

figawa-Arbeitskreis

## **Abdichtung von Ausbauperforierungen im Brunnenbau**

## Inhalt

1. **Einführung**
2. **Begriffsbestimmungen, Definitionen und Zuordnungen**
- 2.1 Dichtigkeit – Theorie und Praxis
3. **Spezifische Bedingungen bei Brunnen und Messstellen**
- 3.1 Aussendruckversuche von Herstellern
- 3.2 Unterschiedliche Abdichtbedingungen
- 3.3 Belastungsklassen und Anforderungsmerkmale
- 3.4 Anforderungen
  - 3.4.1 Qualifikation der bauausführenden Unternehmen
  - 3.4.2 Bauausführung
  - 3.4.3 Anforderungen an Produkte, Werk- und Hilfsstoffe
  - 3.4.4 Eingangskontrolle, Transport und Lagerung der Rohrleitungsteile
- 3.5 Dokumentation
4. **Gewinde-Rohrverbindungen nach DIN 4925 und DIN 4922**
- 4.1 DIN 4925 (Kunststoff)
- 4.2 DIN 4922 (Stahl)
5. **Schrumpfschlauch und geteilte Schrumpfmanschette**
- 5.1 Versuch
- 5.2 Produktbeschreibung
- 5.3 Alternativen
- 5.4 Fazit
6. **Prüfverfahren**
- 6.1 Bei Einbau der Vollrohre
- 6.2 Nach Einbau der Vollrohre
- 6.3 Erklärungen zu den Messverfahren
7. **Bohrlochgeometrie, -verlauf und Exzentrizität von Bohrungen**
- 7.1 Vorbemerkung
- 7.2 Lotreichtigkeit oder Richtungsstabilität
- 7.3 Fazit
8. **Beschreibung möglicher Druckprüfungsverfahren**
- 8.1 Druckprobe als Auffüllversuch
- 8.2 Insituüberprüfung mittels Packertests
9. **Zitierte Normen und Regelwerke**
10. **Quellenverzeichnis**
11. **Die Autoren**

Anlage 1: Insituüberprüfung der Dichtigkeit von Vollrohrsträngen im Bohrloch mittels Packertest

### Hinweise zu Urheberrechten

© 2006, figawa Köln, Alle Rechte vorbehalten.

Die vorliegende Publikation ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie der Übersetzung und des Nachdrucks, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (Druck, Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung von figawa reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme vervielfältigt oder verbreitet werden. Auch die Rechte der Wiedergabe durch Vortrag, Funk und Fernsehen sind vorbehalten.

Bundesvereinigung der Firmen im Gas- und Wasserfach e. V.  
Technisch-wissenschaftliche Vereinigung  
Postfach 51 09 60  
50945 Köln

Fon +49 (0) 221-376 68 20  
Fax +49 (0) 221-376 68 60  
info@figawa.de  
www.figawa.de

## 1. Einführung

Beim Bau von Brunnen und Grundwassermessstellen ist die Frage der Dichtheit von Ausbaurohrungen ebenso wie die des Ringraumes von besonderer Relevanz. Undichte Verbindungen können, insbesondere bei gleichzeitig auftretenden Mängeln der Ringraumabdichtung, zu einem unzulässigen Wasseraustausch und damit zur nachhaltigen Gefährdung der zu nutzenden Wasserressourcen führen. Der Gewässerschutz hat allerhöchste Priorität. Mit dieser Feststellung wird bereits ein Spannungsfeld deutlich. Hohe qualitative Anforderungen und berechtigte wirtschaftliche Erwägungen der Vertragsparteien müssen in Einklang gebracht werden. Hier gilt es, zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer die Erfordernisse und die zu ihrer Erfüllung notwendigen Mittel im Vorfeld genau zu prüfen und abzustimmen.

Ziel des figawa-Arbeitskreises ist das Darstellen von Lösungsansätzen, um undichte Rohrverbindungen zu verhindern. Hierzu gehört auch die Beschreibung praktikabler präventiver Maßnahmen, die Planer, Hersteller und Bohrunternehmer treffen können. Darüber hinaus möchten die Verfasser zu einer Sensibilisierung der Auftraggeber- und Auftragnehmer hinsichtlich der Abdichtungsproblematik beitragen. Bei der Erarbeitung von vorbeugenden Methoden und nachträglichen Diagnoseverfahren stand im Wesentlichen die Umsetzbarkeit im Vordergrund. Voraussetzung hierfür ist die Schaffung entsprechend klarer Handlungsanweisungen seitens der Hersteller, die einen eindeutigeren Umgang mit den Produkten - auch unter Baustellenbedingungen - beschreiben.

Herstellervertreter betonen, dass für die Dichtheit von Rohrverbindungen „Garantien“ unter Laborbedingungen gegeben sind und dass entsprechende Materialangebote für dichte Rohrverbindungen bestehen. Speziell im Brunnenbau stellen die Praxisbedingungen vor Ort sowohl das ausführende Brunnenbauunternehmen als auch das Material vor Aufgaben, die im Labor nicht zu simulieren sind (Exzentrizität der Bohrung, Zuglasten etc.).

Ausgangspunkt dieser Handlungsempfehlung ist die Annahme, dass Planer, Hersteller und Brunnenbauunternehmen in aller Regel sachgerechte Arbeiten, gemäß den „Allgemein anerkannten Regeln der Technik“, ausführen. Aber trotz des Bewusstseins, dass alle beteiligten Unternehmen entsprechend der korrekt gearbeitet haben, ist beim Einbau der Verrohrung die Gefahr undichter Rohrverbindungen nicht gänzlich auszuschließen. Die Abhandlung soll gerade bei den Überlegungen im Vorfeld der Baumaßnahme unterstützen.

Von besonderer Bedeutung ist das Thema der Gewährleistung. In diesem Zusammenhang zitieren wir die DIN-Norm 18302 „Brunnenbauarbeiten“. Darin heißt es: *„Die Verbindungen der Vollwandrohre müssen sanddicht und wasserdicht sein.“*<sup>1</sup> Was bedeutet jedoch „dicht“ genau? Hier gilt es, eindeutige Leistungs- und Gewährleistungsabgrenzungen zwischen Herstellern, Brunnenbauunternehmen und Auftraggeber zu erwirken. Ein Vorschlag dazu wäre, vor Auftragsvergabe, zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer Bagatellgrenzen zu vereinbaren.

## 2. Begriffsbestimmungen, Definitionen und Zuordnungen

In einem ersten Schritt werden Begriffsbestimmungen (Definitionen, Festlegungen) für Auftraggeber (Bauherrn), Planer, Hersteller und ausführende Bohrunternehmen gesammelt und vorgestellt.

### 2.1 Dichtheit – Theorie und Praxis

Ein Flüssigkeitsdurchfluss kann von verschiedenen Faktoren wie einer „Druckdifferenz, von Konzentrations- oder Temperaturgradienten, vom Zusammenwirken von Adhäsion und Kohäsion, von Trägheitskräften, der Gravitationskraft oder von elektromagnetischen Feldkräften“ ausgelöst werden. Da „auch der engste Spalt“ einen Durchtritt von Materialien „in jede Richtung“ ermöglicht, sind die Begrifflichkeiten „dicht“ bzw. „undicht“ grundsätzlich „eine Frage der Größenordnung“. Leckagen können „unter bestimmten Bedingungen zulässig oder unzulässig“ sein.<sup>2</sup>

Bei lösbaren Verbindungen ist eine absolute Dichtheit technisch nicht erreichbar, weil kleine Moleküle durch die Zwischenräume dringen, die ihnen große, zusammen gelagerte Moleküle übriglassen.<sup>3</sup>

Der Begriff „**dicht**“ bedeutet im Sprachgebrauch, dass ein Stoff aus seiner Umschließung nicht austreten kann, wie z. B. bei einer Schweißverbindung.

**Dichtung** (Technik) wird definiert als:

<sup>1</sup> DIN 18302, Abschnitt 3.2.2

<sup>2</sup> www.fachwissen-dichtungstechnik.de, Herausgeber Prof. Dr.-Ing. Heinz Konrad Müller

<sup>3</sup> Umweltbundesamt, Forschungsbericht 200 44 322, Ermittlung und Verminderung diffuser flüchtiger und gasförmiger Emissionen in der chemischen und petrochemischen Industrie, Berlin, Sep. 2002

„...Technik: Mittel (Leder, Gummi u. a.) oder Vorrichtungen, um an Verbindungs- oder Durchgangsstellen (z. B. Rohrleitung) den Austritt von Gasen, Dämpfen u. a. zu verhindern.“<sup>4</sup>

**Dichtheit** eines Bauteils im physikalischen Sinne wird weiterhin beschrieben:

„...die; a) das Dichtsein; b) (Fachspr.) Eigenschaft von Stoffen, Gase, Flüssigkeiten, Strahlen o. Ä. nicht eindringen oder hindurchtreten zu lassen.“<sup>5</sup>

**Dichtigkeit** wird in direkter Verbindung zu Aufsatzrohren im DVGW-Arbeitsblatt W 121, Bau und Ausbau von Grundwassermessstellen, genannt. Hier heißt es:

„... Aufsatzrohre und deren Verbindungen gelten als dicht, wenn sie bei einem Wasserprüfdruck von 10<sup>5</sup> Pa und einer Prüfdauer von 10 min kein Wasser hindurch lassen. Höhere Anforderungen können in Einzelfällen festgelegt werden und sind vorab mit allen Beteiligten abzustimmen.“

**Leckage** steht häufig auch für den Terminus „**undicht**“. Die Autoren der Publikation „Fachwissen Dichtungstechnik“ definieren den Begriff Leckage folgendermaßen:

„Als Leckage wird in der Regel der Austritt eines abzudichtenden Fluids durch den Dichtspalt in den umgebenden Raum verstanden.“ Weiter heißt es: „Besonders hohe Anforderungen an die Dichtheit führen zum Einsatz aufwendiger und kostspieliger Systeme. In der Praxis liegen die Anforderungen zwischen den Extremen.“<sup>6</sup>

**Technische Dichtheit** als Terminus wird aufgrund der Tatsache, dass „Dichtheit“ nicht exakt bestimmbar ist, häufig in der Praxis verwendet und bezeichnet vereinfacht ausgedrückt:

„Dicht ist, was so dicht ist, wie es sein soll.“<sup>7</sup>

Die DECHEMA<sup>8</sup> gibt dazu folgende Definition an:

„Ein Prüfobjekt ist **technisch dicht**, wenn mit dem gewählten Prüfverfahren und der erforderlichen Prüfempfindlichkeit bzw. der dem Verfahren entsprechenden Nachweisempfindlichkeit das Durchtreten des Prüfmediums von einem Raum in den anderen oder nach außen nicht nachgewiesen werden kann.“<sup>9</sup>

Im Abschnitt 5.2 des Beiblattes zu den Technischen Regeln für Druckbehälter (TRB) ist die Dichtheit ähnlich definiert:

„**Technisch dicht** sind alle Anlagenteile, wenn bei einer für den Anwendungsfall geeigneten Dichtheitsprüfung bzw. -kontrolle, z. B. mit schaubildenden Mitteln, mit Lecksuch- oder anzeigegeräten, eine unzulässige Undichtheit nicht festgestellt wird.“

Eine eindeutige, allgemein gültige Definition für Dichtheit scheint aufgrund der Komplexität der praxisbezogenen Randbedingungen bisher nicht gelungen zu sein. Es lässt sich die Schlussfolgerung ableiten, dass es zurzeit eine „ideale Dichtung“ nicht gibt. Daher muss in der Technik für jeden Anwendungsfall eine präzise Definition und unter Berücksichtigung der Einsatzbedingungen und Betriebsparameter eine spezifische Lösung gefunden werden. Was dies im Einzelnen bedeutet, wird in der Literatur verdeutlicht.

Ökonomische Faktoren stellen einen bedeutenden Faktor bei der Planung von Brunnenbaumaßnahmen dar. Darf das verwendete System eine Undichtheit in einer definierten Größenordnung aufweisen, kann ein technisch einfacheres und damit preiswerteres Verfahren zur Abdichtung verwendet werden. Sind die Anforderungen höher, muss ein aufwendigeres und damit kostenintensiveres System zum Einsatz kommen.

### 3. Spezifische Bedingungen bei Brunnen und Messstellen

#### 3.1 Aussendruckversuche von Herstellern

Die Arbeitskreismitglieder ließen sich bei verschiedenen Herstellern die Durchführung von Aussendruckversuchen unter Laborbedingungen demonstrieren. Dabei wurden allerdings keine axialen Zug- und Druckkräfte auf die Rohrverbindung simuliert. Unter den jeweiligen Labor-Randbedingungen konnten die beprobten Rohrverbindungen als leakagefrei bezeichnet werden.

<sup>4</sup> Der Brockhaus in einem Band, 9., vollständig überarbeitete und aktualisierte Auflage. Mannheim: Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus 2002.

<sup>5</sup> Duden: Das große Wörterbuch der deutschen Sprache in 10 Bänden, Aktualisierte Online-Ausgabe. Mannheim, Leipzig, Wien, Zürich: Dudenverlag 1999-2004

<sup>6</sup> www.fachwissen-dichtungstechnik.de, Herausgeber Prof. Dr.-Ing. Heinz Konrad Müller

<sup>7</sup> Dichtung und Wahrheit, Die Zeit, Nr. 2, 2005

<sup>8</sup> DECHEMA e.V., Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V.

<sup>9</sup> DECHEMA, Informationsblatt, ZfP1 von 10/1990

### 3.2 Unterschiedliche Abdichtbedingungen

Aufgrund hydrogeologischer Verhältnisse lassen sich nach Meinung der Verfasser im Brunnenbau, die Abdichtprobleme in zwei Bereiche einteilen:

- Oberflächennahe, unbedeckte Grundwasserleiter, die keine hydrochemische Schichtung aufweisen und gering mächtig sind. Eventuell auftretende Leckagen spiegeln die gleiche Wasserqualität wieder, die auch im Fassungsbereich des Brunnens zu finden sind.
- Durchteuft eine Brunnenbohrung verschiedene Grundwasserleiter mit unterschiedlichem Druckniveau oder sind infolge von Schadstoffemissionen (hydrochemische verschiedene und/oder kontaminierte Wässer) außerhalb der Brunnenfassung liegende Bereiche sicher abzusperren, werden hohe Forderungen an das Abdichtvermögen eines Dichtungssystems gestellt.

Gleichgültig, welcher der beiden genannten Bereiche für den jeweiligen Anwendungsfall von Bedeutung ist, bleibt das eigentliche Kriterium für die Anwendung eines Dichtungssystems das „Dichtvermögen“. Qualifizierbar ist es durch die Festlegung eines „Leckagekriteriums“, bei dessen Überschreitung die Dichtverbindung als „undicht“ gilt.

### 3.3 Belastungsklassen und Anforderungsmerkmale

Zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer sollten verbindliche Vorgaben hinsichtlich der Dichtheit geschaffen werden. Eine mögliche Basis kann ein Anforderungsprofil für Rohrverbindungen sein, in dem eine Kategorisierung von Belastungsklassen - hinsichtlich der Anforderungen für die technische Dichtheit - aufgeführt wird.

Diese Anforderungen an die technische Dichtheit könnten in drei Stufen verwendet und zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer vereinbart werden:

**Tabelle 1:** Mögliche Belastungsklassen:

Belastungsklassen			
- A - hoch	bis	- B - mittel	- C - gering
Mehrere Wasserleiter / Grundwasserstauer werden durchteuft, hohe Druckdifferenzen, unterschiedliche Wasserchemie, Kontaminationsproblematik oder besondere Anforderung des Auftraggebers verlangen einen sicheren Schutz des Fassungsgebietes.		Brunnen und Grundwassermessstellen in einem Grundwasserleiter mit Abdichtung eines einzelnen durchteuften Grundwasserstauer und geringen Druckdifferenzen.	Grundwasserfassung in einem Grundwasserleiter ohne Gefahr der Kontamination, unbedeckter Wasserleiter. Bei Brunnen und Messstellen wird dies nur bei oberflächennahen, unbedeckten Grundwasserleiter, der Fall sein.

### 3.4 Anforderungen

#### 3.4.1 Qualifikation der bauausführenden Unternehmen

Die mit dem Brunnenbau bzw. Messstellenbau beauftragten Unternehmen sowie das eingesetzte Personal müssen die für die Ausführung erforderlichen fachlichen Qualifikationen und Erfahrungen besitzen. Der Auftraggeber unterliegt der Verpflichtung, die Qualifikation des Auftragnehmers zu überprüfen. Hierzu steht ihm mit dem DVGW-Zertifizierungsverfahren nach DVGW-Arbeitsblatt W 120 ein anerkanntes Verfahren zur Verfügung. Mit einem gültigen Zertifikat in der entsprechenden Gruppe gilt die Qualifikation als erbracht.

#### 3.4.2 Bauausführung

Bei der Ausführung ist das berufsgenossenschaftliche Regelwerk zur Arbeitssicherheit und zum Gesundheitsschutz, die einschlägigen technischen Regeln (z. B. DVGW-Regelwerk, DIN EN- und DIN-Normen) sowie die Anleitungen der Hersteller von Brunnenausbaurohrungen und Abdichtungselementen zu beachten.

#### 3.4.3 Anforderungen an Produkte, Werk- und Hilfsstoffe

Alle mit dem Trinkwasser bestimmungsgemäß in Berührung kommenden Produkte (Rohre, Rohrleitungsteile, Armaturen, Hilfsstoffe und sonstige Einbauteile) müssen den trinkwasserhygienischen Anforderungen genügen. Kunststoffe und andere nichtmetallene Werkstoffe müssen den KTW-Empfehlungen des Bundesgesundheitsamtes und den Anforderungen des DVGW-Arbeitsblattes W 270 (A) entsprechen.

### 3.4.4 Eingangskontrolle, Transport und Lagerung der Rohrleitungsteile

Für Transport und Lagerung von Rohrleitungsteilen sind in jedem Fall die Herstelleranleitungen zu beachten. Das DVGW-Arbeitsblatt W 400-2 trifft darüber hinaus Festlegungen wie:

- Bei Transport und Lagerung sind die Rohrleitungsteile vor Beschädigung zu schützen.
- Die Ladeflächen müssen frei von Graten und scharfen Kanten und ggf. gepolstert sein. Zur Beförderung auf der Baustelle dürfen nur geeignete Transportgeräte verwendet werden.
- Unmittelbar nach dem Eintreffen der Rohrleitungsteile auf der Baustelle sind die Kennzeichnung, ggf. der werkseitige Verschluss mit Kappen, die Abmessung und die Vollständigkeit (mitgelieferte Dichtringe) der Lieferung auf Übereinstimmung mit den Bestellunterlagen zu prüfen.
- Eine visuelle Prüfung der Rohrleitungsteile auf Schäden wie Verformungen oder Beulen, Risse oder Riefen, Beschädigung der Rohrenden, Verunreinigungen und Beschädigung des Außenschutzes sind erforderlich.
- Schadhafte Teile müssen repariert oder ausgesondert werden.
- Einsatz geeigneter Geräte mit ausreichender Tragkraft, die ein stoßfreies Heben und Senken gewährleisten.
- Das Abwerfen und Abrollen ist nicht zulässig. Ebenso das Schleifen oder Rollen.
- Für das Auf- und Abladen sind geeignete Werkzeuge zu wählen, um eine Beschädigung der Rohrleitungsteile, des Außen- oder Innenschutzes auszuschließen (z.B.: breite Gurte, gepolsterte Seile oder gepolsterte Ketten).
- Verschlusskappen dürfen erst unmittelbar vor dem Einbau entfernt werden.

### 3.5 Dokumentation

Die Einführung einer verbesserten Dokumentation von Arbeits- und Montageabläufen bei den Herstellern und der ausführenden Firmen auf den Baustellen gewährleisten eine nachvollziehbare Darstellung, die zu einer allgemeinen Verbesserung des Qualitätsmanagements führt.

Hersteller:	Ausführendes Brunnenbauunternehmen:
Qualitätsnachweise und Ergänzungen zum Lieferschein (z. B. Bestellnachweis von Dichtungselementen)	Erstellung eines Bestell- bzw. Verwendungsnachweises über eingesetzte Dichtungselemente und Zubehör als Nachweis sowohl für den Auftraggeber als auch für den Zulieferer

Die Hersteller geben in diesem Zusammenhang an, dass bei Rohrbestellungen die dazu erforderlichen Dichtmittel (Dicht- bzw. Profilinge) unzureichend oder auch gar nicht mitbestellt werden. Hier sollte der Hersteller seine notwendigen Materialien immer einschließlich der Dichtungselemente liefern. Den Herstellern und Lieferanten von Ausbauserohrungen wurde dies durch die figawa schriftlich empfohlen.

## 4. Gewinde-Rohrverbindungen nach DIN 4925 und DIN 4922

### 4.1 DIN 4925 (Kunststoff)

Die Gewindeverbindungen nach DIN 4925 (1 bis 3) sind Verbindungen, die sich über Jahre hinweg bewährt haben. Die Hersteller dieser Gewindeverbindungen können jedoch keine Garantie für die Dichtheit übernehmen. Die Gründe dafür sind die Konstruktion der Verbindung, der Werkstoff und, damit verbunden die Maßgenauigkeit, Ovalität sowie Fertigungstoleranzen.

### 4.2 DIN 4922 (Stahl)

In DIN 4922 Teil 2 (DN 100 bis DN 500) heißt es im Abschnitt 2.2:

*„Das dargestellte Gewinde entspricht nicht den bestehenden Gewindenormen. Es wurde für den speziellen Anwendungsbereich im Brunnenbau entwickelt, da diese Gewindeformen das beste Aufbringen der verschiedenen Beschichtungen und deren Schutz beim Verschrauben ermöglicht.“*

Ziel ist bei diesem Gewinde demnach nicht, durch die Gewindeformgebung und den Einsatz von Fett Dichtigkeit zu erreichen. Vielmehr soll dies durch zwei Dichtringe erzielt werden welche nach DIN 53505 beschrieben sind.

## 5. Schrumpfschlauch und geteilte Schrumpfmanschette

Eine dichte Gewindeverbindung wird nur erreicht, indem eine zusätzliche Komponente hinzugefügt wird. Dieses Element muss mindestens folgende Eigenschaften erfüllen:

a.) KTW - Zulassung      b.) einfacher, schneller und sicherer Einbau auf der Baustelle      c.) kostengünstig

Die einzige zurzeit auf dem Markt verfügbare Zusatzkomponente, welche diese Anforderungen erfüllt, ist der Schrumpfschlauch.

## 5.1 Versuch

Tabellarisch aufgestellte exemplarische Versuchdaten von Druckversuchen (PCV DN 115 und DN 250) bei Schrumpfmuffenverbindungen mit KTW Zulassung, zur Ermittlung der Leistungsfähigkeit.

**Tabelle 2:** Schrumpfmuffe/Aufbringung PVC – Rohre mit anschließender Innen- und Außendruckprüfung

	DN 115 – 5,0	DN 150 – 7,5	DN 250 – 12,5
Art des Schrumpfschlauches	Einteiliger Ring	Einteiliger Ring	gewickelt
Typ Schrumpfschlauch	CPSM	MPSM	MEPS
Aufbringen der Muffe ca.	6 Min.	10 Min.	12 Min.
Oberflächentemperatur der Rohre nach der Erwärmung ca.	60 °C	60 °C	60 °C
Empfohlene Abkühldauer der Verbindung ca.	15 min.	19 min.	25 min.
Richtkosten Schrumpfschlauch, (nur Material, Stand 2004)	12 €	15 €	24 €
max. Außendruck (bis zur Verformung des Rohres)	6 x 10 <sup>5</sup> Pa	8 x 10 <sup>5</sup> Pa	18 x 10 <sup>5</sup> Pa
max. Innendruck (ohne Gegendruck auf Schrumpfschlauch) (jeweils Ablösung sichtbar, noch dicht)	12 x 10 <sup>5</sup> Pa	14 x 10 <sup>5</sup> Pa	6 x 10 <sup>5</sup> Pa

## 5.2 Produktbeschreibung

Produktaufbau Schrumpfschlauch: Trägermaterial: dickwandiges, molekular vernetztes HDPE  
Beschichtung: Viscoelastischer Dichtungskleber

Die Installation erfolgt direkt auf die gereinigte und vorgewärmte Rohroberfläche. Bei sachgerechter Erwärmung, mittels handelsüblichen Propangasbrenner, schrumpft das Material mit seiner hohen Schrumpffähigkeit, fest und sauber anliegend auf die Rohrverbindung. Während des Schrumpfvorganges verteilt sich der Dichtungskleber auf Grund seiner Fließ- und Fülleigenschaften gleichmäßig auf der Rohroberfläche.

Produktmerkmale:

- Trägermaterial mit erhöhter Schrumpffähigkeit
- hoher Schlag- und Eindruckwiderstand
- Abwinkelbarkeit und Längsbeweglichkeit der Muffenverbindung bleiben in vollem Umfang erhalten,
- die Dichtung widersteht Vibrationen
- zusätzlicher Füller ist nicht erforderlich
- nur geringe Vorwärmtemperatur erforderlich
- kein spezielles Werkzeug erforderlich

Nach den bisher erlangten Erkenntnissen sind die Warmschrumpftechnikverfahren die effektivsten Methoden. Dabei sind die Belastungen des PCV-Rohrmaterials durch die Erhöhung der Oberflächentemperatur mit Flammgeräten - im Vergleich zu Heißluftgeräten - am niedrigsten. Unter Einhaltung der Montageanleitungen, d.h. bei sachgerechter Installation, werden zulässige Rohroberflächentemperaturen nicht überschritten.

Die zur Schrumpfung erforderliche Wärme ist so aufzubringen, dass andere Komponenten des Rohrsystems in der Gebrauchstauglichkeit nicht eingeschränkt werden. Dazu heißt es in der EN 1537 "Verpressanker":

*„Schrumpfschlauchdurchmesser und Schrumpfmaß sind so zu wählen, dass die Abdichtung auf Dauer gewährleistet ist. Nach dem Schrumpfvorgang darf die Wandstärke eines Schrumpfschlauches nicht kleiner als 1 mm sein.“*

Zwecks besserer Bestimmung zusätzlicher Material- und Mehrkosten - infolge des höheren Montageaufwandes - sollten definierte Montageverfahren und -anleitungen vorliegen. Auch sollten herstellerseitige Vorschläge zum Verfahren der Wärmeerzeugung bzw. der baustellengeeigneten Erwärmung der Schrumpfmuffen gefordert werden. Diese müssen kompatibel zu den Gewährleistungsanforderungen der Rohrersteller sein. Eine Unterweisung bzw. eine Schulung in den Bohrbetrieben über den Umgang mit Schrumpfschläuchen muss obligatorisch sein.

### 5.3 Alternativen

Thermofreie Schrumpfmuffen (selbstspannende Kaltschrumpfschläuche) sind zurzeit nur bis DN 150 verfügbar und wirtschaftlich aufwendig und werden nicht weiter betrachtet. Alle bisher bekannten alternativen, gelartigen bzw. pastösen Abdichtungsmaterialien können bisher keine Anwendung finden, da diese Materialien in der Regel auf Epoxydharzbasis erstellt werden und daher keine KTW-Zulassung haben.

### 5.4 Fazit

Die Installation von Schrumpfmuffen bietet eine sinnvolle Maßnahme zur Erhöhung der Rohrabdichtungseigenschaften und wurde deshalb als „Vorsorgemaßnahme“ in die Anwendungsempfehlung aufgenommen. Hierzu müssen hinsichtlich der auftretenden thermischen Belastungen einerseits sachgerechte wärmetechnische Mittel (taugliches Gerät) und Verfahren (zur Vermeidung von Überhitzung) beschrieben sein, andererseits müssen Stellungnahmen der Rohrersteller bzw. Lieferanten zu Gewährleistungsfragen vorliegen.

**Zur gewünschten Verringerung von Unsicherheiten bei der Dichtheit von Kunststoffgewindeverbindungen können Schrumpfschläuche sicher und wirtschaftlich - auch präventiv - verwendet werden.**

## 6. Prüfverfahren

Vor dem Brunnenausbau werden folgende Messverfahren zur Bestimmung der Geometrie des Schichtenaufbaus und des Grundwasserspiegels empfohlen:

- Bohrlochverlaufs-Log (BA)
- Kaliber-Log (CAL)

Bei Bohrungen und Messstellen tiefer als etwa 50 m sollten die beiden Messverfahren obligatorisch sein. Erklärungen zu den Messverfahren werden unter Abschnitt 6.3 gegeben.

### 6.1 Bei Einbau der Vollrohre

Rohrdichtheitsprüfungen bei Einbau geschehen nur auf besondere Anforderung des Auftraggebers und müssen als gesonderter Ausschreibungspunkt ausgewiesen sein. Dabei kann eine Innendruckprüfung, im besonderen Fall eine Außendruckprüfung, angewendet werden.

Voraussetzung für einen störungsfreien und letztendlich technisch einwandfreien Einbau der Rohre ist ein entsprechender Zustand der Bohrung. Hierzu gehört, dass das Bohrloch einen über die gesamte Teufe ausreichenden Durchmesser (Kaliber) aufweist und die Neigung nicht zu groß ist.

### 6.2 Nach Einbau der Vollrohre

Die Dichtheit der Ausbaurohrung im Zusammenhang mit der technischen Abnahme von Brunnen oder Grundwassermessstellen können durch geeignete Methoden kontrolliert werden (vergl. u. a. DVGW Arbeitsblätter W 110, W 121, W 123 und W 124).

### 6.3 Erklärungen zu den Messverfahren

Die Dichtheit der Ausbaurohrung im Zusammenhang mit der technischen Abnahme des Brunnens oder der Grundwassermessstelle kann durch geeignete Methoden kontrolliert werden. Hierzu sind die in der nachfolgenden Tabelle 3 aufgeführten Verfahren einsetzbar.

**Tabelle 3:** Messverfahren zur Prüfung der Ausbauperforierung

Standardprogramm für	Kombination der Messverfahren	Untersuchungsziele/Bemerkungen	Anwendung
Dichtheit der Aufsatzrohre, insbesondere der Rohrverbindungen	FEL	FEL, DLL, MLL: Fokussierende Widerstands-Logs; Messwert spezifischer elektrischer Widerstand [ $\Omega$ m]. Screeningverfahren für die Dichtheitsprüfung, nur in elektrisch nicht leitenden Rohren einsetzbar, kein eindeutiger Nachweis der hydraulischen Wirksamkeit von Rohrverbindungen	++
	TEMP/SAL	TEMP: Temperatur [ $^{\circ}$ C] bzw. SAL: elektrisches Leitfähigkeits-Log der Bohrlochflüssigkeit [mS/m]. Nur indirekter Nachweis von Fremdwasserzutritten im Zusammenhang mit TEMP-Messung, wenn damit eine Änderung des Chemismus verbunden ist	(+)
	OPT	Fernsehsondierung. Einsatz oberhalb des Wasserspiegels, Nachweis von (stärkeren) Wasserzutritten oder „Ockerschlieren“ an den Rohrverbindungen	(+)
	TFL	Tracer-Fluid-Log; Messwert elektrische Leitfähigkeit [mS/m]. Messungen in Ruhe und bei Förderung oder bei Wassereingabe, Direktnachweis von Fremdwasserzutritten; ggf. in Ergänzung zu FLOW	-
	Packertest (s. Anlage 1)	Nachweis der hydraulischen Wirksamkeit von potentiell undichten Rohrverbindungen/Leckagestellen, (im Anschluss an FEL, wenn der Verdacht auf Undichtigkeiten besteht), wichtig für die Dichtheitsprüfung von Stahlrohren	(+)
Richtung und Neigung des Ausbaus	BA	Bohrlochverlaufs-Log; Messwert Azimut und Neigung [ $^{\circ}$ ]. Im Stahlausbau Richtung nicht oder nur mit Kreiselkompass bestimmbar.	-
Exzentrizität der Rohre im Bohrloch	RGG.D	Dichte-Ringraumscanner-Log; Messwert Dichte [g/cm $^3$ ]. Überprüfung der Exzentrizität der eingebrachten Messstellenverrohrung zum Bohrloch.	-

Anwendungshinweise:    ++    Messung unverzichtbar  
                                   (+)    Messung unter bestimmten Bedingungen notwendig  
                                   (-)    Messung nur bei besonderen Fragestellungen

Bei der FEL-Messung in Kunststoffrohren (d.h. in elektrisch nicht leitenden Rohren) ist folgendes zu beachten:

- ✓ FEL-Messungen können nur unterhalb des Wasserspiegels eingesetzt werden.
- ✓ Zeigen sich keine elektrischen Widerstandsminima („Peaks“) so fließt kein Strom durch die Rohrverbindungen. Die Rohre sind als hydraulisch dicht einzustufen.
- ✓ Werden in der Widerstandskurve Minima angezeigt, so fließt an diesen Stellen Strom ins Gebirge. An Rohrverbindungen, an denen Strom ins Gebirge fließen kann, muss nicht zwangsläufig auch Wasser hindurchfließen können. Derartige Widerstandsminima gelten als Indikatoren für mögliche Rohrundichtigkeiten. Hier ist es erforderlich, durch einen Packertest (vergl. Anlage 1) die hydraulische Wirksamkeit der festgestellten Anomalie zu prüfen.
- ✓ Die Höhe der Widerstandsminima („Peaks“) ist kein Indikator dafür, ob eine Rohrverbindung hydraulisch dicht oder undicht ist, vielmehr werden die Minima durch verschiedenen Faktoren beeinflusst (u. a. Ringraumverfüllung, Wassersättigung des Ringraums und des Gebirges, Art der Verschmutzung in den Gewindegängen einer Rohrverbindung, die spezifische elektrische Leitfähigkeit des Wassers).

## 7. Bohrlochgeometrie, -verlauf und Exzentrizität von Bohrungen

### 7.1 Vorbemerkung

Dem Einfluss der Exzentrizität (lat. außerhalb der Mitte) einer Bohrung auf die Dichtigkeit der Ausbauperforierungen – hinsichtlich von Spannungen auf die Verbindungen der Rohrtour - wird besondere Beachtung geschenkt. Da im Brunnenbau bisher

keine Festlegung zur maximal zulässigen oder akzeptierbaren Auslenkung erfolgt sind, sollen an dieser Stelle mögliche Entscheidungskriterien zur maximalen Auslenkung (Neigung, Azimut, Verlauf der Winkeländerung) aufgezeigt werden.

Es geht im Folgenden darum, praktikable Handhabbarkeit zu entwickeln, um zulässige Toleranzen hinsichtlich der Geradheit und Lotrechtigkeit herauszuarbeiten, damit u. a. Forderungen des DVGW-Arbeitsblatt W 115 nachvollziehbar und belegbar erfüllt werden können. Dieses ist nötig, da auch in den anderen technischen Regeln des DVGW-Regelwerkes - mit einer Ausnahme - Festlegungen nicht getroffen worden sind. Entscheidend ist, dass aus der Bohrlochgeometrie möglichst geringe Auslenkkräfte auf die Rohrverbindung wirken, damit diese nach dem Einbau dicht bleiben.

Im DVGW-Arbeitsblatt W 115 wird genannt:

*„Die Größe der Abweichung(en) darf nur so groß sein, dass die Bohrung ihrem vorgesehenen Zweck zugeführt und betrieben werden kann.“*

Die DIN 18301, 2002, Bohrarbeiten, geht neutral von der „vereinbarten Richtung“ aus.

Aus der DIN 4021, Baugrund, ergibt sich in Bezug auf Festgestein:

*„Die sich aus den Einzelabweichungen in Richtung und Neigung ergebende radiale Gesamtabweichung darf den vom AG zugelassenen Wert - im allg. 3° nicht überschreiten.“*

Außerhalb des Regelwerkes wird in der „Niedersächsischen Richtlinie für die Auswahl, den Bau und für die Funktionsprüfung von Messstellen“ gefordert:

*„Die Messstellenachse soll in keinem Abschnitt des Messstellenrohres mehr als 2 Grad von der Lotrechten abweichen.“*

Während neben den jeweils möglichen, vertraglich festgelegten Anforderungen in Deutschland keine weiteren messbaren Vorgaben existieren, finden sich in der US-amerikanischen Literatur weitergehende Angaben. Darin werden Abweichungen der Bohrung von 2/3 des geplanten inneren Durchmessers des Ausbaus je 30,5 m (100 ft) bis zur geplanten Pumpeneinbautiefe<sup>10</sup> bzw. max. 1° auf 15,2 m akzeptiert<sup>11</sup>.

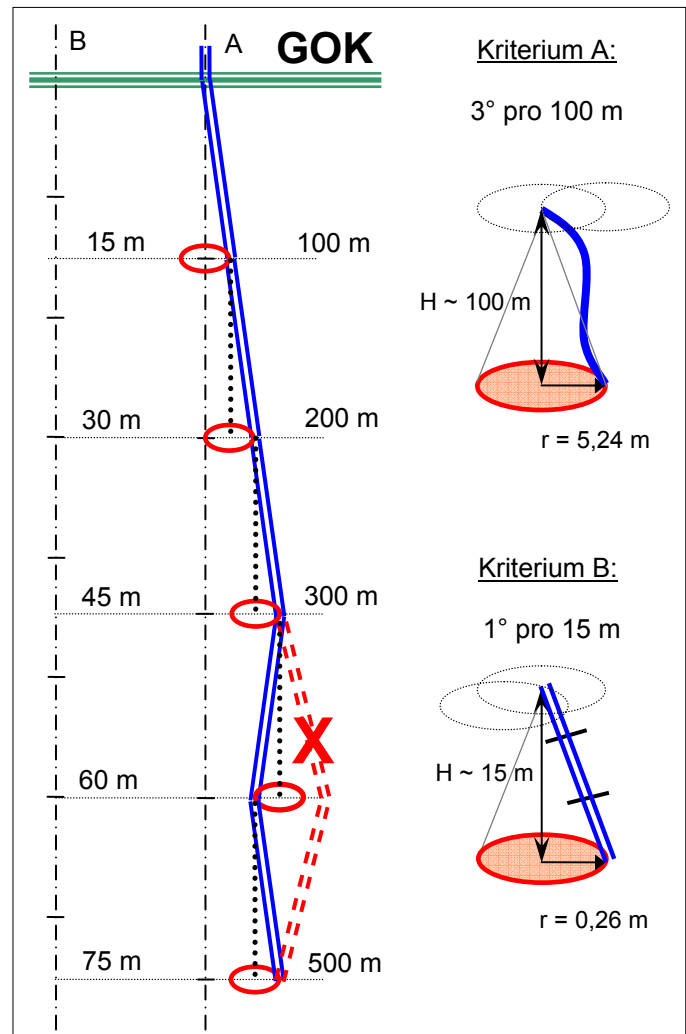


Abb.: Darstellung der beiden Kriterien mit zwei unterschiedlichen Tiefenmaßstäben in 15 m und 100 m Abschnitten

Sofern durch die im DVGW Arbeitsblatt W 121 genannten Abstände der Kontakt von einer Messstelle zur anderen sicher verhindert wird und damit gleichzeitig die nachfolgend beschriebene hohe Vertikalität definiert ist, lässt sich daraus die zulässige Abweichung ableiten. Es behandelt also das Toleranzfeld aus fehlender Geradheit oder fehlender Lotrechtigkeit, damit gleichwohl die Bohrung vertragsgemäß hergestellt werden kann und auch den o. g. Anforderungen des DVGW-Arbeitsblatts W 115 genügt.

## 7.2 Lotrechtigkeit oder Richtungsstabilität

Von den beiden Faktoren ist der Richtungsstabilität ein höheres Gewicht beizumessen. Die Abweichung vom Lot dürfte hinsichtlich des zentrierten Rohreinbaus, der zentrierten Ausbaurohrung (Filter/Vollrohr) und der zentrischen Verkie-sung/Verfilterung keine Rolle spielen. Ebenso dürfte es hinsichtlich des Pumpeneinbaus zu keiner Beeinträchtigung der Brunnen oder des Pumpsystems kommen.

<sup>10</sup> American Water Works Association

<sup>11</sup> US Environmental Agency (Groundwater and Wells – Page 333 - 339) Plumbness and Alignment

Anders liegt der Fall, wenn die Richtungsstabilität oder Geradheit der Bohrung nicht gegeben ist. Dieses kann beim Ausbau zu Exzentrizitäten in der Bohrung führen, die wiederum eine ordnungsgemäße Ringraumverfüllung nicht zulassen. Den Richtungsänderungsquotient der Bohrung (Quotient aus  $\Delta x / \Delta L$ : Änderung der Auslenkung "x" über die Länge "L") möglichst klein zu halten, ist wesentliche Aufgabe des Bohrunternehmens, damit die o. g. Ansprüche hinsichtlich des zentrierten Einbaus von Ausbau, Verkiesung und Pumpeneinbau problemlos gewährleistet werden können.

### 7.3 Fazit

Von einer tolerierbaren Beanspruchung der Rohrverbinder – hinsichtlich des Dichtungsverhaltens - ist auszugehen, wenn die nachfolgend genannten Werte - unter Kenntnis der jeweils vorliegenden geologischen Bedingungen und der Anwendung adäquater Bohrtechnik - unterschritten werden:

Zul. Neigungsänderungen bis zu:	<b>1° auf 15 m Bohrlänge</b> (ca. 1,8 %)
Max. Abweichung aus der Lotrechten:	<b>3° pro 100 m</b> (ca. 5,2 %) Soll nicht überschritten werden

## 8. Beschreibung möglicher Druckprüfungsverfahren

### 8.1 Druckprobe als Auffüllversuch

1. Oberhalb des Filters wird ein Packer gesetzt. Die Ausbaurohrung wird nach Einbau bis ca. 5 m ( $0,5 \times 10^5$  Pa bzw.  $\sim 0,5$  bar) über den tatsächlichen Ruhewasserspiegel bzw. bis Geländeoberkante aufgefüllt. Bei oberflächennahen Wasserständen oder bei Artesem muss das Vollrohr bis zu einer vertretbaren Höhe über GOK verlängert werden.
2. Vorprüfung: 10 Minuten Wartezeit nach Befüllung mit gegebenenfalls erforderlicher Nachbefüllung. Hauptprüfung: Der danach eingestellte Füllstand/Ruhewasserspiegel, darf in den darauf folgenden 20 Minuten nicht mehr absinken.
3. Bei negativen Ergebnissen (Absenkung des Füllwasserstandes) werden nachfolgend Packerprüfungen in den Ebenen vorgeschlagen. Grundlage hierfür ist die Beschreibung in der **Anlage 1**.
4. Der Auftragnehmer erstellt ein Auffüllprotokoll. Der Auftraggeber bzw. das ausschreibende Ingenieurbüro sollte während des Auffüllversuchs anwesend sein und das Protokoll abzeichnen.

### 8.2 Insituüberprüfung mittels Packertests

Die Dichtigkeitsprüfung soll - wenn gefordert - erst nach dem Einbau erfolgen, da durch das Ausbleiben realistischer Zugbelastungen auf die Rohrtour kein praxisnahes Umfeld abgebildet wird. Die Überprüfung soll als Summenprüfung im eingebauten Endzustand durchgeführt werden. Die Vereinfachung der Prüfung kann durch Intervallschachtelung<sup>12</sup> erreicht werden.

Bei negativen Ergebnissen der Fehlerprüfung ist eine Innendruckprüfung als Doppelpackertests vorzusehen. Äußere Prüfverfahren sind nach dem Einbau des Brunnenausbaustranges nicht mehr möglich.

Als **Anlage 1** ist ein Arbeitspapier „Insituüberprüfung der Dichtheit von Vollrohrsträngen im Bohrloch mittels Packertest“ beigelegt.

<sup>12</sup> Intervallschachtelung oder Intervallhalbierungsverfahren. Zur Minimierung des Prüfaufwandes, können die Prüfungen nach jeweils hälftiger Aufteilung der Prüfabschnitte durchgeführt. Durch die Hintereinanderausführung zieht sich das Intervall (Prüfstrecke) immer mehr zusammen bis nur noch ein einziger Punkt (undichte Rohrverbindung) vorhanden ist.

## 9. Zitierte Normen und Regelwerke

1. DIN 18301, Ausgabe:2002-12, VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV); Bohrarbeiten DIN ATV 18301 (2002), Bohrarbeiten
2. DIN 18302, Ausgabe:2000-12, VOB Verdingungsordnung für Bauleistungen - Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV); BrunnenbauarbeitenATV DIN 18302 (2002), Brunnenbauarbeiten
3. DVGW-Arbeitsblatt W 110, Geophysikalische Messverfahren in der Wassergewinnung, 6/2005
4. DVGW-Arbeitsblatt W 111, Planung, Durchführung und Auswertung von Pumpversuchen bei der Wassererschließung, 3/1997
5. DVGW-Arbeitsblatt W 115, Bohrungen zur Erkundung, Gewinnung und Beobachtung von Grundwasser , 3/2001
6. DVGW-Arbeitsblatt W 120, Qualifikationskriterien für Bohr-, Brunnenbau- und Brunnenregenerier-unternehmen, 07/2001
7. DVGW-Arbeitsblatt W 121, Bau und Ausbau von Grundwassermessstellen, 07/2003
8. DVGW-Arbeitsblatt W 123, Bau und Ausbau von Vertikalfilterbrunnen, 09/2001
9. DVGW-Arbeitsblatt W 124, Kontrollen und Abnahmen beim Bau von Vertikalfilterbrunnen, 11/1998
10. DVGW-Arbeitsblatt W 270, Vermehrung von Mikroorganismen auf Werkstoffen für den Trinkwasserbereich- Prüfung und Bewertung, 11/1999
11. DVGW-Arbeitsblatt W 400-2, Technische Regeln Wasserverteilungsanlagen, Bau und Prüfung, 9/2004
12. DVGW-Projekt: „Untersuchung zur Bestimmung von Qualitätskriterien für Abdichtungsmaterialien im Brunnenbau“. (W1/01/02)
13. DIN 4021 (10/90), Baugrund; Aufschluss durch Schürfe und Bohrungen sowie Entnahme von Proben, in Erkundung und Untersuchung des Baugrunds : Normen. 5. Aufl. Berlin; Köln: Beuth 1991 (DIN Taschenbuch 113). – ISBN 3-410-11719-9?
14. DIN 4922-2, Ausgabe:1981-04, Stahlfilterrohre für Bohrbrunnen mit Gewindeverbindung DN 100 bis DN 500
15. DIN 4925-1, Ausgabe:1999-04, Filter- und Vollwandrohre aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid (PVC-U) für Brunnen - Teil 1: DN 35 bis DN 100 mit Whitworth-Rohrgewinde
16. DIN 4925-2, Ausgabe:1999-04, Filter- und Vollwandrohre aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid (PVC-U) für Brunnen - Teil 2: DN 100 bis DN 200 mit Trapezgewinde
17. DIN 4925-3, Ausgabe:1999-04, Filter- und Vollwandrohre aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid (PVC-U) für Brunnen - Teil 3: DN 250 bis DN 400 mit Trapezgewinde

## 10. Quellenverzeichnis

1. American Water Works Association
2. US Environmental Agency (Groundwater and Wells – Seite 333 – 339, Plumbness and Alignment)
3. Dichtung und Wahrheit, Die Zeit, Nr. 2, 2005
4. Umweltbundesamt, Forschungsbericht 200 44 322, Ermittlung und Verminderung diffuser flüchtiger und gasförmiger Emissionen in der chemischen und petrochemischen Industrie, Berlin , Sep. 2002
5. Niedersächsische Richtlinie für die Auswahl, den Bau und für die Funktionsprüfung von Messstellen, Hrsg. Niedersächsisches Landesamt für Wasser und Abfall, April 1990, unveränderter Nachdruck 2002
6. [www.fachwissen-dichtungstechnik.de](http://www.fachwissen-dichtungstechnik.de), Herausgeber Prof. Dr.-Ing. Heinz Konrad Müller

## 11. Die Autoren

Die vorliegende Empfehlung wurde maßgeblich erarbeitet von den Mitgliedern des Arbeitskreises Brunnenbau, in dem Brunnenbauunternehmen, Rohrleitungsherstellern, Herstellern von Abdichtungsmaterialien, ö.b.u.v. Sachverständigen im Brunnenbauer-Handwerk, Brunnenbauermeistern und Geophysikern, Hersteller von Komponenten und Ingenieurbüros vertreten sind. Vor der Veröffentlichung wurde die Empfehlung einem weiten Kreis zur Stellungnahme vorlegt.

Seit 1926 organisieren sich Hersteller und Dienstleister von Produkten des Gas- und Wasserfachs in einem technisch-wissenschaftlichen Dachverband, der Bundesvereinigung der Firmen im Gas- und Wasserfach – figawa e. V.. Das Ziel dieser Vereinigung besteht seit ihrer Gründung darin, Produkte und Verfahren im Hinblick auf Sicherheit, Hygiene, Umweltschutz und Wirtschaftlichkeit in Regelwerken zu verankern. Insgesamt sind mehr tausend Unternehmen Mitglied in der figawa. Einen aktuellen Überblick finden Sie unter [www.figawa.de](http://www.figawa.de).

## Anlage 1

### Insituüberprüfung der Dichtheit von Vollrohrsträngen im Bohrloch mittels Packertest

BLM, Bohrlochmessung - Storkow GmbH, D-15859 Storkow

Im Zusammenhang mit der bohrlochgeophysikalischen Zustandskontrolle der Vollrohrabschnitte in Grundwassermessstellen und zunehmend auch Brunnen wird die Überprüfung der Muffenverbindungen auf hydraulische Dichtheit gefordert.

Anhaltspunkte für mögliche Undichtheiten werden bei Messungen mit dem fokussierten Elektrolog und der Brunnenkamera als übliche Screening-Verfahren festgestellt. Ob und unter welchen hydraulischen Bedingungen an solchen potentiellen Lecks wirklich Wasserzuflüsse oder Verluste auftreten, kann nur durch Packertests ermittelt werden. Nach W 121 sind dabei sowohl Einzelpackertest (Summenpackertest) wie auch selektive Doppelpackertests zulässig.

**Ziel von Insitudichtheitsuntersuchungen ist es, die Belastbarkeit von Rohrabschnitten oder einzelner Rohrverbindungen unter den im Bohrloch vorhandenen bzw. zu erwartenden Randbedingungen zu testen. Zu berücksichtigende Faktoren, die sich auf die Dichtheit der zu untersuchenden Rohrelemente auswirken, sind:**

1. Art und Eigenschaften des sich bewegenden Mediums
  - „Luft“ (Gas)
  - Wasser unterschiedlicher Mineralisation, Temperatur und Inhaltsstoffe
2. Bewegungsrichtung des strömenden Mediums
3. Höhe der zu erwartenden bzw. der maximal zu testenden Differenz des hydrostatischen Druckes zwischen Rohrrinnenwand und Rohraußenwand.
4. Vorbelastung des Rohrstranges
5. Lagerungsverhältnisse im Ringraum
6. Hydrostatische Verhältnisse im Innern des zu untersuchenden Aufschlusses und seiner Umgebung

Im Nachfolgenden wird die Möglichkeit der Insituüberprüfung der Dichtheit von Vollrohrabschnitten mittels Packertest aufgezeigt. Es wird dabei davon ausgegangen, dass das im zu untersuchenden Aufschluss befindliche Wasser als Prüfmedium verwendet werden kann. Entsprechend den in dem betreffenden Aufschluss herrschenden und zu erwartenden hydrodynamischen und hydrostatischen Randbedingungen und abhängig von der Belastbarkeit der zu testenden Rohrelemente ist es für die Versuchsdurchführung erforderlich,

1. die Prüfrichtung und
2. die oberen und unteren Prüfdruckgrenzen  $\Delta P_{\min}$  bzw.  $\Delta P_{\max}$

festzulegen.

$$\text{Prüfdruck } \Delta P = P_I - P_A$$

$P_I$  = Druck im Innern des Aufschlusses

$P_A$  = Druck (in der Regel hydrostatischer Druck) an den Rohraußenwandungen

Hinsichtlich der Prüfrichtung sind zwei Packertestvarianten zu unterscheiden:

1.  **$\Delta P > 0$**  Durch Beauflastung im zu untersuchenden Aufschluss ist das Druckgefälle von innen nach außen gerichtet. Diese Versuchsvariante, bei der die Höhe des Prüfdruckes relativ einfach gesteuert werden kann, ist in solchen Aufschlüssen zu realisieren,
  - in denen mit zunehmender Teufe ein überproportionales Ansteigen des hydrostatischen Druckes zu verzeichnen ist (z. B. bei Vorhandensein von gespannten und artesischen Grundwasserleitern),
  - die sich in der Einflussosphäre von Absenkebrunnen von Nachbaraufschlüssen befinden,
  - die zur Einspeisung von Wasser dienen (z. B. Schluckbrunnen, Wärmesonden),
  - wo in den verschiedenen Grundwasserleitern, die durch die jeweilige Aufschlussbohrung angeschnitten wurden, Wasser unterschiedlicher Mineralisation gespeichert sind und
  - wo in den durch die Aufschlussbohrung angeschnittenen Grundwasserstockwerken unterschiedliche starke Änderungen der hydrostatischen Verhältnisse infolge natürlicher oder anthropogener Einflussfaktoren stattfinden.

2.  $\Delta P < 0$  Durch Entlastung im zu untersuchenden Aufschluss ist das Druckgefälle von außen nach innen gerichtet. Diese Versuchsvariante ist in solchen Aufschlüssen zu realisieren,
- in denen der Wasserspiegel im zu untersuchenden Aufschluss durch Pumpenbetrieb abgesenkt wird,
  - in denen mit zunehmender Teufe ein überproportionales Gefälle des hydrostatischen Druckes zu verzeichnen ist,
  - wo sich in den durch die Aufschlussbohrung angeschnittenen Grundwasserleitern die hydrostatischen Verhältnisse infolge natürlicher oder anthropogener Einflussfaktoren stark ändern. Die maximale Höhe des Prüfdruckes  $\Delta P$  wird durch die insitu herrschenden hydrostatischen Verhältnisse bestimmt. Sie kann bei dieser Versuchsvariante stufenlos maximal bis zum Erreichen des in entsprechender Teufe an den Rohraußenwandungen anstehenden hydrostatischen Druckes gesteigert werden. Die Dichtheit von Rohrverbindungen oberhalb des Ruhewasserspiegels lässt sich durch diese Versuchsvariante nicht überprüfen.

Durch den Einsatz von speziellen, an die Rohrgeometrie angepassten hydraulischen Testgarnituren, bestehend aus Einfachpackern oder Packersystemen in Kombination mit Pumpen bzw. Kompressoren oder Gasdruckflaschen zur Druckbeauflastung bzw. Entlastung, gekoppelt mit einem geeigneten Druckmesssystem, ist es möglich, den Druck im Innern des zu testenden Rohrabschnittes zu variieren. Die Grenzen für die Beauflastung im Brunneninnern sind vorgegeben durch die Belastbarkeit

1. der zu testenden Rohre und Rohrverbindungen, die durch den Hersteller vorgegeben ist
2. sowie der einzelnen Elemente der eingesetzten Testgarnitur.

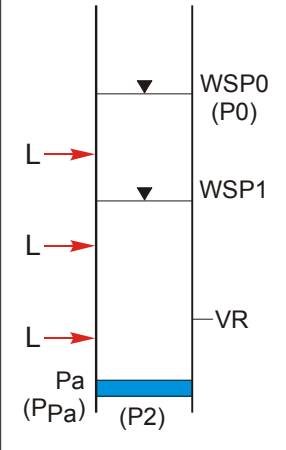
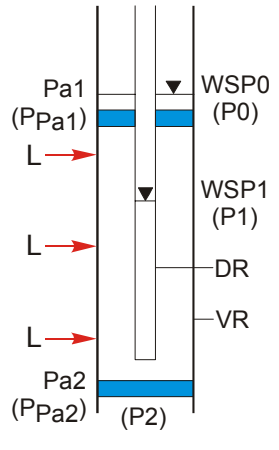
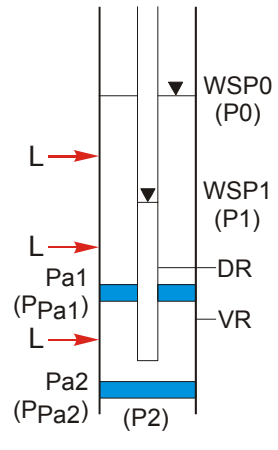
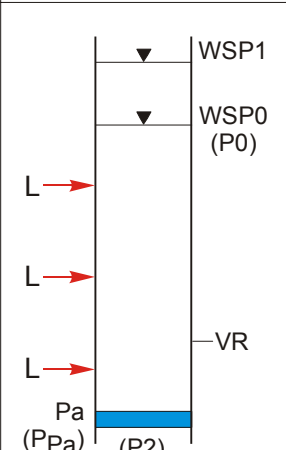
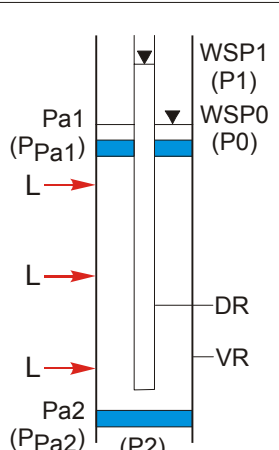
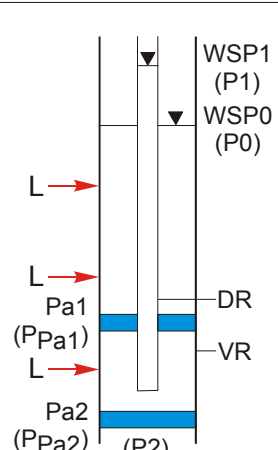
Die Möglichkeiten für die Druckentlastung im Innern des zu untersuchenden Aufschlusses werden bestimmt durch die Teufenlage des zu testenden Rohrelementes, in dem der Wasserspiegel maximal bis zu der zu prüfenden Stelle abgesenkt wird, was in der Praxis meistens ausreichend ist. Eine weitere Entlastung durch Einsatz von Vakuumpumpen erscheint nicht praktikabel. Gezielte Veränderungen des hydrostatischen Druckes ( $P_A$ ) an den Außenwandungen der zu testenden Rohre im Rahmen von Packertesten werden kaum zu realisieren sein, da sie sehr schwer zu steuern sind und in der Regel unverhältnismäßig aufwendig sind.

Es sollte aber immer dann, wenn in der Umgebung mit starken Wasserspiegelschwankungen zu rechnen ist, versucht werden, dies bei der Versuchsdurchführung des Packertestes auszunutzen.

In Abhängigkeit von den im Aufschlusspunkt gegebenen hydrodynamischen und hydrostatischen Randbedingungen und unter Berücksichtigung ökonomischer Belange, sind zur Insituüberprüfung der Dichtheit von Vollrohren mittels Packertest folgende Versuchsanordnungen möglich:

Zur optimalen Vorbereitung eines Packertestes sollten zur Lokalisation von zu testenden Rohrelementen folgende Untersuchungsverfahren eingesetzt werden:

- OPT Optische Untersuchung mittels Kamera
- CAL Kalibermessung
- FEL Fokussiertes Elektrik-Log (nur bei Kunststoffrohren)
- EMDS Elektromagnetische Wanddickenmessung (nur bei Stahlrohren)

	Summenpackertest zur Überprüfung der Dichtigkeit längerer Rohrabschnitte		Einzelpackertest zur gezielten Überprüfung der Dichtigkeit eines Rohrelements
	mittels Einzelpacker	mittels Doppelpackersystem	
als Entlastungsversuch (Prüfrichtung von außen nach innen)	 <p>WSP0 (P0) WSP1 VR Pa (PPa) (P2)</p>	 <p>Pa1 (PPa1) WSP0 (P0) WSP1 (P1) DR VR Pa2 (PPa2) (P2)</p>	 <p>WSP0 (P0) WSP1 (P1) DR VR Pa1 (PPa1) Pa2 (PPa2) (P2)</p>
als Auflastungsversuch (Prüfrichtung von innen nach außen)	 <p>WSP1 WSP0 (P0) VR Pa (PPa) (P2)</p>	 <p>Pa1 (PPa1) WSP1 (P1) WSP0 (P0) DR VR Pa2 (PPa2) (P2)</p>	 <p>WSP1 (P1) WSP0 (P0) DR VR Pa1 (PPa1) Pa2 (PPa2) (P2)</p>

**Legende:**  
WSP0 Ruhewasserspiegel  
WSP1 Wasserspiegel nach Ent- bzw. Auflastung  
L → Rohrleckage  
Pa, Pa1, Pa2 Lage der gesetzten Packer  
VR zu testender Vollrohrabschnitt  
DR Druckregulierungsrohr

**Zu registrierende Druckparameter während des jeweiligen Packertests**  
P0 Hydrostatischer Druck im Hangenden des Packerkomplexes  
P1 Hydrostatischer Druck zwischen oberem und unterem Packer  
P2 Hydrostatischer Druck im Liegenden des Packerkomplexes  
PPa, PPa1, PPa2 Setzdruck der verwendeten Packer