[*From the* TRANSACTIONS OF THE THIRD INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE, Vol. I., 1935.]

BIBLIOTHEEK
INSTITUUT VOOR
BODEMVRUCHTBAARHEID
GRONINGEN
SEPARAAT
No. 16451

631.437.3

INSTITUUT
BODEMKUNDIG
GRONINGEN.
279

VERSUCHE ZUR BESTIMMUNG DER DURCHLÄSSIGKEIT DES BODENS MIT HILFE VON PUMPVERSUCHEN

S. B. HOOGHOUDT

(*Bodenkundliches Institut Groningen. Direktor: Dr. D. J. Hissink*)

Will man die Durchlässigkeit eines Bodens mittels Pumpversuchen bestimmen, dann kommen, wegen der geringen Dicke der zu untersuchenden Schicht (1 bis 2 m), nur ganz besondere Pumpversuche in Frage. Sehr geeignet sind hierfür die durch Diserens vorgeschlagenen Versuche, die darin bestehen, die Steiggeschwindigkeit des Wassers in Bohrlöchern zu messen, nachdem erst das Wasser ausgeschöpft worden ist. Die ursprünglich von ihm aufgestellte Formel lautet:

$$A = \frac{1000}{Ht} \log \frac{y_0}{y} \quad \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (1)$$

worin bedeuten: A einen Faktor, der nur vom Durchlässigkeits-Koeffizienten abhängig ist, t die Zeit seit dem Leerpumpen, H den Abstand der phreatischen Oberfläche vom Bohrlochboden, y_0 und y den Abstand der Wasseroberfläche im Bohrloch zur Zeit $t=o$ und $t=t$ von der phreatischen Oberfläche.

Formel 1 ist unvollständig. Sie bringt weder den Einfluss des Bohrloch-Querschnittes, noch den Einfluss eines durchlässigen Untergrunds unterhalb des Bohrlochbodens, noch den Einfluss der etwa vorhandenen Heterogenität des Bodens zum Ausdruck. Darum habe ich unter der Voraussetzung, dass während des Aufsteigens des Wassers die Form der Strombahnen konstant bleibt, neue Gleichungen für obengenannte Fälle entwickelt. Für homogene Böden und für den Fall, dass die Bodenschichten unter dem Bohrlochboden durchlässig sind, habe ich folgende Gleichung abgeleitet:

$$\frac{K\ (H+r)}{2{\cdot}3\ a\ r} = \frac{\log \frac{y_0}{y}}{t} = tg\alpha \quad \dots \dots \dots \dots \dots \quad (2),$$

in welcher, ausser den bekannten Faktoren, a ein von der Form der Strombahnen abhängiger Faktor (totale Dimension l^1) und r der Halbmesser des Bohrloches ist. Reicht das Bohrloch nicht bis zur undurchlässigen Schicht, dann geht der Faktor (H+r) über in (H) (Gleichung 2a). Zeichnet man weiter in ein Diagramm, mit der Zeit nach dem Beginn der Messung als x-Achse und den zugehörigen Werten von $\log \frac{y_0}{y}$ als y-Achse, die zusammengehörigen Werte ein, dann müssen die erhaltenen Punkte gemäss Gleichung 2, 2a und übrigens auch gemäss 1 auf einer geraden Linie liegen, für welche tg α die Tangente des Winkels α mit der x-Achse darstellt. Letzteres wird also eintreten, wenn die Form der Strombahnen während des Aufsteigens des Wassers konstant bleibt oder m.a.W. keine Funktion von y ist. Im Grunde genommen, wird diese Voraussetzung niemals erfüllt, da das Wasser, das ins Rohrloch strömt, aus den Schichten hart um das Bohrloch herum herrührt, wodurch die phreatische Oberfläche ja doch stets während des Aufsteigens des Wassers eine trichterförmige Einsenkung um das Bohrloch Bilden *muss* und sich dadurch das Strömungsbild *wohl* verändert. Diese Einsenkung wird aber umsocher unberücksichtigt bleiben können,

(a) je schneller nach dem Leerpumpen gemessen wird,
(b) je kleiner bei gleichem Boden der Durchmesser des Bohrloches ist und
(c) je durchlässiger der Boden bei gleichem Durchmesser des Bohrloches ist.

Obwohl in den beisten Fällen in der Praxis tatsächlich tgα=konstant gefunden wurde, was zugleich auch für die Zulässigkeit der vorerwähnten Voraussetzung spricht, wurden aber auch Fälle festgestellt, bei denen die Linie nicht gerade und also tg α nicht konstant war. Um nun nachzuweisen, dass die Heterogenität des Bodens nicht die Ursache des Auftretens einer gebogenen Linie im log $\frac{y_0}{v}$: t Diagramm ist, habe ich Gleichungen für heterogene Böden gebildet und zwar für folgende Fälle:

1. Kommen im Profil oberhalb des Bohrlochbodens 2 scharf abgegrenzte Schichten von verschiedener Durchlässigkeit vor, wovon die erste Schicht oberhalb des Bohrlochbodens eine Dicke h_1 und einen Durchlässigkeits-Koeffizienten k_1, die darüber liegende Schicht einen K-Koeffizienten k_2 und die darunterliegende Schicht einen K-Koeffizienten k_3 hat und beträgt der Abstand der phreatischen Oberfläche von der Oberfläche der erstgenannten Schicht h_2, dann lautet die Gleichung:

$$\frac{k_1\,h_1\,(2\,h_2+h_1)+k_2\,h_2^2+k_3\,r\,H}{2{\cdot}3\,a\,H\,r}=\frac{\log\frac{y_0}{y}}{t}=\text{tg}\,\alpha \quad \ldots\ \ldots\ \ldots \quad (3).$$

Diese Gleichung 3 geht in Gleichung 2 über, wenn $k_1=k_2=k_3$, da dann $h_1+h_2=H$.

2. Ändert sich die Durchlässigkeit im Profil kontinuierlich nach der Gleichung:

$$k_h=k_0+bh \quad \ldots\ \ldots\ \ldots\ \ldots\ \ldots \quad (4),$$

worin b eine Konstante, k_0 den Durchlässigkeits-Koeffizienten einer sehr dünnen Schicht hart oberhalb des Bohrlochbodens und k_h den K-Koeffizienten einer sehr dünnen Schicht in einer Höhe h oberhalb des Bohrlochbodens darstellt, und ist weiter der k-Koeffizient der Bodenschichten unterhalb des Bohrlochbodens k^1, dann lautet die Gleichung:

$$\frac{k_0H+\frac{2}{3}bH^2+k^1r}{2{\cdot}3\,a\,r}=\frac{\log\frac{y_0}{y}}{t}=\text{tg}\,\alpha \quad \ldots\ \ldots\ \ldots\ \ldots \quad (5).$$

Auch Gleichung 5 geht in Gleichung 2 über, falls der k-Koeffizient konstant wird, da dann $k_0=k^1$ und $b=0$ ist.

Da nun die Gleichungen 3 und 5 (und deren Erweiterungen) unter denselben Voraussetzungen abgeleitet sind und da tg α auch während des

Aufsteigens des Wassers konstant bleibt, so kann ein eventuelles Nicht Konstantsein der tg α nicht durch die Heterogenität des Boden erklärt werden, sondern findet seine Ursache darin, dass für den betreffenden Boden (kleiner k-Wert) der Durchschnitt des Bohrloches zu gross gewählt wurde. Uebrigens ergibt sich aus der Tatsache, dass auch in der Praxis bei bestimmt heterogenen Böden eine Konstante tg α gefunden wurde, die Richtigkeit der Gleichungen in dieser Hinsicht.

Der Faktor a ist aber in obengenannten Gleichungen nicht bekannt. Um den Wert dieses Faktors aufzuspüren und zugleich die Gleichungen zu kontrollieren, wurden Versuche in einem grossen zylindrischen Gefäss gemacht, in dessen Mitte statt der Bohrlicher perforierte kupferne Röhren von verschiedenem Durchmesser (2, 4, 6, 8 cm) gesetzt wurden. Danach wurde das Gefäss und manchmal auch teilweise die Röhren (die undurchlässige Schicht wurde nicht erreicht) nach einander mit 3 verschiedenen Sandböden ($k_{10:35}$ = Werte 1·39; 20·92 und 34·4 m : 24 Stunden) gefüllt. Da nun alles bekannt war (p, p_o) und die Temperatur während der Messung bestimmt wurde, konnte also die Durchlässigkeit — die auf andere Weise im Laboratorium bestimmt war — auf die gegebenen Verhältnisse umgerechnet werden (1).

Für die Kontrolle wurde Gleichung 2a als Ausgangsgleichung benutzt und je nach dem Konstant- oder Nichtkonstantbleiben des Faktors a wurden die verschiedenen Faktoren, die a beherrschen, abgeleitet.

Die Prüfungen ergaben das Folgende:

1. Beim Aufsteigen des Wassers zeigt sich, dass tg α um so konstanter ist, je besser die früher unter a, b und c genannten Bedingungen erfüllt sind. Die bei der Ableifung der Gleichungen gemachte Voraussetzung hat sich also als vollkommen richtig erwiesen.

2. Lässt man H variieren, während alles andere gleich bleibt und reicht das Bohrloch bis zur undurchlässigen Schicht, dann zeigt sich, dass der Faktor a sich im gleichen Verhältnis wie H ändert, sodass also die Gleichung 2a lauten muss:

$$\frac{k}{2{\cdot}3\ a'r} = \frac{\log \frac{y_o}{y}}{t} = \operatorname{tg} \alpha \quad \ldots \ldots \ldots \quad (6),$$

a' ist hierbei ein neuer Faktor, der nun aber von H unabhängig ist.

3. Vergleicht man nunmehr die Resultate, die bei Benutzung der kupfernen Röhren von verschiedenem Durchmesser in 3 verschiedenen Sandböden erzielt wurden, wobei das Rohrloch noch immer die undurchlässige Schicht erreichte, dann ergibt sich, dass der Faktor a' sich auch noch m gleichen Verhältnis wie r ändert, aber unabhängig von k ist. Die Gleichung 6 und natürlich damit auch 2a geht nun über in:

$$\frac{a''\,k}{2{\cdot}3\ r^2} = \frac{\log \frac{y_o}{y}}{t} = \operatorname{tg} \alpha \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (7).$$

Der Faktor a'' ist hierbei ein neuer Faktor, der nun aber stets konstant bleibt, obwohl die Dimension noch immer (l^1 ist, und dessen Wert 0·090 beträgt (Fehler bis zu ± 20%).

4. Reicht das Bohrloch nicht bis zu der undurchlässigen Schicht, so ergibt sich, dass der Einfluss der möglichen Steigung durch den Bohrlochboden bedeutungslos ist. Da H gegenüber r immer relativ gross war, ist sein Einfluss in Gleichung 2a gut zum Ausdruck gebracht. Wenn die undurchlässige Schicht also nicht erreicht wird, lautet die Gleichung:

$$\frac{0{\cdot}090\ k\ (H+r)}{2{\cdot}3\ r^2\ H} = \frac{\log \frac{y_0}{y}}{t} = \text{tg}\ \alpha \ \ldots\ \ldots\ \ldots\ \ldots\ \ldots \quad (8).$$

5. Die Gleichungen für heterogene Böden lassen sich aufstellen, indem eingesetzt wird: $a = \frac{r\ H}{0{\cdot}090}$.

6. Bei Anwendung der Gleichungen 2 und 2a auf Böden in natürlicher Lage konnte ich früher keine Uebereinstimmung mit dem auf andere Weise erhaltenen k-Koeffizienten (Abfluss-Grundwasserstandsmethode) erreichen. Das ist nun aber wohl bei Anwendung der Gleichungen 7 und 8 mit dem Faktor $a'' = 0{\cdot}090$ der Fall, wodurch die Richtigkeit dieses auf eine ganz andere Weise bestimmten Faktors nochmals deutlich wird.

LITERATUR

[1] Hooghoudt, S. B., " Bijdragen tot de kennis van eenige natuurkundige grootheden van den Grond "; *Versl. Landb. Onderz.*, S. 215, 1934; s.a. *C.R. d. l. prem. Com. d l'As. Int. de la Sc. du Sol*, Versailles, S. 213, 1934