

Bohrlochgeophysikalische und optische Funktionsprüfungen an Grundwassermessstellen

Autoren: Dipl. Geophysiker Michael Maurer, Dipl. Geophysiker Wolfgang Voigt
BBI – Brunnen- und Bohrlochinspektion GmbH, Salzstr. 21, 39245 Gommern, E-Mail: info@bbi.de

Grundwassermessstellen werden nicht nur für die Beobachtung von Grundwasserständen, sondern auch zur Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit errichtet. Damit eine Grundwassermessstelle beide Aufgaben erfüllen kann, muss die Wirksamkeit der Ringraumabdichtung(en) sowie die Dichtheit der Aufsatzrohre gewährleistet sein. Sonst kommt es bei mehreren, durch stauende Schichten getrennten Grundwasserleitern und entsprechend unterschiedlichen hydraulischen Potenzialen zu Strömungsvorgängen im Messstellenrohrstrang und/oder im Ringraum, wodurch eine repräsentative Probenahme erschwert oder unmöglich gemacht wird. Je nach Größe der Potenzialunterschiede und dem Verhältnis der Durchlässigkeiten kann es durch den Fremdwasserzufluss bzw. eigenständige Strömungsvorgänge auch zu erheblichen Verfälschungen der gemessenen Grundwasserstände kommen.

Zu bereits existierenden Grundwassermessstellen sind meist keine ausreichenden Unterlagen, wie Schicht- und Ausbauprotokolle, vorhanden. Außerdem ist die Befahrbarkeit und die Funktionsfähigkeit der GWM nach Jahren der Benutzung nicht genau bekannt. Die Grundwassermessstellen sollen jedoch wichtige und zuverlässige Informationen zu den Verhältnissen im Untergrund liefern. Es ist daher notwendig die Funktionsfähigkeit der Messstellen sofort nach Errichtung und in regelmäßigen Abständen zu kontrollieren und in einem sogenannten Messstellenpass als Qualitätssicherung zu dokumentieren.

Funktionsprüfungen an Grundwassermessstellen werden in unterschiedlichen Regelwerken und Merkblättern beschrieben:

- DVGW Merkblatt W 110, Geophysikalische Untersuchungen in Bohrlöchern und Brunnen zur Erschließung von Grundwasser,
- DVGW Merkblatt W 121, Bau und Betrieb von Grundwassermessstellen,
- DVGW Merkblatt W 135, Sanierung und Rückbau von Bohrungen, Grundwassermessstelle und Brunnen,
- DVGW Merkblatt W 115, Bohrungen zur Erkundung, Gewinnung und Beobachtung von Grundwasser,
- DVWK Regelwerk 128, Tiefenorientierte Probenahme aus Grundwassermessstellen,
- Arbeitskreis Grundwasserbeobachtung, Merkblatt Funktionsprüfung an Grundwassermessstellen (2018).

Dieser Fachbeitrag beschäftigt sich speziell mit den bohrlochgeophysikalischen und optischen Funktionsprüfungen an Grundwassermessstellen (DVGW Merkblatt W110). Ziel bohrlochgeophysikalischer und optischer Untersuchungen an Grundwassermessstellen soll es sein, die Qualität der Installation und die Funktionsfähigkeit, insbesondere:

- den teufenrichtigen Einbau der Filterstrecken,
 - die Durchlässigkeit der Filterbereiche,
 - die Dichtheit der Rohrverbindungen der Vollrohrbereiche,
 - die Lage der Tonsperren,
 - die Zuflußhorizonte und Zuflußmengen,
- qualitativ und quantitativ nachzuweisen.

Dazu ist es notwendig, bohrlochgeophysikalische und optische Messprogramme in Abhängigkeit vom Kenntnisstand über die zu untersuchende Messstelle, in Abhängigkeit vom zu erreichenden Untersuchungsziel und in Abhängigkeit vom gegebenen Ausbau- und Tonsperrenmaterial festzulegen.

Typische Funktionalitätsfehler an Grundwassermessstellen können sein:

1. Tonsperre:

falsche Positionierung,
falsche Dimensionierung,
Brückenbildung

2. Ringraumhinterfüllung:

Materialdefizite,
Brückenbildung

3. Aufsatzrohrverbinder:

Hinweise auf Undichtheiten,

4. Filter:

falsche Positionierung,
falsche Dimensionierung,
Kolmation,
Versandung,
Kiesbrücken.

□

Zur Lösung von Aufgabenstellungen im Rahmen der Untersuchung von GWM können Komplexe bohrlochgeophysikalischer Meßverfahren wie folgt eingesetzt und ausgewertet werden:

a) teufenmäßige Lage der Tonsperren

Je nach verwendetem Tonsperrenmaterial kann ein Nachweis der Lage der Tonsperre erfolgen mittels:

- Gammaray,
- Gamma-Gamma-Ringraumkontrollmessung,
- Neutron-Neutron-Messung,
- Messung der Magnetisierbarkeit (bei Einsatz magnetisch dortiertem Tonsperrenmaterial).

Nachfolgende Tabelle zeigt eine Entscheidungsmatrix zum Einsatz bohrlochgeophysikalischer Meßverfahren zum Tonsperrennachweis bei Verwendung unterschiedlichster Tonsperrenmaterialien.

	<i>SBF Quellon</i> <i>HD</i>	<i>SBF Quellon</i> <i>WP</i>	<i>Compactonit</i> <i>10/200</i>	<i>Compactonit</i> <i>10/80</i>	<i>Mikolit</i> <i>300M*/300</i>	<i>Mikolit</i> <i>00</i>	<i>Compactonit</i> <i>TT 5/15</i>
Durchlässigkeitsbeiwert	2x10 ⁻¹¹ m/s	2x10 ⁻¹¹ m/s	2x10 ⁻¹¹ m/s	10 ⁻⁹ m/s	ca. 10 ⁻⁹ m/s	10 ⁻⁸ m/s	10 ⁻⁸ m/s
Geophysikalischer Nachweis	Magnetiklog	Gammalog	Gamma-Gamma	Gamma-Gamma	Magnetiklog* Gamma-Gamma	Gamma-Gamma	Gamma-Gamma
	+++	+++	-	-	+++ / -	-	-
Gammastrahlung	ca. 50 API	> 100 API	ca. 50 API	ca. 50 API	ca. 50 API	ca. 50 API	ca. 50 API
Dichtwirkung im Ringraum	+++	+++	+++	O	O	-	-
Anwendungsempfehlung	Ringraumabdichtung in größeren Teufen	Ringraumabdichtungen	Ringraumabdichtungen	Ringraumabdichtungen	Ringraumabdichtungen	Rückverfüllung	Rückverfüllung

Tabelle 1: Einsatz von Tonsperrenmaterial und dessen bohrlochgeophysikalischer Nachweis (nach Herstellerangaben)

b) Teufenmäßige Lage der Filterstrecken

Die Filterstrecken in plastausgebauten Grundwassermessstellen sind durch ein Widerstandsverfahren (BFEL) lokalisierbar. Bedingung für den Einsatz von Widerstandsverfahren ist das Vorhandensein von Flüssigkeit im zu untersuchenden Teufenbereich. In stahlausgebauten Brunnen erfolgt die Bestimmung der Lage der Filterstrecken mittels Kalibermessung in Kombination mit Packerflowmeter und Salinitätsmessungen. Mittels Kamerabefahrung kann ebenfalls die Lage der Filterstrecken nachgewiesen werden.

c) Durchlässigkeit der Filterstrecken

Anzeichen für die Durchlässigkeit der Filterbereiche gibt bereits die oben beschriebene BFEL-Messung. Eine sichere Überprüfung gestattet die Vermessung der Filterstrecken mittels Packerflowmeter oder eine Flowmetermessungen während des Abpumpens der Meßstelle.

Nachfolgende Tabelle zeigt eine Entscheidungsmatrix zum Einsatz der Meßverfahren in verschiedenen Ausbaumaterialien:

BFEL	FLOW	FLOWM	SAL/TMP	Video	
+	-	-	+	+	Nachweis der Filtereinbauteufe, GWM PVC, HDPE, PE
-	+	+	+	+	Nachweis der Filtereinbauteufe, stahlausgebauter GWM
+	+	+	+	-	Nachweis der Durchlässigkeit der Filterstrecke, plastausgebaut
-	+	+	+	-	Nachweis der Durchlässigkeit der Filterstrecke, stahlausgebaut

Tabelle 2: Einsatz von Messverfahren zur Bestimmung der Durchlässigkeit von Filterbereichen

d) Dichtheit der Rohrverbindungen und der Vollrohrstrecken

Sobald eine hydraulisch wirksame Trennschicht durchteuft wird, sind Rohre mit innen- und außen-druckwasserdichten Gewindeverbindungen zu verwenden (Nachweis der Herstellerfirma muss vorliegen; Prüfdruck innen/außen mind. 10 bar über 20 min.). Zur Dichtheit der Rohrverbindungen in plastausgebauten Brunnen kann das BFEL nur Hinweise geben. Ein sicherer Nachweis ist jedoch nur mittels hydraulischer Tests möglich. Anzeichen auf Undichtheiten zeigen sich ebenso wie Risse oder Defekte als Meßwertminima. Die Meßwertminima weisen auf stromdurchlässige Bereiche hin, die nicht zwingend hydraulisch durchlässig sein müssen. Bei stahlausgebauten Brunnen kann die Dichtheit der Rohrverbindungen nur mit Packertests untersucht werden. Oberhalb des Wasserspiegels können durchlässige Rohrverbindungen mittels Kamerabefahrung gut erkannt werden.

Beispiele

In den vergangenen Jahren wurden von der BBi-GmbH eine Vielzahl von Grundwassermessstellen aus bestehenden Altmessnetzen oder bei Neubauabnahme auf ihre Funktionsfähigkeit bohrlochgeophysikalisch und optisch untersucht. Dabei sind alle Arten von Grundwassermessstellen wie:

Einzelmessstellen, Messstellengruppen, Messstellenbündel und Multilevelmessstellen aufgetreten mit den unterschiedlichsten Ausbaumaterialien, Ausbaudurchmessern und Messstellenabschlüssen.

Das Mess- und Untersuchungsprogramm beinhaltete folgende Messverfahren:

- Kamerabefahrung (VID),
- Gammaray (GR),
- Gamma-Gamma-Ringraumkontrollmessung (GG-RRK),
- Brunnen FEL (BFEL),
- Kaliber (CAL),
- Salinität / Temperatur (SAL/TMP),
- Neutron-Neutron (NN),
- Packer-Flowmeter (PACKER-FLOW).

Untersuchungsergebnisse – Dichtheit der Aufsatzrohre

Das Untersuchungsbeispiel zeigt in der BFEL-Messung an fast allen Aufsatzrohrverbindungen gering bis mäßig ausgeprägte Anomalien, die durch die elektrische Durchlässigkeit der betreffenden Rohrverbindungen hervorgerufen werden. Die BFEL-Messung liefert jedoch nur in „positiver Richtung“ eindeutige Aussagen. Werden keine elektrischen Durchlässigkeiten durch BFEL verzeichnet, dann ist der Rohrstrang auch hydraulisch dicht. Sind dagegen Rohrverbindungen elektrisch durchlässig, dann bedeutet das noch nicht automatisch, dass diese Rohrverbindungen auch hydraulisch undicht sein müssen. Vereinfacht gesagt heißt das, dass dort, wo Strom durchfließt, nicht zwangsläufig auch Wasser durchfließen kann. Durch außen anliegende Tonsperren oder Ton-Zement-Suspensionen können z. B. Rohrleckagen sekundär gegen Wasserzufluss abgedichtet werden. Zur definitiven Überprüfung der hydraulischen Dichtheit der Aufsatzrohre bei Vorliegen von BFEL-Anomalien sollte daher immer ein Packertest durchgeführt werden. Während des Packertests in der GWM wurden Veränderungen der aufgefüllten bzw. abgesenkten Wassersäule festgestellt. Der Aufsatzrohrstrang ist daher als hydraulisch undicht zu bewerten (siehe Mess- und Untersuchungsbeispiel Abbildung 1).

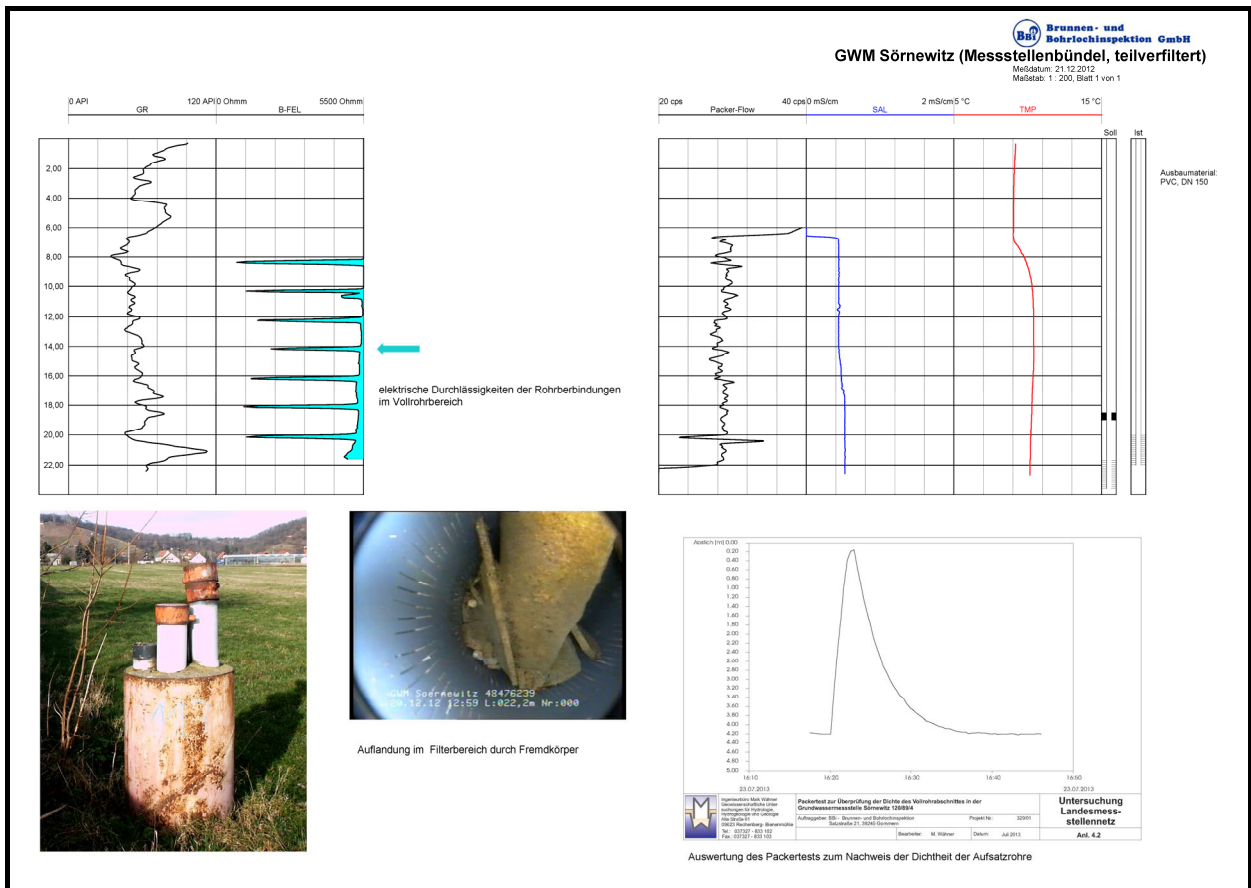


Abbildung 1: Messbeispiel, Komplex der bohrlochgeophysikalischen Ausbauekontrollmessungen

Die BFEL Messung kann nur im wassererfüllten Bereich der Messstellen eingesetzt werden. Im Bereich oberhalb des Wasserspiegels liefert die optische Untersuchung mittels Kamerabefahrung ebenfalls eindeutige Ergebnisse bei undichten Rohrverbindungen (siehe Abbildung 2).



Abbildung 2: Messbeispiel, Undichte Rohrverbindung mit Feststoffeintrag

Untersuchungsergebnisse – Ringraumabdichtungen, Ringraumhinterfüllung

Durch die Gammaray (GR), Gamma-Gamma-Ringraumkontrollmessung (GG-RRK), Magnetiklogmessungen (MAL) und Neutron-Neutron-Messungen (NN) kann das Vorhandensein von Ringraumabdichtungen sicher nachgewiesen werden. Das klassische Verfahren für die Lokalisierung der aus Tonformlingen hergestellten Abdichtungen im Ringraum ist die Messung der natürlichen Gamma Strahlung (GR) der eingebrachten Tone. Da bei diesem Verfahren immer eine integrale Registrierung der an der Sonde eintreffenden Strahlung erfolgt, ist es hier schwierig, die „künstlich“ errichtete Tonsperre von den gewöhnlich direkt dahinter liegenden tonigen Gebirgsschicht abzugrenzen. In der Vergangenheit versuchte man sich zu behelfen, indem man die Schütttone bereits bei der Produktion mit Zusätzen erhöhter Gammaaktivität anreicherte. Bei der Kontrollmessung dominiert dann in vielen Fällen der so präparierte Ton gegenüber dem allgemeinen Messwertniveau. Es wird meist aber zur Sicherheit in Kombination mit einem Gamma-Gamma und Neutron-Neutron Log gemessen. Als ein Tonprodukt zum Einsatz kam, das zur Erzielung einer höheren Sinkgeschwindigkeit mit spezifisch schwereren, eisenhaltigen Zusätzen vermischt wurde, ergab sich überraschend eine neue Möglichkeit, indem man jetzt nicht mehr wie bislang die Gammastrahlung registrierte, sondern die erhöhte magnetische Suszeptibilität des eingebauten Tones als Nachweisindikator verwendete. Damit war das heute in großem Umfang angewandte Magnetlog (MAL) für diesen Zweck entdeckt worden, das beim Tonsperrenachweis immer eindeutige Daten liefert, da natürliche Gesteine eine mindestens um das 10- bis 20-fach geringere Magnetisierbarkeit aufweisen als der präparierte Ton. Aufgrund der schnell steigenden Nachfrage zogen die Tonhersteller nach, und heute sind mehrere Produkte mit Eignung für den magnetischen Nachweis im Angebot, ja man hat sogar den Eindruck, dass die eindeutige Nachweisfähigkeit beim Einsatz von „magnetischen“ Tonen gegenüber dem eigentlichen Zweck, der Erhöhung der Sinkgeschwindigkeit, in den Vordergrund getreten ist. Magnetiklogmessungen zum Tonsperrenachweis in neu errichteten Grundwassermessstellen aus Kunststoff in Kombination mit Gamma-Gamma-Ringraumkontrollmessungen sind heute längst Stand der Technik geworden (siehe Abbildung 3).

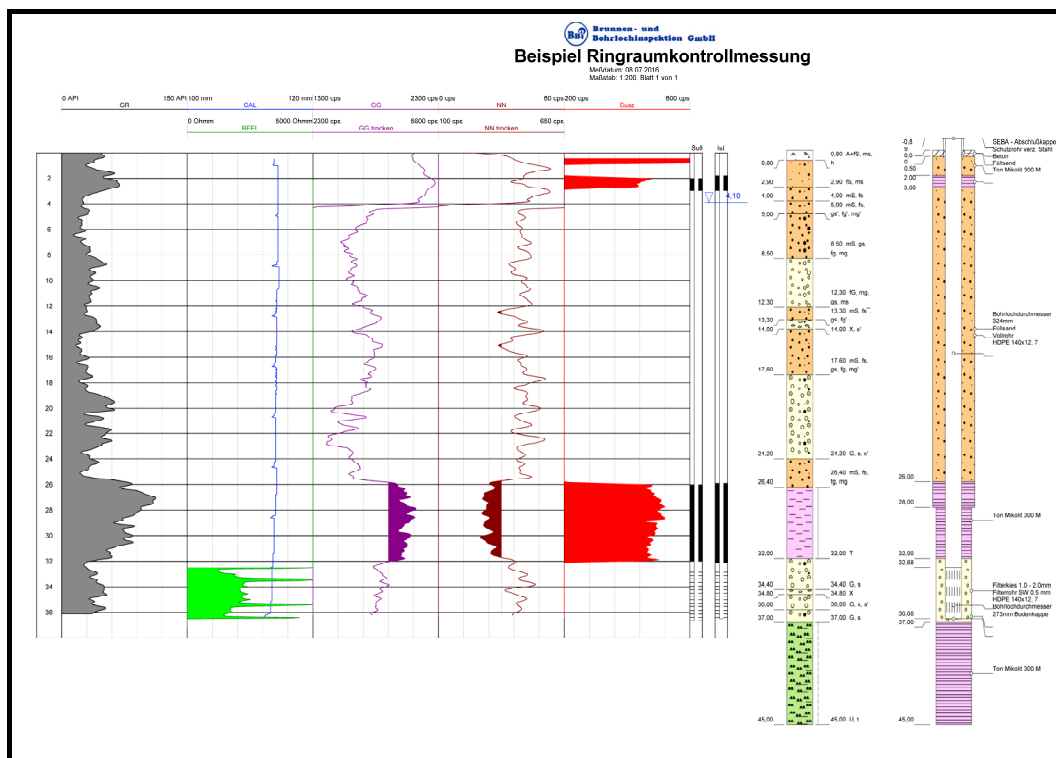


Abbildung 3: Messbeispiel, Ringraumkontrollmessungen GG-RRK, NN, MAL zum Tonsperrenachweis

Untersuchungsergebnisse – weitere mögliche Schäden an Grundwassermessstellen

Durch die optischen Untersuchungen mittels Kamerabefahrungen wurden in der Vergangenheit häufig Beschädigungen durch Wurzeleinwuchs, durch zusammengedrückte Filterrohre und durch hineingeworfene Fremdkörper festgestellt (siehe nachfolgende Abbildungen 4, 5 und 6):



Abbildung 4: Wurzeleinwuchs



Abbildung 5: Auflandung durch Fremdkörper

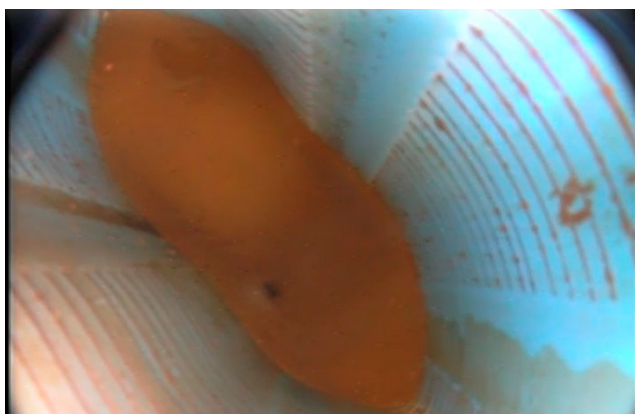


Abbildung 6: zusammengedrücktes Filterrohr

Bewertung der Funktionsfähigkeit der Messstellen

Neben anderen Ergebnissen stellen die Ergebnisse der bohrlochgeophysikalischen und optischen Funktionsprüfungen einen wichtigen Teil der Gesamtbewertung dar. Ein fehlerhafter Ausbau ist nachgewiesen, wenn:

- die Messstelle durch Verformungen der Rohre, geringerer Durchmesser usw. nicht geophysikalisch vermessen werden konnte,
- die Tonsperren sich nicht im vorgegebenen Teufenintervall befinden (zulässige Abweichung maximal: 0,5 m),
- die Filterstrecken sich nicht im vorgegebenen Teufenintervall befinden (zulässige Abweichung maximal: 0,5 m),
- die Rohrendteufe nicht mit der Ausbaufestlegung übereinstimmt (zulässige Abweichung maximal: 0,5 m),
- Tonsperrenmaterial im Filterbereich nachgewiesen wird,
- anderes Tonsperrenmaterial als ausgeschrieben verwendet wird, welches geophysikalisch nicht nachgewiesen werden kann und
- 20 % Abweichung der Ringraumdichtung gegeben ist.

Die Einstufung der Messstellen hinsichtlich ihrer Eignung erfolgt durch den Auftraggeber nach folgenden Kriterien in Abhängigkeit ob es Beschaffenheits- oder Grundwasserstandsmessstellen sind:

- **geeignet mit oder ohne Reinigung**

- ohne festgestellte Abweichungen, Beschädigungen (eventuelle Reinigung)

- **bedingt geeignet** - mittelfristiger (im Zeitraum von 3-5 Jahren) oder langfristiger Ersatz,

- bei Stahlverrohrten GWM (mit Hinweis zu Schwermetallanalytik) – langfristiger Ersatz (ohne Angabe)
- bei Messstellen mit fehlender Tonsperre (vorausgesetzt oberer GWL) – mittelfristiger Ersatz (ohne Angabe)
- bei Messstellen mit stromdurchlässigen Muffenverbindungen – mittelfristiger Ersatz (ohne Angabe)
- bei Mehrfachmessstellen in einer Bohrung (Messstellenbündel oder Mehrfachverfilterte GWM, bei Betrachtung des oberen GWL) – mittelfristiger Ersatz (3-5 Jahre)

- **ungeeignet** - kurzfristiger Ersatz,

- bei Defekten oder bei Nichtbefahrbarkeit der Pegelrohre mittels Bohrlochmesssonden und Pumpen,
- fehlende Tonsperre bei tiefliegenden GWL,
- bei Zuflussraten im KPV unter 3 Liter / Minute (Mindestmengenkriterium).