

## 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.

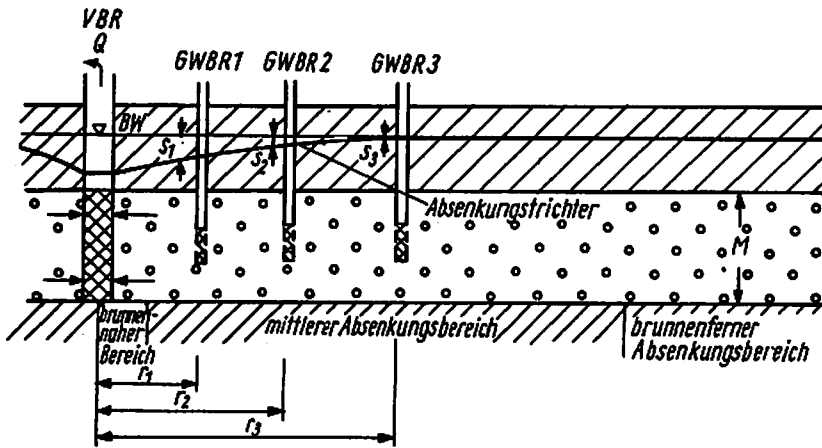


Bild 11. Schema einer Pumpversuchsgruppe

- 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.

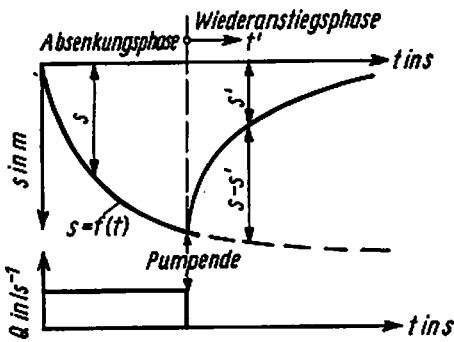


Bild 12  
Zeitlicher Verlauf der Absenkung und des Wiederanstieges  
Q - Förderstrom  
s, s' - Absenkungsbeträge  
t, t' - Zeitbeträge

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  $\alpha_t$  bzw.  $\alpha_r$  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 $\text{m s}^{-1}$
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.

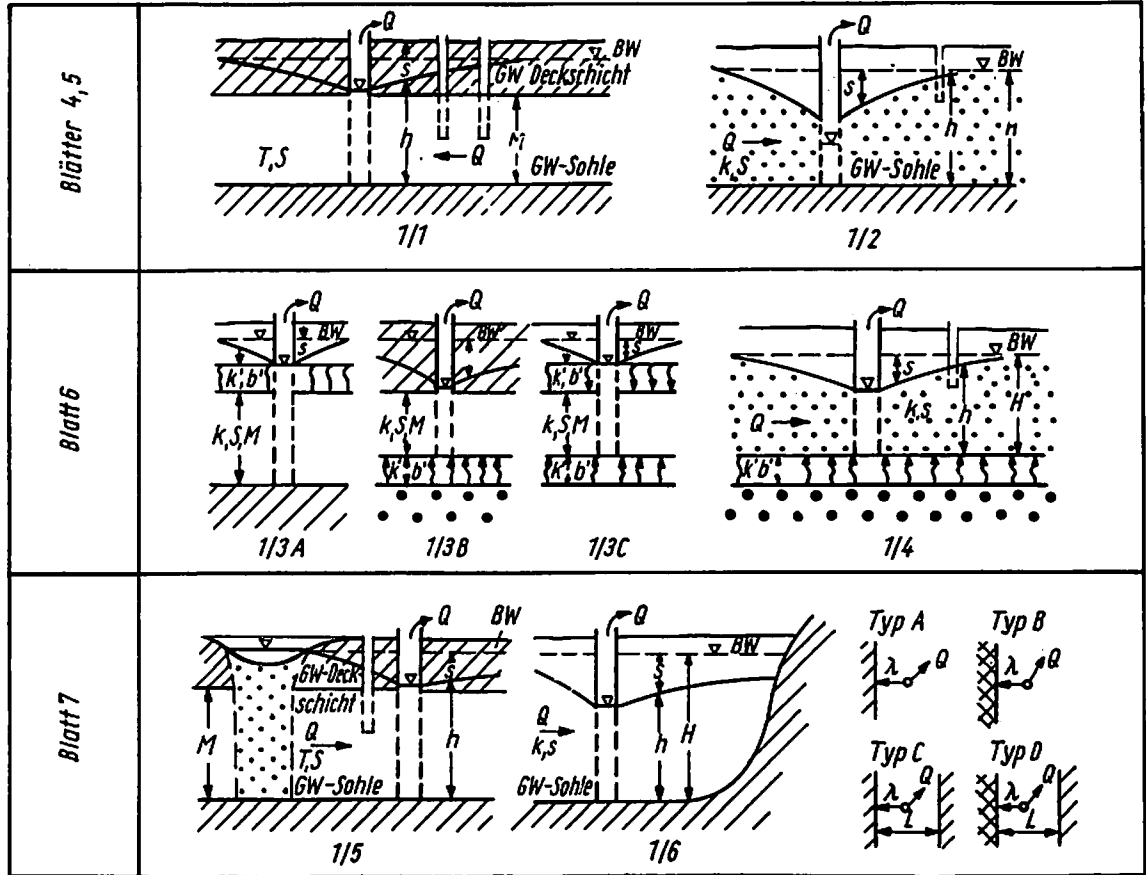


Bild 13. Bildunterschrift siehe Seite 52

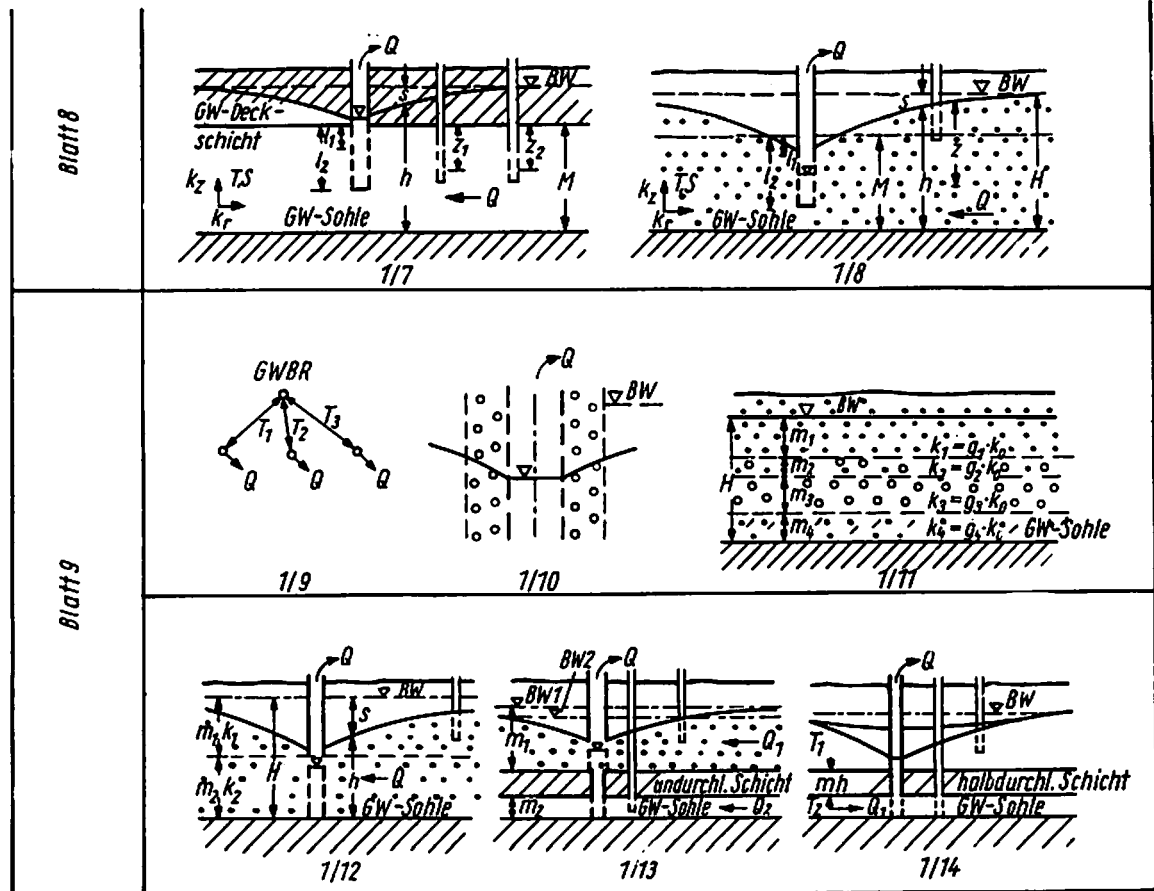


Bild 13. (Fortsetzung)

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
$\lambda$	-	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 <sup>-1</sup>	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 Wiederanstiegmessungen

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  $\alpha_t$  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 Pumpe 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 <sub>e</sub> + 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<sub>e</sub> 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 $\text{m s}^{-1}$	0,68	0,67	0,68
$S \cdot 10^{-3}$	2,8	2,6	-
a in $\text{s m}^{-2}$	0,41	0,39	-

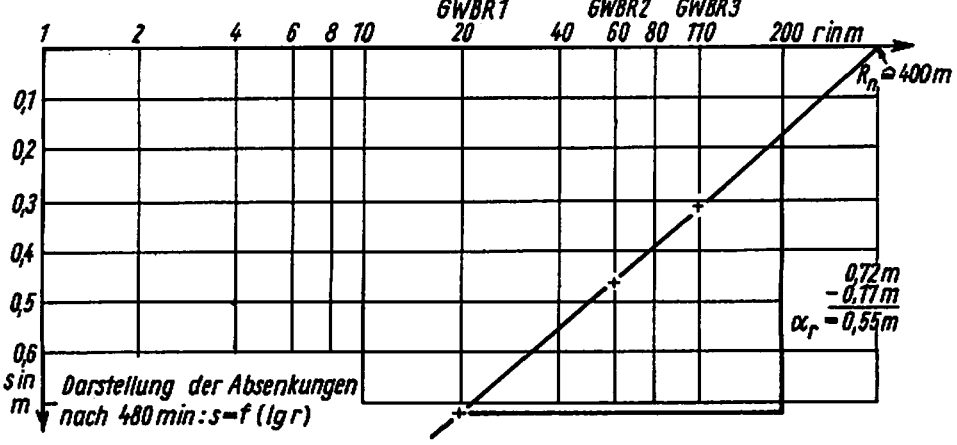
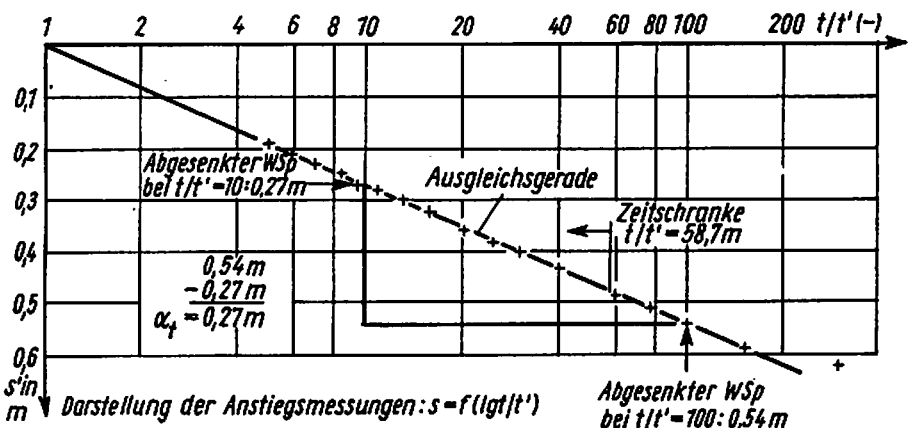
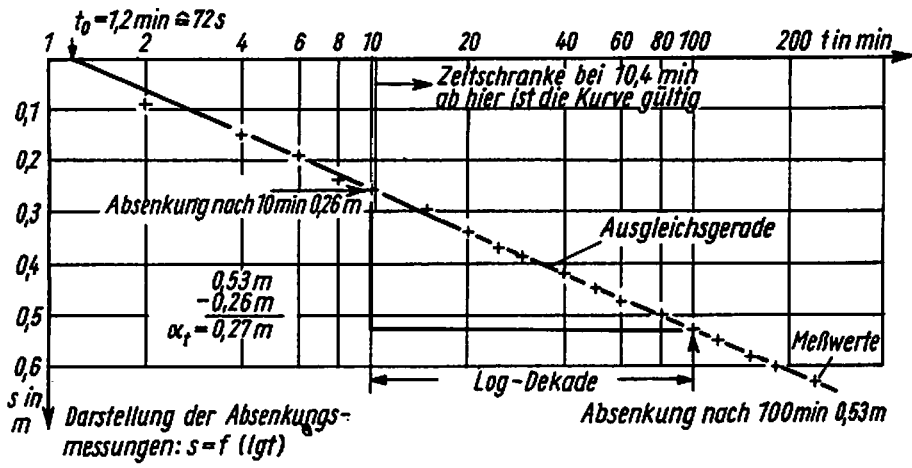


Bild 14. Pumpversuchsmessergebnisse nach Beispiel

### 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-



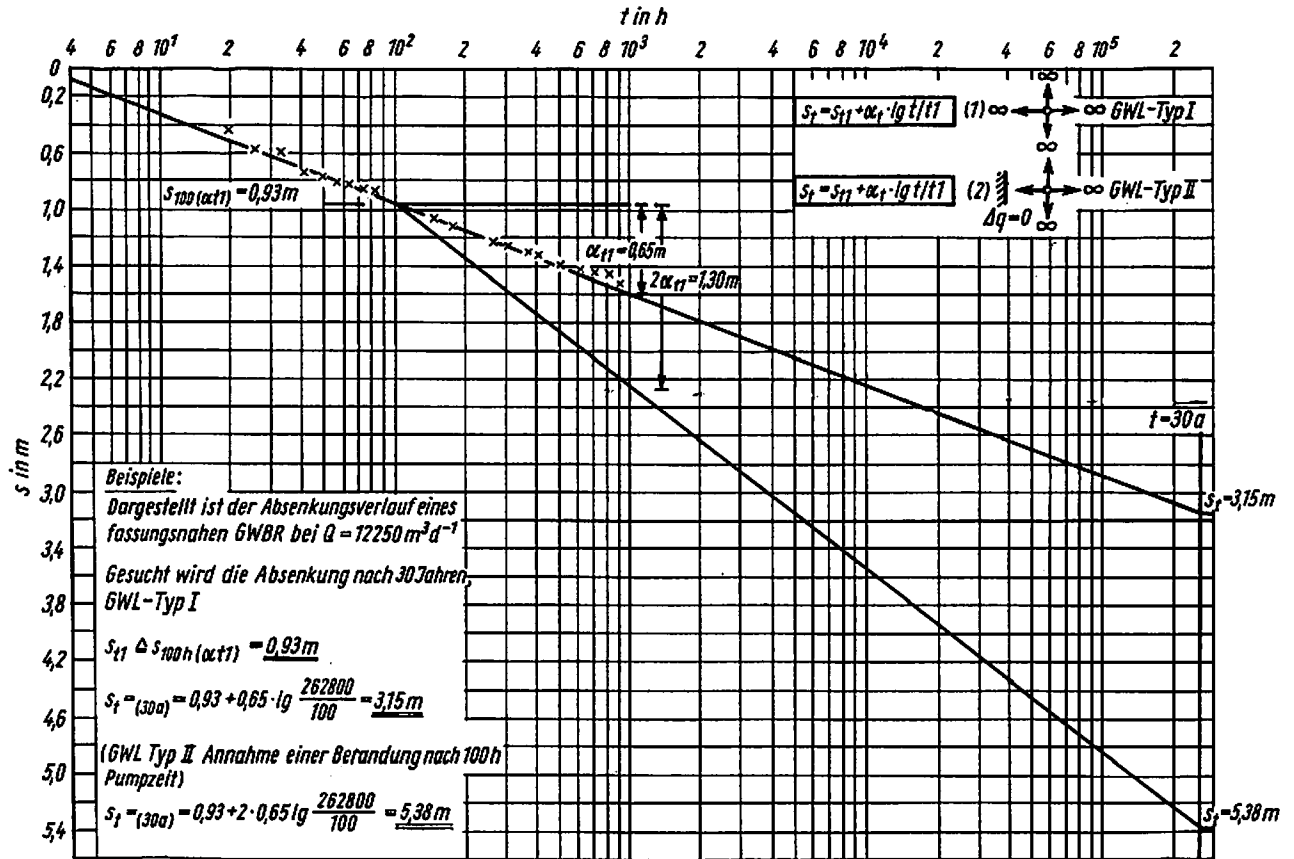


Bild 15. Auswertung von Demonstrativpumpversuchen

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:

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

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

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