

CAGsoft

Anwender - Informationen

Ausgabe 1/00

Datum: 08.09.2002

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

1. Seba MDS Floater und WINLOG

Seit einiger Zeit ist der Datenlogger Seba MDS Floater als kostengünstige Möglichkeit zur Messdatenerfassung auf dem Markt. Die Daten können als (DOS-) ASCII-Datensätze ausgelesen und problemlos über WINLOG in MROWIN übernommen werden. Bei neueren Geräten dieses Bautyps tritt jetzt eine Schwierigkeit auf, da die Kopfinformationen des Datensatzes erweitert wurden. Es ist daher bei Verwendung von Seba MDS Floatern unterschiedlichen Baujahrs notwendig, die Einstellungen („Edit Freefile“) für jeden Datensatz zu überprüfen und gegebenenfalls zu ändern. Bei der hinzugekommenen Information handelt es sich im übrigen um eine Angabe der Batteriekapazität, die durch einen Softwaremangel grob fehlerhaft ist und ignoriert werden darf.

2. Programme zur Pumpversuchsauswertung

Eine aktuelle Markterhebung über in Deutschland angebotene Programme zur Pumpversuchsauswertung finden Sie auf der Serviceseite unserer Homepage unter Mitteilungen.

Ein instruktiver Vergleich der zur Zeit führenden Programme zur Pumpversuchsauswertung auf dem nordamerikanischen Markt kann im Internet unter <http://www.aquiferanalysis.com/comparisonguide/> (Homepage von AquiferWin32) eingesehen werden.

3. Berücksichtigung des Brunnenspeichereffektes

In einigen Fällen wird das Absenkungsverhalten durch den Speichereffekt des Pumpbrunnens beeinflusst. Dies betrifft insbesondere Brunnen mit sehr großem Ausbaumaß (Schachtbrunnen) in Grundwasserleitern geringer Ergiebigkeit (geringer Speicherkoeffizient und / oder geringe Transmissivität). In den Porengrundwasserleitern Norddeutschlands spielt dieser Effekt daher meist keine Rolle. Dagegen wirkt er sich oft in Festgesteins (Kluft-) grundwasserleitern deutlich aus. Unabhängig von der Kenntnis der hydrogeologischen Situation und des Brunnenausbaus erkennt man die Wirksamkeit des Brunnenspeichereffektes daran, dass die Absenkungskurve in der frühen Phase des Pumpversuchs in der doppeltlogarithmischen Darstellung einer Geraden mit der Steigung 1 folgt.

In der Fachliteratur sind einige analytische Lösungen zur Berücksichtigung des Brunnenspeichereffektes im Zusammenhang mit speziellen Aquiferkonfigurationen und ggf. unter Einbeziehung von Brunnenverlusten (Skin) hergeleitet worden (z. B. PAPADOPULOS & COOPER, 1967; MOENCH, 1985; BOULTON & STRELTSOVA, 1976). Es wäre jedoch zu wünschen, dass der Brunnenspeichereffekt frei mit beliebigen Lösungen für den Aquifer und die Brunnenverluste kombiniert werden könnte, d. h. dass eine rechen-technische Entkopplung dieser drei Komponenten möglich wäre. Dies ist nur mit Hilfe numerischer Approximationen zu erreichen, da insbesondere bei Einbeziehung nicht linearer Komponenten (Brunnenverlust nach Jacob, ungespannte Aquifere) eine geschlossene analytische Lösung nicht vorliegt.

Hierzu wird der folgende Ansatz gewählt:

Die Gesamtförderung aus dem Brunnen wird in zwei Komponenten zerlegt, die Entnahme aus dem Brunnenspeicher Q_{Bs} und den Zufluss aus dem Aquifer Q_{Aq} :

$$Q = Q_{Bs} + Q_{Aq} \quad (1)$$

mit $Q_{Bs} = \alpha * Q$
 $Q_{Aq} = (1 - \alpha) * Q$

Damit ergibt sich für die Absenkung:

$$S_{Bs} = \delta t * Q_{Bs} / \Pi / r_c^2 \quad (2)$$

mit δt : Zeitschritt
 r_c : Radius der Aufsatzverrohrung

$$S_{Aq} = Q_{Aq} / 4 / \Pi / T * W(\delta t) + C * Q_{Aq} + D * Q_{Aq}^2 \quad (3)$$

mit T : Transmissivität
 W : Aquiferfunktion
 C, D : Koeffizienten des Brunnenverlusts

Für die Lösung ergibt sich eine implizit zu lösende Gleichung:

$$S_{Bs} = S_{Aq} \quad (4)$$

$$\delta t * Q_{Bs} / \Pi / r_c^2 = Q_{Aq} / 4 / \Pi / T * W(\delta t) + C * Q_{Aq} + D * Q_{Aq}^2 \quad (4a)$$

$$\delta t * \alpha * Q / \Pi / r_c^2 = (1-\alpha) * Q / 4 / \Pi / T * W(\delta t) + C * (1-\alpha) * Q + D * [(1-\alpha) * Q]^2 \quad (4b)$$

Durch Umgruppieren ergibt sich:

$$\alpha / (1-\alpha) = \Pi * r_c^2 / \delta t * [1 / 4 / \Pi / T * W(\delta t) + C + D * (1-\alpha) * Q] \quad (5)$$

Es zeigt sich, dass bei der Einbeziehung nichtlinearer Glieder des Brunnenverlustes in die Lösung die Förderrate Q eingeht, eine dimensionslose Brunnenfunktion damit nicht herzuleiten ist. Eine Lösung für diesen Fall führt damit nicht zu einem einfachen impliziten Iterationsalgorithmus, sondern zu einer expliziten Integration über die Zeit, d. h. zu einem rechenintensiven vollständigen numerischen Modell.

Dagegen lässt sich bei einer Beschränkung auf das lineare Glied des Brunnenverlustes (Skin) eine dimensionslose Lösungsgleichung angeben:

$$\alpha / (1-\alpha) = \Pi * r_c^2 / \delta t * [1 / 4 / \Pi / T * W(\delta t) + C] \quad (6)$$

Es zeigt sich damit, dass für teilnumerische Lösungen entsprechend den aus der Literatur schon bekannten vollständig analytischen Lösungen eine universelle Kombination mit verschiedenen Modellen des Brunnenverlusts nicht geleistet werden kann, sondern nur mit dem linearen Skin. Ebenso ist eine einfache Lösung für nicht-lineare (ungespannte) Aquifere nicht gegeben.

Eine geschlossene analytische Lösung muss die Änderung der Aufteilung der Förderung auf Brunnen- und Aquiferanteil als kontinuierliche Funktion

$$\alpha = f(\delta t) \quad (7)$$

beschreiben. Diese Funktion ist abhängig von der Funktion W . Es müssen daher für jede Aquiferfunktion W neue analytische Lösungen abgeleitet werden. Die Funktion kann aber auch numerisch in diskrete Zeitschritte δt zerlegt und damit lokal linearisiert werden. In diesem Fall ist nur die Kenntnis der Aquiferfunktion W erforderlich. Die Werte der Funktion (7) werden numerisch durch Iteration nach Gleichung (5) bestimmt. Die Genauigkeit des Ergebnisses hängt dabei von der Diskretisierung δt ab. Die Qualität eines nach diesem Prinzip entwickelten Algorithmus lässt sich am einfachsten hydraulischen Fall, einem gespannten Grundwasserleiter (THEIS, 1935) ohne Brunnenverluste, nachweisen. Für diesen Fall liegt eine analytische Lösung mit tabellierten Funktionswerten vor (PAPADOPULOS & COOPER, 1967). Der Vergleich von exakten Funktionswerten und numerischen Ergebnissen ist befriedigend (Bild 1). Da in dieser Lösung Brunnen- und Aquiferfunktion entkoppelt sind, ist ein getrennter Nachweis für andere linear superponierbare Aquifertypen (Leakage-Fälle nach Hantush, unvollkommene Brunnen) nicht erforderlich.

Eine Begrenzung des Verfahrens ergibt sich daraus, dass als Aquiferfunktion die Theis'sche Brunnenfunktion eingesetzt wurde. Diese gilt für eine Liniensenke, d. h. für einen unendlich kleinen Brunnen. Daher versagt das Verfahren bei sehr kleinen Zeiten (große Werte der dimensionslosen Zeit u). BARKER (1991) hat gezeigt, dass einige Approximationen auf der Grundlage der Theis'schen Brunnenfunktion (SINGH & GUPTA, 1986) für kurze Zeiten numerische Instabilitäten (Oszillationen) entwickeln. Er empfahl daher die Verwendung von Aquiferfunktionen für Brunnen endlicher Größe. Diese stehen aber bisher nicht für alle Aquiferkonfigurationen zur Verfügung und sind zum Teil rechentechnisch aufwendig, so dass hier ausschließlich die Verwendung von Funktionen nach dem Prinzip der Liniensenke vorgesehen wird. Es kann aber gezeigt werden, dass das hier vorgestellte numerische Verfahren trotz dieser Approximation

auch bei relativ kurzen Zeiten noch brauchbare Funktionswerte mit Fehlern von wenigen Prozent liefert (Tab. 1). Bei extrem kurzen Zeiten jedoch, insbesondere bei Aquiferen mit großem Speicherkoeffizienten, versagt die numerische Lösung.

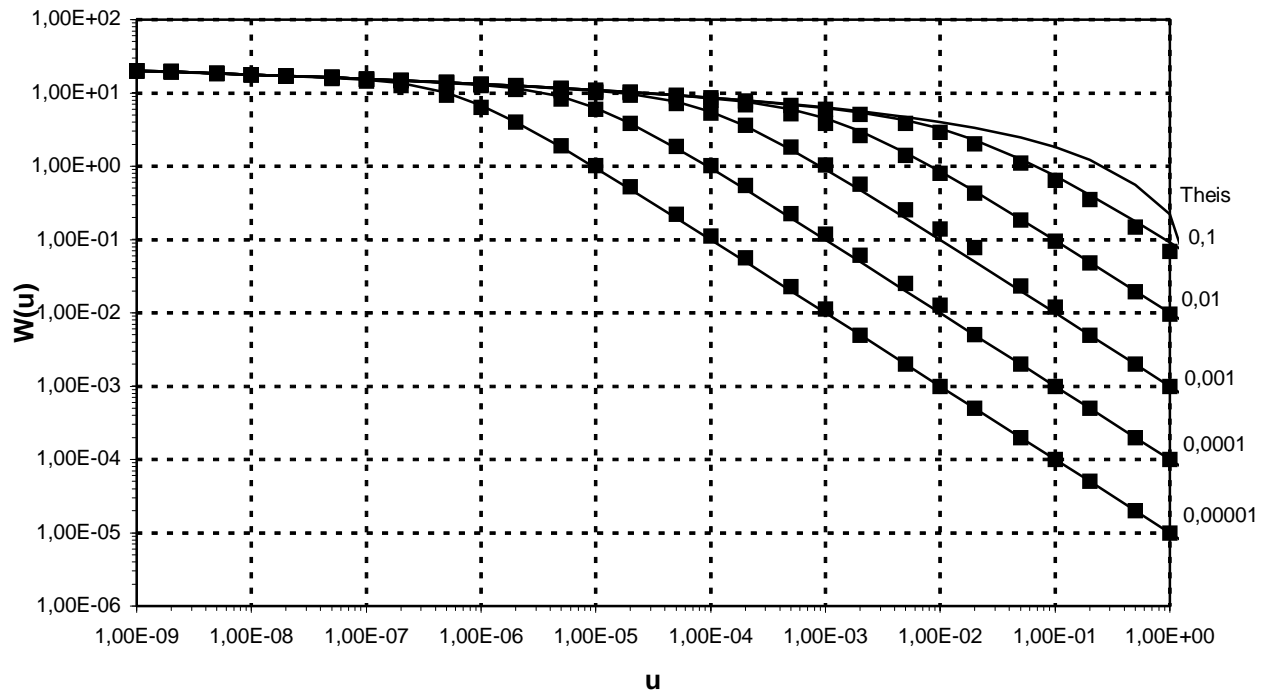


Bild 1: Vergleich der analytischen Lösung nach PAPADOPULOS & COOPER (1967) mit der numerischen Lösung. Durchgezogene Linien = analytische Lösungen, Symbole = numerische Ergebnisse, Zahlen = Werte des Scharparameters α

τ	Papadopulos & Cooper (1967)	Singh & Gupta (1986)	Barker (1991)	numerisch
0,1	3,9791E-03	3,4467E-03	3,9747E-03	3,4485E-03
0,2	7,9390E-03	8,7416E-03	7,9331E-03	7,6137E-03
0,3	1,1885E-02	8,3343E-03	1,1878E-02	1,1486E-02
0,4	1,5820E-02	2,5276E-02	1,5812E-02	1,5509E-02
0,5	1,9744E-02	-1,0694E-02	1,9736E-02	1,9326E-02
0,6	2,3659E-02	1,1456E-01	2,3650E-02	2,3312E-02
0,7	2,7564E-02	-2,5160E-01	2,7555E-02	2,6930E-02
0,8	3,1461E-02	8,7995E-01	3,1452E-02	3,0824E-02
0,9	3,5350E-02	-2,5532E+00	3,5340E-02	3,4565E-02
1,0	3,9231E-02	7,9259E+00	3,9221E-02	3,8883E-02
1,1	4,3105E-02	-2,3997E+01	4,3094E-02	4,2436E-02
1,2	4,6971E-02	7,3312E+01	4,6960E-02	4,5894E-02
1,3	5,0830E-02	-2,2325E+02	5,0819E-02	5,0116E-02
1,4	5,4683E-02	6,8052E+02	5,4671E-02	5,3463E-02
1,5	5,8528E-02	-2,0742E+03	5,8517E-02	5,7673E-02
1,6	6,2367E-02	6,3218E+03	6,2355E-02	6,0939E-02
1,7	6,6200E-02	-1,9267E+04	6,6188E-02	6,5152E-02
1,8	7,0026E-02	5,8723E+04	7,0014E-02	6,9387E-02
1,9	7,3846E-02	-1,7898E+05	7,3833E-02	7,2585E-02
2,0	7,7660E-02	5,4548E+05	7,7647E-02	7,5748E-02

τ : dimensionslose Zeit (Definition in BARKER, 1991)

Tab. 1: Vergleich der analytischen Lösung nach PAPADOPULOS & COOPER (1967) mit approximativen Lösungen nach dem Discrete-Kernel-Verfahren (BARKER, 1991) und der numerischen Lösung für $\alpha = 0,01$

Literatur:

BARKER, J.A. (1991): On the discrete-kernel method for simulating pumping tests in large-diameter wells.- Journal of Hydrology, 124: 177 - 183; Amsterdam

BOULTON, N.S. & STRELTSOVA, T.D. (1976): The drawdown near an abstraction well of large diameter under non-steady conditions in an unconfined aquifer.- Journal of Hydrology, 30: 29 - 46; Amsterdam

MOENCH, A.F. (1985): Transient flow to a large-diameter well in an aquifer with storative semiconfining layers.- Water Resources Research, 21: 1121 - 1131; Washington, D.C.

PAPADOPULOS, S.S. & COOPER, H.H. (1967): Drawdown in a well of large diameter.- Water Resources Research, 3: 241 - 244; Washington, D.C.

SINGH, V.S. & GUPTA, C.P. (1986): Hydrogeological parameter estimation from pump tests on a large diameter well.- Journal of Hydrology, 87: 223 - 232; Amsterdam

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.