

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Vermessungswesen und Kulturtechnik = Revue technique suisse des mensurations et améliorations foncières

Herausgeber: Schweizerischer Geometerverein = Association suisse des géomètres

Band: 42 (1944)

Heft: 7

Artikel: Das "Versuchsfeld Baar" des kulturtechnischen Laboratoriums der ETH [Fortsetzung]

Autor: Ramser, E. / Khafagi, A.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-201832>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 24.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

$$\left(0,3805 \frac{s}{N_1} \sin \alpha\right)^2 = 178,4 \cdot 10^{-7}$$

$$S_u - T_{e'} = \div 662,2 \cdot 10^{-7}$$

Dieselbe Rechenmethode wurde auch auf ein größeres Beispiel mit einer Seitenlänge $s = 284,4$ km angewendet (vgl. J.-E. III, 2, S. 68. — Mecklenburgische Diagmale). Mit einigen kleinen Korrekturen, die im Vorigen unberücksichtigt blieben, wurden auch hier Resultate erzielt, die sich innerhalb der festgesetzten Fehlertoleranzen hielten.

Das „Versuchsfeld Baar“ des kulturtechnischen Laboratoriums der ETH.

Von Prof. E. Ramser und Dr. A. Khafagi

(Fortsetzung)

III. Einiges über die zweckmäßige Drainindistanz.

Die bis heute bekannten Methoden zur Ermittlung der Drainentfernung in Meliorationsgebieten beruhen teils auf theoretischen und teils auf empirischen Beziehungen.

Die theoretisch ermittelten Gleichungen wurden auf Grund von zahlreichen Voraussetzungen aufgestellt. Letztere treffen in den meisten Fällen nicht zu. Die Grundgleichung aller dieser Beziehungen lautet:

$$z^2 - z_0^2 = \frac{q}{k} (x - r), \quad (1) [2]$$

wobei q die Wassermenge pro 1 m' Rohrlänge und k die Durchlässigkeitsziffer bedeutet. Die Bedeutung der übrigen Bezeichnungen ergibt sich aus der Abb. 17.

Setzt man in der Gleichung (1) $z = H$ und $x = \frac{1}{2} E$ ein, so bekommen wir:

$$H^2 - z_0^2 = \frac{q}{k} \left(\frac{1}{2} E - r\right) \quad (2)$$

z_0^2 ist klein im Verhältnis zu H^2 und r ist klein im Verhältnis zu $\frac{1}{2} E$. Vernachlässigen wir nun z_0^2 und r , so geht die Gleichung (2) über in:

$$H^2 = \frac{q}{2k} E \quad (3)$$

$$\text{oder } E = \frac{2k}{q} H^2 \quad (4)$$

[2] R. Dachler, Grundwasserströmung 1937, S. 29.

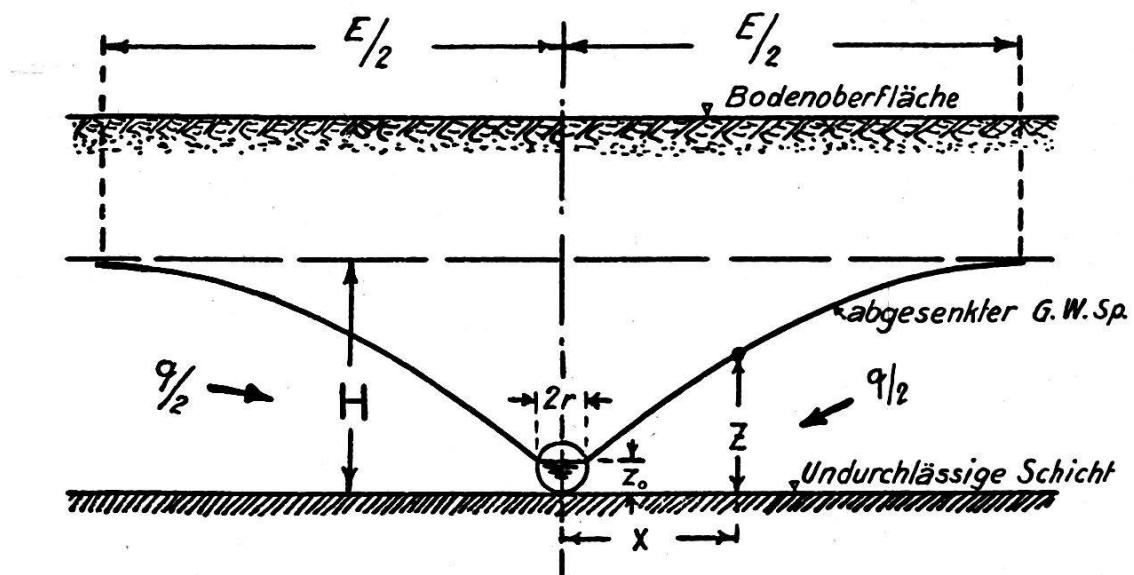


Abb. 17

Bezeichnet man die gesamte Wassermenge eines Saugers mit Q , so wird $q = \frac{Q}{l}$, wobei l die Länge des Saugers bedeutet. Gleichung (4) wird:

$$E = \frac{2 \cdot k \cdot l}{Q} \cdot H^2 \quad (5)$$

Bei den Drainagen beträgt H im Mittel ungefähr 1 Meter. Für ein mittleres Saugergefälle von 6% und eine Rohrweite von 6 cm beträgt Q_{voll} auf Grund der Gleichung $Q = 75 \cdot R^{2/3} \cdot J^{1/2} = 1 \text{ l/sec}$ (wobei $R = 2r/4$). Setzen wir nun $Q = 1 \text{ l/sec}$. und $l = 100 \text{ m}'$ in der Gleichung (5) ein, so bekommen wir:

$$E = \frac{2 \cdot k \cdot 100 \cdot l}{1/1000} = 2 \cdot 10^5 \cdot k \quad (6)$$

Hierin ist k in m/sec einzusetzen, wodurch E in m ausgedrückt wird.

Besteht der Boden aus Sand mit $k = 10^{-5} \text{ m/sec}$, so würde E nur 2 m betragen. In Wirklichkeit aber beträgt die Drainindistanz in Sandböden mehr als 30 m.

Besteht der Boden aus Lehm mit $k = 10^{-7} \text{ m/sec}$ und wird Q in diesem Fall z. B. nur noch 0,1 l/sec, da hier die Sickerwassermenge klein sein muß, so stellt sich E nach Gleichung (6) auf nur 0,02 m. In Wirklichkeit aber beträgt die Drainentfernung für Lehmböden erfahrungsgemäß etwa 15 bis 18 m.

Diese Überlegung zeigt uns also, daß die theoretische Beziehung

$$z^2 - z_0^2 = \frac{q}{k} (x - r) \quad (1)$$

für die Bestimmung der Drainindistanz niemals richtig sein kann.

Bei der Aufstellung dieser Gleichung wurden folgende Voraussetzungen gemacht:

1. Das Material sei homogen.
2. Der Drain liege auf einer undurchlässigen Schicht.
3. Die Bewegung des Grundwassers gehorche dem Darcy'schen Gesetz $v = k \cdot J$.

Während die dritte Voraussetzung als richtig angenommen werden kann, können dagegen die zwei ersten niemals allgemein zutreffen.

Als praktisches Beispiel weisen wir auf die Ergebnisse aus dem „Versuchsfeld Baar“ hin. Bei einem Beharrungszustand am 20. Oktober 1943 (siehe Abb. 30 u. 31) betrug $H = 0,9$ m, $Q = 0,35$ l/sec, und k_{mittel} für die untere dichte Schicht, die vom Wasser durchströmt war, 10^{-7} cm/sec = 10^{-9} m/sec. Die Länge des Saugers beträgt 51 m. Aus Gleichung (5) folgt:

$$E = \frac{2 \cdot k \cdot l}{Q} H^2 = \frac{2 \cdot 10^{-9} \cdot 51 \cdot 1000 \cdot 0,81}{0,035} = 0,0023 \text{ m } ???$$

Man sieht daraus, daß die Berechnung nach Gleichung (1), bzw. Gleichung (5) zu ganz unhaltbaren Resultaten führt.

Im Jahre 1931 führte Prof. J. Kozeny [3] eine andere Gleichung an. Sie lautet:

$$\frac{(x - e)^2}{k \cdot H^2} + \frac{y^2}{H^2} = 1, \quad (7)$$

worin q die durchsickerte Wassermenge pro Flächeneinheit bedeutet. Die Bedeutung der übrigen Bezeichnungen geht aus Abb. 18 hervor. Diese Gleichung stellt einen elliptischen Grundwasserspiegel dar. Für die große Halbachse der Ellipse gilt nach Kozeny

$$\frac{E}{2} = H \sqrt{\frac{k}{q}}.$$

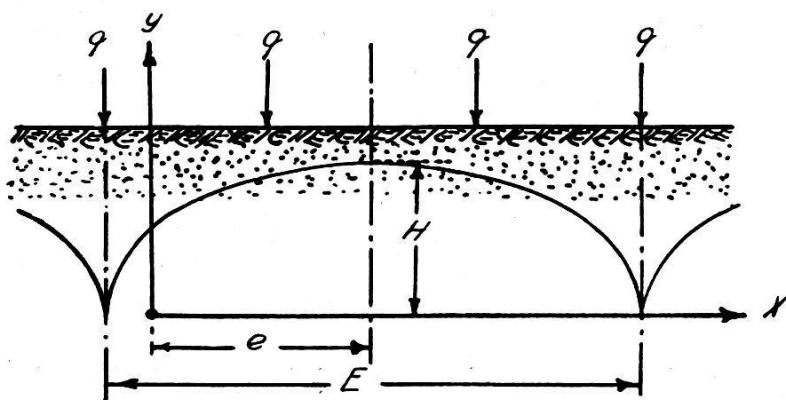


Abb. 18

[3] J. Kozeny, Wien, Über die Strangentfernung bei Dränungen, Der Kulturtechniker, 1931, S. 226.

Also ist die Drainentfernung

$$E = 2 \cdot H \sqrt{\frac{k}{q}} \quad (8)$$

Diese Gleichung wurde vorher von Rothe [4] und Diserens [5] abgeleitet. Darüber schreibt Kozeny: „Auch andere Autoren wie J. Rothe und Diserens haben die Gleichung abgeleitet, aber mit unzulässigen Annahmen, so daß die Übereinstimmung als zufällig bezeichnet werden muß.“

Überprüfung der Gleichung (8):

Die durchgesickerte Wassermenge q pro Flächeneinheit wird in Deutschland gleich 0,6 [6], in der Schweiz gleich 2,0 secl/ha angenommen. Im allgemeinen beträgt H im Mittel 1,0 m. Setzen wir nun diese Werte in Gleichung (8) ein, so berechnet sich die Drainentfernung zu

$$E_{\text{Deutschland}} = 2 \sqrt{\frac{k \cdot 1000 \cdot 10^4}{0,6}} = 2 \sqrt{\frac{k \cdot 10^7}{0,6}} \quad (9)$$

$$\text{und } E_{\text{Schweiz}} = 2 \sqrt{\frac{k \cdot 1000 \cdot 10^4}{2}} = 2 \sqrt{\frac{k \cdot 10^7}{2}} \quad (10)$$

Für durchlässige Sandböden mit $k = 10^{-5}$ m/sec erhalten wir:

$$E_D = 26 \text{ m und } E_S = 14 \text{ m.}$$

In Wirklichkeit beträgt E für solche Böden wesentlich mehr als 14 bis 26 m.

Für bindige Böden mit $k = 10^{-7}$ m/sec erhalten wir:

$$E_D = 2,6 \text{ m und } E_S = 1,4 \text{ m.}$$

Diese Werte können unmöglich richtig sein. Deshalb kann auch die Gleichung (7) bzw. Gleichung (8) nicht allgemein angewendet werden.

Noch andere Autoren wie Colding, Zunker, Lendemann usw. haben ähnliche Gleichungen aufgestellt. Alle beruhen mehr oder weniger auf den schon erwähnten Voraussetzungen, die nur in sehr seltenen Fällen zutreffen.

Daneben müßte noch eine weitere, sehr wichtige Bedingung erfüllt sein. Sie lautet: „Die in den Boden eingesickerte Wassermenge pro Zeiteinheit muß gleich sein derjenigen, die aus dem Boden fließt.“ Es muß also ein sogenannter „Beharrungszustand“ herrschen, d. h. die Bewegung des Wassers muß „stationär“, „permanent“ sein. Eine solche Bewegung

[4] J. Rothe, Die Strangentfernung bei Dränungen im Mineralboden, Der Kulturtechniker, 1929, S. 155.

[5] E. Diserens, Congrès de l'eau en Crau, Paris 1930, S. 67.

[6] Spöttle, Handbuch der Ingenieurwissenschaften III/VII, 4. Aufl., S. 144, gibt an: für sehr schweren Tonboden $q = 0,35$ bis $0,5$ secl/ha, für gewöhnlichen Dränboden $q = 0,5$ bis $0,7$ und für durchlässigen Boden q mehr als $0,7$ secl/ha.

stellt sich aber nur in einem Wasserträger ein, z. B. im Falle eines Brunnens für eine Wasserversorgung, oder bei einem Pumpversuch für die Bestimmung des k -Wertes. Dort darf auch keine Beobachtung für die Auswertung benutzt werden, solange der „Beharrungszustand“ nicht erreicht ist. In schweizerischen Meliorationsgebieten handelt es sich aber meistens nicht um die Entwässerung von Grundwasserträgern, sondern um eine solche von Böden, deren Nässe in der Hauptsache auf ihre große Wasserkapazität und auf die Niederschläge zurückzuführen ist. Es ist deshalb klar, daß die Bewegung des Wassers in solchen Böden niemals stationär sein kann. Deshalb ist die Hauptbedingung, auf der die Gleichungen (1) und (7) basieren, nicht erfüllt, und damit fällt auch deren Anwendung für die Bestimmung der Drainabstand nicht in Betracht.

Die Gleichung (1) besagt, daß der abgesenkte Grundwasserspiegel eine *Parabel* bildet. Dagegen stellt Gleichung (7) eine *Ellipse* dar. In Abb. 19 ist der gemessene Grundwasserspiegel-Verlauf beim Sauger *B* vor und nach einer Regenperiode aufgezeichnet. Da die Gleichungen (1) und (7) keine praktischen Resultate liefern, haben wir für die Beurteilung der gemessenen G.W. Sp.-Formen versucht, sie in zwei Ellipsen von der Form $x^2/B^2 + z^2/H^2 = 1$ (Koordinatennullpunkt O_1), oder in zwei Parabeln von der Form $x = B/H^2 \cdot z^2$ (Koordinatennullpunkt O_2), für $H = H_1$ bzw. H_2 zu kleiden. Diese sind ebenfalls in Abb. 19 dargestellt.

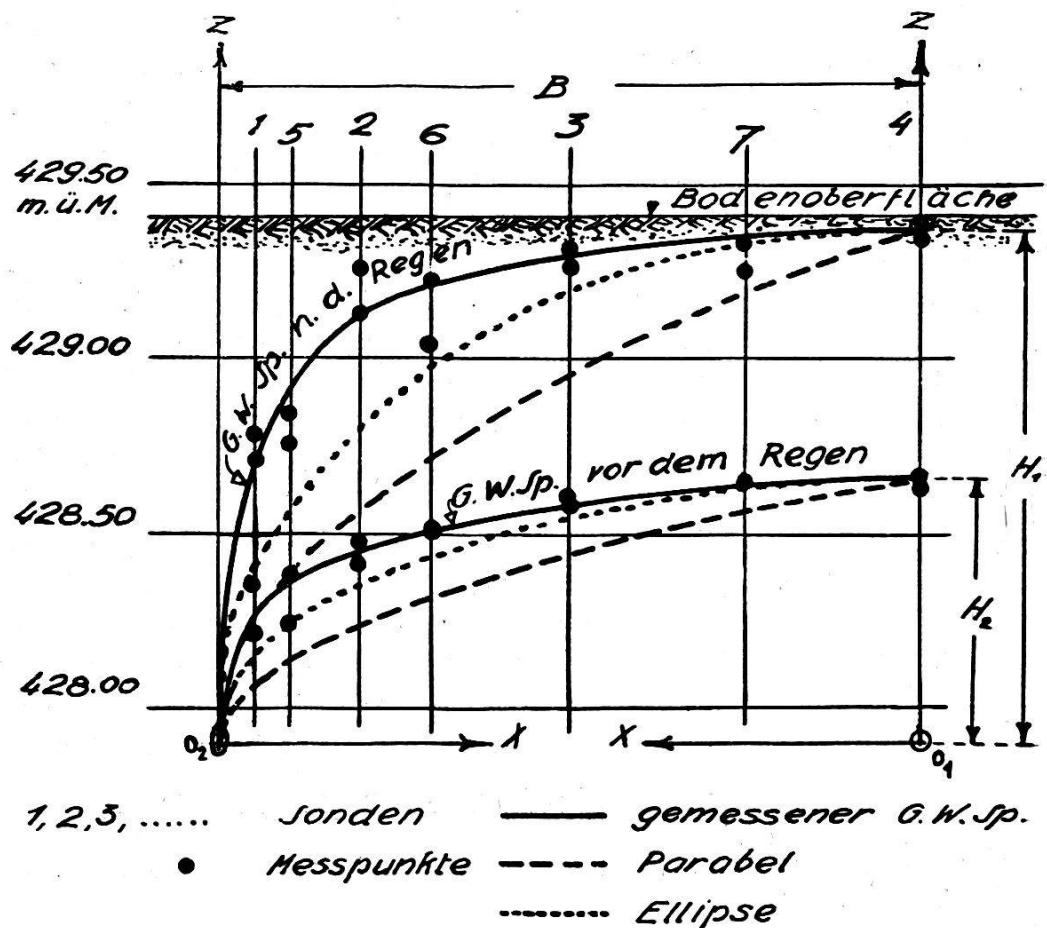


Abb. 19

Es zeigt sich, daß die gemessenen G.W.Sp. und die so berechneten Kurven voneinander abweichen. Im weiteren ergibt sich, daß der gemessene G.W.Sp. weder eine Parabel, noch eine Ellipse bildet, sondern irgend eine Kurve, die sicher von Fall zu Fall, je nach den Boden- und Niederschlagsverhältnissen variiert. Für durchlässige Böden ist die Kurve flach, bei sehr bindigem Material ist sie sehr steil und für Böden mit einer mittleren Durchlässigkeit liegt sie zwischen den beiden.

Es ist überhaupt fraglich, ob die wirkliche G.W.Sp.-Kurve zwischen zwei Drains völlig gleichmäßig und symmetrisch verläuft. Darüber schreibt Prof. Dr. Rothe [4] folgendes: „Die überall vorhandenen kleinen Wasserführungen im Boden, die ganz unregelmäßig verlaufen, verhindern eine gleichmäßig gewölbte Grundwasserkurve. Die Unregelmäßigkeiten *muß man* aber unberücksichtigt lassen, wenn man zu formelmäßigen Werten kommen will.“

Warum *muß man* unbedingt zu formelmäßigen Werten kommen, wenn diese auf Grund von Gleichungen berechnet werden, deren Voraussetzungen in der Natur gar nicht zutreffen?

Die Inhomogenität der Böden und ihr Verhalten zur Wasseraufnahme und Wasserabgabe durch Verdunstung und Entwässerung sind so verschieden, daß wir von einer rein theoretischen Gleichung, die für alle Bodenarten passend ist, vorläufig absehen müssen.

Die empirischen Beziehungen für die Bestimmung der Drainidistanz

Solche Beziehungen wurden von vielen Autoren, z. B. Kopecky [7], Gerhardt [8], Ganz [9] und Fauser [10], erfahrungsgemäß aufgestellt. So hat Fauser ein Graphikon entwickelt, aus dem auf Grund des prozentualen Gehaltes an feinsten abschlämmbaren Teilchen die Drainidistanz für verschiedene Draintiefen ermittelt werden kann (Abb. 20). Die hieraus abgelesene Drainidistanz wird als „Grunddrainentfernung“ bezeichnet. Je nach Kulturart, Gefälle des Terrains, Bodendichte, Niederschlagshöhe usw. wird die so ermittelte „Grunddrainentfernung“ vergrößert oder verkleinert.

Das Verfahren von Fauser stützt sich auf die sogenannte Schlämmanalyse der aufgekochten Bodenprobe. Die Drainentfernung wird als Funktion des Prozentsatzes der feinsten abschlämmbaren Teilchen ermittelt, ohne Berücksichtigung des Bodenzustandes in seiner natürlichen Lagerung. Auch wird die Anwesenheit von Wurzel- und Wurmängen, BodenrisSEN usw. nicht in Betracht gezogen. Die Bodenart wird einfach nach der vorherrschenden Korngröße klassifiziert. Dabei spielt im Verhalten der Böden zu Wasser neben der *Korngröße* aber auch die *Kornform* eine wesentliche Rolle. Bei Böden, die bis zu ihrer Ablagerung einen

[7] Handbuch der Bodenkunde VI. Bd., Berlin 1930, Kapitel 2, das Verhalten des Bodens zum Wasser.

[8] Siehe J. Rothe, die Strangentfernung bei Dränungen, Landw. Jahrbücher, Bd. 59, S. 488.

[9] Siehe E. Krüger, Kulturtechnischer Wasserbau, Berlin 1921, S. 127.

[10] O. Fauser, Meliorationen I. Bd. Allgemeines, Entwässerung, Berlin 1921.

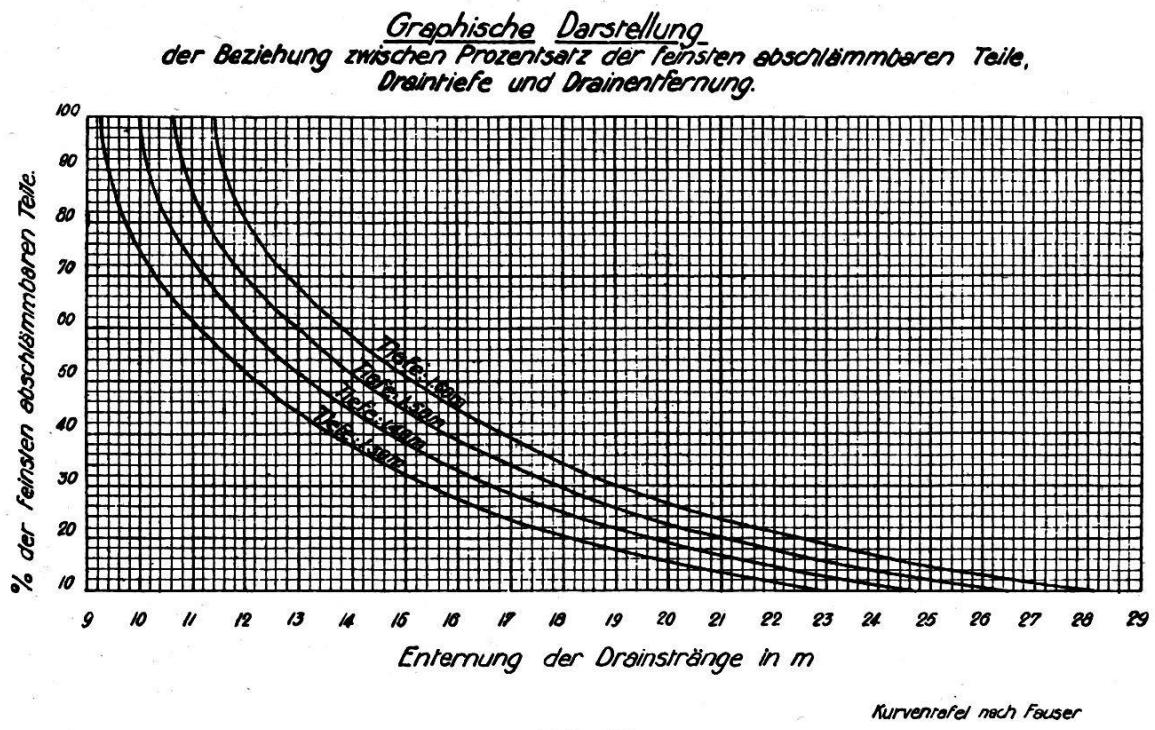


Abb. 20

kurzen Weg zurückgelegt haben, sind die Gesteinstrümmer kantig oder kantengerundet, während die durch Eis, Wasser oder Wind weit beförderten Körner in der Regel gut abgerollt sind.

Die Erforschung des Feingefüges der kolloidalen Tonmasse hat gezeigt, daß zur Zeit wenigstens vier Tonminerale röntgenoptisch und chemisch unterscheidbar vorliegen [11]: „Kaolinit, Montmorillonit, ein unbekanntes Tonmineral und Halloysit.“ Je nach dem Vorherrschen des einen oder anderen ist das Verhalten der Tonböden verschieden.

Es ist auch zu beachten, daß die Porosität (auch absolute Porosität genannt) $n = \frac{\text{Porenvolumen}}{\text{Gesamtvolumen}} \cdot 100$ von der Lagerungsart abhängig ist und bei den wasserbindenden Feinsedimenten an und für sich eine wenig bestimmte Größe darstellt.

Zusammenfassend stellen wir fest, daß je nach Lagerungsdichte, Kalkgehalt, Wassergehalt, Eisenverbindungen, Anteil an organischen Bestandteilen, absolute Porosität usw. die Durchlässigkeiten, bzw. die Drainabstände für Böden mit denselben Korngrößen, verschieden sein müssen. Deshalb kann die Korngröße allein auch für die Bestimmung der zweckmäßigen *Grunddrainabstand* nicht maßgebend sein. Die Beziehung von Fauser ist deshalb nicht einwandfrei.

Eine Benennung der Bodenart allein nach ihrer Kornzusammensetzung ist für kulturtechnische Zwecke nicht maßgebend. Denn einerseits verhalten sich unter den oben erwähnten, verschiedenen Umständen zwei

[11] B. Tiedemann, Über Bodenuntersuchungen bei Entwurf und Ausführung von Ingenieurbauten, Berlin 1942.

lehmige Bodenarten mit demselben Anteil an abschlämmbaren Teilchen, vollkommen anders. Andererseits kann ein humoser Lehm denselben k -Wert haben wie ein leicht sandiger Lehm. Die Grunddraindistanz müßte dann in den beiden Fällen auch gleich sein, obwohl sie sicher nach der Schlämmanalyse in jedem Fall anders ist.

Gestützt hierauf schlagen wir vor, die Böden nicht nach ihrer Kornzusammensetzung, sondern nach ihrer Durchlässigkeitsziffer in ihrer natürlichen Lagerung zu klassifizieren, da diese Durchlässigkeitsziffer alle physikalischen und chemischen Einflüsse des Bodens schon in sich schließt.

Es ist hier zu beachten, daß die Durchlässigkeitsziffer keine Materialkonstante ist, sondern eine Funktion der vorhandenen Porenvolumen, Bodenrisse, Wurmgänge usw. Deshalb eignet sie sich eben für die vorgeschlagene Bodenklassifikation, resp. für die Aufstellung einer Beziehung zwischen dem k -Wert und der Draindistanz. Da die letztere auch von der Draintiefe t abhängig ist, empfiehlt es sich, die Beziehung zwischen E/t und k darzustellen. Dieses wird nur auf Grund zahlreicher Beobachtungen und Messungen auf verschiedenen, schon entwässerten Gebieten möglich sein.

Im fernern hängt die Draindistanz noch von der sogenannten „Wasserergiebigkeit“ ab, auf deren Behandlung wir im nachfolgenden Kapitel näher eintreten.

IV. Einiges über die Ergiebigkeit

Die in einem Entwässerungsgebiet überschüssige Wassermenge pro Zeit- und Flächeneinheit, die man durch Drainage entfernen muß, bezeichnen wir mit „Ergiebigkeit“. In der Regel wird diese in secl/ha ausgedrückt. Sie bildet für die Berechnung der Drainrohrweite die Grundlage und spielt auch bei der Bestimmung der Draindistanz eine große Rolle. Je größer die Ergiebigkeit ist, um so kleiner muß die Drainentfernung gewählt werden. Bei der Projektierung eines Entwässerungsgebietes ist es deshalb notwendig, Anhaltspunkte über die Größe der Ergiebigkeit zu erhalten.

E. Bachmann [12], gibt einen q -Wert von 0,75 secl/ha an. Für niederschlagsreiche Gebiete, wo häufige, wolkenbruchartige Regenfälle zu erwarten sind, verlangt er 0,85 secl/ha .

Nach bisheriger Praxis basieren die schweiz. Entwässerungsprojekte auf einem bedeutend höheren q -Wert von 2 secl/ha , dennur das sogenannte Eigenwasser oder das auf der Meliorationsfläche eingesickerte Niederschlagswasser erfaßt. Bei Vorhandensein von sogenanntem Fremdwasser, herrührend aus Grundwasser, Quellen, Tagwasserläufen usw. muß der q -Wert entsprechend vergrößert werden.

Bachmann führt eine graphische Darstellung des Einflusses der

[12] E. Bachmann, die Bestimmung von Drainentfernungen, Schweiz. Zeitschrift für Vermessung und Kulturtechnik, 11. August 1942.

Niederschlagsmengen an, aus der die Abzüge, resp. Zuschläge der normalen Draindistanzen, bei Niederschlagshöhen weniger, resp. mehr als 1000 mm abzulesen sind, unbekümmert darum, ob der Boden aus dichtem oder durchlässigem Material besteht.

Es ist keinesfalls so, daß bei einer gegebenen Regenhöhe die Sickerwassermenge in allen Bodenarten gleich ist. Deshalb dürfen die Draindistanzen zweier verschiedener Bodenarten bei derselben Regenhöhe nicht in gleichem Maße variiert werden.

Auch ist die Ergiebigkeit keine Funktion der Niederschläge allein, sondern hauptsächlich eine solche des in den Boden eingesickerten Anteiles der Regenmenge. Sie muß deshalb für jede Bodenart anders, weder zu 0,75 noch zu 2,0 secl/ha gewählt werden.

Diese Tatsache haben einige Forscher der Kulturtechnik berücksichtigt. Krüger [13] schätzt z. B. bei sehr schwerem, mittelschwerem und leichtem Boden q -Werte von 0,4, 0,5 und 0,6 secl/ha. Spöttle [6], gibt an:

für sehr schweren Tonboden	0,35—0,50 secl/ha
für gewöhnlichen Drainboden	0,50—0,70 secl/ha
und für durchlässigen Böden	mehr als 0,70 secl/ha

Schroeder [14] stellt für schwere, mittelschwere und leichte Böden die folgende Tabelle 1 auf:

Mittlerer Jahresniederschlag	Für schwere und mittelschwere Böden q in secl/ha	Für leichte Böden q in secl/ha
Unter 650 mm	0,40	0,55
650—750 mm	0,40—0,55	0,55—0,70
Über 750 mm	0,55—0,70	0,70—0,85

Obwohl diese Werte für schweizerische Verhältnisse als klein zu bezeichnen sind, zeigen sie uns doch die Abhängigkeit der Ergiebigkeit von der Bodenart.

Diese Zusammenhänge sind bis heute noch nicht abgeklärt. Deswegen versuchen wir im folgenden auf ihre Behandlung einzutreten.

1. Das Verhältnis zwischen den Niederschlags-, Verdunstungs-, Sickerungs- und Abflußmengen.

Bezeichnet man die Niederschlagsmenge innerhalb einer bestimmten Zeit und bezogen auf eine horizontale und *kalte* Erdoberflächeneinheit mit q_r , die Verdunstungsgröße während derselben Zeit und auf derselben

[13] Krüger, Kulturtechnischer Wasserbau, S. 130.

[14] Schroeder, Landwirtschaftlicher Wasserbau, Berlin 1937, S. 200.

Flächeneinheit mit q_v , die versickerte Wassermenge mit q_s , und den an der Oberfläche verbleibenden Anteil mit q_a , so gilt die Beziehung:

$$q_r = q_v + (q_s + q_a) \quad (11)$$

Die Mengen q_r und q_v können ziemlich genau mittels des Regen-, bzw. Verdunstungsapparates gemessen werden, so daß sich der Wert $(q_s + q_a)$ aus der Gleichung (11) berechnen läßt. Dieser ist nichts anderes als die Ergiebigkeit, die wir in einem horizontalen, kahlen Gebiet durch Drainage entfernen müssen.

2. Die Sickerwassermenge

Die durchgesickerte Wassermenge q_s , d. h. die Größe des Niederschlagsanteiles, der in die oberen Bodenschichten eindringt, hängt ab von der Natur und Lagerung der Bodenteilchen, der Größe und Verteilung der Niederschläge und der Verdunstungsgröße. Einen Anhalt über die Größe der Versickerung in Prozenten der Regenhöhe bei horizontaler, kahler Erdoberfläche gibt Tabelle 2 [15].

Tabelle 2: Versickerungsprozente verschiedener Bodenarten

Bodenart	Versickerung in % der Regenhöhe
Tonboden	37,9
Lehm Boden	40,5
Lehmiger Sandboden	51,2
Sandboden	83,2

Nun hat aber auch die Vegetation einen bedeutenden Einfluß auf die Größe der Sickerwassermenge. Bezeichnen wir die durch die Pflanzen verbrauchte Wassermenge mit q_p , so gilt die Beziehung:

$$q_r = q_v + q_p + (q_s + q_a) \quad (12)$$

In dieser Gleichung bedeutet der Wert $(q_s + q_a)$ nichts anderes als die Ergiebigkeit in einem bepflanzten Gebiet. Diese Ergiebigkeit ist kleiner als diejenige eines kahlen Bodens und zwar um den Betrag q_p . (Vgl. Gleichung 11 und 12.)

Die Sickerwassermenge ist von der Durchlässigkeit, bzw. der Durchlässigkeitssiffer k eines Bodens abhängig. In einen durchlässigen Boden sickert während einer bestimmten Zeit mehr Wasser als in einen bindigen Boden während derselben Zeit und unter ähnlichen Pflanzen-, Temperatur- und Neigungsverhältnissen.

Betrachten wir nun einen bestimmten Boden, der mit einer ständig wachsenden Wassermenge beregnet wird. Anfänglich sickert der Regen ebenfalls ständig in den Boden ein, ohne daß etwas davon an der Oberfläche liegen bleibt oder abfließt. Von einer bestimmten Regenmenge an wird die Sickerwassermenge konstant. Der Überschuß des Regens bleibt von dieser Grenze an auf der Oberfläche liegen oder fließt ab. Die Sickerwassermenge bei dieser Grenze wollen wir mit „Schluckfähigkeit“ des Bodens bezeichnen.

3. Berechnung der Schlußfähigkeit eines Bodens.

Verläuft ein Gerinne in durchlässigem Material und besteht längs des benetzten Gerinneumfangs weder eine künstliche, noch eine natürliche Abdichtung, dann muß, falls der Grundwasserspiegel im angrenzenden Gelände tiefer liegt als der Wasserspiegel im Gerinne, das Wasser aus diesem in den Boden einsickern. Für einen schalenförmigen Gerinnequerschnitt von der Breite B und der Tiefe T (Abb. 21) läßt sich das Strömungsbild des Sickerwassers mit Hilfe der Abbildungsfunktion darstellen [16] bis [19]. Die Stromlinien $\psi = 0$ und $\psi = k(B + 2T)$ sind freie Oberflächen und bilden daher die Randstromlinien des Sickerungsbereiches. Der Unterschied der Stromfunktionswerte ψ stellt aber den Durchfluß dar, so daß die sekundlich in den Boden eindringende Wassermenge

$$q_s' = k(B + 2T) \text{ beträgt.} \quad (13)$$

Für die Berechnung der Einströmungsgeschwindigkeit gibt Dachler [2] die folgende Gleichung an:

$$V = \frac{k}{\sqrt{1 + \left(\frac{\pi \cdot T}{B + 2T}\right)^2 - \frac{2\pi \cdot T}{B + 2T} \sin \frac{\pi \cdot \psi}{k(B + 2T)}}} \quad (14)$$

[16] J. Kozeny, Grundwasserbewegung bei freiem Spiegel, Fluß- und Kanalversickerung, Wasserkraft und Wasserwirtschaft. H. 3. München 1931.

[17] H. C. D. P. De Vos, Das Strömen von Wasser durch Erddämme und deren Unterlage, Ref. Z. I. Int. Talsperrenkongreß, Stockholm 1933.

[18] V. V. Wedernikow, Versickerungen aus Kanälen, Wasserkr. H. 11 bis 13, 1934.

[19] W. F. Osgood, Funktionentheorie, I. Bd., 2. Aufl., S. 416, Berlin, 1912.

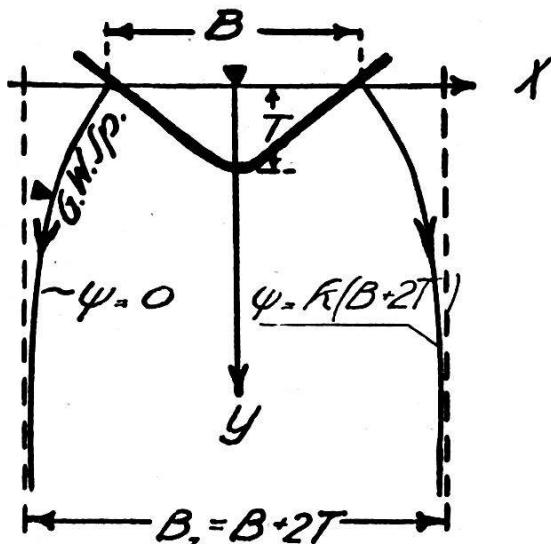


Abb. 21

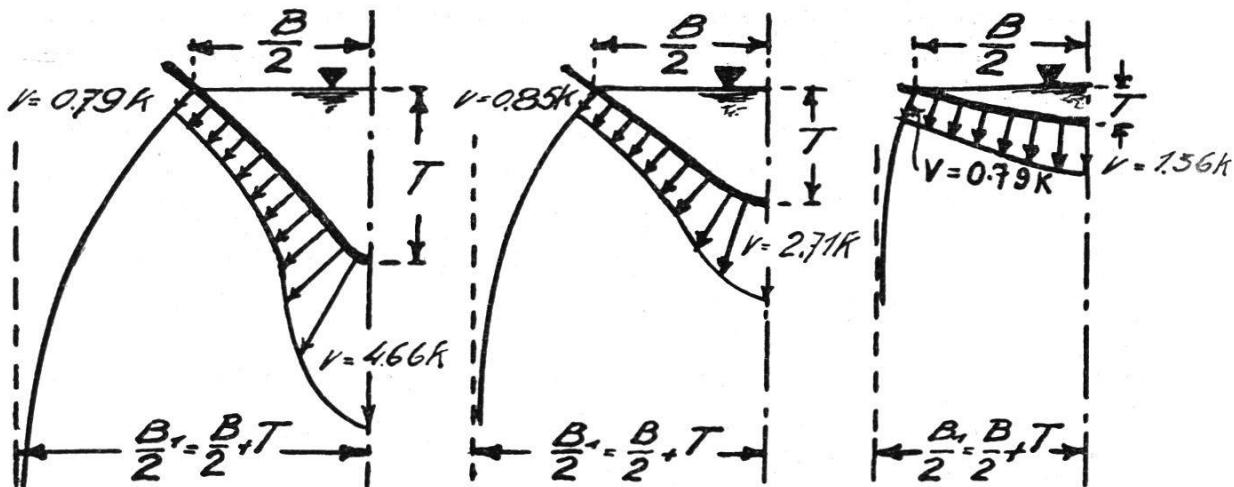


Abb. 22 (nach Dachler) [2]

In der Abb. 22 ist für die drei Fälle $B = 2 T$, $3 T$, und $10 T$ die Form des Strömungsbereiches und die Verteilung der Einströmungsgeschwindigkeit nach Gleichung (14) dargestellt. Aus dem Verlauf dieser Linien ist zu entnehmen, daß die Form des Gerinnes auf die Art und Größe der Versickerung von maßgebendem Einfluß ist. Ferner ist zu beachten, daß die Sickergeschwindigkeitsverteilung umso gleichmäßiger wird, je kleiner das Verhältnis der Tiefe T zur Breite B ist. *Im Grenzfall, bei dem B sehr groß ist im Verhältnis zu T , wird die Filterbewegung lotrecht und gleichförmig. Folglich wird die Filtergeschwindigkeit, dem hydraulischen Gefälle $J = 1$ entsprechend, gleich der Durchlässigkeitsziffer k .* Dieses geht auch aus Gleichung (14) hervor, wenn man in dieser $T = 0$ einsetzt, es ergibt sich

$$V = k \quad (15)$$

Gleichung (13) liefert, mit $T = 0$ eingesetzt, $q_s' = k \cdot B$ (16)

q_s' ist die Sickerwassermenge, bezogen auf eine Fläche $= B \cdot 1$. Die gesamte Sickermenge auf eine Länge L wäre

$$Q_s = k \cdot B \cdot L \quad (17)$$

Auf eine ha bezogen wird $q_s = k \cdot 10^4 \text{ m}^3/\text{sec}/\text{ha}$.

Diese Sickerwassermenge ist die maximale Menge, die ein bestimmter Boden schlucken kann. Daher bedeutet sie dessen Schluckfähigkeit, oder $q_{sch} = k \cdot 10^4 \text{ m}^3/\text{sec}/\text{ha}$.

In secl/ha erhalten wir

$$\underline{q_{sch} = k \cdot 10^7 \text{ secl/ha}} \quad (18)$$

(k ist in m/sec einzusetzen).

Diese Beziehung ist linear und ist in Abb. 23 dargestellt.

4. Berechnung der Ergiebigkeit.

Wir betrachten zwei verschiedene Bodenarten, die mit derselben Regenmenge berechnet werden. Die eine habe einen großen k -Wert k_1 ,

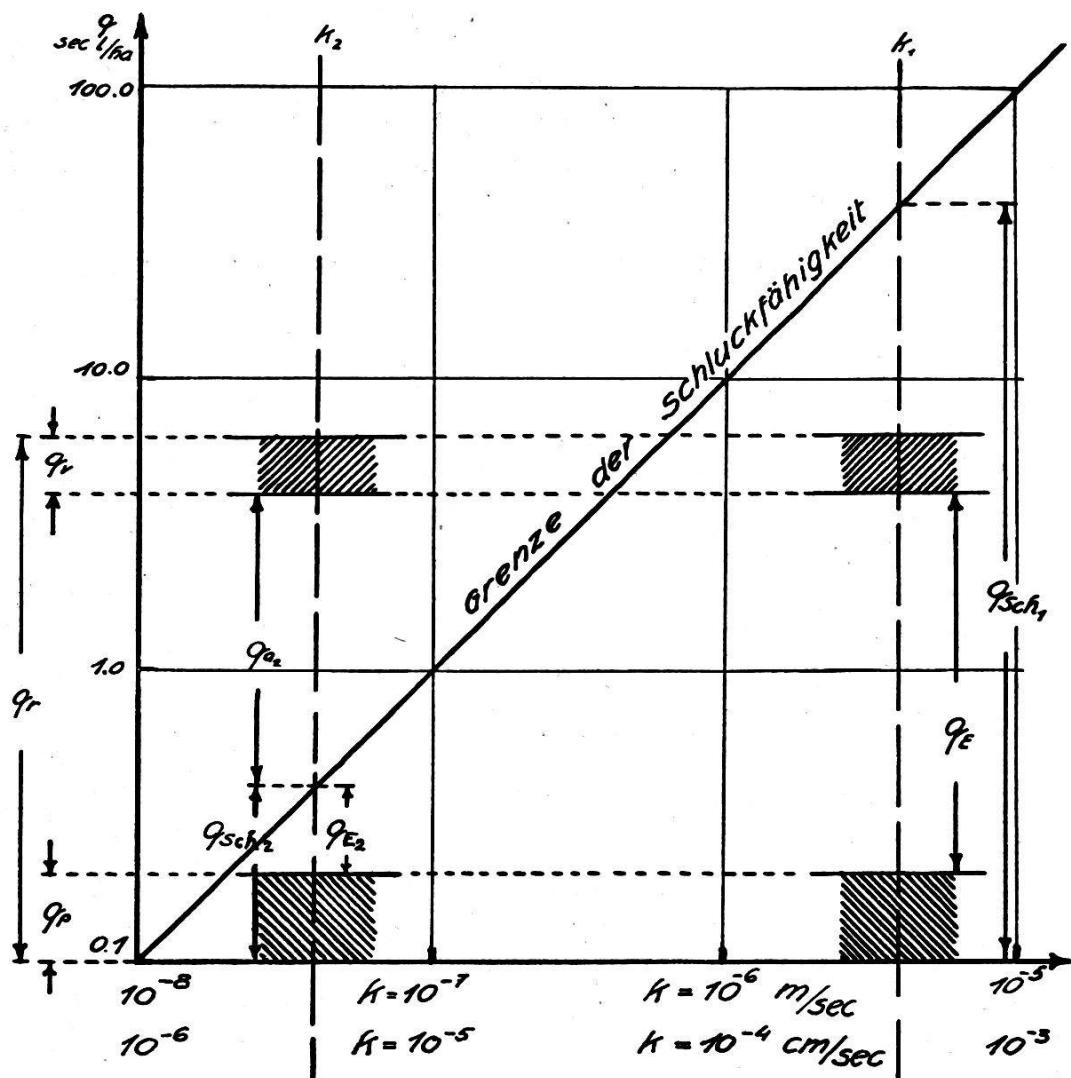


Abb. 23 (q und k sind logarithmisch aufgetragen)

bzw. eine große Schluckfähigkeit q_{sch1} , und die andere besitze einen kleinen k -Wert k_2 , bzw. eine kleine Schluckfähigkeit q_{sch2} . Zum Vergleich zwischen den beiden Bodenarten setzen wir voraus, daß bei beiden die Verdunstung an der Oberfläche sowie der Wasserbedarf der Pflanzen gleich sei, also $q_{v1} = q_{v2}$ und $q_{p1} = q_{p2}$ (siehe Abb. 23). Hieraus ist folgendes zu entnehmen:

a) Bei der Bodenart 1 ist $(q_r - q_v)$ kleiner als q_{sch1} . Hier sickert also die ganze Menge $(q_r - q_v)$ in den Boden ein. Die Ergiebigkeit ist demnach gleich

$$q_{E1} = (q_r - q_v) - q_p \quad (19)$$

b) Bei der Bodenart 2 ist $(q_r - q_v)$ größer als q_{sch2} , und zwar um die Menge q_{a2} . Diese bleibt an der Oberfläche liegen. Die Ergiebigkeit ist in diesem Fall gleich

$$q_{E2} = (q_r - q_v) - q_p - q_{a2} \quad (20)$$

oder

$$q_{E2} = q_{sch2} - q_p \quad (21)$$

Zahlenbeispiele:

Beispiel 1: In einem Meliorationsgebiet sei die mittlere Durchlässigkeitssiffer des Bodens $k = 2,5 \cdot 10^{-5}$ cm/sec = $2,5 \cdot 10^{-7}$ m/sec, und die Regenhöhe eines 24stündigen Regens = 150 mm. Gesucht ist die Ergiebigkeit.

$$\begin{aligned}\text{Die totale Regenwassermenge auf einer ha} &= \frac{150}{1000} \cdot 10^4 \cdot 1000 \\ &= 150 \cdot 10^4 \text{ l.}\end{aligned}$$

Für die Berechnung von q_r sollten wir die maximale Zeit kennen, während der die Pflanzen ohne Schaden unter Wasser gesetzt werden dürfen. Da wir hierüber aber nur dürftige Angaben besitzen, wollen wir für unser Beispiel eine ziemlich empfindliche Pflanzenart annehmen, die nicht mehr als 2×24 Stunden (wie z. B. Kartoffeln) unter Wasser gesetzt werden kann. Unter dieser Bedingung muß die Wassermenge von $150 \cdot 10^4$ l/ha nach 2×24 Stunden schon entfernt sein. Daraus rechnet sich q_r zu:

$$q_r = \frac{150 \cdot 10^4}{2 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60} = 8,7 \text{ secl/ha.}$$

Ferner nehmen wir an, daß die Verdunstungsgröße während 24 Stunden gleich 5 mm sei. Dieses ergibt:

$$q_v = \frac{5 \cdot 10^4 \cdot 2}{24 \cdot 60 \cdot 60} = 1,16 \text{ secl/ha.}$$

Also $(q_r - q_v) = 8,7 - 1,16 = \underline{7,54 \text{ secl/ha.}}$

$$\begin{aligned}\text{Nun rechnen wir die Schluckfähigkeit } q_{sch} &= k \cdot 10^7 = 2,5 \cdot 10^{-7} \cdot 10^7 \\ &= \underline{2,5 \text{ secl/ha.}}\end{aligned}$$

Das heißt, daß $(q_r - q_v)$ größer ist als die Schluckfähigkeit q_{sch} . In diesem Fall rechnet sich die Ergiebigkeit nach Gleichung (21). Sie lautet:

$$q_E = q_{sch} - q_p \tag{21}$$

Nimmt man q_p (in 2×24 Stunden) beispielsweise gleich 0,24 secl/ha an, so erhalten wir: $q_E = 2,50 - 0,24 = \underline{2,26 \text{ secl/ha.}}$

Gestützt hierauf stellen wir fest, daß eine Wassermenge

$$q_a = (q_r - q_v) - q_{sch} = 7,54 - 2,50 = 5,04 \text{ secl/ha}$$

an der Bodenoberfläche liegen bleibt (siehe auch Abb. 23).

Ist die Bodenoberfläche so geneigt, daß diese Menge abfließt, so ist die Bedingung, daß die betreffende Pflanzenart nicht mehr als 2×24 Stunden ohne Schaden zu nehmen unter Wasser bleiben darf, schon erfüllt. Die an der Oberfläche abfließende Wassermenge q_a muß aber bei der Berechnung der Vorfluter berücksichtigt werden. Diese sind für einen Gesamtwasserabfluß von $2,26 + 5,04 = 7,30 \text{ secl/ha}$ zu dimensionieren.

Ist die Bodenoberfläche aber horizontal, so kann die Menge q_a nicht abfließen. Sie beträgt pro ha $5,04 \cdot 2 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 865\,000$ l. Diese bleibt an der Oberfläche liegen und wird, sofern kein neuer Regen eintritt, allmählich versickern und verdunsten.

Es zeigt sich also, daß dieser Boden für die betreffende Pflanzenart nicht geeignet ist. Muß jedoch ihre Kultivierung trotzdem erfolgen, so kann dies nur dann geschehen, wenn vorher die Schluckfähigkeit des Bodens, bzw. seine Durchlässigkeit, künstlich erhöht wird. Dies geschieht entweder mechanisch durch Tiefpflügen oder chemisch durch Zugabe von Kalk usw. Bei einem Drainageprojekt muß demnach die Zunahme der Ergiebigkeit, infolge der neuen vergrößerten Schluckfähigkeit des Bodens, berücksichtigt werden.

Beispiel 2: Hierin behalten wir alle im Beispiel 1 erwähnten Angaben über Regenhöhe, Verdunstungsmaß, Durchlässigkeitsziffer k und Wasser- verbrauch der Pflanzen bei und variieren nur die Pflanzenart. Letztere sei weniger empfindlich und dürfe z. B. 4 Tage unter Wasser gesetzt werden. In diesem Fall rechnet sich q_r zu:

$$q_r = \frac{150 \cdot 10^4}{4 \cdot 86400} = 4,35 \text{ secl/ha},$$

und $q_v = \frac{5 \cdot 10^4 \cdot 4}{86400} = 2,32 \text{ secl/ha}.$

$(q_r - q_v)$ wird demnach gleich $4,35 - 2,32 = 2,03$ secl/ha. Das wäre nun kleiner als $q_{sch} = 2,50$ secl/ha, weshalb alles Wasser versickert. Die Ergiebigkeit rechnet sich also nicht mehr nach Gleichung (21), sondern nach Gleichung (19). Letztere lautet: $q_E = (q_r - q_v) - q_p$. Nimmt man den Pflanzenwasserverbrauch q_p in 4 Tagen doppelt so groß an wie denjenigen in 2 Tagen, so beträgt $q_p = 2 \cdot 0,24 = 0,48$ secl/ha (vgl. Beispiel 1).

Setzen wir diese Werte in Gleichung (19) ein, so erhalten wir:

$$q_E = 2,03 - 0,48 = \underline{1,55 \text{ secl/ha.}}$$

Wir kommen also zum Schluß, daß für *dieselbe Bodenart* die Wasser- ergiebigkeit je nach Pflanzenart ändert.

Zusammenfassend stellen wir fest, daß die Ergiebigkeit von der Durchlässigkeit des Bodens, den Regen- und Verdunstungsverhältnissen und vom Pflanzenwasserverbrauch abhängig ist.

Die Durchlässigkeitsziffer des Bodens, bzw. seine Schluckfähigkeit läßt sich mit Hilfe der sogenannten Sickerrohrmethode ermitteln [1].

Die Regenhöhe und die Verdunstungsgröße kann man ziemlich genau mittels der Regen-, bzw. Verdunstungsapparate messen.

Den Wasserverbrauch der Pflanzen drückt man in der landwirtschaftlichen Literatur als Vielfaches der geernteten Trockenmasse aus. So sind z. B. für Wiesen und Weiden 350 bis 600 l, für Klee und Getreide 300 bis 500 l, für Hülsenfrüchte 250 bis 400 l und für Hackfrüchte 200 bis 300 l Wasser zur Produktion von 1 kg Trockenmasse erforderlich.

In der Kulturtechnik kennzeichnet man aber den Wasserbedarf der Pflanzen durch die Höhe einer Wasserschicht, die man sich über der bewachsenen Bodenfläche denkt. Unter Berücksichtigung des Wassergehaltes der Pflanzen und der Literzahlen je kg Trockenmasse ergeben sich dann für mittlere und hohe Ernten folgende Wasserhöhen (ohne Bodenverdunstung):

Tabelle 3: Wasserverbrauch der Pflanzen in mm Wasserhöhen [14]

Pflanzenart	Ertrag in dz/ha			Wassergehalt in Gewichts %	Wasserbedarf in mm für	
	gering	hoch	mittel		mittlere Ernten	hohe Ernten
Getreide:						
Korn	10	40	20	14–16	130–210	305–510
Stroh	20	80	30	14–16		
Kartoffeln:						
Knollen	100	320	180	75–85	85–130	160–235
Kraut	30	100	50	80–90		
Zuckerrüben:						
Wurzeln	220	500	300	75–85	180–270	320–480
Kraut	120	400	200	80–90		
Erbsen:						
Samen	10	40	15	14–16	85–135	210–340
Stroh	20	60	25	14–16		
Luzerne:						
Lufttrocken	50	160	80	14–16	205–340	410–680
Wiesenheu:						
Lufttrocken	40	100	60	14–16	180–305	300–510

(Fortsetzung folgt)

Société suisse des Géomètres

Rapport

sur la 39^e assemblée générale des 17 et 18 juin à Lausanne et Montreux

La Société suisse des Géomètres a tenu ses assises à Lausanne, à l'occasion de sa 39^e assemblée générale, dans la salle du Conseil communal, à l'Hôtel de Ville, le 17 juin 1944. La séance est ouverte à 11 heures sous la présidence distinguée de Monsieur le professeur Bertschmann, géomètre en chef de la ville de Zurich. A l'ordre du jour figuraient notamment des délibérations concernant les tarifs et contributions, le personnel auxiliaire.

Cette assemblée terminée, les participants se réunirent dans les