

Deutsche Demokratische Republik	Hydrogeologie PUMPVERSUCHE geohydraulische Auswertung - Auswahl des Berechnungsschemas	TGL 23864/03
		Gruppe 973213
Гидрогеология ОПЫТНЫЕ ОТКАЧКИ Гидродинамическая обработка выбор расчетной схемы	Hydrogeology PUMPING TESTS geohydraulic evaluation - selection of the procedure	
Deskriptoren: <u>Pumpversuch</u> ; Auswertung		
Verbindlich ab 1. 7. 1974		
Dieser Standard gilt für die Auswahl des Berechnungsschemas von Pumpversuchen im freien und gespannten Grundwasser bei stationären und nichtstationären Verhältnissen. Dieser Standard gilt nur in Verbindung mit TGL 23864/04 bis /09.		
Inhaltsverzeichnis		
		Seite
1.	Grundsätze	2
2.	Auswahl des Berechnungsschemas	5
2.1.	Grundwasserleiter	5
2.2.	Grundwasserströmung	6
2.3.	Zusätzliche Speisung	6
2.4.	Randbedingungen	7
2.5.	Brunnenausbau	7
2.6.	Förderleistung	8
2.7.	Auswertungsverfahren	9
3.	Zeichen und Dimensionen	11
Fortsetzung Seite 2 bis 12		
Verantwortlich: VEB Hydrogeologie, Nordhausen		
Bestätigt: 16.1.1974 Staatssekretariat für Geologie, Berlin		

1. Grundsätze

1.1. Der Grundfall der Pumpversuchsauswertung, auf den vielfältig Bezug genommen wird, ist der Pumpversuch am vollkommenen Brunnen mit konstanter Förderleistung im flächenhaft unbegrenzten Grundwasserleiter (TGL 23864/04 und /06). Kompliziertere Fälle, die zusätzliche Betrachtungen erfordern, sind:

- zeitlich variable Förderleistung (TGL 23864/05)
- äußere Randbedingungen (TGL 23864/07)
- unvollkommener Versuchsbrunnen (TGL 23864/08)
- mehrere Versuchsbrunnen (TGL 23864/09)
- Versuchsbrunnen mit großem Durchmesser (TGL 23864/09)
- Schichtung des Grundwasserleiters (TGL 23864/09).

Eine ausführliche Übersicht über die erfaßten Pumpversuchsschemata gibt die Tabelle auf Seite 10.

1.2. Hauptziel der Pumpversuchsauswertung ist die geohydraulische Ermittlung der hydrogeologischen Parameter T (bzw. k) und S (letzterer nur, falls der nichtstationäre Absenkungsvorgang ausgewertet werden kann). Die Verwendung der unter 1.1. aufgeführten komplizierteren Fälle erlaubt die Ermittlung zusätzlicher hydrogeologischer Parameter (Speisungsfaktor, Anisotropieverhältnis, Kolmationswiderstand usw.). Es ist jedoch durch eine qualitative Beurteilung der hydrogeologischen Gesamtsituation zu überprüfen, ob die Ermittlung dieser zusätzlichen Parameter die Aussagekraft des Pumpversuches nicht überfordert.

1.3. Die angegebenen Formeln sind dimensionsrein. Die darin auftretenden Pumpversuchscharakteristika können daher in frei wählbaren Einheiten ausgedrückt werden, die aber alle aus den gleichen Längen- und Zeiteinheiten abgeleitet sein müssen (z. B. die Zeit in s, die Absenkung in m, die Förderleistung in $m^3 \cdot s^{-1}$).

1.4. Es ist anzustreben, daß der Absenkungsvorgang an einem oder mehreren Grundwasserbeobachtungsrohren kontrolliert werden kann. Die Anwendung der angegebenen Auswertungsverfahren auf die im Entnahmebrunnen gemessenen Absenkungsbeträge ist nur mit gewissen Einschränkungen möglich, auf die jeweils hingewiesen wird. In die Berechnungsgleichungen ist in diesem Fall für r bzw. r_{ip} der effektive Brunnenradius r_B (mittlerer Radius der Brunnenbohrung im Filterbereich) einzusetzen.

1.5. Es besteht eine enge Beziehung zwischen der Auswertung von Pumpversuchen im gespannten Grundwasser und im ungespannten Grundwasser, der sich darin ausdrückt, daß die Absenkungsgleichungen für beide Fälle analoge Form besitzen, wenn folgende Größen gegeneinander ausgetauscht werden:

$$s \quad \text{und} \quad s_r$$

$$M \quad \text{und} \quad H \quad (\text{bzw. } M' = H - 0,5 s_B).$$

1.6. Für den Anwendungsbereich der Auswertungsverfahren entscheidend ist der Zahlenwert der geohydraulischen Zeitkonstanten a , die sich beim Übergang von der Druckströmung zur Strömung mit freier Oberfläche um mehrere Zehnerpotenzen vergrößert. Die Größe des Speicherkoeffizienten S , die dafür maßgebend ist, bildet ein objektives Entscheidungskriterium, ob ein unterirdischer Strömungsprozeß als gespannt oder ungespannt zu bezeichnen ist ($S \geq 10^{-2}$ ungespannt, $S \leq 10^{-3}$ gespannt).

1.7. Der Pumpversuchsauswertung wird als primäre Größe die Absenkung

$$s = h_n - h$$

zugrunde gelegt. Bei der Berechnung von s sind Änderungen der Bezugsgröße h_n im Verlaufe des Pumpversuches zu berücksichtigen, die z. B. bei oberflächennahen Grundwasserleitern durch Starkregen oder Wasserspiegelschwankungen in Oberflächen-

gewässern hervorgerufen werden können. Bei länger dauernden Pumpversuchen ist daher grundsätzlich die Beobachtung eines neutralen Punktes zur Feststellung der natürlichen Schwankungen des Grundwasserspiegels vorzusehen.

1.8. Die in TGL 23864/04 bis /09 angegebenen Absenkungsgleichungen bieten bei Kenntnis der darin auftretenden Parameter die Möglichkeit, die raum-zeitliche Entwicklung des Absenkungsvorganges zu berechnen. Für Großpumpversuche und Pumpversuche unter komplizierten hydrogeologischen Bedingungen, bei denen mehrere Auswertungsverfahren in Betracht kommen, ist eine Vorausberechnung unter Verwendung geschätzter Parameterwerte durchzuführen. Die Anordnung der Grundwasserbeobachtungsrohre, die Meßtermine und die Dauer des Pumpversuches sind unter Berücksichtigung der Berechnungsergebnisse festzulegen.

1.9. Die in TGL 23864/04 bis /09 angegebenen Auswertungsverfahren stellen eine Auswahl unter den theoretisch erfaßbaren Pumpversuchsschemata nach ihrer Bedeutung für die hydrogeologische Praxis dar. Mit Hilfe des Superpositionsprinzips lassen sich aus den angegebenen Absenkungsgleichungen die entsprechenden Absenkungsgleichungen für eine Vielzahl von weiteren Pumpversuchsschemata ableiten, die der vorliegende Standard nicht enthält. Die entsprechenden Auswertungsverfahren lassen sich entweder ebenfalls direkt von den Standardfällen übertragen oder können bei einiger Übung aus der mathematischen Struktur der Absenkungsgleichungen abgeleitet werden.

Bei Verwendung derartiger spezieller Pumpversuchsschemata sind die Berechnungsannahmen, die Absenkungsgleichung mit Hinweisen zu ihrer Ableitung, die Gültigkeitsbedingungen und das Auswertungsverfahren exakt zu dokumentieren.

2. Auswahl des Berechnungsschemas

Die Tabelle auf Seite 10 gibt einen systematischen Überblick über die in TGL 23864/04 bis /09 erfaßten Pumpversuchsschemata. Außer der Blatt- und Abschnittsnummer, unter der das Pumpversuchsschema behandelt wird, sind auch diejenigen angegeben, auf die Bezug genommen wird.

Zur Gewährleistung einer optimalen Anordnung und Durchführung des Pumpversuches sind die für das Auswertungsschema charakteristischen hydrogeologischen Merkmale bereits im Stadium der Pumpversuchsvorbereitung möglichst genau zu erfassen und im Verlauf der Bohrarbeiten durch den Objektbearbeiter laufend zu präzisieren.

Zur Auswahl des einem konkreten Pumpversuch bzw. der Zielstellung eines geplanten Pumpversuches adäquaten Auswertungsschemas sind die im Kopf der Tabelle auf Seite 10 angegebenen Gliederungsmerkmale unter Berücksichtigung der in den folgenden Abschnitten gegebenen Hinweise einzuordnen. Besteht Unsicherheit bei einzelnen Merkmalen, so sind alle in Frage kommenden Varianten zu berücksichtigen, d. h., bei der Pumpversuchsauswertung sind mehrere Auswertungsverfahren anzuwenden und die Entscheidung darüber, welches die realen Verhältnisse am besten widerspiegelt, ist auf Grund einer kritischen Analyse der Anpassung der Meßwerte an die entsprechenden theoretischen Absenkungskurven zu treffen.

2.1. Grundwasserleiter

Es ist einzuschätzen, welche Schichten des Grundwasserleiters signifikant unterschiedliche Durchlässigkeitsbeiwerte aufweisen ($k_1 : k_2 \geq 50$) und welche davon

- a) halbdurchlässig sind ($50 < k_1 : k_2 \leq 10^4$)
- b) undurchlässig sind ($k_1 : k_2 > 10^4$).

Die Nachprüfung dieser Kriterien ist im allgemeinen nur auf der Grundlage von Korngrößenanalysen und unter Verwendung statistischer Prüfverfahren zuverlässig möglich. Im Stadium

der Pumpversuchsvorbereitung sind daher alle in Frage kommenden Varianten der Idealisierung des Schichtenaufbaus in Betracht zu ziehen und das Pumpversuchsprogramm so zu gestalten, daß eine Entscheidung ermöglicht wird (siehe 1.8.).

Eine indifferente Schichtung des Grundwasserleiters ($k_1 : k_2 < 50$) kann sich bei globaler Betrachtung des Strömungsvorganges als Anisotropie auswirken.

2.2. Grundwasserströmung

Die Unterscheidung zwischen gespannter und ungespannter Strömung ist meist nicht entscheidend, da beide Fälle im Standard in unmittelbarem Zusammenhang behandelt werden (siehe 1.5.).

Der stationäre Absenkungszustand wird im Standard meist als Grenzfall des nichtstationären Absenkungsvorganges berücksichtigt, so daß die Unterscheidung stationär - nichtstationär z. T. nicht wesentlich ist. Es gibt jedoch auch Auswertungsverfahren, die nur auf stationäre Absenkungsbeträge anwendbar sind.

2.3. Zusätzliche Speisung

Grundsätzlich kann die natürliche Speisung des Grundwasserleiters aus dem Versickerungsanteil der Niederschläge, unterirdischem Fremdzufuß, Versickerung aus Oberflächengewässern usw. nicht mit Hilfe eines Pumpversuches zahlenmäßig festgelegt werden. Erfasbar sind nur die Änderungen der Speisungsbedingungen, die als Auswirkung des Pumpversuches auftreten.

In der Spalte "mit zusätzlicher Speisung" ist sowohl der Fall einer flächenhaften Speisung erfaßt, die der Druckentlastung im Hauptgrundwasserleiter proportional ist (undichter Grundwasserleiter), als auch der Fall einer zeitlich konstanten Speisung (z. B. Uferfiltration bei Absenkung unter die Flußbettsohle).

Anhand des hydrogeologischen Profils ist einzuschätzen, ob durch die Grundwasserabsenkung im Verlaufe des Pumpversuches eine zusätzliche Speisung verursacht werden kann und wie der Speisungsvorgang zu klassifizieren ist. In diesem Zusammenhang ist insbesondere die Möglichkeit von Fensterbildungen in der Deckschicht des Grundwasserleiters zu prüfen.

2.4. Randbedingungen

Die überwiegende Mehrzahl der Pumpversuchsschemata berücksichtigt keine Randbedingungen des Grundwasserströmungsfeldes. In die Pumpversuchsauswertung einbeziehen lassen sich geradlinige Berandungen (einseitig oder zweiseitig-parallel), die Speisungskontur (Typ A) oder Stromlinie (Typ B) sind.

Beispiele derartiger Randbedingungen sind:

Typ A: Uferlinien von Oberflächengewässern;
sehr stark durchlässige Gesteinskomplexe.

Typ B: Undurchlässige Barrieren, Verwerfungen;
unterirdische Einzugsgebietsgrenzen.

Die geometrische Form der Begrenzung des Grundwasserleiters durch derartige Randbedingungen muß durch Geraden angenähert werden.

2.5. Brunnenausbau

Die bautechnische Ausführung des Brunnens ist nur für die Auswertung der im Brunnen selbst bzw. in seiner näheren Umgebung ($r < M$) gemessenen Absenkungsbeträge von Bedeutung. Im Normalfall wird daher der Brunnen als vollkommen vorausgesetzt. In der Praxis des Brunnenbaus stellt jedoch der vollkommene Brunnen einen selten verwirklichten Idealfall dar. Es ist daher zu prüfen, ob das theoretische Schema "vollkommener Brunnen" die Realität genau genug widerspiegelt oder ob die Unvollkommenheit des Brunnens für den Absenkungsvor-

gang wesentlich ist.

Allgemeingültige Kriterien zur Beantwortung dieser Frage lassen sich nicht angeben. Aus TGL 23864/08 ist zu entnehmen, in welchem Maße die Unvollkommenheit des Brunnens das Absenkungsfeld beeinflusst. Speziell läßt sich aus der dort enthaltenen Tabelle 1 ablesen, wie die Filter der Grundwasserbeobachtungsrohre angeordnet werden müssen, damit die durch die Unvollkommenheit des Brunnens erforderliche Absenkungskorrektur vernachlässigt werden kann.

Dieses einfache Verfahren ist allerdings nur anwendbar, wenn der Grundwasserleiter isotrop ist. Pumpversuche an unvollkommenen Brunnen sind aber gerade dann aussagekräftig, wenn die Anisotropie des Untergrundes getestet werden soll, die z. B. für den Talsperrenbau von entscheidender Bedeutung ist.

Der Tabelle auf Seite 10 ist zu entnehmen, daß auch der Brunnendurchmesser für das Auswertungsschema von Belang sein kann. Dies ist dann der Fall, wenn die im Brunnen gespeicherte Wassermenge bei der geohydraulischen Berechnung nicht vernachlässigt werden kann.

2.6. Förderleistung

Der Grundfall für die Pumpversuchsauswertung ist der Brunnen mit konstanter Förderleistung. Als wichtigster Spezialfall der stufenweise veränderlichen Förderleistung sind Wiederanstiegsmessungen gesondert aufgeführt. Bei Pumpversuchen mit konstanter Brunnenabsenkung ($s_B = \text{const.}$) wird die Förderleistung zur zeitlich variablen Meßgröße.

Bei Pumpversuchen mit stufenweise veränderlicher Förderleistung, deren einzelne Stufen bis zum Erreichen des stationären Endzustandes gefahren werden, sind die einzelnen Stufen als getrennte Pumpversuche auszuwerten.

2.7. Auswertungsverfahren

Die hierzu angegebenen Merkmale kennzeichnen das verfügbare Datenmaterial und die mathematische Grundlage des Auswertungsverfahrens.

Die Auswertung des räumlichen Absenkungstrichters ("räumlich") setzt voraus, daß synchrone Beobachtungswerte von mehreren, möglichst radial angeordneten Grundwassermeßstellen vorliegen oder durch Interpolation aus den entsprechenden Ganglinien abgeleitet werden können.

Für die Auswertung des zeitlichen Absenkungsverlaufs ("zeitlich") werden nur die Beobachtungswerte einer Grundwassermeßstelle benötigt, die allerdings in hinreichend dichter Folge gemessen werden müssen (siehe TGL 23864/02).

Als graphisch-analytisch werden die Auswertungsverfahren bezeichnet, bei denen sich die Verwendung graphischer Hilfsmittel auf die Konstruktion von Ausgleichsgeraden beschränkt.

Die Verfahren der typischen Kurve erfordern als Grundlage der Pumpversuchsauswertung die Konstruktion von Vergleichskurven auf doppelt-logarithmischem Papier, die mit den im gleichen Maßstab aufzutragenden Beobachtungswerten möglichst gut zur Deckung zu bringen sind.

Gliederung der Auswertungsverfahren

Grundwasserleiter		Grundwasserströmung					zusätzl. Speisng.		Randbedingung			Brunnen Ausbau			Förderleistung				Auswertungsverfahren				Auswertnach		Bezugnahme	
																			graph. - analyt.		typische Kurven		Blatt	Abschnitt	Blatt	Abschnitt
isotrop	anisotrop	geschichtet	gespannt	ungespannt	nichtstationär	stationär	ohne	mit	ohne	einseitig	zweiseitig	vollkommen	unvollkommen	großer s	konstant	variabel		zeitlich	räuml.	zeitlich	räuml.	Blatt	Abschnitt	Blatt	Abschnitt	
															Stufen	Wiederanstieg	s_0 - konst.									
○			○		○		○		○			○			○			○				4	11			
○			○		○		○		○			○			○				○				121			
○			○		○	○	○		○			○			○				○				122			
○			○		○	○	○		○			○			○				○		○		21	4	11	
○			○		○	○	○		○			○			○				○		○		22	4	12	
○			○		○	○	○		○			○			○				○		○		23	4	21	
○			○		○		○		○			○			○				○				5	11		
○			○		○		○		○			○			○				○				121			
○			○		○		○		○			○			○				○				122	4	11	
○			○		○		○		○			○			○				○				13	4	11	
○			○		○		○		○			○			○				○				14	4	22	
○			○		○		○		○			○			○				○				2	5	11	
○			○		○		○		○			○			○				○				2	5	121	
○			○		○		○		○			○			○				○				2	5	122	
○			○		○		○		○			○			○				○				21	5	21	
○			○		○		○		○			○			○				○				22	5	14	
○			○		○		○		○			○			○				○				6	11	4	
○			○		○		○		○			○			○				○		○		121			
○			○		○		○		○			○			○				○				1122	4	12	
○			○		○		○		○			○			○				○				2	4	121	
○			○		○		○		○			○			○				○				2	6	11	
○			○		○		○		○			○			○				○		○		2	6	121	
○			○		○		○		○			○			○				○				2	6	122	
○			○		○		○		○			○			○				○				2	6	12	
○			○		○		○		○			○			○				○		○		7	11	4	
○			○		○		○		○			○			○				○				112	5	13	
○			○		○		○		○			○			○				○				121	4	11	
○			○		○		○		○			○			○				○				122	5	13	
○			○		○		○		○			○			○				○				131	4	11	
○			○		○		○		○			○			○				○				132	5	13	
○			○		○		○		○			○			○				○				141	7	121	
○			○		○		○		○			○			○				○				142	7	122	
○			○		○		○		○			○			○				○				2	7	11	
○			○		○		○		○			○			○				○				2	7	112	
○			○		○		○		○			○			○				○				2	7	121	
○			○		○		○		○			○			○				○				2	7	122	
○			○		○		○		○			○			○				○				2	7	131	
○			○		○		○		○			○			○				○				2	7	132	
○			○		○		○		○			○			○				○				2	7	141	
○			○		○		○		○			○			○				○				2	7	142	
○			○		○		○		○			○			○				○				8	111	8	
○			○		○		○		○			○			○				○				112			
○			○		○		○		○			○			○				○				121	8	221	
○			○		○		○		○			○			○				○				122			
○			○		○		○		○			○			○				○				211	8	211	
○			○		○		○		○			○			○				○				212			
○			○		○		○		○			○			○				○				221	8	121	
○			○		○		○		○			○			○				○				222	8	122	
○			○		○		○		○			○			○				○				9	111		
○			○		○		○		○			○			○				○				112			
○			○		○		○		○			○			○				○				113			
○			○		○		○		○			○			○				○				12	9	111	
○			○		○		○		○			○			○				○				211	5	121	
○			○		○		○		○			○			○				○				212			
○			○		○		○		○			○			○				○				3	4	2	

3. Zeichen und Dimensionen

a	$[s \cdot m^{-2}]$	geohydraulische Zeitkonstante, $a = \frac{S}{T}$
H	$[m]$	unbeeinflusste Grundwassermächtigkeit
h	$[m]$	Höhe der freien Grundwasseroberfläche bzw. -druckfläche, bezogen auf ein beliebiges Niveau
h_n	$[m]$	h im ungestörten Zustand
k	$[m \cdot s^{-1}]$	Durchlässigkeitsbeiwert für Wasser
k_1, k_2	$[m \cdot s^{-1}]$	Durchlässigkeitsbeiwerte übereinanderliegender Schichten ($k_1 > k_2$)
M	$[m]$	Mächtigkeit des Grundwasserleiters
M'	$[m]$	mittlere (reduzierte) Grundwassermächtigkeit, $M' = H - 0,5 s_B$
r, r_{iP}	$[m]$	Abstand eines Punktes P von der Brunnenachse bzw. von der Achse des i-ten Brunnens der Brunnengruppe
S	$[-]$	Speicherkoeffizient des Grundwasserleiters
s	$[m]$	Grundwasserabsenkung
s_B	$[m]$	Grundwasserabsenkung im Brunnen
s_r	$[m]$	reduzierte Grundwasserabsenkung, $s_r = s - \frac{s^2}{2H}$
T	$[m^2 \cdot s^{-1}]$	Transmissibilität (Profildurchlässigkeit)
t	$[s]$	Zeit seit Beginn des Pumpversuches
W	$[m]$	Grundwasserstand unter Meßpunkt

Hinweise

- TGL 23864/01 Hydrogeologie; Pumpversuche, Vorbereitung, Aufbau und Kontrolle der Versuchsanlage
- TGL 23864/02 -; -, Durchführung, Felddokumentation, Qualitätsbewertung
- TGL 23864/04 -; -, geohydraulische Auswertung - konstante Förderleistung
- TGL 23864/05 -; -, geohydraulische Auswertung - variable Förderleistung
- TGL 23864/06 -; -, geohydraulische Auswertung - zusätzliche Speisung
- TGL 23864/07 -; -, geohydraulische Auswertung - äußere Randbedingungen
- TGL 23864/08 -; -, geohydraulische Auswertung - unvollkommener Brunnen
- TGL 23864/09 -; -, geohydraulische Auswertung - Sonderfälle
- WAPRO 1.42. Bemessungsgrundlagen für Brunnen von Grundwassergewinnungsanlagen (Werkstandard VEB Projektierung Wasserwirtschaft)