

# KOMPLEXE UNTERSUCHUNG DES ANSTRÖMBEREICHES DES „HEILIGEN BRÜNDLS“ IN GMUNDEN (OBERÖSTERREICH)

Christian Schmid<sup>(1)</sup>, Jürgen Schön<sup>(2)</sup>, Reinhard Gratzner<sup>(3)</sup> und Ralf Benischke<sup>(1)</sup>

<sup>1)</sup> christian.schmid@joanneum.at, ralf.benischke@joanneum.at, Joanneum Research, Institut für WasserRessourcenManagement, Roseggerstr. 17, A-8700 Leoben, <sup>2)</sup> juergen.schoen@aon.at, Adam von Lebenwald Weg 40, A-8700 Leoben, <sup>3)</sup> gratzner@mu-leoben.at, Department für Angewandte Geowissenschaften und Geophysik, Montanuniversität A-8700 Leoben

## ZUSAMMENFASSUNG/ ABSTRACT

Der Quellaustritt des „Heiligen Bründls“ (Gmunden/Oberösterreich) befindet sich in den glazialen Ablagerungen der Würm-Eiszeit. Zur Analyse der Anströmverhältnisse wurden verschiedene geophysikalische und hydraulische Untersuchungen vorgenommen. Im vorliegenden Beitrag werden folgende Verfahren und die damit erzielten Ergebnisse beschrieben:

- mise-a-la-masse-Messungen zur Ermittlung des Hauptanströmbereiches und zur Situierung einer Bohrung zwecks Durchführung von Tracerversuchen.
- zwei Arten von Tracer-Messverfahren (Thermosonde, Uranin-Markierungsversuch) zur Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit des Wassers im Untergrund.

Die mise-a-la-masse-Messungen weisen auf einen aufgefächerten Aquiferbereich hin. Die beiden Tracer-Messverfahren liefern mit völlig unterschiedlichen Messprinzipien Geschwindigkeiten, die in gleicher Größenordnung liegen. Der Streubereich beider Ergebnisse ist in erster Linie durch die Heterogenität des Aquifers begründet.

*The spring „Heiliges Bründl“ (Gmunden/Upper Austria) is located in a Pleistocene terminal moraine. Geophysical and hydraulic techniques are applied in order to evaluate the direction of the groundwater flow in the surrounding area. The paper describes the following methods and the results:*

- *mise-a-la-masse-measurements for derivation of the main water flow direction*
- *tracer measurements with two techniques (a thermal borehole tool and an uranin-tracer measurement) for the determination of the flow velocity.*

*The mise-a-la-masse-measurement results in a splitted inflow section for the spring with two directions. Results of the tracer measurements – despite their different principles – are in the same order of the resulting groundwater flow velocities. The scatter of the individual values is originated by the heterogeneity of the aquifer.*

## I. EINFÜHRUNG UND HYDROGEOLOGISCHE SITUATION

Das „Heilige Bründl“ befindet sich im Gebiet der Bezirkshauptstadt Gmunden, Ortsteil Traundorf. Abbildung 1 zeigt einen Lageplan mit einem Höhenprofil zur Veranschaulichung der orographischen Situation und Morphologie.

Sein Wasser wird seit Jahrhunderten als Trinkwasser genutzt. Das Wasser tritt durch ein ca. 8 m langes, vermutlich geschlagenes Brunnenrohr ca. 3,8 m unter Gelände in die gemauerte Brunnenstube ein. Von dieser Brunnenstube wird das Quellwasser im freien Gefälle abgeleitet.

Durch die Stadtwerke Gmunden–Wasserversorgung wurden Untersuchungen zur Dimensionierung des Schutzgebietes veranlasst und das ZT-Büro DI Dr. Ch. Schmid mit der Durchführung beauftragt. Das Untersuchungsprogramm war mit dem hydrologischen Sachverständigen im Vorfeld abgestimmt worden. Bestandteil dieser Arbeiten waren Messungen zur Untersuchung der Strömungsverhältnisse im Untergrund.

Der Quellaustritt des „Heiligen Bründls“ befindet sich in den glazialen Ablagerungen der Würm-Eiszeit. Der Moränenkörper prägt die hydrogeologische Situation. Er ist aus konsolidierten, stark bindigen, sandig schluffigen Kiesen aufgebaut. Innerhalb dieser Einheit treten vereinzelt Bereiche schwächerer Ton- bzw. Schluffführung auf, die mit lokal begrenzten Wasserwegigkeiten verbunden sind und ein sehr differenziertes Bild der Grundwasserbewegung im Anströmbereich des Brunnens erwarten ließ.

Aufgrund der hydrochemischen Merkmale und der geomorphologischen Situation dürfte die Grundwasserneubildung im Bereich zwischen Wasserlosem Bach und dem Trockental Engelhof erfolgen.

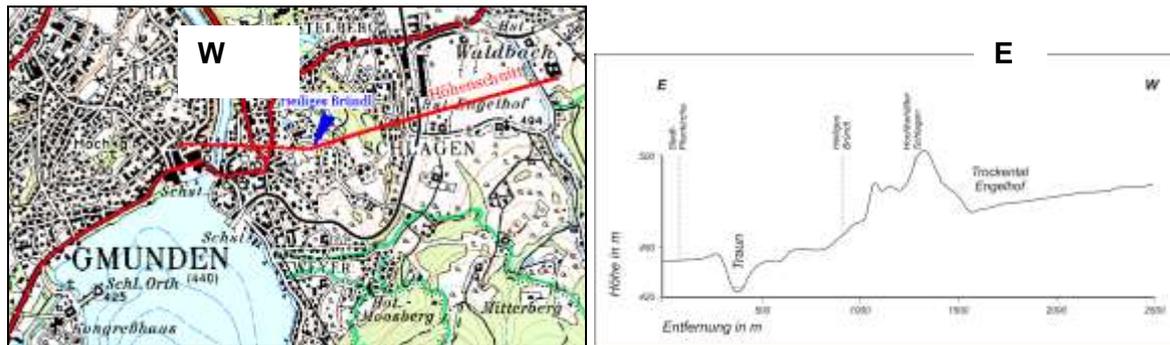


Abb. 1: Übersichtslageplan Grundwasserbrunnen "Heiliges Bründl" mit eingetragener Lage des Höhenschnitts (linke Darstellung) und Verlauf der Topographie, ermittelt aus der digitalen ÖK 1:50.000 (rechte Darstellung)

Das Untersuchungsprogramm umfasste neben Schüttungsmessungen und dem entsprechenden Monitoring vor allem die folgenden Stufen:

- Mise-a-la-masse-Messungen zur Ermittlung des Hauptanströmbereiches und zur Situierung einer Bohrung zwecks Durchführung von Tracer-Versuchen.
- Das Abteufen einer Bohrung im Anströmbereich, die geologische Bearbeitung der Bohrung unter Einschluss von geophysikalischen Bohrlochmessungen.
- Die Durchführung von Tracer-Messungen mit verschiedenen Techniken zur Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit des Wassers im Untergrund.

## II. MISE-A-LA-MASS-MESSUNGEN ZUR ERMITTLUNG DES ANSTRÖMBEREICHES

Die mise-a-la-masse-Messung ist ein geoelektrisches Messverfahren. Beim mise-a-la-masse-Verfahren erfolgt eine direkte Einspeisung eines Gleichstromes mittels einer Elektrode A in den (elektrischen) Leiter, dessen Verlauf im Untergrund untersucht werden soll. Eine Gegenelektrode B befindet sich in großer Entfernung von der Elektrode A. Zwischen den beiden Elektroden baut sich ein elektrisches Gleichfeld auf, dessen Verlauf bei homogenem Untergrund mit der Potentialtheorie berechnet werden kann.

Mit diesem Verfahren kann beispielsweise der Anströmbereich einer Quelfassung erkundet werden. Befinden sich im Untergrund gutleitende Zonen, wie im vorliegenden Falle wasserführende Bereiche, in die der Strom mittels der Elektrode A direkt am Quellaustritt eingespeist wird, so kommt es zu einer Bündelung des elektrischen Feldes – die Stromlinien folgen vorzugsweise den Bereichen guter Leitfähigkeit.

Dieser Verlauf der Stromlinien kann indirekt erfasst werden. Mit Potentialelektroden wird an der Erdoberfläche die elektrische Potentialdifferenz rasterartig gemessen. So ergibt sich der Verlauf elektrischer Äquipotentiallinien (Linien gleichen Potentials) und aus diesem kann auf den Verlauf des Stromfeldes geschlossen werden, denn Stromlinien und Äquipotentiallinien stehen stets senkrecht aufeinander. Die Messung der Potentialdifferenz wird zwischen einer Basiselektrode N und einer Mess- oder Wanderelektrode M vorgenommen, wobei unpolarisierbare Elektroden verwendet werden. Das Verfahren eignet sich insbesondere dann zum Verfolgen von Anströmbereichen, wenn eine direkte Stromeinspeisung in die Quelle möglich ist, die Überlagerungsmächtigkeit etwa 10 m nicht überschreitet (im oberen Teil des Messgebietes ist dies nur eingeschränkt erfüllt) und eine ausgeglichene Morphologie vorliegt.

Bei der mise-a-la-masse-Messung im vermuteten Anströmbereich des „Heiligen Bründls“ befand sich die Einspeiseelektrode A direkt in der Quelfassung. Als Gegenelektrode B wurde ein Teil des Metallzaunes am Quellenweg gewählt; auf diese Weise konnte im "Fernfeld" eine angenähert homogene Stromeinspeisung mit parallelen Stromlinien erzeugt werden. Insgesamt wurden 6 parallele Messprofile in N-S-Richtung angeordnet. Entlang der Profile wurde an Messpunkten im Abstand von ca. 5 m gemessen.

Die in Abbildung 2 dargestellte Verteilung der um den Betrag des ebenfalls gemessenen Eigenpotentials korrigierten mise-a-la-masse-Werte weist auf zwei Anströmbereiche hin:

- ein etwas stärkerer Bereich (zwei Pfeile) aus ESE
- ein schwacher Bereich (ein Pfeil) aus ENE.

Zwischen den beiden Ästen des Anströmbereiches befindet sich vermutlich ein weniger durchlässiger Moränenbereich oder Rücken. Nach diesem Ergebnis wurde für die weiteren Untersuchungen die Bohrung „Heiliges Bründl“ niedergebracht.

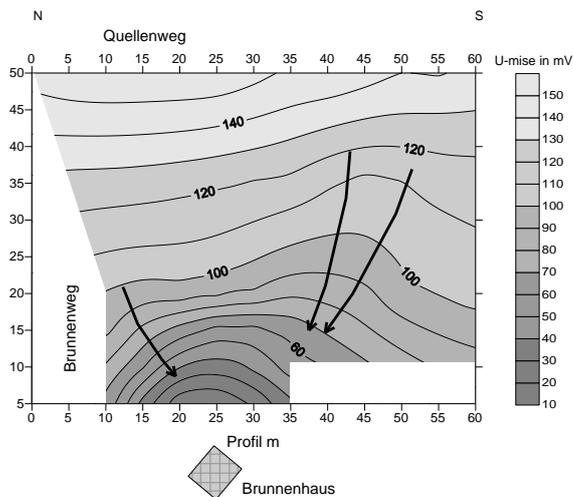


Abb. 2: Ergebnis der mise-a-la-masse-Messung mit eingetragenen Anströmrichtungen (Pfeile)

### III. AUFSCHLUSSBOHRUNG „HEILIGES BRÜNDL“

Die Aufschlussbohrung wurde von der Firma Montex GesmbH als Trockenkernbohrung (dreh-schlagend) bis 22m unter Geländeoberkante abgeteuft. Nach Abschluss der Bohrarbeiten wurde die Bohrung als Grundwasserbeobachtungspegel mit 125 mm-PVC-Rohr ausgebaut, wobei die Abschnitte 3 ... 16 m und 19 ... 22 m verfiltert sind.

Abbildung 3 zeigt das vereinfachte geologische Profil, den schematischen Ausbauplan der Bohrung sowie ausgewählte Ergebnisse geophysikalischer Untersuchungen. Das vereinfachte geologische Profil wurde auf Basis einer Bohrkernansprache (Schmid et al. 2004) und des Gammalogs (hohe Gammawerte weisen auf hohe Tonanteile, niedrige auf hohe Sand- und Kiesanteile hin) erstellt. Sedimentpetrographisch ist das Material als stark toniger, schluffiger mehr oder weniger schwach sandiger Kies einzustufen. Für eine hydrogeologische Beurteilung dieses bindigen, stark konsolidierten Materials wurden Proben entnommen und deren Korngrößenverteilung untersucht. Sie zeigen, dass die in der Geländeansprache feinsandigen Proben hohe Gehalte an Feinanteil (ca. 20-30%) aufweisen. Eine daraus vorgenommene Abschätzung der Durchlässigkeit nach Bayer (1964) liefert für dieses Material  $k_f$ -Werte zwischen  $4 \times 10^{-6}$  und  $5 \times 10^{-7}$  m/s (Schmid et al. 2004). Nach den Messungen ist ein relativ durchlässiger Bereich in einer Tiefe von 12,7 bis 15,9 m festzustellen. Dieser Bereich dürfte damit im Bereich der Bohrung der eigentliche Grundwasserleiter sein.

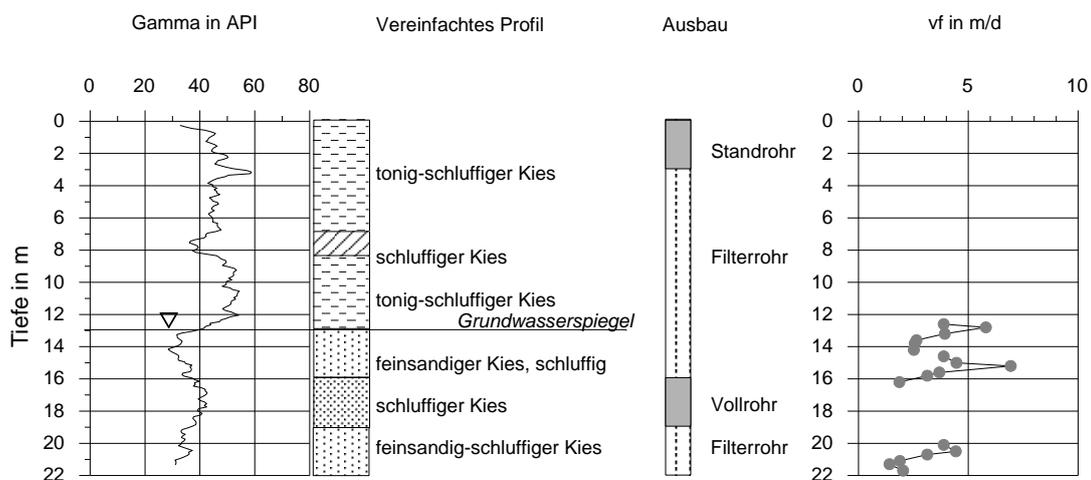


Abb. 3: Aufschlussbohrung „Heiliges Bründl“ mit Gammalog, vereinfachtem geologischen Profil, Ausbauschema und Ergebnissen der Messungen mit der Thermosonde

#### IV. TRACER-MESSUNGEN ZUR BESTIMMUNG DER STRÖMUNGSGESCHWINDIGKEIT IM UNTERGRUND

Zur Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit des Wassers im Untergrund wurden zwei Verfahren eingesetzt:

- Thermosondenmessungen, mit denen in der ausgebauten Bohrung die Verdünnungsgeschwindigkeit bestimmt wird,
- ein Uranin-Markierungsversuch, mit dem die Transportgeschwindigkeit des Tracers zwischen Eingabestelle (Pegel) und Austrittsstelle (Gerinne im Brunnenhaus) bestimmt wird.

Im Folgenden werden die beiden Verfahren und die mit ihnen erzielten Resultate dargestellt und verglichen. Die Ergebnisse stellen „Momentaufnahmen“ unter den jeweils herrschenden hydrometeorologischen und betriebstechnischen Bedingungen sowie dem jeweiligen hydraulischen Zustand im untersuchten Aquifer dar. Vor Beginn der Untersuchungen wurde mittels Flowmetermessungen nachgewiesen, dass in dem Pegel keine Vertikalströmung zwischen unterem und oberem Filterbereich auftritt.

##### Ermittlung der Verdünnungs- bzw. Filtergeschwindigkeiten mit der Thermosonde

Das Verfahren gehört zur Gruppe der Ein-Bohrloch-Tracertests. Bei diesen wird die zeitliche Veränderung der Konzentration einer in das Bohrloch eingebrachten Tracersubstanz (Salz, Farbstoffe, radioaktive Tracer) erfasst und hieraus zunächst die Verdünnungsgeschwindigkeit bestimmt. Sie charakterisiert den durch die Strömung bewirkten Austauschprozess in der Wassersäule der Bohrung. Die Verdünnungsgeschwindigkeit  $v_g$  steht mit der Filtergeschwindigkeit  $v_f$  in einem Zusammenhang, der u.a. von Schneider (1976) mit einer Beziehung

$$v_f = v_g / a$$

beschrieben wird. Dabei ist der Faktor  $a$  von den Parametern des Ausbaues (Durchmesser, Durchlässigkeiten von Filter und Filterkies etc.) abhängig. Häufig wird für Überschlagsrechnungen  $a = 2$  angenommen.

Als ein alternativer Weg zu (substantiellen) Tracern wurde am Institut für Angewandte Geophysik/Joanneum Research (jetzt Institut für WasserRessourcenManagement) eine thermische Messsonde entwickelt. Sie besteht aus einem System von Heizstäben und 8 Temperatursensoren. Die Sonde (Länge 2 m) wird in den zu untersuchenden Abschnitt eingebracht und die Temperaturveränderung sowohl beim Aufheiz- als auch beim Abkühlvorgang online registriert. Der Temperaturverlauf ist im wesentlichen bestimmt von:

- der Heizleistung der Sonde,
- dem Bohrlochdurchmesser,
- der horizontalen Strömungsgeschwindigkeit,
- sowie konstruktiven thermischen Merkmalen der Sonde und des Bohrloches.

In stagnierendem Wasser erfolgt eine rasche Temperaturzunahme während der Aufheizphase und eine sehr langsame Temperaturabnahme in der Abkühlphase. Bei durchströmtem Bohrloch hingegen ist bei der Aufheizung die Temperaturzunahme deutlich geringer. In der Abkühlphase erfolgt eine rasche Temperaturabnahme.

Die Auswertung der Temperaturdaten wird mit rechnergestützten Bearbeitungsalgorithmen vorgenommen. Abbildung 4 zeigt als Beispiel den Verlauf der Abkühlung für 3 Thermistoren nach Abschalten des Heizsystems.

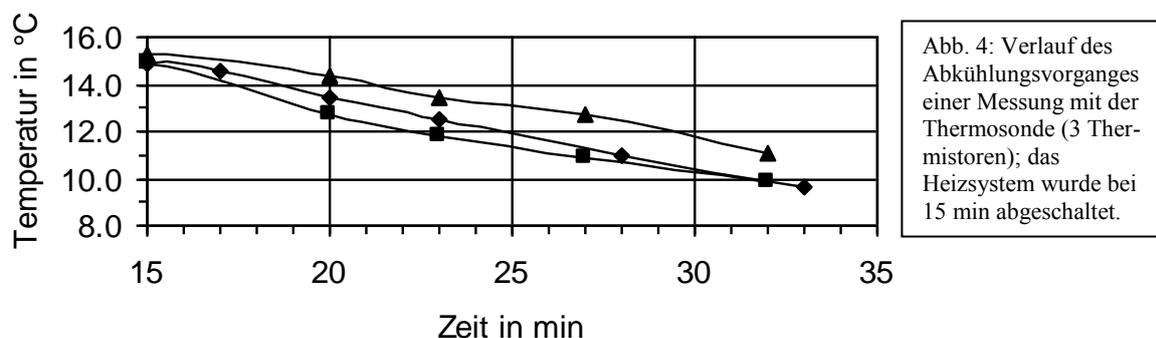


Abb. 4: Verlauf des Abkühlungsvorganges einer Messung mit der Thermosonde (3 Thermistoren); das Heizsystem wurde bei 15 min abgeschaltet.

Da die thermische Messsonde ohne stoffliche Tracerzugabe arbeitet, ergeben sich ihre besonderen Einsatzmöglichkeiten für Untersuchungen

- des Grundwassers ohne irgendeine Beeinflussung seiner Zusammensetzung,
- im trüben Fluid.

Die Ergebnisse der Untersuchungen mit der Thermosonde sind in Abbildung 3 als Filtergeschwindigkeiten in m/Tag eingetragen. Es ergeben sich

- für den oberen Bereich (12,6 ... 16,2 m) Filtergeschwindigkeiten von 2,5 ... 4 m/Tag. In diesem Abschnitt treten zwei „Spitzen“ bei 13,0 und 15,2 m auf, die maximalen Werte von 6 ... 7 m/Tag sind eng begrenzt und nur lokal wirksam,
- für den unteren Bereich (20,0 ... 21,7 m) Filtergeschwindigkeiten von 2 ... 5 m/Tag, wobei bei 20,5 m Tiefe ein markanter Abfall zu verzeichnen ist.

### Ermittlung der Transportgeschwindigkeit mit Uranin-Markierungsversuch

Diese Untersuchungen wurden unter Leitung von Herrn Dr. R. Benischke, Joanneum Research, Institut für WasserRessourcenManagement durchgeführt und wissenschaftlich bearbeitet.

Bei dieser Methode erfolgte die Eingabe eines Tracers in die Bohrung und die Beobachtung seiner Ankunft im Ablaufgerinne im Brunnenhaus. Als Markierungsmittel wurde das im Wasser ökologisch und gesundheitlich unbedenkliche Uranin verwendet. Die Einspeisung wurde am 29.07.2004 aus einem Vorratsbehälter mittels Schlauch direkt in die Bohrung eingeleitet. Die Eingabe des Markierungsstoffes in die Bohrung erfolgte zunächst in ca. 21-22 m Tiefe im Bereich der dort befindlichen Filterstrecke (19-22 m unter ROK). Im Zuge der Nachspülung wurde dann durch das Herausziehen des Schlauches auch der oberhalb des Eingabepunktes liegende Teil der Wassersäule markiert, sodass davon ausgegangen werden kann, dass durch das Auf- und Abbewegen des Schlauches der Tracer letztlich über die gesamte Wassersäule verteilt wurde und direkt aus der Bohrung in den Aquifer gelangen konnte.

Zur Beobachtung wurde ein feldtaugliches Lichtleiter-Fluorimeter (LLF-2 von G.O.T., GOTSCHY Optotechnik, Hallein) verwendet, um insbesondere das erste Auftreten des Markierungsmittels zeitlich exakt erfassen zu können. Parallel zu den Online-Messungen und zur Wasserprobenentnahme wurden zur Absicherung auch Aktivkohlesäckchen zur Sorption des Markierungsstoffes eingesetzt. Um zu brauchbaren Schüttungswerten zu gelangen, wurden am Dreiecksüberfallwehr des Quellablaufes Schüttungsmessungen vorgenommen.

Abbildung 5 zeigt das Zeit-Konzentrationsdiagramm. Der sehr steile Anstieg der Durchgangskurve weist auf eine nur kurzfristig gespeicherte Komponente hin, die durch das Markierungsmittel erfasst werden konnte. Der Durchgang des Markierungsmittels war bis zum Ende der Beobachtungszeit, d. h. nach 95 Tagen noch nicht beendet. Am Ende des Beobachtungszeitraumes lag die Konzentration bei  $0.013 \text{ mg/m}^3$  und damit um das 2.6-fache über der Konzentration beim 1. Auftreten.

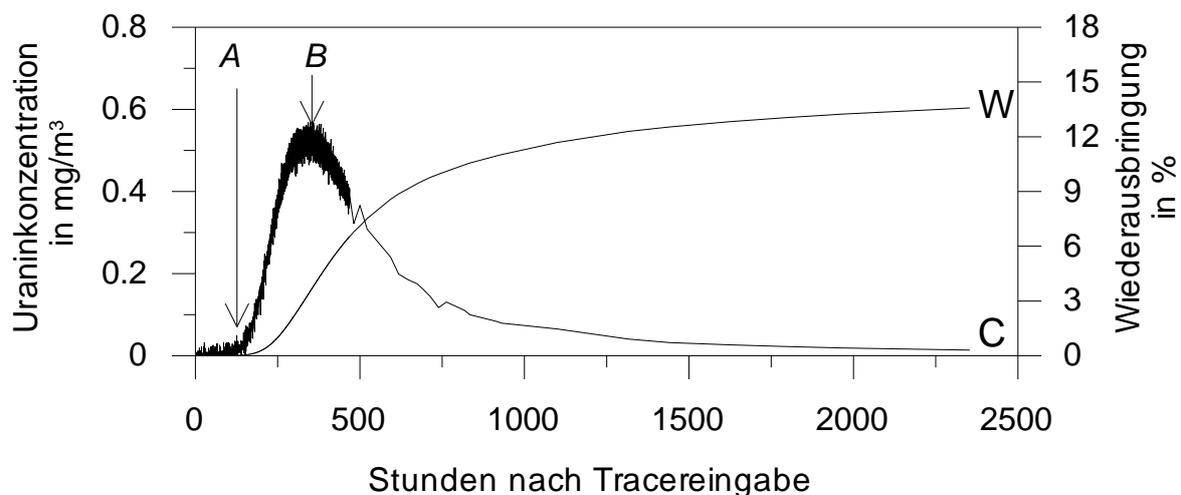


Abb. 5: Zeit-Konzentrationsdiagramm mit Uranin-Durchgangskurve (C) und Kurve des Wiederausbringens (W); A markiert das erste Auftreten (86,5 Stunden), B das Durchgangmaximum (343 Stunden)

Aus dem fluorimetrisch bestimmten Uranindurchgang (Abbildung 5) wurden die folgenden Kennwerte berechnet:

- *Erstes Auftreten des Tracers*: Aus der beobachteten Transportzeit von 3,60 Tagen bzw. 86,5 Stunden ergibt sich eine Transportgeschwindigkeit von 17,2 m/Tag bzw. 0,72 m/h.
- *Durchgangsmaximum (peak)*: Das Durchgangsmaximum wird durch die höchste gemessene Konzentration repräsentiert. Aus der beobachteten Transportzeit von 14,30 Tagen bzw. 343 Stunden ergibt sich eine Transportgeschwindigkeit von 4,3 m/Tag bzw. 0,18 m/h.

Der darüber hinaus aus dem Konzentrationsschwerpunkt abgeleitete und für die mittlere Transportzeit bzw. -geschwindigkeit repräsentative Wert konnte im vorliegenden Falle nicht bzw. nur mit Vorbehalt ermittelt werden, da der Durchgang bis zum Ende der Beobachtung nicht abgeschlossen war.

Als Anhalt für die Fließgeschwindigkeiten im Aquifer wurden daher die Transportzeiten des Markierungsstoffes für das erste Auftreten und das Durchgangsmaximum herangezogen. Sie liegen folglich in der Größenordnung von 4 ... 17 m/Tag bzw. 0,2 ... 0,7 m/h. Die berechneten Geschwindigkeiten beziehen sich auf die aus der Geländevermessung zwischen Eingabestelle und Entnahmestelle entnommenen Horizontalabstände von 62 m. Sie stellen somit nur Richtwerte dar, da der genaue Transportweg durch den Aquifer niemals bekannt ist.

Die Berechnung der Wiederausbringungsrate (Prozentanteil des wiederausgetretenen Markierungsmittels an der gesamten eingegebenen Menge) hängt wesentlich von den Schüttungsverhältnissen während des Beobachtungszeitraumes ab. Zur Auswertung wurde der am 05.10.2004 gemessene Schüttungswert von 3 l/s herangezogen. Aus den Wasserstandsdaten davor liegender Zeiträume war anzunehmen, dass sich die Schwankungsbreite der Schüttung des Heiligen Bründls nur in engem Rahmen bewegt. Auffällig ist, dass die Wiederausbringung über den beobachteten Durchgangszeitraum von 95 Tagen mit ca. 13,6 % nur sehr gering war. Es ist zu vermuten, dass das Markierungsmittel aus der Eingabeböhrung nicht in direkter Anströmrichtung zum Heiligen Bründl transportiert wurde, sondern dieses nur randlich davon betroffen war. Der Hauptteil des Markierungsmittels wurde demnach in unbekannte Bereiche des Grundwasserkörpers transportiert; dies steht in Übereinstimmung mit der eingangs angemerkten Gliederung und Verzweigung des als Aquifer wirksamen Bodenkörpers im Moränenmaterial.

## V. VERGLEICHENDE DISKUSSION UND ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE

Die von einem Moränenkörper geprägte hydrogeologische Situation lässt im Untersuchungsgebiet keinen einheitlichen und durchgehend homogenen Aquifer erwarten. Die mise-a-la-masse-Messungen bestätigen dies und weisen auf einen aufgefächerten Aquiferbereich hin. Die für die Untersuchung der Strömungsgeschwindigkeiten abgeteufte Bohrung befindet sich im Anströmbereich des Heiligen Bründls.

Die beiden Messverfahren liefern mit völlig unterschiedlichen Messprinzipien Geschwindigkeiten, die in gleicher Größenordnung liegen:

- die Thermosondenmessung liefert Filtergeschwindigkeiten zwischen 2 ... 7 m/Tag. Der Streubereich ist in erster Linie durch die Heterogenität des Aquifers begründet.
- der Uranin-Markierungsversuch liefert für das erste Auftreten eine Abstandsgeschwindigkeit von 17 m/Tag; der aus dem Durchgangsmaximum bestimmte Wert beträgt 4 ... m/Tag.

Filtergeschwindigkeit  $v_f$  und Abstandsgeschwindigkeit  $v_a$  stehen nach Hölting (1989) in Zusammenhang mit dem nutzbaren Porenvolumen  $P^*$  ( $v_a = v_f / P^*$ )

Unter Annahme von  $P^* = 0,3$  ergibt sich überschlagsmäßig nach den Thermosondenmessungen ein Wertebereich von 6 ... 21 m/Tag. Dieser Wertebereich korrespondiert gut mit dem Ergebnis des Uranin-Markierungsversuches (Erstes Auftreten) von 17 m/Tag.

## LITERATUR

- Benischke R. 2004. Markierungsversuch Heiliges Bründl (Gmunden) – Ergebnisbericht (unveröffentlicht), JOANNEUM RESEARCH, Institut für WasserRessourcenManagement, Graz.
- Gugitz G. 1958. *Österreichs Gnadestätten in Kult und Brauch*, Bd. 5, 31p., Wien.
- Hölting B. 1989. *Hydrogeologie*, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart
- Schmid Ch., Gratzner R., Schön J. 2004. Grundwasserbrunnen „Heiliges Bründl“ – Bericht (AG: Stadtgemeinde Gmunden/Wasserwerk – unveröffentlicht), ZT-Büro DI Dr. Schmid, Gmunden.
- Schneider H. 1976. *Die Wassererschließung*, Vulkan Verlag, Essen.