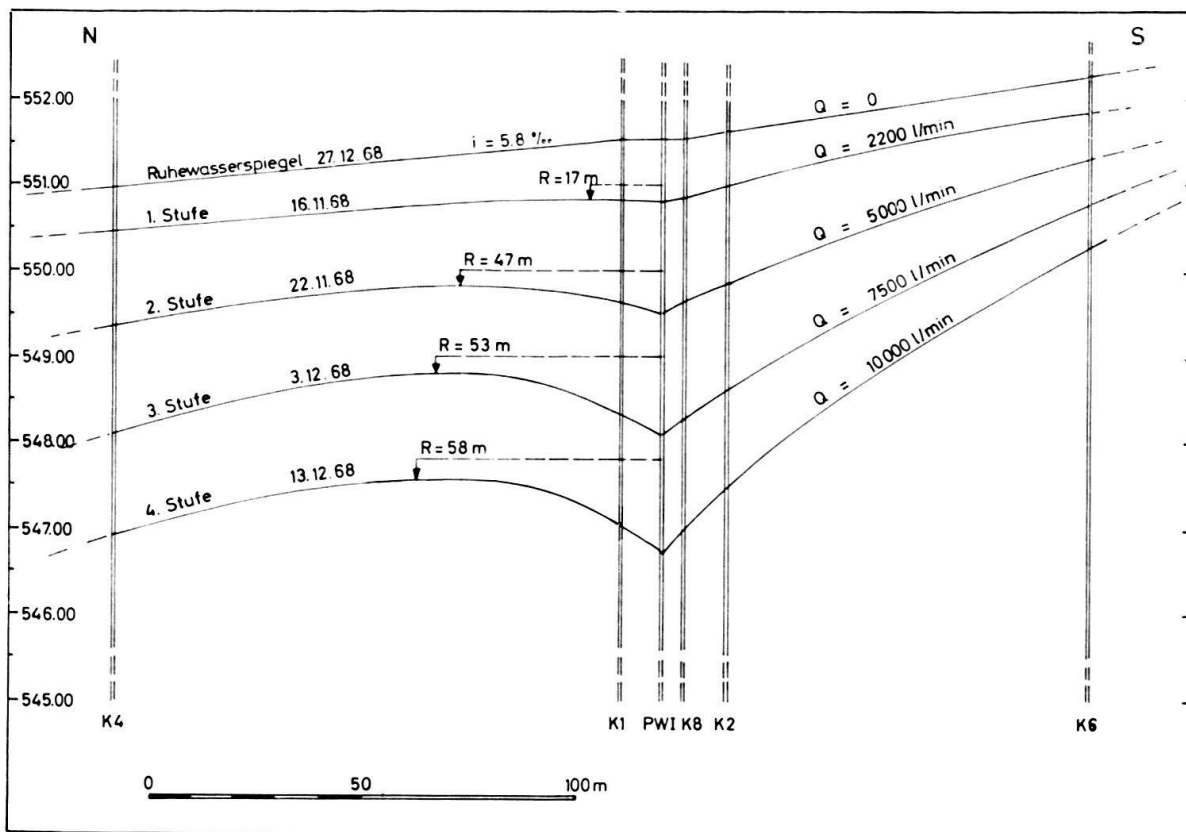


Fig. 3. Sensematt-Au. Längsprofil im Gebiet des Produktionsbrunnens. Lage des Ruhewasserspiegels, der abgesenkten Wasserspiegel und Abstände der Unt. Kulmination bei verschiedenen Entnahmemengen.

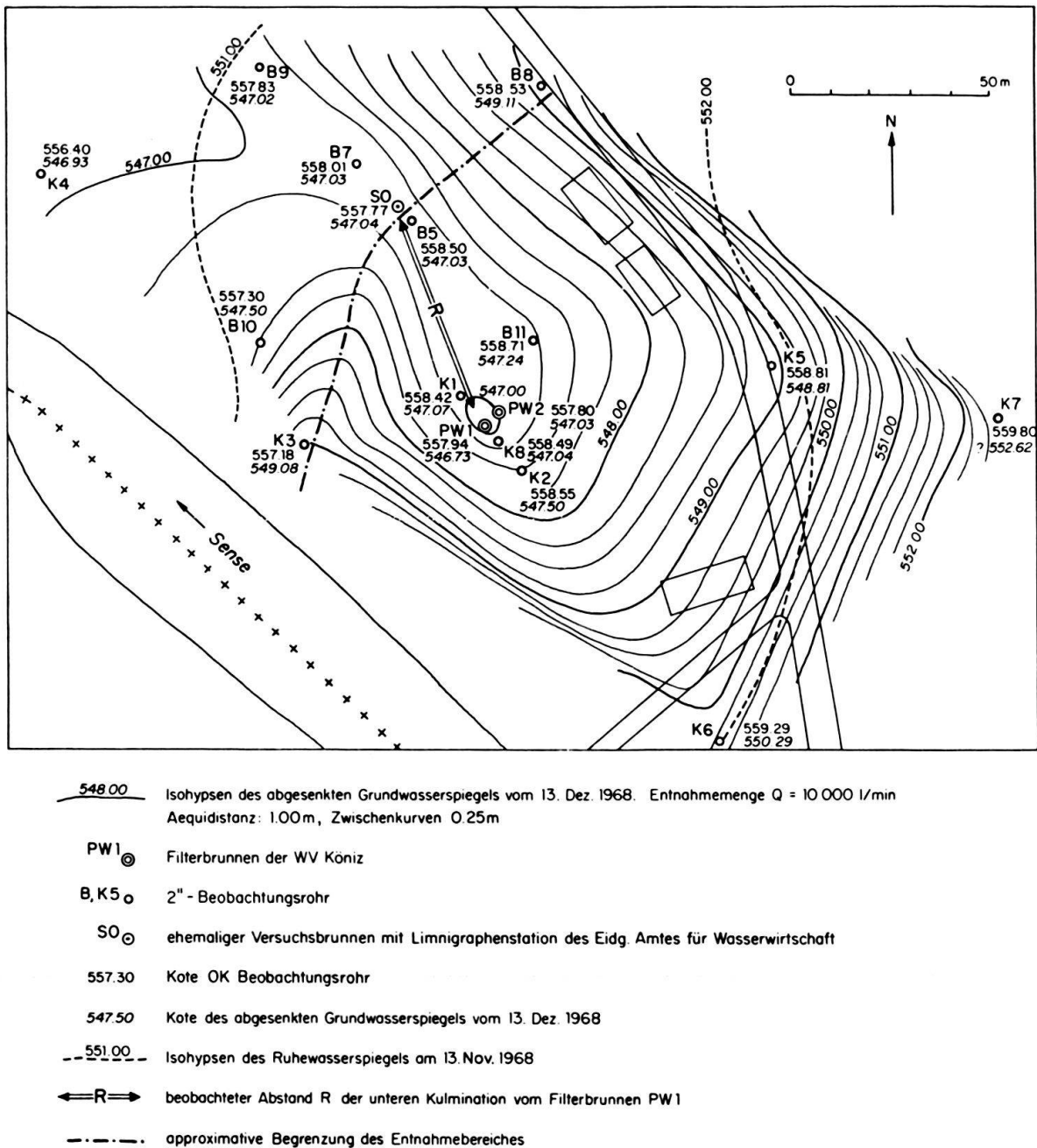
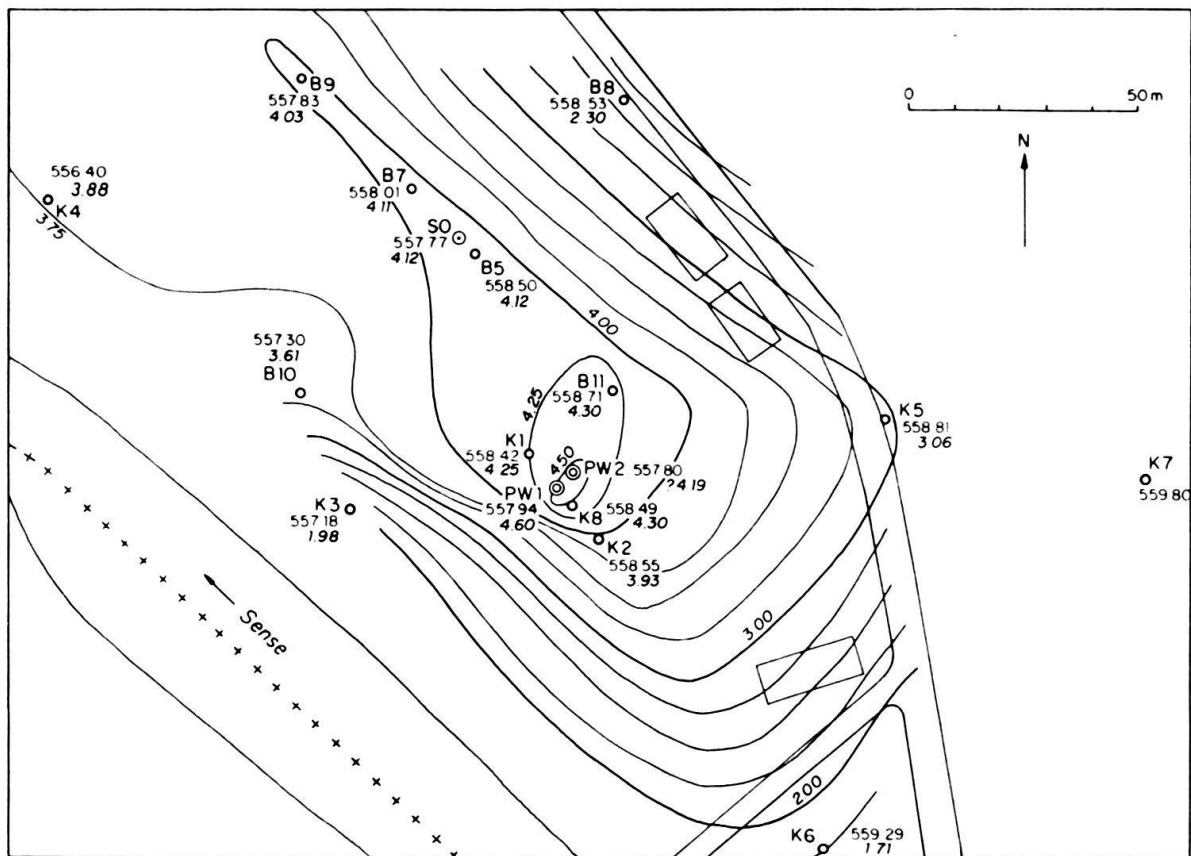


Fig. 4. Sensematt-Au. Produktionsbrunnen: Isohypsen des abgesenkten Grundwasserspiegels bei einer Entnahmemenge $Q = 10\,000\text{ l/min}$ am 13.12.1968.

vorwiegend aus Nagelfluhger6llen zusammengesetzt. Die Durchl6ssigkeitsbeiwerte liegen bei etwa $2 \cdot 10^{-3}\text{ m/sec}$. Einem Versuchsbrunnen konnten ca. $3\,000\text{ l/min}$ entnommen werden.

Figur 7 zeigt die Isohypsen des abgesenkten Grundwasserspiegels bei einer Entnahmemenge $Q = 3\,000\text{ l/min}$ (20.2.68); das Grundwasserfeld ist im Westen durch einen Nagelfluhsporn begrenzt (s. Fig. 6). Diese Einengung kommt auch in den Linien gleicher Absenkung bei Entnahme von $3\,000\text{ l/min}$ (6.2.68 bis 20.2.68) in Figur 7 zum Ausdruck.



2.00 Linien gleicher Absenkung bei einer Entnahmemenge $Q = 10\,000$ l/min am 13. Dez. 1968, bezogen auf den Ruhewasserspiegel vom 13. Nov. 1968. Aequidistanz: 1.00m, Zwischenkurven: 0.25m

PW1 Filterbrunnen der WV Köniz

K5 2"-Beobachtungsrohr

SO ehemaliger Versuchsbrunnen mit Limnigraphenstation des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft

557.30 Kote OK Beobachtungsrohr

4.25 Betrag der Absenkung

Fig. 5. Sensematt-Au, Produktionsbrunnen: Linien gleicher Absenkung bei einer Entnahmemenge $Q = 10\,000$ l/min am 13.12.1968.

5. Grundwasserschutz: Grundwasservorkommen im Worblental

An diesem Beispiel sollen einige Fragen des Grundwasserschutzes namentlich im Hinblick auf die Abgrenzung von Schutzzonen erläutert werden.

Das Worblental stellt eine alte Abflussrinne der Schmelzwässer des würmeiszeitlichen Aaregletschers dar, ist stark übertieft und hydrogeologisch kompliziert zusammengesetzt.

Die Gemeinde Worb hat in einem Abschnitt dieses Tales einen Horizontalfilterbrunnen erstellt, der in hohem Masse vom jeweiligen Niederschlagsgeschehen abhängig ist.

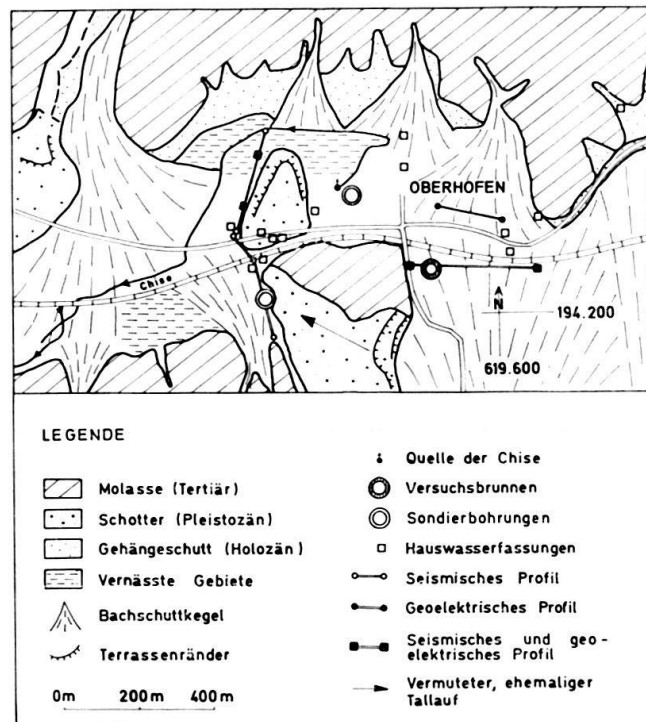


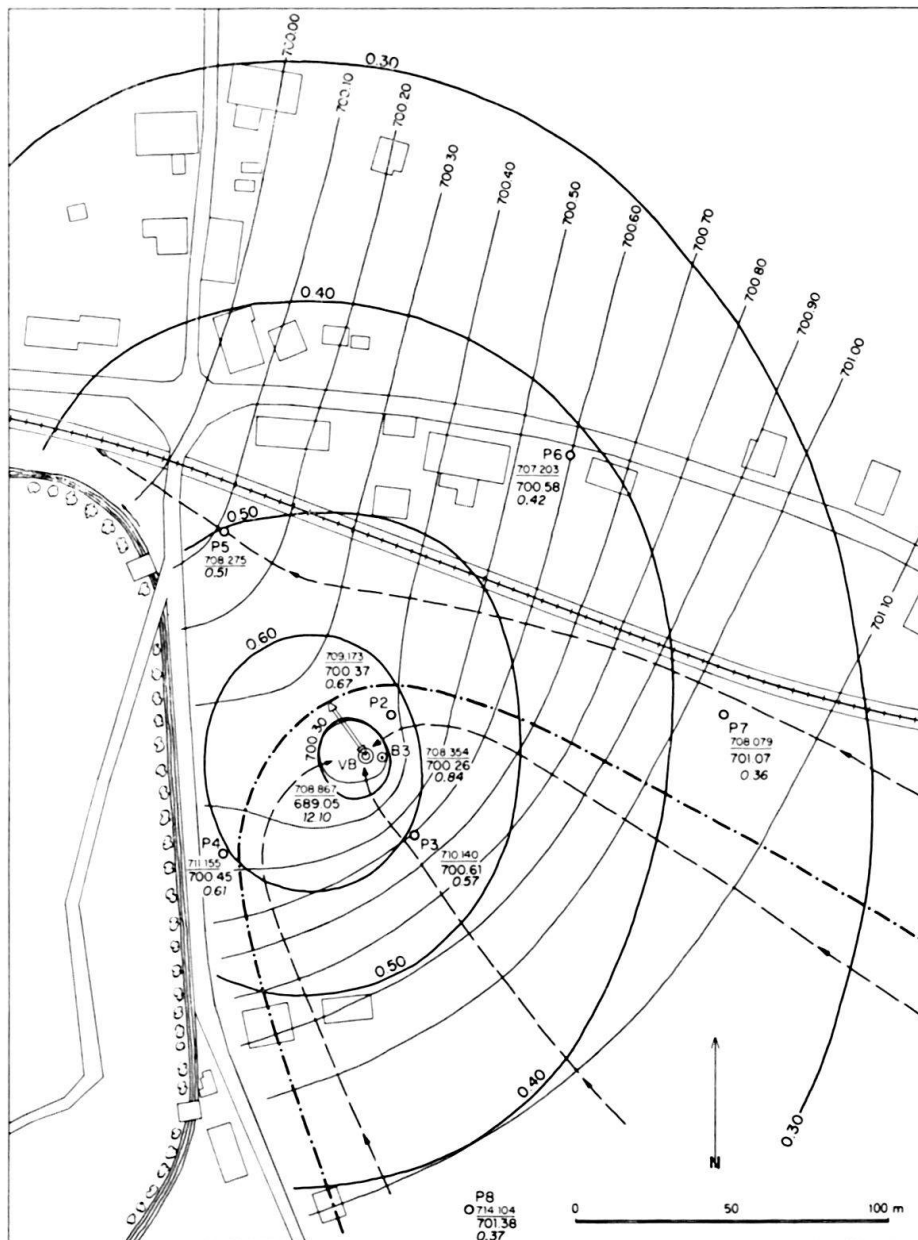
Fig. 6. Hydrogeologische Kartenskizze des Gebietes Rünkhofen-Oberhofen bei Bowil.

Auch hier spielen die geologischen Gegebenheiten eine wichtige Rolle. Der Entnahmetrichter erhält durch die enge seitliche Begrenzung des Grundwasserfeldes eine ungewöhnliche Längsausdehnung; die Pumpversuche haben denn auch gezeigt, dass die empirisch bestimmte Lage der Unt. Kulmination von der rechnerisch ermittelten (SCHOELLER, SICHARDT, JACOB) stark abweicht.

Für den Horizontalfilterbrunnen war eine Schutzzone festzulegen. Wir haben versucht, die «Provisorischen Richtlinien des Instituts für Orts-, Regional- und Landesplanung» der ETH (1968) anzuwenden, die nach dem Muster der deutschen DVGW (1961) eine Aufteilung in die drei Zonen «Fassungsbereich», «Engere Schutzzone» und «Weitere Schutzzone» vorsehen.

Schon die Festlegung des Fassungsbereiches stiess auf Schwierigkeiten. Neben der unmittelbaren Umgebung des Brunnenschachtes musste auch der Bereich der Horizontalfilterrohre einbezogen werden. Die ORL-Richtlinien sehen im Fassungsbereich ausschliesslich forstwirtschaftliche Nutzung, Rasen oder Wiesen mit mässiger Verwendung von Kunstdünger vor, verbieten dagegen u.a. Weidgang, Jauche, Verwendung von Mist, Spritzmitteln usw. In der «Engeren Schutzzone» wäre zusätzlich Weidgang und Verwendung von Mist zulässig. Diese Vorschriften hätten zur Folge, dass eine Weiterführung des bisherigen Landwirtschaftsbetriebes unmöglich würde. Wir hatten deshalb zu prüfen, inwieweit eine landwirtschaftliche Nutzung geduldet werden könnte und sind dabei von folgenden Überlegungen ausgegangen:

Der Flurabstand beträgt im Gebiet des Brunnens ca. 8–10 m, die Horizontalfilter selbst liegen in – 23,0 m und in – 30,0 m unter Terrain. In unmittelbarer Nähe des neuen Brunnens ist ein Vertikalfilterbrunnen vorhanden, der seit rund 30 Jahren im Betrieb ist, wobei der Filterbereich wesentlich höher liegt als die Horizontalfilter im



O.60 Linien gleicher Absenkung für die Zeit zwischen 6 Febr. 1968, 1700h und 20 Febr. 1968, 0830h
Entnahmemenge Q = 3000 l/min. Aequidistanz 0.10m

——— 700.10 Isohypsen des abgesenkten Grundwasserspiegels vom 20. Febr. 1968, 0830h. Entnahmemenge Q = 3000 l/min

————→ Stromlinien des Grundwassers

◄=====► Untere Kulmination beim Pumpversuch am 20. Febr. 1968, 0830h, bei einer Entnahmemenge Q = 3000 l/min

- . - . - . Entnahmegrenze am 20. Febr. 1968, 0830h, bei einer Entnahmemenge Q = 3000 l/min

V.B. Ⓢ Versuchsbrunnen mit Kote OK Beobachtungsrohr, Höhe des Grundwasserspiegels und Betrag der Absenkung
 $\begin{matrix} 708.867 \\ 689.05 \\ 12.10 \end{matrix}$

B3 Ⓢ Sondierbohrung mit Ordnungsnummer, Kote OK Schacht, Höhe des Grundwasserspiegels und Betrag der Absenkung
 $\begin{matrix} 708.324 \\ 700.26 \\ 0.84 \end{matrix}$

P2 Ⓢ Beobachtungsrohr mit Ordnungsnummer, Kote OK Rohr, Höhe des Grundwasserspiegels und Betrag der Absenkung
 $\begin{matrix} 709.173 \\ 700.37 \\ 0.87 \end{matrix}$

Fig. 7. Pumpversuche im Versuchsbrunnen Grossacher/Bowil: Isohypsen des abgesenkten Grundwasserspiegels am 20.2.1968. Linien gleicher Absenkung für die Zeit zwischen 6. Februar 1968, 17.00 h, und 20. Februar 1968, 08.30 h. Entnahmemenge $Q = 3000 \text{ l/min}$.

neuen Brunnen. Die Wasserqualität dieses alten Brunnens hat nie zu wesentlichen Beanstandungen Anlass gegeben. Ferner lagen uns zur Beurteilung des vorliegenden Falles die Untersuchungsergebnisse vor, welche wir zusammen mit Herrn Kantonschemiker Dr. E. BAUMGARTNER im Sensetal zur Abklärung der Gefährdung eines Filterbrunnens durch enterale Keime durchgeführt haben (vgl. Fig. 8).

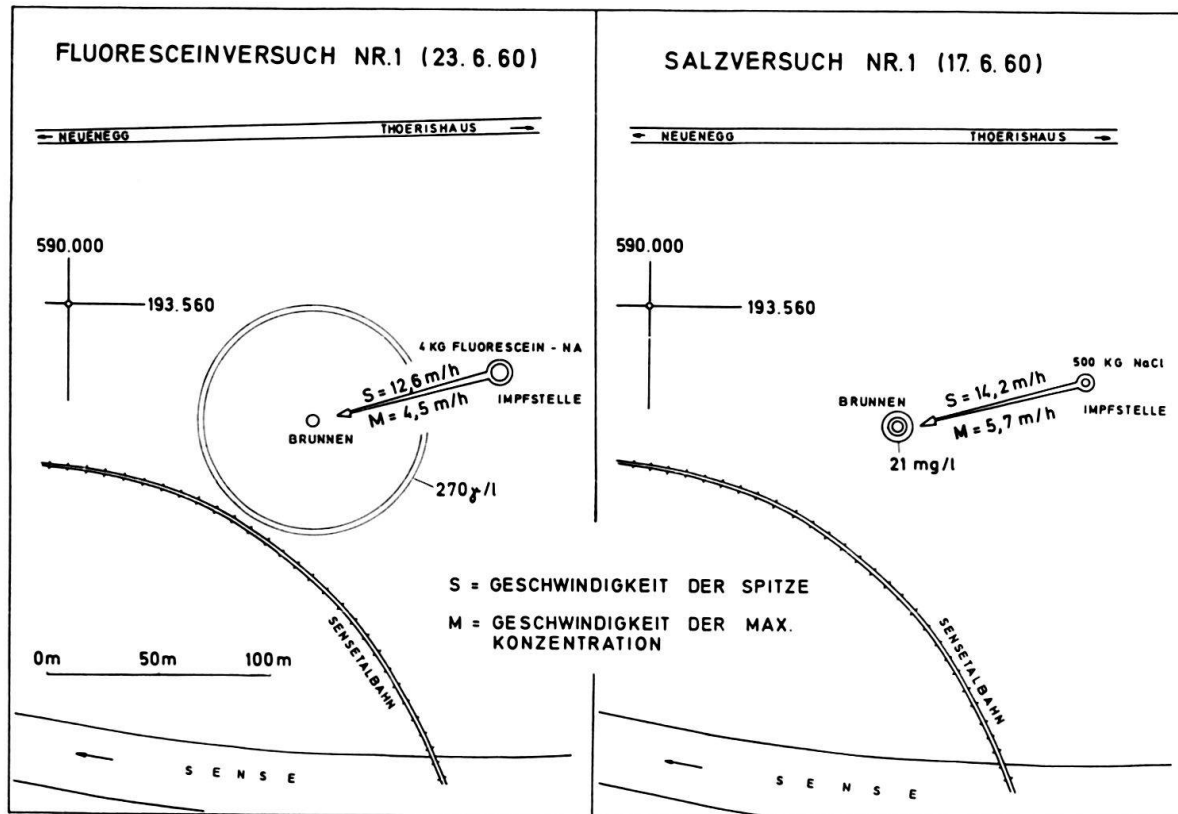


Fig. 8. Filterbrunnen in der Aumatte bei Neuenegg (Kt. Bern). Färbe- und Salzungsversuch.

In einem Beobachtungsrohr, das ca. 85 m vom Filterbrunnen entfernt ist, wurden 4 kg Fluorescein eingeschwenkt. Der Farbstoff traf mit einer maximalen Abstandsgeschwindigkeit von 12,6 m/h im Brunnen ein, wobei 75% des Färbestoffes wiedergefunden wurden. Ein weiterer Versuch im gleichen Beobachtungsrohr mit 500 kg Kochsalz ergab eine Spitzengeschwindigkeit von 14,2 m/h, wobei 50% der Salzlösung im Brunnen eintrafen. Die Chloridkonzentration stieg um 21 mg/l an. Die übrigen Probeentnahmestellen liessen keine Erhöhung des Chloridgehaltes erkennen. Der hydrologische Zusammenhang zwischen Impfstelle und Brunnen war also eindeutig nachgewiesen.

In dieselbe Impfstelle wurde eine Colikultur mit 2000–3000 Milliarden Colikeimen eingeschwenkt. Nach Berechnung hätten in 100 ml Wasser des Brunnens mindestens 10 Colikeime auftreten müssen; in Wirklichkeit zeigte das Wasser keine signifikante Erhöhung der Colizahl. Zu ähnlichen Ergebnissen haben auch verschiedene Untersuchungen im Ausland geführt. STUNDL (1968: 142) hat durch Versuche mit Stallmist

und einer Wasser-Einschwemmung, die der höchsten Jahresniederschlagsmenge des Untersuchungsgebietes entspricht, folgende Keimzahlen festgestellt (gekürzt):

Dicke der Bodenschicht	Keimzahlen in 1 cm ³ auf Nähragar	
	Höchster Wert	Niedrigster Wert
0.75 m	6 300	290
1.00 m	1 650	50
2.00 m	750	10

Massgebend im Falle Worb sind neben der bedeutenden Mächtigkeit der die Horizontalfilter überlagernden Humus-, Kiessand- und Sandschichten (min. 23 m) vor allem die Erfahrungen, die im alten Brunnen während 30 Jahren gesammelt worden sind. Wir haben daher vorgeschlagen, ein einem Radius von 10 m flächenäquivalentes, quadratisches Grundstück zu umzäunen, in welchem jede Nutzung zu unterlassen ist, während innerhalb eines Halbmessers von 50 m ab Brunnen eine Bewirtschaftung als Grasland unter Verwendung von Mist und Kunstdünger, aber ohne Jauche, erlaubt ist.

Ein weiteres Problem stellt die Aussenbegrenzung der «Engeren Schutzzone». Die ORL-Richtlinien sehen für die «Engere Schutzzone» einen Radius von 50 bis 200 m, für die «Weitere Schutzzone» dagegen 100–500 m ab Fassung vor. Die Zone zwischen 100 und 200 m kann also sowohl der «Engeren» wie der «Weiteren Schutzzone» zugerechnet werden. Im Falle eines Landankaufes für die «Engere Schutzzone» hätte das in unserem Fall folgende finanzielle Konsequenzen:

Landerwerb Radius 100 m	ca. 2,5 Mio. Fr.
Landerwerb Radius 150 m	ca. 5,6 Mio. Fr.
Landerwerb Radius 200 m	ca. 10,0 Mio. Fr.

Für die Bemessung der Aussengrenze der «Engeren Schutzzone» legt man gelegentlich die sog. Verweildauer zugrunde, wobei je nach Autor 60, 50, 42 und 20 Tage eingesetzt werden. Die während des Pumpversuchs ($Q = 7000 \text{ l/min}$) im Filterbrunnen Worb durchgeführten Färbeversuche mit Sulforhodamin «G extra» ergaben maximale Abstandsgeschwindigkeiten, die zwischen 116 m/d bis 176 m/d variieren. Die sog. «wahre» Fliessgeschwindigkeit ($V_{\text{eff.}}$) wurde bei einem Pumpversuch mit 6000 l/min zu rund 7 m/d errechnet. Bei einer geforderten Verweildauer von 50 Tagen ergäbe sich auch auf Grund der «wahren Geschwindigkeit» eine praktisch überhaupt nicht durchführbare Begrenzung der «Engeren Schutzzone». Mit Recht werden derartige Verweildauern daher abgelehnt (SCHMASSMANN 1966, NÄNNY 1965, 1966).

Aber auch der Versuch, die «Engere Schutzzone» auf Grund der Begrenzung des Entnahmetrichters (Unt. Kulmination und Entnahmebreite) festzulegen, kommt im vorliegenden Fall wegen der aussergewöhnlichen Ausdehnung des Trichters nicht in Frage. Man ist daher gezwungen, die «Engere Schutzzone» auf den Teil des Entnahmetrichters mit der grössten Einstömungsgeschwindigkeit zu beschränken, wobei sich aus praktischen Gründen ein Radius von 150 m ab Brunnenachse ergibt. Im Gegensatz zu den ORL-Richtlinien haben wir auf Grund der hydrogeologischen Situation und der Erfahrungen im bisherigen Filterbrunnen vorgeschlagen, in der «Engeren Schutzzone» landwirtschaftliche Nutzung (mit Ausnahme von Jauchever Schlauchung, erdverlegten Jaucheleitungen und unsachgemässer Verwendung von Kunstdünger)

(WOLTER 1969) sowie das Lagern fester, grundwasserunschädlicher Stoffe zuzulassen. *Schutzzonen sind stets im Einzelfall und nicht nach verallgemeinernden, schematischen Grenzen festzulegen*³⁾.

Wir stimmen mit NAUMANN (1963: 139) darin überein, dass es «keineswegs erforderlich ist, in jedem Falle alle Vorschläge für Gebote und Verbote im einzelnen zu verwirklichen. Der Fachmann wird die richtige Beschränkung finden, die schon mit Rücksicht auf die wirtschaftlichen Folgen geboten ist.»

LITERATURVERZEICHNIS

- BALDINGER, F. (1969): *Siedlungswasserwirtschaft als Synthese von Trinkwasserversorgung, Abwasserbeseitigung sowie Gewässerschutz*. Gas, Wasser, Abwasser 1969/1, 22.
- BAUMGARTNER, E. (1962): *Bericht über die Grundwasserversuche in der Au bei Neuenegg vom 13. Juni 1960–11. Dezember 1960*.
Manuskript, unveröffentlicht.
- CLERC, B. (1969): *La protection de l'air et de l'eau dans un Etat moderne*. Procès-verbal de l'Assemblée des délégués de l'Union suisse du commerce et de l'industrie tenue le 19 septembre 1969 à Lausanne, 1.
- DVGW (1961): *Richtlinien für Trinkwasserschutzgebiete. I. Teil: Schutzgebiete für Trinkwasser*. Frankfurt (Z.f.G.W.).
- GILLIAND, P. A. (1967): *Trois cas d'études de nappes souterraines par la méthode géoélectrique*. Bull. techn. Suisse romande 1967, 5.
- JORDI, A. (1955): *Geologie der Umgebung von Yverdon*. Beitr. geol. Karte Schweiz, N.F. 99.
- KEILHACK, K. (1917): *Lehrbuch der Grundwasser- und Quellenkunde*. Berlin (Bornträger).
- KNIESEL, J. (1967): *Hydrogeologische Grundwerte eines Wasserleiters aus plattigen Geröllen*. Zeitschr. angew. Geol. 13/1, 29.
- KNORR, H. (1966): *Die hygienische Beurteilung resistenter Schadstoffe im Boden und Grundwasser*. Gesundheitsingenieur 87/11, 326.
- KOEHN, W. (1948): *Grundwasserkunde*. Stuttgart (Schweizerbart).
- NÄNNY, P. (1965): *Ohne aktiven Gewässerschutz kein gesundes Trinkwasser*. Manuskript.
– (1966a): *Probleme des Schutzes der Trinkwasserfassungen*. Monatsbull. Schweiz. Ver. v. Gas- und Wasserfachmännern 1966/3, 3.
– (1966b): *Die Bedeutung der Grundwasservorkommen für die Versorgung unseres Landes mit Trink- und Brauchwasser*. Wasser/Boden/Luft 1966, 1.
- NAUMANN, E. (1963): *Taschenbuch Gas- und Wasserfach*. München (Oldenbourg).
- RAMSEYER, Rud. (1952): *Geologie des Wistenlacherberges (Mont Vully)*. Eclogae geol. Helv. 45/2, 165.
- Richtlinien (1968): *Provisorische Richtlinien zur Orts-, Regional- und Landesplanung*. Institut für Orts-, Regional- und Landesplanung ETH, Blätter 516021–516030.
- RUTSCH, R. F. & FRASSON, B. A. (1953): *Geol. Atlas der Schweiz, Atlasblatt 26 (332 Neuenegg – 335 Rüeggisberg)*. Bern (Kümmerly & Frey).
– (1967): *Geol. Atlas der Schweiz 1:25000. Atlasblatt 26 (332 Neuenegg – Rüeggisberg: Erläuterungen)*. Bern (Kümmerly & Frey).
– (1967): *Geol. Atlas der Schweiz 1:25000. Atlasblatt 26 (332 Neuenegg – 335 Rüeggisberg: Erläuterungen)*. Bern (Kümmerly & Frey).
– (1968): *Herkunft und Bedeutung des Begriffs Nagelfluh*. Mitt. natf. Ges. Bern, N.F. 25, 69.
- S.A. (1937): *Schweizerisches Lebensmittelbuch*. Vierte Auflage. Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale Bern.

³⁾ Sportplätze im Bereich der «Engeren Schutzzone» werden in den ORL-Richtlinien zugelassen unter der Bedingung, dass die sanitären Einrichtungen ausserhalb liegen. Dagegen verbieten die Richtlinien in der «Engeren Schutzzone» die Verwendung von Herbiziden. Sportplätze bedingen jedoch eine wiederholte Volldüngung, eine Stickstoffdüngung und die ständige Verwendung von Herbiziden. Es wird also auch hier im Einzelfall abzuklären sein, ob Sportanlagen innerhalb der «Engeren Schutzzone» zulässig sind.

- SCHINZEL, A. (1968): *Das Verhalten schwer abbaubarer Substanzen im Boden und Grundwasser*. Gas/Wasser/Wärme 22/2, 23.
- SCHMASSMANN, H. (1966): *Grundwasserschutzgebiete in der Raumplanung*. München (Oldenbourg).
- Schweiz. Ges. für Bodenmechanik und Foundationstechnik (1968): *Richtlinien für ... Bodensondierungen und Feldversuche in Lockergestein und Fels*. Hoch- und Tiefbau 1968/30, 1.
- STUNDL, K. (1968): *Abbauvorgänge im Boden und ihr Einfluss auf die Grundwasserqualität*. Gas/Wasser/Wärme 22/7, 142.
- SVGW (Schweiz. Verein von Gas- und Wasserfachmännern) (1969): *Wasserversorgungen in der Schweiz. Statistische Erhebungen für das Betriebsjahr 1968*. Luzern (Räber AG).
- TRAUB, F. (1966): *Problematik der Schutzgebiete für Grundwasserfassungen*. Gewässerschutz in Bayern 22.
- TRÜEB, E. (1969a): *Die künftige Wasserversorgung der Schweiz*. Gas/Wasser/Wärme 9, 1.
– (1969b): *Gedanken zu einer umfassenden Wasserwirtschaft*. WEW 1969/11, 3.
- UMBRICHT, V. H. (1968): *Die Finanzierung des Gewässerschutzes. Ein Vorschlag*. Schweizer Monatsheft 48/5, 1.
- WOLTER, D. (1969): *Grundwasserverunreinigungen durch unsachgemässe Lagerung von Kunstdünger*. WWT 19/5, 161.
- ZIEMS, J. (1967): *Neue Erkenntnisse hinsichtlich der Verformungsbeständigkeit der Lockergesteine gegenüber Wirkung des Sickerwassers*. WWT 17/2, 50.

