

Hydrogeologie

Pumpversuche

Von Dr. rer. nat. Hans-Friedrich Bamberg
und Ing. Joachim Eschner

Mit 15 Bildern und 15 Tabellen



VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie
Leipzig

Herausgegeben vom VEB Hydrogeologie, Nordhausen
Leitung und Organisation: Betriebssektion
der Kammer der Technik im VEB Hydrogeologie -

Nur für die Qualifizierung im Bereich des Ministeriums
für Geologie bestimmt

Gutachter:

Dipl.-Ing. Dietwolf Heeger

Dipl.-Geol. Wilfried Busse

1. Auflage

© VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1979

VLN 152-915/59/79

LSV 1463

Printed in the German Democratic Republic

Gesamtherstellung: VEB Druckerei "Thomas Müntzer",

Bad Langensalza

Redaktionsschluß: 19. 6. 1978

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	5
2.	Begriffe	7
3.	Aufbau der Versuchsanlage	8
3.1.	Versuchsbrunnen und zugehörige Einrichtungen	9
3.2.	Meßstellen neben Versuchsbrunnen	20
4.	Durchführung von Pumpversuchen	26
4.1.	Vorbereitungen	26
4.1.1.	Kontrolle der Versuchsanlage	26
4.1.2.	Aufstellung des Versuchsprogramms	27
4.2.	Pumpversuchsablauf	32
4.2.1.	Messungen vor Beginn des Pumpversuches	32
4.2.2.	Die Absenkungsphase	32
4.2.3.	Die Wiederanstiegsphase	33
4.2.4.	Verhalten bei Havarien	33
4.2.5.	Wasserprobennahme	34
4.3.	Felddokumentation	34
4.4.	Qualitätsbewertung	35
5.	Meßmethoden bei Pumpversuchen	36
5.1.	Grundwasserstandsmessungen	36
5.2.	Wasserstandsmessungen an Oberflächen- gewässern	38
5.3.	Wassermengenmessungen	38
5.3.1.	Meßgefäße (Behältermessungen)	39
5.3.2.	Meßwehre	40
5.3.3.	Meßblenden und Meßdüsen	43
5.3.4.	Wasseruhren	44
5.4.	Temperaturmessungen	45
6.	Auswertung von Pumpversuchsergebnissen	45
6.1.	Grundlagen der geohydraulischen Pump- versuchsauswertung	45
6.2.	Beispiel einer geohydraulischen Pump- versuchsauswertung	49

6.2.1.	Auswertung des zeitlichen Absenkungsverlaufes für GWBR 1 (gemäß TGL 23 864/04)	49
6.2.2.	Auswertung von Wiederanstiegsmessungen für GWBR 1 (gemäß TGL 23 864/05)	55
6.2.3.	Auswertung des räumlichen Absenkungstrichters für GWBR 1 bis 3 (gemäß TGL 23 864/04)	57
6.3.	Bewertung von Demonstrativpumpversuchen (DEMPV)	60
6.4.	Beurteilung von Temperaturmessungen	62
	Literaturverzeichnis und Standards	63

1. Einleitung

Sowohl für den direkten qualitativen und quantitativen Vorratsnachweis als auch zur Gewinnung verbindlicher Aussagen über Grundwasserleiter und hydrodynamische Verhältnisse bietet eine zeitweilige Entnahme von Grundwasser in Form von Pumpversuchen (PV) die wesentlichste und beste Möglichkeit der Informationsgewinnung.

Die Hauptziele von PV kann man wie folgt zusammenfassen:

- Gewinnung von Daten zur Ermittlung hydrogeologischer Parameter, wie Durchlässigkeitsbeiwert k (k -Wert), Profildurchlässigkeit T (Transmissibilität), Speicherkoeffizient des Grundwasserleiters S , sowie ggf. zusätzlicher hydrogeologischer Parameter, wie Speisungsfaktor, Anisotropieverhältnis, Kolmationswiderstand
- Untersuchungen zur Strömungscharakteristik, insbesondere Nachweis hydraulischer Veränderungen im Grundwasserleiter im Zustand der Beanspruchung gegenüber den natürlichen Bedingungen sowie der Randbedingungen des Strömungsfeldes
- Untersuchung von Beeinflussungen, z. B. von Wassergewinnungsanlagen durch Abfalldeponien, andere Wasserwerke usw.
- experimentelle Einschätzung der Brunnenergiebigkeit (E) bzw. des Grundwasservorrates, der räumlichen und zeitlichen Absenkungscharakteristik und der Fassungsbedingungen
- Gewinnung von Proben zur Ermittlung der Wasserbeschaffenheit und deren Veränderung mit der Betriebsdauer

Vor der Projektierung von Pumpversuchen muß eindeutig Klarheit über deren konkrete Ziele (im allgemeinen werden es mehrere sein) und vorgesehene Auswertungsmethoden bestehen, da diese maßgebenden Einfluß auf die gesamte Pumpversuchskonzeption haben.

In der Vergangenheit machten sich gerade bei Pumpversuchen das Fehlen einheitlicher Richtlinien und die daraus resultierende unterschiedliche Durchführung und Auswertung besonders negativ

bemerkbar. Abgesehen davon, daß die ermittelten Parameter meist nur unter Vorbehalt vergleichbar waren, bargen die bisherigen, vorwiegend auf individuellen Erfahrungen der einzelnen Objektbearbeiter aufbauenden Anweisungen die Gefahr ungerechtfertigter Aufwendungen und unzureichender Versuchsergebnisse.

Nach Erkennen dieser Problematik wurde im VEB Hydrogeologie frühzeitig eine umfassende Standardisierungskonzeption erarbeitet. Bereits 1970 konnten dann folgende Blätter der TGL 23 864 "Hydrogeologie, Pumpversuche" in der Praxis eingeführt werden:

Blatt 1 - Vorbereitung, Aufbau und Kontrolle der Versuchsanlage
Blatt 2 - Durchführung, Felddokumentation, Qualitätsbewertung
(Nach der Überarbeitung von 1975/1976 wurden diese Blätter zu einem Blatt 2 - Vorbereitung und Durchführung - zusammengefaßt.)

Im Anschluß daran wurde mit der Vereinheitlichung der Pumpversuchsauswertung auf der Grundlage neuester Erkenntnisse der Grundwasserhydraulik begonnen. Im Ergebnis einer gemeinsamen Bearbeitung durch Vertreter des Instituts für Wasserwirtschaft der TU Dresden, Sektion Wasserwesen, des VEB Hydrogeologie und des VEB Brunnenbau Wilschdorf wurden dann folgende weitere Standardblätter zur obengenannten TGL vorgelegt:

Blatt 3 - Auswahl des Berechnungsschemas
Blatt 4 - konstante Förderleistung
Blatt 5 - variable Förderleistung
Blatt 6 - zusätzliche Speisung
Blatt 7 - äußere Randbedingungen
Blatt 8 - unvollkommener Brunnen
Blatt 9 - Sonderfälle
Blatt 10 - Demonstrativpumpversuch

Um dem Praktiker die Handhabung der Standards zu erleichtern und eine rein mechanische Anwendung einzelner Verfahren zu vermeiden, wurden in einem "Typenkatalog für Pumpversuche" die Anwendungsmöglichkeiten übersichtlich zusammengestellt. In den aufgeführten Blättern der TGL 23 864 wurde der gegenwärtige Kenntnisstand auf dem Gebiet der Pumpversuche umfassend und komprimiert dargestellt. Außerdem sind alle formulierten Richt-

linien und Forderungen infolge des Gesetzcharakters von DDR- und Fachbereichstandards verbindlich. Für jede Pumpversuchsdurchführung und -auswertung ist deshalb ein sorgfältiges Studium dieser Blätter Voraussetzung, und die vorliegende Broschüre kann in diesem Zusammenhang lediglich zur Übersicht und Erläuterung dienen.

2. Begriffe

Früher waren je nach speziellem Zweck, Zeitdauer, regionalen Gewohnheiten und anderen Gesichtspunkten mehr als 30 Pumpversuchsbezeichnungen gebräuchlich. Diese Begriffe bezogen sich teilweise auf den gleichen Sachverhalt, spiegelten aber in einigen Fällen auch generelle Unklarheiten wider. Im Rahmen der Vereinheitlichung der Pumpversuche wurde auch eine begriffliche Präzisierung und Einschränkung vorgenommen, und man hat nach TGL 23 989 und TGL 23 864/02 nunmehr folgende Definitionen festgelegt:

Pumpversuch	zeitweilige Entnahme von Grundwasser zur Bestimmung qualitativer und quantitativer Parameter des Grundwasserleiters und/oder des Grundwassers
Einzelumpversuch	umpversuch an einem Brunnen
Gruppenumpversuch	Pumpversuch, bei dem gleichzeitig mehrere benachbarte Brunnen betrieben werden, die in einem Grundwasserleiter stehen und/oder sich gegenseitig beeinflussen
Dauerumpversuch	Pumpversuch mit ≥ 50 h Pumpdauer
Kurumpversuch	Pumpversuch mit ≤ 50 h Pumpdauer
Demonstrativumpversuch	Pumpversuch zum direkten Nachweis des am Standort gewinnbare Grundwassers nach Menge und/oder Beschaffenheit

Klarpumpen

Abpumpen eines Brunnens vor Pumpversuchen zur Beseitigung der Bohrlochtrübe und des ausschlämmbaren Materials aus dem Brunnenfilterbereich, zur groben Einschätzung der Grundwasserabsenkung in Abhängigkeit vom Förderstrom und ggf. zur Gewinnung von Wasserproben

Für den Begriff "Klarpumpen" wurden bisher auch Synonyma, wie "Vorpumpversuch", "Technischer Pumpversuch", "Entsandungspumpversuch", gebraucht.

Bezüglich weiterer Fachausdrücke, die im Rahmen dieser Broschüre verwendet werden, sei auf die genannten Standards, besonders auf TGL 23 989 - Terminologie unterirdisches Wasser - verwiesen.

3. Aufbau der Versuchsanlage

Die Durchführung von Pumpversuchen erfolgt im allgemeinen an Versuchsbrunnen (VBR), die zusammen mit Einrichtungen zur Wasserförderung und -ableitung sowie den zugehörigen Grund- und Oberflächenwassermeßstellen einschließlich der erforderlichen Meßgeräte die Versuchsanlage bilden. Für die Versuche werden vorwiegend speziell für diesen Zweck errichtete Vertikalfilterbrunnen verwendet. Die Verwendung bereits bestehender Brunnen (Altbrunnen) ist auch möglich, bringt allerdings infolge Unkenntnis bzw. Besonderheiten des Brunnenausbaues und der Brunnenalterung häufig Schwierigkeiten bezüglich der Pumpversuchsauswertung mit sich.

Die Vorgaben zur Anordnung, zum Ausbau und zur Ausrüstung von Versuchsanlagen werden vom verantwortlichen Objektbearbeiter projektiert und gegebenenfalls anhand der angetroffenen Bohrergebnisse operativ korrigiert. Um die Versuchsanordnung den individuellen örtlichen hydrogeologischen und geographischen Verhältnissen weitgehend anzupassen, müssen vor deren Planung insbesondere folgende Faktoren geklärt werden:

- hydrogeologisches Profil (Grundwasserleiter, Grundwasserstauer, Grundwasserstand, Petrographie)
- erwarteter maximaler Förderstrom der Pumpe
- erwartete tiefste Wasserspiegelabsenkung s_{max} im Brunnen
- Entfernung vom Brunnen zur nächstmöglichen Wassereinleitung (Vorfluter)
- Höhendifferenz zwischen Wassereinleitung und tiefster Wasserspiegelabsenkung im Brunnen
- geschätzte Aufnahmefähigkeit der Wasserableitung (z. B. bei Vorflutern am nächsten Durchlaß kontrollieren)
- Möglichkeiten der Energieversorgung (z. B. Netzanschluß, Diesel-Elektro-Aggregat)
- vorhandene bzw. zu beschaffende Meßgeräte
- Abstand zu geologischen und hydraulischen Berandungen, z. B. Grundgebirgsauftragungen und Vorfluter
- Einschränkungen, die die Wasserableitung behindern (z. B. Bebauung und Verkehr)

3.1. Versuchsbrunnen und zugehörige Einrichtungen

Der in den weitaus meisten Fällen verwendete Vertikalfilterbrunnen stellt im Prinzip eine mit verschiedenen Konstruktionsteilen versehene Bohrung dar ("Bohrbrunnen").

Wesentlichste Ausbauteile sind

- perforierte Rohre (Filterrohre) im Bereich von Grundwasserleitern und
- Vollwandrohre im Bereich von Wasserstauern, Wasserspiegelschwankungen, Pumpeneinläufen und Schlamm(Sand-)Fängen

Bei standfestem Gebirge (Festgestein) wird auf eine Verrohrung bzw. Verfilterung häufig verzichtet.

Wichtigstes und empfindlichstes Organ des Brunnsens ist der Brunnenfilter, zu dem neben den Filterrohren noch die Brunnenausbauelemente Kiesschüttung mit Unterlags- bzw. Filtergewebe gehören. Er hat - im Gegensatz zu Filtern in Wasserreinigungsanlagen - insbesondere die Aufgaben,

- den Eintritt des Wassers in den Brunnen zu ermöglichen und dabei
- den Sand des Grundwasserleiters zurückzuhalten (sandfreie Wasserförderung) sowie
- die mangelnde Standfestigkeit der wasserführenden Schichten zu ersetzen

Die konstruktive Ausbildung des Brunnenfilters ist Hauptziel jeder Brunnenbemessung(-dimensionierung).

Allgemeine Regeln hierfür auf der Grundlage langjähriger Erfahrungen und neuerer strömungstechnischer Erkenntnisse enthält ein Werkstandard des VEB Projektierung Wasserwirtschaft, WAPRO 1.42/03. Allerdings läßt auch dieser Standard in den meisten Fällen verschiedene Lösungsvarianten zu, und es bedarf schon einiger Kenntnisse im Brunnenbau, um dem jeweiligen Optimum weitgehend nahezukommen.

Der generelle Ablauf einer Brunnendimensionierung kann wie folgt dargestellt werden:

1. Bestimmung der Betriebsart des Brunnens
(z. B. Produktionsbrunnen für Dauerbetrieb/Versuchsbrunnen für Kurzzeitbetrieb)
2. Bestimmung der ausbaufähigen Grundwasserleiter
(Wasserstand, Kornverteilung, Mächtigkeiten) und der mit Vollrohr auszubauenden undurchlässigen Zwischenschichten
3. Auswahl der Brunnenfilterart
(z. B. Kiesschüttungs- oder Gewebefilter)
4. Auswahl des Filtermaterials
(z. B. Stahl, Steinzeug, Kunststoff)
5. Auswahl der Pumpenart in Abhängigkeit von
 - erwarteter tiefster Wasserspiegelabsenkung
 - Energieversorgung (z. B. Unterwassermotor- oder horizontale Kreiselpumpe)
6. Festlegung der Wasserableitung
Dimensionierung der Abflußrohrleitung
Ermittlung der Nennförderhöhe der Pumpe
7. Auswahl des Pumpentyps für ermittelte Nennförderhöhe und Nennförderstrom

8. Festlegung der Einbautiefe der Pumpe
9. Festlegung des Brunnenausbaues
 - Brunnen-(Filter-)Durchmesser
 - hydraulisch bedingt
 - technisch bedingt (Pumpenabmessungen)
 - Filterlänge
 - geologisch möglich
 - strömungsmechanisch nötig
10. Bemessung (Auswahl) der Kiesschüttung bzw. des Filtergewebes
11. Festlegung der Bohrdurchmesser unter Beachtung des Einbaues von Kiesschüttung, Widerstandspegel usw.

Während Produktionsbrunnen für einen Dauerbetrieb vorgesehen werden, dienen Versuchsbrunnen im allgemeinen nur einer zeitweiligen Entnahme von wenigen Stunden bis zu einigen Wochen. Daraus resultieren naturgemäß geringere Anforderungen, besonders hinsichtlich Maßnahmen zur Einschränkung einer Brunnenalterung.

Lediglich für Demonstrativpumpversuche (DEMPV), bei denen künftige Förderbedingungen direkt simuliert werden sollen, entsprechen die Anforderungen an den Versuchsbrunnen denen des Produktionsbrunnens.

Obwohl sich im Brunnenbau gegenwärtig nahezu ausschließlich Kiesschüttungsbrunnen durchgesetzt haben, können für Versuchsbrunnen in vielen Fällen die billigeren Gewebefilter empfohlen werden (vgl. Tabelle 1).

Festlegungen des Filtergewebes bzw. -kieses können in Abhängigkeit von der Beschaffenheit des Grundwasserleiters übersichtlich nach Tabelle 2 getroffen werden.

Die Länge des Brunnenfilters ist von der Mächtigkeit des Grundwasserleiters abhängig. Für Pumpversuche ist darauf zu orientieren, den gesamten wassererfüllten Teil desselben zu verfiltern, sofern dem nicht spezielle Aufgabenstellungen entgegenstehen.

Die zur Einschränkung von Verockerungen bei Produktionsbrunnen aufgestellte Forderung, die Oberkante des Filterrohres mindestens 1 m unter dem tiefsten zu erwartenden Brunnenwas-

Tabelle 1. Bewertung von Kiesschüttung und Gewebefilter

Filterart	Vorteile	Nachteile
Kies- schüttung	<ul style="list-style-type: none"> - größere Widerstands- fähigkeit gegen Brunnenalterung (längere Lebensdauer) - geringerer Eintritts- widerstand - größere Brunnener- giebigkeit bei glei- chem Filterrohrdurch- messer 	<ul style="list-style-type: none"> - erhöhte Baukosten - großer Bohrdurchmesser - komplizierter Einbau
Gewebe	<ul style="list-style-type: none"> - geringer Bohrdurch- messer - einfacher Einbau - geringerer Kosten- aufwand 	<ul style="list-style-type: none"> - leicht zerstörbar (mechanische Beschädi- gung bei Transport und Einbau) - verockerungsgefährdet - für feine Sande unge- eignet

serspiegel anzuordnen, erscheint bei kurzlebigen Versuchsbrunnen nicht unbedingt nötig.

Im Bereich von Grundwasserstauern und am vorgesehenen Pumpeneinlauf ist der Brunnenfilter durch Vollrohre zu unterbrechen. In der Praxis der Pumpversuchseinrichtung muß immer wieder die Unsicherheit bemerkt werden, die in der Auswahl der richtigen Bohrungs- und Filterabmessungen besteht. Besonders trifft dies zu, wenn Unterwassermotorkreiselpumpen (UWM-Pumpen) zum Einsatz kommen sollen, da hier durch die relativ großen Pumpendurchmesser gewisse Mindestabmessungen für den Bohrrohr- bzw. Filter- und Filteraufsatzrohrdurchmesser erforderlich sind.

Anhand der Tabelle 3 soll eine schnelle Entscheidung über diese notwendigen Größen ermöglicht werden.

Tabelle 2. Festlegung von Filtergewebe und/oder Filtersand/-kies (nach TGL 23 864/02)

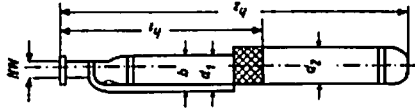
Grundwasserleiterausbildung		Filtergewebe			Filtersand/-kies	
Gestein	min d_{50} in mm	ohne Filtersand/ -kies		Unterlagsgewebe für Tresse oder Filtersand/ -kies	Kornklasse in mm	
		Tresse	Gewebe			
		Nr. nach TGL 27 876	Maschenweite in mm nach TGL 0-4189/01	nach TGL 22 964	nach Lieferprogramm x)	
vorwiegend Fein- sand, Schluff- einlagerungen	(0,1)	-	-	0,3	0,5 bis 1	0,63 bis 1
Mittelsand stark feinsandig	0,2	16	0,3	0,5	1,6 bis 3,15	2 bis 3,15 (2 bis 8)
feinsandig	0,3	12				
Mittelsand	0,3	10	0,5	1	2 bis 5	2 bis 5 (2 bis 8)
Mittelsand, grobsandig	0,4					
Mittel- bis Grob- sand und/oder Kiesx)	0,5	8	0,5 bis 1x)	2	3,15 bis 8	3,15 bis 8 (2 bis 8) (5 bis 8) (5 bis 12,5)

x) Ersatzkörnungen sind nur bis 50 m Tiefe zulässig

Tabelle 3. Einschätzung von Bohrrohr-, Filter- und TRK-Pumpen-Abmessungen für Versuchsbrunnen

Bohrrohre Nenn- maß	Stahlfilter- rohre Nenn- maß	Inn.- ϕ mm	Steinsaug- filter- Nenn- maß	min. Filter- rohr		Pumpen ϕ		h_1		h_2		Nenn- för- menge m^3/h	Motorleistung [kW] abhängig von Nennförderhöhe [m]					
				mm	mm	mm	mm	von mm	bis mm	von mm	bis mm		20	40	60	80	100	120
1620	1600																	
1220	1200	(1014)	(1000)															
1020	1000	(800)	(800)															
820	800																	
720	700	(610)	(600)					1145	2045	2625	4330	630	180	3200	4250			
620	600	(507)	(500)	475	500	(462 ^x)	377	855	1410	1934	2960	250	163	2100	3160	4200		
520	510	(456)	(450)	417	300	462 ^x)		665	990	1685	2290	160	150	280	3125			
(470)	(449)	(405)	(400)			327	323	575	1010	1465	2215	100	220	440	563	880		
426	406					280	273	610	1290	1390	2405	63	212,5	425	640	850		
(419)	(399)	368	360			273		610	1290	1390	2405	63	212,5	425	640	850		
377	359					250	235	610	1290	1390	2355	40	212,5	420	625	832		
(368)	(352)	325	317	300	200	216		530	1035	1253	1915	25	26	410	612,5	816	20	
325	309	273	267			200		530	1035	1253	2020	16	24	46	610	812,5	1016	
273	259	219	213			168		505	990	1160	1705	10	21,5	44	66	86	1010	
219	205	168	162			150		505	990	1160	1655	6	21,5	42,5	64	86	108	
168	156	108	102			100		150	142	133	425	4	21,5	62,5	82,5	102,5		
135	122	60	54	112	80	100	88	95	606	973	1345	4	01,5					

(^x) nicht nach TGL
(^y) mit Sauganteile



Erläuterungen zur Tabelle 3

In der ersten Spalte werden die Außendurchmesser der gebräuchlichen Bohrrohre aufgeführt. Gewisse Abweichungen von diesen Maßen, die besonders bei importierten Rohren auftreten, sind für das Erkennen der gewünschten Zusammenhänge ohne Bedeutung.

Zur Orientierung sind auch noch die zugehörigen Innendurchmesser angeführt.

In den nächsten Spalten sind Stahlfilterrohre und Steinzeugfilter angegeben. Die Anordnung ist hier so, daß der Filter noch eben in die daneben eingetragene Bohrtour eingebracht werden kann. Bei dem Einbringen von Kiesschüttungen oder beim Einbau von Peilrohren außerhalb des Filters muß demnach ein entsprechend größerer Bohrrohrdurchmesser gewählt werden. Obwohl für hydrogeologische Pumpversuche kaum eingesetzt, wurden der Vollständigkeit halber auch Steinzeugfilter nach TGL 25 240/03 aufgeführt. Im mittleren Teil der Übersicht werden Angaben über die wichtigsten Pumpendaten von UWM-Pumpen gemacht. Zunächst wird hier der erforderliche Mindestfilter- bzw. Bohrlochdurchmesser für die danebenstehend aufgeführten Pumpengrößen angegeben. Die Bedeutung der einzelnen Bezeichnungen ist der Skizze zu entnehmen.

Die erforderliche Motorleistung geht - in Abhängigkeit von der Nennförderhöhe und der Nennfördermenge bzw. dem Nennförderstrom - aus dem letzten Teil der Tabelle hervor. Dabei ist zu beachten, daß die angegebenen Förderhöhen für eine bestimmte Fördermenge jeweils von der Stufenzahl der Pumpe abhängig sind. Der hochgestellte Wert vor der Motorleistung stellt diese Stufenzahl dar. Förderhöhe und Fördermenge jeder Pumpe können selbstverständlich in bestimmten Grenzen variiert werden. Diese Grenzen sind speziellen Pumpenkennlinien zu entnehmen, die, wie auch die genaue Bezeichnung der zu wählenden Pumpenart, in entsprechenden Katalogen und Standards angegeben sind.

Während die Fördermenge um etwa $\pm 25\%$, bezogen auf die Nenngröße, variiert werden kann, ist für die Förderhöhe nur eine Variationsbreite von $\pm 10\%$ möglich. Die Pumpenlängen sind für eine bestimmte Fördermenge je nach Motorleistung verschieden.

Die Extremwerte dieser Längen sind in Tabelle 3 in den Spalten für h_1 und h_2 angegeben.

Für die Festlegung der Pumpenart ist zunächst die Kenntnis von Förderstrom Q und Förderhöhe erforderlich. Der Förderstrom muß im allgemeinen vorgegeben werden und resultiert aus den Anforderungen des Nutzers und dem gebietspezifischen Wasserandrang, der gegebenenfalls durch Analogieschlüsse zu benachbarten Fassungen gewonnen werden kann. Anhand der konkreten Ergebnisse am Standort, z. B. nach dem Klarpumpen, können sich diesbezüglich noch operative Korrekturen erforderlich machen.

Die Förderhöhe der Pumpe setzt sich aus dem geodätischen Höhenunterschied zwischen abgesenktem Wasserspiegel und Auslauf der Wasserableitung und zusätzlichen Druckverlusten durch Rohrreibung, Armaturen und Formstücke zusammen. Eine überschlägliche Ermittlung kann nach Bild 1 erfolgen.

Die Ermittlung der Förderhöhe der Pumpe hängt unmittelbar mit der Auswahl und Dimensionierung der Rohrleitung zusammen. Richtung und Länge der Rohrleitung sind so festzulegen, daß eine vollständige Ableitung des Wassers unter Beachtung der natürlichen Grundwasserfließrichtung gewährleistet und eine Versickerung innerhalb des Absenkungstrichters und damit ein Zurückfließen zur Fassung ausgeschlossen sind. Nach Möglichkeit ist die Einleitung in einen Vorfluter anzustreben. Dabei sind Schäden an Uferböschungen und Vorflutersohle zu vermeiden. Als Material für die Ableitung werden vorwiegend Stahlrohre verwendet. Besonders geeignet sind Schnellkupplungsrohre, da sie relativ glatt sind und dadurch geringe Reibungsverluste aufweisen und außerdem besonders leicht und schnell zu montieren sind.

Für die Durchführung von Pumpversuchen werden zumeist UWM-Pumpen, aber auch horizontale Kreiselpumpen und Druckluft-(Mammut-)Pumpen verwendet, siehe hierzu Bild 2.

Eine Bewertung kann mit Hilfe der Tabelle 4 vorgenommen werden.

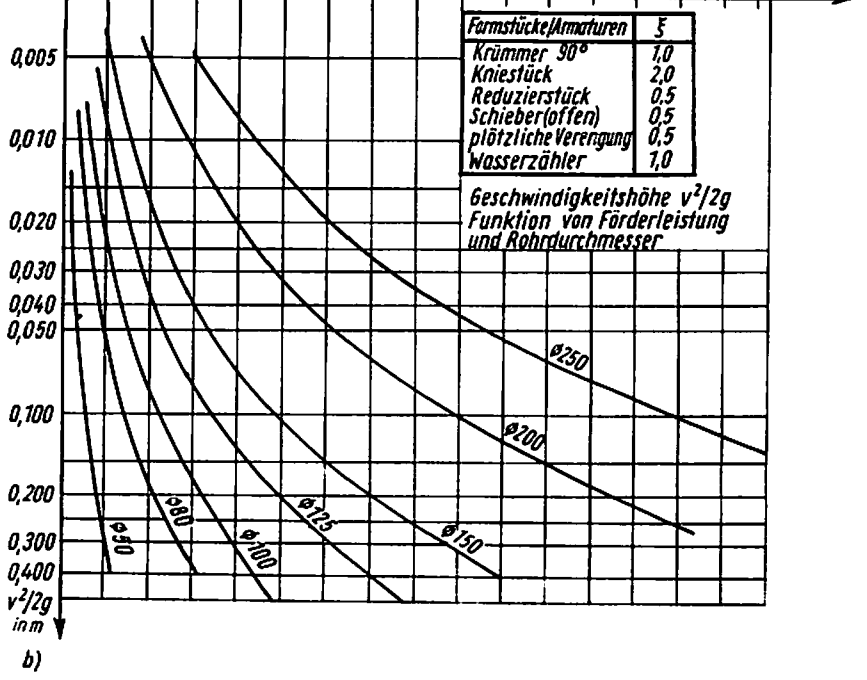
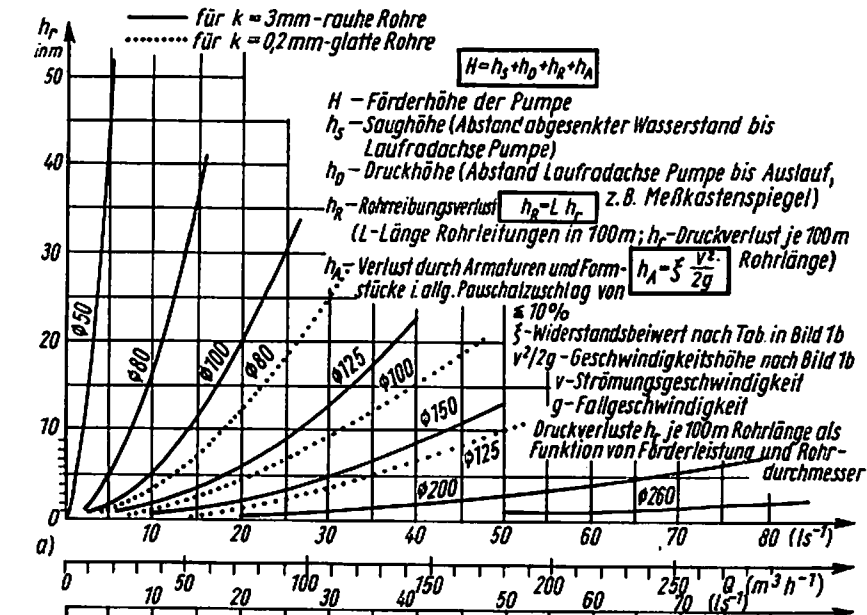


Bild 1. Graphik zur überschläglichen Ermittlung der Druckverluste

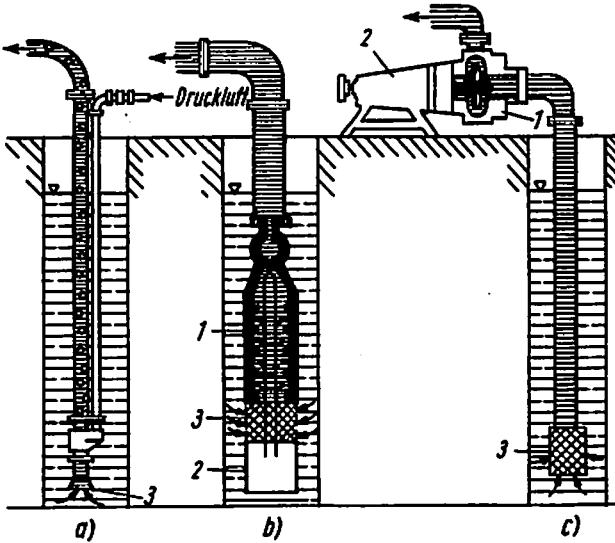


Bild 2. Prinzipskizzen für Wasserförderung

- a) Mammutpumpe
 - b) Unterwassermotorkreiselpumpe
 - c) horizontale Kreiselpumpe
- 1 Pumpe 3 Wassereintritt
2 Motor

Tabelle 4. Bewertung von Pumpen für Pumpversuche

Art	Energie	Vorteile	Nachteile
UWM-Pumpe	<ul style="list-style-type: none"> • Netzan- schluß • Diesel- Elektro- Aggregat 	<ul style="list-style-type: none"> • keine Ansaug- schwierigkeiten • Anwendung auch bei tiefliegen- dem Wasser- spiegel 	<ul style="list-style-type: none"> • großer Brunnen- (Bohrloch-) Durchmesser erforder- lich • stör anfällig bei Sandführung • nur mit Elektro- energie zu betrei- ben

Tabelle 4. (Fortsetzung)

Art	Energie	Vorteile	Nachteile
horizontale Kreisel- pumpe	<ul style="list-style-type: none"> • Netz- anschluß • Diesel- Elektro- Aggregat • direkter Diesel- antrieb 	<ul style="list-style-type: none"> • geringer Durch- messer der Saugleitung und des Brunnens • weniger emp- findlich bei Sandführung • unkomplizier- tere Wartung 	<ul style="list-style-type: none"> • begrenzter Einsatz durch geringe Saug- höhe (maximal 7 m)
Druckluft- pumpe (Mammut- pumpe)	<ul style="list-style-type: none"> • Kompres- sor 	<ul style="list-style-type: none"> • wenig störän- fällig, be- triebssicher, da keine be- weglichen Teile • keine Wartung • geringe Durch- messer möglich • Förderung me- chanisch (Sand) und chemisch verunreinigten Wassers 	<ul style="list-style-type: none"> • geringer Wirkungs- grad, bezogen auf Antriebsleistung des Kompressors (15 bis 30%) • hoher Luftverbrauch (4- bis 12faches des Förderstromes) • wenig regulierbar • pulsierender Fö- rderstrom und Schwie- rigkeiten der Was- serstandsmessung • Veränderung der Wasserbeschaffen- heit durch Belüf- tung (Förderung Wasser-Luft-Ge- misch)

Bei der Wahl der Energiezuführung ist zu beachten, daß bei Netzanschluß mit mehr oder weniger großen Strom- und damit Förderschwankungen zu rechnen ist. Bei Aggregaten müssen von vornherein ausreichende Kraftstoffreserven bereitstehen und

notwendige Unterbrechungen durch Ölwechsel rechtzeitig geplant und mit dem Objektbearbeiter abgestimmt werden.

Anweisungen zur konstruktiven Gestaltung des Versuchsbrunnens werden in den Formblättern der TGL 23 864/02 formuliert. Als günstig erweist sich zusätzlich eine graphische Darstellung beispielsweise anhand des Formblattes 12 nach TGL 25 011/03, siehe hierzu Bild 3.

3.2. Meßstellen neben Versuchsbrunnen

Die überwiegende Mehrzahl der Verfahren zur Auswertung von Pumpversuchen geht von Vereinfachungen hydrogeologischer und hydraulischer Sachverhalte aus, von denen die DUPUIT-Annahmen besondere Bedeutung besitzen. Danach ist die Brunnenanströmung weitgehend horizontal gerichtet, d. h., die Standrohrspiegelhöhe in vertikal übereinander liegenden Punkten des Grundwasserströmungsfeldes hat den gleichen Wert. Diese Annahme ist bei Pumpversuchen nicht ausnahmslos erfüllt, und es kann zu erheblichen Fehlern bei der Interpretation kommen, wenn dieser Sachverhalt unberücksichtigt bleibt. Besonders in unmittelbarer Brunnennähe treten in Abhängigkeit von den Druckverhältnissen des Grundwassers (gespannt/ungespannt), der Durchlässigkeit des Grundwasserleiters, dem Brunnenausbau (vollkommen/unvollkommen) und der Größe der Absenkung s im Brunnen Strömungsanomalien auf, die eine Vernachlässigung der vertikalen Potentialdifferenzen nicht mehr rechtfertigen. In diesem brunnennahen Absenkungsbereich kann die Standrohrspiegelmessung stark von der Tiefenlage des Filters der Meßstelle abhängen (vgl. Tabelle 5). Dieser Bereich wird, bezogen auf den Brunnen, im allgemeinen bis zu einer Entfernung von $x = \frac{H}{2}$ bis H , im Minimum sogar mit $0,2 H$ angegeben, wobei H der unbeeinflussten Grundwassermächtigkeit entspricht. Hierbei gelten die geringeren Abstände für x besonders für poröse Gesteine und ungespanntes Grundwasser, die größeren Abstände für klüftige und Karstgesteine sowie gespanntes Grundwasser.

Auch in größerer Entfernung vom Versuchsbrunnen, dem sogenannten äußeren Absenkungsbereich, treten systematische Ab-

Ausbauvorschlag für Brunnen
 Objekt: Hy - B-Dorf
 Brunnenbezeichnung: 2/77

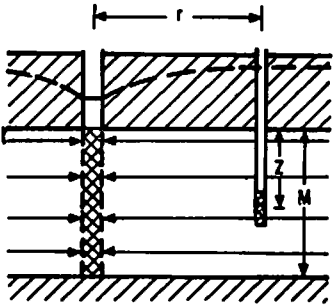
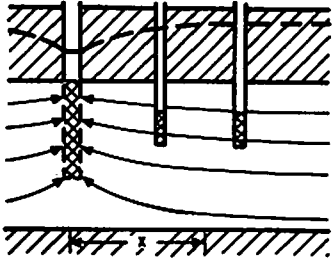
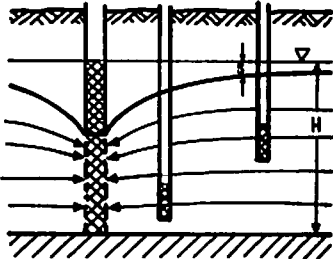
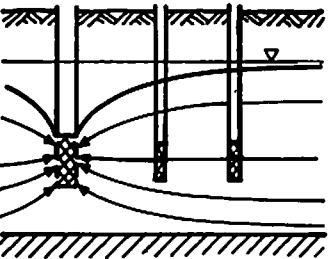
Bearbeiter:
 Filterart:

Anlage
 Blatt

Maßstab 1:700	Gestein			GW-Spiegel (normal u. extrem)	Brunnenausbau											
	Probe-Nr.	Kurzzeichen Teufe in m (s.d.)	Säulen- profil		Filter und Vollrohr			Kieserschüttung								
					Filterart	Filterhöhe in m	Filtertiefe in m	Filterart	Fraktion in mm	Fraktion in mm	Fraktion in mm					
1																
2		FS,su														
3		2,4														
4		Su		BW				300								
5				tiefster GW-Spiegel												
6		6,0		(bei Q_{max} $\approx 15 \text{ ls}^{-1}$)				6,5								
7	1															
8		GS,fki														
9	2															
10																
11	3							300								
12		7,3														
13	4															
14		FKi,gs														
15	5															
16	6							15,5								
17		16,0														
18		T						300								
19		Endteufe 18,5						18,0								
20																
21	FS,su Feinsand ,schluffig Su Schluff GS,fki Grobsand, feinkiesig Q_{max} maximale Fördermenge BW Bezugswasserstand FKi,gs Feinkies, grobsandig T Ton Signatur gemäß NBS T100 (Werkstandard VEB Hydrogeologie)															
22																

Bild 3. Ausbauvorschlag für Brunnen

Tabelle 5. Tiefenlage von GWBR in PV-Gruppen

GW-Leiter	Vollkommener Brunnen	Unvollkommener Brunnen
<p>GESPANNT</p>	 <ul style="list-style-type: none"> ● Lage des GWBR-Filters gleichgültig, solange Druckabsenkung im Bereich des Hangendstauers ● aus ökonomischen Gründen Anordnung GWBR möglichst nahe GW-Deckfläche (max. Absenkung beachten!) ● bei wechselnden Schichten unterschiedlicher Durchlässigkeit Filtereinbau in die durchlässigste Schicht bzw. mehrere GWBR in verschiedenen Höhenlagen 	<p style="text-align: center;">brunnennaher mittlerer Absenkungsbereich</p>  <ul style="list-style-type: none"> ● Anordnung GWBR möglichst nahe der GW-Deckfläche (max. Absenkung beachten!)
<p>UNGESPANNT</p>	 <ul style="list-style-type: none"> ● in brunnennahen Bereich GWBR-Filter unweit der Sohle des GW-Leiters (bei großen Teufen oft ökonomisch unvertretbar); besser GWBR vermeiden. ● im mittleren Absenkungsbereich etwa (0,5 ... 0,8) H über Sohle des GW-Leiters 	 <ul style="list-style-type: none"> ● Anordnung GWBR-Filter etwa in Höhe Mitte Brunnenfilter, aber mindestens 1 m unter tiefsten zu erwartenden GW-Stand (OK-Filter)

weichungen von den getroffenen Vereinfachungen auf, die eine Pumpversuchsauswertung nach den üblichen Verfahren erschweren. Dieser Bereich beginnt größenordnungsmäßig in einer Entfernung von $x = 100$ bis 150 m vom Brunnen im Lockergestein und im Festgestein in noch größerer Entfernung (bis 400 m).

Aus dem geschilderten Sachverhalt und praktischen Erfahrungen können folgende Forderungen abgeleitet werden:

- Grundsätzlich sollten bei Pumpversuchen Grundwasserbeobachtungsrohre (GWBR) neben den Versuchsbrunnen vorgesehen werden, da alleinige Messungen im Brunnen nicht in jedem Falle die konkreten Verhältnisse widerspiegeln. Eine derartige Versuchsanordnung wird als Pumpversuchsgruppe bezeichnet. Lediglich im Festgestein und in tief gelegenen Lockergesteinsgrundwasserleitern kann gegebenenfalls aus ökonomischen Gründen auf GWBR verzichtet werden, wobei man sich über diesbezügliche Beschränkungen der Auswertbarkeit im klaren sein muß.
- Um eine komplikationslose Anwendung der üblichen Auswertungsverfahren zu gewährleisten, sind die GWBR möglichst im Raum zwischen brunnennahem und äußerem, dem sogenannten mittleren Absenkungsbereich anzuordnen (günstiger Bereich im Abstand $x = 1$ bis $2 H$).
- Die Einbautiefe der GWBR-Filter ist entsprechend Tabelle 5 im Bereich paralleler und horizontaler Stromlinien vorzunehmen. Mehrere GWBR sind in einheitlicher Tiefe, unbedingt aber im gleichen Horizont anzuordnen. Es ist zu garantieren, daß die GWBR auch bei größter Absenkung im Brunnen nicht trockenfallen.
- Zwecks punktförmiger Erfassung der Druckhöhe mittels GWBR sind deren Filter möglichst kurz zu halten ($0,5$ bis 1 m).
- Die Anzahl der GWBR in Pumpversuchsgruppen richtet sich nach dem vorgesehenen Auswertungsverfahren. Eine Auswertung des zeitlichen Absenkungsverlaufes erfordert mindestens ein GWBR; für eine Auswertung des räumlichen Absenkungstrichters sind mindestens zwei GWBR erforderlich.
- Für räumliche Auswertungen sind die GWBR, ausgehend vom Versuchsbrunnen, strahlenförmig anzuordnen. Häufig wird ein

Strahl parallel und einer senkrecht zum natürlichen Grundwassergefälle vorgesehen. Bei Pumpversuchen sollte neben Vorflutern ein Strahl parallel und einer senkrecht zu diesem hin verlaufen.

- Der Abstand vom Versuchsbrunnen zum nächstgelegenen GWBR soll, entsprechend der Definition des brunnenahen Bereiches, mehr als 0,2 H, keinesfalls aber weniger als 2 m betragen.

Für mehrere GWBR auf einem Strahl werden in verschiedenen Richtlinien beispielsweise die Werte der Tabelle 6 angegeben.

Tabelle 6. Abstände der GWBR vom Versuchsbrunnen in m

Durchlässigkeit Grundwasserleiter	Nr. GWBR auf Strahl	Anzahl GWBR je Strahl		
		2	3	4
gering (Feinsand)	1	2 bis 3	2 bis 3	-
	2	5 bis 10	5 bis 10	-
	3	-	10 bis 30	-
	4	-	-	-
mittel (Mittel- bis Grob- sand)	1	3 bis 5	3 bis 5	3 bis 5
	2	10 bis 15	10 bis 15	10 bis 15
	3	-	20 bis 40	20 bis 40
	4	-	-	100 bis 150
groß (Grobsand bis Fein- sand)	1	5 bis 10	5 bis 10	5 bis 10
	2	15 bis 30	15 bis 30	15 bis 30
	3	-	50 bis 100	50 bis 100
	4	-	150 bis 300	150 bis 300

Eine weitere Präzisierung des erforderlichen Abstandes des GWBR vom Versuchsbrunnen wird nach TGL 23 864/03 im Ergebnis einer Vorausberechnung des Pumpversuches empfohlen.

Dabei wird mit geschätzten Parametern für die Profildurchlässigkeit T und unter Verwendung geohydraulischer Berechnungs-

verfahren der Abstand ermittelt, bei dem nach einer zuvor festgelegten Pumpdauer noch auswertbare Absenkungsbeträge zu verzeichnen sind.

- Befinden sich im Einflußbereich von Pumpversuchen Randbedingungen, die einen Einfluß auf den Absenkungsverlauf haben werden, so hat es sich als günstig erwiesen, das GWBR in einer solchen Entfernung von Randbedingung bzw. Versuchsbrunnen anzuordnen, daß während des Pumpversuches eine Absenkungsphase erfaßt werden kann, die von der Wirkung der Randbedingung noch unbeeinflusst ist. Hierzu kann das Nomogramm in Bild 2 der TGL 23 864/02 verwendet werden.
- Ein unvollkommener Brunnenausbau erfordert hinsichtlich der Pumpversuchsauswertung einen erhöhten Aufwand. Es ist deshalb in vielen Fällen empfehlenswert, ebenfalls durch eine Vorausberechnung nach TGL 23 864/08 mit geschätzten Parametern den Abstand des GWBR vom Versuchsbrunnen zu bestimmen, bei dem die Unvollkommenheit des Brunnens vernachlässigt werden kann.
- Zur Erfassung natürlicher und vom Pumpversuch unabhängiger künstlicher Grundwasserspiegelschwankungen ist in das Meßprogramm eine "neutrale" Meßstelle einzubeziehen, die sich in größerer Entfernung (bis zu einigen km) und in der gleichen hydrogeologischen Einheit wie der Versuchsbrunnen befinden soll.

Die konstruktive Ausbildung eines GWBR ergibt sich nach den Regeln der TGL 24 354.

Die wichtigsten Details sind in Bild 4 dargestellt.

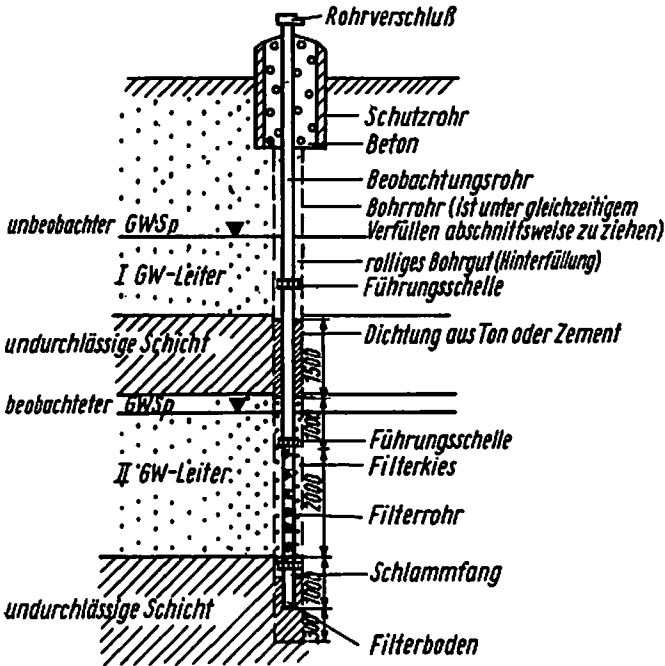


Bild 4. Beispielskizze für den Einbau eines Grundwasserbeobachtungsrohres nach TGL 24 354

4. Durchführung von Pumpversuchen

4.1. Vorbereitungen

4.1.1. Kontrolle der Versuchsanlage

Bevor ein Pumpversuch begonnen werden kann, ist es erforderlich, sich über den projektgemäßen Aufbau der Versuchsanlage und über deren Funktionsfähigkeit zu informieren sowie auftretende Mängel zu beseitigen. Zu diesem Zweck werden visuelle Kontrollen der Pumpversuchsgruppe, insbesondere des Brunnens, der Förderanlage, der Abflußleitung, der Meßgeräte und der Probennahmeeinrichtungen (siehe TGL 23 864/02, S. 23) vorgenommen.

Wesentlich sind auch die Markierung und höhenmäßige Einmessung aller Meßpunkte. Sofern eine höhenmäßige Einmessung

nicht sofort möglich ist, müssen die Meßpunkte für eine nachfolgende markscheiderische Aufnahme fixiert werden.

Der Nachweis der Betriebsbereitschaft erfolgt schließlich durch Funktionsproben der GWBR, durch Wasserzugabe oder -entnahme und das Ausloten und Klarpumpen des Versuchsbrunnens. Entsprechend der eingangs formulierten Definition werden mit dem Klarpumpen mehrere Ziele verfolgt:

- Ermittlung der Funktionsfähigkeit des Brunnens
- Beseitigung von Bohrlochtrübe bzw. Bohrschmand
- Beseitigung feinen Materials aus dem anstehenden Grundwasserleiter zwecks sandfreier Wasserführung
- Einschätzung der beim Pumpversuch zu erwartenden Grundwasserabsenkungen in Abhängigkeit vom Förderstrom zur Präzisierung der Pumpversuchsanweisung
- gegebenenfalls Entnahme von Wasserproben

Zwecks Klarpumpen ist nach Anfahren der Pumpe der Förderstrom jeweils dann langsam zu steigern, wenn eine sandfreie Wasserförderung auftritt. Dann wird eine Steigerung bis auf etwa das 1- bis 1,5fache des maximal geplanten Förderstromes vorgenommen. Wassermenge und Absenkung sind während des Klarpumpens mindestens stündlich und bei Änderung des Förderstromes zu registrieren. Vor Beginn des Klarpumpens ist der Bezugswasserstand an allen Meßstellen zu registrieren.

4.1.2. Aufstellung des Versuchsprogramms

Vom Objektbearbeiter ist ein Pumpversuchsprogramm auszuarbeiten und nach entsprechender Einweisung der Pumpversuchsbrigade schriftlich zu übergeben. Dieses Programm muß folgende Angaben enthalten:

- Anzahl der Pumpstufen
- Förderstrom je Pumpstufe
- Pumpdauer der einzelnen Pumpstufen
- Meßprogramm
- Hinweise zu Besonderheiten

Abweichungen sind nur nach Zustimmung des Objektbearbeiters zulässig.

Festlegung der Pumpstufen

Die bisherige Pumpversuchspraxis hat gezeigt, daß man günstige Aussagen über das Verhalten von Brunnen und Grundwasserleiter unter verschiedenen Zuständen der Beeinflussung erhält. Zu diesem Zweck werden während festgelegter Zeiträume Förderstrom bzw. Grundwasserabsenkung variiert, d. h., der Pumpversuch wird in einzelne Stufen untergliedert. Während man in der Vergangenheit möglichst viele Pumpstufen anstrebte und 4 bis 6 keine Seltenheit waren, orientiert man gegenwärtig aus ökonomischen Erwägungen heraus auf 2 Stufen im Lockergestein und 3 Stufen im Festgestein. Demonstrativpumpversuche sollten grundsätzlich nur mit einer Pumpstufe gefahren werden.

Förderstrom je Pumpstufe

Der Förderstrom je Pumpstufe ist auf Grund der Ergebnisse des Klarpumpens unter Beachtung des Brunnenausbaues und der Anzahl der Pumpstufen festzulegen. In diesem Zusammenhang hat es sich als günstig erwiesen, wenn die beim Klarpumpen gemessenen Förderströme und entsprechenden Absenkungen graphisch dargestellt werden (Bild 5). Dabei ist es zweckmäßig, die dem jeweiligen

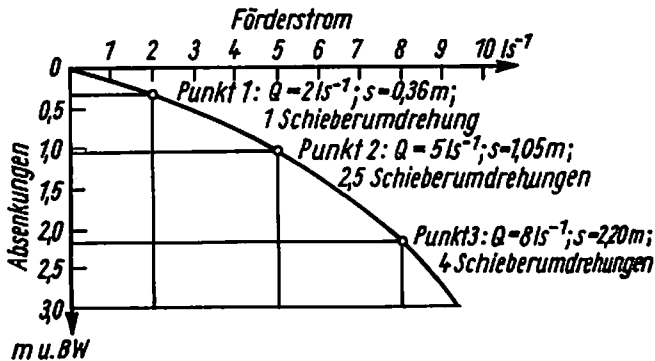


Bild 5. Schema zum Auswerten des Klarpumpens
m u. BW - m unter Bezugswasserstand

Förderstrom zugehörige Schiebereinstellung zu registrieren.

Bei der Anordnung von nur einer Pumpstufe ist auf einen größtmöglichen und von Beginn bis Ende konstanten Förderstrom zu achten.

Zur demonstrativen Bestimmung von Wassermenge und -beschaffenheit sollte der Förderstrom der Fördermenge entsprechen, die später dem Brunnen im Wasserwerksbetrieb entnommen werden soll.

Werden 2 Pumpstufen angeordnet, ist möglichst für die 1. Pumpstufe eine Fördermenge vorzusehen, die entweder bei einer Grundwasserabsenkung im Brunnen von etwa 1 m eintritt oder der Hälfte des größtmöglichen Förderstromes in Abhängigkeit vom Brunnenausbau entspricht.

Im Interesse einer einfachen geohydraulischen Auswertbarkeit sollten die Pumpversuche grundsätzlich intermittierend gefahren werden, d. h., daß nach jeder Pumpstufe die Pumpe abgeschaltet wird und nachfolgend Anstiegsmessungen durchgeführt werden (vgl. Abschnitt 4.2.3.). Ein kontinuierliches Aneinanderreihen mehrerer Pumpstufen ohne Unterbrechung war früher allgemein üblich, erschwert aber die Bestimmung der hydrogeologischen Parameter bedeutend.

Pumpdauer

Die Pumpdauer t ist von den zu erwartenden Ergebnissen abhängig. Für die Ermittlung von T und S ist die Pumpdauer der Tabelle 7 nach TGL 23 864/02 zu entnehmen.

Dienen die Pumpversuche einem demonstrativen Vorratsnachweis, muß versucht werden, die künftige Fördermenge über einen längeren Zeitraum zu pumpen. Als Richtwert gelten nach neuesten Erkenntnissen 300 Stunden für ungespanntes und 200 Stunden für gespanntes Grundwasser.

Die Pumpdauer zur Beurteilung chemischer Komponenten und deren Veränderlichkeit ist von den speziellen natürlichen Verhältnissen und der konkreten Aufgabenstellung abhängig und möglichst mit dem Auftraggeber abzustimmen.

Tabelle 7. Einschätzung der Pumpdauer nach TGL 23 864/02

Art des Grundwasserleiters	Dauer einer Pumpstufe in h im ungespannten Grundwasser (ohne Wiederanstieg)		
	Abstand der Meßstelle vom Versuchsbrunnen		
	2 bis 10 m	10 bis 20 m	20 bis 50 m
Grobsand bis Feinkies	5 bis 10	10 bis 20	20 bis 30
Mittelsand	8 bis 15	15 bis 40	40 bis 80
Feinsand und schluffige Sande	15 bis 50	50 bis 150	150 bis 400
poröses Festgestein	20 bis 40	-	-

Meßprogramm

Die Meßzeiten sind für Grundwasserabsenkungs-, anstiegs- und -mengenmessungen innerhalb der Pumpversuchsgruppe der Tabelle 8 zu entnehmen.

Abweichungen sind gestattet, wenn Aussagen zu anderen Zeitpunkten zusätzlich gewünscht werden.

Tabelle 8. Bestimmung der Meßzeitintervalle an der Pumpversuchsgruppe und zur Mengenummessung nach TGL 23 864/02

Zeitraum vom Beginn jeder Pumpstufe und unmittelbar nach Abschalten der Pumpe (Zeitpunkt 0)	Meßzeitintervall in min	
	Versuchsbrunnen	benachbarte Meßstelle
bis 10. Minute	1	2
bis 30. Minute	5	5
bis 60. Minute	10	10
bis 2. Stunde	20	20
bis 3. Stunde	30	30
bis 4. Stunde	60	60
bis 5. Stunde	60	90
ab 6. Stunde	60	120

Weitere Grundwasseraufschlüsse (GWBR, Wirtschafts- und Löschwasserbrunnen), die in beliebiger Entfernung vom Entnahmebrunnen, jedoch in dessen Einflußbereich liegen und zur hydrogeologischen Beurteilung des Untersuchungsgebietes herangezogen werden müssen, dürfen in größeren Meßzeitintervallen beobachtet werden. Die Meßzeiten sind abhängig von der Entfernung der Meßstellen zum Versuchsbrunnen. Sie sollten zwischen 3 und 24 Stunden liegen, wobei das größte Intervall für den Aufschluß angeordnet wird, welcher am weitesten vom Versuchsbrunnen entfernt liegt.

Besonderheiten ergeben sich noch bei benachbarten Vorflutern, wo Wasserstandsschwankungen zu erwarten sind, die Einflüsse auf den Grundwasserspiegel generell haben können. Diese Wasserstände sind täglich zweimal, beim Durchgang von Hochwasserwellen auch öfter zu messen. Dafür sind vorhandene Pegel oder neueingerichtete Hilfspegel zu nutzen.

Weitere Messungen, die festgelegt werden müssen, sind Temperaturmessungen von

- Luft, mittels im Schatten angeordneten Thermometers, 1- bis 3mal täglich, je nach den allgemeinen Temperaturschwankungen
- Grundwasser, mittels Schöpfthermometers im Filterbereich des Versuchsbrunnens, 1mal täglich und zusätzlich bei Wasserprobennahmen und vor dem Abschalten der Pumpe
- Oberflächenwasser, mittels Schöpfthermometers im Stromstrich, 1mal täglich

Besonderheiten

Im Meßprogramm sind außerdem Hinweise zu folgenden Sachverhalten zu verankern:

- zusätzliche außerplanmäßige Beobachtungen von Wasserständen, Fördermengen, Temperaturen, die der Auftraggeber oder Objektbearbeiter für bestimmte Aussagen benötigt
- Wasserprobennahmen
- Wasserprobentransport

4.2. Pumpversuchsablauf

4.2.1. Messungen vor Beginn des Pumpversuches

Unmittelbar vor Beginn eines Pumpversuches ist an allen Meßstellen der Bezugswasserstand BW (früher auch als Ruhewasserspiegel bezeichnet) jeweils zweifach einzumessen und zu registrieren. Dabei ist unter Berücksichtigung natürlicher Schwankungen auf eine weitgehende Annäherung an den Bezugswasserstand vor dem Klarpumpen (KLP) zu achten. Abweichungen im cm-Bereich sind zulässig. Vergeht zwischen Klarpumpen und Pumpversuchsbeginn ein größerer Zeitraum (mehrere Tage oder Wochen), sind zwischenzeitliche Wasserstandsmessungen anzustreben.

Soll der Pumpversuch zur hydrogeologischen Beurteilung eines größeren Gebietes dienen, so sind auch zusätzliche Grundwasseraufschlüsse - wie vorhandene GWBR, Wirtschaftsbrunnen, Löschwasserbrunnen - einzumessen.

Außerdem sind vor Beginn eines Pumpversuches zu messen:

- Luft-, Grundwasser- und bei Bedarf Oberflächenwassertemperatur
- Wasserstände im Vorfluter (bei Bedarf)

Das Wetter ist für die Zeit kurz vor und während des Pumpversuches zu beschreiben. Wichtig sind Hinweise zu Trockenperioden, Starkniederschlägen, Frost usw.

4.2.2. Die Absenkungsphase

Der Pumpversuch beginnt mit dem Einschalten der Pumpe. Der besseren Übersicht wegen empfiehlt es sich, den Pumpversuchsbeginn auf eine volle Stunde zu legen.

Wird die Pumpe gegen den offenen Schieber angefahren, der vorher entsprechend dem gewünschten Förderstrom (beachte Ausführungen zum Bild 5) eingestellt werden kann, können alle Meßzeitintervalle von Anfang an, wie sie in Tabelle 8 genannt werden, ohne Schwierigkeiten eingehalten werden. Häufig wird jedoch die Meinung vertreten, daß es günstiger ist, mit der

Förderung gegen den geschlossenen Schieber zu beginnen, um Überlastungen der Pumpe zu vermeiden. Dann ist sofort nach dem Einschalten der Pumpe der Schieber in die vorher bestimmte Stellung zu bringen.

Die Absenkungs- und Mengmessungen beginnen für alle festgelegten Meßstellen unmittelbar nach Pumpversuchsbeginn entsprechend dem Meßprogramm.

4.2.3. Die Wiederanstiegsphase

Mit dem Abschalten der Pumpe wird die jeweilige Absenkungsphase abgeschlossen. Das Abschalten gilt als Zeitpunkt 0 für die Wiederanstiegsmessungen nach Tabelle 7. Die Meßzeitintervalle der Wiederanstiegsmessungen sind analog denen der Absenkungsmessungen. Messungen sind bis zum Erreichen des Bezugswasserstandes unter Beobachtung der natürlichen Grundwasserspiegelschwankungen durchzuführen. Ein vorheriger Abbruch dieser Messungen ist nur ausnahmsweise möglich und bedarf einer Begründung und Vereinbarung mit dem Bearbeiter. Ursachen dafür können u. a. meteorologische Einflüsse sein. Erst nach Erreichen des Bezugswasserstandes darf mit der nächsten Pumpstufe begonnen werden.

4.2.4. Verhalten bei Havarien

Treten während der Absenkungsphase unvorhergesehene Unterbrechungen des Pumpversuches auf, z. B. durch Ausfall der Energiezuführung oder defekten Motor, besteht bei sofortiger Messung des Grundwasseranstieges die Möglichkeit, gültige Pumpversuchsdaten für die Berechnung hydrogeologischer Parameter zu erhalten. Der Zeitpunkt des Havarieeintrittes gilt analog den oben angeführten Ausführungen als Zeitpunkt 0. Die Wiederanstiegsmessungen sind entsprechend dem vorgegebenen Meßprogramm bis zum Erreichen des Bezugswasserstandes vorzunehmen. Parallel zu den Messungen sind Maßnahmen einzuleiten, um die Havarie zu beseitigen.

Anhand der bis zum Havariezeitpunkt vorliegenden auswertbaren Ergebnisse hat der Objektverantwortliche zu entscheiden, ob der Pumpversuch erneut angefahren werden muß.

4.2.5. Wasserprobennahme

Während eines jeden Pumpversuches erfolgen Wasserprobennahmen nach TGL 23 979/03. Die Wasserproben werden einem Labor zwecks Analyse der chemischen Beschaffenheit und physikalischen Eigenschaften übergeben.

Zur Beurteilung der hygienischen Voraussetzungen der Verwendung als Trinkwasser werden gegebenenfalls bakteriologische Untersuchungen bei Bezirkshygieneinstituten in Auftrag gegeben, deren Mitarbeiter die benötigten Wasserproben selbst entnehmen.

4.3. Felddokumentation

Die korrekte Dokumentation aller Daten, die mit dem Pumpversuch zusammenhängen, ist von außerordentlicher Wichtigkeit, da davon die gültige Pumpversuchsauswertung abhängt. Es ist nach den Formblättern 1 bis 5 der TGL 23 864/02 zu verfahren.

Für Angaben zum Versuchsbrunnen und den zur Pumpversuchsgruppe gehörenden GWBR gelten die Formblätter 1 bis 3. Diese müssen auf der Baustelle entsprechend dem Istzustand vollständig ausgefüllt werden.

Für die Registrierung der Pumpversuchsergebnisse ist entsprechend dem Pumpversuchsprogramm ein Pumpversuchsprotokoll vorzubereiten, in dem alle Meßdaten sofort dokumentiert werden können. Es gelten dafür die Formblätter 4 und 5.

Alle Messungen sind sofort an Ort und Stelle gut leserlich mit Zeitangabe schriftlich festzuhalten.

In den Blättern werden folgende wichtige Daten aufgeführt:

- Daten, die durch die Markscheiderei erhalten werden
 - Hoch- und Rechtswerte der Versuchsbrunnen und GWBR zur Bestimmung der genauen Lage
 - Meßpunkthöhen der Versuchsbrunnen und GWBR

- Daten, die von der Bohr- bzw. Pumpversuchsbrigade mitgeteilt werden
 - Bohrteufe mit zugehörigem Bohrdurchmesser
 - Versuchsbrunnenausbau bezüglich Teufe, Material, Durchmesser, Vollrohr- und Filterrohrstrecken, Filterschlitzweiten, Abdichtungen und Hinterfüllungen, Wasserstände in Meter unter Meßpunkt
 - Pumpeneinbau, Pumpeneinlauf in Meter unter Ansatz, Förderhöhe, theoretischer Förderstrom, Energiequelle
 - Länge und Durchmesser der Abflußleitung
 - Meßgeräte zur Mengemessung
- Daten, die während des Pumpversuches erhalten werden
 - Pumpversuchsablauf (Klarpumpen, Pumpstufen)
 - Pumpdauer, Dauer der Anstiegsmessungen
 - Förderströme
 - Beharrungen
 - Wasserstandsänderungen zum Bezugswasserstand, und zwar während des Pumpversuchs und danach
 - Bezugswasserstände
 - Wasserprobennahmen bezüglich Zeit, Analysenart, Menge, Probennehmer und Untersuchungslabor
 - Skizze der Pumpversuchsgruppe

Zur Registrierung der Daten während des Pumpversuches werden der Pumpbrigade vorbereitete Formblätter übergeben.

Alle Formblätter sind vom Leiter der Bohr- bzw. Pumpversuchsbrigade und vom Objektbearbeiter zu unterschreiben, die damit die Richtigkeit der Angaben bestätigen.

4.4. Qualitätsbewertung

Der Pumpversuch wird nur anerkannt, wenn alle bisher genannten Forderungen sowie evtl. weitere zusätzliche Anweisungen beachtet worden sind und die Meßergebnisse in einem lesbaren Pumpversuchsprotokoll vorgelegt werden. Der verantwortliche Bearbeiter muß die Pumpversuchsabnahme durch Unterschrift auf den Pumpversuchsdokumentationen bestätigen.

Werden bei der Pumpversuchsauswertung Mängel festgestellt, die auf Nichtbefolgen der Anweisungen zurückzuführen sind, hat der Objektbearbeiter über die notwendigen Maßnahmen (z. B. PV-Wiederholung) zu entscheiden. Bei außerplanmäßigen Unterbrechungen ist die Pumpversuchswiederholung dann erforderlich, wenn eine ordnungsgemäße Auswertung mit den vorliegenden Ergebnissen nicht möglich ist. Bei Wiederholung ist der Pumpversuch erst nach erfolgtem Wiederanstieg neu anzufahren.

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 Wassermengenmessungen 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 Wassermengenmessungen bei größeren PV-Gruppen eignen sich automatische Meß- und Registrier-einrichtungen. 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 Brunnenpeile

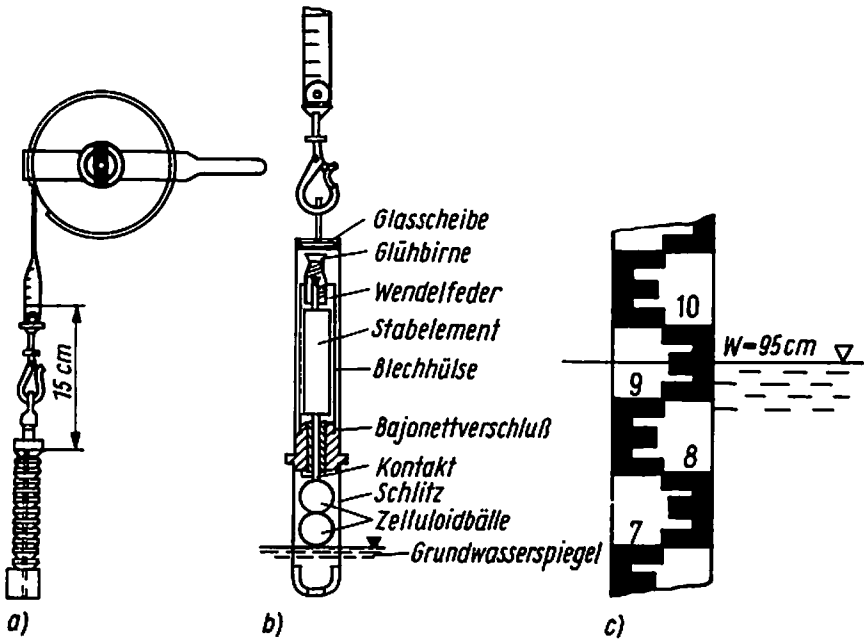


Bild 6. Wasserstandsmeßgeräte
a) Brunnenpfeife c) Regellatte
b) Lichtlot

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 $\pm 1\text{ cm}$, bei Teufen von $> 50\text{ m}$ $\pm 2\text{ cm}$, 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.

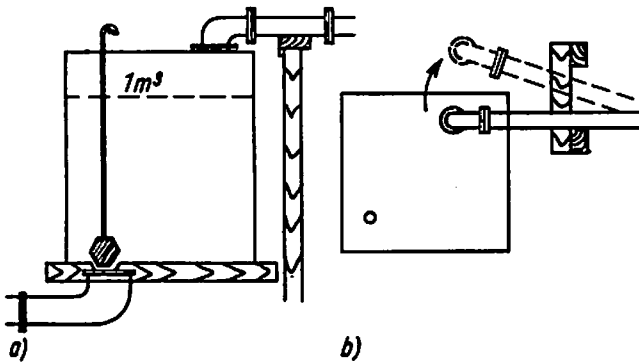


Bild 7
Anordnung für
Behältermessungen
a) Seitenansicht
b) Draufsicht

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

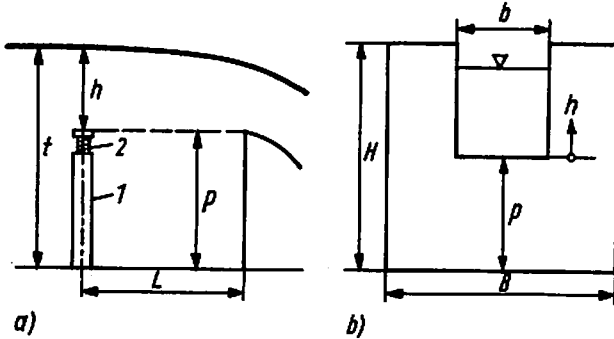


Bild 8
 Rechteckwehr
 a) Längsschnitt
 b) Querschnitt
 1 Meßbolzen
 2 Stellschraube

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 Oberlauf zu größer werdende Spiegelsenkung auszuschalten. Diese Entfernung wird festgelegt durch

$$3 h \leq L \leq 4 h$$

Weiterhin ist die Bedingung einzuhalten, daß die Wehrhöhe $p \geq h$ 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 aufgehallen. 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 Drossleinrichtung 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

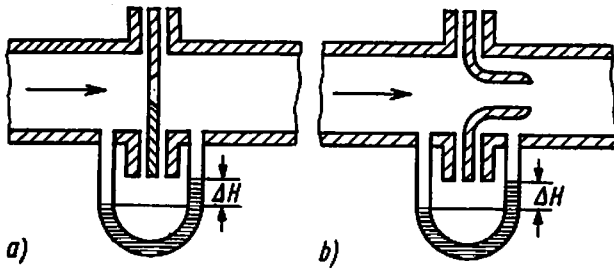


Bild 9
Drosselmeßgeräte
a) Meßblende
b) Meßdüse

- 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

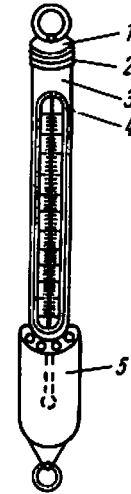
Diese Instrumente werden im Wasserversorgungsbetrieb allgemein verwendet, sind aber für eine Grundwassererkundung meist ungeeignet. Nur gelegentlich werden sie bei längeren Pumpversuchen in Verbindung mit Meßkästen eingesetzt. Sie zeigen summarisch die Wassermengen an, die vom Beginn des Einschaltens 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 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ höhere Lufttemperatur ändert die Temperatur im Schöpfgefäß in $1/2$ Minute um etwa $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Die Thermometerskala ist im allgemeinen in Intervalle von $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ unterteilt.

Bild 10
Schöpfthermo-
meter

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



6. Auswertung von Pumpversuchsergebnissen

6.1. Grundlagen der geohydraulischen Pumpversuchsauswertung

Die Auswertung von Pumpversuchen muß sich grundsätzlich auf die im Kapitel 1. aufgeführten Hauptziele beziehen. In diesem Zusammenhang spielt die Ermittlung der hydrogeologischen Parameter Durchlässigkeitswert bzw. Profildurchlässigkeit hinsichtlich der Bedeutung für den Vorratsnachweis und des erforderlichen Auswertungsaufwandes die dominierende Rolle.

Über die geohydraulische Pumpversuchsauswertung liegen umfassende theoretische und praktische Erfahrungen vor.

Die mengenmäßige Berechnung eines gesuchten Grundwässervorrates erfolgt auf der Grundlage bekannter Werte der Durchlässigkeit (k -Wert), des Gefälles und der Lagerstättengeometrie. Bei der PV-Auswertung geht es um die Lösung der umgekehrten Aufgabe, indem durch Entnahme eines bekannten Förderstromes Q meßbare Veränderungen der Strömungsverhältnisse (Gefälle) hervorgerufen werden, aus denen der gesuchte k -Wert berechnet

wird. Als einfachster oder Grundfall für die Pumpversuchsauswertung wird ein unendlich ausgedehnter Grundwasserleiter (ZWL) angenommen, in dem sich ein hydraulisch vollkommener Versuchsbrunnen befindet, aus dem ein konstanter Förderstrom entnommen wird. Einen unendlich ausgedehnten Grundwasserleiter, den es selbstverständlich in der Natur nicht gibt, kann man als mathematische Abstraktion dann in Rechnung setzen, wenn sich der Absenkungstrichter, der sich je nach Größe der Grundwasserentnahme ausbildet, ungehindert bis in größere Entfernungen, wie im Bild 11 angedeutet, ausdehnen kann.

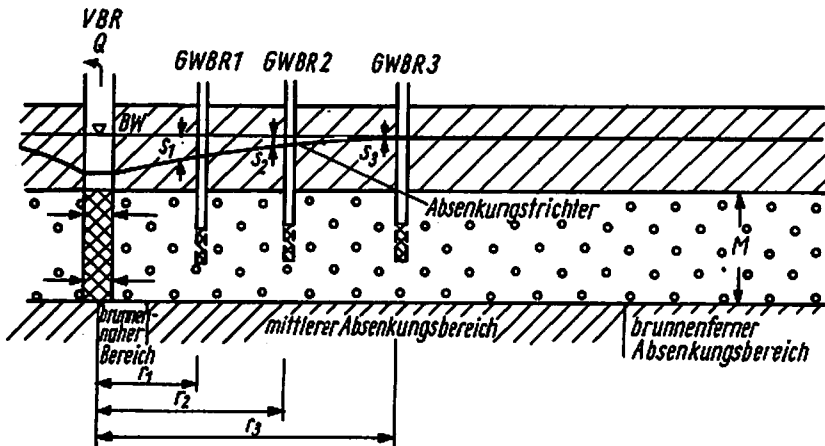


Bild 11. Schema einer Pumpversuchsgruppe

- GWBR - Grundwasserbeobachtungsrohr
- VBR - Versuchsbrunnen
- BW - Bezugswasserstand
- Q - Förderstrom
- M - Grundwasserleitermächtigkeit
- s_1, s_2, s_3 - Absenkungen unter BW in den GWBR
- r_1, r_2, r_3 - Abstände der GWBR vom VBR

Ein Versuchsbrunnen ist dann als vollkommen anzusehen, wenn dessen Brunnenfilter bis auf die Grundwassersohle reicht.

In der Praxis sind diese Bedingungen für den Grundfall häufig nicht vorhanden. Behinderte Ausdehnungsmöglichkeiten des Absenkungstrichters durch sogenannte Berandungen des Grundwasserleiters, hydraulisch unvollkommene Versuchsbrunnen und

schwankende Förderströme machen die Pumpversuchsauswertung z. T. wesentlich komplizierter.

Generell werden für die Pumpversuchsauswertung zwei Betrachtungsweisen angewendet. Entweder man untersucht jeweils an einem Punkt (GWBR) innerhalb des Absenkungstrichters (nach Abschnitt 3.2. im mittleren Absenkungsbereich) den zeitlichen Verlauf der Absenkung s bzw. der Restabsenkung s' während des Wiederanstieges nach Abschalten der Pumpe (Bild 12) oder man analysiert zu einem bestimmten Zeitpunkt die räumliche Entwicklung des Absenkungstrichters (vgl. Bild 11). Es wird allgemein empfohlen, beide Verfahren zwecks Kontrolle gleichzeitig anzuwenden. Da allerdings die räumliche Auswertung mindestens zwei, besser drei oder mehr GWBR erfordert, wird aus ökonomischen Gründen häufig darauf verzichtet.

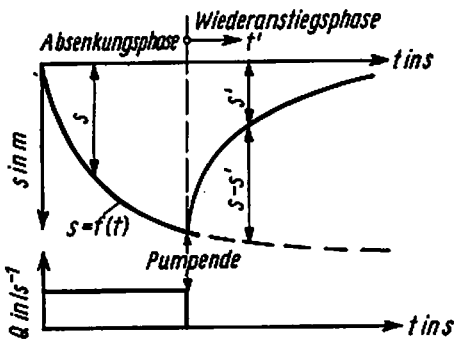


Bild 12
Zeitlicher Verlauf der Absenkung und des Wiederanstieges
Q - Förderstrom
s, s' - Absenkungsbeträge
t, t' - Zeitbeträge

Die Untersuchungen zur Brunnenströmung haben ergeben, daß sich die Meßwerte sowohl des zeitlichen Grundwasserabsenkungs- und Wiederanstiegsvorganges als auch der räumlichen Absenkungstrichterausdehnung bei entsprechender Darstellung auf halblogarithmischem Papier zu einer Geraden verbinden lassen. Dieser Sachverhalt wird für eine graphisch-rechnerische Pumpversuchsauswertung genutzt. Die einzelnen Meßwerte werden entsprechend Bild 14 aufgetragen und durch eine Ausgleichsgerade nach Augenmaß miteinander verbunden, wobei gewisse Streuungen der Einzelwerte um diese Gerade zulässig und normal sind. Aus dem Anstieg der Ausgleichsgeraden, ausgedrückt durch die Richtungskoeffi-

zienten α_t bzw. α_r und den zugehörigen Förderstrom Q, können dann die gesuchten hydrogeologischen Parameter T, k und S mit Hilfe der Formeln in Tabelle 10 schnell ermittelt werden.

Tabelle 10. Formeln für Pumpversuchsauswertung

Auswertung des	Hydrogeologische Parameter		
	T in $m^2 s^{-1}$	k in $m s^{-1}$	S
zeitlichen Absenkungsverlaufes	$\frac{0,183 Q}{t}$	$\frac{T}{H}$ bzw. $\frac{T}{M}$	$\frac{2,25 T t_0}{r^2}$
räumlichen Absenkungstrichters	$\frac{0,366 Q}{r}$	$\frac{T}{H}$ bzw. $\frac{T}{M}$	$\frac{2,25 T t_n}{R_n^2}$

H unbeeinflusste Grundwassermächtigkeit in m

M Mächtigkeit des Grundwasserleiters in m

r Abstand von der Brunnenachse in m

R_n Ersatzreichweite in m

t_0 Schnittpunkt der Ausgleichsgeraden mit der Zeitachse bei $s = 0$ in Sekunden

t_n Zeitpunkt, zu dem Absenkungswerte für $s = f(\lg r)$ aufgetragen werden, in Sekunden

Der S-Wert kann nur berechnet werden, wenn die Absenkungsauswertung an einem zum Versuchsbrunnen gehörenden GWBR der Pumpversuchsgruppe erfolgte.

Die Ausgleichsgerade bildet sich in der dargestellten Form aus, wenn die Forderungen für den Grundfall annähernd erreicht sind und der Absenkungsvorgang im mittleren Absenkungsbereich erfaßt wurde. Treten bei Kurvendarstellungen Knicke und Unebenheiten auf, so weisen diese auf zu beachtende Störungen, wie Vorfluteinfluß, geologische Barrieren, unvollkommenen Brunnenausbau usw., hin.

In diesen Fällen wird die Auswertung wesentlich komplizierter. In TGL 23 864/05 bis /09 werden alle derartigen Sonderfälle, wie sie im Bild 13 aufgeführt sind, behandelt.

In Tabelle 11 werden Größenordnungen für k-Werte genannt, die für Ergebnisvergleiche herangezogen werden können.

Tabelle 11. Durchlässigkeitsbeiwert k verschiedener Gesteinsarten (Orientierungswerte)

Gesteinsart	k in $m s^{-1}$
sandiger Kies	$3 \cdot 10^{-3}$ bis $5 \cdot 10^{-4}$
kiesiger Sand	$1 \cdot 10^{-3}$ bis $2 \cdot 10^{-4}$
mittlerer Sand	$4 \cdot 10^{-4}$ bis $1 \cdot 10^{-4}$
schluffiger Sand	$2 \cdot 10^{-4}$ bis $1 \cdot 10^{-5}$
sandiger Schluff	$5 \cdot 10^{-5}$ bis $1 \cdot 10^{-6}$
toniger Schluff	$5 \cdot 10^{-6}$ bis $1 \cdot 10^{-8}$
schluffiger Ton	$\approx 10^{-8}$

6.2. Beispiel einer geohydraulischen Pumpversuchsauswertung

Für eine Pumpversuchsgruppe (1 Versuchsbrunnen und 3 GWBR) im unendlich ausgedehnten Grundwasserleiter entsprechend Bild 11 sind folgende Angaben bekannt:

Grundwasserleitermächtigkeit $M = 10 \text{ m}$

Filterlänge $L = 10 \text{ m}$ (vollkommener Brunnenausbau)

Entfernungen der GWBR $r_1 = 20 \text{ m}$

vom Versuchsbrunnen $r_2 = 60 \text{ m}$

$r_3 = 110 \text{ m}$

Förderstrom der untersuchten Pumpstufe

$$Q = 10 \text{ l s}^{-1} \hat{=} 0,010 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

Die Meßergebnisse der Grundwasserabsenkungen sowie der Fördermengen sind Tabelle 12 zu entnehmen.

6.2.1. Auswertung des zeitlichen Absenkungsverlaufes für GWBR 1 (gemäß TGL 23 864/04)

Grundlage ist die graphische Darstellung der Grundwasserabsenkung s in Abhängigkeit von der Zeit t , d. h., es wird die Absenkung als Ordinate zur Abszisse $\lg t$ aufgetragen $s = f(\lg t)$. Danach wird eine Ausgleichsgerade konstruiert, die Basis für die Berechnung der Parameter k und S ist.

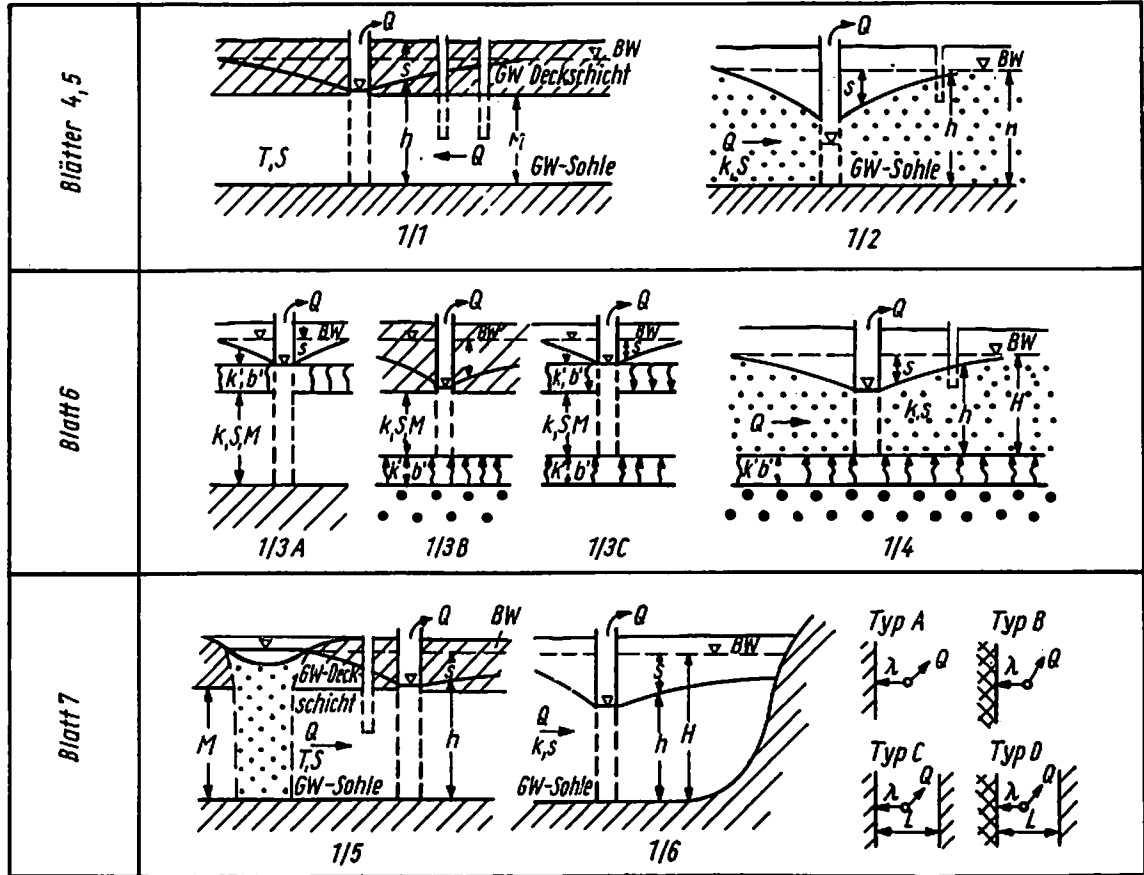
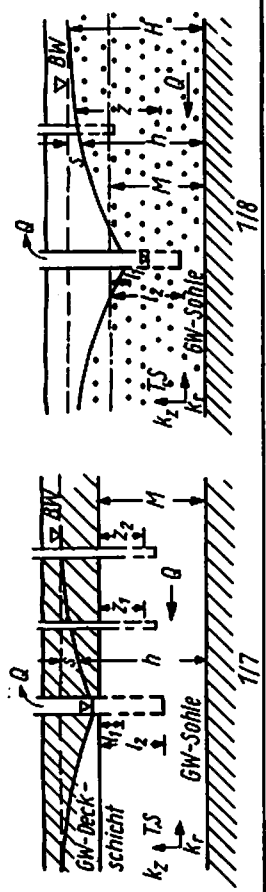


Bild 13. Bildunterschrift siehe Seite 52

Blatt 8



Blatt 9

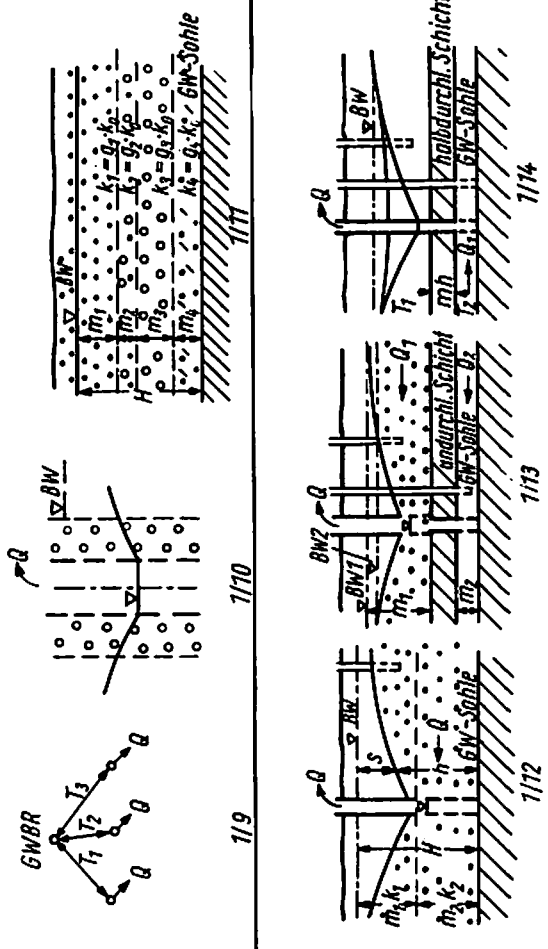


Bild 13. (Fortsetzung)

Bild 13. Pumpversuchsschemata zu den Blättern 4 bis 9
des Fachbereichsstandards TGL 23 864

BW	-	Bezugswasserstand
GW	-	Grundwasser
H	-	unbeeinflusste Grundwassermächtigkeit
L	-	Breite des Strömungsfeldes
M	-	Grundwasserleitermächtigkeit
m_1, m_2	-	Mächtigkeit von Teilschichten des Grundwasserleiters
Q_1, Q_2	-	Förderstrom
Q_1, Q_2	-	Förderströme benachbarter Brunnen
S	-	Speicherkoeffizient
T	-	Profildurchlässigkeit
T_1, T_2	-	Profildurchlässigkeit in den einzelnen Horizonten
h_1, h_2	-	Standrohrspiegelhöhe
k	-	Durchlässigkeitswert
k'	-	Durchlässigkeitswert einer halbdurchlässigen Schicht
k_1, k_2	-	Durchlässigkeitswerte übereinander liegender Schichten
k_z	-	Durchlässigkeitswert in vertikaler Richtung
k_T	-	Durchlässigkeitswert in horizontaler Richtung
b^i	-	Mächtigkeit einer halbdurchlässigen Schicht
g_1, g_2	-	bezogene Durchlässigkeitswerte der Teilschichten
l_1, l_2	-	Tiefenlage der Filteroberkante bzw. Filterunterkante des Brunnens, bezogen auf die Deckschicht
s	-	Absenkung
z	-	Tiefenlage der Filtermitte des Grundwasserbeobachtungsrohres, bezogen auf die freie Grundwasseroberfläche
z_1, z_2	-	Tiefenlage der Filtermitte des Grundwasserbeobachtungsrohres, bezogen auf die Deckschicht
λ	-	Entfernung des Brunnens von der Randbedingung

Für die Auswertung der Absenkungsmessungen sind folgende Arbeitgänge nacheinander durchzuführen:

- Auswahl des Funktionspapiers und Festlegen des Maßstabes; aufgetragen werden die Zeit in Minuten und die Absenkungen bzw. Anstiege in Meter

Da es üblich ist, alle Meßwerte des Pumpversuches darzustellen, ist die Zeitdauer des Versuches in Minuten zu bestimmen, d. h., wenn z. B. der Versuch 10 Stunden gefahren wurde, bedeutet dies, daß Meßergebnisse für

60 Minuten x 10 Stunden = 600 Minuten

aufgetragen werden die Zeit in Minuten und die Absenkungen auftragung logarithmisch erfolgt, ein Funktionspapier, welches in der Abszisse 3 logarithmische Dekaden hat, verwendet

Tabelle 12. Meßergebnisse der Absenkungsmessung

Einzelmessungen-VBR		Seite		von						
Hochwert m	Rechtswert m	Test-Nr./PSt.	Aufgabe/Ortsname/VBR-Nr./Jahr							
		1	DE		X		1/77			
Datum/ Uhrzeit	Förderstrom-Meßgerät	Wasserstand m								Temp. °C
		VBR		GWBR 1		GWBR 2		GWBR 3		
10.5.77	mm l s ⁻¹	u.MPkt.	u.BW	u.MPkt.	u.BW	u.MPkt.	u.BW	u.MPkt.	u.BW	L Luft W Wasser
8.00		0	0	0	0	0	0	0	0	12,1 10,2
8.01	96 10	0,92	0,42	-	-	-	-	-	-	
8.02	96 10	0,97	0,47	0,50	0,10	0	0	0	0	
8.03	96 10	1,02	0,52	-	-	-	-	-	-	
8.04	96 10	1,04	0,54	0,57	0,17	0,33	0,03	0	0	
8.05	96 10	1,09	0,59	-	-	-	-	-	-	
8.06	95	1,10	0,60	0,59	0,19	0,35	0,05	0	0	
8.07	96 10	1,12	0,62	-	-	-	-	-	-	
8.08	96 10	1,14	0,64	0,64	0,24	0,37	0,07	0	0	
8.09	96 10	1,15	0,65	-	-	-	-	-	-	
8.10	96 10	1,16	0,66	0,66	0,26	0,38	0,08	0,51	0,01	
8.15	96 10	1,21	0,71	0,69	0,29	0,41	0,11	0,52	0,02	
8.20	96 10	1,24	0,74	0,74	0,34	0,43	0,13	0,54	0,04	
8.25	96 10	1,27	0,77	0,77	0,37	0,45	0,15	0,56	0,06	
8.30	96 10	1,29	0,79	0,79	0,39	0,47	0,17	0,57	0,07	
8.40	96 10	1,33	0,83	0,82	0,42	0,49	0,19	0,59	0,09	
8.50	96 10	1,35	0,85	0,85	0,45	0,51	0,21	0,60	0,10	
9.00	96 10	1,37	0,87	0,87	0,47	0,53	0,23	0,62	0,12	
9.20	96 10	1,41	0,91	0,90	0,50	0,56	0,26	0,64	0,14	
9.40	96 10	1,43	0,93	0,93	0,53	0,59	0,29	0,66	0,16	
10.00	96 10	1,45	0,95	0,95	0,55	0,61	0,31	0,67	0,17	
10.30	96 10	1,48	0,98	0,98	0,58	0,63	0,33	0,70	0,20	
11.00	96 10	1,51	1,01	1,00	0,60	0,65	0,35	0,72	0,22	
12.00	96 10	1,54	1,04	1,03	0,63	0,68	0,38	0,74	0,24	
13.00	96 10	1,56	1,06	1,06	0,66	0,71	0,41	0,77	0,27	
14.00	96 10	1,59	1,09	1,08	0,68	0,73	0,43	0,78	0,28	
15.00	96 10	1,61	1,11	1,10	0,70	0,74	0,44	0,80	0,30	
16.00	96 10	1,62	1,12	1,12	0,72	0,76	0,46	0,82	0,32	
17.00	96 10	1,63	1,13	1,13	0,73	0,77	0,47	0,83	0,33	13,0 10,2
18.00	96 10	1,65	1,15	1,14	0,74	0,78	0,48	0,84	0,34	

Nach der Zeit $t_e = 600$ min wurde der Pumpversuch beendet;
es erfolgten Wiederanstiegsmessungen

werden, denn in den einzelnen Dekaden sind nur die folgenden Zeitdarstellungen möglich:

1. Dekade: 1. bis 10. Minute
2. Dekade: 10. bis 100. Minute
3. Dekade: 100. bis 1000. Minute

Die Einteilung der Ordinate richtet sich nach der größten Absenkung, die beim Pumpversuch gemessen wurde. Es ist bei dieser Festlegung möglichst die vorhandene Einteilung des gesamten Blattes zu nutzen, siehe Bild 14.

- Die Absenkungen s sind als logarithmische Funktion der Zeit t aufzutragen und durch Punkte oder Kreuze zu kennzeichnen. Darstellung der Meßergebnisse siehe Bild 14. Die weiteren Bearbeitungsschritte können auch auf diesem Bild verfolgt werden.
- Die Punkte sind durch eine Ausgleichsgerade zu verbinden. Dabei ist darauf zu achten, daß meistens die Meßergebnisse der ersten Minuten außerhalb dieser Ausgleichsgeraden liegen können, d. h., die Ausgleichsgerade gilt erst nach einer bestimmten Zeit nach Pumpversuchsbeginn, die als Zeitschranke bezeichnet wird.
- Der Richtungskoeffizient des zeitlichen Absenkungsverlaufs α_t ist zu bestimmen, indem zwischen einer logarithmischen Dekade der Absenkungszuwachs ermittelt wird.

Im Beispiel gilt: $\alpha_t = 0,27 \text{ m}$

- Berechnung von T und k

$$T = \frac{0,183 Q}{t} = \frac{0,183 \cdot 0,010}{0,27} = 0,0068 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$$

oder $6,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$

$$k = \frac{T}{M} = \frac{6,8 \cdot 10^{-3}}{10} = 0,68 \cdot 10^{-3} \text{ m s}^{-1}$$

- Berechnung von S

Für die Bestimmung von t_0 wird die Ausgleichsgerade mit der Zeitachse bei $s = 0$ zum Schnitt gebracht. Der Zeitpunkt an der Schnittstelle gilt als t_0 :

$$t_0 = 1,2 \text{ min} = 72 \text{ s}$$

$$r \text{ (Entfernung Versuchsbrunnen-GWBR)} = 20 \text{ m}$$

$$S = \frac{2,25 T t_0}{r^2} = \frac{2,25 \cdot 6,8 \cdot 10^{-3} \cdot 72}{20^2} = 2,8 \cdot 10^{-3}$$

Aus praktischen Erfahrungen gilt für

gespanntes Grundwasser $S \cong 3 \cdot 10^{-3}$

ungespanntes Grundwasser $S \cong 1 \cdot 10^{-2}$

Das Ergebnis des Beispiels weist also auf gespanntes Grundwasser hin.

- Bestimmung der geohydraulischen Zeitkonstante a

$$a = \frac{S}{T} = \frac{2,8 \cdot 10^{-3}}{6,8 \cdot 10^{-3}} = 0,41 \text{ s m}^{-2}$$

- Bestimmung der Zeitschranke

$$t = 3,8 a r^2 = 3,8 \cdot 0,41 \cdot 400 = 623 \text{ s} = 10,4 \text{ min}$$

Damit wird erkannt, daß die festgelegte Kurve erst ab der 10,4. Minute Gültigkeit besitzt.

6.2.2. Auswertung von Wiederanstiegsmessungen für GWBR 1 (gemäß TGL 23 864/05)

Es wird graphisch die noch vorhandene Grundwasserabsenkung s' auf der Ordinate in Abhängigkeit des Zeitverhältnisses t/t' aufgetragen, d. h., es gilt $s' = f(\lg t/t')$.

t' Zeit ab Pumpende in s

Die Meßwerte für dieses Beispiel werden nicht auf dem Formblatt dargestellt.

Arbeitsschritte

- Ermittlung der Zeitwerte t/t' entsprechend Tabelle 13
- Die noch vorhandenen Absenkungen s' sind als logarithmische Funktion zu t/t' aufzutragen (Bild 14)
- Konstruktion der Ausgleichsgeraden analog Abschnitt 6.2.1.

Tabelle 13. Meßergebnisse der Anstiegsmessung

Meßergebnisse		Umrechnung der Meßergebnisse	
t'	s'	t = t _e + t'	t/t'
in min	in m	in min	
2	0,62	600 + 2	602 : 2 = 301
4	0,57	600 + 4	604 : 4 = 151
6	0,54	600 + 6	606 : 6 = 101
8	0,51	600 + 8	608 : 8 = 76
10	0,48	600 + 10	610 : 10 = 61
15	0,43	600 + 15	615 : 15 = 41
20	0,41	600 + 20	620 : 20 = 31
25	0,36	600 + 25	625 : 25 = 25
30	0,36	600 + 30	630 : 30 = 21
40	0,32	600 + 40	640 : 40 = 16
50	0,30	600 + 50	650 : 50 = 13
60	0,28	600 + 60	660 : 60 = 11
80	0,25	600 + 80	680 : 80 = 8,5
100	0,23	600 + 100	700 : 100 = 7
120	0,21	600 + 120	720 : 120 = 6
150	0,19	600 + 150	750 : 150 = 5

t_e Zeit zum Pumpende in s

Bei einem unendlich ausgedehnten Grundwasserleiter muß die verlängerte Ausgleichsgerade die Abszisse bei s' = 0 und t/t' = 1 schneiden.

- Der Richtungskoeffizient wird analog 6.2.1. bestimmt:

$$\alpha_t = 0,27 \text{ m}$$

- Berechnung der Profildurchlässigkeit und des Durchlässigkeitsbeiwertes:

$$T = \frac{0,183 Q}{\alpha_t} = \frac{0,183 \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{0,27} = 6,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$$

$$k = \frac{T}{M} = \frac{6,8 \cdot 10^{-3}}{10} = 0,68 \cdot 10^{-3} \text{ m s}^{-1}$$

- Der S-Wert kann bei Verwendung der Beziehung $s' = f(\lg t/t')$ nicht berechnet werden, da bei der daraus abgeleiteten Ausgleichsgeraden die Zeit t_0 nicht bestimmbar ist. Eine Ermittlung von S bzw. t_0 aus dem Wiederanstieg kann aus einer Darstellung in der Form $s - s' = f(\lg t')$ erfolgen.
- Festlegen der Zeitschranke t' : Unter Verwendung der geohydraulischen Zeitkonstante a aus der Absenkungsauswertung ergibt sich

$$t' = 3,8 a r^2 = 3,8 \cdot 0,41 \cdot 20^2 = 623 \text{ s} \hat{=} 10,4 \text{ min}$$

Zur Darstellung im Bild 14 gilt folgende Umrechnung:

$$t/t' = \frac{t_e + t'}{t'} = \frac{600 + 10,4}{10,4} = 58,7$$

6.2.3. Auswertung des räumlichen Absenkungstrichters für GWBR 1 bis 3 (gemäß TGL 23 864/04)

Bei dieser Methode werden die Absenkungen in mindestens zwei GWBR auf der Ordinate in Abhängigkeit vom Logarithmus der Entfernung r zum Versuchsbrunnen ($s = f(\lg r)$) aufgetragen. Die Auswertung erfolgt für einen bestimmten Zeitpunkt t_n , der nach der Zeitschranke liegen muß.

Im Beispiel wurde $t_n = 480 \text{ min} \hat{=} 28\,800 \text{ s}$ gewählt.

GWBR	s in m 480. Minute
1	0,72
2	0,46
3	0,32

Tabelle 14. Meßergebnisse der Absenkungsmessung in der 480. Minute

Arbeitsschritte

- Auftragen der Meßergebnisse s als Funktion von $\lg r$ (siehe Bild 14)
- Konstruktion der Ausgleichsgeraden
- Ermittlung der Ersatzreichweite R_n durch Verlängerung der Ausgleichsgeraden bis zur r -Achse bei $s = 0$

$$R_n = 400 \text{ m}$$

- Bestimmung des Richtungskoeffizienten der Ausgleichsgeraden

$$\alpha_r = 0,55 \text{ m}$$

- Berechnung von T und k:

$$T = \frac{0,366 Q}{\alpha_r} = \frac{0,366 \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{0,55} = 6,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$$

$$k = \frac{T}{M} = \frac{6,7 \cdot 10^{-3}}{10} = 0,67 \cdot 10^{-3} \text{ m s}^{-1}$$

- Berechnung von S und a:

$$S = \frac{2,25 T t_n}{R_n^2} = \frac{2,25 \cdot 6,7 \cdot 10^{-3} \cdot 28 \cdot 800}{400^2} = 2,6 \cdot 10^{-3}$$

$$a = \frac{S}{T} = \frac{2,6 \cdot 10^{-3}}{6,7 \cdot 10^{-3}} = 0,39 \text{ s m}^{-2}$$

- Bestimmung der Zeitschranke

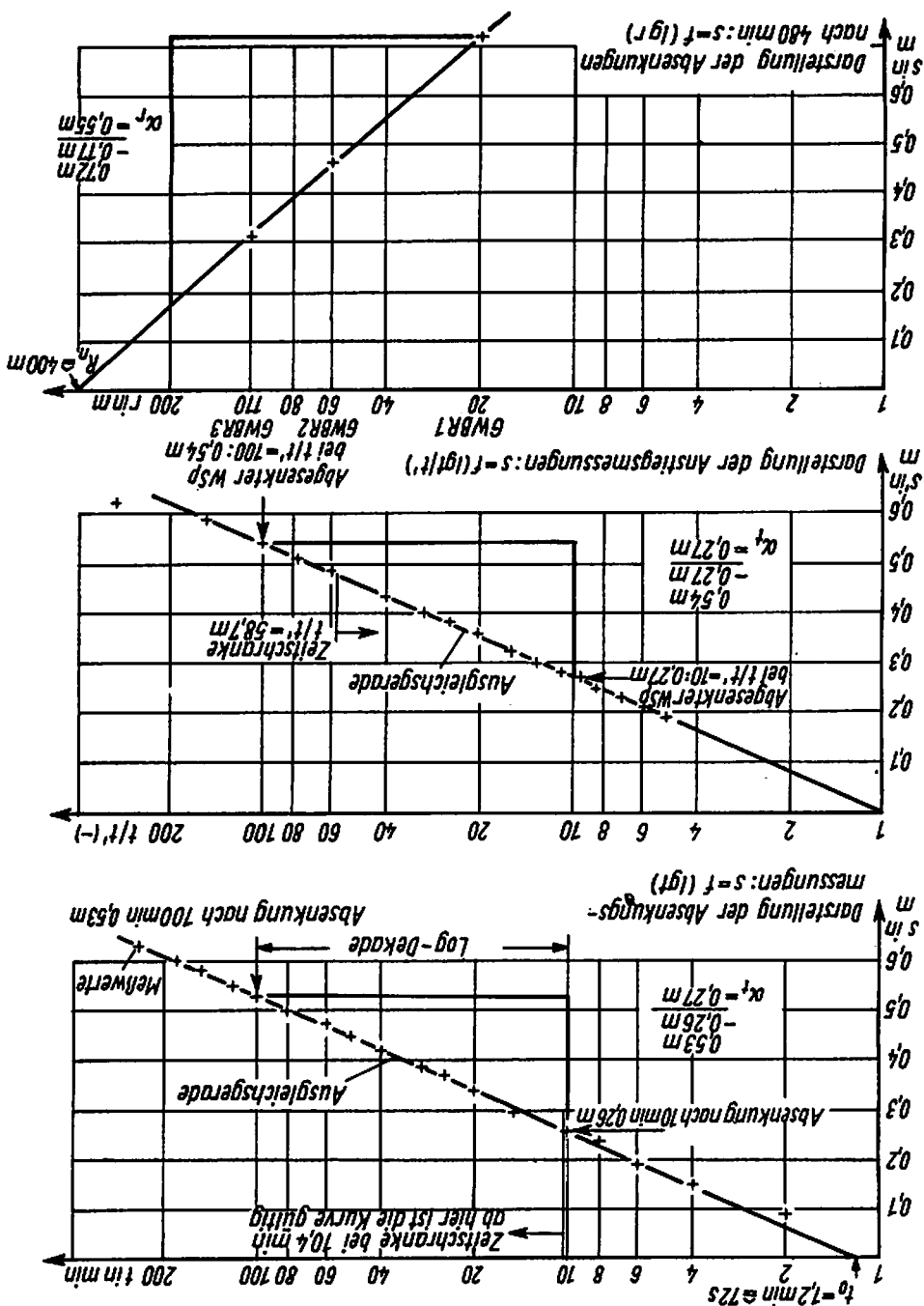
$$t = 3,8 a r^2 = 3,8 \cdot 0,39 \cdot 110^2 = 17 \cdot 932 \text{ s} \hat{=} 299 \text{ min}$$

$$< 480 \text{ min} \hat{=} t_n$$

Tabelle 15. Zusammenstellung und Beurteilung aller Pumpversuchsergebnisse

	Auswertemethode		
	Absenkung zeitlich s = f (lg t)	räumlich s = f (lg r)	Anstieg zeitlich s = f (lg t/t')
$T \cdot 10^{-3}$ in $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$	6,8	6,7	6,8
$k \cdot 10^{-3}$ in m s^{-1}	0,68	0,67	0,68
$S \cdot 10^{-3}$	2,8	2,6	-
a in s m^{-2}	0,41	0,39	-

Bild 14. Pumpversuchsergebnisse nach Beispiel



6.3. Bewertung von Demonstrativpumpversuchen (DEMPV)

DEMPV sollten nur in Ausnahmefällen durchgeführt werden, z. B. wenn besonders komplizierte hydrogeologische Verhältnisse vorliegen, geringe Wassermengen gefordert oder Erkundungsbohrungen mit sofortigem Ausbau als Wirtschaftsbrunnen vorgesehen sind.

Als generelle Aufgabe der DEMPV wird ein direkter Nachweis gewinnbarer Grundwasservorräte angesehen. Diese Zielstellung galt als erfüllt, wenn Beharrung, d. h. über längere Zeit für einen konstanten Förderstrom eine gleichbleibende Absenkung erreicht wurde. Wie die praktischen Erfahrungen zeigen, liegt allerdings gerade in dieser Forderung eines Beharrungszustandes, der einem stationären Endzustand entspricht, die Hauptproblematik der DEMPV. Neuere Untersuchungen erbrachten die wesentliche Feststellung, daß die gegenwärtig üblichen und technisch sowie ökonomisch möglichen Pumpzeiten von im Mittel 500 Stunden bis zu maximal 1/4 Jahr zumindest in porösen Grundwasserleitern nicht ausreichen, um eine repräsentative Beharrung zu erzielen bzw. die künftigen Verhältnisse bei Dauerbetrieb zu simulieren. Ausbilanzierte, quantitative Aussagen, verbunden mit einem endgültigen Nachweis von Grundwasservorräten, können demonstrativ erst nach mehrjährigem Brunnenbetrieb gewonnen werden.

Unter Beachtung der Forderung, daß grundsätzlich Pumpversuche innerhalb einer hydrogeologischen Erkundung oder Begutachtung abgeschlossen und bewertet werden müssen, mußte deshalb ein anderer Weg für die Interpretation von DEMPV-Ergebnissen gefunden werden, der in dem neuen Blatt 10 der TGL 23 864 konzipiert wurde. Danach wird eine Pumpversuchsauswertung, sofern eine mathematische Modellierung des Strömungsfeldes nicht möglich ist, durch zeitliche Extrapolation der ermittelten Absenkungscharakteristik entsprechend Bild 15 vorgenommen. Die so ermittelten Absenkungen und Brunnenergiebigkeiten können in den meisten Fällen als ausreichende Schätzung des Grundwasserliefervermögens angesehen werden. Wie die Analyse zahlreicher durchgeführter DEMPV zeigte, können die für eine Extrapolation benötigten Infor-

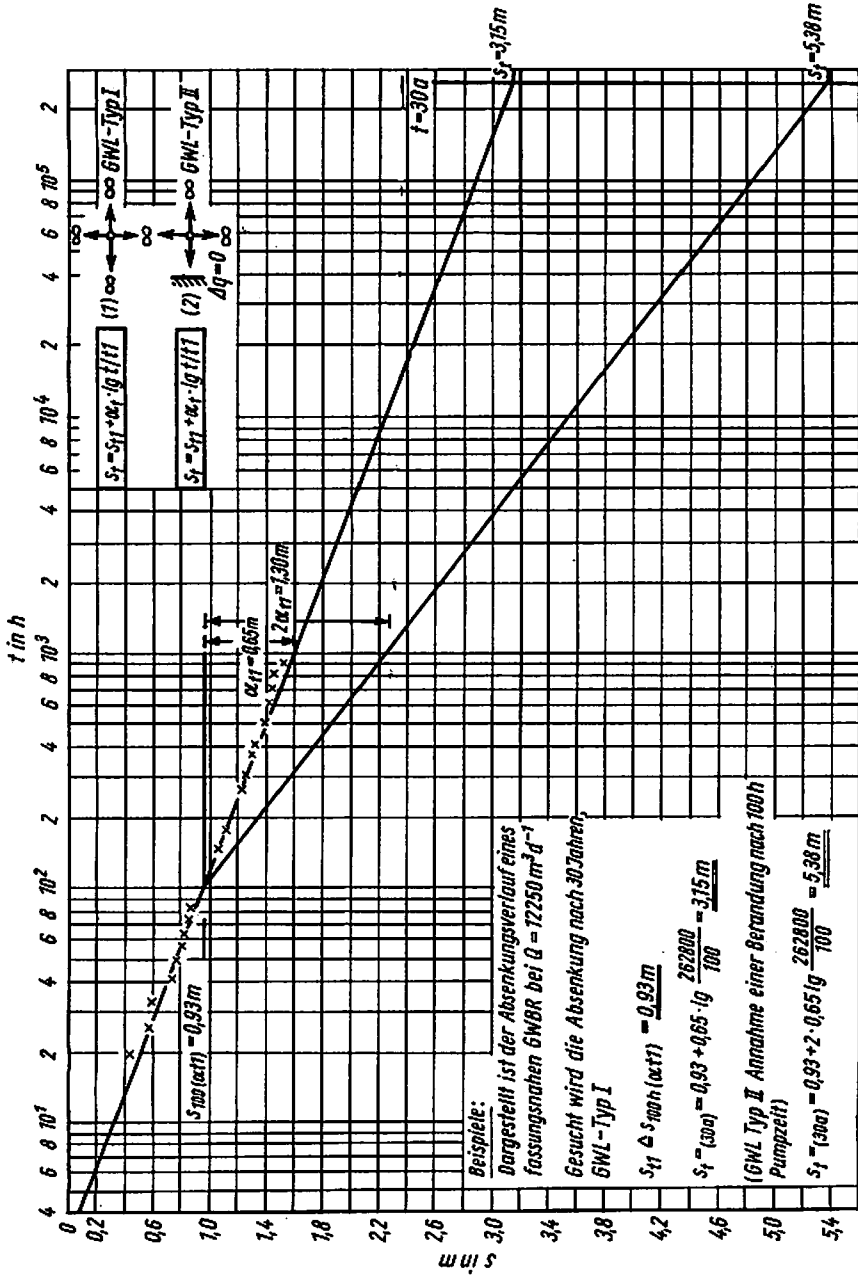


Bild 15. Auswertung von Demonstrativpumpversuchen

mationen in den meisten Fällen schon nach weniger als 300 Stunden Pumpdauer gewonnen werden, so daß die neue Auswertungsmethodik eine generelle Verkürzung dieser Pumpversuche ermöglicht.

6.4. Beurteilung von Temperaturmessungen

Generell spielt die Temperatur als Wassergütekriterium bei der Pumpversuchsauswertung eine untergeordnete Rolle, da sie bei echtem Grundwasser ziemlich konstant zwischen 7 °C und 11 °C (in Tiefen von 20 bis 30 m zwischen 9 °C und 10 °C) liegt und im Jahresdurchschnitt nur um etwa 1 bis 1,5 °C schwankt.

Von Bedeutung sind die Temperaturmessungen allerdings, wenn Mischwasser erkundet und gefördert wird, wie es beispielsweise bei Wasserfassungen neben Vorflutern (Uferfiltration) der Fall ist. Durch die meist ungünstigere Beschaffenheit der Flüsse und Seen, auch hinsichtlich der Temperatur, tritt für das gewonnene Wasser infolge Erwärmung eine Verschlechterung ein. Die Größe der Anteile an uferfiltriertem und echtem Grundwasser an der Gesamtfördermenge kann durch einen Temperaturvergleich nach folgender Beziehung eingeschätzt werden:

$$Q_U = Q_M \frac{T_M - T_{GW}}{T_U - T_{GW}}$$

Q_U	Uferfiltratanteil in $m^3 s^{-1}$
Q_M	Gesamtförderstrom in $m^3 s^{-1}$
T_M	Mischwassertemperatur in °C
T_U	Uferfiltrattemperatur in °C
T_{GW}	Grundwassertemperatur in °C

Weiterhin gestatten die Temperaturmessungen bei derartigen Pumpversuchen auch Rückschlüsse auf die Fließ- bzw. Aufenthaltsdauer des uferfiltrierten Wassers.

Es sei noch darauf hingewiesen, daß die Durchlässigkeit des Gesteins u. a. von der Wassertemperatur abhängig ist. Die allgemein üblichen Berechnungsgleichungen für den k-Wert wurden für eine Temperatur von 10 °C aufgestellt und können

demzufolge im Normalfall ohne diesbezügliche Einschränkung verwendet werden. Eine Korrektur für erheblich abweichende Temperaturen kann nach folgender Beziehung vorgenommen werden:

$$k = k_{10\text{ }^{\circ}\text{C}} \frac{v \text{ } 10\text{ }^{\circ}\text{C}}{v}$$

k Durchlässigkeitsbeiwert für beliebige Temperatur
in m s^{-1}

v kinematische Zähigkeit in $\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$

Literaturverzeichnis und Standards

- /1/ BAMBERG, H.-F., u. a.: Themenstudie zum Fachbereichstandard Hydrogeologie; Pumpversuche; Demonstrativpumpversuch. VEB Hydrogeologie, 1976 (unveröffentlicht)
- /2/ BEIMS, U., und J. ESCHNER: Typenkatalog zur Pumpversuchsauswertung nach TGL 23 864. VEB Hydrogeologie, 1972 (unveröffentlicht)
- /3/ BUSCH, K.-F., und L. LUCKNER: Geohydraulik. 2. Auflage. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1973
- /4/ KITTNER, H., u. a.: Wasserversorgung. Berlin: VEB Verlag für Bauwesen 1967 und 1977
- /5/ LUCKNER, L., u. a.: Bemessungsgrundlagen für Brunnen von Grundwassergewinnungsanlagen (Werkstandard WAPRO 1.42 und Studie). VEB Projektierung Wasserwirtschaft, Halle 1971
- /6/ SAMSONOV, B.: Empfehlungen der Resultatsbearbeitung von Pumpversuchen auf der Grundlage der nichtstationären Bewegung. WTI des ZGI Berlin 11 (1970) H. 12 und 12 (1971) H. 1, H. 3, H. 4
- /7/ TIEMER, K., u. a.: Themenstudie zum Fachbereichstandard Pumpversuchen auf der Grundlage der nichtstationären Bewegung. WTI des ZGI Berlin 11 (1970) H. 12 und 12 (1971)
- /8/ TIEMER, K., H.-F. BAMBERG und U. BEIMS: Standardisierung der Pumpversuchsauswertung. WWT 24 (1974) H. 3

TGL 13 578	Kreiselradpumpen; mehrstufige Unterwassertmotor-Kreiselpumpen
TGL 22 964	Filtersande, Filterkiese
TGL 23 864/01 bis /10	Hydrogeologie; Pumpversuche
TGL 23 941/01 bis /04	Kreiselradpumpen; Unterwassertmotor-Kreiselpumpen
TGL 23 979/03	Hydrogeologie; Probenahme, Probenvorbereitung; Wasser
TGL 23 989/01 bis /08	Terminologie unterirdisches Wasser
TGL 24 354/01	Grundwasserbeobachtung; Grundwasserbeobachtungsrohr
TGL 25 240/02	Hydrogeologie; Brunnenausbau; Filter- und Vollwandrohre aus Stahl