

5. Meßmethoden bei Pumpversuchen

Grundlage jeder hydrogeologischen Erkundung sind die Beobachtung und Messung von Zuständen und Verhaltensweisen. Auch für den Erfolg und die Auswertbarkeit von Pumpversuchen sind die Zuverlässigkeit und Genauigkeit bei der Durchführung von Messungen von ausschlaggebender Bedeutung. Wasserstands- und Wassermengenummessungen haben dabei besonderen Vorrang.

5.1. Grundwasserstandsmessungen

Unter Grundwasserstand versteht man die Höhe des Grundwasserspiegels unter, in Ausnahmefällen auch über einem Meßpunkt (z. B. Brunnen- oder Rohroberkante). Da es sich um eine Längenmessung handelt, dient als Meßgerät im allgemeinen ein mit metrischer Einteilung versehenes Band (Bandmaß). Dieses Band wird in die Meßstelle hineingelassen. Das Erreichen des Wasserspiegels wird durch ein angehängtes Gerät mechanisch, akustisch, optisch oder elektrisch angezeigt. Man unterscheidet dabei ambulante Geräte für Einzelmessungen und stationär installierte Geräte für kontinuierliche Messungen. Für kontinuierliche Wasserstands- und Wassermengenummessungen bei größeren PV-Gruppen eignen sich automatische Meß- und Registrierungseinrichtungen. Obwohl derartige Meßgeräte bereits existieren, werden auf Grund der Forderungen bezüglich Genauigkeit und Störfreiheit noch überwiegend manuell handhabbare ambulante Geräte verwendet. Größte Bedeutung besitzen die Brunnenpfeile

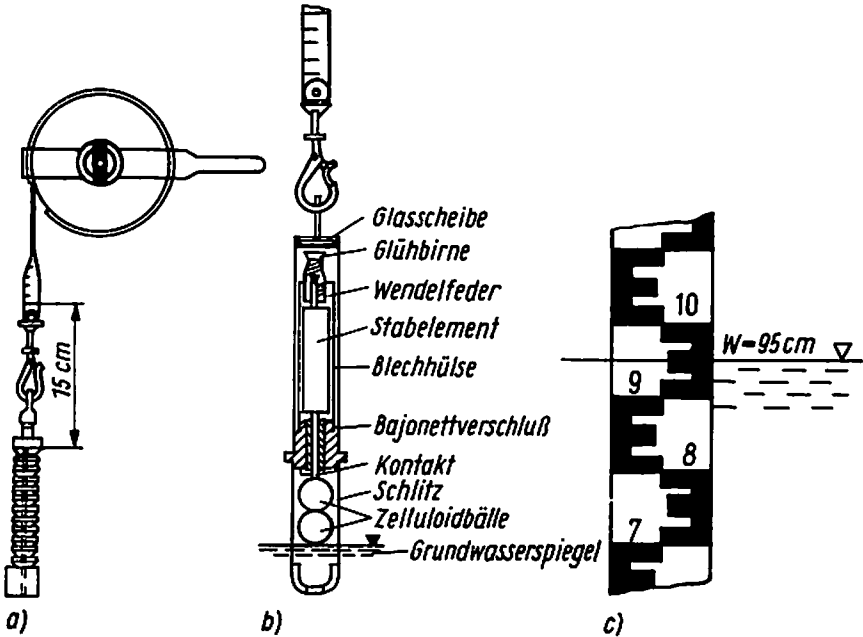


Bild 6. Wasserstandsmeßgeräte
a) Brunnenpfeife c) Regellatte
b) Lichtlot

nach Bild 6a und Lichtlote verschiedener Bauart, siehe Bild 6b.

Die für kontinuierliche Messungen allgemein üblichen Schwimmermeßgeräte finden für Pumpversuche kaum Verwendung, da in den vorhandenen Grundwassermeßstellen meist keine freie Bewegung des Schwimmers möglich und ein kurzfristiges Reagieren auf Schwankungen oft nicht gewährleistet ist.

Die Genauigkeit der Wasserstandsmessungen sollte im allgemeinen $< 1\%$ der zu messenden maximalen Wasserstandsänderung betragen (gerätetechnischer Meßfehler). Die zulässige Differenz zweier unmittelbar aufeinanderfolgender Messungen im unbeeinflussten Grundwasser soll ± 1 cm, bei Teufen von > 50 m ± 2 cm, nicht überschreiten. Die Richtigkeit der Messungen ist gegebenenfalls durch Doppelmessungen zu prüfen.

Bei artesischem Grundwasser wird der hydrostatische Druck in über Gelände herausragenden Aufsatzrohren oder mit Hilfe von Manometern gemessen. Die Einstellung der Manometer muß eine Ablesung von cm-Beträgen erlauben. Außerdem sollte der Einbau in Verbindung mit einem Schieber und einem Wasserhahn erfolgen, um eine Druckunterbrechung und Wasserableitung zu ermöglichen.

5.2. Wasserstandsmessungen an Oberflächengewässern

Wie bereits erwähnt, sind in vielen Fällen während der Pumpversuche Beobachtungen an Oberflächengewässern nötig. Zu diesem Zweck werden meist Hilfspegel durch Einschlagen von Metallstäben in das Flußbett oder Markierung von Festpunkten an Brücken und Stegen errichtet. Die Wasserstandsmessung erfolgt mit einem Gliedermaßstab von der Staboberkante oder einem Festpunkt zum Wasserspiegel. Vorteilhafter ist der Einbau von fertigen Pegellatten entsprechend Bild 6c. Bezugspunkt sollte hierbei jeweils die Unterkante der Latte sein ("Pegel null"), die auch bei niedrigstem Wasserstand benetzt sein muß.

5.3. Wassermengenmessungen

Wassermengenmessungen bei Pumpversuchen beschränken sich in erster Linie auf die Bestimmung des Förderstromes; das ist der Durchfluß durch eine Pumpe. Die Maßeinheit ist $l\ s^{-1}$ oder $m^3\ h^{-1}$. Grundsätzlich sind für die Messungen geeichte Meßgeräte zu verwenden. Die Eichung muß sich direkt auf das verwendete Meßgerät, zumindest aber auf den konkreten Gerätetyp beziehen. Es werden Meßgeräte mit unterschiedlicher Wirkungsweise verwendet, von denen für Pumpversuche folgende von besonderer Bedeutung sind:

- Meßgefäße (Volumenmessung)
- Meßwehre (Oberfallmessung)
- Meßblenden, -düsen (Druckmessung)
- Wasseruhren

Durchflußmessungen an Vorflutern werden in Verbindung mit Pumpversuchen relativ selten ausgeführt. Als Meßgeräte kommen besonders Meßwehre und hydrometrische Meßflügel in Betracht.

5.3.1. Meßgefäße (Behältermessungen)

Die einfachste Art der Messung des Förderstromes erfolgt durch Füllen eines Meßbehälters bis zu einem Eichstrich. Bei sehr kleinen Wassermengen ($\leq 0,5 \text{ l s}^{-1}$) reicht hierfür bereits ein Wassereimer aus. Die Füllzeit des Behälters muß mittels Stoppuhr oder Sekundenzeiger der Uhr bestimmt werden. Um repräsentative Werte zu erhalten, ist die Behältergröße so zu wählen, daß das Füllen mindestens 1/2 bis 1 Minute dauert.

Behältermessungen sind bis zu einem Förderstrom von 15 l s^{-1} zugelassen. Für größere Wassermengen wird ein Meßbehälter von etwa 1 m^3 Rauminhalt verwendet. Die Zuleitung des Wassers erfolgt, wie aus Bild 7 zu ersehen ist, über ein beweglich angeordnetes Rohr mit Krümmer, das bei Erreichen des Eichstriches auszuschwenken ist.

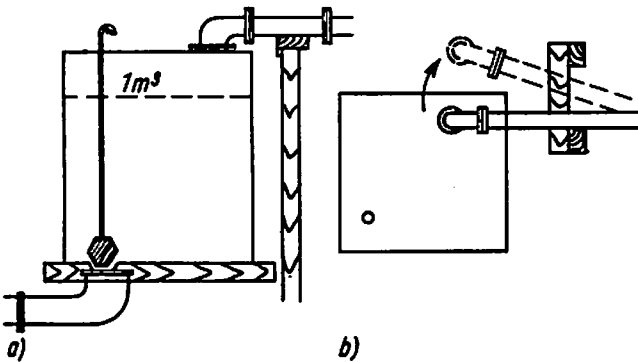


Bild 7
Anordnung für
Behältermessungen
a) Seitenansicht
b) Draufsicht

Eine hinreichend genaue Messung ist nur bei Horizontalstellung des Behälters möglich. Um diese Stellung nicht durch Unterspülung zu gefährden, ist für eine rückstaufreie Wasserableitung zu sorgen.

5.3.2. Meßwehre

Für Wassermengenmessungen im Gelände haben sich Meßwehre bisher am besten bewährt. Man versteht hierunter eine Platte, die mit einem Ausschnitt versehen ist, über den das ankommende Wasser, wie im Bild 8 dargestellt ist, hinwegströmt. Mit einem

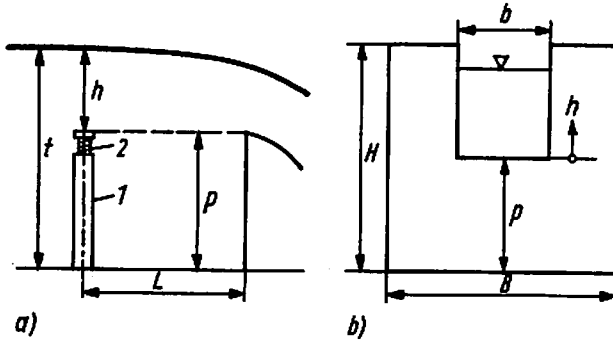


Bild 8
 Rechteckwehr
 a) Längsschnitt
 b) Querschnitt
 1 Meßbolzen
 2 Stellschraube

Maßstab wird die Überfallhöhe h über der unteren Begrenzung der Überfallöffnung gemessen. Die zugehörige Wassermenge wird aus Eichkurven oder -tabellen entnommen, die für die jeweilige Meßwehrausbildung aufgestellt wurden. In der Praxis finden besonders Dreieck-(Thomson-) und Rechteck-(Poncelet-)Meßwehre Verwendung.

Es ist zu beachten, daß die Messung der Überfallhöhe h an einem Meßbolzen oder einer Meßmarke zu erfolgen hat, die sich in einer bestimmten Entfernung L vom Überfall befindet, um eine nach dem Überlauf zu größer werdende Spiegelsenkung auszuschalten. Diese Entfernung wird festgelegt durch

$$3 h \cong L \cong 4 h$$

Weiterhin ist die Bedingung einzuhalten, daß die Wehrhöhe $p \cong h$ sein und 0,30 m nicht unterschreiten soll.

Schließlich seien noch die Forderungen für die Grenzen der für eine genaue Messung noch möglichen Überfallhöhe h und für das Verhältnis von Überfallbreite b zur Wehrhöhe p angegeben:

$$\frac{0,025}{b/B} \leq h \leq 0,80 \text{ m}$$

$$\frac{b}{p} \leq 1$$

- b Wehrbreite in m
 B Meßkastenbreite in m
 p Wehrhöhe in m

Die Oberfallkante des Meßwehres muß allseitig scharfkantig ausgebildet sein und darf keinerlei Beschädigungen aufweisen.

Für Mengenumessungen bei Pumpversuchen werden die Meßwehre an der Stirnseite rechteckiger Behälter angebracht (Meßkästen). Um für große und kleine Wassermengen einen möglichst optimalen Meßbereich zu erhalten, empfiehlt sich eine auswechselbare Anordnung der Wehre. Die nach NBS 200 (Werkstandard VEB Hydrogeologie) vorgesehenen Überfallausbildungen sind in Tabelle 9 angegeben.

Tabelle 9. Auswahl des Meßwehres

Förderstrom in $l \text{ s}^{-1}$	Meßwehrart
≤ 10	Dreieck-Überfall
3 bis 35	Rechteck-Überfall 200 mm
6 bis 70	Rechteck-Überfall 400 mm
10 bis 110	Rechteck-Überfall 800 mm

Meßkästen werden im allgemeinen aus Stahlblech gefertigt. Um an der Meßstelle einen unbeeinflussten Wasserstrom zu messen, werden in den Meßkasten verschiedene Tauchwände als sogenannte Beruhigungsanlage eingebaut. Generell können Meßkästen verschiedener Bauart und unterschiedlicher Beruhigungsanlagen verwendet werden, sofern für die jeweilige Konstruktion die richtige Eichkurve vorhanden ist. Die Verwendung nichtgeeichter Kästen bzw. nicht zugehöriger Eichkurven führt zu erheblichen Meßfehlern.

Vor der Aufstellung eines Überfallmeßkastens hat sich der Objektbearbeiter von dessen einwandfreier Beschaffenheit zu über-

zeugen. Stellt er Mängel fest, so fordert er deren Beseitigung bzw. lehnt die Verwendung des Meßkastens ab.

Bei der Aufstellung des Meßkastens ist darauf zu achten, daß im späteren Betriebszustand

- der Kasten jederzeit gut zugänglich ist und einwandfreie Ablesungen gewährleistet sind;
- wesentliche Setzungen des Kastens (besonders ungleichmäßige) ausgeschlossen sind; dazu muß er auf festem Boden aufgesetzt und gegebenenfalls mit Kanthölzern unterlegt werden;
- eine rückstaufreie, unbehinderte Ableitung des Wassers möglich ist (gegebenenfalls Graben ausheben);
- eine Unterspülung des Kastens durch das abfließende Wasser ausgeschlossen ist;
- Beeinflussung durch Wind verhindert wird.

Zur Messung muß der Meßkasten in Längs- und Querrichtung horizontal stehen.

Eine grobe Horizontierung erfolgt mittels Wasserwaage, durch Auflegen auf die Längs- und Querwände.

Von ausschlaggebender Bedeutung für die Genauigkeit der Messungen ist eine genaue horizontale Lage des Meßwehres, d. h. bei Rechteckwehren der unteren Oberlaufkante, bei Dreieckwehren der Hypotenuse des Dreiecks.

Die genaue Horizontierung des Meßwehres ist wie folgt durchzuführen:

Der Kasten wird bis zum Oberlaufen mit Wasser gefüllt. Dann wartet man, bis sich das Wasser in Höhe der Oberlaufkante beruhigt hat. In diesem Zustand erfolgt die visuelle Kontrolle des Wasserspiegels an der Oberlaufkante.

Gleichzeitig ist die Meßschraube genau auf den Wasserspiegel und damit auf die Höhe der Wehroberkante einzuregeln. Erst in diesem Zustand ist der Kasten meßbereit.

Das Einlaufrohr ist mit einem Krümmer und mit einem kurzen Rohrstück zu versehen, damit das Wasser senkrecht in den Meßkasten strömen kann. Zur besseren Beruhigung des Wasserspiegels im Meßkasten soll der Wassereintritt möglichst unter dem Wasserspiegel erfolgen.

Die Anordnung eines Schiebers unmittelbar vor dem Einlauf ist zu vermeiden.

Als Maß für den Durchfluß gilt bei Meßwehren die Überfallhöhe. Zu diesem Zweck wird ein Metallmaßstab mit Millimeterteilung senkrecht und mit der Breitseite parallel zur Fließrichtung auf den Meßbolzen aufgehoben. Der Maßstab muß sauber (ölfrei) sein und wird vor der Messung mit Wasser angefeuchtet.

Damit die Meßwerte auf den Millimeter genau erhalten werden, darf die Ablesung nicht in einem zu steilen Winkel zum Maßstab erfolgen. Die Richtigkeit jeder Ablesung ist durch Doppelmessungen zu sichern.

In Abständen von 5 Stunden ist die richtige Stellung des Meßkastens und die genaue Horizontalstellung des Meßwehres durch Auflegen der Wasserwaage auf die Meßkastenwände und auf die Auflager des Meßwehres zu überprüfen. Fehlerhafte Stellungen sind zu korrigieren und im Meßprotokoll zu vermerken.

5.3.3. Meßblenden und Meßdüsen

Strömt ein flüssiges oder gasförmiges Medium durch einen verengten Querschnitt einer Rohrleitung, so wird die Steigerung der Strömungsgeschwindigkeit durch eine Umwandlung von Druckenergie in Strömungsenergie herbeigeführt. Der durch die Rohrverengung (Drosselung) hervorgerufene Druckunterschied ΔH (Wirkdruck, Staudruck) ist ein Maß für den Durchfluß. Die auf dieser Grundlage aufgebauten Meßverfahren werden als Durchflußmessungen nach dem Wirk-(Stau-)Druckverfahren bezeichnet. Die erforderliche Rohrverengung wird entsprechend Bild 9 durch Einbau einer Drosseleinrichtung in Form einer geeigneten Blende oder Düse erzeugt.

Derartige Durchflußmessungen setzen die Beachtung folgender Forderungen voraus:

- Kenntnis der Dichte des strömenden Stoffes
- der Zustand des strömenden Stoffes muß in reiner Phase (keine festen ungelösten Stoffe, z. B. Sand) vorliegen
- der strömende Stoff muß alle Querschnitte des Drosselgerätes voll ausfüllen

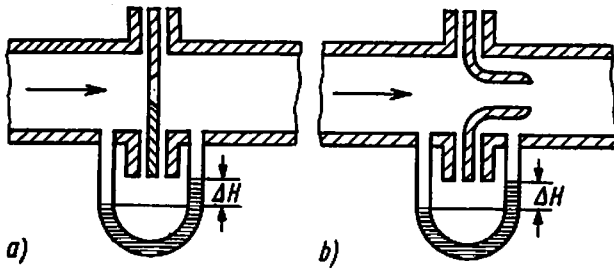


Bild 9
Drosselmeßgeräte
a) Meßblende
b) Meßdüse

- die Strömung muß stationär, mindestens quasistationär sein
- das Drosselgerät ist innerhalb der Rohrleitung genau zu zentrieren
- die Blenden müssen scharfkantig sein
- die wahre Rohrweite muß bekannt sein (Abweichungen von Nennweite beachten)
- Verkrustungen und Verunreinigungen dürfen nicht vorhanden sein
- der Einbau des Drosselgerätes hat in einem geraden Rohrstück zu erfolgen
- Rohrverengungen und Schieber sind im Bereich des Drosselgerätes nicht statthaft

Für verschiedene Messungen werden Normblenden und Normdüsen industriell gefertigt. Speziell für Messungen bei Pumpversuchen wurden an der TU Dresden Eichungen durchgeführt. Allerdings haben sich diese Geräte bisher in der hydrogeologischen Erkundungspraxis noch nicht durchgesetzt.

5.3.4. Wasseruhren

Diese Instrumente werden im Wasserversorgungsbetrieb allgemein verwendet, sind aber für eine Grundwassererkundung meist ungeeignet. Nur gelegentlich werden sie bei längeren Pumpversuchen in Verbindung mit Meßkästen eingesetzt. Sie zeigen summarisch die Wassermengen an, die vom Beginn des Einschaltens der Pumpe an fließen. Wasseruhren müssen geeicht sein und setzen eine volllaufende Rohrleitung und eine sandfreie Wasserführung voraus.

5.4. Temperaturmessungen

Die Temperatur wird generell mit Thermometern gemessen. Speziell für Messungen im Grundwasser werden Thermometer mit Schöpfgefäß (Schöpfthermometer) entsprechend Bild 10 verwendet. Durch diese Apparatur wird verhindert, daß sich die angezeigte Temperatur aus einer bestimmten Tiefenlage beim Herausnehmen des Thermometers zu rasch verändert und damit eine Ergebnisverfälschung eintritt. Eine etwa um 15°C höhere Lufttemperatur ändert die Temperatur im Schöpfgefäß in $1/2$ Minute um etwa $0,1^{\circ}\text{C}$. Die Thermometerskala ist im allgemeinen in Intervalle von $0,2^{\circ}\text{C}$ unterteilt.

Bild 10
Schöpfthermo-
meter

- 1 Kappe
- 2 Gegenring
- 3 Drehblende
- 4 Hülse
- 5 Schöpfgefäß

