

Anlage 4a

Bemessung von Trinkwasserschutzzonen in Quellgebieten mittels Isochronen- berechnungen auf der Basis von Trocken- wettermessungen der Schüttungsraten

SZYMCZAK, P. (2007), G.E.O.S. Freiberg Ingenieurgesellschaft mbH

*

Zusammenfassung

Der Beitrag beschäftigt sich mit der Anwendung von Trockenwettermessungen der Quellschüttung bei der Bemessung von Trinkwasserschutz-zonen nach dem Isochronenprinzip. Es werden die Nachteile der klassischen Berechnungsverfahren aufgezählt, die sich vor allem bei Festgesteinsaquiferen zeigen (Darcy-Gesetz und Zylinderformel). Die abgeleiteten, einfachen analytischen Lösungen geben dem in der Praxis tätigen Hydrogeologen die Möglichkeit, aus den durch Trockenwettermessungen gewonnenen mittleren Verweilzeiten ohne Einsatz spezieller Rechenprogramme Isochronenentfernungen zu berechnen. An einem Praxisbeispiel wird die Anwendbarkeit der Methode verdeutlicht. Am Schluss erfolgt eine Diskussion der Grenzen und Möglichkeiten dieses Verfahrens.

Einleitung

Die Festlegung von Trinkwasserschutz-zonen für die Grundwassergewinnung hat im Wesentlichen die Aufgabe, gesundheitsgefährdende Stoffe und Organismen, Beschaffenheitsbeeinträchtigungen und Temperaturveränderungen des Grundwassers zu verhindern. Man unterscheidet

- den Fassungs-bereich (TWSZ I),
- die engere Schutzzone (TWSZ II),
- die weitere Schutzzone (TWSZ III).

Für die Bemessung der engeren Schutzzone (TWSZ II) wird nach wie vor in den technischen Regelwerken (DVGW-Arbeitsblatt W 101) die Isochronenmethode favorisiert. Ihr Sinn besteht in der Abschirmung der Förderbrunnen gegenüber pathogenen Mikroorganismen. Sie setzt die Kenntnis der geohydraulischen Parameter des Aquifers voraus. Die Berechnungen der Ausdehnung der Schutzzone beruhen in der Regel auf der Anwendung des Darcy-Gesetzes. Das Ergebnis einer solchen Berechnung ist ein sogenannter Isochronenplan (Bild 1). Die einfachste Gleichung für die Berechnung der Isochronenentfernung x entlang einer Stromlinie (Bild 1) lautet

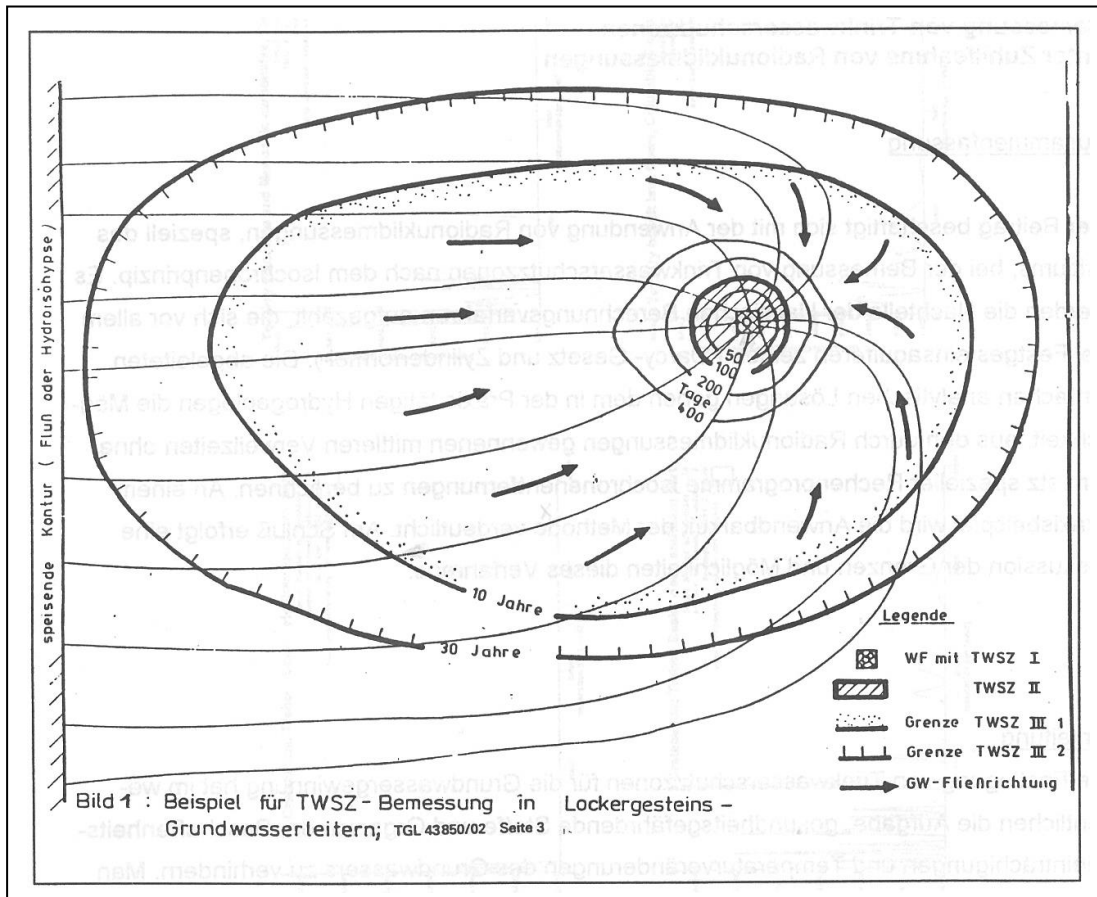
$$x = \frac{k \cdot i \cdot t}{n}.$$

Hierbei sind: t = vorgegebene Isochronenzeit (z. B. 50 d)

k = Filtrationskoeffizient (m/s)

i = mittleres hydraulisches Gefälle

n = Hohlraumanteil des Aquifers



Die Gleichung besitzt drei Parameter, die möglichst durch Feldtests zu ermitteln sind. Alle drei Parameter sind erfahrungsgemäß nur mit mehr oder weniger großen Fehlern zu bestimmen. Speziell in Quellgebieten (QG) im Festgestein stößt man dabei auf enorme Schwierigkeiten. Dem kann auch nicht durch Einsatz anspruchsvoller numerischer Simulatoren begegnet werden, weil auch hierfür die genannten Parameter bekannt sein müssen.

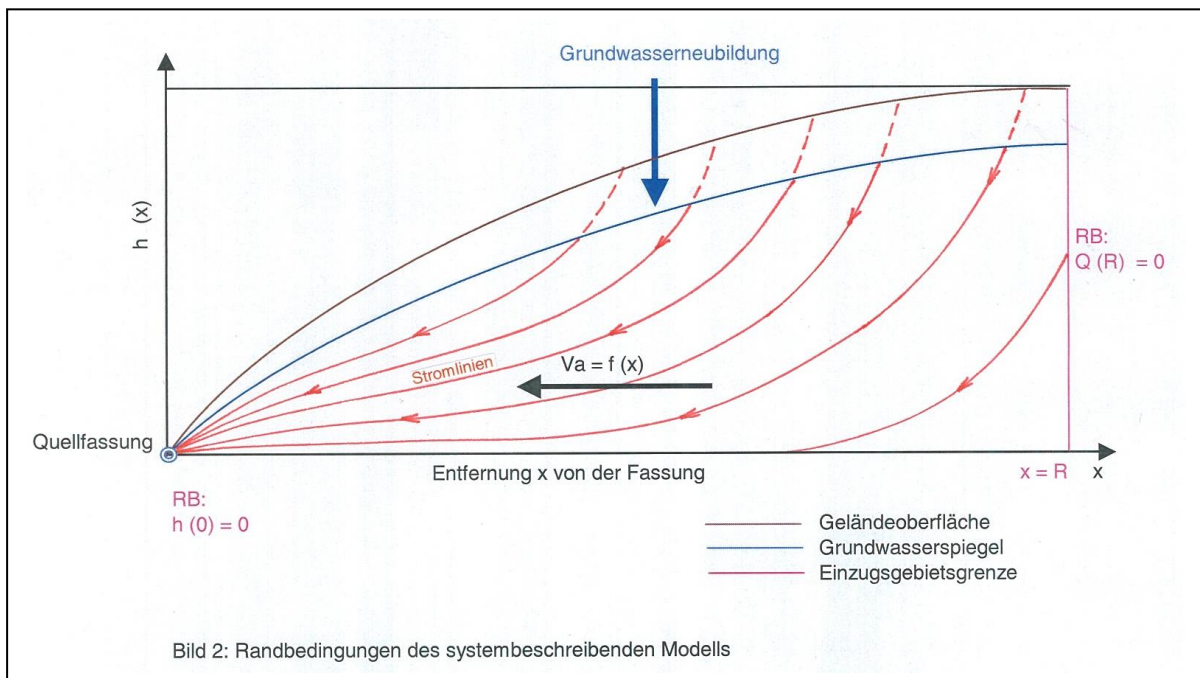
Zumeist lassen sich in QG im Festgestein nicht einmal Hydroisohypsenpläne konstruieren, die eine Voraussetzung für die Berechnung des hydraulischen Gefälles bilden. Auch die k-Wert-Ermittlung aus Pumpversuchen ist infolge tektonischer Störungen komplizierter als im Lockergesteinsaquifer. Um diesen Problemen aus dem Wege zu gehen, wird im DVGW-Arbeitsblatt W 101 die Anwendung der Zylinderformel für Tiefbrunnen im Festgesteinsbereich empfohlen. Im Falle von Quellgebieten ist sie nicht anwendbar, weil keine radial symmetrische Strömung vorliegt. Die Stromlinien im Umfeld von Quellfassungen sind eher parallel. Wünschenswert bleibt aber eine einfache Formel analog der Zylinderformel, die nur leicht bestimmbare Parameter enthält und die Isochronenentfernung x liefert.

Um hier einen Ausweg zu finden, könnte man Tracer-Versuche durchführen und die Abstandsgeschwindigkeit v_a im Bereich der Quellfassungsanlagen experimentell nachweisen, um damit die Isochronenentfernung direkt zu berechnen. In der Praxis stehen dafür nur in seltenen Fällen die Zeit und die finanziellen Mittel zur Verfügung.

Anwendung von Quellschüttungsmessungen in Trockenwetterperioden

Durch die Nutzung von Quellschüttungsmessungen, speziell in Trockenzeiten, kann in bestimmten Fällen eine Lösung gefunden werden. Für ein einfaches geohydraulisches Modell mit der äußeren Randbedingung $Q(R) = 0$ (kein Zufluss an der Wasserscheide), der Randbedingungen $h(0) = 0 = \text{const.}$ an der Quellwasserfassung und einer örtlich konstanten Grundwasserneubildungsgeschwindigkeit v_N (Bild 2), hat GELLERMANN die Gültigkeit der Verweilzeitverteilungsfunktion des in der Isotopenhydrogeologie bekannten Exponentialmodells gezeigt. Die Potenzialverteilung lautet für dieses Modell:

$$h(x) = \frac{v_N}{k \cdot M} \left(R \cdot x - \frac{x^2}{2} \right).$$



Die Verweilzeiten der Wasserteilchen, die entlang der Stromlinien migrieren, sind in einem solchen Modell zwischen Null und Unendlich exponentiell verteilt. Die Migrationszeit eines Tröpfchens, das unmittelbar an der Fassung versickert, geht gegen Null. Ein Tröpfchen, das an der Einzugsgebietsgrenze infiltriert, braucht unendlich viel Zeit, um die Quelle zu erreichen, weil an der Wasserscheide kein hydraulisches Gefälle existiert.

Der Durchfluss pro Meter Strömungsfeldbreite entspricht der Gleichung:

$$q(x) = (R - x) \cdot v_N.$$

Mit $v_a = \frac{k \cdot i(x)}{n}$ und $i(x) = \frac{dh}{dx}$

erhält man daraus $v_a(x) = \frac{v_N}{M \cdot n} (R - x)$.

Weil

$$dt = \frac{dx}{v_a(x)}$$

gilt, kann durch Integration über den Weg x die Migrationszeit eines Wasserteilchens t berechnet werden:

$$t = \int_0^x \frac{1}{v_a(x)} dx = \frac{M \cdot n}{v_N} \cdot \ln\left(\frac{R}{R-x}\right)$$

Durch Auflösung der Gleichung für die Migrationszeit nach der Entfernung x und der Tatsache, dass im Exponentialmodell

$$\tau_m = \frac{M \cdot n}{v_N}$$

gilt, erhält man

$$x = R \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_m}} \right)$$

Hierbei ist τ_m die mittlere Verweilzeit der Wasserteilchen eines Grundwasserströmungsfeldes. Sie lässt sich direkt aus einer Trockenwettermessreihe nach MAILLET berechnen. Somit reduziert sich die Anzahl der experimentell bestimmbarer Feldparameter bei der Schutzzonenbemessung auf zwei, nämlich die Entfernung der Quelfassung zur unterirdischen Wasserscheide R und die mittlere Verweilzeit oder die Zeitkonstante τ_m . Beide sind leicht ermittelbar.