
HYDROLOGISCHE BODENKENNWERTE: Methoden der Ermittlung
und Bedeutung ihrer zentralen Erfassung

H. SCHLACHTER, HTL Graz

Zusammenfassung

Durch eine kritische Betrachtung der Bodenkennwerte für hydrologische Aussagen soll eine Diskussionsgrundlage geschaffen werden, um einerseits jene Größen auszuwählen, die für die meisten Anwender von Interesse sind, und andererseits den Anstoß bringen eine Vereinheitlichung der Bestimmungsmethoden zu bewirken. Damit sollte dann auch eine spätere zentrale Erfassung möglich erscheinen.

Für die mathematische Formulierung von Gesetzmäßigkeiten des Bodenwasserhaushaltes bzw. die modellmäßige Nachbildung von Vorgängen der Wasserspeicherung und des Wassertransportes im Boden müssen dessen hydrologischen Eigenschaften bekannt sein. In der Wasserwirtschaft mit ihren verschiedenen Teilgebieten wie Siedlungswasserwirtschaft, Wasserkraftwirtschaft, Flußbau, Hydrologie u.a.m. geht es in erster Linie darum diese Eigenschaften in einfache charakteristische Parameter zusammenzufassen. Dazu werden meist nur die physikalischen Eigenschaften des Bodens untersucht, der hier als Sammelbegriff für alle anorganische und organische Lockergesteine verwendet wird. Derzeit werden verschiedene Wasserhaushaltskenngrößen des Bodens als Grundlage zur Erstellung von Wasserbauprojekten von Geologen, Hydrologen, Bodenkundlern und Bauingenieuren mit unterschiedlichsten Methoden bestimmt und sind dann nur einem kleinen Personenkreis bekannt und zugänglich. Die Randbedingungen sowie die Ermittlungsmethoden können aber abgeschätzt und entsprechend berücksichtigt werden.

Durch eine zentrale Erfassung möglichst vieler schon ermittelte, vorallem aber der künftig noch zu bestimmende Kenngrößen, könnten Zeit und auch Kosten eingespart werden. Die Voraussetzung dazu wäre jedoch eine Vergleichbarkeit der von verschiedenen Institutionen ermittelten Kenngrößen.

Im Sinne dieser Veranstaltung, Ideen zu fördern bzw. Diskussionsgrundlagen zu liefern, werden im Folgenden die heute üblicherweise ermittelten Bodenkennwerte kurz vorgestellt, um damit vielleicht einen Anstoß zu geben die Bestimmungsmethoden weiter zu vereinheitlichen, bzw. jene Bodenkennwerte auszuwählen und zu diskutieren, die für alle Befassten gemeinsam von Interesse sind.

1. Definitionen der hydrologischen Bodenkennwerte und deren Aussagemöglichkeiten.

Zur Beschreibung der unterschiedlichen Fähigkeiten von Böden Wasser zu speichern und zu transportieren werden 3 verschiedene Gruppen von Kennwerten herangezogen.

1.1 Kennwerte zur Beschreibung der festen Bestandteile des Bodens.

Die das Feststoffgerüst bildenden Bestandteile des Bodens unterscheiden sich in erster Linie in Größe, Form und Material der Einzelbestandteile.

1.1.1 Korngröße - Korngrößenverteilung

Für die siebbaren Bestandteile des Bodens (Teilchen größer als 0,063 mm) wird als Korngröße die Nennweite (lichte Weite der Sieböffnungen) jenes Prüfsiebes angegeben, durch die das zu bezeichnende Teilchen gerade noch hindurchgeht. Für die feineren Partikeln kann nur ein rechnerischer Durchmesser eines Kornes gleicher Sedimentationsgeschwindigkeit als Korngröße bestimmt werden.

Der Anteil einer bestimmten Korngröße wird als Prozentsatz der Gesamttrockenmasse angegeben. Eine übersichtliche Darstellung der Korngrößenverteilung erfolgt als Summenkurve, der Körnungslinie. Ein Vergleich verschiedener Böden ist durch die Körnungslinie relativ gut möglich.

Um kürzere und einfachere Beschreibungen und Vergleiche machen zu können beschränkt man sich häufig auf die Angabe von kennzeichnenden Durchmessern. Eine weitere Vereinfachung ist die verbale Beschreibung der Böden nach den Hauptbestandteilen, wie Steine, Kies, Sand, Schluff und Ton, z.B. schluffiger Sand u. dgl. Die großzügigste Unterscheidung erfolgt schließlich

durch eine Einteilung in bindige und nicht bindige Böden. Für hydrologische Fragen ist die Korngrößenverteilung sehr aufschlußreich. Es können damit schon gute Rückschlüsse auf die Wasser - Transport - und Wasserspeicherfähigkeit des Bodens gezogen werden.

1.1.2 Kornform - spezifische Oberfläche

Für die größeren Bodenkörner (größer als 4 mm) wird die Kornform als mittlere Verhältniszahl der größten zur kleinsten Kornabmessung, - durch den sogenannten Kornformindex - angegeben. Beschreibende Angaben, wie Rundkörnigkeit bzw. Kantkörnigkeit, sowie die Bezeichnung als plattige, nadelige u.ä. Körnungen sind üblich. Für feinkörnige Bodenteilchen erfolgt manchmal die Angabe der spezifischen Oberfläche in $[\text{cm}^2/\text{g}$ oder $\text{cm}^2/\text{cm}^3]$. Mit dieser Kenngröße können Faktoren ermittelt werden, die ein Maß für die Abweichung von der Kugelform darstellen.

Da vorallem die Fähigkeit des Bodens Wasser zu binden, außer von der Korngröße, noch von der spezifischen Oberfläche abhängt, ist diese Kenngröße für hydrologische Fragen von Bedeutung.

1.1.3 Anorganische - organische Bodenbestandteile

Für hydrologische Zwecke werden die Böden meist nur darauf untersucht ob und in welchem Ausmaß neben anorganischen auch organische Bestandteile vorhanden sind. Die Angabe des Glühverlustes in Prozenten der Trockenmasse, bzw. einer Vergleichsgröße bei Bestimmung durch chemische Oxidationsverfahren, ist hierfür ausreichend. Eine genauere Beurteilung ist Aufgabe der Bodenkunde.

In speziellen Fällen wird noch eine grobe Beurteilung der vorhandenen Mineralien als Kalk, Quarz, Glimmer, Ton bzw. eine Einteilung in lösliche und unlösliche Salze und Oxide getroffen. Diese Angaben über die festen Bodenbestandteile dienen in erster Linie zur Abschätzung des Wasserchemismus und der Herkunft eventueller Verunreinigungen im Wasser.

Zur Beurteilung von sehr undurchlässigen Böden ist es manchmal auch erforderlich die Art der vorliegenden Tonmineralien - z.B.: als Kaolinit, Illit, Montmorillonit usw. - zu bestimmen. Im allgemeinen ist aber die Einteilung in anorganische bzw. organische Böden ausreichend.

1.1.4 Korndichte

Die Masse der festen, trockenen Bodensubstanz bezogen auf das Feststoffvolumen wird als Korndichte ρ_s [g/cm³] bezeichnet. Dieser Kennwert erleichtert einerseits die grobsinnliche Beurteilung des Bodenausgangsgesteines und dient andererseits als Hilfsgröße zur Bestimmung des Hohlraumanteiles von Böden.

1.2 Kennwerte zur Beschreibung der Hohlräume im Boden.

Eine Kennzeichnung der Geometrie der Hohlräume im Boden ist für natürliche Böden nicht möglich, man beschränkt sich in der Hydrologie daher auf die Charakterisierung durch folgende Größen:

1.2.1 Trockendichte - Lagerungsdichte - Verdichtungsgrad

Die Trockendichte ρ_d [g/cm³] ist die Masse des trockenen Bodens bezogen auf das Gesamtvolumen inklusive aller Hohlräume. Wenn die Trockendichte und Korndichte bekannt sind, kann der Gesamthohlraumanteil eines ungestörten Bodens errechnet werden. Da Böden häufig nur als sogenannte gestörte Proben untersucht werden können, muß man, um den möglichen Schwankungsbereich des Anteiles der Hohlräume in natürlichen Böden abzuschätzen, mit genormten Verdichtungsarbeiten, abgrenzende Vergleichsgrößen für die Trockendichte ermitteln.

Bei nichtbindigen Böden kann durch die Angabe der Lagerungsdichte D und bei bindigen Böden durch den Verdichtungsgrad D_{Pr} der natürliche Zustand in Bezug gestellt werden. Die Trockendichte sowie die Lagerungsdichte und der Verdichtungsgrad sind daher nur Hilfsgrößen um den Anteil der Hohlräume und dessen möglichen Schwankungsbereich zu ermitteln.

1.2.2 Porenanteil - Porenzahl

Unter dem Porenanteil n [m³/m³ bzw. %] versteht man das Volumen aller Hohlräume im Boden bezogen auf das Gesamtvolumen. Bei der Porenzahl e [m³/m³ bzw. %] bezieht man das Hohlraumvolumen auf das Volumen der festen Bestandteile. Die direkte Umrechnung der beiden Kennwerte ist möglich. Für wasserwirtschaftliche Fragen ist jedoch der Porenanteil die einfacher anwendbare Größe. Die Kenntnis des Porenanteiles allein er-

möglichst noch keine Beurteilung der Wasserspeicher- bzw. der Wassertransportfähigkeit von Böden. Erst wenn zusätzlich die Korngrößenverteilung bekannt ist, können diese hydrologischen Eigenschaften des Bodens abgeschätzt werden.

1.2.3 Art der Poren - Porengröße

Eine Einteilung der Poren wie sie in der Bodenkunde erfolgt, z.B.: in körnungsbedingte Poren - Primärporen und in Poren, die durch biologische Vorgänge entstanden sind - Sekundärporen, ist für die wasserwirtschaftliche Beurteilung von geringer Bedeutung. Die für hydrologische Fragen sicherlich aufschlußreichste Form der Porenbeschreibung wäre eine Darstellung der mittleren Porendurchmesser in einer Porendurchmesserverteilungslinie. Sie scheidet aber wegen des zu großen Bestimmungsaufwandes für praktische Zwecke aus. Zumindest die Angabe von Prozentwerten für Grobporen ($d_p > 0,05$ mm), Mittelporen ($0,05 \text{ mm} \geq d_p > 0,001 \text{ mm}$) und Feinporen ($d_p \leq 0,001$ mm) wäre jedoch erstrebenswert.

Da die Bestimmung der Porenabmessungen meist über einen indirekten Weg, z.B. durch Rückschlüsse aus dem Entwässerungsverhalten des Bodens erfolgt, reicht auch schon die Kenntnis darüber aus (siehe Pkt. 1.3.3).

1.3 Kennwerte zur Beschreibung des Bodenwasserhaushaltes.

Die physikalischen Vorgänge des Boden - Wasserhaushaltes werden durch die anschließend angegebenen Größen formulierbar.

1.3.1 Wassergehalt - Sättigungszahl

Der Wassergehalt w [kg/kg bzw. %] wird als Quotient aus der Masse des im Boden enthaltenen Wassers und der Feststoffmasse definiert. Bei bekannten Entnahmebedingungen ermöglicht der Wassergehalt auch eine Beurteilung der Bodenart.

Durch die Sättigungszahl S [m^3/m^3 bzw. %], als Verhältnis des Volumens der wassererfüllten Poren zum Gesamtporenvolumen, wird angegeben in welchem Ausmaß die Poren im Boden mit Wasser gefüllt sind. Bei bekannter Tiefenlage des Grundwassers kann man über die Kapillarität auf einen wirksamen Porendurchmesser schließen. Die hydrologisch wichtigen Aussagen über die Menge des im Boden gespeicherten und des speicherbaren Wassers sind

mit diesen Größen direkt möglich, wenn zusätzlich die geologischen Aufschlüsse über die Mächtigkeit und die Ausdehnung der Schichten bekannt sind.

1.3.2 Wasseraufnahmevermögen - Wasserbindevermögen - Hygroskopizität

Als Wasseraufnahmevermögen w_{\max} [kg/kg bzw. %] wird der maximale Wassergehalt eines feinkörnigen Bodens bezeichnet, der sich durch kapillares Aufsaugen ergibt. Das Wasserbindevermögen w_b [kg/kg bzw. %] ist der Wassergehalt der sich in einer kürzeren, definierten Zeit einstellt. Zwischen den beiden Kennwerten bestehen weitgehende Zusammenhänge. Die ermittelten Werte geben in erster Linie über die Art der vorliegenden Mineralien Aufschluß, z.B. Quarz, Bentonit u.dgl. mehr.

Mit Hygroskopizität w_{Hy} [kg/kg bzw. %] bezeichnet man das Vermögen des Bodens Wasser bei bestimmten atmosphärischen Bedingungen an der gesamten Oberfläche zu binden. Daher ist auch über diesen Kennwert die wirksame spezifische Oberfläche er-rechenbar und damit ein Rückschluß auf die Art der Feinstteile möglich.

1.3.3 Wasserbindungsintensität - Durchflußwirksamer- und spei- cherwirksamer Hohlraumanteil

Durch Anlegen eines Energieunterschiedes (meist als Druckunter-schied) kann ein Boden entwässert werden. Jedem definierten Energieunterschied entspricht ein zugehöriger Gleichgewichts-wassergehalt. Da die Entwässerung ursprünglich durch Anlegen eines Unterdruckes erfolgte wird die Wasserbindungsintensität auch als Saugspannungs- Wassergehaltsbeziehung angegeben. Damit sind Rückschlüsse auf die Mengen des beweglichen und nicht beweglichen Wassers im Boden möglich.

Die Festlegung des durchflußwirksamen Hohlraumanteiles n_f [m^3/m^3 bzw. %] bzw. eines speichernutzbaren Hohlraumanteiles n_s [m^3/m^3 bzw. %] ist durch diese Beziehung möglich.

Diese Kenngrößen sind für die Abschätzung der Wasserspeicher- und Entnahmemöglichkeit aus dem Grundwasserkörper und für die Ermittlung der wahren Grundwassergeschwindigkeit und damit auch für die Klärung von anthropogenen Beeinträchtigungsmög-

lichkeiten von großer Wichtigkeit.

1.3.4 Durchlässigkeit - Transportvermögen

Die Durchlässigkeit k_f [m/s] - häufiger als Durchlässigkeitsbeiwert bezeichnet - gibt die Menge Wasser an, die durch 1 m² Fläche wassergesättigten Bodens in der Zeiteinheit transportiert wird, wenn das dabei herrschende hydraulische Gefälle gleich 1 ist. Für nicht wassergesättigte Böden ist der dazu analoge Kennwert eine Funktion des Wassergehaltes.

2. Beurteilung der Methoden zur Ermittlung der hydrologischen Bodenkennwerte

Es würde in diesem Rahmen zu weit führen für alle im 1. Abschnitt definierten Kennwerte die Bestimmungsmethoden zu beschreiben und zu beurteilen. An einigen für hydrologische Zwecke besonders aussagekräftigen Parametern soll jedoch aufgezeigt werden, daß erst nach einer Vereinheitlichung der Verfahren zur Bestimmung und Auswertung ihre zentrale Erfassung sinnvoll erscheint.

2.1 Labormethoden - Feldmethoden

Für alle Kennwerte existieren meist mehrere Methoden die eine Ermittlung im Feld und im Labor ermöglichen. In einigen Fällen liegen für die Labormethoden genaue Richtlinien (ÖNORMEN) zur Bestimmung vor. Diese Ergebnisse sind auch für eine Sammlung in einer Datenbank geeignet. Man muß sich aber bewußt sein, daß durch die Untersuchung von relativ kleinen Proben nur punktförmige Aufschlüsse gewonnen werden, die nicht unbedingt auch für die Umgebung repräsentativ sein müssen.

2.1.1 Labormethoden

Für die unter Punkt 1.1 und 1.2 angeführten Kennwerte zur Beschreibung der festen Bestandteile des Bodens und der Hohlräume im Boden gibt es mit Ausnahme der Methoden zur Bestimmung der Kornform - spezifische Oberfläche und der Art der Poren - Porengröße weitgehend genormte Bestimmungsmethoden. Die für hydrologische Fragen besonders interessanten Größen, Kornform - spezifische Oberfläche sowie Art der Poren - Porengröße werden, wenn überhaupt, sehr verschieden bestimmt.

Die spezifische Oberfläche von feinkörnigen Böden wird beispielsweise, von einigen Labors aus der Menge des bei definierten Bedingungen angelagerten Wassers ermittelt, andere verwenden die Luftdurchlässigkeit als Ausgangsgröße um auf die Oberfläche zu schließen. Die Ergebnisse sind daher praktisch nicht vergleichbar.

Auch die Bestimmung der Art der Poren und der Porengröße reicht von Methoden, die von der Kapillarspannung auf einen hydraulisch wirksamen Porenkanal schließen, bis zu rechnerischen Verfahren die aus der Kornverteilung und der Lagerungsdichte die Porengröße ermitteln.

Noch bedeutendere Unterschiede existieren zwischen den derzeit verwendeten Methoden zur Ermittlung der Wasserhaushaltskennwerte - ausgenommen die genormte Bestimmung des Wassergehaltes und der Sättigungszahl.

Das Wasseraufnahmevermögen und die Wasserbindungsintensität werden je nach Laboreinrichtung und vertretener Lehrmeinung, durch Unterdruckverfahren, Überdruckverfahren oder durch Zentrifugenmethoden bestimmt, die Probengrößen und Probendicken sind verschieden, daher sind auch die Kennwerte nicht vergleichbar. Es ist auch einleuchtend, daß auch die aus diesen Meßergebnissen definierten durchflußwirksamen bzw. speicherwirksamen Porenanteile bis zu 100 Prozent von einander abweichen. Sogar der theoretisch relativ unumstrittene Bodenkennwert der Durchlässigkeit wird sowohl an gestörten als auch ungestörten Proben in jedem Labor praktisch unter anderen Einbau- und Versuchsbedingungen untersucht. Die angegebenen Kennwerte differieren daher auch manchmal um Zehnerpotenzen.

2.1.2 Feldmethoden

Diese haben den Vorteil, daß die Ergebnisse unter den natürlichen Randbedingungen gewonnen werden und häufig einen Mittelwert für einen größeren Bereich darstellen. Bei der Beurteilung der Methoden und ihrer Ergebnisse muß berücksichtigt werden, ob Verfahren eingesetzt wurden die den Kennwert direkt ergaben, oder ob beispielsweise geophysikalische Methoden herangezogen wurden.

Die Verfahren zur direkten Bestimmung der Kennwerte für die Be-

schreibung der festen Bestandteile und der Hohlräume sind ähnlich den Labormethoden weitgehend genormt und daher zur zentralen Erfassung geeignet. Indirekte Bestimmungsmethoden es sei hier beispielsweise nur die Bestimmung der Dichten und des Wassergehaltes mittels Isotopensonden erwähnt, liefern ohne entsprechende Eichungen durch direkte Verfahren nur Vergleichswerte.

Die Feldmethoden zur direkten Bestimmung der Wasserhaushaltsparameter beruhen im wesentlichen darauf durch Wasserentnahme bzw. Versickerungsversuche Aufschlüsse über die Durchlässigkeit - Transportvermögen, durchflußwirksamen - speicherwirksamen Porenanteil und andere hydrologische Kenngrößen zu gewinnen. Sowohl die Versuchsdurchführung, der Meßaufwand und die Erfassung der Randbedingungen usw. als auch die Auswertung geschieht je nach Versuchsdurchführenden anders.

Man kann daher ohne Wertung nur die Kennwerte einer Prüfstelle vergleichen. Die Unterschiede der angegebenen Kennwerte sind vor allem für die nicht wassergesättigten Böden besonders groß. Die Verwendung der Kennwerte die von dritten ermittelt wurden können daher zu falschen Interpretationsergebnissen führen. Die indirekten Feldmethoden - geophysikalischen Methoden die rascher und meist billiger flächendeckende Aufschlüsse ermöglichen, müßten erst an Ergebnissen aus direkten Messungen geeicht werden bevor sie in einer Datenbank gesammelt werden könnten.

Diese kritische Beurteilung der hydrologischen Bodenkennwerte sollten die möglichen Probleme und Auswirkungen aufzeigen, wenn die Ergebnisse aller österreichischen Forschungs- und Untersuchungsstellen gemeinsam erfaßt würden und die Kennwerte auch allen zur Klärung hydrologischer Fragen zugänglich wären. Ohne eigene Aufschlüsse und Kontrolle der Ergebnisse könnten sehr unterschiedliche Aussagen erfolgen.

3. Zusammenfassung und Ausblick

Zur Lösung wissenschaftlicher Fragen der Wasserwirtschaft und des Umweltschutzes, bei der Planung, Begutachtung und Kontrolle von Wasserbauten, Wassergewinnungsanlagen, Mülldeponien usw. werden immer Aufschlüsse über die hydrologischen Eigenschaften

der Böden benötigt. Bisher wurden die Daten nur für einen speziellen Zweck erhoben und ausgewertet. Eine Sammlung der hydrologischen Kennwerte erfolgte nur von den damit Befassten. Die Daten werden als Eigentum des Auftraggebers betrachtet und sind daher nicht allgemein zugänglich.

Ein sehr großer Kreis an Personen wäre jedoch an allgemein und leicht zugänglichen hydrologischen Aufschlüssen interessiert. Wissenschaftler, Planer und Gutachter könnten ihre eigenen Ermittlungen vergleichen oder besser bewerten. Öffentliche- und private Forschungsgesellschaften, Prüf- und Untersuchungsanstalten wäre es möglich, durch entsprechende Vorkenntnisse gezielter ihre Erkundungen durchzuführen und die Anwendbarkeit der selbst ermittelten Daten genauer abzugrenzen.

Neben den erläuterten Unterschieden bei der Kennwertermittlung und den damit möglichen Fehlinterpretationen, wäre unbedingt die Frage der Kosten zur Datenüberlassung und Sammlung zu klären. Zu welchem Preis oder zu welchen Bedingungen die hydrologischen Bodenkennwerte dann einem Interessierten zur Verfügung gestellt werden könnten, ist sicher nicht abschätzbar, volkswirtschaftlich wäre eine zentrale Datenerfassung aber unbedingt erstrebenswert.

Da es ziemlich unwahrscheinlich ist, daß sich in nächster Zeit die Experten der verschiedenen Fachgebiete, die mit hydrologischen Problemen befaßt sind zu einer gemeinsamen Datenerfassung zusammenschließen werden, sollten diese auch weiterhin, vielleicht sogar in eigenen kleinen Datenbanken, von den verschiedenen Ermittlungsstellen gesammelt werden. Um jedoch zu einem späteren Zeitpunkt einen Zusammenschluß zu erleichtern, müßten schon jetzt Gespräche zur Vereinheitlichung der Kennwertdefinitionen und ihrer Bestimmungsmethoden geführt werden.