

MERKBLATT

FUNKTIONSPRÜFUNG AN GRUNDWASSERMESSTELLEN



ARBEITSKREIS
Grundwasser-
beobachtung

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Gesamtkoordination)
Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH - UFZ Leipzig-Halle
Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft
Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt
Landesamt für Umwelt Brandenburg
Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt
Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin
Bayerisches Landesamt für Umwelt

Impressum

Herausgeber:

Arbeitskreis Grundwasserbeobachtung:

Mitglieder des Arbeitskreises (Stand 20.06.2018)

Eike Barthel, Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt

Dr. Peter Börke, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Angela Hermsdorf, Landesamt für Umwelt Brandenburg

Heiko Ihling, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Annette Kolberg, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin

Dr. Ronald Krieg, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH - UFZ Leipzig-Halle

Jörg Kunze, Landesamt für Umwelt Brandenburg

Dr. Jörg Neumann, Bayerisches Landesamt für Umwelt

Falk Nüßler, Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft

Holger Rauch, Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt

Antje Richter, Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft

Jörg Steinborn, Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt

Ralf Trabitzzsch, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH - UFZ Leipzig-Halle

Erstellt unter Mitwirkung von

Franz Grund, Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft

Dr. Katja Obst, Dr. Peter Fritsch, Hans Willy, Bernhard Pitschka, Bayerisches Landesamt für Umwelt

Karin Hebler, Landesamt für Umwelt Brandenburg

Diana Reißmann, Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt

Redaktion des Merkblattes

Dr. Peter Börke, Heiko Ihling, Sindy Haenel

Titelbild:

Messstelle Apenburg, © Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt

Redaktionsschluss:

30.06.18

Vorbemerkungen

An den qualitätsgerechten Bau von Grundwassermessstellen (GWM) werden durch die Landesbehörden hohe Anforderungen gestellt. Auf dieser Basis werden Aussagen zum mengenmäßigen und chemischen Zustand des Grundwassers sowie zum Verlauf von verschiedenen Parametern über längere Zeiträume beobachtet und ausgewertet. Die Auswertungen werden für nationale und internationale Berichtspflichten herangezogen. Dazu gehören auch zuverlässige Grundlagen für die Umsetzung der Maßnahmen- und Bewirtschaftungsprogramme gemäß der europäischen Wasserpolitik.

Der Arbeitskreis Grundwasserbeobachtung hat sich zum Ziel gesetzt, gemeinsame technische Standards und Elemente der Qualitätssicherung in einem Handbuch zur Grundwasserbeobachtung zu erarbeiten.

Das vorliegende Merkblatt 10: „Funktionsprüfung an Grundwassermessstellen“ soll der Unterstützung und Sicherstellung des Betriebs von Grundwassermessstellen der staatlichen Grundwasserbeobachtung dienen. Es ist als fachliche Grundlage zur Erarbeitung länderspezifischer Betriebsanweisungen geeignet. Darüber hinaus kann es zur Umsetzung der wasserrechtlichen Anforderungen für Wasser-, Bodenschutz-, Abfall- und Bergbehörden sowie Ingenieurbüros herangezogen werden, die mit dem Betrieb von Grundwassermessstellen und Grundwassermessnetzen betraut sind.

Inhalt

Vorbemerkungen	3
Abbildungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis	5
Abkürzungen und Symbole.....	6
1. Prinzipien und Begriffe.....	7
2. Erstuntersuchung von Grundwassermessstellen auf Funktionsfähigkeit	10
2.1. Recherche, Zusammenstellung und Prüfung der Stamm- und Bewegungsdaten....	10
2.2. Befahrung, Erstuntersuchung vor Ort.....	10
2.3. Erstbewertung der Grundwassermessstelle	11
3. Indikatoren für anlassbezogene Untersuchungen im Messbetrieb	12
3.1. Feldindikatoren	12
3.2. Auswerteindikatoren	14
4. Turnusmäßige Untersuchungen.....	18
4.1. Einfache Funktionsprüfung	18
4.2. Komplexe Funktionsprüfung	22
5. Dokumentation und Qualitätssicherung der Ergebnisse der Funktionsprüfung	23
5.1. Dokumentation	23
5.2. Qualitätssicherung während der Auftragsdurchführung einer komplexen Funktionsprüfung.....	23
6. Literaturverzeichnis.....	25
Anlagen.....	26
Anlage 1: Vor-Ort-Protokoll für die einfache Funktionsprüfung	I
Anhang.....	I
Anhang: Beschreibung der Verfahren zur Feststellung der Funktionsfähigkeit von Grundwassermessstellen	II
I. Optisch-mechanische Untersuchungsverfahren.....	II
II. Geophysikalische Bohrlochmessungen	II
III. Hydraulische Funktionstests	IV

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Ablauf von Funktionsprüfungen an Grundwassermessstellen	9
Abbildung 3-1: Entwicklung der Wasserstandsdifferenz und des Förderstroms bei einer Grundwasserprobennahme.....	14
Abbildung 3-1: Differenzganglinie zweier Grundwassermessstellen	17
Abbildung 4-1: Schema – einfache Funktionsprüfung	21

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1: Kriterien und Handlungsoptionen zur Mängelbeseitigung an Grundwassermessstellen.....	13
Tabelle 3-2: Beispiel: Leitparameter und Wasserspiegeldifferenzen einer Grundwassermessstelle.....	15
Tabelle 3-3: Schwellenwerte zur Bewertung signifikanter Abweichungen der Leitparameter in Bezug auf das Beschaffenheitskriterium der Probennahme.....	16
Tabelle 3-4: Indikatoren, Kriterien und Handlungsoptionen für eine eingeschränkte Funktionsfähigkeit von Grundwassermessstellen.....	17
Tabelle 4-1: Übersicht über die empfohlenen Verfahren der einfachen Funktionsprüfung...	18
Tabelle 4-2: Übersicht über die empfohlenen Verfahren der komplexen Funktionsprüfung.....	22
Tabelle 0-1: Auffüllmengen und –höhen für den Auffülltest	VI

Abkürzungen und Symbole

CAL	Kaliber-Log
DFÜ	Datenfernübertragung
DIN	Deutsches Institut für Normung
DL	Dichte-Messung
DN	<i>Diameter Nominal</i> , englisch für die Nennweite von Rohren
DNN	Dual-Neutron-Neutron-Log
DVGW	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.
FEL	Fokussiertes Elektro-Log
FP	Funktionsprüfung
FW-PACK	Packerflowmetermessungen
GG	Gamma-Gamma-Dichtemessung
GR	Gamma-Ray-Messung
GWL	Grundwasserleiter
GWM	Grundwassermessstelle
k_F	Durchlässigkeitsbeiwert
KPV	Kurzpumpversuch
LDA	lineare Diskriminanzanalyse
MAG	Magnet-Log = Suszeptibilitäts-Log
NN	Neutron-Neutron-Log
OPT	Kamerabefahrung
PN	Probennahme
PV	Pumpversuch
PVC-U	Polyvinylchlorid-hart
RGG.D	rotierendes Gamma-Gamma-Log = um 360° rotierende Gamma-Gamma-Dichtemessung
SAL	Leitfähigkeits-Messung
TEMP	Temperatur-Messung
uGOK	unter Geländeoberkante

1. Prinzipien und Begriffe

Der Betrieb einer Grundwassermessstelle (GWM) setzt bei der Einrichtung der Messstelle eine sorgfältige Planung, Ausführung und Dokumentation sowie eine die Bautätigkeit begleitende Überwachung durch eine Fachfirma voraus. Die Abläufe, notwendige Planungs- und Dokumentationsleistungen sowie technische Leistungen sind im Merkblatt „Bau von Grundwassermessstellen“ (/1/) beschrieben. Geophysikalische Messmethoden zur Kontrolle des Schichtenprofils und der Bohrlochgeometrie, zur Festlegung des Ausbaus und zur anschließenden Abnahme der Messstelle sind im o. g. Merkblatt dargestellt und werden hier nicht weiter behandelt. Nach Fertigstellung der GWM oder bei Aufnahme bestehender GWM in das Messnetz ist eine regelmäßige Überprüfung notwendig, um deren Funktionsfähigkeit langfristig zu sichern bzw. bei Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit entsprechende Gegenmaßnahmen ergreifen zu können. Die erste Funktionsprüfung erfolgt bereits bei der Abnahme der Messstelle nach Fertigstellung und deren Überführung in den regulären Messbetrieb, wie im o. g. Merkblatt beschrieben. Dabei wird der korrekte vertragsgemäße Ausbau verifiziert und dokumentiert, womit ein Referenzzustand für spätere Untersuchungen hergestellt wird.

Die ordnungsgemäße **Funktion bzw. die Funktionsfähigkeit der Grundwassermessstelle** wird wie folgt definiert:

Die GWM muss ihre jeweilige Aufgabe, wie z. B. die Aufzeichnung des Wasserstandes bzw. die Darstellung der natürlichen und anthropogen beeinflussten Grundwasserbeschaffenheit, zuverlässig erfüllen und ihr gerecht werden. Das bedeutet die kontinuierliche Gewinnung qualitätsgerechter Parameter der Grundwasserbeobachtung. Sie ermöglichen die in /9/ formulierte Aufgabe des gewässerkundlichen Mess- und Beobachtungsdienstes, die für „...Vorbereitung politisch-legislativer sowie wasserrechtlicher Entscheidungen notwendigen Basisdaten bereitzustellen.“ **Quellen als Messstellen und spezielle Funktionsprüfungen an Schacht- bzw. Bohrbrunnen werden hier nicht betrachtet.**

Funktionsprüfungen (FP) an GWM sind anlassbezogene oder turnusmäßige mit verschiedenen optischen, hydraulischen und geophysikalischen Testverfahren durchgeführte Untersuchungen, um die für die jeweilige Netzart der GWM ordnungsgemäße Funktion zur Gewährleistung eines dauerhaften Betriebs festzustellen. Je nach Netzart (Grundwasserstand, Grundwasserbeschaffenheit) und Betriebsweise (Messturnus, ggf. auch unter Berücksichtigung von Einbauten der Messstelle und bei Sonderbauten) werden unterschiedliche Verfahren – meist in Kombination, ggf. auch gestaffelt – angewendet. Je nach Messstellentyp, Ausbaudurchmesser und Ausbaumaterial sind diese Verfahren unterschiedlich geeignet, um die Funktionsfähigkeit im Einzelfall einzuschätzen. Daher sind die innerhalb von Funktionsprüfungen angewendeten Verfahren auf die o. g. Bedingungen zu prüfen und für jeden Messstellentyp bzw. jede Netzart ein bis zwei Verfahrenskombinationen zu entwickeln. Diese werden dann anlassbezogen oder turnusmäßig angewendet, ggf. auch im Wechsel (z. B. große, kleine Untersuchung).

Der Umfang der FP kann so ausgestaltet werden, dass Standardprogramme erstellt werden, deren Turnus wechselt. In diesem Merkblatt werden als zwei mögliche Standardprogramme eine einfache und eine komplexe Funktionsprüfung beschrieben.

Bislang unbekannte oder von anderen Betreibern zu übernehmende GWM sind – sofern diese Untersuchungen vom Vorbetreiber nicht vorliegen oder veraltet sind – mit einer Erstuntersuchung auf ihre Funktionsfähigkeit („Eignungsprüfung“) zu prüfen und zu bewerten. Eine Eignungsprüfung kann verschiedene Elemente von einfachen oder komplexen Funktionsprüfungen beinhalten. Diese können auch als Übernahmebedingung vereinbart werden.

Die Ergebnisse der FP sind sorgfältig zu dokumentieren und für die jeweilige Messstelle zu einem Ergebnis mit der Aussage

- funktionsfähig,
- eingeschränkt funktionsfähig oder
- nicht funktionsfähig

zusammenzuführen. In beiden letztgenannten Fällen sind Maßnahmen wie

- vorläufig eingeschränkter Weiterbetrieb,
- Regenerierung der Messstelle,
- Ersatzneubau oder
- Aufgabe und Rückbau der Messstelle

abzuleiten. Regenerierungsmaßnahmen sowie der Bau von GWM werden in diesem Merkblatt nicht behandelt.

In *Abbildung 1-1* ist der Entscheidungsablauf von Funktionsprüfungen mit Erstuntersuchung an Grundwassermessstellen dargestellt.

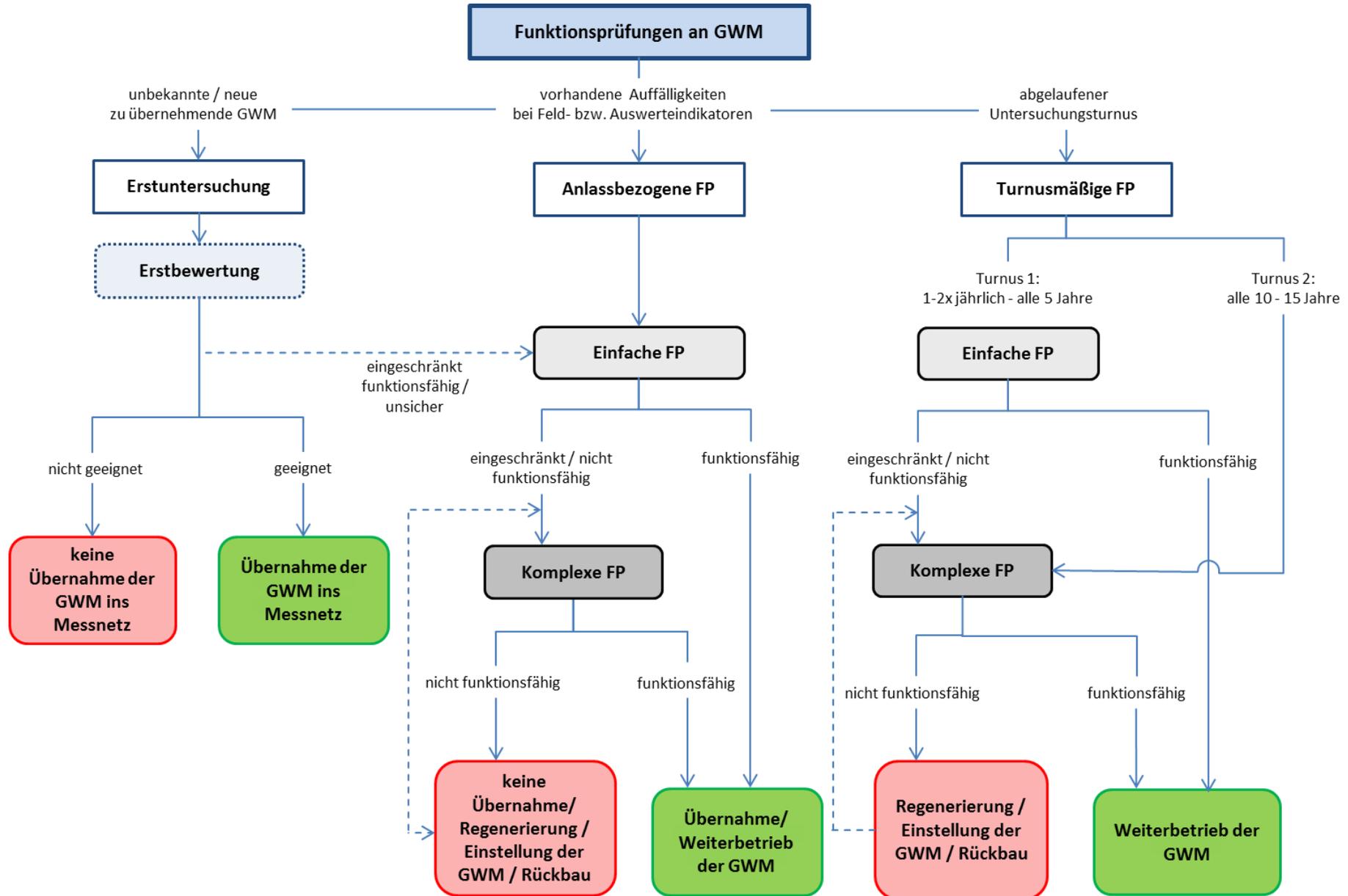


Abbildung 1-1: Entscheidungsablauf von Funktionsprüfungen an Grundwassermessstellen

2. Erstuntersuchung von Grundwassermessstellen auf Funktionsfähigkeit

2.1. Recherche, Zusammenstellung und Prüfung der Stamm- und Bewegungsdaten

Für die Erstuntersuchung ist zunächst eine Recherche und Bestandsaufnahme beim Betreiber bzw. Eigentümer der Grundwassermessstelle durchzuführen.

Dazu gehört als Mindestumfang die Sichtung folgender Unterlagen bzw. die Recherche folgender Informationen:

- Schichtenverzeichnis und Ausbauzeichnung,
- Ergebnisse vorhandener Befahrungen und Beprobungen einschließlich Grundwasserstands- und Sohlnotungen an der Messstelle,
- Eigentums- und Betreiberverhältnisse sowie
- Dienstbarkeiten und Gestattungsverträge.

Alle o. g. Angaben sind möglichst in einem Messstellenpass vorzuhalten. Sofern eine Messstellenakte vorliegt, sind alle dort enthaltenen Angaben und Untersuchungsergebnisse zu übergeben. Wenn keine ausreichende Datengrundlage zur Verfügung steht, ist eine Datenrecherche bei der jeweiligen geologischen Landesbehörde (i. d. R. der Aufschluss- bzw. Bohrdatenspeicher) oder anderen zuständigen Behörden (z. B. Landratsamt, Stadtverwaltung) durchzuführen.

2.2. Befahrung, Erstuntersuchung vor Ort

Als zweiter Schritt ist eine Befahrung und Erstuntersuchung durchzuführen. Dabei werden folgende Arbeiten realisiert:

- äußere Zustandsprüfung: visuelle Begutachtung (z. B. vorhandene Schutzeinrichtungen, Prüfung von Lage und Zugänglichkeit),
- innere Zustandsprüfung: Wasserstands- und Sohlnotung,
- bei Standsmessstellen i. d. R. Auffüllversuch und
- bei Beschaffenheitsmessstellen Kurzpumpversuch mit Aufzeichnung der Leitkenwerte.

2.3. Erstbewertung der Grundwassermessstelle

Sofern die GWM zur Übernahme in das Messnetz vorgesehen ist, wird nach der Auswertung der gewonnenen Vor-Ort-Ergebnisse ein Abgleich mit den ggf. eigenen Stamm- und Bewegungsdaten erforderlich. Ferner ist eine Entscheidung zu treffen, ob eine weitere Prüfung der Grundwassermessstelle mittels einfacher oder komplexer FP erforderlich ist. Kriterien zur Eignung der GWM für den Messbetrieb sind:

- Lage und Flächennutzung am Standort, Zugänglichkeit der Messstelle,
- Information über Eigentümer und/oder andere Betreiber der Messstelle (vertragliche Sicherung),
- Information über Eigentümer/Pächter des Grundstücks (liegenschaftliche Sicherung),
- regelkonformer Ausbau,
- allgemeiner baulicher Zustand,
- Alter der Messstelle und
- Ausbaumaterial (Stahl oder Kunststoff).

Bei festgestellter Funktionsfähigkeit und Eignung kann die Messstelle in den Routinebetrieb überführt werden. Ist dies nicht eindeutig feststellbar, kann eine einfache Funktionsprüfung erfolgen bzw. diese als Bedingung zur Übernahme der Messstelle vereinbart werden.

3. Indikatoren für anlassbezogene Untersuchungen im Messbetrieb

3.1. Feldindikatoren

Feldindikatoren werden bei der Befahrung bzw. Beprobung der Messstelle ermittelt und sind vor Ort zu dokumentieren.

- **Sichtbare Schäden:**

Hierzu zählen u. a. der Aufbruch der Messstelle, Beschädigungen der Verschlusskappe und Schäden/Risse am Schutzmantel (Hinweis auf eine mögliche Kollision). Oberflächennah entdeckte Verschmutzungen oder Verstopfungen können die Funktion der Messstelle unterschiedlich stark beeinträchtigen.

- **Nicht sichtbare Schäden:**

Schäden, die nicht sofort bzw. nur mit entsprechender Technik erkennbar sind (z. B. Wurzeleinwuchs im Filterbereich der Messstelle), werden möglicherweise zunächst nur als „Hindernis“ protokolliert. Im Nachgang erfolgt dann eine entsprechende Funktionsprüfung.

- **Differenz zur Vorlotung:**

Die Sohlnotung der Messstelle wird grundsätzlich bei jeder Probennahme im Routinebetrieb durchgeführt und protokolliert. Bei Standsmessstellen kann dies halbjährlich oder jährlich erfolgen. Ist dabei eine deutliche Abweichung zum Ergebnis der vorherigen Lotung festzustellen (z. B. Abnahme der Sohltiefe > 10 Zentimeter/Jahr), kann davon ausgegangen werden, dass im Bereich der Sohle bzw. des Schlammfanges der Messstelle erhebliche Ablagerungen oder Hindernisse vorhanden sind. Es können auch Ergebnisse einer Erstlotung oder Angaben aus der Ausbauezeichnung verwendet werden.

- **Ablagerungen und Trübungserscheinungen an der Messtechnik:**

Trübungen nach Beginn des Abpumpens können von Schwebstoffen oder aufgewirbelten Ablagerungen verursacht sein. Durch Beobachtung des Wassers im Förderstrom (Messzelle, Becher) ist zu prüfen, ob Trübungen bzw. Gasblasen aus dem Grundwasser stammen oder technisch bedingt sind (Rohrverschraubungen, Undichtheiten). Um Fehlinterpretationen zur Funktionsfähigkeit auszuschließen, ist ein Abgleich mit den Protokollen aus vorangegangenen Probennahmen durchzuführen.

Folgende Hinweise auf konkrete stoffliche Veränderungen liegen vor (/6/, ergänzt):

Farbe der Ab-/Anlagerungen:

- braun – Eisenverbindungen
- schwarz – Manganverbindungen
- weiß – Versinterung durch Calciumkarbonat

Farbe der Trübungserscheinungen:

- braunes oder rotes Wasser – Eisenverbindungen
- graues Wasser – verschiedene Mikroorganismen, Tonpartikel
- schwarzes Wasser – Manganverbindungen
- gelbes und braunes Wasser – Huminstoffe

Weiterhin können geruchliche Veränderungen Hinweise auf eine mögliche Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit der GWM geben.

Folgende Handlungsoptionen werden zur Mängelbeseitigung an GWM empfohlen
(Tabelle 3-1):

Tabelle 3-1: Kriterien und Handlungsoptionen zur Mängelbeseitigung an Grundwassermessstellen

Netzart	Indikator	Kriterium	Handlungsoptionen
Stand/ Beschaffenheit	sichtbare Schäden	mechanische Beschädigung, Verschmutzungen, Verstopfungen	a) ggf. unmittelbare Beseitigung von Schäden / Hindernissen b) Sicherung der GWM c) Sanierung der GWM d) Ersatz
Stand/ Beschaffenheit	nicht sichtbare Schäden	Verstopfungen, Hindernisse, innere Beschädigungen	a) Protokollierung b) Entfernung c) Ersatz
Stand/ Beschaffenheit	Differenz zur vorherigen Lotung der Sohle	> 10 cm (bei jährlicher Untersuchung)	a) Beseitigung von Ablagerungen im Schlammfang b) Beseitigung des Hindernisses/des Sedimentbelages an den Filterschlitzten c) Ersatz
Beschaffenheit	Ablagerungen/ Trübungs- erscheinungen an der Messtechnik	individuell festlegen	a) Prüfung der Pumpenposition b) Korrektheit der Funktionsweise der Messtechnik

3.2. Auswerteindikatoren

Im Feld beobachtete deutliche Abweichungen der Parameter des hydraulischen Kriteriums und der hydrochemischen Kriterien der Probennahme (Leitkennwerte) sind im Probennahmeprotokoll festzuhalten. Die beobachteten Auffälligkeiten sollten zusammen mit dem nachfolgend beschriebenen Auswerteindikatoren geprüft werden. Auswerteindikatoren dienen der Qualitätssicherung des Messbetriebes und zeigen mögliche Abweichungen von Erwartungswerten auf. Sie werden mithilfe von thematischen Abfragen auf dem jeweiligen Datenbanksystem hydrochemischer Auswertesoftware oder mittels Prüfen und Auswerten von Bewegungsdaten an GWM gewonnen. Schwellenwerte sind in *Tabelle 3-3* und Handlungsoptionen sind in *Tabelle 3-4* aufgeführt.

Zu den Auswerteindikatoren gehören:

- **Entwicklung der Wasserspiegeldifferenz bei der PN:**

Ein über mehrere Jahre durchgeführter Vergleich von Wasserspiegeldifferenzen (vor Beginn der Probennahme und nach Erreichen des hydraulischen Kriteriums) kann Auskunft darüber geben, wie stark sich der jeweilige hydraulische Widerstand der GWM verändert. Voraussetzung sind jeweils konstante und gleiche Förderraten. Unterschiedliche Förderraten während der Probennahme schränken die Vergleichbarkeit ein. Messstellen mit stark schwankenden Grundwasserständen sind für die Untersuchung von Wasserspiegeldifferenzen nicht geeignet.

Folgendes Beispiel (*Abbildung 3-1*) verdeutlicht die Entwicklung von Förderstrom und Wasserstandsdifferenz vor der Probennahme und nach Erreichen des hydraulischen Kriteriums über einen längeren Zeitraum. Der Anstieg der Wasserspiegeldifferenzen ab 2010 ist ein Indikator für eine eingeschränkte Funktion der GWM.

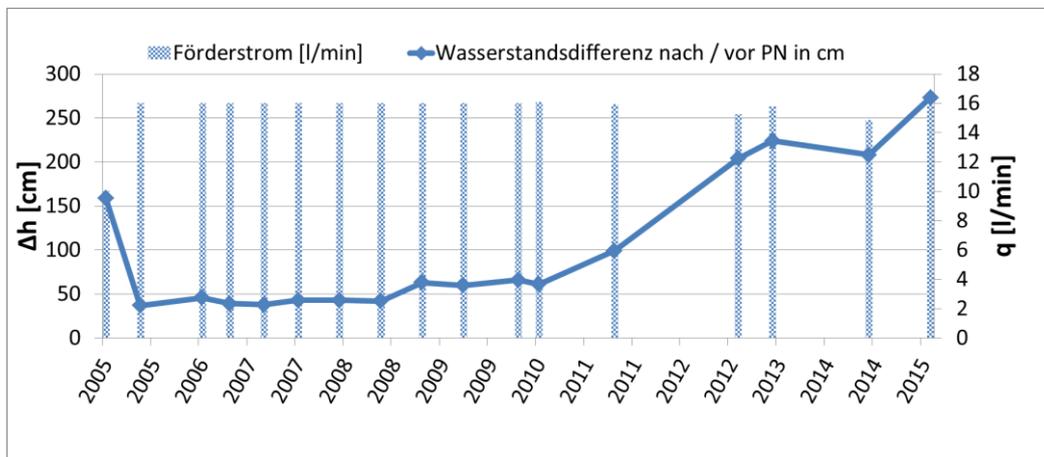


Abbildung 3-1: Entwicklung der Wasserstandsdifferenz Δh und des Förderstroms q bei einer Grundwasserprobennahme

- **Leitparameterabweichungen:**

Untersuchungen von Hamann (2016, /4/) und Jäkel (2017, /7/) zeigen, dass die Beobachtung und Auswertung von Abweichungen folgender Feld- bzw. Leitparameter zur Einschätzung des Erreichens des hydraulischen Kriteriums und der hydrochemischen Kriterien über einen längeren Zeitraum grundsätzlich geeignet sind:

- elektrische Leitfähigkeit,
- pH-Wert,
- Sauerstoffgehalt,
- Wassertemperatur und
- Wasserspiegeldifferenz.

Ein Fünfjahreszeitraum ist hierfür eine Orientierungsgröße. Als wirksame Methode zur gekoppelten Detektion von Messstellen mit Funktionsmängeln hat sich die lineare Diskriminanzanalyse (LDA, /10/) erwiesen. Hierbei werden mithilfe eines Programmskripts zu den Indikatoren bzw. Leitparametern sowie dem Alter der Messstelle eine Reihe von statistischen Kenngrößen berechnet und in eine Vergleichsmatrix übertragen.

Bei einem Fünfjahresbezug werden die ersten fünf Messwerte eines Parameters durch Mittelwertbildung zusammengefasst. Ist die durch einen Schwellenwert definierte Abweichung zum Messwert des sechsten Jahres überschritten, wird die Messstelle als auffällig registriert. Entsprechend der in /7/ empfohlenen Vorgehensweise werden die Messwerte vom zweiten bis sechsten Jahr zusammengefasst und mit dem Messwert des siebten Jahres verglichen.

Tabelle 3-2: Beispiel: Leitparameter und Wasserspiegeldifferenzen einer Grundwassermessstelle

Jahr	elektrische Leitfähigkeit [µS/cm]	absolute Abweichung vom 5-Jahres-Mittel	Wasserspiegeldifferenz [cm]	absolute Abweichung vom 5-Jahres-Mittel
2011	580	-	18	-
2012	586	16	18	32
2013	592	10	28	22
2014	605	3	58	8
2015	618	16	63	13
2016	610	8	85	35
Mittel 2012 - 2016	602	10,7	50	22
2017	618		98	
Abweichung 2017 vom Mittel 2012 - 2016	16	50 %	48	218 %
Abweichungsschwellenwerte		35 %		300 %

(jährliche Probenahme und sieben zusammenhängende Jahre, (Pumprate konstant 16 l/min, Ruhewasserspiegel 2,68...2,82 m uGOK))

Hinweis: Wird der Abweichungsschwellenwert für die Leitfähigkeit überschritten, ist die GWM zu überprüfen. Auch wenn der Schwellenwert in Bezug auf die Wasserspiegeldifferenz noch nicht erreicht ist, bedarf die GWM besonderer Beachtung. Denn die Tendenz der Einzelwerte weist auf eine Verringerung der Durchlässigkeit hin.

Die nachfolgend genannten Abweichungsschwellenwerte sind erste Anhaltspunkte und werden in der Praxis weiter geprüft und fortentwickelt.

Tabelle 3-3: Schwellenwerte zur Bewertung signifikanter Abweichungen der Leitparameter in Bezug auf das Beschaffenheitskriterium der Probennahme

Parameter	Abweichungsschwellenwert
Leitfähigkeit	35 %
pH-Wert	± 0,5
Sauerstoffgehalt	± 2,5 mg·l ⁻¹
Temperatur	± 3 K
Wasserspiegeldifferenz	300 %

- **OPTIONAL: Filterwiderstandsänderung:**

Eine Veränderung der Filterwiderstände bei Kurzpumpversuchen mit gleicher Förderleistung kann Hinweise auf Alterungsprozesse geben. Dies setzt voraus, dass eine einmalige Bestimmung einer entsprechenden Kenngröße wie z. B. k_F -Wert oder T-Wert vorliegt. Zu einem späteren Zeitpunkt wird der Filterwiderstand durch einen weiteren Pumpversuch mit Auswertung der Absenkungs- und Wiederanstiegsphase überprüft, da eine Probennahme allein nicht ausreichend ist. Diese Vorgehensweise eignet sich insbesondere dann, wenn sich die Ergiebigkeit der GWM verändert hat und die Förderrate an die hydraulischen Bedingungen in der GWM anzupassen war.

- **Ganglinienvergleich:**

Die Veränderung der Wasserspiegel-Ganglinie einer GWM über einen längeren Zeitraum hinsichtlich Schwankungsstärke und -dauer deutet auf eine Funktionsstörung hin, allerdings nur, wenn eine Beeinflussung durch nahegelegene Grundwasserabsenkungen ausgeschlossen werden kann. Nachfolgend ist ein Beispiel für die Entwicklung der Gangliniendifferenz zweier benachbarter GWM dargestellt. Die GWM sind ca. 300 Meter voneinander entfernt. Der eindeutig abnehmende Trend ist ein Indikator für eine mögliche Funktionsstörung an einer der beiden Messstellen.

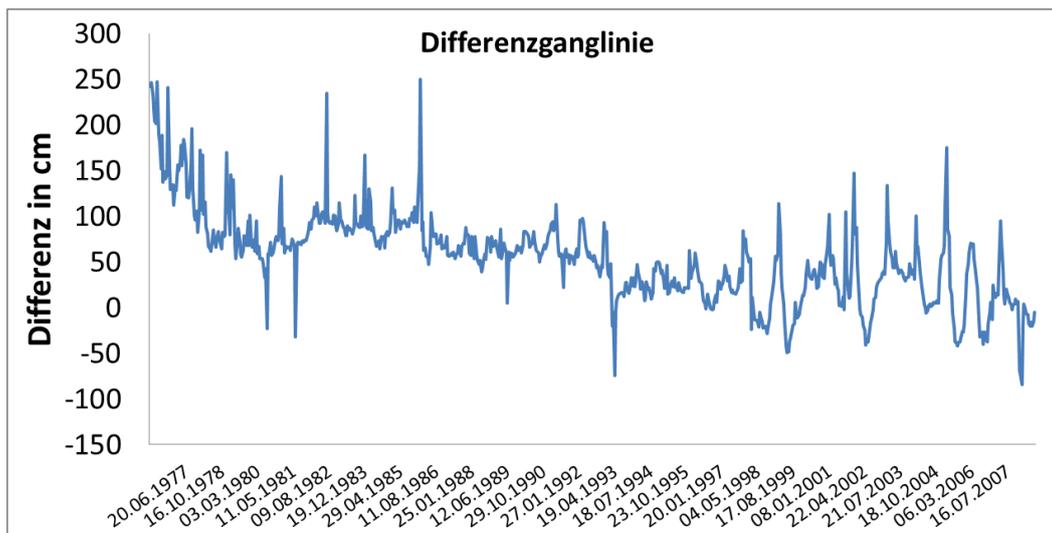


Abbildung 3-2: Differenzganglinie zweier Grundwassermessstellen

Tabelle 3-4: Indikatoren, Kriterien und Handlungsoptionen für eine eingeschränkte Funktionsfähigkeit von Grundwassermessstellen

Netzart	Indikatoren	Kriterium	Handlungsoptionen
Beschaffenheit	Entwicklung der Wasserspiegel-differenz bei der PN	deutliche Zunahme über mehrere Probenahmen / Sprünge	a) Spülung der GWM b) FP
Beschaffenheit	Leitparameter-abweichungen	Abweichungs-schwellenwerte	a) Prüfung des Ausbaus b) Ausschluss einer Verwechslung von GWM c) FP
Stand/ Beschaffenheit	OPTIONAL: Filterwiderstands-änderung	> 0,1 m/a (bei mehrjähriger Auswertung)	bei Feststellung einer zeitlich verschlechterten Anbindung der GWM an den Grundwasserleiter: a) Spülen b) Ausblasen der GWM c) FP
Stand	Ganglinienvergleich	deutlicher Trend in Differenzganglinie	a) Ausreißertests und Elimination der Ausreißer b) Plausibilitätsprüfung der Messwerte

4. Turnusmäßige Untersuchungen

Als Alternative zu anlassbezogenen Untersuchungen sollten turnusmäßige Untersuchungen zur FP realisiert werden (siehe dazu auch /2/). In zeitlich fixierten Turnussen sind eine einfache bzw. eine komplexe FP durchzuführen.

Folgende zeitliche Turnusse für den Messnetzbetrieb kommen in Frage:

- **Turnus 1: einfache FP → ein-/ zweimal jährlich bis fünf Jahre und**
- **Turnus 2: komplexe FP → alle 10 bis 15 Jahre.**

In Gebieten, in denen eine hydrochemisch negative Beeinflussung zu erwarten ist (z. B. Ausfällungen, Biofilme), sind die Turnusse zu optimieren.

4.1. Einfache Funktionsprüfung

Durch die Methoden der einfachen FP sollen die generelle Funktionstüchtigkeit einer Messstelle beurteilt und mögliche Hinweise auf Funktionsstörungen erbracht werden. Die äußere Zustandsprüfung ist bei jeder Maßnahme an einer Grundwassermessstelle durchzuführen. Der Wasserstand und die Sohlentiefe werden ein- bis zweimal pro Jahr ermittelt.

Der Untersuchungsumfang der einfachen FP beinhaltet folgende – auch optional anwendbare – Maßnahmen.

Tabelle 4-1: Übersicht über die empfohlenen Verfahren der einfachen Funktionsprüfung

Verfahren	zu messende und aufzuzeichnende Parameter	Anwendung Fest (F)- / Locker(L)-gestein
äußere Zustandsprüfung	visueller Zustand, u. a. Schutzrohr, Betonsockel, Verschmutzungen, Verstopfungen (bei jeder Maßnahme an der GWM)	F, L
Wasserstands- und Sohlenmessung	Wasserstand, Tiefenlage der Sohle (ca. 1 bis 2 mal pro Jahr)	F, L
Auswertung der Probennahme ¹⁾ ; OPTIONAL bei Standsmessstellen Kurzpumpversuch	zeitliche Aufzeichnung von Förderrate, Abpumpvolumen und Wasserspiegelabsenkung (ca. 1 bis 2 mal pro Jahr)	F, L
OPTIONAL: Auffülltest nach Natermann	zeitliche Aufzeichnung der Absenkung nach Auffüllen (alle 3 – 5 Jahre oder bei Auffälligkeiten)	F, L
OPTIONAL: SAL-Temp-Messung	Tiefenprofil der elektrischen Leitfähigkeit und Temperatur (alle 3 – 5 Jahre oder bei Auffälligkeiten)	vorwiegend F
OPTIONAL: Dummytest	Durchgängigkeit des Bohrlochs (bei Auffälligkeiten)	F, L

1) Sofern dabei die Absenkung, der Wiederanstieg und die Förderrate so aufgezeichnet werden, dass eine Auswertung als PV möglich ist.

- **Äußere Zustandsprüfung:**

Zunächst ist der äußere Zustand der Messstelle visuell zu prüfen. Folgende Fragen dienen der Beurteilung des visuellen Zustandes:

- Steht das Schutzrohr einschließlich Betonsockel lotrecht? Sind Beschädigungen erkennbar?
- Sind das Schutzdreieck oder die Pegelfahne beschädigt?
- Ist die Pegelkappe vorhanden, funktionstüchtig und verschlossen?
- Weist die GWM Verschmutzungen auf?
- Sind Fremdkörper im Inneren der Messstelle erkennbar?

Folgende Anzeichen deuten auf äußere Einwirkungen hin, welche die Funktionstüchtigkeit der GWM mehr oder weniger stark beeinflussen können:

- nicht lotrechte Schutzrohre, versetzte Betonsockel sowie beschädigte Schutzdreiecke,
- Risse in der oberflächennahen Verrohrung bzw. Versatz der Rohrelemente,
- fehlende, beschädigte, oder nicht verschlossene Pegelkappen sowie mögliche Verstopfungen der GWM,
- starke Verschmutzungen,
- Fremdkörper oder Tiere im Inneren der Messstelle, wie z. B. Insekten (insbesondere Ameisen),
- Verockerungen, Oxidationsrückstände (insbesondere starker Rost) oder anderweitige (z. B. biologische) Ablagerungen.

- **Lotung der Sohle:**

Vor jeder Probennahme, welche i. d. R. ein- bis zweimal pro Jahr durchgeführt wird, ist die Sohle der GWM mittels eines Tiefenlotes (eventuell mit Grundtaster) zu messen. Bei Standsmessstellen ist ein Lotungsturnus zu wählen, der etwa dem Probennahmeturnus entspricht. Die Lotung wird in Meter unter Messpunkt angegeben und ist zu dokumentieren. Mittels der Lotung kann auf die Durchgängigkeit und die freie Lage des Filterbereiches geschlossen werden. Der gemessene Wert der Schlammsohle dient der Beurteilung, ob Maßnahmen zum Freispülen der GWM erforderlich sind. Folgende Möglichkeiten können bei der Lotung auftreten:

- gemessene Sohle entspricht der Ausbauteufe → keine Maßnahmen nötig,
- gemessene Sohle ist flacher als die Ausbauteufe, aber tiefer als die Filterunterkante (Verschlammung des Sumpfrohrs) → noch keine Maßnahmen nötig,
- gemessene Sohle ist flacher als die Filterunterkante, aber tiefer als die Filteroberkante (Filter ist teilweise verstopft) → Freispülung ist dringend erforderlich und
- gemessene Sohle ist flacher als die Filteroberkante (Filter ist komplett verstopft) → Freispülung ist dringend erforderlich, sofern noch möglich.

Vor Durchführung der Lotung der Sohle sind unbedingt sämtliche Einbauten, wie z. B. Drucksonden oder Datenlogger, aus der GWM zu entfernen.

- **Auswertung der Probennahme oder bei Standsmessstellen OPTIONAL**

- **Kurzpumpversuch** (vgl. Anhang, Abs. III.1):

Jede Pumpprobennahme kann als Kurzpumpversuch (KPV) betrachtet werden. Die bei der Probennahme gewonnenen hydraulischen Daten geben vor Ort Hinweise auf mögliche hydraulische Beeinträchtigungen bzw. Veränderungen der GWM. Aus diesem Grund sind die hydraulischen Daten (Förderrate, Abpumpvolumen und Wasserspiegelabsenkung) während jeder Probennahme sorgfältig mit zeitlichem Verlauf aufzuzeichnen, zu dokumentieren und auszuwerten. Bei Standsmessstellen kann zusätzlich ein KPV durchgeführt werden und dazu eine entsprechende Auswertung erfolgen.

Folgende Fragestellungen sollten im Rahmen von KPV bzw. Pumpprobennahmen beantwortet werden:

- Hat sich der Betrag der Wasserspiegelabsenkung bei gleichbleibender Förderrate im Vergleich zu vorangegangenen Probennahmen verändert?
- Stellt sich während des Abpumpens ein konstanter Wasserspiegel ein?
- Wird die Förderrate verringert, um konstante hydraulische Verhältnisse zu erreichen (Gleichgewicht zwischen Grundwasserzustrom und Förderrate)?
- Wird das Abpumpvolumen und somit die Abpumpdauer erhöht, um eine Konstanz der Leitkennwerte (Wassertemperatur, pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Sauerstoffgehalt, Redoxpotential) zu erreichen?
- Ist das hydraulische Kriterium erreichbar?

Es ist zu beachten, dass diese Kriterien nicht uneingeschränkt anwendbar sind und zudem eine gute Kenntnis der hydraulischen Gegebenheiten an der GWM erforderlich ist.

OPTIONAL Anwendbare Verfahren

Die nachfolgenden Methoden zur Überprüfung der Funktionsfähigkeit von GWM erfordern einen etwas größeren zusätzlichen Aufwand als die oben beschriebenen und sind deshalb als optionale Verfahren aufgeführt. Sie sollten daher nicht bei jeder Maßnahme oder Probennahme durchgeführt werden, sondern nur bei Anzeichen von Funktionsstörungen Anwendung finden. Da es sich dennoch um relativ einfach durchzuführende Verfahren handelt, die auch ohne großen technischen Aufwand durchführbar sind, werden sie mit im Rahmen der einfachen FP betrachtet.

- **Auffülltest** (vgl. Anhang, Abs. III.4)

Neben dem Kurzpumpversuch kann mittels Auffülltest überprüft werden, ob die GWM ausreichend mit dem Grundwasser in Verbindung steht. Dadurch können Hinweise auf mögliche Funktionseinschränkungen der Messstelle gewonnen werden.

- **SAL-TEMP-Messung** (vgl. Anhang, Abs. II.7):

Ein SAL-TEMP-Log sollte insbesondere dann durchgeführt werden, wenn im Rahmen einer Grundwasserprobennahme Auffälligkeiten bei der hydrochemischen Beschaffenheit, den Vor-Ort-Leitkennwerten oder der hydraulischen Reaktion (verändertes Absenkverhalten) beobachtet wurden.

Vor der Durchführung sollte mittels Dummy-Test (siehe unten) die GWM unbedingt auf Durchgängigkeit untersucht werden.

- **Dummy-Test** (vgl. Anhang, Abs. I.2):

Der Dummy-Test dient zur Untersuchung der Durchgängigkeit einer GWM. Durch den Dummy-Test können auch unerwünschte Verjüngungen des Innendurchmessers, z. B. durch Verockerungen oder Wurzelwuchs im Filterbereich, festgestellt werden. Damit kann der Test auch zur Gewinnung erster Hinweise auf eine Beeinträchtigung der Funktionstüchtigkeit einer GWM genutzt werden.

Vor Durchführung des Dummy-Tests sind alle Einbauten aus der GWM zu entfernen.

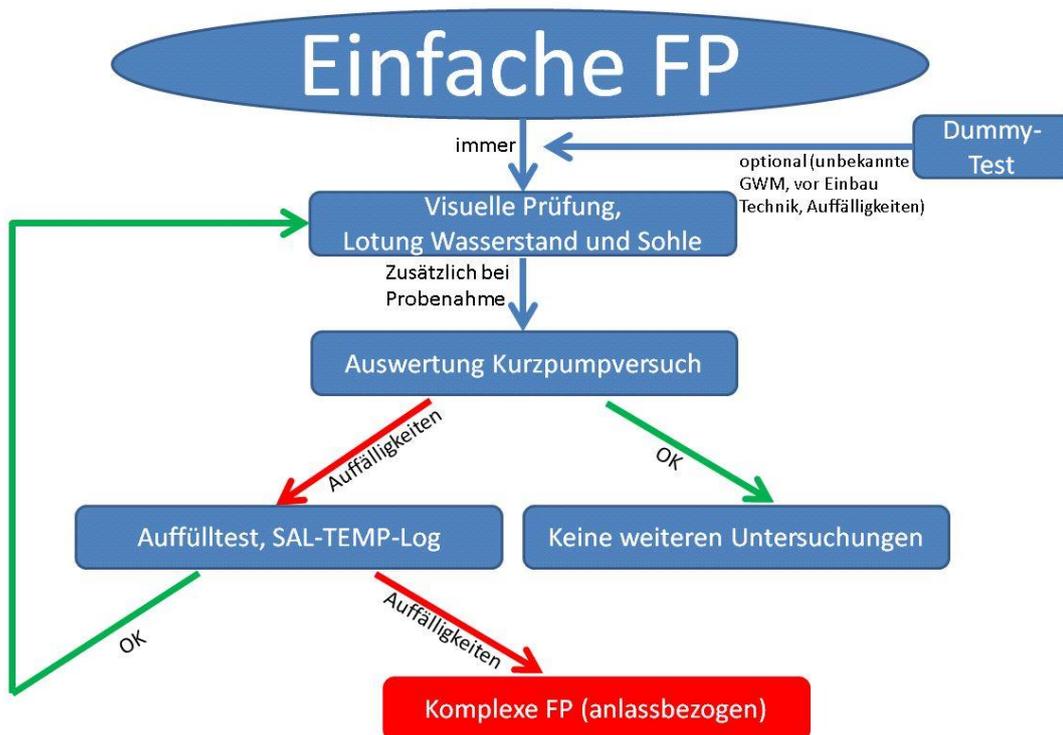


Abbildung 4-1: Schema – einfache Funktionsprüfung

Sind im Rahmen der einfachen FP Auffälligkeiten vorhanden, ist anlassbezogen eine komplexe FP durchzuführen.

4.2. Komplexe Funktionsprüfung

Turnusmäßig sind komplexe FP durchzuführen. Nachfolgend sind die wichtigsten Verfahren der komplexen FP tabellarisch erfasst.

Prinzip der komplexen FP sollte immer sein, dass die staatliche Stelle oder ein anderer Betreiber den Auftrag an ein qualifiziertes Unternehmen vergibt, da die Verfahren der komplexen FP meist eine hohe Spezialisierung und einen entsprechenden technischen Aufwand erfordern. *Tabelle 4-2* gibt eine Übersicht zu empfohlenen Verfahren der komplexen FP.

Tabelle 4-2: Übersicht über die empfohlenen Verfahren der komplexen Funktionsprüfung

Verfahren	Zu messende und aufzuzeichnende Parameter	Anwendung Fest (F)- / Locker(L)-gestein
Kamerabefahrung (OPT)	Tiefenprofil der visuellen Beschaffenheit des Innenausbaus	F, L
Kaliber- bzw. Mikro-Kaliber-Log (CAL-M)	Tiefenprofil des Ausbaudurchmessers	F, L
Gamma-Ray-Log (GR)	Tiefenprofil der natürlichen Radioaktivität (Gamma-Strahlung)	F, L
Gamma-Gamma-LOG (GG)	Tiefenprofil der Streuung von Gamma-Strahlung im Gestein (Rückschluss auf Hinterfüllungsdichte)	F, L
Neutron-Neutron-Log (NN)	Tiefenprofil thermischer Neutronen nach Abbremsung schneller Neutronen (Rückschluss auf Porosität über den Wasserstoffgehalt)	F, L
Magnetik-Log (MAG)*	Tiefenprofil der magnetischen Suszeptibilität der Hinterfüllung	vorwiegend F
Widerstandsmessungen in fokussierter Anordnung (FEL)	Tiefenprofil des spezifischen elektrischen Hinterfüllungswiderstandes	vorwiegend F
Kurzpumpversuch (KPV)	Zeitlicher Verlauf der GW-Spiegelabsenkung und der Abpumprate	vorwiegend L
Packerflowmetermessung (FW-PACK)	Tiefenabhängige Fließgeschwindigkeit des Grundwassers in der GWM	F, L
Messung der Salinität (SAL) und Temperatur (TEMP)	Tiefenprofil der Salinität und Temperatur des Grundwassers in der GWM	F, L
OPTIONAL: Auffüllversuch	Zeitlicher Verlauf der Absenkung nach Zugabe von Wasser in der GWM	L
OPTIONAL: 12-Stunden-Leistungspumpversuch analog Messstellenabnahme	Abhängigkeit der GW-Spiegelabsenkung in der GWM von der Förderrate	L

* nicht für Stahlrohre

Die komplexe FP endet mit einer Bewertung zur Funktionsfähigkeit der Messstelle und dem Ergebnis

- funktionsfähig,
- eingeschränkt funktionsfähig oder
- nicht funktionsfähig.

5. Dokumentation und Qualitätssicherung der Ergebnisse der Funktionsprüfung

5.1. Dokumentation

Die durchgeführten Arbeiten zur **einfachen FP** von Grundwassermessstellen sind wie folgt zu dokumentieren:

- Beschreibung des äußeren Zustandes der GWM,
- Ergebnisse der Wasserstandsmessung und Sohllotung (Ergebnis bzw. Eintrag in den Messstellenpass),
- bei Durchführung einer Probennahme: Zusammenstellung der Ergebnisse oder optional Kurzpumpversuch bei Standsmessstellen,
- Ergebnis des Auffülltests (OPTIONAL),
- Resultate der SAL-TEMP-Messung (OPTIONAL),
- Fazit aus dem Dummy-Test (OPTIONAL).

Eine Möglichkeit zur Dokumentation der einfachen FP ist in Anlage 1 dargestellt.

Die durchgeführten Arbeiten zur **komplexen FP** von Grundwassermessstellen sind wie folgt zu dokumentieren:

- a) Schematische Darstellung des SOLL-Ausbaus der Grundwassermessstelle gemäß der Messstellendokumentation (sofern nicht vorliegend) und
- b) Schematische Darstellung des IST- Ausbaus nach Bohrlochgeophysik mit
 - bohrlochgeophysikalischen Messkurven als Plot,
 - Auswertung und Interpretation der geophysikalischen Messungen,
 - Protokoll zur Funktionsprüfung der GWM,
 - Auswertung der KPV oder Packertests,
 - Fotodokumentation und Videos der Kamerabefahrungen an den GWM und
 - zusammenfassender Bewertung für jede GWM.

Zusätzliche, aus der komplexen FP gewonnene Daten und Erkenntnisse sind ebenfalls zu dokumentieren.

Die vollständige Dokumentation der funktionsüberprüften Grundwassermessstellen sind dem Auftraggeber zu überlassen.

5.2. Qualitätssicherung während der Auftragsdurchführung einer komplexen Funktionsprüfung

Art und Umfang der Messungen zur Überprüfung der Funktionsfähigkeit von GWM sind durch den Auftraggeber für jede Messstelle eindeutig zu definieren. Alle Informationen, die für eine störungsfreie Durchführung der Messungen benötigt werden, sind im Vorfeld vom Auftraggeber an den Auftragnehmer zu übergeben. Die GWM müssen ohne zusätzlichen Aufwand bis zur vorgesehenen Überprüfungsstufe frei zugänglich sein. Vorhandene Einbauten (DFÜ-Einrichtungen, Steigleitungen) sind vor Messbeginn auszubauen. Messfahrten, bei denen während der Messung nicht eindeutige Ergebnisse bzw. Messwerte gewonnen wurden, sind zumindest in den kritischen Bereichen durch eine Wiederholungsmessung zu validieren /12/. Es dürfen nur nach geltenden Standards kalibrierte und ständig überprüfte Messgeräte eingesetzt werden, die Messdaten in gängigen Formaten liefern. Hierzu sind immer der Aufgabenstellung entsprechende

Messsondenkonfigurationen zu verwenden. Die Bestimmung der Teufen muss in beliebigen, der verwendeten Messgröße angepassten Tiefenintervallen möglich sein /12/. Alle für die Korrektur von Messwerten notwendigen Größen sollen möglichst gleichzeitig mit dem Messwert erfasst werden. Ist dies nicht möglich, sind separate Messungen durchzuführen. Die Fahrgeschwindigkeit ist den Verfahren entsprechend anzupassen. Es ist zu beachten, dass bei zu schnellen Fahrten fast alle Messgrößen geglättet und verfälscht werden. Bei den geophysikalischen Ausbau-/Kontrollmessungen ist darauf zu achten, dass bei der Messung negativ beeinflussende Parameter eliminiert oder, falls nicht möglich, minimiert werden.

Die Ergebnisse der durchgeführten Arbeiten zur Funktionsprüfung der Grundwassermessstellen sind gemäß Abschnitt 5.1 zu dokumentieren und dem Auftraggeber zu übergeben.

6. Literaturverzeichnis

- /1/ AK GWB (2012) Merkblatt Bau von Grundwassermessstellen, hrsg. vom Arbeitskreis Grundwasserbeobachtung, <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/13808>
- /2/ DVGW W 129 (A) (2012) Eignungsprüfung von Grundwassermessstellen
- /3/ <http://www.geodsz.com> , zuletzt aufgerufen am 26.06.2017
- /4/ Hamann, F. (2016): Robuste Indikatoren zur Festlegung der Notwendigkeit und des Umfangs von Funktionsfähigkeitsprüfungen an Grundwassermessstellen, Bachelorarbeit, TU Dresden, Fakultät Umweltwissenschaften, Institut für Grundwasserwirtschaft, 2016.
- /5/ Heitfeld, K.-H.; Koppelberg, W. (1981): Durchlässigkeitsuntersuchungen mittels WD-Versuchen.-Zbl. Geol. Paläontol. I, 1981: 633-660, Stuttgart (Schweizerbart).
- /6/ HGN (2011): www.hgn-beratung.de, zuletzt aufgerufen am 19.06.2017
- /7/ Jäkel, L. (2017): Ableitung von Indikatoren und Arbeitsroutinen zur Identifikation der Notwendigkeit und des Umfangs von Funktionsfähigkeitsprüfungen an Grundwassermessstellen, Masterarbeit, TU Dresden, Fakultät Umweltwissenschaften, Institut für Grundwasserwirtschaft, 2016.
- /8/ Kollbrunner, C. F. (1947): Fundation und Konsolidation 1, Baugrund, Wasser im Baugrund, Baugrunduntersuchungen, Spannungsverteilung im Baugrund, Baugrundsetzungen - Bd. I, 476 S.; Zürich Schweizer Druck- u. Verlagshaus
- /9/ Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA, 2000) Leitlinien eines zukunftsfähigen gewässerkundlichen Mess- und Beobachtungsdienstes Herausgegeben von der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) Vorsitz: Umweltministerium Mecklenburg – Vorpommern Erstellt durch den Ständigen Ausschuss „Daten“ der LAWA Schwerin, April 2000 www.lawa.de, zuletzt aufgerufen am 12.04.2017
- /10/ Langguth, H.-R. & Voigt, R. (2004): Hydrogeologische Methoden - [2., überarbeitete und erweiterte Auflage]. - Berlin ; Heidelberg [u.a.] : Springer, 2004
- /11/ www.tegeo.de, zuletzt aufgerufen am 26.06.2017
- /12/ DVGW-ARBEITSBLATT W 110 (2005): Geophysikalische Untersuchungen in Bohrungen, Brunnen und Grundwassermessstellen – Zusammenstellung von Methoden und Anwendungen. wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH. Bonn. Juni 2005.
- /13/ U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR, Bureau of Reclamation (USBR) 1963-1990: Earth Manual <https://www.usbr.gov/> zuletzt aufgerufen am 05.04.2018
- /14/ Cooper, H.H., Bredehoeft, J.D. & Papadopulos, I.S. (1967): Response of a finite-diameter well to an instantaneous charge of water. – Water Resources Res., Vol. 3: 263-269.
- /15/ Brauchler, R., Hu, R., Vogt, T., Al-Halbouni, D., Heinrichs, T., Ptak, T and Sauter, M. (2010): Cross-well slug interference tests: An effective characterization method for resolving aquifer heterogeneity, Journal of Hydrology, 384, 1-2, (33-45)
- /16/ Pickens, J.F., Grisak, G.E., Avis, J.D., Belanger, D.W., Thury, M. (1987): Analysis and interpretation of borehole hydraulic tests in deep boreholes: Principles, model development, and applications. Water Resources R., Vol. 23: 1341- 1375
- /17/ Scheytt, T. & Hengelhaupt, F. (2001): Auffüllversuche in der wassergesättigten und ungesättigten Zone – ein Vergleich unterschiedlicher Verfahren. Grundwasser 6; 2; 71-80

Anlagen

Anlage 1: Vor-Ort-Protokoll für die einfache Funktionsprüfung**Seite 1**

Einfache Funktionsprüfung	Messtellenummer: _____
an	Bezeichnung der Messstelle:
Grundwassermessstellen	_____
Bestandsaufnahme	
Durchmesser an Oberkante Messrohr	: _____ mm
Abstand Messpunkt minus Gelände	: _____ m
Ruhewasserspiegel unter Messpunkt	: _____ m
Tiefenlotung bis	: _____ m unter Messpunkt möglich
Höhenbezug des Messpunktes	_____ (z. B. Pegeloberkante, Geländeoberkante)
Markierung des Messpunktes vorhanden ?	JA <input type="checkbox"/> NEIN <input type="checkbox"/>
Ist Grundwasser artesisch?	JA <input type="checkbox"/> NEIN <input type="checkbox"/> ZEITWEISE <input type="checkbox"/>
Messstelle trocken?	JA <input type="checkbox"/> NEIN <input type="checkbox"/> ZEITWEISE <input type="checkbox"/>
Äußerer und baulicher Zustand (Bemerkungen und Erläuterungen siehe Seite 2)	
Liegen Verschmutzungen an/um die Messstelle vor?	JA <input type="checkbox"/> NEIN <input type="checkbox"/>
Lotung/Messung ohne Hindernis im Rohr möglich?	JA <input type="checkbox"/> NEIN <input type="checkbox"/>
Messstelle verschlamm?	JA <input type="checkbox"/> NEIN <input type="checkbox"/>
Baulicher Zustand gut? (Setzungen, lotrechter Stand, Risse an Verrohrungen, beeinträchtigte Verschlusskappe u. ä.)	JA <input type="checkbox"/> NEIN <input type="checkbox"/>
Sanierung erforderlich?	JA <input type="checkbox"/> NEIN <input type="checkbox"/>
Zugänglichkeit	
Zugänglichkeit gut?	JA <input type="checkbox"/> NEIN <input type="checkbox"/>
Zufahrt mit LKW möglich?	JA <input type="checkbox"/> NEIN <input type="checkbox"/>
Messungen leicht und gefahrlos möglich?	JA <input type="checkbox"/> NEIN <input type="checkbox"/>
Beeinflussung der Messdaten	
Ist eine Planung bekannt, die die Nutzung bzw. den Messbetrieb beeinträchtigen könnte?	JA <input type="checkbox"/> NEIN <input type="checkbox"/>
Gibt es Deponien, Industrie o. ä. in der Nähe?	JA <input type="checkbox"/> NEIN <input type="checkbox"/>
Können Grundwasserstände beeinflusst werden? (durch nahe Förderbrunnen, Gewässer o. ä.)	JA <input type="checkbox"/> NEIN <input type="checkbox"/>

Anhang

Anhang: Beschreibung der Verfahren zur Feststellung der Funktionsfähigkeit von Grundwassermessstellen

I. Optisch-mechanische Untersuchungsverfahren

I.1 Kamerabefahrung

Die Kamerabefahrung dient der optischen Überprüfung des Ausbauzustandes der Messstelle und kann bei allen gängigen Ausbaudurchmessern (ab DN 50) eingesetzt werden. Sie gibt Aufschlüsse über Fremdwasserzuflüsse, unterschiedliche Arten von Ablagerungen, Korrosionserscheinungen, schadhafte Schraubverbindungen, Beschädigungen der Verrohrung sowie über die Messstellentiefe.

I.2 Dummy-Test

Beim Dummy-Test wird ein Körper mit einem geringfügig kleineren Durchmesser als der Rohrendurchmesser an einem Drahtseil von oben nach unten bis zur Sohle in die GWM eingeführt. Der Dummy-Test sollte insbesondere vor dem geplanten Einbau von Technik in eine GWM durchgeführt werden, vor allem wenn sie unbekannt ist oder länger nicht genutzt wurde. Der Test stellt sicher, dass die betrachtete GWM für Arbeiten wie eine Grundwasserprobennahme oder geophysikalische Vermessungen geeignet ist.

II. Geophysikalische Bohrlochmessungen

Mithilfe von geophysikalischen Bohrlochuntersuchungen können neben der Gewinnung von geohydraulischen Informationen zum Grundwasserleiter Mängel beim Bau von GWM aufgedeckt werden. Die Geophysik kann dabei Informationen liefern, die in anderer Form nicht gewonnen werden können. Das Ziel der geophysikalischen Untersuchungen besteht darin, die Qualität der Installation und die Funktionsfähigkeit der Messstelle insbesondere im Hinblick auf einen langfristigen störungsfreien Betrieb zu überprüfen. Bei der Überprüfung des Ausbaus sind Kenntnisse zum Zustand der Ringraumabdichtung und zur Dichtheit der Rohrverbindungen unverzichtbar.

II. 1 Kalibermessung (CAL)

Bei diesem Messverfahren wird die Bohrlochwand von mehreren Messarmen abgetastet, wodurch Abweichungen des Soll-Durchmessers und Ausbrüche der Messstelle lokalisiert werden können. Dazu werden Vierarmkalibersonden eingesetzt, die zwei senkrecht zueinander stehende Bohrlochdurchmesser registrieren. Es sind aber auch Sonden mit sechs und mehr Armen einsetzbar. Das Kaliber-Log dient in erster Linie als Korrekturgröße und Qualitätslog für andere Verfahren, insbesondere des Gamma-Ray und Gamma-Gamma.

II.2 Messung der natürlichen Gammastrahlung, Gamma-Ray-Log (GR)

Die Messung der natürlichen Gammastrahlung und damit der natürlichen Radioaktivität in einer Bohrung ist unabhängig von der Verrohrung und wird in erster Linie zur lithologischen Untergliederung der durchteuften Schichten genutzt. Die Radioaktivität in Sedimenten korreliert i. d. R. mit dem Anteil des Tongehalts. Daher ist sie auch grundsätzlich geeignet, Dichtmaterialien in der Grundwassermessstelle zu lokalisieren. Voraussetzung für ein eindeutiges Messsignal ist die Verwendung strahlungsaktiver Schütttone durch Zusatz von Monzanit oder zirkonhaltigen Sanden. Sofern eine hohe Eigenstrahlung des Gebirges

vorliegt, kann dies die Messungen beeinflussen. Zusätzlich zum GR sollte immer ein *Gamma-Gamma-LOG (GG)* und ein *Neutron-Neutron-Log (NN)* durchgeführt werden.

II.3 Dichte-Messung (DL) bzw. Gamma-Gamma-LOG (GG)

Bei diesem Verfahren erfolgt eine Messung der dichteabhängigen Absorption und Zerstreuung von Gamma-Strahlen zur indirekten Bestimmung der Gesteinsgesamtdichte /3/. Anwendung findet das Dichte-Log beim Nachweis von Wanddickenunterschieden der Rohrtour, von Inhomogenitäten beim Ringraum/Gebirge und bei der Filterkieskontrolle.

II.4 Neutron-Neutron-Log (NN)

Das Verfahren basiert auf der Rückstreuung und Verzögerung schneller Neutronen aus einer umschlossenen radioaktiven Quelle /3/. Für die wassergesättigte Zone bedeutet dies, dass die Zählrate ein Maß für die Porosität des Gesteins ist. In der wasserungesättigten Zone ist die Deutung des Messsignals mit entsprechender Vorsicht zu betrachten /11/. Es kommt bei der Bestimmung des Wasseranteils im Ausbau und im Ringraum zum Einsatz.

II.5 Messung der Suszeptibilität bzw. Magnetik-Log (MAG)

Durch die Messung der relativen magnetischen Suszeptibilität eignet sich dieses Verfahren insbesondere zum Nachweis von mit magnetisierbaren Stoffen dotierten Ringraummaterialien, wie z. B. Quellon HD oder Compactonit. Es wird demzufolge beim Nachweis von Tonsperren bei Verwendung von ferro-magnetischen Materialien und nur im Kunststoffausbau angewendet.

II.6 Widerstandsmessungen in fokussierter Anordnung (FEL)

Bei diesem Messverfahren wird der scheinbare spezifische Gebirgs-widerstand in lateraler Anordnung gemessen. Die Höhe des gemessenen Widerstandes korreliert mit der Korngröße der Schichtungen. Das Verfahren FEL kann in kunststoffverrohrten Bohrungen zur Kontrolle von Schäden innerhalb der Verrohrung eingesetzt werden. Seltener kommt diese Messung auch im Stahlausbau zum Einsatz.

II.7 Messung der Salinität (SAL) und Temperatur (TEMP)

Zur FP von Festgesteins-GWM eignet sich der SAL-TEMP-Log zur Prüfung der Wasserwegsamkeiten, von Schichtgrenzen (v. a. Buntsandstein zum Zechstein) und des Ausbaus. In den Locker- und Festgesteins-GWL werden mögliche Wasserzutritte von mineralisierten Wässern (Salzwasserintrusion, Tiefenthalwässer) angezeigt.

Dazu wird eine an einen Wegstreckenzähler gekoppelte Leitfähigkeits-Temperaturmesssonde langsam von oben nach unten durch die Grundwassermessstelle gefahren und tiefenabhängig die elektrische Leitfähigkeit und Wassertemperatur gemessen. Zur genaueren Auswertung ist eine computergesteuerte Aufzeichnung der Messwerte über die Teufe notwendig. Der Test sollte sowohl bei ruhenden Bedingungen als auch unter Abpumpbedingungen durchgeführt werden.

III. Hydraulische Funktionstests

Die hydraulischen Eignungs- bzw. Funktionstests als Methode der Funktionsüberprüfung von Grundwassermessstellen dienen der Charakterisierung des hydraulischen Kontaktes mit dem Grundwasserleiter, der Ermittlung der Leistungsparameter am hydrogeologischen Aufschluss sowie der hydraulischen Randbedingungen für die Grundwasserprobennahme.

Hydraulische Verfahren sollten als Funktionstest für Grundwassermessstellen nur eingesetzt werden, wenn

- a) **sichergestellt ist, dass die dabei gewonnenen Parameter aufgezeichnet werden,**
- b) **bei einer späteren Wiederholung für einen Vergleich die gleiche Versuchsrandbedingungen gewählt werden können und**
- c) sichergestellt ist, dass es sich um eine GWM handelt, die nach den allgemeinen Regeln für die Grundwasserbeobachtung errichtet wurde. Für **GWM mit langen Filterstrecken sind vorzugsweise** optische und geophysikalische Verfahren anzuwenden, da die hydraulischen Reaktionen zur Auswertung oft zu gering sind.

Die meisten Verfahren eignen sich nur eingeschränkt für offene Bohrlöcher. Hydraulische Funktionstests mit Wasserentnahme sind eng verwandt mit Pumpversuchen, aber nicht mit diesen zu verwechseln. **Pumpversuche** sind nach DIN 4049-3 zeitlich begrenzte Entnahmen von Grundwasser aus einem oder mehreren Brunnen zur Bestimmung geohydraulischer Kenngrößen und entnahmebedingter Veränderungen der Grundwasserbeschaffenheit.

Folgende hydraulische Funktionstests werden im Rahmen der einfachen oder komplexen FP empfohlen:

III.1 Kurzpumpversuch (KPV):

Beim KPV wird untersucht, wie schnell Grundwasser aus der Umgebung des Filterbereiches zur GWM fließen kann. Hierzu wird mit einer definierten Entnahmeleistung Wasser aus der Messstelle über einen Zeitraum von ein bis drei Stunden entnommen und die dadurch erzeugte Absenkung des Grundwasserspiegels sowie der zeitliche Verlauf für dessen Wiederanstieg nach Abschalten der Pumpe aufgezeichnet. Eine Bewertung der Veränderung erfolgt durch den Vergleich mit den Daten von vorhergehenden KPV gleicher Entnahmeleistung. Bei der erstmaligen Durchführung ist das Ergebnis des KPV so festzuhalten, dass es bei der Folgedurchführung als Vergleichswert herangezogen werden kann. Dies erfolgt am besten mithilfe einer Datenerfassung in das dafür vorgesehene Fachinformationssystem.

Die Grundwasserprobennahme mithilfe einer Unterwassermotorpumpe kann auch als ein KPV betrachtet und entsprechend ausgewertet werden. Das Kriterium zur Bewertung eingeschränkter Funktion ist immer der Vergleich mehrerer Ergebnisse hinsichtlich der Entwicklung der Absenkbeträge (Vergleich des Ruhewasserspiegels vor der Probennahme und nach Erreichen des hydraulischen Kriteriums) bei vergleichbarer Förderleistung. **Hierbei ist darauf zu achten, dass die jeweils bei der Probennahme gewählte Förderleistung Anpassungen an die jeweilige hydrologische Situation, z. B. bei niedrigen Grundwasserständen unterliegt und auch während der Probennahme variabel sein kann.**

Der Kurzpumpversuch ist der bevorzugte hydraulische Funktionstest im Rahmen der einfachen FP bei Grundwasserstandsmessstellen.

Bei Grundwasserbeschaffenheitsmessstellen kann alternativ die Probennahme als KPV ausgewertet werden, sofern der Wiederanstieg aufgenommen wird.

Dabei ist zu gewährleisten, dass nach Abschalten der Pumpe das im Gestänge befindliche Wasser nicht in das Bohrloch zurückströmt. Das würde zu einer Verfälschung der Messwerte beim Wiederanstieg führen. Beim Pumpversuch sollten die Zeitintervalle der Messungen zu Beginn relativ klein gewählt werden (5 - 10 Sekunden), da gerade in der Anfangsphase des Pumpversuches ein schnelles Absinken des Grundwasserspiegels erfolgen kann.

III.2 12-Stunden-Leistungspumpversuch

Optional ist der 12-Stunden-Leistungspumpversuch zur Einschätzung der Funktionsfähigkeit von Grundwassermessstellen im Rahmen der komplexen FP einsetzbar. Sinnvoll könnte der 12-Stunden-Leistungspumpversuch unter folgenden Bedingungen sein: komplizierte geohydraulische Verhältnisse und GWM, bei denen lediglich der Wasserstand gemessen wird und andere Verfahren keine oder nur sehr eingeschränkte Aussagen zur Funktion der Messstelle liefern. Sofern beim Errichten der Grundwassermessstelle ein Leistungs- oder Langzeitpumpversuch nach Merkblatt Bau /1/ durchgeführt und dokumentiert wurde, kann zu einem späteren Zeitpunkt ein vergleichender Test unter gleichen hydraulischen Randbedingungen einen unmittelbaren Vergleich der gewonnenen Parameter ermöglichen. In Bezug auf die Durchführung und die Auswertemethoden des Pumpversuchs wird aufgrund des großen Umfangs auf die einschlägige Fachliteratur verwiesen, wie z. B. /10/.

III.3 Auffülltest nach Natermann

Beim Auffülltest (AT) nach Natermann wird zunächst der Ruhewasserspiegel gemessen und danach möglichst zügig ein bestimmtes Volumen Wasser, welches abhängig vom Innenrohrdurchmesser ist, in die GWM eingefüllt. Anschließend wird der Wasserspiegel über die Zeit (i. d. R. alle 30 Sekunden) gemessen, bis der Ruhewasserspiegel nahezu erreicht ist. Sinkt der Wasserspiegel langsam, kann das Messintervall erhöht werden. Die Gesamtmesszeit sollte 30 Minuten nicht überschreiten. Aus dem Betrag der Erhöhung des Wasserspiegels durch die Zugabe des Wassers und der Zeitdauer bis zum Wiedererreichen des Ruhewasserspiegels kann mit einer Formel eine Kennzahl bestimmt werden, die Informationen zur hydraulischen Anbindung und somit zur Funktionstüchtigkeit der GWM liefert:

Beim Auffülltest nach Natermann wird wie folgt vorgegangen:

- Abstich vor Beginn des Auffüllens
- Auffüllen (Auffüllvolumen siehe *Tabelle 0-1*)
- Aufzeichnung des Wasserstandes im Sekundentakt, vorzugsweise über Drucksonde bis zum Erreichen des Ruhewasserspiegels
- Berechnung der Funktionsfähigkeit einer GWM:

$$\varepsilon = \frac{2(h_1 - h_2)}{\Delta t(h_1 + h_2)}$$

mit	h_1	Wasserstand nach Auffüllen
	h_2	Ruhewasserstand nach Absinken
	Δt	Zeit vom Auffüllbeginn bis zum Erreichen des Ruhewasserstandes

Als funktionsfähig gilt eine GWM gemäß dieses Tests, wenn $\varepsilon \geq 0,0115$ beträgt.

Für geringdurchlässige Grundwasserleiter, Festgesteinsmessstellen, offene Bohrlöcher sowie für GWM mit langer Filterstrecke und sehr große Grundwasserflurabstände ist dieser Funktionstest nicht zu empfehlen.

Voraussetzung für den Auffülltest ist, dass der Ruhewasserspiegel unbeeinflusst ist, also zuvor keine Entnahmen aus der GWM oder umliegenden GWM und Förderbrunnen stattgefunden haben. Weiterhin darf der Wasserspiegel außerhalb des Bohrloches durch das Auffüllen nicht beeinflusst werden, d. h. die Menge an eingefülltem Wasser darf nicht zu groß sein und sollte in etwa einer Auffüllhöhe von 50 cm entsprechen. Daraus ergeben sich folgende vom Rohrdurchmesser der GWM abhängige Richtwerte für das zu verwendende Wasservolumen:

Tabelle 0-1: Auffüllmengen und -höhen für den Auffülltest

Rohrinnendurchmesser der GWM [mm]	Volumen [l]	Berechneter Anstieg in cm
50	1	49,34
75	2,5	54,82
100	4	49,34
125	6	47,36
150	9	49,34
300	35	49,52

Die grafische Darstellung der Messergebnisse mit der Auffüllung über die Zeit, ermöglicht eine einfache Vergleichbarkeit der durchgeführten Auffülltests an einer GWM und erleichtert die Ergebnisinterpretation.

Der Auffülltest darf nicht mit dem sogenannten Auffüllversuch verwechselt werden, welcher zur Bestimmung geohydraulischer Kenngrößen eines Aquifers, z. B. des Durchlässigkeitsbeiwertes, dient.

Als Auffüllwasser ist Wasser zu verwenden, das mindestens Trinkwasserqualität besitzt. Die Nutzung eines Einfülltrichters mit großflächiger Austrittsöffnung wird empfohlen. Bei niedrigen Flurabständen kann an dieser Austrittsöffnung ein Rohr bis zum Ruhewasserspiegel geführt werden. Damit wird eine Benetzung der Messstelleninnenwand vermieden und die Genauigkeit der Messung erhöht.

III.4 Auffüllversuch

Bei tiefen Wasserständen und geringen Ausbaudurchmessern kann als optionales Verfahren der Auffüllversuch durchgeführt werden.

Die üblichen Methoden sind:

- a) Verfahren nach /8/ mit einmaliger Auffüllung
- b) Open-End-Test /13/ mit kontinuierlichem Nachfüllen

III.5 Weitere Tests

Alternativen zu den empfohlenen Routineverfahren sind

- „Slug and Bail“-Test (siehe auch /14/)
- Wasserdrucktest, (siehe auch /5/)
- Pulse-Test (siehe /15/)
- Squeeze-Test in unverrohrten Bohrlochabschnitten (siehe /16/)
- Instationärer Auffüllversuch (siehe /13/ und /17/)