



Abb.: Bohrlochmessung – Storlow GmbH

# Fernsehsondierungen in Bauwerken des Grundwasserbereichs: Standardverfahren mit neuen Perspektiven

Fernsehsondierungen sind eines der Standardverfahren zur Überprüfung und Beurteilung von offenen Festgesteinsbohrungen und Bauwerken im Grundwasserbereich. Neben Aussagen zum Zustand der Verrohrung, der Bewertung von Fließbewegungen oder der Identifizierung von Fremdkörpern wird vorrangig über neue Entwicklungen berichtet, die auch eine Untersuchung von Horizontalfilterbrunnen ermöglichen, sowie über die optische Korngrößenanalyse und Schlitzweitenbestimmung von Edelstahl-Wickeldrahtfiltern.

**Seit den zwanziger Jahren** des vergangenen Jahrhunderts werden geophysikalische Messungen in Bohrungen durchgeführt. Zunächst ging es hierbei vorrangig um Kostenersparnisse, indem man von teuren Kernbohrungen zu relativ preisgünstigen Spülbohrungen übergehen konnte. Heute ist die Bohrlochgeophysik mit ihren umfangreichen Verfahrenskomplexen aus der Bohrerkundung nicht mehr wegzudenken.

Durch ständige Weiterentwicklungen der Sondentechnik und der Interpretationsmethodik lassen sich wichtige Parameter und Eigenschaften des Untergrunds erkunden. Neben der traditionellen lithologischen Schichtenansprache anhand von Bohrlochmesskurven werden heute u. a. Aussagen zum technischen Zustand der Bohrungen und vor allem zum Ausbau von Brunnen und Grundwassermessstellen getroffen. Hierbei kommen die verschiedensten Messverfahren und Messprinzipien zum Einsatz [1].

Seit den 1990er-Jahren hat sich auch ein visueller Einblick in offene Festgesteinsbohrungen und Grundwassermessstellen oder Brunnen mittels Fernsehsondierung etabliert. Diese stellt bei zahlreichen Fragestellungen ein unentbehrliches Hilfsmittel bei der Interpretation der geophysikalischen Messergebnisse dar.

## Technik

Standardmäßig werden im Grundwasserbereich verschiedene Kameras (entsprechend der Aufgabenstellung) unter folgenden Randbedingungen eingesetzt:

- übliche Innendurchmesser der zu befahrenden Bohrung/des Brunnens: 40 – 1.500 mm,
- übliche maximale Befahrungsteufe: 500 m.

Bei dem genannten Maximaldurchmesser von 1.500 mm erreicht man im zu untersuchenden Objekt jedoch nur bei klarem Wasser oder in Luft ein zufriedenstellendes Bild.

Die eingesetzten Kameras sind heutzutage in der Regel frei radial und axial rotierbar und bieten einen 10-fachen Zoom. Durch das Schwenken der Kamera erhält man einen besseren räumlichen Eindruck, als ihn Systeme mit fester Blickrichtung (vertikal oder horizontal) ermöglichen.

Die Aufzeichnung des Videos erfolgt in Vollfarbe und DVD-Auflösung (MPEG2). Neue Entwicklungen am Markt bieten auch Full-HD-Auflösung. Da die dabei entstehenden, großen Datenmengen bei dieser Auflösung jedoch nicht über das Messkabel zur Steuereinheit im Messfahrzeug übertragen werden können,

wird das Video direkt in der Kamera auf einem Speichermedium (z. B. SD-Karte) abgelegt. Über das Messkabel wird das Video nur in DVD-Auflösung übertragen.

Zur Orientierung können Kamerasysteme auch mit einem Magnetkompass ausgerüstet werden. Dies kann von großem Nutzen bei der Untersuchung von offenen Bohrungen sein, um beispielsweise die Einfallrichtung von Schichten oder Klüften zu ermitteln.

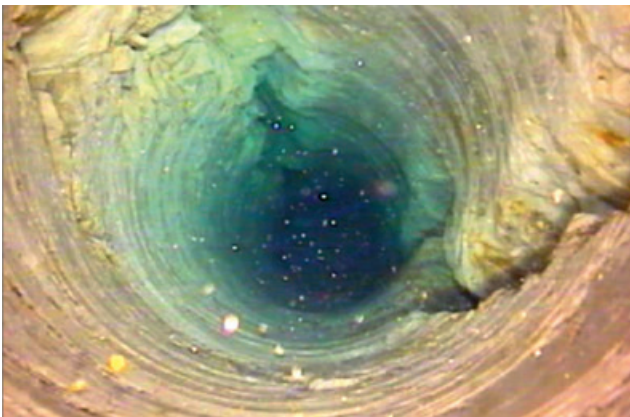
Bereits während der Befahrung wird ein Protokoll inklusive Skizze mit allen relevanten Informationen des untersuchten Objekts erstellt, welches dem Auftraggeber sofort im Anschluss an den Messeinsatz übergeben wird.

Um weitergehende Untersuchungen neben der Fernsehsondierung mittels bohrlochgeophysikalischer Messungen vornehmen zu können, setzt die Bohrlochmessung - Storkow GmbH Kombifahrzeuge ein, was für den Auftraggeber der Untersuchungskampagne einen Vorteil darstellt, da in der Regel ein Messtechniker und ein Messfahrzeug ausreichend ist (siehe Einleitungsbild). Entscheidend bei der Kombination von hydrochemischen/hydrodynamischen Untersuchungen mit einer Fernsehsondierung ist die Untersuchungsreihenfolge, die nach dem jeweiligen Untersuchungsziel festgelegt werden muss. Hierfür bedarf es im Vorfeld der Messkampagne einer Versuchsplanung.

**Untersuchungsziele**

**Offene Bohrungen**

Die Befahrung von offenen Festgesteinsbohrungen mit einer Kamera liefert ein direktes Bild von der Bohrlochwand (Abb. 1).



**Abb. 1** – Fernsehsondierung in einer offenen Festgesteinsbohrung (Vertikal- und Horizontalblick)

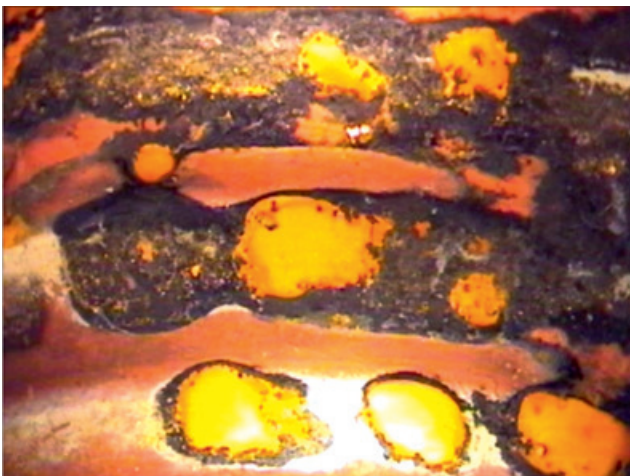
Dadurch sind auch ohne zusätzliche geophysikalische Messungen einfache Aussagen zur Lithologie und zur Gesteinsstruktur (Klüftigkeit, Schichtung o. Ä.) möglich. Der Einsatz von bohrlochgeophysikalischen Messsonden wie Kaliber-Log, Widerstands-sonden (z. B. Induktions-Log), Gamma-Gamma-Dichte-Log und Neutron-Neutron-Log zur dezimetergenauen Schichtansprache kann jedoch durch die Fernsehsondierung keinesfalls ersetzt werden. Sie stellt hierbei ein interpretationsunterstützendes Verfahren dar.

Weiterhin sind in offenen Bohrungen qualitative Aussagen zu Fließbewegungen, Wassertrübung und Schwebstoffeintrag mittels Fernsehsondierung möglich. Hierbei gilt jedoch genau wie bei der lithologischen Ansprache, dass Messungen mit dem Flowmeter-Log oder beispielsweise der fotometrischen Trübungssonde für die quantitative Auswertung nicht ersetzt werden können.

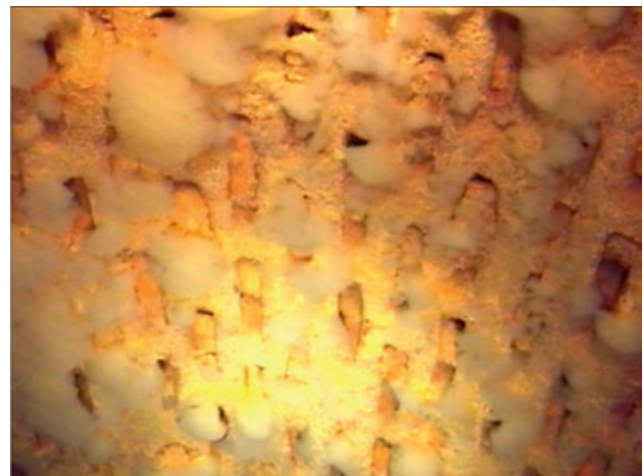
**Ausgebaute Bohrungen – Brunnen und Grundwassermessstellen**

In ausgebauten Bohrungen sind die Aussagemöglichkeiten mittels Fernsehsondierung deutlich weitreichender als in offenen Bohrungen. Jedoch haben sie auch in diesem Fall einen überwiegend beschreibenden Charakter.

In Brunnen und Grundwassermessstellen ist mittels Fernsehsondierung eine Zustandsbeurteilung der Verrohrung, der Filteröffnungen oder der Analyse von Beschädigungen der Rohre möglich, wie sie durch kein klassisches Bohrlochmessverfah-



**Abb. 2** – Fernsehsondierung in Stahlbrunnen (Horizontalblick): starke Korrosion an Rohrverbindung



**Abb. 3** – Fernsehsondierung in Stahlbrunnen: schimmelartiger Bewuchs auf Stahl-Schlitzbrückenfilter unter oxidierenden Bedingungen (nach MIL)

ren erfolgen kann. So können beispielsweise Ablagerungen und Beläge auf den Rohrwandungen oder Korrosionserscheinungen (Abb. 2) analysiert werden und damit beispielsweise in Kombination mit einer elektromagnetischen Wanddickenmessung der Zustand einer Stahlverrohrung genauer eingeschätzt werden. Auch eine Analyse chemischer oder biologischer Fällungsprodukte in Kombination mit Milieuparametermessungen (MIL) ist möglich (Abb. 3).

Ebenso wie in offenen Bohrungen können auch in Brunnen und Grundwassermessstellen qualitative Aussagen zu Fließbewegungen, Wassertrübung und Feststoffeinträgen getroffen werden. Auch hier ist jedoch die klassische Bohrlochmessung für quantitative Aussagen unerlässlich.

Nicht zuletzt dient eine Fernsehsondierung sowohl in offenen als auch in ausgebauten Bohrungen der Havarieprophylaxe, dem Erkennen von Fremdkörpern und (dies jedoch nur in ausgebauten Bohrungen) als unterstützendes Tool bei der Reparatur von Rohren, beispielsweise beim Setzen von Rohrwandmanschetten.

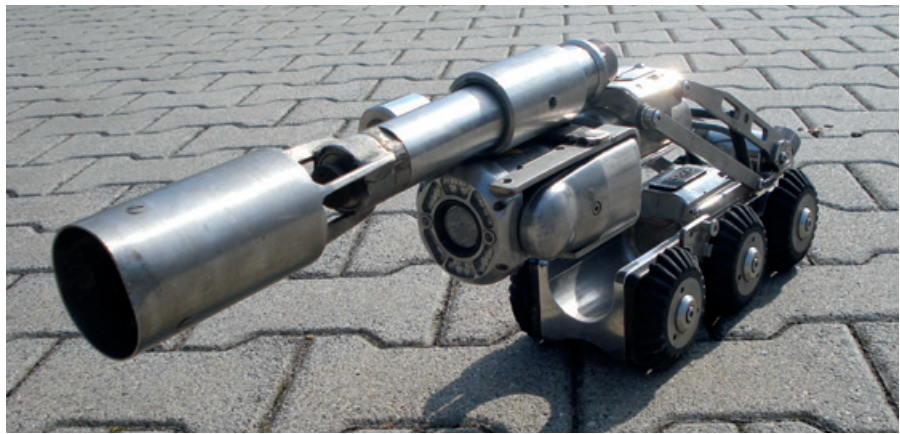


Abb. 4 – Rover mit Kamera und Impellerflowmeter-Log

### Durchführung

Genau wie Bohrlochmesssonden wird die Kamera mittels Winde und Spezialkabel in die Bohrung/den Brunnen/die Grundwassermessstelle eingefahren. Wenn möglich, sollten mindestens 24 Stunden vor Durchführung der Untersuchung eventuell vorhandene Datenlogger sowie die Betriebspumpe inklusive Steigleitung aus dem Brunnen oder der Grundwassermessstelle entfernt werden, um Trübungen zu vermeiden. Bei dennoch starker Trübung des Wassers kann die Sicht durch Grundwasserförderung verbessert werden.

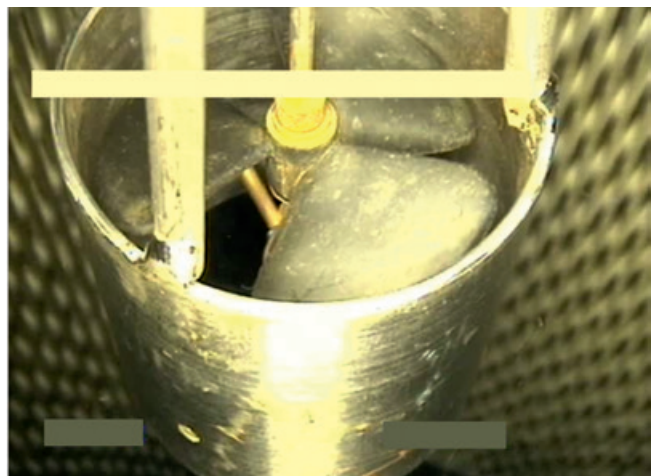
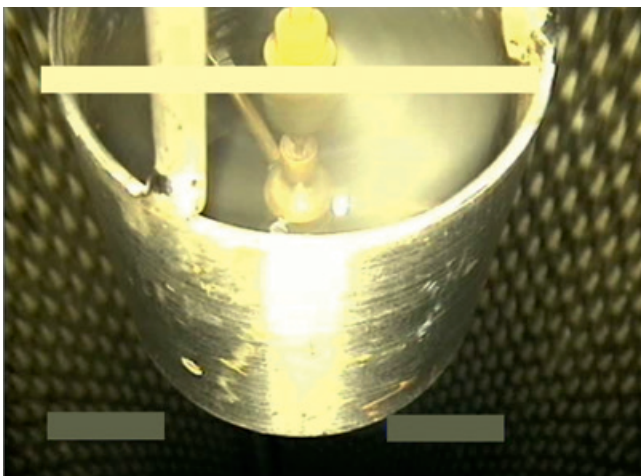
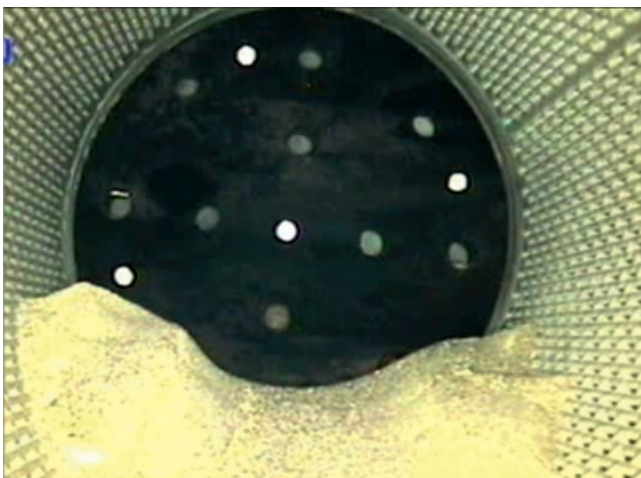


Abb. 5 – Fernsehsondierung in Horizontalbrunnen (oben: Sand und Kiesablagerungen im Rohrstrang, unten: kombinierte Fernsehsondierung und Flowmetermessung)

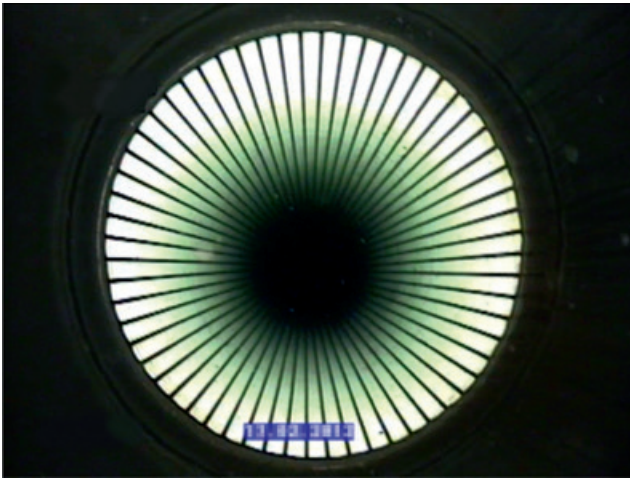
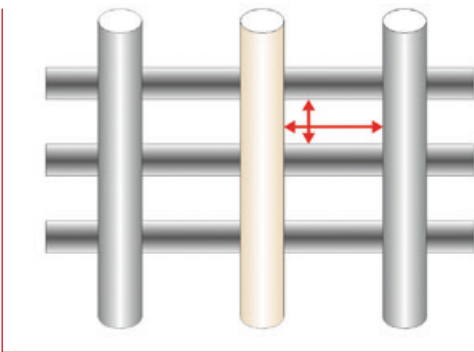


Abb. 6 – Vertikalblick in einen Edelstahl-Wickeldrahtfilter (Kameraposition Aufsatzrohrbereich oberhalb der Filteroberkante)



Abb. 7 – Horizontalblick im Bereich des Edelstahl-Wickeldrahtfilters mit mehreren senkrecht verlaufenden Stützstäben und vertikal angeordneten Filterstegen



$$u \text{ (Kreisumfang)} = d \text{ (Durchmesser bzw. Kaliber)} * \pi$$

$$b \text{ (Kreisbogen)} = u / a \text{ (Anzahl der Wickeldraht-Segmente bzw Stützstäbe)}$$

$$l \text{ (Abstand zweier Stützstäbe)} = b - s \text{ (Breite eines Stützstabes)}$$

$$sw \text{ (wahre Schlitzweite)} = \frac{sw_{OPT} \text{ (im Video sichtbare Schlitzweite)} * l}{l_{OPT} \text{ (im Video sichtbarer Abstand zweier Stützstäbe)}}$$

Abb. 8 – Schematische Darstellung eines Edelstahl-Wickeldrahtfilters mit den für die Berechnung der Schlitzweite verwendeten Formeln

Obwohl es bisher kein festes Regelwerk für die Durchführung einer Fernsehsondierung gibt, sollten die folgenden Punkte jedoch immer Beachtung finden:

- Der Teufenbezugspunkt der Befahrung muss eindeutig im Video mit horizontaler Blickrichtung und einem 360°-Schwenk der Kamera erfasst werden.
- Bei Brunnen und Grundwassermessstellen müssen alle baulich relevanten Elemente wie Rohrverbindungen, Filterlage, Änderung des Rohrdurchmessers o. Ä. mittels horizontalem Blick festgehalten und im Befahrungsprotokoll dokumentiert werden.
- Alle Auffälligkeiten, wie z. B. Schäden, Korrosion, Fließspuren, Beläge etc. sollen mittels Kamera teufenmäßig abgegrenzt und visuell sinnvoll im Video beobachtet werden. Standbilder, die ins Befahrungsprotokoll aufgenommen werden, sollten an diesen Stellen erstellt werden.
- Randbedingungen und die zeitliche Einordnung der Befahrung, z. B. „vor Regenerierung“, „12 h nach Pumpenausbau“ o. Ä., müssen zumindest im Befahrungsprotokoll dokumentiert, besser jedoch direkt zu Beginn der Befahrung im Video kurz eingeblendet werden.

Da die Qualität der Fernsehsondierung jedoch letztlich stark von der Erfahrung des Ausführenden abhängig ist, empfehlen die Autoren, konkrete Eckpunkte für die Durchführung von Fernsehsondierungen zukünftig im DVGW-Arbeitsblatt W 110 festzulegen.

### Neue Perspektiven?

Stellen die oben genannten Untersuchungsmöglichkeiten mittels Kamera seit über 20 Jahren einen Standard in der modernen Bohrlochgeophysik dar, so gibt es seit einigen Jahren dennoch Neuerungen und Weiterentwicklungen, die im Folgenden beschrieben werden sollen.

### Befahrung von Horizontalfilterbrunnen

Seit einigen Jahren wird neben dem klassischen Blick in die Tiefe auch die Befahrung von Horizontalfilterbrunnen mittels Kamera durch die Bohrlochmessung - Storkow GmbH durchgeführt. Ist dies im Bereich des Kanalbaus bereits ein „alter Hut“, so stellt das Verfahren für die Befahrung von Brunnen doch Neuland dar.

Durch eine spezielle Anpassung der handelsüblichen Rover (Fahrwagen) kann nun eine Kamera zusammen mit verschiedenen Bohrlochmesssonden (Kaliber-Sonde, Impellerflowmeter-Sonde, Milieuparameter-Sonde, Segmentierte Gamma-Ray-Sonde, Bohrlochverlaufs-Sonde o. Ä.) in einen horizontal ausgebauten Brunnen eingefahren werden (Abb. 4). Dadurch bietet sich

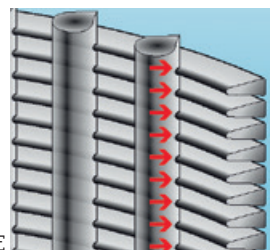


Abb. 9 – Schematische Darstellung der konisch angeordneten Filterschlitzstegen und der sich daraus „ergebenden“ Schlitzweite



Abb. 10 – Wechsel der Schlitzweite innerhalb eines Edelstahl-Wickeldrahtfilterrohres (Horizontalblick)



Abb. 11 – Segmentaufteilung in Absprache mit dem Auftraggeber



Abb. 12 – Horizontalblick auf Filterrohrausschnitt mit Mischkornfilter aus Glaskugeln (Stützschüttung) und Gebirgsmaterial



Abb. 13 – Horizontalblick auf Filterrohrausschnitt mit Mischkornfilter aus Filterstützkies und Gebirgsmaterial

erstmalig die Möglichkeit, Aussagen zur Verrohrung, dem Zustand des Filters, Ablagerungen und vor allem auch dem Fließgeschehen in Horizontalfilterbrunnen zu treffen. Abbildung 5 zeigt einige Aufnahmen aus der Befahrung eines Horizontalfilterbrunnens.

Die maximale Befahrungslänge ist technisch bedingt auf 300 m beschränkt. Auch welche Bohrlochmesssonden zusätzlich zur Kamera eingesetzt werden können, ist von den vor Ort gegebenen Randbedingungen (z. B. Größe der Schleusenöffnung) abhängig.

### Optische Korngrößenanalyse und Schlitzweitenbestimmung in Wickeldrahtfiltern

Neben den oben beschriebenen Einsatzmöglichkeiten der Fernsondierung kann darüber hinaus bei unbekanntem bzw. nicht dokumentierten Edelstahl-Wickeldrahtfilterrohren, die aufgrund ihrer hohen Filtereintrittsfläche und guten Möglichkeiten der Brunnenentwicklung im Brunnenbau häufig Verwendung finden, die Schlitzweite bestimmt werden. Je nach Zielstellung ist zudem eine optische Korngrößenanalyse zur Ermittlung des Aufbaus des filterrohrnahen Ringraums, der eine entscheidende Rolle für die Ergiebigkeit des Brunnens spielt, möglich. Hierbei können Filtersande, Filterkiese, Gebirgskiese (ab Grobsand) und Glaskugeln als Ringraumfüllung analysiert werden. Anwendung fanden diese zusätzlichen Methoden in herkömmlichen Vertikalfilterbrunnen sowie in Brunnen des „Canitzer Brunnentyps“ (Trinkwasserversorgung der Stadt Leipzig), welche Mischkornfilter ohne Grenzflächen zum umgebenden Gebirge aufweisen [2, 3].

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist eine Korngrößenanalyse aufgrund des relativ großen sichtbaren Ausschnitts nur in Edelstahl-Wickeldrahtfiltern möglich. Diese Einschränkung gilt jedoch nicht bei der Schlitzweitenbestimmung.

Erfahrungsgemäß wird eine optische Korngrößenanalyse durch folgende Angaben erleichtert bzw. präzisiert:

- mittels Kalibermessung bestimmter exakter Durchmesser der Verrohrung,
- Angaben des Bohrschichtenverzeichnisses über den lithologischen Aufbau des anstehenden Gebirges (falls vorhanden),
- Angaben der Brunnendokumentation zur Ringraumfüllung, z. B. Art und Korngrößen der projektierten Ringraummaterialien (falls vorhanden),
- Ringraumkontrolle zur Bestimmung der Ringraummaterialverteilung mittels Segmentiertem Gamma-Ray-Log, Gamma-Gamma-Dichte-Log und Neutron-Neutron-Log (wünschenswert),
- Ermittlung der filterrohrnahen Durchlässigkeit anhand einer Packerflowmeter-Messung (FW-Pack) (wünschenswert).

### Durchführung einer Schlitzweitenbestimmung

Im ersten Schritt erfolgt eine standardmäßige Fernsondierung des gesamten Brunnens, um z. B. die Lage und Längen der Filterstrecken zu ermitteln. Anschließend sollte die Kamera bis oberhalb des zu analysierenden Filters gefahren werden, sodass durch den verwendeten Vertikalblick des Kamerasystems die ausgewählte Filteroberkante im vollen Umfang

Teufe [m]	N				E				S				W							
5.5																				
5.7	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG
5.9	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG
6.1	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG
6.3	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG
6.5	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG
6.7	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG
6.9	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG
7.1	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG
7.3	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG
7.5	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG
7.7	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG
7.9	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG
8.1	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG
8.3	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG
8.5	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG
8.7	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG
8.9	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG
9.1	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG
9.3	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG
9.5	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG
9.7	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG
9.9	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG
10.1	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG
10.3	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG
10.45	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG	Gk	gS	fG	mG	gG
10.50																				

(in jeweiliger Teufe und jeweiligem Segment vorhandene Korngrößen wurden farbig unterlegt)

**Legende**

Gk	Glaskugeln (Kugelgröße 8.5...9.5 mm)
gS	Grobsand (0.63 - 2.00 mm)
fG	Feinkies (2.00 - 6.30 mm)
mG	Mittelkies (6.30 - 20.00 mm)
gG	Grobkies (20.00 - 63.00 mm)

**Tabelle 1** – Tabellarische Zusammenstellung des filterrohrnahen Bereiches eines Mischkornfilters mit Glaskugel-Stützschiüttung

Teufe [m]	N				E				S				W							
14.7	Filteroberkante																			
14.75	4..20	X	fG	mG	gG	6..19	X	fG	mG	gG	6..18	X	fG	mG	gG	6..16	X	fG	mG	gG
14.9	4..>18	X	fG	mG	gG	4..~18	X	fG	mG	gG	5..~12	X	fG	mG	gG	5..16	X	fG	mG	gG
15.1	5..>30	X	fG	mG	gG	5..24	X	fG	mG	gG	5..18	X	fG	mG	gG	6..28	X	fG	mG	gG
15.3	4..>26	X	fG	mG	gG	5..>24	X	fG	mG	gG	5..19	X	fG	mG	gG	4..>26	X	fG	mG	gG
15.5	4..>28	X	fG	mG	gG	5..>30	X	fG	mG	gG	4..20	X	fG	mG	gG	4..11	X	fG	mG	gG
15.7	5..20	X	fG	mG	gG	4..20	X	fG	mG	gG	4..24	X	fG	mG	gG	4..14	X	fG	mG	gG
15.9	4..18	X	fG	mG	gG	4..17	X	fG	mG	gG	6..21	X	fG	mG	gG	4..22	X	fG	mG	gG
16.1	6..>28	X	fG	mG	gG	4..>23	X	fG	mG	gG	5..>18	X	fG	mG	gG	4..15	X	fG	mG	gG
16.3	5..>14	X	fG	mG	gG	4..20	X	fG	mG	gG	4..18	X	fG	mG	gG	4..>24	X	fG	mG	gG
16.5	5..28	X	fG	mG	gG	4..>14	X	fG	mG	gG	5..14	X	fG	mG	gG	4..20	X	fG	mG	gG
16.65	Blindrohr																			
16.75																				
16.9	4..19	X	fG	mG	gG	6..16	X	fG	mG	gG	5..16	X	fG	mG	gG	3..44	X	fG	mG	gG
17.1	4..17	X	fG	mG	gG	4..16	X	fG	mG	gG	4..15	X	fG	mG	gG	3..22	X	fG	mG	gG
17.3	4..19	X	fG	mG	gG	5..18	X	fG	mG	gG	5..12	X	fG	mG	gG	4..>30	X	fG	mG	gG
17.5	5..11	X	fG	mG	gG	4..15	X	fG	mG	gG	5..15	X	fG	mG	gG	4..28	X	fG	mG	gG
17.7	5..>34	X	fG	mG	gG	5..>38	X	fG	mG	gG	5..21	X	fG	mG	gG	4..26	X	fG	mG	gG
17.9	5..>55	X	fG	mG	gG	5..>25	X	fG	mG	gG	5..>26	X	fG	mG	gG	5..18	X	fG	mG	gG
18.1	4..>14	X	fG	mG	gG	4..19	X	fG	mG	gG	4..>25	X	fG	mG	gG	4..16	X	fG	mG	gG
18.3	5..>22	X	fG	mG	gG	6..20	X	fG	mG	gG	5..28	X	fG	mG	gG	5..15	X	fG	mG	gG
18.5	4..>32	X	fG	mG	gG	4..>28	X	fG	mG	gG	5..30	X	fG	mG	gG	5..16	X	fG	mG	gG
18.7	2..34	X	fG	mG	gG	3..33	X	fG	mG	gG	5..>28	X	fG	mG	gG	6..20	X	fG	mG	gG
18.75	Filterunterkante																			

(in jeweiliger Teufe und jeweiligem Segment vorhandene Korngrößen wurden farbig unterlegt)

**Legende**

x..y	Kornspektrum (minimaler - maximaler Durchmesser in mm)
X	Durchmischung mit größeren Gebirgsmaterial (> 16 mm)
fG	Feinkies (2.00 - 6.30 mm)
mG	Mittelkies (6.30 - 20.00 mm)
gG	Grobkies (20.00 - 63.00 mm)

**Tabelle 2** – Tabellarische Zusammenstellung des filterrohrnahen Bereiches eines Mischkornfilters mit Filterkies-Stützkorn

sichtbar ist (Abb. 6). Nun kann die Anzahl der Stützstäbe des Edelstahl-Wickeldrahtfilters ermittelt werden. Dies ist für die weitere Bearbeitung notwendig.

Mit der Kamera wird der oberste Teil des Wickeldrahtfilters befahren und mit dem Kamerasystem auf einen Horizontalblick geschwenkt. Nun sind mehrere senkrecht verlaufende Stützstäbe und vertikal verlaufende Öffnungen zwischen den Filterschlitzstegen im Bild sichtbar (Abb. 7). Durch den mittels der Kalibermessung bestimmten exakten Innendurchmesser kann

der Umfang des Wickeldrahtfilters ermittelt werden. In Abbildung 8 sind die Formeln zur Berechnung der Schlitzweite dargestellt. Mit dem Umfang und der bekannten Anzahl der Stützstäbe kann wiederum die Kreisbogenlänge für den Abstand zweier Stützstäbe berechnet werden. Der hieraus ermittelte Abstand der beiden Filterstäbe wird nun ins Verhältnis mit der Entfernung von zwei Filterschlitzstegen gesetzt und somit die Schlitzweite ermittelt. Hierbei ist die Kenntnis des Edelstahl-Wickeldrahtfilter-Aufbaus wichtig, wobei die Entfernung der Filterschlitzstege sich nach hinten hin (von den Filterstäben weg) durch die konische Anordnung verkürzt und an dieser Stelle die wahre Schlitzbreite „abgelesen“ werden muss (Abb. 9). Die ermittelte Schlitzweite kann nun mit Produktdatenblättern von Wickeldrahtfilter-Herstellern (z. B. 0,75 mm) abgeglichen werden [4]. Für die weiteren Filterrohre bzw. bei sichtbarem Wechsel der Schlitzweite innerhalb eines Wickeldraht-Filterrohres erfolgt dieselbe Vorgehensweise (Abb. 10).

**Durchführung einer optischen Korngrößenanalyse**

Die oben beschriebene Vorgehensweise findet bei der optischen Korngrößenanalyse ebenfalls Verwendung. Zusätzlich sollte jedoch für die Richtungsorientierung eine Markierung (z. B. ein Lichtlot) zum Einsatz kommen. Das Lichtlot sollte zu Beginn der Fernsehsondierung in den Brunnen eingelassen werden und mindestens bis zur Filterunterkante oder bis zu den Auflandungen im Brunnen reichen. Das Lichtlot wird nun in Nord-Richtung (0°) verankert. Anschließend können in Absprache mit dem Auftraggeber verschiedene, richtungsorientierte Kreisbogensegmente festgelegt werden (z. B. vier um jeweils 90° versetzte Segmente: Nord, Ost, Süd und West; siehe Abb. 11). Durch die ermittelte Anzahl der Stützstäbe (z. B. 60 Stück) werden den einzelnen Himmelsrichtungen bzw. Richtungssegmenten eine bestimmte Anzahl an Stützstabintervallen zugeordnet (z. B. 15 Segmente der Nord-Richtung). In Abhängigkeit von der Länge der Filterstrecken wird mit dem Auftraggeber festgelegt, wie viele horizontale Ebenen mittels der optischen Korngrößenanalyse untersucht werden sollen (z. B. 25 horizontale Ebenen bei einem 5 m langen Filter = horizontaler Abstand jeweils 0,2 m). Nun wird mittels Horizontalblick jeweils in einzelnen Standbildern die horizontale Ebene allseitig (360°) erfasst (Abb. 12 und 13). Die Kameraführung sollte zur Vereinfachung der Auswertung gleichmäßig und bei konstantem Zoom erfolgen. Wenn Körner größer als der Bildausschnitt sind, so können diese in der nächsten horizontalen Ebene erfasst werden. Die einzelnen Intervalle werden anschlie-

ßend im Rahmen der Auswertung, ausgehend von der Null-Linie betrachtet und das gesamte Korngrößenspektrum den Segmenten in Form einer Tabelle zugeordnet.

Die Korngrößenanalyse basiert darauf, dass die längste sichtbare Seite des betreffenden Elements die Korngröße angibt. Unsicherheiten ergeben sich, wenn ein Korn hinter einem Stützstab bzw. hinter den Filterschlitzstegen endet. Zudem ist es möglich, dass die längste Seite senkrecht vom Filterrohr weg zeigt, sodass diese durch die Fernsehsondierung nicht eindeutig erkannt werden kann.

### Beispiele für optische Korngrößenanalysen

In Tabelle 1 sei beispielhaft eine Ergebnistabelle gezeigt, in der im Kreissegment vorhandene Korngrößen farblich hervorgehoben sind. In diesem Beispiel ist eine deutliche Richtungsabhängigkeit von grobrölligen Komponenten (Mittelkies bis Grobkies) zu verzeichnen, die vor allem in Ost- und Südrichtung am Filterrohr anliegen. Glaskugeln sind in allen Segmenten und horizontalen Ebenen nachweisbar. Die Durchmischung von Glaskugeln mit rolligem Gebirgsmaterial ist relativ unregelmäßig. Im Bereich der Filteroberkante fand über eine Strecke von 0,8 m dagegen keine Durchmischung von Gebirgsmaterial und Glaskugeln statt.

Ein weiteres Beispiel zeigt einen Mischkornfilter aus Gebirgskiesen und der eingebrachten Filterkiesschüttung, die ein bekanntes Kornspektrum von 8-16 mm aufweist (Tab. 2). Hier ist ebenfalls eine Korngrößenanalyse möglich, wobei alle Komponenten, die kleiner als 8 mm bzw. größer als 16 mm sind, als Gebirgsmaterial angesehen werden. Die Angabe der sichtbaren Korngrößen kann als Minimum- und Maximumwert erfolgen oder im sich daraus ergebenden Kornspektrum (z. B. Grobkies). Die Durchmischung ist in diesem Beispiel nahezu allseitig erkennbar. Lediglich die Grobkiese treten unregelmäßig/heterogen über die Filterstrecke verteilt auf.

Die tabellarische Zusammenstellung der Korngrößenanalyse kann im Rahmen einer Brunnenkontrolle grafisch im Messdiagramm dargestellt werden. Nun können durch weitere geophysikalische Messungen die Zusammenhänge, z. B. einer heterogenen Verteilung von Kiesen im filterrohrnahen Bereich, besser beleuchtet werden.

### Ausblick

Die vorliegende Beschreibung beinhaltet die Vorgehensweise bei der optischen Korngrößenanalyse mit „händischen“ Methoden. Natürlich könnte diese Verfahrensweise durch den Einsatz eines computergestützten Ausleseprogramms, das die Korngrößen von selbst analysiert, deutlich vereinfacht werden. Schwierigkeiten dürften hierbei das Vorhandensein der Stützstäbe und Filterschlitzstege des Wickeldrahtfilters bereiten, die eine Zuordnung eines jeden Kornes in mehreren Filteröffnungen erlauben. Aufgrund der Kornform und Oberflächenausbildung sowie dem Vorhandensein des Wickeldrahtfilters zeigen sich in den einzelnen Filteröffnungen unterschiedliche Verfärbungen bzw. Helligkeiten einer einzelnen Komponente.

Eine andere Möglichkeit der optischen Auswertung könnte bei kleinkalibrigen Edelstahl-Wickeldrahtfilterrohren darin bestehen, dass ein Optischer Bohrlochscanner (OBI) anstelle der Fernsehsondierung zum Einsatz kommt. Hierbei wird in ein kontinuierliches 360°-Image-Log erzeugt, welches die abgewinkelte Rohrwand darstellt. Der Vorteil dieses Messverfahrens liegt darin, dass ein teufengenaues, richtungsorientiertes und zusammenhängendes Bild über den Filterbereich bzw. die gesamten

Filter erzeugt wird. Limitiert wird dieses Messverfahren jedoch in erster Linie durch den Rohrdurchmesser sowie die relativ geringe Schlitzweite. Auch dieses Messverfahren ist an klares Wasser gebunden, da eine Wassertrübung die optische Korngrößenanalyse sonst verhindert.

### Literatur

- [1] DVGW-Arbeitsblatt W 110 (2005): Geophysikalische Untersuchungen in Bohrungen, Brunnen und Grundwassermessstellen – Zusammenstellung von Methoden und Anwendungen.
- [2] Nillert, P., Mauder, S.: Brunnenbau mit Entwicklung natürlicher Kornfilter – ein Praxisbericht, in: bbr Leitungsbau | Brunnenbau | Geothermie 63 (2012) Nr. 5, S. 40-48.
- [3] Mauder, S.: Ertüchtigung von Brunnengalerien im Bestand – ein Erfahrungsbericht, in: bbr Leitungsbau | Brunnenbau | Geothermie 65 (2014) Nr. 10, S. 58-63.
- [4] STÜWA: Stahl – Brunnenfilter und Aufsatzrohre. Produktkatalog der STÜWA – Konrad Stükerjürgen GmbH, 2013, Rietberg.

### Autoren

Martin Lehmer  
Isabel Willwacher  
Bohrlochmessung – Storkow GmbH  
Schützenstr. 33  
15859 Storkow  
Tel.: 033678 4363-0  
info@blm-storkow.de  
www.blm-storkow.de



**FERMANOX®**  
WASSERAUFBEREITUNG

**GARANTIIERT EISEN- UND MANGANFREIES WASSER  
DIREKT AUS DEM BRUNNEN**

- **Grundwasser in Trinkwasserqualität**  
unterirdisch aufbereitet - natürlich und effizient
- **Keine Ablagerungen und Verockerungen**  
Brunnen, Pumpen, Rohre - alles bleibt sauber
- **Ihr kompetenter Partner**  
30 Jahre Erfahrung - 10.000 Anlagen

Winkelnkemper GmbH  
Fon: +49 (0) 2523 / 7408

**FERMANOX.DE**