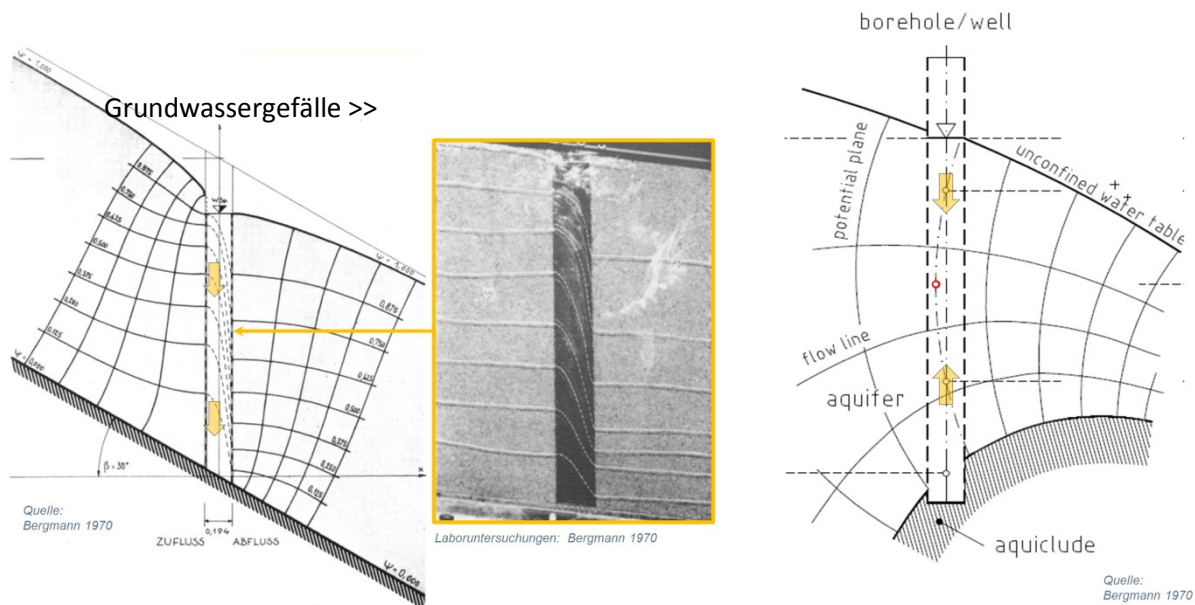


Vertikale Fließbewegungen in Grundwassermessstellen

Vertikale Fließbewegungen in Brunnen können vielfältige Ursachen haben. Üblicherweise liegen Druckpotentialdifferenzen zwischen Sedimentlagen vor, was einen hydraulischen Kurzschluss über die Filterstrecke verursacht. Oder mehrere Grundwasserstockwerke mit unterschiedlichem hydraulischem Druckpotential sind über eine Messstelle miteinander verbunden. Dabei wird der Wegsamkeitsvorteil der frei durchströmbaren Messstelle genutzt, um hydraulische Druckunterschiede auszugleichen. Der reibungsfreie Durchfluss im Filterrohr als bevorzugte Wegsamkeit in Richtung des hydraulischen Gefälles bewirkt in der Regel einen erhöhten Grundwasserzustrom in obere Brunnenbereiche und einen erhöhten Abfluß an der Brunnensohle. (Abb.1). Die Messstelle wirkt als Senke, was sich daher auch auf die Wasserspiegelhöhe in den Messstelle auswirkt.



Durch einen vollkommenen Brunnen gestörtes Parallelfeld (Bergmann 1970). Aufgrund des widerstandsfreien Durchflusses in Richtung des Grundwassergefälles tritt im Filterrohr eine stationäre, vertikale Strömung auf.

Was bieten vertikale In-Situ Fließmessungen?

Vertikale In-Situ Fließmessungen geben Auskunft zu Druckpotentialverteilung im Aquifer, hydraulische Kurzschlüssen und möglichen Verlagerungen und -verteilung von Wassermengen über die Messstelle. Unter angeregten Fließverhältnissen kann die der Verteilung von aktiven Zufluss- und Abflusszonen erfasst werden. Dabei werden hydraulisch aktive Horizonte lokalisiert und deren Ergiebigkeit ermittelt.

Einsatzzwecke sind typischerweise

- Quantifizierung des Grundwassertransports über Grundwassermessstellen
- Nachweis von Infiltration aus liegenden in hangende Formationen oder umgekehrt
- Hinweise auf Kontaminationsverfrachtung über die Messstellen
- Hinweise für die Anforderung an Probenahme und für die Interpretation von Analysedaten
- Ermittlung hydraulisch aktiver Zonen und Zu- und Abflussbereiche

Wie werden vertikale Fließbewegungen gemessen?

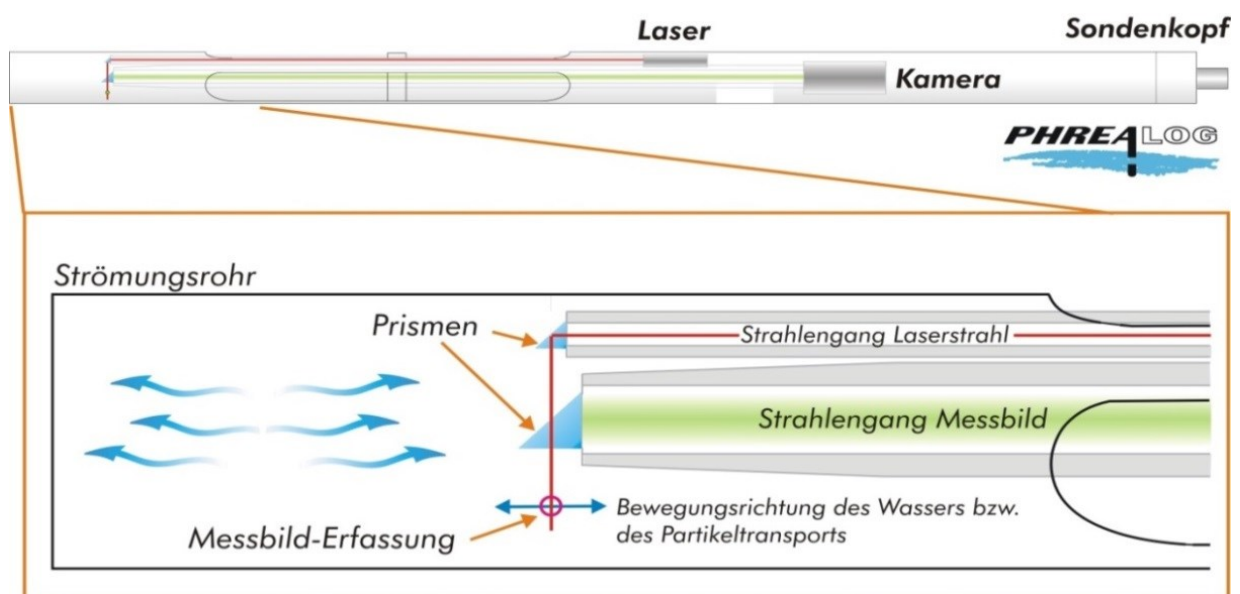
In Bohrbrunnen und Grundwassermessstellen eingesetzte Fließmessverfahren beruhen beispielsweise auf Impeller-Drehzahlmessung, dem Drift von Hitzepulsen, Abkühlung (Thermo-Flow Verfahren) oder Fluid-logging (Aufsalzung, Farbmarkierungen). Diese Systeme werden typischerweise als Log gefahren, dh. die Messung erfolgt kontinuierlich bei konstanter Fahrgeschwindigkeit der Messsonde. Die untere Grenze der ermittelbaren Fließbewegung liegt bei diesen Verfahren bekanntermaßen zwischen 10mm/s und 1mm/s.

Fließbewegungen kleiner 1mm/s sind schwer zu erfassen, denn sie unterliegen zunehmend dem Einfluss geringer hydrodynamischer Druckschwankungen. Dies resultiert in ein permanentes hydraulisches Hintergrundrauschen, das vorhandene Fließbewegungen überlagern kann. Diese geringen hydraulischen Druckschwankungen resultieren durch ein Zusammenwirken natürlicher Ursachen wie Gezeiten, Niederschläge, barometrische Druckänderungen und Vorfluterstand-Schwankungen, können aber auch durch Verkehr, Arbeiten im Grundwasserbereich und Grundwasserentnahmen verursacht sein.

Zur Erfassung vertikaler Fließbewegungen kleiner 1mm/s müssen Messungen daher in fixen Tiefenpositionen im Filterrohr durchgeführt werden. Eine kontinuierliche Fließmessung in fixer Messposition bietet den Vorteil, diese gewonnenen Messdaten über einen gewissen Zeitraum zu bilanzieren und statistisch auswerten zu können.

PHREALOG-Messsystem

Das PHREALOG-Messsystem basiert auf einem bildgebendes, laseroptisches Messverfahren zur Erfassung und Verarbeitung von Schwebstoffmustern. Dazu sind die Messsonden mit einem Kamera- und Lasersystem ausgestattet. Im Messabschnitt der Sonde liegt ein frei durchfließbares Messfeld, das per Laserlicht ausgeleuchtet wird. Als Fließmarker dienen im Grundwasser natürlich auftretende und transportierte Feinschwebstoffe. Die das Messfeld passierenden Schwebstoffe reflektieren das eingestrahlte Licht und werden als Schwebstoffmuster mit der Kamera kontinuierlich aufgenommen. Der Versatz von Schwebstoffmustern pro Zeiteinheit beschreibt die Fließbewegung in Richtung und Geschwindigkeit. Die Bilder werden als Videodaten an einen Rechner übertragen. Ein Bildverarbeitungsprogramm berechnet aus einer Bildfolge von Schwebstoffmustern Fließvektoren. Einzelmessungen erfolgen im Abstand von wenigen Sekunden, so dass der Strömungsverlauf zeitaufgelöst kontinuierlich aufgezeichnet werden kann.



Schematische Darstellung der PHREALOG-Messsonde für vertikale Fließmessungen

Als Fließmarker dienen im Grundwasser natürlich enthaltene Feinschwebstoffe aus Huminstoffen, Sedimentpartikeln, Kontaminanten, organische Verbindungen und Mischformen, die durch das Korngerüst transportiert oder aus diesem herausgelöst werden und korrespondierend zur Grundwasserfließbewegung die Grundwassermessstelle passieren. Die Frachtmenge ist von unterschiedlichen Umgebungsfaktoren abhängig, z.B. der hydraulischen Situation, von bestehenden Partikeldepots im Aquifer, der Mobilisierungskapazität, vom Partikeleintrag aus der ungesättigten Zone, etc.

Das Verfahren zeichnet sich durch die kontinuierliche Messung von sehr geringen Fließbewegungen von 10mm/s bis 0,1m/Tag ($10\text{e-}3$ bis $10\text{e-}6\text{m/s}$) aus.

Der Vorteil, in stationären Tiefenpositionen Fließbewegungen kontinuierlich zu erfassen, ermöglicht es, hydraulische Druckwechsel zu bilanzieren und bestehende Fließbewegung heraus zu filtern. Daher können Fließbewegungen bis kleiner $1\text{E-}5\text{m/s}$ mit hoher Genauigkeit und kontinuierlich erfasst werden. Da für die Messung keine künstlichen Fließmarker eingesetzt werden, entfallen markierungsbedingte Messfehlerquellen als auch die Einsatzgenehmigungen nach dem Wasserhaushaltsgesetz (WHG). Wegen der berührungsfreien Sensorik ist die Messtechnik wartungsfrei und in chemisch aggressivem Milieu hochrobust. Sie bietet einen einfachen Einsatz bei kurzen Rüstzeiten und erfordert keine Kalibrierung im Feld.

Geschwindigkeiten $<1\text{x}10\text{e-}6\text{m/s}$ werden je nach Randbedingungen als nicht vorhandene Strömung gewertet bzw. gleich Null gesetzt, da hier thermische Effekte die Strömungsprozesse überlagern. In Abhängigkeit der lithologischen und hydraulischen Randbedingungen tritt von Messtiefe zu Messtiefe eine unterschiedliche Frachtmenge an mitgeführten Schwebstoffen auf. Dies hat keine Auswirkung auf das Messergebnis. In seltenen Fällen geht die Partikelzahl im Verlauf der Messung stark zurück, so dass auf Grund unzureichender Partikelerfassung keine Messung durchgeführt werden kann. Auch bei einer sehr hohen Trübe des Grundwassers kann die Messung je nach Sichtverhältnissen nur sehr eingeschränkt oder überhaupt nicht durchgeführt werden. Diese Situationen treten jedoch nur selten auf.

Unter hydraulisch angeregten Bedingungen können Informationen zu bevorzugten Fließzonen zu gewonnen oder um die hydraulische Durchlässigkeit und Ergiebigkeit angrenzender Sedimente ermittelt werden. Aufgrund der empfindlichen Ansprechreaktion der Messsonde reichen geringe Förderraten zur hydraulischen Anregung aus, um Messdaten zu gewinnen. An kontaminierten Standorten minimiert dies die Menge an Grundwasser, die entsorgt werden muss. Zur hydraulischen Anregung wird die regelbare Förderpumpe MP1 eingesetzt. Standardmäßig können Messungen in Messstellen mit Durchmessern von 2,5 bis 7 Zoll und bis zu einer Tiefe von 100 Metern durchgeführt werden. Die Messungen können durch Temperatur- und Leitfähigkeitsmessungen ergänzt werden.

Durchführung

Die Messsonde wird im Messbetrieb entsprechend einer Vorgabe von Messpunktabständen (z.B. alle 0,2m-1,0m) auf die jeweilige Tiefe gefahren und dort positioniert, bis sich ein stationäres Fließbild einstellt (steady-state-flow). Nachdem eine hinreichende Anzahl von Daten für eine statistische Sicherung erfasst wurde, wird die Messsonde auf die nächste Messtiefenposition gefahren. Die typische Verweilzeit pro Messtiefe beträgt 7min.

Zur Messung vertikaler Fließbewegungen unter hydraulisch ungestörten Bedingungen (Ruheströmung) wird die Messsonde bei der Messfahrt in mehreren Tiefen in Folge stationär positioniert (Abb.1). In jeder Messtiefe werden dann kontinuierlich Messbilder erfasst, die zur Auswertung an einen Rechner übertage gesendet werden. Wenn eine hinreichende Anzahl von Fließdaten für eine Bewertung vorliegt, wird die Messsonde auf die nächste Messtiefe umgesetzt (Abb.2). Abschließend werden die Daten von jeder Messtiefe ausgewertet und im Profil bilanziert dargestellt (Abb.3).

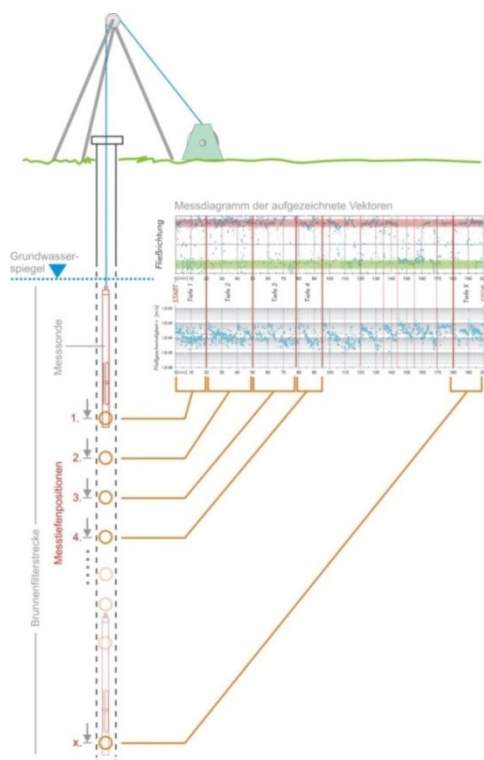


Abb. 1

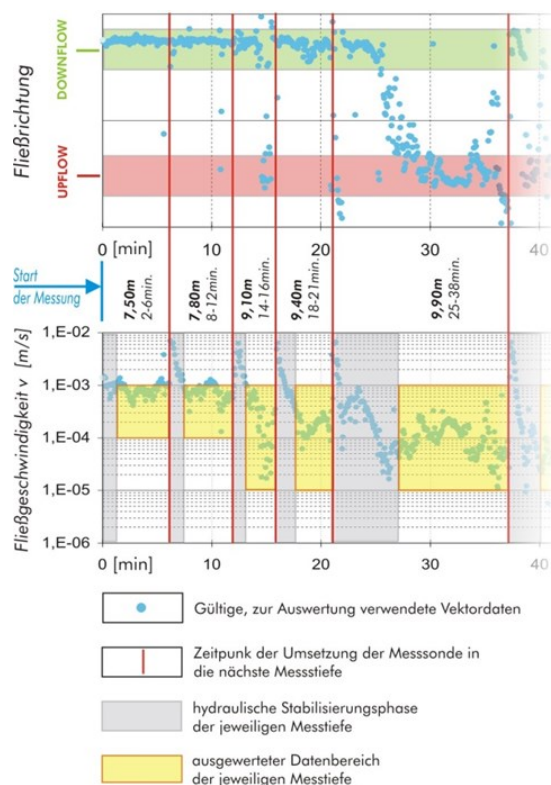
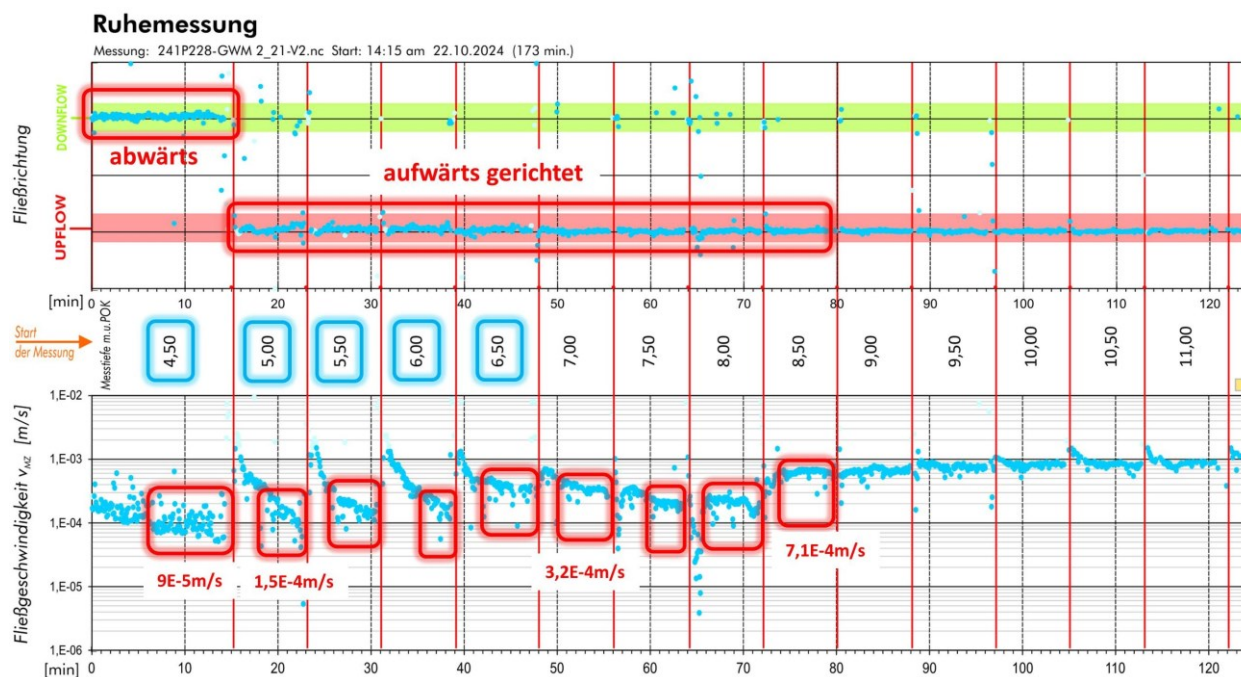


Abb.2





Vertikaler Durchfluss im Brunnen



Fließmesssonde mit 100m Kabeltrommel mit MP1 Equipment zur Messung unter hydraulisch angeregten Fließverhältnissen



Führung der Sonde mit Zentrierern in Brunnenrohr



Feldrechner zu Auswerten der der Bilddaten