

Fallbeispiel zu Beitrag:

„Fallen mir Beispiele aus meiner eigenen Erfahrung ein, die das Gelernte illustrieren, bestätigen, oder ihm widersprechen?“

Oder

Zusammenfassung einer Publikation

Literaturangabe zur Publikation:

Thema: **Hydraulik von Brunnen und Brunnenversuche**

1. **Verwendete Unterlagen**

- [4] Philippe Renard: 151: Hydraulics of Wells an Well Testing, University of Neuchâtel, Switzerland, Encyclopedia of Hydrological Sciences 2005.

2. **Brunnenversuche**

Die Durchführung von Brunnenversuchen dient hauptsächlich der Charakterisierung der Eigenschaften einer geologischen Formation oder für die Bestimmung des Dargebots für eine Grundwassernutzung mittels Brunnen. Beim zweiten Fall wird basierend auf dem Versuch die Brunnendimension, -verfilterung, Pumpenhöhe und -leistung definiert.

2.1. **Versuchstypen**

- single-well test: Störung und Messung an derselben Messstelle (Brunnen, Piezometer)
- interference test: Störung und Messung in verschiedenen Messstellen
- pumping test: Mittels einer Pumpe wird im single-well test oder interference test Verfahren Grundwasser entnommen. Die Pumprate wird je nach Auswertverfahren konstant oder variabel gewählt. Alternativ kann auch Wasser injiziert werden.
- step-drawdown test: Single well test mit schrittweiser Erhöhung der Pumprate.
- buildup and recovery: Nach der Absenkung durch einen Pumpversuch wird die Erholung des Grundwasserspiegels gemessen im Pump- oder Beobachtungsbrunnen.
- constant head test: Der Wasserspiegel im Brunnen wird auf einem gewissen Niveau durch Zugabe konstant gehalten. Die Zugabemengen / Überlauf werden gemessen sowie die Pegeländerungen in den Beobachtungsbrunnen.
- slug test: Die Störung durch einen Pulse im Brunnen wird im Brunnen und in den Beobachtungsbrunnen gemessen.
- packer test: Mithilfe von sogenannten Packern wird eine Zone von den restlichen Abschnitten in einem Brunnen separiert, was spezifische Versuche und somit Charakterisierung dieser Zone ermöglicht.

2.2. **Vorgehen Auswertung**

Für die Auswertung eines Brunnenversuchs werden die folgenden vier Schritte zur Durchführung empfohlen:

- Datenprozessierung: Einheiten vereinheitlicht, Ausreisser oder fehlerhafte Daten entfernt

- Wahl des analytischen Modells
- Definition Parameter: Die physikalischen Parameter werden aus dem Fitting der Messdaten auf theoretische Lösungen bestimmt (inverses Problem).
- Qualitätskontrolle

Die Auswertung erfolgt heutzutage (zumindest bei komplexeren Fragestellungen) über die systematische Ableitung der logarithmisch verteilten Daten. Dazu existieren diverse Softwarelösungen. Gemäss [4] ist Saphir von kappaeng eine der dafür am besten geeigneten Softwarelösungen.

3. Auswertungsansätze für Pumpversuche

Dupuit (1863) publizierte die ersten Grundwasserflussberechnungen unter Beachtung von Darcy's Gesetz im Zusammenhang mit Brunnen. Dazu wird, wie grundsätzlich auch in den nachfolgenden Ansätzen, von einem gespannten Aquifer mit unendlich horizontaler Ausdehnung, keinen Zu- oder Abflüssen, homogener Transmissivität und Speicherkapazität ausgegangen.

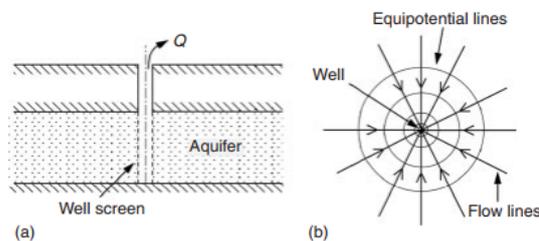


Figure 1 Schematic illustration of an idealized confined aquifer (a) and radial converging flow (b) to a fully penetrating pumping well in such aquifer

Abbildung 1: Idealisierter gespannter Aquifer (a) und radialer Zufluss zum Brunnen (b) [4]

Brunnenformel von Dupuits Thiem:
$$Q(r) = -2\pi r T \frac{\partial h}{\partial r}$$

Diese Formel darf nur für ungespannte Aquifere verwendet werden, sofern die Mächtigkeit der gesättigten Zone verglichen mit der Absenkung gross ist.

Thiem (1906) schlug für den stationären Zustand (steady state) die nachfolgende Formel zur Bestimmung der Transmissivität (T) vor. Dabei wird die Absenkungsdifferenz ($s_1 - s_2$) in zwei Beobachtungsmessstellen mit einem Abstand r_1 und r_2 zum Pumpbrunnen verwendet:

$$T = \frac{Q}{2\pi(s_2 - s_1)} \ln\left(\frac{r_1}{r_2}\right)$$

Die Theis Lösung (1935) enthält dieselben Geometrieannahmen, jedoch bei instationären Strömungsbedingungen. Der Absenktrichter wird durch die Brunnenformel von Theis miteinbezogen. Die Brunnenfunktion lässt sich nicht direkt, sondern nur mittels graphischem Lösungsverfahren (Log-Log-Plot) anwenden.

Cooper & Jacob (1946) vereinfachten das Berechnungsverfahren unter der Annahme, dass die Porendrängung vernachlässigbar ist und dadurch nur ein Semi-Log-Plot zur Lösung des Problems verwendet werden muss.

In den letzten knapp 40 Jahren wurden mit dem Aufkommen von Computern laufend rechnerbasierte analytische Auswertungen entwickelt. Damit einhergehend wurden Messtechnologien entwickelt, die das Erheben von hochauflösenden Messwerten u.a. während Pumpversuchen ermöglichen.

4. Nicht Ideale Gegebenheiten

4.1. Heterogene Aquifere

In Heterogenen Aquifere können die Speicherkoeffizienten lokal um mehrere Größenordnungen variieren. Bei der Auswertung von Pumpversuchen resultieren Verschiebungen der Geraden in Semi-Log-Plots.

4.2. Teilweise eindringender Brunnen

Bei einem Brunnen mit geringer Tiefeneinbindung in den Aquifer resultiert um den Brunnen ein Fließfeld mit einer vertikalen, nebst der horizontalen Komponente. Der Einfluss ist praktisch vernachlässigbar, wenn die Beobachtungsmessstelle mehr als das 1.5-fache der Aquifermächtigkeit vom Brunnen entfernt oder die Beobachtungsmessstelle über die gesamte Aquifermächtigkeit verfiltert ist.

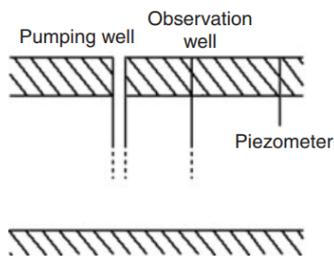


Abbildung 2: In Aquifer nur teilweise eindringender Pumpbrunnen [4]

4.3. Begrenzte Aquifere

Bei einem begrenzten Aquifer wird die Absenkung bei einem Pumpversuch durch die vorhandenen Begrenzungen beeinflusst. Zum einen kann dies ein ergiebiger Zufluss (constant head-Barriere, Infiltration durch Oberflächengewässer) oder zum anderen eine Fließbarriere in Form eines Nichtleiters sein.

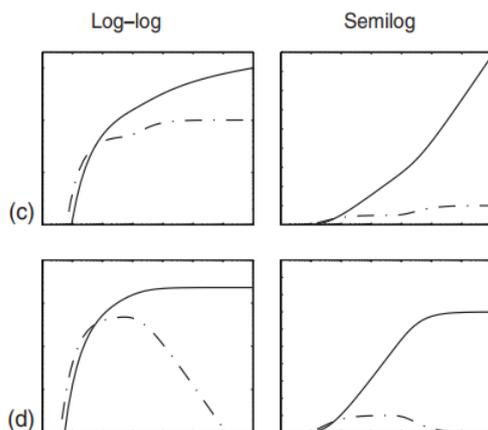


Abbildung 3: Gespannter Aquifer, (c) mit Fließbarriere, (d) mit constant head-Barriere [4]

4.4. Ungespannte Aquifere

Pumpversuche in ungespannten Aquifere und somit radialen Fließmustern sind komplexe physikalische und mathematische Probleme. Auch in einem horizontal gelagerten Aquifer existiert neben der horizontalen immer eine vertikale Fließkomponente.

Das meistangewendete Konzept basiert auf der verzögerten Antwort des Grundwasserspiegels und wurde durch Boulton (1954) und Neuman (1972, 1974) vorgeschlagen. Zuerst zeigt sich eine Absenkung nach Theis (elastisches Speichervolumen) bevor ein Rückgang erfolgt und danach eine zweite Theis-Kurve gemessen werden kann.