

<b>Deutsche Demokratische Republik</b>	Hydrogeologie PUMPVERSUCHE geohydraulische Auswertung - variable Förderleistung	<u>TGL</u> 23 864 Blatt 5																								
		Gruppe 973 213																								
Гидрогеология ОПЫТНЫЕ ОТКАЧКИ Гидродинамическая обработка - переменный дебит	Hydrogeology PUMPING TESTS geohydraulic evaluation - variable pumping rate																									
<p style="text-align: right;">Verbindlich ab 1. 1. 1973</p> <p>Dieser Standard gilt für die Auswertung von Pumpversuchen mit variabler Förderleistung, bei denen die Speisungsbedingungen des flächenhaft unbegrenzten Grundwasserleiters durch die Grundwasserabsenkung nicht verändert werden.</p> <p style="text-align: center;">Inhaltsverzeichnis</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 80%;"></th> <th style="width: 20%; text-align: right;">Seite</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. Pumpversuch in gespanntem Grundwasser</td> <td style="text-align: right;">2</td> </tr> <tr> <td>1.1. Auswertung des räumlichen Absenkungstrichters</td> <td style="text-align: right;">2</td> </tr> <tr> <td>1.2. Auswertung des zeitlichen Absenkungsverlaufes</td> <td style="text-align: right;">4</td> </tr> <tr> <td>1.2.1. Anwendung der Ausgleichsgeraden</td> <td style="text-align: right;">4</td> </tr> <tr> <td>1.2.2. Berechnung der bezogenen Absenkung</td> <td style="text-align: right;">7</td> </tr> <tr> <td>1.3. Auswertung von Wiederanstiegsmessungen</td> <td style="text-align: right;">8</td> </tr> <tr> <td>1.4. Vorgegebene Brunnenabsenkung</td> <td style="text-align: right;">11</td> </tr> <tr> <td>2. Pumpversuch in ungespanntem Grundwasser</td> <td style="text-align: right;">12</td> </tr> <tr> <td>2.1. Auswertung von Wiederanstiegsmessungen</td> <td style="text-align: right;">13</td> </tr> <tr> <td>2.2. Vorgegebene Brunnenabsenkung</td> <td style="text-align: right;">14</td> </tr> <tr> <td>3. Verzeichnis der verwendeten Symbole</td> <td style="text-align: right;">16</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;">Fortsetzung Seite 2 bis 17</p> <p>Verantwortlich: VEB Hydrogeologie, Nordhausen          Bestätigt: 25.9.1972      Staatssekretariat für Geologie, Berlin</p>				Seite	1. Pumpversuch in gespanntem Grundwasser	2	1.1. Auswertung des räumlichen Absenkungstrichters	2	1.2. Auswertung des zeitlichen Absenkungsverlaufes	4	1.2.1. Anwendung der Ausgleichsgeraden	4	1.2.2. Berechnung der bezogenen Absenkung	7	1.3. Auswertung von Wiederanstiegsmessungen	8	1.4. Vorgegebene Brunnenabsenkung	11	2. Pumpversuch in ungespanntem Grundwasser	12	2.1. Auswertung von Wiederanstiegsmessungen	13	2.2. Vorgegebene Brunnenabsenkung	14	3. Verzeichnis der verwendeten Symbole	16
	Seite																									
1. Pumpversuch in gespanntem Grundwasser	2																									
1.1. Auswertung des räumlichen Absenkungstrichters	2																									
1.2. Auswertung des zeitlichen Absenkungsverlaufes	4																									
1.2.1. Anwendung der Ausgleichsgeraden	4																									
1.2.2. Berechnung der bezogenen Absenkung	7																									
1.3. Auswertung von Wiederanstiegsmessungen	8																									
1.4. Vorgegebene Brunnenabsenkung	11																									
2. Pumpversuch in ungespanntem Grundwasser	12																									
2.1. Auswertung von Wiederanstiegsmessungen	13																									
2.2. Vorgegebene Brunnenabsenkung	14																									
3. Verzeichnis der verwendeten Symbole	16																									

## 1. Pumpversuch in gespanntem Grundwasser

Bei Pumpversuchen, die in mehreren Stufen mit konstanter Fördermenge bis zum Erreichen des jeweiligen Beharrungszustandes gefahren werden, ist jede Pumpstufe für sich nach TGL 23 864 Blatt 4 auszuwerten, wobei als Förderleistung die Differenz  $\Delta Q$  zur vorhergehenden Pumpstufe anzusetzen ist (siehe Bild 1).

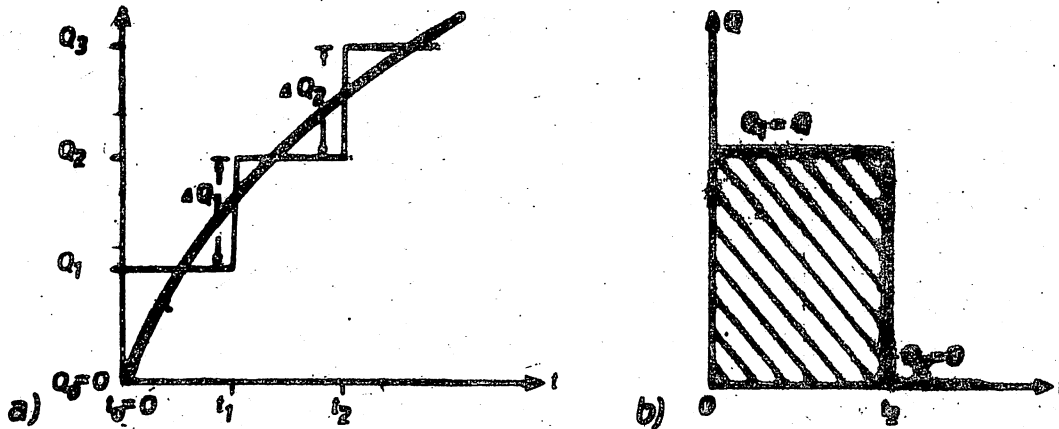


Bild 1 Pumpversuchsschema

Die nachfolgend betrachteten Auswertungsverfahren beruhen in der Mehrzahl darauf, daß die zeitliche Änderung der Förderleistung durch eine Stufenfunktion approximiert wird (Bild 1, a). Ein einfacher Spezialfall ist die Auswertung von Wiederanstiegsmessungen (Bild 1, b). Lediglich bei Pumpversuchen mit konstanter Brunnenabsenkung kann die Förderleistung  $Q(t)$  als stetig variable Meßgröße berücksichtigt werden.

### 1.1. Auswertung des räumlichen Absenkungstrichters

Absenkungsgleichung:

$$s = \frac{0,366 Q_m}{T} \left( 0,5 \sum_{j=1}^m \frac{Q_j - Q_{j-1}}{Q_m} \lg \frac{2,25 (t - t_{j-1})}{a} - \lg r \right) \quad (1)$$

$j$  - Nummer der Stufe ( $t_0 = 0, Q_0 = 0$ )

$m$  - Zahl der Stufen bis zum Zeitpunkt  $t$ , für den Berechnung erfolgt.

Gültigkeitsbereich:

$$t - t_{m-1} \geq 3,8 a r^2 \quad (2)$$

$$t_{m-1} \leq t \leq t_m \quad (3)$$

Auswertungsschema (siehe TGL 23 864 Blatt 4, Abschnitt 1.2.):

- a) Auftragung der Absenkung  $s$  auf halblogarithmisches Papier als Ordinate zur Abszisse  $\lg r$ .
- b) Konstruktion einer Ausgleichsgeraden nach Augenmaß durch die so erhaltenen Punkte.
- c) Ermittlung des Richtungskoeffizienten  $\alpha_r$  der Ausgleichsgeraden als Ordinatendifferenz über eine Dekade der Abszisse:

$$\alpha_r = s(r) - s(10r) \quad (4)$$

oder aus den Koordinaten zweier beliebiger Punkte auf der Geraden nach der Gleichung

$$\alpha_r = \frac{s_1 - s_2}{\lg(r_2/r_1)} \quad (5)$$

Der Richtungskoeffizient  $\alpha_r$  hat die Dimension einer Länge.

- d) Berechnung der Transmissibilität  $T$  nach der Gleichung

$$T = \frac{0,366 Q_m}{\alpha_r} \quad (6)$$

Der Durchlässigkeitsbeiwert  $k$  ergibt sich daraus

$$k = \frac{T}{M} \quad (7)$$

- e) Berechnung der geohydraulischen Zeitkonstante  $a$  nach der Gleichung

$$\lg a = \sum_{j=1}^m \frac{Q_j - Q_{j-1}}{Q_m} \lg \frac{2,25 (t - t_{j-1})}{R^2} \quad (8)$$

R ergibt sich als Schnittpunkt der Ausgleichsgeraden zur Zeit  $t$  mit der Ordinate  $s = 0$ .

f) Berechnung des Speicherkoeffizienten  $S$  nach der Gleichung

$$S = a T \quad (9)$$

## 1.2. Auswertung des zeitlichen Absenkungsverlaufes

### 1.2.1. Anwendung der Ausgleichsgeraden

Absenkungsgleichung:

$$s = \frac{0,183}{T} \sum_{j=1}^m (Q_j - Q_{j-1}) \lg \frac{2,25 (t - t_{j-1})}{a r^2} \quad (10)$$

$j$  - Nummer der Stufe ( $t_0 = 0$ ,  $Q_0 = 0$ )

$m$  - Zahl der Stufen bis zum Zeitpunkt  $t$ , für den die Berechnung erfolgt.

Gültigkeitsbereich:

$$t - t_{m-1} \geq 3,8 a r^2 \quad (2)$$

$$t_{m-1} \leq t \leq t_m \quad (3)$$

Auswertungsschema:

- a) Auftragung der Meßwerte  $Q = Q(t)$  auf Millimeterpapier und Überführung der Kurve in eine Stufenfunktion (Flächengleichheit) mit möglichst gleichmäßiger Einteilung der Intervalle (siehe Bild 2).
- b) Auftragung der Absenkung  $s = s(t)$  auf Millimeterpapier und Abgreifen der Absenkungswerte für das Ende der Intervalle der Stufenfunktion (siehe Bild 2).

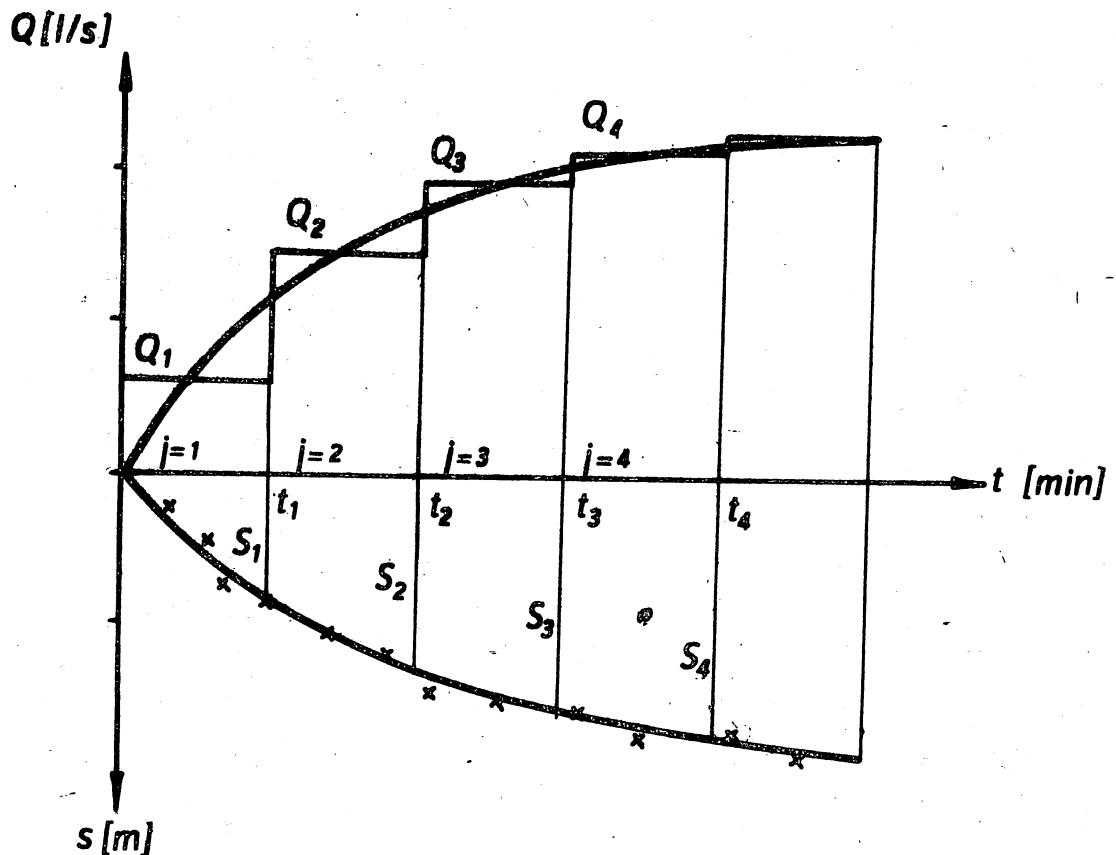


Bild 2 Auftragung  $Q = Q(t)$  und  $s = s(t)$   
Umwandlung in Stufenfunktion

c) Berechnung der Hilfsvariablen  $x$  nach der Gleichung

$$x = \sum_{j=1}^m (Q_j - Q_{j-1}) \lg(t - t_{j-1}) \quad (11)$$

für das Ende der Intervalle der Stufenfunktion.

Tabelle 1 Berechnung von  $x$

$m$	$x$	$t$
1	$Q_1 \lg t$	$0 \leq t \leq t_1$
2	$Q_1 \lg t + (Q_2 - Q_1) \lg(t - t_1)$	$t_1 \leq t \leq t_2$
3	$Q_1 \lg t + (Q_2 - Q_1) \lg(t - t_1) +$ $(Q_3 - Q_2) \lg(t - t_2)$	$t_2 \leq t \leq t_3$
⋮		⋮
⋮		⋮
⋮		⋮

- d) Auftragung der für das Ende der Intervalle bestimmten Absenkungen  $s$  als Funktion der errechneten Werte  $x$  auf Millimeterpapier (siehe Bild 3).
- e) Konstruktion einer Ausgleichsgeraden nach Augenmaß durch die so erhaltenen Punkte.
- f) Bestimmung des Richtungskoeffizienten  $\alpha_x$  der Ausgleichsgeraden:

$$\alpha_x = \frac{\Delta s}{\Delta x} \quad (12)$$

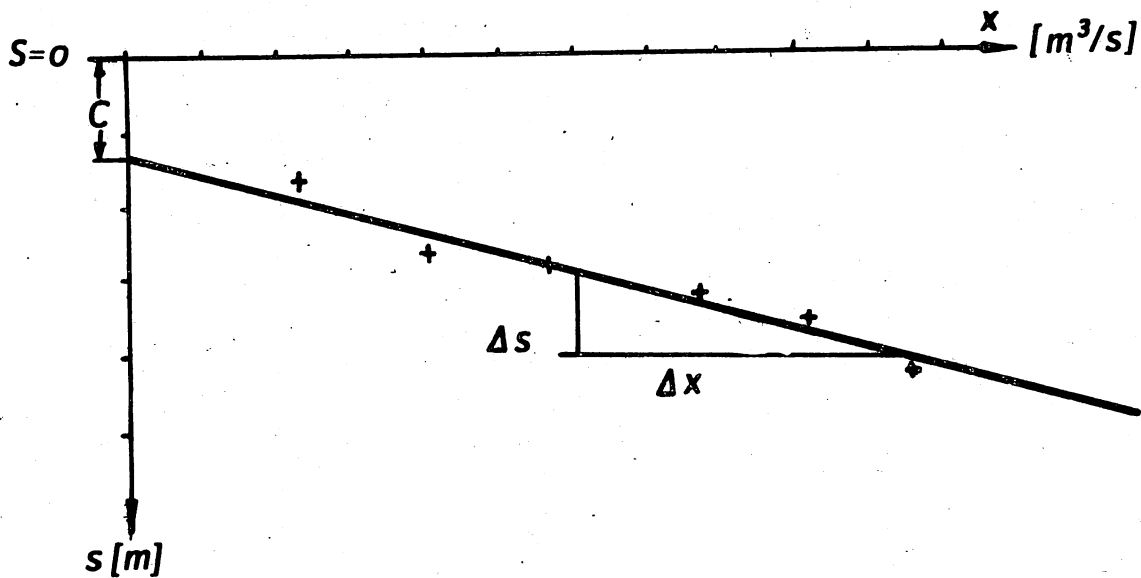


Bild 3 Auswertung des zeitlichen Absenkungsverlaufes

- g) Berechnung der Transmissibilität  $T$  nach der Gleichung

$$T = \frac{0,183}{\alpha_x} \quad (13)$$

- h) Berechnung der geohydraulischen Zeitkonstante  $a$  nach der Gleichung

$$\lg a = \lg \frac{2,25}{r^2} - \frac{s_0}{\alpha_x Q_m} \quad (14)$$

Dabei wird  $s_0$  aus der graphischen Darstellung abgelesen,

indem die Ausgleichsgerade bis zur s-Achse verlängert wird.

- i) Berechnung des Speicherkoeffizienten S nach der Gleichung (9).

#### Zusätzliche Bemerkungen

Bei Pumpversuchen, die in mehreren Pumpstufen mit konstanter Förderleistung ohne Unterbrechung durchgeführt werden, entfällt die Überführung in eine Stufenfunktion.

#### 1.2.2. Berechnung der bezogenen Absenkung

Absenkungsgleichung:

$$s = \sum_{j=1}^m (q_j - q_{j-1}) s^{\#} (t - t_{j-1}) \quad (15)$$

hierin ist

$$q_j = \frac{Q_j}{\bar{Q}} \quad (16)$$

wobei  $\bar{Q}$  die mittlere Förderleistung bezeichnet.

Die Funktion  $s^{\#} (t)$  beschreibt den Absenkungsverlauf an der untersuchten Grundwassermeßstelle, der sich bei konstanter Förderleistung  $Q = \bar{Q}$  ergeben würde.

Auswertungsschema:

- a) Auftragung der Absenkung  $s = s (t)$  auf Millimeterpapier und Einteilung der Zeitachse in gleiche Abschnitte  $\Delta t$  (Ausgleich der Kurve so, daß Knickpunkte nur bei Veränderung der Förderleistung auftreten).
- b) Bestimmung der mittleren Förderleistung  $\bar{Q}$  nach der Beziehung (siehe Bild 2)

$$\bar{Q} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N Q_j$$

c) Ermittlung der bezogenen Förderleistungen  $q_j$  nach Gleichung (16).

d) Berechnung der bezogenen Absenkung  $s^{\#}$  aus dem Gleichungssystem

$$\begin{aligned} s_1 &= q_1 \cdot s_1^{\#} \\ s_2 &= q_1 \cdot s_2^{\#} + (q_2 - q_1) s_1^{\#} \\ s_3 &= q_1 \cdot s_3^{\#} + (q_2 - q_1) s_2^{\#} + (q_3 - q_2) s_1^{\#} \\ &\vdots \\ &\vdots \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} s_j &= \text{Absenkung zum Zeitpunkt} \\ t_j &= j \cdot \Delta t \end{aligned}$$

e) Auswertung der so erhaltenen Absenkungsbeträge  $s_j^{\#}$  nach dem in TGL 23 864 Blatt 4, Abschnitt 1.1. angegebenen Verfahren, wobei für die Förderleistung der Mittelwert  $\bar{Q}$  einzusetzen ist.

#### Zusätzliche Bemerkungen

Das Gleichungssystem (17) ist zwar stets lösbar, kann aber zu widersprüchlichen - sogar negativen -  $s^{\#}$ -Werten führen. Ursache dafür wird in den meisten Fällen die ungenügende meßtechnische Erfassung der Förderleistung in der Anfangsphase des Pumpversuches sein. Korrekturmöglichkeiten sind:

- Verbesserung des Wertes  $q_1$  durch systematisches Probieren
- Vergrößerung der Zeitintervalle  $\Delta t$ , so daß die unsichere Anfangsphase an Einfluß verliert.

#### 1.3. Auswertung von Wiederanstiegsmessungen

Die Förderleistung des Versuchsbrunnens wird durch Bild 1, b) charakterisiert. Die Anfangsphase ( $t < t_e$ ) ist nach TGL 23 864 Blatt 4, Abschn. 1.1. auszuwerten. Die Meßwerte in der anschließenden Wiederanstiegsphase werden mit  $s'$  und  $t' = t - t_e$  bezeichnet.



Wiederanstiegsgleichung:

$$s' = \frac{0,183 Q}{T} \lg (t/t') \quad (18)$$

Gültigkeitsbereich:

$$t' \geq 3,8 a r^2 \quad (19)$$

Auswertungsschema (siehe Bild 4):

- a) Berechnung der Hilfsvariablen  $t/t'$  aus den Zeitangaben zu den einzelnen Meßwerten.
- b) Auftragung von  $s'$  als Ordinate zur Abszisse  $\lg (t/t')$  auf halblogarithmisches Papier.
- c) Konstruktion einer Ausgleichsgeraden nach Augenmaß durch die so erhaltenen Punkte.
- d) Ermittlung des Richtungskoeffizienten  $\alpha_t$  der Ausgleichsgeraden als Ordinatendifferenz über eine Dekade der Abszisse:

$$\alpha_t = s(10t) - s(t) \quad (20)$$

oder aus den Koordinaten zweier beliebiger Punkte auf der Ausgleichsgeraden nach der Gleichung

$$\alpha_t = \frac{s_2 - s_1}{\lg (r_2/r_1)} \quad (21)$$

Der Richtungskoeffizient  $\alpha_t$  hat die Dimension einer Länge.

- e) Berechnung der Transmissibilität  $T$  nach der Gleichung

$$T = \frac{0,183 Q}{\alpha_t} \quad (22)$$

Der Durchlässigkeitsbeiwert  $k$  ergibt sich daraus

$$k = \frac{T}{M} \quad (23)$$

f) Verlängerung der Ausgleichsgeraden bis zur Achse  $s' = 0$  liefert den Parameter  $(t/t')_0$ . Theoretisch gilt  $(t/t')_0 = 1$ .

Ein Schneiden der Geraden mit der  $s'$ -Achse bei  $(t/t')_0 < 1$  weist auf eine unvollständige Wiederauffüllung infolge begrenzter Ausdehnung des Grundwasserleiters hin. Liegt der Schnittpunkt bei  $(t/t')_0 > 1$ , ist mit einer zusätzlichen Speisung und damit verbundenem schnelleren Wiederanstieg zu rechnen (siehe TGL 23 864 Blatt 6).

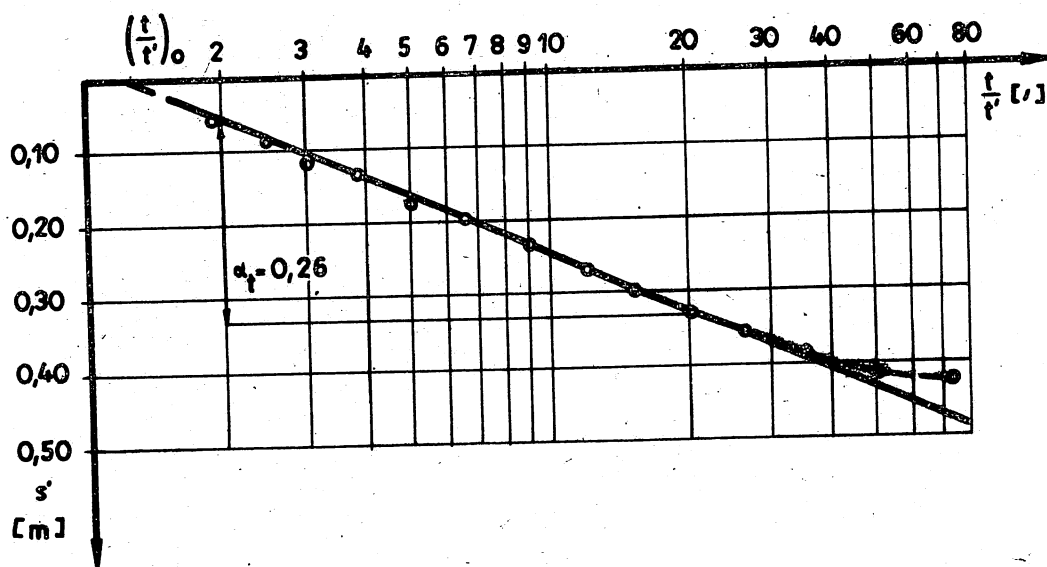


Bild 4 Auswertung von Wiederanstiegsmessungen

#### Zusätzliche Bemerkungen

- Das beschriebene Verfahren ist auch für die im Versuchsbrunnen gemessenen Wiederanstiegswerte anwendbar. Die Schwierigkeiten, die beim Absenkungsvorgang durch anfängliche Unregelmäßigkeiten der Förderleistung fast durchweg auftreten, werden umgangen.
- Die Bestimmung von  $S$  ist nach diesem Verfahren nicht möglich.
- Eine weitere Möglichkeit zur Auswertung der Wiederanstiegsmessungen ergibt sich, indem die Absenkungsphase nach TGL 23 864 Blatt 4, Gleichung (1) über den Zeitpunkt  $t = t_e$  hinaus extrapoliert und nach der Beziehung

$$u(t') = s(t) - s'(t') \quad (24)$$

die Aufhöhung des Grundwasserstandes berechnet wird, die durch das Abschalten der Pumpe verursacht wird. Die so erhaltenen Werte  $u(t')$  können nach dem in TGL 23 864 Blatt 4, Abschnitt 1.1. erläuterten Verfahren ausgewertet werden.

#### 1.4. Vorgegebene Brunnenabsenkung

Wird nicht die Förderleistung, sondern die Absenkung im Förderbrunnen konstant gehalten, so liefert die Messung der zeitlich veränderlichen Förderleistung die aussagekräftigsten Werte.

Zuflußgleichung:

$$Q(t) = \frac{T \cdot s_B}{0,183 \left( \lg \frac{2,25}{a r_B^2} + \lg t \right)} \quad (25)$$

Gültigkeitsbereich:

$$t \geq 10^3 a r_B^2 \quad (26)$$

Außerhalb des Gültigkeitsbereiches erfolgt die Auswertung nach dem im Abschnitt 2.2. angegebenen Verfahren.

Auswertungsschema:

- a) Auftragung der aus den Meßwerten abgeleiteten Verhältniszahlen  $s_B/Q(t)$  als Ordinate zur Abszisse  $\lg t$  auf halb-logarithmisches Papier.
- b) Konstruktion einer Ausgleichsgeraden nach Augenmaß durch die so erhaltenen Punkte.
- c) Ermittlung des Richtungskoeffizienten  $\overline{\alpha}_t$  der Ausgleichsgeraden analog zum Abschnitt 1.3., wobei in den Gleichungen (20) und (21)  $s$  durch  $s_B/Q(t)$  zu ersetzen ist.
- d) Berechnung der Transmissibilität  $T$  nach der Gleichung

$$T = \frac{0,183}{\overline{\alpha}_t} \quad (27)$$

Der Durchlässigkeitsbeiwert  $k$  ergibt sich nach Gleichung (23).

#### Zusätzliche Bemerkungen

- Die Bestimmung von  $S$  ist nach diesem Verfahren nicht möglich.
- Die Auswertung der Meßwerte von Grundwasserbeobachtungsrohren erfolgt bei dem hier betrachteten Pumpversuchschema nach den im Abschnitt 1.2. angegebenen Verfahren.

#### 2. Pumpversuch in ungespanntem Grundwasser

Ausgangsgröße der Pumpversuchsauswertung ist die reduzierte Absenkung

$$s_r = s \left(1 - \frac{s}{2H}\right) \quad (28)$$

Bei der Berechnung des Durchlässigkeitsbeiwertes  $k$  aus der Transmissibilität  $T$  ist im Vergleich zur Druckströmung die Mächtigkeit  $M$  des Grundwasserleiters durch die unbeeinflusste Grundwassermächtigkeit  $H$  zu ersetzen. An die Stelle von Gleichung (7) tritt somit

$$k = \frac{T}{H} \quad (29)$$

Mit diesen Definitionen lassen sich die im Abschnitt 1. angegebenen Auswertungsverfahren auf Pumpversuche in ungespanntem Grundwasser übertragen, wobei stets  $s$  durch  $s_r$  zu ersetzen ist. Hier werden daher nur die Unterschiede betrachtet, die sich daraus ergeben, daß der Speicherkoeffizient  $S$  und damit die in den Gültigkeitsbedingungen (2), (19) und (26) auftretende geohydraulische Zeitkonstante  $a$  bei Vorhandensein einer freien Grundwasser Oberfläche um mehrere Zehnerpotenzen anwächst. Dieser Umstand hat u. a. zur Folge, daß die in den Abschnitten 1.1., 1.2.1. und 1.3. angegebenen Auswertungsverfahren im allgemeinen für die Anfangsphase des Pumpversuches nicht anwendbar sind. Unbeschränkt anwendbar ist dagegen das im Abschnitt 1.2.2. beschriebene Verfahren.

## 2.1. Auswertung von Wiederanstiegsmessungen

Absenkungsgleichung:

$$s_r = \frac{Q}{4 \pi T} (W(\sigma) - W(\sigma')) \quad (30)$$

mit

$$\sigma = \frac{a r^2}{4 t}, \quad \sigma' = \frac{a r^2}{4 t'}, \quad t' = t - t_e \quad (31)$$

Näherungsformel:

$$s_r = \frac{0,183 Q}{T} \lg(t/t') \quad (32)$$

Gültigkeitsbedingung:

$$t' \geq 3,8 a r^2 \quad (2)$$

Auswertungsschema:

- a) Überprüfung der Gültigkeitsbedingung (2) mit Hilfe geschätzter Werte S, T. Fällt diese Überprüfung positiv aus, erfolgt die weitere Auswertung nach dem in Abschnitt 1.3. angegebenen Verfahren (mit  $s_r$  statt s). Außerhalb des Gültigkeitsbereiches der Näherungsformel (32) erfolgt die Auswertung nach den Schritten b) bis e).
- b) Auswertung der Absenkungsphase ( $t < t_e$ , siehe Bild 1, b) nach TGL 23 864 Blatt 4, Abschnitt 2.1.
- c) Extrapolation der Absenkungsphase über den Zeitpunkt  $t = t_e$  hinaus unter Verwendung der THEIS-Formel (TGL 23 864 Blatt 4, Gleichung (18)):

$$s_r = \frac{Q}{4 \pi T} W(\sigma) \quad (33)$$

mit

$$\sigma = \frac{a r^2}{4 T} \quad (34)$$

- d) Auswertung von Gleichung (30) für alle Meßtermine der Wiederanstiegsphase ( $t' = t - t_0$ ) und Differenzbildung zu den gemessenen Restabsenkungen  $s'_r$ :

$$u(t') = s_T (t_0 + t') - s'_r(t') \quad (35)$$

- e) Auswertung der Anstiegswerte  $u(t')$  nach TGL 23 864 Blatt 4, Abschnitt 2.1.

#### Zusätzliche Bemerkungen

Theoretisch muß Schritt d) die gleichen Parameter  $S$ ,  $T$  liefern, wie Schritt a). Bei signifikant verschiedenen Auswertungsergebnissen ist die Extrapolation (30) mit den Parametern  $S$ ,  $T$  der Wiederanstiegsphase zu wiederholen, um zu besserer Übereinstimmung zu gelangen.

#### 2.2. Vorgegebene Brunnenabsenkung

Zuflußgleichung:

$$Q(t) = 2 \pi T s_{rB} \cdot G(x) \quad (36)$$

mit

$$x = \frac{t}{a r_B^2} \quad (37)$$

Näherungsformel:

$$Q(t) = \frac{T s_{rB}}{0,183 \left( \lg \frac{2,25}{a r_B^2} + \lg t \right)} \quad (38)$$

gültig für

$$t \geq 10^3 a r_B^2 \quad (26)$$

Auswertungsschema:

- a) Mit Hilfe der Bedingung (26) wird zunächst überschläg-lich eingeschätzt, ob die Näherungsformel (35) und damit das im Abschnitt 1.4. erläuterte Auswertungsverfahren

(mit  $s_r$  statt  $s$ ) anwendbar ist.

Die Anfangsphase, in der dieses einfache Verfahren nicht anwendbar ist, ist detailliert entsprechend den folgenden Schritten zu analysieren.

- b) Auftragung der Funktion  $y = G(x)$  über  $x$  auf doppelt-logarithmisches Papier. Tabelle 2 enthält die dafür notwendigen Funktionswerte.
- c) Auftragung der Meßwerte  $Q(t)$  über  $t$  im gleichen Maßstab auf einem zweiten Blatt Transparentpapier.
- d) Visuelle Anpassung der Beobachtungswerte an einen geeigneten Abschnitt der typischen Kurve durch Aufeinanderlegen und achsenparalleles Verschieben der beiden Blätter.
- e) Auswahl eines beliebigen Punktes im Überlappungsbereich der beiden Blätter, dessen Ordinaten ( $Q_0$  bzw.  $y_0$ ) in beiden Koordinatensystemen zu bestimmen sind.
- f) Berechnung der Transmissibilität  $T$  nach der Gleichung

$$T = \frac{1}{2 \pi s_{rB}} \cdot \frac{Q_0}{y_0} \quad (39)$$

Der  $k$ -Wert folgt daraus nach Gleichung (29).

Tabelle 2 Funktionswerte für  $y = G(x)$

$x$	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0
$x \cdot 10^{-1}$	2,250	1,720	1,480	1,330	1,230	1,160	1,100	1,060	1,020
$x \cdot 10^0$	0,985	0,803	0,719	0,667	0,630	0,602	0,580	0,562	0,547
$x \cdot 10^1$	0,534	0,461	0,427	0,405	0,389	0,377	0,367	0,359	0,352
$x \cdot 10^2$	0,346	0,311	0,294	0,283	0,274	0,268	0,263	0,258	0,254
$x \cdot 10^3$	0,251	0,232	0,222	0,215	0,210	0,206	0,203	0,200	0,198
$x \cdot 10^4$	0,196	0,184	0,178	0,173	0,170	0,168	0,165	0,164	0,162
Beispiel: für $x = 7 \rightarrow G(x) = 0,58$									

#### Zusätzliche Bemerkungen

Die Bemerkungen am Ende des Abschnittes 1.4. sind sinngemäß zu übertragen.

## 3. Verzeichnis der verwendeten Symbole

a	$[s \cdot m^{-2}]$	gehydraulische Zeitkonstante, $a = \frac{S}{T}$
G (x)	$[-]$	Brunnenfunktion bei konstanter Absenkung
H	$[m]$	unbeeinflusste Grundwassermächtigkeit
k	$[m \cdot s^{-1}]$	Durchlässigkeitsbeiwert
M	$[m]$	Mächtigkeit des Grundwasserleiters
Q	$[m^3 \cdot s^{-1}]$	Förderleistung des Brunnens
Q <sub>j</sub>	$[m^3 \cdot s^{-1}]$	Förderleistung der einzelnen Pumpstufen
$\bar{Q}$	$[m^3 \cdot s^{-1}]$	mittlere Förderleistung
R	$[m]$	Ersatzreichweite
r	$[m]$	Abstand eines Punktes von der Brunnenachse (Zylinderkoordinaten)
r <sub>B</sub>	$[m]$	Radius der Brunnenbohrung
S	$[-]$	Speicherkoeffizient des Grundwasserleiters
s	$[m]$	Grundwasserabsenkung
s'	$[m]$	Restabsenkung während der Wiederanstiegsphase
s <sub>r</sub>	$[m]$	reduzierte Grundwasserabsenkung
s <sub>B</sub>	$[m]$	Grundwasserabsenkung im Brunnen
s <sub>rB</sub>	$[m]$	reduzierte Grundwasserabsenkung im Brunnen
T	$[m^2 \cdot s^{-1}]$	Profildurchlässigkeit (Transmissibilität)
t	$[s]$	Zeit
t <sub>e</sub>	$[s]$	Pumpende
t'	$[s]$	Zeit nach Abschalten der Pumpe (Wiederanstieg)
W (x)	$[-]$	Brunnenfunktion