

Wasserdruckversuche im freien Bohrloch

WD – WAP - Lugeon

von Dipl. Geol. H. Schuchmann / Dipl. Geol. M. Happel

1. Begriff



Abb.1 Bandschreibergerät



Abb.2 Bildschirmgerät

WD-Versuch, WD-Test, steht für Wasser-Druckversuch, oder Wasser-Durchlässigkeits-Versuch. Beide Bezeichnungen sind üblich, Wasser-Druckversuch ist der allgemein verwandte Begriff, die DIN 4022 T. 2 verwendet aber Wasser-Durchlässigkeits-Versuch. Ein weiterer verwendeter Name für diese Versuche ist LUGEON-Test. In Österreich wird er als WAP – Wasserabpressversuch bezeichnet.

In jedem Falle handelt es sich aber um einen Versuch im Bohrloch (im allgemeinen unausgebaut), bei dem mit Hilfe von Einfach- oder Doppelpackern und geeigneten Pumpen Wasser in das Bohrloch gepreßt wird. Dies erfolgt in definierten Tiefen bei definierten Meßstrecken und vorgeschriebenen Druckstufen.

Die dabei auftretenden Drücke und die dabei durchfließenden Wassermengen werden gemessen und registriert und anschließend ausgewertet. Die Beziehungen zwischen Druck und Durchflußmengen ergeben eine Größe für die Durchlässigkeit des Gebirges im Bereich der untersuchten Bohrlochstrecke.

2. Sinn und Zweck von WD-Versuchen

Wie bereits gesagt, sollen mit Hilfe dieser Versuche Aussagen über die Durchlässigkeit einer Formation gemacht werden.

Haupteinsatzbereiche sind heute der Talsperrenbau, die Deponiestandorterkundung und der Tunnelbau. Daneben gibt es auch noch einige weitere interessante Anwendungsbereiche für WD-Versuche, die kurz erläutert werden sollen.

Talsperrenbau:

Beim Bau neuer Talsperren sind WD-Versuche ein wichtiges Hilfsmittel bei der Standortwahl und bei der Planung und Durchführung eventuell erforderlicher Abdichtmaßnahmen. Letzteres gilt natürlich auch für die Sanierung bereits bestehender Talsperren.

Bei der Festlegung der Drücke für diese WD-Versuche orientiert man sich an der späteren Stauhöhe der Sperre und begrenzt den maximalen Verpreßdruck auf das 1,3 bis 1,5-fache des maximalen hydrostatischen Druckes. In der Regel werden mehrstufige Versuche gefahren, z.B. dreistufig, mit dem Schema D1-D2-D3-D2-D1, wobei die Differenz zwischen den einzelnen Druckstufen 1 bar bei niedrigen Drücken und 2-3 bar bei höheren Drücken beträgt. Die Dauer der einzelnen Druckstufen beträgt mindestens 3 Minuten, wobei ab dem Zeitpunkt gerechnet wird, ab dem konstante Durchfluß-/ Druckverhältnisse herrschen.

Sollte es sich aufgrund der WD-Versuche als notwendig erweisen, daß Injektions- d.h. Abdichtungsmaßnahmen erforderlich sind, stellen die Ergebnisse der WD-Versuche eine gute Grundlage für die Ermittlung der erforderlichen Mengen an Injektionsmaterial, des Bohrrasters und für die zu verwendenden Injektionsdrücke dar. Nach Abschluß der Injektionsmaßnahmen wird ebenfalls über WD-Versuche der Erfolg dieser Maßnahmen über Kontrollbohrungen überprüft.

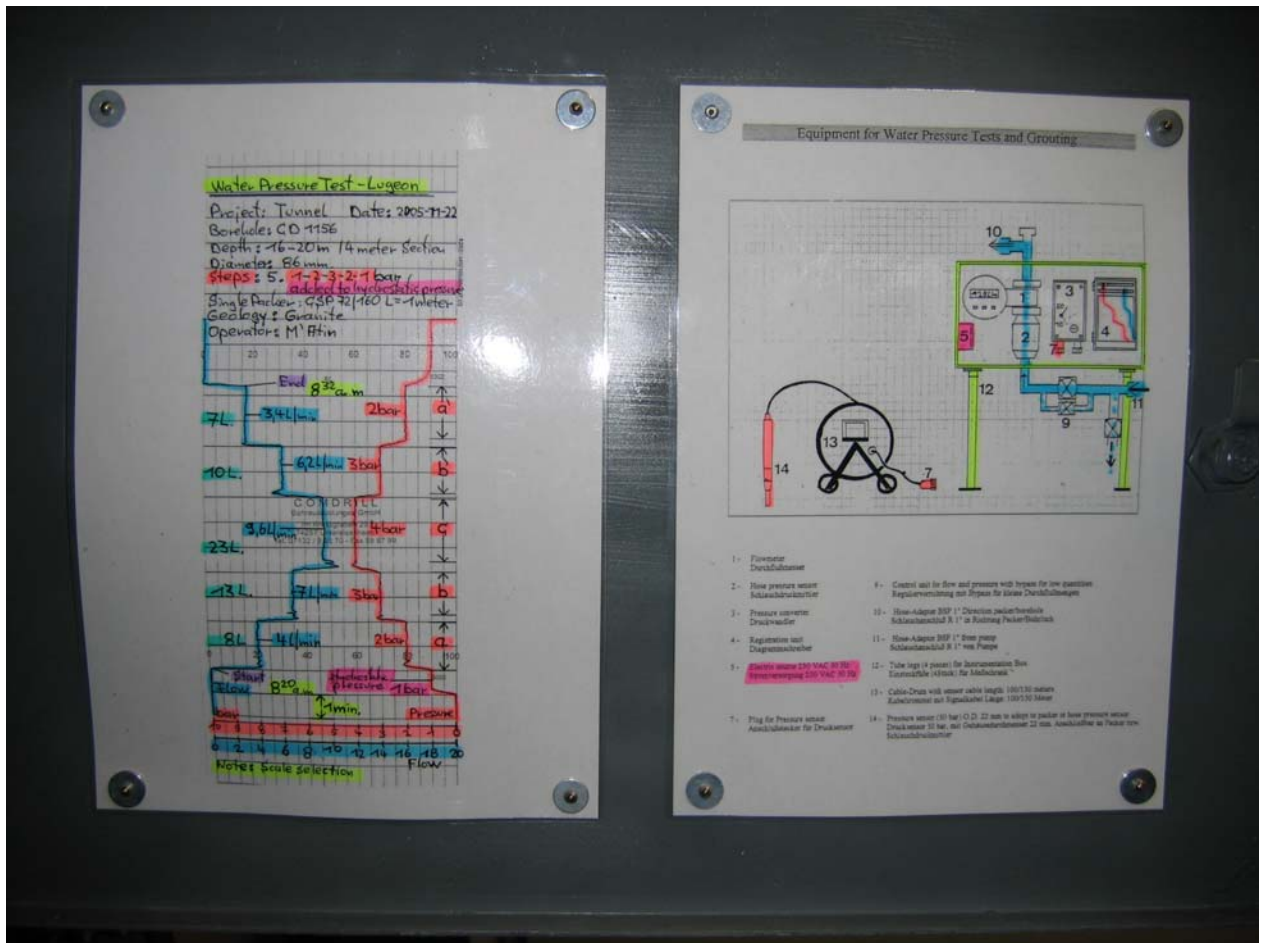


Abb.3 Komplette WD-/ WAP-Kurve auf Bandschrieb mit handschriftlicher Legende.

Deponiestandorterkundung:

Auch hier sind WD-Versuche geeignet, Aussagen über die Eignung von Standorten für geplante Deponien oder über die Sicherheit bereits bestehender Deponien zu machen. Um den Schadstoffeintrag durch Deponiewässer in tieferliegende Aquifere zu verhindern, ist eine Sohlabdichtung des Deponieraumes erforderlich. Dies kann eine natürliche Abdichtung in Form eines undurchlässigen Bodens (Tone, Lehmböden) sein, oder eine künstliche Abdichtung durch Einbau geeigneten Bodenmaterials und/oder zusätzlicher Abdichtmaßnahmen durch Bentoniteinbau, Folien o. ä.. In beiden Fällen ist die Wirksamkeit der Abdichtung zu überprüfen. Da hier geringste Durchlässigkeiten gefordert sind, muß die eingesetzte Meßapparatur auch geringe Wassermengen erfassen können. Der Versuchablauf ist etwas anders als im Talsperrenbereich. Meist werden hier einstufige Versuche mit relativ geringen Drücken gefahren, allerdings wird diese Druckstufe wesentlich länger (15-30 Min) gehalten. Weiterhin wird hier der Druckabfall nach Beendigung der Wasserzufuhr beobachtet, was bei sehr geringen Durchlässigkeiten sehr lange dauern kann.

Tunnelbau:

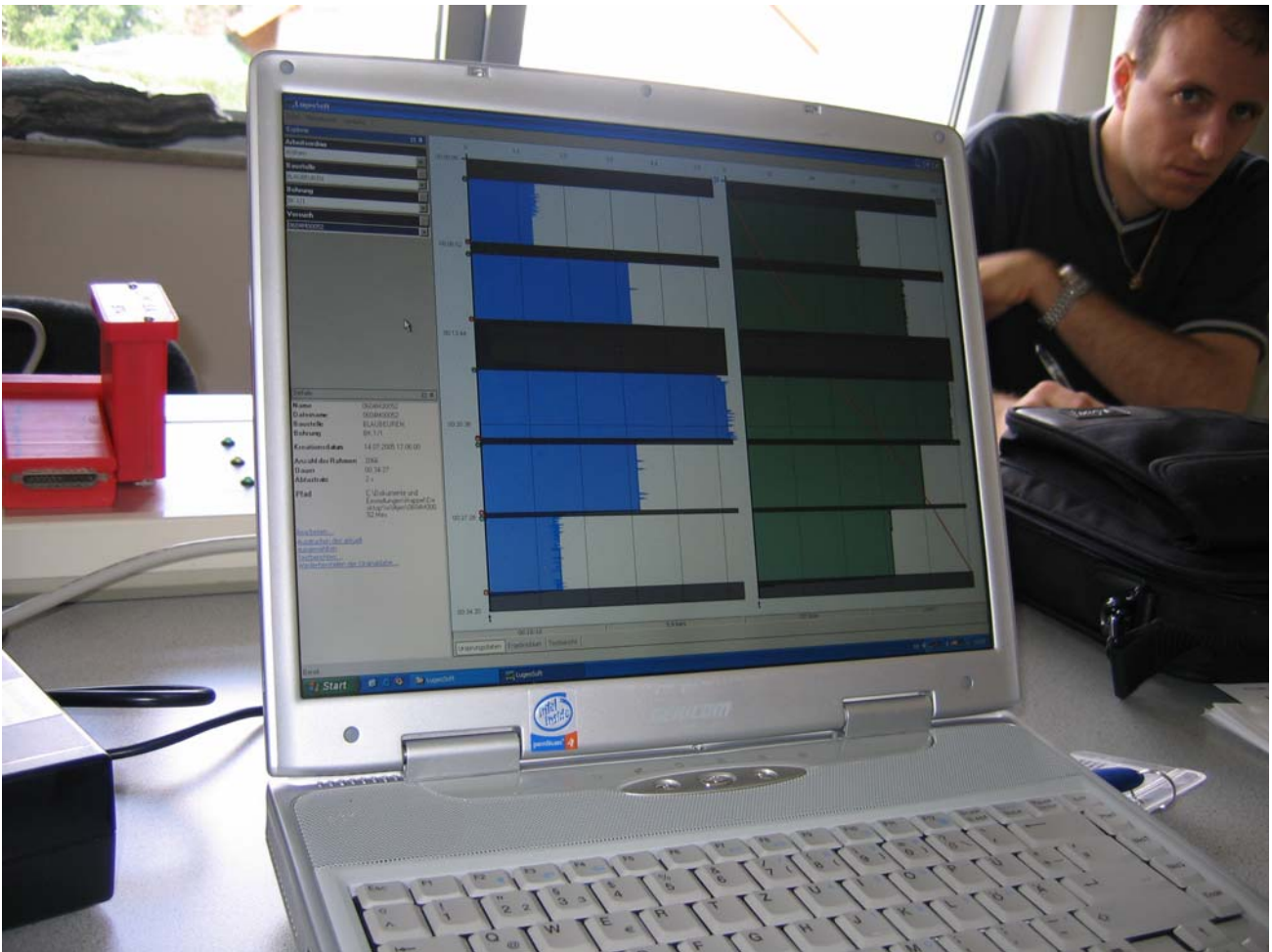


Abb.4 PC-Kurvendarstellung von WD-Daten bzw. Kurven.

Im Bereich des Tunnelbaus ergeben WD-Versuche (neben Pump-Versuchen) im Zuge der Vorerkundung Aussagen über den zu erwartenden Wasseranfall während des Tunnelvortriebs und über die zu ergreifenden Maßnahmen wie Abdichtung, Wasserhaltung etc.. Außerdem können Hinweise auf die Klüftigkeit des Gebirges gewonnen werden.

Neben diesen Haupteinsatzbereichen für WD-Versuche finden sich noch

Sonderanwendungen:

So werden zum Teil WD-Versuche durchgeführt um die Eignung eines Bohrungsabschnittes für das Einzementieren eines Ankers zu prüfen. Hierbei ist naturgemäß eine geringe Durchlässigkeit erwünscht.

Genau das Gegenteil wird erwartet, wenn man Bohrungen auf Ihre Eignung als Schluckbrunnen für Wärmepumpenanlagen oder Grundwasserabsenkungen untersucht. Sonderanwendungen für WD-Versuchsausrüstungen sind außerdem noch die Dichtig-

keitsprüfungen von Rohrverbindungen, Eingaben von Tracern bei Markierungs-Versuchen, Drucksäuerungen in der Brunnenentwicklung/-sanierung oder ähnliches.

3. Versuchsanordnung:

Die Ausrüstung, die zur Durchführung eines WD-Versuches benötigt wird, besteht aus drei Einheiten:

- **WD-Meßgerät**
- **Packer und Steigleitung**
- **Wasserversorgung**



Abb.6 Packer mit Aufnehmerweiche und Drucksonde



Abb.7 WD-Geräteausrüstung mit Kabeltrommel, Packern, Kompressor und sonst. Zubehör

3.1 WD-Meßgerät

Das WD-Meßgerät besteht im wesentlichen aus den drei Elementen:

Wassermengenmessung

Druckmessung

Registrierung der Messwerte



Abb.8 WD-Messbetrieb mit Kreiselpumpe, Zuleitungen und Bohrlocheinbau

Wassermengenmessung:

Wurde in früheren Zeiten die Wassermenge über Wasseruhren mit Taumelscheiben oder Flügelrädern oder ähnlichem gemessen, hat sich heute nahezu überall der Magnetisch-Induktive-Durchflußmengenmesser, kurz MID, durchgesetzt. Hier erfolgt die Messung rein elektronisch, d.h. es befinden sich keine beweglichen Teile des Meßgerätes im Kontakt mit der zu messenden Flüssigkeit. Damit ist es möglich auch verschmutzte Flüssigkeiten zu messen, ohne das es zu Beschädigungen bzw. zu starkem Verschleiß am Meßgerät kommt.

Das Prinzip der magnetisch-induktiven Durchflußmengenmessung beruht auf dem Faradayschen Induktionsgesetz, nach dem beim Durchgang eines elektrischen Leiters durch ein von außen anliegendes Magnetfeld in diesem eine Spannung induziert. Der Leiter ist in diesem Fall unsere zu messende Flüssigkeit. Die induzierte Spannung ist lediglich abhängig von der Durchflußgeschwindigkeit. Eine minimale Leitfähigkeit (ca. 5 μ

Siemens/cm des Meßstoffes ist Voraussetzung. Normales Wasser erfüllt diese Voraussetzung jedoch immer.

Die Meßgenauigkeit der MID ist sehr hoch. Der Meßfehler liegt bei einer Fließgeschwindigkeit zwischen 0,3 m/sec. und 12 m/sec. bei weniger als $\pm 0,5$ % vom Meßwert. Da die Durchflußgeschwindigkeit bei konstanter Menge mit steigendem Rohrquerschnitt sinkt, ist der Meßbereich eines MID abhängig von seiner Nennweite. Sollen also kleine Mengen exakt gemessen werden, empfiehlt sich der Einsatz kleinerer Durchflußmengenmesser.

Die Standard-Nennweite beträgt bei den WD / WAP Meßgeräten 25 mm und ist ausgelegt für Durchflußmengen bis 150 bzw. 200 l/min. Dies reicht in aller Regel für die Standardmengen von 1 bis 150 l / min.. Bei kleineren Fließraten sollten wegen möglicher Messfehler auch kleinere MID verwendet werden (DN 6 z. B.).

Die Steuerung der Wassermenge und somit auch des Druckes erfolgt über die Einlaufkombination außerhalb des Gerätes. Es befinden sich hier zwei Schieber über die Rücklauf und Vorlauf geregelt werden können. Für Kleinmengen kann über einen Bypass von 1/4" geregelt werden.

Druckerfassung:

Die Druckerfassung bei WD-Tests sollte in der Teststrecke erfolgen, um Fehler durch Reibungsverluste in den Rohrleitungen etc. und umständliche Umrechnungen zu vermeiden. Die Erfassung über Manometer am Bohrlochkopf, wie sie früher erfolgte, ist daher kaum geeignet, zumal unter bestimmten Voraussetzungen ein erheblicher Druck in der Verpreßstrecke herrschen kann, obwohl das Manometer am Bohrlochkopf überhaupt keinen Druck anzeigt. Umgekehrt zeigt das Manometer bei hohen Aufnahmen (> 100 L / min.) einen Staudruck (Druckverlust) an, während die Sonde im Bohrloch erheblich niedrige Drücke meldet.

Die Druckerfassung erfolgt über piezoresistive Druckmeßsonden. Das Meßprinzip beruht auf der Änderung des elektrischen Widerstandes eines Meßfühlers bei Änderung des Außendruckes. Diese Sensoren sind temperaturkompensiert und besitzen einen Meßfehler von weniger als 0,2 - 0,5 % vom Meßbereichsendwert.

Für barometrische Korrekturen kann die Absolutdrucksonde vor Testbeginn kalibriert werden.

Die Verbindung zwischen Drucksensor und Umformer erfolgt über ein spezielles, gepanzertes Meßkabel. In der Standardausführung verfügen die Geräte über eine 150 m Kabel, Sonderlängen sind aber jederzeit möglich.

Um den Druck tatsächlich in der Teststrecke zu erfassen, muß der Sensor in das Bohrloch eingebaut werden. Dies kann bei starren Steigleitung nach dem Packereinbau erfolgen. Der Sensor wird in die Steigleitung eingelassen, am Packer wird eine Landerohr angebaut, das verhindert, daß die Sonde aus dem Packer herausgefahren und eventuell beim Ziehen abgerissen wird. Nach oben wird das Kabel über eine Stopfbüchse abgedichtet.

Wird eine flexible Steigleitung (Schlauch, PE Rohr) verwendet, wird im allgemeinen der Sensor direkt oberhalb des Packers befestigt. Die Druckverbindung erfolgt über die sog. Aufnehmerweiche. Das Meßkabel wird dann beim Einbau mitgeführt. Anwendung findet diese Methode bei kleinkalibrigen, geneigten bis horizontalen Bohrungen.

Registriereinheit:

Die Registriereinheit ist die eigentliche Ausgabereinheit der WD-Anlage. Hier werden die Ausgangssignale für Durchfluß und Druck aufgezeichnet. Ältere WD / WAP – Geräte besitzen noch Diagrammpapierschreiber. Moderne Anlagen verfügen über einen Bildschirm, der die Stunden von Druck, Fluß und Menge fortlaufend anzeigt, sowie die Zeiten, Stufen und momentanen Werte alpha-numerisch darstellt. Die Papierstreifenerfassung muß handschriftlich mit einer Legende versehen werden. Für den Bediener erfordert dies schnelles Mitdenken und Schreiben um eine spätere Auswertung überhaupt zu ermöglichen.

Die elektronische Darstellung und Speicherung erlaubt eine Weiterbearbeitung der Messwerte. Spezielle Lugeon- Programme erlauben eine schnelle und übersichtliche Auswertung.

Zum Betrieb der WD-Anlage ist 230 V Wechselstrom erforderlich, die Leistungsaufnahme der WD-Anlage liegt bei weniger als 100 Watt. Es ist eine sinusförmige Spannung mit genauer Frequenz von 50 Hz. erforderlich. Steht kein Netzstrom zur Verfügung und ist das verwendete Aggregat nicht in der Lage, die Anforderungen hinsichtlich der Stabilität zu erfüllen, kann ein sogenannter Wechselrichter verwendet werden, der 12 oder 24 V Gleichspannung in 230 V Wechselspannung wandelt.

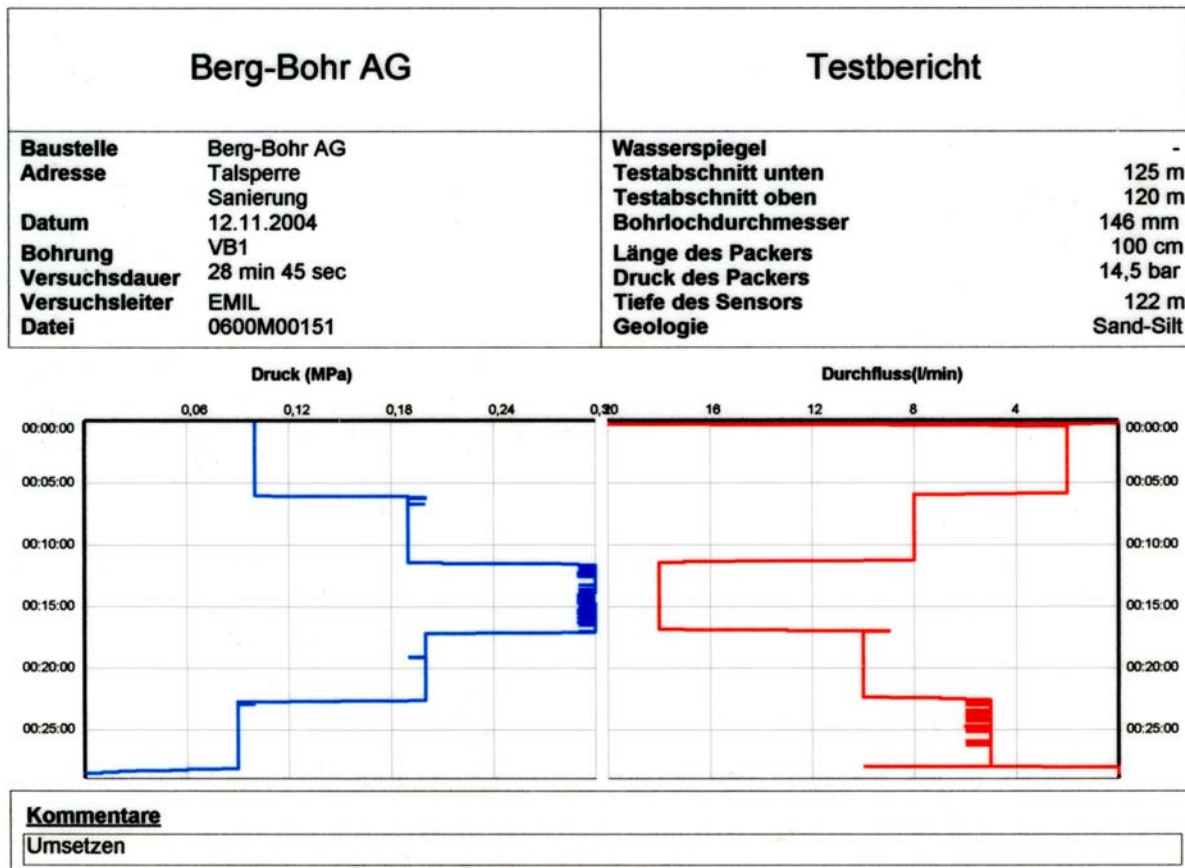
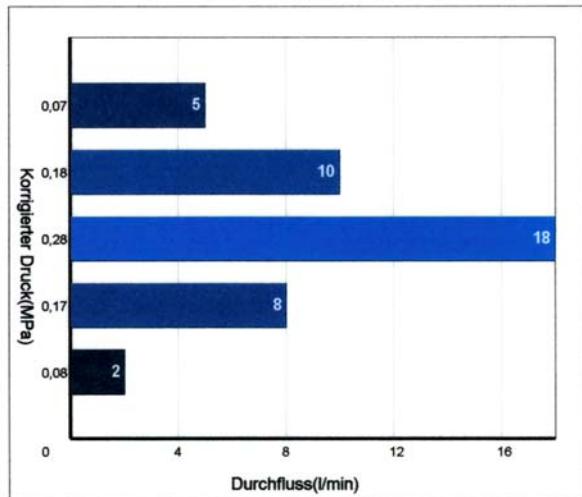
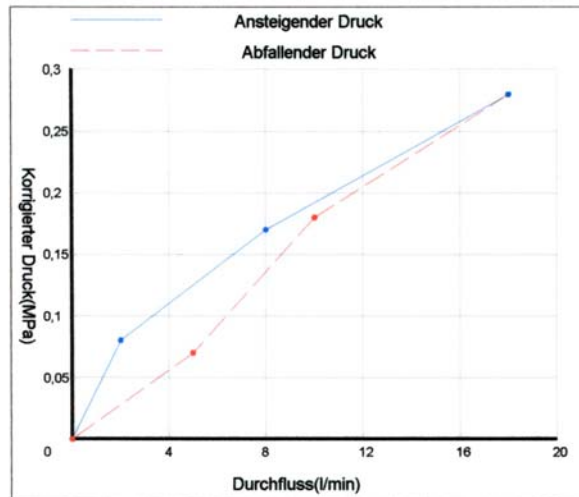


Abb. 9 Darstellung der Druck-/Durchflussmengen-Kurve mit der Lugeon-Software

Berg-Bohr AG		Bericht	
Baustelle	Berg-Bohr AG	Wasserspiegel	-
Adresse	Talsperre Sanierung	Testabschnitt unten	125 m
Datum	12.11.2004	Testabschnitt oben	120 m
Bohrung	VB1	Bohrlochdurchmesser	146 mm
Versuchsdauer	28 min 45 sec	Länge des Packers	100 cm
Versuchsleiter	EMIL	Druck des Packers	14,5 bar
Datei	0600M00151	Tiefe des Sensors	122 m
		Geologie	Sand-Silt

Gemessener Druck (MPa)	Dauer (hh:mm:ss)	Wasserstand (m)	Volumen (l) (Anfang/Ende)		Durchfluss (l/min)	Druckabfall (MPa)	Korrigierter Druck(MPa)	Durchfluss / Länge des Testabschnitt
0,1	00:05:02	-	2	16	2	-	0,08	0,4
0,19	00:05:02	-	19	64	8	-	0,17	1,6
0,3	00:05:04	-	72	167	18	-	0,28	3,6
0,2	00:05:00	-	173	230	10	-	0,18	2
0,09	00:05:02	-	233	264	5	-	0,07	1



Kommentare			
Kein Umlauf			
Ergebnisse			
Fluss bei 1MPa	64,29 l/min	Lugeon	12,86
Länge des Testabschnittes	5 m		

Abb.9 Auswertekurve eines WD-Tests mit der Lugeon-Software

3.2 Packer und Steigleitung

Um in der zu testenden Strecke einen Druck aufbauen zu können ist es notwendig, die Bohrungen nach oben, unter Umständen nach oben und unten abzudichten.

Dies erfolgt mit Hilfe von Einfach- und Doppelpackern. Mechanische Packer kommen aufgrund ihrer schwierigen Handhabung in größeren Tiefen kaum zum Einsatz, in der Regel verwendet man pneumatisch betätigte Schlauchpacker.

Schlauchpacker bestehen aus einem Zentralrohr über das eine Schlauchmanschette geschoben ist. Dieser Schlauch besteht aus Naturkautschuk und besitzt zwischen zwei Gummilagen eine Stahldrahtarmierung, die so ausgelegt ist, daß sie sich beim radialen Expandieren des Schlauches mit ausdehnen kann. Dadurch verkürzt sich aber der Schlauch in Längsrichtung. Das heißt, dass z. B. ein Packer mit 1 Meter Schlauchlänge sich beim Ausdehnen von 72 auf 150 mm um ca. 250 mm verkürzt.

Die Schlauchenden sind in Stahlhülsen eingepreßt, ähnlich wie bei Hydraulikschläuchen. An einer Seite des Packers sind diese Schlauchverbindungen fest mit dem Packer verschraubt, auf der anderen Seite befindet sich eine Gleithülse die abgedichtet auf dem Zentralrohr läuft und somit die Verkürzung des Packers beim Expandieren ermöglicht.

Das Expandieren des Packers erfolgt in der Regel mit Druckluft aus Preßluftflaschen oder Kleinkompressoren mit 20 bar. Als Expansionsmedium sind auch Wasser oder andere Flüssigkeiten geeignet, allerdings sind hierbei hydrostatische Effekte zu berücksichtigen, die unter Umständen verhindern können, daß der Packer wieder auf seine Ruhezgröße zurück geht.

Es können zwei Packer zu einem Doppelpacker kombiniert werden, die Luftzuführung für den unteren Packer wird durch den oberen Packer durchgeführt. Der Zwischenabstand bleibt beim Expandieren konstant.

Einfachpacker werden eingesetzt, wenn im Zuge des Bohrfortschrittes WD-Versuche gegen die Bohrlochsohle durchgeführt werden. Werden die WD-Versuche nach Abschluß einer Bohrung gemacht und sollen einzelne Abschnitte in verschiedenen Tiefen getestet werden, kommen Doppelpacker zum Einsatz.

Erhältlich sind diese Packer in den Durchmessern von 30 mm bis 170 mm (bezogen auf den Ruhedurchmesser) her. Der Arbeitsdurchmesser reicht bis 360 mm. Die Schlauchpacker tragen die Bezeichnung CSP und dahinter drei Zahlen, die Ruhe-, maximalen Arbeitsdurchmesser und Gummilänge im Ruhezustand in mm bedeuten. CSP 85/185/1000 ist also ein Packer mit 85 mm Ruhedurchmesser 185 mm max. Arbeitsdurchmesser und 1000 mm Gummilänge.

Der zum Expandieren benötigte Druck wird wie folgt errechnet:

Aus der zugehörigen Aufblaskurve wird der Druck, der benötigt wird um den Packer auf den Bohrlochdurchmesser zu bringen, abgelesen (Anlegedruck). Zu diesem Wert wird der hydrostatische Druck addiert, der in der Setztiefe des Packers herrscht und der maximale Verpreßdruck beim WD-Versuch. Zu dieser Summe wird noch ein Sicherheitszuschlag von 20 - 30 % gegeben. Dabei ist sicherzustellen, daß der hydrostatische Druck, d.h. der Wasserspiegel im Bohrloch nach dem Spannen des Packers nicht ansteigt und daß der jetzt errechnete Wert minus dem hydrostatischen Druck unterhalb des maximal zulässigen Arbeitsdruckes für den Packer bei dem entsprechenden Durchmesser liegt. Der Druckminderer an der Preßluftflasche kann jetzt entsprechend eingestellt werden.

Beispiel:

Bohrlochdurchmesser 146 mm

Bohrlochtiefe 120 m

Wasserstand 75 m u GOK

Packereinbautiefe 115 m

max. Versuchsdruck 5 bar

Packertyp CSP 85/185/1000

Anlegedruck (siehe Herstellerkatalog)

3 bar

hydrostat. Druck am Packer	4 bar
max. Verpreßdruck	5 bar
Gesamtdruck	12 bar
+ 25 % Sicherheitszuschlag	3 bar
Expansionsdruck	15 bar
Nettoexpansionsdruck ohne hydrostat. Druck	11 bar

Der maximal zulässige Arbeitsdruck für den CSP 85/185 liegt bei 146 mm bei ca. 17 bar , der Einstelldruck ist demnach zulässig.

Als Steigleitung für diese Packer kommen alle möglichen Leitungen in Frage, die auch für den Einbau von U-Pumpen verwendet werden, d. h. Gewinderohre, Kunststoffsteigleitungen, PE-Rohre. Im letzten Fall sollte der Packer aber auf jeden Fall durch ein mitgeführtes Stahlseil gesichert werden. Die Nennweite von 25 mm sollte nicht unterschritten werden, um Rohrleitungsverluste zu vermeiden.

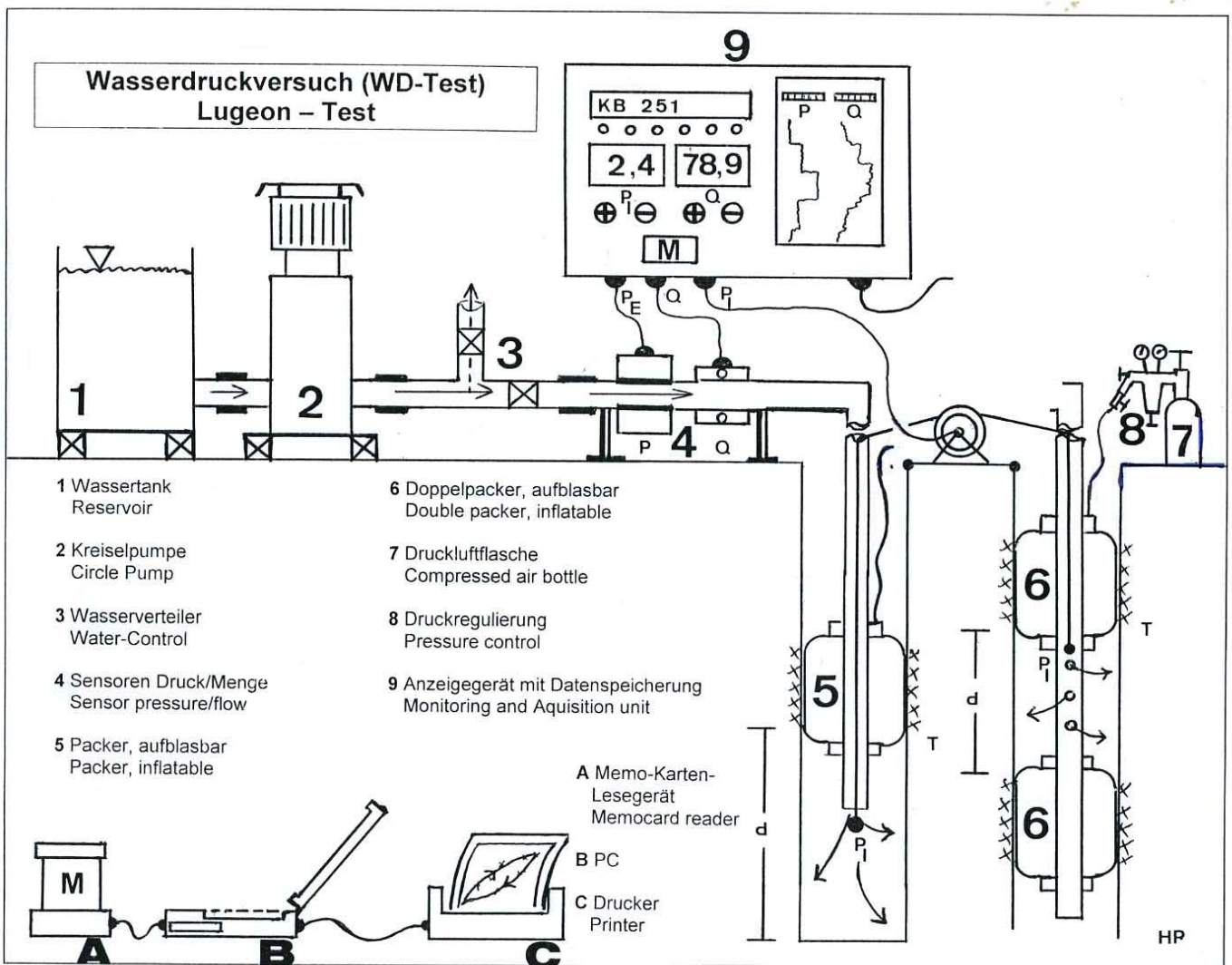


Abb.11 Versuchsaufbau für WD-Versuche

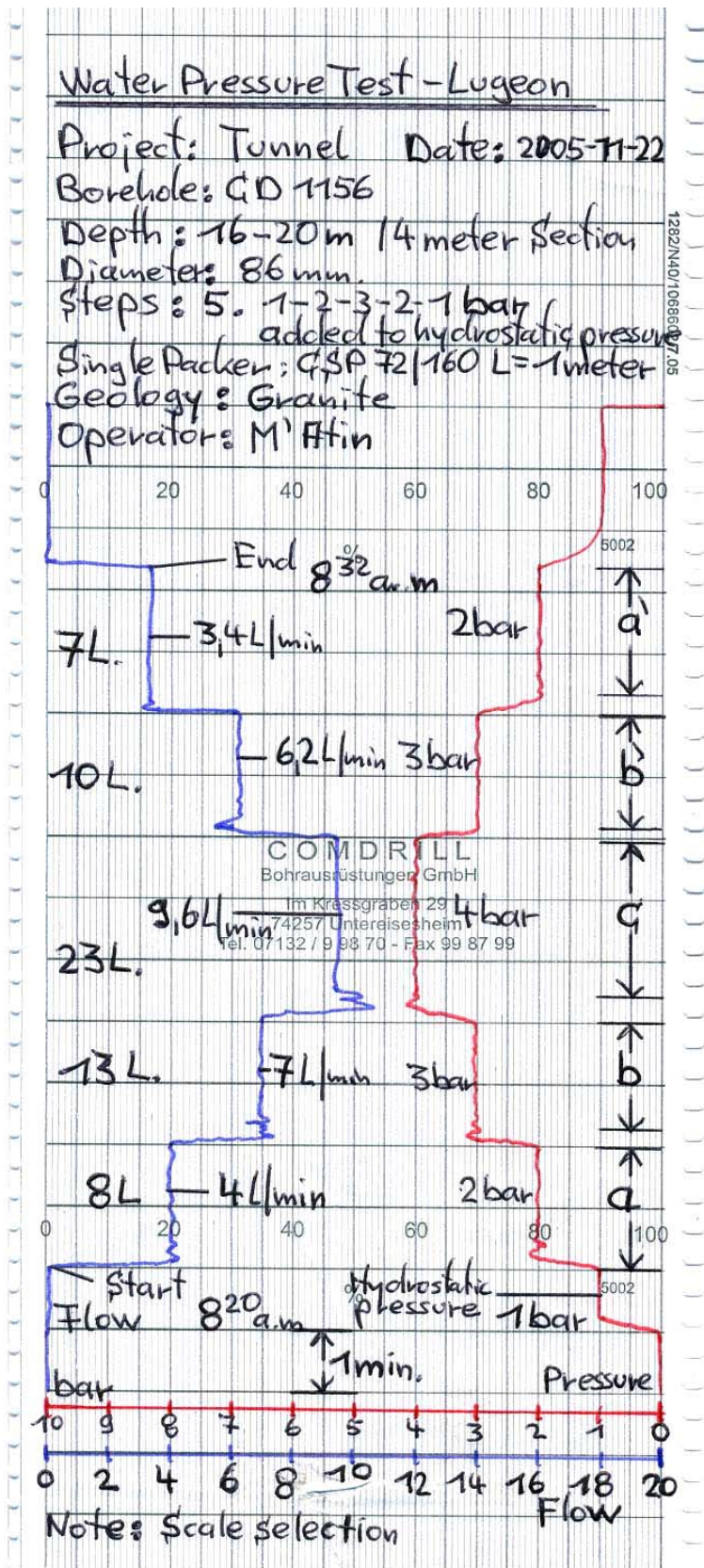


Abb.12 Kurven von Druck und Fluß mittels Faserschreiber auf Diagrammpapier

3.3 Wasserversorgung

Je nach Dauer des Versuches und nach Geologie, werden für einen WD-Versuch bis zu mehreren Kubikmetern Wasser benötigt. Da in der Regel kein Anschluß an das öffentliche Wassernetz auf der Baustelle vorhanden ist und ein WD-Versuch ohne Unterbrechungen ablaufen sollte, ist eine entsprechende Kapazität an Vorratsbehältern, Wasserfahrzeugen etc. erforderlich. So erfordert z. B. ein WD-Versuch mit ca. 20 L / min. und 5 Stufen à 10 Minuten einen Wasservorrat von mindestens 1.000 Liter!

Das Einpressen des Wassers in das Bohrloch erfolgt in der Regel über eine Pumpe. Die Dimensionierung dieser Pumpe hinsichtlich Druck und Menge richtet sich nach den Versuchsvorgaben. Auf jeden Fall muß eine Pumpe verwendet werden, die kontinuierlich und druckstoßfrei fördert. Meist finden Kreiselpumpen oder Exzenter-Schneckenpumpen Verwendung

Von der Pumpe führt eine Schlauchleitung zur WD-Anlage (Vorlauf) und weiter zur Steigleitung bzw. Packer. Eine weitere Leitung läuft von der WD-Anlage zurück zum Vorratsbehälter (Rücklauf).

4. Versuchsdurchführung:

Vor der Versuchsdurchführung hat sich der Geräteführer anhand einer Einsatzliste mit der Vollständigkeit der Ausrüstung vertraut gemacht und die Vollfunktion überprüft.

Vor Versuchsbeginn sollte das Gerät ca. 10 - 15 min warmlaufen, insbesondere wenn das Gerät im Winter eingesetzt wird. Während dieser Zeit sollte das Druckmeßsystem geprüft werden, insbesondere wenn der Drucksensor zusammen mit dem Packer eingebaut wird. Solange der Drucksensor sich außerhalb des Bohrloches befindet wird der Nullpunkt justiert. Der Wasserspiegel im Bohrloch und die tatsächliche Bohrtiefe werden jetzt gemessen und festgehalten. Danach wird der Packer eingebaut und auf Position gebracht. Jetzt wird wiederum der Wasserspiegel festgehalten, der sich eventuell durch Verdrängung des Packers und der Steigleitung erhöht haben kann. (Ist er niedriger geworden, hat man es wohl mit einem Spülungswasserstand vom Bohren zu tun, der sich noch nicht mit dem eigentlichen Grundwasserstand ausgeglichen hat. In diesem Fall ist die Feststellung des hydrostatischen Druckes nicht möglich). Der Anbau eines Testventils am Packer erlaubt Messungen durch den Einfluss der hydraulischen Säule in der Steigleitung auf den Testabschnitt im Bohrloch. Die häufig anzutreffende Praxis, den freien Durchlauf bei nicht gespanntem Packer zu testen, sollte nicht angewendet werden, da hierdurch ebenfalls Verfälschungen beim hydrostatischen Druck entstehen können.

Falls der Drucksensor nicht schon beim Packereinbau miteingebaut wurde, wird er jetzt in die Steigleitung abgelassen. Wenn er auf der richtigen Position ist, sollte der rechnerische hydrostatische Druck auch auf dem Meßgerät angezeigt werden. Der hydrostatische Druck ist der Druck der sich aus der Differenz zwischen Wasserspiegel und Position Drucksensor ergibt. Liegt der Wasserspiegel unterhalb des Sensors, kann selbstverständlich kein Druck gemessen werden. In unserem Beispiel von vorhin lag der Sensor (Packer) bei 115 m der Wasserspiegel bei 75 m u GOK, d.h. es befinden sich 40 m Wassersäule oberhalb des Sensors, dies entspricht bei reinem Wasser 4 bar.

Die Verpreßpumpe wird installiert, die entsprechenden Schlauchverbindungen zwischen Pumpe und WD-Gerät, WD-Gerät und Packer und WD-Gerät Wasserbehälter werden hergestellt. Dabei ist darauf zu achten, daß der Zulauf zur WD-Anlage unten installiert wird, um eine luftfreie Füllung der Meßstrecke zu gewährleisten. Nur dann kann das Gerät richtig messen. Solange sich Luft in der Meßstrecke befindet, kann der MID völlig irreguläre Werte anzeigen und ausgeben.

Auf dem Protokollstreifen sollten, am besten mit Bleistift, folgende Angaben vermerkt werden:

Datum
Bohrungsnummer/Projekt
Bohrtiefe
Bohrdurchmesser
Packereinbautiefe (Packerunterkante)
Teststrecke (bei Einfachpacker = Packerunterkante bis Bohrlochsohle, bei Doppelpackern Position der Packer bzw. Packerabstand)
Position des Drucksensors (oberhalb des Packers, unterhalb des Packers)
Wasserspiegel vor Versuch
Hydrostatischer Druck
Uhrzeit bei Versuchsbeginn
Anmerkungen zur Geologie
Name des Versuchsdurchführenden

Der Papiervorschub am Schreiber wird eingeschaltet, die Uhrzeit vermerkt. Bei vollelektronischen Systemen wird per Knopfdruck die Aufzeichnung gestartet.

Der Packer wird nun gespannt. Dies kann ein oder zwei Minuten dauern und ist meist durch einen geringfügigen Druckanstieg auf dem Meßstreifen zu erkennen, falls dieser sich bereits im Wasser befunden hat.

Der Wasserspiegel wird nochmals gemessen und festgehalten. Zweckmäßigerweise läßt man das Lichtlot in der Bohrung knapp oberhalb des Wasserspiegels hängen, sodaß ein Ansteigen des Wassers oberhalb des Packers durch Umläufigkeit sofort bemerkt werden kann.

Der Vorlaufschieber am Einlauf wird geschlossen, der Rücklaufschieber voll geöffnet und die Pumpe eingeschaltet. Hängt die Pumpe am gleichen Stromkreis wie das Meßgerät, sollte dieses während des Pumpeneinschaltens kurz abgestellt werden um Störungen durch Spannungsspitzen zu vermeiden. Das Wasser wird nun im Kreislauf gepumpt.

Um den freien Durchlauf durch das Meßgerät zu prüfen sollte die Schlauchverbindung zum Packer bzw. zur Steigleitung nochmals gelöst werden, der Vorlauf völlig geöffnet und der Rücklauf geschlossen werden. Jetzt kann die maximale Förderleistung der Pumpe festgestellt werden und gleichzeitig wird das Schlauchsystem entlüftet. Der Rücklauf wird wieder geöffnet, der Vorlauf geschlossen, der Schlauch wieder angeschlossen und der elektromechanische Zähler auf Null gesetzt.

Jetzt beginnt mit dem langsamen Öffnen des Vorlaufes der eigentliche Versuch. Durch dosierte Wasserzugabe wird der Druck in der Meßstrecke auf den vorgesehenen Wert

gebracht und dort gehalten. Allzu heftiges Regulieren ist dabei zu vermeiden, insbesondere sollte man nicht über den vorgesehenen Druck hinausschiessen. Hier kann der Anbau eines Wasserdruckminderers auf der Messgeräte-Ausgangsseite sehr hilfreich sein. Es muß versucht werden, möglichst konstante Druck-/Durchflußmengen zu erreichen, dabei ist es unerheblich, ob der erreichte Druck geringfügig von den Vorgaben abweicht.

Das vorgesehene Versuchsprogramm wird nun durchgeführt, d.h. die einzelnen Druckstufen werden abgefahren, dabei sind die Werte des elektromechanischen Zählers beim Beginn und am Ende jeder Druckstufe zeitgetreu zu notieren. Bei vollelektronischen Systemen wird durch das Drücken der Knöpfe „Start Druckstufe“ und „Ende Druckstufe“ jeder Messabschnitt genau bestimmt und markiert. Zwischendurch ist auch der Wasserspiegel im Bohrloch zu kontrollieren, insbesondere ist auf eventuelle Umläufigkeiten zu achten. Weiterhin ist auf dem Protokollstreifen zu vermerken, ob und wann der Meßbereich gewechselt wurde. Nach der letzten Druckstufe sollte der Druckabfall noch weiter gemessen werden, bis er konstant bleibt.

Bei Beendigung des Versuches ist nochmals der Wasserspiegel zu messen und die Uhrzeit zu vermerken.

Gerät und Pumpe werden abgeschaltet, der Packer wird entspannt und ausgebaut, Schläuche und Meßgerät werden entwässert.

Der WD-Versuch ist somit komplett abgeschlossen, das Meßprotokoll, d.h. Der Diagrammstreifen wird aus dem Gerät genommen, eventuell noch mal sauber beschriftet und dem Auftraggeber übergeben. Bei Datenspeichersystemen werden die Messwerte auf einer Memokarte ausgelesen.

5. Sonstige hydraulische Versuche im Bohrloch:

Neben WD-Versuchen gibt es noch verschiedene andere Versuche, mit denen sich Aussagen über die hydraulischen Verhältnisse im Bohrloch machen lassen.

Im Wesentlichen sind dies:

Auffüllversuche, Schluckversuche

Slug- und Bailtests

Pumpversuche

Flowmeter-, Temperatur- und Salinitätsmessungen

Auffüllversuche und Schluckversuche

Bei diesen Versuchen handelt es sich im Prinzip auch um eine Art von Wasser-Druckversuchen. Im Gegensatz zu den eigentlichen WD-Tests wird aber hierbei der Überdruck lediglich durch Auffüllen des Bohrloches oberhalb des Wasserspiegels mit Wasser erreicht.

Bei Auffüllversuchen mit fallender Druckhöhe wird das Bohrloch einfach aufgefüllt und dann mit Hilfe des Lichtlotes der Abfall des Wasserspiegels gemessen.

Bei Auffüllversuchen mit konstanter Druckhöhe wird der Wasserspiegel konstant gehalten, zum Beispiel auf Höhe der GOK, und die Wassermenge gemessen, die zum Halten des Wasserspiegels benötigt wird.

Diese Auffüllversuche sind in der Regel leicht durchzuführen, insbesondere der mit fallender Druckhöhe, haben aber gegenüber dem WD-Test den Nachteil, daß sie in den anwendbaren Drücken sehr eingeschränkt sind. In der Regel beschränkt sich dies auf die Druckdifferenz zwischen GOK bzw. Verrohrungsoberkante und Wasserspiegel.

Slug- und Bailtests

Bei Slugtests wird in die Bohrung ein Verdrängungskörper eingelassen. Dadurch steigt der Wasserspiegel schlagartig an. Der darauffolgende Abfall wird wiederum gemessen. Beim Bailtest wird dieser Verdrängungskörper rasch aus dem Wasser gezogen, wodurch der Wasserspiegel schlagartig absinkt. In diese Falle wird der Wiederanstieg gemessen. Vor beiden Messungen muß der Bohrlochwasserspiegel mit dem tatsächlichen Grundwasserspiegel ausgeglichen sein.

Pumpversuche

Bei Pumpversuchen wird in die Bohrung oder den ausgebauten Brunnen eine Unterwasserpumpe eingebaut und anschließend einem vorgegebenen Programm folgend, Wasser gefördert. Die dabei geförderten Mengen und die dadurch verursachte Absenkung des Wasserspiegels im Bohrloch und eventuell in umliegenden Grundwassermeßstellen werden gemessen. Daneben werden meist auch noch chemisch-physikalische Parameter des geförderten Wassers wie Temperatur, Leitfähigkeit, PH-Wert etc. gemessen. Pumpversuche sind wohl die meist verwendeten hydraulischen Versuche.

Flowmeter-, Salinitäts-(Leitfähigkeits-), Temperaturlog

Diese Messungen werden auch unter dem Begriff produktionstechnische Messungen zusammengefaßt und finden hauptsächlich im Brunnenbau ihre Anwendung. Bei all diesen Messungen wird eine Sonde durch den durch eine Bohrung erschlossenen Grundwasserkörper gezogen und dabei die entsprechenden Meßwerte teufengetreu aufgezeichnet. In der Regel werden diese Versuche zunächst im Ruhezustand gefahren, d.h. die Messungen werden nach Abschluß der Bohrung durchgeführt. Danach wird eine U-Pumpe kurz unterhalb des Ruhewasserspiegels eingebaut und damit eine gewisse Wassermenge gefördert. Die Messungen werden jetzt wiederholt. Treten jetzt in der Meßkurve markante Sprünge auf, weisen diese auf Zutritte von Grundwasser in die Bohrung hin. Damit lassen sich wasserführende von wasserstauenden Schichten innerhalb der Bohrung unterscheiden, was für einen späteren Ausbau der Bohrung mit Filter- und Aufsatzrohren wichtige Hinweise gibt.

Neben diesen häufiger angewendeten Versuchen sollen noch wenigstens dem Namen nach erwähnt werden:

Drill-Stem-Tests

Pulse-Tests Einschwingversuche

Bei all diesen Versuchen handelt es sich um relativ seltene Verfahren, die entweder spezieller Voraussetzungen hinsichtlich der Beschaffenheit der Bohrung oder des Ausbaues bedürfen, oder die einen sehr hohen Aufwand mit sich bringen und die nur von Spezialfirmen durchgeführt werden und die den Rahmen üblicher Bohrarbeiten bei weitem sprengen. Dies gilt aber bereits auch für die produktionstechnischen Versuche.

6. Vorteile und Grenzen von WD-Tests

Der Vorteil von WD-Tests gegenüber allen anderen hydraulischen Bohrlochversuchen, mit Ausnahme der Auffüllversuche, liegt darin, daß er unterhalb und oberhalb des Wasserspiegels durchzuführen ist. Ein Pumpversuch läßt sich nun mal nur machen, wenn Wasser in der Bohrung ist, das gleiche gilt auch für die meisten anderen Verfahren.

Es lassen sich mit dem WD-Test mit einem vertretbaren technischen Aufwand in relativ kurzer Zeit gute Aussagen über die Durchlässigkeiten innerhalb einer Bohrung machen. Dabei ist es durch den Einsatz der Packer (gegebenenfalls auch Doppelpacker) möglich, die Teststrecken zu variieren und so sehr gezielt einzelne Abschnitte des Bohrloches zu testen. Dabei läßt sich ein relativ großer Bereich von Durchlässigkeiten abdecken.

Ein weiterer Vorteil ist, daß die Versuche nach kurzem Training vom Bohrpersonal selbst durchgeführt werden können und somit keine Wartezeiten auf Serviceunternehmen anfallen.

Natürlich ist die Reichweite dieser Versuche auf den Bohrungsbereich beschränkt, das gleiche gilt jedoch für die meisten anderen Verfahren ebenso.

Grenzen haben die WD-Tests in erster Linie dort, wo die Stabilität des Bohrloches gefährdet bzw. eine Abdichtung der Packer nicht gewährleistet ist. So wird ein WD-Test im Lockergestein nur bedingt möglich sein. Das gleiche gilt für stark gestörte Bereiche im Festgestein.