

## Bohrlochmessungen zur Klärung aktueller Fragen am Beispiel zweier artesischer Brunnen

Von P. HACKER, J. ULLRICH (Wien) und K. WEHINGER (Linz)

### Inhalt

	Seite
Einleitung .....	127
1. Geologie, Tektonik, Hydrogeologie .....	128
2. Bohrlochmeßmethoden .....	130
2.1. Bohrlochsonden, die physikalische Eigenschaften der unmittelbaren Umgebung des Bohrloches messen .....	130
2.1.1. Gammalog zur Messung der natürlichen Gammastrahlung ..	130
2.1.2. Neutron-Neutron-Log zur Messung des Wasserstoffgehaltes (Gesamtporosität) .....	130
2.1.3. Widerstands- und Eigenpotentiallog .....	130
2.2. Bohrlochsonden, die Eigenschaften des Grundwassers direkt messen ..	131
2.2.1. Temperaturlog .....	131
2.2.2. Flügelradsonde (Flowmeter, Rheometer) .....	131
3. Beispiel 1, artesischer Brunnen Stegersbach, Endteufe 139,5 m .....	132
4. Beispiel 2, artesischer Brunnen St. Marienkirchen a. P., OÖ., Endteufe 110 m	135
Zusammenfassung .....	137
Literatur .....	138
Summary .....	138

### Einleitung

Die Wasserwirtschaft fordert im Sinne einer möglichst sparsamen Verwendung der Grundwässer die Nutzung nur jener Wässer, welche tatsächlich benötigt werden. Um dieses Ziel zu erreichen, wurde im WRG 1959 § 10 Abs. 3 ausdrücklich die Bewilligungspflicht aller artesischen Brunnen vorgesehen, also auch jener, welche nur die Wasserversorgung des Haus- und Wirtschaftsbedarfes decken sollen.

Die fachliche Beurteilung, insbesondere ob ein artesischer Brunnen gedrosselt oder verschlossen werden kann, ohne daß er Schaden leidet, führt oft, besonders bei alten Brunnen, zu großen Schwierigkeiten.

Die erhöhte Gefährdung oberflächennaher Grundwässer bewirkt eine zunehmende Bedeutung der häufig gespannten Tiefengrundwässer für die Wasserversorgung. Bei einer großen Zahl bereits bestehender (zum Teil älterer) artesischer Brunnen treten im

Rahmen der wasserwirtschaftlichen Bewilligungen eine Reihe von Fragen auf, die nur mit Hilfe geeigneter Bohrlochmeßmethoden gelöst werden können (P. HACKER & J. ULLRICH, 1982). So besteht oft Unklarheit über den geologischen Aufbau der durchörterten Schichten oder über die exakte Tiefe der (des) artesischen Horizonte(s). Ein weiteres Problem bildet die Frage des Bohrlochausbaues: Muß eine Bohrung verrohrt werden, weil andernfalls gespannte Tiefenwässer in hangende Horizonte abfließen würden, oder kann auf die Verrohrung verzichtet bzw. diese auf ein Minimum reduziert werden, da die Bohrlochuntersuchungen eindeutig eine derartige Gefahr ausschließen?

Naturgemäß verrohrt der Inhaber einer artesischen Bohrung diese aus finanziellen Gründen selten voll, obwohl er befürchten muß, daß bei einer Absperrung die Bohrung einfällt und damit die Schüttung stark abnimmt oder gar aufhört. Bisher gelang es nur in wenigen Fällen, diese Behauptung zu beweisen oder zu widerlegen. Der Wasserrechtsbehörde ist naturgemäß das freie Ausfließen und somit die Verschwendung hochwertigen Wassers ein Dorn im Auge. Im Fall der gezielten Absperrung stellt sich die Frage, ob die Bohrung ausreichend verrohrt ist, oder ob es nach Verschuß zu einem inneren Raubbau kommt.

Die in dieser Arbeit vorgestellten Bohrlochmessungen betreffen zwei seit einiger Zeit bestehende artesische Bohrungen mit positivem piezometrischem Niveau, deren Endtiefe 139,5 m bzw. 110 m beträgt. Ziel der Arbeit soll es sein, zu zeigen, mit welcher geringen Zahl von Bohrlochmeßmethoden hydrogeologische Fragen des Artesers eindeutig beantwortet werden können, sofern nur ein der Problemstellung angepaßtes Instrumentarium verwendet wird.

## 1. Geologie, Tektonik, Hydrogeologie

Die Bohrung im Raum St. Marienkirchen an der Polsenz/OÖ. liegt in der Molassezone. Bedingt durch die Nähe zur Böhmisches Masse, zum kristallinen Grundgebirge, hatte sich in diesem Bereich des Molassebeckens eine spezielle Randfazies entwickelt, die sich in ihrem Sedimentationsaufbau von jener des zentralen Molassetroges unterscheidet.

Das Grundgebirge im Untersuchungsgebiet wird durch kristalline Gesteine der Böhmisches Masse gebildet, die nach Süden abtauchen. Im Hangenden des Kristallins folgen die tertiären Molassesedimente; zu Beginn die bunten Tone, die sogenannten Pielacher Tegel aus dem Obereozän. Darüber liegen am Beckenrand die litoral abgelagerten Linzer Sande (Eger), die als weiße bis weißgraue Quarzsande mit wechselndem Glimmer- und Feldspatgehalt beschrieben werden und die ihren Ursprung in der Böhmisches Masse haben dürften. Diskordant lagern darauf die als Älterer Schlier bezeichneten dunkelgrauen bis -braunen Tone, zum Teil auch Tonmergel, des Ober-Eger. Als weitere hangende Schichtfolge würden nun über dem Älteren Schlier die Phosphoritsande, graue, braune oder grünliche Sande des Ottwang (z. B. Phosphoritlagerstätte von Prambachkirchen) folgen, doch dürfte diese im Raum St. Marienkirchen austreichen. Im Untersuchungsbereich jedoch liegen unmittelbar über dem Älteren Schlier graue bis grünlichgraue Tonmergel mit dünnen Feinsandlagen, genannt der Robulus-Schlier, aus dem Ottwang (F. X. SCHAFFER, 1951).

Die Lagerungsverhältnisse am Südrand der Böhmisches Masse werden ganz allgemein von der Massivrandtektonik bestimmt, miteinander vergitterte prätertiäre und oligozäne Bruchsysteme. Neueste geophysikalische Untersuchungen (H. HEINZ, W.

SEIBERL & A. BIEDERMANN, 1981) zeigen bemerkenswerte Brüche, von denen Kristallin, Linzer Sande und Älterer Schlier betroffen sein können.

Das Einfallen der Schichten ist generell flach nach Süden, maximal mit zehn Grad.

Als potente Grundwasserleiter im gegenständlichen Gebiet können vor allem die Linzer Sande angesprochen werden. Die geringmächtigen Feinsandhorizonte im Robulus-Schlier hingegen sind von untergeordneter Bedeutung. Infolge der liegenden und hangenden Begrenzung der Linzer Sande durch minder- und mindstdurchlässige Tone, aber auch bedingt durch das Abtauchen des Sandaquifers gegen Süden, stehen die Wässer mit Zunahme der Entfernung vom Becken- und Massivrand unter Druck. Zahlreiche Bohrungen, die bis in diesen Horizont abgeteuft wurden, erschließen daher gespannte, oft artesisch ausfließende Wässer. Der artesische Druck in dieser Bohrung wurde nicht gemessen. Als Richtwert kann jedoch der Druck des vom selben Horizont gespeisten und in etwa vergleichbarer Geländehöhe liegenden, benachbarten artesischen Brunnens mit 2,9 bar dienen.

Mit Ende der Bohrung bei 110 m Tiefe wurde das Kristallin nicht angefahren. Auf dem  $\gamma$ -Log-Profil, das aufgrund der derzeitigen Versandung der Bohrung nur bis in 91,7 m Tiefe reicht, sind die Linzer Sande nicht erkennbar. Aus Mitteilungen von Bohrfirmen geht hervor, daß im Bereich St. Marienkirchen a. P. die Linzer Sande in ca. 100 m Tiefe, im Bereich Schallerbach (ca. 4 km Luftlinie) aber bereits in 550 m Tiefe (neue Tiefbohrung Schallerbach, 1982: 550–570 m tonige Linzer Sande, 570–641 m reine Linzer Sande) angetroffen wurden. Das Kristallin wurde in 703 m Tiefe angefahren.

Die über dem Jahresmittel der lokalen Lufttemperatur liegende Wassertemperatur von zirka 16 bis 17°C läßt das Wasser als leicht thermal ansprechen. Die Bohrung wurde nur teilweise ausgebaut. Eine Vollverrohrung reicht von der Geländeoberkante bis in 35,5 m Tiefe, von da an ist das Bohrloch unverrohrt.

**Die Bohrung Stegersbach** (südliches Burgenland) wurde in den pannonischen Lockersedimenten des Steirischen Beckens abgeteuft. Auch in diesem Fall liegt die Bohrung nahe dem Beckennordrand, an dessen Basis kristalline Gesteine des Wechselgebietes und des Rechnitzer Gebirges (Wechselschiefer und -gneise, Grüngesteine, Kalkschiefer, Serpentine etc.) anstehen. Diese tauchen gegen Süden und Südosten ein. Darüber lagern marine und limnisch-fluviatile Lockergesteine, wie etwa die gröberklastischen Sannersdorfer Konglomerate in schluffig-toniger Matrix mit Kohle aus dem Karpat bis Baden. Brackischem Milieu entstammen im Hangenden die hauptsächlich feinsandig-tonigen Schichten aus dem Sarmat.

Nach Rückzug des Meeres und anschließender Aussüßung setzte im Pannon bis Pont ein limnisch-fluviatiler Sedimentationszyklus von überwiegend toniger Entwicklung ein, in die lateral und horizontal grobklastische Sedimente aus dem Bergland des Hinterlandes eingeschaltet sind (W. KOLLMANN, 1982).

Die 139,5 m tiefe Bohrung durchörtert zunächst quartäre Tone, Sande und Gerölle, die dann bei ca. 9 m in unterschiedlich mächtige Horizonte des Terriärs, sandig bis schluffig, übergehen. Zwischen 67,5 und 74 m folgt der erste artesische, kiesig-sandige Horizont, der vom zweiten geringmächtigen Horizont (94 bis 96 m) durch graue Tone getrennt wird. Der dritte, relativ mächtige Grundwasserhorizont, dessen Wässer mit ca. 1,7 bar gespannt sind, liegt in 99 bis 112 m Tiefe. In seinem Liegenden wurde bis 140 m nur noch feinsandiges bis schluffiges Material angetroffen. Die Wassertemperatur des dritten Aquifers ist mit ca. 15,6°C leicht erhöht.

Die Bohrung wurde voll ausgebaut, 6"-Verrohrung bis in 139,5 m Tiefe, wobei die

Vollverrohrung durch drei Filterrohrabschnitte unterbrochen wird. Diese lagen zunächst in 25,5 bis 29,5 m, 69,5 bis 73,5 m und 95,5 bis 111,5 m Tiefe. Der Versuch, die Verrohrung nach erfolgreichem Einbau zu ziehen, mußte erfolglos abgebrochen werden, führte jedoch zu einer teilweisen Höherverlegung der Filterstrecken. Stichhaltig bewiesen wurde dies durch die Ergebnisse aus getrennt gefahrenen Bohrlochlogs (FGJ-Graz, H. P. LEDITZKY, 1981, und BFVA-Arsenal, J. KOPAL, 1981).

## 2. Bohrlochmeßmethoden

### 2.1. Bohrlochsonden, die physikalische Eigenschaften der unmittelbaren Umgebung des Bohrloches messen

#### 2.1.1. Gammalog zur Messung der natürlichen Gammastrahlung

Die Gammastrahlung im Bohrloch stammt zum überwiegenden Teil vom Isotop  $^{40}\text{K}$ , das besonders in Tonmineralien anzutreffen ist. Da die angezeigte Intensität der Gammastrahlung proportional zum Tongehalt ist, kann somit gut zwischen (dichten) tonigen Schichten und potentiellen Aquiferen, welche sich durch geringe Gammastrahlung abheben, unterschieden werden. Die statistischen Schwankungen der (relativ geringen) Gammaintensität, erfahrungsgemäß zwischen 0,1 und  $1 \cdot 10^3$  cpm, können durch die Wahl geringer Logginggeschwindigkeiten gut in den Griff bekommen werden. Auch der für nukleare Sonden beträchtliche seitliche „Einzugsbereich“ der Gammastrahlung von ca. 30 cm und die relativ geringe Empfindlichkeit der Gammasonde auf Änderungen des Bohrlochdurchmessers (abgesehen von Absorptionseffekten) sprechen für den Einsatz des Gammalogs. Letztendlich bietet das Gammalog (dies hat es mit allen nuklearen Sonden gemeinsam) den entscheidenden Vorteil, in verrohrten Bohrungen messen zu können. Als einziger Nachteil könnte allenfalls der durch komplizierte Technik bedingte relativ hohe Anschaffungspreis genannt werden.

#### 2.1.2. Neutron-Neutron-Log zur Messung des Wasserstoffgehaltes (Gesamtporosität)

Bedingt durch das Funktionsprinzip, nämlich die Abbremsung schneller Neutronen einer Americium-Beryllium-Quelle durch Protonen (Wasserstoffkerne) und Registrierung der abgebremsten (moderierten) thermischen Neutronen mittels eines dafür geeigneten Detektors, ist die „Seitenreichweite“ des Porosity-Logs relativ gering, nur einige Zentimeter. Weiters macht sich die große Empfindlichkeit der Anzeige in Abhängigkeit vom Bohrlochdurchmesser unangenehm bemerkbar. Ihr Einsatz in unverrohrten Bohrungen ist ohne gleichzeitigen Einsatz eines Kaliberlogs wenig sinnvoll.

Zu den hohen Anschaffungskosten kommen strahlenschutztechnische Probleme mit der Neutronenquelle; Sorgfalt im Umgang mit dem Porosity-Log ist daher vonnöten. Die Unmöglichkeit, zwischen freiem Porenwasser und adsorptiv gebundenem Wasser zu unterscheiden, macht eine gleichzeitige Messung der natürlichen Gammastrahlung notwendig, um Informationen über den Tongehalt zu erhalten.

#### 2.1.3. Widerstands- und Eigenpotentiallog

Widerstands- („Resistivity“-)Logs bestehen im allgemeinen aus den am Loggingkabel angebrachten Elektroden, die den spezifischen elektrischen Widerstand der

Umgebung des Bohrloches messen. Der einfachen Sondenkonstruktion und der großen seitlichen Eindringtiefe des elektrischen Stromes (zumindest bei üblichen Sondengeometrien) stehen die etwas geringere Schichtauflösung und die Tatsache gegenüber, daß nur in unverrohrten Bohrungen gemessen werden kann. Widerstandsmessungen in bereits bestehenden verrohrten Bohrungen kommen damit nicht in Frage. In unverrohrten Bohrungen können im allgemeinen potentielle Aquifere mittels Widerstands- und Eigenpotentiallog erkannt werden.

## **2.2. Bohrlochsonden, die Eigenschaften des Grundwassers direkt messen**

### **2.2.1. Temperaturlog**

Bohrlochsonden zur Messung der Wassertemperatur in Bohrlöchern bieten konstruktiv keine großen Schwierigkeiten, sofern die Kabellänge nicht zu groß ist. Für das von der Abteilung „Hydrogeologie und Angewandte Geophysik“ verwendete Bohrlochlogginggerät mit einer Kabellänge von 600 m wurde eine hochauflösende Temperatursonde konstruiert. Diese besitzt als Thermofühler einen Pt-100-Platinwiderstand, welcher direkt in der Sonde mittels eines modernen Zweidrahtsenders gemessen und in einen zum Widerstand proportionalen Gleichstrom umgewandelt wird; dadurch werden Störungen bei der Übertragung praktisch ausgeschlossen.

Die Temperatursonde besitzt die hohe Auflösung von besser als  $0,005^{\circ}\text{C}$ . Die Probleme beim Einsatz der Temperatursonde liegen jedoch weniger im meßtechnischen Bereich als in den interpretatorischen Schwierigkeiten. Die Ermittlung der Eigenschaften von Aquiferen mittels Temperaturmessung allein erscheint nach den Erfahrungen der Autoren gerade bei artesischen Brunnen aus mehreren Gründen schwierig zu sein: So konnte bei Bohrungen mit positivem piezometrischem Niveau und freiem Auslauf eine Temperaturdifferenz des im Bohrloch aufsteigenden Wassers in Abhängigkeit von der Schüttung des artesischen Horizonts und der Bohrlochtiefe festgestellt werden. Im Fall einer hohen Schüttung war zumeist eine markante Temperaturveränderung speziell im Bereich des höffigen Arteserhorizontes zu beobachten. Diese auffällige Temperaturanomalie weicht immer mehr einem ausgeglichenen Temperaturanstieg über die gesamte Bohrlochtiefe, wenn die Schüttung im Verhältnis zum Bohrdurchmesser und zur Gesamtbohrtiefe abnimmt. Bei Bohrungen mit einem negativen piezometrischen Niveau oder bei Abwesenheit einer Vertikalströmung durch Abspernung muß sich nach unserer Beobachtung ein artesischer Horizont nicht unbedingt durch einen geringeren Temperaturgradienten abheben, wie manchmal in der Literatur behauptet wird. Nach Ansicht der Autoren konnte wohl in gewissen Fällen der Eintritt artesischen Grundwassers in das Bohrloch durch Temperaturanomalien festgestellt werden, doch ist dies nicht die Regel.

Unbestritten ist jedoch der Wert der Temperatursonde für die Ermittlung von Vergleichswerten und der geothermischen Tiefenstufe insbesondere.

### **2.2.2. Flügelradsonde (Flowmeter, Rheometer)**

Die Flügelradsonde mißt direkt (mittels Meßflügel) die Vertikalströmung des Grundwassers in der Bohrung. Gerade bei einem frei auslaufenden artesischen Brunnen sind die Voraussetzungen für eine derartige Messung besonders ideal, da jeder potente Zustrom (bzw. Abfluß) aus einem höffigen Horizont mit dieser Methode erfaßt werden kann. Der Abteilung „Hydrogeologie und Angewandte Geophysik“ stehen zwei zum Logginggerät passende Flowmeter zur Verfügung; die vorliegenden Messungen wurden

mit einer Flügelradsonde durchgeführt, welche eine Eigenentwicklung der Gruppe Geophysik ist und einige konstruktive Details aufweist, die sie für Präzisionspunktmessungen besonders geeignet erscheinen lassen. Als mechanisches Meßgerät muß naturgemäß auf besonders reibungsarmen Lauf des Meßflügels geachtet werden; dieser ist verantwortlich für die Ansprechschwelle des Flügels, welche etwa bei einer Vertikalgeschwindigkeit von 0,5–1 cm/s liegen dürfte.

In der Praxis wird die Vertikalfließgeschwindigkeit Punkt für Punkt in verschiedenen Tiefen gemessen. Gleichbleibenden Rohrdurchmesser vorausgesetzt, würden konstante Meßwerte bedeuten, daß weder ein Zufluß noch ein Abfluß von Wässern erfolgt (wie z. B. im Vollrohr). Erst eine Änderung der Vertikalgeschwindigkeit mit der Tiefe weist auf einen Zustrom bzw. Abfluß hin: Je größer die Änderung der Vertikalgeschwindigkeit (also der Differentialquotient  $dv/dx$ , wobei  $v$  = Vertikalgeschwindigkeit,  $x$  = Höhe über Bohrlochsohle), um so stärker der Grundwasserzustrom, wenn  $dv/dx$  positiv ist. Kurz gesagt, ein Zustrom erfolgt dort, wo die Vertikalfließgeschwindigkeit mit steigender Höhe über der Bohrlochsohle zunimmt. Umgekehrt erfolgt ein Abfluß in Bereichen, welche eine Abnahme der Vertikalgeschwindigkeit mit steigender Höhe aufweisen. Diese Überlegungen gelten nur in verrohrten Bohrungen mit konstantem Durchmesser, da die Vertikalströmung empfindlich (nämlich quadratisch) vom Rohrdurchmesser abhängt. Somit kommt es zwangsläufig in unverrohrten Bohrungen (bedingt durch Änderungen des Bohrlochdurchmessers, die von Auswaschungen verursacht werden) zu Schwankungen der Vertikalfließgeschwindigkeit, die nichts mit einem allfälligen Zufluß bzw. Abfluß zu tun haben. Der Einsatz anderer Bohrlochsonden macht es jedoch in allen Fällen möglich, Flügelradmessungen hydrologisch sinnvoll zu interpretieren und störende Effekte (wie oben genannt) zu erkennen und zu eliminieren. Die Messung der Vertikalströmungsgeschwindigkeit bei gleichzeitiger stufenweiser Drosselung des freien Auslaufes mittels geeigneter Schleusenkonstruktion erlaubte es (wie im Beispiel 1 demonstriert), den Abfluß artesischer Wässer in quartäre Lockersedimente meßtechnisch direkt nachzuweisen. Bei artesischen Bohrungen mit freiem Abfluß ist daher die Flügelradsonde ein überaus wertvolles Hilfsmittel zur direkten Bestimmung des Zuflusses bzw. eines allfälligen Abflusses. Naturgemäß gilt das Gesagte auch für beliebige Bohrungen; jedoch muß bei diesen eine künstliche Vertikalströmung durch Pumpen erzeugt werden.

### 3. Beispiel 1, artesischer Brunnen Stegersbach, Endteufe 139,5 m

Die Bohrung in Stegersbach ist verrohrt, und sie besitzt drei Filterstrecken (25,5 m–29,5 m, 69,5 m–73,5 m und 95,5 m–111,5 m). In dieser Bohrung wurden nur Flügelradmessungen durchgeführt, da Messungen der natürlichen Gammastrahlung und der Wassertemperatur bereits von anderer Seite erfolgt waren. Die Messung wurde bei den Schüttungen 30 l/s (Maximum), 25 l/s, 15 l/s und 5 l/s vorgenommen; mittels eines speziell angefertigten Schleusensystems konnte der freie artesischer Auslauf gedrosselt werden. Die Drosselung kann nicht beliebig erfolgen, da andernfalls die Vertikalströmung im Bohrloch zu klein ist und vom Meßflügel nicht mehr mit ausreichender Genauigkeit erfaßt werden kann. Fig. 1 zeigt die Ergebnisse der vier Flügelradmessungen, Fig. 2 die daraus abgeleiteten Zufluß- und Abflußdiagramme.

Die Ergebnisse im einzelnen:

a) Maximale Schüttung von 30 l/s (Kurve 4 in Fig. 1):

Aus dem Zuflußdiagramm läßt sich entnehmen, daß der untere Horizont zu etwa 70% an der Gesamtschüttung beteiligt ist, der mittlere Horizont zu etwa 20%, der obere Horizont zu etwa 10%. Eine detailliertere Darstellung des Zuflusses  $dy/dx$  im unteren Horizont zeigt, daß innerhalb der tiefsten Filterstrecke der Hauptzu-  
strom zwischen 98 m und 103 m erfolgt. Eine Betrachtung des Diagrammes im  
mittleren Filterrohabschnitt läßt darauf schließen, daß sich der Filter nicht in der  
angegebenen Position befindet; ein Ergebnis also, daß als wichtiges Nebenprodukt  
anfiel. Diese Verlagerung könnte auf den schon erwähnten Versuch, die Verrohrung  
zu ziehen, zurückzuführen sein.

b) Schüttung 25 l/s (Kurve 3 in Fig. 1):

Die aus Kurve 3 ermittelten anteiligen Schüttungen ergeben folgende Werte:

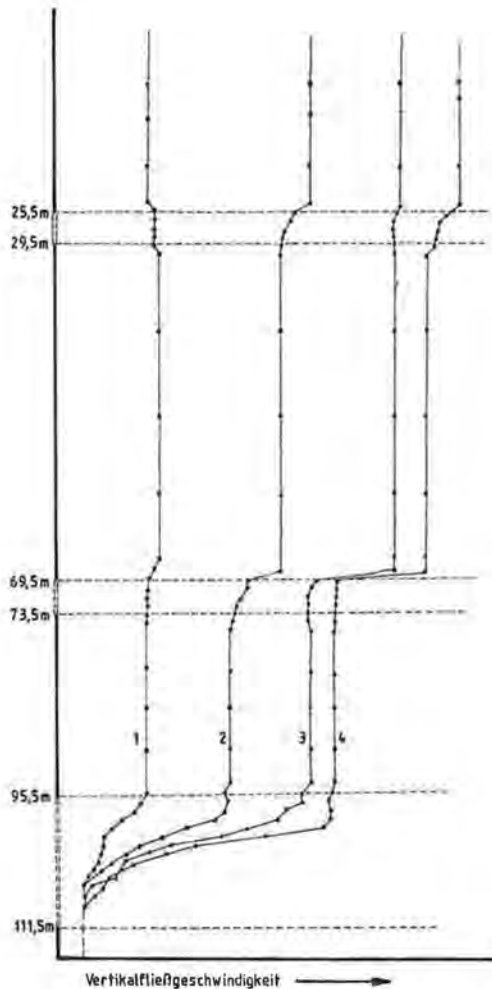


Fig. 1: Messung der Vertikalfließgeschwindigkeit mit der Flügelradsonde in der Bohrung Stegersbach (Erläuterungen s. Text).

unterer Horizont etwa 79%, mittlerer Horizont etwa 26%, oberer Horizont etwa 4%. Auch die Zuflußdiagramme in Fig. 2 zeigen durchaus vergleichbare Werte.

c) *Schüttung 15 l/s* (Kurve 2 in Fig. 1):

Die aus Kurve 2 ermittelten anteiligen Schüttungen ergeben folgende Werte: unterer Horizont etwa 67%, mittlerer Horizont etwa 23%, oberer Horizont etwa 10%. Die Aufteilung des Gesamtzuflusses auf die einzelnen Horizonte erfährt also auch bei dieser Schüttung keine wesentliche Änderung.

d) *Schüttung 5 l/s* (Kurve 1 in Fig. 1, maximale Drosselung, bei der noch eine präzise Flügelradmessung möglich ist):

Nach der Drosselung ereignete sich nun etwas Wesentliches: Nach wie vor erfolgt, wie Kurve 1 und Fig. 2 zeigen, ein Zufluß im untersten und mittleren Filterrohrabschnitt. Im hangenden Horizont jedoch kommt es unter diesen speziellen Druckverhältnissen nicht mehr zu einem Zu-, sondern zu einem Abfluß, etwa in der Größe des Zuflusses im zweiten Horizont. Dies wird in Fig. 2 eindrucksvoll durch die Flächengleichheit der Zuflußfunktion des mittleren Horizontes mit der Abflußfunktion des oberen Horizontes ( $dv/dx$  kleiner als Null) demonstriert.

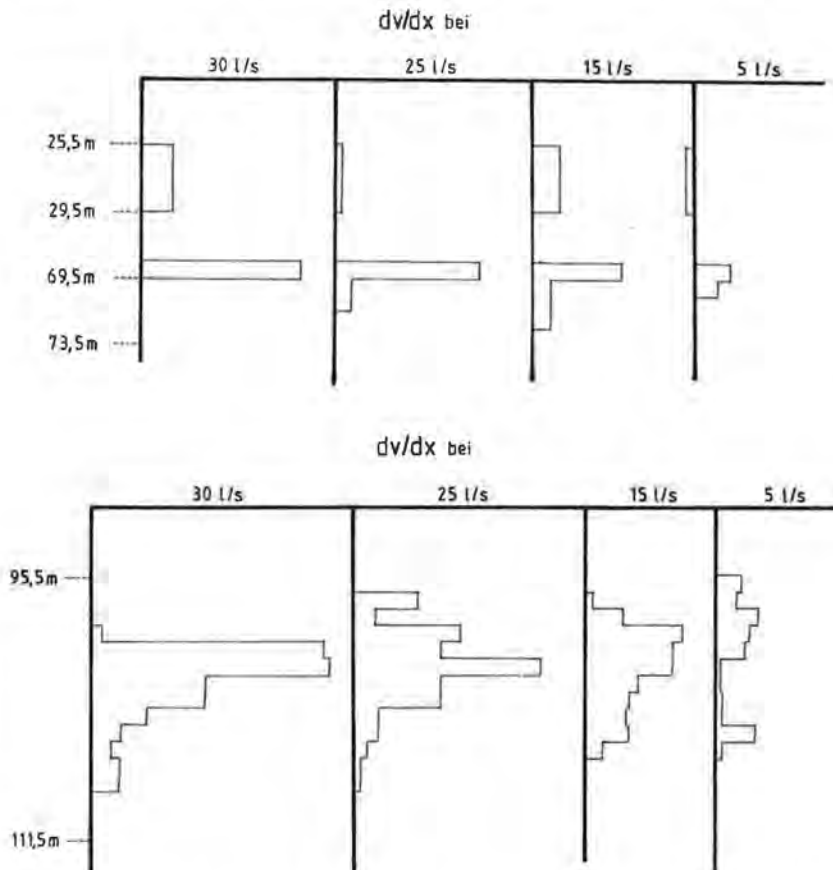


Fig. 2: Ermittlung des Zuflusses (Abflusses)  $dv/dx$  aus der Vertikalfließgeschwindigkeit in der Bohrung Stegersbach.



Die Flügelradmessungen haben somit nicht nur die wesentliche Aussage erbracht, daß die überwiegende Wassermenge vom liegenden artesischen Grundwasserhorizont geliefert wird, sondern auch im direkten Verfahren eindeutig nachgewiesen, daß es bei Drosselung des freien Ausflusses zu einer inneren Wasserverschwendung (zu einem „inneren Raubbau“), also zu einem Abfließen der gespannten Wässer in das Grundwasserstockwerk zwischen 25,5 m und 29,5 m kommt. Da bereits bei einer Drosselung von 30 l/s auf 5 l/s eine Wassermenge von ca. 0,5 l/s durch inneren Abfluß verlorengeht, ist bei völligem oberflächlichen Verschuß der Bohrung aufgrund der höheren Druckdifferenz das Abfließen einer noch größeren Wassermenge in die seichtliegenden Lockersedimente anzunehmen. Diese Wassermenge liegt sicher über 0,5 l/s, wahrscheinlich zwischen 1 l/s und 4 l/s.

Vergegenwärtigt man sich, daß mit einer Wassermenge von 3 l/s bei einem mittleren täglichen Bedarf von 150 l fast 2000 Menschen mit Trinkwasser versorgt werden können, so ergibt sich die außerordentliche Bedeutung des richtigen Ausbaues artesischer Bohrungen von selbst. Eine Voraussetzung dafür sind präzise hydrogeologische, geophysikalische und hydraulische Voruntersuchungen.

Überdies stellt artesisches Tiefengrundwasser einen natürlichen Trinkwasserschatz dar, der bedingt durch seine dichte Überdeckung vor Verunreinigungen weit besser geschützt ist als seichtliegende Porengrundwässer. Die immer noch viel zu geringen Kenntnisse über die Einzugsgebiete, Entwässerungsmechanismen und Erneuerungsraten artesischer Tiefenwässer lassen ebenfalls einen äußerst sorgfältigen Umgang mit diesen angeraten erscheinen.

#### 4. Beispiel 2, artesischer Brunnen St. Marienkirchen a. P., OÖ., Endteufe 110 m

In dieser Bohrung, welche bei freiem Auslauf eine Schüttung von ca. 2 l/s hat, wurden die natürliche Gammastrahlung, die Temperatur sowie die Vertikalgeschwindigkeit mittels Flügelradsonde gemessen.<sup>1)</sup> Auch hier lauteten die wichtigsten Fragen nach einer möglichen inneren Wasserverschwendung (somit nach dem Zustand der Verrohrung) und nach dem Zustrom der artesischen Wässer, der Lage des gespannten Horizontes. Im Gegensatz zu den unvollständigen Angaben der Bohrfirma, die als Endteufe der Bohrung 110 m angab, wurde von der Abteilung Hydrogeologie und Angewandte Geophysik eine Endteufe von 91,7 m angetroffen, was zunächst bedeutete, daß die Bohrung entweder nur diese Endteufe erreicht hatte oder daß diese unterhalb 91,7 m versandet war. Bei Betrachtung des natürlichen Gammaprofiles in der Bohrung werden die relativ hohen Intensitätswerte augenfällig, die tonreichen Mineralien zuzuordnen sind (Fig. 3). Der schmale Bereich niedriger Gammaintensität in ca. 66 m Tiefe dürfte einer isolierten geringmächtigen Sandlinse zuzuordnen sein, welche (wie die Flügelradmessung später ergab) in keinem Zusammenhang mit einem ausgedehnten Aquifer steht. Die deutlich verringerte Gammaintensität zwischen Geländeoberkante und 35,5 m Tiefe ist auf Absorption durch die Verrohrung zurückzuführen. Da die natürliche Gammastrahlung auch am Bohrloch tiefsten nicht abnimmt, ist schon aufgrund dieses Logs zu vermuten, daß der artesischer Horizont verschüttet unter 91,7 m liegen muß und somit von Bohrlochsonden nicht erreicht werden kann.

<sup>1)</sup> Die Messungen wurden teilweise im Rahmen des Projektes „Hydrogeologische Untersuchungen artesischer Wässer im oberösterreichischen Alpenvorland“ (FGJ Graz) finanziert.

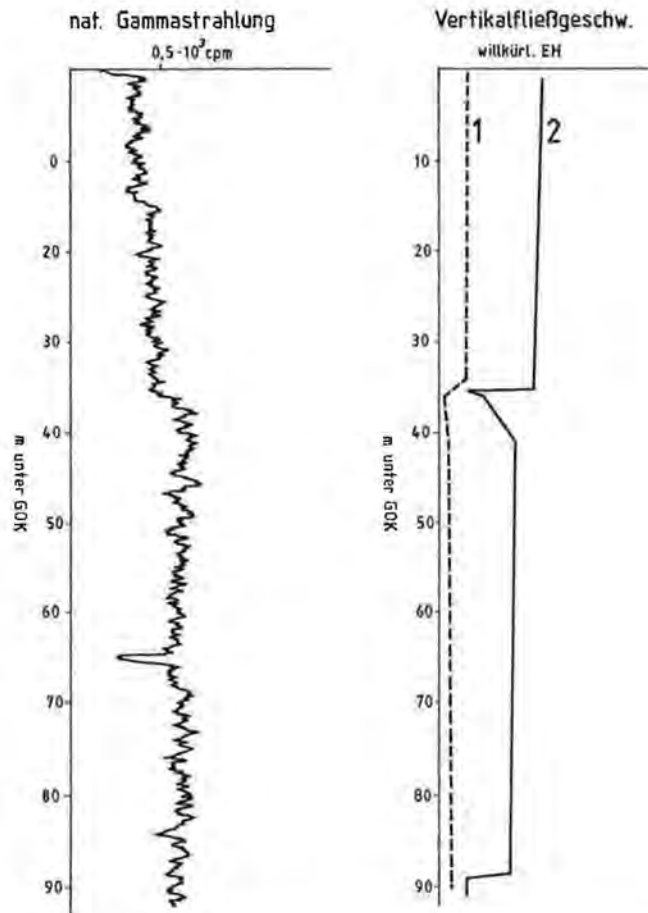


Fig. 3: Messung der natürlichen Gammastrahlung und der Vertikalfließgeschwindigkeit in der Bohrung St. Marienkirchen a. P.

Da die Schüttung des artesischen Brunnens St. Marienkirchen bei einem vergleichbaren Bohrllochdurchmesser mit Stegersbach etwa 2 l/s beträgt, die Vertikalfließgeschwindigkeit folglich bedeutend kleiner als in letzterer ist, sind die Auswirkungen der Lagerreibung bei der Flügelradsonde wesentlich spürbarer und die Meßfehler größer. Ein weiteres Problem tritt bei Flügelradmessungen in unverrohrten Bohrungen auf: Nach der Kontinuitätsgleichung ist die Strömungsgeschwindigkeit umgekehrt proportional zur durchströmten Querschnittsfläche, was bedeutet, daß die Vertikalfließgeschwindigkeit empfindlich (nämlich quadratisch) auf Änderungen im Bohrllochdurchmesser reagiert. In Fig. 3 wurden Schwankungen der Meßwerte im unverrohrten Teil der Bohrung nicht berücksichtigt, sofern sie auf geringfügige Querschnittsänderungen zurückzuführen waren.

Die bereits aufgrund der Gammamessung angestellten Überlegungen werden durch die Ergebnisse der Flügelradmessungen überzeugend bestätigt. Aus Fig. 3 ist zu entnehmen, daß praktisch der gesamte Zufluß von der derzeitigen Bohrlochsohle

erfolgt, was beweist, daß tatsächlich gespanntes Wasser durch die eingeschwemmten Sedimente gepreßt wird. Der Anstieg der Fließgeschwindigkeit bei 89 m dürfte nicht auf horizontalen Zufluß zurückzuführen sein (dem widerspricht eindeutig der durch das Gammalog ausgewiesene hohe Tongehalt); es ist viel eher anzunehmen, daß in dieser Tiefe die turbulente Strömung in eine laminare übergeht. Eine beträchtliche Erweiterung des Bohrlochdurchmessers ist am untersten Ansatz des Vollrohres zu beobachten (Fig. 3); Turbulenzen, komplexe hydrodynamische Vorgänge und unterschiedliche Lagerungsverhältnisse könnten diese Auswaschungen (die maximal etwa den 1,7fachen Bohrlochdurchmesser betragen) bewirkt haben. Hier zeigt sich übrigens eindrucksvoll, wie durch Einsatz verschiedener Sonden die Gefahr von Fehlinterpretationen aufgrund einer einzigen Methode vermieden wird. Es kann nicht oft genug betont werden, daß es bei Bohrlochgeophysikalischen Problemen eine „ideale“ Sonde nicht gibt und daß die Kombination mehrerer Methoden, die möglichst verschiedene Parameter messen, zur Anwendung gelangen sollte.

Eine Drosselung der Schüttung auf ca. 0,7 l/s (Kurve 1 in Fig. 3) ergab so kleine Vertikalfließgeschwindigkeiten, daß die untere Meßgrenze des Flowmeters praktisch erreicht war. Dennoch stimmt der Verlauf der Kurve 1 gut mit Kurve 2 (volle Schüttung) überein.

Die Kombination der beiden Meßmethoden brachte zwei wichtige Ergebnisse: Erstens, die Bohrung wurde zwar tiefer als 91,7 m abgebohrt, versandete jedoch anschließend bis auf diese Höhe. Sie ist nicht eingestürzt. Trotz dieser Versandung ist der Arteser nach wie vor aktiv, seine Schüttung aber dadurch reduziert. Für die Zukunft ist mit einem weiteren Ergiebigkeitsrückgang zu rechnen, da die Versandung fortschreiten wird. Der Vollausbau des Brunnens – Verrohrung und Auslaufregelung – hätte sicherlich diese starke Einschwemmung hintangehalten.

Zweitens steht die Bohrung, wie die Gammamessung ergab, bis 91,7 m in relativ homogen aufgebauten, tonreichen und somit geringdurchlässigen Schichten. Auch die Flügelradmessung läßt nur einen Zufluß im Bereich der Sohle erkennen. Unter diesen Umständen ist die Möglichkeit eines inneren Raubbaues praktisch ausgeschlossen.

Die Temperaturmessungen (nicht abgebildet) brachten bei freiem artesischen Überlauf einen praktisch linearen Temperaturanstieg von 16° C bei 0 m auf 16,8° C am Bohrlochtiefsten (91,7 m). Dies bedeutet, daß die artesischen Wässer eine Temperatur von größer als 16,8° C haben (die genaue Temperatur ist aufgrund der Unkenntnis der genauen Teufenlage des artesischen Horizontes nicht angebbbar). Auf ihrem Weg an die Oberfläche erfahren die artesischen Wässer im Bohrloch eine Abkühlung, die wohl vorwiegend von der Ausströmgeschwindigkeit bestimmt wird und damit keine hydrogeologisch interpretierbare Größe darstellt.

Insgesamt zeigt auch diese artesische Bohrung in bezug auf ihren Ausbau einige Unzulänglichkeiten, die durch zeitgerechten Einsatz Bohrlochgeophysikalischer Meßmethoden vermieden hätten werden können. Insbesondere wäre durch den Einbau eines Filterrohres im Bereich des artesischen Horizontes zweifellos ein Versanden der Bohrung verhindert worden.

## Zusammenfassung

Bohrlochgeophysikalische Messungen in zwei artesischen Bohrungen mit unterschiedlicher geographischer Lage, jedoch vergleichbarer geologischer Situation, konnten die wichtigen Fragen über inneren Raubbau bei Arteserverschluß, Tiefenlage des

gespannten Grundwasserhorizontes und Einfallen der unverrohrten Bohrung bei intermittierendem Betrieb beispielhaft nachweisen und sind daher eine Voraussetzung für eine exakte fachliche Beurteilung auch im Rahmen einschlägiger Wasserrechtsverfahren.

## Literatur

- HACKER, P. & J. ULLRICH (1982): Bohrlochmessungen in einem Arteser bei Grieskirchen/OÖ. zur Klärung hydrogeologischer Fragen. – ÖWW, 34, H. 3/4, 73–78, Wien.
- HEINZ, H., W. SEIBERL & A. BIEDERMANN (1981): Massenrohstoffe am Südrand der Böhmisches Masse, Oberösterreich. – Unveröff. Bericht, Wien.
- KOLLMANN, W. (1981): Wasserhöfigkeitskarte Südburgenland (BA 5). – Unveröff. Jahresbericht 1980, Teil 3, 19 S, Wien.
- LEDITZKY, H. P. (1981): Detailuntersuchung über die geothermischen Verhältnisse im Raum Stegersbach. – Unveröff. Bericht, Forschungsgesellschaft Joanneum, 43 S, Graz.
- SCHAFFER, F. X. (1951): Geologie von Österreich. – 2. Aufl., 810 S, Wien (Deuticke).

## Summary

Borehole-geophysical measurements of two artesian wells from different geographical areas but with similar geological situations have been carried out in Upper Austria and Burgenland. They contributed to the solution of questions like the internal loss of water due to the closing of the well, depth of the confined aquifer and the sanding up of the uncased borehole when it is not constantly in use. Therefore it is necessary to have a precise hydrological examination specially for questions concerning the water right.

Anschrift der Verfasser:

Dr. P. HACKER und Dr. J. ULLRICH, Bundesversuchs- und Forschungsanstalt Arsenal, Abt. Hydrogeologie und Angewandte Geophysik, Franz-Grill-Straße 3, A-1030 Wien; Dipl.-Ing. K. WEHINGER, Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Wasserwirtschaft und hydrographischer Dienst, Kärntner Straße 12, A-4020 Linz.