



DECKBLATT

EU 027	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
	N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
	9K	3194		GE	RB	0004	00

Titel der Unterlage: Hydrogeologie Konrad: Hydraulische Festarbeiten in der Bohrung K 101, Tgb.Nr. 11 586/85	Seite: I.
	Stand: 15.11.85
Ersteller: BGR	Textnummer:

Stempelfeld:

PSP-Element TP..9K/212235	zu Plan-Kapitel: 3.1.9.6				
	<table border="1"> <tr> <td>PL</td> <td>PL</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </table>	PL	PL		
PL	PL				

Diese Unterlage unterliegt samt Inhalt dem Schutz des Urheberrechts sowie der Pflicht zur vertraulichen Behandlung auch bei Beförderung und Vernichtung und darf vom Empfänger nur auftragsbezogen genutzt, vervielfältigt und Dritten zugänglich gemacht werden. Eine andere Verwendung und Weitergabe bedarf der ausdrücklichen Zustimmung der PTB.

Revisionsblatt



EU 027	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
	N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
	9K	3194		GE	RB	0004	00

Titel der Unterlage: Hydrogeologie Konrad: Hydraulische Testarbeiten in der Bohrung K 101, Tgb.Nr. 11 586/85	Seite: II.
	Stand: 15.11.85

Rev.	Revisionsst. Datum	verant. Stelle	Gegenzeichn. Name	rev. Seite	Kat. *)	Erläuterung der Revision

*) Kategorie R = redaktionelle Korrektur
 Kategorie V = verdeutlichende Verbesserung
 Kategorie S = substantielle Änderung
 Mindestens bei der Kategorie S müssen Erläuterungen angegeben werden.

(27)

**Bundesanstalt
für
Geowissenschaften
und Rohstoffe**



Hydrogeologie KONRAD

Hydraulische Testarbeiten in der

Bohrung Konrad 101

BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE

HANNOVER

Hydraulische Testarbeiten in der Bohrung Konrad 101

Sachbearbeiter:

Datum : 15. November 1985
Archiv-Nr. : 98 403
Tagebuch-Nr. : 11 586/85
TK 25 : 3828

Inhaltsverzeichnis

	<u>Seite</u>
0. Zusammenfassung	1
1. Konzeption und technischer Ablauf der Bohrung	3
2. Testverfahren	5
2.1 Pumpversuche	5
2.2 Packertests	6
3. Datenanalyse	11
4. Ergebnisse der hydraulischen Tests	16
4.1 Oberkreide	16
4.2 Unterkreide	29
4.3 Malm	36
4.4 Dogger	49
5. Zusammenfassung der Testergebnisse	57
Literaturverzeichnis	59
Anhang	61

Verzeichnis der Abbildungen

		<u>Seite</u>
Abb. Nr.		
1	Lage der Bohrung Konrad 101	2
2	Ablauf der Bohr- und Testarbeiten in der Bohrung Konrad 101	4
3	Prinzipskizze der Bohrloch-Testgarnitur	7
4	Erläuterung der Meßgrößen beim slug withdrawal Test	13
5	Typkurvenscharen nach PAPADOPULOS	14
6	Bohr- und Verrohrungsschema; Pumpversuch I	17
7	Zeit-Absenkungsdiagramm; Pumpversuch I	18
8	Druck-Zeit-Diagramm; Pumpversuch II	23
9	Untersuchung der Kluftzone im Unteren Korallenoolith; Auffüllversuch	44
10	Untersuchung der Kluftzone im Unteren Korallenoolith; Auswertung des Auffüllversuches	45
11	Gesteinsdurchlässigkeiten und statische Drucke in der Bohrung Konrad 101	56

Verzeichnis der Tabellen

Tab. Nr.		<u>Seite</u>
1	Chemische Wasseranalyse; Pumpversuch I	21
2	Chemische Wasseranalyse; Pumpversuch II	24
3	Ergebnisse der Bohrlochtests in der Bohrung Konrad 101	55

Anlage 1

Übersichtsprofil der Bohrung Konrad 101

0. Zusammenfassung

Im Rahmen der Eignungsuntersuchungen der Schachtanlage Konrad als Endlagerbergwerk wurde die Bohrung Konrad 101 mit dem Ziel niedergebracht, ein vollständig gekerntes geologisches Profil durch das Deckgebirge bis ins Liegende des Endlagers zu erhalten.

Durch Serien von Packer- und Pumptesten in der 1001,75 m tiefen Bohrung konnten darüber hinaus belastbare hydraulische Parameter von fast dem gesamten durchteuften Schichtprofil gewonnen werden. Die Ergebnisse der Untersuchungen an der Bohrung lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Plänerkalke haben verhältnismäßig geringe Durchlässigkeiten (K_f -Werte) von 10^{-7} m/s.
- Cenoman-Kalkmergel und Flammenmergel sind Nichtleiter mit K_f -Werten von kleiner 10^{-11} m/s.
- Die Ton- und Mergelsteine der Unterkreide als wichtigste Barrieregesteine besitzen generell Durchlässigkeiten von weniger als 10^{-11} m/s; ebenso die Tonmergelsteine des Jura.
- Der 2,7 m mächtige Hilssandstein hat eine Durchlässigkeit von 10^{-5} m/s.
- Die im Korallenoolith ermittelten Durchlässigkeiten liegen zwischen $5 \cdot 10^{-9}$ bis kleiner 10^{-11} m/s. An der Basis des Korallenoolith wurde eine Kluftzone mit einer Durchlässigkeit von 10^{-4} m/s angetroffen, in der sich ein konstanter Wasserspiegel bei 620 unter Flur einstellte. Der geringe hydrostatische Druck ist auf eine Druckabsenkung durch das nahegelegene Grubengebäude zurückzuführen.
- Die Ton- und Mergelsteine des Doggers weisen Durchlässigkeiten von weniger als 10^{-11} m/s auf; das gleiche gilt für die 28 m mächtigen Kalkfeinsandsteine des Cornbrash.

Die für die einzelnen Schichtglieder bestimmten Durchlässigkeiten stellen punktuelle Werte dar und können somit nur Anhaltspunkte für großflächige Betrachtungen sein.

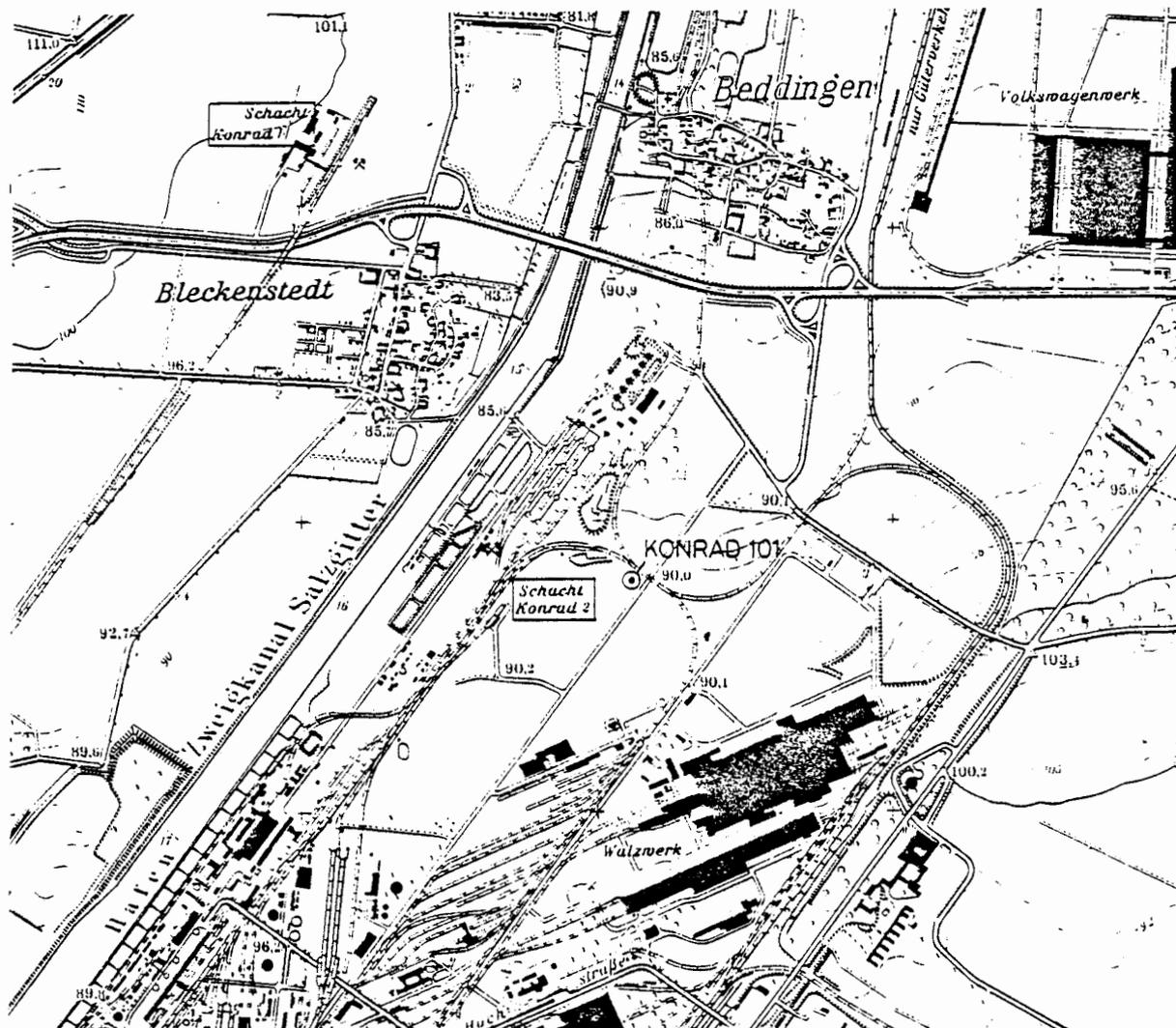


Abb.1: Lage der Bohrung KONRAD 101 (1: 25000)

1. Konzeption und technischer Ablauf der Bohrung

Die Bohrung Konrad 101 (K101) wurde im Rahmen der Eignungsuntersuchungen der Schachtanlage Konrad als Endlagerbergwerk u. a. mit dem Ziel niedergebracht, hydraulische Kenndaten für die gesamte Schichtenfolge bis ins Liegende des Cornbrash zu erhalten.

Dazu wurden hydraulische Tests durchgeführt, die im einzelnen dazu dienten,

- die Barrierewirkung der Nichtleiter, d. h. der Ton- und Mergelsteine der Unterkreide und des Jura zu quantifizieren
- die Durchlässigkeiten und Druckpotentiale der wasserleitenden bzw. potentiell wasserleitenden Horizonte zu bestimmen und
- Wasserproben für chemische Analysen, Isotopenbestimmungen und für Experimente zur Radionuklidisorption zu entnehmen.

Alle Tests sollten im unverrohrten Bohrloch vorgenommen werden, und es sollte im Rahmen der technischen Möglichkeiten ein möglichst lückenloses Profil der Gebirgsdurchlässigkeit erhalten werden.

Die Bohrung wurde ca. 500 m östlich des Schachtes Konrad 2 auf dem Gelände der Hüttenwerke Peine-Salzgitter niedergebracht (Abb. 1). Dieser Ansatzpunkt wurde gewählt, um einerseits durch seine Nähe zur Grube die Übertragbarkeit der Untersuchungsergebnisse für das geplante Endlager zu gewährleisten, andererseits aber möglichst außerhalb der Zone der Beeinflussung der Druckpotentiale in den Wasserleitern durch

das Grubengebäude zu bleiben. Bei einem weiter östlich gewählten Bohrpunkt wäre das Oxford wegen der Kappung durch die Unterkreidetransgression nicht mehr vollständig erbohrt worden.

Das Vorhandensein von quellfähigen Tonsteinen, insbesondere der Unterkreide sowie die Unkenntnis über die Druckpotentiale der Wasserleiter machten ein abschnittweises Bohren und Testen nach folgendem Schema erforderlich:

- Kernbohren des zu testenden Abschnittes,
- geophysikalisches Vermessen,
- Durchführung der hydraulischen Bohrlochtests,
- Aufbohren bis zur Unterkante des getesteten Abschnittes, Einbringen und Zementieren einer Schutzrohrtour,
- Weiterbohren und Testen im Schutz der darüberliegenden Verrohrung.

Die Bohrung Konrad 101 wurde im Zeitraum vom 6.12.1984 bis 23.5.1985 im konventionellen Kernverfahren bis zu einer Endteufe von 1001,75 m durch die Deutsche Schacht- und Tiefbohrgesellschaft (DST) niedergebracht. Technische Planung und Leitung der Bohrung wurden durch die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) als Auftraggeber an die Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH (DBE) übertragen.

Die hydraulischen Tests wurden durch die Firma Lynes GmbH, Celle, in Zusammenarbeit mit der Gartner Lee AG, Toronto, durchgeführt.

Abb. 2 gibt einen Überblick über den Ablauf der Bohr- und Testarbeiten.

Anlage 1 des Berichtes zeigt das geologische Profil sowie die stratigraphische Einordnung der Gesteine, die Position der Packertests sowie die Gamma-, SP- und Resistivity-Logs der Bohrung.

2. Testverfahren

2.1 Pumpversuche

Insgesamt wurden 4 Abpumpversuche in den wasserleitenden Horizonten durchgeführt, von denen jedoch nur der Pumpversuch im oberen Bereich der Plänerkalke (0 - 154 m Teufe) zur Transmissivitätsbestimmung herangezogen wurde, während die übrigen Pumpversuche primär der Wasserprobenahme dienten und zusätzlich zu Packertests ausgeführt wurden. Abgesehen vom Pumpversuch I in den Plänerkalken, der mit einer Tauchmotorpumpe durchgeführt wurde, kam eine Navi-Pumpe zum Einsatz. Diese Pumpe arbeitet nach dem Prinzip der Wellenpumpe. Ihr Antrieb erfolgt über das Bohrgestänge. In Verbindung mit einem Packer eingesetzt, kann mit Hilfe dieser Pumpe im unverrohrten Bohrloch aus isolierten Horizonten gefördert werden.

2.2 Packertests

Für die Packertests wurde eine von der Firma Lynes für die Erfordernisse hydraulischer Bohrlochtests entwickelte Testgarnitur eingesetzt (Lynes J-type Hydrological Test Tool), deren Aufbau in einer Prinzipskizze (Abb. 3) erläutert ist:

2 Packer von je 1 m Länge dienen zum Isolieren des Testabschnittes. Der Abstand zwischen den Packern kann durch den Einbau entsprechender Rohrtouren variiert werden. Das Gerät ist auch als Einfachpackergarnitur mit einem Packer einsetzbar. Der Einbau der Testgarnitur erfolgt an einem Rohrstrang.

Ein Ventilsystem (J-slot assembly, shut-in tool) oberhalb der Packer ermöglicht durch Dreh-, Hub- und Absenkbewegungen am Rohrstrang sowohl das Setzen und Lösen der Packer als auch das Öffnen und Schließen des shut-in tools, d. h. der Verbindung zwischen der Testzone und dem Rohrstrang. Die Packer werden mit einem Überdruck von etwa 60 bar durch Wasserinjektion gesetzt.

Die Drucke im Bohrloch werden mit Quarzkristall-Drucksensoren mit hoher Auflösung registriert. Dabei mißt P 1 den Druck im Bohrloch unterhalb des unteren Packers und ist mit diesem Abschnitt über ein dünnes Rohr verbunden. Der Druck im Testabschnitt wird über P 2 bestimmt und benötigt keine Zuleitung, da dieser Sensor unter dem shut-in tool (Schieber) angebracht ist. Den Ringraumdruck über dem oberen Packer mißt P 3 durch eine Öffnung im Rohrstrang.

Die Registrierung der Drucke oberhalb und unterhalb der Packer ermöglicht es, eine etwaige Umläufigkeit der Packer zu erkennen. Die Datenübertragung erfolgt kontinuierlich nach übertage, wobei die Meßintervalle durch entsprechende Programmierung des übertägigen Datenerfassungssystems beliebig variiert werden können.

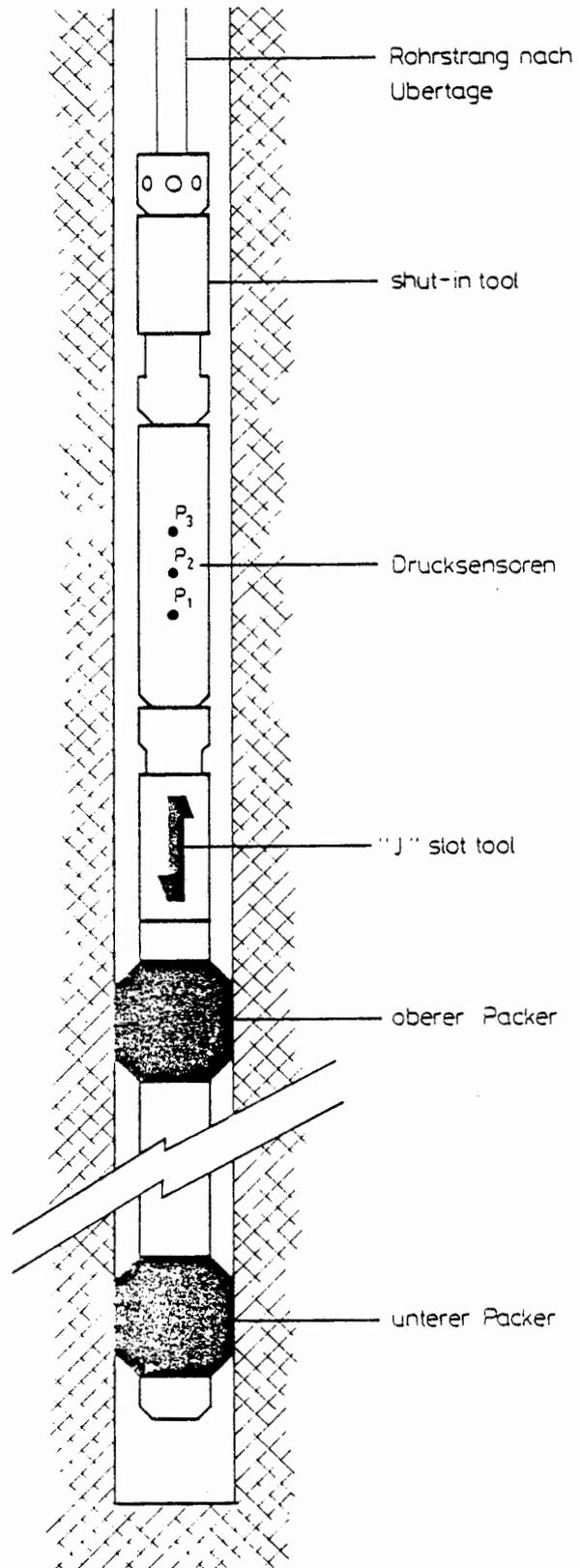


Abb 3: Prinzipskizze der Bohrloch-Testgarnitur (nicht maßstabsgerecht)

Je nach Durchlässigkeit der zu testenden Formation kommen folgende 3 Testverfahren zur Anwendung:

- a) slug Test
- b) pulse Test
- c) drill stem Test

a) slug Test

Beim slug Test wird wahlweise ein Zufluß von Formationswasser (slug withdrawal) ins Bohrloch oder eine Wasserinjektion (slug injection) in die Formation durch Absenken oder Auffüllen des Wasserspiegels im Rohrstrang erzeugt. Insbesondere, wenn vor Testbeginn kein Austausch der Bohrspülung gegen Wasser vorgenommen wird, machen sich störende Einflüsse des Filterkuchens beim slug withdrawal Test weniger stark bemerkbar als beim slug injection Test. Daher wurde in der Bohrung K 101 mit einer Ausnahme der slug withdrawal Test angewendet.

Der slug withdrawal Test läuft nach folgendem Schema ab:

- 1) Schließen des shut-in tools,
- 2) absenken des Wasserspiegels im Rohrstrang,
- 3) warten, bis sich der Wasserspiegel im Rohrstrang stabilisiert hat (ca. 1. Stunde),
- 4) öffnen des shut-in tools,
- 5) messen des Zuflusses von Formationswasser in den Testabschnitt über den Druckanstieg bis zur Beendigung des Spiegelanstieges oder bis zum Abbruch des Tests.

Während in der Erdölindustrie i. a. gegen Atmosphären-
druck, also mit leerem Rohrstrang getestet wird, wird
bei dieser Testgarnitur der Unterdruck auf 10 bis 20 bar
(1000 bis 2000 Kilopascal (kPa)) begrenzt, um eine nicht-
turbulente Anströmung zum Bohrloch zu gewährleisten und
der Gefahr des Zusammenbruchs der Formation entgegenzu-
wirken. Der geringere Unterdruck führt dazu, daß nur ein
enger begrenzter Bereich um das Bohrloch getestet wird.

b) pulse Test

Beim pulse Test werden im Gegensatz zum slug Test Druck-
aufbau- und -abbaumessungen vorgenommen, ohne daß ein
wesentlicher Volumenfluß an Wasser stattfindet. Wiederum
werden pulse withdrawal und injection Test unterschieden,
von denen in K 101 aus den vorher dargelegten Gründen der
pulse withdrawal Test zur Anwendung kam. Der technische
Ablauf dieses Tests ist wie folgt:

- 1) Schließen des shut-in tools,
- 2) absenken des Wasserspiegels im Rohrstrang,
- 3) kurzfristiges Öffnen und Schließen des shut-in tools,
- 4) messen des Druckanstieges bis zur Stabilisierung des
Druckspiegels oder bis zur Beendigung des Tests.

Der Vorteil dieses Testverfahrens liegt in dem 3 bis 4
Größenordnungen schnelleren Druckanstieg verglichen mit
dem slug Test.

Nachteile sind darin zu sehen, daß der Radius des getesteten
Bereiches noch geringer ist, und daß sich Temperaturänderungen
insofern stärker bemerkbar machen, als beispielsweise bei ei-

nem Anstieg der Temperatur im Bohrloch während des Tests ein Teil des Druckaufbaus auf die Volumenausdehnung der Flüssigkeit im Bohrloch zurückgeht.

Nähere Angaben zum Testverfahren finden sich bei BREDEHOEFT & PAPADOPULOS (1980).

c) drill stem Test

Der drill stem Test als das am weitesten verbreitete Testverfahren bei der Erdölförderung setzt sich aus einem slug withdrawal Test, gefolgt von einem pulse Test zusammen. Der technische Ablauf gestaltet sich wie folgt:

- 1) Schließen des shut-in tools,
- 2) absenken des Wasserspiegels im Rohrstrang mit anschließender Wartezeit von ca. 1 Stunde bis zur Stabilisierung des Wasserspiegels,
- 3) öffnen des shut-in tools,
- 4) registrieren des Zuflusses an Formationswasser in den Rohrstrang, bis etwa 30 % Wiederanstieg erreicht sind,
- 5) schließen des shut-in tools,
- 6) messen des Druckanstieges.

Drill stem Tests werden i. a. durchgeführt, wenn die Zuflußrate zu niedrig ist, um einen ausreichenden Wiederanstieg im vorgesehenen Zeitraum zu erreichen.

Detaillierte Angaben zum Testverfahren finden sich bei MATTEWS & RUSSELL (1967) sowie EARLHOUGHER (1977).

Der Einsatz der einzelnen Testverfahren richtet sich nach der zu erwartenden Formationsdurchlässigkeit. Slug- und drill stem Tests werden bei K_f -Werten größer $1 \cdot 10^{-10}$ m/s, pulse Tests bei niedrigeren Durchlässigkeiten eingesetzt.

3. Datenanalyse

Die Auswerteverfahren zur Bestimmung der hydraulischen Kennwerte bei Packertests basieren - ähnlich den Verfahren zur Pumpversuchsauswertung - auf Lösungsansätzen, die aus einer Analogie zwischen dem Fließen des Wassers und dem Wärmestrom hergeleitet werden.

Die Gleichung für instationäre Strömungsverhältnisse beim slug Test kann nach COOPER et al. (1967) beschrieben werden als:

$$H = (8 H_0 \alpha / \pi^2) \int_0^{\infty} e^{-\beta u^2 / a} \cdot du / u \left((u J_0(u) - 2\alpha J_1(u))^2 + (u Y_0(u) - 2\alpha Y_1(u))^2 \right) \quad (1)$$

mit:

$$\alpha = \frac{r_s^2 S}{r_c^2} \quad (2)$$

$$\beta = \frac{T \cdot t}{r_c^2} \quad (3)$$

- und
- H = Druckspiegel zum Zeitpunkt t
 - H_0 = Druckspiegel zu Beginn des Tests
 - t = Zeitdauer seit Beginn des Tests
 - r_s = effektiver Bohrlochdurchmesser
 - r_c = Durchmesser des Rohrstranges oberhalb des Packers
 - T = Transmissivität
 - S = Speicherkoeffizient

$J_0(u)$, $J_1(u)$, $Y_0(u)$ und $Y_1(u)$ sind Bessel-Funktionen nullter und erster Ordnung der ersten und zweiten Art.

Ausgehend von Gl. (1) wurden Typkurvenscharen (H/H_0 gegen β für verschiedene α -Werte) veröffentlicht (COOPER et al. 1967, PAPADOPULOS et al. 1973) (Abb. 4 u. 5). Durch Vergleich dieser Typkurven mit den Meßkurven kann eine Auswertung ähnlich dem Theis'schen Typkurvenverfahren vorgenommen werden.

Von der Firma Gartner Lee wurden 2 weitere Typkurvenscharen auf der Basis der veröffentlichten Daten für die Wertepaare H/H_0 und β bzw. $1 - H/H_0$ und β im doppelt logarithmischen Maßstab erstellt. Die Auswertung erfolgt ebenfalls durch Vergleich der Typkurven mit den Meßkurven ($\log /P_2 - P_0/$ gegen $\log t$ bzw. $\log /P_2 - P_1/$ gegen $\log t$).

Die Lösungsverfahren des pulse Tests gleichen weitgehend denen des slug Tests. Die mathematische Beschreibung der Druckanstieg-Zeit-Beziehung unterscheidet sich von Gl. (1) nur in der Definition von α und β (BREDEHOEFT & PAPADOPULOS 1980):

$$\alpha = \frac{S}{c \cdot \rho \cdot g \cdot L} \quad (4)$$

$$\beta = \frac{T \cdot t}{c \cdot \rho \cdot g \cdot r_{s2}^2} \quad (5)$$

c = Kompressibilität des Wassers

ρ = Dichte des Wassers

g = Erdbeschleunigungskonstante

L = Länge des getesteten Abschnittes

Die Typkurven beider Verfahren sind identisch. Unterschiede ergeben sich insofern, als die α -Werte des pulse Tests bei vergleichbaren T - und S -Werten um 3 bis 4 Größenordnungen größer als beim slug Test sind.

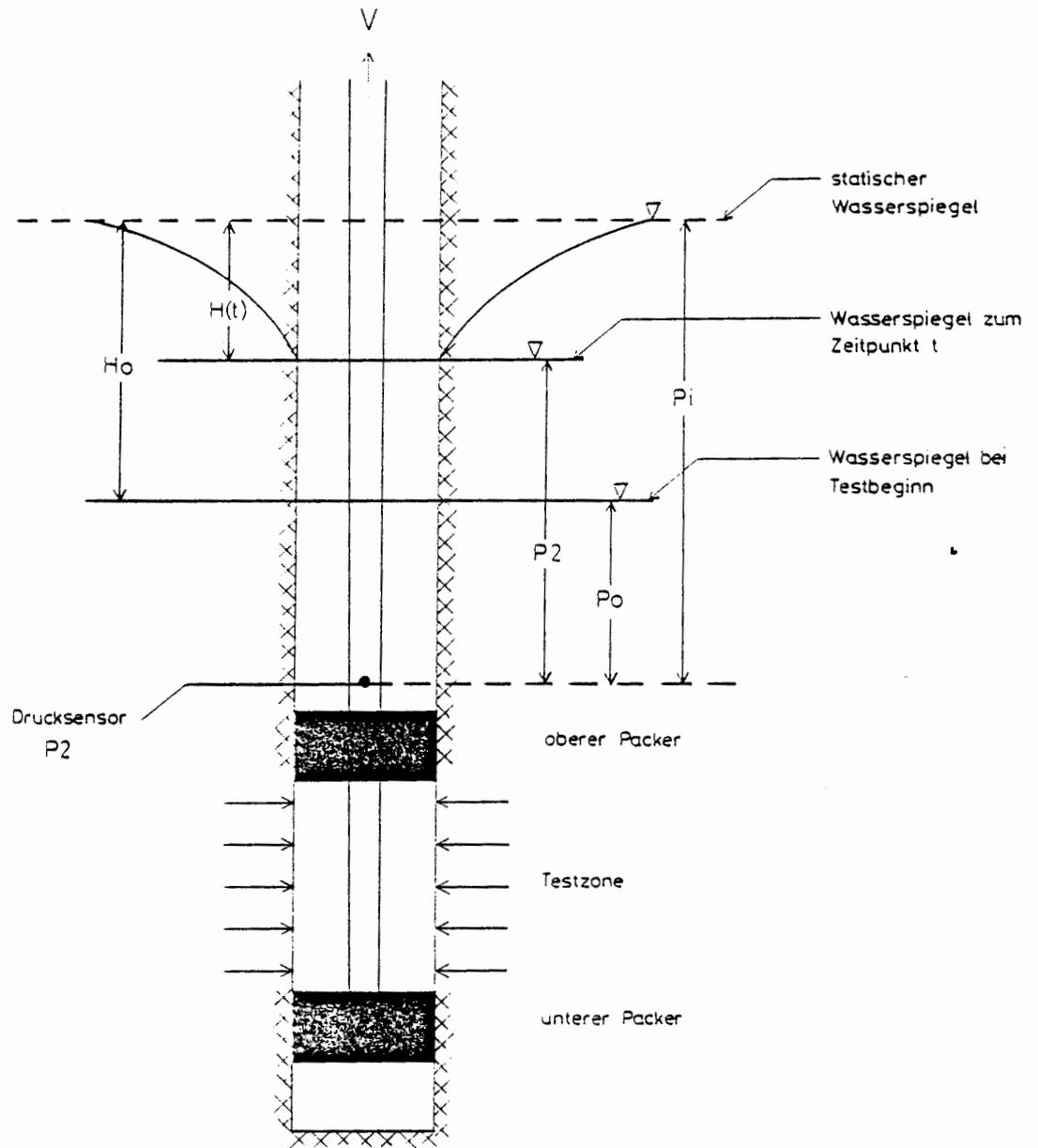


Abb. 4: Erläuterung der Meßgrößen beim slug withdrawal Test

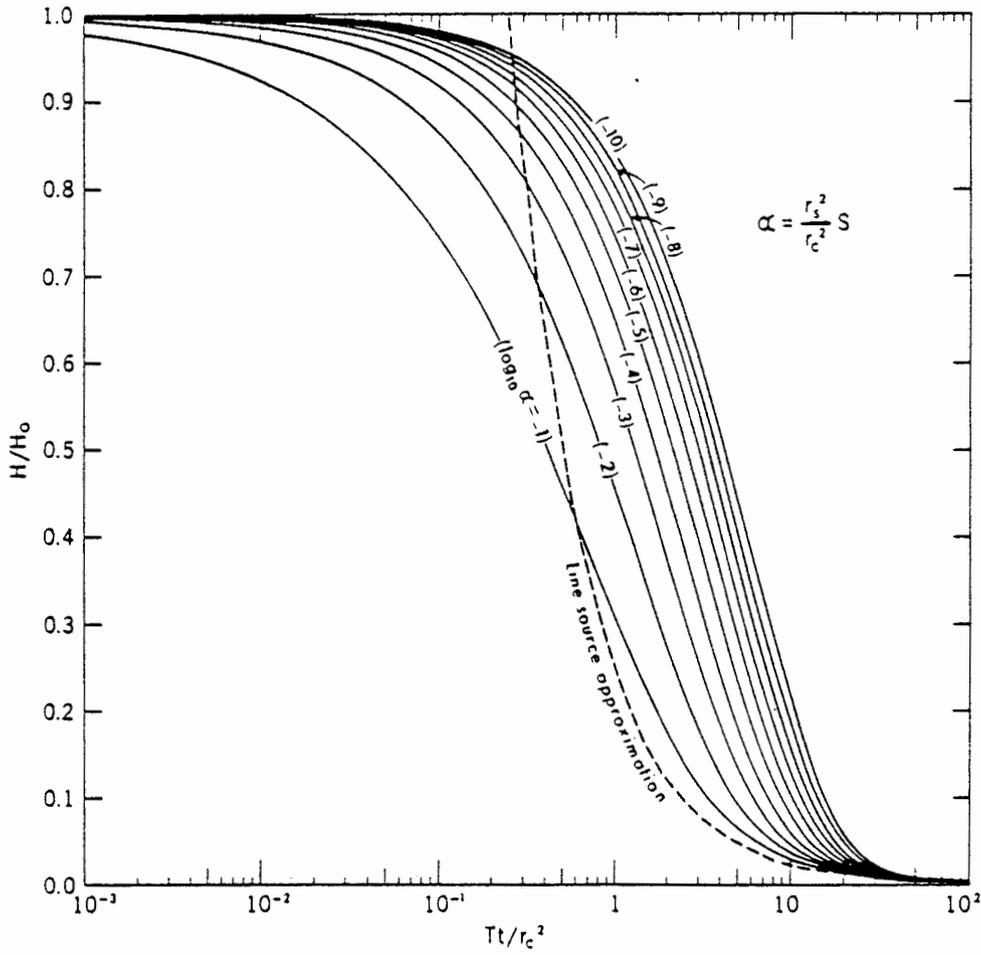


Abb. 5: Typkurvenscharen nach PAPADOPULOS

Das Standardverfahren zur Auswertung des drill stem Tests wurde durch HORNER (1951) veröffentlicht. Das Verfahren gleicht der Auswertung des Wiederanstieges bei Pumpversuchen nach THEIS (1935) entsprechend der Formel:

$$s' = \frac{Q}{4\pi \cdot T} \ln \left[\frac{(t_0 + dt)}{dt} \right] \quad (6)$$

s' = Restabsenkung

Q = Fördermenge

t_0 = Dauer der Förderung

t' = Zeit seit Beginn des Wiederanstiegs

Beim Test wird der Druckanstieg der zweiten Phase ausgewertet; die Fördermenge Q ergibt sich aus der Fließzeit und der Größe des Spiegelanstieges.

Wie beim Theis'schen Verfahren wird der Druck gegen den Ausdruck $(t_0 + dt)/dt$ halblogarithmisch aufgetragen. Die asymptotische Verlängerung der Wiederanstiegsgerade gegen $(t_0 + dt)/dt = 1$ ($dt \rightarrow \infty$) ermöglicht die Bestimmung des hydrostatischen Druckes. Änderungen der Steigung während der späten Anstiegsphase lassen Aussagen über Bohrloch-Skin-Effekte (Veränderungen der Durchlässigkeit des Wasserleiters im bohrlochnahen Bereich) bzw. Stau- und Anreicherungs-grenzen zu.

Im Anhang sind für jeden Packertest die im Bohrloch gemessenen Drucke P_1 , P_2 und P_3 während des gesamten Testzeitraumes aufgeführt; aus diesem Diagramm lassen sich die jeweils durchgeführten Testabschnitte ablesen. Die bei diesen einzelnen Testabschnitten bestimmten Druck/Zeitdiagramme sind, zusammen mit den Auswertergebnissen, ebenfalls dargestellt.

Auf die zahlreichen Verfahren zur Auswertung von Pumpversuchen wird im Rahmen dieses Berichtes nicht näher eingegangen. Wie bei Pumpversuchen in Kluftgrundwasserleitern (vgl. STRAYLE 1983) üblich, wird der Wiederanstieg nach THEIS (1935) ausgewertet.

4. Ergebnis der hydraulischen Tests

4.1 Oberkreide

Sedimente der Oberkreide wurden in K 101, überlagert von 11 m mächtigen quartären Kiesen und Sanden, in 250 m Mächtigkeit erbohrt, wovon die oberen ca. 207 m als Plänerkalke, die unteren 43 m als Kalk- und Tonmergel ausgebildet sind.

Anhand der beim Abteufen des Schachtes Konrad 1 gewonnenen Erfahrungen war im Bereich der Rotpläner in ca. 130 m Teufe ein Übergang vom geringmineralisierten zum hochmineralisierten Grundwasser zu erwarten. Da beide Wassertypen für Sorptionsuntersuchungen benötigt wurden, wurden beide Bereiche getrennt durch Pumpversuche getestet.

Insgesamt wurden in der Oberkreide 2 Pumpversuche sowie 3 Packertests durchgeführt (Anlage 1).

Pumpversuch I (0 - 116,2 m)

Der erste Pumpversuch erfolgte bei einer Bohrlochteufe von 116,2 m. Die ursprüngliche Absicht, den Test im unverrohrten Bohrloch durchzuführen, wurde wegen häufigen Nachfalls aus dem obersten Bereich der Plänerkalke aufgegeben. Zum Schutze der U-Pumpe wurde das Bohrloch bis 45 m Teufe auf 17 1/2" aufgebohrt und eine 13 3/8"-Rohrtour abgesetzt. Ab 45 m Teufe wurde das Loch auf 12 1/4" erweitert (vgl. Abb. 6). Die Pumpe wurde in 112 m Teufe (Unterkante Pumpe) eingebaut.

Die Messung der Fördermenge erfolgte mit einem Halliburton-Flowmeter sowie zusätzlich mit einer Wasseruhr, die Wasserstände im Bohrloch wurden durch Kabellichtlot erfaßt. Als Fixpunkt diente die Oberkante der Schutzrohrtour 3,45 m über

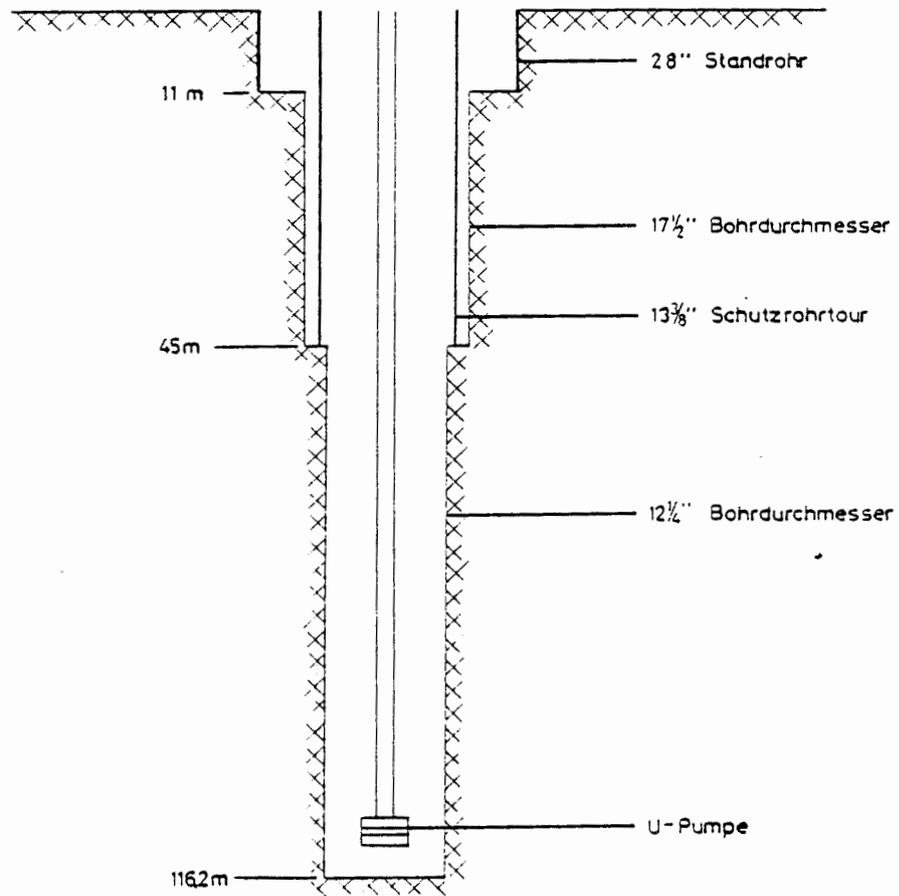
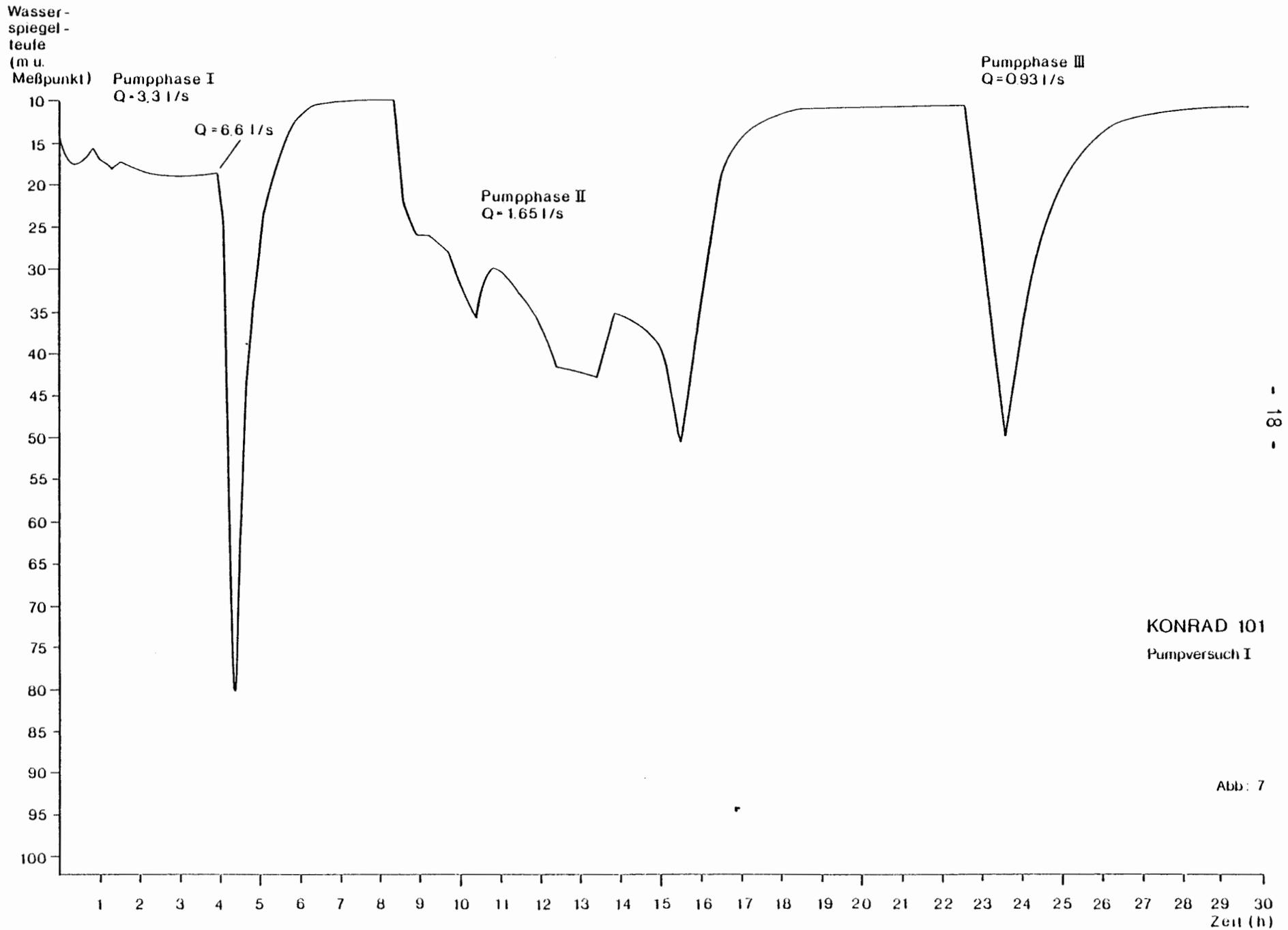


Abb. 6: Bohr- und Verrohrungsschema; Pumpversuch I

Abb. 7: Zeit-Absenkungsdiagramm; Pumpversuch I



Ackersohle. Parallel zum Förderbrunnen wurden zwei im Quartär verfilterte, mit Brunnenschreibern ausgestattete Pegel 500 m westlich bzw. 900 m nördlich der Bohrung beobachtet, die aber während des Pumpversuchs keine meßbaren Wasserspiegeländerungen zeigten.

Vor Beginn des Tests wurde die Bohrspülung gegen Wasser ausgetauscht. Der Wasserspiegel lag bei Testbeginn etwa bei Geländeoberkante. Der ursprüngliche, unbeeinflusste Spiegel dürfte entsprechend den nahegelegenen Pegelbrunnen bei 10 bis 11 m unter Flur gelegen haben.

Der Test wurde in der Zeit vom 15. - 17.12.84 durchgeführt. Er war als 3-Stufen-Test zu je 4 Stunden Pumpdauer mit 12 Stunden Wiederanstieg und nachfolgendem Test mit konstanter Förderrate über eine Zeitdauer von 48 Stunden geplant, die unerwartet geringe Leiterergiebigkeit machte aber Abänderungen im Ablauf erforderlich.

Es wurde mit einer ersten Pumpstufe mit 3,3 l/s und einer Dauer von 4 Stunden begonnen. Innerhalb der ersten Stunde trat mehrfach ein kurzfristiger Ausfall der Pumpe von 3 - 5 Minuten Dauer auf, aus der sich die Schwankungen des Wasserspiegels in Abb. 7 erklären.

Der Wasserspiegel stabilisierte sich nach ca. 2 Stunden auf einen Wert von 18,5 m unter Meßpunkt. Nach Ablauf der 4 Stunden wurde die 2. Stufe mit doppelter Förderleistung angefahren. Es setzte ein unerwartet steiler Wasserspiegelabfall ein, der sich trotz mehrmaligen Drosselns der Förderleistung auf zuletzt 0,4 l/s beschleunigte. Um die Pumpe nicht durch Nachfall zu gefährden, wurde der Test bei einer Spiegeltaufe von 80 m nach 22 Minuten abgebrochen und für eine Dauer von 4 Stunden der Wiederanstieg gemessen. Danach erfolgte eine

2. Phase mit einer reduzierten Pumpmenge von 1,65 l/s. Diese Absenkkurve zeigt Phasen kontinuierlicher Absenkung, unterbrochen von vorübergehenden Spiegelanstiegen bis zu 8 m, die durch das Freispülen und Leerlaufen von durch Bohrspülung verschlossenen Klüften zu erklären sind. Die 2. Phase mußte nach 7,5 Stunden bei einer Absenkung von 50 m wiederum abgebrochen werden. Nach einer siebenstündigen Wiederanstiegsphase folgte eine 3. Phase mit einer nochmals gedrosselten Förderleistung von 0,93 l/s, die aber nach 1,5 Stunden wiederum bei 50 m Absenkung beendet wurde. Es folgte eine achtstündige Wiederanstiegsphase.

Zur Auswertung nach dem Theis'schen Wiederanstiegsverfahren wurde, da ein ungespannter Grundwasserleiter vorliegt, s durch die berichtigte Absenkung $s' = s - s^2/2D$ (D = Leitermächtigkeit) ersetzt (KRUSEMANN & DE RIDDER 1973).

Die im Anhang des Berichtes dargestellten 3 Wiederanstiegskurven (S. 2 - 4) zeigen übereinstimmend einen ausgeprägt s-förmigen Kurvenverlauf mit einer flachen Steigung während der frühen Anstiegsphase (rechter Kurventeil), einem steilen geradlinigen mittleren Bereich sowie eine starke Abflachung während der späten Phase.

Der frühe Bereich flacher Steigung ist bedingt durch den wegen des großen Bohrlochdurchmessers stark ausgeprägten Volumeneffekt des Bohrlochs und/oder einen positiven Skin-Effekt, die Abflachung während der späten Phase entspricht einer um Größenordnungen höheren Durchlässigkeit oder einer Anreicherungsgrenze im äußeren Bereich des Absenkungstrichters und kann aus der Mächtigkeitszunahme des Quartärs in westliche Richtung erklärt werden. Die Auswertung des mittleren Kurventeils ergibt Transmissivitäts-Werte von $3,8 \cdot 10^{-6}$, $9,6 \cdot 10^{-6}$ und $1,7 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$.

Angesichts der kurzen Dauer der dritten Pumpphase und der Schwankungen der Förderrate während der ersten Stufe wird der aus der 2. Wiederanstiegskurve ermittelte T-Wert von $1 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ als repräsentativ angesehen.

Die Leitfähigkeit des geförderten Wassers lag zu Beginn des Tests bei $1500 \mu\text{S}/\text{cm}$, die der Spülung im Bohrloch vor dem Austausch bei $2400 \mu\text{S}/\text{cm}$. Die Leitfähigkeit des geförderten Wassers fiel während der ersten 90 Minuten auf $700 \mu\text{S}/\text{cm}$ ab und blieb während der Testdauer konstant. Trotzdem konnte bis zum Abbruch des Tests kein Klarpumpen des Leiters erreicht werden. Durch eine Uraninbestimmung bei Beendigung des Tests wurde im Wasser ein Gehalt von 2 % Spülung ermittelt.

Erwartungsgemäß handelt es sich bei dem Wasser um ein hartes Ca-Na-HCO₃ Wasser (vgl. Tab. 1).

Trübung:	Niederschlag	pH-Wert	:	7,1
Farbe :	gelblich	Leitfähigkeit:		830 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Geruch :	erdig			
Kalium	7,0 mg/l	Chlorid		69,0 mg/l
Natrium	60,0 "	Sulfat		33,0 "
Magnesium	16,5 "	Hydrogenkarbonat		436,0 "
Calcium	124,0 "	Nitrat		3,0 "
Eisen ^{II}	4,4 "			

Tab. 1: Chemische Wasseranalyse; Pumpversuch I

Pumpversuch II (155 - 214 m)

Der untere Abschnitt der Plänerkalke wurde durch einen zweiten Pumpetest mit einer Navi-Pumpe getestet. Durch den Pumpversuch sollte sowohl die Durchlässigkeit bestimmt als auch Formationswasser aus diesem Bereich gewonnen werden.

Der Packersitz wurde in einer Mergelbank in 154 - 155 m Teufe festgelegt. Der Bohrllochdurchmesser betrug 8 1/2". Die Ansaugöffnung der Pumpe lag 8,5 m über Bohrlochsohle, um einen möglichst schnellen Austausch der Spülung gegen Formationswasser zu erreichen. Während des Pumpens wurde der Druckverlauf unterhalb des Packers aufgezeichnet. Wegen des rotierenden Bohrgestänges während des Pumpvorganges ist eine Übertragung nach Übertage nicht möglich, so daß das Druck-Zeit-Diagramm erst nach Ausbau der Pumpe zur Verfügung steht.

Der Pumpversuch erstreckte sich einschließlich der Wiederanstiegsphase von 8 Stunden über eine Dauer von 47,5 Stunden.

Aus Abb. 8 geht hervor, daß der Druckanstieg nach Beendigung des Pumpens auf den Enddruck von 15.3 bar zwischen zwei Meßtakten von 4 Minuten Abstand erfolgte. Da dieser Druckanstieg mit großer Wahrscheinlichkeit auf einen technischen Fehler in der Absperrvorrichtung in der Pumpe zurückgeht, wurde auf eine Auswertung der Meßkurve verzichtet und der Abschnitt nochmals mit Packertests untersucht.

Der Verlauf der Leitfähigkeitskurve zeigt einen Anstieg von 1800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ zu Beginn des Tests auf 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ innerhalb der ersten 4 Stunden mit anschließender Konstanz des Wertes

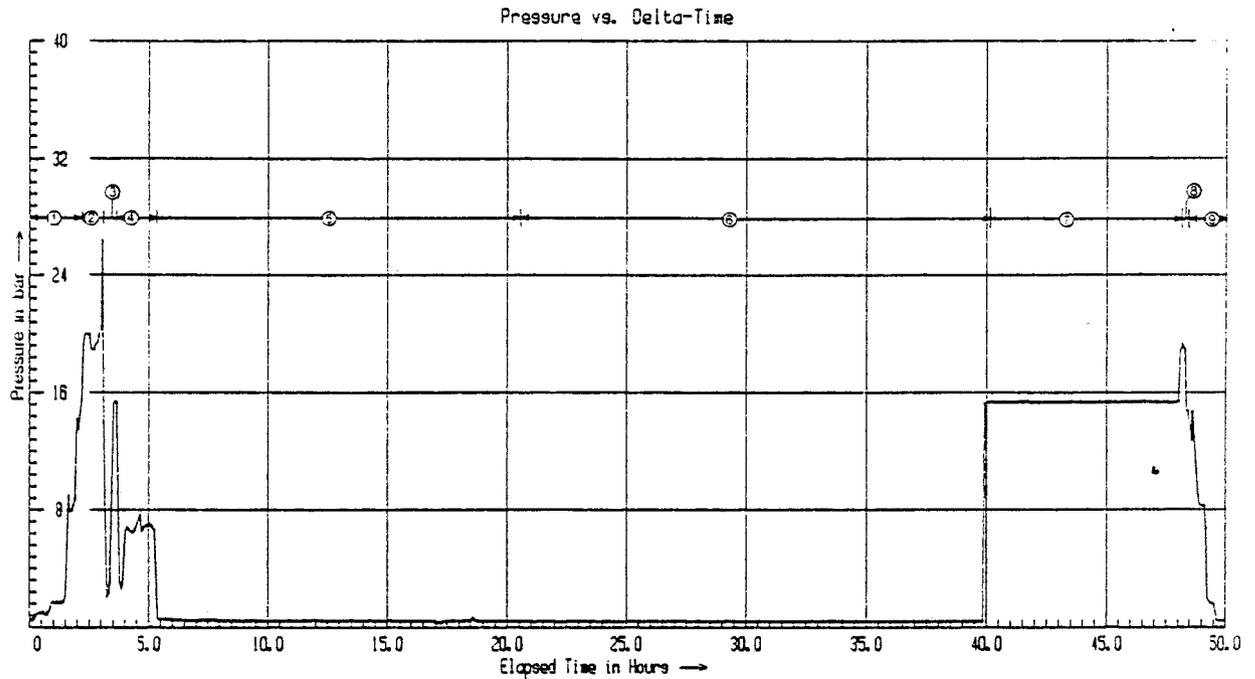
Company Name: DBE
Well Name: KONRAD 101
Depth of Gauge: 156.64

Lease or Field: SALZGITTER
Location: KONRAD

LYNES GMBH

GRAFFTRING 17
3100 CELLE
WEST GERMANY
TEL: (05141) 81019

Date: 841227
Time: 12:42:00



1. Einbau der Pumpe
2. Setzen des Packers mit ausgeprägter Druckspitze im Dreh-Zeit-Diagramm.
3. Pumpphase mit 20 U/min; nach 20 Minuten Stop wegen Flowmeterdefekt.
4. Erneuter Pumpbeginn mit 20 U/min, Pumpdauer 1,5 Stunden.
5. Erhöhen der Drehzahl auf 27 U/min, Pumpdauer 15,5 Stunden.
6. Erhöhen der Drehzahl auf 39 U/min, Pumpdauer 19 Stunden.
7. Stop der Pumpe, 8 Stunden Druckanstiegsmessung.
8. Lösen des Packers.
9. Ausbau der Pumpe.

Abb.8: Druck-Zeit-Diagramm; Pumpversuch II

über die gesamte Pumpdauer. Bedingt durch die geringe Ergiebigkeit der Formation konnte wiederum kein Klarpumpen des Leiters erreicht werden. Anhand von Uraninbestimmungen wurde ein Spülungsgehalt von 0,8 % bei Beendigung des Tests ermittelt.

Trübung:	Niederschlag	pH-Wert	:	7,2
Farbe :	gelblich	Leitfähigkeit (Feld) :		2410 μ S/cm
Geruch :	erdig	"	(Labor):	3280 "
Kalium	8,9 mg/l	Chlorid		888 mg/l
Natrium	585,0 "	Sulfat		85 "
Magnesium	21,0 "	Hydrogenkarbonat		473 "
Calcium	130,0 "	Nitrat		3 "
Eisen ^{II}	3,7 "			

Tab. 2: Chemische Wasseranalyse; Pumpversuch II

Die chemische Analyse des Wassers (Tab. 2) weist im Vergleich zum Wasser aus dem oberen Bereich der Plänerkalke einen stark erhöhten Na⁺- und Cl⁻-Anteil von 585 bzw. 888 mg/l auf. Die Gesamtmineralisation liegt bei 2,2 g/l. Die Laborbestimmung der Leitfähigkeit weicht erheblich von den vor Ort gemessenen Werten ab. Aufgrund der Höhe der Mineralisation kann angenommen werden, daß die Feldbestimmungen zu niedrig sind.

Bei den nachfolgend beschriebenen Packertests wird jeweils in tabellarischer Form eine kurze Zusammenfassung der technischen Daten und Testergebnisse gegeben. Die Meß- und Auswertungsdiagramme finden sich im Anhang des Berichtes.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird die von der Fa. Gartner Lee gewählte Numerierung der Packertests beibehalten.

Doppelpacker-Test Nr. 4

Technische Daten:

Formation : Plänerkalke (Turon)
Packerteufe(n)¹⁾ : 121,95 - 159,71 m u. GOK
Teufe Drucksonde P 2 : 115,40 m unter Geländeoberkante
Länge des Test-Intervalls: 37,76 m
Bohrlochteufe : 292,0 m

Ergebnisse:

	T (m ² /s)	K _f (m/s)
DST 1 ²⁾	3 · 10 ⁻⁷	9 · 10 ⁻⁹
DST 2	2 · 10 ⁻⁶	5 · 10 ⁻⁸
Sw 1 ³⁾	3 · 10 ⁻⁶	9 · 10 ⁻⁸
	3 · 10 ⁻⁶	8 · 10 ⁻⁸
	3 · 10 ⁻⁶	8 · 10 ⁻⁸
Gesamtwertung	1 · 10 ⁻⁷	1 · 10 ⁻⁸

Anmerkungen:

In der Anlage (S. 5 - 8) sind die während des gesamten Tests gemessenen Drucke P₁, P₂ und P₃ aufgeführt; daraus lassen sich die während des Tests durchgeführten 2 drill stem Tests und 3 slug withdrawal Tests ablesen. Für jeden Testabschnitt ist zudem das Druck/Zeitdiagramm im Anhang zusammen mit den Testergebnissen dargestellt.

Der erste Test war als pulse withdrawal Test geplant. Da während des Ventil-Öffnens und -Schließens ein signifikanter Zufluß erfolgte, wurde der Test als drill stem Test (DST 1) fortgeführt.

Die Auswertung nach Cooper et al. (1967) ergibt keine repräsentativen Werte für den Speicherkoeffizienten. Die ermittelten Werte werden daher nicht angeführt.

-
- 1) Teufe Unterkante oberer Packer - Oberkante unterer Packer
 - 2) drill stem Test Nr. 1
 - 3) slug withdrawal Test Nr. 1

Die Druckanstiegskurven der slug withdrawal Tests (Sw 1) zeigen eine Abflachung der Steigung während der späten Wiederanstiegsphase infolge einer lateral verringerten Durchlässigkeit (boundary condition) Es wurde daher die frühe Wiederanstiegsphase ausgewertet.

Die Auswertung der Tests ergibt einen K_f -Wert von 10^{-8} m/s. Die Fehlergrenze dieses und aller folgenden Tests liegt unter Berücksichtigung der während der Tests generell aufgetretenen Temperaturänderungen sowie gerätebedingten Abweichungen bei weniger als einer Größenordnung.

Doppelpacker-Test Nr. 3

Technische Daten:

Formation : Plänerkalke (Turon)
Teufe : 158,68 - 196,44 m u. GOK
Teufe Drucksonde P 2 : 152,13 m u. GOK
Länge des Test-Intervalls: 37,76 m
Bohrlochteufe : 292,0 m

Ergebnisse:

	T (m ² /s)	K _f (m/s)
DST 1	3 · 10 ⁻⁷	9 · 10 ⁻⁹
DST 2	2 · 10 ⁻⁵	5 · 10 ⁻⁷
Sw 1	5 · 10 ⁻⁶	1 · 10 ⁻⁷
	5 · 10 ⁻⁶	1 · 10 ⁻⁷
	4 · 10 ⁻⁶	1 · 10 ⁻⁷
Gesamtwertung	1 · 10 ⁻⁶	1 · 10 ⁻⁷

Anmerkungen: (Anlage S. 9 - 12)

Der erste Test war ursprünglich als pulse withdrawal Test geplant. Wegen technischer Probleme konnte das Ventil der Testgarnitur erst nach 2 Minuten geschlossen werden. Da bei einem Unterdruck von 3,8 bar ein signifikanter Zufluß auftrat, wurde der Test als drill stem Test ausgewertet, dessen Analyse jedoch von dem ersten Test abweichende Werte ergibt.

Die Tests DST 2 und Sw 1 ergeben einen weitgehend übereinstimmenden K_f-Wert von 10⁻⁷ m/s.

Doppelpacker-Test Nr. 2

Technische Daten:

Formation : Kalkmergel (Cenoman)
Packerteufe(n) : 203,56 - 241,32 m u. GOK
Teufe Drucksonde P 2 : 197,02 m u. GOK
Länge des Test-Intervalls: 37,76 m
Bohrlochteufe : 292.0 m

Ergebnisse:

	T (m ² /s)	K _f (m/s)
Pw 1 ¹⁾	3 · 10 ⁻¹²	9 · 10 ⁻¹⁴
	3 · 10 ⁻¹²	9 · 10 ⁻¹⁴
Gesamtwertung	< 10 ⁻¹⁰	< 10 ⁻¹¹

Anmerkungen: (Anlage S. 13 - 15)

Der pulse withdrawal Test wurde mit einem Unterdruck von 14,6 bar eingeleitet.

Die Wiederanstiegsmessung ergab einen Druckanstieg von lediglich 18 % nach 9,9 Stunden Dauer.

Der slug withdrawal Test erbrachte bei 14,0 bar Unterdruck keinen meßbaren Zufluß (0,001 l/min) und konnte daher nicht ausgewertet werden.

Die Auswertung des Pw 1-Tests ergibt einen K_f-Wert von rechnerisch 9 · 10⁻¹⁴ m/s. Unter Berücksichtigung des während des Tests aufgetretenen Temperaturanstiegs von 0,2°C wird ein K_f-Wert von kleiner 10⁻¹¹ m/s als gesichert angesehen.

1) pulse withdrawal Test Nr. 1

4.2 Unterkreide

Die Unterkreide hat in der Bohrung K 101 eine Mächtigkeit von 376 m. Das 210 m mächtige Alb ist zuoberst als kieseliger Tonmergelstein in Flammenmergelfazies (ca. 40 m) darunter als Tonmergelstein ausgebildet.

Der an der Basis des Alb auftretende Hilssandstein wurde als 2,7 m mächtiger Feinsandstein erbohrt. Die Ton- und Tonmergelsteine des Hauterive bis Apt sind 167 m mächtig.

Die Unterkreide wurde mit 4 Packertests sowie einem Pumpversuch im Hilssandstein abgetestet (Anlage 1).

Einfachpacker-Test Nr. 1, 1 a

Technische Daten:

Formation : Unterkreide (Flammenmergel)
Packerteufe(n) : 241,02 - 292,0 m u. GOK
Teufe Drucksonde P 2 : 234,47 m u. GOK
Länge des Test-Intervalls: 50,97 m
Bohrlochteufe : 292,0 m

Ergebnisse:

	T (m ² /s)	K _f (m/s)
Pw 1	5 · 10 ⁻¹¹	1 · 10 ⁻¹²
	5 · 10 ⁻¹¹	1 · 10 ⁻¹²
Gesamtwertung	< 10 ⁻¹⁰	< 10 ⁻¹¹

Anmerkungen: (Anlage S. 16 - 18)

Test Nr. 1, der wegen Verstopfung des Rohrstranges mit Paraffin abgebrochen wurde, wird nicht dokumentiert.

Der Wiederholungstest Nr. 1 a wurde als pulse withdrawal Test durchgeführt. Während der 10,25 Stunden dauernden Meßphase wurde ein 60 %iger Wiederanstieg bei einer Anfangs-Druckerniedrigung von 8,14 bar erreicht. Die Auswertung ergibt einen K_f-Wert von < 10⁻¹¹ (rechnerisch 1 · 10⁻¹²) bei einer Fehlergrenze von weniger als 1 Größenordnung. Der sich anschließende slug withdrawal Test ergab bei 13,1 bar Unterdruck einen Zufluß von 0,004 l/min. Der Test ist wegen der geringen Fließrate nicht auszuwerten.

Einfachpacker-Test Nr. 5

Technische Daten:

Formation : Alb-Tonmergelstein
Packerteufe(n) : 301,85 - 427,1 m u. GOK
Teufe Drucksonde P 2 : 295,30 m u. GOK
Länge des Test-Intervalls : 125,25 m
Bohrlochteufe : 427,1 m
Mittlerer Bohrlochdurchmesser: 246 mm

Ergebnisse:

	T (m ² /s)	K _f (m/s)
Pw 1	6 · 10 ⁻¹¹	5 · 10 ⁻¹³
	6 · 10 ⁻¹¹	4 · 10 ⁻¹³
Gesamtwertung	< 10 ⁻⁹	< 10 ⁻¹¹

Anmerkungen: (Anlage S. 19 - 21)

Der Test wurde als pulse withdrawal Test mit 825 k Pa (8,25 bar) Unterdruck eingeleitet. Die Wiederanstiegsrate lag bei Testende nach 24 Stunden bei 60 %. Die Analyse ergibt einen K_f-Wert von 4 - 5 · 10⁻¹³ m/s. Beim anschließenden Test Sw 1 lag der Zufluß mit 0,02 l/min bei 186 m Druckabsenkung etwa 1 Größenordnung höher, als anhand des Pw 1-Testes zu erwarten war. Dieser Test ist wegen der zu geringen Zuflußrate nicht auswertbar. Anschließend an diesen Test wurde bei geschlossenem Ventil nochmals für 6,2 Stunden ein Druckaufbautest durchgeführt, der jedoch wegen der 2,7-stündigen Fließzeit des Testes Sw 1 nicht als pulse withdrawal Test auswertbar ist. Der zum Test Pw 1 ähnliche Verlauf des Druckaufbaus bestätigt die Ergebnisse dieses Tests, so daß ein K_f-Wert von kleiner 10⁻¹¹ m/s gesichert ist.

Doppelpacker-Test Nr. 7

Technische Daten:

Formation : Alb-Tonmergelstein
Packerteufe(n) : 427,56 - 448,71 m u. GOK
Teufe Drucksonde : 422,92 m u. GOK
Länge des Test-Intervalls : 21,15 m
Bohrlochteufe : 480,8 m
Mittlerer Bohrlochdurchmesser: 226 mm

Ergebnisse:

	T (m ² /s)	K _f (m/s)	S
	4 · 10 ⁻¹¹	2 · 10 ⁻¹²	9 · 10 ⁻⁶
Pw 1	6 · 10 ⁻¹¹	3 · 10 ⁻¹²	9 · 10 ⁻⁷
	3 · 10 ⁻¹¹	2 · 10 ⁻¹²	9 · 10 ⁻⁶
Gesamtwertung	< 10 ⁻¹⁰	< 10 ⁻¹¹	1 · 10 ⁻⁷

Anmerkungen: (Anlage S. 22 - 24)

Der Test Pw 1 wurde mit einem Unterdruck von 810 k Pa durchgeführt. Während des 12,1-stündigen Druckaufbaues wurden zweimal plötzliche geringfügige Druckanstiege beobachtet, die offensichtlich auf Bewegungen der Testgarnitur zurückzuführen waren. Die Auswertung der Kurve war trotz der Druckanstiege möglich. Die Schwankungsbreite der errechneten T-Werte entspricht den der anderen Tests. Der sich anschließende slug withdrawal Test erbrachte einen diesen T-Werten entsprechenden Zufluß von 0,004 l/min. Eine Auswertung dieses Tests ist nicht möglich.

Einfachpacker-Test Nr. 6

Technische Daten:

Formation : Hilssandstein
Packerteufe(n) : 444,00 - 480,8 m u. GOK
Teufe Drucksonde P 2 : 439,36 m u. GOK
Länge des Test-Intervalls : 36,80 m
Bohrlochteufe : 480,8 m
Mittlerer Bohrlochdurchmesser: 240 mm

Ergebnisse:

	T (m ² /s)	K _f (m/s)
DST 1	3 · 10 ⁻⁵	1 · 10 ⁻⁵
Sw 1	4 · 10 ⁻⁵	1 · 10 ⁻⁵
	4 · 10 ⁻⁵	1 · 10 ⁻⁵
	4 · 10 ⁻⁵	1 · 10 ⁻⁵
DST 2	3 · 10 ⁻⁵	9 · 10 ⁻⁶
DST 3	2 · 10 ⁻⁵	<u>7 · 10⁻⁶</u>
Gesamtwertung		1 · 10 ⁻⁵

Anmerkungen: (Anlage S. 25 - 30)

Der Packersitz wurde nach Caliper-Log 12,3 m oberhalb der Oberkante Hilssandstein festgelegt.

Der Test begann mit einer Druckaufbaumessung (Bu 1) von 11,7 Stunden, bei der ein konstanter hydrostatischer Druck von 4611 k Pa erreicht wurde. Mit dem Öffnen des Ventils zu Beginn des Tests setzte ein Überlauf aus dem mit Leitungswasser gefüllten Gestänge am Bohrtisch ein, der von anfänglich 9 l/min auf 2,6 l/min nach 1,2 Stunden zurückging. Der gleichzeitige Druckanstieg an der Drucksonde P 2 von 4450 auf 4585 k Pa zeigt, daß Wasser höherer Dichte aus der Formation zufließt.

An den Druckaufbautest schlossen sich 3 drill stem Tests mit Fließzeiten von 36 Minuten und jeweils 4 Minuten und Druckaufbaumessungen von 60,6 und 120 Minuten an. Die Auswertung der Tests ergibt sehr gut übereinstimmende T-Werte von $2 - 4 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$. Bezogen auf den 2,7 m mächtigen Hils-sandstein ergibt sich ein K_f -Wert von $1 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$.

Beim Test DST 3 zeigt sich in der späten Druckanstiegsphase eine Verteilung der Geraden, die auf eine lateral sich ver-ringende Durchlässigkeit hindeutet. Die Auswertung der Fließperiode (Sw 1) des drill stem Tests Nr. 1 ergibt einen unrealistisch kleinen Wert für den Speicherkoeffizienten von $7 \cdot 10^{-22}$. Dies könnte auf einen positiven Skineffekt zurück-zuführen sein.

Die aus der Auswertung der drill stem Tests bestimmten hydro-statischen Drucke decken sich annähernd mit den aus dem Test Bu 1 bestimmten Wert.

Unter Berücksichtigung aller Tests ergibt sich ein hydro-statischer Druck in 439,36 m Teufe von $4605 \text{ k Pa} \pm 10 \text{ k Pa}$.

Im Anschluß an den Packertest wurde eine Navi-Pumpe zur Ge-winnung von Wasserproben aus der Formation eingebaut. Auf-grund technischer Probleme wegen extrem niedriger Außen-temperaturen wurde dieser Test erfolglos abgebrochen.

Einfachpacker-Test Nr. 8

Technische Daten:

Formation : Ton- und Tonmergelsteine
des Hauterive bis Apt

Packerteufe(n) : 480,30 - 608,3 m u. GOK

Teufe Drucksonde P 2 : 475,66 m u. GOK

Länge des Test-Intervalls : 128,0 m

Bohrlochteufe : 608,3 m

Mittlerer Bohrlochdurchmesser: 245 mm

Ergebnisse:

	T (m ² /s)	K _f (m/s)	S
Pw 1	2 · 10 ⁻¹⁰	1 · 10 ⁻¹²	6 · 10 ⁻⁵
	2 · 10 ⁻¹⁰	1 · 10 ⁻¹²	6 · 10 ⁻⁵
Gesamtwertung	< 10 ⁻⁹	< 10 ⁻¹¹	6 · 10 ⁻⁵

Anmerkungen: (Anlage S. 31 - 33)

Der Unterdruck bei Beginn des pulse withdrawal Tests lag bei etwa 1640 k Pa; der Druckaufbau wurde über einen Zeitraum von 15,7 Stunden erfaßt. Die ermittelten Kurven zeigen in der Anfangsphase des Druckaufbaus einen flacheren Verlauf als die Typkurven. Die Auswertung der letzten 7,3 Stunden des Druckaufbaus ergibt einen K_f-Wert von rechnerisch 1 · 10⁻¹² m/s. Der anschließende slug withdrawal Test erbrachte mit 0,02 l/min bei einem Unterdruck von 1515 k Pa eine um etwa 1 Größenordnung zu hohe Zuflußrate. Die Gründe hierfür waren nicht zu ermitteln. Trotzdem ist ein K_f-Wert von kleiner 10⁻¹¹ m/s gesichert.

4.3 Malm

Der 148 m mächtige Malm setzt sich aus 9 m Kalkstein und Tonmergelstein des Kimmeridge sowie aus Kalksteinen, Kalkoolithen, Tonmergelsteinen und 2 Eisenoolithhorizonten (Oberes und Unteres Lager) des Oxford zusammen. Im Vergleich zu den im Grubenbereich aufgeschlossenen Erzlagern weisen die beiden Horizonte in der Bohrung wesentlich geringere Fe-Gehalte auf.

Während des Bohrens trat bei 764 m Teufe ein erster Spülungsverlust von 20 m³ auf, dem bei 772 m Teufe, zwei Meter oberhalb der Basis des Oxford, weitere erhebliche Verluste an Spülung folgten (DBE-Bericht 1985). Der Bohrkern besteht in dieser Zone aus stark geklüfteten Kalksteinen.

Zum Eindämmen der Spülungsverluste wurden aus wechselnden Anteilen von Bentonit, Glimmer und CMC bestehende "Verstopfungspillen" gesetzt. Diese Maßnahmen zeigten keinen Erfolg; beim jeweiligen Anbohren der Kluffzone traten erneut Spülungsverluste auf, die zu einem Festsetzen des Bohrgestänges führten. Wegen Nachfalls aus der noch nicht verrohrten Unterkreide gestalteten sich die Fangarbeiten sehr schwierig. Nach ihrem Abschluß wurde erneut abgedichtet und der Abschnitt bis kurz oberhalb der Kluffzone mit vier Packertests untersucht.

Doppelpacker-Test Nr. 12

Technische Daten:

Formation	:	Unter-Hauterive Tonstein Kimmeridge Kalk- und Tonstein Oberer Korallenoolith (Kalk- stein, Mergel)
Packerteufe(n)	:	599,50 - 634,22 m u. GOK
Teufe Drucksonde P 2	:	594,86 m u. GOK
Länge des Test-Intervalls	:	34,72 m
Bohrlochteufe	:	774,0 m

Ergebnisse: Packer geplatzt

Durch diesen Packertest sollte der Unterkreide-Transgressionshorizont sowie der unterlagernde Kimmeridge und Obere Korallenoolith getestet werden. Infolge der Spülungsverluste und der anschließenden Fangarbeiten waren im Bereich der Unterkreide starke Auskolkungen aufgetreten. Als einzig möglicher Sitz des oberen Packers wurde der Abschnitt von 598 - 599,5 m mit einem Durchmesser von ca. 15" ermittelt.

Beim Setzen der Packer platzte der obere Packer. Da sich aus dem Kaliberlog keine weitere geeignete Position für den oberen Packer ergab, wurde der Test abgebrochen.

Doppelpacker-Test Nr. 11/11 a

Technische Daten:

Formation	:	Oberer Korallenoolith (Kalkoolith, Mergel, Tonstein)
· Packerteufe(n)	:	634,23 - 678,10 m u. GOK
Teufe Drucksonde P 2	:	629,59 m u. GOK
· Länge des Test-Intervalls	:	43,87 m
Bohrlochteufe	:	774,0 m
Mittlerer Bohrlochdurchmesser:	:	330 mm

Ergebnisse:

	T (m ² /s)	K _f (m/s)	S
Pw 1	5 · 10 ⁻⁹	1 · 10 ⁻¹⁰	2 · 10 ⁻⁶
	5 · 10 ⁻⁹	1 · 10 ⁻¹⁰	2 · 10 ⁻⁶
	5 · 10 ⁻⁹	1 · 10 ⁻¹⁰	2 · 10 ⁻⁶
DST 1	1 · 10 ⁻⁹	3 · 10 ⁻¹¹	/
DST 2	2 · 10 ⁻⁷	4 · 10 ⁻⁹	/
Sw 1	2 · 10 ⁻⁷	4 · 10 ⁻⁹	4 · 10 ⁻⁷
DST 3	2 · 10 ⁻⁷	5 · 10 ⁻⁹	/
Gesamtwertung	2 · 10 ⁻⁷	5 · 10 ⁻⁹	2 · 10 ⁻⁶

Anmerkungen: (Anlage S. 34 - 38)

Beim Test Nr. 11 platzte der obere Packer beim Setzen wegen Übergröße des Bohrlochs. Aus diesem Grunde wurde beim Test 11 a der obere Packersitz ca. 3 m tiefer gelegt.

Test Nr. 11 a wurde mit einem 6-stündigen Test zur Ermittlung des hydrostatischen Druckes (Bu 1) eingeleitet. Während dieser Periode fiel der Druck P 2 von 6355 auf 5620 k Pa ab, ohne einen konstanten Wert zu erreichen. Es schlossen sich ein pulse withdrawal Test (Anfangs-Unterdruck 1480 k Pa) sowie 3 drill stem Tests mit Anfangsdrucken von 4925, 3382 und 3625 k Pa an.

Die Tests Pw 1 und DST 1 ergaben ähnliche T-Werte von 1 bzw. $5 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$. Die Tests DST 2 und DST 3, die mit vergrößerten Druckabsenkungen eingeleitet wurden, liefern von ca. 2 Größenordnungen höhere Werte. Es ist zu vermuten, daß die Tests Pw 1 und DST 1 infolge der abdichtenden Wirkung des Filterkuchens zu niedrige Werte geliefert haben. Beide Druckanstiegskurven zeigen eine erhöhte Steigung in der späten Anstiegsphase infolge Staugrenze (lateral verringerte Durchlässigkeit). Die Tests Bu 1, Pw 1 und DST 1 zeigen, daß der hydrostatische Druck mit 5620 bis ca. 5400 k Pa in 629,59 m Tiefe deutlich erniedrigt ist. Bei den Tests DST 2 und 3 konnte wegen vermutlich technisch bedingter Druckschwankungen gegen Ende des Tests kein hydrostatischer Druck ermittelt werden. Der Druckabfall im Bohrloch unterhalb des unteren Packers (P 1) zeigt (s. Anhang) an, daß die Abdichtung der Kluffzone in den Kalksteinen des unteren Korallenoolithes bei 774 m u. G. nur unvollständig gelang.

Doppelpacker-Test Nr. 10

Technische Daten:

Formation : Oberer, Mittlerer Korallenoolith (Kalkstein, Mergel, Eisenoolithe)
 Packerteufe(n) : 677,80 - 711,00 m u. GOK
 Teufe Drucksonde P 2 : 673,16 m u. GOK
 Länge des Test-Intervalls : 33,2 m
 Bohrlochteufe : 774,0 m
 Mittlerer Bohrlochdurchmesser: 320 mm

Ergebnisse:

	T (m ² /s)	K _f (m/s)	S
Pw 1	1 · 10 ⁻⁸	4 · 10 ⁻¹⁰	1 · 10 ⁻⁶
	1 · 10 ⁻⁸	4 · 10 ⁻¹⁰	1 · 10 ⁻⁶
	1 · 10 ⁻⁸	4 · 10 ⁻¹⁰	1 · 10 ⁻⁶
DST 1	7 · 10 ⁻⁹	2 · 10 ⁻¹⁰	/
DST 2	7 · 10 ⁻⁹	2 · 10 ⁻¹⁰	/
Sw 1	2 · 10 ⁻⁸	7 · 10 ⁻¹⁰	4 · 10 ⁻⁷
Gesamtwertung	1 · 10 ⁻⁸	3 · 10 ⁻¹⁰	1 · 10 ⁻⁶ - 4 · 10 ⁻⁷

Anmerkungen: (Anlage S. 39 - 43)

Vor Beginn der Tests wurde die Entwicklung des hydrostatischen Drucks für 1 Stunde registriert (Bu 1). Der Druck stieg während der ersten 30 Minuten auf 6784 k Pa an und fiel danach auf 6784 k Pa ab. Die 4 Tests ergaben insgesamt ähnliche T-Werte von 1 · 10⁻⁸ m²/s als geometrisches Mittel.

Als hydrostatischer Druck ergeben sich ebenfalls annähernd gleiche Werte von ca. 6650 - 6800 k Pa in 673,16 m Teufe o. GOK, was auf einen geringfügig erniedrigten hydrostatischen Druck hindeutet.

Wie beim Test 11 a fiel auch bei diesem Test der Druck unterhalb des unteren Packers ab.

Doppelpacker-Test Nr. 9

Technische Daten:

Formation : Mittlerer, Unterer Korallenoolith (Kalkmergel)
Packerteufe(n) : 711,0 - 744,20 m u. GOK
Teufe Drucksonde P 2 : 706,36 m u. GOK
Länge des Test-Intervalls : 33,20 m
Bohrlochteufe : 774,0 m
Mittlerer Bohrlochdurchmesser: 330 mm

Ergebnisse:

	T (m ² /s)	K _f (m/s)	S
Pw 1	9 · 10 ⁻¹¹	3 · 10 ⁻¹²	1 · 10 ⁻⁵
	9 · 10 ⁻¹¹	3 · 10 ⁻¹²	1 · 10 ⁻⁵
	9 · 10 ⁻¹¹	3 · 10 ⁻¹²	1 · 10 ⁻⁵
	← 10 ⁻¹⁰	← 10 ⁻¹¹	1 · 10 ⁻⁵

Anmerkungen: (Anlage S. 44 - 46)

Beim 8,8-stündigen build up Test (Bu 1) stieg der an P 2 gemessene Druck von 7122 auf 7472 k Pa an.

Der anschließende pulse withdrawal Test wurde mit einem Unterdruck von 1476 k Pa eingeleitet. Bei Beendigung des Tests nach 11,5 Stunden wurde ein Wiederanstieg von ca. 65 % erreicht. Als T-Wert wurden 9 · 10⁻¹¹ m²/s ermittelt. Der sich anschließende slug withdrawal Test erbrachte mit durchschnittlich 0,02 l/min bei einem Unterdruck von 2777 k Pa einen um etwa 1 Größenordnung zu hohen Zufluß. Der Test konnte wegen der zu geringen Zuflußraten nicht ausgewertet werden. Es schloß sich ein erneuter build up Test von 1,1 Stunden an, der wegen der zu langen Fließzeit während des Tests Sw 1 nicht auswertbar ist.

Nach Abschluß der vier Tests wurde die Bohrung erweitert und bis in 739,8 m Teufe mit 9⁵/₈" Rohrtour verrohrt. Anschließend wurde bis in die Gryphäenbank des obersten Dogger bei 782,2 m gekernt, wobei wiederum 200 m³ Spülung in der Kluftzone verloren gingen. Zu diesem Zeitpunkt wurde beschlossen, vor der Durchführung weitere Dichtungsmaßnahmen, die Durchlässigkeit und den hydrostatischen Druck im Kluftbereich zu bestimmen.

Dazu wurde am 08.04. ein Packer in 727 m Teufe mit darüber installierter Navi-Pumpe eingebaut. Die Pumpe erbrachte keine Förderung, und es stellte sich heraus, daß die Druckhöhe von ca. 69 bar für diesen Pumpentyp zu hoch war. Somit mußte dieser Versuch ergebnislos abgebrochen werden. Um eine einwandfreie hydraulische Verbindung zwischen Bohrloch und Kluftsystem bei den weiteren Untersuchungsarbeiten zu gewährleisten, wurde das Bohrloch nochmals bis in 782 m mit dem Meißel befahren, wonach sich ein Wasserspiegel bei 620 m unter Gelände einstellte.

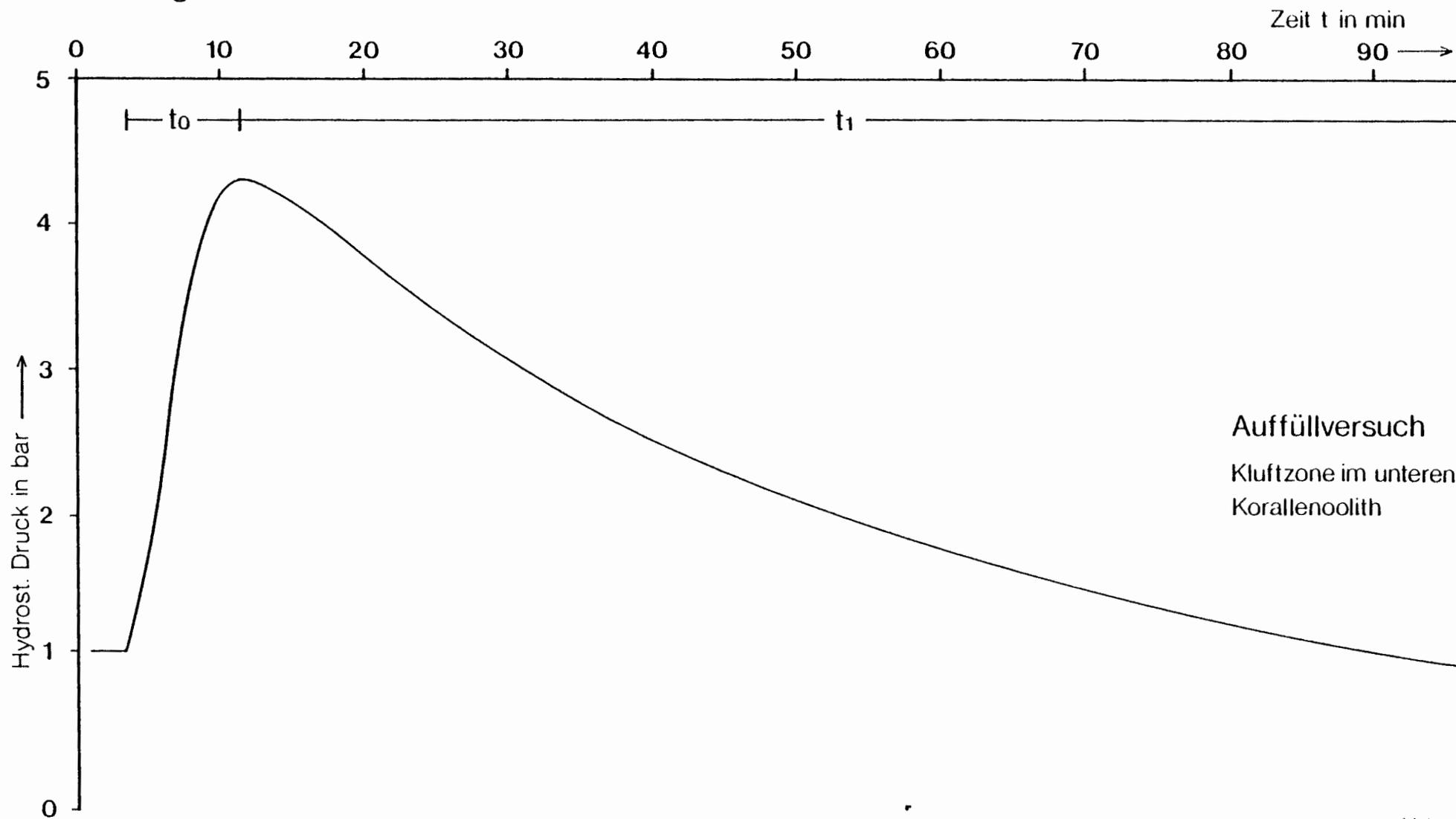
Im Anschluß hieran wurde ein Auffüllversuch durchgeführt. Dazu wurde in das Steigrohr in 630 m Tiefe eine Druck- und Temperaturmeßsonde eingebaut, die nach Beruhigung einen Druck von 1,09 bar anzeigte. Daraufhin wurden innerhalb von 6 Minuten 1440 l klares Wasser in das Rohr gefüllt, wobei der Druck auf 4,3 bar anstieg. Nach Abschluß der Wasserzugabe wurde der Druckabfall über 90 Minuten kontinuierlich gemessen. Das Druck/Zeit-Diagramm ist in Abb. 9 dargestellt.

Wertet man den Druckabfall nach dem Wiederanstiegsverfahren von Theis aus (Abb. 10), so berechnet sich eine Transmissivität von $2 \cdot 10^{-6}$ m²/s. Geht man davon aus, daß sich die effektive Durchlässigkeit auf den ca. 2 m mächtigen Kluftbereich beschränkt, so ergibt sich ein Durchlässigkeitsbeiwert von $1 \cdot 10^{-6}$ m/s.

Die Angabe eines solchen Wertes ist sicher problematisch, da es sich bei dem untersuchten Bohrabschnitt um einen Kluftwasserleiter handelt und die Auswertung nach Theis nur bei homogenen und isotropen Aquiferen gilt. Zudem kann die Durchlässigkeit der Kluftzone durch die vorangegangenen Abdichtungsarbeiten herabgesetzt worden sein; auch ein erneutes Frei bohren muß nicht zu den Verhältnissen führen, die vor dem ersten Anbohren der Kluft bestanden haben.

Da der Auffülltest nicht den erwünschten Erfolg gezeigt hatte, wurde ein Packertest (Nr. 13) über den gleichen Untersuchungsabschnitt durchgeführt.

Bohrung KONRAD 101



Auffüllversuch
Kluftzone im unteren
Korallenoolith

Abb. 9

Bohrung KONRAD 101

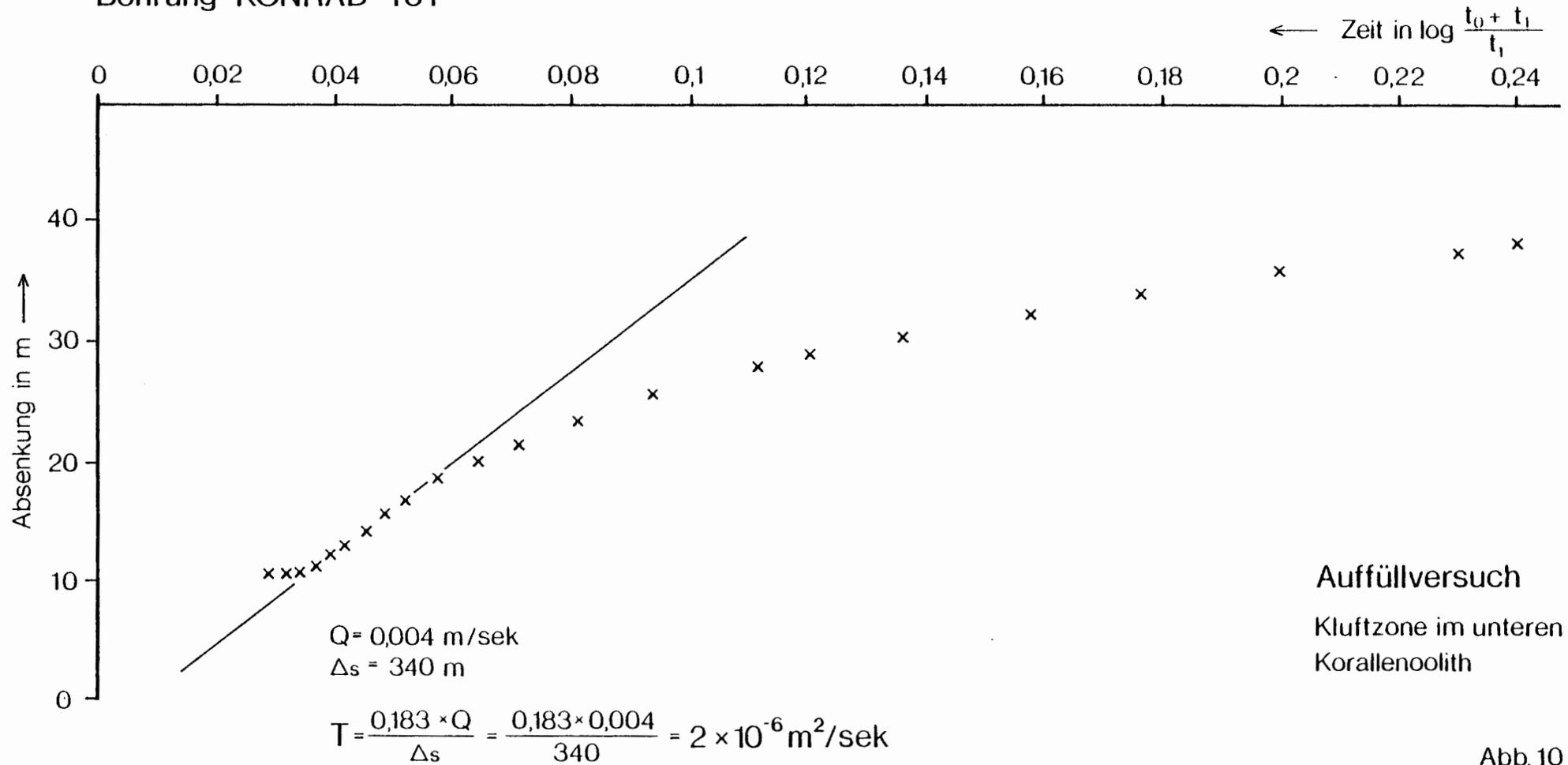


Abb. 10

Einfachpacker-Test Nr. 13

Technische Daten:

Formation : Unterer Korallenoolith,
Callovium
Packerteufe(n) : 739,8 - 782,2 m u. GOK
Teufe Drucksonde P 2 : 725,25 m u. GOK
Länge des Test-Intervalls : 42,40 m
Bohrlochteufe : 782,2 m

Ergebnisse:

	T (m ² /s)	K _f (m/s)	S
Si 1 ¹⁾	2 · 10 ⁻⁴	1 · 10 ⁻⁴	8 · 10 ⁻²²
	2 · 10 ⁻⁴	1 · 10 ⁻⁴	8 · 10 ⁻²²
	2 · 10 ⁻⁴	1 · 10 ⁻⁴	8 · 10 ⁻²²
Si 2	6 · 10 ⁻⁵	3 · 10 ⁻⁵	8 · 10 ⁻⁹
	9 · 10 ⁻⁵	5 · 10 ⁻⁵	8 · 10 ⁻¹⁴
	9 · 10 ⁻⁵	5 · 10 ⁻⁵	8 · 10 ⁻¹⁴
Sw 1	2 · 10 ⁻⁴	8 · 10 ⁻⁵	8 · 10 ⁻²²
	2 · 10 ⁻⁴	8 · 10 ⁻⁵	8 · 10 ⁻²²
	2 · 10 ⁻⁴	8 · 10 ⁻⁵	8 · 10 ⁻²²
Gesamtwertung	2 · 10 ⁻⁴	1 · 10 ⁻⁴	/

Anmerkungen: (Anlage S. 47 - 52)

Der Packer wurde in der Verrohrung abgesetzt; damit wurde der Bereich von der Unterkante der Verrohrung bis zur Endteufe des Bohrlochs getestet.

Zu Beginn des Tests wurde der hydrostatische Druck über einen Zeitraum von 6 Stunden bestimmt. Es stellte sich ein Druck von 1143 k Pa, entsprechend einem Wasserspiegel von etwa 620 m unter Flur, ein. Der gleiche Druck wurde auch nach dem Test bestimmt.

1) slug injection Test

Es schlossen sich 5 slug injection Tests sowie 1 slug withdrawal Test an. Test Si 1 führte zu einem T-Wert von $2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Beim Test Si 2 verringerte sich nach 15 Sekunden - vermutlich infolge einer teilweisen Verstopfung der Kluftzone - die Absenkungsrate sehr stark. Der Test ergab einen T-Wert von $9 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$.

Test Sw 3 wurde wegen zu geringer Absenkungsrate infolge weiterer Verstopfung nicht ausgewertet. Daraufhin wurde versucht, den Wasserspiegel in der Rohrtour durch sogenanntes Swabben abzusenken. Es konnte ein slug withdrawal Test mit einem Anfangs-Unterdruck von 958 k Pa durchgeführt werden, aus dem sich ein T-Wert von $2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ ergab.

Zwei weitere slug injection Tests wurden wegen zu geringer Fließraten nicht ausgewertet.

Da seit dem Anbohren der Kluftzone wiederholt versucht worden war, die hohen Spülungsverluste durch das Setzen von Verstopfungspillen zu verhindern, muß davon ausgegangen werden, daß der ermittelte K_f -Wert von 10^{-4} m/s einen Minimalwert für die Durchlässigkeit darstellt.

Wie oben erwähnt, traten beim Anbohren der Klüfte in 772 m Tiefe Spülungsverluste auf. Nach diesen Verlusten stellten sich in der Bohrung verschiedene Druckwasserspiegel ein, wobei keine Messung einen Spiegelstand tiefer als 620 m u. G. aufwies. Die höheren Spiegelstände sind sicher auf eine Verstopfung der Kluftzone zurückzuführen, dagegen wurde ein Druckspiegel von 620 m sowohl beim Auffülltest als auch beim Packertest Nr. 13 bei erheblichen Durchlässigkeiten gemessen. Eine Verstopfung der Kluftzone konnte hier nicht vorliegen. Somit kann davon ausgegangen werden, daß der Druckspiegelstand von 620 m u. G. in der Bohrung nicht unterschritten werden konnte. Dies bedeutet, daß in der 154 m tiefer liegenden Kluftzone ein hydrostatischer Druck von ca. 15 bar herrscht. Für diese Beobachtung kann folgende Deutung gegeben werden:

Die Auswertung der neuen Seismik ergab, daß 500 m östlich der Bohrung Konrad 101 in etwa 620 m u. G. die Basis des Oxford, also der geklüfteten Kalksteine des Korallenoolithes, von den Unterkreideschichten transgressiv überdeckt wird. Im Bereich des Transgressionshorizontes ist eine erhöhte Durchlässigkeit der Kalksteine und ein größeres Kluftvolumen möglich, evtl. auch durch Karsterscheinungen an der damaligen Landoberfläche. Die von SCHILDKNECHT (1985) geforderte Siphon-artige hydraulische Verbindung von der Bohrung zur Grube kann daher in der Weise realisiert sein, daß die in der Bohrung angetroffene Kluftzone nach Westen in Richtung des Einfallens keine direkte Verbindung zur Grube hat, wohl aber in entgegengesetzter Richtung bis zur Transgressionsfläche nach Osten. Von hier kann eine hydraulische Verbindung, evtl. entlang N-S gerichteter Klüfte, zu dem allgemeinen Kluftsystem bestehen, das, dem Einfallen der Kalksteine nach Westen folgend, eine Verbindung zur Grube hat und dort aufgeschlossen und entwässert ist. Daß die insgesamt 500 m³ Spülung bisher nicht im Grubengebäude angetroffen wurden, ist bei dem weitverzweigten Grubensystem nicht zu verwundern; dagegen ist ein relativ offenes Kluftsystem von ca. 1 km Länge von der Transgressionsfläche bis zum Grubengebäude anzunehmen.

Zusammengefaßt decken sich die Befunde aus dem Korallenoolith in der Bohrung Konrad 101 mit den im Grubengebäude gemachten Erfahrungen: Auch hier besitzt die Formation eine vorherrschend geringe Wasserwegsamkeit; beim Auffahren der Strecken werden jedoch vereinzelt teils wasserführende, teils bereits leergelaufene Kluftsysteme unterschiedlicher Öffnungsweite und Erstreckung angefahren.

4.4 Dogger

In der Bohrung wurden eine 108 m mächtige Tonmergelstein- und Tonsteinfohge des Callovium und Oberbathonium erbohrt, auf die Kalksandsteine der Cornbrash-Zone mit 28 m Mächtigkeit folgen. Die Bohrung wurde bei einer Teufe von 1001,75 m in Tonsteinen des Bajocium eingestellt.

Es wurden 4 Packertests durchgeführt:

Einfachpacker-Test Nr. 14

Technische Daten:

Formation : Callovium, Unterbathonium
(Tonmergelstein)
Packerteufe(n) : 776,00 - 880,2 m u. GOK
Teufe Drucksonde P 2 : 761,45 m u. GOK
Länge des Test-Intervalls : 104,20 m
Bohrlochteufe : 880,2 m
Mittlerer Bohrlochdurchmesser: 292 mm

Ergebnisse:

	T (m ² /s)	K _f (m/s)	S
Pw 1	9 · 10 ⁻¹¹	9 · 10 ⁻¹³	5 · 10 ⁻⁵
	9 · 10 ⁻¹¹	8 · 10 ⁻¹³	5 · 10 ⁻⁵
	9 · 10 ⁻¹¹	8 · 10 ⁻¹³	5 · 10 ⁻⁵
Gesamtwertung	< 10 ⁻⁹	< 10 ⁻¹¹	5 · 10 ⁻⁵

Anmerkungen: (Anlage S. 53 - 55)

Die Kluftzone im Unteren Korallenoolith wurde nach dem Testen durch Zementation abgedichtet. Trotz mehrmaliger Zementation gelang jedoch keine vollständige Abdichtung, so daß beim Durchbohren der liegenden Formationen ein konstanter geringfügiger Spülungsverlust festzustellen war.

Beim Test Nr. 14 wurde nach Setzen des Packers ebenfalls ein Absinken des Spülungsspiegels mit entsprechendem Druckabfall an P 3 festgestellt, der mit dieser Kluftzone in Verbindung gebracht wurde. Beim Öffnen des shut-in tools zu Beginn des Tests Pw 1 erhöhte sich der Druckabfall an P 3 jedoch und näherte sich dem Wert des Druckanstiegs in der Testzone, so daß eine Umläufigkeit des Packers nicht auszuschließen war.

Daraufhin wurde der Spülungsspiegel im Bohrloch um 35 m aufgefüllt. Da sich hierdurch der Spiegelabfall verringerte und in der Testzone kein sprunghafter Druckanstieg auftrat, war eine Umläufigkeit des Packers ausgeschlossen.

Während des anschließenden Tests Sw 1 wurde ein Anstieg der Spülungsflüssigkeit beobachtet, der durch eine Abdichtung der Kluftzone durch Spülung und den Ausdehnungseffekt der Spülung infolge Erwärmung zu erklären ist.

Aus dem Test Pw 1 ergab sich eine Transmissivität von $9 \cdot 10^{-11}$ m²/s. Beim Test Sw 1 wurde bei einem Unterdruck von 715 k Pa ein Zufluß in der erwarteten Größenordnung von 0,003 l/min festgestellt.

Doppelpacker-Test Nr. 16

Technische Daten:

Formation : Cornbrash-Zone (Sandstein, Tonmergelstein)
Packertiefe(n) : 892,98 - 907,89 m u. GOK
Teufe Drucksonde P 2 : 888,34 m u. GOK
Länge des Test-Intervalls : 14,91 m
Bohrlochteufe : 1001,75 m
Mittlerer Bohrlochdurchmesser: 223 mm

Ergebnisse:

	T (m ² /s)	K _f (m/s)	S
Pw 1	5 · 10 ⁻¹¹	3 · 10 ⁻¹²	7 · 10 ⁻⁶
	5 · 10 ⁻¹¹	3 · 10 ⁻¹²	7 · 10 ⁻⁶
Gesamtwertung	5 · 10 ⁻¹¹	3 · 10 ⁻¹²	7 · 10 ⁻⁶
	< 10 ⁻¹⁰	< 10 ⁻¹¹	7 · 10 ⁻⁶

Anmerkungen: (Anlage S. 56 - 58)

Es wurden insgesamt 6 Tests durchgeführt: Bu 1, Pw 1, Sw 1, Bu 2, Sw 2, Bu 3.

Während des 4,9-stündigen Druckaufbautests Bu 1 stieg der Druck an P 2 von 8876 bis 9520 k Pa an, ohne einen konstanten Wert zu erreichen.

Aus dem Test Pw 1 ergab sich eine Transmissivität von 5 · 10⁻¹¹ m²/s. Der nachfolgende Wert Sw 1 bestätigte mit einem Zufluß von 0,005 l/min bei 3372 k Pa Unterdruck diesen Wert.

Es schloß sich ein build-up Test (Bu 2) und ein weiterer slug withdrawal Test (Sw 2) mit erhöhten Unterdrücken an, um eine eventuelle Beeinflussung durch den Filterkuchen an der Bohrlochwand zu erkennen.

Test Sw 2 bestätigte mit einem Zufluß von 0,007 l/min bei 5253 k Pa (537 m Wassersäule) Unterdruck die niedrige Durchlässigkeit.

Doppelpacker-Test Nr. 17

Technische Daten:

Formation : Cornbrash-Zone (Sandstein, Tonmergelstein)
 Packerteufe(n) : 905,59 - 920,50 m u. GOK
 Teufe Drucksonde P 2 : 899,04 m u. GOK
 Länge des Test-Intervalls : 14,91 m
 Bohrlochteufe : 1001,75 m
 Mittlerer Bohrlochdurchmesser: 223 mm

Ergebnisse:

	T (m ² /s)	K _f (m/s)	S
Pw 2	5 · 10 ⁻¹²	3 · 10 ⁻¹³	7 · 10 ⁻⁶
	5 · 10 ⁻¹²	4 · 10 ⁻¹³	7 · 10 ⁻⁶
	5 · 10 ⁻¹²	3 · 10 ⁻¹³	7 · 10 ⁻⁶
Gesamtwertung	< 10 ⁻¹⁰	< 10 ⁻¹¹	7 · 10 ⁻⁶

Anmerkungen: (Anlage S. 59 - 61)

Während des 4,8-stündigen build-up Tests stieg der Druck an P 2 von 8972 k Pa auf 9339 k Pa an, ohne einen konstanten Wert zu erreichen.

Beim Test Pw 1 (Unterdruck 2230 k Pa) stieg der Druck während der ersten 0,8 Stunden an, blieb für 0,7 Stunden konstant, fiel ab und stieg wiederum an. Der Test wurde abgebrochen und ein zweiter pulse withdrawal Test mit einem vergrößerten Unterdruck von 4489 k Pa eingeleitet, bei dem der Druckanstieg normal verlief. Die Auswertung ergibt einen T-Wert von 5 · 10⁻¹² m²/s. Wegen der abnormalen Testbedingungen weicht die Meßkurve während der 1 Stunde des Druckanstiegs von den Typkurven ab.

Der anschließende Test Sw 1 bestätigte mit einem Zufluß von weniger als 0,002 l/min bei 4241 k Pa Unterdruck die niedrige Durchlässigkeit.

Einfachpacker-Test Nr. 15

Technische Daten:

Formation : Bajocium (Tonstein)
Packerteufe(n) : 919,01 - 1001,75 m u. GOK
Teufe Drucksonde P 2 : 915,04 m u. GOK
Länge des Test-Intervalls : 82,74 m
Bohrlochteufe : 1001,75 m
Mittlerer Bohrlochdurchmesser: 239 mm

Ergebnisse:

	T (m ² /s)	K _f (m/s)	S
Pw 1	3 · 10 ⁻¹¹	3 · 10 ⁻¹³	4 · 10 ⁻⁵
	3 · 10 ⁻¹¹	4 · 10 ⁻¹³	4 · 10 ⁻⁵
	3 · 10 ⁻¹¹	3 · 10 ⁻¹³	4 · 10 ⁻⁵
Gesamtwertung	< 10 ⁻⁹	< 10 ⁻¹¹	4 · 10 ⁻⁵

Anmerkungen: (Anlage S. 62 - 64)

Der Test Pw 1 wurde mit einem Unterdruck von 1709 k Pa eingeleitet. Der Druckanstieg wurde 31,5 Stunden gemessen. Die Auswertung ergibt einen T-Wert von 3 · 10⁻¹¹ m²/s. Der anschließende Test Sw 1 bestätigte mit einem Zufluß von weniger als 0,002 l/min bei 1523 k Pa Unterdruck dieses Ergebnis.

	Stratigraphie Lithologie	Test Nr.	Testabschnitt von - bis (m Tiefe)	Länge des Testabschnittes (m)	γ (m ² /s)	K_f (m/s)	S
OBER- KREIDE	Plänerkalke (Quartär)	1	0 - 116	116	10^{-5}	10^{-7}	/
	Plänerkalke (Turon)	4	122 - 160	38	10^{-7}	10^{-8}	/
	Plänerkalke (Turon)	3	159 - 196	38	10^{-6}	10^{-7}	/
	Cenoman- Kalkmergel	2	204 - 241	38	10^{-10}	10^{-11}	/
UNTER- KREIDE	Flammenmergel	1,1a	241 - 292	51	10^{-10}	10^{-11}	/
	Alb- Tonmergelstein	5	302 - 427	125	10^{-9}	10^{-11}	/
	Alb- Tonmergelstein	7	427 - 449	21	10^{-10}	10^{-11}	10^{-7}
	Hilssandstein	6	444 - 481	37	$3 \cdot 10^{-5}$	10^{-5}	/
	Tonmergelstein Hauterive - Apt	8	480 - 608	128	10^{-9}	10^{-11}	$6 \cdot 10^{-5}$
JURA	Unter-Hauterive - Oberer Korallen- oolith	12	600 - 634	34	/ 1)	/	/
	Oberer Korallen- oolith	11/11a	634 - 678	44	$2 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-9}$	$2 \cdot 10^{-6}$
MALM	Oberer bis Mittlerer Korallen- oolith	10	678 - 711	33	10^{-8}	$3 \cdot 10^{-10}$	10^{-6}
	Mittlerer bis Unterer Korallen- oolith	9	711 - 744	33	$3 \cdot 10^{-10}$	10^{-11}	10^{-5}
	Unterer Korallen- oolith	13	740 - 782	42	$2 \cdot 10^{-4}$	10^{-4}	/
JURA DOGGER	Callovium - Bathonium Tonmergel- stein	14	776 - 880	104	10^{-9}	10^{-11}	$5 \cdot 10^{-5}$
	Cornbrash-Zone	16	893 - 908	15	10^{-10}	10^{-11}	$7 \cdot 10^{-6}$
	Cornbrash-Zone	17	906 - 921	15	10^{-10}	10^{-11}	$7 \cdot 10^{-6}$
	Bajocium - Tonstein	15	919 - 1002	83	10^{-9}	10^{-11}	$4 \cdot 10^{-5}$

Tab. 3: Ergebnisse der Bohrlochtests in der Bohrung Konrad 101

1) Packer konnte wegen Überweite des Bohrlochs nicht gesetzt werden

BOHRUNG KONRAD 101

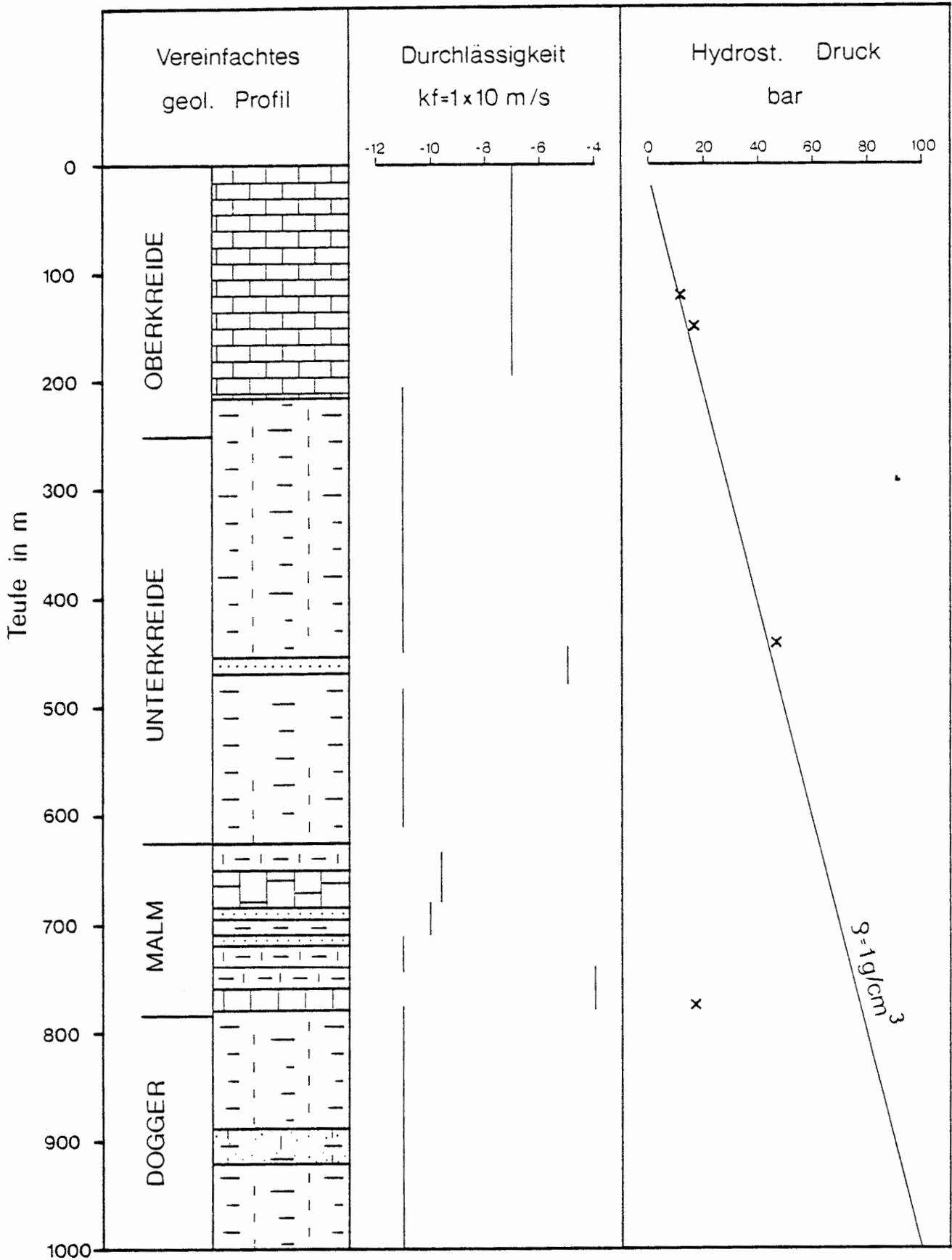


Abb. 11 Gesteinsdurchlässigkeiten und statische Drucke in der Bohrung Konrad 101

5. Zusammenfassung der Testergebnisse

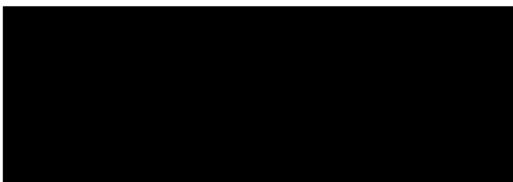
Abb. 11 und Tab. 3 geben eine Zusammenschau der Testergebnisse. Die wesentlichen Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Plänerkalke in der Bohrung haben eine verhältnismäßig geringe Durchlässigkeit von 10^{-7} m/s. Die Mineralisation des Grundwassers steigt mit zunehmender Teufe an, liegt aber mit 2,2 g/l erheblich niedriger als der Salzgehalt des beim Abteufen der Schächte Konrad 1 und 2 angetroffenen Wassers.
- Sowohl die Kalkmergel an der Basis des Cenoman als auch die Flammenmergel, die oberflächennah eine erhöhte Durchlässigkeit aufweisen können, sind in der Bohrung Nichtleiter mit einem K_f -Wert von weniger als 10^{-11} m/s.
- Die Tonmergelsteine, Mergelsteine und Tonsteine der Unterkreide, die beim geplanten Endlager Konrad die wichtigste Barriere bilden, besitzen generell Durchlässigkeiten von weniger als 10^{-11} m/s, ebenso wie die Tonsteine und Tonmergelsteine des Jura.
- Der Hilssandstein, der als 2,7 m mächtiger glaukonitischer Feinsandstein erbohrt wurde, hat eine Durchlässigkeit von $1 \cdot 10^{-5}$ m/s. Es wurde ein hydrostatischer Druck von 4605 ± 10 k Pa in 439,4 m Teufe bestimmt. Eine Probenahme des Formationswassers scheiterte wegen technischer Schwierigkeiten. Aus dem Testverlauf kann gefolgert werden, daß die Formation Wasser hoher Salinität enthält.

- Die für den Korallenoolith ermittelten K_f -Werte liegen zwischen $5 \cdot 10^{-9}$ bis kleiner $1 \cdot 10^{-11}$ m/s. Nur in den Basiskalken des Korallenoolithes wurde eine Durchlässigkeit von $1 \cdot 10^{-4}$ ermittelt bei einem hydrostatischen Druck von 15 bar. Diese Werte erklären sich aus einer Kluftzone in den Kalksteinen, die eine hydraulische Verbindung mit dem Grubengebäude haben muß. Dabei kann es sich nicht um einen direkten Kurzschluß handeln, sondern der wiederholt sich im Bohrloch eingestellte Wasserstand von 620 m unter Gelände deutet auf einen syphonartigen Überlauf im Gebiet der Unterkreidetransgression auf die Kalksteine des unteren Korallenoolithes hin.
- Die Ton- und Mergelsteine des Doggers weisen Durchlässigkeiten von weniger als 10^{-11} m/s auf; das gleiche gilt für die 28 m mächtigen Kalkfeinsandsteine des Cornbrash.

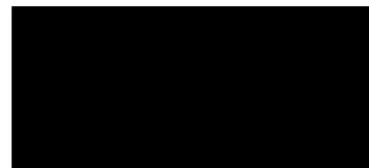
BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE

Im Auftrag:



-Ltd. Direktor u. Professor-

Sachbearbeiter:



Wiss. Angestellter



- Wiss. Angestellter -

Literaturverzeichnis

- BREDEHOEFT, J. D. & PAPADOPULOS, S. S. (1980): A method of determining the hydraulic properties of tight formations. - Water Resources Research, 16, No. 1, S. 233 - 238, 4 Abb., 2 Tab.; Reston, Virginia.
- COOPER, H. H., BREDEHOEFT, J. D. & PAPADOPULOS, S. S. (1967): Response of a finite-diameter well to an instantaneous charge of water. - Water Resources Research, 3, No. 1, S. 263 - 269, 6 Abb., 3 Tab.; Reston, Virginia.
- EARLHOUGH, R. C., Jr. (1977): Advances in well test analysis. - Society of Petroleum Engineers of AIME; New York.
- DEUTSCHE GESELLSCHAFT ZUM BAU UND BETRIEB VON ENDLAGERN FÜR ABFALLSTOFFE MBH (DBE) (1985): Bericht über das Abteufen der Untersuchungsbohrung Konrad 101. Interner Bericht DBE, Peine.
-  Geologische, paläontologische und sedimentpetrographische Ergebnisse der Bohrung Konrad 101 - Arbeitstitel. Interner Bericht BGR, in Vorbereitung.
- HORNER, D. R. (1951): Pressure build-up in wells. - Proc. Third World Pet. Cong., Sec. II, S. 503 - 523, 10 Abb., The Hague.
- KRUSEMANN, G. P. & DE RIDDER, N. A. (1973): Untersuchung und Auswertung von Pumpversuchsdaten. - Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln-Bramsfeld.

MATTHEWS, C. S. & RUSSELL, D. G. (1967): Pressure build-up and flow tests in wells. - Monograph 1, Society of Petroleum Engineers, Tulsa, Oklahoma.

 Hydraulische Berechnungen für den Nahbereich der Grube Konrad 101. Interner Bericht BGR, in Vorbereitung.

STRAYLE, G. (1983): Pumpversuche im Festgestein. - DVGW-Schriftenreihe Wasser Nr. 34, S. 305 - 327, 8 Abb., 1 Tab., Eschborn.

THEIS, C. V. (1935): The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage. - Am. Geophys. Union Trans. 16, S. 519 - 524.

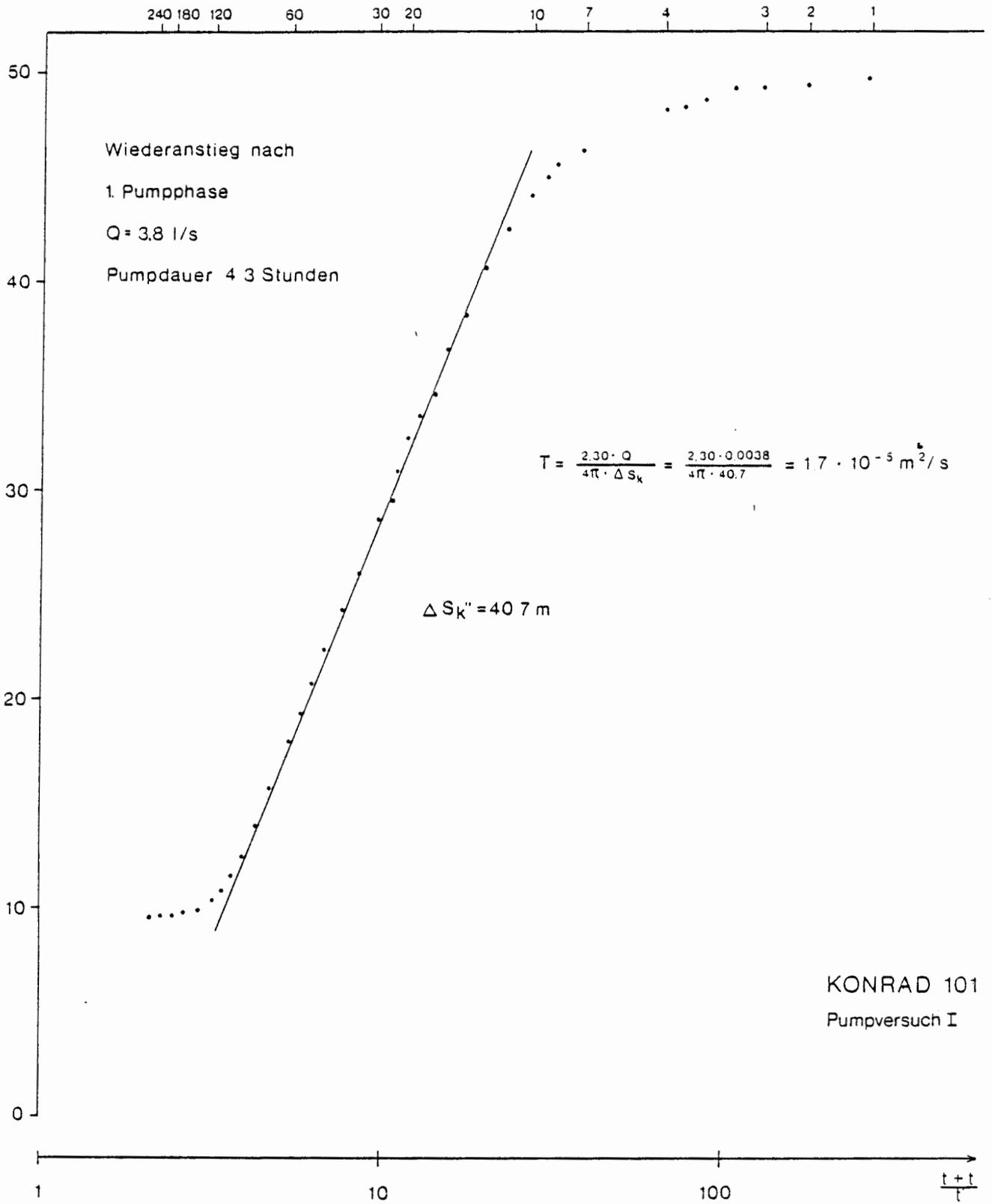
PAPADOPULOS, S. S., BREDEHOEFT, J. D. & COOPER, H. H. (1973): On the analysis of 'slug test' data. - Water Resources Research, 9, No. 4, S. 1087 - 1089, 1 Abb., 1 Tab.; Reston, Virginia.

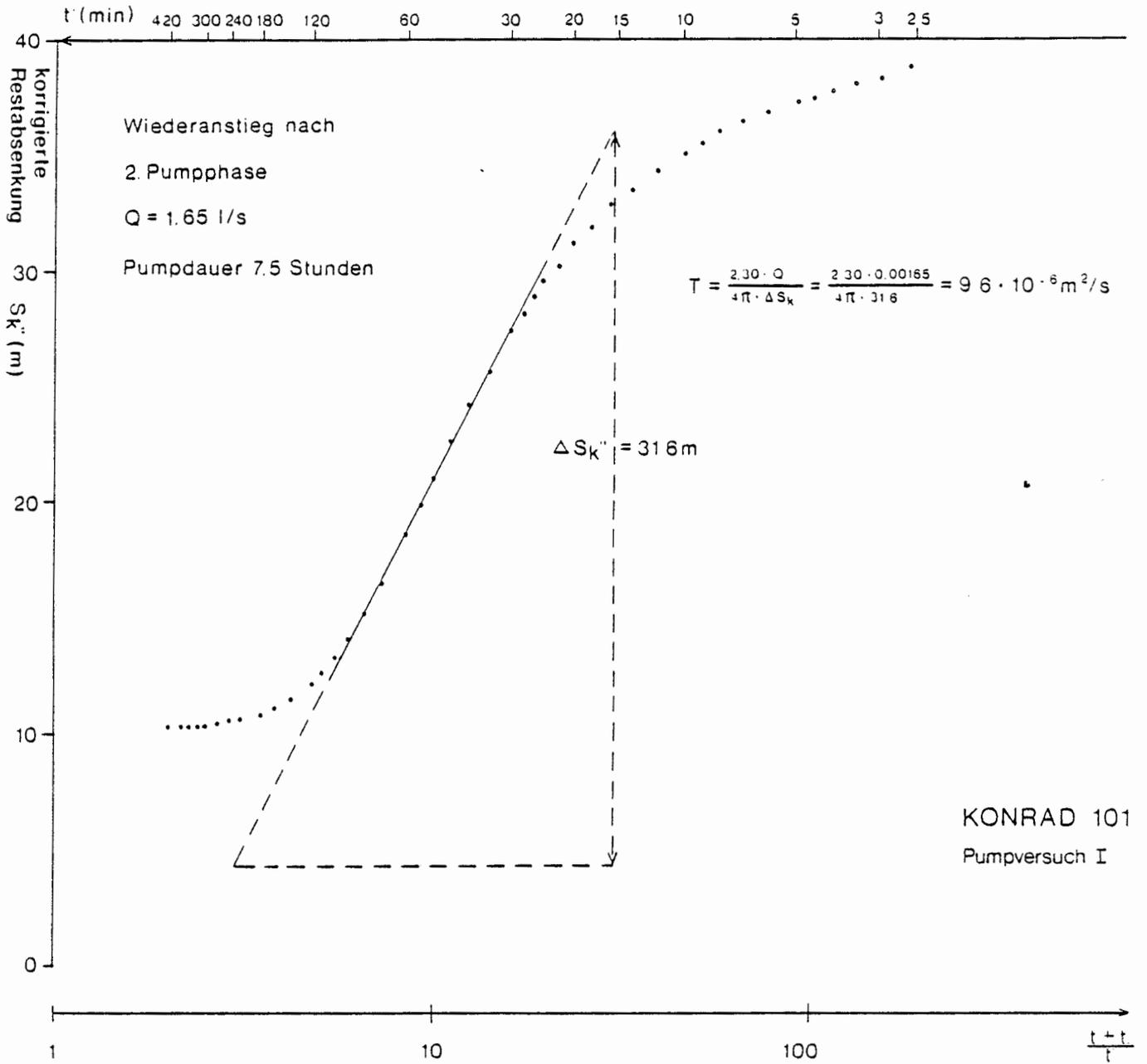
ANHANG

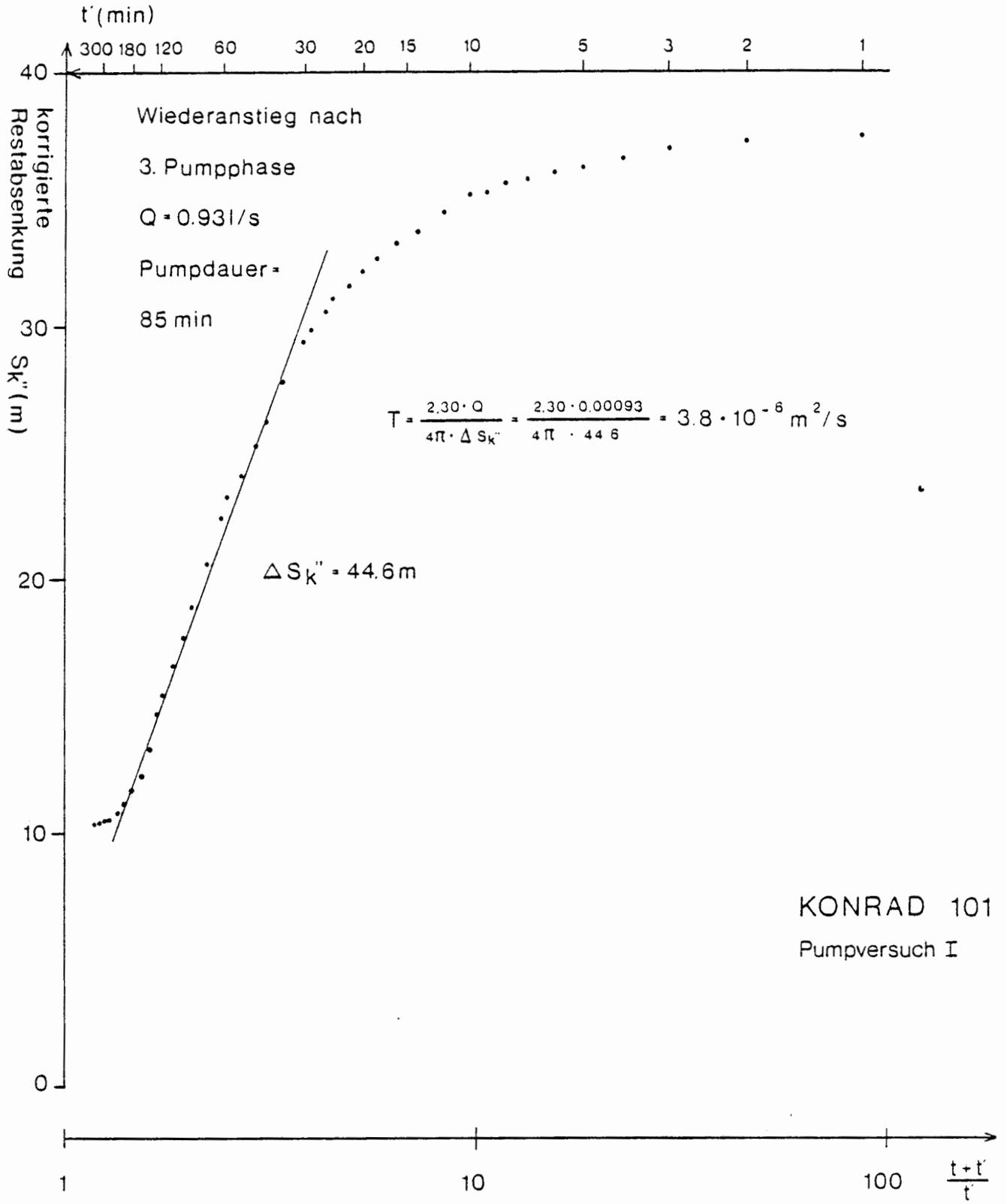
		<u>Seite</u>
Pumpversuch	I	1 - 4
Packertest	4	5 - 8
Packertest	3	9 - 12
Packertest	2	13 - 15
Packertest	1, 1a	16 - 18
Packertest	5	19 - 21
Packertest	7	22 - 24
Packertest	6	25 - 30
Packertest	8	31 - 33
Packertest	11, 11a	34 - 38
Packertest	10	39 - 43
Packertest	9	44 - 46
Packertest	13	47 - 52
Packertest	14	53 - 55
Packertest	16	56 - 58
Packertest	17	59 - 61
Packertest	15	62 - 64

Pumpversuch I

0 - 116,2 m



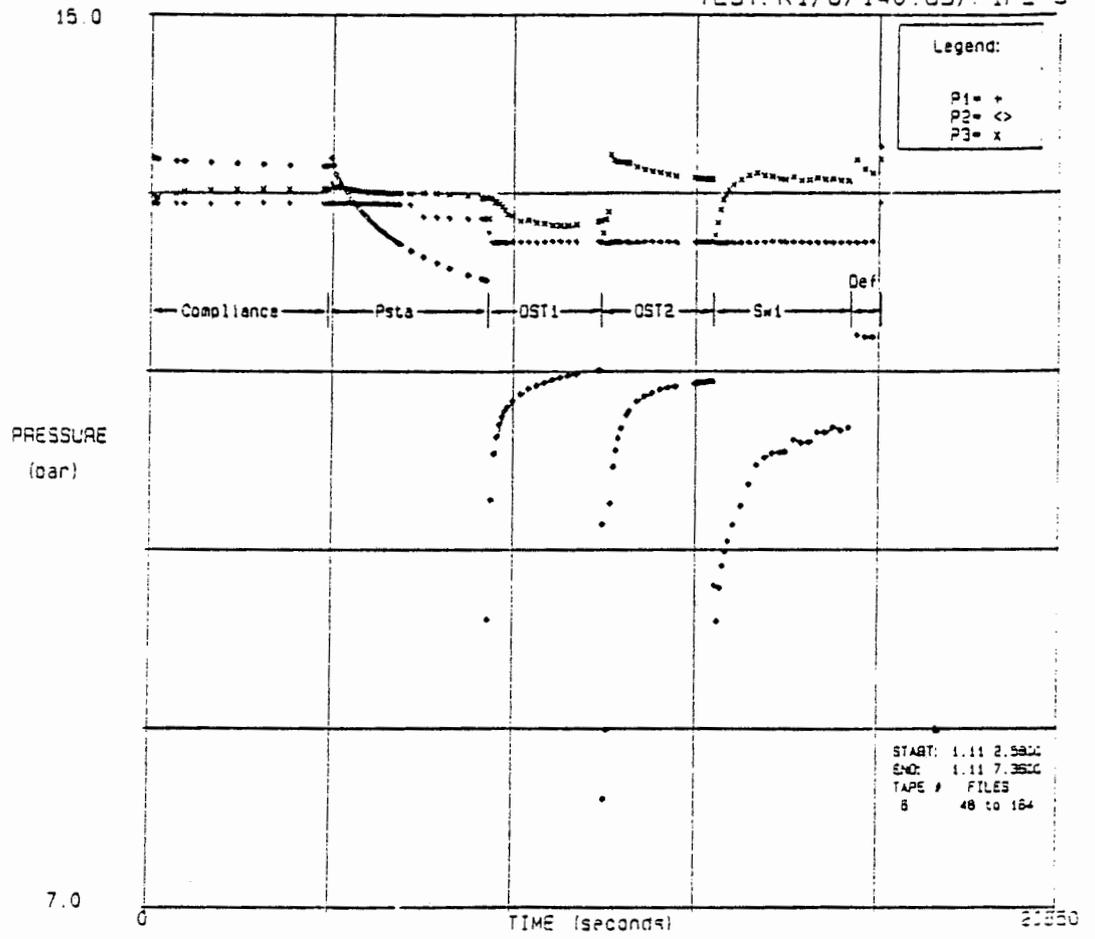




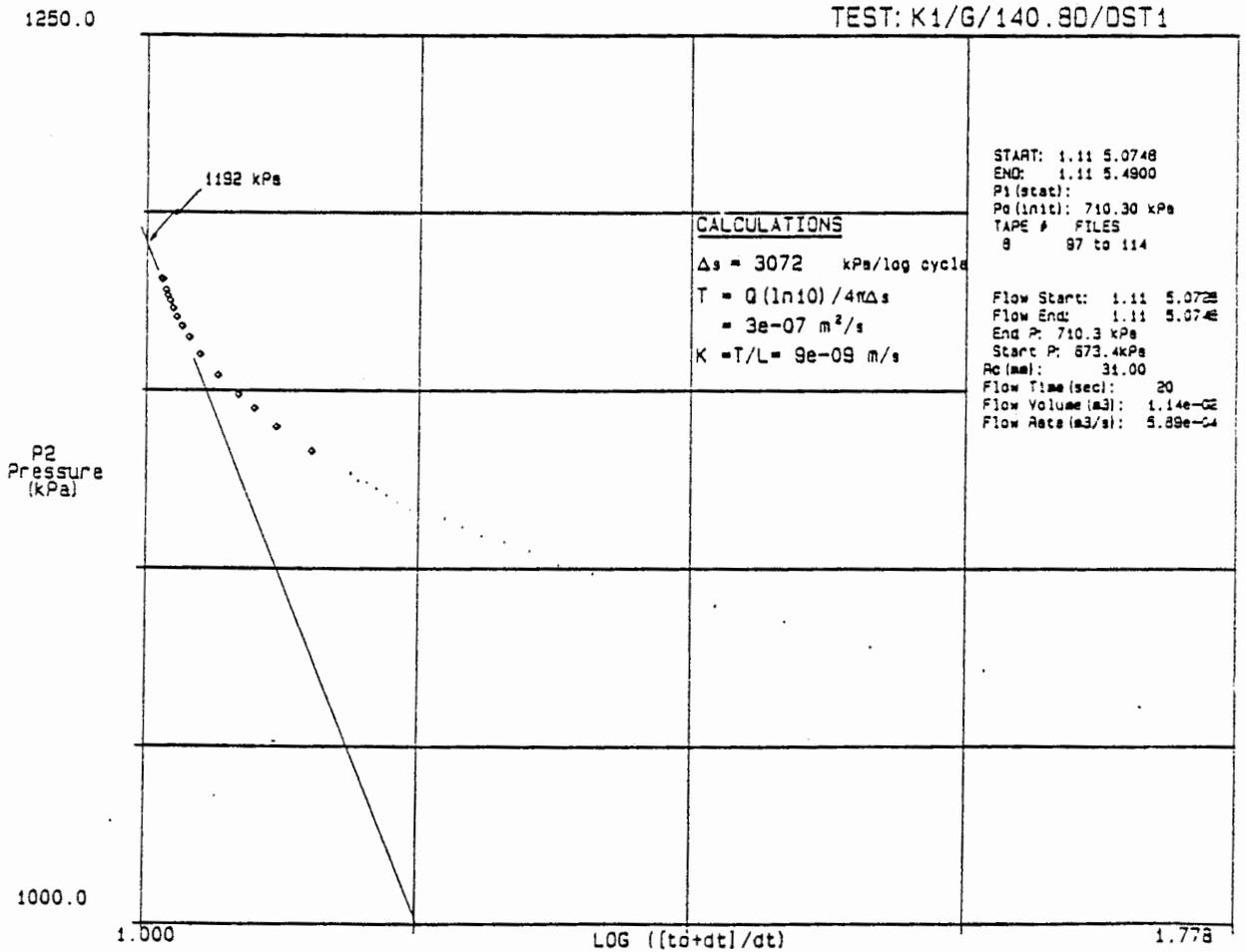
Doppelpacker-Test Nr. 4

121,95 - 159,71 m

TEST: K1/G/140.80/P1P2P3

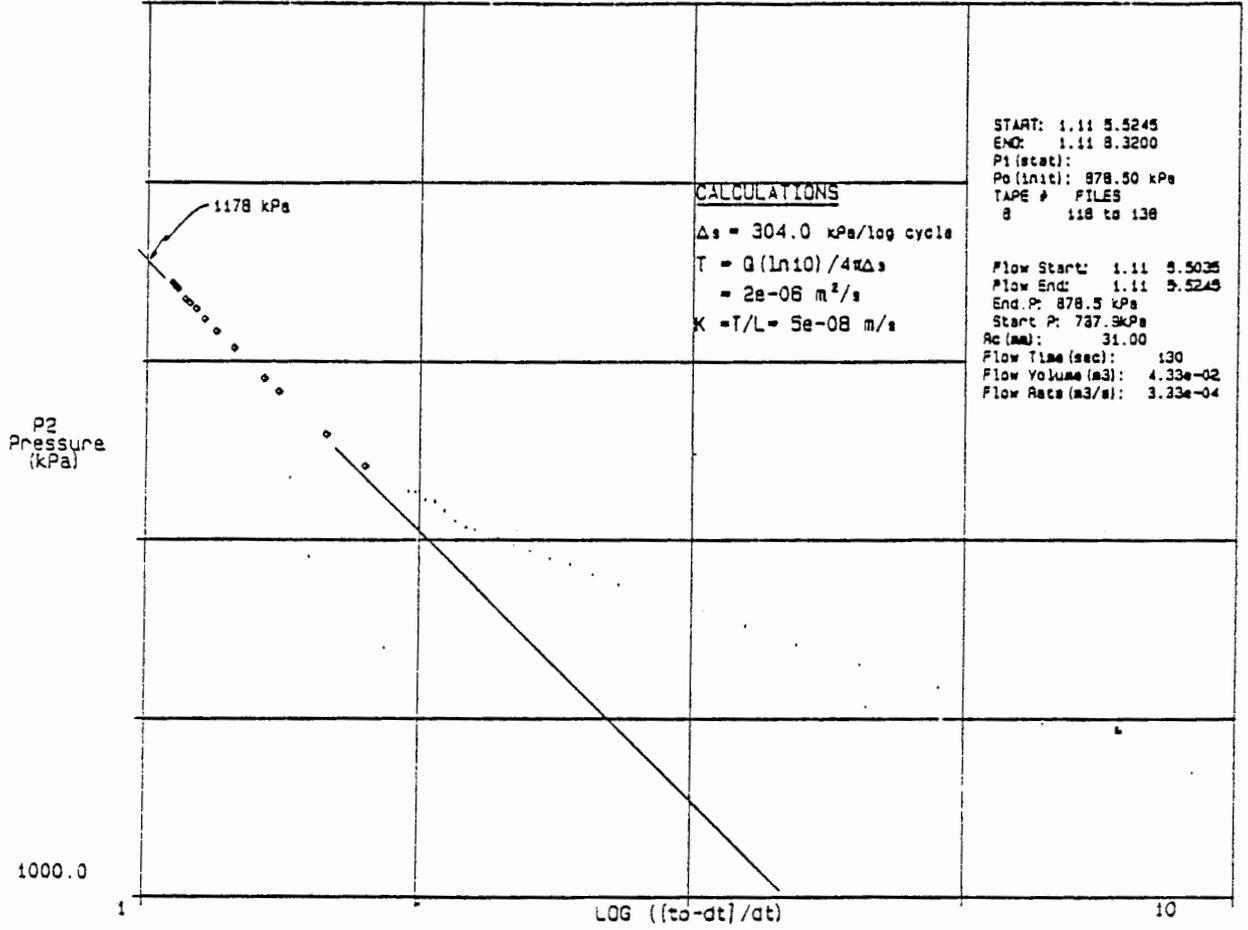


TEST: K1/G/140.80/DST1

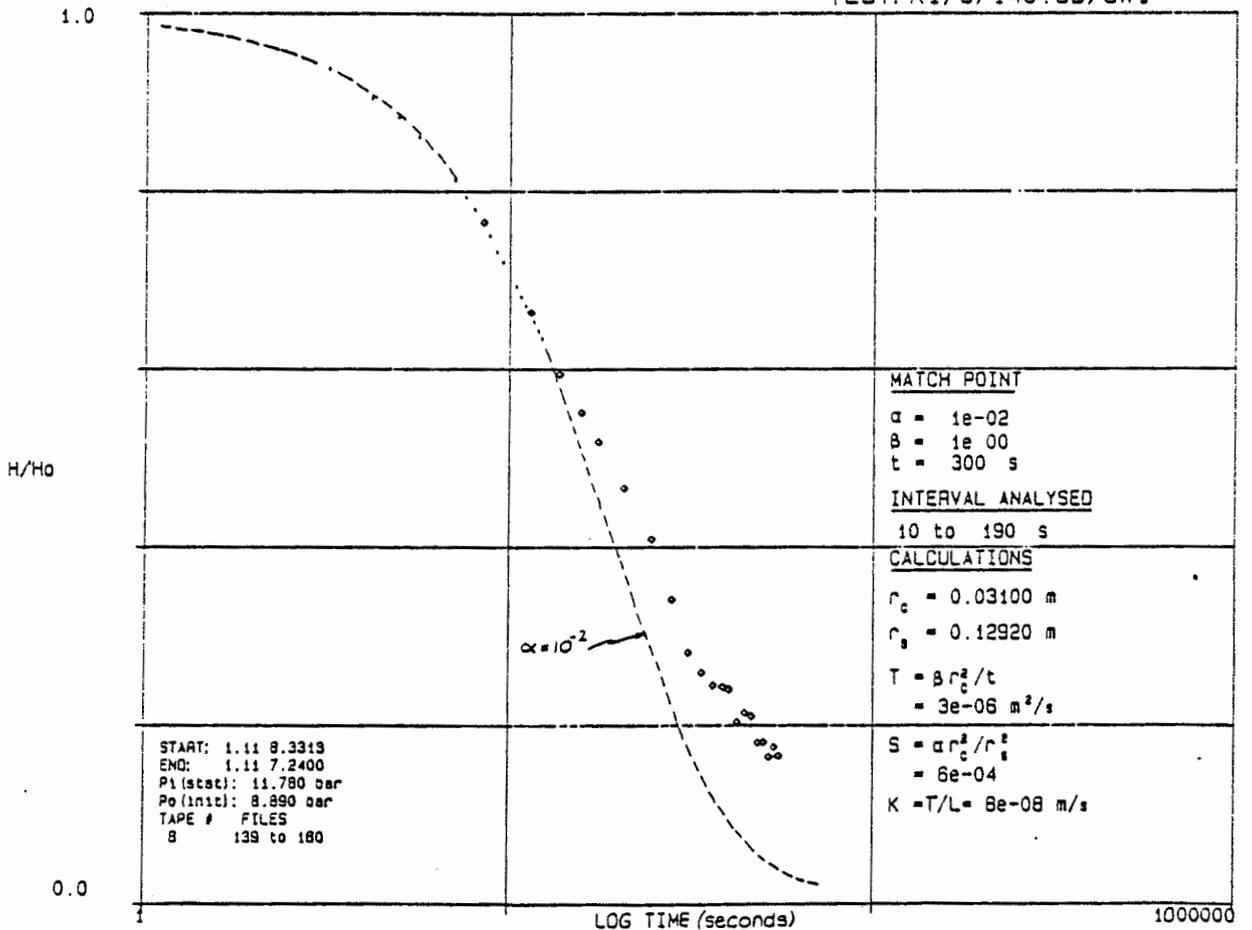


1250.0

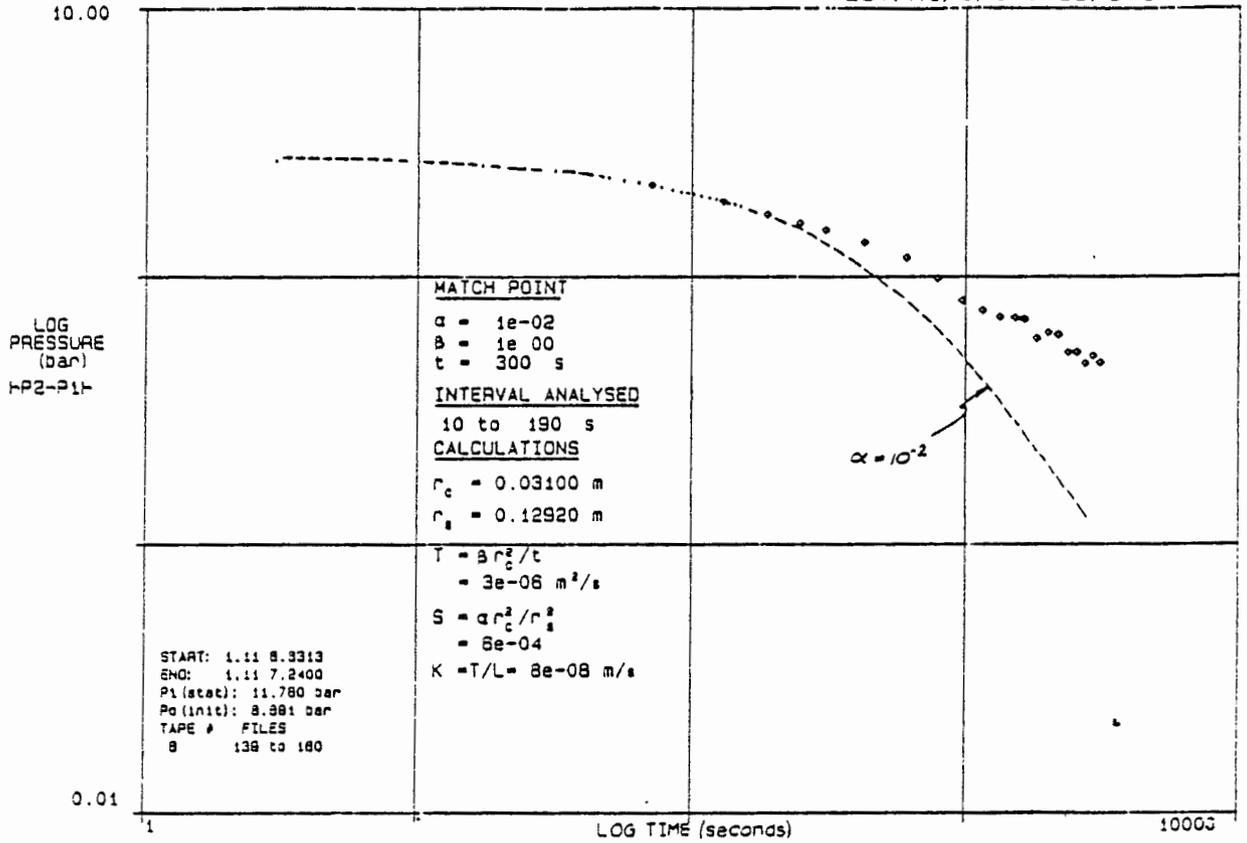
TEST: K1/G/140.8D/DST2



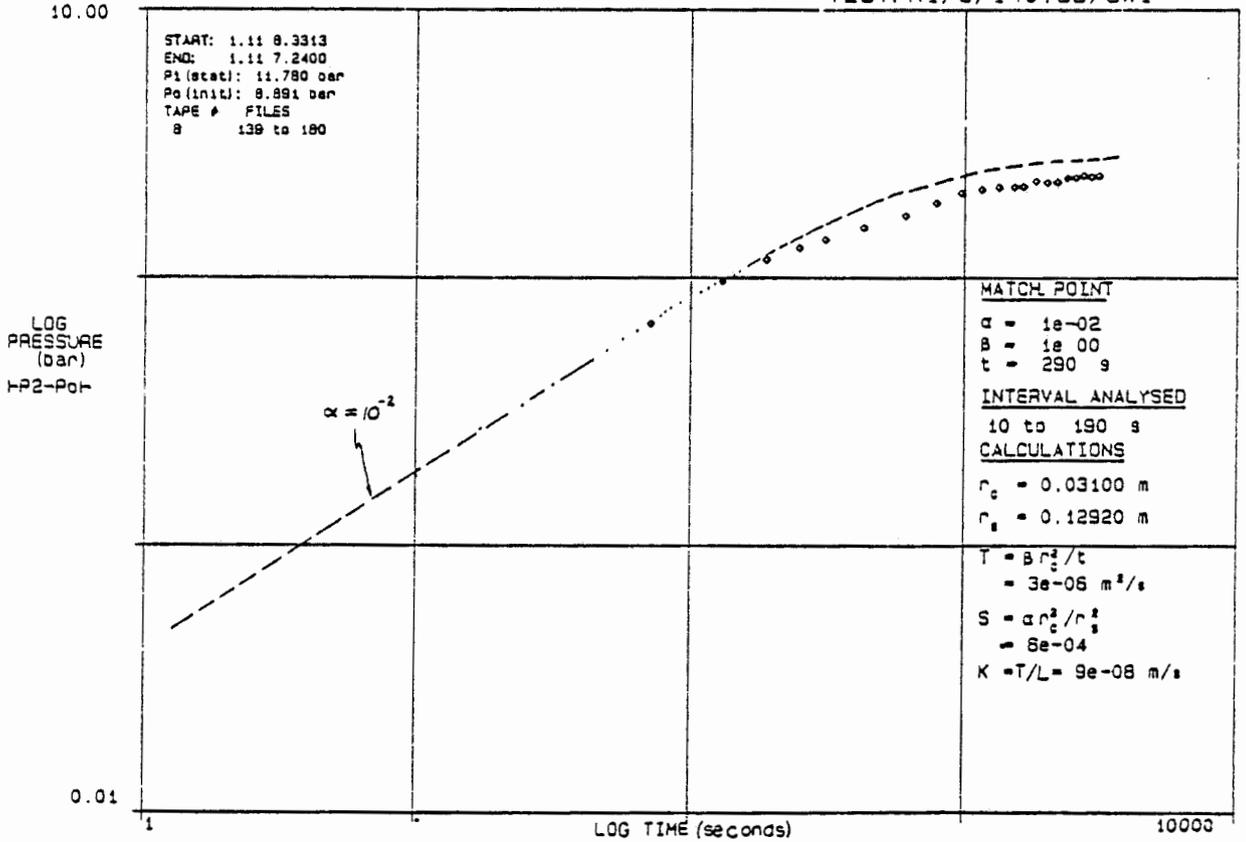
TEST: K1/G/140.8D/Sw1



TEST: K1/G/140.80/Sw1



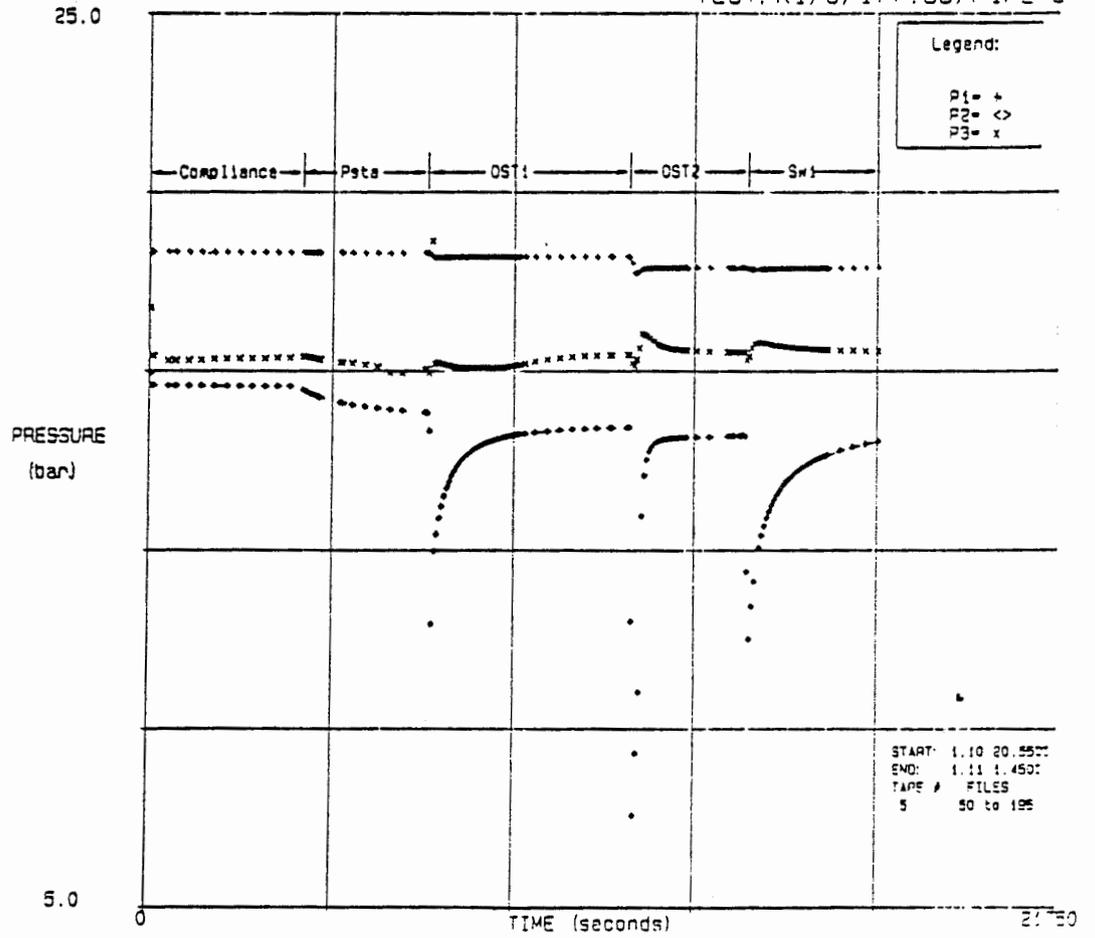
TEST: K1/G/140.80/Sw1

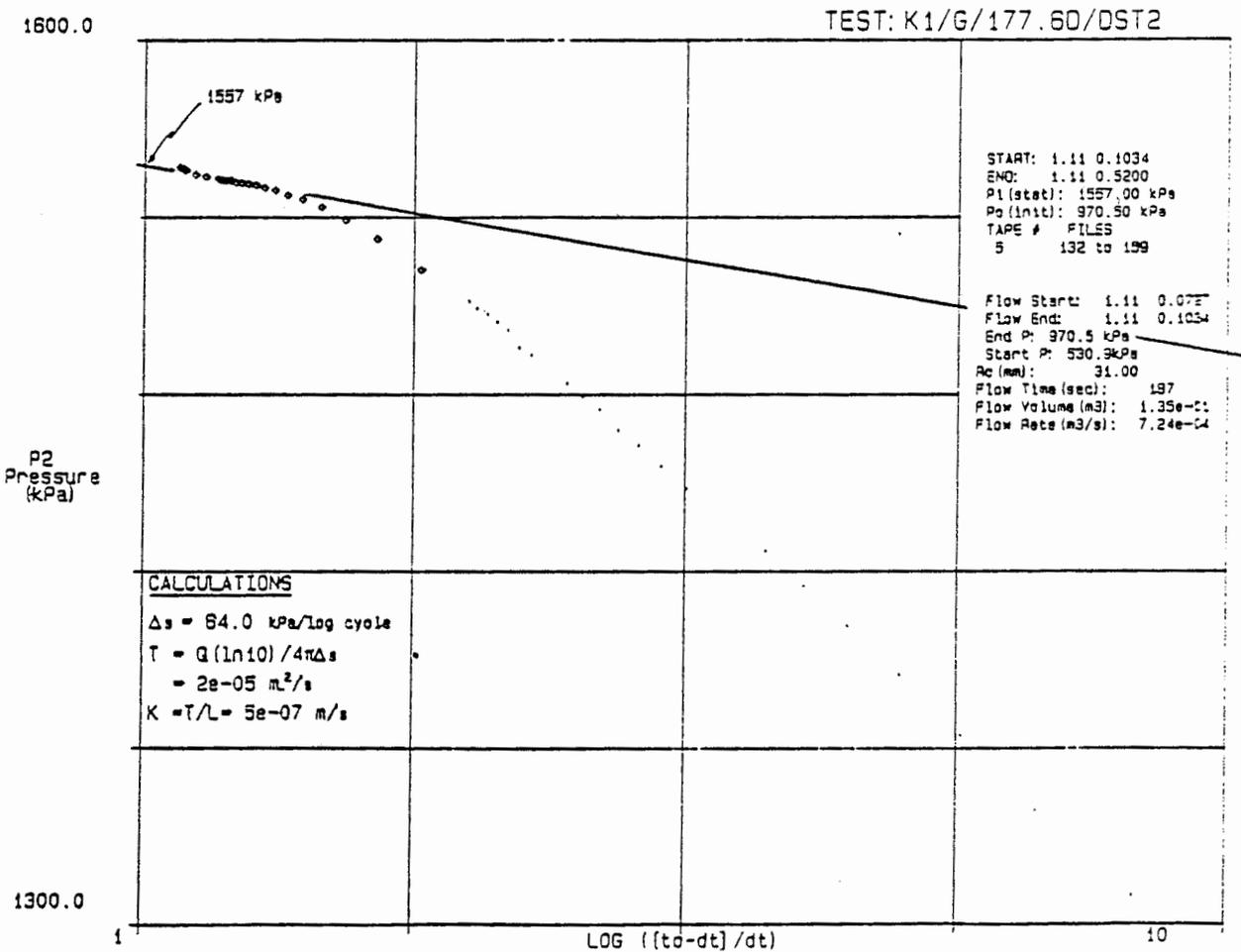
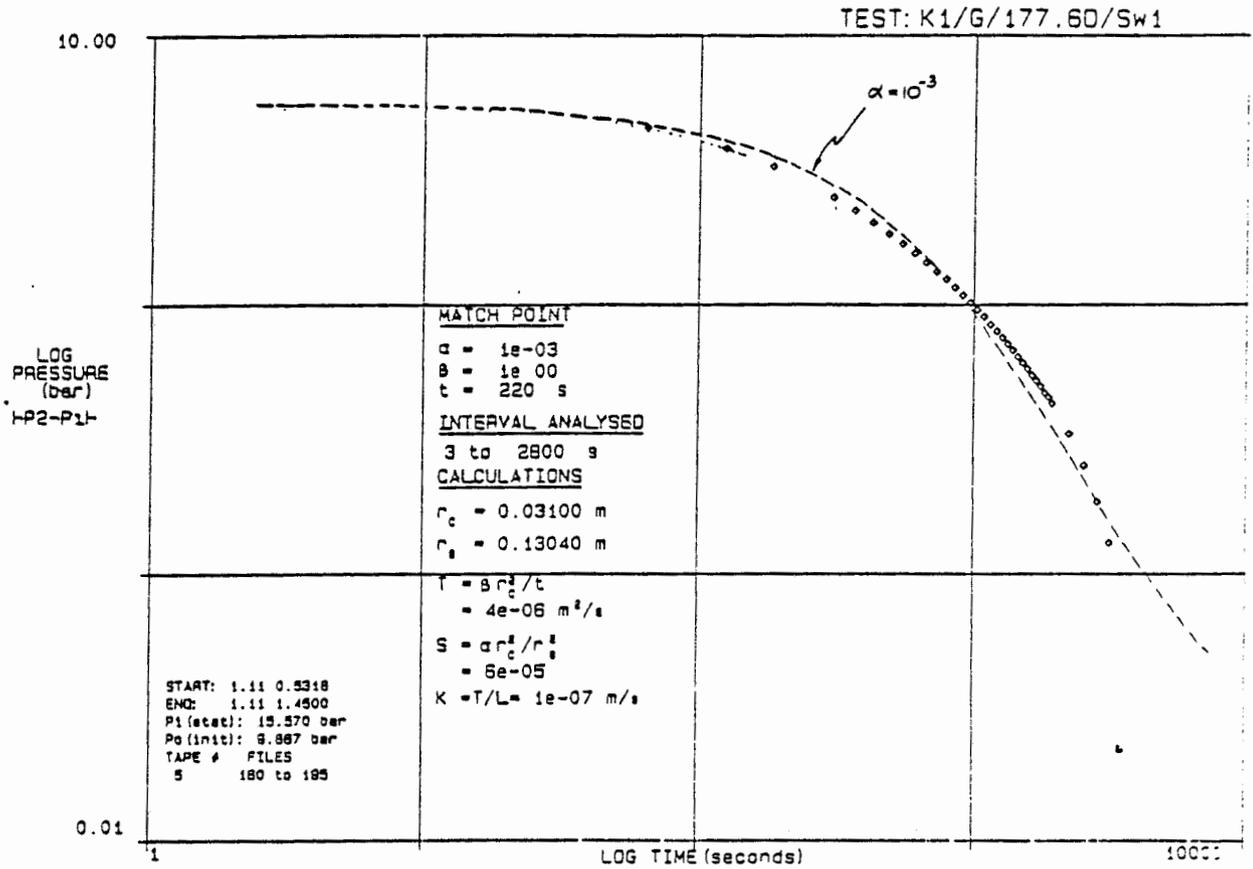


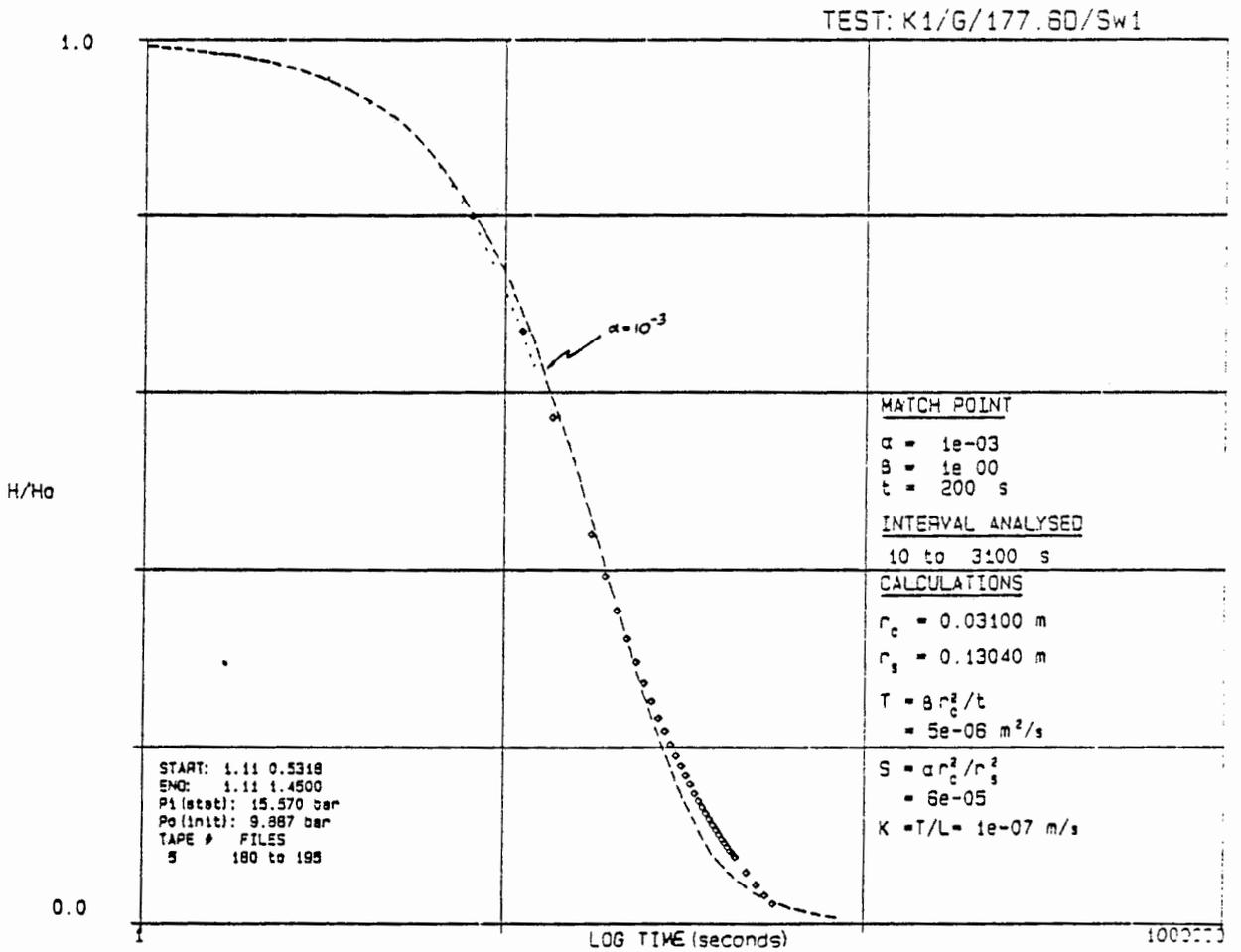
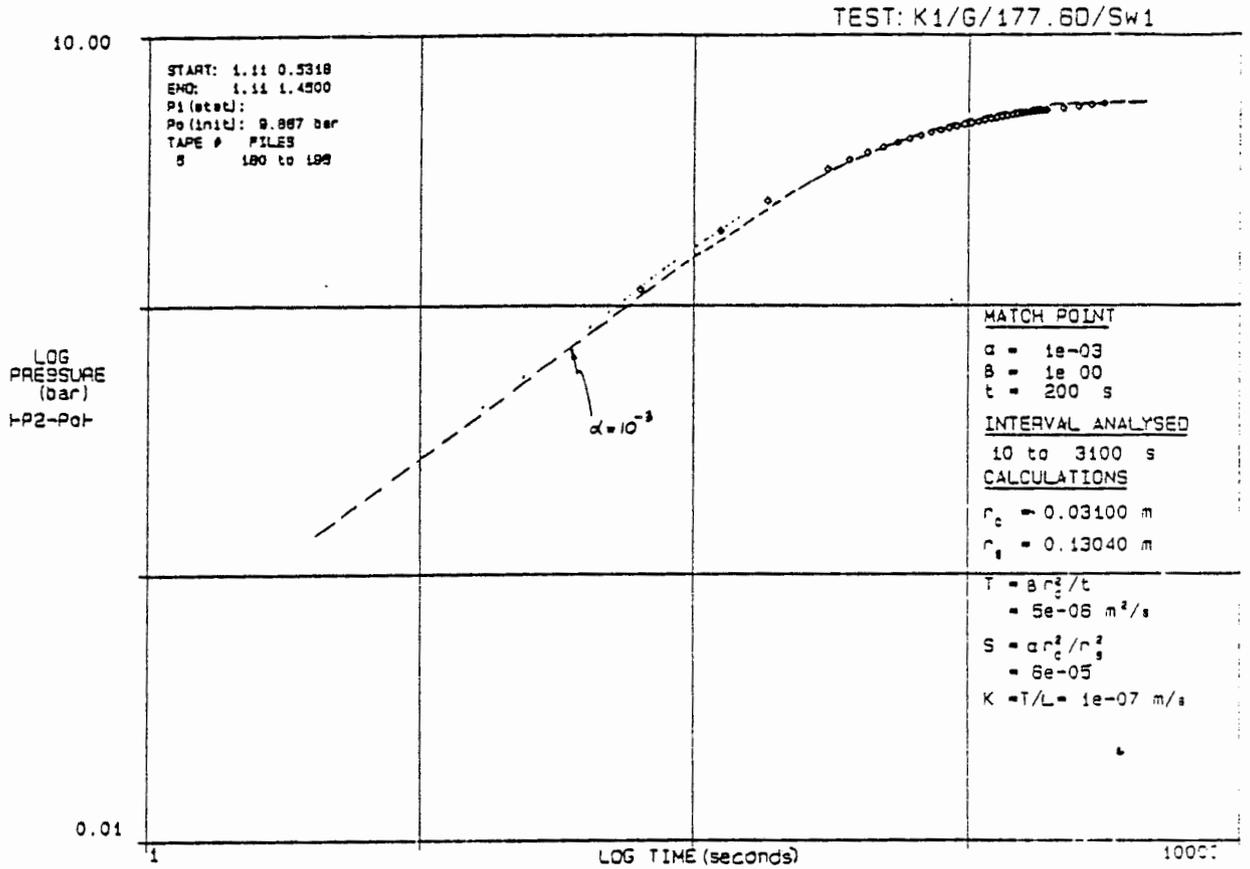
Doppelpacker-Test Nr. 3

158,68 - 196,44 m

TEST: K1/G/177.50/P1P2P3





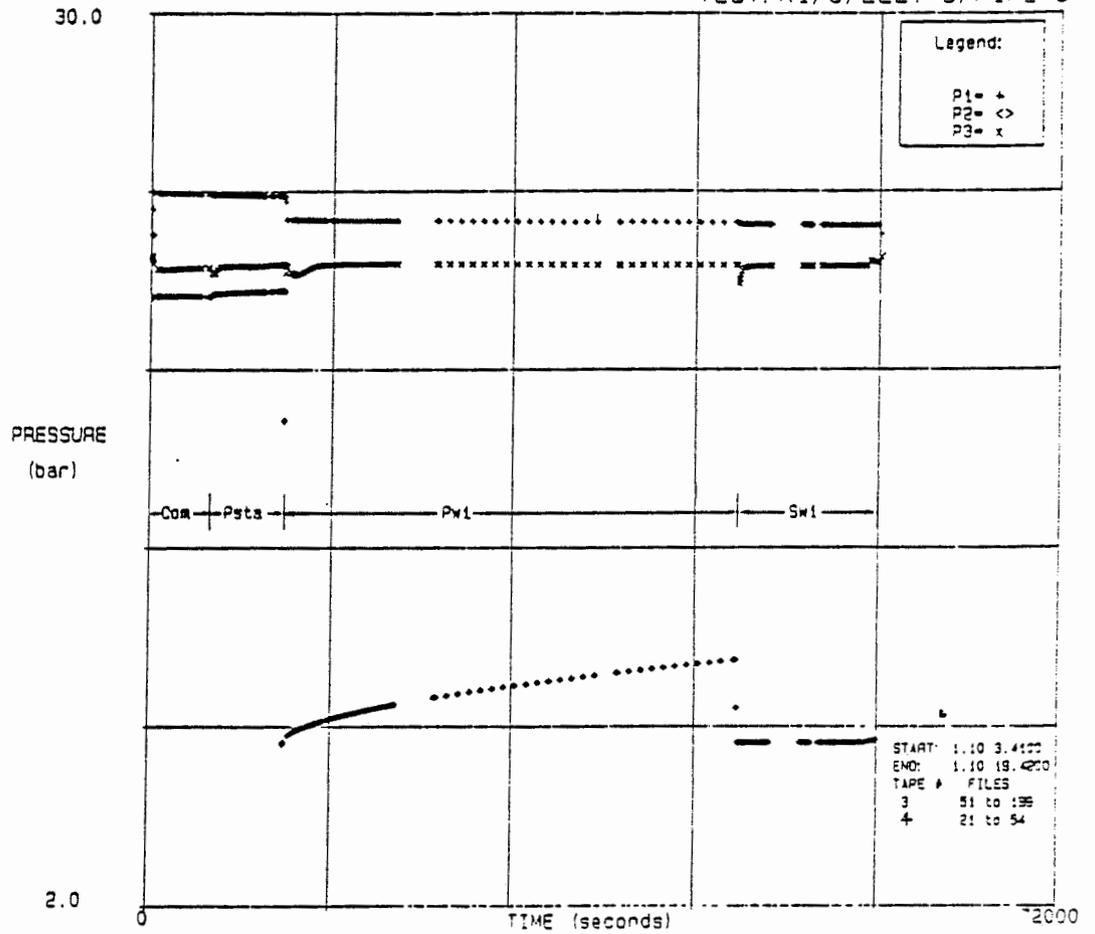


START: 1.11 0.5318
 END: 1.11 1.4500
 P1 (stat): 15.570 bar
 P0 (init): 9.887 bar
 TAPE # FILES
 5 180 to 199

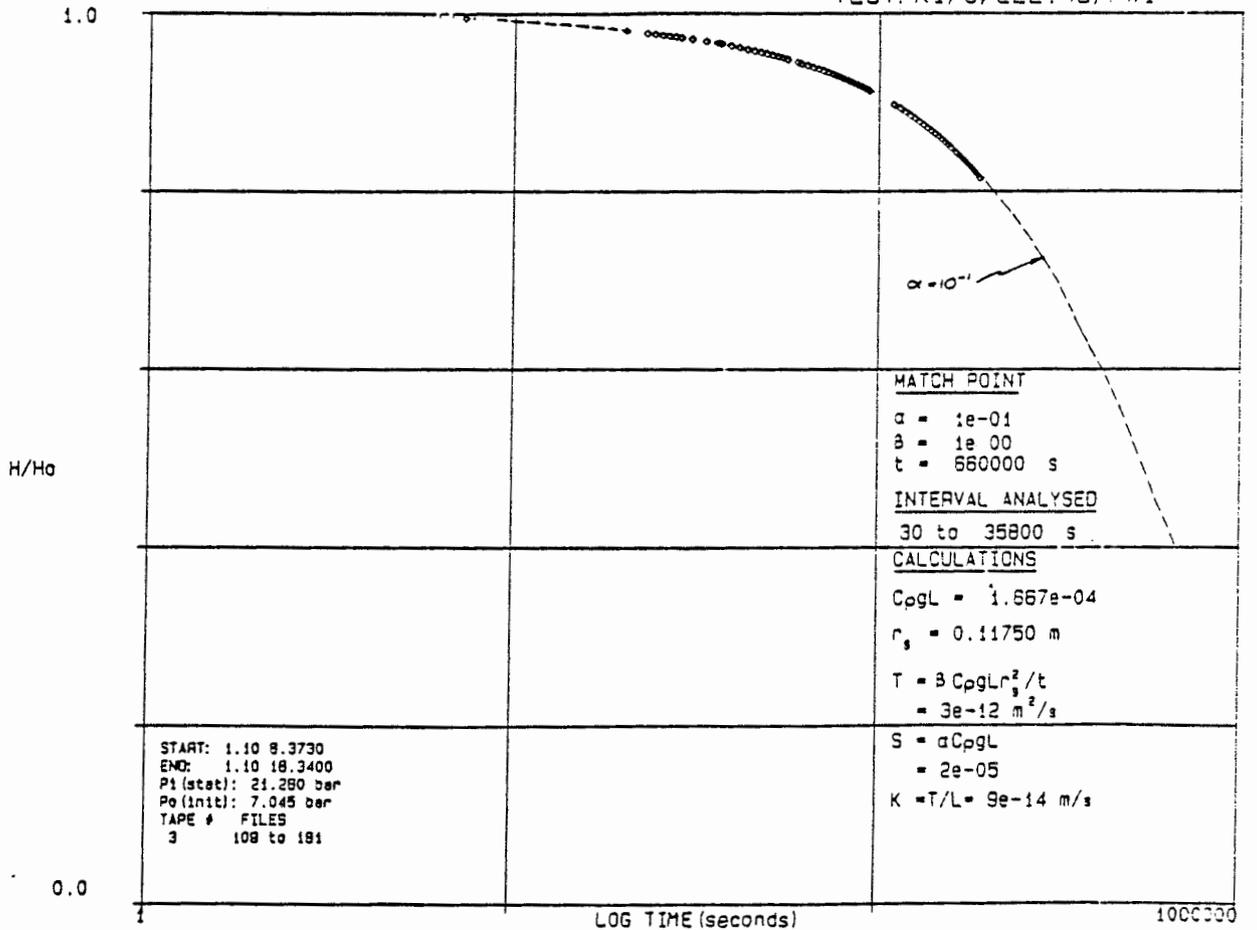
Doppelpacker-Test Nr. 2

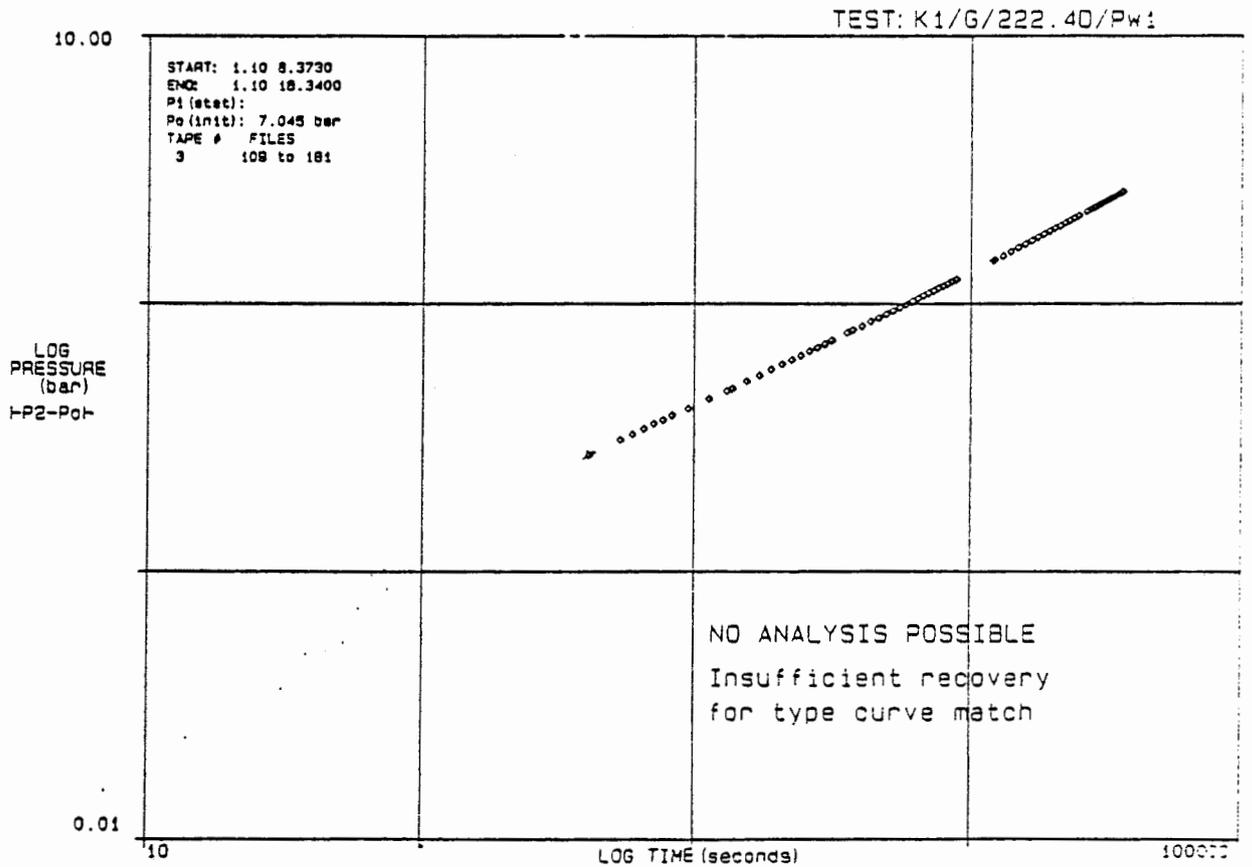
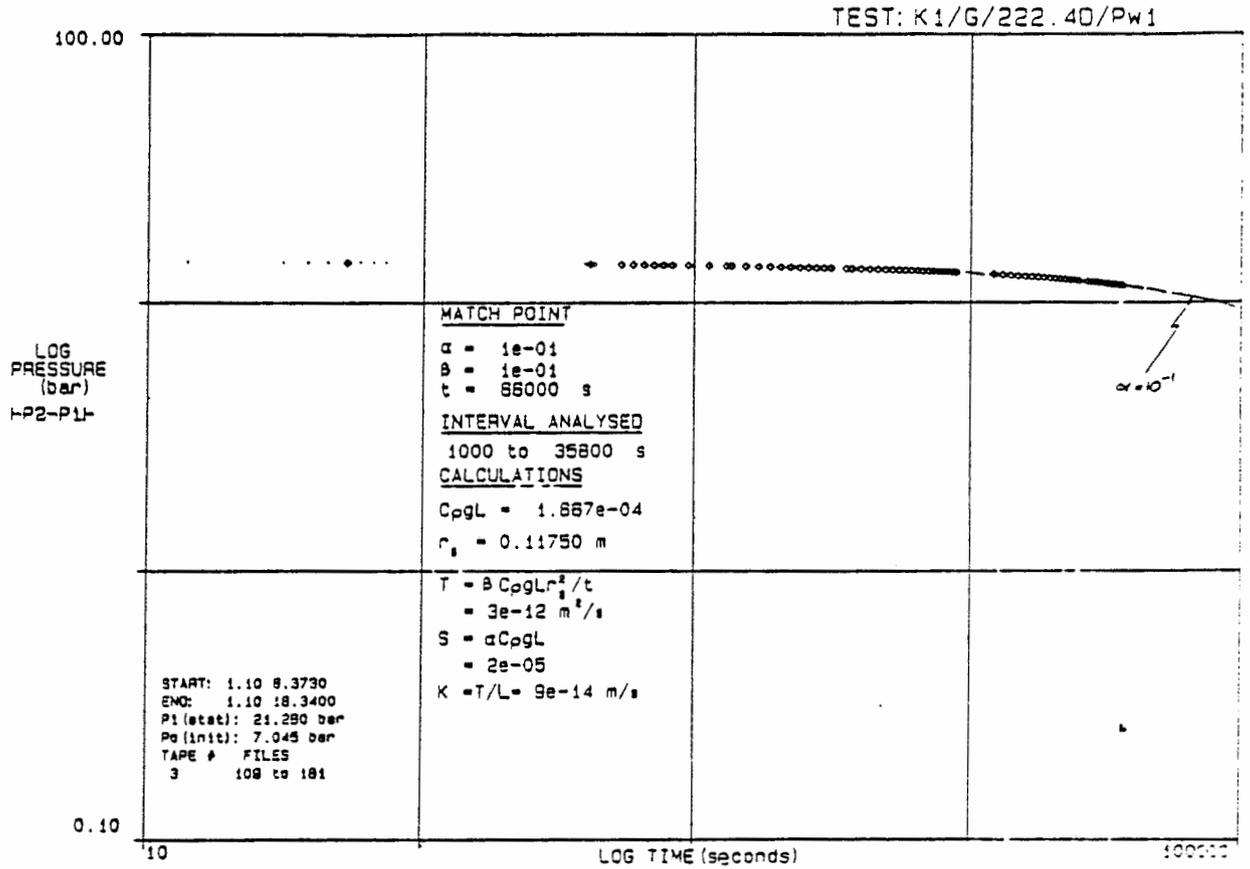
203,56 - 241,32 m

TEST: K1/G/222.40/P1P2P3



TEST: K1/G/222.40/Pw1

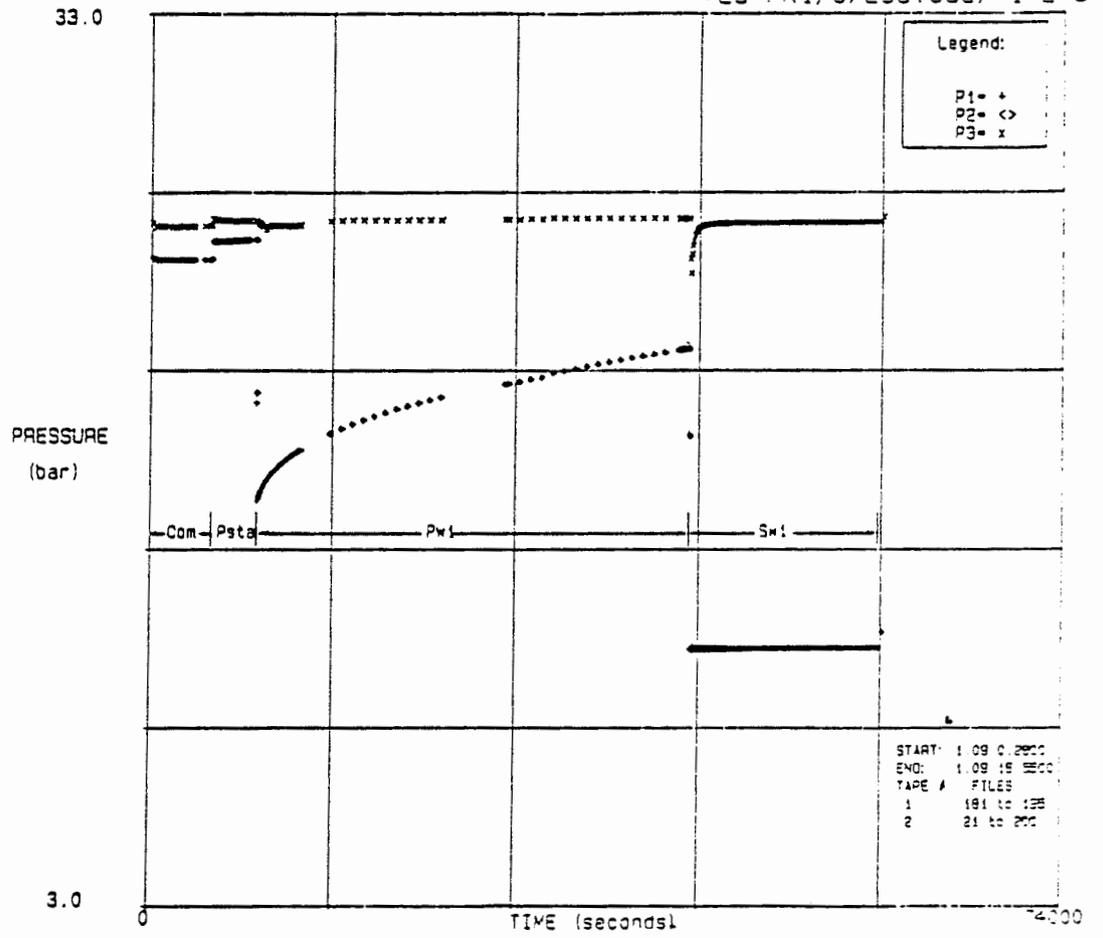


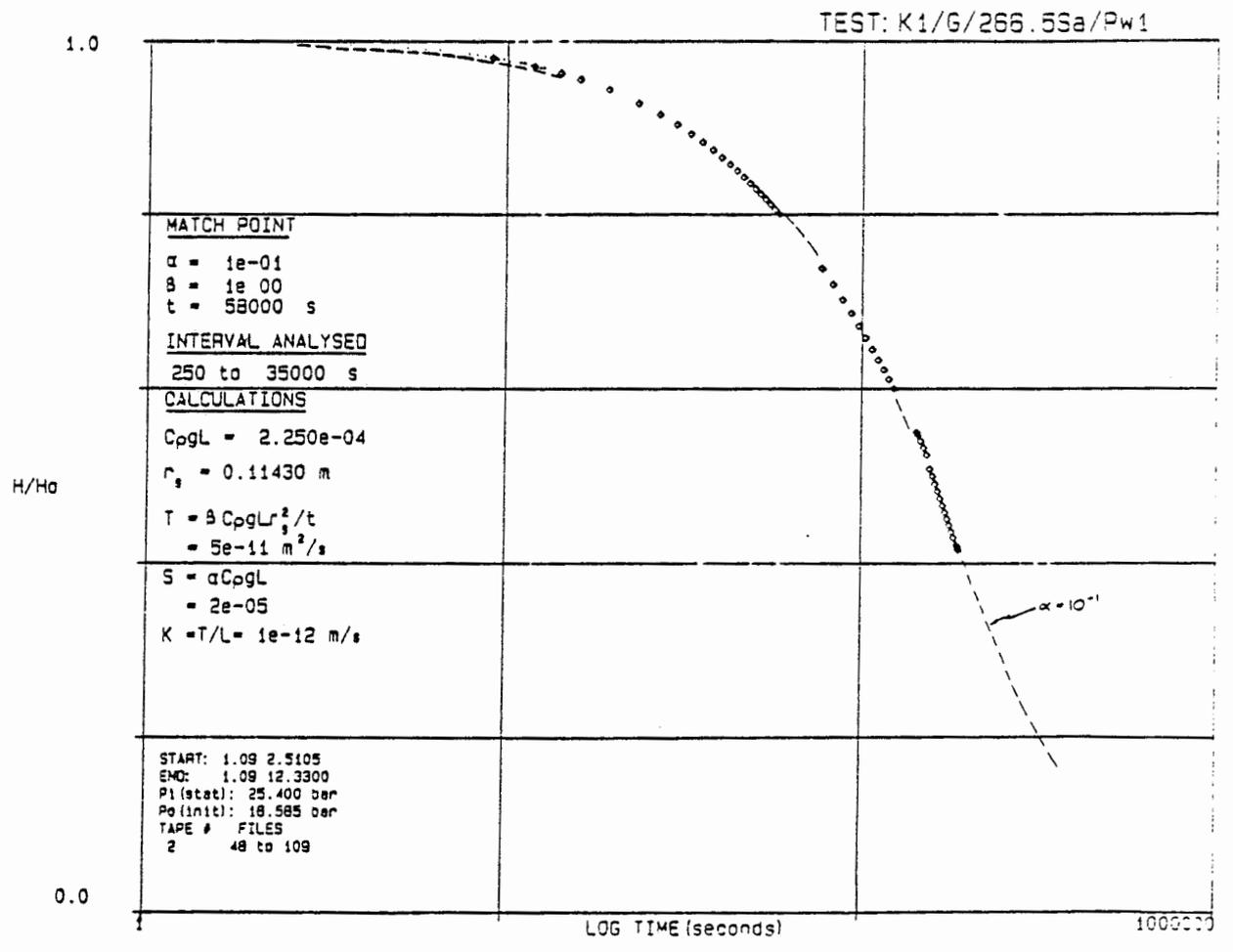
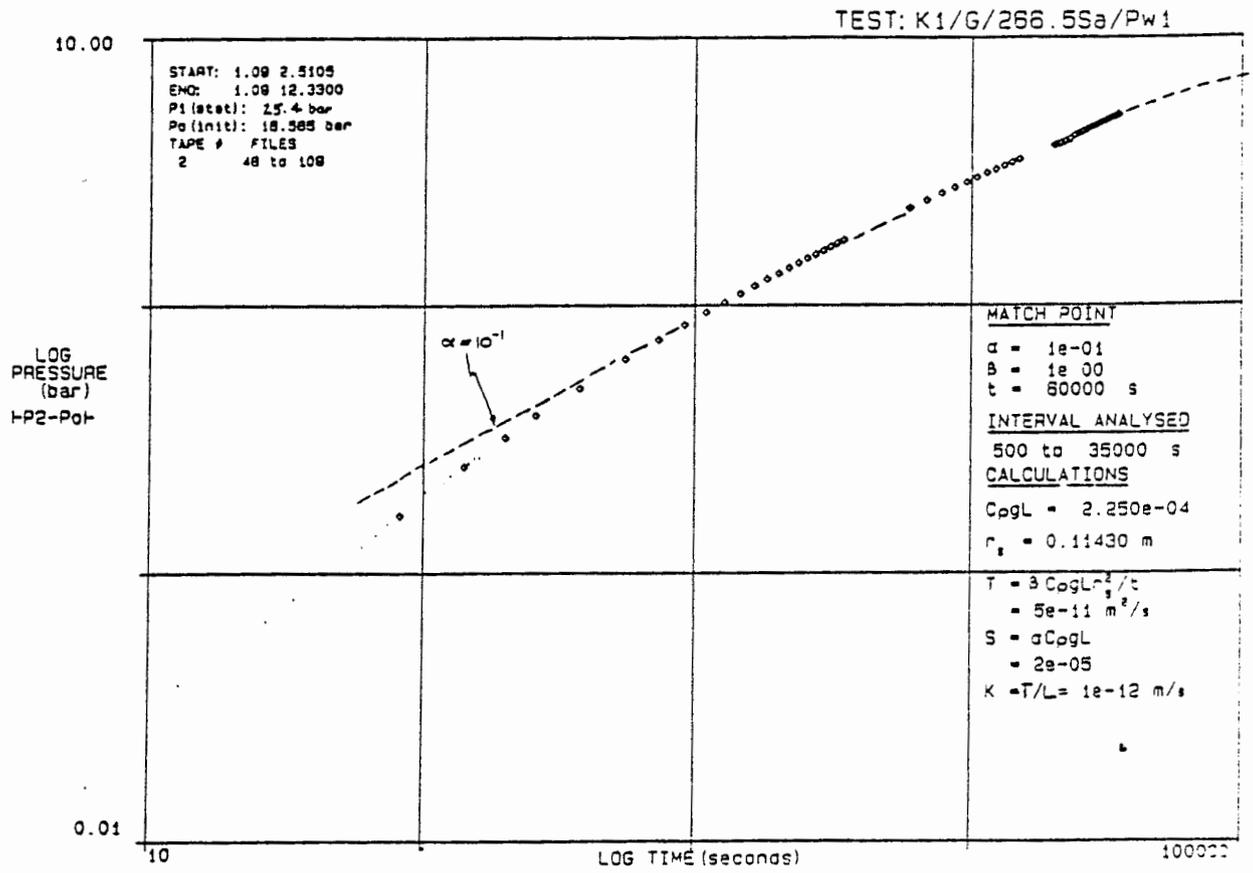


Einfachpacker-Test Nr. 1, 1 a

241,02 - 292,0 m

TEST: K1/G/266.55a/P:F2P3

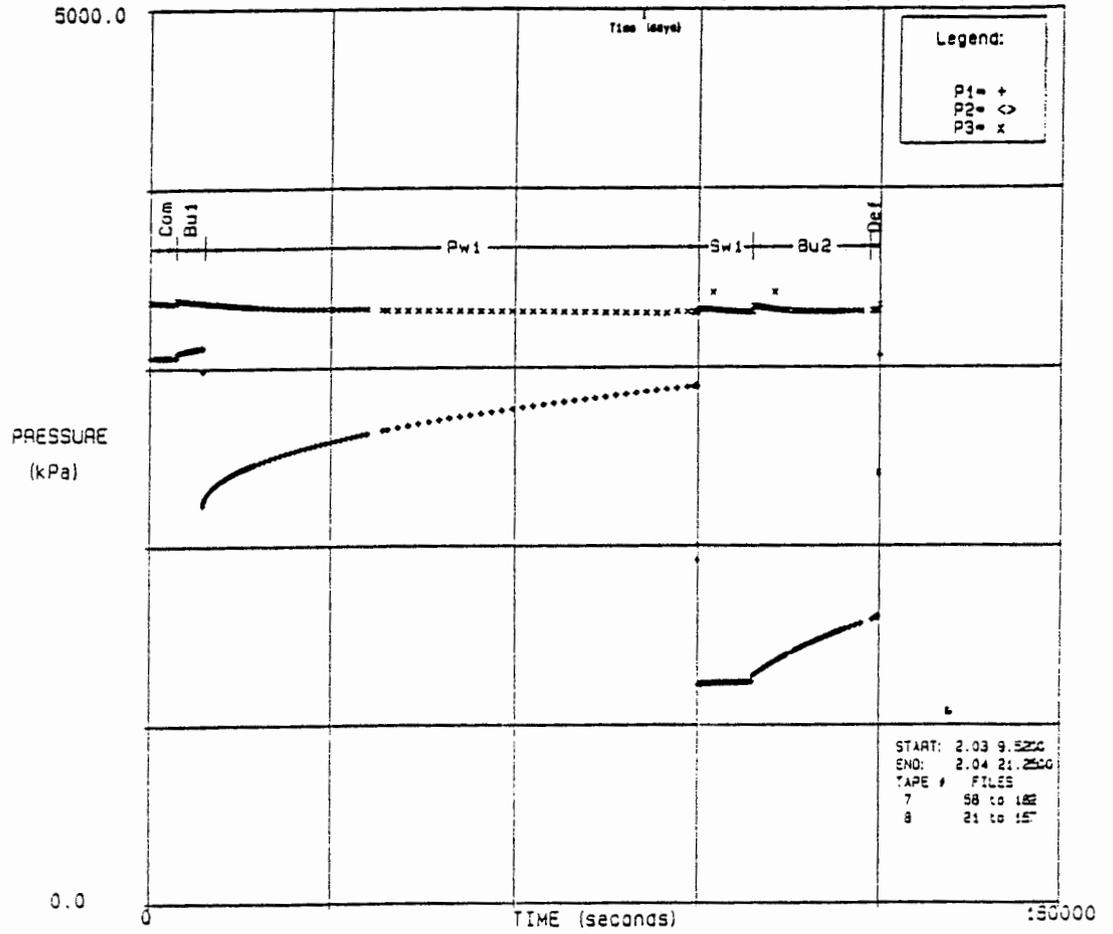




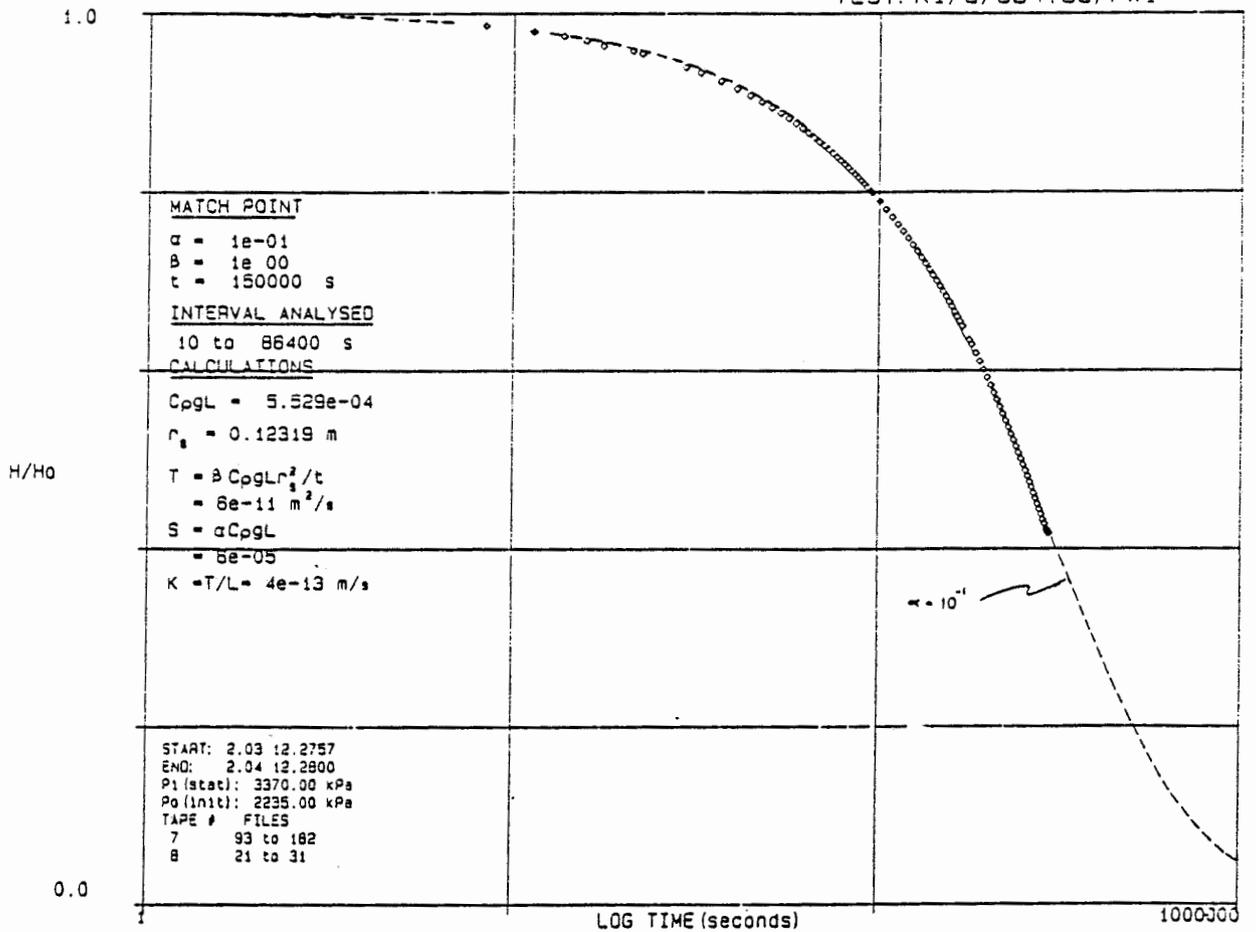
Einfachpacker-Test Nr. 5

301,85 - 427,1 m

TEST: K1/G/364.5S/P1P2P3



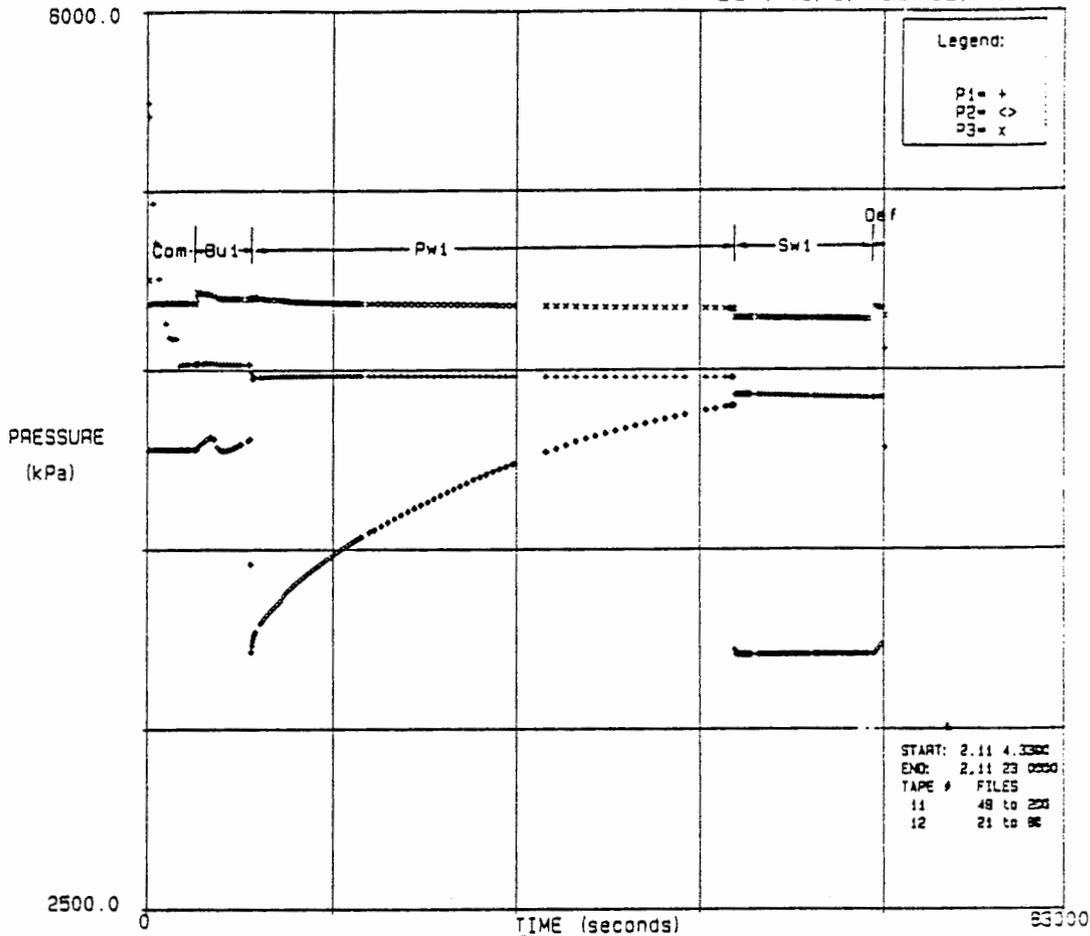
TEST: K1/G/364.5S/Pw1



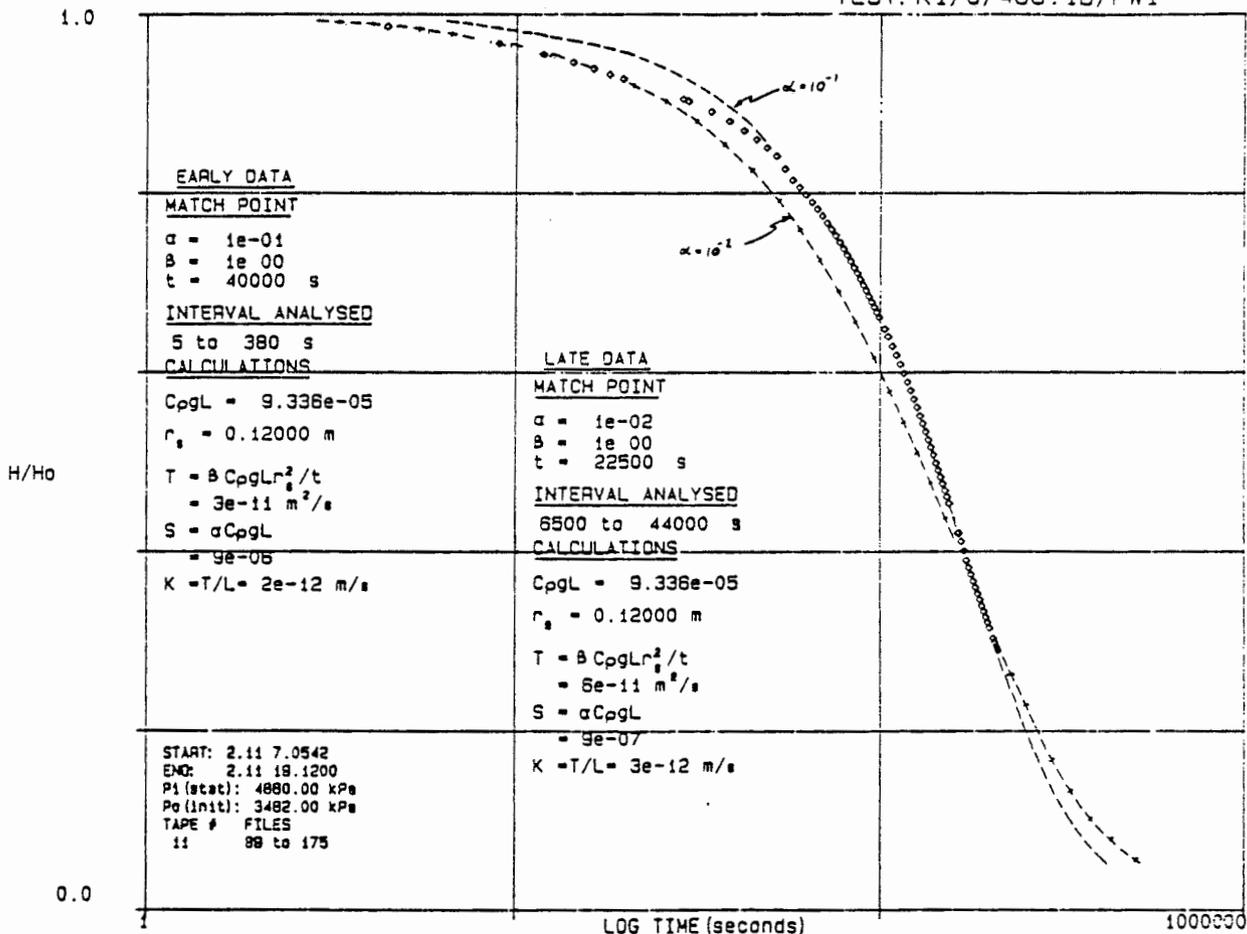
Doppelpacker-Test Nr. 7

427,56 - 448,71 m

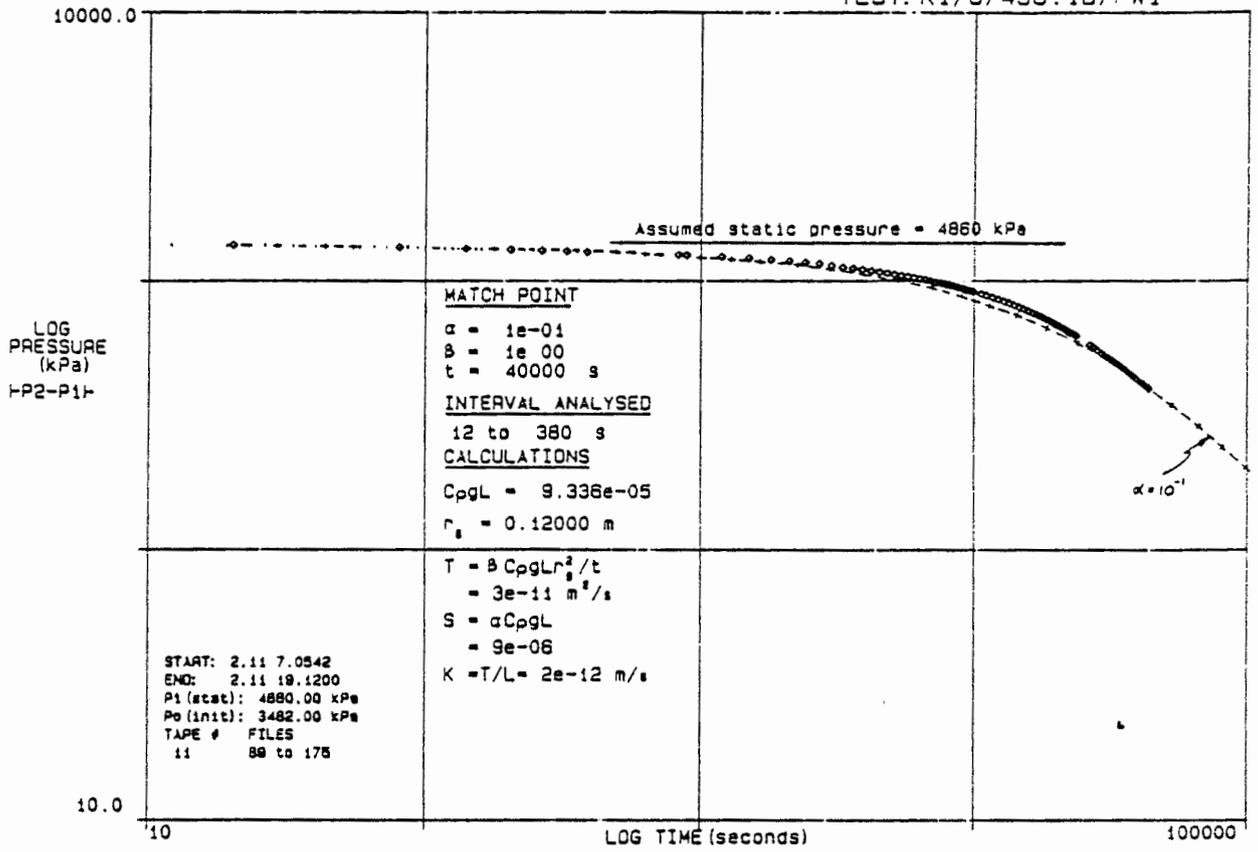
TEST: K1/G/438.10/P1P2P3



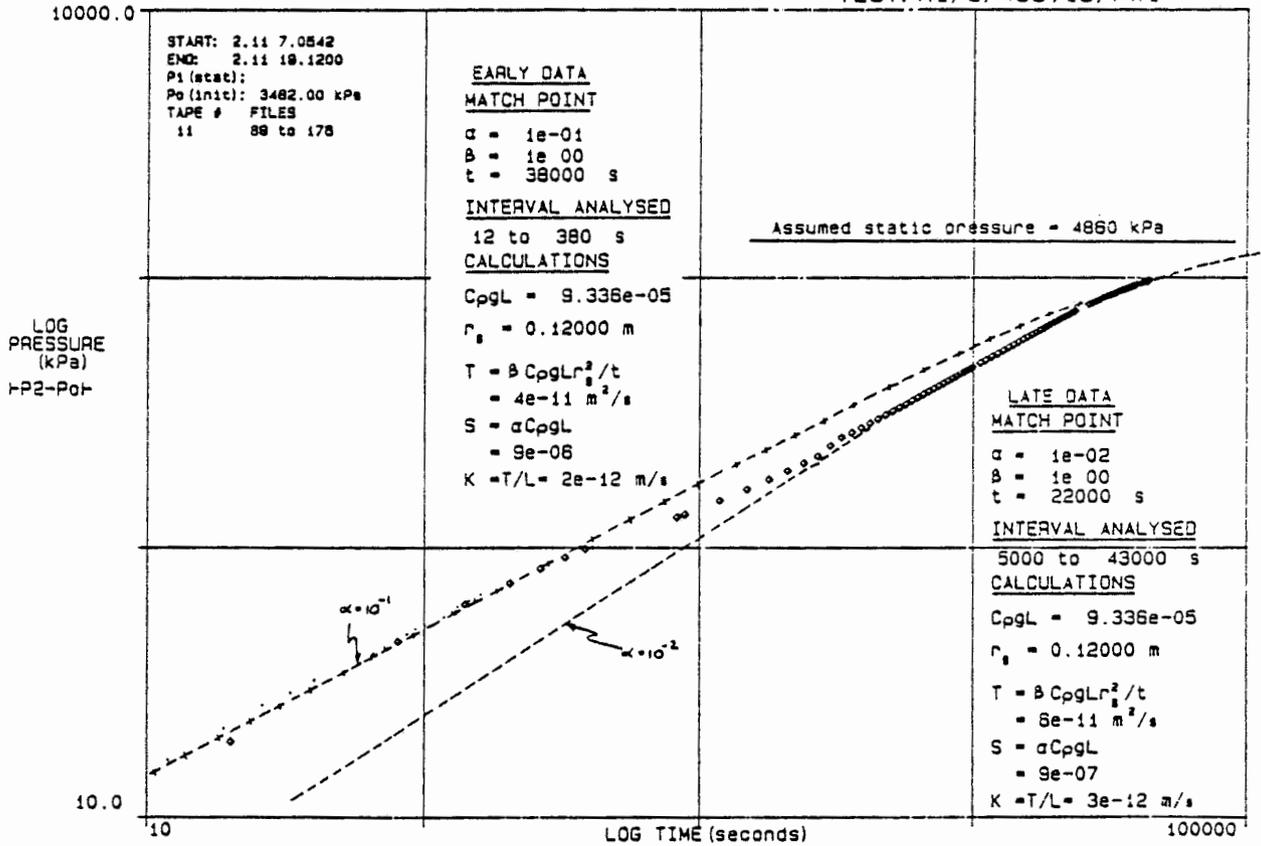
TEST: K1/G/438.10/Pw1



TEST: K1/G/438.10/Pw1



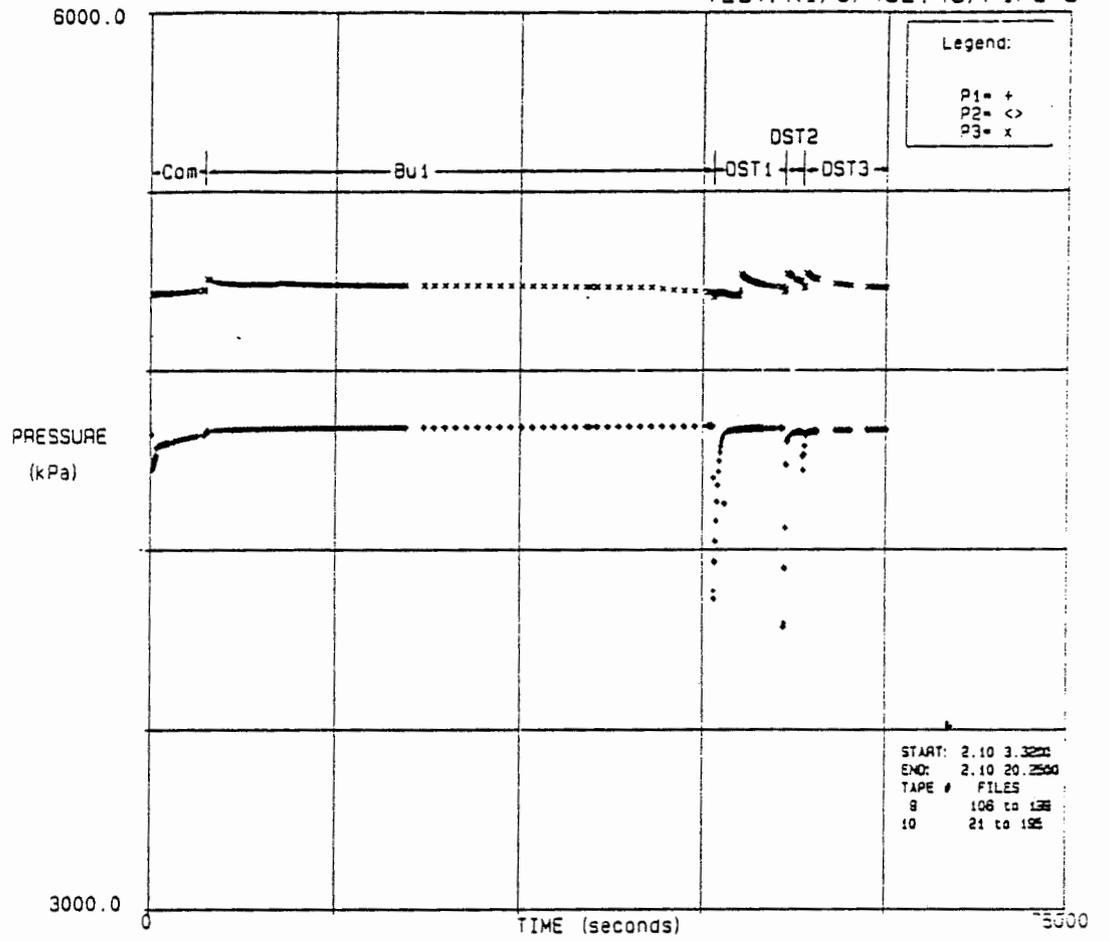
TEST: K1/G/438.10/Pw1



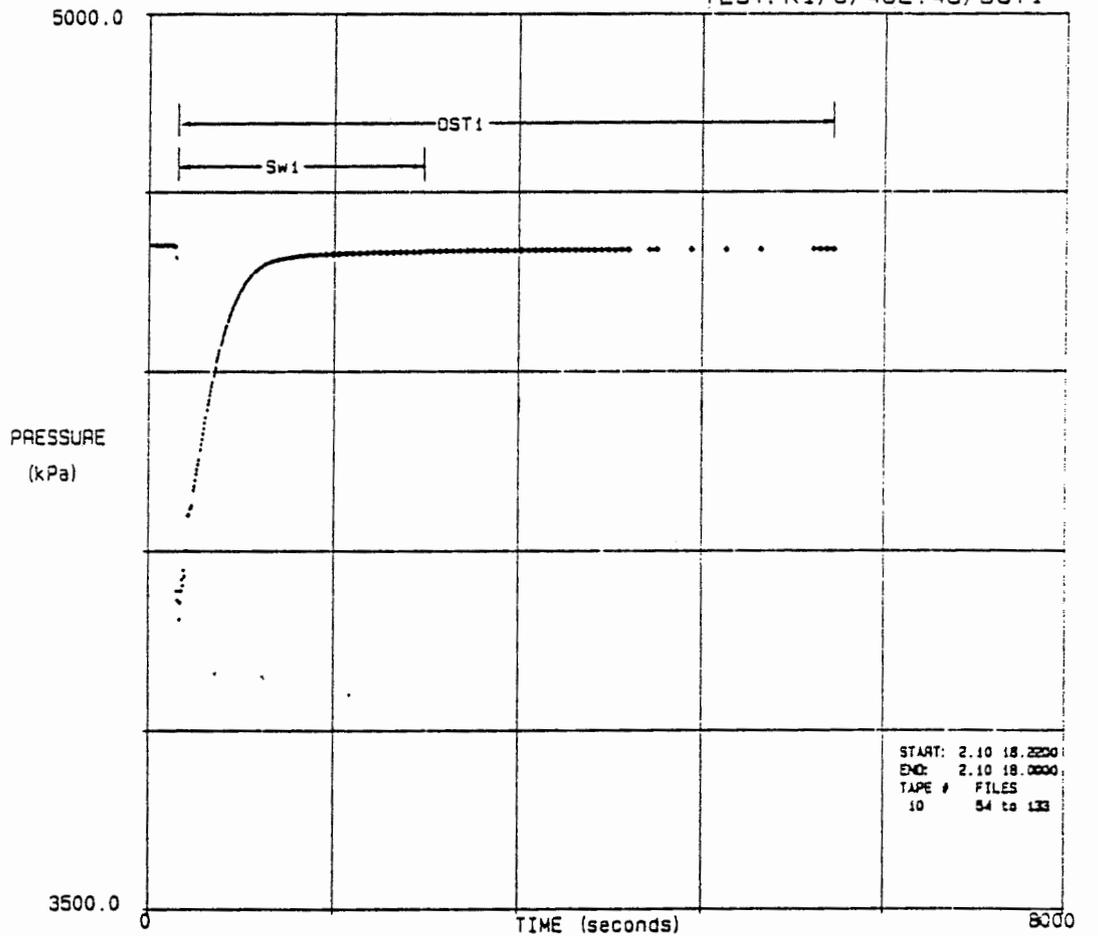
Einfachpacker-Test Nr. 6

444,0 - 480,8 m

TEST: K1/G/462.4S/P1P2P3

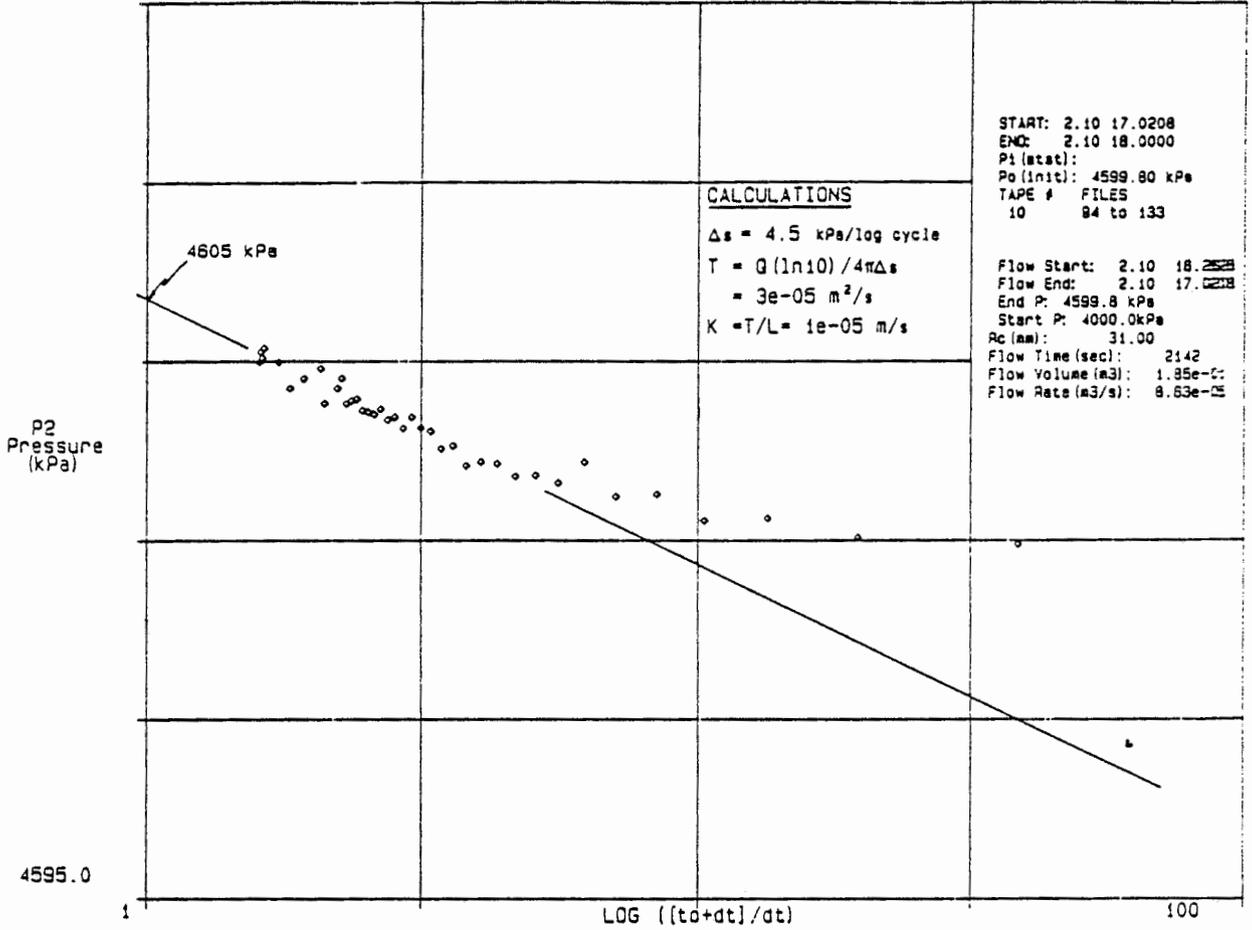


TEST: K1/G/462.4S/DST1



4610.0

TEST: K1/G/462.4S/DST1

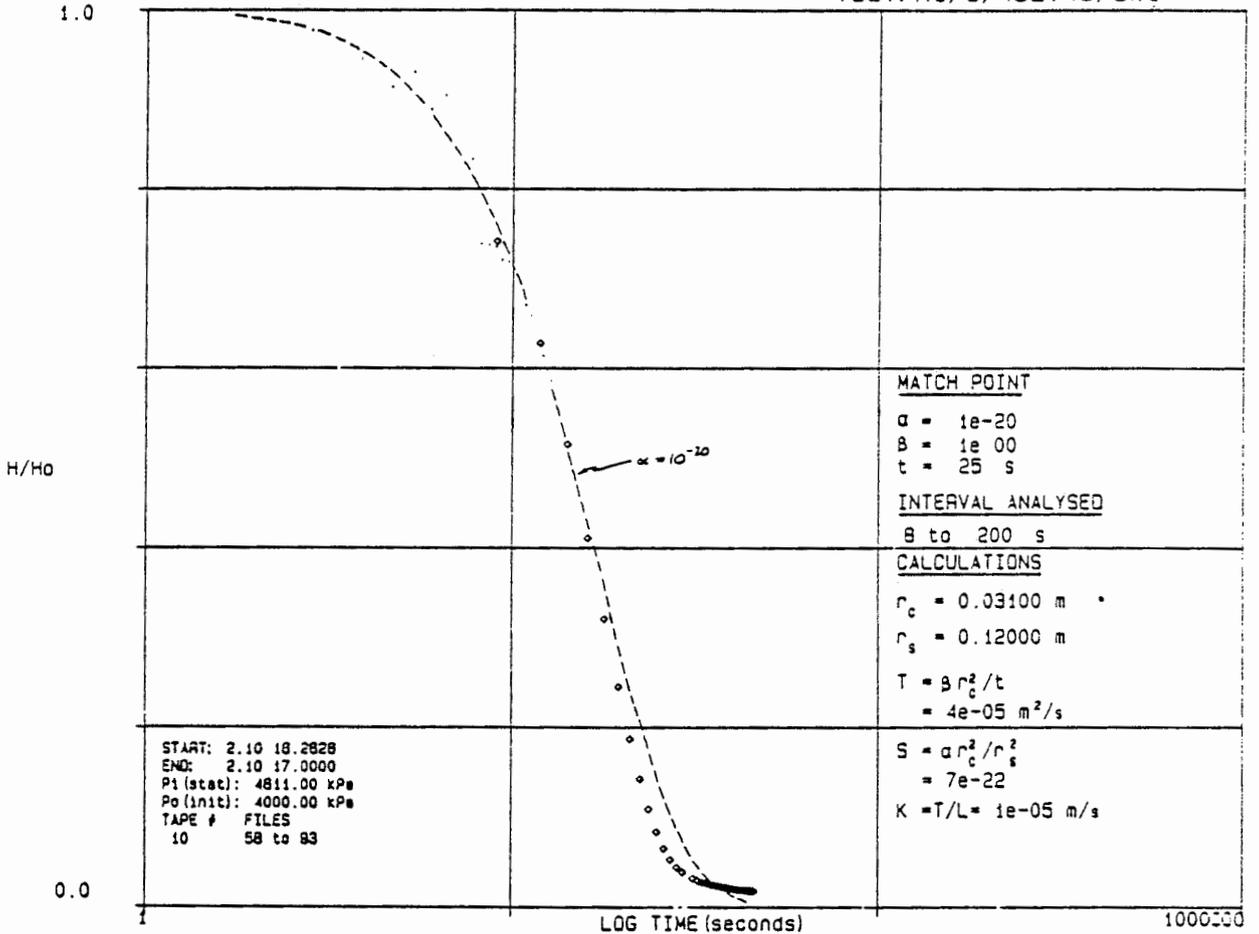


4595.0

LOG [(to+dt)/dt]

100

TEST: K1/G/462.4S/Sw1

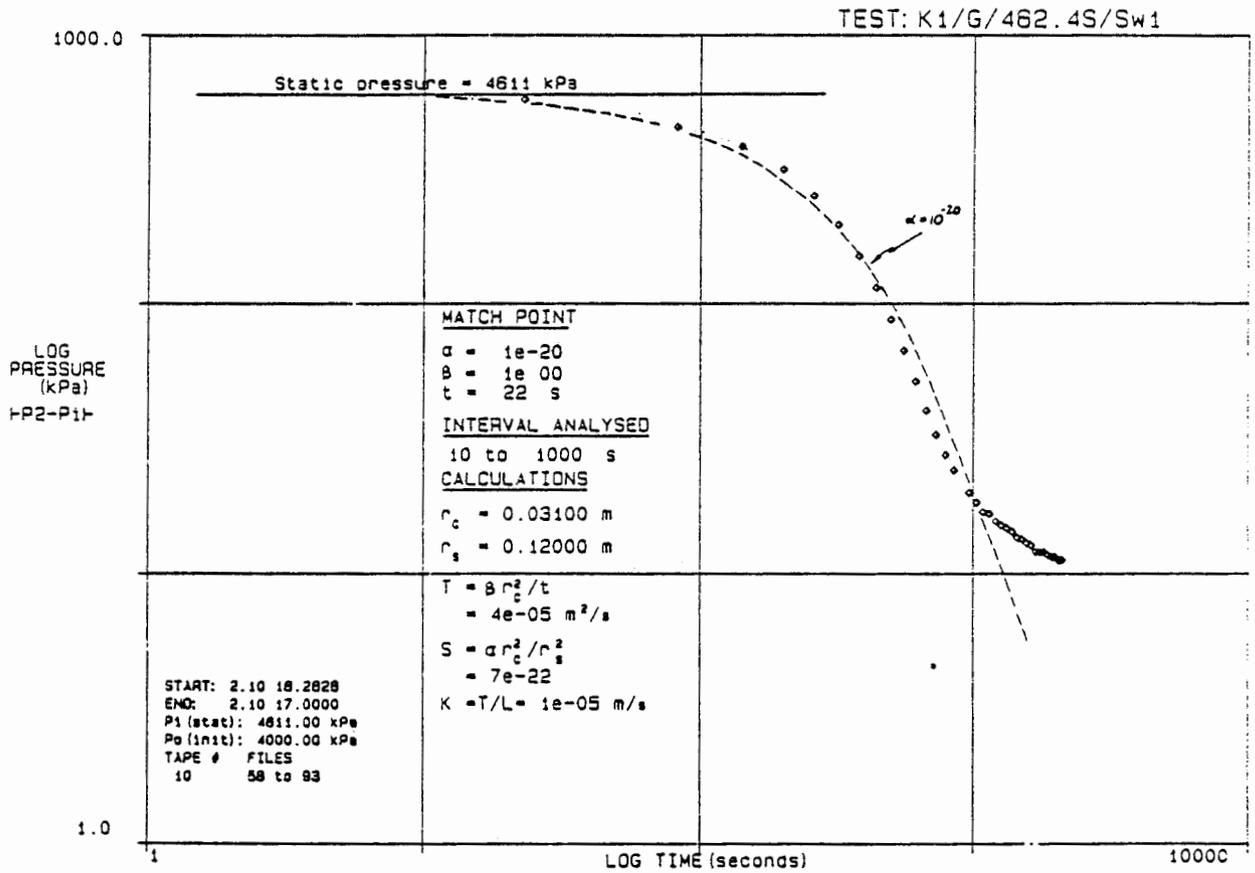
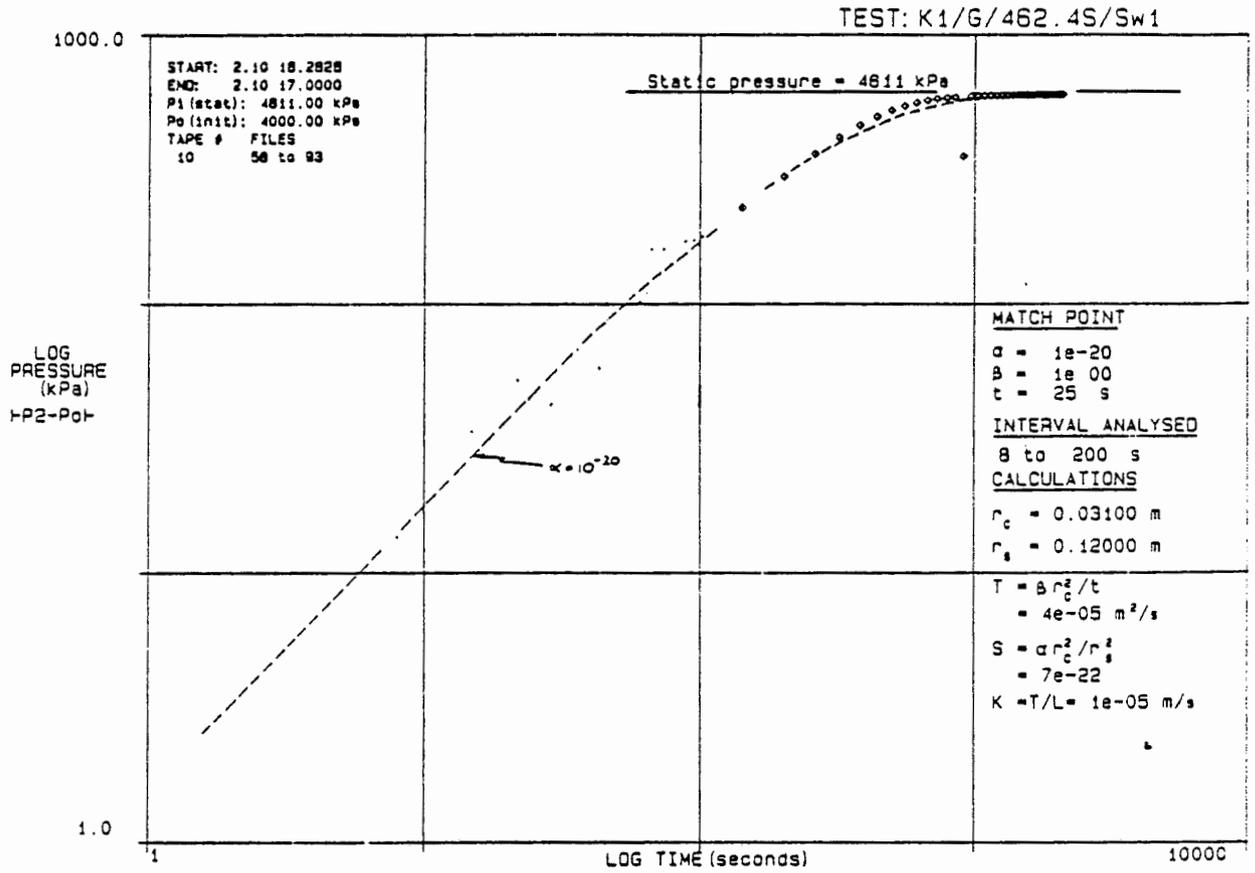


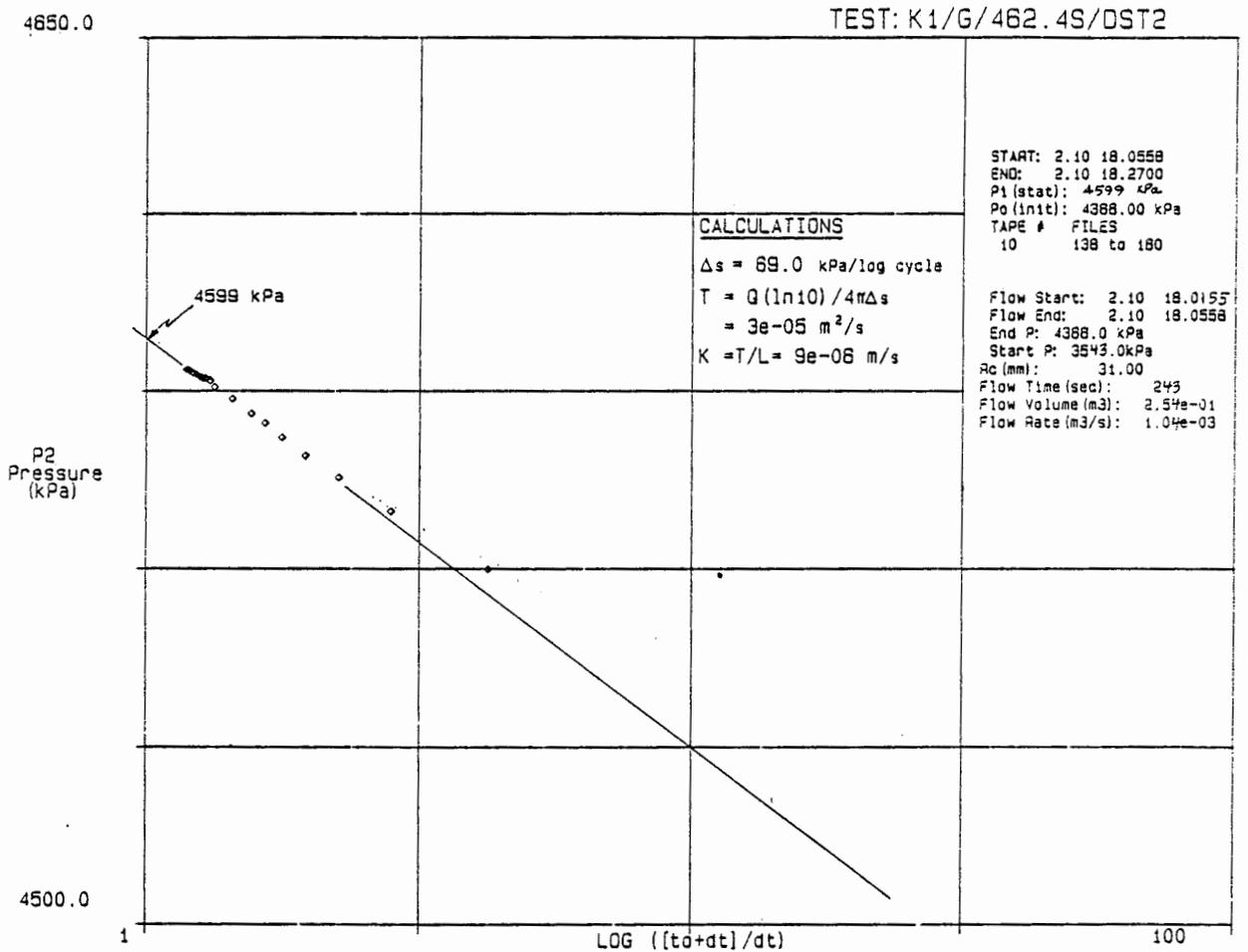
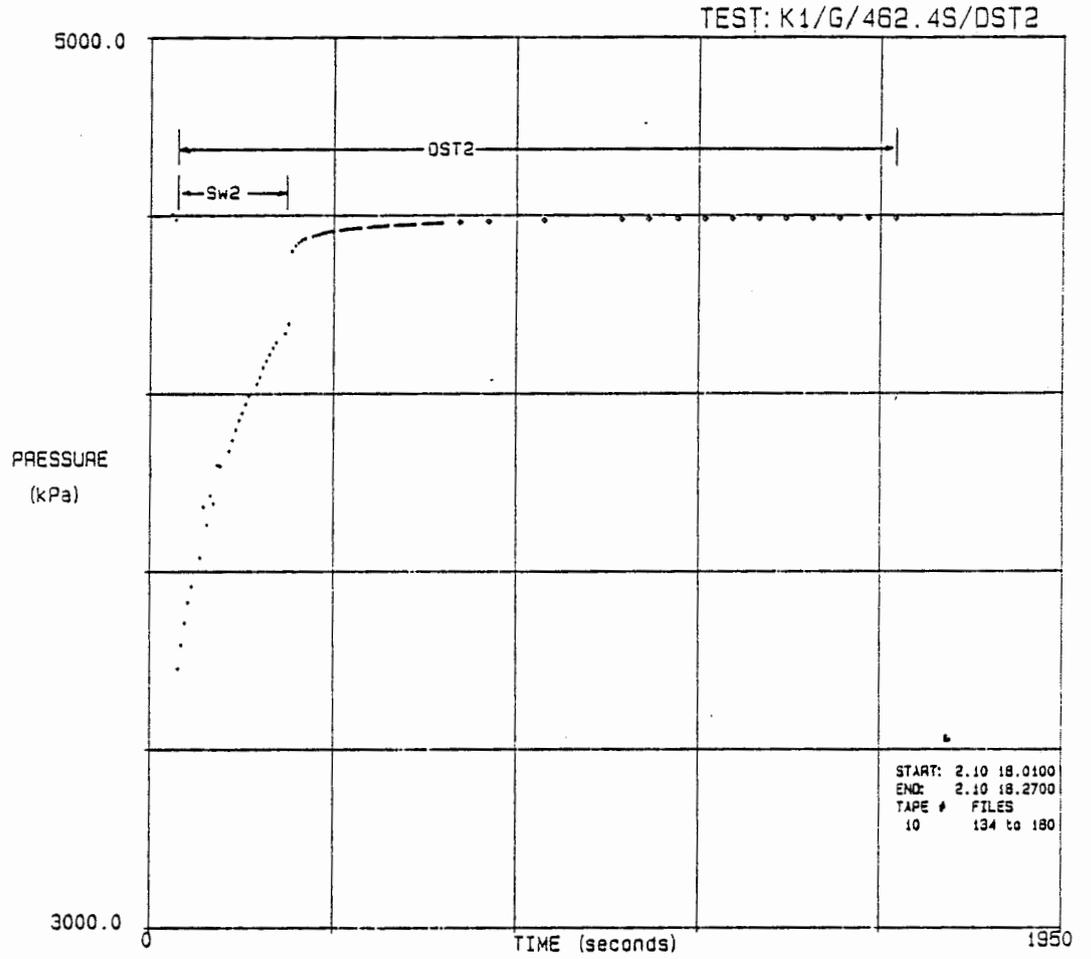
H/Ho

LOG TIME (seconds)

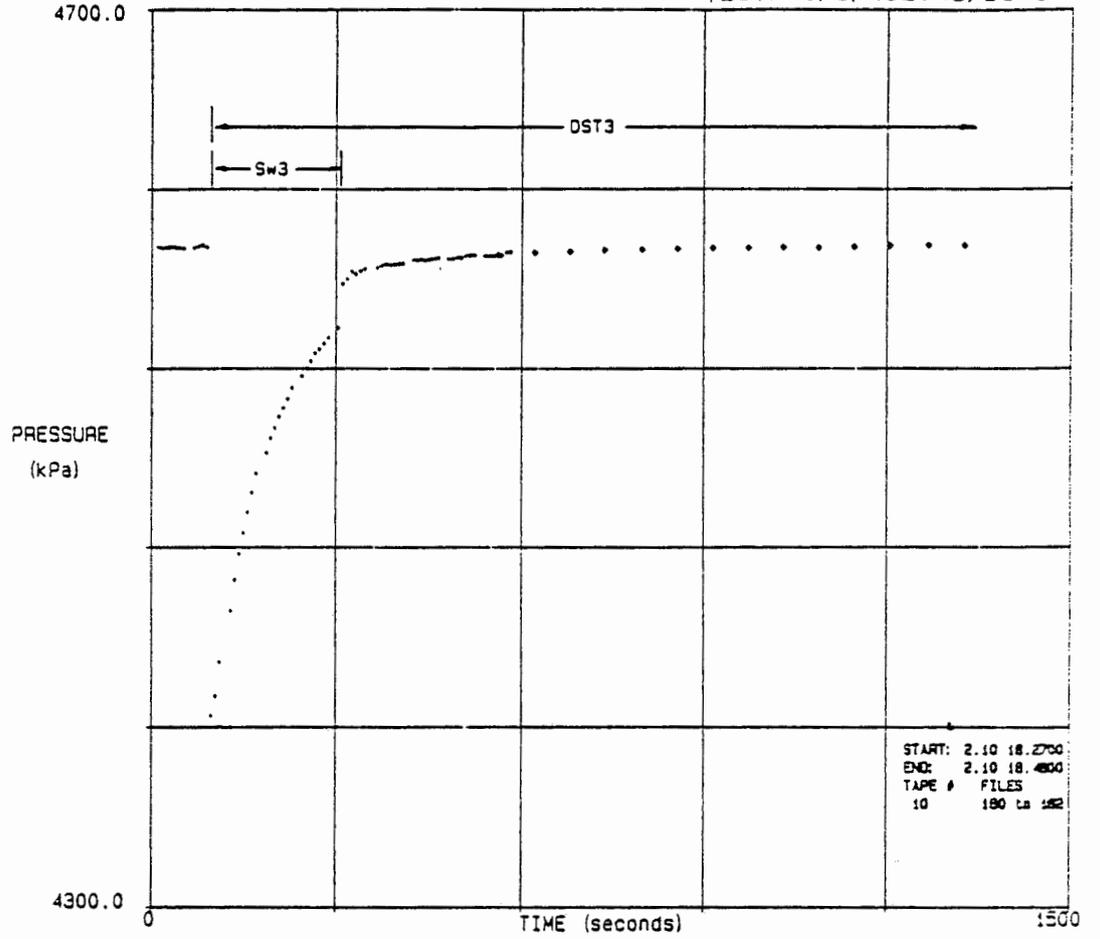
100000

0.0





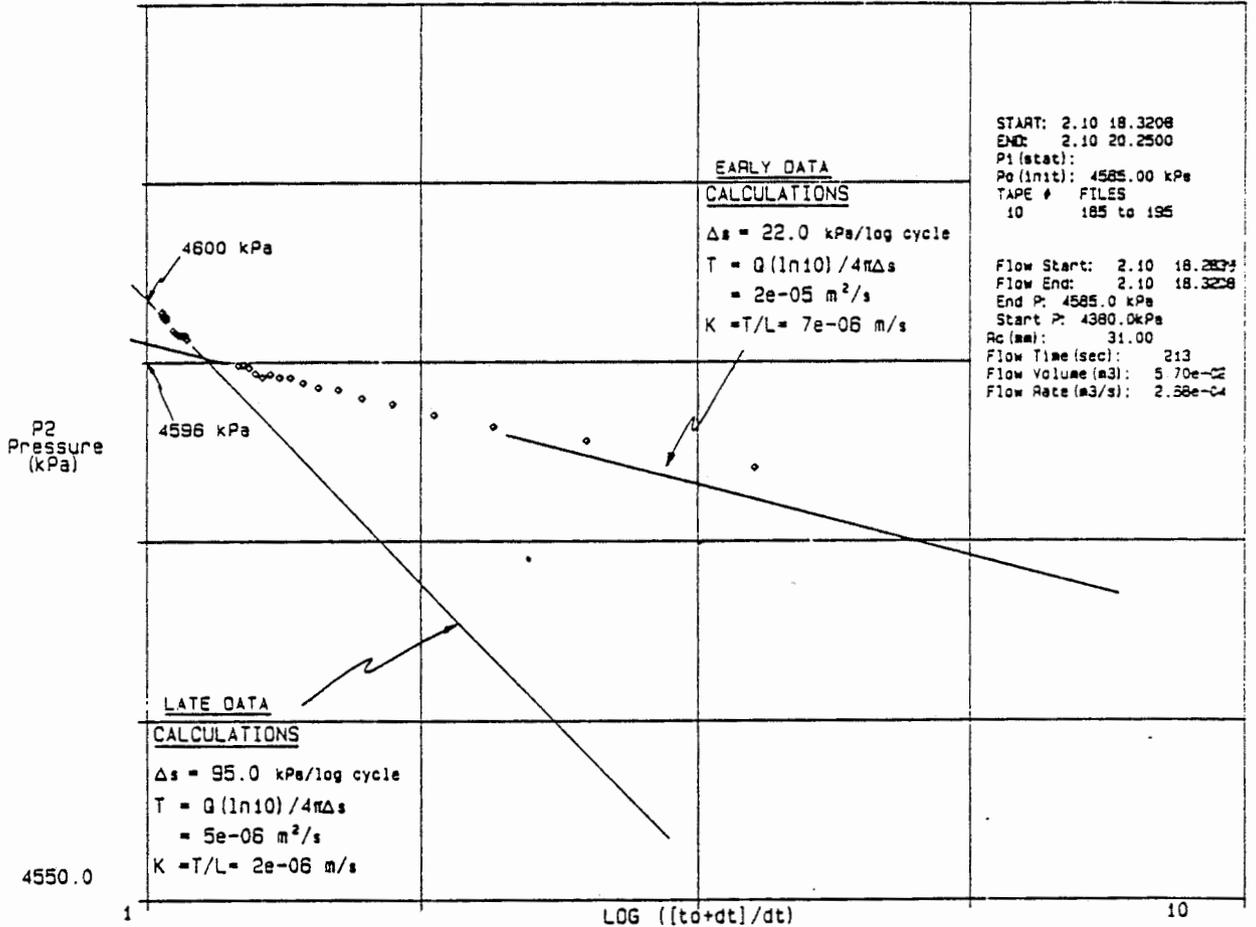
TEST: K1/G/462.4S/DST3



START: 2.10 18.2700
 END: 2.10 18.4000
 TAPE # FILES
 10 180 to 182

TEST: K1/G/462.4S/DST3

4625.0



EARLY DATA
CALCULATIONS

$\Delta s = 22.0 \text{ kPa/log cycle}$
 $T = Q (\ln 10) / 4\pi \Delta s$
 $= 2e-05 \text{ m}^2/\text{s}$
 $K = T/L = 7e-06 \text{ m/s}$

START: 2.10 18.3208
 END: 2.10 20.2500
 P1 (stat):
 P2 (init): 4585.00 kPa
 TAPE # FILES
 10 185 to 195

Flow Start: 2.10 18.2829
 Flow End: 2.10 18.3228
 End P: 4585.0 kPa
 Start P: 4380.0 kPa
 Rc (mm): 31.00
 Flow Time (sec): 213
 Flow Volume (m3): 5.70e-02
 Flow Rate (m3/s): 2.68e-04

LATE DATA
CALCULATIONS

$\Delta s = 95.0 \text{ kPa/log cycle}$
 $T = Q (\ln 10) / 4\pi \Delta s$
 $= 5e-06 \text{ m}^2/\text{s}$
 $K = T/L = 2e-06 \text{ m/s}$

P2
 Pressure
 (kPa)

4550.0

LOG [(to+dt)/dt]

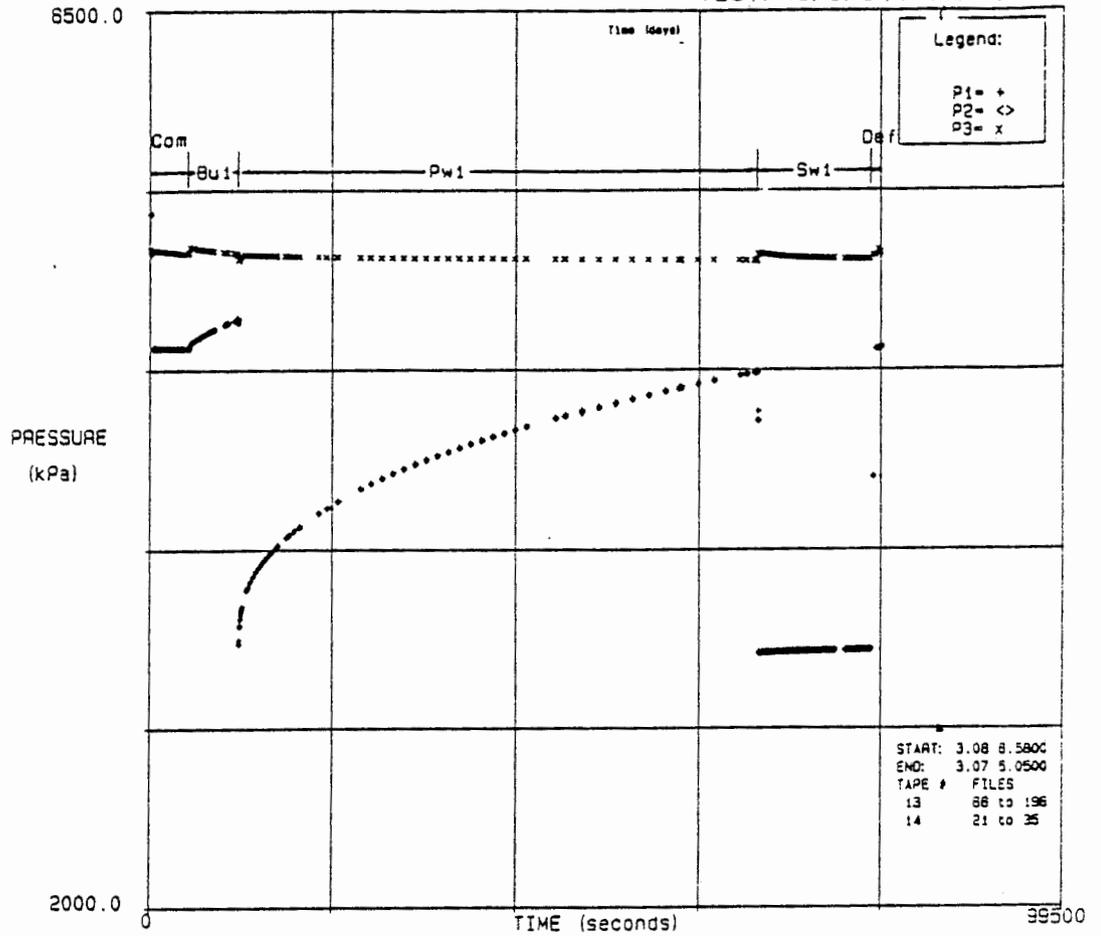
10

1

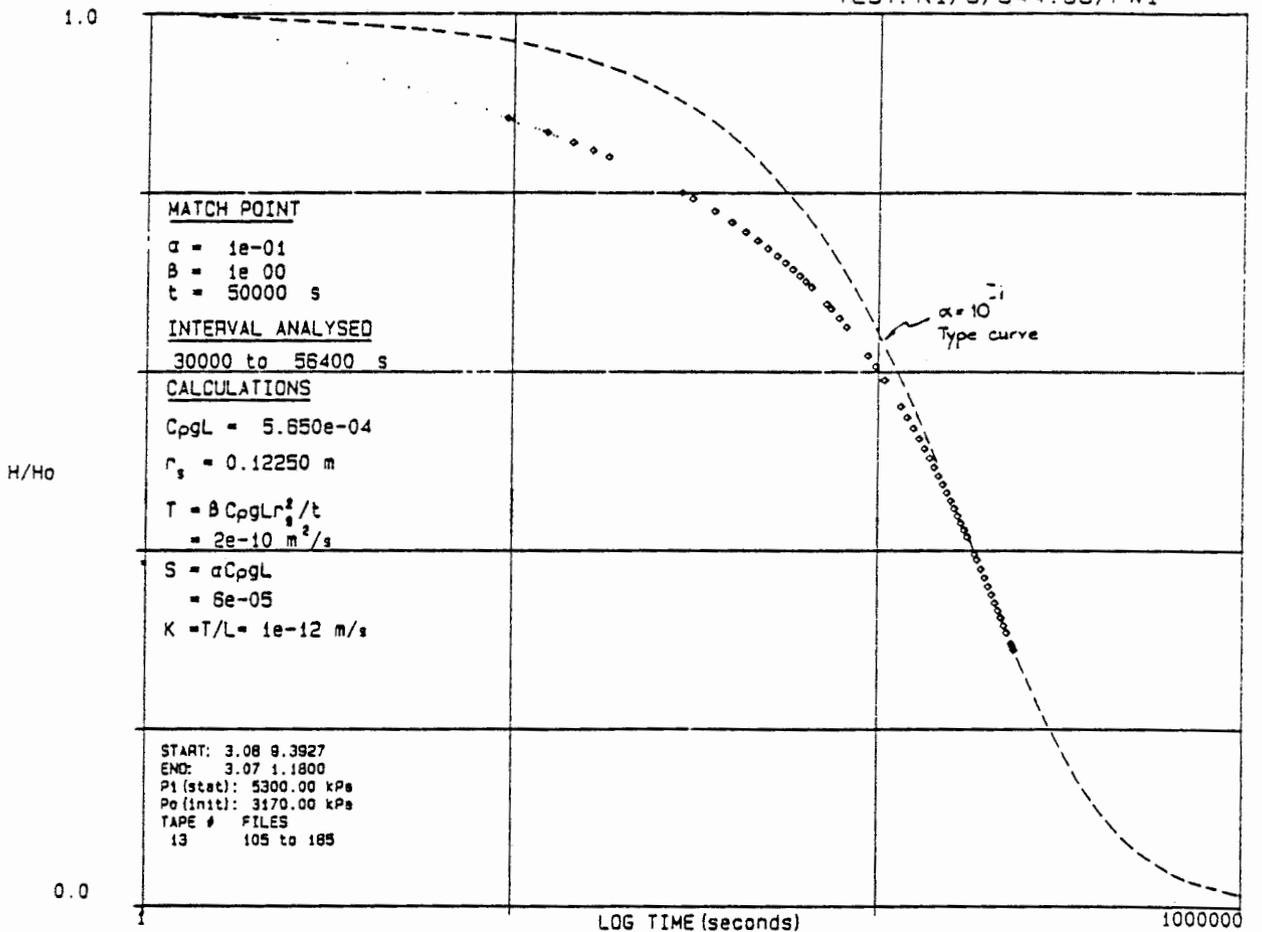
Einfachpacker-Test Nr. 8

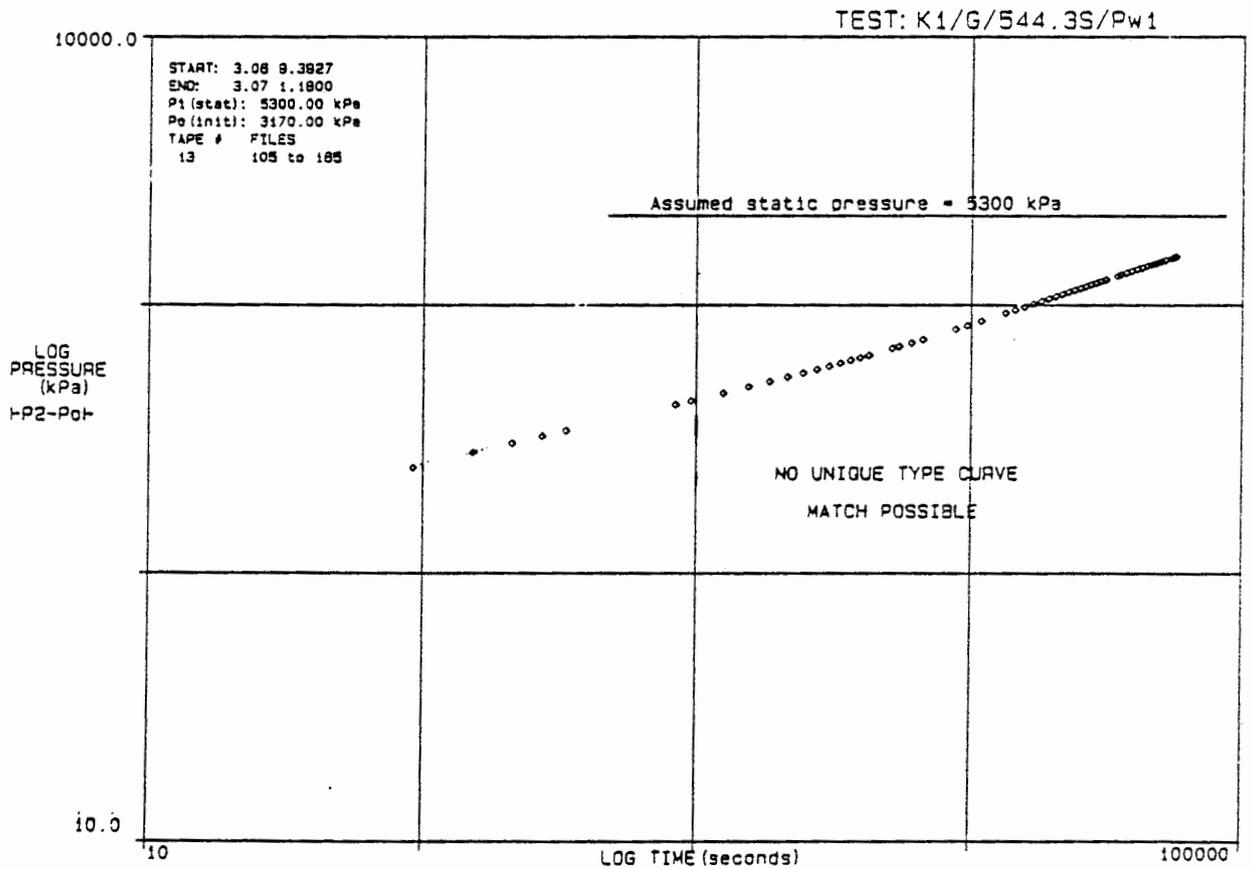
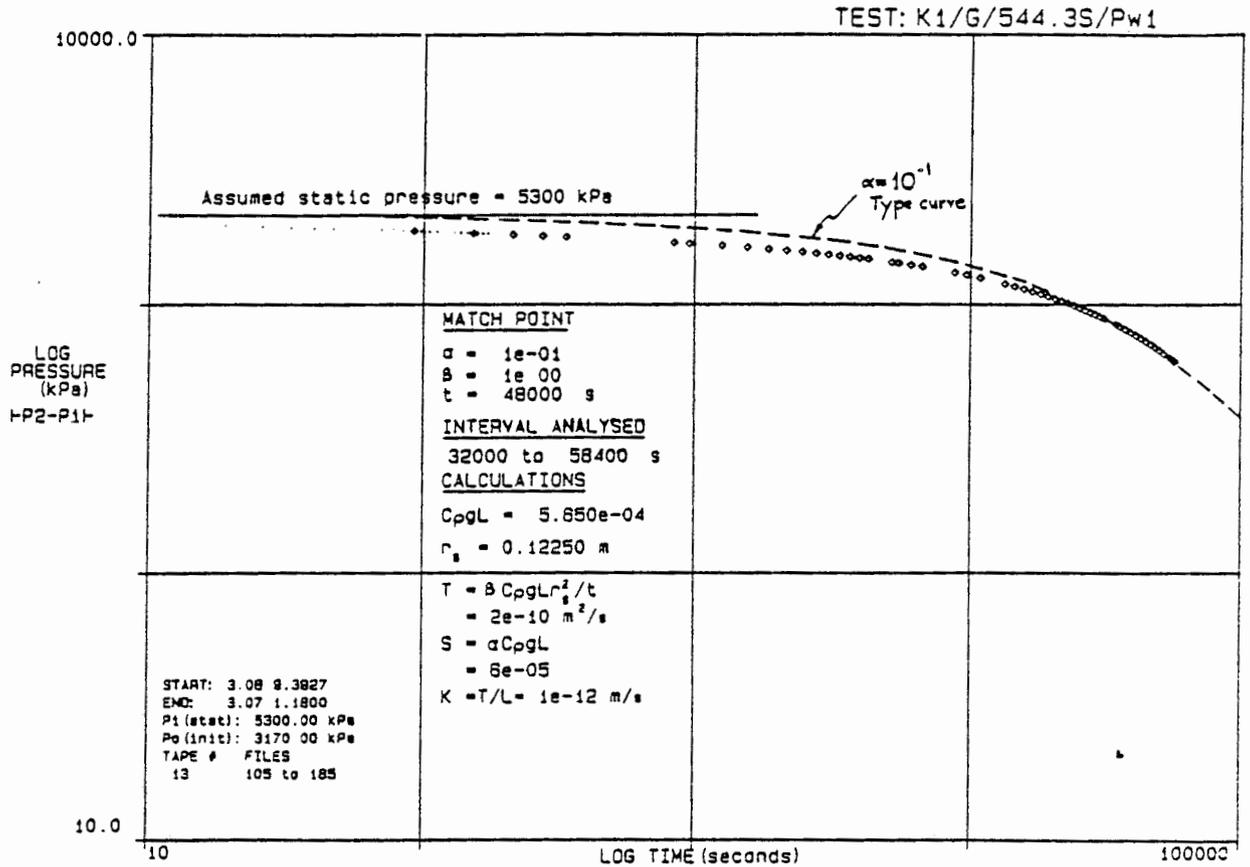
480,30 - 608,3 m

TEST: K1/G/544.3S/P1P2P3



TEST: K1/G/544.3S/Pw1

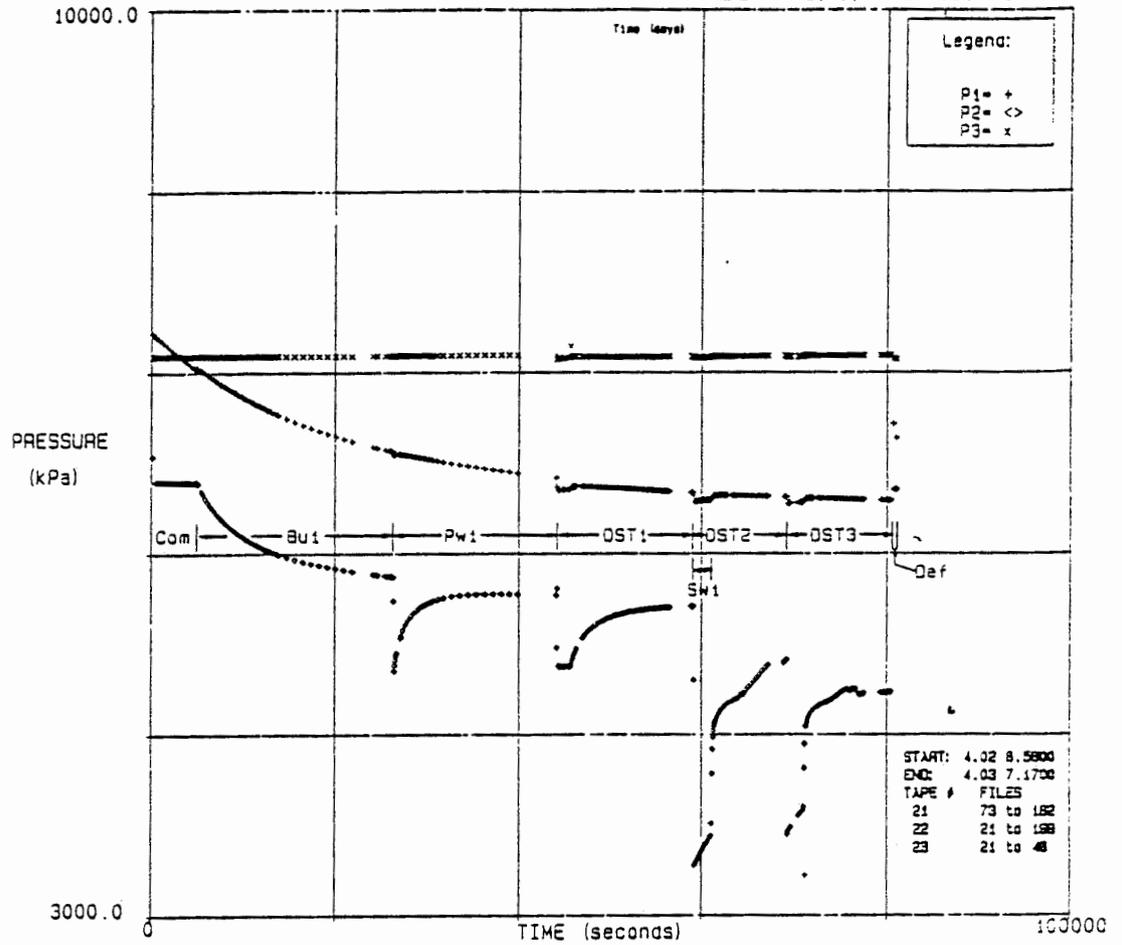




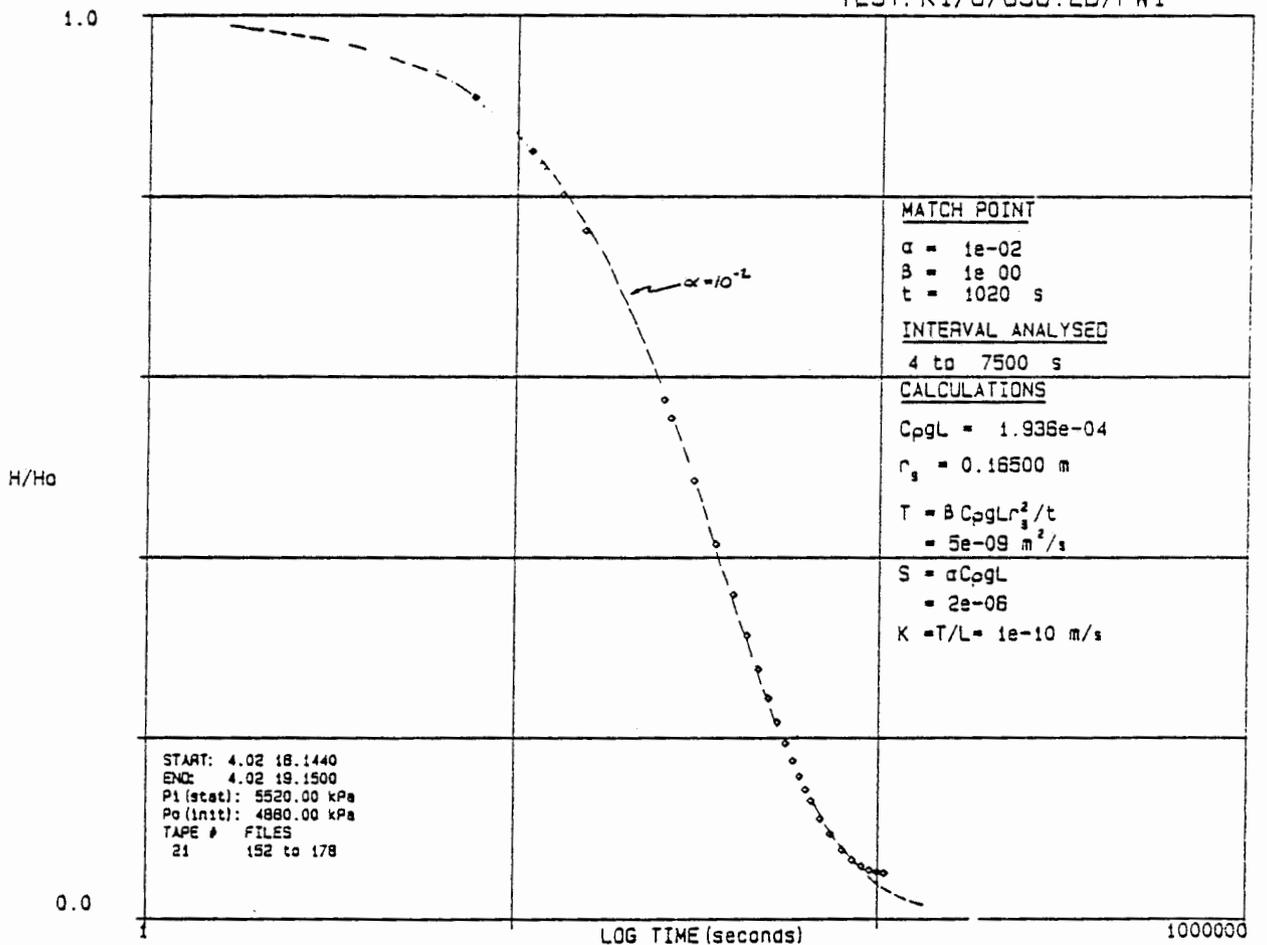
Doppelpacker-Test Nr. 11/11 a

634,23 - 678,10 m

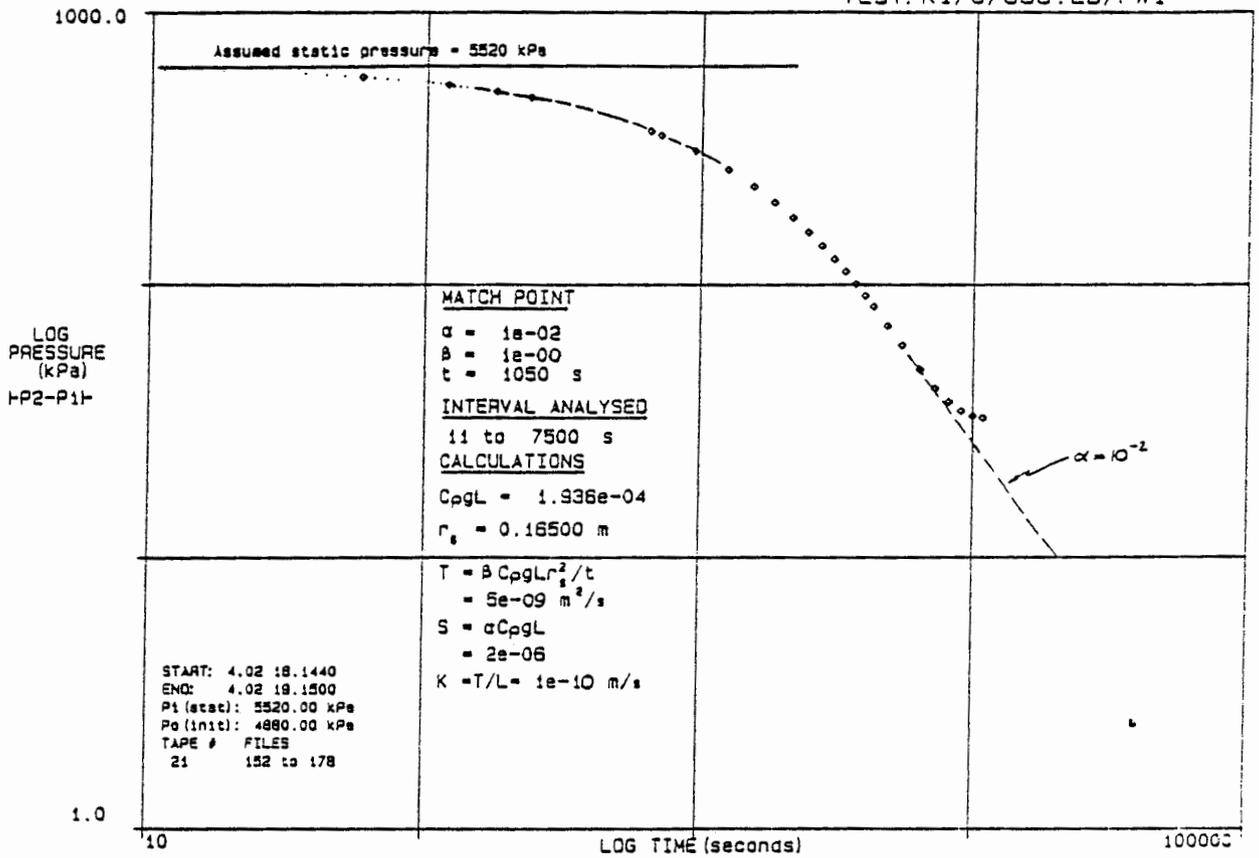
TEST: K1/G/656.20/P1P2P3



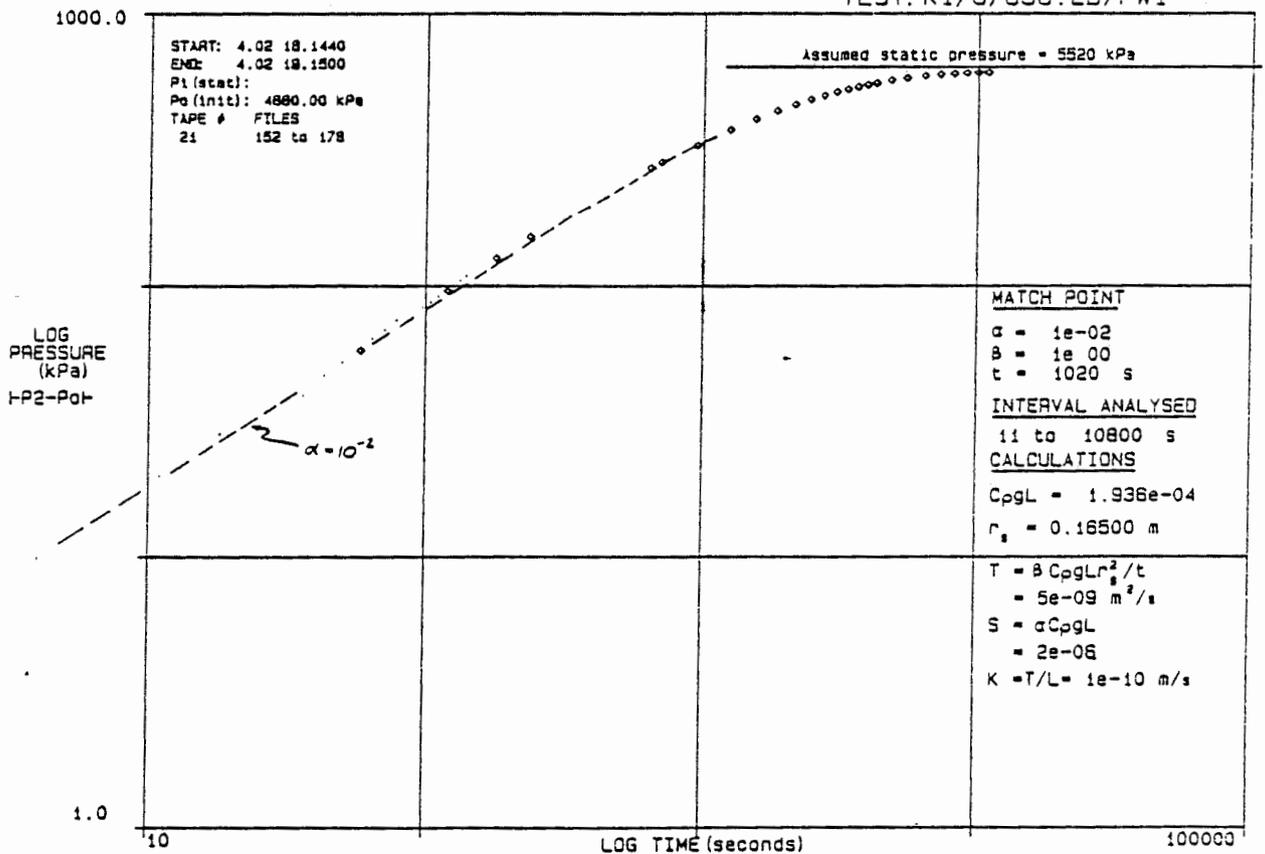
TEST: K1/G/656.20/Pw1



TEST: K1/G/656.2D/Pw1

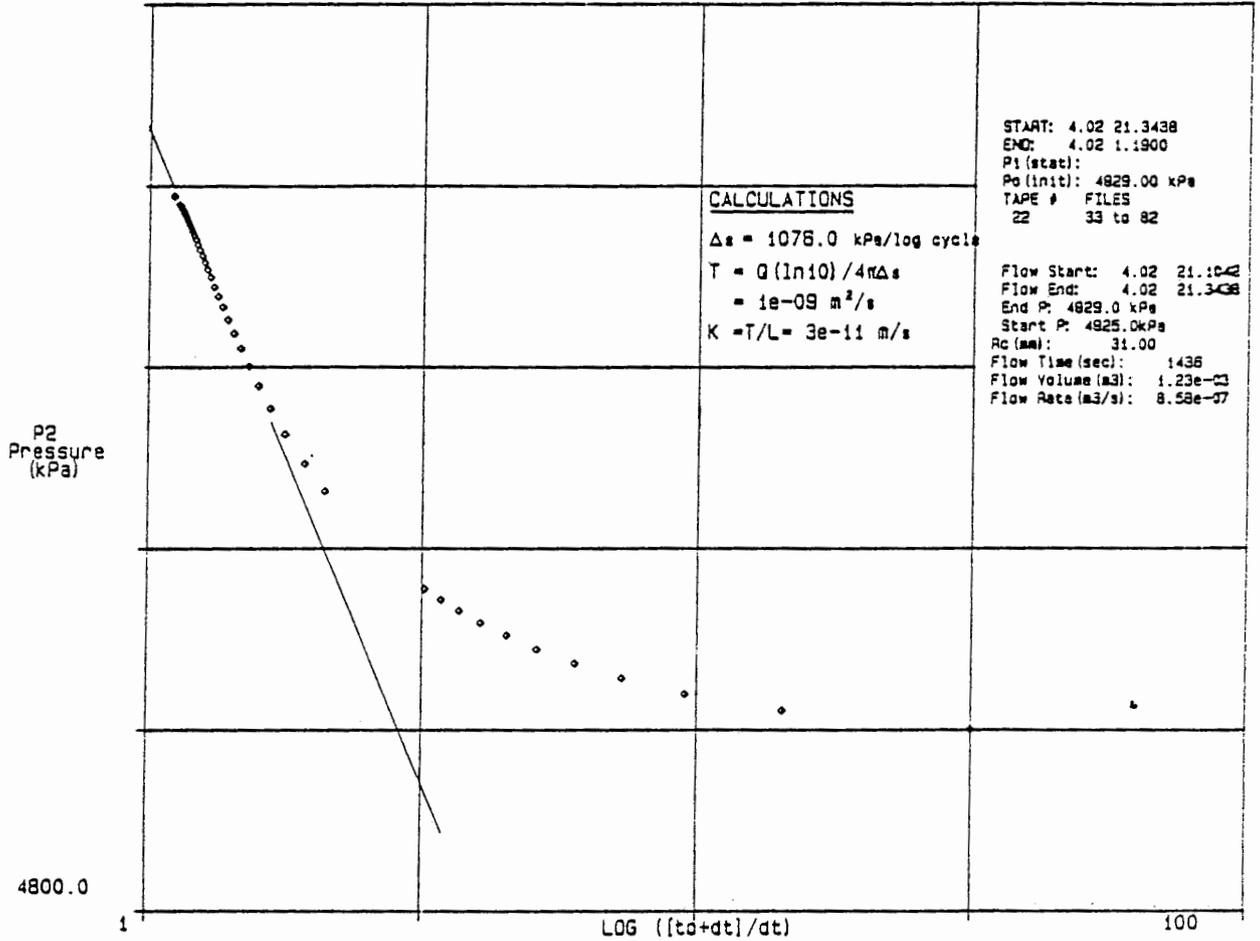


TEST: K1/G/656.2D/Pw1



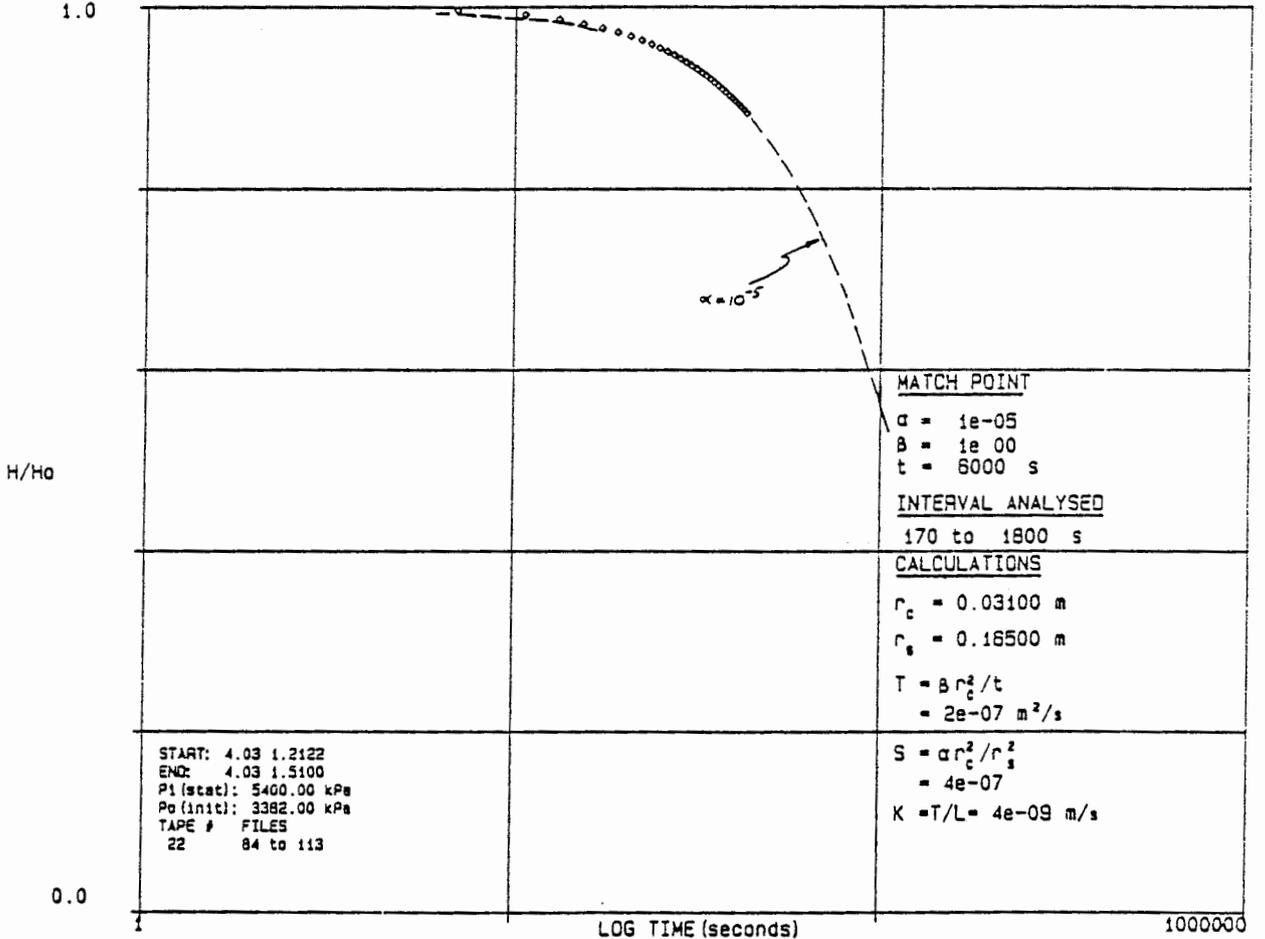
5550.0

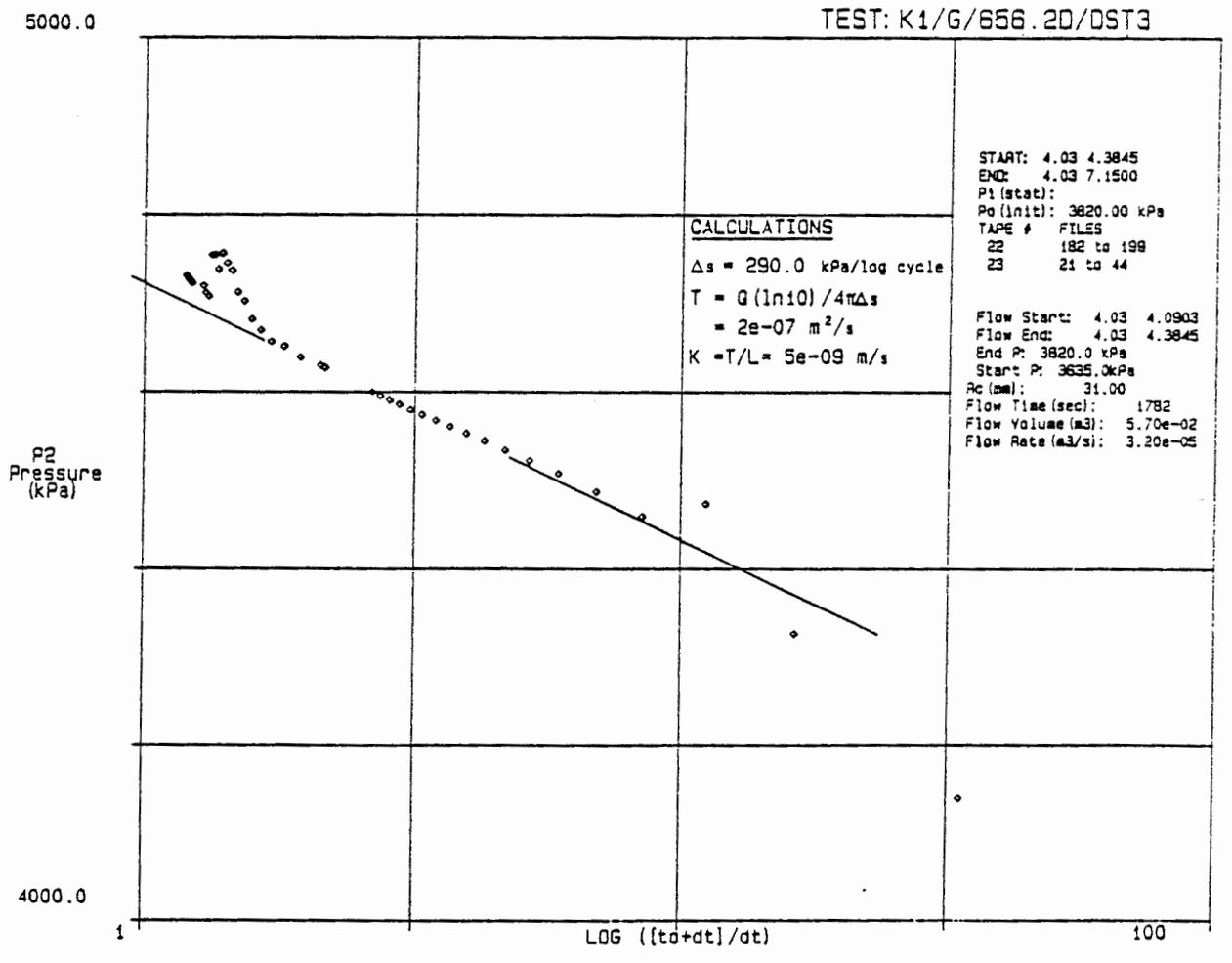
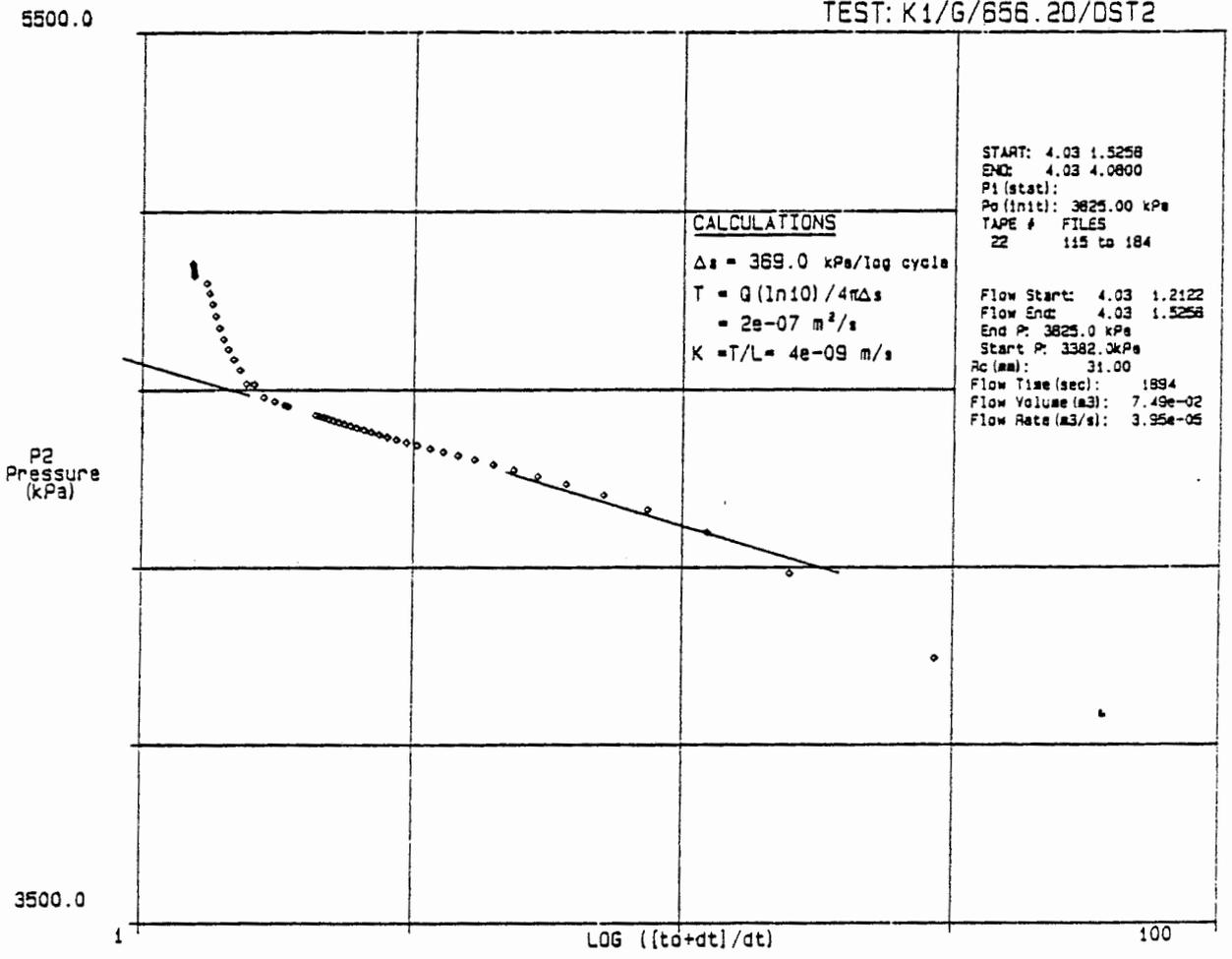
TEST: K1/G/656.2D/DST1



1.0

TEST: K1/G/656.2D/Sw1

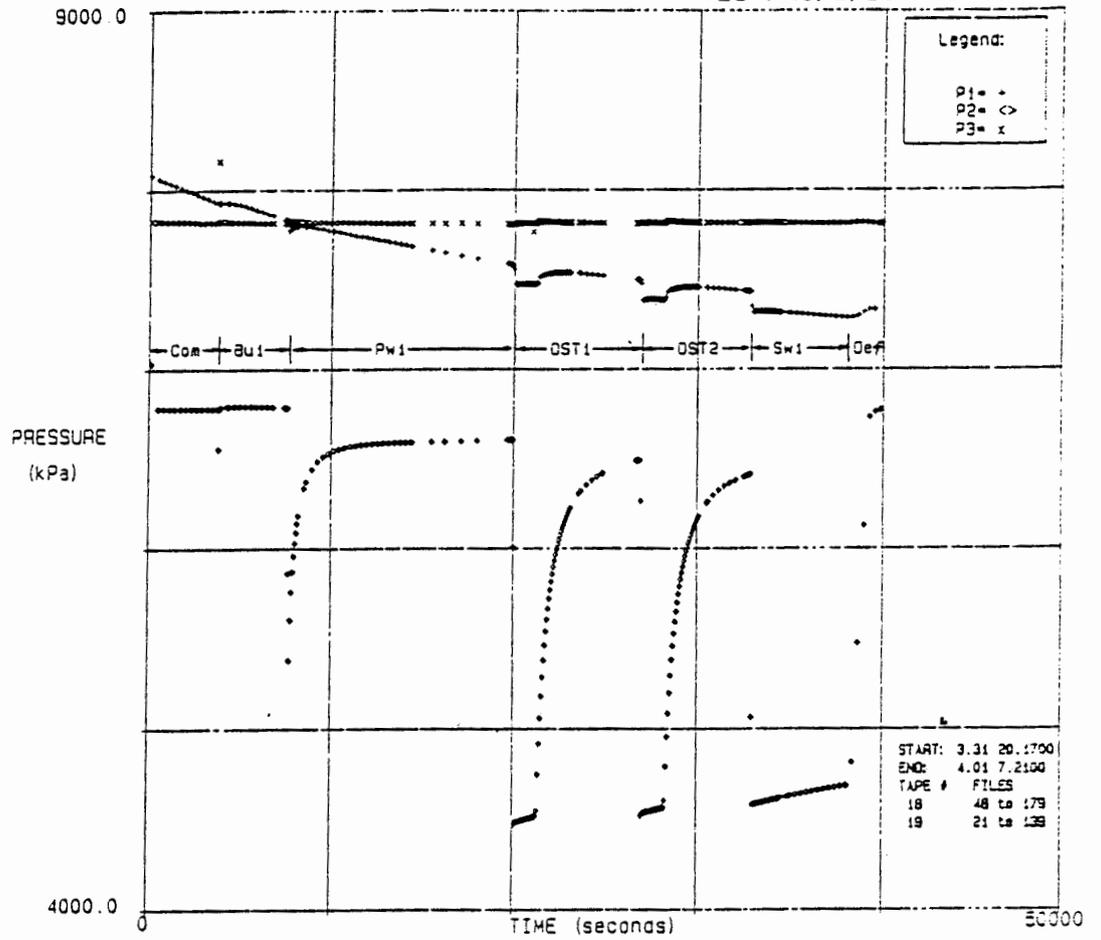




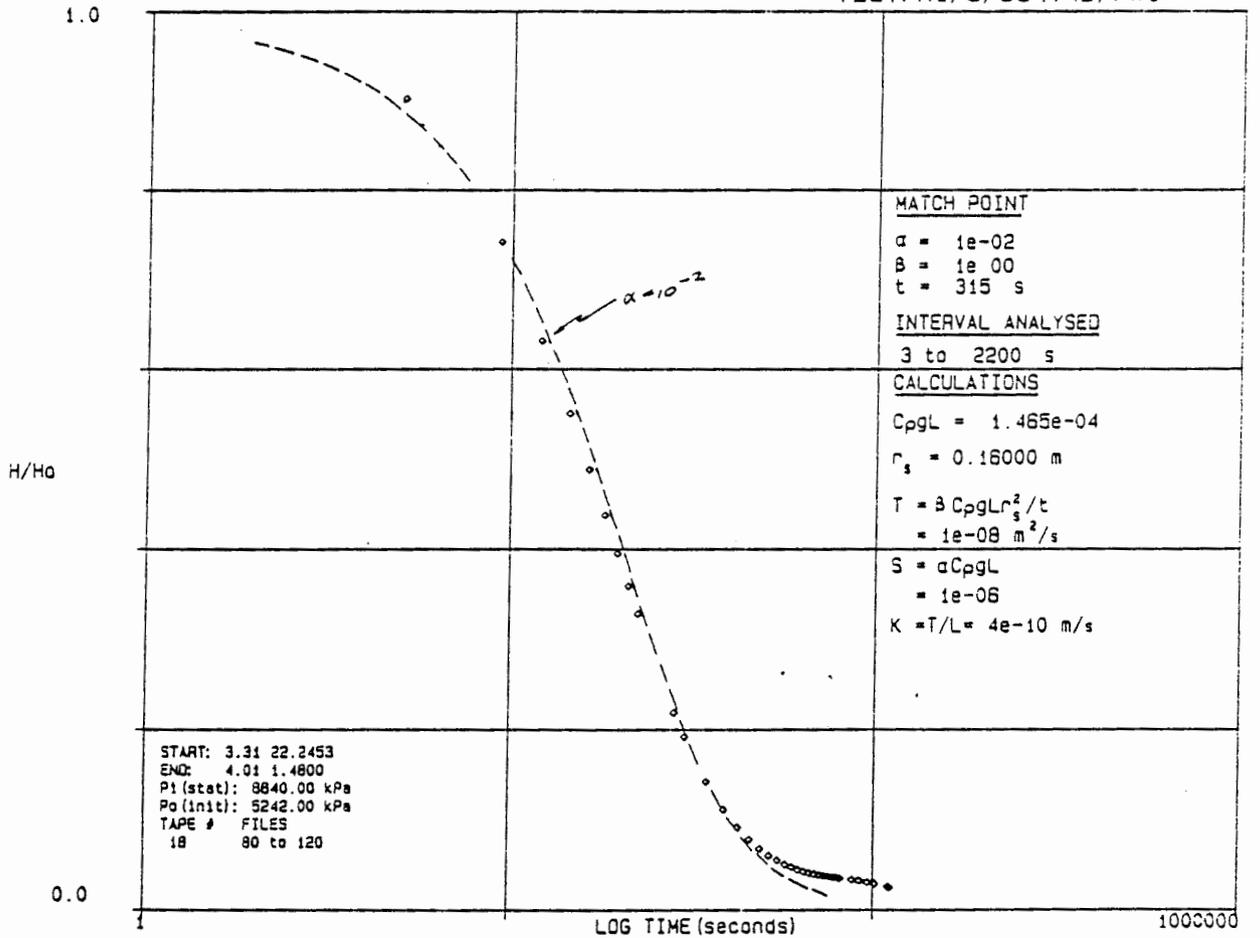
Doppelpacker-Test Nr. 10

677,80 - 711,00 m

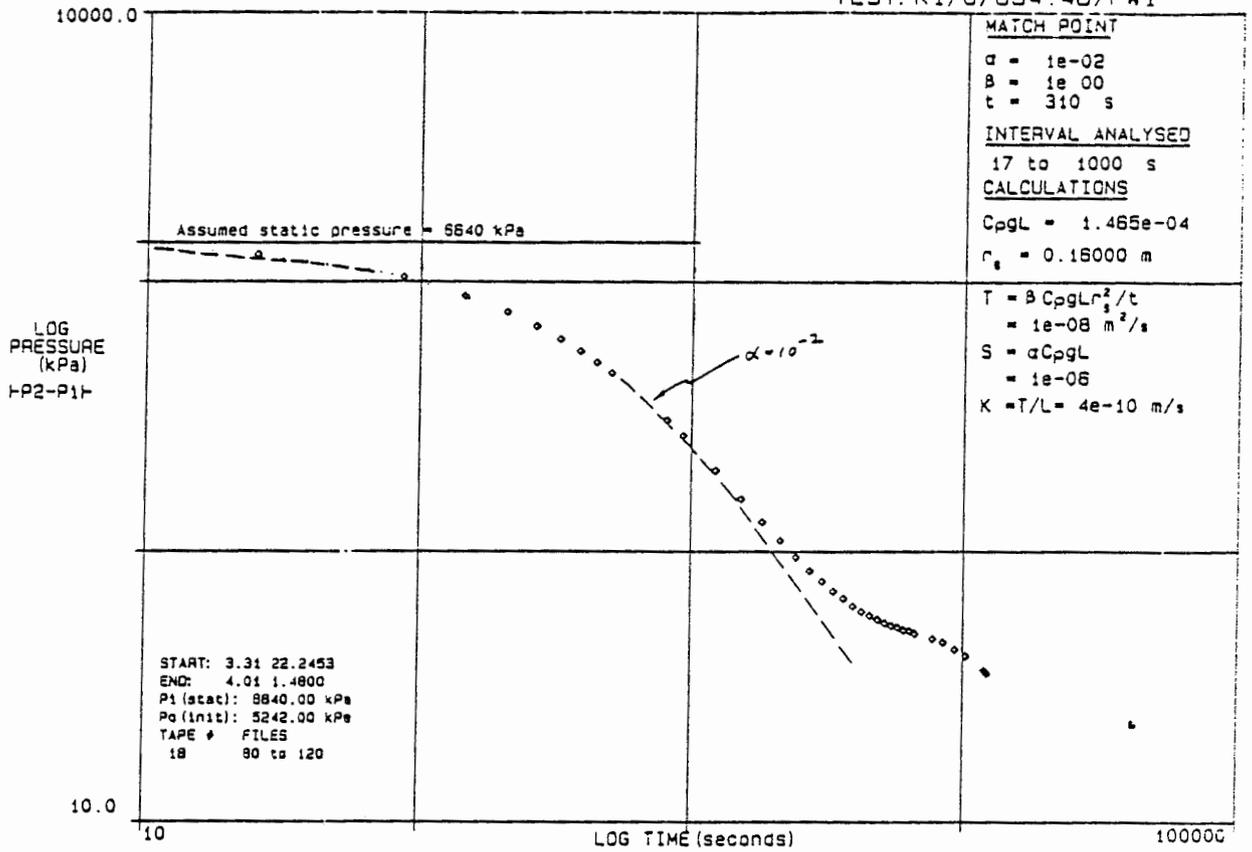
TEST: K1/G/694.40/P1P2P3



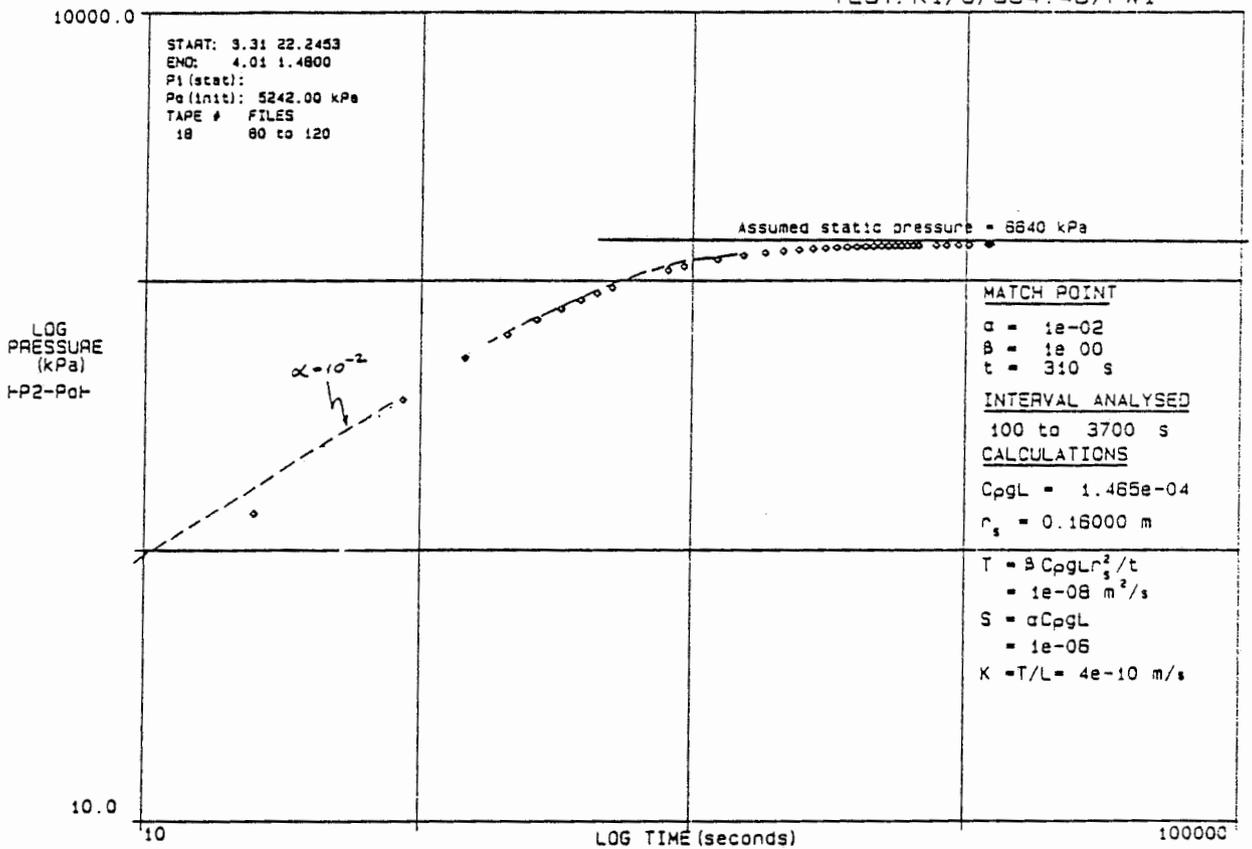
TEST: K1/G/694.40/Pw1



TEST: K1/G/694.40/Pw1

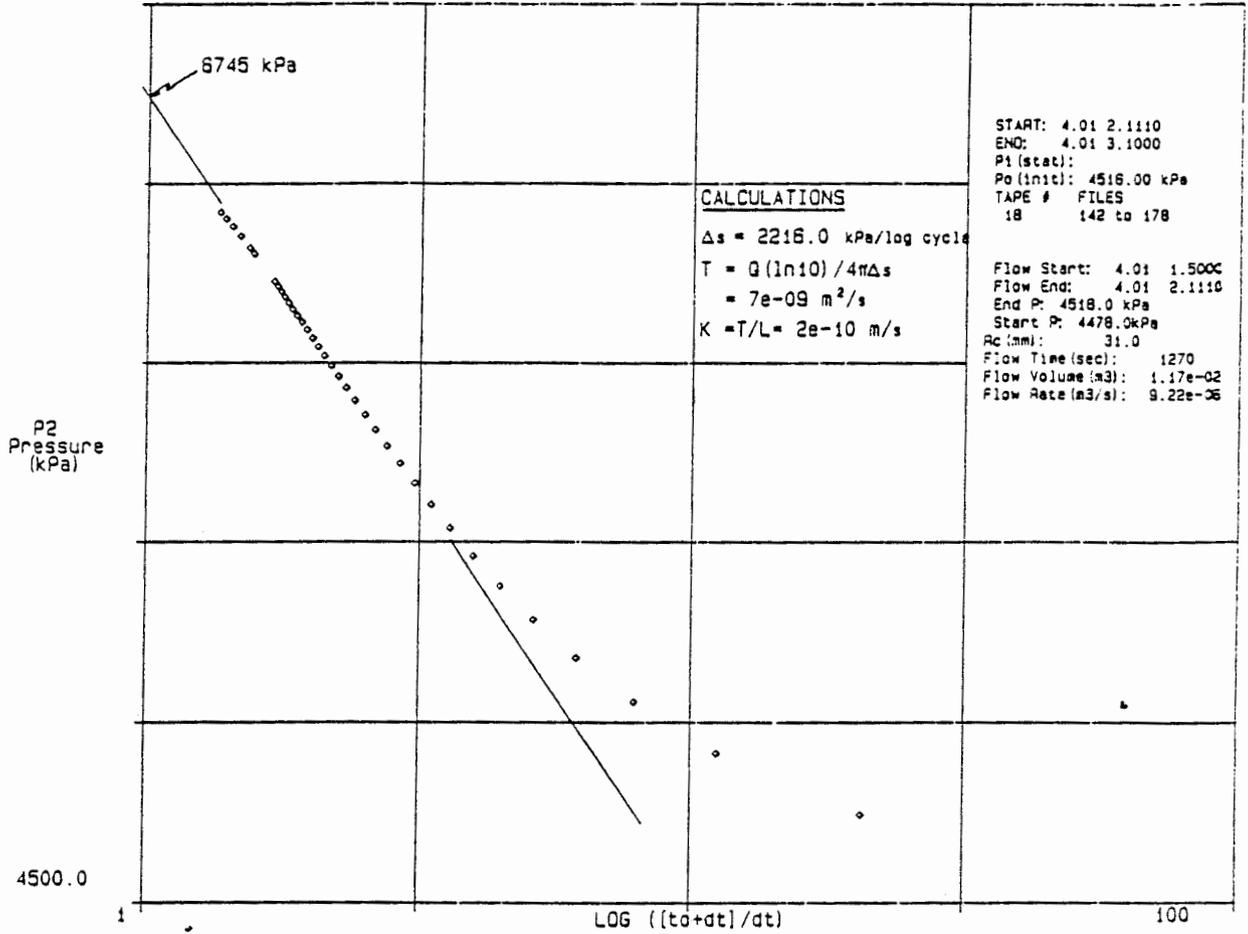


TEST: K1/G/694.40/Pw1



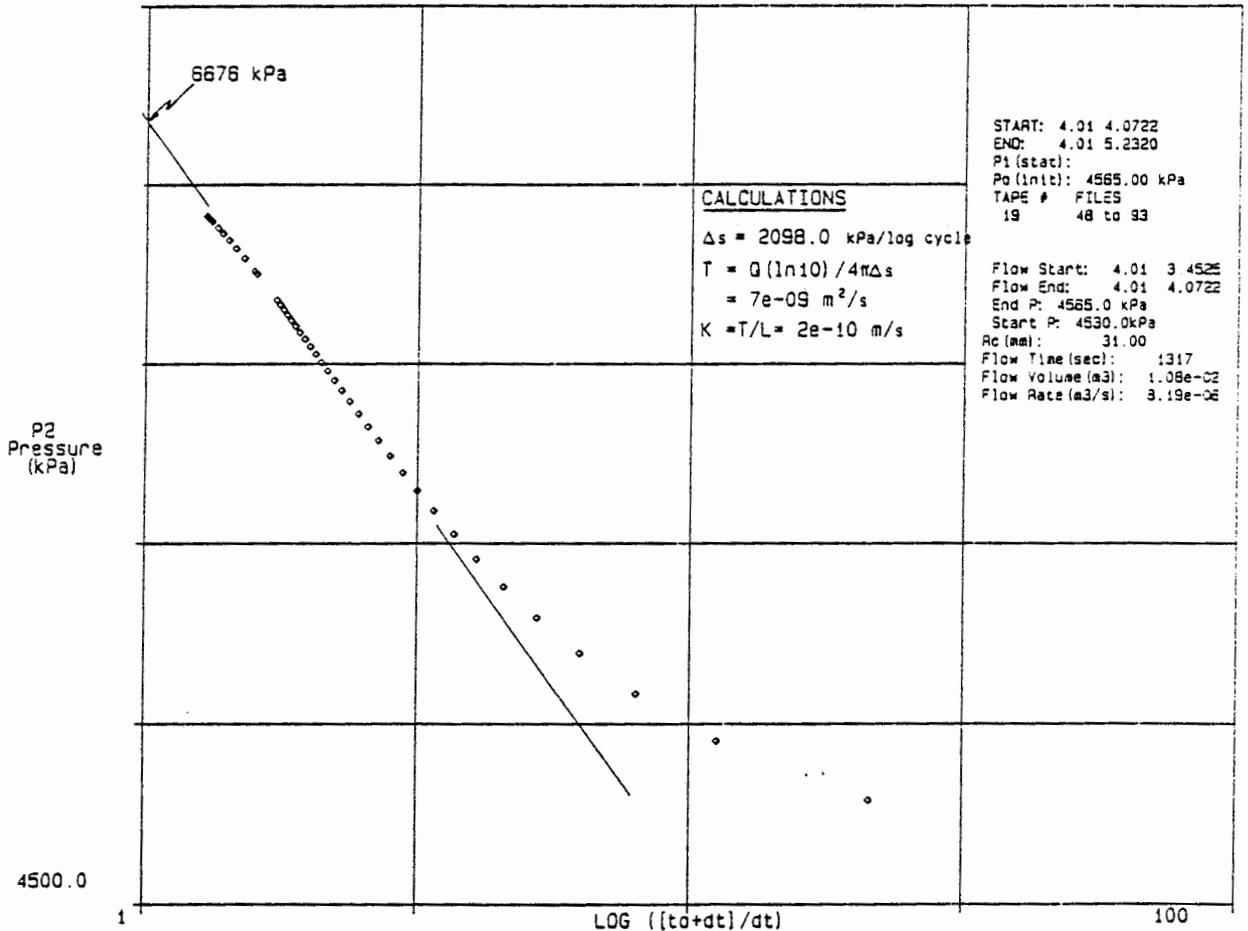
7000.0

TEST: K1/G/694.40/DST1

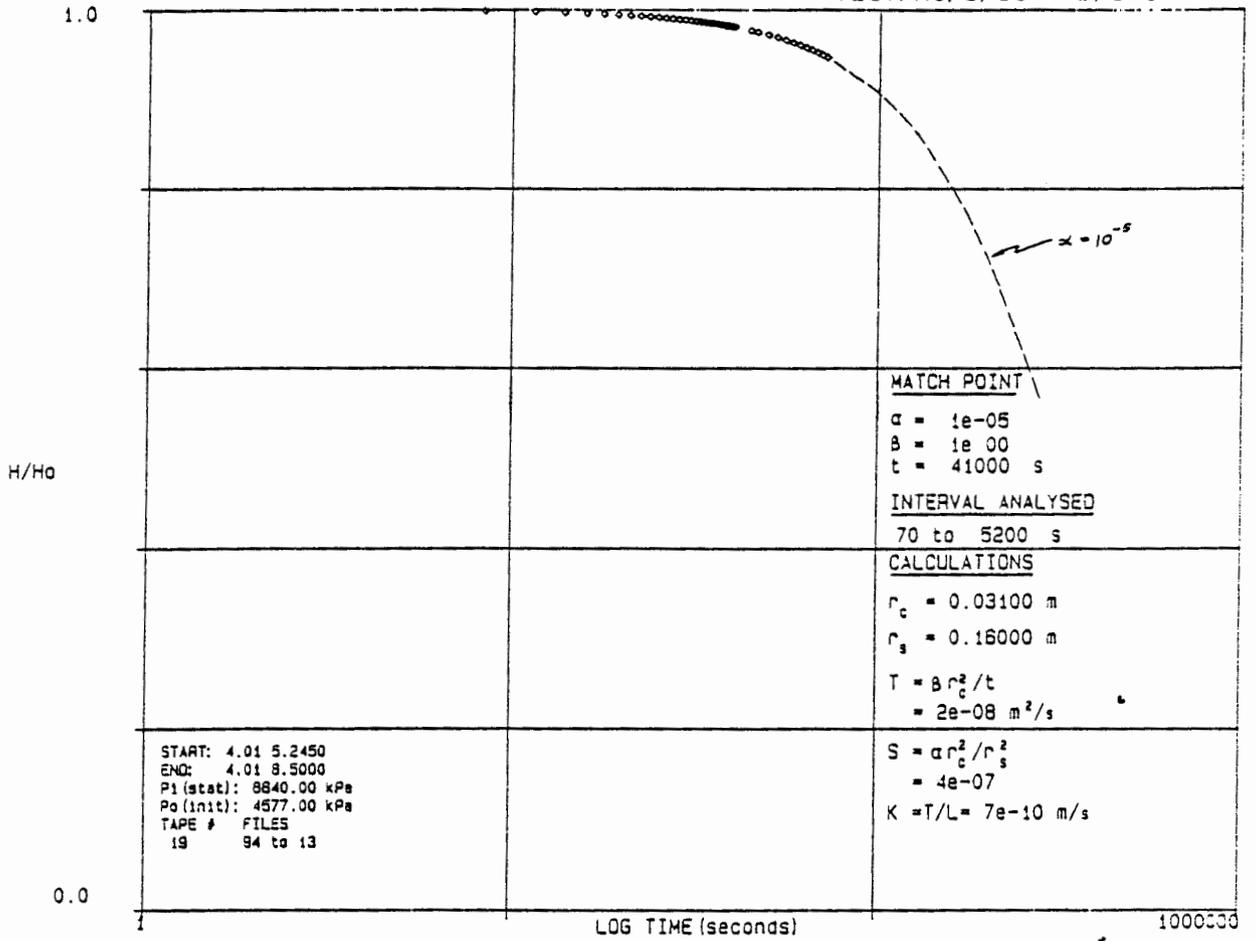


7000.0

TEST: K1/G/694.40/DST2



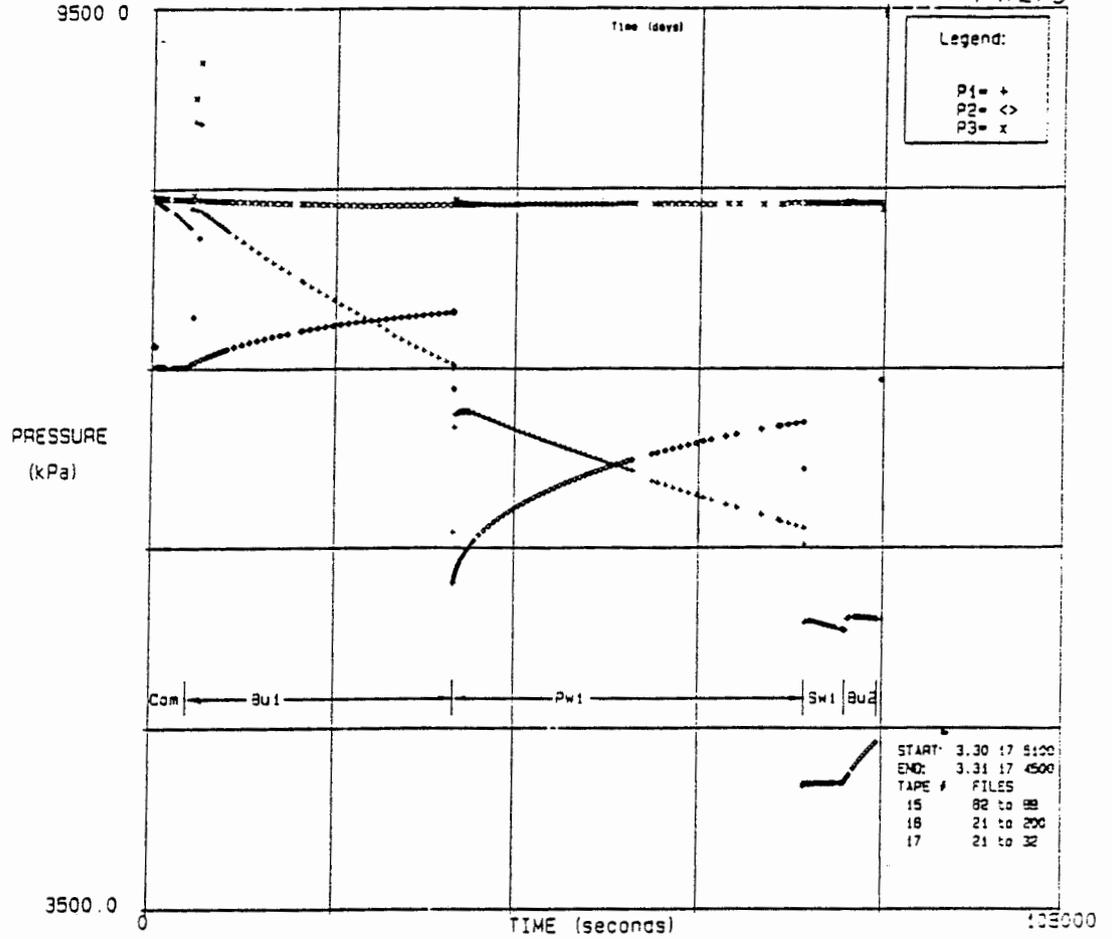
TEST: K1/G/694.4D/Sw1



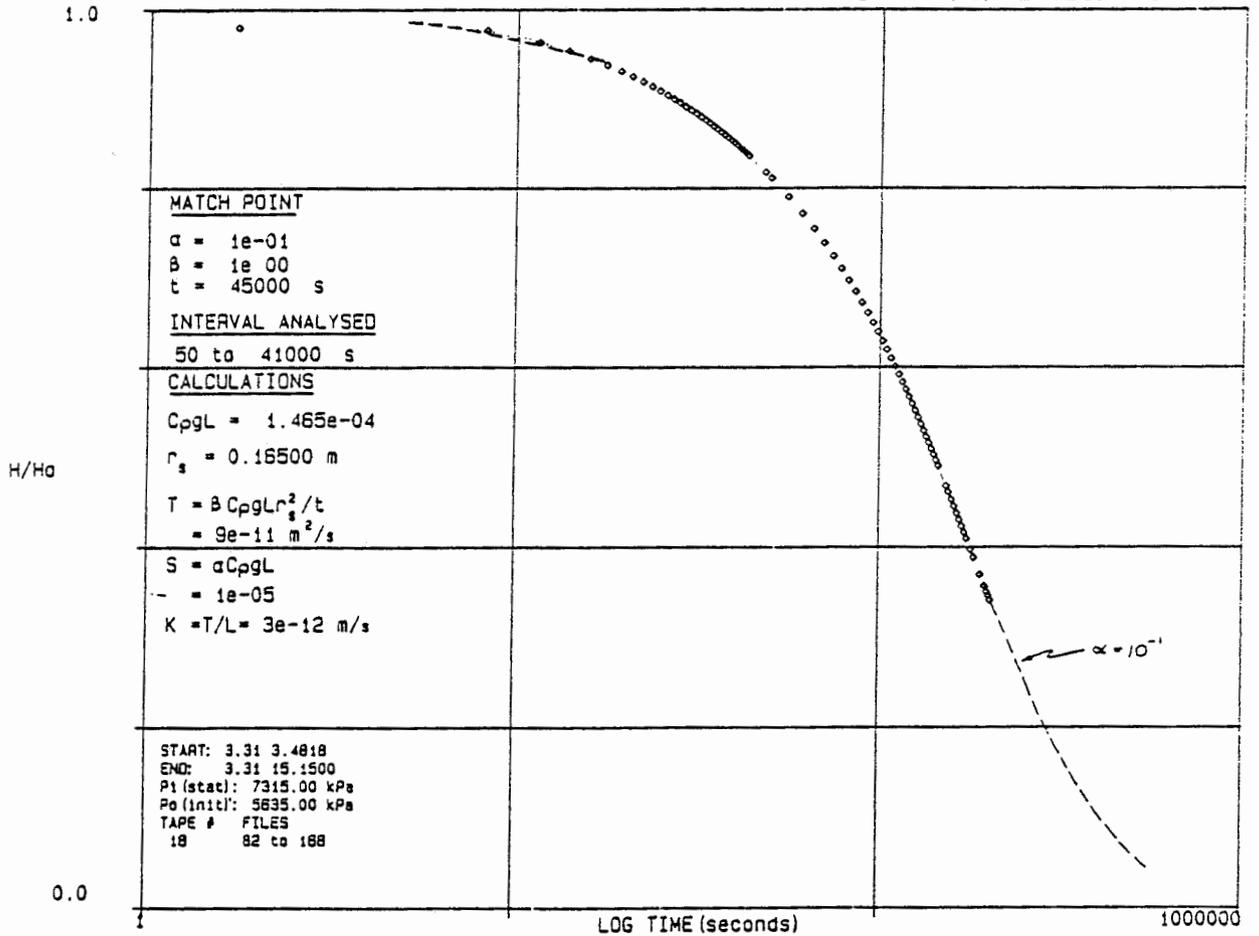
Doppelpacker-Test Nr. 9

711,0 - 744,20 m

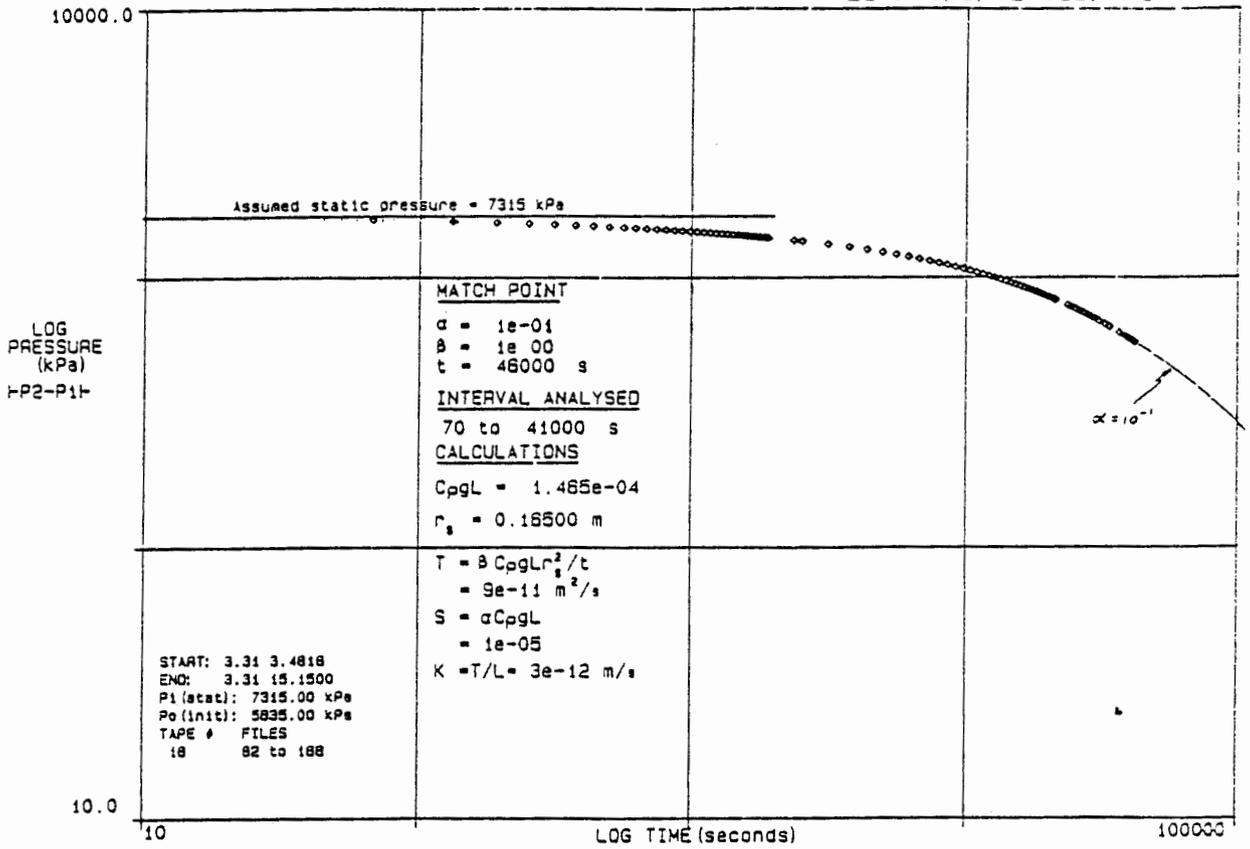
TEST: K1/G/727.60/P1P2P3



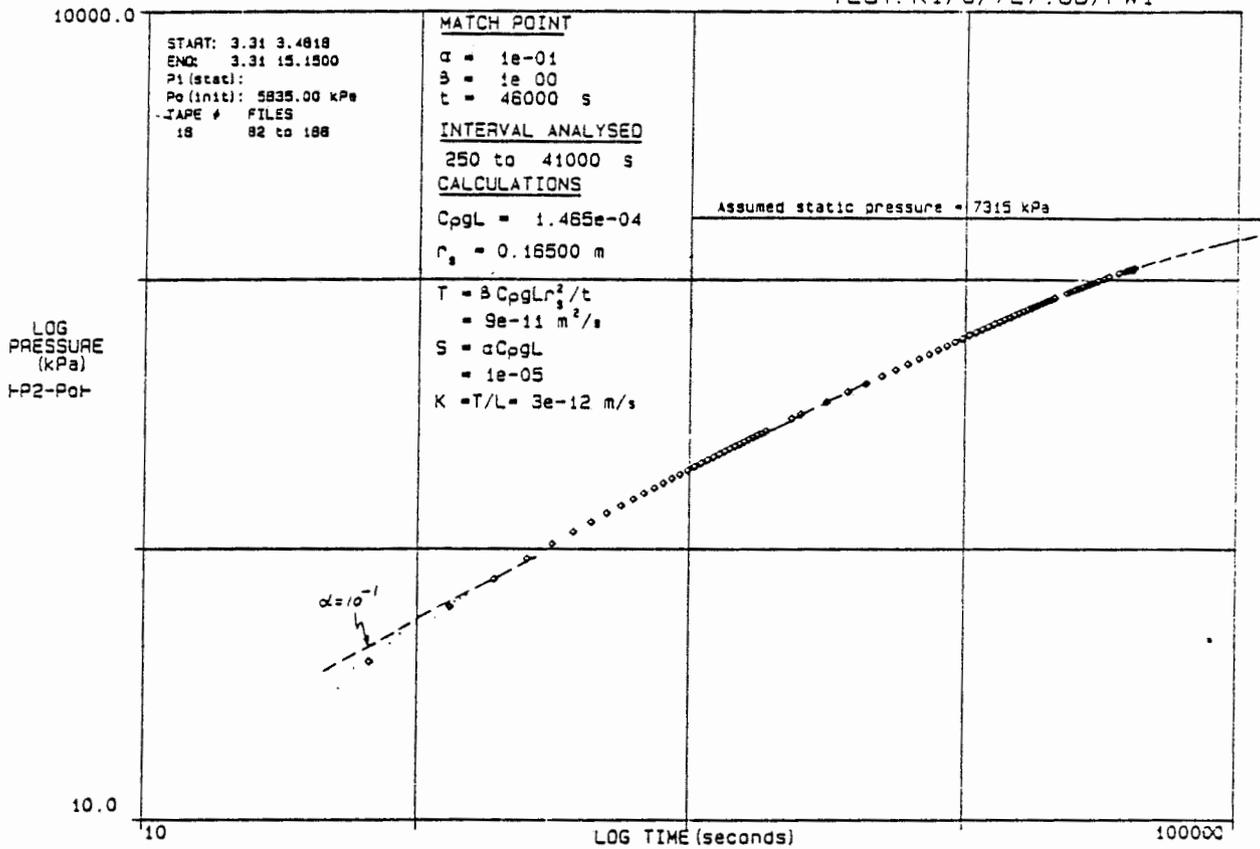
TEST: K1/G/727.60/Pw1



TEST: K1/G/727.60/Pw1

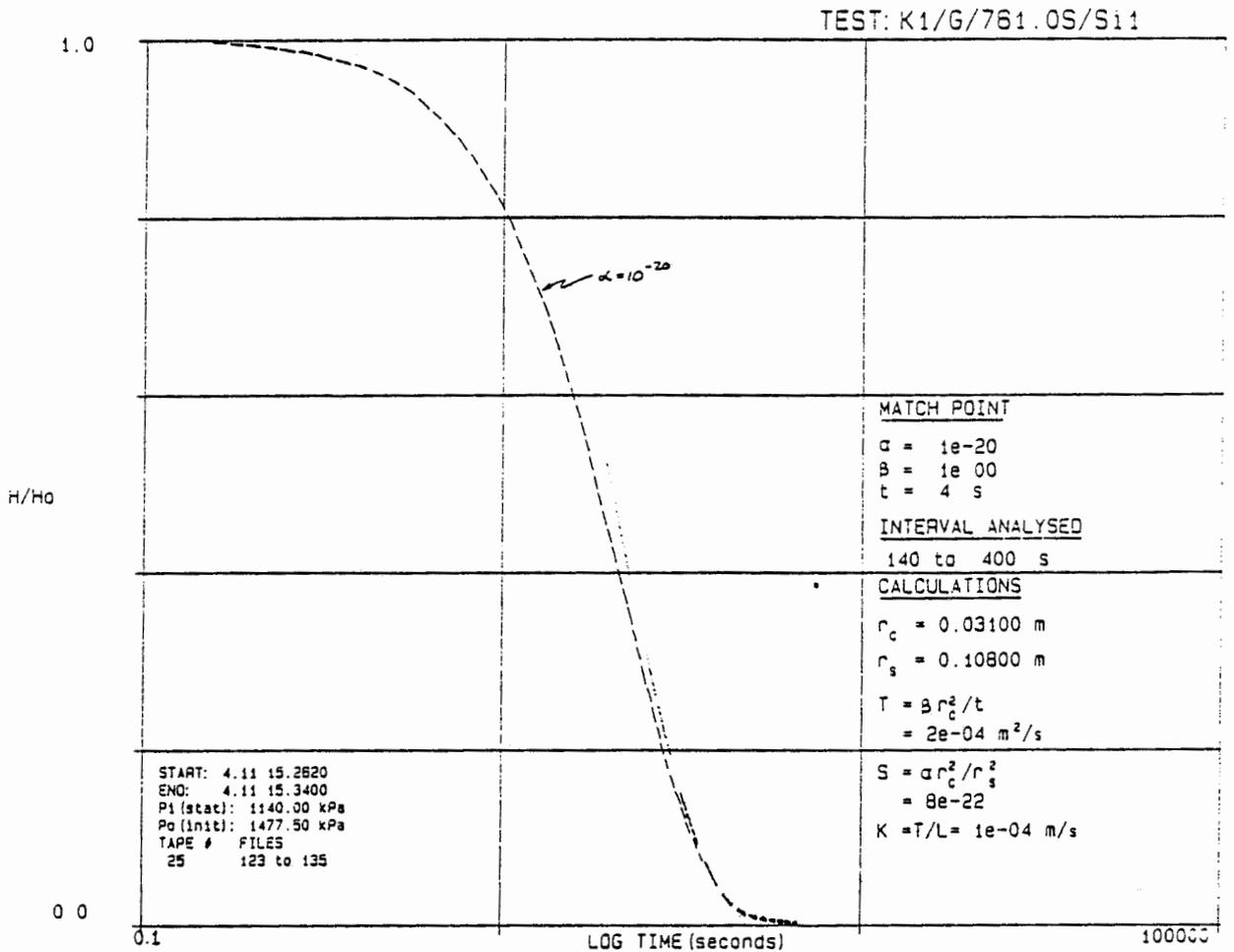
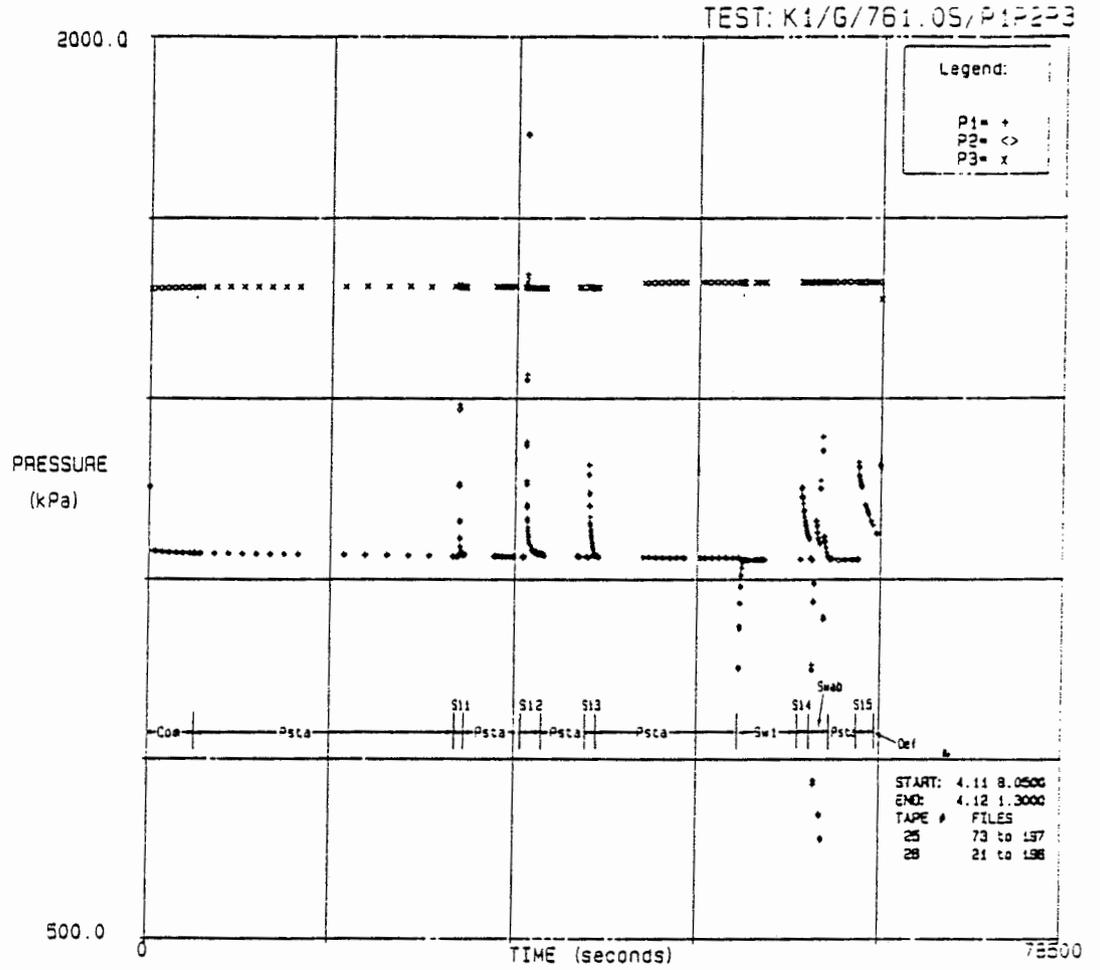


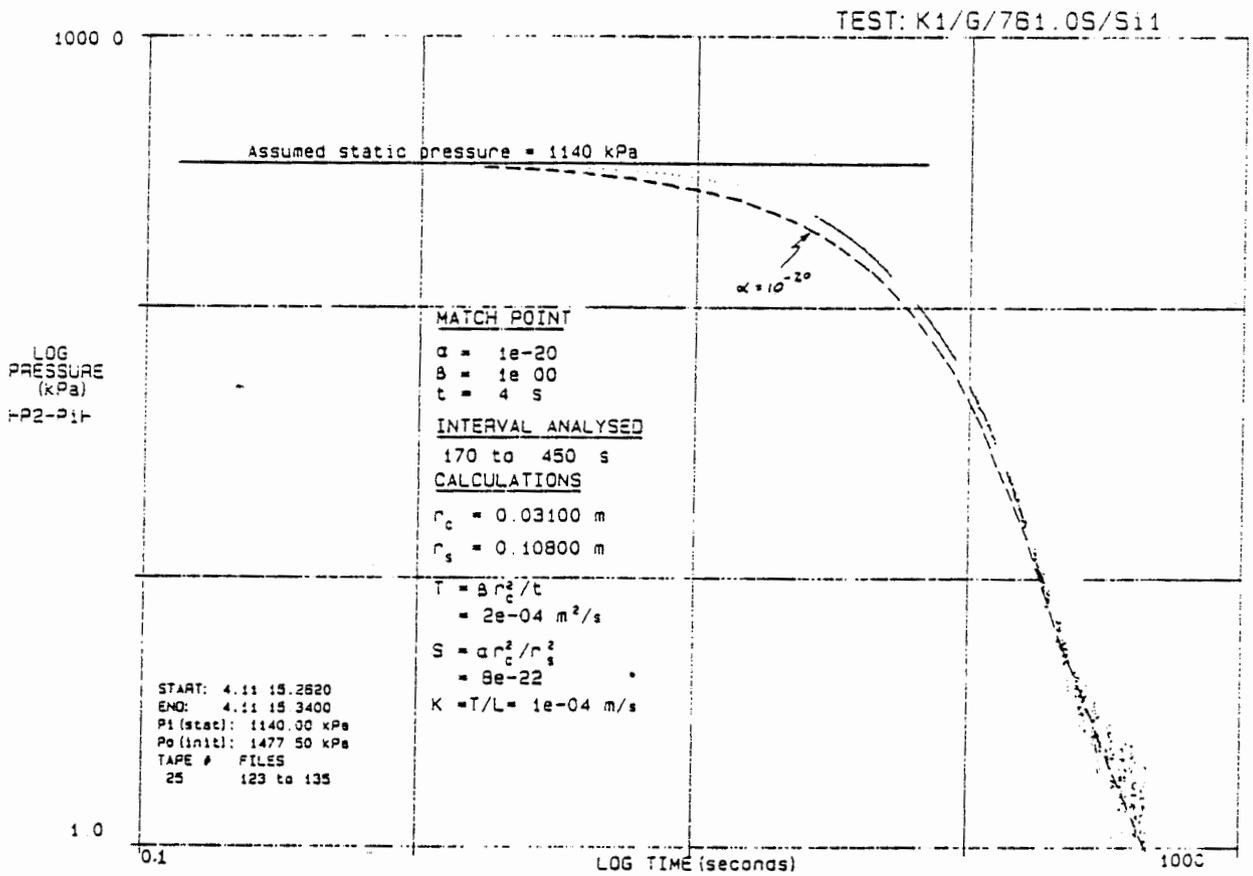
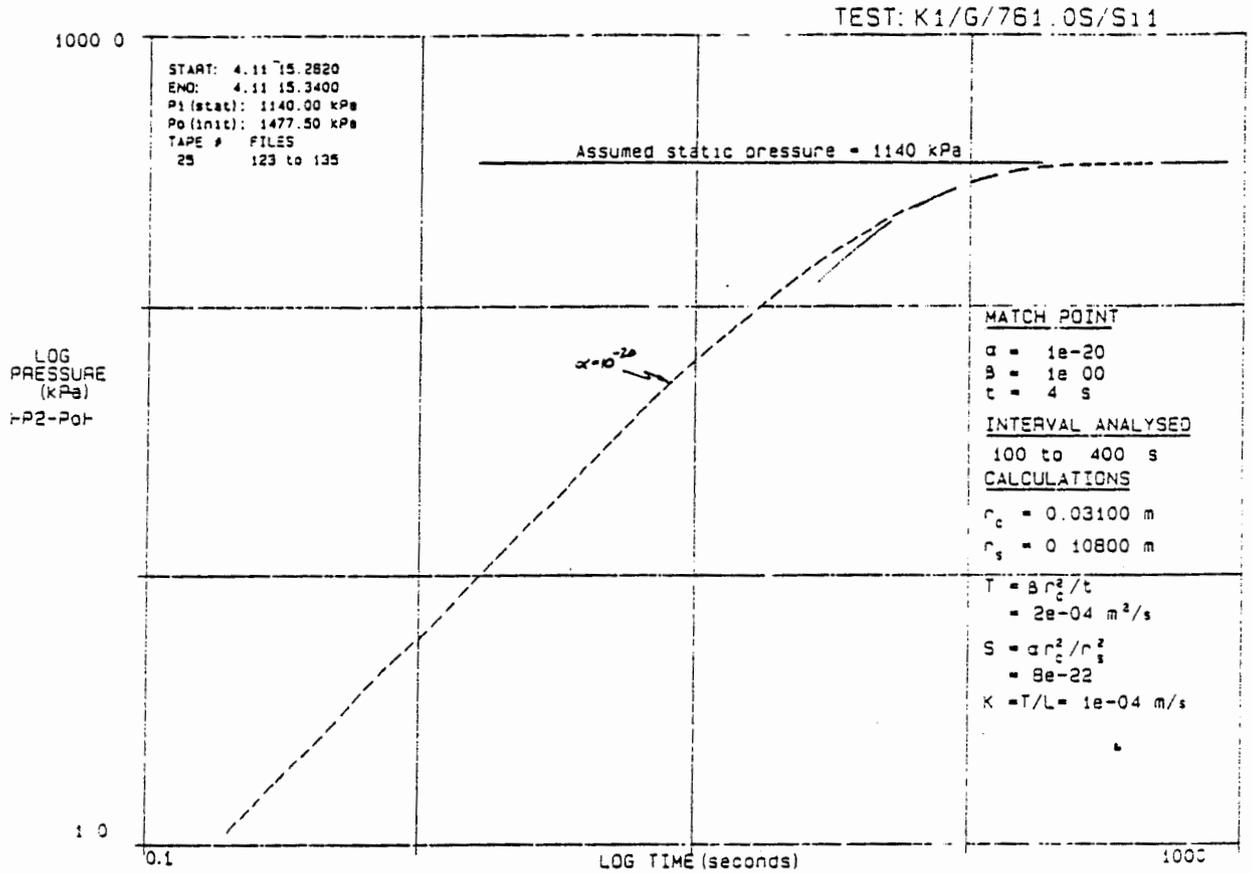
TEST: K1/G/727.60/Pw1



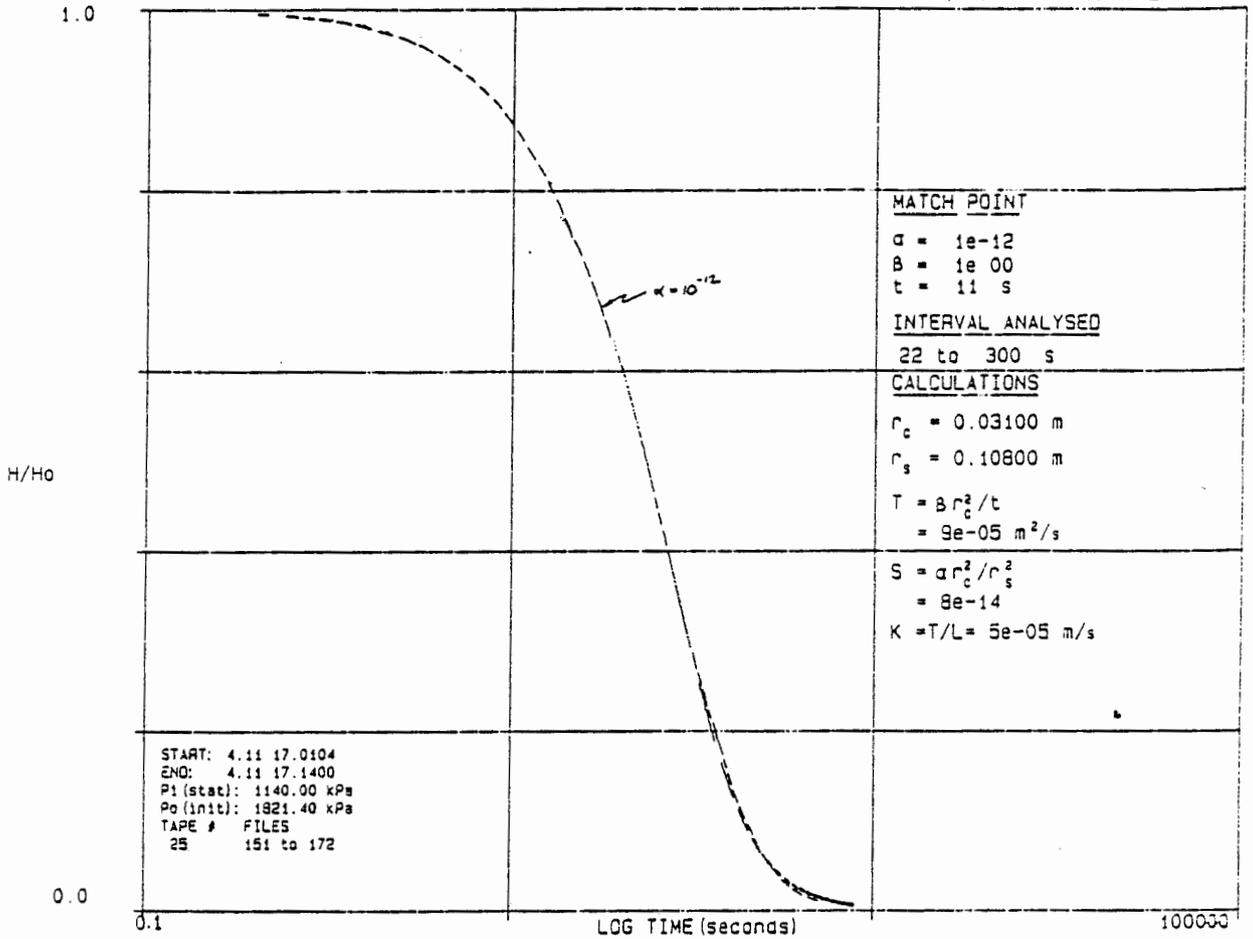
Einfachpacker-Test Nr. 13

739,8 - 782,2 m

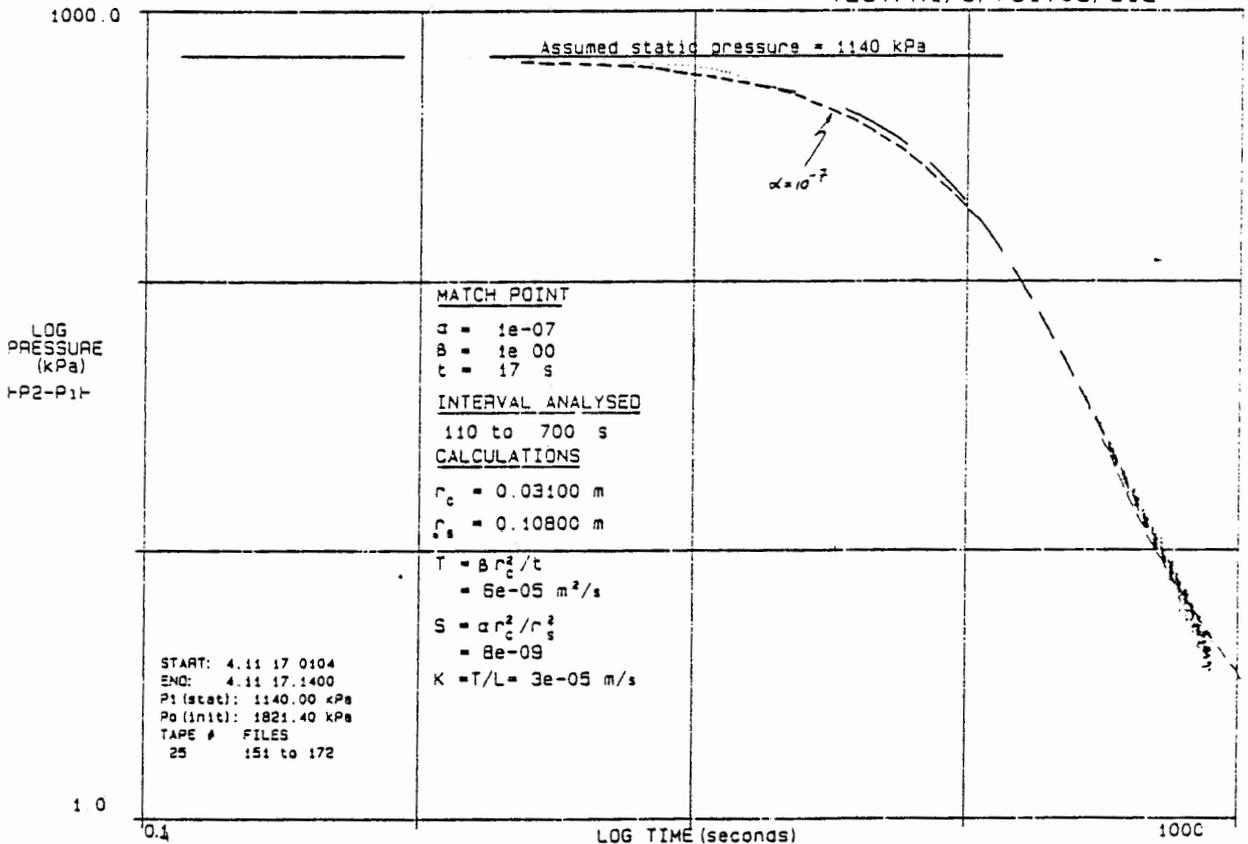


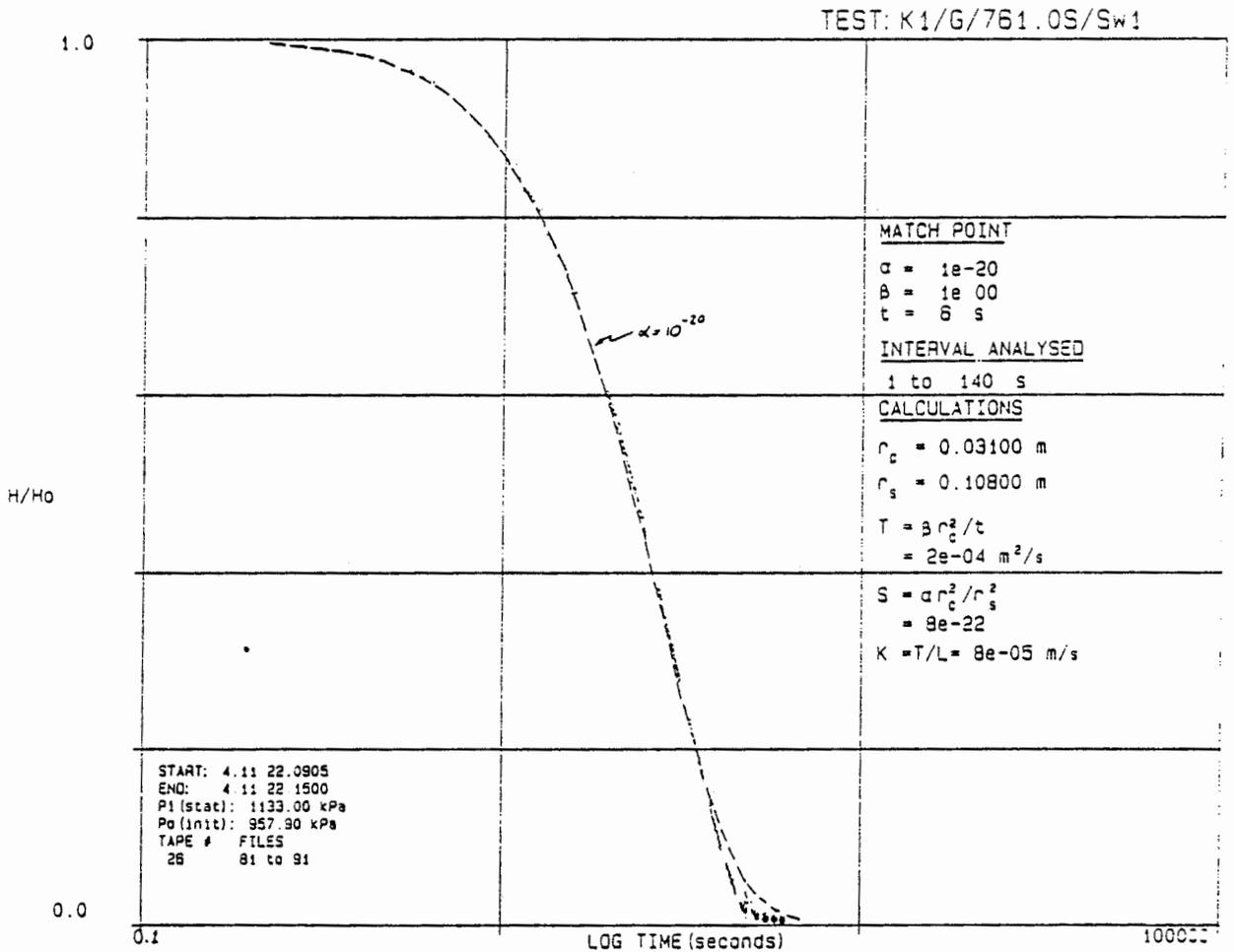
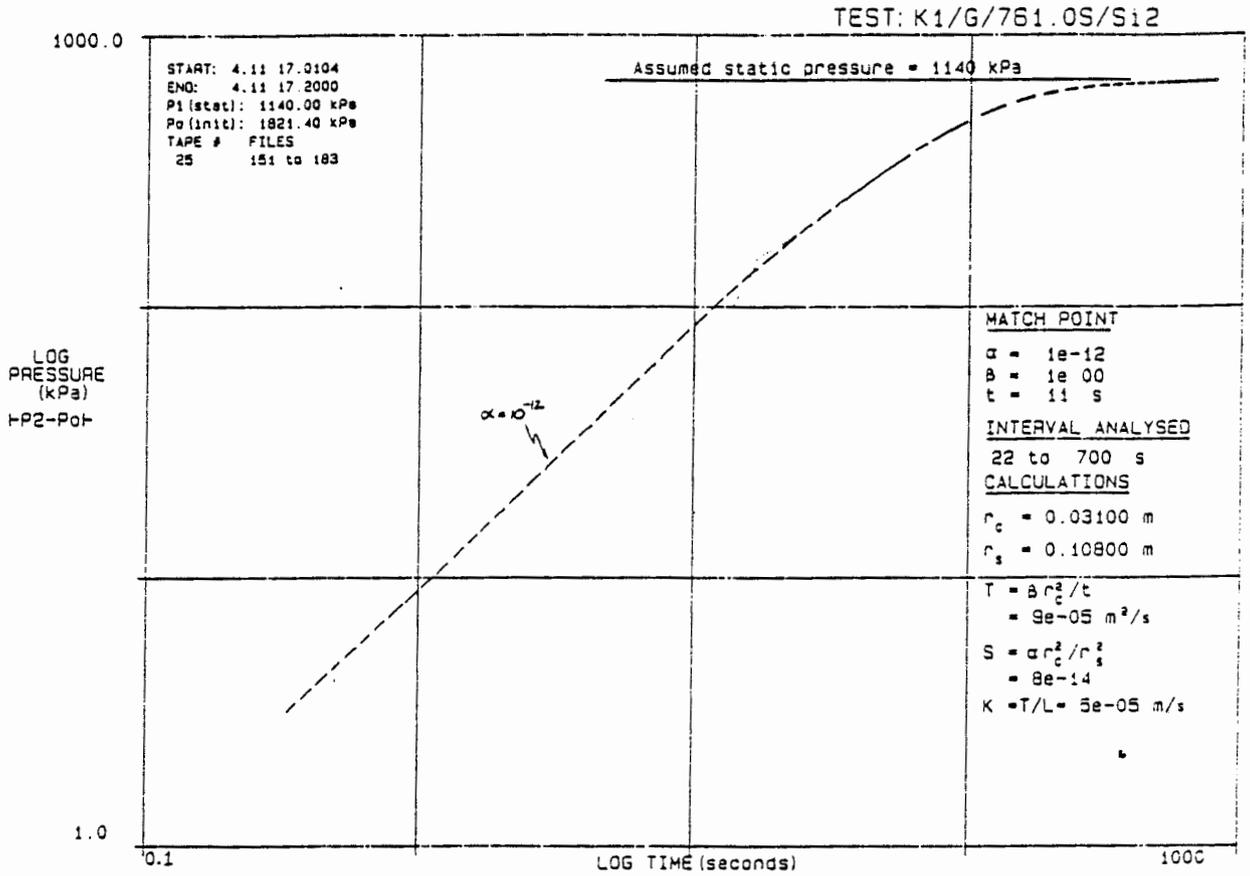


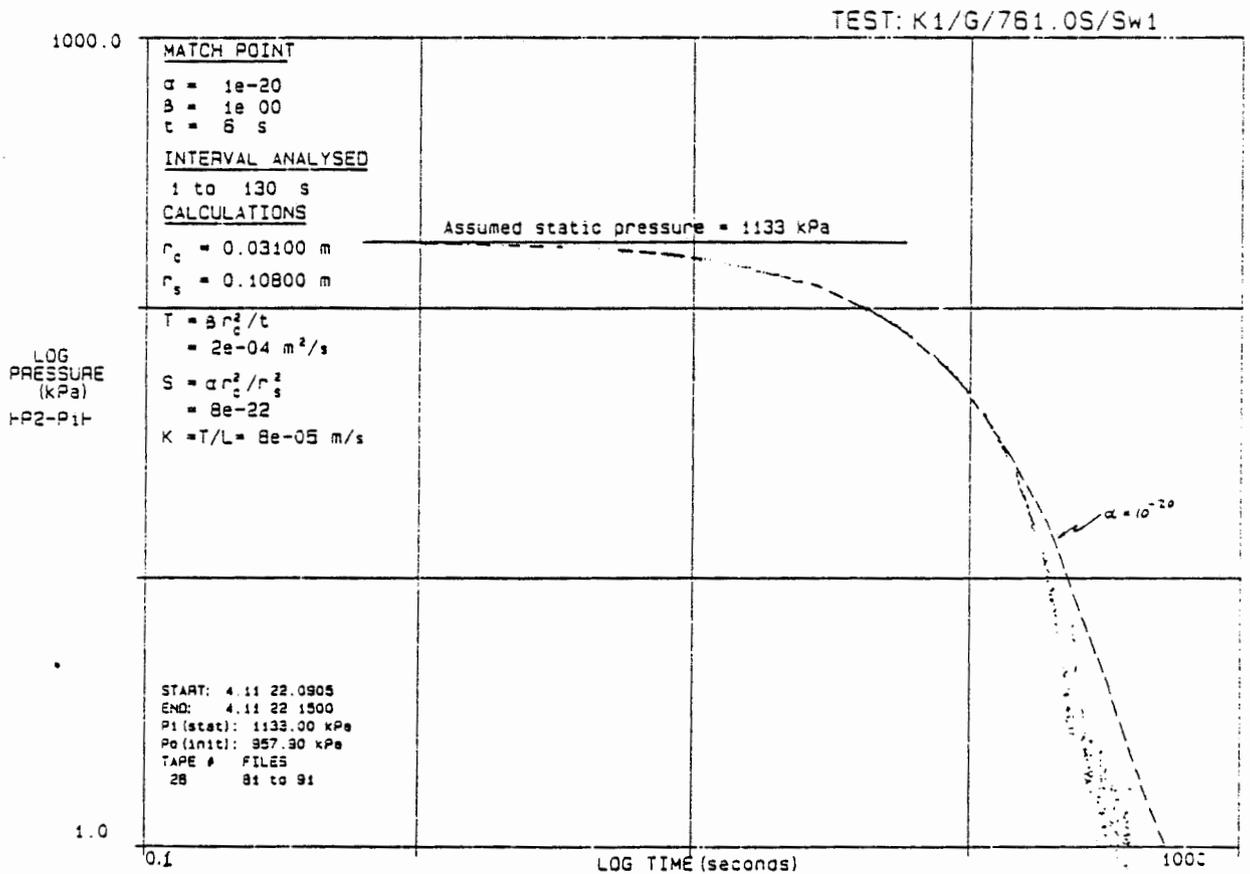
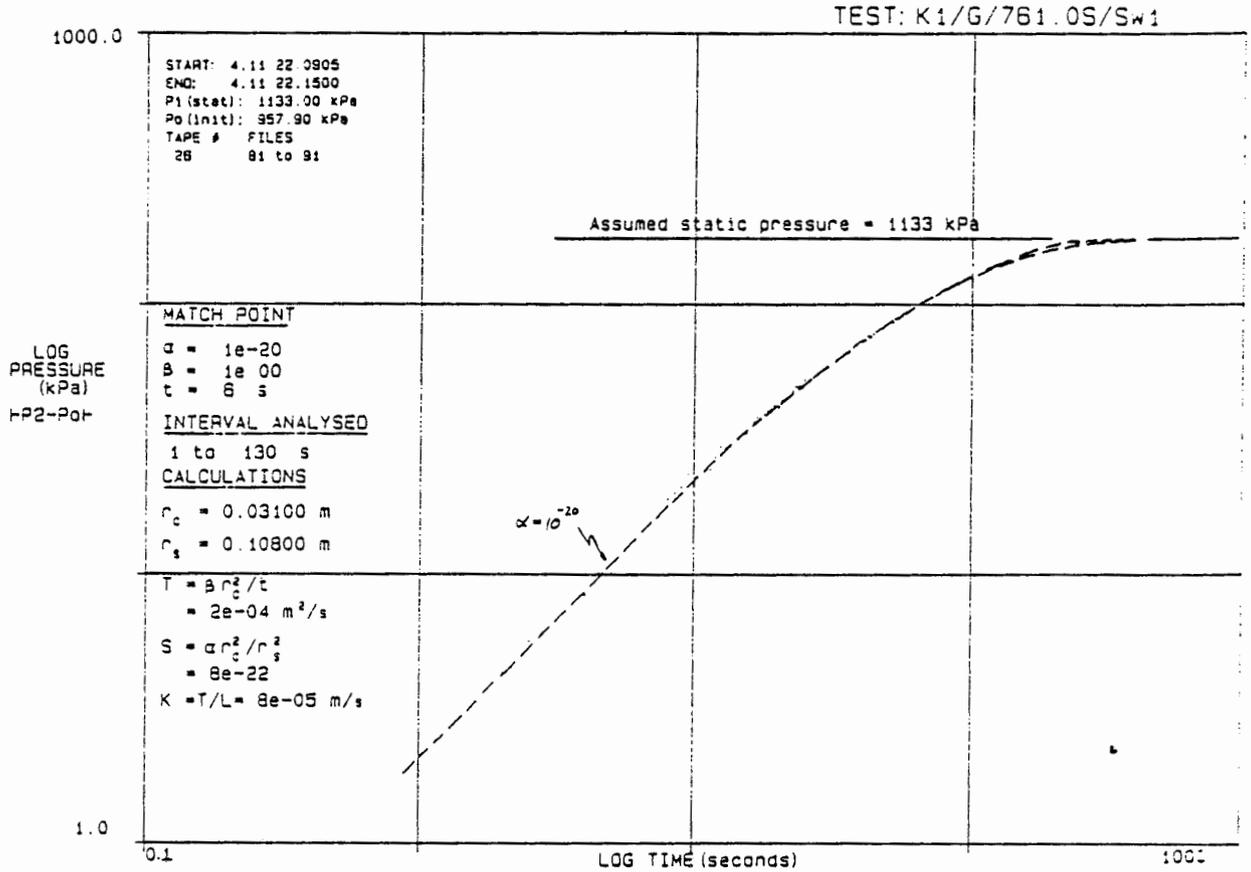
TEST: K1/G/761.0S/Si2



TEST: K1/G/761.0S/Si2



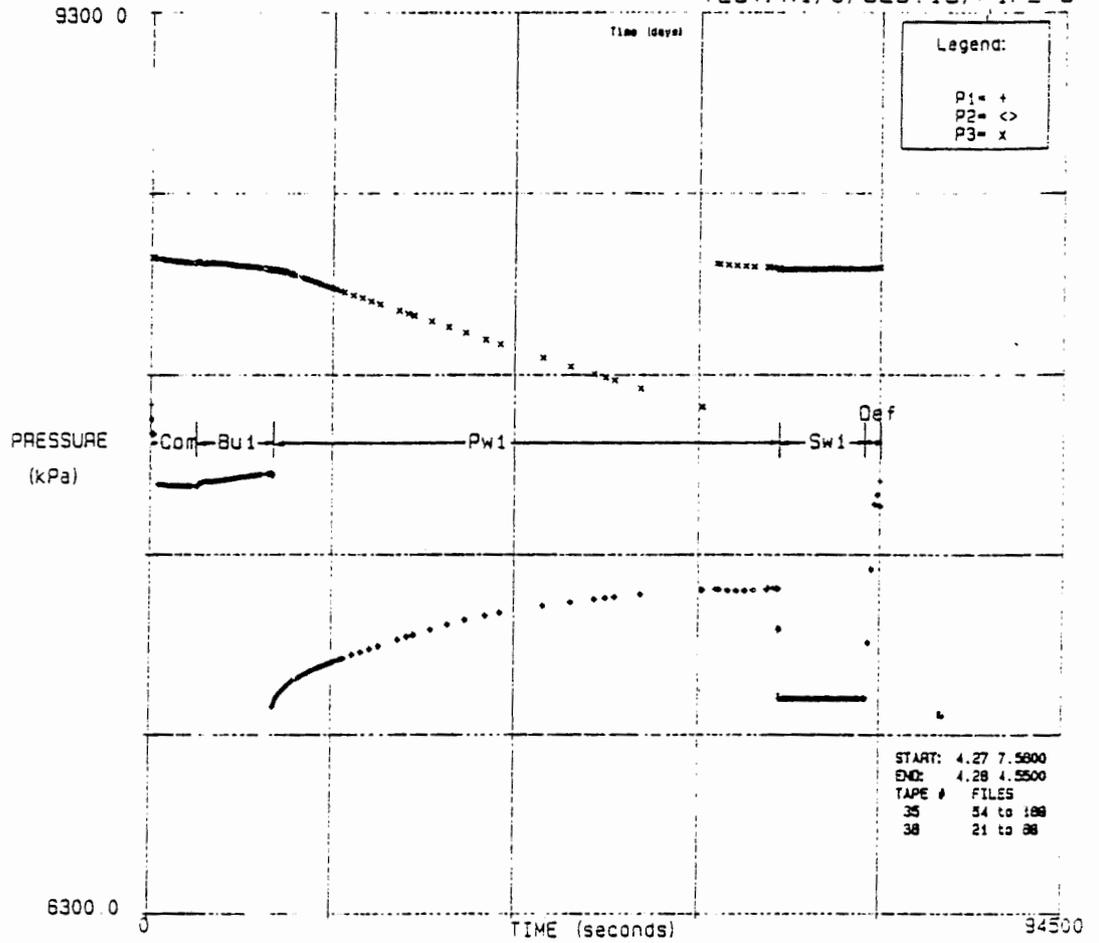




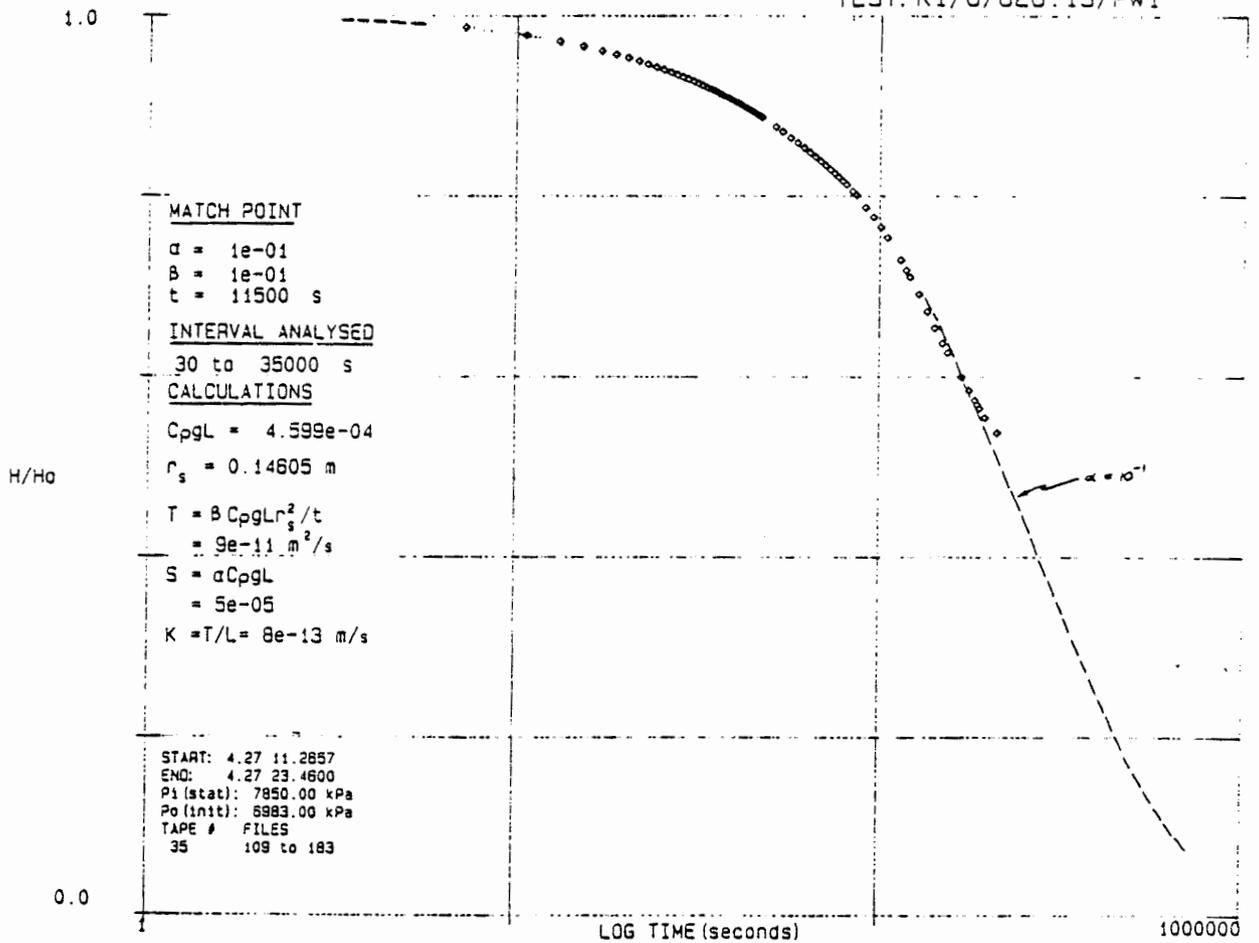
Einfachpacker-Test Nr. 14

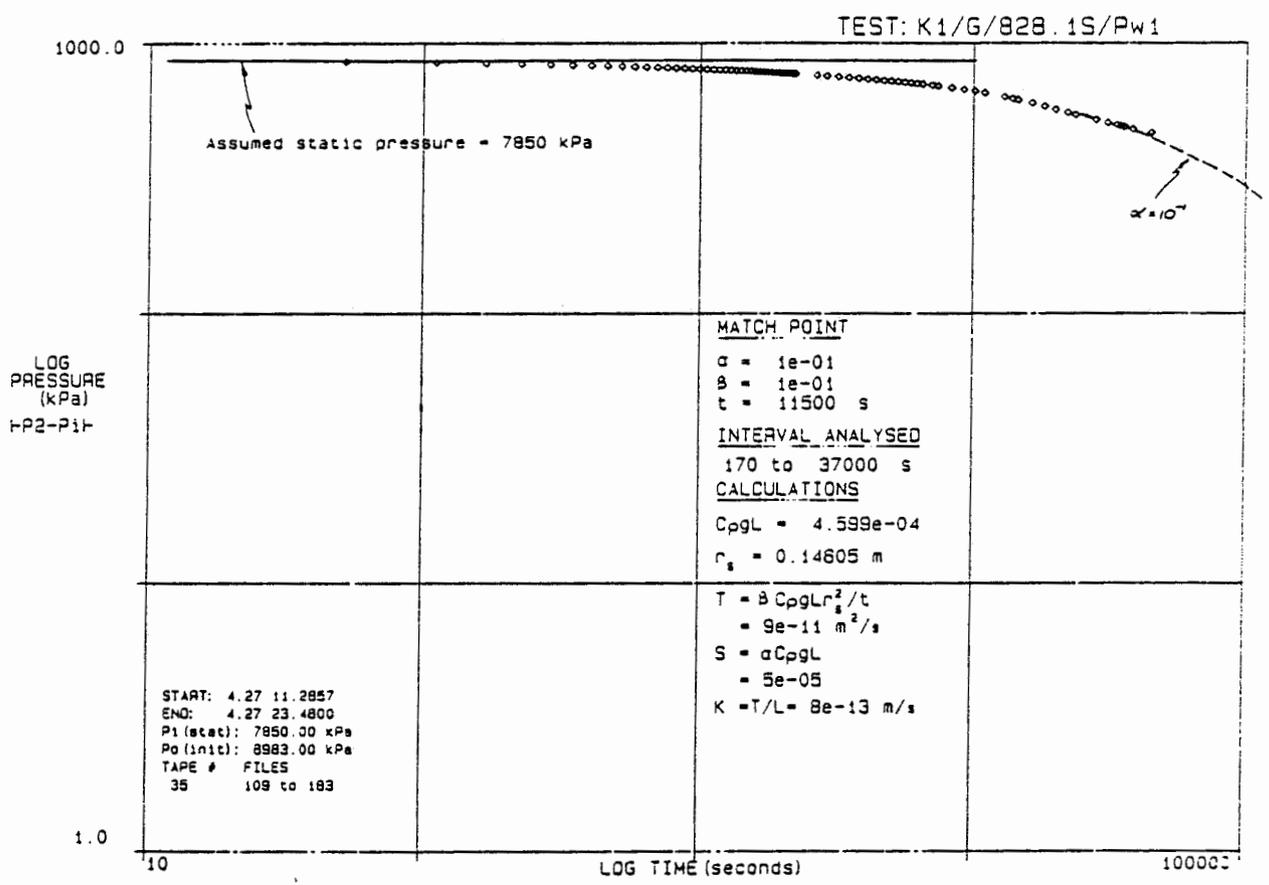
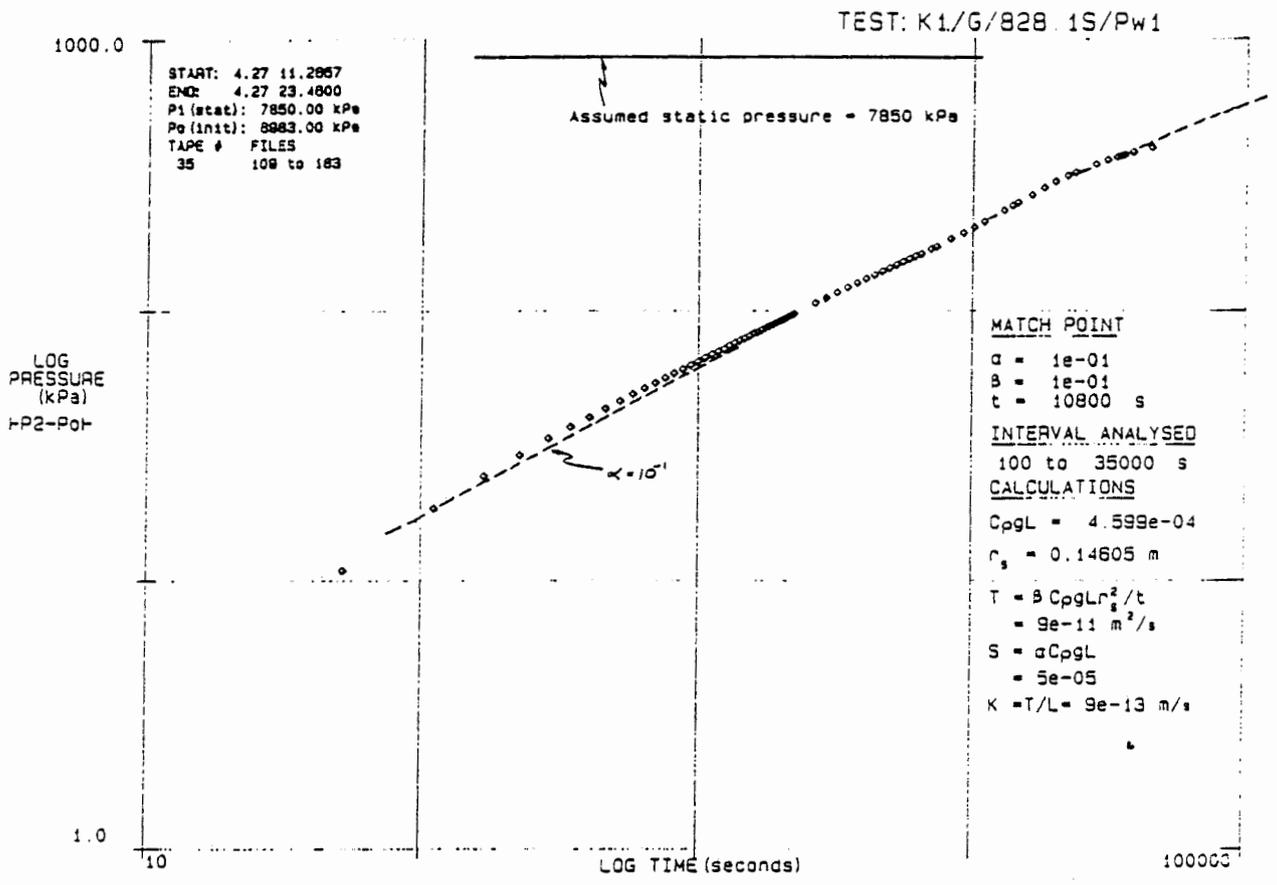
776,0 - 880,2 m

TEST: K1/G/828.1S/P1P2P3



TEST: K1/G/828.1S/Pw1

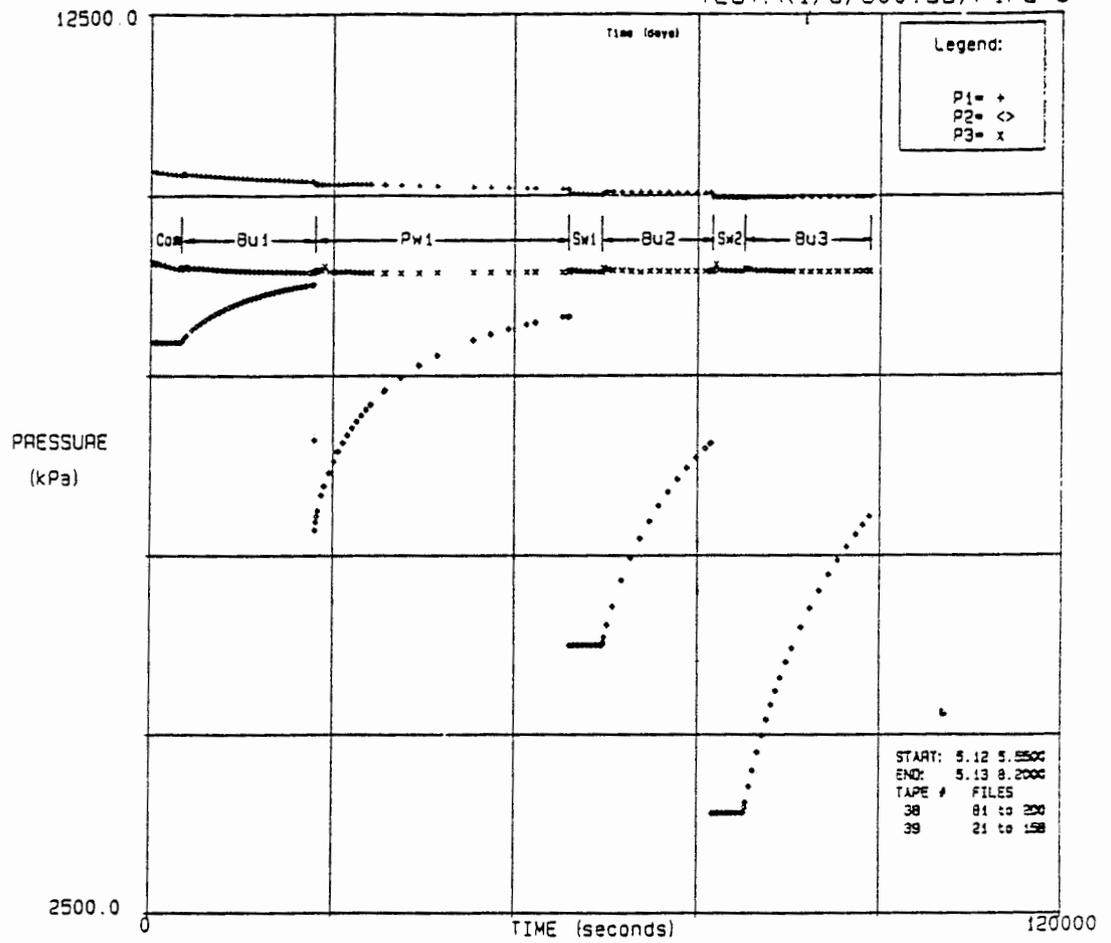




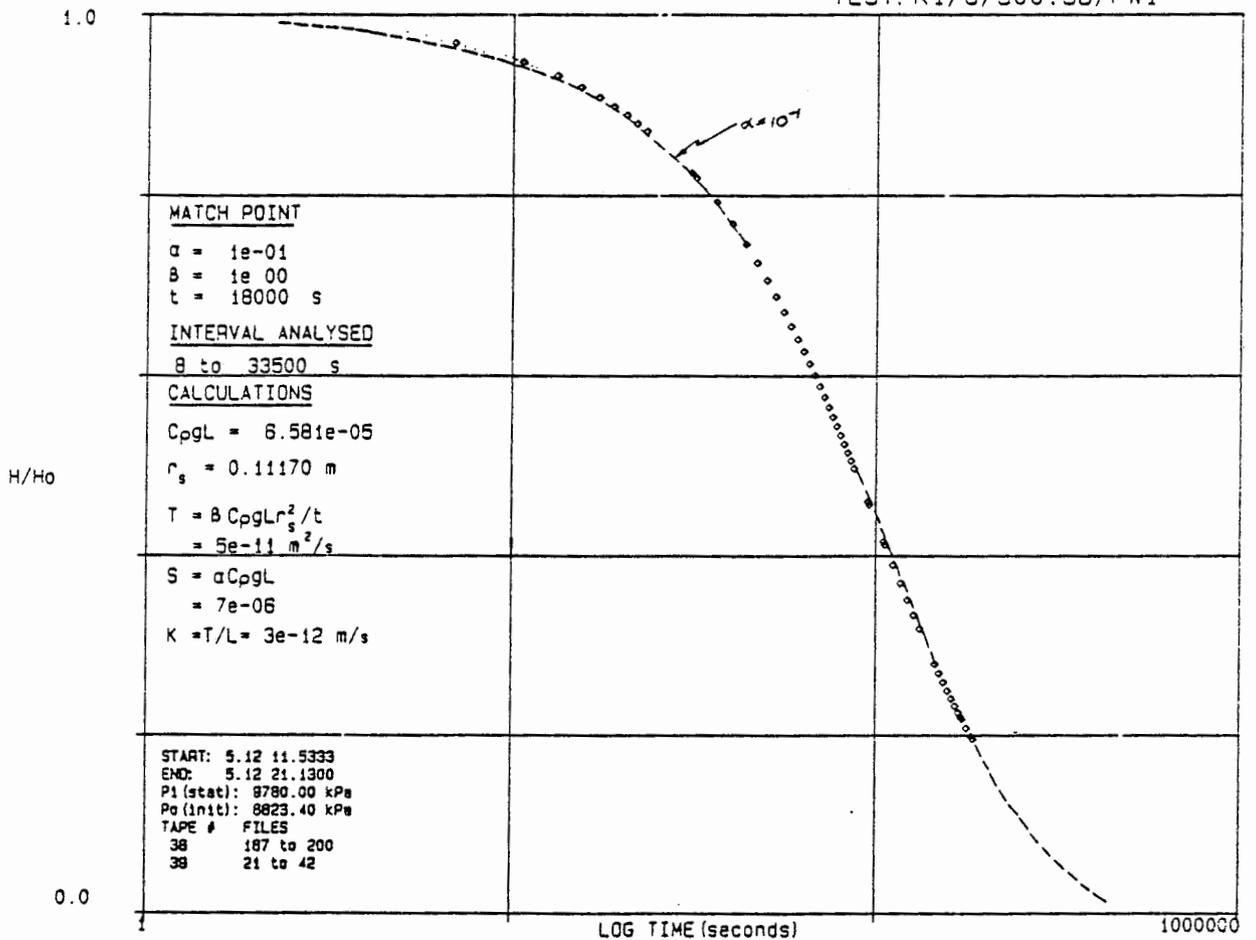
Doppelpacker-Test Nr. 16

892,98 - 907,89 m

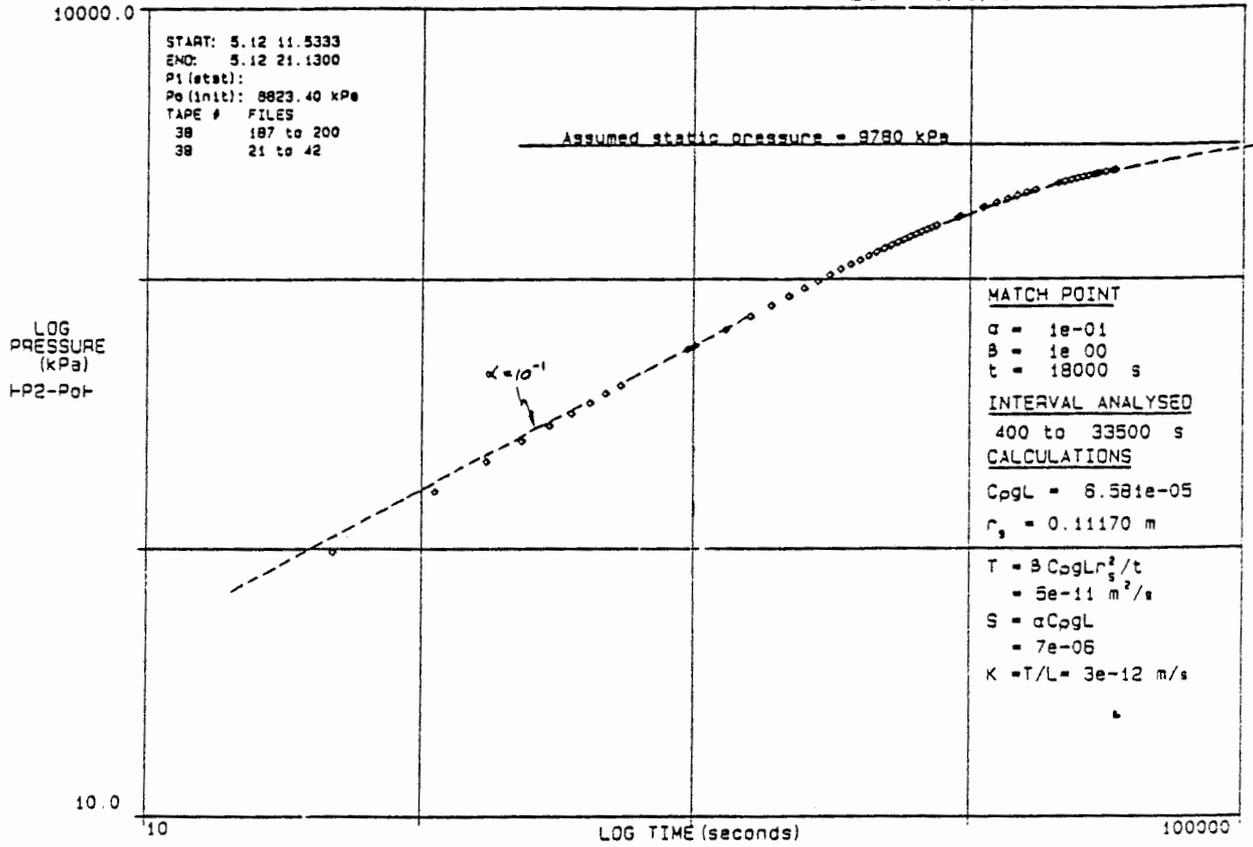
TEST: K1/G/900.50/P1P2P3



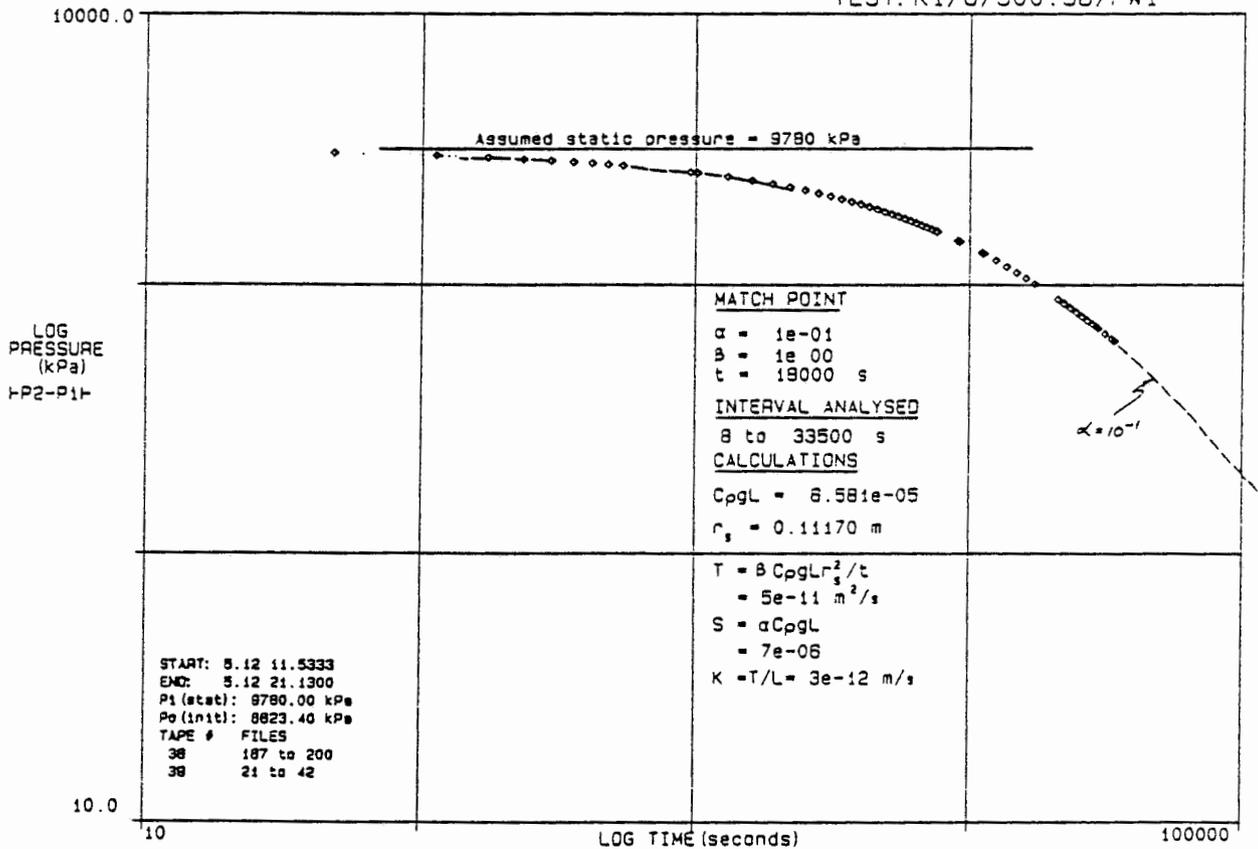
TEST: K1/G/900.50/Pw1



TEST: K1/G/900.5D/Pw1



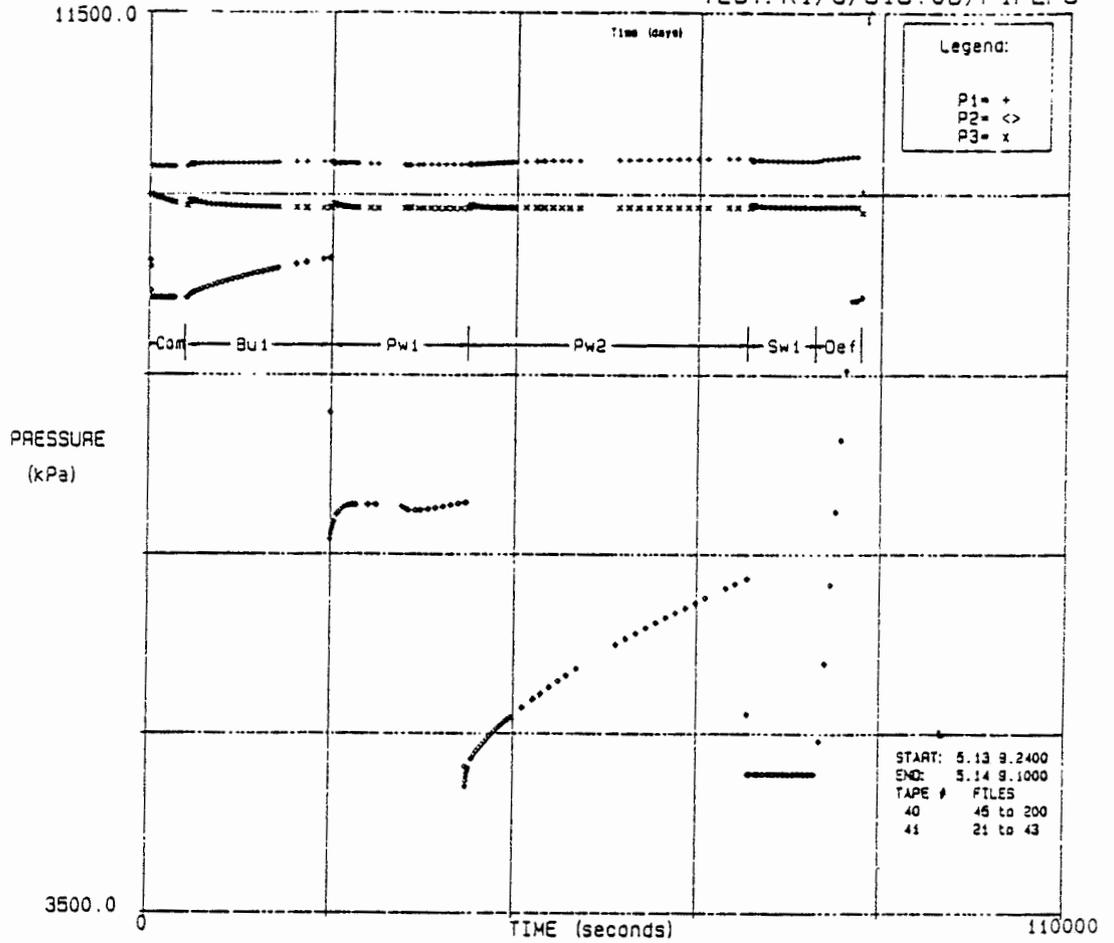
TEST: K1/G/900.5D/Pw1



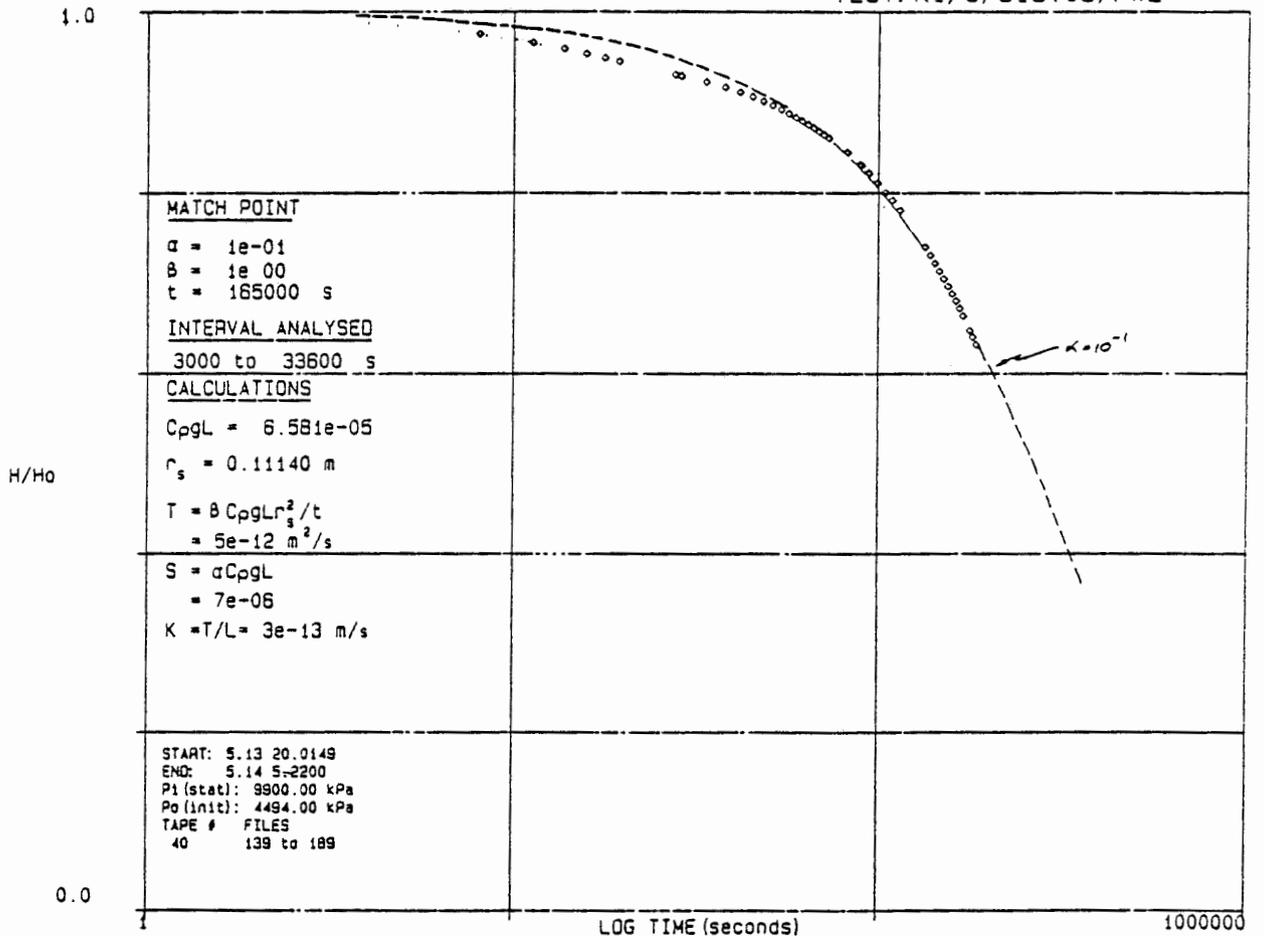
Doppelpacker-Test Nr. 17

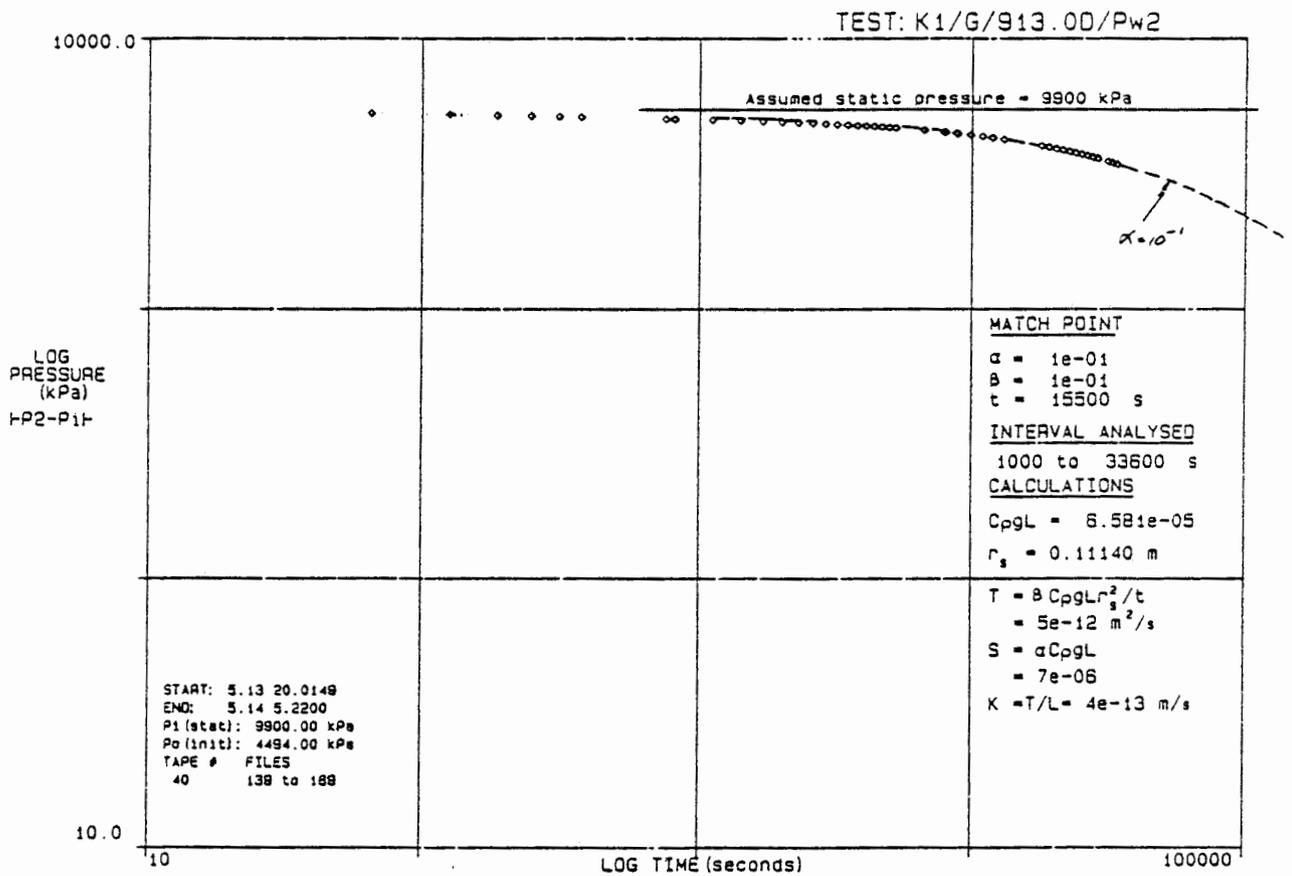
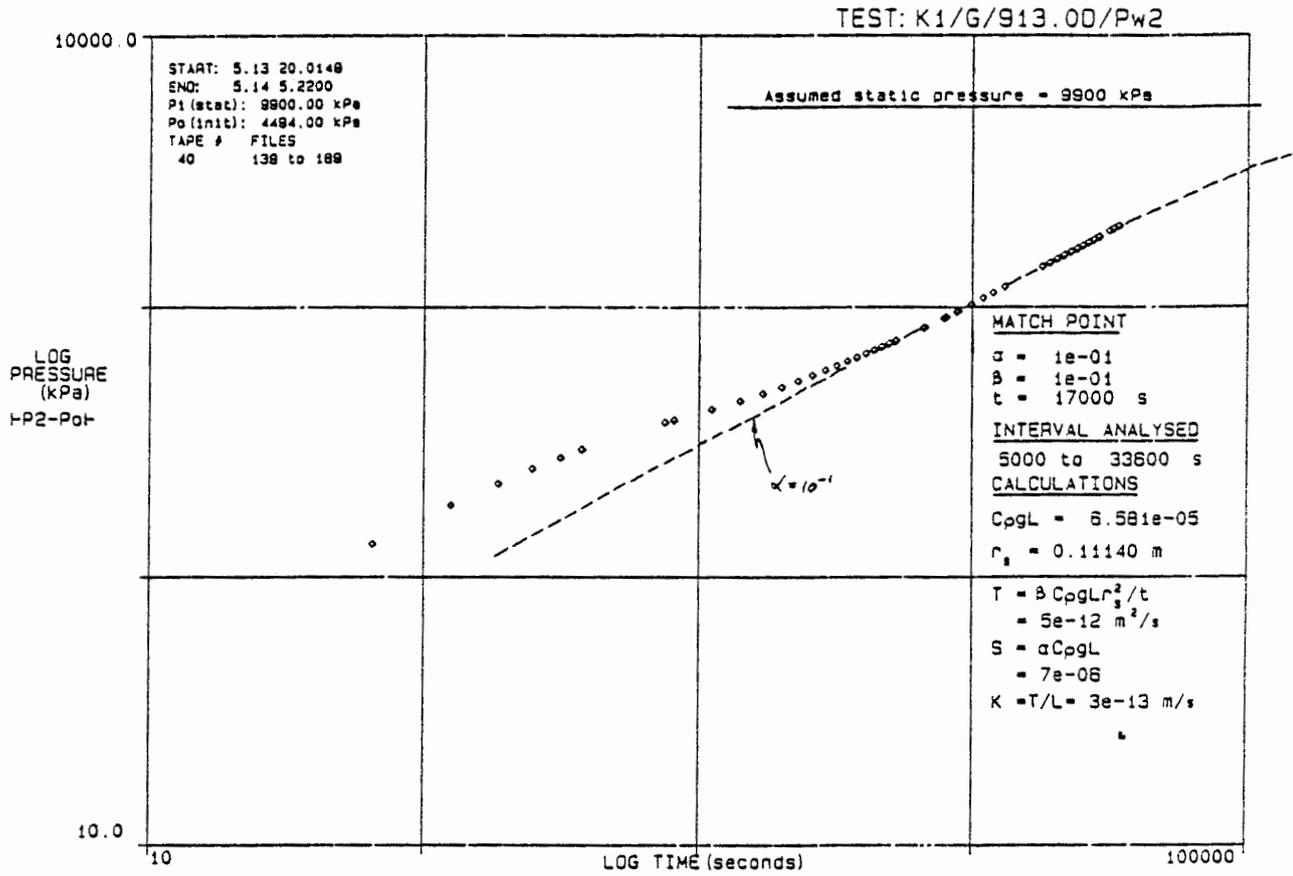
905,59 - 920,50 m

TEST: K1/G/913.00/P1P2P3



TEST: K1/G/913.00/Pw2

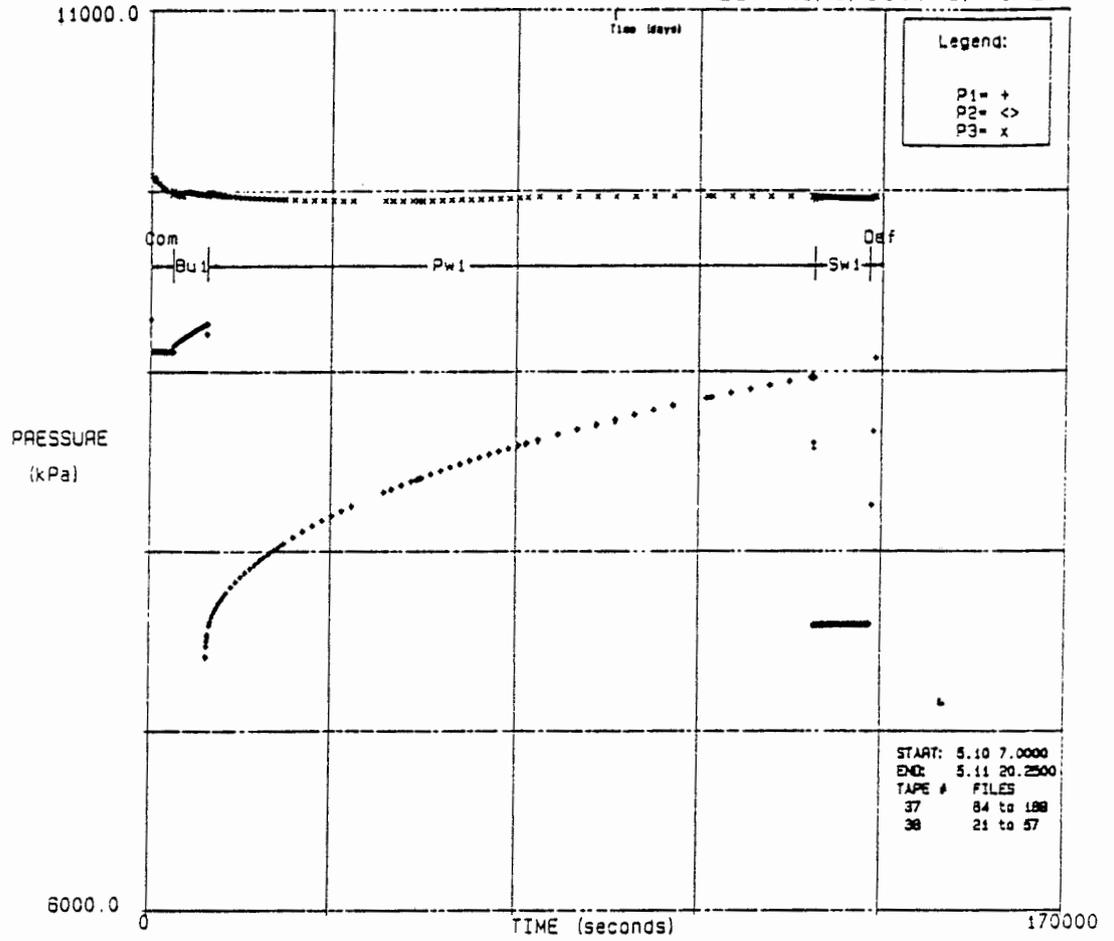




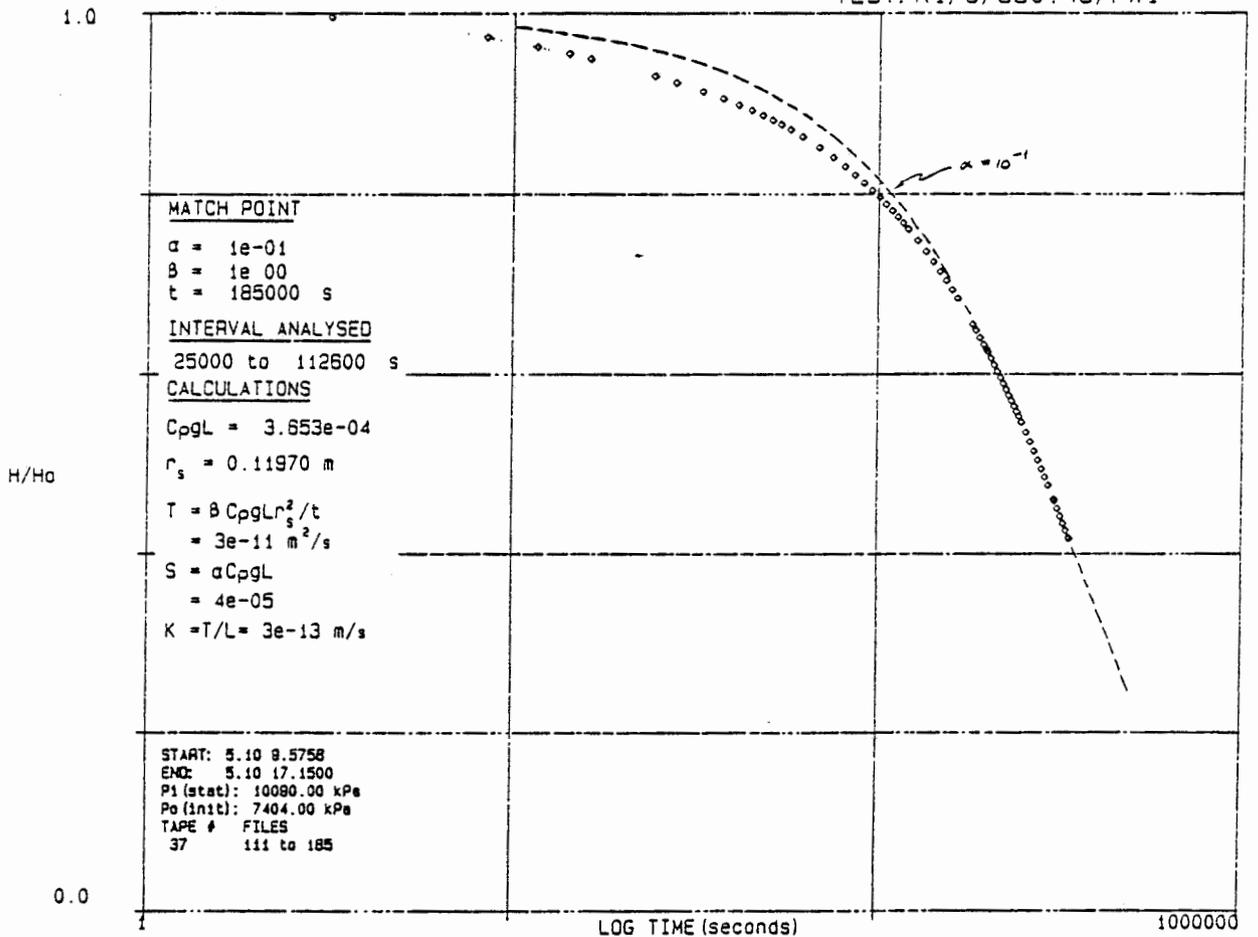
Einfachpacker-Test Nr. 15

919,01 - 1001,75 m

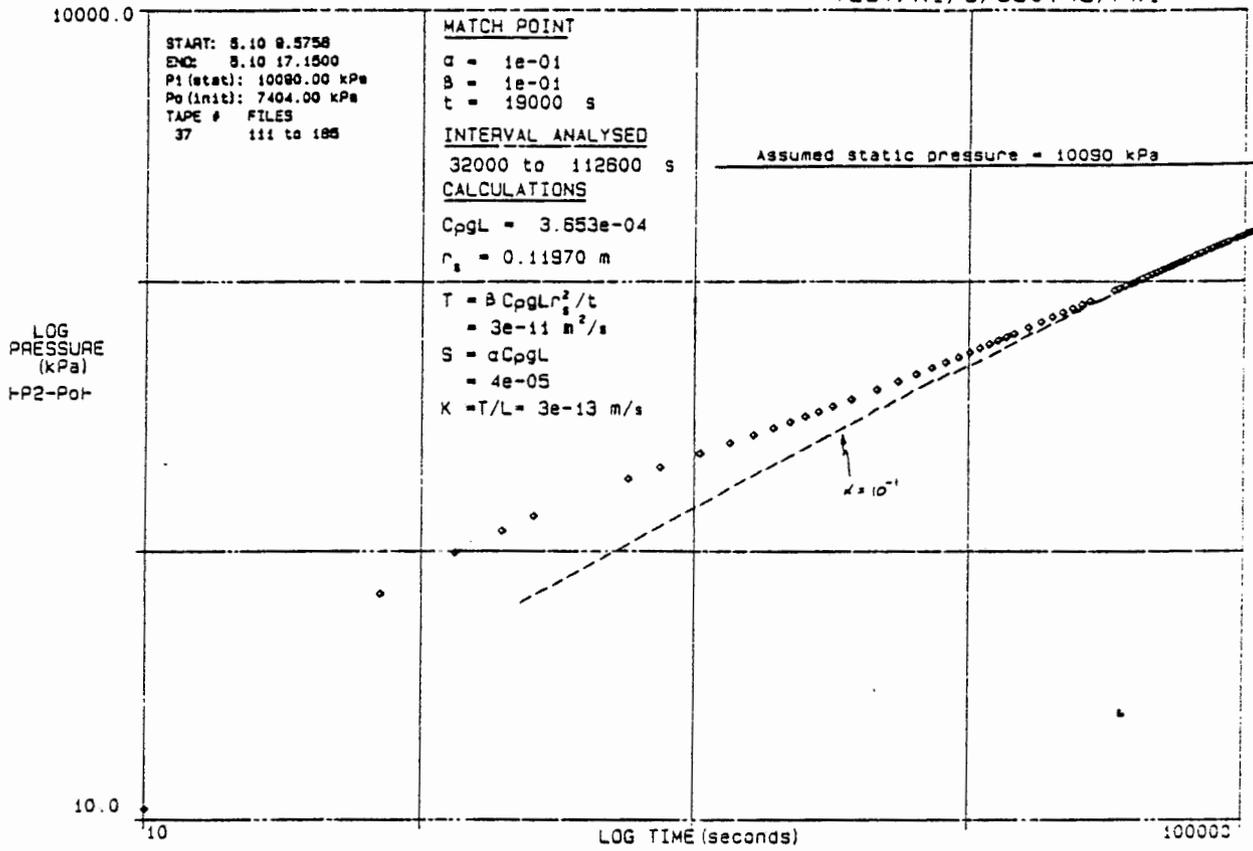
TEST: K1/G/960.4S/P1P2P3



TEST: K1/G/960.4S/Pw1



TEST: K1/G/960.4S/Pw1



TEST: K1/G/960.4S/Pw1

