

CAGsoft

Anwender - Informationen

Ausgabe 2/02

Datum: 10.10.2002

Hydrogeologisches Büro Christian A. Gillbricht
Kieler Straße 421 - 22525 Hamburg
Tel.: 040 / 54 76 82 76
Fax: 040 / 54 76 82 84

1. Geradlinienverfahren?

Unter dem Schlagwort der Geradlinienverfahren werden üblicherweise zwei Arbeitsschritte zusammengefasst, die nicht notwendigerweise verbunden sind:

1. Die Berechnung einer Brunnenfunktion erfordert die numerische Lösung von Integralen. Hierfür kommen die numerische Integration im Realraum (z. B. KINZELBACH, 1986), die numerische Integration im Laplaceaum (MOENCH & OGATA, 1984; BARLOW & MOENCH, 1999) und die Approximation durch Polynome oder Reihen (z. B. WALTON, 1988) in Frage. Für die Brunnenfunktion nach THEIS (1935) lässt sich für einen erheblichen Teil des praktisch benötigten Wertebereichs eine Annäherung durch ein Polynom 1. Grades (Geradengleichung) verwenden (COOPER & JACOB, 1946).
2. Die Bestimmung der Parameter des Grundwasserleiters aus den Messdaten erfolgt durch die Anpassung der Brunnenfunktion nach dem allgemeinen Gauss'schen Kriterium der Minimierung der Abstandsquadrate für n Messwerte:

$$\sum_{i=1}^n (s_{\text{gemessen}} - s_{\text{berechnet}})^2 \xrightarrow{\text{Parameter}} \text{Minimum} \quad (1)$$

Diese Anpassung erfolgt für beliebige Funktionen mit Hilfe iterativer nicht linearer Optimierungsalgorithmen (z. B. BOHLING & MCELWEE, 1992). Ist die Brunnenfunktion durch eine Geradengleichung angenähert, so kann die Optimierungsaufgabe in einem Schritt durch die Berechnung einer Regressionsgerade gelöst werden.

Während beim manuellen Geradlinienverfahren grundsätzlich der Weg über die Konstruktion einer Ausgleichsgeraden gewählt wird, kann ein Computerprogramm einen universellen Optimierungsalgorithmus verwenden, in den optional Funktionsapproximationen unterschiedlicher Genauigkeit einschließlich der Cooper-Jacob-Lösung eingebunden werden. Während die Regressionsgerade exakt das absolute Minimum der Abstandsquadrate erzielt, kommt es bei der Verwendung eines iterativen Optimierungsalgorithmus nur zu einer (im Regelfall sehr guten) Annäherung.

Da die Geradlinienapproximation nur für einen Teil des Wertebereichs mit hinreichender Genauigkeit Gültigkeit besitzt, muss eine automatisierte iterative Auswahl der einzubeziehenden Messpunkte erfolgen. Die Genauigkeit des Verfahrens wird dabei entweder programmseitig oder vom Anwender vorgegeben.

In Anbetracht der Rechenleistung marktgängiger Bürorechner ist eine rechnergestützte Anwendung von Geradlinienverfahren insgesamt nicht mehr sinnvoll, da nicht das gesamte Datenmaterial verwendet werden kann. MRQWIN sieht daher keine Geradlinienverfahren vor.

2. Absenkungskurven und Diagnostische Plots

Die Auswahl eines geeigneten hydrogeologischen bzw. hydraulischen Modells für die Dateninterpretation kann im Einzelfall schwierig sein, insbesondere bei unzureichender geologischer Vorerkundung. Es ist daher üblich, vor Beginn der eigentlichen Analyse, die Messdaten in geeigneten Maßstäben aufzutragen und qualitativ zu bewerten. Unter günstigen Bedingungen kann die zusätzliche Auftragung der ersten Ableitung der Absenkung gegen die logarithmierte Zeit ("derivative plot") in geeigneter Skalierung bei der Modellwahl helfen. Da die Ableitung auf geringe zufällige Messwertstreuungen sehr stark reagiert, sind hierbei Glättungsverfahren einzusetzen (SPANE & WURSTNER, 1993; HORNE, 1995). Die Verwendung dieses Hilfsmittels setzt die weitgehende Konstanz der Förderrate voraus (z. B. ASCHENBRENNER & PREISS, 1998). Bei Versuchen mit veränderlicher Förderrate, insbesondere Stufenpumpversuchen, oder Versuchen mit gestörtem Ablauf kann nur der Zeitraum bis zur ersten Änderung der Förderrate zum Vergleich mit theoretischen Absenkungsverläufen herangezogen werden. Damit werden möglicherweise charakteristische Zeitabschnitte des Absenkungsgeschehens, z. B. der Einfluss eines hydraulischen Randes, nicht erfasst. Für die Anfertigung diagnostischer Plots aus derartigen Versuchen ist daher eine Datentransformation erforderlich, bei der alle Absenkungswerte auf eine einheitliche Förderrate bezogen werden und damit der gesamte Versuchszeitraum dargestellt wird (Bild 2, 3):

$$s_{\text{extrapoliert}}(t) = s_{\text{gemessen}}(t) - \sum_{j=2}^{N_{\text{Pumpst}}} \left(\frac{Q_j - Q_{j-1}}{Q_1} * s(t - t_j) \right) \quad (6)$$

mit

$s(t)$: Absenkung zur Zeit t [m]

N_{Pumpst} : Zahl der Pumpstufen bis zum Zeitpunkt t

Q_j : Förderrate in der Pumpstufe j [m^3/s]

t : Zeit [s]

t_j : Zeitpunkt des Beginns der Pumpstufe j [s]

Die extrapolierte Absenkungskurve bezogen auf die erste Pumpstufe und ihre 1. Ableitung können zur grafischen Darstellung (diagnostische Plots), aber auch zu Auswertungen nach konventionellen Verfahren herangezogen werden. Das Verfahren ist nur für linear reagierende Systeme anwendbar, also insbesondere nicht für ungespannte Grundwasserleiter mit erheblichen Absenkungen im Versuchsverlauf. Dieses Verfahren setzt statt einer technisch aufwändigen Konstanthaltung der Förderrate nur eine kontinuierliche genaue Durchflussregistrierung voraus. Ungenau bestimmte oder kurzfristig schwankende Förderraten, insbesondere am Versuchsbeginn, führen zu deutlich bis stark streuenden Ergebnissen der Transformation (Bild 4). In derartigen Fällen ist auch mittels Glättung keine aussagekräftige Darstellung der ersten Ableitung möglich. Das Verfahren ist nicht auf Versuche mit mehreren Brunnen erweiterbar.

Das Verfahren ist in MRQWIN ab Version 1.2.2 implementiert.

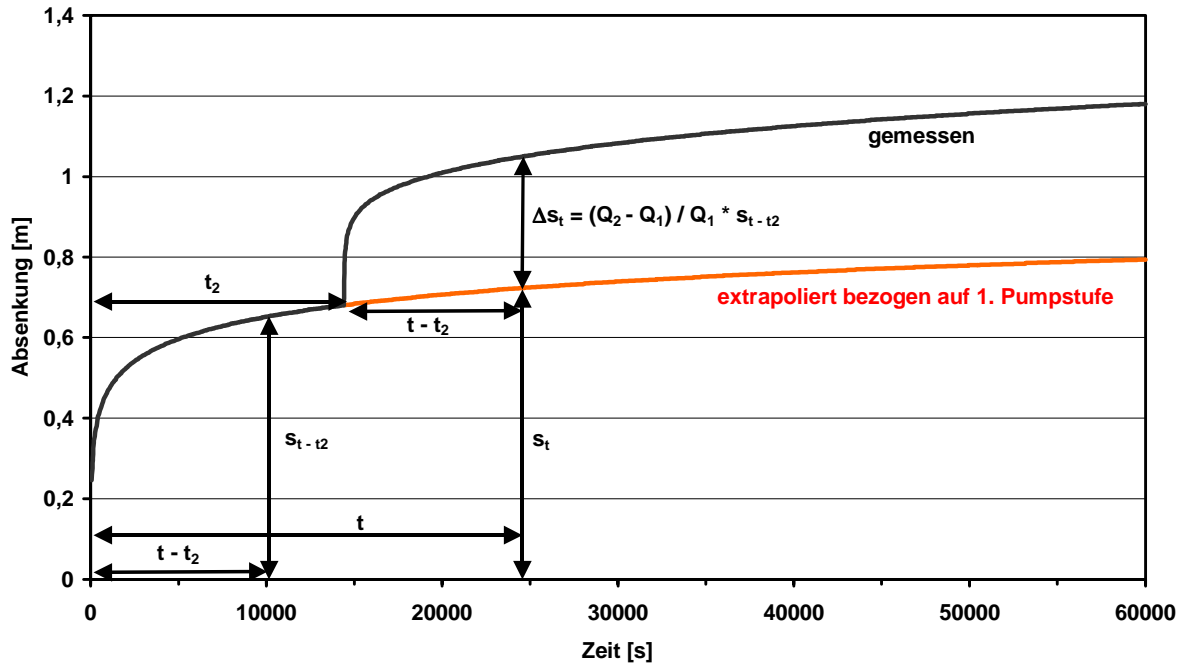
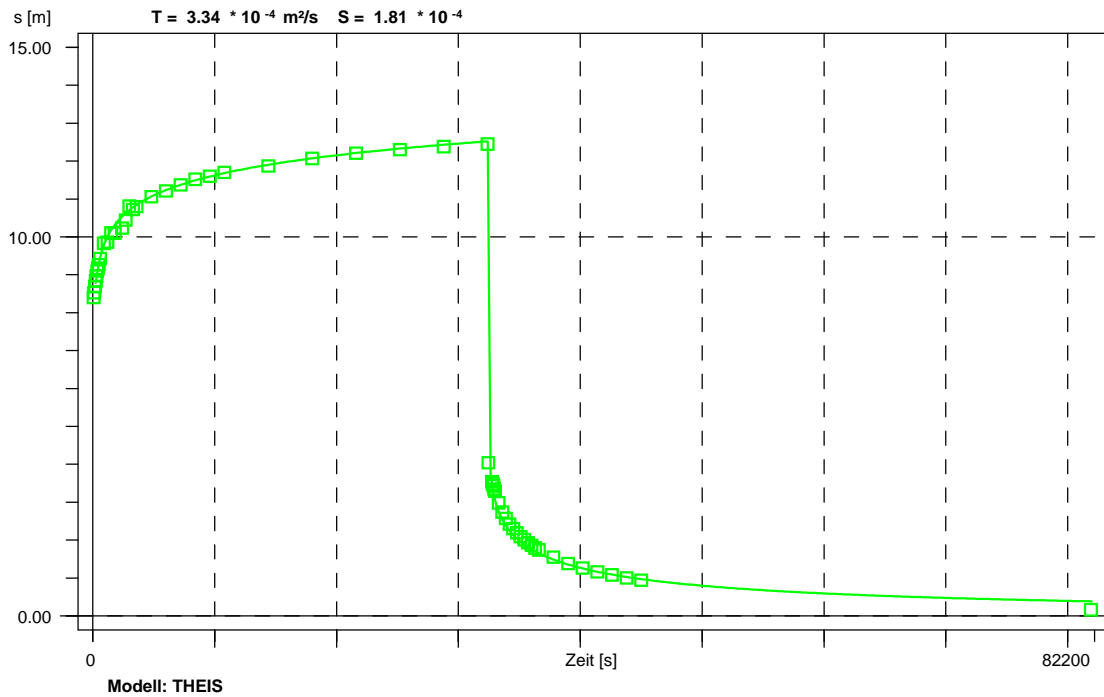
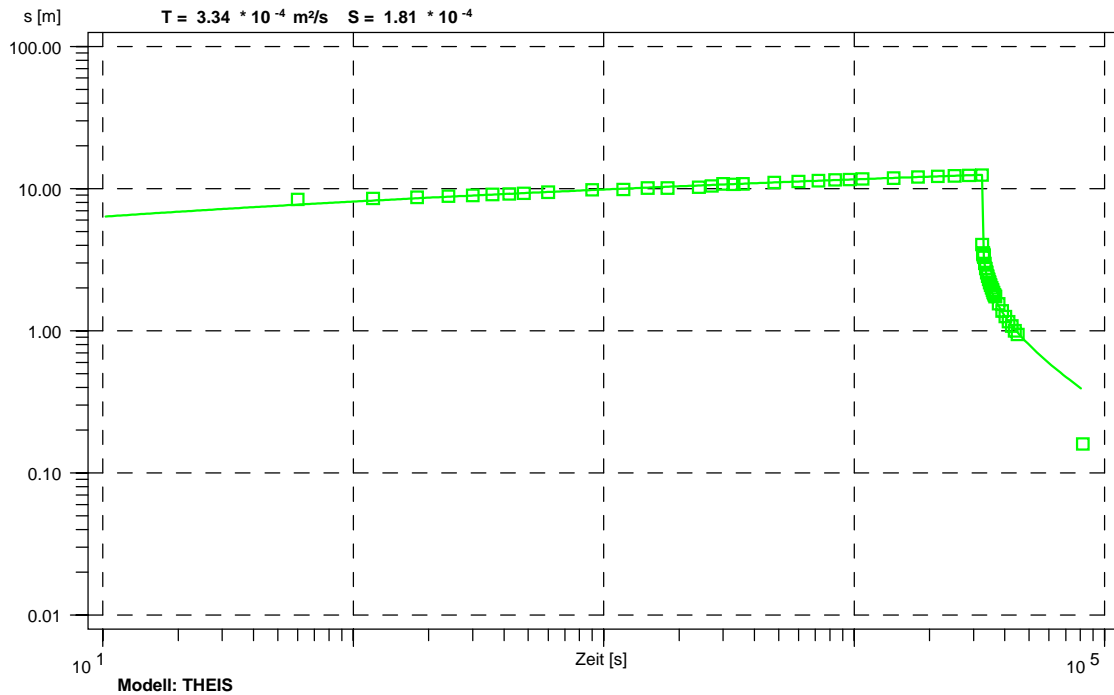
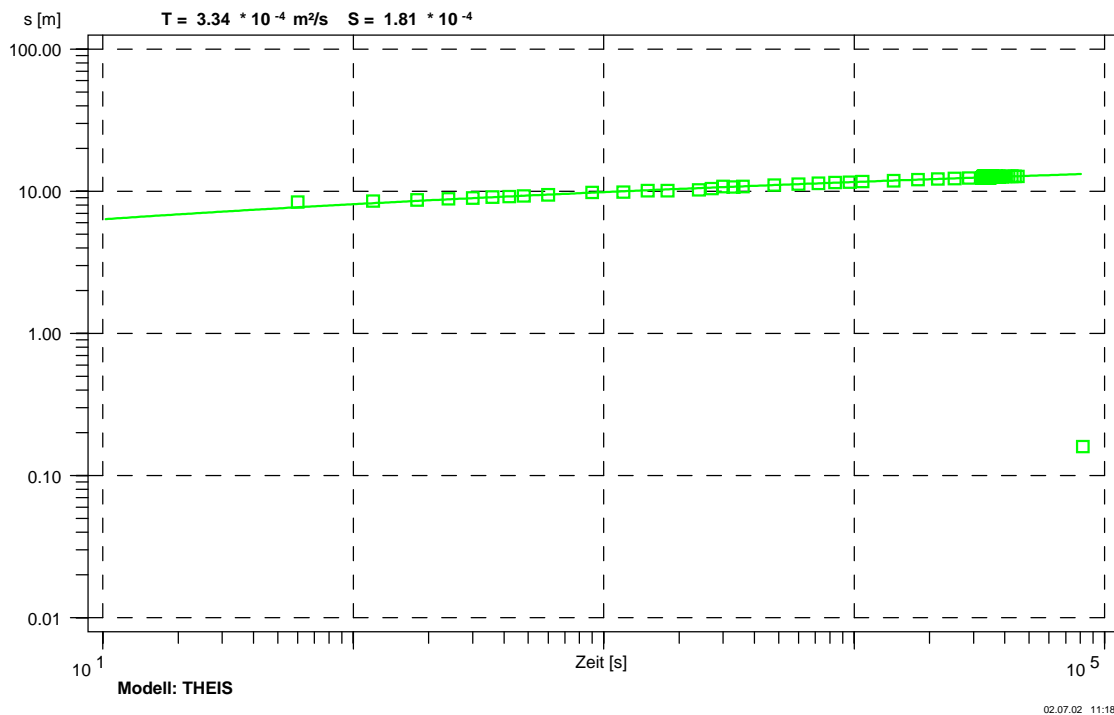


Abb. 2: Erläuterungsskizze zur Reduktion eines Stufenpumpversuchs auf einen einstufigen Versuch



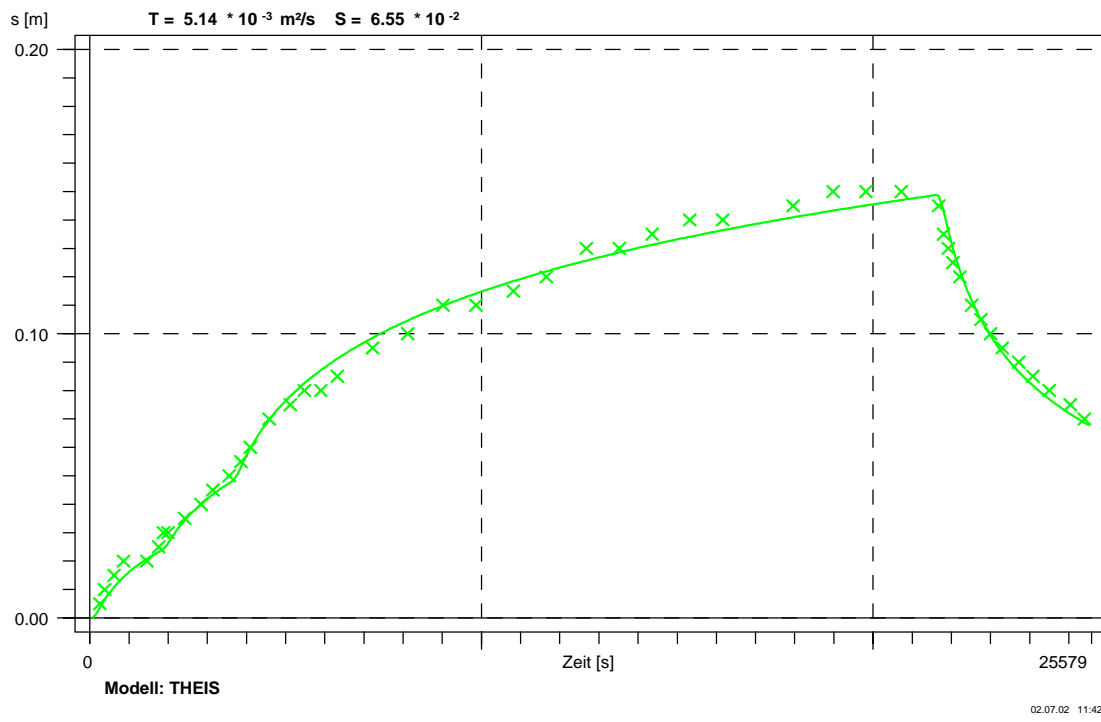


	Nima, 30.06.86 doppelt logarithmische Auftragung	Abb. 3b
--	---	---------

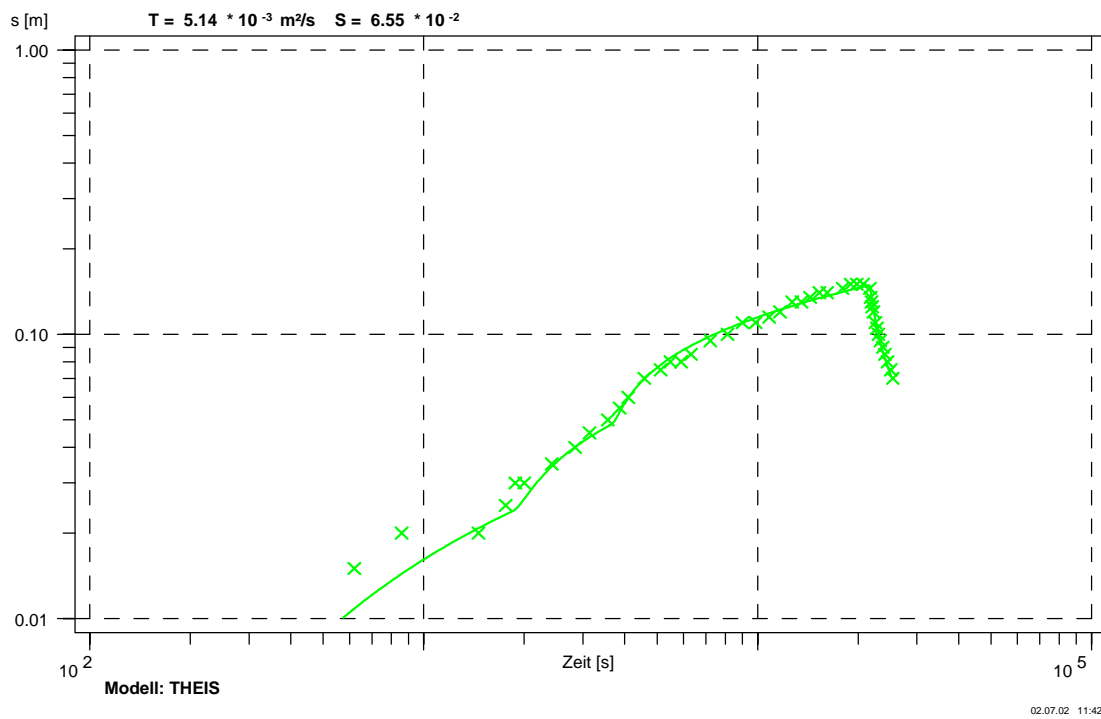


	Nima, 30.06.86 doppeltlogatihmische Auftragung, Förderraten normalisiert	Bild 3c
--	---	---------

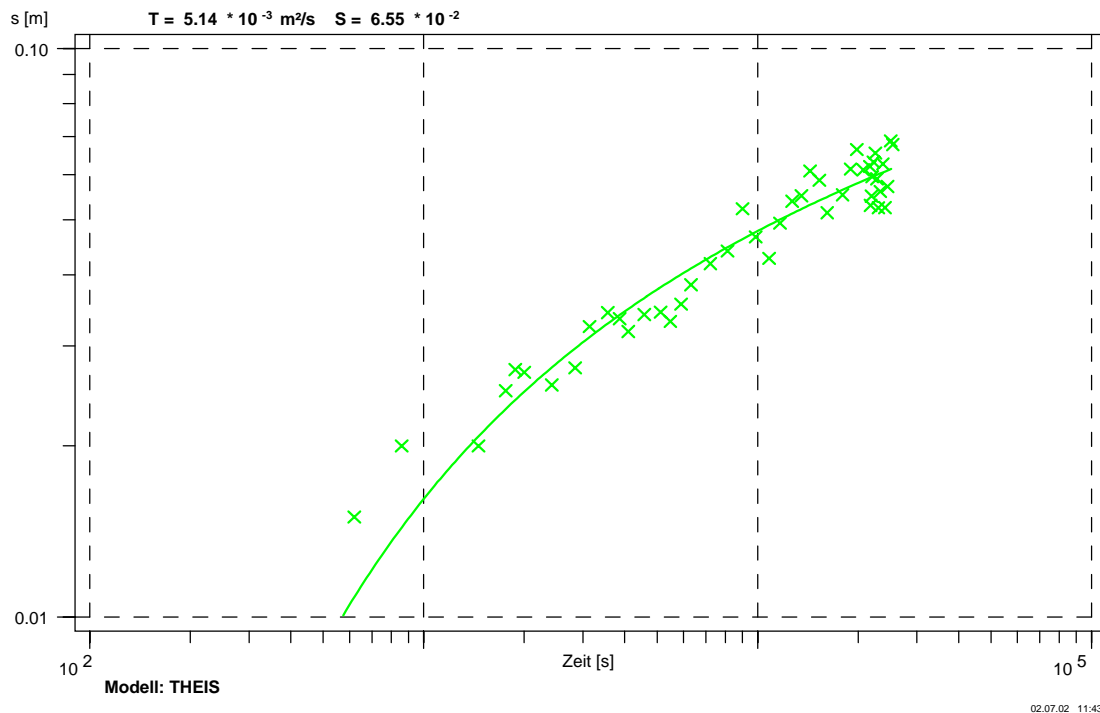
Abb. 3: Beispiel zur Reduktion eines einstufigen Pumpversuchs mit Wiederanstieg auf einen einstufigen Versuch (Daten aus RÜBER & SCHIMMEL, 1995)



	3-Stufen-Test lineare Auftragung	Abb. 4a
--	---	----------------



	3-Stufen-Test doppelt logarithmische Auftragung	Abb. 4b
--	--	----------------




	3-Stufen-Test doppelt logarithmische Auftragung, Förderraten normalisiert	Abb. 4c
--	--	----------------

Abb. 4: Beispiel zur Reduktion eines dreistufigen Pumpversuchs mit Wiederanstieg auf einen einstufigen Versuch

Literatur

- ASCHENBRENNER, F. & PREISS, S. (1998): Pumpversuchsauswertung mit Berücksichtigung der 1. Ableitung der Absenkung.- Terra Nostra, 98/3: V9; Köln
- BARLOW, P.M. & MOENCH, A.F. (1999): WTAQ - A computer program for calculating drawdowns and estimating hydraulic properties for confined and water-table aquifers.- U.S. Geological Survey Water-resources investigations report, 99-4225: VII + 74; Northborough, MA
- COOPER, H.H. & JACOB, C.E. (1946): A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well-field history.- American Geophysical Union Transactions, 27: 526 - 534; Washington, D.C.
- BOHLING, G.C. & McELWEE, C.D. (1992): SUPRPUMP: An interactive program for well test analysis and design.- Ground Water, 30: 262 - 268; Dublin, OH
- HORNE, R.N. (1995): Modern well test analysis. 2nd edition.- Petroway: IV + 257 S.; Palo Alto, CA
- KINZELBACH, W. (1986): Groundwater modelling.- Elsevier: X + 334 S.; Amsterdam
- MOENCH, A. & OGATA, A. (1984): Analysis of constant discharge wells by numerical inversion of Laplace transform solutions.- Water Resources Monograph Series, 9: 146 - 170; Washington, D.C.
- RÜBER, O. & SCHIMMEL, A. (1995): Datensätze von Pumpversuchen.- Schriftenreihe Angewandte Geologie Karlsruhe, 39: 35 - 44; Karlsruhe

- SPANE, F.A. & WURSTNER, S.K. (1993): DERIV: A computer program for calculating pressure derivatives for use in hydraulic test analysis.- *Ground Water*, 31: 814 – 822; Dublin, OH
- 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.- *American Geophysical Union Transactions*, 16: 519 - 524; Washington, D.C.
- WALTON, W.C. (1988): Practical aspects of ground water modeling. 3rd edition.- NWWA: VI + 587 S.; Worthington, OH