

A 4. Berücksichtigung der Speisung aus benachbarten Schichten bei der PV-Auswertung

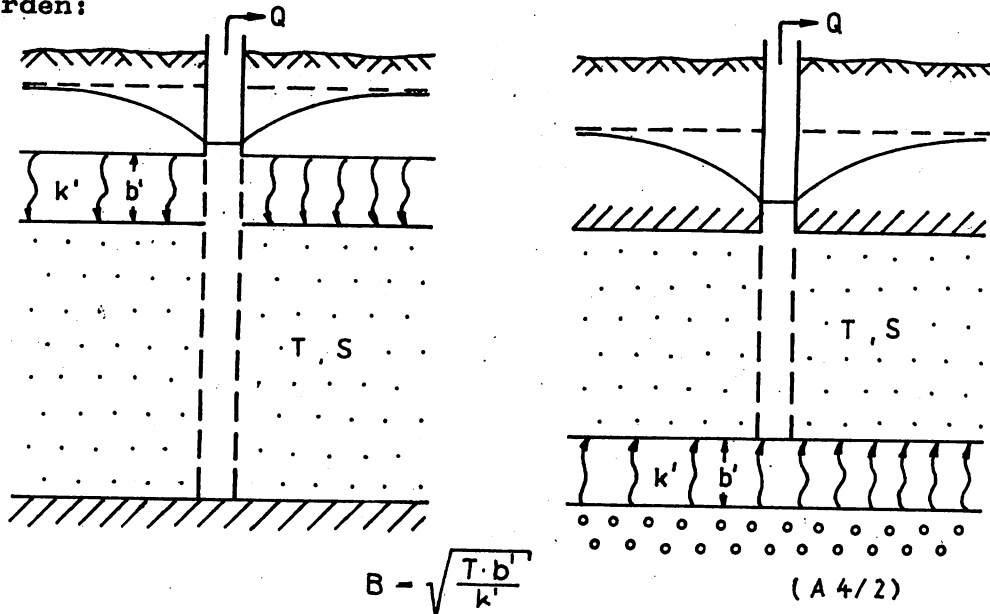
A 4.1. Allgemeines

Im folgenden werden Auswerteverfahren des "undichten Grundwasserleiters" (leaky aquifer) betrachtet, d.h. Strömungsverhältnisse behandelt, die sich im wesentlichen mit der Grundgleichung

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \cdot W(\sigma, r/B) \quad (\text{A 4/1})$$

beschreiben lassen.

Bei der PV-Auswertung können folgende Fälle berücksichtigt werden:



Bei der Auswertung sind gemäß TGL 23 864, Blatt 6 folgende Voraussetzungen zu beachten:

- Die Durchlässigkeit der halbdurchlässigen Schicht k' ist klein gegenüber der Durchlässigkeit des Hauptgrundwasserleiters k ($k \geq 50 k'$)
Damit ist die Annahme einer vertikalen Wasserbewegung in dieser Schicht möglich.
- Die durch Druckentlastung im Hauptgrundwasserleiter induzierte zusätzliche Speisung ist der Absenkung direkt proportional.

- Die Speisungsrate v_s wird durch den Speisungsfaktor B charakterisiert ($v_s/T = s/B^2$) (A 4/3)

A 4.2. Phaseneinteilung des Spiegelverlaufes

Bei der Auswertung von Pumpversuchen bei Speisung aus benachbarten Schichten sind unabhängig von eventuellen Randbedingungseinflüssen folgende Phasen des Absenkungsverlaufes zu beachten.

Phase I

Der Einfluß der Speisung ist vernachlässigbar klein. Der Spiegelverlauf läßt sich mit Hilfe der Brunnenfunktion

$$W(\sigma) = - \int_0^{\infty} \exp(-\sigma) \frac{d\sigma}{\sigma} \quad \text{mit} \quad \sigma = \frac{r^2 S}{4Tt} \quad (\text{A 4/4})$$

oder

$$W(\sigma) = - \ln \gamma \cdot \sigma \quad \text{für} \quad t \geq 3,8 \text{ ar}^2 \quad (\text{A 4/5})$$

beschreiben.

Es können die Auswerteverfahren gemäß Punkt 2.1. zur Parameterermittlung eingesetzt werden. Als Zeitkriterium für Phase I kann für den brunnennahen Bereich bei Einhaltung der Bedingungen

$$r/B \leq 0,1$$

$$t_I \leq 0,05 \cdot a \cdot B^2 \quad (\text{A 4/6})$$

und für Bereiche in größerer Entfernung vom Brunnen

$$t_I \leq 0,125 \cdot a \cdot r \cdot B \quad (\text{A 4/7})$$

genutzt werden.

Die angegebenen Beziehungen basieren auf den bekannten Näherungen

$$W(\sigma, r/B) \approx W(\sigma) \quad \text{für} \quad \sigma \geq 5 (r/B)^2 \quad \text{wenn} \quad r/B \leq 0,1 \quad (\text{A 4/8})$$

und

$$W(\sigma, r/B) \approx W(\sigma) \quad \text{für} \quad \sigma \geq 2 r/B \quad (\text{A 4/9}).$$

Phase II:

In der Phase II wirkt die Speisung. Die Funktion $s = f(\lg t)$ bzw. $s' = f(\lg t/t')$ verläuft nichtlinear.

Phase III:

Bedingt durch den großen Einfluß der Speisung geht die Funktion $s = f(\lg t)$ bzw. $s' = f(\lg t/t')$ in eine Gerade über, die parallel zur Abszisse verläuft. Als Zeitkriterium für Phase III kann

$$t_{\text{III}} \geq 4 \cdot B^2 \cdot a \quad (\text{A 4/10})$$

festgelegt werden.

Das Zeitkriterium (A 4/10) ergibt sich aus der Beziehung

$$W(\sigma, r/B) = 2 K_0(r/B) - W(u, r/B) \quad (\text{A 4/11})$$

$$\text{mit} \quad u = \frac{r^2}{B \cdot \sigma \cdot 4}$$

Für den Zeitraum der Phase III strebt der Ausdruck $W(u, r/B)$ in (A 4/11) gegen Null. Bei beliebigen r/B kann für $u \geq 4,0$ $W(u, r/B) \text{ rd. } 0$ gesetzt werden.

Bei der praktischen Durchführung der PV-Auswertung kommt es darauf an, auf Grundlage des Kurvenverlaufes (ggf. auch durch Berechnung mit zunächst geschätzten Parametern) die Phaseneinteilung vorzunehmen.

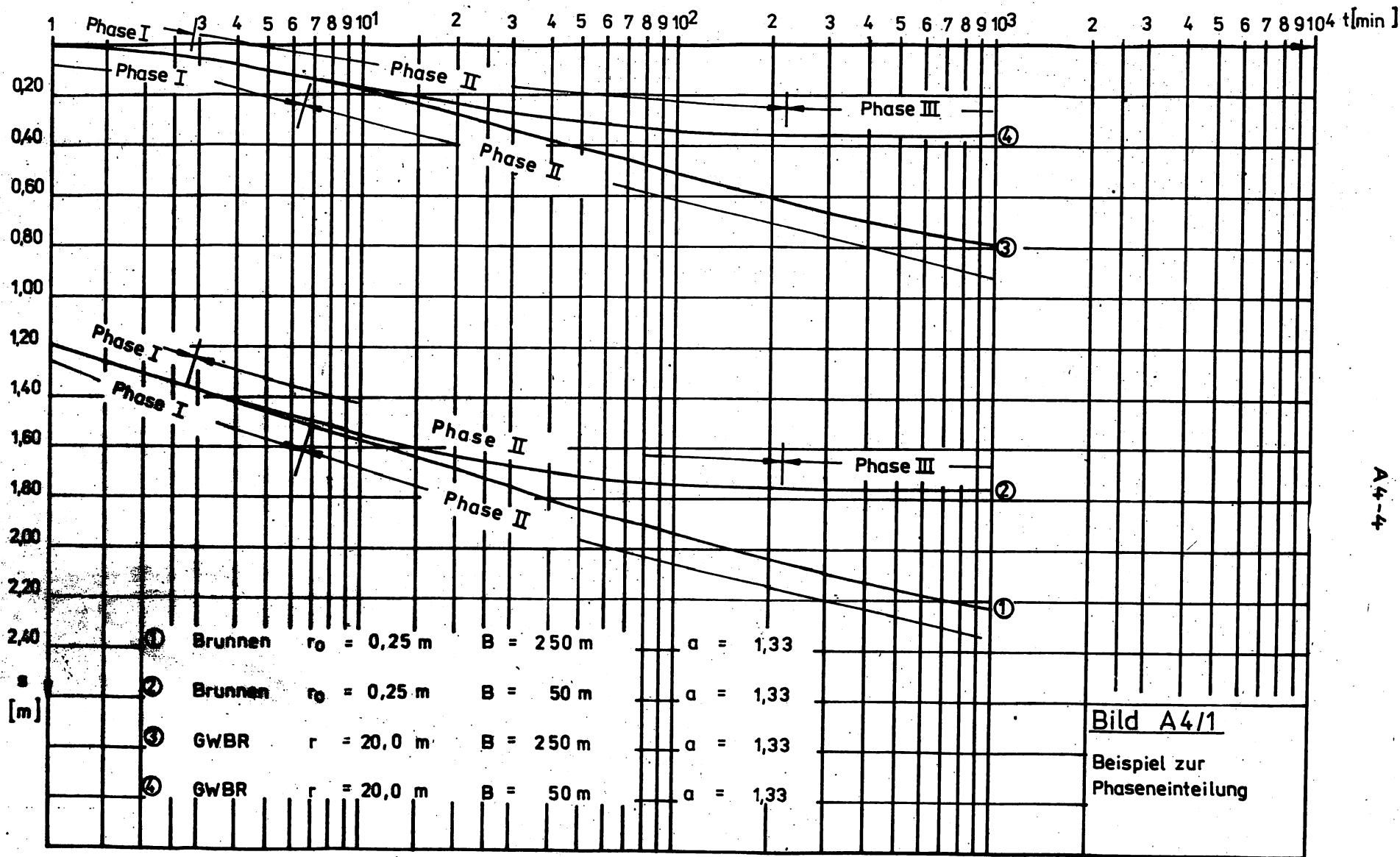


Bild A4/1

Beispiel zur
Phaseneinteilung

A 4.3. Unendlich ausgedehnter GWL mit Speisung

A 4.3.1. Auswertung des zeitlichen Absenkungsverlaufes nach der Methode der "typischen Kurve"

Das Auswerteverfahren nach der typischen Kurve basiert auf folgender Grundlage:

Die Funktionen $\lg s = f(\lg t)$ und $\lg [W(\sigma, r/B)] = f[\lg (1/\sigma)]$ haben die gleiche Gestalt. Trägt man beide Funktionen grafisch in je ein doppelt-logarithmisch geteiltes Achsen-system mit gleicher Teilung ein, so kann man beide Kurven durch Verschiebung zur Deckung bringen (Achsen müssen stets parallel bleiben). Auf diese Weise kann man das zu einem beliebigen Wertepaar $(s; t)$ gehörende Paar $[W(\sigma, r/B); 1/\sigma]$ ablesen.

Aus den Zahlenwerten der Wertepaare können auf der Grundlage der Beziehungen (A 4/1) und (A 4/4) die hydrogeologischen Parameter bestimmt werden

$$T = \frac{Q}{4\pi} \cdot \frac{W(\sigma, r/B)}{s} \quad (\text{A } 4/12)$$

$$S = \frac{4T}{r^2} \cdot \frac{t}{1/\sigma} \quad (\text{A } 4/13)$$

Das Verhältnis r/B wird direkt aus der Funktion $\lg W(\sigma, r/B) = f \lg(1/\sigma)$ anhand des Verlaufes der Phase II bzw. III bestimmt.

Ist die Phase III eindeutig ausgebildet, so kann für den Bereich der Phase III aus der Funktion $\lg [W(\sigma, r/B)] = f[\lg(1/\sigma)]$ ein Wert für $W(\sigma, r/B)$ Phase III bestimmt werden. Auf Grundlage von (A 4/11) ergibt sich

$$K_0(r/B) = \frac{1}{2} \cdot W(\sigma, r/B)_{\text{Phase III}} \quad (\text{A } 4/14)$$

Mit Hilfe der grafischen Darstellung der Funktion $K_0(x)$ (Bild 5/8) kann das Verhältnis r/B bzw. bei gegebenem r der Speisungsfaktor B ermittelt werden.

Berechnungsbeispiel:

$$Q = 0,015 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$r = 5,0 \text{ m} \quad (\text{Entfernung des GWBR vom Brunnen})$$

Die Meßwerte des Absenkungsverlaufes des GWBR werden in doppelt-logarithmischem Maßstab aufgetragen (Bild A 4/3) und mit der Funktion $\lg[W(\sigma, r/B)] = f[\lg(1/\sigma)]$ (Bild A 4/2) in der oben beschriebenen Weise zur Deckung gebracht.

Aus den Werten des Matchpoints ergibt sich:

$$T = \frac{Q}{4\pi} \cdot \frac{W(\sigma, r/B)}{s} = \frac{0,015}{4 \cdot \pi} \cdot \frac{3,1}{0,5} = 0,0074 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$S = \frac{4 \cdot T}{r^2} \cdot \frac{t}{1/8} = \frac{4 \cdot 0,0074}{5,0^2} \cdot \frac{3000}{330} = 0,011$$

Mit $W(\sigma, r/B)_{\text{Phase III}} = 4,8$ ergibt sich nach (A 4/14)

$$K_0(r/B) = 2,4$$

Aus der grafischen Darstellung der Funktion $K_0(x)$ (Bild 5/8) ergibt sich für diesen Wert $r/B = 0,1$ und damit

$$B = 5,0/0,1 = 50 \text{ m.}$$

Die Phaseinteilung kann wie folgt überprüft werden:

$$r/B = 5/50 = 0,1$$

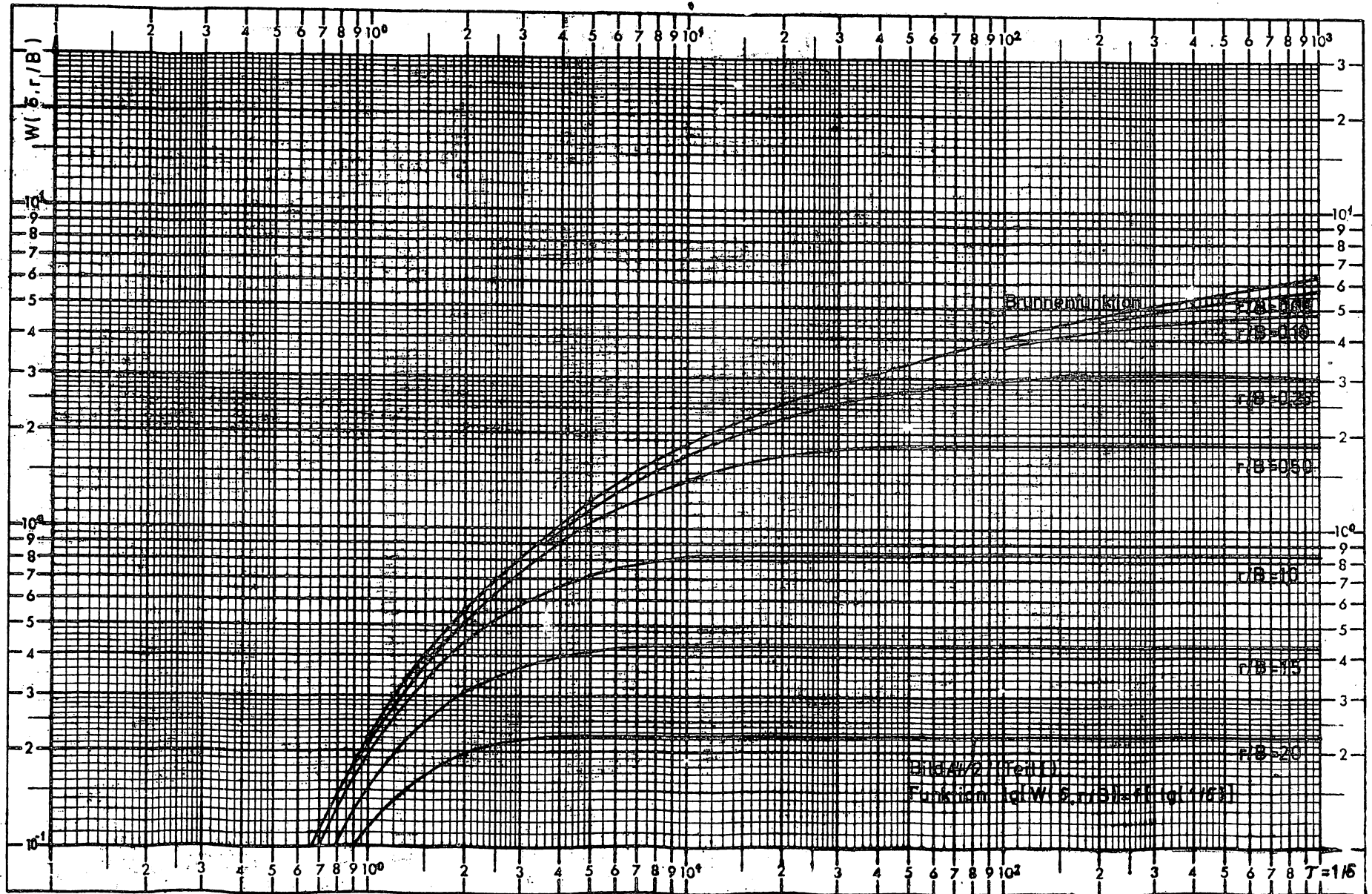
$$t_I \leq 0,05 \cdot a \cdot B^2 = 0,05 \cdot \frac{0,011}{0,0074} \cdot 50^2$$

$$t_I \leq 186 \text{ s} = 3 \text{ min} \quad (\text{A 4/6})$$

$$t_{\text{III}} \geq 4 \cdot B^2 \cdot a = 4 \cdot 50^2 \cdot \frac{0,011}{0,0074}$$

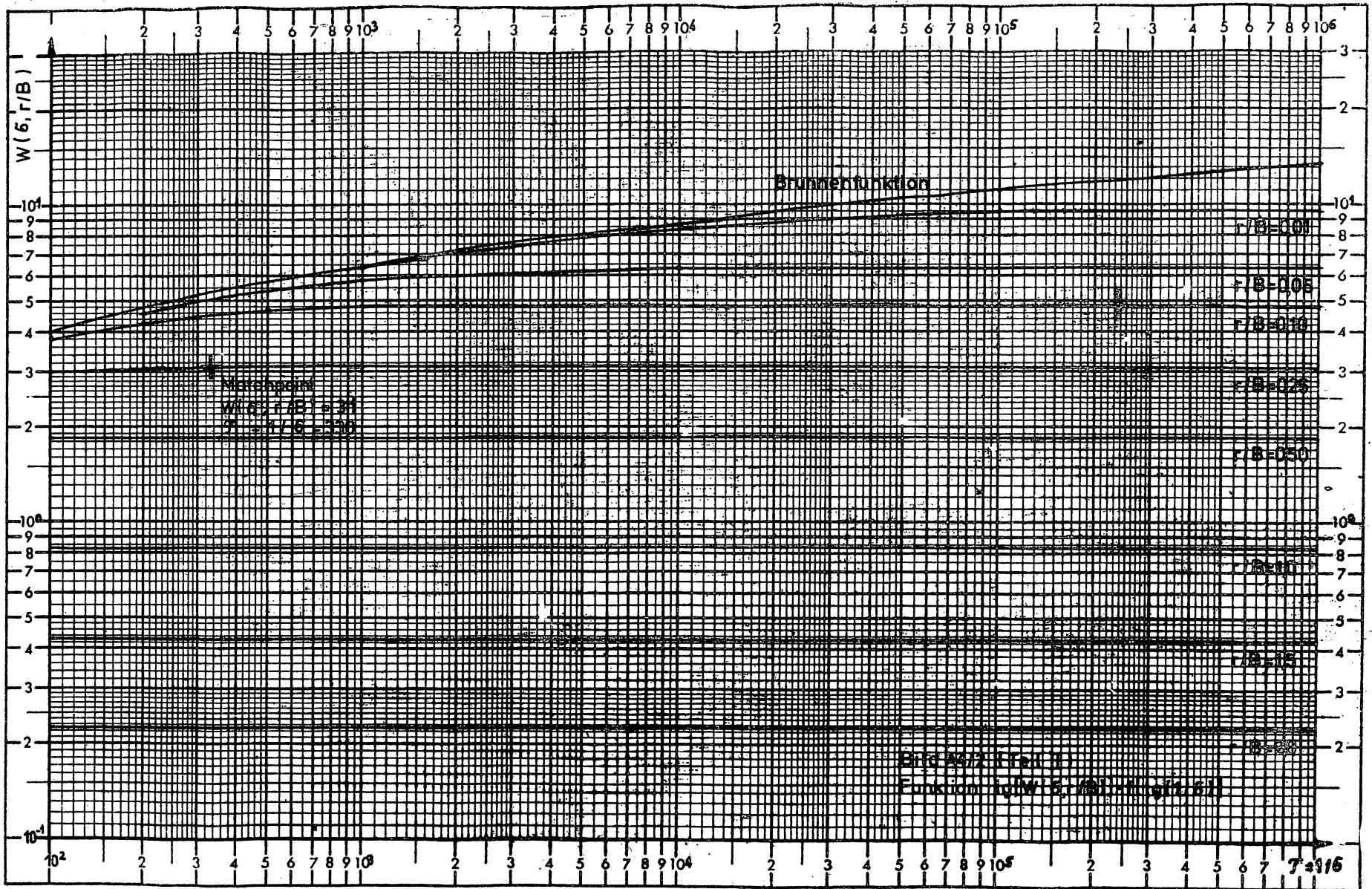
$$t_{\text{III}} \geq 1,5 \cdot 10^4 \text{ s} = 248 \text{ min} \quad (\text{A 4/10})$$

Nr. 490T



A4-7

Beide Achsen logar. gestellt von 1 bis 10^4 u. 1 bis $3 \cdot 10^2$ Einheit 62,5 mm



A 4-8

Beide Achsen log. geteilt von 1 bis 10^4 u. 1 bis $3 \cdot 10^2$ Einheit 62,5 mm

**A 4.3.2. Auswertung des räumlichen Absenkungstrichters
(stationärer Zustand) nach der Methode der
"typischen Kurve"**

In TGL 23 864, Blatt 6, Punkt 1.1.2.1. ist ausführlich die Auswertung des räumlichen Absenkungstrichters beschrieben. Voraussetzung ist, daß an allen GWBR Phase III erreicht wurde.

Als typische Kurve wird die Funktion $\lg [K_0(x)] = f(\lg x)$ genutzt (Bild A 4/4), die mit der anhand der PV-Daten aufzustellenden Funktion $\lg s = f(\lg r)$ (Bild A 4/5) zur Deckung gebracht wird.

Berechnungsbeispiel:

$$Q = 0,015 \text{ m}^3/\text{s}$$

Absenkungen Phase III:

$$r = 0,25 \text{ m} \quad s = 1,76 \text{ m}$$

$$r = 5,00 \text{ m} \quad s = 0,78 \text{ m}$$

$$r = 20,00 \text{ m} \quad s = 0,36 \text{ m}$$

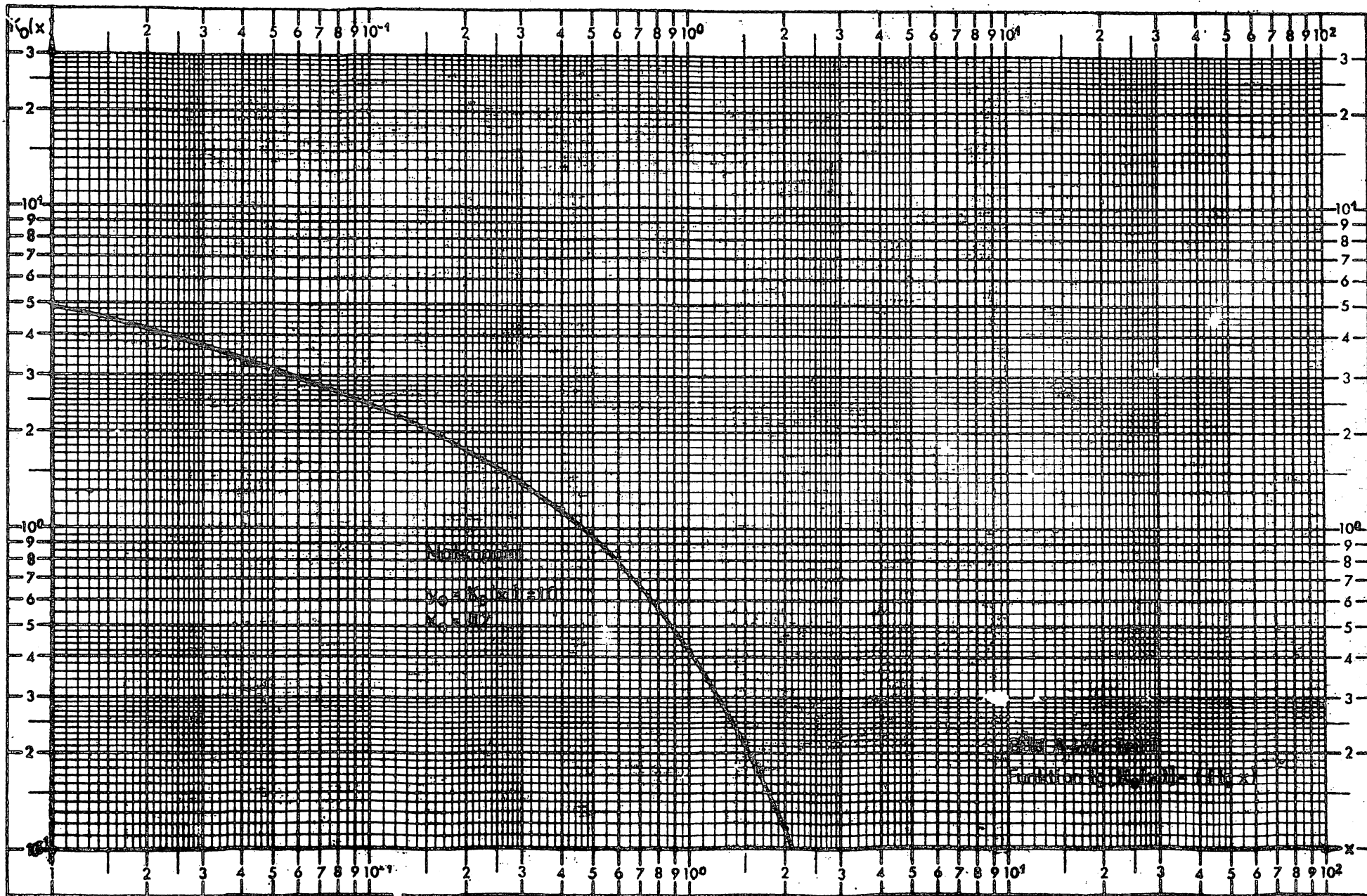
$$r = 90,00 \text{ m} \quad s = 0,14 \text{ m}$$

Die Transmissibilität T ergibt sich nach (6/4) zu

$$T = \frac{Q}{2\pi} \cdot \frac{y_0}{s_0} = \frac{0,015}{2} \cdot \frac{1,0}{0,3} = 0,008 \text{ m}^2/\text{s}$$

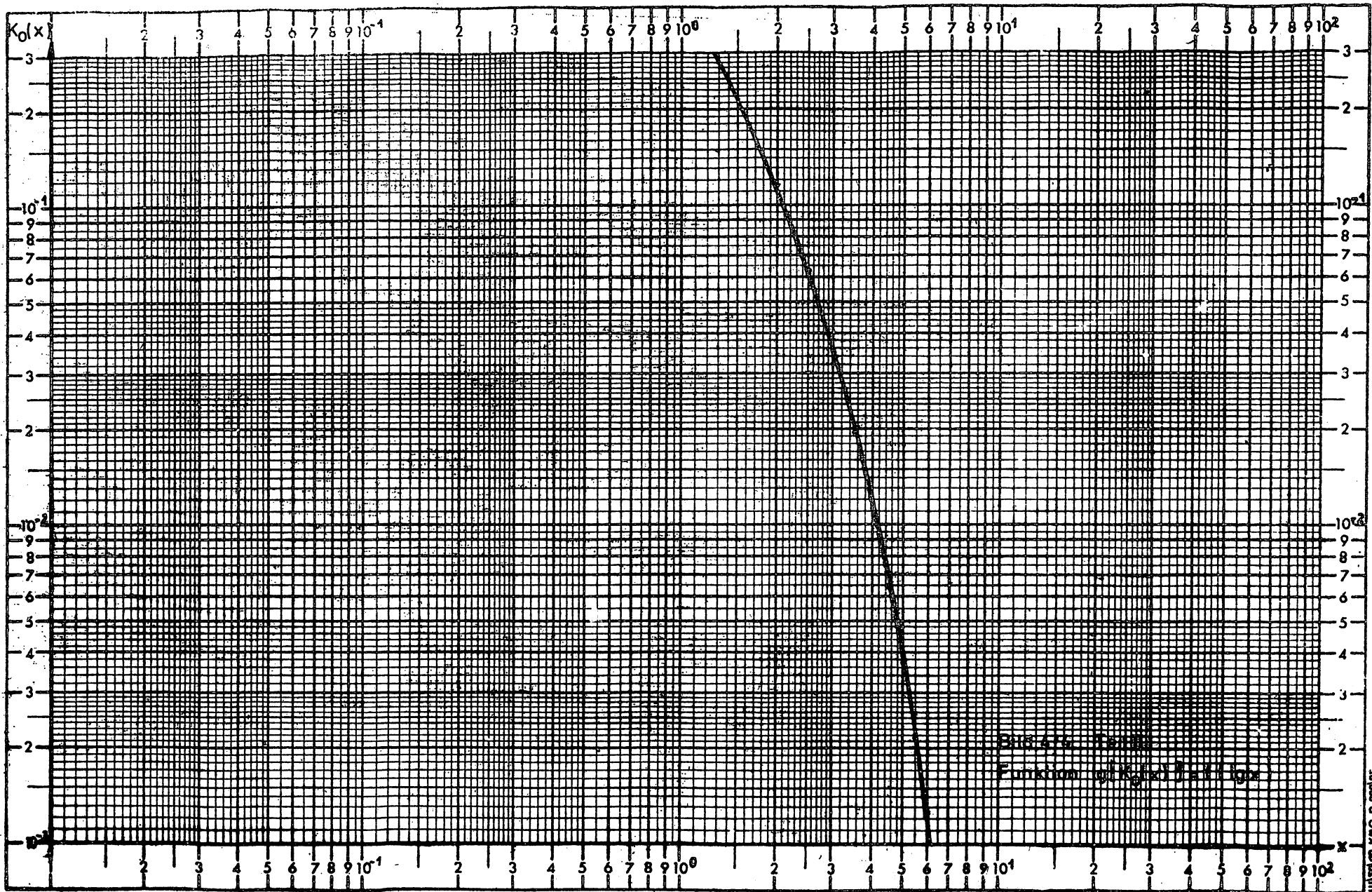
Für den Speisungsfaktor gilt nach (6/6)

$$B = \frac{r_0}{x_0} = \frac{11,0}{0,2} = 55,0 \text{ m}$$



A 4-11

SEIBER B. DR. G. (1930)



A4-12

Stapel B D w x 20/11/11

A 4.4. Einseitig begrenzter GWL mit Speisung

Vergleicht man die Bilder 11.1. (Absenkungsverlauf, unendlich ausgedehnter GWL), 19.1 (Absenkungsverlauf, einseitig mit $f_2 = 0$ begrenzter GWL) und 27.1. (Absenkungsverlauf, einseitig mit $\Delta q = 0$ begrenzter GWL) so erkennt man, daß bei starker Speisung (z.B. $B = 50$ m) der Einfluß der Randbedingungen aus dem Kurvenverlauf nicht mehr erkennbar ist.

Es ist deshalb nicht möglich, aus Kurvenverläufen einen λ^* -Wert zu identifizieren. Es können die Größen T, S und B mit den in A 4.3. dargelegten Verfahren bestimmt werden, ohne daß ein Randbedingungsseinfluß beachtet wird.

Bei relativ schwacher Speisung (z.B. $B = 250$ m) ist aus den Bildern 11.1, 19.1 und 27.1 ein Randbedingungsseinfluß auf den Absenkungsverlauf erkennbar. Falls aus dem Kurvenverlauf der Randbedingungsseinfluß eindeutig erkennbar ist, können die Meßwerte bis zum Randbedingungsseinfluß gemäß Punkt A 4.3.1. für die Ermittlung der hydrogeologischen Parameter T und S genutzt werden.

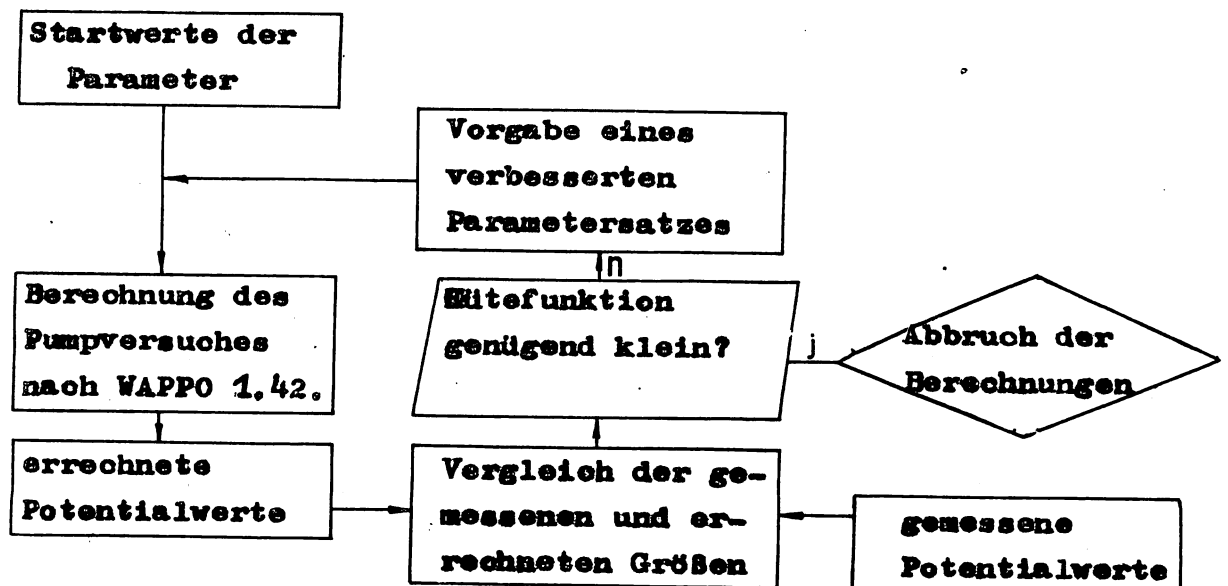
Eine Berücksichtigung des Randbedingungsseinflusses bei der Parameterermittlung ist mit vertretbarem Aufwand nicht möglich. In diesen Fällen sollte unbedingt auf das Parameteridentifikationsprogramm PVA 1 zurückgegriffen werden. Dabei ist, wie in Punkt A 5.3. beschrieben, eine Identifikation von mehr als 3 Parametern auf keinen Fall möglich. Da die Randbedingungen bei Speisung aus benachbarten Schichten entweder einen vernachlässigbar kleinen oder nur einen geringen Einfluß auf den Kurvenverlauf haben, sollte die wirksame Randbedingungsentfernung λ^* bei der Parameterbestimmung als Zahlenwert vorgegeben werden.

A5 PV-Auswertung mittels EDV

A5.1 Parametersuche nach dem Verfahren von JACOB

Der Suchprozeß basiert dabei auf der Minimierung einer Gütefunktion, die aus gemessenen und errechneten Größen ermittelt wird.

Bei allen Suchverfahren wird stets mit geschätzten Startwerten das Grundproblem, entsprechend dem durchgeführten Pumpversuch, zum ersten Mal gelöst. Die auf diese Weise berechneten Werte der Potentialfunktion (h oder s) werden mit den vorhandenen Meßwerten verglichen. Ausgehend von diesem Vergleich, wird ein neuer Satz von geohydraulischen Parametern vorgegeben, der so geartet ist, daß bei der erneuten Lösung des Grundproblems die Abweichungen kleiner werden. Dieser Zyklus wird so lange fortgesetzt, bis eine bestmögliche Übereinstimmung zwischen allen Meß- und Rechenwerten besteht. In diesem Falle hat die aus den quadratischen Abweichungen bestehende Gütefunktion das Minimum erreicht. Das nachfolgende Schema verdeutlicht diesen Verfahrensweg nochmals:

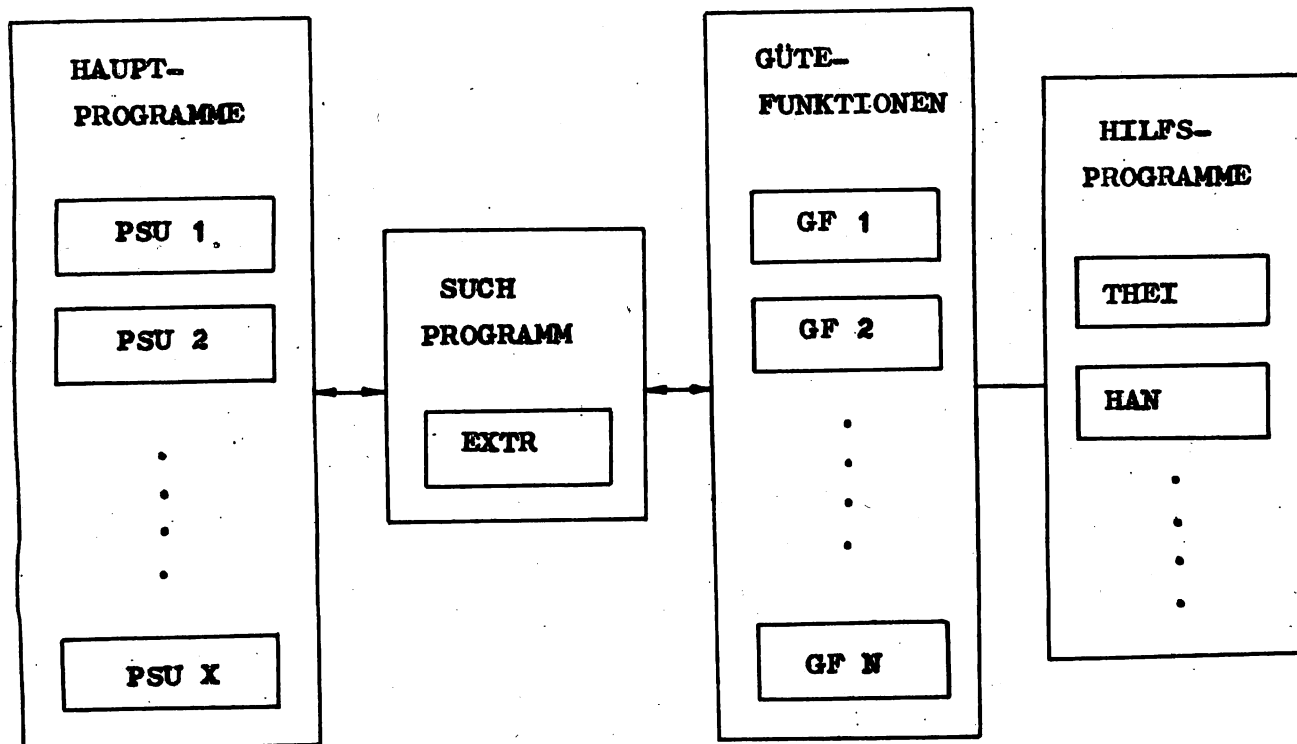


A 5.2 Parameteridentifikationsprogramm PSUX

Bei der Konzeption des Programmpaketes wurde von vorn herein auf die Programmiersprache FORTRAN und dem Kleinrechner KRS 4200 orientiert, der in breitem Maße in der Volkswirtschaft zur Verfügung steht.

Von den analysierten Suchalgorithmen hat sich das von JACOB beschriebene Verfahren bisher am besten bewährt. Seine wesentlichsten Vorteile liegen in der hohen Konvergenzgeschwindigkeit, der geringen Zahl der benötigten Arbeitsspeicherplätze und dem Programmumfang von etwa 100 FORTRAN-Befehlen.

Das Programmpaket hat folgenden prinzipiellen Aufbau:



HAUPTPROGRAMM

Die Hauptprogramme PSUX realisieren die Eingabe aller zur Identifikation benötigten Werte. Desweiteren wird von PSUX aus die Steuerung des Suchprozesses realisiert.

SUCHPROGRAMM

Das Suchprogramm EXTR realisiert den deterministischen Suchprozess auf der Grundlage der ermittelten Gütefunktion. Seine Arbeitsschritte liegen in der

- Bestimmung der Haupt-Suchrichtung
- Berechnung des Extremums entlang einer Suchrichtung
- Bestimmung der Suchschrittweite
- Berücksichtigung von Begrenzungen

Das Suchprogramm EXTR ist für alle Hauptprogramme gleich.

GÜTEFUNKTION

Die Programme GFX realisieren die Berechnung der Absenkungen $s_{I,J}$ an bestimmten Ortsstellen I des Strömungsfeldes zu bestimmten Zeiten J bei Zugrundelegung geohydraulischer Randbedingungen nach WAPRO 1.42. Aus diesen Rechengrößen und den gemessenen Absenkungen wird anschließend die Gütefunktion als Summe der Abweichungsquadrate gebildet.

$$GF = \sum_{I=1}^N \sum_{J=1}^M \Delta s^2_{I, J}$$

HILFSPROGRAMME

Unter dieser Kategorie werden alle weiteren erforderlichen Programme zusammengefaßt

z. B.

Brunnenfunktion $W(\delta)$ \rightarrow THEI

Brunnenfunktion $W(\delta, \beta)$ \rightarrow HAN

Zum Programmpaket PSUX gehören gegenwärtig die Programme PSU 1 bis PSU 8, mit denen ein wesentlicher Teil aller praktischen Pumpversuche auswertbar ist. Wie die Programmkonzeption zeigt, läßt sich das Programmpaket einfach durch weitere Programme ergänzen. Nachfolgende Übersicht gibt einen Überblick über die einzelnen Programme.

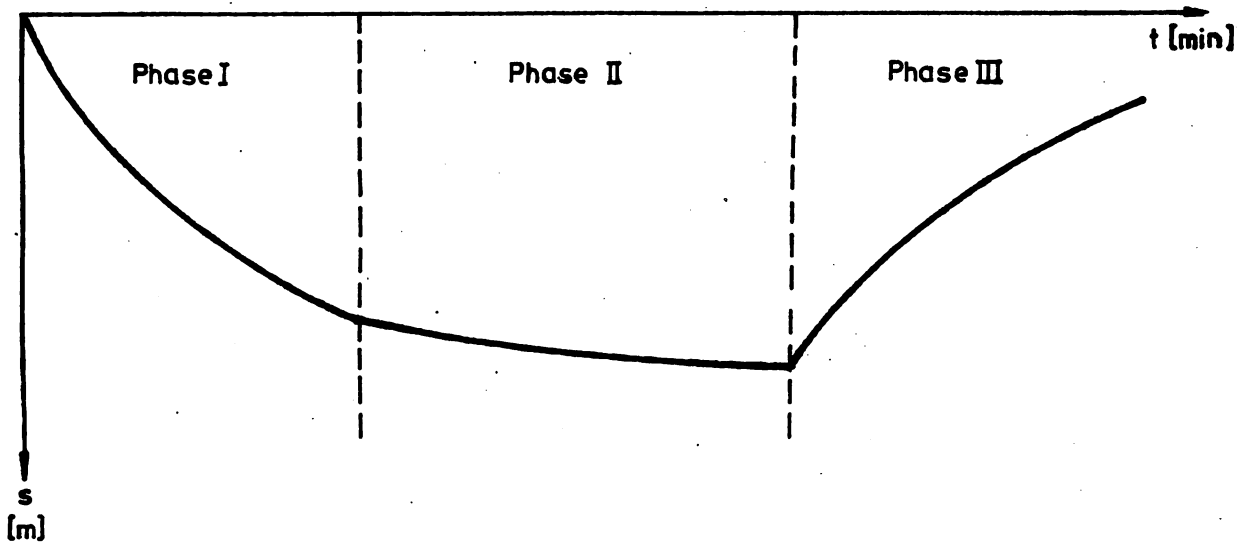
Programm	gehydraulisches Schema	Ergebnis
PSU 1	Unendlich ausgedehnter Grundwasserleiter ohne Speisung	T
PSU 2	- " -	T, S
PSU 3	Unendlich ausgedehnter Grundwasserleiter mit Speisung	T
PSU 4	- " -	T, S
PSU 5	- " -	T, S, B
PSU 6	Einseitig begrenzter Grundwasserleiter ohne Speisung	T
PSU 7	- " -	T, S
PSU 8	- " -	T, S, λ^*

Bemerkungen

Bei den Programmen PSU 5 und PSU 8 lassen sich jeweils 3 Parameter nicht gleichzeitig suchen, da sie nicht voneinander unabhängig sind. Deshalb wird das Prinzip der Stufensuche angewandt.

Nachfolgendes Bild gibt die Stufeneinteilung an, die dem Programm PSU 5 zugrundegelegt wird.

Absenkungsschema für PSU 5



Aus der Phase I, die der Brunnenfunktion $W(\delta)$ genügt, werden in der Suchstufe 1 die Parameter T und S ermittelt. Ab Phase II wirkt der Speisungsparameter B , so daß in der Suchstufe 2 der Parameter B ermittelt wird, wobei die Werte T und S aus der ersten Stufe konstant gesetzt werden. In der Suchstufe 3 schließlich wird B konstant gesetzt und die Parameter T und S aus den Wiederanstiegmessungen präzisiert. Die genannte Stufeneinteilung gilt in gleicher Art für das Programm PSU 8, nur daß in Stufe 2 anstelle von B die hydraulisch wirksame Randbedingungsentfernung λ^* ermittelt wird.

Für die Nutzung der Programme existiert eine nutzerorientierte Programmdokumentation, in der alle einzugebenden Größen enthalten sind.

A 5.3 Parameteridentifikationsprogramm PVA1

Das Programmpaket PVA1 basiert ebenfalls auf dem deterministischen Suchalgorithmus von JACOB und nutzt prinzipiell die gleichen analytischen Ansätze wie PSUX.

PVA1 wurde in der systemorientierten Sprache für das KRS 4200 erstellt.

PVA1 realisiert folgende geohydraulischen Berechnungsschemen:

Nr.	Berechnungsschema	identifizierbare Größen
1	unendlich ohne Speisung	T, S
2	unendlich mit Speisung	T, S, B
3	einseitig 1. Art ohne Speisung	T, S, λ^*
4	" 1. Art mit " Speisung	T, S, B, λ^*
5	einseitig 2. Art ohne Speisung	T, S, λ^*
6	" 2. Art mit " Speisung	T, S, B, λ^*
7	zweiseitig parallel ohne Speisung	T, S, λ^*
8	" mit Speisung	T, S, B, λ^*
9	zweiseitig parallel ohne Speisung	T, S, λ^*
10	zweiseitig parallel mit Speisung	T, S, B, λ^*
11	zweiseitig parallel ohne Speisung	T, S, λ^*
12	zweiseitig parallel mit Speisung	T, S, B, λ^*
13	zweiseitig parallel ohne Speisung	T, S, λ^*
14	zweiseitig parallel mit Speisung	T, S, B, λ^*

- | | | | |
|----|--|--|-------------|
| 15 | | dreiseitig rechtwinklig
ohne Speisung | T, S, λ* |
| 16 | | "
mit Speisung | T, S, B, λ* |
| 17 | | dreiseitig rechtwinklig
ohne Speisung | T, S, λ* |
| 18 | | "
mit Speisung | T, S, B, λ* |
| 19 | | dreiseitig rechtwinklig
ohne Speisung | T, S, λ* |
| 20 | | "
mit Speisung | T, S, B, λ* |
| 21 | | dreiseitig rechtwinklig
ohne Speisung | T, S, λ* |
| 22 | | "
mit Speisung | T, S, B, λ* |
| 23 | | dreiseitig rechtwinklig
ohne Speisung | T, S, λ* |
| 24 | | "
mit Speisung | T, S, B, λ* |
| 25 | | dreiseitig rechtwinklig
ohne Speisung | T, S, λ* |
| 26 | | "
mit Speisung | T, S, B, λ* |
| 27 | | dreiseitig rechtwinklig
ohne Speisung | T, S, λ* |
| 28 | | "
mit Speisung | T, S, B, λ* |
| 29 | | dreiseitig rechtwinklig
ohne Speisung | T, S, λ* |
| 30 | | "
mit Speisung | T, S, B, λ* |
| 31 | | vierseitig rechtwinklig
ohne Speisung | T, S, λ* |
| 32 | | "
mit Speisung | T, S, B, λ* |
| 33 | | vierseitig rechtwinklig
ohne Speisung | T, S, λ* |
| 34 | | "
mit Speisung | T, S, B, λ* |
| 35 | | vierseitig rechtwinklig
ohne Speisung | T, S, λ* |
| 36 | | "
mit Speisung | T, S, B, λ* |

37		vierseitig rechtwinklig ohne Speisung	T, S, λ^*
38		" " mit Speisung	T, S, B, λ^*
39		vierseitig rechtwinklig ohne Speisung	T, S, λ^*
40		" " mit Speisung	T, S, B, λ^*
41		vierseitig rechtwinklig ohne Speisung	T, S, λ^*
42		" " mit Speisung	T, S, B, λ^*
43		zweiseitig recht- u. spitz- winklig ohne Speisung	T, S, λ^*
44		" " mit Speisung	T, S, B, λ^*
45		zweiseitig recht- u. spitz- winklig ohne Speisung	T, S, λ^* ,
46		" " mit Speisung	T, S, B, λ^*
47		zweiseitig recht- u. spitz- winklig ohne Speisung	T, S, λ^*
48		" " mit Speisung	T, S, B, λ^*
49		zweiseitig recht- u. spitz- winklig ohne Speisung	T, S, λ^*
50		" " mit Speisung	T, S, B, λ^*

Bemerkungen zu den Berechnungsschemen:

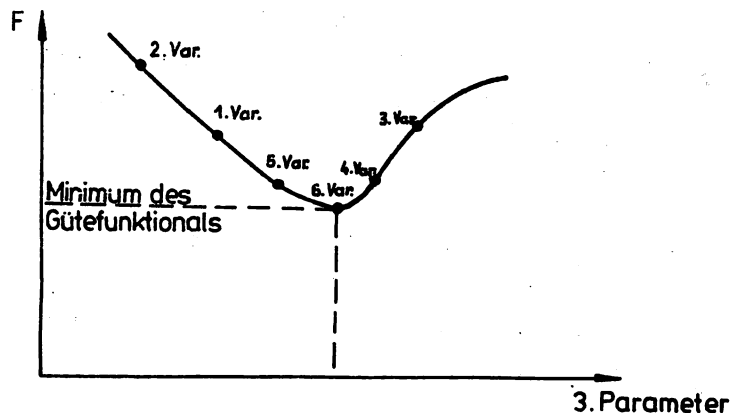
- Die Berechnungsfälle vierseitig mit/ohne Speisung sollten auf Grund des sehr hohen Rechenzeitbedarfes nur in Ausnahmefällen angewendet werden.
- Die Randbedingungskombinationen bei den Berechnungsfällen spitzwinklig gelten uneingeschränkt für die Winkel $\alpha = 45^\circ$, 30° , 15° , 10° . Für die Winkel $\alpha = 60^\circ$, 20° sind nur gleichartige Randbedingungen erlaubt (Nr. 45, 46, 47, 48)
- Das Programmpaket ermöglicht die Identifizierung von maximal drei Parametern.

Entscheidender Vorteil der PV-Auswertung mittels PVA 1 ist, daß im allgemeinen der gesamte Vorlauf des Pumpversuches in die Auswertung einbezogen werden kann, wobei die Anzahl der PV-Brunnen, die Anzahl der Spiegelmeßstellen und eine zeitabhängige Entnahme von untergeordneter Bedeutung ist.

Obwohl das Programmpaket die gleichzeitige Identifizierung von bis zu drei Größen gestattet, muß auf Grund der vorliegenden Erfahrungen von einer gleichzeitigen Identifikation von mehr als zwei Größen gewarnt werden. Müssen mehr als zwei Parameter identifiziert werden, so sollte der Prozeß der Parametersuche in einen inneren und äußeren Suchprozeß gegliedert werden.

Zur Zeit wird dabei folgendermaßen verfahren:

- Es werden mehrere Variantenrechnungen durchgeführt, bei denen 2 Parameter gleichzeitig gesucht werden. Der dritte Parameter wird vorgegeben und von Berechnungsvariante zu Berechnungsvariante so verändert, daß das Gütefunktional des äußeren Suchprozesses zum Minimum wird.
- Zur Festlegung der Berechnungsvarianten und zur Ermittlung des Gütefunktionals werden die Zwischenergebnisse grafisch aufgetragen.



Bei der Umsetzung des Programmpaketes PVA1 auf das Rechner-system K 1630 wird der äußere Suchprozeß ebenfalls in die EDV-mäßige Bearbeitung einbezogen.

**Berücksichtigung des Kapazitätseffektes bei der
PV-Auswertung mittels PVA1**

Zur Berücksichtigung des Kapazitätseffektes dient das Hilfsprogramm KAP 1.

KAP 1 realisiert folgende Aufgaben:

- Bestimmung des Zeitpunktes in der Absenkungen und Anstiegsphase ab dem der Kapazitätseffekt vernachlässigbar klein wird.
- Korrektur der Entnahmeganglinie bzw. Festlegung neuer Zeitintervalle mit den zugehörigen korrigierten Fördermengen zur Berücksichtigung des Kapazitätseffektes in der Absenkungsphase.
- Erstellung von Entnahmeganglinien zur Berücksichtigung des Kapazitätseffektes in der Anstiegsphase.

Die von KAP 1 erstellten Ausgangsdaten gehen direkt in PVA 1 ein.

Eine genaue Beschreibung der Problemlösung, der Eingabeinformationen und der Ergebnisse sind in den Problemdokumentationen:

EDV-Anwendung: "Pumpversuchsauswertung mittels automatischer Suchstrategie" und

EDV-Anwendung: "Bestimmung des Kapazitätseffektes und Ermittlung korrigierter Fördermengen zu Beginn der Absenkungs- und Anstiegsphase"

enthalten.

A5.4 Hinweise zum Praxiseinsatz der Identifikationsprogramme

Die digitale Auswertung von Pumpversuchsergebnissen hat folgende wesentlichen Vorteile:

- Es werden alle Informationen aus dem Pumpversuch genutzt;
- Eine subjektive Beeinflussung der Ausgleichsgeraden ist nicht möglich;
- Es entsteht nur ein Satz von repräsentativen geohydraulischen Parametern;
- Es sind beliebig angeordnete Brunnen mit unterschiedlichen Förderganglinien als Pumpversuch auswertbar, z. B. kleine Wasserfassungen.

Wie bei allen graphisch-analytischen Pumpversuchsauswertungsverfahren muß jedoch das geohydraulische Modell vor der Auswertung des Pumpversuches mittels Identifikationsprogramm weitestgehend bekannt sein. Der Verlauf der Absenkungs- bzw. Anstiegskurven, der in die Auswertung einbezogenen Meßstellen, muß für das gewählte Berechnungsschema typisch sein (dies ist vor Durchführung der Berechnungen durch Auftragen der betreffenden Kurven unbedingt zu kontrollieren).

Es ist nicht in jedem Fall möglich, aus dem Kurvenverlauf Rückschlüsse auf das geohydraulische Modell zu ziehen. So muß beispielsweise bei Übergang der Absenkungskurve in die Horizontale entschieden werden, ob es sich um eine Speisung aus benachbarten Schichten oder um eine Randbedingung $\varphi_2 = 0$ handelt. Für einen solchen Fall sind aus der Phase II des Pumpversuches sowohl ein sinnvoller λ^* -Wert als auch B-Wert identifizierbar.

**A 6. Grundwasserleiter, die durch zwei parallele
Berandungen vom Typ $\Delta q = 0$ und eine Berandung
vom Typ $f_2 = 0$ begrenzt werden**

Bearbeiter: Dipl.-Geophys. P.Szymczak

A 6.1. Geologische Beispiele für entsprechende GWL

- Strömungszone im Festgestein, die von einer zweiten einspeisenden Störungszone geschnitten wird.
- Lockergesteinsrinne im Festgestein, die von einem einspeisenden Oberflächengewässer begrenzt wird.

A 6.2. Theoretische Grundlagen zur Auswertung des stationären Endzustandes

Es wird vorausgesetzt, daß der Testbrunnen nahe der Strömungsfeldachse liegt (siehe Bild A 6/1)

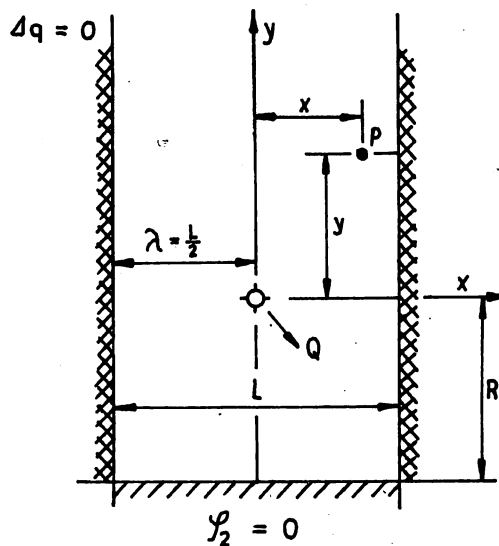


Bild A. 6/1

Nach WAPRO 1.42, Bl. 2, s. 11 gilt in diesem Falle:

- für die Berechnung der spezifischen Potentialdifferenz y_2 an beliebigen GWBR

$$f_2 = \ln \frac{\operatorname{ch} \frac{2\pi(y+2R)}{L} - \cos \frac{2\pi x}{L}}{\operatorname{ch} \frac{2\pi y}{L} - \cos \frac{2\pi x}{L}} \quad (1.42/23 \text{ a})$$

wobei $\operatorname{ch}(x) = \frac{e^x + e^{-x}}{2}$ ist.

- für die Berechnung der spezifischen Potentialdifferenz f_2 im Brunnen

$$f_2(r_0) = 2 \ln \frac{L \cdot \operatorname{sh} \frac{2\pi R}{L}}{\pi \cdot r_0} \quad (1.42/23 \text{ c})$$

wobei $\operatorname{sh}(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{2}$ ist.

- für den Spezialfall der Berechnung der spezifischen Potentialdifferenz f_2 am Brunnen unter der Bedingung $2R > L$

$$f_2(r_0) = 2 \left[2\pi \frac{R}{L} + \ln \frac{L}{2\pi r_0} \right] \quad (1.42/23 \text{ d})$$

Aus diesen drei geeigneten Gleichungen ist es möglich, Formeln zur T-Wert-Bestimmung herzuleiten. Die Tabelle A 6/1 beinhaltet diese Formeln für bestimmte geohydraulische Verhältnisse. Die Bedeutung der Formelzeichen ist aus Bild A 6/1 ersichtlich.

Tabelle A 6/1: T-Wert-Berechnung bei gespanntem Grundwasser

Meßpunkt	Brunnen- ausbau	Berechnungsformel für T
Brunnen für den gilt: $2 R > L$	voll- kommen	$T = \frac{Q}{2\pi s} \cdot \left[2\pi \frac{R}{L} + \ln \frac{L}{2\pi r_0} \right] \quad (A 6/1)$
beliebiges GWER	voll- kommen	$T = \frac{Q}{4\pi s} \cdot \ln \frac{\operatorname{ch} \frac{2\pi(y+2R)}{L} - \cos \frac{2\pi x}{L}}{\frac{2\pi y}{L} - \cos \frac{2\pi x}{L}} \quad (A 6/2)$
beliebiger Brunnen	voll- kommen	$T = \frac{Q}{2\pi s} \cdot \ln \frac{L \cdot \operatorname{sh} \frac{2\pi R}{L}}{\pi \cdot r_0} \quad (A 6/3)$
Brunnen für den gilt: $2 R > L$	unvoll- kommen	$T = \frac{Q}{4\pi s} \cdot \left[2 \left(2\pi \frac{R}{L} + \ln \frac{L}{2\pi r_0} \right) + \psi_1 \right] \quad (A 6/4)$ ψ_1 ist nach WAPRO 1.42, Abschnitt 3, Blatt 2 bestimmbar
GWER für welches gilt: $r > M$	unvoll- kommen	siehe beliebiges GWER bei vollkommenen Brunnen (A 6/5)
GWER für welches gilt: $r < M$	unvoll- kommen	$T = \frac{Q}{4\pi s} \cdot \left[4,6 \delta + \ln \frac{\operatorname{ch} \frac{2\pi(y+2R)}{L} \cos \frac{2\pi x}{L}}{\operatorname{ch} \frac{2\pi y}{L} - \cos \frac{2\pi x}{L}} \right] \quad (A 6/6)$ δ wird nach TGL 23 864/08, Tabelle 1 berechnet
beliebiger Brunnen	unvoll- kommen	$T = \frac{Q}{4\pi s} \cdot \left[\psi_1 + 2 \ln \frac{L \cdot \operatorname{sh} \frac{2\pi R}{L}}{\pi \cdot r_0} \right] \quad (A 6/7)$ ψ_1 ist nach WAPRO 1.42, Blatt 2, Abschnitt 3 bestimmbar

Bei freiem Grundwasser wird anstelle der Absenkung s die reduzierte Absenkung

$$s_r = s \left(1 - \frac{s}{2H} \right) \quad (4/17)$$

in die T-Wert-Gleichungen eingesetzt.

A 6.3. Auswertung der instationären Phasen

Theoretisch weisen die Absenkungs- und Wiederanstiegs-ganglinien für den vorliegenden RB-Typ 4 Phasen auf.

1. nichtlogarithmische Anfangsphase für $t \leq 3,8 ar^2$
2. durch Randbedingungen unbeeinflusste Phase für $t \geq 3,8 ar^2$
3. durch Randbedingungen beeinflusste Phase
4. durch Wirkung der Randbedingung vom Typ $\varphi_2 = 0$ erreichte stationäre Endphase
(nur bei der Absenkung auswertbar)

Bild A 6/2 zeigt einen solchen Absenkungsverlauf bei Ausbildung aller vier Phasen. Nicht immer sind alle diese Phasen voll ausgebildet. Oft kommt es zu komplizierten Überlagerungen, so daß lediglich die Phase 4 auswertbar ist. Es sollte deshalb stets mit der T-Wert-Berechnung aus Phase 4 begonnen werden.

Sind die Phasen 1 oder 2 aus der graphischen Darstellung der Absenkungs- oder Wiederanstiegsfunktion erkennbar, so sind diese nach TGL 23 864/04 bzw. 05 oder 07 auszuwerten. Die Auswertung der Phase 3 ist nicht zu empfehlen.

Stimmen die Ergebnisse der einzelnen Phasen nicht überein, so ist stets der T-Wert der Phase 4 am zuverlässigsten, da hier die Überlagerungseffekte ausgeschlossen werden können. Wird nur am Testbrunnen gemessen, ist auch die Phase 4 fehlerbehaftet falls ein Skineffekt auftritt.

Bild A6/2
 Theoretische Absenkungsfunktion für Randbedingungstyp 11 bei
 Ausbildung aller vier Phasen

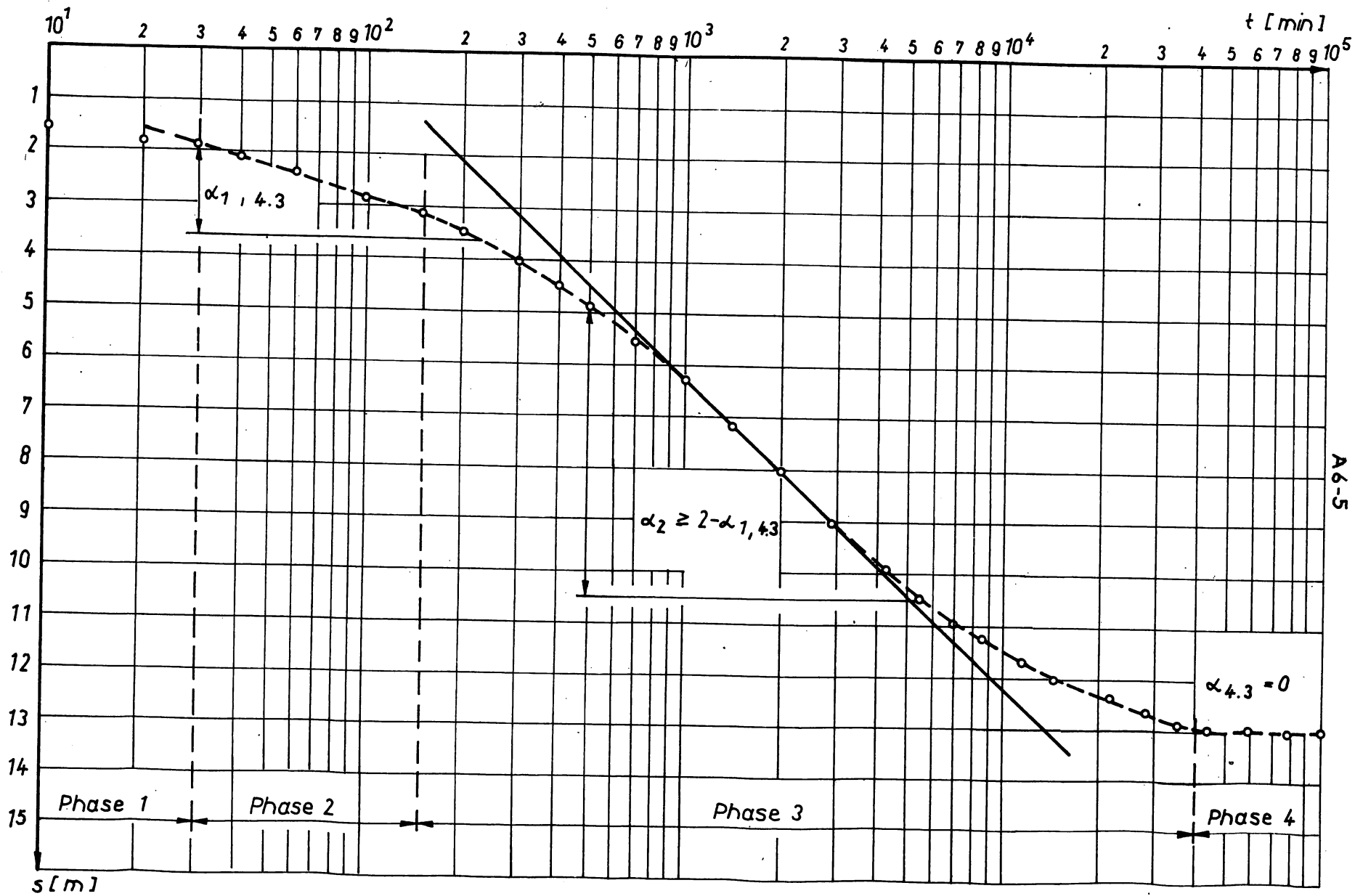
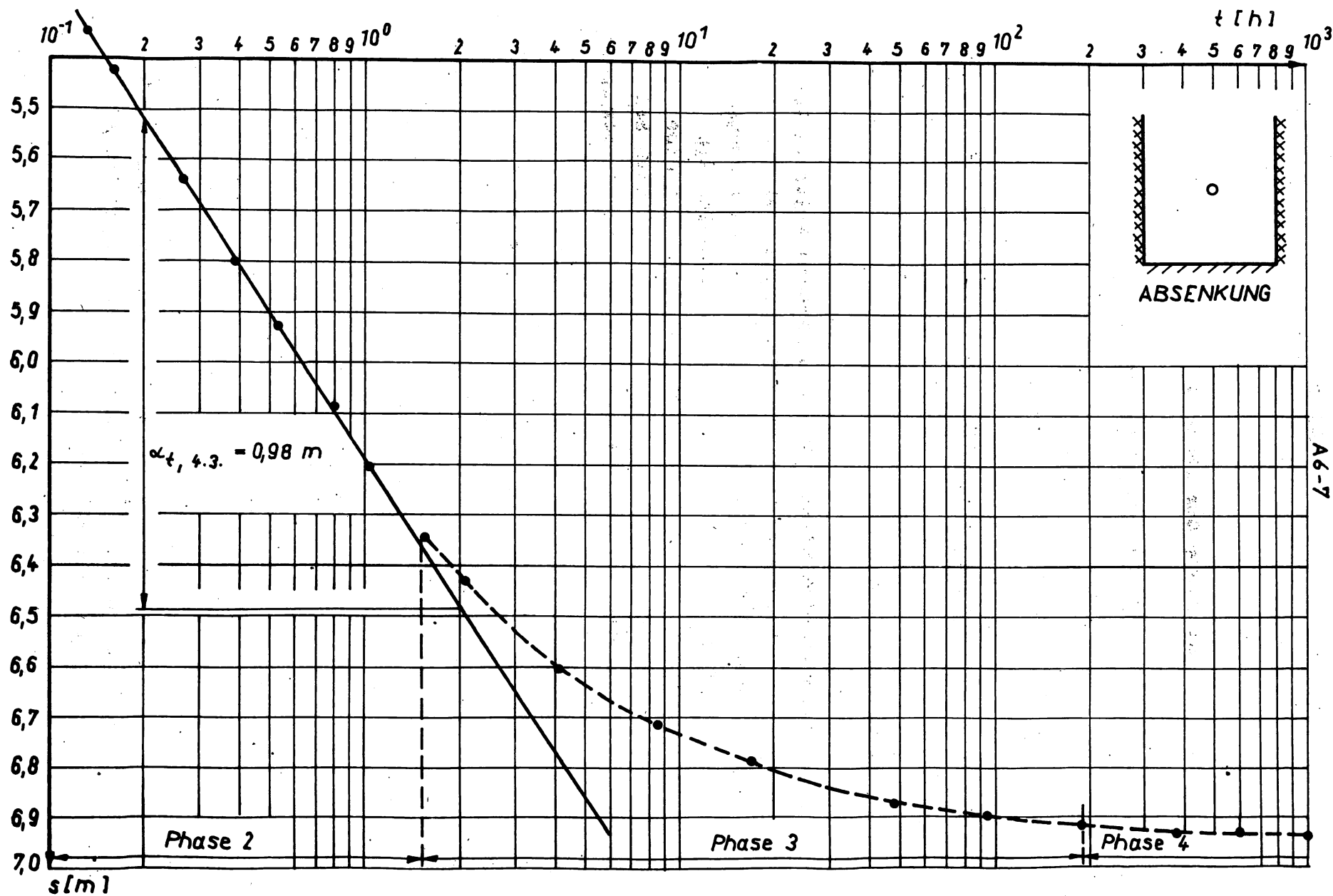


Bild A6/4
 Absenkungsganglinie für einen vollkommenen Brunnen bei Versuchs-
 bedingungen gemäß Abschnitt A 6.4.1



A 6.4.1.1. Auswertung der Phase 4

Nach Tabelle A 6/1 Gleichung (A 6/3) folgt:

$$T = \frac{Q}{2\pi s} \cdot \ln \frac{L \cdot sh \frac{2\pi R}{L}}{q \cdot r_0}$$

$$T = \frac{0,03}{6,28 \cdot 6,93} \cdot \ln \frac{1000 \cdot sh \frac{6,28 \cdot 240}{1000}}{3,14 \cdot 0,23}$$

$$T = 5,44 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

=====

Da der Brunnen sich nicht auf der Strömungsfeldachse befindet, ist der ermittelte T-Wert fehlerbehaftet.

Überprüfungen mittels digitaler Simulation von Pumpversuchen zeigten, daß für das vorliegende Beispiel ein relativer Fehler von rund 1 % auftritt. Somit ist eine T-Berechnung nach dem hier gezeigten Verfahren auch bei Brunnenstandorten zwischen Strömungsfeldachse und -berandung sinnvoll.

A 6.4.1.2. Auswertung der instationären Phasen

Aus Bild A 6/4 ist eine lineare Phase der Absenkungsfunktion zu erkennen. Es wird angenommen, daß es sich um Phase 2 handelt (siehe Abschnitt A 6.3.).

Nach TGL 23 864, Bl. 4, Pkt. 1.1 erhält man:

$$T = \frac{0,183 \cdot Q}{\alpha} = \frac{0,183 \cdot 0,03}{0,98} = \underline{\underline{5,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}}} \quad [4/5]$$

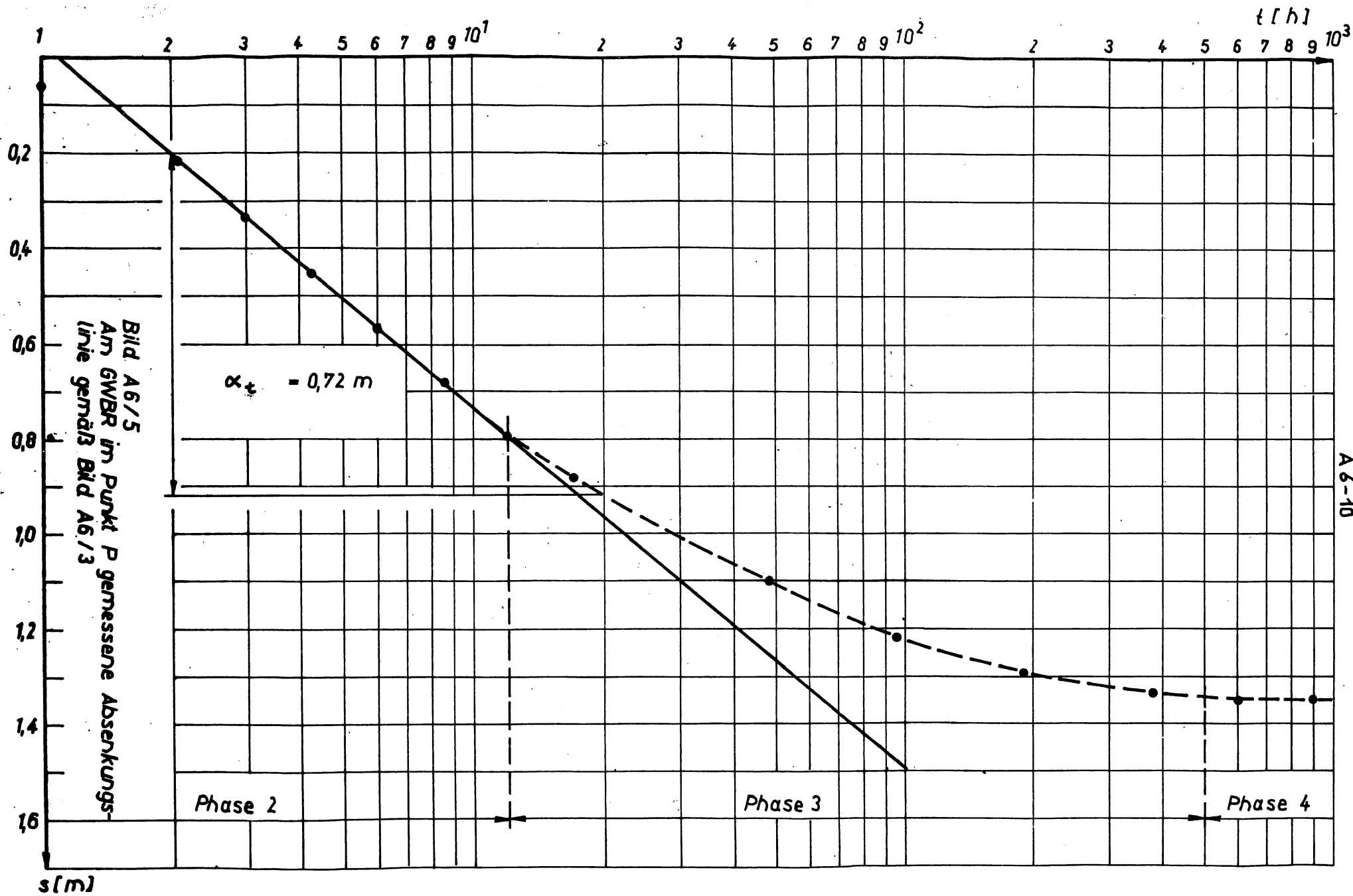
Die Berechnung führt zu einem Ergebnis, das nur äußerst gering vom T-Wert aus der Phase 4 abweicht. Das bedeutet, daß die Annahme, die lineare Phase im Bild A 6/4 entspricht der Phase 2, richtig ist. Die geringen Unterschiede beider T-Werte beruhen auf der nicht mit der Strömungsfeldachse zusammenfallenden Brunnenlage.

A 6.4.2. Beispiel für Messung am GWBR, wobei $r > M$
eingehalten wird

Die Lage des GWBR entspricht dem im Bild A 6/3 mit P bezeichneten Punkt. Folgende Größen sind bekannt bzw. werden gemessen:

R = 240	m	Q = 0,03 m ³ /s
L = 1000	m	gespanntes Grundwasser
s = 1,35	m	Brunnen und GWBR befinden sich in einem das Festgestein durchziehenden Lineament
y = 510	m	Der Brunnenausbau ist uninteressant, da $r > M$ gilt.
x = 130	m	
r = 526	m	

Die im GWBR gemessene Absenkungsganglinie zeigt Bild A 6/5.



A 6.4.2.1. Auswertung der Phase 4

Nach Tabelle A 6/1 Gleichung 2 gilt:

$$T = \frac{Q}{4\pi s} \cdot \ln \frac{\operatorname{ch} \frac{2\pi(y+2R)}{L} - \cos \frac{2\pi x}{L}}{\operatorname{ch} \frac{2\pi y}{L} - \cos \frac{2\pi x}{L}}$$

$$T = \frac{0,03}{4 \cdot 3,14 \cdot 1,25} \cdot \ln \frac{\operatorname{ch} \frac{6,28(510+480)}{1000} - \cos \frac{6,28 \cdot 130}{1000}}{\operatorname{ch} \frac{6,28 \cdot 510}{1000} - \cos \frac{6,28 \cdot 130}{1000}}$$

Tabelle A 6/2 beinhaltet die Zwischenergebnisse.

Tabelle A 6,2:

Hilfsgröße	Wert
$A = \frac{2\pi \cdot (y + 2R)}{L}$	6,217
$B = \frac{2\pi x}{L}$	0,816 $\approx 46,7^\circ$
$C = \frac{2\pi y}{L}$	3,203
$\operatorname{ch} A = \frac{e^A + e^{-A}}{2} = D$	246,4
$\cos B = E$	0,6862
$\operatorname{ch} C = \frac{e^C + e^{-C}}{2} = F$	12,285
$f_2 = \ln \frac{D - E}{F - E}$	3,055
$T = \frac{Q}{4\pi s} \cdot f_2$	0,0054

Ergebnis:

$$T = 5,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

=====

A 6.4.2.2. Auswertung der instationären Phasen

Im Bild A 6/5 erkennt man eine lineare Phase der Absenkungsganglinie mit $\alpha_t = 0,72$ m. Es wird angenommen, daß es sich um Phase 2 handelt (s. Abschnitt A6.3).

Nach TGL 23 864, Bl. 4, Punkt 1.1. ergibt sich:

$$T = \frac{0,183 \cdot Q}{\alpha_t} - \frac{0,183 \cdot 0,03}{0,72} = \underline{\underline{7,625 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}}} \quad [4/5]$$

Ein Vergleich mit der Auswertung der Phase 4 zeigt, daß die Ergebnisse voneinander abweichen. Der aus der instationären Phase nach TGL 23 864, Bl. 4 Gleichung 5 ermittelte T-Wert muß abgelehnt werden.

Unter der Annahme, daß die instationäre Phase im Bild A 6/5 der Phase 1 nach Abschnitt A6.3. entspricht, läßt sich eine Parameterbestimmung mittels typischer Kurve gemäß TGL 23 864/04 Abschnitt 2.1. durchführen (s. Bild A 6/6).

$$\text{matchpoint 1: } T = \frac{Q}{4\pi} \cdot \frac{y_0}{s_{ro}} = \frac{0,03}{4 \cdot 3,14} \cdot \frac{0,23}{0,1} \quad [4/21]$$

$$\underline{\underline{T = 5,49 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}}}$$

Die Übereinstimmung mit der Auswertung der Phase 4 bestätigt das Ergebnis. Da T exakt ist, kann anhand der typischen Kurve auch S ermittelt werden.

$$S = \frac{4 \cdot T \cdot t_0}{r^2 \cdot x_0} = \frac{4 \cdot 5,49 \cdot 10^{-3} \cdot 1,25 \cdot 3,6 \cdot 10^3}{526^2 \cdot 1,0} \quad [4/23]$$

$$\underline{\underline{S = 3,57 \cdot 10^{-4}}}$$

matchpoint 2:

$$T = \frac{Q}{4\pi} \cdot \frac{y_0}{s_{ro}} = \frac{0,03}{4 \cdot 3,14} \cdot \frac{1,4}{0,6} = \underline{\underline{3,57 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}}} \quad [4/21]$$

Die Übereinstimmung mit dem Ergebnis aus Phase 4 ist gut. S kann bestimmt werden.

$$S = \frac{4 \cdot T \cdot t_0}{r^2 \cdot x_0} = \frac{4 \cdot 5,57 \cdot 10^{-3} \cdot 7 \cdot 3,6 \cdot 10^{-3}}{626^2 \cdot 5,5} \quad [4/23]$$

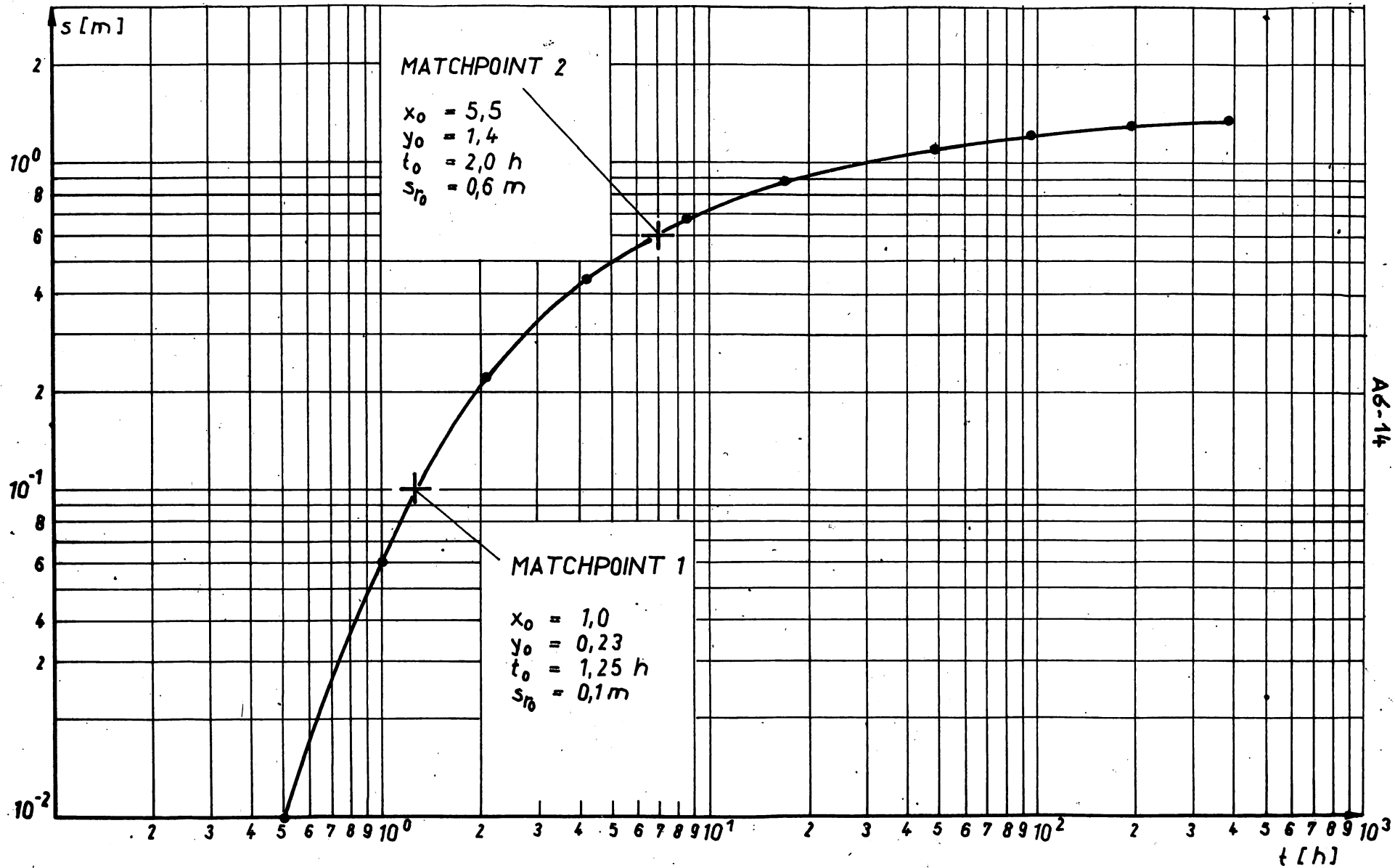
$$\underline{\underline{S = 2,6 \cdot 10^{-4}}}$$

Den geringen Abweichungen beider T-Bestimmungen stehen etwas größere Fehler bei der S-Berechnung gegenüber.

$$2,6 \cdot 10^{-4} < s < 3,57 \cdot 10^{-4}$$

Es kann dennoch ein Bereich bestimmt werden, in dem mit hoher Wahrscheinlichkeit der repräsentative Speicherkoeffizient liegt.

Bild A6/6
 Bestimmung des T-Wertes am GWBR aus den instationären Phasen
 mit Hilfe der typischen Kurve bei Versuchsbedingungen gemäß Bild A6/3



A 6.5. Durch Randbedingungen $\Delta q = 0$ zweiseitig parallel begrenzte Grundwasserleiter

A 6.5.1. Geologische Beispiele

- der Grundwasserleiter entspricht einer Störungszone im Festgestein
- der Grundwasserleiter entspricht einer Lockergesteinsrinne im Festgestein (Randpleistozän)

A 6.5.2. Auswertung von Phasen, die nicht durch beide Randbedingungen beeinflußt werden

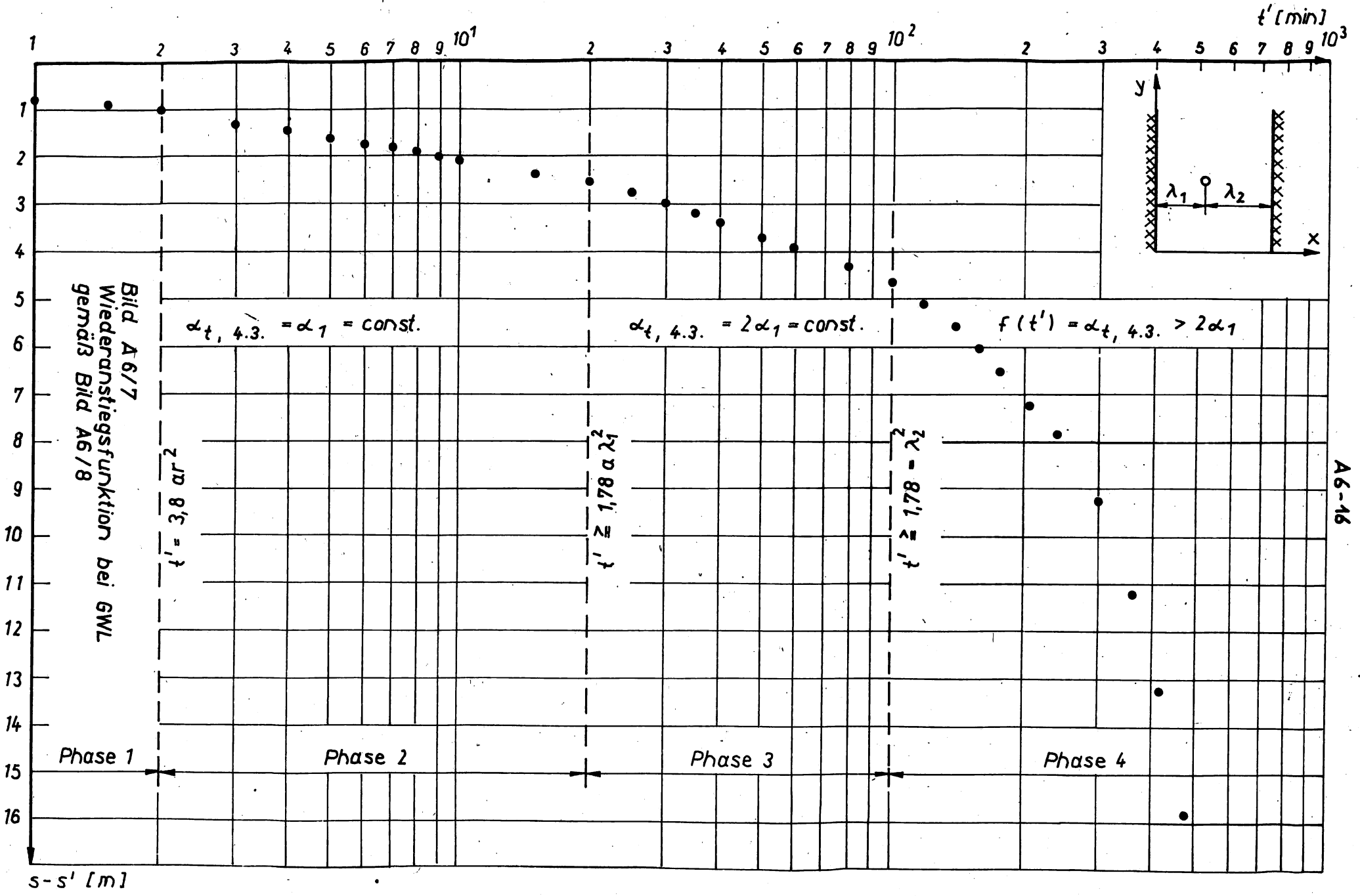
Für die oben genannte Randbedingungskombination treten Absenkungs- bzw. Wiederanstiegsganglinien auf, die in vier Phasen unterteilt werden können.

Bild A 6/7 zeigt ein solches Beispiel für den Wiederanstieg. Die Phasen können wie folgt definiert werden.

- Phase 1: nichtlogarithmische Anfangsphase für $t > 3,8 ar^2$
- Phase 2: durch Randbedingungen unbeeinflusste Phase
- Phase 3: durch eine Randbedingung beeinflusste Phase
- Phase 4: durch beide Randbedingungen beeinflusste Phase

Sind die Phasen 1 oder 2 sicher erkennbar, so führt die Auswertung dieser zu den exaktesten Ergebnissen. Oft kommt es zu komplizierten Überlagerungen, d.h. mehrere Phasen können zeitlich zusammenfallen. Unter diesen Bedingungen bringt die Auswertung der Phase 4 die genauesten Werte. Phase 4 erkennt man am nichtlinearen Kurvenverlauf bei halblogarithmischer Darstellung. Mit den ermittelten geohydraulischen Parametern ist stets die Gültigkeit des Auswerteverfahrens zu prüfen.

Tabelle A 6/3 gibt die dafür notwendigen Näherungsformeln an. Diese Tabelle enthält weiterhin Hinweise für die auf die einzelnen Phase anwendbaren Auswerteverfahren.



A6-16

Tabelle A 6/3:

Phase	Gültigkeitskriterium	Auswerteverfahren
1	$t \leq 3,8 ar^2$ bzw. $t' \leq 3,8 ar^2$	TGL 23 864/04 Abschnitt 2.1.
2	$3,8 ar^2 \leq t < 1,78 a\lambda_1^2$ bzw. $3,8 ar^2 \leq t' < 1,78 a\lambda_1^2$	TGL 23 864/04 Abschnitt 1.1. bzw. TGL 23 864/05 Abschnitt 1.3.
3	$3,8 a \cdot (2\lambda_1)^2 \leq t \leq 1,78 a\lambda_2^2$ bzw. $3,8 a \cdot (2\lambda_1)^2 \leq t' \leq 1,78 a\lambda_2^2$	TGL 23 864/07 Abschnitt 1.2.
4	$t \geq 1,78 a\lambda_2^2$ bzw. $t' \geq 1,78 a\lambda_2^2$	siehe Abschnitt A 6.5.3 Typenkatalog

Die Bedeutung der Symbole geht aus Bild A 6/8 hervor.

A 6.5.3. Auswertung der durch beide Randbedingungen beeinflussten Phasen

Sind die geohydraulischen Parameter so dimensioniert, daß die Phasen 1 bis 3 nach Tabelle A 6/3 nicht nachweisbar sind, kann keine Auswertung nach den in dieser Tabelle, Zeile 1 ... 3 angegebenen Verfahren angewandt werden. Ein solches Beispiel zeigt Bild A 6/9. Mittels spezieller typischer Kurven sind jedoch auch in diesem Falle T und S-Werte bestimmbar.

A 6.5.3.1. Theoretische Grundlagen

Absenkungsgleichung

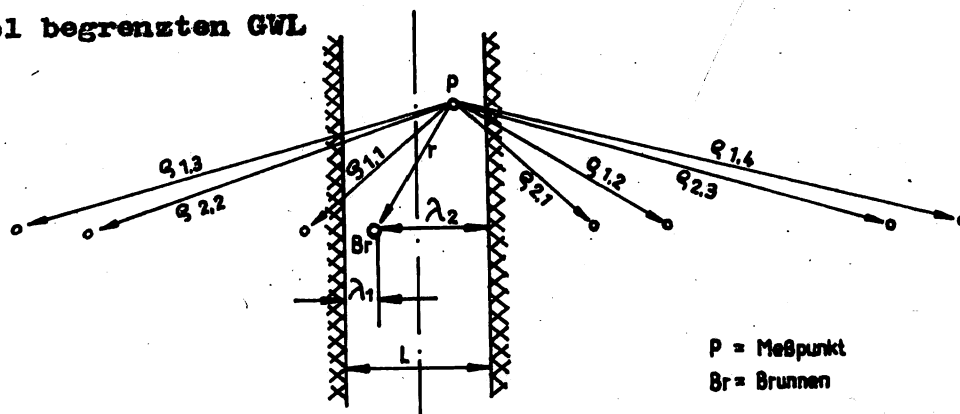
$$s = \frac{Q}{4\pi T} \cdot \varphi(r, t)$$

$$\varphi(r, t) = W\left(\frac{4t}{r^2 a}\right) + W\left(\frac{4t}{\rho_{1.1}^2 \cdot a}\right) + W\left(\frac{4t}{\rho_{2.1}^2 \cdot a}\right) + W\left(\frac{4t}{\rho_{1.2}^2 \cdot a}\right) \dots \quad (\text{A 6/8})$$

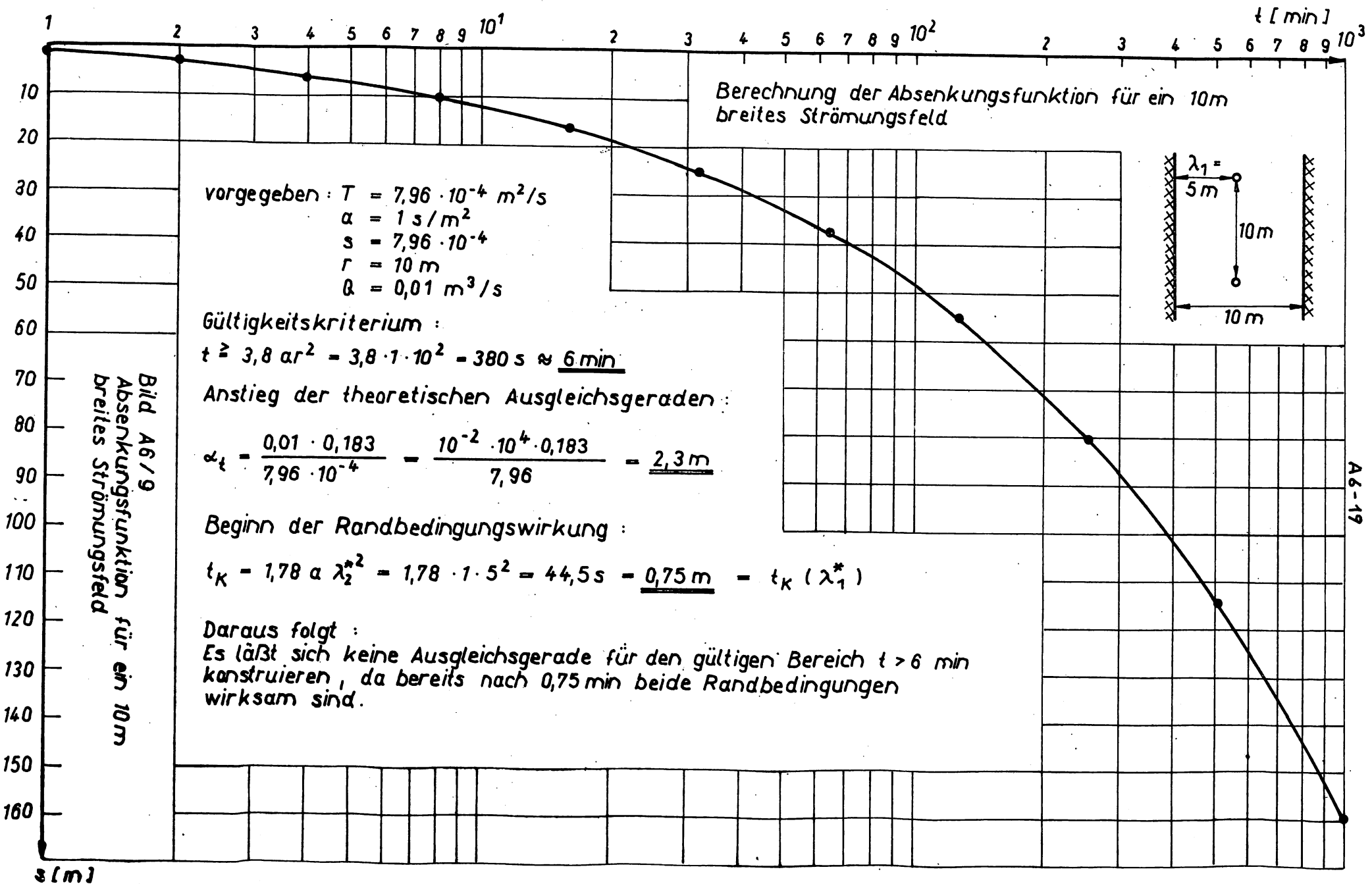
Bild A 6/8 verdeutlicht die Herleitung dieser Gleichung mit Hilfe der Spiegelungsmethode.

Bild A 6/8

Fiktive Brunnen bei der Modellierung von PV im zweiseitig parallel begrenzten GWL



Theoretisch existieren unendlich viele fiktive Spiegelungsbrunnen. Für praktische Berechnungen kann in Abhängigkeit von der Förderzeit t das Spiegelungsverfahren bei einer endlichen Anzahl von Spiegelungsbrunnen abgebrochen werden.



Berechnung der Absenkungsfunktion für ein 10m breites Strömungsfeld

vorgegeben : $T = 7,96 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$
 $\alpha = 1 \text{ s/m}^2$
 $s = 7,96 \cdot 10^{-4}$
 $r = 10 \text{ m}$
 $Q = 0,01 \text{ m}^3/\text{s}$

Gültigkeitskriterium :
 $t \geq 3,8 \alpha r^2 = 3,8 \cdot 1 \cdot 10^2 = 380 \text{ s} \approx \underline{6 \text{ min}}$

Anstieg der theoretischen Ausgleichsgeraden :

$$\alpha_t = \frac{0,01 \cdot 0,183}{7,96 \cdot 10^{-4}} = \frac{10^{-2} \cdot 10^4 \cdot 0,183}{7,96} = \underline{2,3 \text{ m}}$$

Beginn der Randbedingungswirkung :

$$t_K = 1,78 \alpha \lambda_2^{*2} = 1,78 \cdot 1 \cdot 5^2 = 44,5 \text{ s} = \underline{0,75 \text{ min}} = t_K(\lambda_1^*)$$

Daraus folgt :
 Es läßt sich keine Ausgleichsgerade für den gültigen Bereich $t > 6 \text{ min}$ konstruieren, da bereits nach 0,75 min beide Randbedingungen wirksam sind.

Bild A6/9
Absenkungsfunktion für ein 10m breites Strömungsfeld

A6-19

Die Größen $\varphi_{1, j}$ sind keine unabhängigen Parameter. Die hängen von $\varphi_{1.1}$ und $\varphi_{4.1}$ bzw. λ_1 und λ_2 ab. Die freien Parameter sind somit λ_1 und λ_2 . Durch die Vorgabe von r, λ_1 und λ_2 ist die Lage des Meßpunktes P eindeutig bestimmt. Es können folgende Parameter definiert werden:

$$P_1 = \frac{\varphi_{1.1}}{r} \quad \text{und} \quad P_2 = \frac{\varphi_{2.1}}{r}$$

$$\text{bzw.} \quad P_1' = \frac{\lambda_1}{r} \quad \text{und} \quad P_2' = \frac{\lambda_2}{r}$$

Somit kann für jede Parameterkombination ($P_1'; P_2'$) eine typische Kurve berechnet werden, wie es in der Themenstudie zur TGL 23 864 für den rechtwinklig begrenzten GWL gezeigt wird.

Auswertetests mittels rechenstechnisch simulierter Pumpversuche demonstrierten, daß die Lage des Brunnens zur Mittellinie des Strömungsfeldes eine geringe Rolle spielt. Das heißt, mit einer typischen Kurve für die zentrale Lage des Brunnens ($\lambda_1 = \lambda_2$) sind S und T für einen PV an einen randlich gelegenen Brunnen ($\lambda_1 \gg \lambda_2$) mit genügender Genauigkeit bestimmbar. Damit bleibt nur noch ein freier Parameter, nämlich $L/r = P'$. Es genügt also eine Schar typischer Kurven mit P' als Parameter zu berechnen.

Bild A 6/10 zeigt eine solche Schar typischer Kurven.

Auf der Ordinate ist die spezifische Potentialdifferenz $y = \varphi(x, \frac{L}{r})$, auf der Abszisse $X = \frac{4T}{r^2 s} t$ aufgetragen.

A 6.5.3.2. Durchführung der Parameterberechnung

- doppeltlogarithmische Auftragung der gemessenen Absenkung s (bhw. s_r bei freier Strömung) über die Zeit t .
- Festlegung der wirksamen Strömungsfeldbreite L aus geologischen Daten
- Auswahl der typischen Kurve $f(x)$ aus der Kurvenschar für das vorliegende L/r -Verhältnis aus Bild A 6/10
- Bestimmung der Parameter S und T gemäß TGL 23 864/04, Abschnitt 2.1. mittels der typischen Kurve, wobei $y = f(x, L/r)$ ist.

Ist die Strömungsfeldbreite L nicht genau bekannt oder gibt es für den vorliegenden Parameter P' keine dargestellte typische Kurve, so werden zwei L -Werte, nämlich L_{\max} und L_{\min} gesucht, zwischen denen L liegt. L_{\max} und L_{\min} werden so gewählt, daß sich

$$P'_{\max} = \frac{L_{\max}}{r}$$

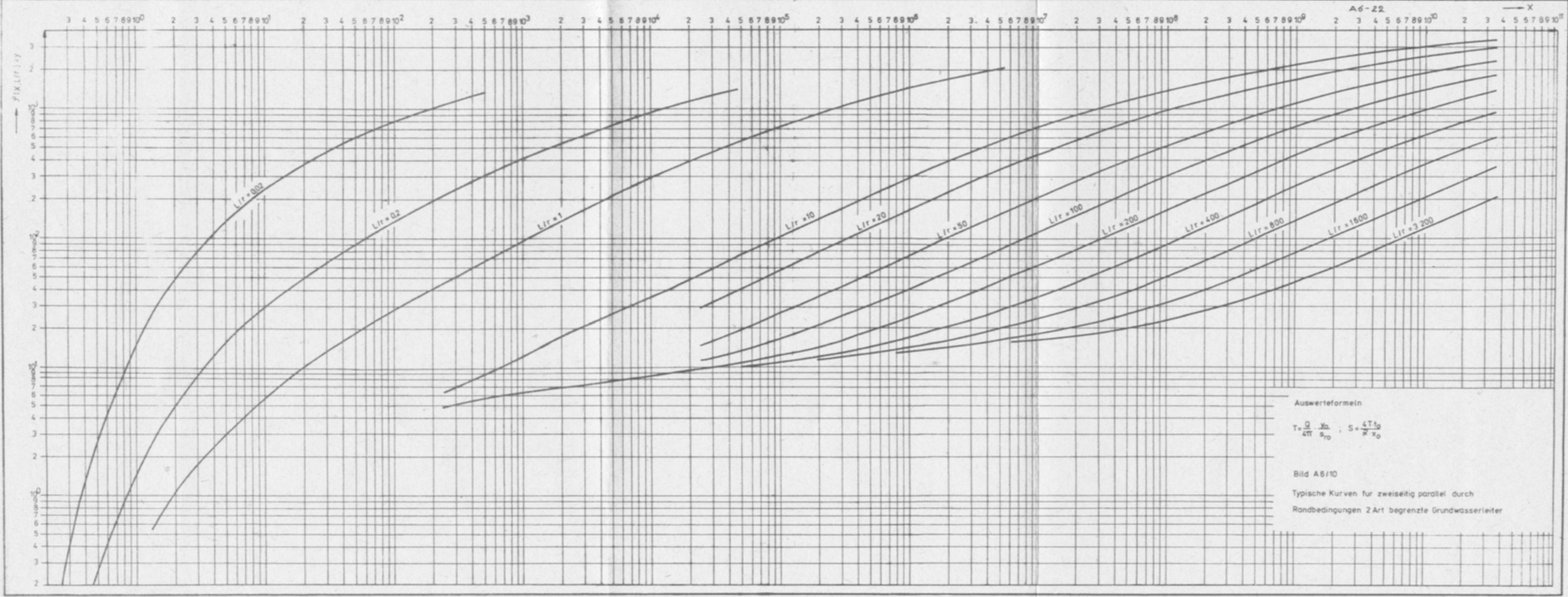
und

$$P'_{\min} = \frac{L_{\min}}{r}$$

so ergeben, daß auf die im Bild A 6/10 enthaltenen typischen Kurven zurückgegriffen werden kann.

Anschließend werden für L_{\max} und L_{\min} T und S bestimmt. Damit erhält man Bereiche für T und S , die die repräsentativen Werte einschließen.

Soll der Wiederanstieg ausgewertet werden, wird die Funktion $s - s' = f(t')$ anstelle der Absenkungsfunktion zur Parameterbestimmung benutzt.



Auswertformeln

$$T = \frac{Q}{4\pi M} \cdot \frac{h_0}{s} ; S = \frac{4T \cdot t}{M^2 \cdot X_0}$$

Bild A6/10

Typische Kurven für zweiseitig parallel durch
Randbedingungen 2 Art begrenzte Grundwasserleiter

A 6.5.3.3. Praktisches Beispiel - Absenkung bei bekannter Strömungsfeldbreite

gegeben: Absenkung am GWBR

$$r = 10 \text{ m}$$

$$L = 10 \text{ m}$$

$$\frac{L}{r} = P' = 1$$

$$Q = 0,01 \text{ m}^3/\text{s}$$

gesucht: T und S

Das Bild A 6/11 zeigt die Darstellung der Absenkungsfunktion. Die Strömungsfeldbreite $L = 10 \text{ m}$ sei bekannt. (Störungszone als GWL). Durch achsenparalleles Verschieben wird die Absenkungsfunktion mit der typischen Kurve $\varphi(x)$ für $\frac{L}{r} = 1$ zur Deckung gebracht. Es ergeben sich nach Bild A 6/11 folgende Wertepaare:

$$\begin{array}{ll} s_{ro} = 10 \text{ m} & t_o = 8 \text{ min} \\ y_o = 10 \text{ m} & x_o = 19 \end{array}$$

Daraus folgt:

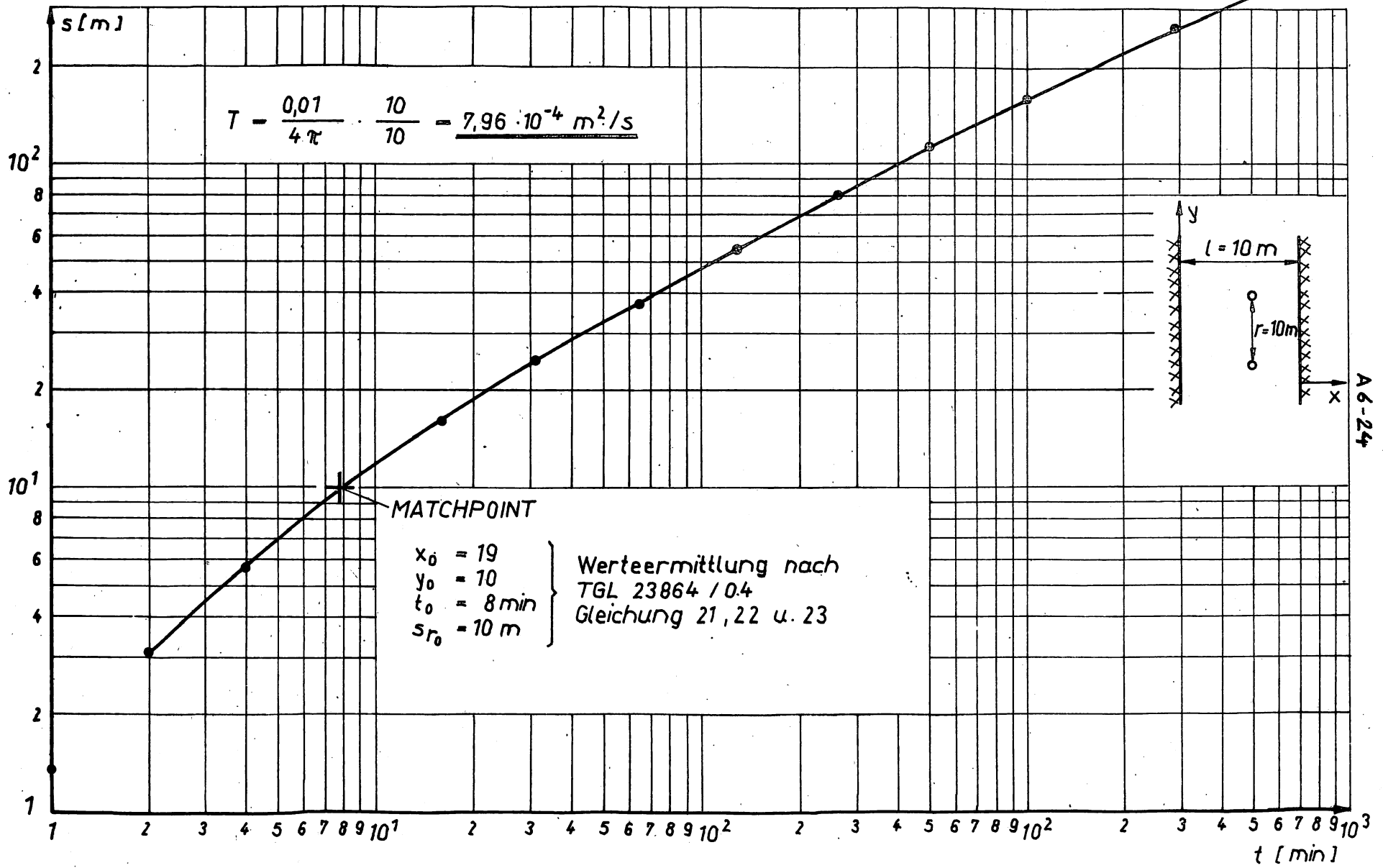
$$T = \frac{Q}{4\pi} \cdot \frac{y_o}{s_{ro}} = \frac{0,01 \cdot 10}{4 \cdot 3,14 \cdot 10} = \underline{\underline{7,96 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}}} \quad [4/2]$$

$$S = \frac{4T}{r^2} \cdot \frac{t_o}{x_o} = \frac{4 \cdot 7,96 \cdot 10^{-4}}{10^2} \cdot \frac{8 \cdot 60}{19} = \underline{\underline{8 \cdot 10^{-4}}} \quad [4/23]$$

Die geohydraulische Zeitkonstante ergibt sich aus

$$a = \frac{S}{T} = \frac{8 \cdot 10^{-4}}{7,96 \cdot 10^{-4}} \approx \underline{\underline{1 \text{ s/m}^2}}$$

Bild A6/11
 Absenkungsfunktion für das unter A6.5.5.3 dargestellte Beispiel



A 6.5.3.4. Praktisches Beispiel

Wiederanstieg an einem vollkommenen Brunnen
bei unbekannter Strömungsfeldbreite

gegeben sind:

vollkommener Brunnen mit $r_0 = 0,1 \text{ m}$ (Brunnen ist nicht
 $Q = 0,01 \text{ m}^3/\text{s}$ ausgebaut)

Skin- und Kapazitätseffekt sind vernachlässigbar klein
geschätzte Strömungsfeldbreite:

$$10 \text{ m} < L < 40 \text{ m}$$

gesucht: T und S

Bild A 6/12 zeigt die doppellogarithmische Darstellung der Wiederanstiegfunktion. Die Strömungsfeldbreite wird abgeschätzt. Aus der minimal- und maximalmöglichen Breite werden P'_{\max} und P'_{\min} berechnet.

$$P'_{\min} = \frac{L_{\min}}{r} = \frac{10}{0,1} = 100$$

$$P'_{\max} = \frac{L_{\max}}{r} = \frac{40}{0,1} = 400$$

Die beiden dafür gültigen typischen Kurven werden aus Bild A 6/10 entnommen. Durch achsenparalleles Verschieben bringt man die Meßkurve $\lg(s-s') = f(\lg t')$ zur Deckung mit den typischen Kurven für $\frac{L}{r} = 100$ und $\frac{L}{r} = 400$.

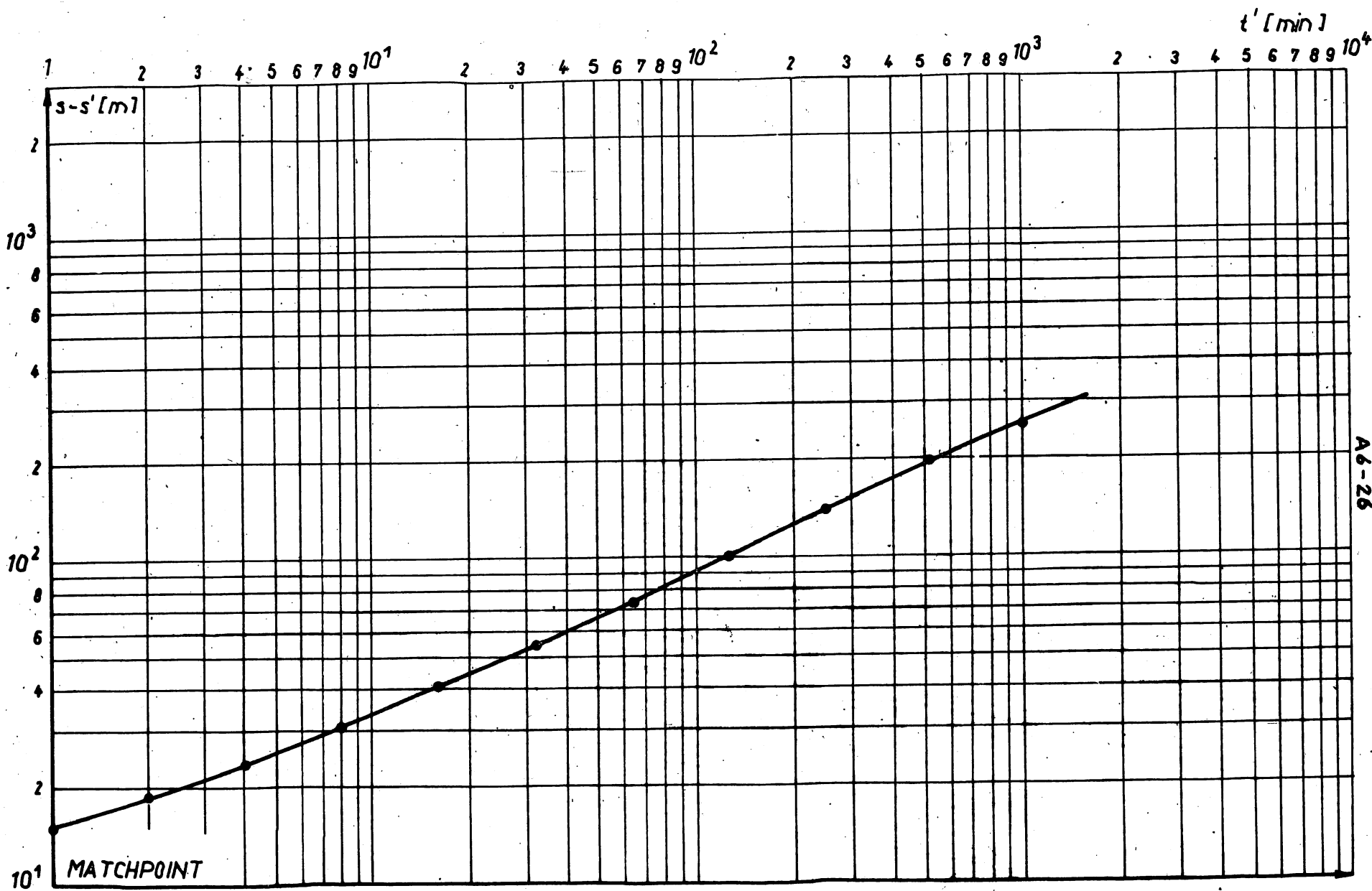
Man erhält folgende vier Wertepaare:

$$\text{für } \frac{L}{r} = 100: \quad \begin{array}{ll} s_{r0} = 10 \text{ m} & t_0 = 1 \text{ min} \\ y_0 = 9 & x_0 = 4,7 \cdot 10^{+4} \end{array}$$

und für

$$\frac{L}{r} = 400: \quad \begin{array}{ll} s_{r0} = 10 \text{ m} & t_0 = 1 \text{ min} \\ y_0 = 16 & x_0 = 1,1 \cdot 10^7 \end{array}$$

Bild A6/12
Wiederanstieg des Beispiels im Abschnitt 6.5.3.4



Daraus ergeben sich für $\frac{L}{r} = 100$:

$$T = \frac{Q y_0}{4 \pi s_{ro}} = \frac{0,01 \cdot 9}{4 \cdot 3,14 \cdot 10} = \underline{\underline{7,17 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}}} \quad [4/21]$$

$$S = \frac{4 T t_0}{r^2 x_0} = \frac{4 \cdot 7,17 \cdot 10^{-4} \cdot 60}{0,1^2 \cdot 4,7 \cdot 10^{+4}} = \underline{\underline{3,66 \cdot 10^{-4}}} \quad [4/23]$$

für $\frac{L}{r} = 400$ erhält man:

$$T = \frac{Q y_0}{4 \pi s_{ro}} = \frac{0,01 \cdot 16}{4 \cdot 3,14 \cdot 10} = \underline{\underline{1,27 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}}} \quad [4/21]$$

$$S = \frac{4 T t_0}{r^2 x_0} = \frac{4 \cdot 1,27 \cdot 10^{-3} \cdot 60}{0,1^2 \cdot 1,1 \cdot 10^{-7}} = \underline{\underline{2,78 \cdot 10^{-6}}} \quad [4/23]$$

Das Ergebnis lautet demnach:

$$7,17 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s} \leq T \leq 1,27 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$2,78 \cdot 10^{-6} \leq S \leq 3,66 \cdot 10^{-4}$$

Der T-Wert kann relativ genau berechnet werden, während für S nur ein größerer Bereich angenommen werden kann. Die Anwendung von anderen Auswertemethoden (s. Tabelle A 6/3) ist unmöglich. Das ist aus der halblogarithmischen Auftragung des Wiederanstieges im Bild A 6/13 zu erkennen. Die einzelnen Phasen sind in dieser Darstellung nicht erkennbar.

Hinweis:

Auswertungen an Brunnen bringen nur exakte Werte, wenn es sich um unausgebaute Brunnen mit vernachlässigbaren Skin- und Kapazitätseffekt (siehe Typenkatalog, Anhang 1) handelt. Bei unvollkommenen Brunnen können, solange nicht im instationären Bereich der Funktion $\varphi_1(\zeta)$ gemessen wurde (s. Typenkatalog Anhang 3) noch angenäherte T-Werte bestimmt werden. S kann nicht berechnet werden. Ein Anhaltspunkt für die Anwendbarkeit der typischen Kurven ist die Form der Meßkurve. Läßt sich die Meßkurve an keine der im Bild A 6/10 enthaltenen Kurven näherungsweise anpassen, so ist das hier beschriebene Auswerteverfahren ungeeignet.

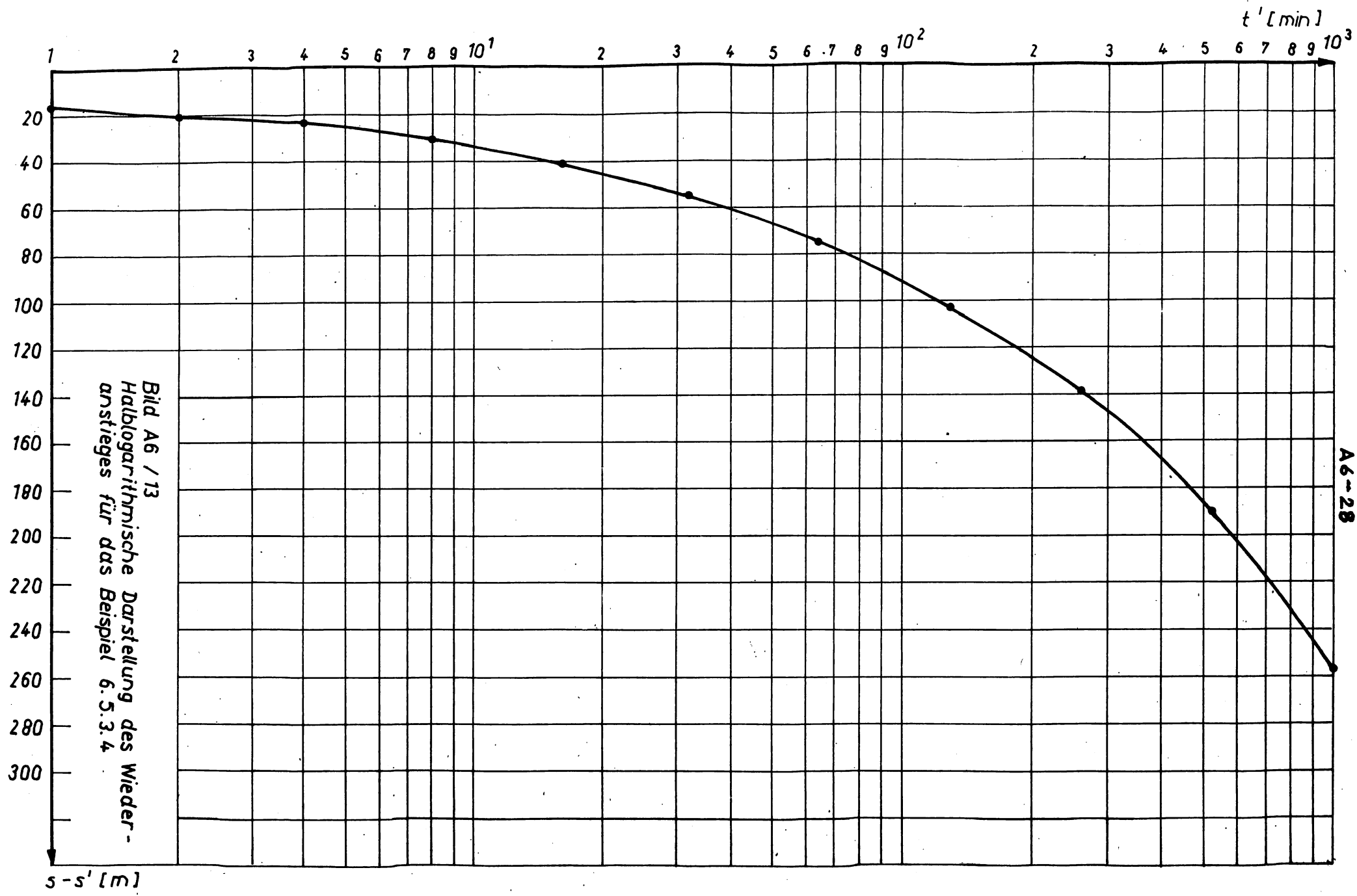


Bild A6 / 13
 Halblogarithmische Darstellung des Wieder-
 anstieges für das Beispiel 6.5.3.4

A6-28