

Zuflussprofilierung in Bohrungen, Brunnen und Grundwassermessstellen

Die Kenntnis über vertikale Fließbewegungen in Bohrungen, Brunnen und Grundwassermessstellen ist für zahlreiche technische Fragen von entscheidender Bedeutung und stellt somit eine grundlegende Aufgabe bei bohrlochgeophysikalischen Untersuchungen dar. Unterschieden werden Grundwasserbewegungen ohne und mit Anregung. Die Untersuchungen erfolgen klassisch mittels Impeller-Flowmeter-Sonde oder bei sehr langsamen Fließbewegungen unter Einsatz von Tracern (Tracer-Fluid-Logging, kurz TFL). Im Folgenden werden die theoretischen Grundlagen dieser Methoden sowie ihre praktische Anwendung aufgezeigt. Auch der Einsatz einer Multiparametersonde der neuesten Generation, bestehend aus Impeller-Flowmeter sowie Sensoren für elektrische Leitfähigkeit, Temperatur und Druck, wird anhand eines Beispiels vorgestellt.



Abb. 1 – Hydrodynamische Untersuchung eines Brunnens im Rahmen einer Neubauabnahme

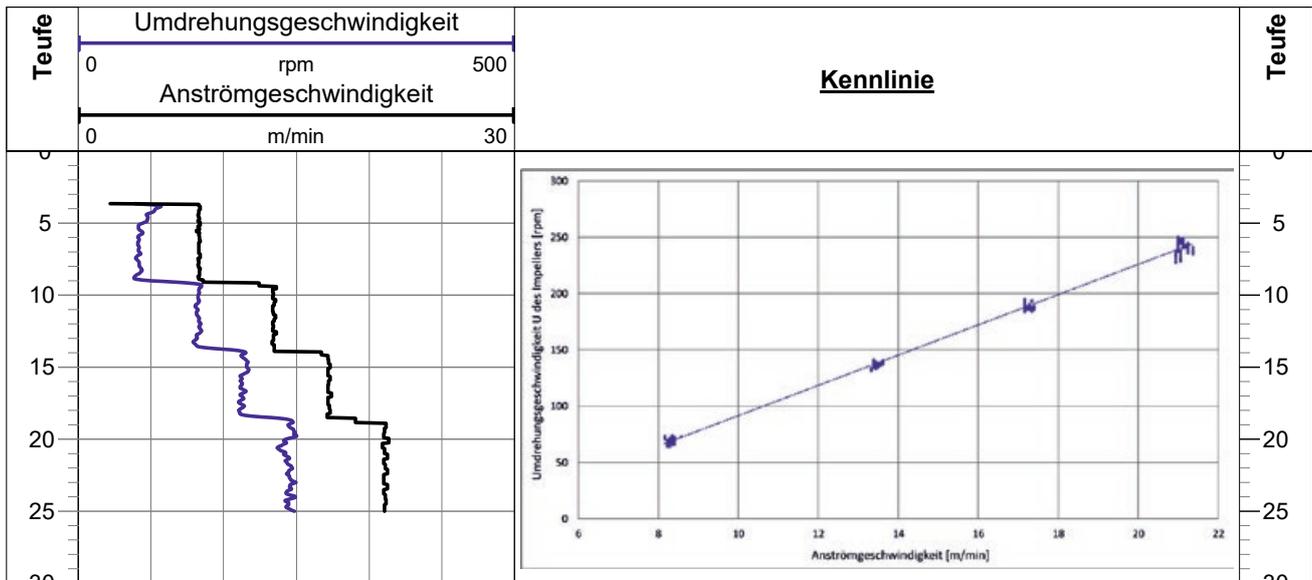


Abb. 2 – Kennlinie des Impeller-Flowmeters: Abhängigkeit der Umdrehungsgeschwindigkeit U des Impellers von der Anströmgeschwindigkeit v des Wassers (ohne eigenständige Fließbewegungen entspricht die Anströmgeschwindigkeit der Fahrgeschwindigkeit der Messsonde)

Abgeleitet von der vertikalen Fließgeschwindigkeit können bei der Zuflussprofilierung in Bohrungen, Brunnen und Grundwassermessstellen u. a. folgende Fragestellungen bzw. Aufgaben bearbeitet werden:

- Die Bestimmung von Zufluss- und Verlusthorizonten ohne und mit Anregung (qualitativ und quantitativ),
- die Ermittlung möglicher hydraulischer Kurzschlüsse,
- die Festlegung des optimalen Ausbaus von Festgesteinsbohrungen zu Brunnen und/oder Grundwassermessstellen,
- die Festlegung von Teufen für Probenahmen sowie
- die Ermittlung möglicher Schadstoffeinträge in den Brunnen.

Untersuchung des Fließgeschehens mittels Impeller-Flowmeter

Impeller-Flowmeter-Messungen stellen das Standardverfahren für eine Zuflussprofilierung bei Grundwasserförderung dar. Durch das fließende Wasser dreht sich ein an der Messsonde befindliches Flügelrad – der Impeller. Die Umdrehungsgeschwindigkeit des Impellers (Anzahl der Umdrehungen pro Zeiteinheit) ist dabei abhängig von der Anströmgeschwindigkeit des Wassers. Die Anströmgeschwindigkeit wiederum setzt sich aus der Fahrgeschwindigkeit der Sonde und der natürlichen oder angeregten Fließgeschwindigkeit des Wassers zusammen. Um den Effekt der Fahrgeschwindigkeit aus den Messergebnissen herauszurechnen, hat es sich in der Praxis bewährt, vor Beginn der Untersuchung bei GW-Förderung in einem Vollrohrbereich, in dem keine eigenständigen Fließbewegungen stattfinden, die Kennlinie des Impeller-Flowmeters wie folgt zu ermitteln (Abb. 2):

$$U = E \cdot v - b$$

Dabei gilt:

- U = Umdrehungsgeschwindigkeit des Impellers (Messsignal)
- E = Empfindlichkeitsfunktion (Anstieg der Kennlinie)
- v = Anströmgeschwindigkeit des Wassers (ohne eigenständiges Fließen entspricht dies der Fahrgeschwindigkeit der Sonde)
- b = Absolutglied

Die Kennlinie zeigt einen linearen Zusammenhang zwischen der Umdrehungsgeschwindigkeit des Impellers und der Anströmgeschwindigkeit des Wassers. Bei sehr kleinen bzw. sehr großen Anströmgeschwindigkeiten ist diese Kennlinie nicht mehr linear und es kommt zu einer Unter- bzw. Überschätzung der Anströmgeschwindigkeit. Um die reale Anströmgeschwindigkeit und somit auch die reale Fließgeschwindigkeit des



**BRUNNENFILTER
BOHRBEDARF**

Gemeinsam für mehr Wasser!

Quelle: Grundfos

STÜWA Konrad Stükerjürgen GmbH
Tel. +49 52 44 - 40 70 | info@stuewa.de | www.stuewa.de

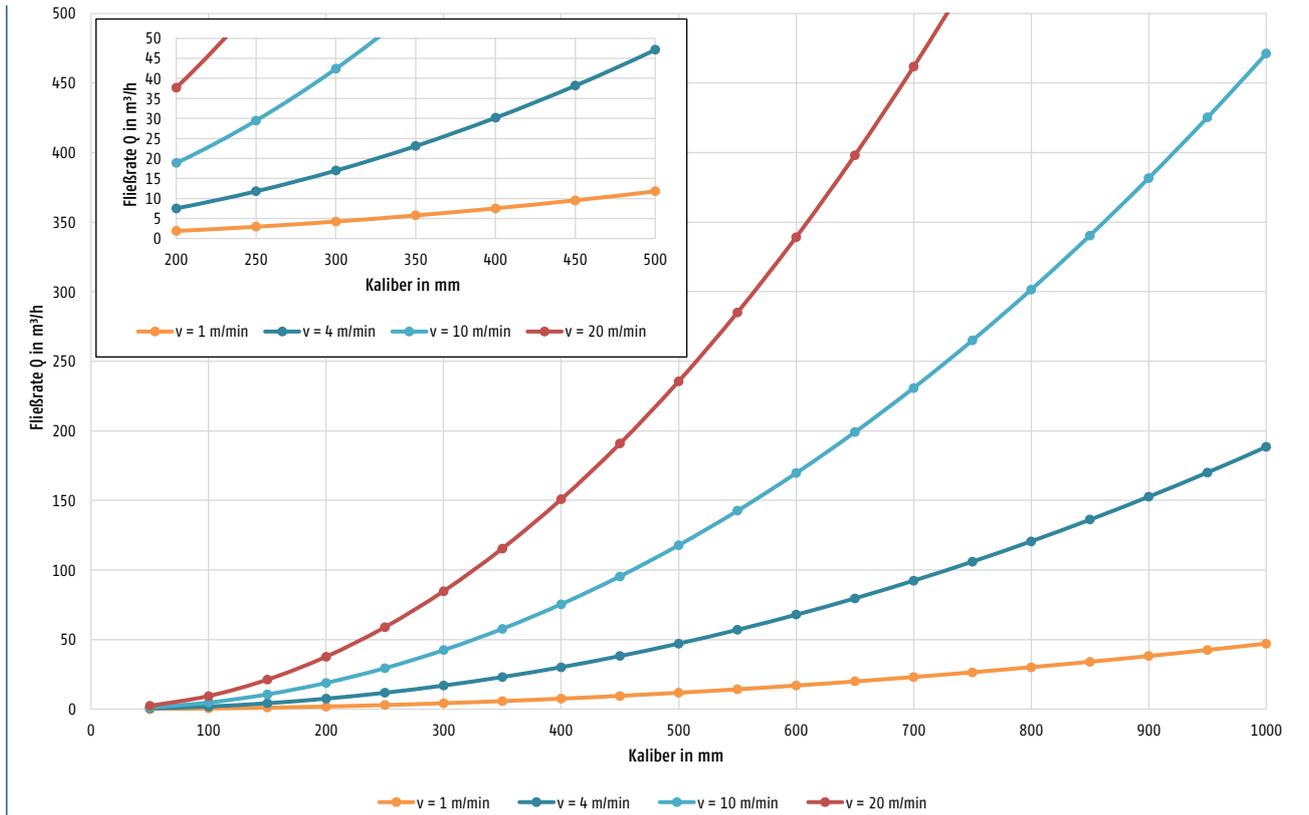


Abb. 3 – Abhängigkeit der Fließrate Q von Kaliber und Fließgeschwindigkeit

Wassers bei GW-Förderung bestimmen zu können, sollte dieser lineare Messbereich daher nicht verlassen werden.

Der Schnittpunkt der Kennlinie mit der Abszisse kennzeichnet die Ansprechschwelle A des Flowmeters. Sie gibt an, wie hoch die Fließgeschwindigkeit des Wassers mindestens sein muss, damit der Impeller in Rotation versetzt wird. Für die Ansprechschwelle A gilt:

$$A = \frac{b}{E}$$

Um gute Messeffekte erzielen zu können, muss die Fahrgeschwindigkeit der Sonde mindestens dreimal so groß wie die ermittelte Ansprechschwelle gewählt werden. In der Realität werden jedoch deutlich größere Fahrgeschwindigkeiten realisiert – nicht zuletzt auch, um die gesamte Messstrecke in einer sinnvollen Zeit zu erfassen.

Um im Vorfeld einer Zuflussprofilierung die geeignete Förderrate für eine Messung im linearen Messbereich abschätzen zu können, ist die genaue Kenntnis des Innendurchmessers der Bohrung bzw. der Verrohrung entscheidend. Die Fließrate ist stets eine Funktion der Fließgeschwindigkeit und des Kalibers (Abb. 3). Demnach wird insbesondere bei Brunnen und Messstellen mit unbekanntem und/oder wechselndem Rohrdurchmesser bzw. Belägen empfohlen, eine Kalibermessung durchzuführen, um den Innendurchmesser exakt bestimmen zu können.

Bei offenen Bohrungen ist die Kalibermessung immer zwingend erforderlich. In der Praxis hat es sich für Impeller-Flowmeter-Messungen bewährt, die Förderrate so zu wählen, dass die Fließgeschwindigkeit am Pumpeneinlauf 4 bis 15 m/min beträgt. Für einen Brunnen der Dimension 400 mm würde man demnach die Förderrate im Bereich von ca. 30 bis 75 m³/h wählen.

Problematisch wird die Festlegung der Förderrate in sehr klein dimensionierten Rohrsträngen, da es bei einem kleinen Verhältnis von Rohr- zu Sondendurchmesser zu Stauwirkungen (Packereffekten) kommt. Die Umdrehungsgeschwindigkeit des Impellers wird dann zu groß und die genannte lineare Kennlinie des Impeller-Flowmeters gilt nicht mehr. Bei der Messung sollte zudem darauf geachtet werden, dass die Flowmetersonde eine zentrische Position im Rohrstrang einnimmt, um immer die gleichen (laminaren) Strömungsverhältnisse zu erfassen. Die Fließgeschwindigkeit des Wassers nimmt im Rohrstrang von innen nach außen ab und ist an der Rohrwandung am geringsten. Somit kann es zu Fehlinterpretationen der Messung kommen, wenn die Sondenposition im Rohrstrang während der Messung zu stark variiert. Auch an Filterober- und -unterkanten, an eng begrenzten starken Zuflüssen in offenen Bohrungen sowie nahe der Pumpe ist mit turbulenten Strömungen zu rechnen. Die Pumpe sollte demnach mindestens 5 m oberhalb der Filteroberkante positioniert werden, um im Vollrohrbereich bei laminaren Fließverhältnissen die maximale Fließrate bestimmen zu können.

» In der Praxis hat es sich für Impeller-Flowmeter-Messungen bewährt, die Förderrate so zu wählen, dass die Fließgeschwindigkeit am Pumpeneinlauf 4 bis 15 m/min beträgt. «

Praxisbeispiel Flowmeter-Messung

Abbildung 4 zeigt einen in Süddeutschland untersuchten Bestandsbrunnen der Trinkwasserversorgung. Dieser Brunnen verfügt über zwei Filterstrecken, welche im Bereich einer Sandstein-Tonstein-Folge positioniert wurden. Nachdem zunächst der Aufbau des Brunnens (Lage und Zustand Vollrohre/Filterrohre, Ringraumverfüllung) entsprechend dem DVGW-Regelwerk W 110 umfassend untersucht wurde, erfolgten Impeller-Flowmeter-Messungen in Ruhe und bei GW-Förderung. Die Förderrate wurde bei einem gemessenen Kaliber von ca. 300 mm mit 36 m³/h gewählt. Damit wurde eine maximale Strömungsgeschwindigkeit von rund 8,5 m/min im linearen Messbereich realisiert. Die Pumpe wurde etwa 7 m oberhalb der Filteroberkante bei 12 m Teufe positioniert.

In Abbildung 4 sind außerdem die Kalibermessung, die vertikale Fließrate nach Impeller-Flowmeter in Ruhe (FLOW.Q-0) und

bei GW-Förderung (FLOW.Q-1-1/2) sowie das daraus ermittelte Zuflussprofil dargestellt. Anhand der Messungen lassen sich drei Zuflusshorizonte erkennen. Der Hauptzufluss (65 % bzw. ~ 23 m³/h) erfolgt im Bereich der oberen Filterstrecke von 24,8 bis 27,0 m. Es handelt sich um einen eng begrenzten Zuflussbereich, wie er für Kluftwasserleiter typisch ist. Weitere Zuflüsse mit jeweils ähnlich hohem Anteil (17 % bzw. summarisch 18 %) wurden nahe der Filteroberkante sowie von 37,0 bis 40,8 m registriert. Es ist davon auszugehen, dass das an der Filteroberkante in den Rohrstrang eintretende Wasser auch aus Teufenbereichen oberhalb der Filterstrecke stammt, dort bereits in die Brunnenbohrung eintritt und dann an der Filteroberkante in den Rohrstrang fließt. Der von 37,0 bis 40,8 m registrierte Zufluss im Bereich der unteren Filterstrecke stellt wiederum einen kluftgebundenen Zufluss dieses Teufenbereiches dar. Alle anderen Filterbereiche zeigen keine Zuflüsse.

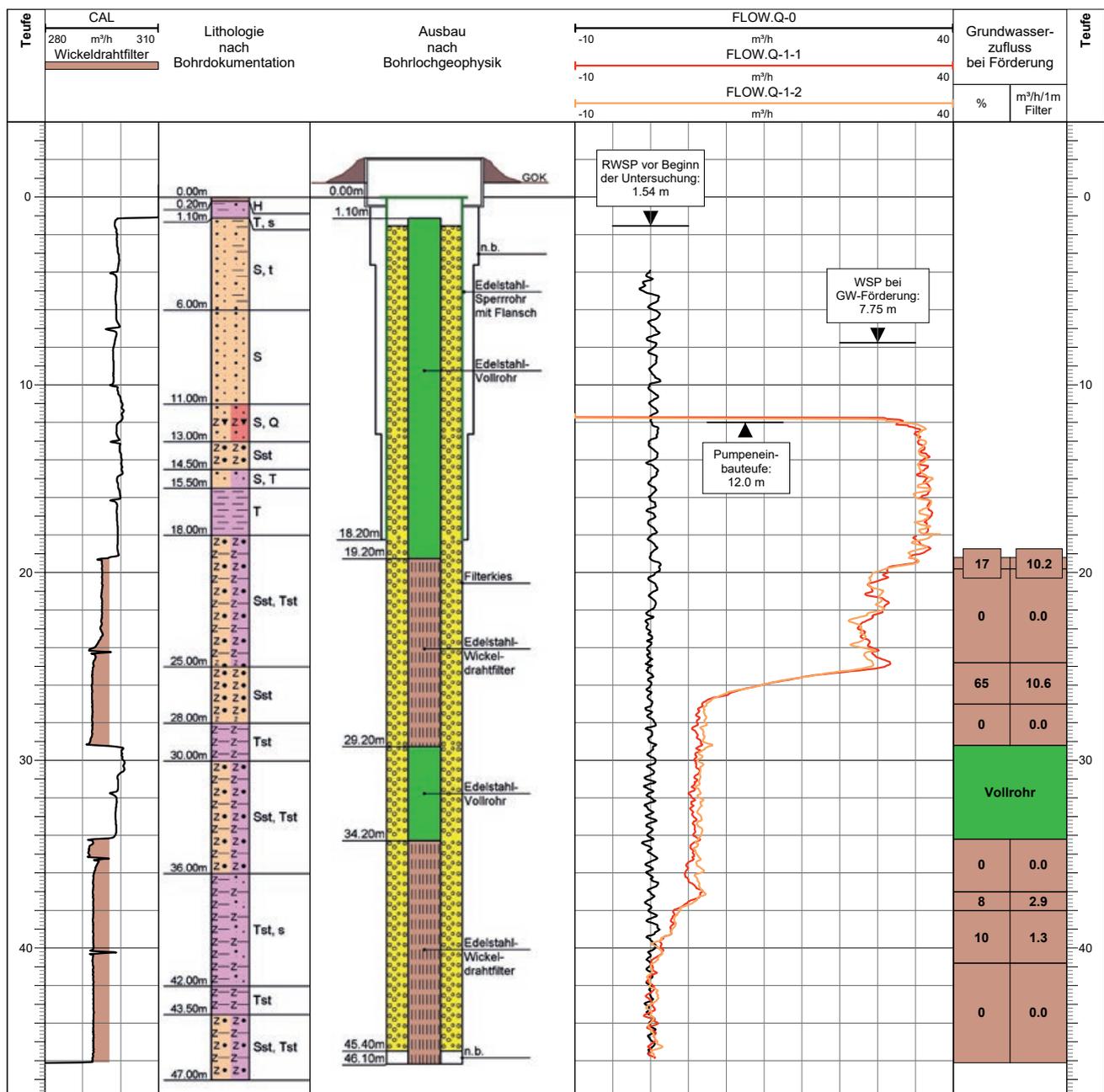


Abb. 4 – Zuflussprofilierung mittels Impeller-Flowmeter (CAL – Kaliber, FLOW.Q-0 – vertikale Fließrate im Ruhezustand, FLOW.Q-1-1/2 – vertikale Fließrate bei GW-Förderung)



Ist mit Fließgeschwindigkeiten von maximal 2 m/min zu rechnen, sollte für eine verlässliche quantitative Bewertung ein Tracer-Fluid-Logging durchgeführt werden.



Nachweis eigenständiger Fließbewegungen

Im Anschluss an die hydrodynamische Untersuchung bei GW-Förderung erfolgte im genannten Brunnen eine Untersuchung möglicher Fließbewegungen im Ruhezustand. Die Zielstellung einer solcher Untersuchungen ist es, langsame vertikale Fließbewegungen zu detektieren. So werden z. B. in Festgesteinsbohrungen vor Ausbau zum Brunnen oder zur Grundwassermessstelle Kenntnisse über die unterschiedlichen hydrostatischen Potentiale der aufgeschlossenen Grundwasserleiter erlangt, das heißt, Zuflusshorizonte werden qualitativ und quantitativ ermittelt. Kommt es später bei unsachgemäßem Ausbau zur Vermischung verschiedener Wässer mit unterschiedlichen chemischen Eigenschaften, so kann eine rasche Brunnenalterung die Folge sein. Dies verursacht Folgekosten und kann sogar

einen fachgerechten Rückbau des Brunnens erforderlich machen, was wiederum einen erheblich größeren Kosten- und Arbeitsaufwand als die zuvor durchgeführte Zuflussprofilierung mit sich bringen würde.

Aber auch bei der Untersuchung von Bestandsbrunnen (wie im genannten Beispiel) ist die Ermittlung möglicher, in Ruhe stattfindender Fließbewegungen Standard. Verfügt der Brunnen über mehrere Filterstrecken, die zudem im Bereich natürlich voneinander getrennter Grundwasserleiter positioniert wurden, ist es sehr wahrscheinlich, dass hier in Zeiten, in denen der Brunnen nicht betrieben wird, aufgrund unterschiedlicher hydraulischer Potentiale eigenständige Fließbewegungen stattfinden (hydraulischer Kurzschluss). Dies kann nicht nur zu den bereits erwähnten starken Alterungserscheinungen führen, sondern ist

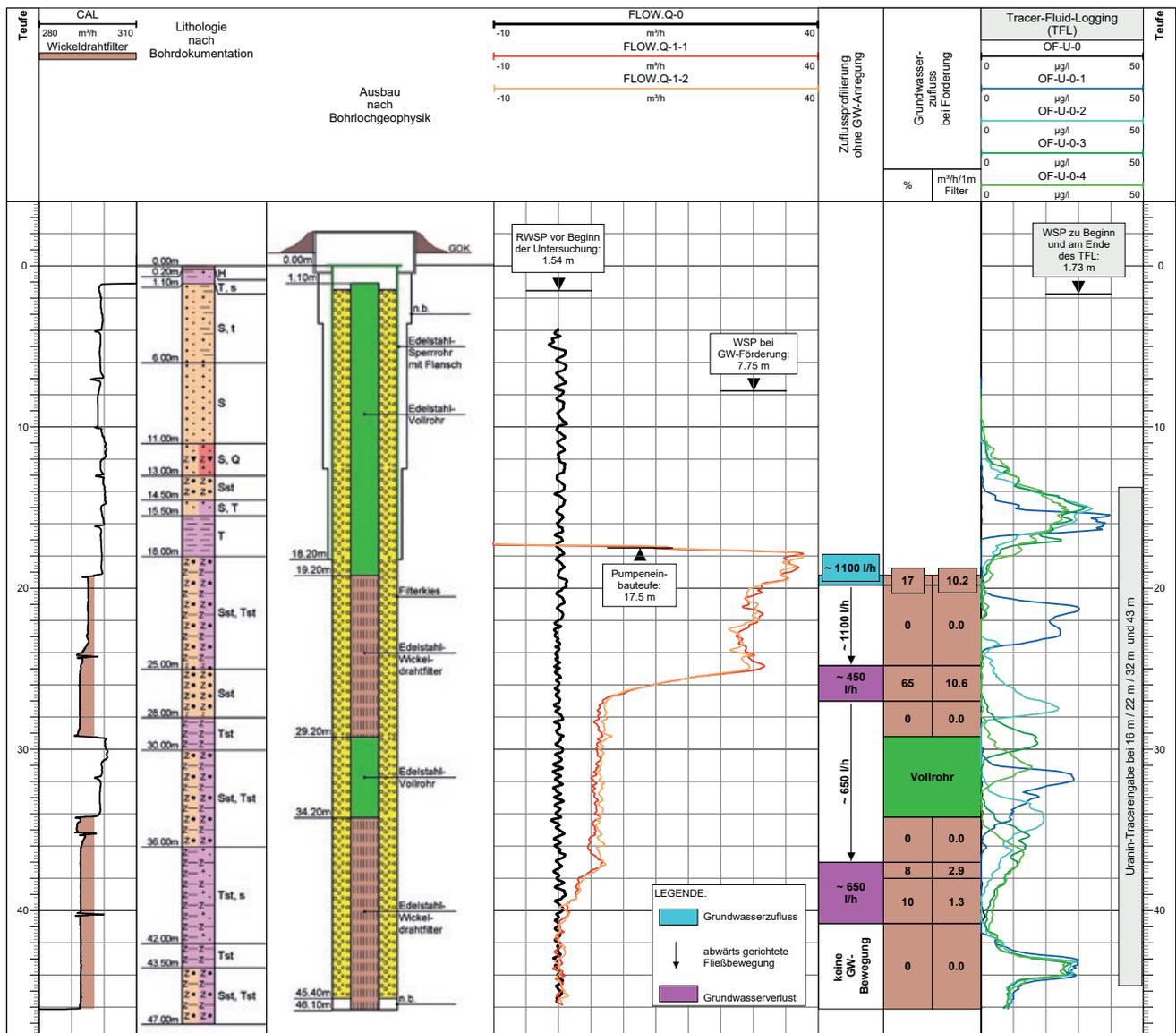


Abb. 5 – Nachweis von langsamen vertikalen Fließbewegungen mittels Tracer-Fluid-Logging

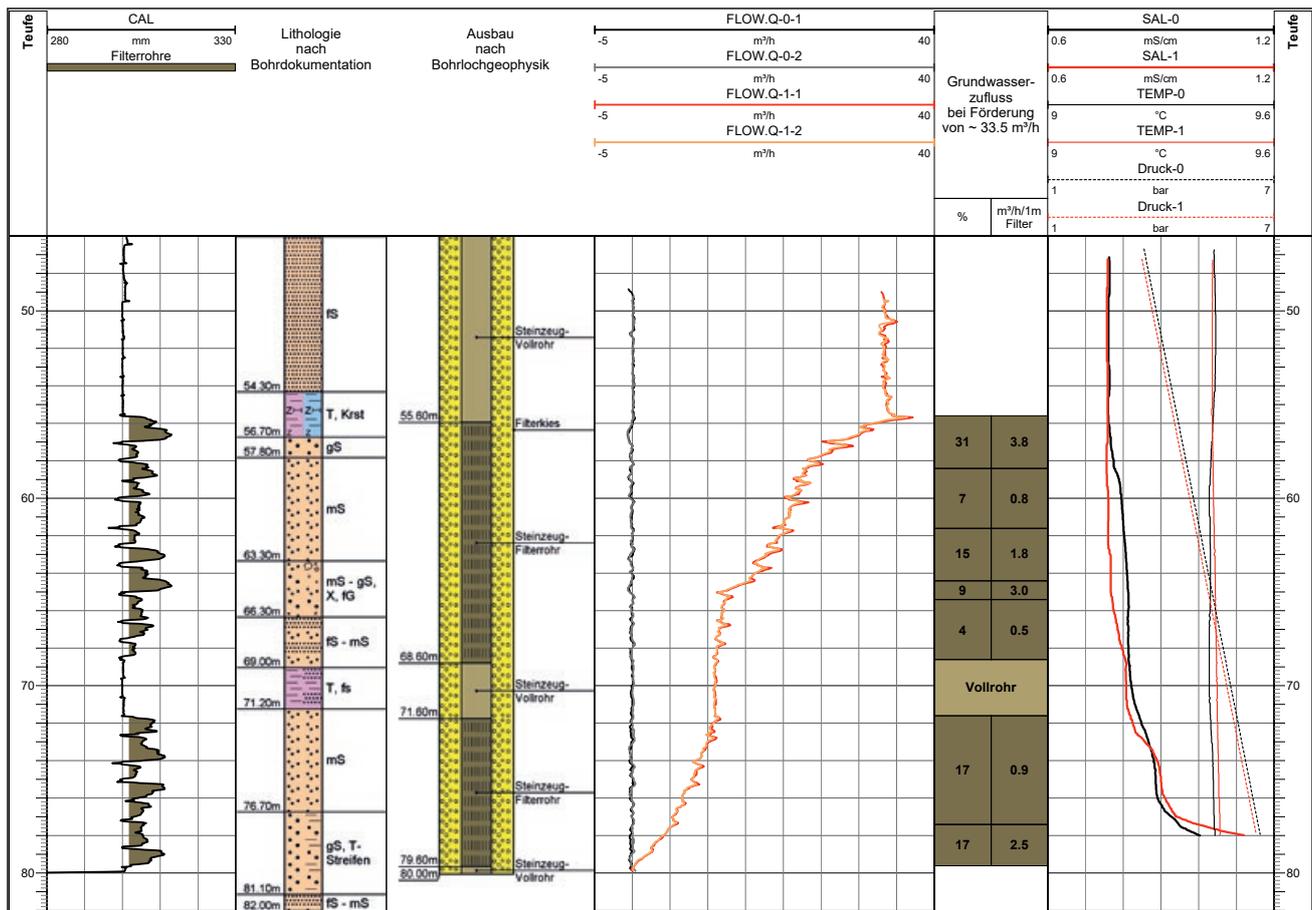


Abb. 6 – Hydrodynamische und hydrochemische Untersuchung eines Brunnens im norddeutschen Raum

im Sinne des Grundwasserschutzes auch nicht zulässig. Grundwassermessstellen, in denen eigenständige Fließbewegungen stattfinden, sind zudem für repräsentative Grundwasserbeobachtungen ungeeignet und verfehlen damit ihren Zweck.

Je nach Fließgeschwindigkeit des Wassers lassen sich die Bewegungen „in Ruhe“ oftmals bereits bei der Impeller-Flowmeter-Messung erahnen. Da sich die Fließgeschwindigkeit des ohne Anregung fließenden Wassers jedoch oftmals nahe der Nachweisgrenze des Impeller-Flowmeters (~ 0,5 m/min) befindet, sind hierdurch, wenn überhaupt, nur grobe qualitative Aussagen möglich. Ist mit Fließgeschwindigkeiten von maximal 2 m/min zu rechnen, sollte für eine verlässliche quantitative Bewertung ein Tracer-Fluid-Logging (TFL) durchgeführt werden.

Entsprechend der deutschen Übersetzung des Wortes „trace“ nimmt man dabei vereinfacht gesagt die Spur und damit die Bewegung eines Markierungsstoffes im Wasser auf. Als Marker oder auch Tracer wurde in der Bohrlochgeophysik über viele Jahre Natriumchlorid (NaCl) eingesetzt. Die in konkreten Teufen hervorgerufene Veränderung der elektrischen Leitfähigkeit durch den Zusatz von Kochsalz lässt sich mittels Leitfähigkeitsmessung (SAL) sehr gut nachverfolgen. Hierbei treten durch eine leichte gravitative Verlagerung der Wolken infolge der künstlich erhöhten Dichte des Wassers jedoch Probleme auf, die fälschlicherweise als Fließbewegung interpretiert werden könnten. Ebenso ist die Markierung (das sogenannte Setzen der Tracerwolken) schwierig, wenn die Leitfähigkeit des Wassers im Brunnen (in der GWM/in der Bohrung) schon natürlicherweise sehr hoch ist. In diesem Fall müsste die NaCl-Konzentration des Tracers entsprechend erhöht werden, um einen ausreichenden Leitfähigkeitskontrast zu erzielen.

Alternativ werden seit vielen Jahren erfolgreich auch andere Tracer eingesetzt, bei denen diese Probleme nicht auftreten. Genannt sei hier das Na-Fluorescein, besser bekannt als Uranin, welches 1871 durch Adolf von Baeyer entdeckt wurde und bereits 1877 erstmals als Tracer zum Einsatz kam. Dieser biologisch unbedenkliche Stoff, dessen Anwendung in der „Farbstoffverordnung“ von 1959 geregelt ist, ist auch in sehr großer Verdünnung noch sehr gut nachweisbar und für den Einsatz in Bohrungen, Brunnen und Grundwassermessstellen unproblematisch. Der einzige Negativaspekt ist, dass die Fluoreszenz des Uranins vom pH-Wert des Wassers abhängig ist und deutlich sinkt, je kleiner der pH-Wert ist (pH-Wert 9 = größtmögliche Fluoreszenz, pH-Wert 4 = nur noch 10 % der ursprünglichen Fluoreszenz). Aufgrund der sehr sensitiven Sonden, die zum Nachweis eingesetzt werden, stellt dies in der Praxis jedoch kein Problem dar – zumal die pH-Werte der in Brunnen und Grundwassermessstellen aufgeschlossenen Wässer selten so gering sind.

Praxisbeispiel Tracer-Fluid-Logging

Das optische Erscheinungsbild (nach TV) des zuvor genannten Brunnens ließ bereits vermuten, dass über die beiden Filterstrecken eine eigenständige Fließbewegung stattfindet. Durch die FLOW.Q-0-Messung war kein Hinweis auf eine eigenständige Fließbewegung im Brunnen erkennbar, jedoch lag die Vermutung nahe, dass die Fließgeschwindigkeit unterhalb der Nachweisgrenze des Impeller-Flowmeters liegt. Es wurde demnach entschieden, ein Tracer-Fluid-Logging im Brunnen durchzuführen (Abb.5). Zu Beginn des TFL erfolgte zunächst eine Nullmessung zum Nachweis, dass sich im Brunnen keine fluoreszierenden Stoffe befinden (OF-U-0). Anschließend wurden (während sämt-

liche Nachbarbrunnen des Wasserwerks ebenfalls außer Betrieb waren) vier Uranin-Tracerwolken in den Brunnen eingebracht und nachfolgend über einen Zeitraum von knapp einer Stunde beobachtet. Die oberste Tracerwolke wurde oberhalb der oberen Filterstrecke im Vollrohrbereich positioniert. Sie konnte erwartungsgemäß lagestabil während aller vier Messfahrten (OF-U-0-1...4) nachgewiesen werden. Auch die unterste Wolke, welche im Brunnen tiefsten bei etwa 43 m eingebracht wurde, zeigte keine Veränderung ihrer Lage während des Untersuchungszeitraums. Anhand des nach FLOW zuvor ermittelten Zuflussprofils wurde entschieden, zwei weitere Tracerwolken bei 22 m und 32 m zu positionieren. Diese veränderten ihre Lage in unterschiedlichem Maße nach unten, sodass geschlussfolgert werden konnte, dass ohne Anregung nahe der oberen Filteroberkante ein Grundwasserzufluss von ungefähr 1.100 Liter pro Stunde stattfindet. Dieses Wasser verlagerte sich nach unten und wurde zum einen in jenem Bereich, welcher bei GW-Förderung als Hauptzufluss fungiert (24,8 bis 27,0 m) und zum anderen im Bereich von 37,0 bis 40,8 m wieder ins Gebirge infiltriert. Unterhalb von 40,8 m waren keine GW-Bewegungen mehr nachweisbar.

Es zeigte sich demnach erwartungsgemäß ein deutlicher Zusammenhang zwischen dem Fließgeschehen in Ruhe und den ermittelten Zuflusshorizonten bei GW-Förderung. Die Zuflüsse bei GW-Förderung finden in jenen Bereichen statt, welche nach TFL bereits ohne Anregung als Zuflusshorizont (Nahbereich Filteroberkante) bzw. Verlusthorizont dienen. Eine hydrodynamische Untersuchung der Bohrung vor Ausbau zum Brunnen hätte hierüber bereits im Vorfeld Aufschluss geben können. Eine optimale Ausbauplanung des Brunnens ohne hydraulischen Kurzschluss wäre möglich gewesen. Kosten für unnötiges Ausbaumaterial (z. B. flacherer Ausbau des Brunnens) hätten gespart werden können. Ist der Brunnen für längere Zeiten außer Betrieb, kommt es zudem aufgrund des eigenständigen Fließgeschehens zu verstärkten Alterungserscheinungen im Bereich der Verlusthorizonte, die wiederum Folgekosten verursachen.

Zuflüsse von Wässern mit unterschiedlichen chemischen Eigenschaften

Wurden zuvor ausschließlich vertikale Fließbewegungen beschrieben, so sei im Folgenden noch ein unterschiedlicher Chemismus der fließenden Wässer betrachtet. Abbildung 6 zeigt einen Altbrunnen im norddeutschen Raum, welcher aus Steinzeugrohren gebaut ist. Anhand des klassischen statischen Messprogramms nach DVGW W 110 (TV, CAL, SGL, GG-K/L.D, NN) wurde der Aufbau des Rohrstranges und der Ringraumverfüllung ermittelt. Der Brunnen verfügt demnach über zwei Filterstrecken, die in zwei getrennten GW-Leitern positioniert wurden. Im Ringraum befindet sich eine homogen gelagerte Filterkiesschüttung.

Anhand von Flowmeter-Messungen bei einer Förderrate von 33,5 m³/h wurde unter Beachtung des gemessenen Rohrdurchmessers nach CAL ein Zuflussprofil ermittelt. Die Zuflüsse erfolgen demnach zu rund zwei Dritteln über die obere Filterstrecke und zu einem Drittel über die untere Filterstrecke. Die variierenden spezifischen Filterergiebigkeiten (0,5 bis 3,8 m³/h pro 1 m Filter) stehen hierbei in Zusammenhang mit unterschiedlichen Durchlässigkeiten der aufgeschlossenen GW-Leiter.

Durch den Einsatz einer Multiparametersonde, welche gleichzeitig neben einem Impeller-Flowmeter über jeweils einen Sensor der elektrischen Leitfähigkeit und der Temperatur sowie einen Drucklogger verfügt, konnte zusätzlich zum ermittelten Zuflussprofil festgestellt werden, dass im Bereich der unteren Filterstrecke Wasser mit höherer Leitfähigkeit als im Bereich der

oberen Filterstrecke zufließt. Zudem lässt der Vergleich der elektrischen Leitfähigkeiten vor GW-Förderung (SAL-0) und bei GW-Förderung (SAL-1) die Vermutung zu, dass das höher mineralisierte Wasser im Rohrstrang im Ruhezustand von unten nach oben verlagert wurde. In Abhängigkeit der Standzeit des Brunnens wird durch diese eigenständige Verlagerung der Chemismus des Wassers im oberen GW-Leiter dauerhaft verändert, das heißt, die Leitfähigkeit des Wassers im oberen GW-Leiter wird erhöht. Die Fließrate kann anhand der Messung der elektrischen Leitfähigkeit nicht bestimmt werden. Da es nach FLOW keinen Hinweis auf eigenständiges Fließen gibt, ist die Fließrate so gering, dass eine quantitative Angabe hierzu nur mittels TFL möglich wäre.

Fazit

Impeller-Flowmeter-Messungen stellen das klassische und in der Praxis bewährte Messverfahren für die Zuflussprofilierung in Festgesteinsbohrungen, Brunnen und Grundwassermessstellen dar. Hierbei werden Messungen in Ruhe und bei GW-Förderung durchgeführt. Änderungen der vertikalen Fließgeschwindigkeit von minimal 0,5 m/min können qualitativ beschrieben werden. Ab vertikalen Fließgeschwindigkeiten von minimal 2 bis 4 m/min ist auch eine Quantifizierung möglich. In der Praxis hat es sich für Impeller-Flowmeter-Messungen bewährt, die Förderrate so zu wählen, dass die Fließgeschwindigkeit am Pumpeneinlauf 4 bis 15 m/min beträgt. Anhand einer Kalibermessung kann die vertikale Fließrate berechnet werden.

Durch den Einsatz einer Multiparametersonde, welche zusätzlich zum Impeller-Flowmeter über einen Leitfähigkeits- und Temperatursensor sowie einen Drucklogger verfügt, kann ein Zusammenhang zwischen dem Zuflussprofil und dem Zufluss von Wässern mit unterschiedlichem Chemismus hergestellt werden. Gleichzeitig wird während der gesamten Messung anhand der Aufzeichnung des Druckes der Wasserspiegel „überwacht“, was eine genaue Bestimmung der spezifischen Ergiebigkeit des Brunnens möglich macht. Insbesondere bei Brunnen mit tiefen Wasserspiegeln und dem eventuell notwendigen Einbau einer Schutzverrohrung für die Einfahrt geophysikalischer Messausrüstung ist der Einsatz solcher kombinierten Sonden vorteilhaft, da mit nur einer Sondeneinfahrt die Parameter FLOW, SAL, TEMP und Druck gleichzeitig erfasst werden können. In der Praxis können so Rückschlüsse über mögliche hydraulische Kurzschlüsse oder Alterungsprozesse in Brunnen mit erheblicher Zeitersparnis gewonnen werden.

Treten vertikale Fließraten kleiner als 2 m/min auf, so ist mittels Tracer-Fluid-Logging eine verlässliche Untersuchungsmethode zum Nachweis von langsamen vertikalen Fließbewegungen gegeben. Das Tracer-Fluid-Logging kann dabei ebenso wie die Flowmetermessung ohne und mit GW-Förderung erfolgen.

Literatur

- [1] S. Fricke / J. Schön (1999): Praktische Bohrlochgeophysik, ENKE im Georg Thieme Verlag Stuttgart.
- [2] K. Baumann / F. Triller (2011): Detektion langsamer Fließbewegungen in Brunnen und Bohrungen, bbr Jahresmagazin 12/2011, S. 62-65.

Autoren

Isabel Willwacher
 Dr. Gunther Baumann
 Bohrlochmessung – Storkow GmbH
 Schützenstraße 33
 15859 Storkow
 Tel.: +49 (0) 33678 436-41
 willwacher@blm-storkow.de
 www.blm-storkow.de

