

Pumpversuchstypenkatalog

zur

Pumpversuchsauswertung

nach TGL 23864



VEB Hydrogeologie

Pumpversuchstypenkatalog

zur

Pumpversuchsauswertung nach TGL 23 864

Von Doz. Dr. sc. techn. Ulrich Beims

Dipl.-Ing. Jürgen Murglat

und Ing. Joachim Eschner

VEB Hydrogeologie 1985

Inhaltsverzeichnis

	Seite
0. Einleitung	1
1. Übersicht über die typischen Kurvenverläufe	7
2. Auswertungsanleitungen	13
2. 1. Unendlich ausgedehnter GWL ohne Speisung	13
2. 2. Unendlich ausgedehnter GWL mit Kapazitätseffekt des Brunnens	21
2. 3. Unendlich ausgedehnter halbgespannter GWL ohne Speisung	26
2. 4. Unendlich ausgedehnter GWL mit nichtstationärer Unvollkommenheit des Brunnens	31
2. 5. Unendlich ausgedehnter GWL mit stationärer Unvollkommenheit des Brunnens	35
2. 6. Unendlich ausgedehnter GWL mit Speisung aus liegenden und/oder hangenden Schichten	40
2. 7. Einseitig mit $\gamma_2 = 0$ begrenzter GWL	44
2. 8. Einseitig mit $\gamma_2 = 0$ begrenzter GWL bei nichtstationärer Unvollkommenheit des Brunnens	51
2. 9. Einseitig mit $\gamma_2 = 0$ begrenzter GWL mit stationärer Unvollkommenheit des Brunnens	56
2.10. Einseitig mit $\gamma_2 = 0$ begrenzter GWL mit Speisung aus liegenden und/oder hangenden Schichten	61
2.11. Einseitig mit $\Delta q = 0$ begrenzter GWL	64
2.12. Einseitig mit $\Delta q = 0$ begrenzter GWL bei nichtstationärer Unvollkommenheit des Brunnens	70
2.13. Einseitig mit $\Delta q = 0$ begrenzter GWL bei stationärer Unvollkommenheit des Brunnens	75

	Seite	
2.14. Einseitig mit $\Delta q = 0$ begrenzter GWL mit Speisung aus liegenden und/oder hangenden Schichten	80	
3. Gütepumpversuche	83	
3. 1. Aufgabenstellung des Gütepumpversuches	83	
3. 2. Auswahl des Versuchsschemas	85	
3. 3. Vorbereitung eines Gütepumpversuches	90	
3. 4. Durchführung eines Gütepumpversuches	97	
3. 5. Auswertung eines Gütepumpversuches	99	
3. 6. Einschätzung der Ergebnisse	111	
4. Hinweise zur PV-Planung, -durchführung und -auswertung	113	
4. 1. Allgemeines	113	
4. 2. Pumpversuchsplanung	114	
4. 3. Pumpversuchsdurchführung/ -auswertung	118	
5. Zusammenstellung wichtiger Funktionen	121	
5. 1. Brunnenfunktion $W(\zeta)$	121	
5. 2. Brunnenfunktion $W(\zeta, \beta)$	125	
5. 3. Besselfunktion $K_0(x)$	129	
5. 4. Komplementäre Fehlerfunktion $\operatorname{erfc}(x)$	132	
6. Symbole und Abkürzungen	135	
Anlage 1: Das Erfassen der Speicherkapazität im Brunnen		A1-32
Anlage 2: Geschichtete Grundwasserleiter, bei denen eine verzögerte Wasserabgabe aus den weniger durchlässigen in den durchlässigen GWL erfolgt		A2-20
Anlage 3: Auswertung von Messungen am Versuchsbrunnen, unter Beachtung des instationären Anteils der spezifischen Potentialdifferenz φ_1 infolge Unvollkommenheit		A3-20
Anlage 4: Berücksichtigung der Speisung aus benachbarten Schichten bei der PV-Auswertung		A4-14
Anlage 5: PV-Auswertung mittels EDV		A5-11
Anlage 6: GWL, die durch zwei parallele Berandungen vom Typ $\Delta q = 0$ und eine Berandung vom Typ $\varphi_2 = 0$ begrenzt werden		A6-28

0. Einleitung

In den 60er Jahren erschienen in der internationalen Fachliteratur eine Vielzahl von Arbeiten zur Durchführung und Auswertung von hydrogeologischen Pumpversuchen, wobei der Schwerpunkt auf der Auswertung von nichtstationären Strömungsprozessen lag.

Auch in der DDR fanden diese Methoden mehr oder weniger sporadisch Eingang in die hydrogeologischen Erkundungsarbeiten.

1968 wurde deshalb begonnen, die Konzeption für eine TGL zur geohydraulischen Auswertung von Pumpversuchen zu erarbeiten. Dieser Standard sollte dem rezenten nationalen und internationalen Wissensstand entsprechen.

Deshalb wurde 1970 zunächst eine Themenstudie erarbeitet, in der die theoretischen Grundlagen der Pumpversuchsauswertung dargestellt wurden und die für die spezifischen Bedingungen der DDR bedeutenden Pumpversuchsschemata und Auswerteverfahren erläutert wurden. Ergänzt wurde diese Themenstudie 1971 durch eine umfangreiche Sammlung praktischer Beispiele, an denen eine Vielzahl von Auswerteverfahren konkret getestet werden konnten.

Bis 1973 wurden dann insgesamt 9 Blätter der TGL 23 864 "Pumpversuche" für verbindlich erklärt.

Schon während der Bearbeitung des Standards zeigte sich, daß er relativ hohe Anforderungen an den Nutzer stellt. Deshalb wurde parallel zur Standardbearbeitung 1972 ein "Typenkatalog zur Pumpversuchsauswertung" fertiggestellt, der die Überführung in die Praxis der TGL 23 864 unterstützen sollte. In diesem Katalog wurden typische Kurvenverläufe für verschiedene hydrogeologische Modelle sowie deren Auswertung im Zusammenhang mit der TGL vorgestellt. Der Nutzer konnte somit konkrete zeitliche und räumliche Absenkungs- und Wiederanstiegskurven sehr gut dem entsprechenden Auswerteschema zuordnen.

Der Katalog hatte in der Erkundungspraxis sehr schnell eine große Resonanz gefunden. 1975 wurde er durch einige weitere Beispiele aus der Praxis ergänzt.

1980/81 wurde ein 2. Teil des Typenkataloges erarbeitet, dessen Schwerpunkte bei der Pumpversuchsauswertung

- . in geschichteten Grundwasserleitern
- . mit unvollkommen ausgebauten Brunnen
- . für Brunnen mit Eigenkapazität und
- . bei Berandungen im Festgesteinsbereich

lagen. Dabei hat sich auch gezeigt, daß der 1972 erarbeitete Katalog nicht mehr dem neusten Stand bei der Pumpversuchsauswertung beinhaltet, so daß sich eine Neubearbeitung dieses Teils erforderlich machte. Das betraf z.B. den EDV-Einsatz bei der Pumpversuchsauswertung, die Durchführung und Auswertung von Gütepumpversuchen und die aktive Nutzung von Standard-Software auf Büro- oder Heimcomputern.

Es wird nunmehr ein Katalog vorgelegt, der dem gegenwärtigen Stand der Pumpversuchsauswertung entspricht und auch die im Teil 2 des Kataloges enthaltenen Verfahren mit integriert. Der Katalog ist somit ein selbständiges Arbeitsmittel, für dessen Nutzung nur die TGL 23 864 benötigt wird.

Sefern die Ausführungen im zugehörigen Standard zur Problemlösung nicht ausreichen, sind dem Katalog Anlagen beigelegt worden, aus denen alle notwendigen Informationen hervorgehen.

Aufbau des Typenkataloges

Der Pumpversuchstypenkatalog beinhaltet (im Punkt 1) typische Kurvenverläufe für Grundwasserabsenkungs- und Anstiegsverhalten innerhalb von Brunnen und zugehörigen GWBR während eines hydrogeologischen Pumpversuches. Beachtet werden dabei die Einflüsse, welche die Kurven durch äußere Berandungen erfahren.

Basis für alle Kurven sind die folgenden Modellfälle:

- unendlich ausgedehnter Grundwasserleiter (GWL)
- einseitig begrenzter GWL durch eine speisende Berandung $\varphi_2 = 0$
- einseitig begrenzter GWL durch eine Barriere $\Delta q = 0$

Für diese 3 Grundfälle werden typische Kurven dargestellt, die durch folgende Bedingungen beeinflusst werden.

- geschichteter GWL, bei denen eine verzögerte Wasserabgabe aus den weniger durchlässigen in den durchlässigeren GWL erfolgt;
- unvollkommen ausgebaute Brunnen unter Beachtung des instationären Anteils der spezifischen Potentialdifferenz f_1
- unvollkommen ausgebaute Brunnen unter Beachtung des stationären Anteils der spezifischen Potentialdifferenz f_1
- Speisung des GWL durch hangende bzw. liegende Schichten.

Zusätzlich werden Kurven vorgelegt, die sich durch den Einfluß von Kapazitätseffekten im Brunnen bei einem unendlich ausgedehnten GWL ergeben.

Kurven für mehrseitige Modellberandungen werden nicht dargestellt, da diese durch unterschiedliche Abstände von der Berandung und unterschiedliche Kombination der Randbedingungstypen sehr differenzierte Verläufe haben und somit für eine Katalogisierung ungeeignet sind.

Im Punkt 2 werden zu allen aufgeführten Kurven detailliert Hinweise zu den Auswerteverfahren gegeben, wobei eine konkrete Zuordnung zur TGL 23 864 oder der entsprechenden Anlage erfolgt.

Der Punkt 3 beinhaltet die Planung, Durchführung und Auswertung von Gütepumpversuchen zur Identifikation von Migrationsparametern im Feld.

Im Punkt 4 werden einige wichtige Hinweise zur Pumpversuchsplanung, -durchführung und -auswertung gegeben, die insbesondere für solche Fachkollegen geeignet sind, die nur gelegentlich Pumpversuche bearbeiten.

Im Punkt 5 werden einige wichtige Funktionen zusammengestellt, sowie deren Näherungslösungen angegeben.

Die getesteten FORTRAN-Programme sind gut geeignet, um eigenständige Lösungen auf Büro- oder Heimcomputern zu erarbeiten. Der Typenkatalog wird durch 6 Anlagen ergänzt.

In den Anlagen 1 bis 4 sind die theoretischen Grundlagen enthalten, die einer Pumpversuchsauswertung

- . bei Eigenkapazität des Brunnens
- . bei geschichteten Grundwasserleitern
- . bei unvollkommenem Brunnenausbau und
- . bei Speisung aus benachbarten Schichten

zugrunde liegen.

In der Anlage 5 werden die in der DDR gebräuchlichen EDV-Programme zur PV-Auswertung vorgestellt und näher erläutert.

In Anlage 6 sind aus dem Typenkatalog, Teil 2 die von Szymozak erarbeiteten speziellen Auswerteverfahren für Pumpversuche bei Brandungen im Festgesteinsbereich übernommen worden, obwohl diese Problematik im vorliegenden Katalog nicht gesondert behandelt wird.

Handhabung des Typenkataloges

Bei der Auswertung eines Pumpversuches ist wie folgt vorzugehen:

1. Auftragen der Meßwerte für

- Absenkung $s = f(igt)$
- Wiederanstieg $s' = f(igt/t')$

2. Der Kurvenverlauf ist optisch mit einem typischen Kurvenverlauf im Pkt. 1 des Kataloges zu vergleichen. Dabei müssen, um die richtige typische Kurve herauszufinden, bereits bekannte Einflußkriterien wie Berandungen, Kapazitätseffekte, geschichtete GWL, Brunnenausbau usw. in die erste Beurteilung mit einfließen. Als Ergebnis des Vergleiches ist der reale Kurvenverlauf einem ausgewählten typischen Kurvenverlauf zuzuordnen. Dabei ist zu beachten, daß folgende Möglichkeiten auftreten können

- die reale Kurve entspricht einer der dargestellten typischen Kurve;
- die reale Kurve läßt auf Grund von zwei und mehrseitigen Berandungen die Zuordnung einer typischen Kurve nur bis zum Einfluß der 2. Randbedingung zu, d.h. die nachfolgenden Einflüsse sind nicht erfaßbar;
- durch mehrere Berandungen ist dem realen Kurvenverlauf von Anfang an keine typische Kurve zuzuordnen.

3. Die herausgefundene typische Kurve weist durch einen Vermerk auf den Abschnitt im Punkt 2 des Kataloges hin, in dem die Hinweise zur Auswertung stehen. Dieser Punkt zeigt eine Spezifizierung derselben typischen Kurve.

Es ist daher ein erneuter Vergleich mit der realen Kurve vorzunehmen. Wird Übereinstimmung erkannt, kann die weitere Auswertung vorgenommen werden. In diesem Abschnitt sind auch die Vermerke dazu enthalten, ob und unter welchen Bedingungen die Auswertung mit Hilfe eines EDV-Programmes erfolgen kann.

4. Ist eine Kurve in die vorgegebenen Schemata nicht einordenbar, so kann das die Folge sich überlagernder Randbedingungen sein. In diesen Fällen ist zu überprüfen, ob die Auswertung mit Hilfe eines EDV-Programms entsprechend Anlage 5 möglich ist.

Innerhalb der Auswerteschemata sind folgende Hinweise und Bezeichnungen zu beachten:

- Abkürzungen sind im Punkt 6 erklärt
- Symbole sind, sofern sie nicht explizit dem Text entnommen werden können, ebenfalls im Punkt 6 erläutert
- den Formeln in den Punkten 2.1. ... 2.14 hinzugefügte Bezeichnungen bedeuten folgendes:

4/6	s. Formel 6 in TGL 23 864, Blatt 4
1.42/02/7	s. Formel 7 in WAPRO 1.42, Blatt 02
A 1/6	s. Formel 6 in der Anlage A1 zum vorliegenden Typenkatalog

1. Übersicht über die typischen Kurvenverläufe

In den nachfolgenden 5 Übersichtsblättern werden charakteristische Kurvenverläufe für Grundwasser senkungs- und Anstiegsverhalten am Brunnen und zugehörigen GWBR während eines hydrogeologischen Pumpversuches dargestellt.

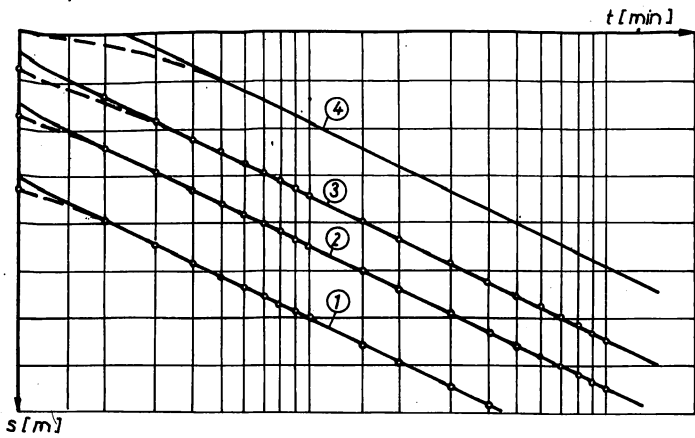


Bild 1

 ABSENKUNG
 Beachte Bild 1.1.1
 Pkt. 2.1; Seite 17

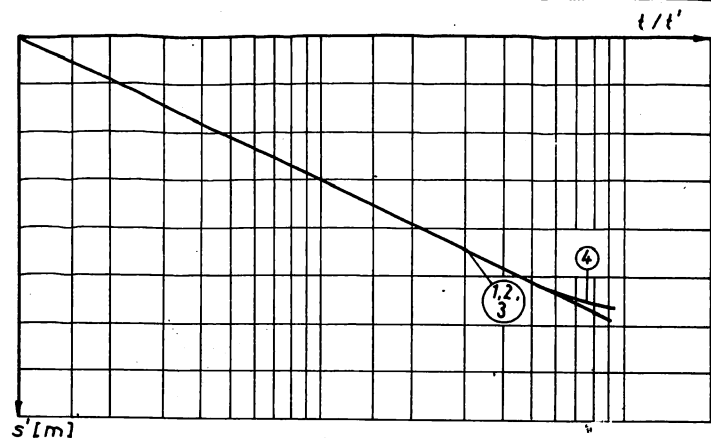


Bild 2

 ANSTIEG
 Beachte Bild 2.1
 Pkt. 2.1; Seite 19

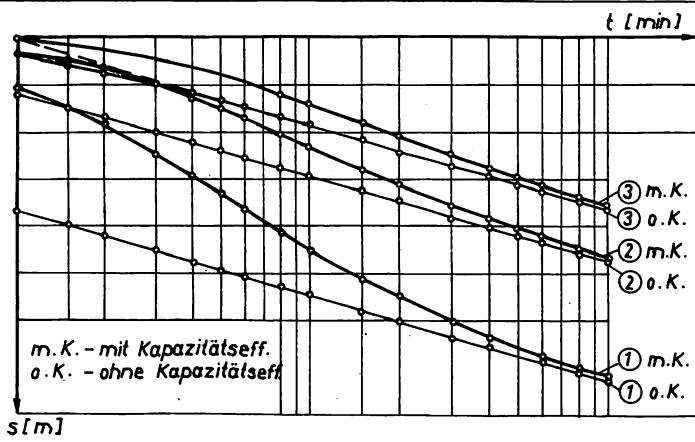


Bild 3

 ABSENKUNG BEI
 VORHANDENEM
 KAPAZITÄTSEFFEKT
 Beachte Bild 3.1
 Pkt. 2.2; Seite 24

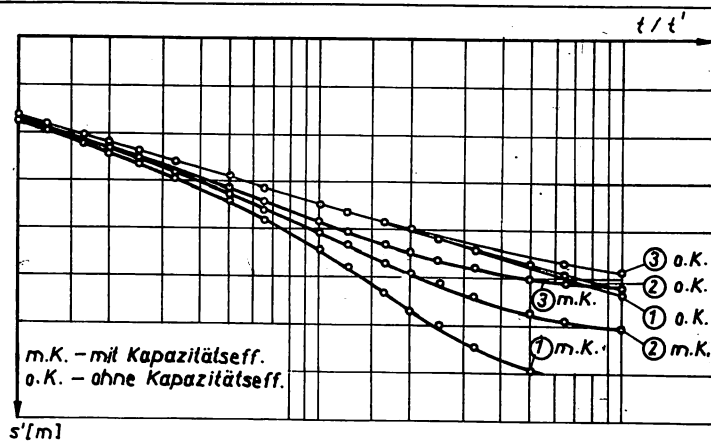


Bild 4

 ANSTIEG BEI
 VORHANDENEM
 KAPAZITÄTSEFFEKT
 Beachte Bild 4.1
 Pkt. 2.2; Seite 25

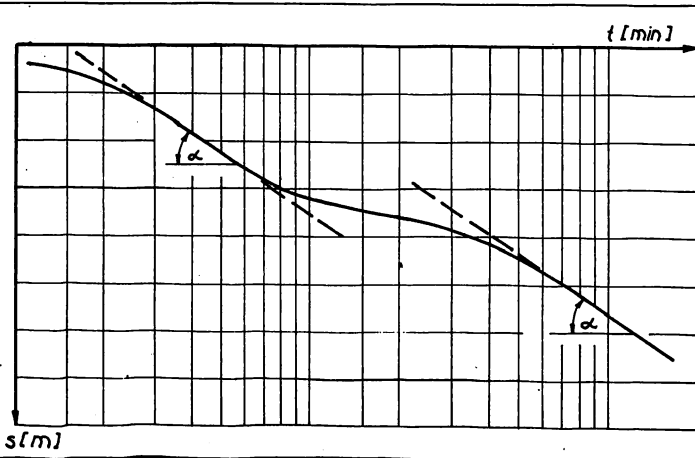


Bild 5

 ABSENKUNG IM
 GESCHICHTETEN
 GRUNDWASSERLEITER
 Beachte Bild 5.1
 Pkt. 2.3; Seite 29

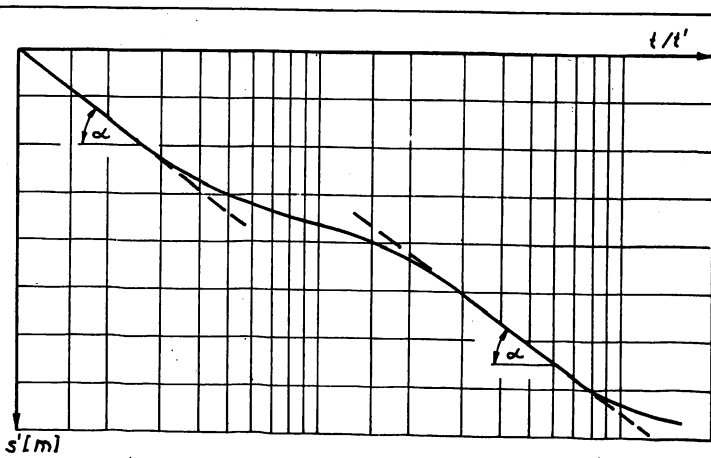
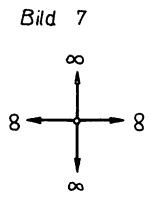
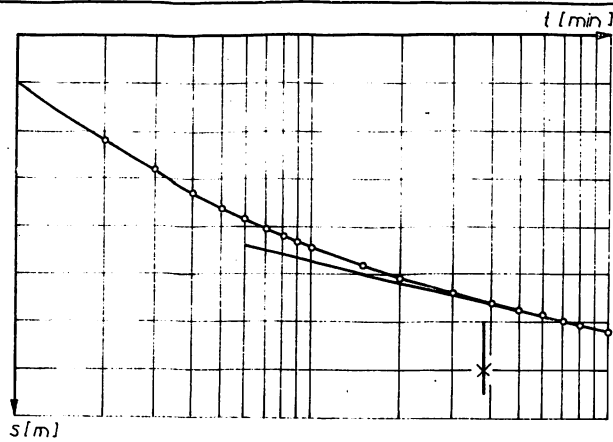
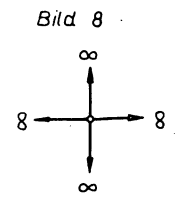
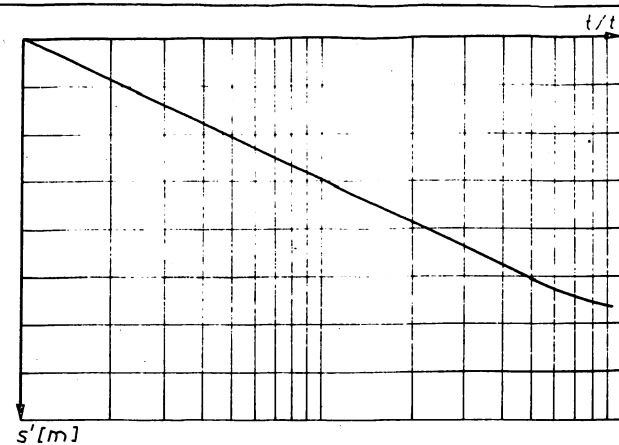


Bild 6

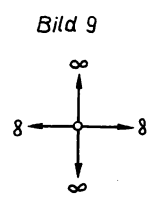
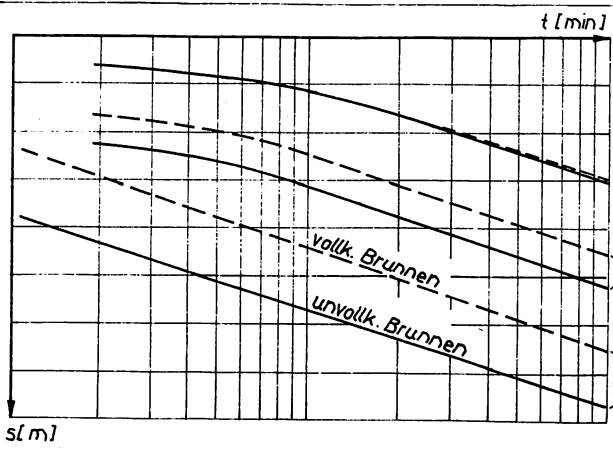
 ANSTIEG IM
 GESCHICHTETEN
 GRUNDWASSERLEITER
 Beachte Bild 6.1
 Pkt. 2.3; Seite 30



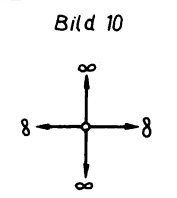
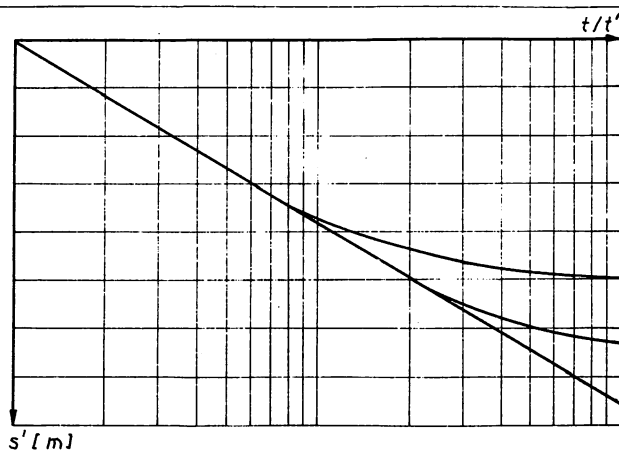
ABSENKUNG IM UNVOLLKOMMEN AUSGEBAUTEN BRUNNEN
Beachte Bild 7.1
Pkt. 2.4; Seite 33



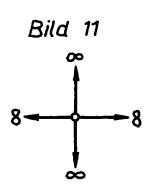
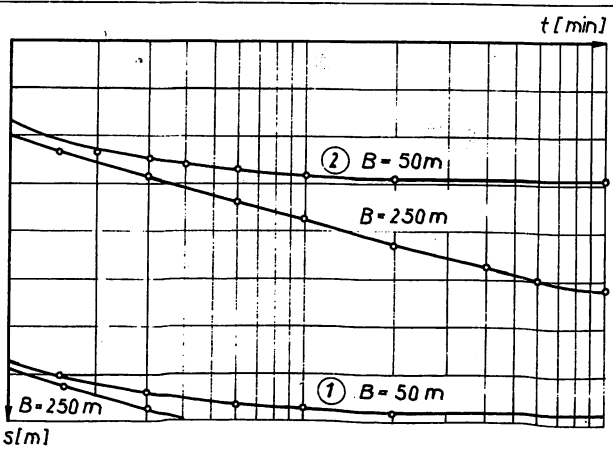
ANSTIEG IM UNVOLLKOMMEN AUSGEBAUTEN BRUNNEN
Beachte Bild 8.1
Pkt. 2.4; Seite 34



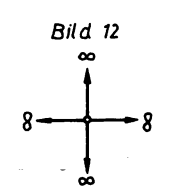
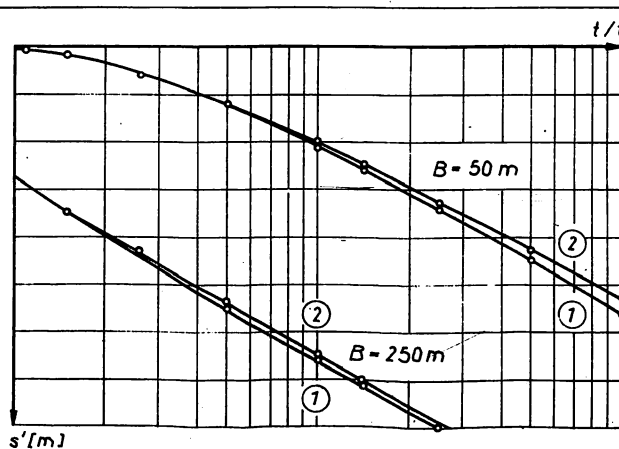
ABSENKUNG BEI EINEM UNVOLLKOMMENEN BRUNNEN
Beachte Bild 9.1
Pkt. 2.5; Seite 38



ANSTIEG BEI EINEM UNVOLLKOMMENEN BRUNNEN
Beachte Bild 10.1
Pkt. 2.5; Seite 39



ABSENKUNG BEI SPEISUNG AUS BENACHBARTEN SCHICHTEN
Beachte Bild 11.1
Pkt. 2.6; Seite 42



ANSTIEG BEI SPEISUNG AUS BENACHBARTEN SCHICHTEN
Beachte Bild 12.1
Pkt. 2.6; Seite 43

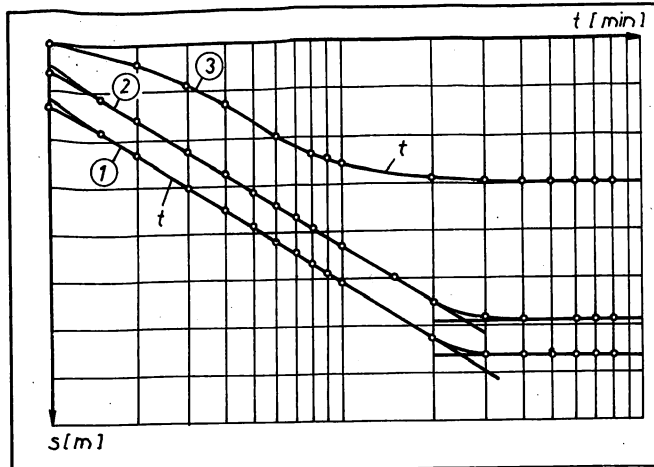


Bild 13
 $f_2 = 0$

 ABSENKUNG
 Beachte Bild 13.1
 Pkt. 2.7; Seite 49

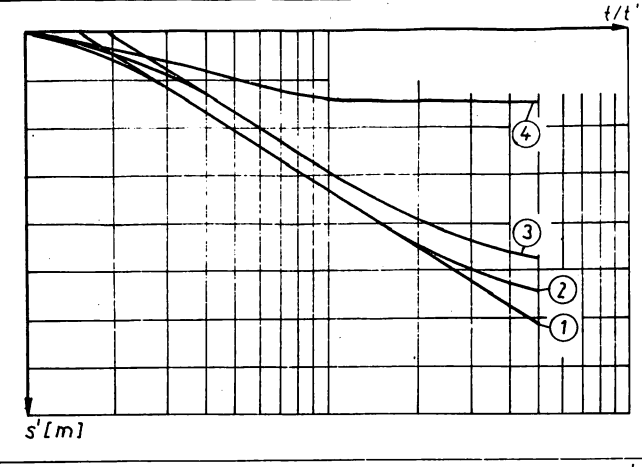


Bild 14
 $f_2 = 0$

 ANSTIEG
 Beachte Bild 14.1
 Pkt. 2.7; Seite 50

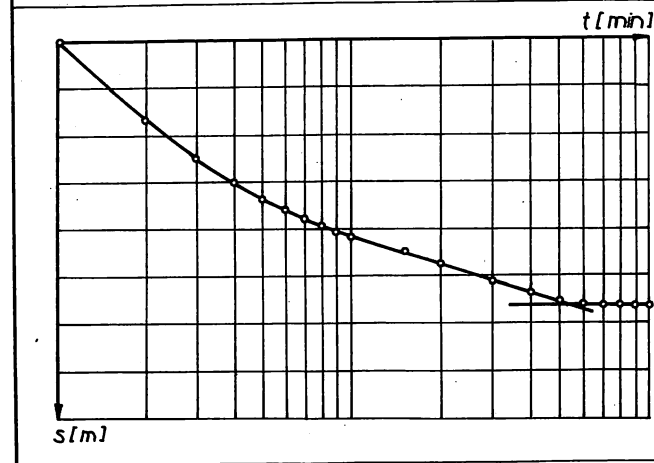


Bild 15
 $f_2 = 0$

 ABSENKUNG IM UNVOLL-
 KOMMEN AUSGEBAUTEN
 BRUNNEN
 Beachte Bild 15.1
 Pkt. 2.8; Seite 54

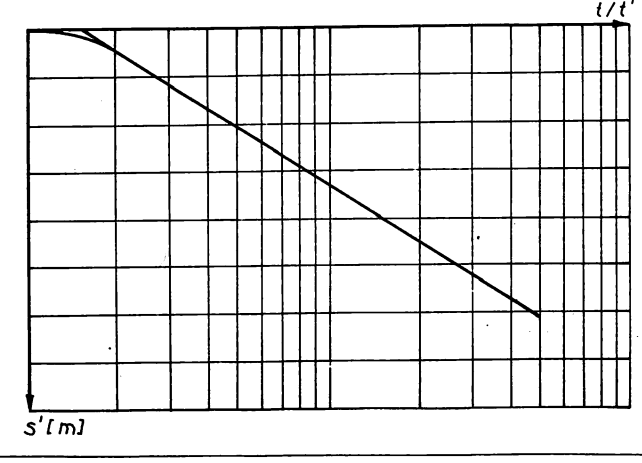


Bild 16
 $f_2 = 0$

 ANSTIEG IM UNVOLL-
 KOMMEN AUSGEBAUTEN
 BRUNNEN MIT RB
 $f_2 = 0$
 Beachte Bild 16.1
 Pkt. 2.8; Seite 55

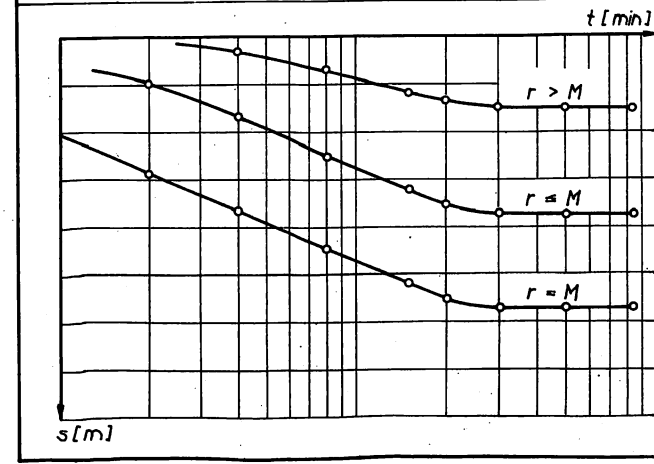


Bild 17
 $f_2 = 0$

 ABSENKUNG IM UNVOLL-
 KOMMEN AUSGEBAUTEN
 BRUNNEN
 Beachte Bild 17.1
 Pkt. 2.9; Seite 59

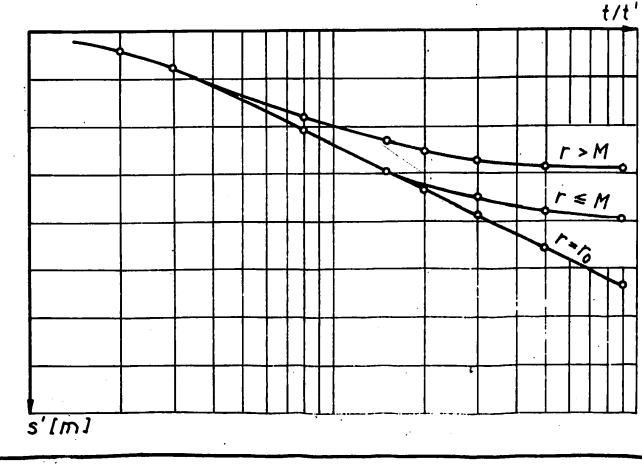
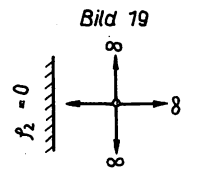
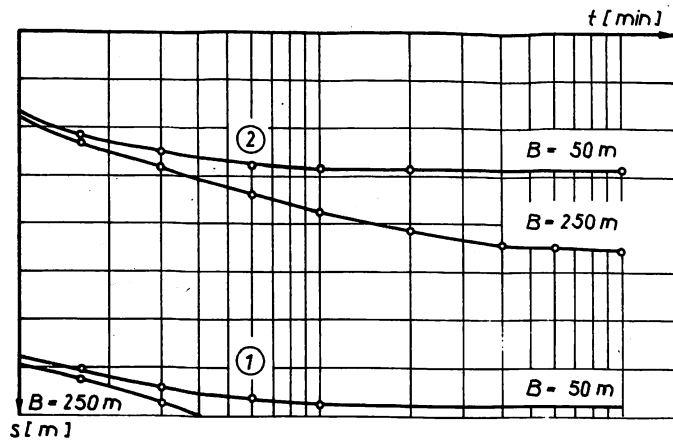
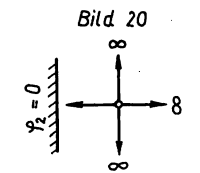
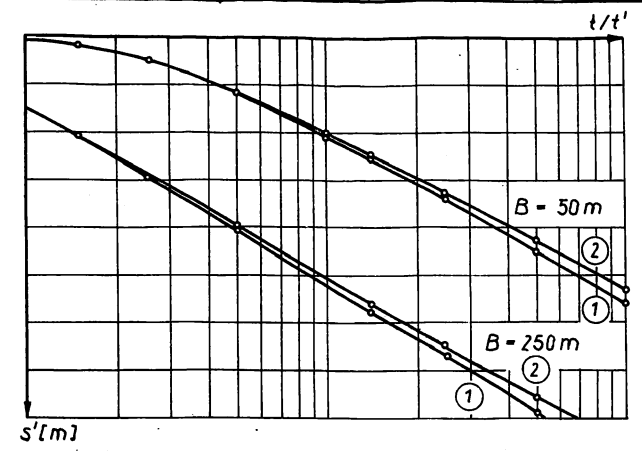


Bild 18
 $f_2 = 0$

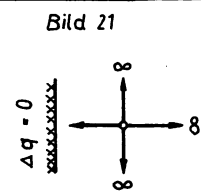
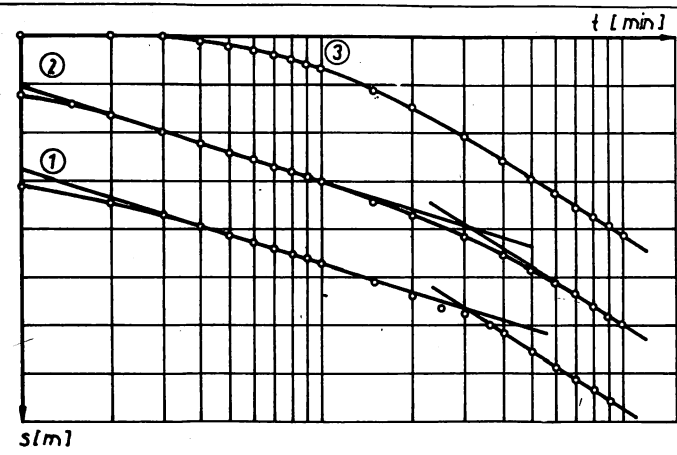
 ANSTIEG IM UNVOLL-
 KOMMEN AUSGEBAUTEN
 BRUNNEN
 Beachte Bild 18.1
 Pkt. 2.9; Seite 60



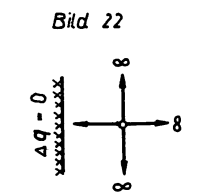
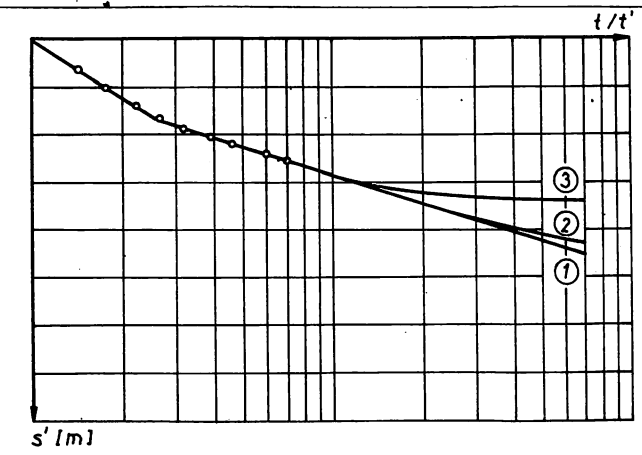
ABSENKUNG BEI SPEISUNG AUS BENACHBAREN SCHICHTEN
 Beachte Bild 19.1
 Pkt. 2.10; Seite 62



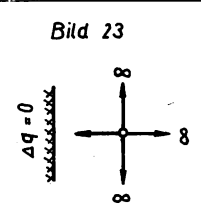
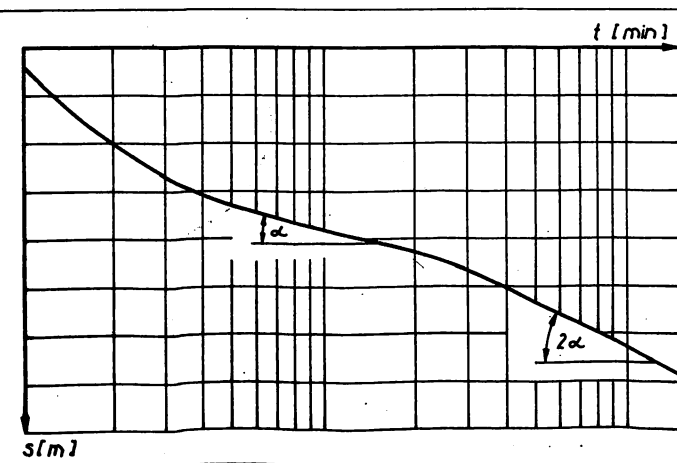
ANSTIEG BEI SPEISUNG AUS BENACHBAREN SCHICHTEN
 Beachte Bild 20.1
 Pkt. 2.10; Seite 63



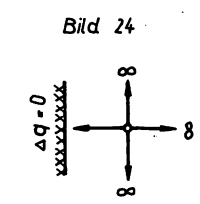
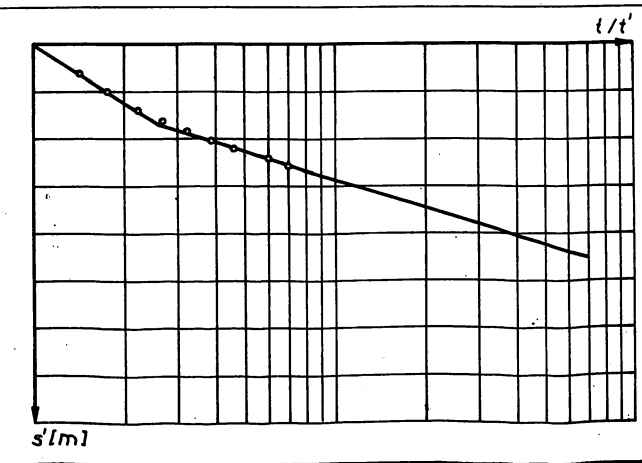
ABSENKUNG
 Beachte Bild 21.1
 Pkt. 2.11; Seite 68



ANSTIEG
 Beachte Bild 22.1
 Pkt. 2.11; Seite 69



ABSENKUNG IM UNVOLLKOMMEN AUSGEBAUTEN BRUNNEN
 Beachte Bild 23.1
 Pkt. 2.12; Seite 73



ANSTIEG IM UNVOLLKOMMEN AUSGEBAUTEN BRUNNEN
 Beachte Bild 24.1
 Pkt. 2.12; Seite 74

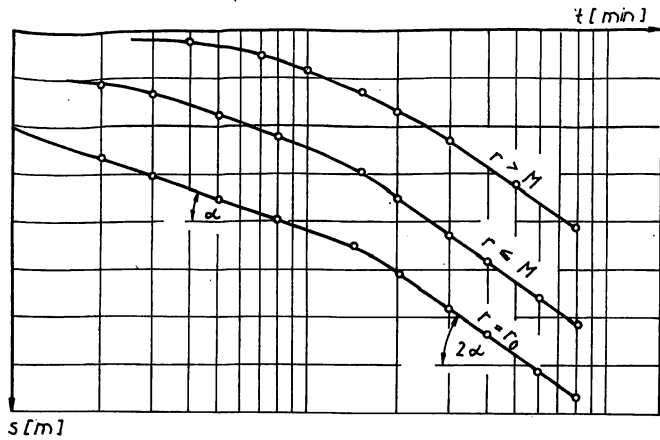


Bild 25

ABSENKUNG IM UNVOLLKOMMEN AUSGEBAUTEN BRUNNEN

Beachte Bild 25.1
Pkt. 2.13; Seite 78

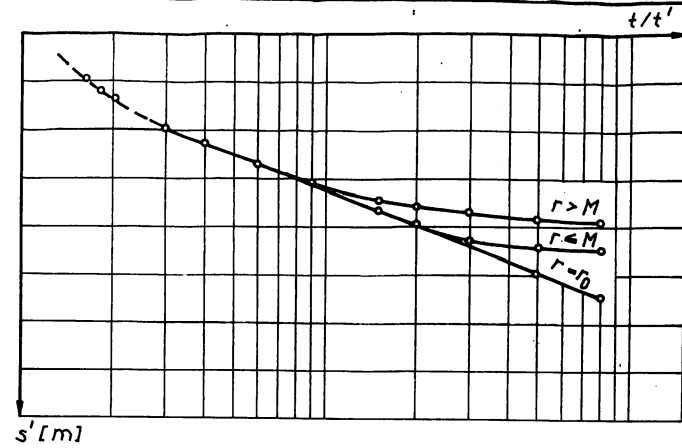


Bild 26

ANSTIEG IM UNVOLLKOMMEN AUSGEBAUTEN BRUNNEN

Beachte Bild 26.1
Pkt. 2.13; Seite 79

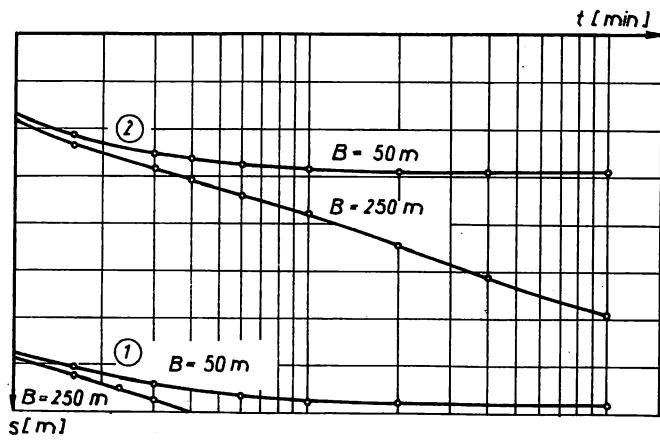


Bild 27

ABSENKUNG BEI SPEISUNG AUS BENACHBARTEN SCHICHTEN

Beachte Bild 27.1
Pkt. 2.14; Seite 81

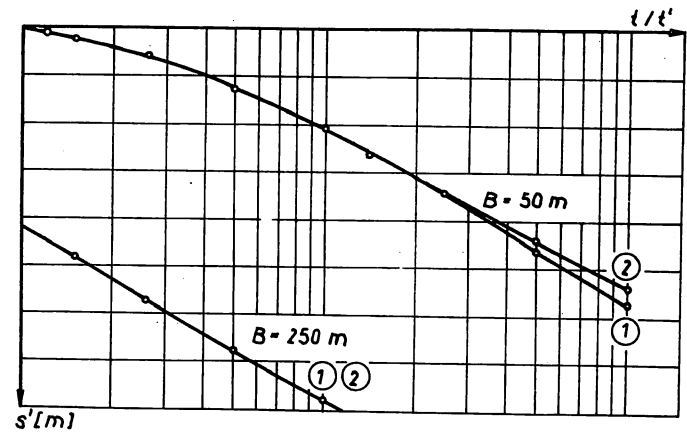


Bild 28

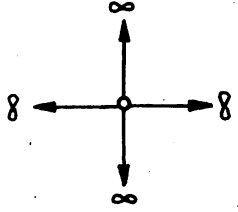
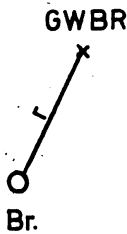
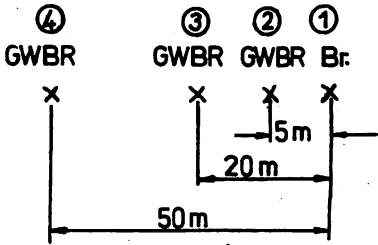
ANSTIEG BEI SPEISUNG AUS BENACHBARTEN SCHICHTEN

Beachte Bild 28.1
Pkt. 2.14; Seite 82

2. Auswertungsanleitungen

2.1. Unendlich ausgedehnter GWL ohne Speisung

(Bilder 1.; 1.1.1.; 1.1.2.; 2; 2.1)
1.1.3

RANDBEDINGUNG	TYP	ANORDNUNG VBr. / GWBR
 <p>unendlich ausgedehnter GWL</p>		<p>Kurven-Nr:</p> 

2.1.1. Auswertung der Absenkung

Absenkung: gespanntes GW: $s = f(lgt)$, freies GW $s_r = f(lgt)$ [4/17]

Kurve 1 - Meßstelle Brunnen - vollkommen ausgebaut

Einfluß auf den Kurvenverlauf: keiner

- Absenkungsbeginn nach PV-Start: sofort
- Phaseneinteilung der Kurven : 2. Phase (die 1. Phase ist nicht ausgebildet)
- Auswertbare Phase: 2. Phase
- Zeitschranke für 2. Phase: keine
- Ausgleichsgerade in: 2. Phase
- Parameter: 2. Phase: T, k [4/3; 4/5; 4/6]
(S-Wert kann am Br nicht bestimmt werden)
- Kriterium: Ausgleichsgerade mit gleichbleibender Neigung $tg\alpha$

Kurven 2...3 - Meßstelle: GWBR in verschiedenen Entfernungen

vom Br max. 2 H bzw. 2 M

- Einfluß auf den Kurvenverlauf: keiner
- Absenkungsbeginn nach PV-Start: unmittelbar

- **Phaseneinteilung der Kurve**

1. Phase: Phase vor der Zeitschranke
2. Phase: Phase nach der Zeitschranke

- **Auswertbare Phasen:**

1. Phase - aufwendiges Verfahren (2. Phase darf mit einbezogen werden) s. Auswertung zu Bild 1.1.2
2. Phase - günstiges Verfahren

- Zeitschranke für 2. Phase: [4/2]

- Ausgleichsgerade in: 2. Phase

- Parameter: 1. Phase: T, k, S: [4/21; 4/22; 4/23]

2. Phase: T + k [4/3; 4/5; 4/6]

S über Ausgleichsgerade 4/Bild 2
[4/7] hierbei gilt: t_0 (sec)

t_0 bei $t_0 < 1$ min: [4/8] - beachte Umrechnung in sec !

- **Hinweise:** Ausgleichsgerade mit gleichbleibender Neigung $\text{tg } \alpha$ für alle GWBR

Kurve 4: - Meßstelle $r \gg H$ bzw. H

Einfluß auf den Kurvenverlauf: **keiner**

- Absenkungsbeginn nach PV-Start: > 1 min

- Ausführungen gelten analog den Kurven 2...3

Bild 1.1.2:

Absenkung: gespanntes GW: $lgs = f(lgt)$, freies GV $lgs_f = f(lgt)$
[4/1]

Kurve 4 - Meßstelle: GWBR in 50 m Entfernung vom Brunnen

Einfluß auf den Kurvenverlauf:

Die relativ weite Entfernung des GWBR läßt erkennen, daß die Zeitschranke $t = 3,8 \text{ a } r^2$ [4/2] die mit dem a-Wert des Brunnens oder anderer zugehöriger GWBR berechnet werden kann, sehr spät liegt. Soll die 1. Absenkungsphase ausgewertet werden, so ist dies nur über die Anwendung der sich aus der Brunnenfunktion $y = W(1/x)$ ergebenden typischen Kurve möglich.

Die 2. Phase darf mit einbezogen werden.

- Absenkung nach PV-Start: Der Absenkungsbeginn hängt u.a. von der Entfernung des GWBR vom V-Br. ab, oftmals beginnt die Absenkungswirkung erst eine gewisse Zeit nach PV-Start
- Phaseneinteilung der Kurve: keine
- Auswertbare Kurve: Die Kurve $\lg s = f(\lg t)$ ist mit der Kurve der Brunnenfunktion durch Parallelverschiebung in Deckung zu bringen [4/Bild 5]. Danach können für einen völlig beliebigen Punkt auf dem Blatt $\lg s = f(\lg t)$ s. Bild 1.1.2. die Werte für s und t und für die darunter liegende Kurve die Werte für $y = W\left(\frac{1}{x}\right)$ und $x = \frac{1}{\sigma}$ abgelesen werden. [4/ S. 11]
- Parameter: T [4/21] ; k [4/22] ; S [4/23]
(S-Wert-Bestimmung nur am GWBR möglich)

2.1.2. Auswertung des Anstieges

Bild 2.1.:

Anstieg: gespanntes GW = $s' = f(\lg t/t')$,
freies GW: $s'_r = f(\lg t/t')$ [4/17]

Kurve 1:- Meßstelle Brunnen - Vollkommen ausgebaut

Einfluß auf den Kurvenverlauf: keiner

- Anstiegsbeginn nach PV-Ende: sofort
- Phaseneinteilung der Kurve : 2. Phase (1. Phase ist nicht ausgebildet)
- Auswertbare Phase : 2. Phase
- Zeitschranke für 2. Phase : keine
- Ausgleichsgerade in : 2. Phase
- Parameter: 2. Phase : $T + k$ [5/20; 5/22; 5/23]
S kann nicht bestimmt werden

- Hinweis: :

Anstiegsgerade muß bei gleichbleibender Neigung $tg \alpha$
 $s' = 0$ und $t/t' = 1$ schneiden.

Kurven 2 + 3 + 4 - Meßstelle: GWBR in verschiedenen Ent-
 fernungen vom Br.

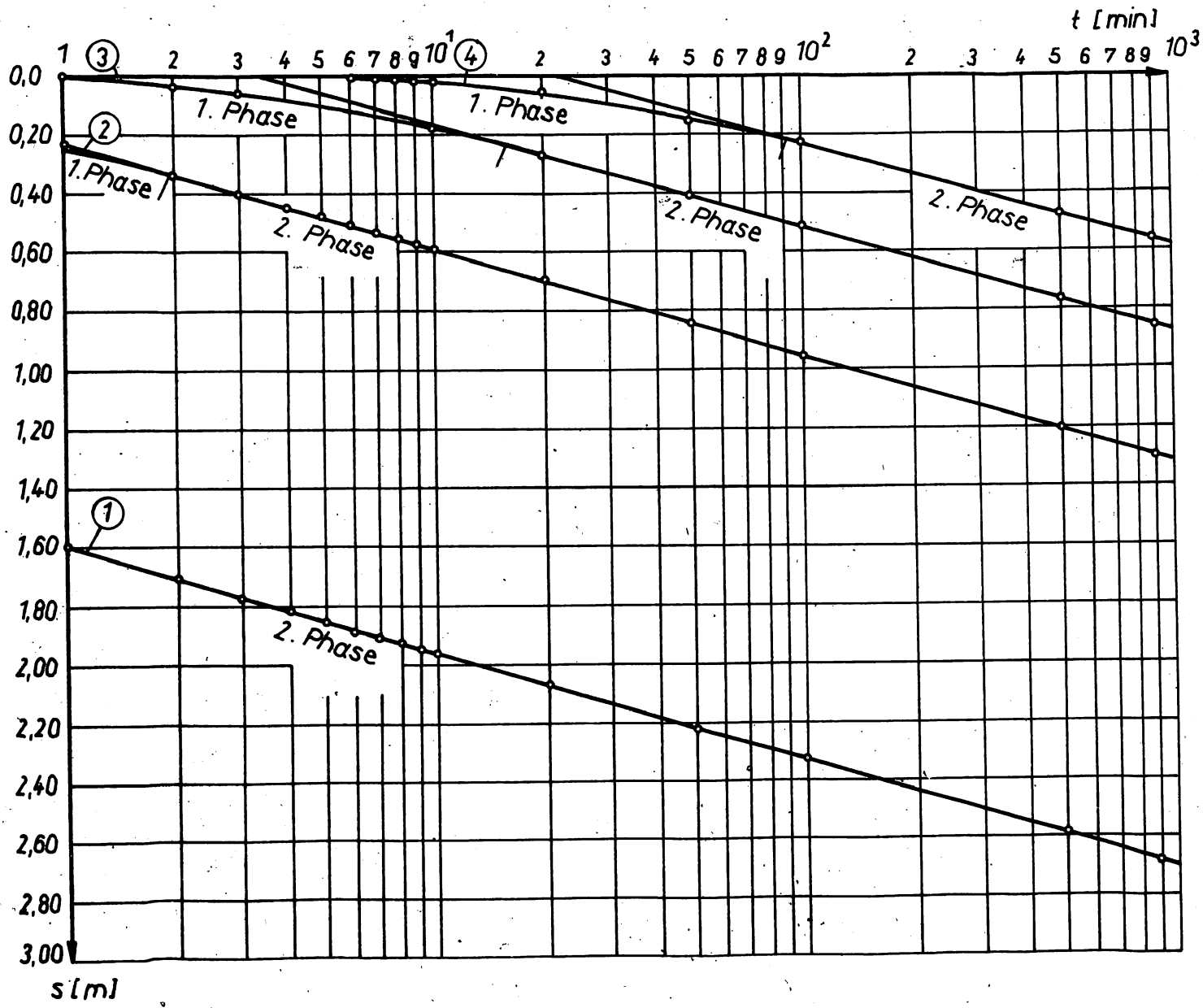
Einfluß auf den Kurvenverlauf: keiner

- Anstiegsbeginn nach PV-Ende: unmittelbar
- Phaseneinteilung der Kurve : 1. Phase vor der Zeitschranke
 2. Phase nach der Zeitschranke
 (Die 1. Phase ist nicht immer
 ausgebildet; s. hier die Kurven
 2 + 3)
- Auswertbare Phase : 2. Phase
- Zeitschranke für 2. Phase : [7/6]
- Ausgleichsgerade in : 2. Phase
- Parameter 2. Phase : $T + k$ [5/20; 5/22; 5/23]
- Hinweis: : S kann nicht bestimmt werden

Die Anstiegsgerade muß für alle GWBR gleichbleibende
 Neigung $tg \alpha$ haben und $s' = 0$ und t/t' bei 1 schneiden.

2.1.3. EDV-Auswertung (s. A 5)

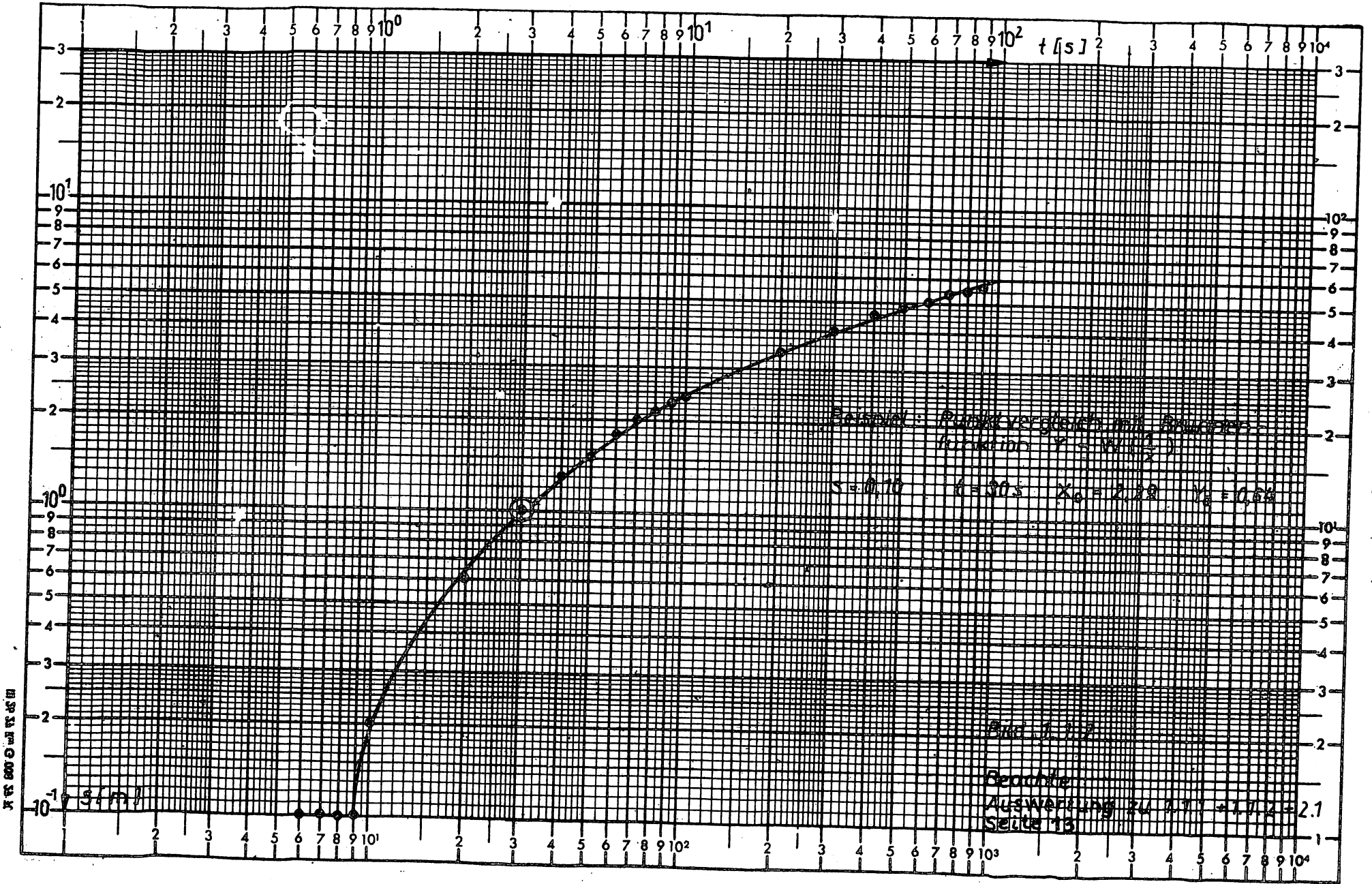
Die Auswertung ist sowohl für die Absenkung als auch
 den Wiederanstieg ohne Einschränkungen mit dem Programm
 PSU2 oder PVA 1, Nr. 1 möglich.

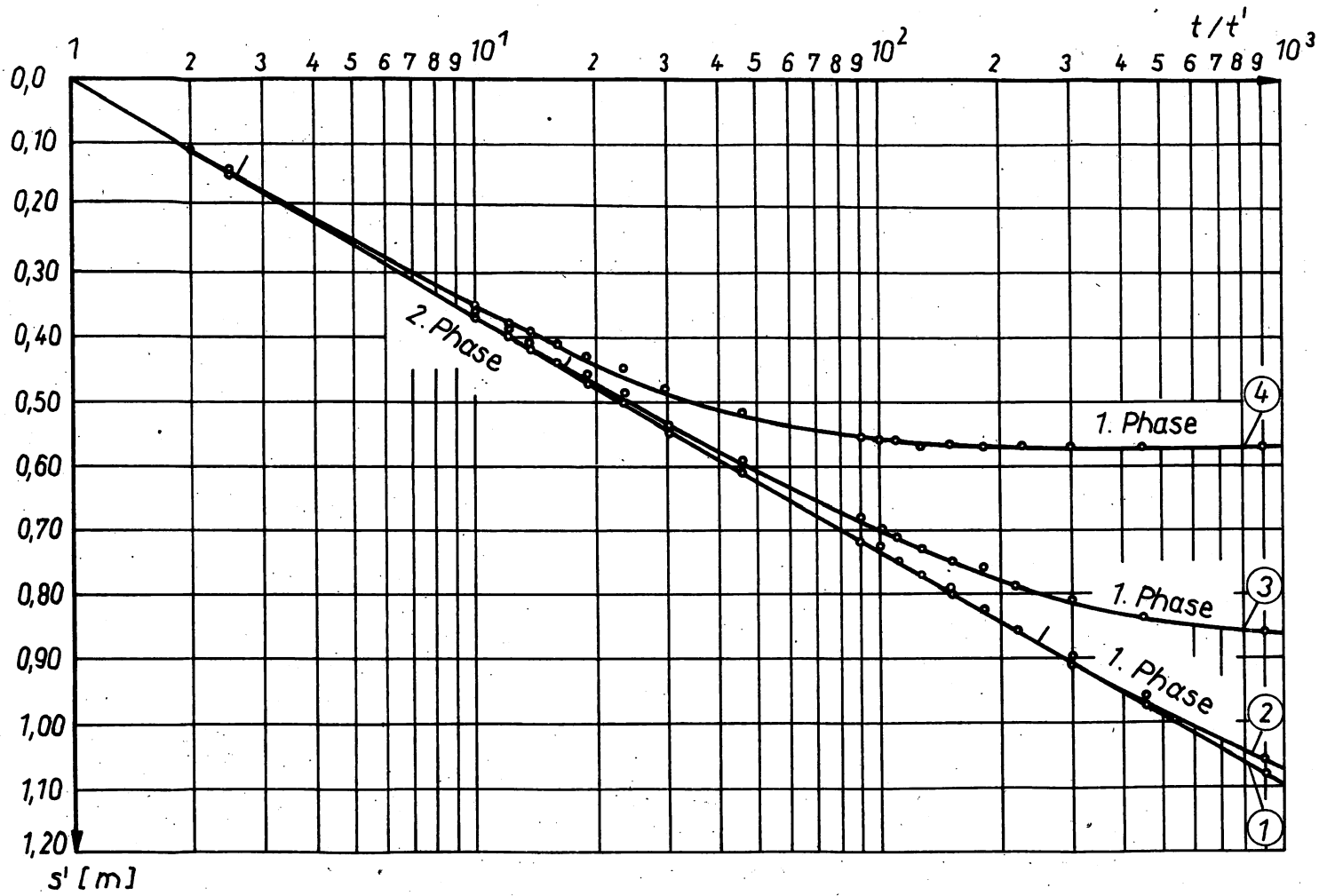


- ① Br $r_0 = 1m$
- ② $r = 5m$
- ③ $r = 20m$
- ④ $r = 50m$

Bild 1.1.1

Beachte:
Auswertung zu 1.1.1 + 1.1.2
Seite 13

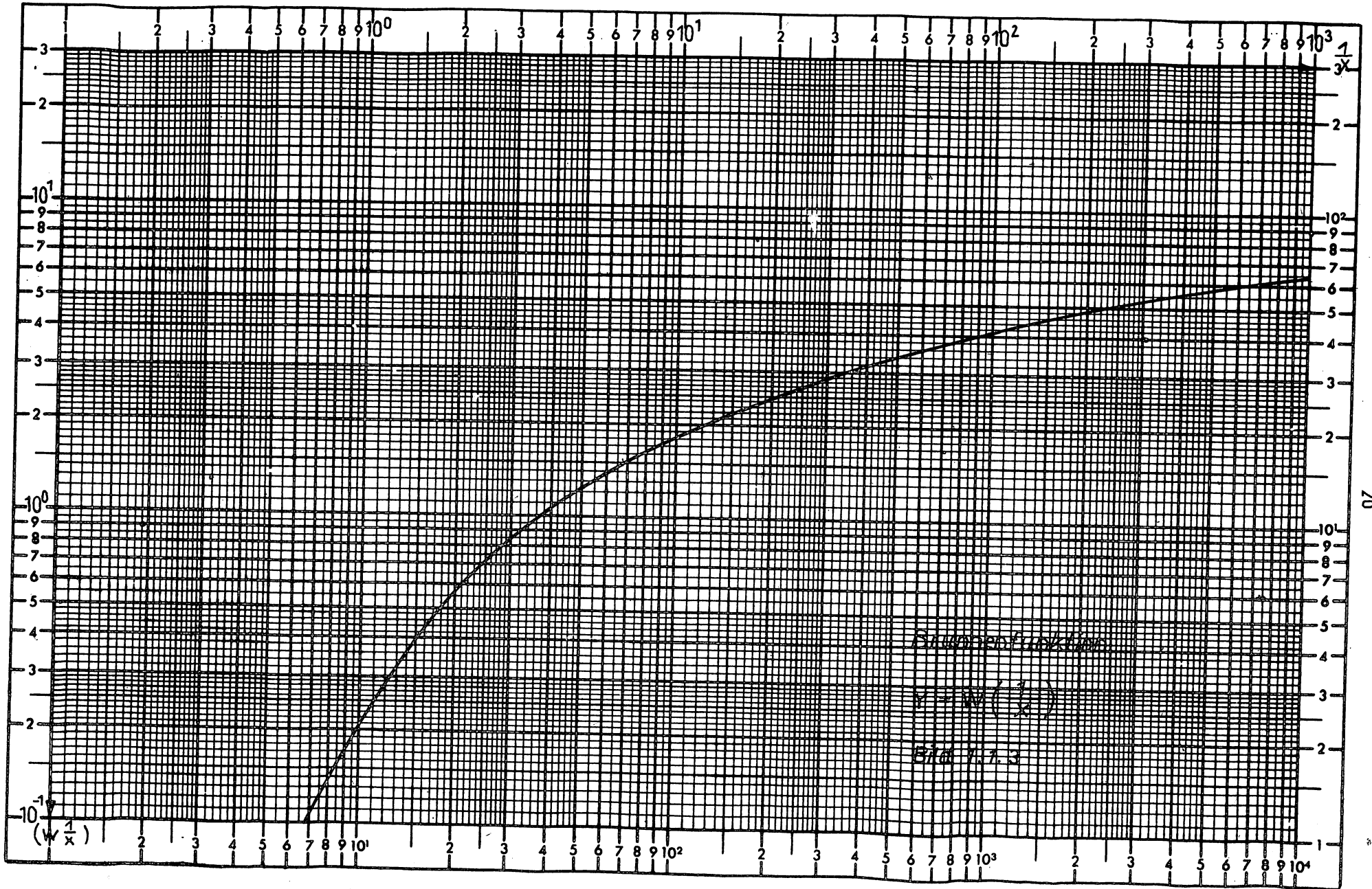




- ① $Br r_0 = 1m$
- ② $r = 5m$
- ③ $r = 20m$
- ④ $r = 50m$

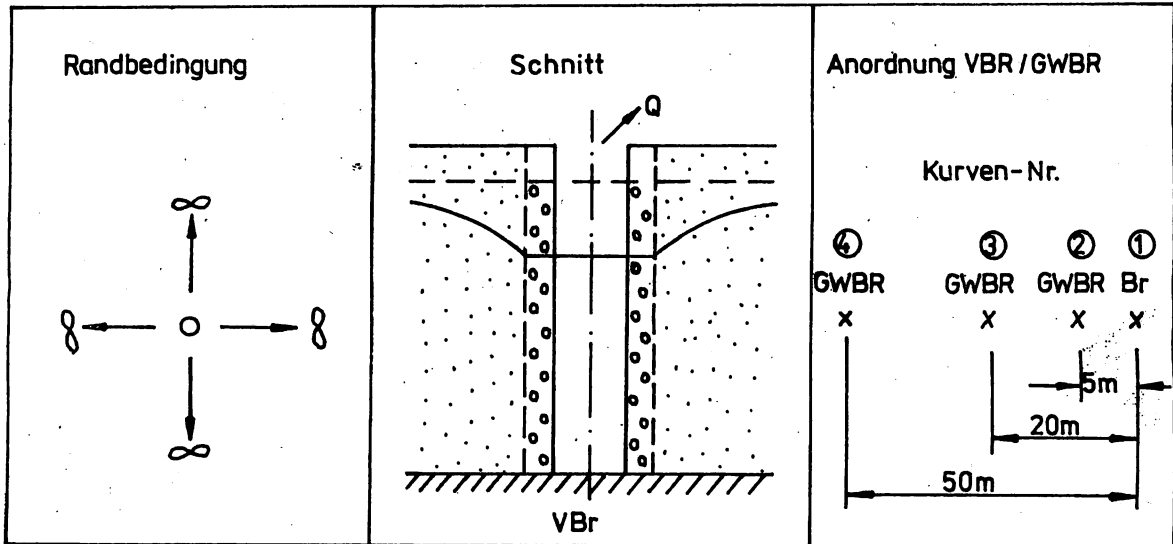
Bild 2.1

Beachte :
Auswertung zu 1.1.1+2.1
Seite 13



2.2. Unendlich ausgedehnter GWL mit Kapazitätseffekt des Brunnens

Bilder 3; 3.1 (Absenkung) 4.; 4.1 (Wiederanstieg)



2.2.1. Auswertung der Absenkung

Der Kapazitätseffekt des Brunnens bewirkt am Anfang des PV eine Verringerung der Absenkungen am Brunnen. Bei kleinen Speicherkoeffizienten kann diese Erscheinung auch an nahegelegenen GWBR beobachtet werden.

In A 1.2. und A 1.4. wird eine Beschreibung der wichtigsten Auswerteverfahren gegeben.

Kurve 1 - Meßstelle Brunnen - vollkommen ausgebaut

- Absenkungsbeginn nach PV-Start: sofort
- Phaseneinteilung der Kurve:
 - Phase I : Einflußbereich des Kapazitätseffektes
 - Phase II: Verhalten wie beim unendlich ausgedehnten GWL ohne Kapazitätseffekt
- Auswertbare Phasen: Phase I und II (Phase II auch nach 2.1)
- Zeitschranke : [A 1/3 bzw. A 1/4]
- Parameter Phase I : T [5/13] bei Einhaltung von [5/2; 5/3]
T [9/29]

(S-Wert kann am Br nicht bestimmt werden)

Kurven 2 ... 5 - Meßstelle: GWBR in verschiedenen Entfernungen vom Br

- Absenkungsbeginn nach PV-Start: sofort
- Phaseinteilung der Kurven:
 - Phase I : Einflußbereich des Kapazitätseffektes
 - Phase II : Verhalten wie beim unendlich ausgedehnten GWL ohne Kapazitätseffekt
- Auswertbare Phasen: Phase I nur sehr selten nach [5/13] auswertbar, da [5/2; 5/3] kaum eingehalten werden kann (Phase II nach 2.1)
- Zeitschranke: [A 1/3 bzw. A 1/4]
- Parameter Phase I: T [5/13]
S [5/14]
bei Einhaltung von [5/2; 5/3]

2.2.2. Auswertung des Anstiegs

Der Kapazitätseffekt bewirkt zu Beginn des Anstieges eine Verringerung der Anstiegswerte des Brunnens und nahegelegener GWBR.

In A 1.2 wird eine Beschreibung des Auswertverfahrens gegeben.

Kurve 1 - Meßstelle Brunnen - vollkommen ausgebaut

- Anstiegsbeginn nach PV-Ende: sofort
- Phaseinteilung:
 - Phase I : Einflußbereich des Kapazitätseffektes
 - Phase II : Verhalten wie beim unendlich ausgedehnten GWL ohne Kapazitätseffekt
- Auswertbare Phasen: Phase I und II (Phase II auch nach 2.1)
- Zeitschranke : [A 1/3 bzw. A 1/4]
- Parameter : T [5/13] bei Einhaltung von [5/2; 5/3]
(S-Wert kann am Brunnen nicht bestimmt werden)

Kurve 2 ... 5 - Meßstelle GWBR in verschiedenen
Entfernungen vom Br

- Anstiegsbeginn nach PV-Ende: sofort
- Phaseneinteilung der Kurven
 - Phase I : Einflußbereich des Kapazitätseffektes
 - Phase II : Verhalten wie beim unendlich ausgedehnten
GWL ohne Kapazitätseffekt
- Auswertbare Phasen: Phase I nur sehr selten nach [5/13] aus-
wertbar, da [5/2; 5/3] kaum eingehalten
werten kann
(Phase II nach 2.1)
- Zeitschranke : [A 1/3 bzw. A 1/4]
- Parameter : T [5/13]
S [5/14; 5/9]
bei Einhaltung von [5/2; 5/3]

2.2.3. EDV-Auswertung (siehe A 1.5 und A 5.3)

Da die Auswertung von durch Kapazitätseffekt beeinflussten Kurvenverläufen recht aufwendig ist und mittels grafisch-analytischer Verfahren nur einfache PV-Schemata bearbeitet werden können, muß empfohlen werden, EDV-Auswertungsverfahren anzuwenden.

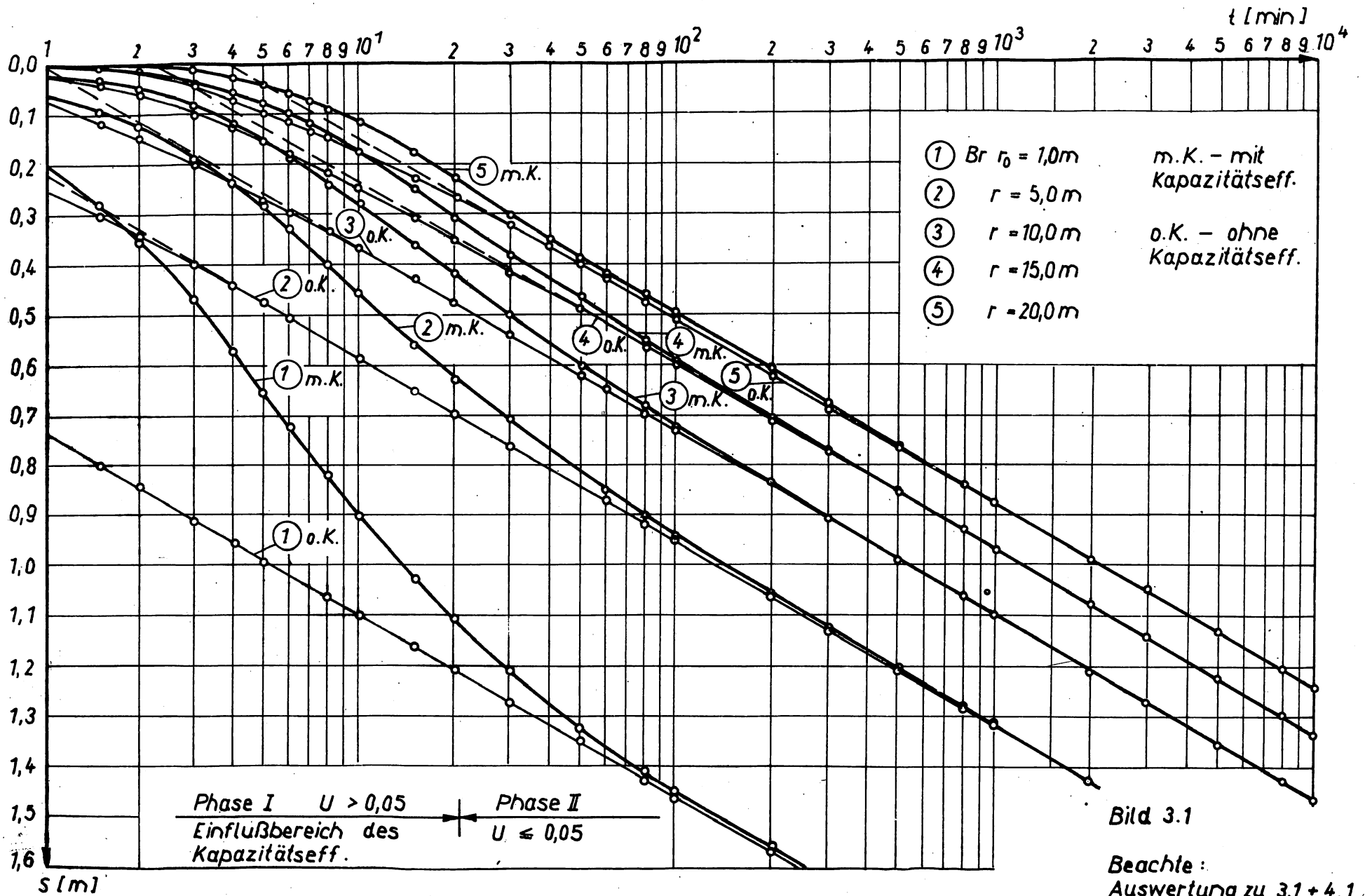
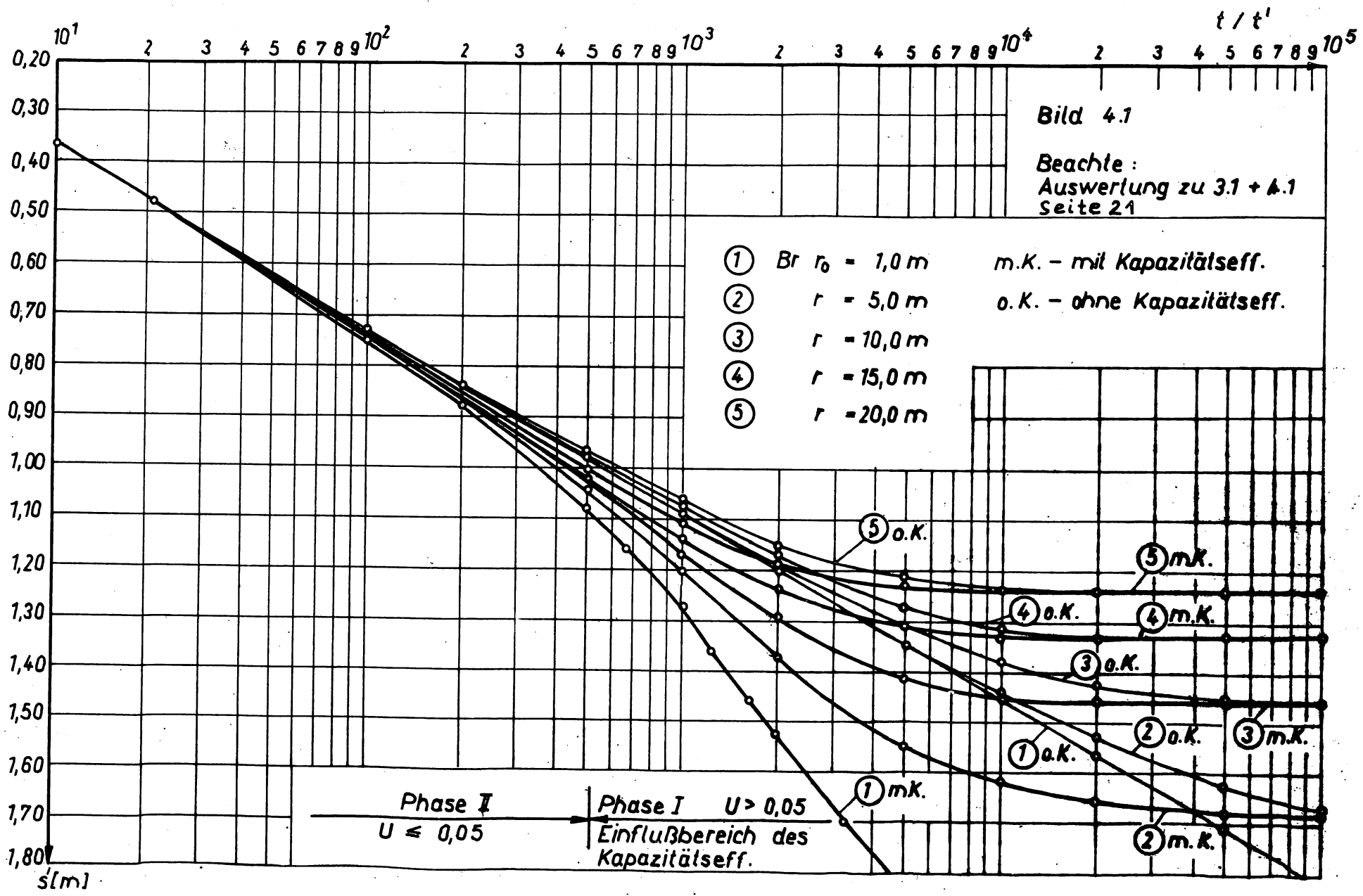


Bild 3.1

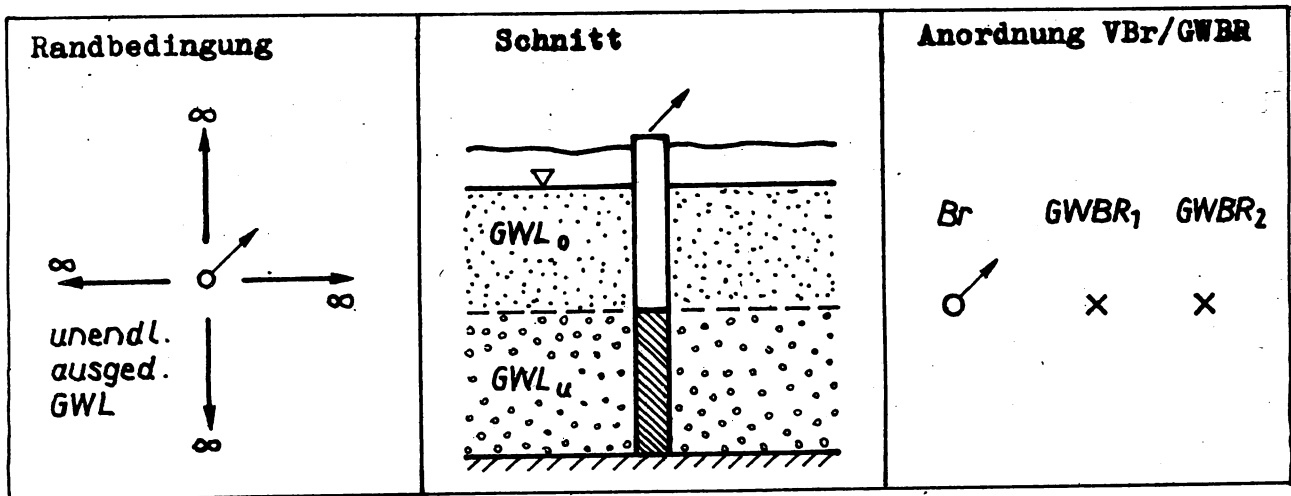
Beachte:
Auswertung zu 3.1 + 4.1,
Seite 21



2.3. Unendlich ausgedehnter halbgespannter GWL ohne Speisung

Bilder 5;5.1 (Absenkung)

6;6.1 (Wiederanstieg)



2.3.1. Auswertung der Absenkung

Halbgespanntes Grundwasser mit verzögerter Wasserabgabe der oberen schlechter durchlässigen Schicht $s = f(lgt)$

- Meßstellen

bevorzugt GWBR

- Absenkungsbeginn nach PV-Start :

da zu Beginn elastisches Regime, praktisch sofort

- Phaseneinteilung der Kurve :

1. Phase : Verhalten wie im unendlich ausgedehnten GWL ohne Speisung (elastisches Regime)

2. Phase : Verzögerte flächenhafte Speisung aus dem GWL_0

3. Phase : Verhalten wie im unendlich ausgedehnten GWL ohne Speisung (Gravitationsregime)

- Auswertbare Phasen :

alle drei Absenkungsphasen günstig

- Zeitschranken :

Beginn der 1. Phase ab $[4/2]$

Beginn der 2. Phase mit der systematischen Abweichung der Kurve nach oben

Beginn der 3. Phase mit Erreichen einer zur 1. Phase parallelen Geraden

- Ausgleichsgeraden :

In den Phasen 1 und 3 ohne Übergangsbereiche

In Phase 2 horizontaler Ausgleich des gekrümmten Kurvenbereiches

- Parameter :

- 1.Phase T, k und S_u des unteren GWL [4/5] , [4/6] , [A2/19]
 2.Phase k_y des oberen GWL [A2/22] bis [A2/25]
 3.Phase T, k des unteren GWL [4/5] , [4/6]
 S_o des oberen GWL [A2/21]

- Hinweise :

Phase 2 verläuft im allgemeinen nicht horizontal, kann aber trotzdem durch eine horizontale Gerade ausgeglichen werden.

2.3.2. Auswertung des Wiederanstiegs

Halbgespanntes Grundwasser mit verzögertem Wassereintritt in die obere schlechter durchlässige Schicht $s' = f(\lg t/t')$

- Meßstellen :

für Brunnen und GWBR möglich

- Anstiegsbeginn nach PV-Ende :

da zu Beginn elastisches Regime, praktisch sofort

- Phaseneinteilung der Kurve :

- 1.Phase : Verhalten wie im unendlich ausgedehnten GWL ohne Speisung (elastisches Regime)
 2.Phase : Verzögertes flächenhaftes Einsickern in den GWL_o
 3.Phase : Verhalten wie im unendlich ausgedehnten GWL ohne Speisung (Gravitationsregime)

- Auswertbare Phasen :

Alle drei Wiederanstiegsphasen auswertbar, häufig sind aber nur die Phasen 1 und 2 genügend gut ausgebildet.

- Zeitschranken :

Beginn der 1.Phase ab [5/19]

Beginn der 2.Phase mit der systematischen Abweichung der Kurve nach unten

Beginn der 3.Phase mit Erreichen einer zur 1.Phase parallelen Geraden

- Ausgleichsgeraden :

s. 2.3.1.

- Parameter :

1. Phase T, k des unteren GWL [5/22] , [5/23]
2. Phase k_y des oberen GWL [A2/22] bis [A2/25]
jedoch in [A2/22] t durch t' bzw. in
[A2/23] t_s durch t'_s ersetzen.
3. Phase T, k des unteren GWL [5/22] , [5/23]

- Hinweise :

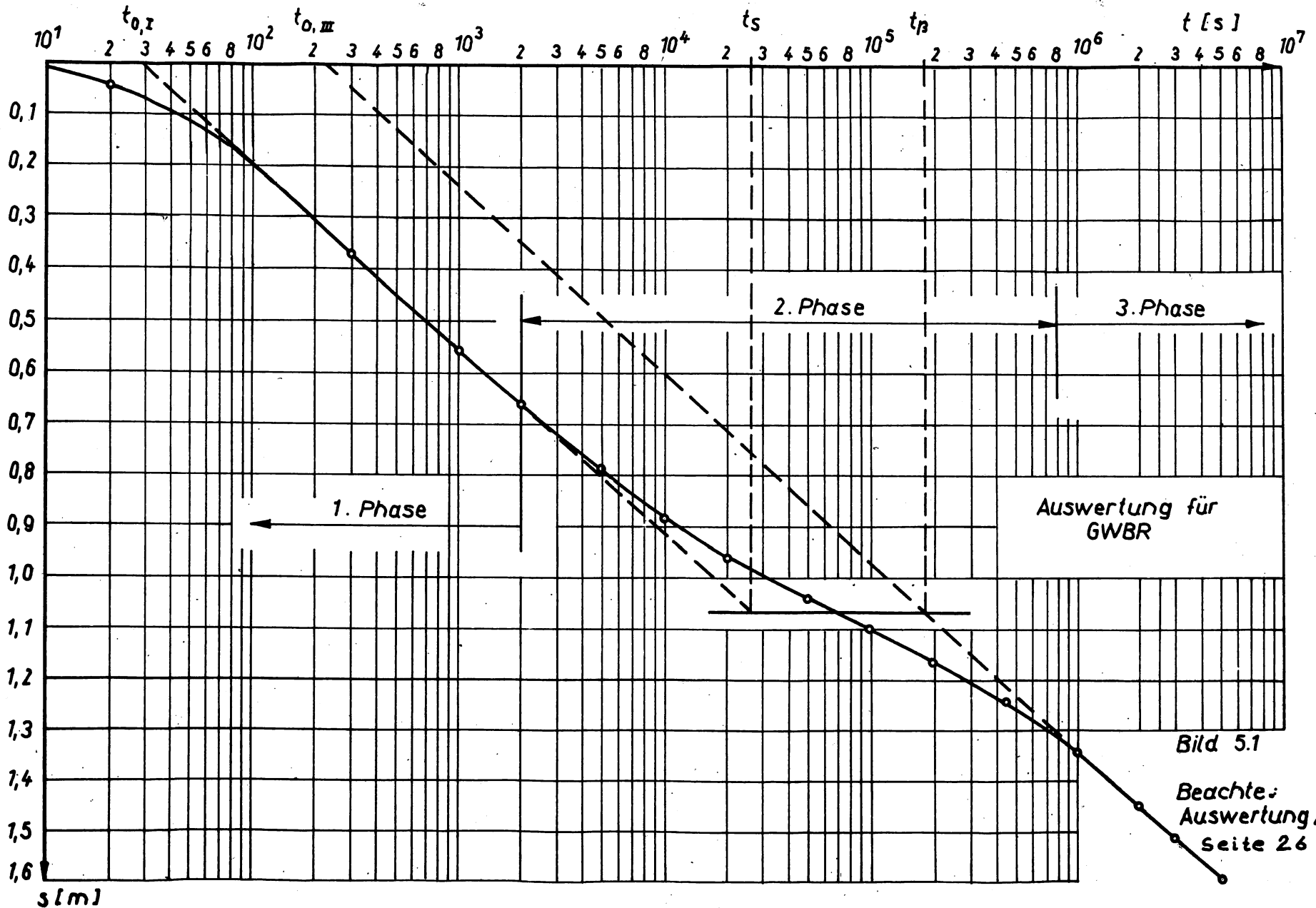
Phase 2 verläuft im allgemeinen nicht horizontal, kann aber trotzdem durch eine horizontale Gerade ausgeglichen werden. Die Werte S_u und S_o sind nicht bestimmbar.

2.3.3. EDV-Auswertung (s.A5)

s.Z. nicht für alle drei Phasen möglich. Phase 1 und Phase 3 getrennt nach PSUX und PVA 1 auswertbar.

Als Ergebnisse erhält man:

1. Phase T, k und S_u des unteren GWL
2. Phase T, k des unteren GWL
S_o des oberen GWL



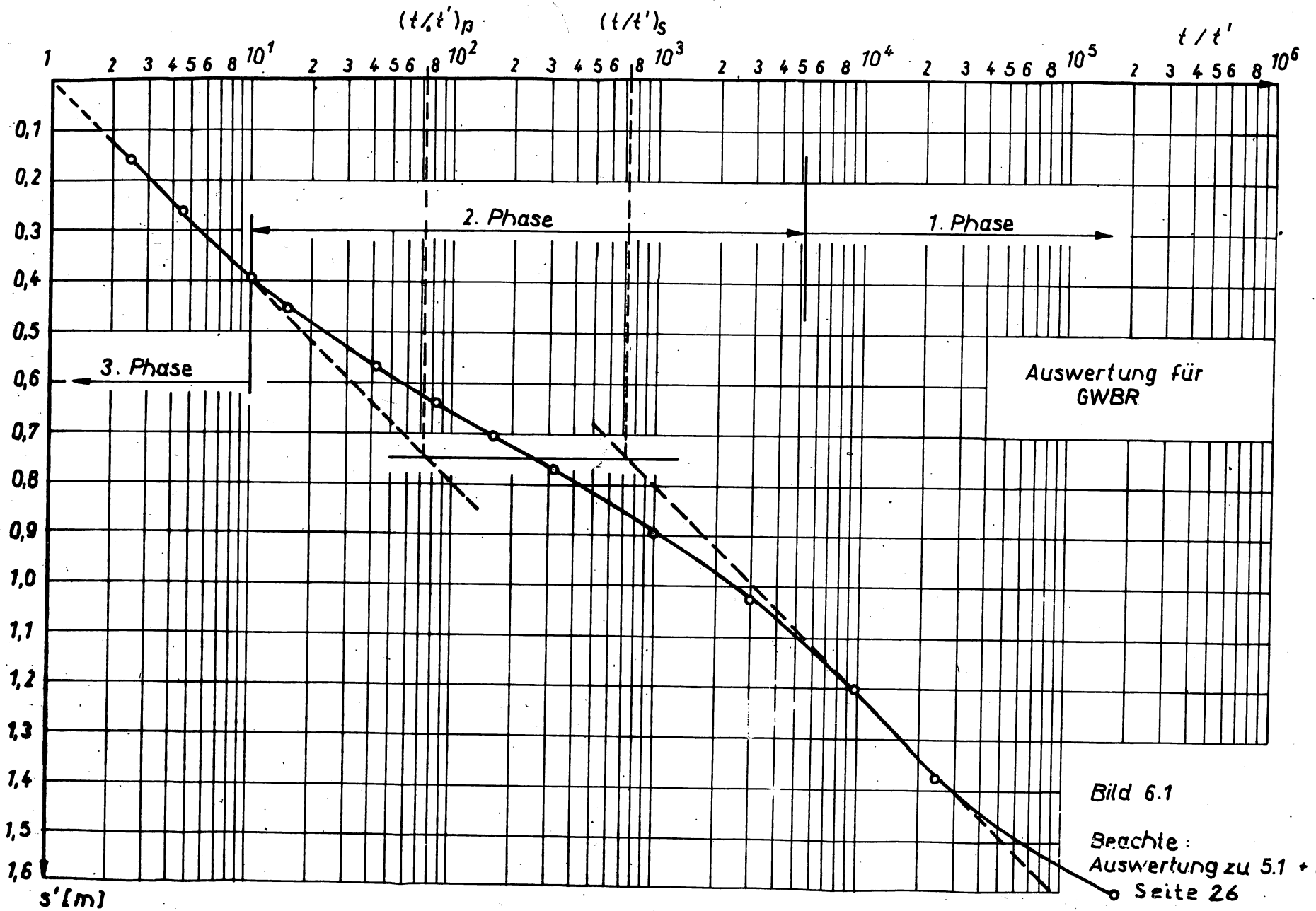
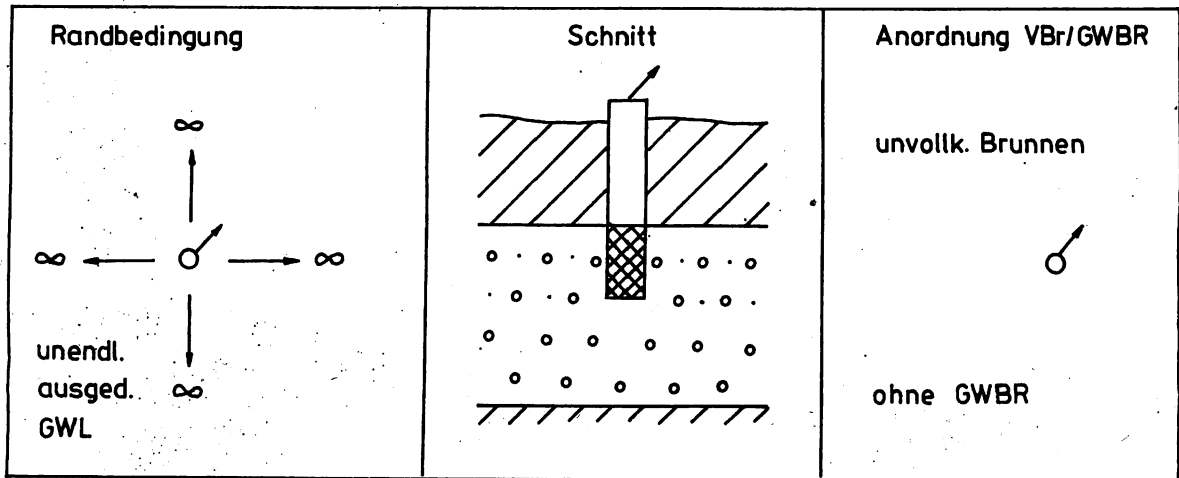


Bild 6.1

Beachte:
Auswertung zu 5.1 + 6.1
Seite 26

2.4. Unendlich ausgedehnter GWL mit nicht-stationärer Unvollkommenheit des Brunnens

Bilder 7; 7.1 (Absenkung); 8; 8.1. (Wiederanstieg)



2.4.1. Auswertung der Absenkung

Der unvollkommene Brunnenausbau bewirkt, daß die Absenkungskurve am Anfang eine Krümmung aufweist, die aus dem instationären Anteil der spezifischen Potentialdifferenz \mathcal{P}_1 resultiert:

$$s = f(\lg t, \mathcal{P}_1)$$

- Meßstelle: Brunnen
- Absenkungsbeginn nach PV-Start: sofort
- Phaseneinteilung der Kurve:
 1. Phase: Absenkungsvorgang ist durch die nicht-stationäre Wirkung des unvollkommenen Brunnens beeinflusst.
 2. Phase: Absenkungsvorgang ist nur noch durch die stationäre Wirkung des unvollkommenen Brunnens beeinflusst.
- Auswertbare Phasen:
 1. Phase - aufwendiges Verfahren nach Anlage A3
 2. Phase - günstiges Verfahren entsprechend Pkt. 2.1

- Zeitschranken: Beginn der 1. Phase ab $[4/2]$.
Im Brunnen praktisch sofort
Beginn der 2. Phase bei Übergang in
geradlinigen Absenkungsverlauf
- Ausgleichsgeraden: In 1. Phase nach Berechnung von t^*
analog Bild A3/15
In Phase 2 ohne Einschränkungen
- Parameter : 1. Phase: T, k nach $[4/5]$; $[4/6]$ mit α_{t^*}
nach Bild A3/15
2. Phase: T, k nach $[4/5]$; $[4/6]$
- Hinweise:
Die theoretischen Grundlagen für dieses Auswerteverfahren
sind in Anlage A 3 enthalten. Der Beginn der 2. Phase
hängt vom Grad der Unvollkommenheit ab und ist nicht
quantifizierbar. In der Regel übersteigt er 60 Minuten
nicht.
Bei beliebiger Filterlage erfolgt die Umrechnung nach
Anlage 3, Abschnitt A3.2.

2.4.2. Auswertung des Wiederanstiegs

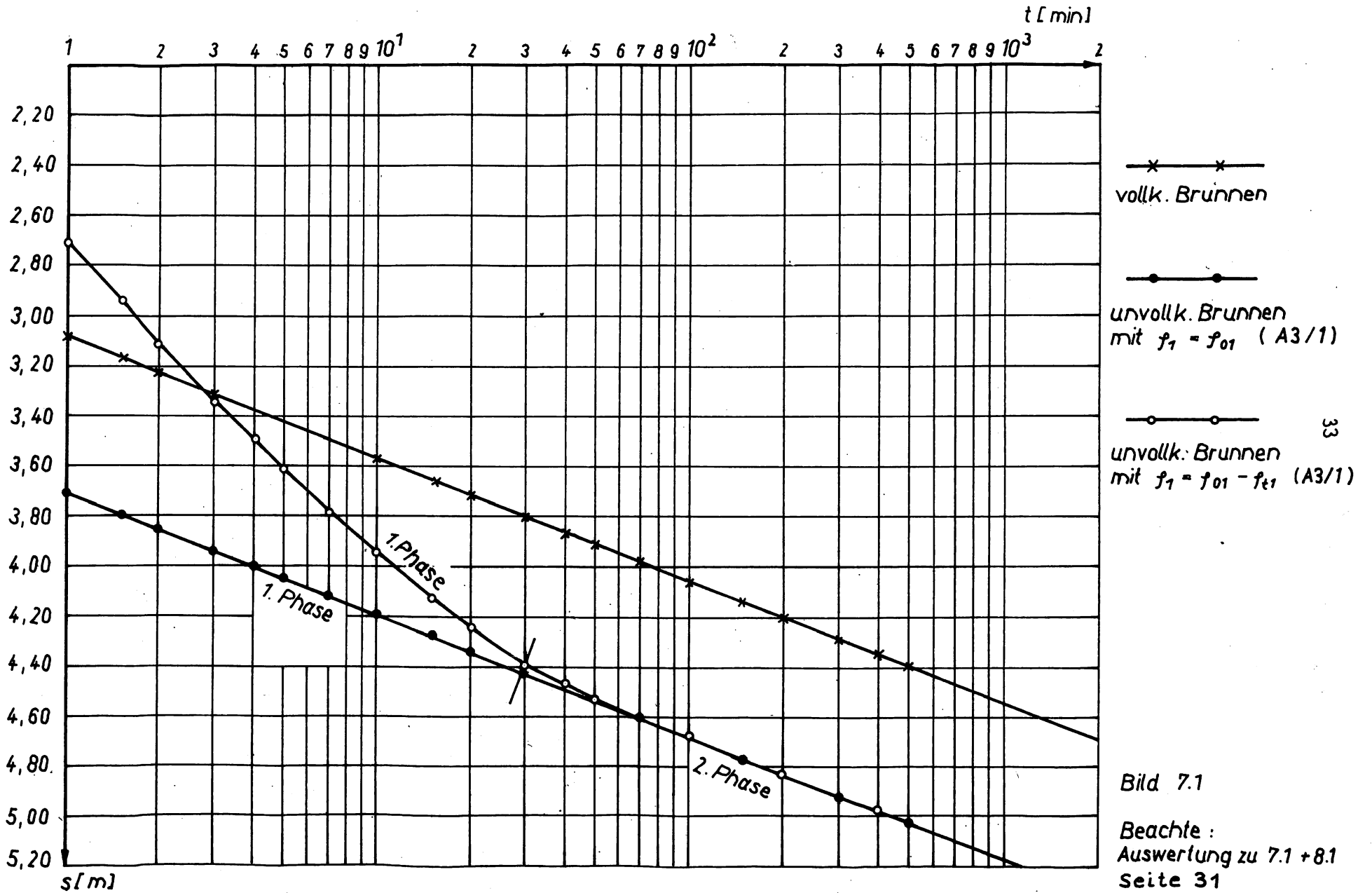
Der unvollkommene Brunnenausbau hat auf das Wiederanstiegsverhalten im Brunnen praktisch keinen Einfluß $s' = f(1gt/t')$, da im Brunnen während des Wiederanstiegs kaum Strömungsvorgänge stattfinden und somit weder der stationäre noch der nichtstationäre Teil der Unvollkommenheit wirksam werden können.

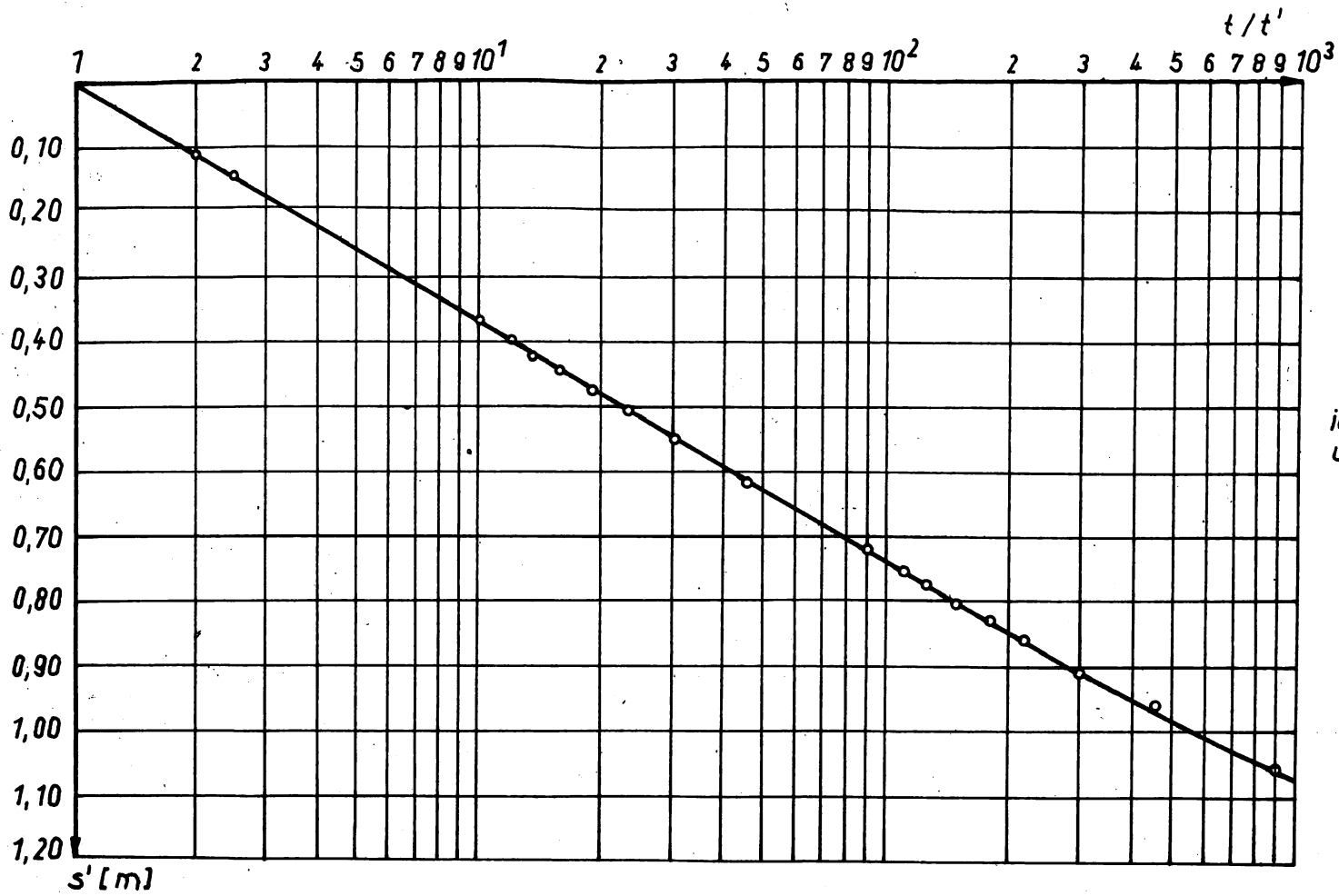
Das Wiederanstiegsverhalten ist identisch mit dem des vollkommenen Brunnens (s. Punkt 2.1).

2.4.3. EDV-Auswertung (s. A5)

Auswertung mit den Programmen PSUX und PVA 1 partiell möglich.

- Absenkung: Phase 1: nicht auswertbar
- Absenkung: Phase 2: auswertbar mit PSU2 oder PVA1, Nr. 1
- Wiederanstieg : auswertbar mit PSU2 oder PVA1, Nr. 1





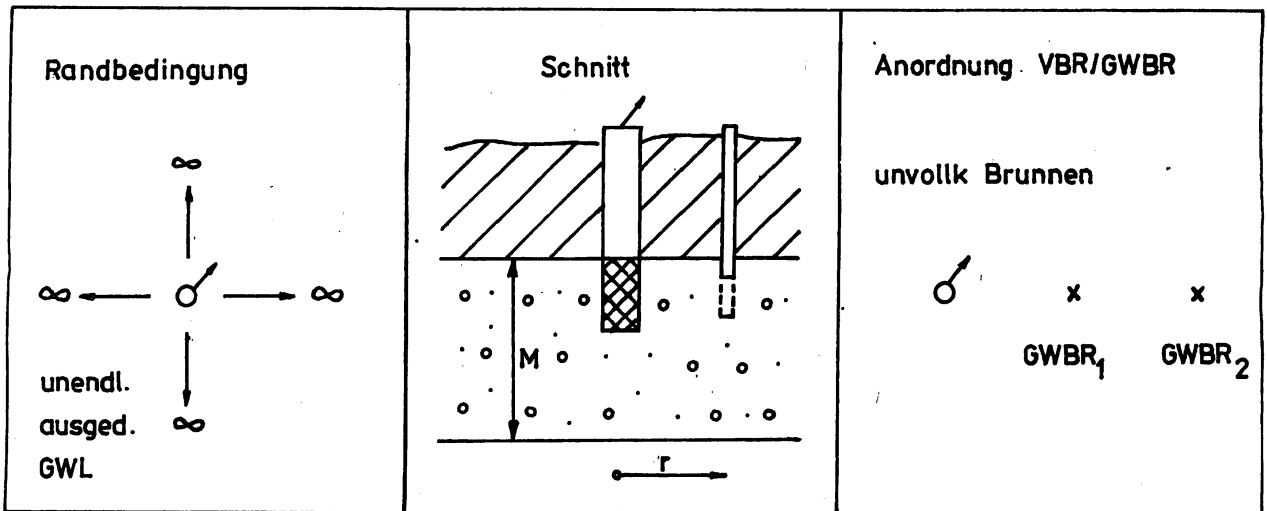
—○—○—○—
 identisch für vollk. Brunnen
 und unvollk. Brunnen

Bild 8.1

Beachte:
 Auswertung zu 7.1 + 8.1
 Seite 31

2.5. Unendlich ausgedehnter GWL mit stationärer Unvollkommenheit des Brunnens

Bilder 9; 9.1 (Absenkung) 10; 10.1 (Wiederanstieg)



2.5.1. Auswertung der Absenkung

Der unvollkommene Brunnenausbau verursacht im Brunnen eine zusätzliche Absenkung. Die nichtstationäre Phase der Unvollkommenheit soll im Gegensatz zum Punkt 2.4. so kurz sein, daß sie in die Auswertung nicht mit einbezogen werden muß. GWBR im Bereich $r_0 < r \leq M$ (bzw. H) haben je nach Filterlage eine konstante positive oder negative Potentialdifferenz. GWBR im Bereich $r > M$ (bzw. H) sind von der Unvollkommenheit des Brunnens unbeeinflusst.

Kurve 1 - Meßstelle Brunnen

- Absenkungsbeginn nach PV-Start: sofort
- Phaseneinteilung der Kurve:
 - keine Ausbildung von Phasen, Absenkung ist durch den unvollkommenen Brunnen um einen konstanten Betrag größer oder kleiner als im vollkommenen Brunnen.
- Auswertbare Phasen:
 - Auswertung entsprechend Pkt. 2.1

- Zeitschranken:
Beginn ab [4/2] , im Brunnen praktisch sofort
- Ausgleichsgeraden:
praktisch ohne Einschränkungen
- Parameter: T, k nach [4/5] , [4/6]
- Hinweise:
Der Speicherkoeffizient sollte aus den Brunnenmeß-
daten nicht ermittelt werden.

Kurve 2 - Meßstelle GWBR im Bereich $r_0 < r < M$ (bzw. H)

- Absenkungsbeginn nach PV-Start:
nahe dem Brunnen, sehr schnell
- Phaseneinteilung der Kurve:
 1. Phase: gekrümmter Verlauf, da [8/2] nicht erfüllt.
Von Unvollkommenheit beeinflusst
 2. Phase: geradliniger Verlauf, da [8/2] eingehalten.
Von Unvollkommenheit beeinflusst
- Auswertbare Phasen:
 1. Phase: bedingt auswertbar, entsprechend Verfahren nach
Pkt. 2.1.1, da Fehleranfälligkeit sehr groß
 2. Phase: gut auswertbar mit Korrektur um Δs , entsprechend
[8/Bild 2] und [8/8]
- Zeitschranken:
Beginn der 1. Phase mit der ersten meßbaren Absenkung;
Beginn der 2. Phase bei Übergang in geradlinigen
Absenkungsverlauf unter Beachtung von [8/2] und [8/3]
- Ausgleichsgeraden:
2. Phase: ohne Einschränkung
- Parameter:
 1. Phase: T, k nach [4/21] , [4/22] (bedingt)
 2. Phase: T, k nach [8/6] , [8/7]
S nach [8/10]
- Hinweise:
Die Auswertung der 2. Phase ist der der 1. Phase vorzuziehen

Kurve 3 - Meßstelle GWBR im Bereich $r > M$ (bzw. H)

Die Absenkung ist von der Unvollkommenheit des Brunnens unbeeinflusst und nach Punkt 2.1.1. auswertbar.

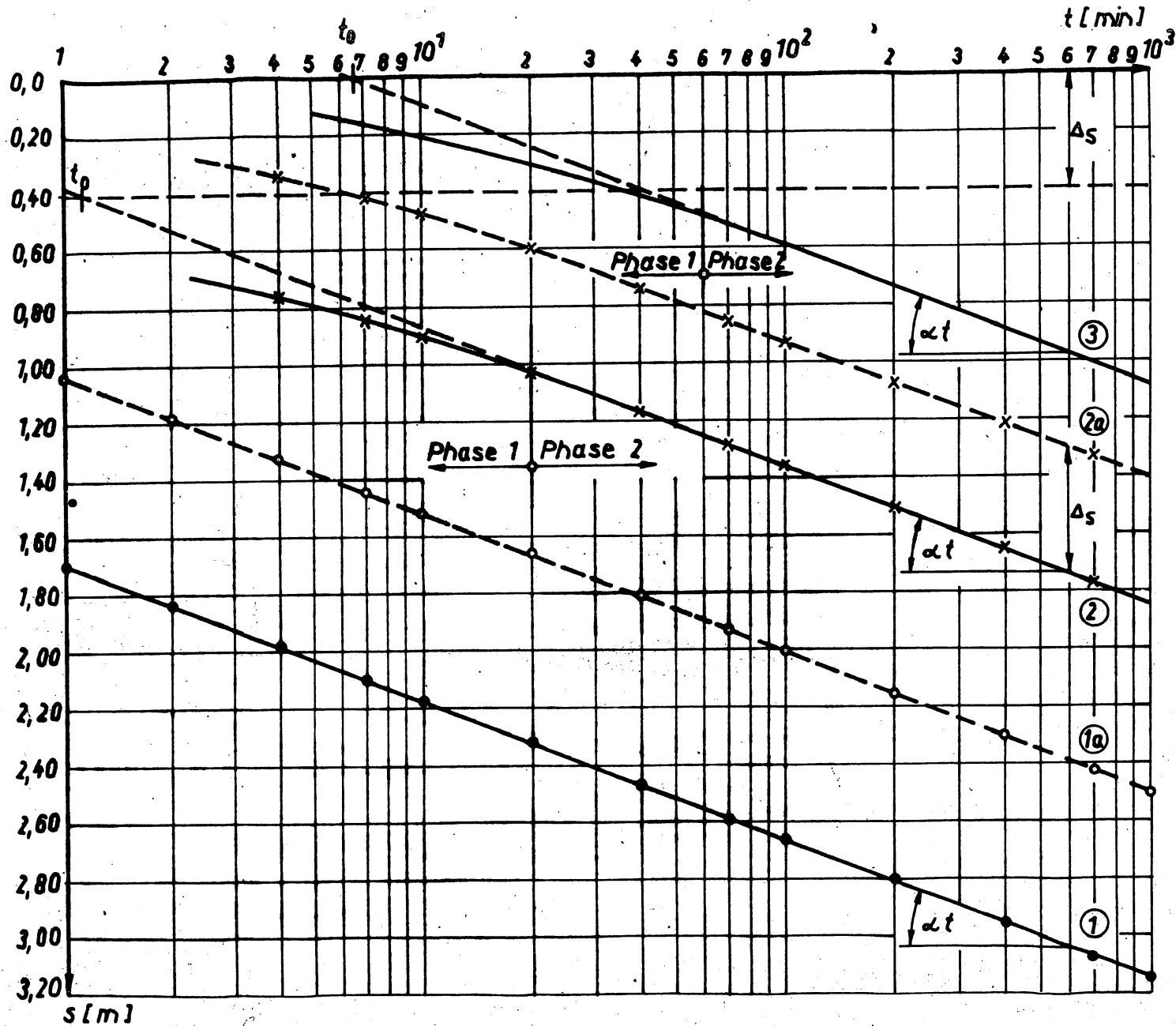
2.5.2. Auswertung des Wiederanstiegs

Der unvollkommene Brunnenausbau hat auf das Wiederanstiegsverhalten im Brunnen praktisch keinen und im brunnennahen Bereich geringen Einfluß $s' = f(lgt/t')$, da dort während des Wiederanstiegs kaum Strömungsvorgänge stattfinden und somit weder der stationäre noch der nichtstationäre Teil der Unvollkommenheit wirksam werden kann. Das Wiederanstiegsverhalten ist identisch mit dem des vollkommenen Brunnens (s. Punkt 2.1.2).

2.5.3. EDV-Auswertung (s. A 5)

Auswertung mit den Programmen PSUX und PVA 1 ist möglich.

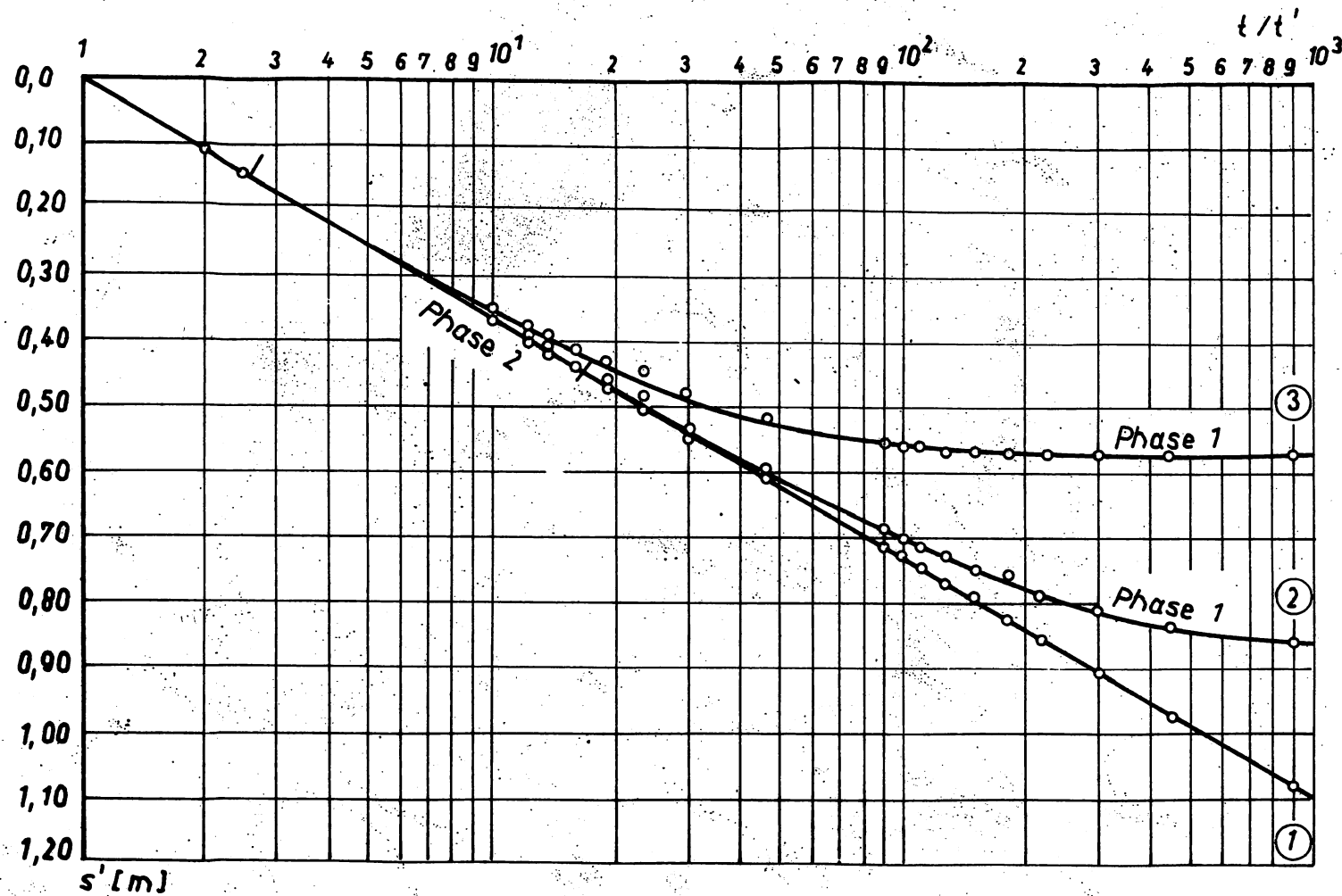
Absenkung, $r > M$:	auswertbar mit PSU 2 oder PVA 1, Nr. 1
Absenkung $r_0 < r < M$:	auswertbar mit PSU 2 oder PVA1, Nr. 1, jedoch mit den nach [8/8] um Δs korrigierten Werten
Wiederanstieg:	auswertbar mit PSU 2 oder PVA1, Nr. 1



- ① unvollk. Brunnen mit $f_1 = f_{01}$ ($A3/1$)
- ①a vollk. Brunnen
- ② GWBR bei unvollk. Br. mit $f_1 = f_{01}$ ($A3/1$) u. $r < M$
- ②a GWBR bei vollk. Brunnen
- ③ GWBR bei vollk. und unvollk. Brunnen und $r > M$

Bild 9.1

Beachte :
Auswertung zu 9.1 + 10.1
Seite 35



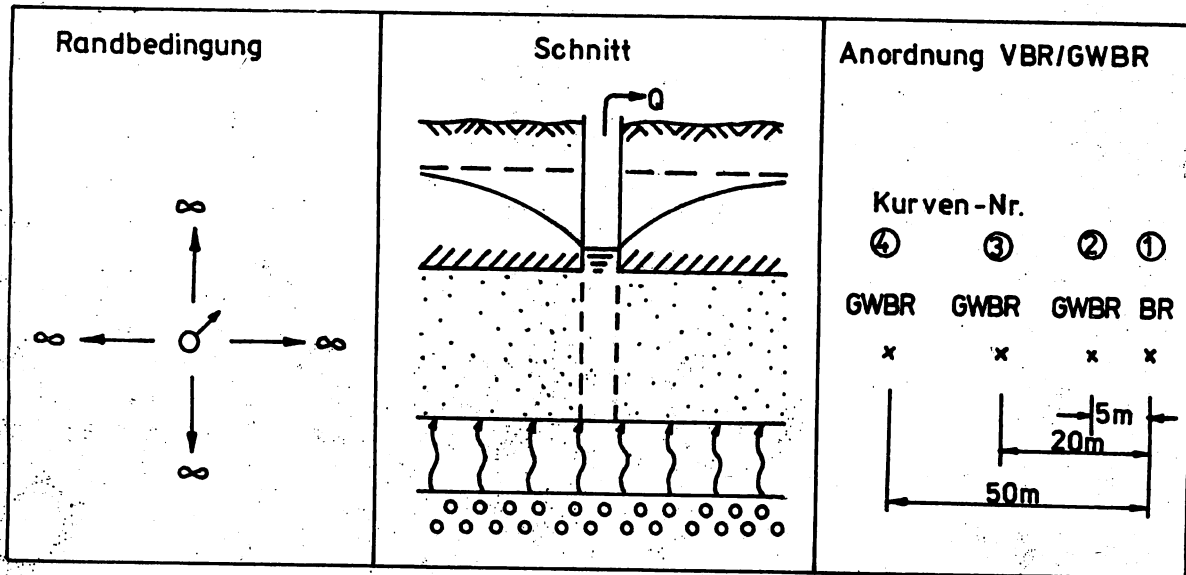
- ① $r = r_0$
- ② $r_0 < r < M$
- ③ $r \geq M$

Bild 10.1

Beachte :
Auswertung zu 9.1 + 10.1
Seite 35

2.6. Unendlich ausgedehnter GWL mit Speisung aus liegenden oder/und hangenden Schichten

Bilder 11.; 11.1 (Absenkung) 12.; 12.1 (Wiederanstieg)



2.6.1. Auswertung der Absenkung

Nach Auftreten einer Potentialdifferenz im GWL kommt es zu einer Speisung aus den benachbarten Schichten.

Bei entsprechend großer Speisungsrate tritt ein stationärer Absenkungsvorgang ein.

In A 4 wird eine Beschreibung der wichtigsten Auswertungsverfahren gegeben.

Kurve 1 - Meßstelle Brunnen - vollkommen ausgebaut

- Absenkungsbeginn nach PV-Start: sofort
- Phaseneinteilung der Kurve:

Phase I : Verhalten wie beim unendlich ausgedehnten GWL ohne Speisung

Phase II : Speisung des GWL; nichtlinearer Absenkungsverlauf

Phase III : Speisung des GWL; stationärer Absenkungsvorgang

- Auswertbare Phasen: Phase I, II und III (Phase I auch nach 2.1)

- Zeitschranken : [A 4/6; A 4/7; A 4/10]

- Parameter : T [A 4/12; 6/4]

B [A 4/14; 6/6] (Phase III)

(S-Wert kann an Br nicht bestimmt werden)

Kurven 2 ... 4 - Meßstelle: GWBR in verschiedenen Entfernungen
vom Br

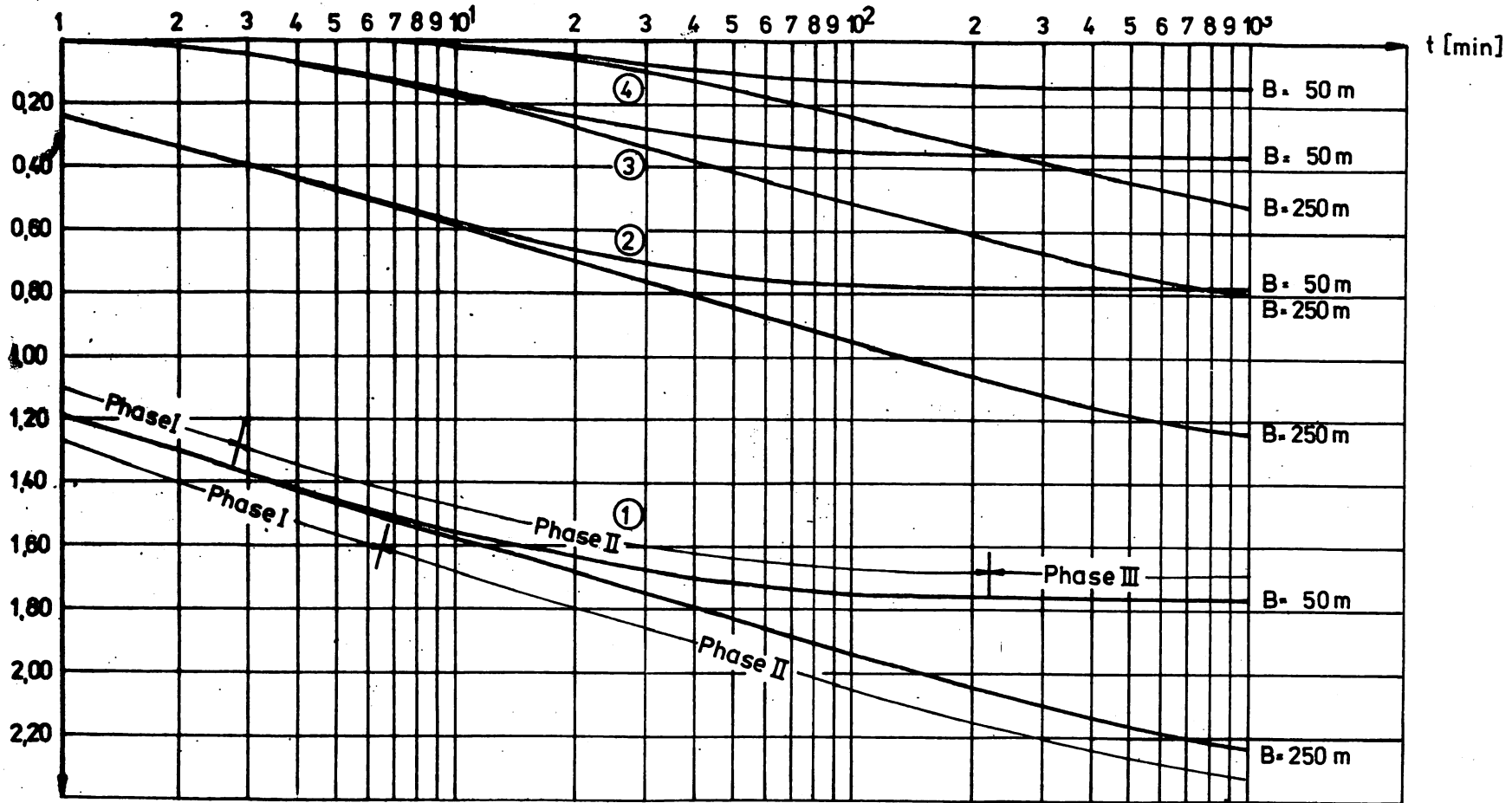
- Absenkungsbeginn nach PV-Start: sofort
- Phaseneinteilung der Kurven: analog Kurve 1
- Auswertbare Phasen: Phase I, II und III (Phase I auch nach 2.1)
- Zeitschranken : [A 4/6; A 4/7; A 4/10]
- Parameter : T [A 4/12; 6/4]
B [A 4/14; 6/6] (Phase III)
S [A 4/ 13]

2.6.2. Auswertung des Anstieges

Da die Auswertung des Anstieges mittels grafisch-analytischer Verfahren sehr aufwendig ist, wird empfohlen, die entsprechenden EDV-Verfahren einzusetzen.

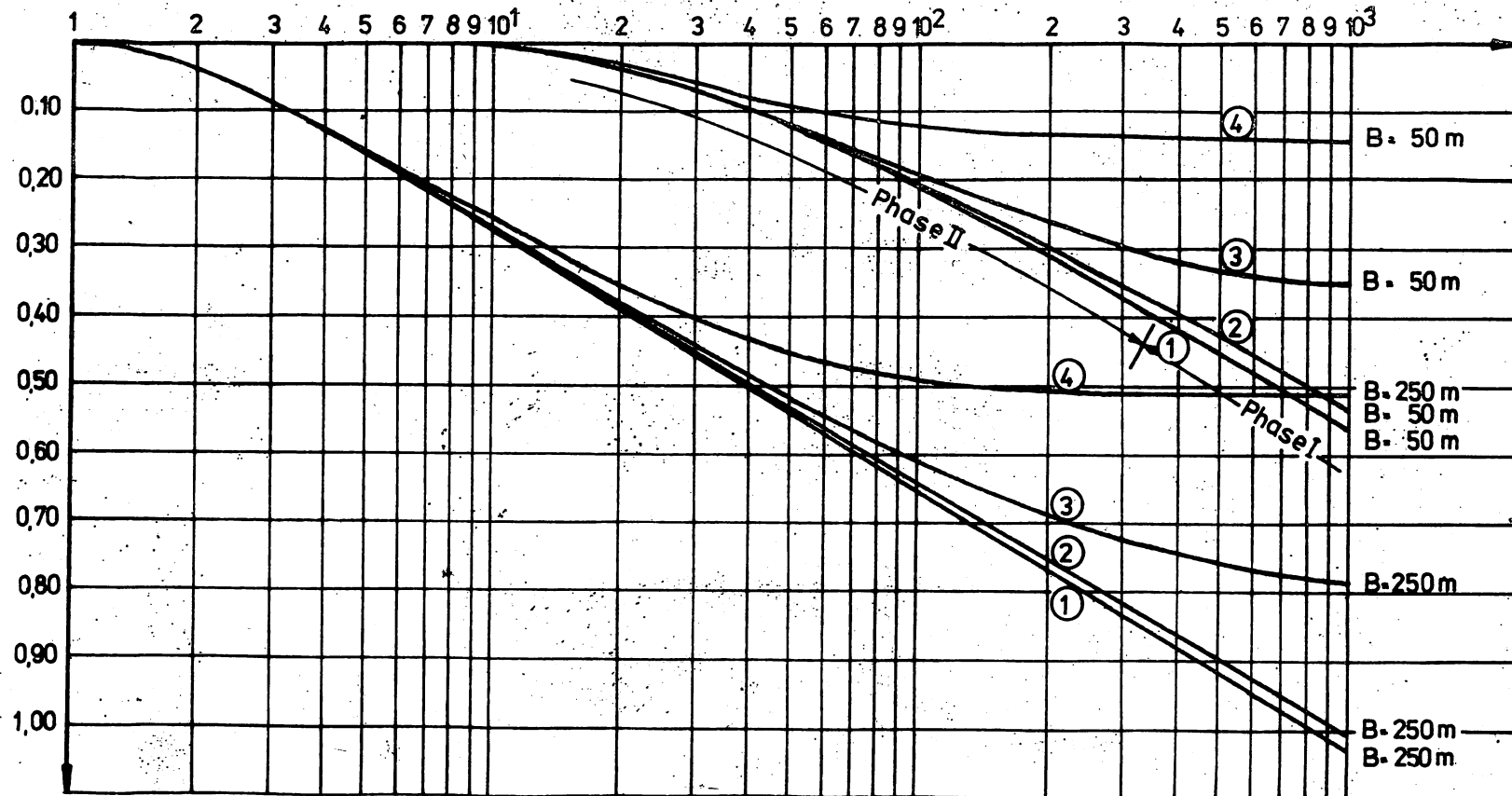
2.6.3. EDV-Auswertung (siehe A 5)

Zur Auswertung des Absenkungs- und des Anstiegsverlaufes können die Programme PSU 5 und PVA 1 (lfd.-Nr. 2) eingesetzt werden.



- | | | | | |
|---|----|----------------|---|------------|
| ① | Br | $r_0 = 0,25$ m | ③ | $r = 20$ m |
| ② | | $r = 5,0$ m | ④ | $r = 50$ m |

Bild 11.1
 Beachte:
 Auswertung zu 11.1 u. 12.1
 Seite 40



s'
[m]

- | | | | | |
|---|----|----------------------|---|------------------|
| ① | Br | $r_0 = 0,25\text{m}$ | ③ | $r = 20\text{m}$ |
| ② | | $r = 5,0\text{m}$ | ④ | $r = 50\text{m}$ |

Bild 12.1
Beachte:
Auswertung zu 11.1 u. 12.1
Seite 40