

Zur Abschätzung der Transmissibilität von Grundwasserleitern mit Hilfe der spezifischen Ergiebigkeit

Autor(en): **Haefeli, Charles**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin der Vereinigung Schweiz. Petroleum-Geologen und -Ingenieure**

Band (Jahr): **37 (1970-1971)**

Heft 91

PDF erstellt am: **20.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-197282>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Zur Abschätzung der Transmissibilität von Grundwasserleitern mit Hilfe der spezifischen Ergiebigkeit

Mit 5 Figuren im Text

VON CHARLES HAEFELI¹⁾

1. Einleitung

Die spezifische Ergiebigkeit Q/s eines Bohrbrunnens ist definiert allgemein als die gepumpte Wassermenge per Absenkungsbetrag und im metrischen System als jene Wassermenge Q in l/min oder m^3/sec , die aus einem Brunnen bei einer Absenkung $s = 1.0$ m gefördert werden kann. Mit ihrer Hilfe lässt sich die Leistung verschiedener Bohrbrunnen vergleichen, den Brunnenverlust (hier dem «well loss» gleichgesetzt) beim Stufenpumpversuch berechnen oder die Transmissibilität (auch Einheitsergiebigkeit genannt) abschätzen.

Bei Grundwasser-Rekognoszierungen ist die spezifische Ergiebigkeit häufig die einzige von Bohrbrunnen erhältliche Grundlage, um die hydraulischen Eigenschaften wasserführender Schichten abzuklären. Eine hohe spezifische Ergiebigkeit deutet auf eine hohe Transmissibilität und eine tiefe auf eine entsprechend niedere Einheitsergiebigkeit. Da jedoch die spezifische Ergiebigkeit häufig von partiellen Durchdringungen des Grundwasserleiters (unvollkommene Brunnen), Brunnenverlusten und hydrogeologischen Grenzen beeinträchtigt ist, kann sie nicht ein exaktes Kriterium der Transmissibilität sein. Im allgemeinen verursachen diese Faktoren eine zu grosse Absenkung, und die Transmissibilität wird dadurch zu niedrig geschätzt. Da jedoch die Einheitsergiebigkeit oder die Durchlässigkeit die Grundlage aller Grundwasseruntersuchungen bilden, sind die erhaltenen Richtwerte trotz diesen schwer erfassbaren Ungenauigkeiten sehr wertvoll. Dazu sei C. V. THEIS (1963, 331) zitiert: «... estimates of T that are based on the specific capacity of wells should be reasonable reliable and could be made without the elaborate tests necessary for precise determination.»

2. Theoretische Beziehungen

Der Transmissibilitätsbeiwert kann definiert werden als die Wassermenge in m^3 , die pro Sekunde durch eine senkrechte, die gesamte Mächtigkeit des Grundwasserleiters einnehmende 1.0 m breite Fläche unter einem hydraulischen Gradient von 100% fliesst. T ist das Produkt aus der Permeabilität K und der Mächtigkeit m des Grundwasserleiters:

$$T = K m . \quad (1)$$

Die theoretische Beziehung zwischen der spezifischen Ergiebigkeit eines Bohrbrunnens mit gleichbleibender Fördermenge in einem homogenen, isotropischen, artesischen

¹⁾ Dept. of EMR, Inland Waters, Hydrologic Science Div., Ottawa/Canada, nun mit Electro-Watt Engineering Services Ltd., Zürich.

Grundwasserleiter von unendlicher Ausdehnung ist nach der nonequilibrium Formel (C. V. THEIS, 1935) durch folgende Gleichung gegeben (L. K. WENZEL, 1942) (ins metrische System übertragen):

$$\frac{Q}{s} = \frac{4 \pi T}{W(u)} \quad (2)$$

wobei:

$$u = \frac{S r_w^2}{4 T t} \quad (3)$$

oder kann wie folgt geschrieben werden (C. V. THEIS, 1963) (ins metrische System übertragen):

$$T = \frac{Q}{4 \pi s} \left[-0,577 - \log_e \left(\frac{S r_w^2}{4 T t} \right) \right] \quad (4)$$

nach Umformung von (4) wird erhalten:

$$\frac{Q}{s} = \frac{4 \pi T}{2,303 \log \left(\frac{4 T t}{r_w^2 S} \right) - 0,577} \quad (5)$$

wobei:

Q = gepumpte Wassermenge in m³/sec

s = Absenkung in m

T = Transmissibilitätsbeiwert in m³/sec/m, (m²/sec)

S = Speicherungsbeiwert, dimensionslos

r_w = Brunnenradius in m

t = Zeitspanne nach Pumpbeginn in sec

W(u) = Funktion für Bohrbrunnen («well function»)

(L. K. WENZEL, 1942). (W(u)-Werte können auch aus Tabellen verschiedener Lehrbücher englischer Sprache entnommen werden.)

Die Beziehungen nehmen an, dass der Bohrbrunnen den Grundwasserleiter vollständig durchdringt, der Brunnenverlust vernachlässigt werden kann und der effektive Brunnenradius nicht durch Bohrarbeiten oder das Entsandern verändert worden ist und dem nominalen Brunnenradius entspricht.

Obwohl diese Gleichungen ideale Bedingungen voraussetzen und für artestische Verhältnisse entwickelt worden sind, können sie im vorliegenden Fall, wo es um Schätzungs-werte geht, ohne Einschränkungen auch unter nichtartesischen Bedingungen angewandt werden.

3. Einfluss der Pumpversuchsdauer, des Brunnendurchmessers und des Speicherungsbeiwertes

Um den Transmissibilitätsbeiwert aus den obigen Gleichungen erhalten zu können, müssen t, r_w und S bekannt sein. In den meisten Fällen kann die Pumpversuchsdauer aus dem Untersuchungsbericht entnommen werden. Unbekannt dagegen dürfte der effektive Brunnenradius sein. Die Beziehung zwischen spezifischer Ergiebigkeit und Pumpversuchsdauer sowie Brunnenradius sind an Hand eines Beispiels in Figur 1 und 2 ersichtlich. Da Q/s direkt proportional zu log r_w² und umgekehrt proportional zu log t ist, resultiert aus einer grossen Zu- oder Abnahme von r_w und t eine relativ kleine Schwankung für Q/s. Die spezifische Ergiebigkeit variiert z. B. um weniger als 20% zwischen einer Pumpversuchsdauer von 1 und 24 Stunden. Von Bedeutung ist das Ver-

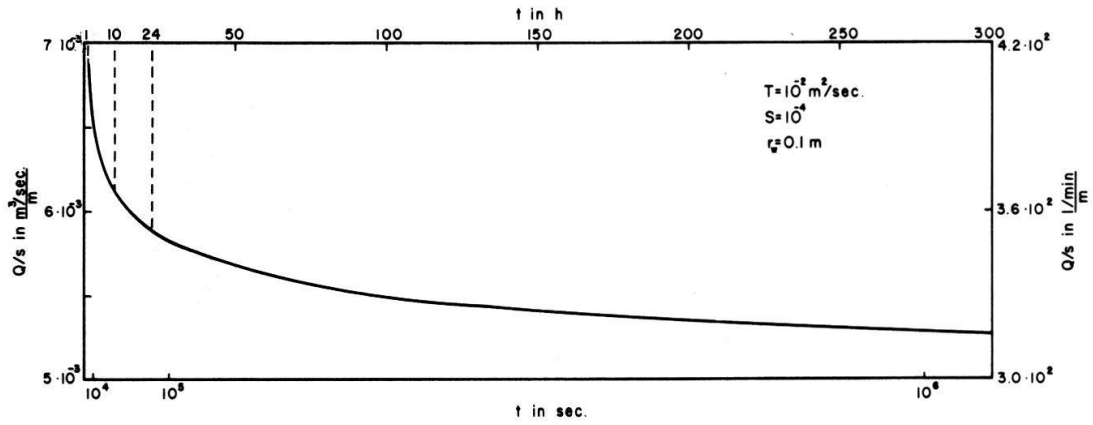


Fig. 1: Theoretische Beziehung zwischen der Einheitsergiebigkeit Q/s und der Pumpversuchsdauer t .

hältnis zwischen spezifischer Ergiebigkeit und Brunnenradius. Werden doch häufig Bohrbrunnen mit viel zu grossen Durchmessern konstruiert, in der Annahme, eine entsprechend grosse Schüttung zu erhalten. Solange jedoch die Strömung zum Brunnen laminar bleibt, gilt die in Figur 2 gegebene Beziehung. So produziert z. B. ein Brunnen mit einem effektiven Radius von 8 Zoll unter den in Figur 2 gegebenen Bedingungen nur etwa 10% mehr als einer mit einem Halbkreisdurchmesser von 4 Zoll. Grosse Fehler in der Annahme von t und r_w beeinflussen Q/s demnach nicht kritisch. In diesem Zusammenhang sei noch ein Vergleich zur Mächtigkeit des Grundwasserleiters angeführt (Fig. 3), die ungefähr in einer linearen Beziehung zur spezifischen Ergiebigkeit steht und deshalb mit dieser in ähnlichem Umfange variiert.

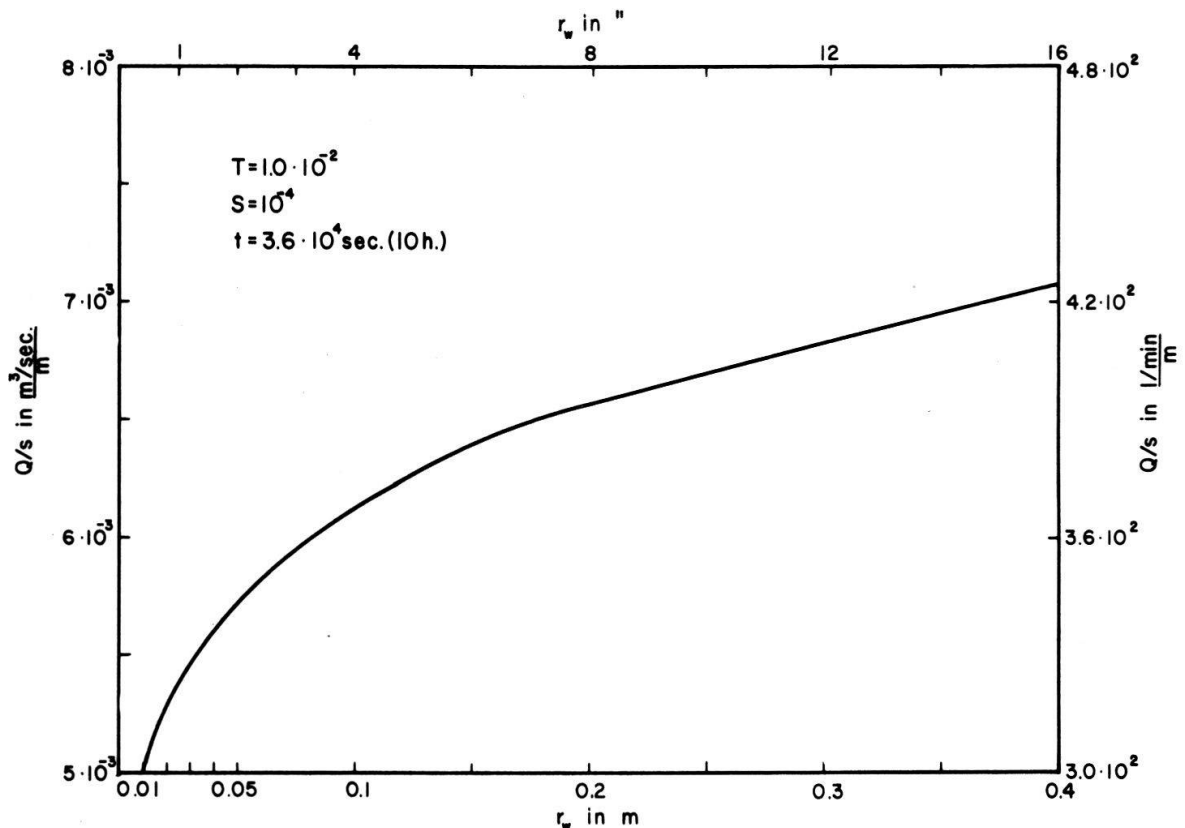


Fig. 2: Theoretische Beziehung zwischen der Einheitsergiebigkeit Q/s und dem Brunnenradius r_w .

Nicht bekannt ist in den meisten Fällen der Speichungsbeiwert. Es sollte jedoch möglich sein, die grundsätzlichen hydraulischen Verhältnisse im Grundwasserleiter zu bestimmen. Sind diese nicht artesisch, so dürfte S zwischen 0,05 und 0,35 schwanken. Bei gespanntem Grundwasser wird S wahrscheinlich zwischen 5×10^{-5} und 5×10^{-3} (D. K. TODD: 1959, 31) liegen. Der Medianwert für eine grössere Anzahl von Bohrungen betrug bei einer Untersuchung in Ontario, Kanada (C. J. HAEFELI, 1971) für artesische Verhältnisse in Lockergesteinen 2.5×10^{-4} und in diversen Festgesteinen 2.0×10^{-4} . Ein Schätzungsfehler von einer Grössenordnung wirkt sich auf den Transmissibilitätsbeiwert nicht entscheidend aus. Sogar eine Differenz von 10^3 hat eine erstaunlich kleine Auswirkung (Fig. 5).

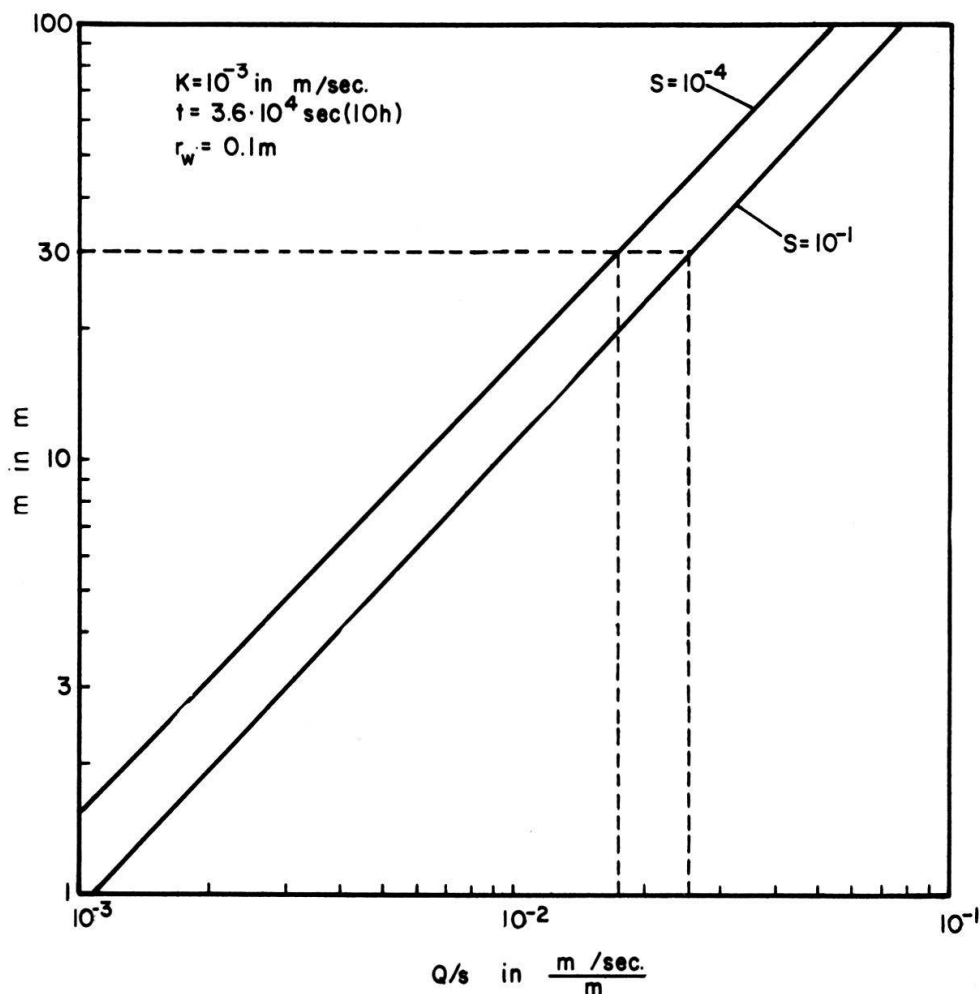


Fig. 3: Theoretische Beziehung zwischen der Einheitsergiebigkeit Q/s und der Mächtigkeit m .

4. Schätzungsmethoden

Wegen den mathematischen Schwierigkeiten, die sich bei der Lösung der Theis-Gleichung ergeben, wurden verschiedene graphische Methoden zur Berechnung des Transmissibilitätsbeiwertes aus der Einheitsergiebigkeit entwickelt. So vor allem durch A. J. ZEIZEL und andere (1962), W. C. WALTON und CSALLANY (1962), C. V. THEIS (1963) und L. OGDEN (1965).

C. V. THEIS entwickelte von der Gleichung (4) ausgehend eine Annäherungsformel, die es mit Hilfe eines vom Brunnenradius abhängigen Faktors und eines Diagrammes erlaubt, T abzuschätzen. Da diese Methode als zu kompliziert erachtet wird, sei nicht weiter darauf eingegangen. Eine einfachere Lösung hat L. OGDEN beschrieben, die allerdings zur Ermittlung von T ein Beobachtungsrohr verwendet. Eine kleine Interpretationsänderung erlaubt jedoch, ausschliesslich Bohrbrunnen-Daten zu gebrauchen. Aus Gleichung (2) und (3) wird

$$u W(u) = \frac{r_w^2 S s \pi}{Q t} \quad (6)$$

Mittels der Funktion $u W(u)$ aus (6) und dem Diagramm in Figur 4 wird u erhalten, das in die umgewandelte Formel (3) eingesetzt wird:

$$T = \frac{S r_w^2}{4 t u} \quad (7)$$

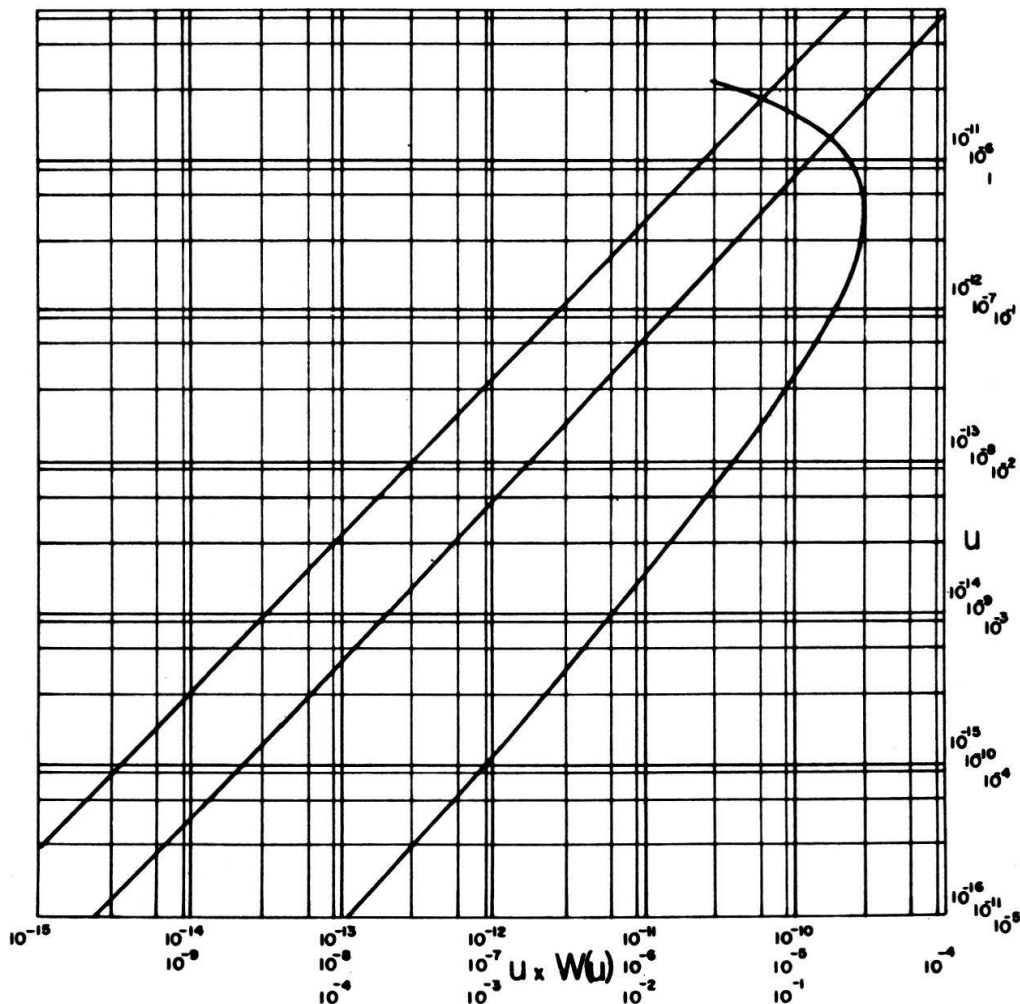


Fig. 4: Beziehung zwischen $u W(u)$ und u (von L. OGDEN: 1965, nach R. KAZMANN: 1941).

Eine ebenso einfache Methode ist diejenige von A. J. ZEIZEL und W. C. WALTON. Die spezifische Ergiebigkeit wird für einige angenommene Transmissibilitätsbeiwerte nach Formel (2) und (3) berechnet und auf Logarithmenpapier aufgetragen. Da ausser

für extrem niedrige Werte die Punkte fast auf einer Geraden liegen, ist nach drei bis fünf Punkten die Beziehung zwischen Q/s und T über einen Bereich von mehreren Größenordnungen bekannt. T kann nun mit Hilfe des Diagrammes, wie Figur 5 als Beispiel zeigt, abgeschätzt werden.

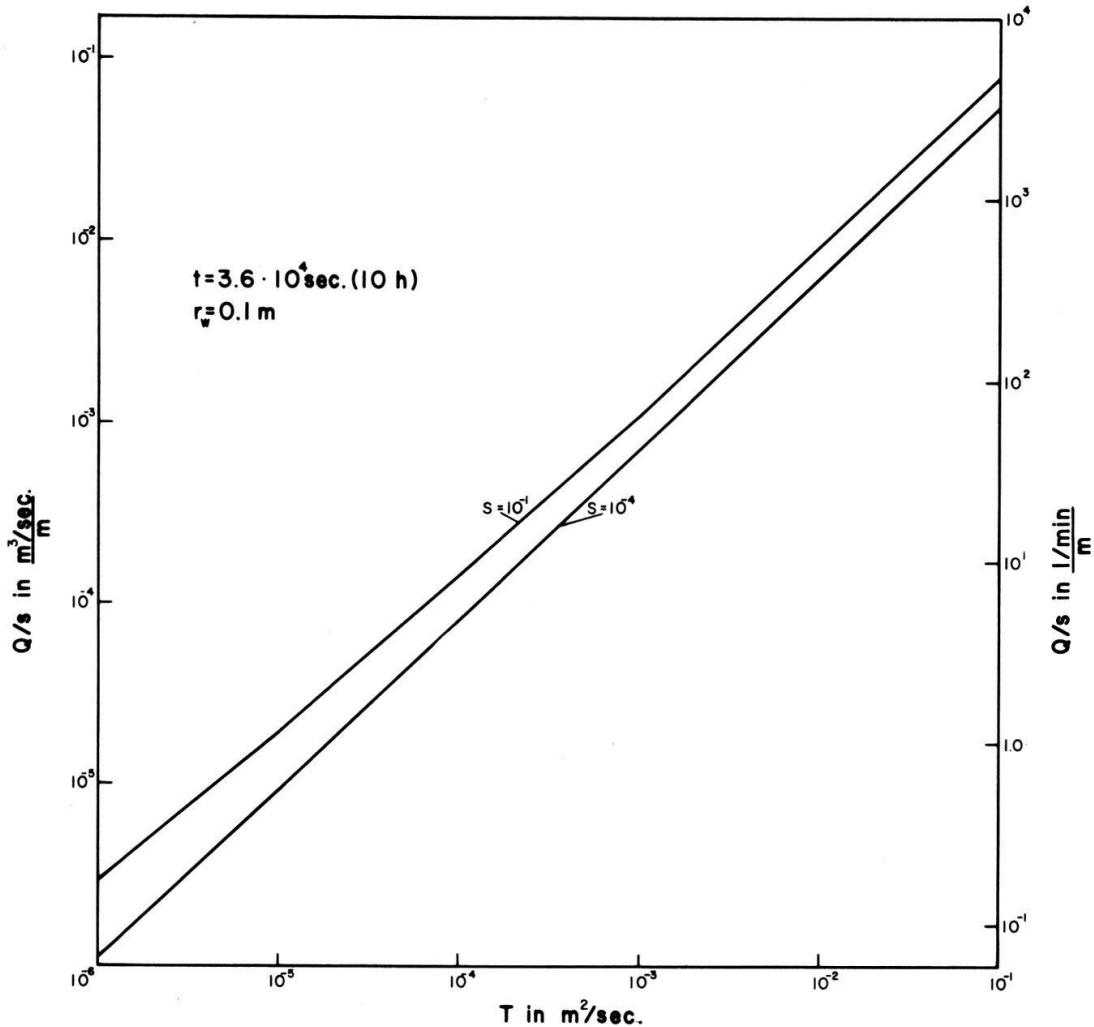


Fig. 5: Theoretische Beziehung zwischen der Einheitsergiebigkeit Q/s und des Transmissibilitätsbeiwertes T .

Der grösste Fehler, der bei diesen Schätzungsmethoden unterläuft, rührt von einer durch ungenügendes Entsandern oder zu grossen Entnahmemengen hervorgerufene, übermässige Absenkung her. Liegen die Daten eines Stufenpumpversuches vor, so kann etwelcher Brunnenverlust ermittelt und vom Absenkungsbetrag abgezogen werden. Eine Annäherungsformel dazu wurde von C. E. JACOB (1946) gegeben:

$$S_w = CQ^2 \quad (8)$$

wobei:

- S_w = Brunnenverlust in m
- C = Brunnenverlustskonstante in sec^2/m^5
- Q = Entnahmemenge in m^3/sec

C wird nach dem Stufenpumpversuch wie folgt berechnet:

$$C = \frac{(\Delta s_n / \Delta Q_n) - (\Delta s_{n-1} / \Delta Q_{n-1})}{\Delta Q_{n-1} + \Delta Q_n} \quad (9)$$

wobei:

Δs = Absenkungszunahme im Bohrbrunnen in m

ΔQ = vergrößerte Entnahmemenge in m³/sec

Wird S_w mit der effektiven Absenkung verglichen, so kann daraus ebenfalls der Leistungsgrad des Brunnens erhalten werden.

Literatur

- HAEFELI, C. J. (1971): Groundwater inflow into Lake Ontario. Scientific Series No. 9, Dept. of EMR, Inland Waters Br. Ottawa, Canada.
- JACOB, C. E. (1946): Drawdown test to determine effective radius of artesian well. Proc. Am. Soc. Civil Engrs. v. 72 (5).
- KAZMANN, R. (1941): Inverse table of the exponential integral. U. S. Geol. Survey, 12 p. (mimeo.)
- OGDEN, L. (1965): Estimating transmissibility with one drawdown. Ground Water, v. 3 (3).
- THEIS, C. V. (1935): The relation between the lowering of piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using ground-water storage. Trans. Am. Geophys. Union, 16th Ann. Meeting, pt. 2.
- (1963): Estimating the transmissibility of a watertable aquifer from the specific capacity of a well. In R. BENTALL, compiler; U. S. Geol. Surv. Water-Supply Paper 1536-I.
- TODD, D. K. (1959): Groundwater hydrology. John Wiley and Sons, New York.
- WALTON, W. C. und CSALLANY, S. (1962): Yields of deep sandstone wells in northern Illinois. Illinois State Water Survey Rept. of Invest. 43.
- WENZEL, L. K. (1942): Methods of determining permeability of water-bearing materials, with special reference to discharging-well methods. U. S. Geol. Surv. Water Supply Paper 887.
- ZEIZEL, A. J., WALTON, W. C., SASMAN, R. T. und PRICKETT, T. A. (1962): Ground-water resources of Du Page County, Illinois. Illinois State Water Survey and Geol. Survey Cooperative Ground-Water Rept. 2.