

Was bieten horizontale In-situ Fließmessungen?

Horizontale In-situ-Fließmessungen bieten trotz räumlich kleinskaliger Auflösung und nur punktförmiger oder linienhafter Informationen wichtige Erkenntnisse zur lokalen Grundwasserfließrichtung und -geschwindigkeit sowie Informationen zur Fließsituation im Profil eines Aquifers. Darüber hinaus bieten sie sich als Alternative zu Mehrbohrloch-Tracerversuchen oder zur Ermittlung der Fließbewegung in tiefen Grundwasserleitern mit hohem Erschließungsaufwand an.

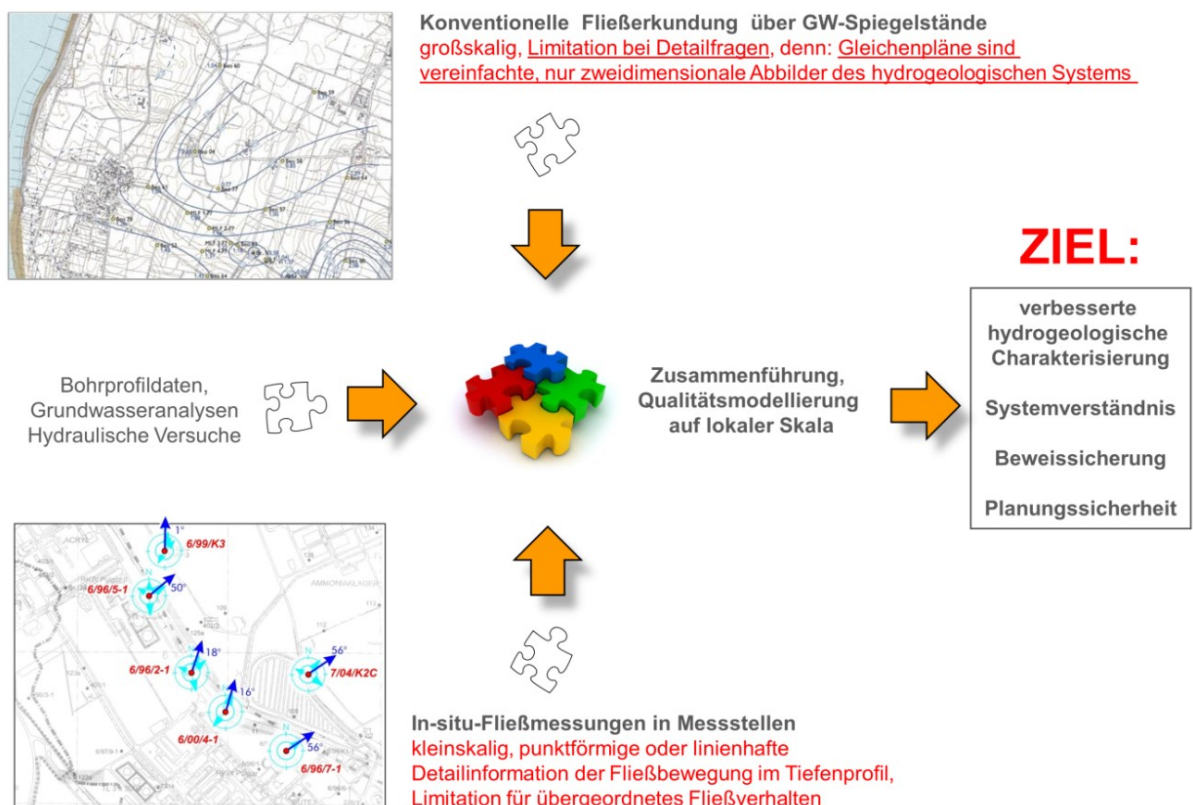
Sie bieten sich insbesondere dann an, wenn Fließinformationen konventionell nur sehr begrenzt gewonnen werden können, beispielsweise bei:

- nicht korrelierenden Grundwasserständen
- einer geringen Anzahl von Messstellen
- flachem Grundwassergefälle
- weitständigen Pegelnetzen
- fehlenden Informationen an Modellrändern.

Einsatzzwecke sind typischerweise:

- Beweissicherung /Plausibilitätskontrolle von Fließmodellen
- Ermittlung der Fließsituation in unterschiedlichen Tiefen des Aquifers
- Ermittlung von lokalen GW-Fließbewegungen, z.B. im Nahfeld von Baugruben
- Überwachung von Grundwasser-Sanierungen und zur Verursacherfindung
- Information zur Positionierung weiterer Messstellen
- Nachweis zur Reichweite oder der Wirksamkeit bei Grundwasserförderungen

In-situ Langzeitmessungen dokumentieren Gezeiteneinflüsse, Nutzungskonkurrenz und andere Fließwechselereignisse. Zur Ableitung der Ergebnisse auf ein größeres Umfeld sind die Messergebnisse aufgrund der räumlich kleinskaligen Auflösung im Kontext mit Ergebnissen anderer Untersuchungen zu bewerten.



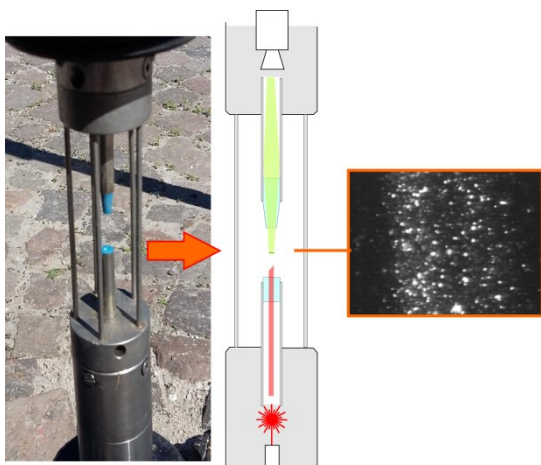
Messtechnik

Die Messtechnik von PHREALOG zählt zu den zuverlässigsten und genauesten Messverfahren für In-situ Grundwasserfließmessungen. Es beruht auf der bildgebenden, laseroptischen Erfassung der natürlichen, von Grundwasser mitgeführten Schwebstofffracht, der Verarbeitung von Schwebstoffmustern und deren Umrechnung in Fließvektoren.

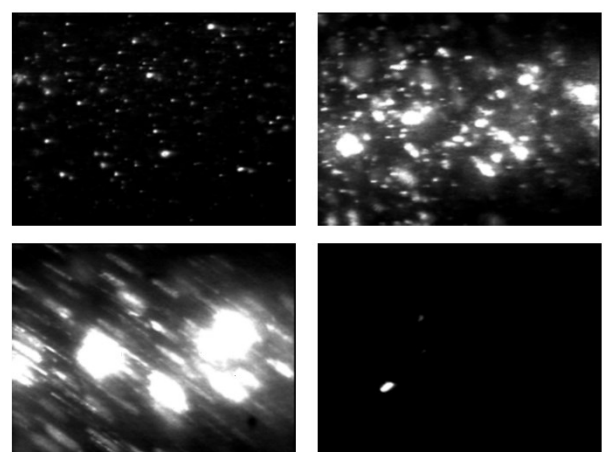
Als Fließmarker dienen im Grundwasser natürlich auftretende und transportierte Feinschwebstoffe. Das Korngerüst eines Grundwasserleiters stellt in Abhängigkeit der Korngrößenverteilung einen dynamischen Speicher für Partikel und Feinschwebstoffe dar. Diese sind Huminstoffen, Sedimentpartikeln, Kontaminanten, organische Verbindungen und Mischformen, die in Abhängigkeit der hydraulischen Dynamik 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 Partikelreservoirs und -depots im Aquifer, der Mobilisierungskapazität, vom Partikeleintrag aus der ungesättigten Zone, etc.

Mit Hilfe dieser natürlichen Fließmarker wird der Grundwassertransport durch die Messstelle kontinuierlich aufgezeichnet. Dazu sind die Messsonden mit einem Kamera- und Lasersystem ausgestattet. Im Messabschnitt der Sonde liegt ein frei durchfließbares Messfeld, das per Laserlicht ausgeleuchtet wird. 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.

Fließbewegungen können mit hoher Genauigkeit im Messbereich von 10mm/s bis 0,1m/d mit einer Messfrequenz von 4 Sekunden erfasst werden. Das Messverfahren zeichnet sich insbesondere durch die Erfassung sehr geringer Fließbewegungen aus. Da keine künstlichen Fließmarker erforderlich sind, entfallen markierungsbedingte Messfehlerquellen, Einsatzgenehmigung und größerer Rüstaufwand. Wegen der berührungsfreien Sensorik ist die Messtechnik wartungsfrei und in chemisch aggressivem Milieu hochrobust. Sie bietet einen einfachen Einsatz bei kurzer Rüstzeit und erfordert keine Kalibrierung im Feld.



Messprinzip



typische Messbilder

Fließverhalten innerhalb einer Messstelle und die Folgen für Bohrloch-Fließmessungen

Das Zusammenwirken von natürlichen und brunnenspezifischen Faktoren führt in einer Messstelle und deren Umgebung zur Ausbildung einer individuellen hydraulischen Umgebung, die sich im Lauf der Zeit auch infolge von Alterungsprozessen und Belagbildung verändern kann. Typischerweise wird die Filterstrecke einer Messstelle horizontal als auch vertikal durchflossen, was zu einem ungeordneten Durchfluss und zur Ausbildung von unregelmäßigen, laminaren Wirbelstrukturen im Filterrohr führen kann. Um zuverlässige Informationen aus In-Situ Fließmessungen zu erhalten sind folgende

hydrogeologische und brunnenspezifische Randbedingungen zu beachten. Daraus leiten sich Anforderungen an die Durchführung von Messungen und an die Interpretation der Fließmessdaten ab.

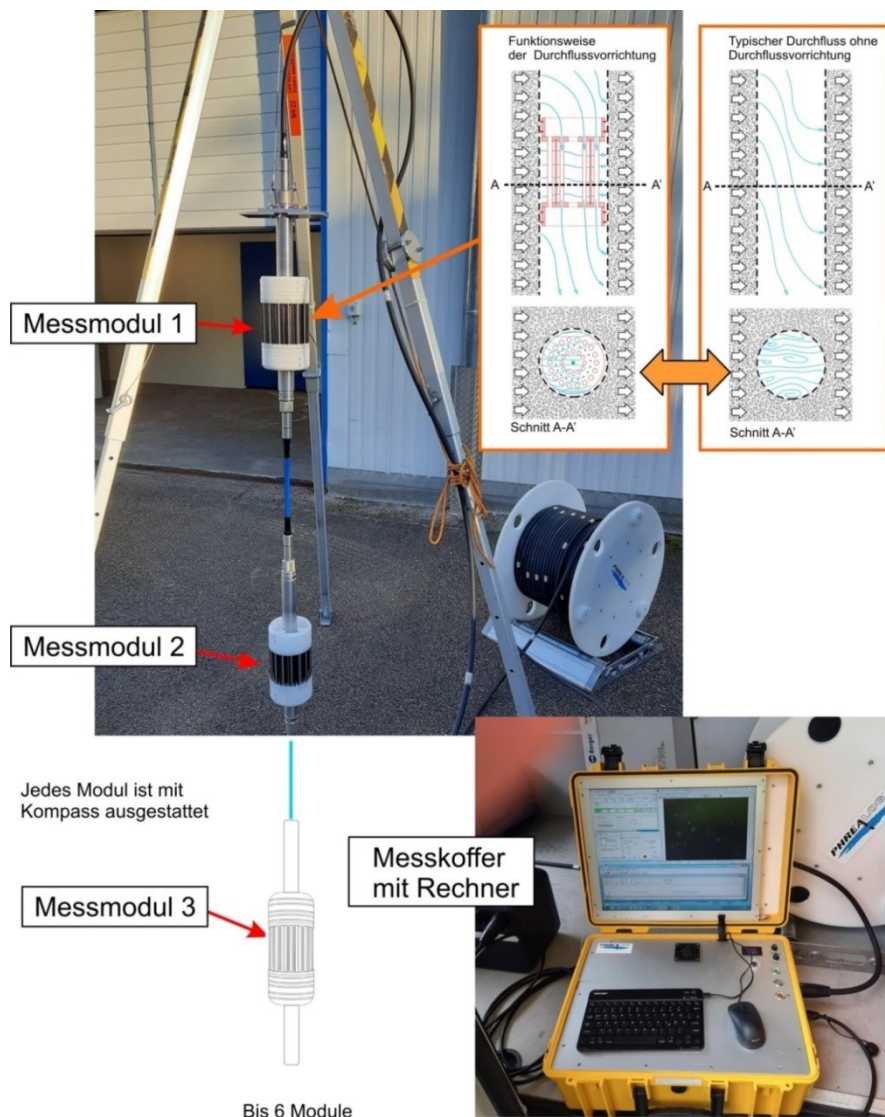
Die hydraulischen Randbedingungen im Brunnen können in einem bestimmten Umfang kontrolliert werden, um zu gewährleisten, die Fließbewegung im umgebenden Grundwasserleiter zuverlässig aus der Durchflussbewegung im Brunnen abzuleiten. Dies wird mit neuen, zum Patent angemeldeten Durchflussvorrichtungen verfolgt.

Um Ergebnisse abzusichern, müssen erfahrungsgemäß Messungen in mehreren Tiefenpositionen durchgeführt werden, da kleinräumige hydraulische Einflüsse zu deutlichen Fließabweichungen im Profil der Filterstrecke führen können. Dies Ziel wird mit Multilevel-Messungen verfolgt.

Maßnahmen zur Qualitätssicherung sind auch Kamerabefahrungen zur Prüfung von Ausbau und Zustand, die Überprüfung auf vertikalen Durchfluss sowie Maßnahmen zur Verhinderung von Fließstörungen im Messbereich.

Ab 2025 eingesetzte Neuentwicklungen

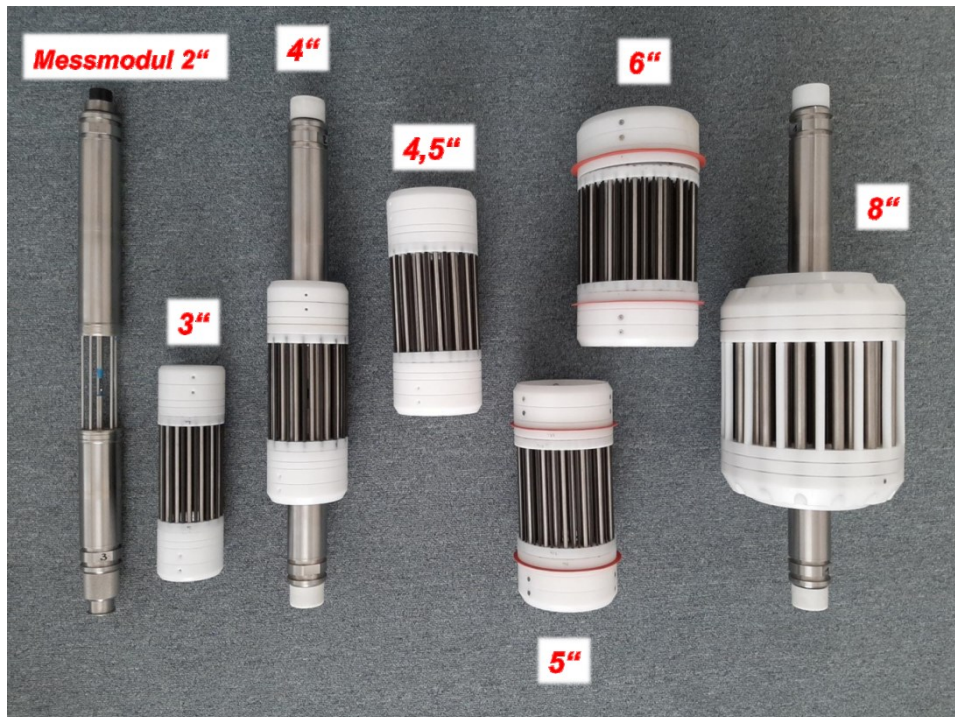
Seit 2025 bietet PHREALOG horizontale In-situ-Fließmessungen im Multilevel-Einsatz an. Messungen erfolgen zeitgleich in mehreren Untersuchungstiefen. Die Vorteile sind ein Mehrge Gewinn von Fließinformationen und eine reduzierte Einsatzzeit. Die zeitgleiche Messungen von Fließrichtung, Fließgeschwindigkeit und Partikelfracht in mehreren Messtiefen ermöglicht eine verbesserte Erfassung zeitlicher Fließänderungen und hochaufgelöste Langzeitüberwachungen. Einsatzkosten werden verringert und die Aussageschärfe verbessert.



Aufbau eines Messstrangs aus horizontalen Fließmessmodulen mit Durchflussvorrichtung

Die neuen, 0,6m langen Multi-Level-Messmodule können ab zwei Zoll Durchmesser aktuell bis in 250m Tiefe eingesetzt werden. Alle PHREALOG Messsonden sind bis 35 bar Außenwasserdruck geprüft. Sie sind ab einem Einbaudurchmesser größer 3 Zoll mit neuentwickelten Durchflussvorrichtungen ausgestattet. Unabhängig von der verwendeten Fließmesstechnik zeichnen sie sich durch einen ausgeglichenen Durchfluss und eine geringe hydraulische Stabilisierungsdauer im Messbereich aus.

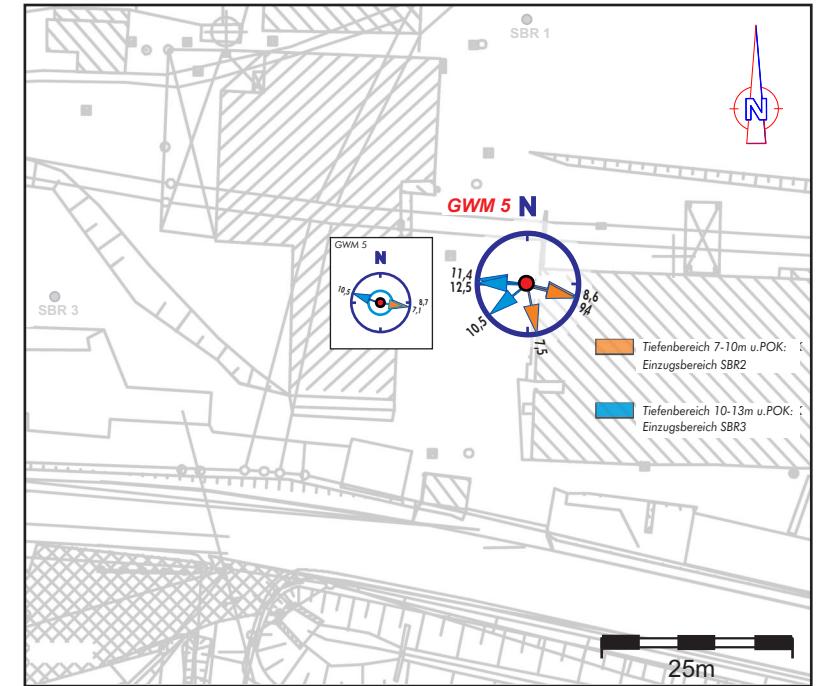
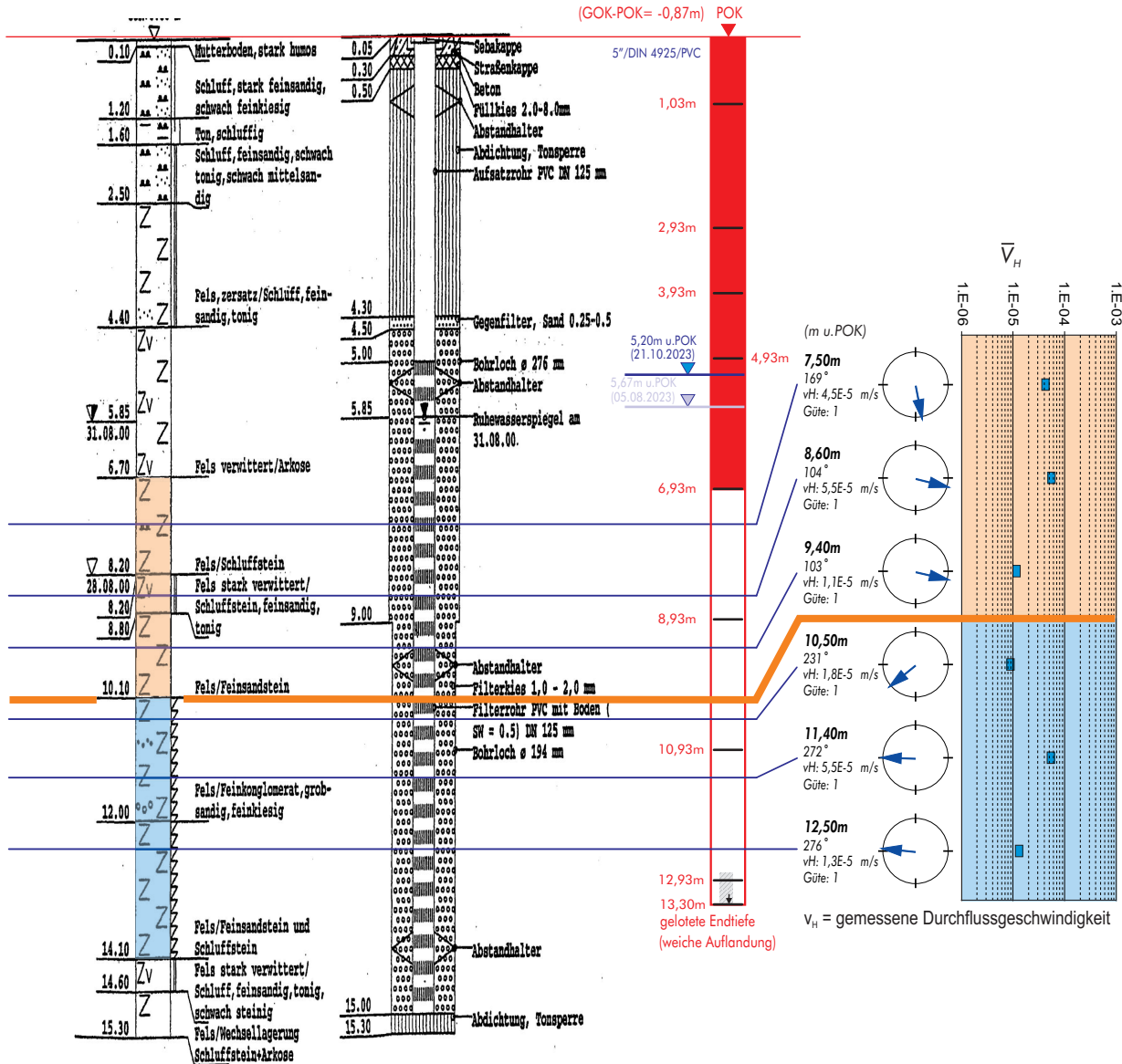
Die neu entwickelten Durchflussvorrichtungen bestehen aus einer kreisförmigen und radialsymmetrischen Anordnung vertikaler Hohlstreben, die zwischen zwei abdichtenden Bauteilen angeordnet sind und so die Messzelle umschließen. Die Hohlstreben stellen eine Anordnung von Strömungsdiffusoren dar, um einen vergleichmäßigten horizontalen Durchfluss durch die Messzelle zu erzielen. So wird hier ein stabiler und gleichförmiger horizontaler Durchfluss gewährleistet. Gleichzeitig dienen sie als Bypass für vertikale Fließbewegungen, so dass deren Einflussnahme auf den horizontalen Durchfluss weitgehend ausgeschlossen ist. Die Bypassfunktion ermöglicht darüber hinaus den einfachen Einbau eines Messstrangs aus mehreren Messmodulen in die grundwassererfüllte Rohrtour ohne Kolbenwirkung und reduziert somit die hydraulische Restabilisierungsdauer nach deren Einbau.



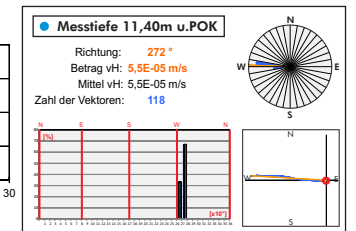
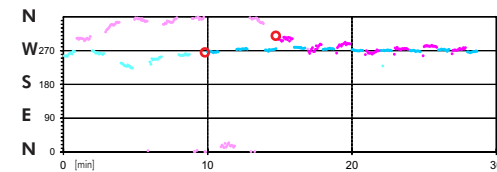
Durchflussvorrichtungen stehen für alle gängigen Messstellendurchmesser zur Verfügung. Der Aufbau und die Anordnung, Anzahl und Durchmesser der eingesetzten Streben sind Ergebnis umfangreicher Simulationsarbeiten. Die Entwicklung der Durchflussvorrichtungen basiert unter anderem auf Ergebnissen aus dem BMBF geförderten Forschungsprojekt FLIMSYS (BMBF FKZ 02WQ1192).

Um eine fachgerechte Durchführung zu gewährleisten wird bei allen Messeinsätzen vor den Messungen eine Kamerabefahrung zur Qualitätssicherung durchgeführt.

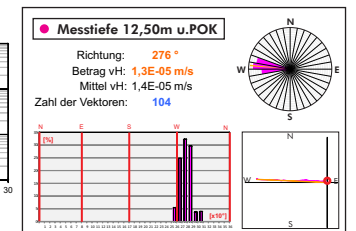
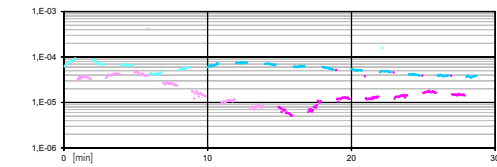
Auf der folgenden Seite ist die Dokumentation von Messergebnissen vorgestellt. Es zeigt den Nachweis von verschiedenen hydraulischen Bezugshorizonten im Einzugsbereich mehrerer Sanierungsbrunnen. Horizontale Fließmessungen wurden als Multi-Level-Messungen quasi gleichzeitig in zwei Messtiefen mit einem Messzyklus von zwei Minuten durchgeführt.



Fließrichtung [°]



Fließgeschwindigkeit v_H [m/s]



Rose/Tabelle: Häufigkeitsverteilung der gültigen Fließrichtungen pro 10° Segment. Intensivfarbe: bilanzierte Ergebnisse