

**Ergebnisse und Vorschläge der
DBG-Arbeitsgruppe
„Kennwerte des Bodengefüges“ zur Schätzung
bodenphysikalischer Kennwerte**

von

M. Renger, K. Bohne, M. Facklam, T. Harrach, W. Riek, W. Schäfer,
G. Wessolek und S. Zacharias

unter Mitarbeit von:

J. Bachmann, U. Dehner, W. Duijnisveld, W. Eckelmann, K.-H. Hartge,
V. Hennings, S. Knoblauch, L. Müller, U. Müller, R. Plagge, U. Schindler,
K. Schwärzel, H. Sponagel, T. Vorderbrügge

Berlin, den 3. Oktober 2008
Obmann der Arbeitsgruppe: Prof. Dr. Gerd Wessolek

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|------|---|----|
| 1. | Einführung und Anlass..... | 6 |
| 2. | Kennwerte der Wasserbindung..... | 7 |
| 2.1. | Feldkapazität — Definition und Anwendung..... | 7 |
| 2.2. | Schätzung der bodenkundlichen Kennwerte der Wasserbindung..... | 8 |
| 2.3. | Schätzung der effektiven Durchwurzelungstiefe..... | 20 |
| 3. | Mittlere pF-Kurven in Abhängigkeit von der Bodenart und die davon abgeleiteten Mualem/van Genuchten-Parameter, mittlere Wasserleitfähig- keitswerte im wasserungesättigten Zustand und kapillare Aufstiegsrate..... | 21 |
| 4. | Schätzung der gesättigten Wasserleitfähigkeit (kf in cm/Tag) in Abhängigkeit von Bodenart und Trockenrohdichte..... | 27 |
| 5. | Bestimmung bodenphysikalischer Kennwerte unter Berücksichtigung von Bodengenese und Ausgangssubstrat..... | 28 |
| 6. | Zusammenfassung..... | 48 |
| 7. | Verwendete Unterlagen und Literatur..... | 49 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abb. 1: Schema für die Schätzung der bodenphysikalischen Kennwerte FK, nFK und LK auf der Basis von FK-Werten, die realistischen Feldwassergehalten entsprechen | 9 |
| Abb. 2: Nomogramm zur Ermittlung der mittleren Trockenrohdichten TRD (g/cm^3) der effektiven Lagerungsdichteklassen Ld1 bis Ld5 in Abhängigkeit von der Bodenart | 11 |
| Abb. 3: Wasserretentionskurven eines Tonbodens (Tu2) in Abhängigkeit von der Trockenrohdichte (TRD) | 14 |
| Abb. 4: Wasserretentionskurven für 4 verschiedene Bodenarten mit eingezeichneten Feuchtigkeitsäquivalenten FÄ | 16 |
| Abb. 5: Vergleich zwischen Labor-pF-Kurven und Feldmesswerten von zwei Böden | 16 |
| Abb.6: Beziehung zwischen Trockenrohdichte und Gesamtporenvolumen bei Böden mit mittlerer effektiver Lagerungsdichte (Dichte der festen Bodensubstanz zwischen $2,65$ und $2,70 \text{ g/cm}^3$) | 21 |
| Abb. 7 a-c: Beziehung zwischen Luftkapazität (LK) und Trockenrohdichte (TRG) für Böden im Körngsbereich von 60 – 80 % Schluff und 12 bis 30 % Ton, a) alle geologischen Substrate, b) Löss, c) Bt-Horizonte der Löss. | 30 |
| Abb. 8: Einfluss des Substrates und der Bodengenese auf die Beziehung zwischen Feldkapazität und Trockenrohdichte am Beispiel von drei Bodenarten (SI4, Ut3, fSms) | 31 |
| Abb. 9: Anteil des Feinstsand ($<125 \mu\text{m}$) an der Gesamtsandfraktion von brackisch-marinen Ablagerungen (br/m) im Vergleich zu nicht marinen sandigen Substraten. | 48 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| Tab. 1: Bestimmungsschlüssel für die Schätzung der effektiven Lagerungsdichte im Gelände | 10 |
| Tab. 2: Mittlere Trockenrohdichten (TRD) der effektiven Lagerungsdichteklassen Ld1 bis Ld5 in Abhängigkeit von der Bodenart für Böden mit Humusgehalten von <1%* | 12 |
| Tab. 3: Luftkapazität, Feldkapazität und nutzbare Feldkapazität in Volumen -% in Abhängigkeit von Bodenart und Trockenrohdichte für Böden mit Humusgehalten von <1% | 13 |
| Tab. 4: Luftkapazität, Feldkapazität und nutzbare Feldkapazität in Vol-% in Abhängigkeit von Bodenart und Trockenrohdichte unter Berücksichtigung des Feuchtigkeitsäquivalents FÄ bei Böden mit Humusgehalten von <1% | 15 |
| In Abschnitt 5 sind die Ergebnisse einer statistischen Auswertung zu finden, bei der der Einfluss der Bodengenese und des geologischen Ausgangssubstrates berücksichtigt wurden. | 18 |
| Tab. 5: Zuschläge und Abschläge zur Luftkapazität, nutzbaren Feldkapazität und Feldkapazität in Volumen-% in Abhängigkeit von Bodenart und Gehalt an organischer Substanz | 18 |
| Tab. 6: Zu- und Abschläge in Vol.% bei hydromorphen Böden | 19 |
| Tab. 7: Beispiele für die Bestimmung von Feldkapazität FK, nutzbarer Feldkapazität nFK und Luftkapazität LK unter Berücksichtigung des Feuchtigkeitsäquivalents FÄ | 19 |
| Tab. 8: Effektive Durchwurzelungstiefe für Ackerkulturen auf homogenen Böden in Abhängigkeit von Bodenart und effektiver Lagerungsdichte | 20 |
| Tab. 9: Mittlere pF-Kurven in Abhängigkeit von der Bodenart für Böden mit mittlerer effektiver Lagerungsdichte (Ld3) und Humusgehalten von < 1% | 23 |
| Tab. 10: Parameter nach Mualem/van Genuchten für unterschiedliche Bodenarten | 24 |
| Tab. 11: Mittlere Wasserleitfähigkeit (cm/Tag) im ungesättigten Boden in cm/d in Abhängigkeit von der Wasserspannung und der Bodenart | 25 |
| Tab.12: Kapillare Aufstiegsraten (cm/Tag) aus dem Grundwasser bis zur Untergrenze des effektiven Wurzelraumes in Abhängigkeit von der Bodenart | 26 |
| Tab. 13: Mittlere Wasserdurchlässigkeit (cm/Tag) im wassergesättigten Boden in Abhängigkeit von Bodenart und Trockenrohdichte | 27 |
| Tab. 14a: Luftkapazität, Feldkapazität und nutzbare Feldkapazität für Bodenhorizonte aus Löss und Lösslehm unter Berücksichtigung des Feuchtigkeitsäquivalents | 32 |
| Tab 14b: Luftkapazität, Feldkapazität und nutzbare Feldkapazität für Bodenhorizonte aus Löss und Lösslehm unter Berücksichtigung des Feuchtigkeitsäquivalents | 33 |
| Tab. 15a: Luftkapazität, Feldkapazität und nutzbare Feldkapazität für Bodenhorizonte aus Sandlöss unter Berücksichtigung des Feuchtigkeitsäquivalents | 34 |
| Tab. 15b: Luftkapazität, Feldkapazität und nutzbare Feldkapazität für Bodenhorizonte aus Sandlöss unter Berücksichtigung des Feuchtigkeitsäquivalents | 35 |
| Tab. 16a: Luftkapazität, Feldkapazität und nutzbare Feldkapazität für Bodenhorizonte aus Reinsanden unter Berücksichtigung des Feuchtigkeitsäquivalents | 36 |
| Tab. 16b: Luftkapazität, Feldkapazität und nutzbare Feldkapazität für Bodenhorizonte aus Reinsanden unter Berücksichtigung des Feuchtigkeitsäquivalents | 37 |
| Tab. 17a:Luftkapazität, Feldkapazität und nutzbare Feldkapazität für Bodenhorizonte aus Geschiebelehm unter Berücksichtigung des Feuchtigkeitsäquivalents | 38 |
| Tab. 17b:Luftkapazität, Feldkapazität und nutzbare Feldkapazität für Böden aus Geschiebelehm unter Berücksichtigung des Feuchtigkeitsäquivalents | 39 |

Schätzung bodenphysikalischer Kennwerte

| | |
|---|----|
| Tab. 18a: Luftkapazität, Feldkapazität und nutzbare Feldkapazität für Bodenhorizonte aus glazialen Lehmsand (Salm) unter Berücksichtigung des Feuchtigkeitsäquivalents FÄ | 40 |
| Tab. 18b: Luftkapazität, Feldkapazität und nutzbare Feldkapazität für Bodenhorizonte aus glazialen Lehmsand (Salm) unter Berücksichtigung des Feuchtigkeitsäquivalents FÄ | 41 |
| Tab. 19a: Luftkapazität, Feldkapazität und nutzbare Feldkapazität für Auenböden unter Berücksichtigung des Feuchtigkeitsäquivalents FÄ | 42 |
| Tab. 19b: Luftkapazität, Feldkapazität und nutzbare Feldkapazität für Auenböden unter Berücksichtigung des Feuchtigkeitsäquivalents FÄ | 43 |
| Tab. 20: Luftkapazität, Feldkapazität und nutzbare Feldkapazität für Marschböden unter Berücksichtigung des Feuchtigkeitsäquivalents FÄ | 44 |
| Tab. 21: Luftkapazität, Feldkapazität und nutzbare Feldkapazität für Bodenhorizonte aus tonigen Festgestein unter Berücksichtigung des Feuchtigkeitsäquivalents FÄ | 45 |
| Tab. 22: Luftkapazität, Feldkapazität und nutzbare Feldkapazität für Bodenhorizonte aus sandigem Festgestein unter Berücksichtigung des Feuchtigkeitsäquivalents FÄ | 46 |
| Tab. 23: Vergleich der Feldkapazität und nutzbaren Feldkapazität in Vol.% von Böden verschiedener Ausgangsgesteine | 47 |

1. Einführung und Anlass

Für die Beurteilung des Wasser-, Luft- und Stoffhaushaltes von Böden und Landschaften sind bodenphysikalische Kennwerte (z.B. Feldkapazität, nutzbare Feldkapazität, Luftkapazität, Wasserleitfähigkeit) wichtig. Da Messwerte oft nicht vorliegen, werden die erforderlichen bodenphysikalischen Kennwerte mit Hilfe der Bodenkundlichen Kartieranleitung bzw. der DIN 4220 geschätzt.

Die in der Bodenkundlichen Kartieranleitung KA 5 und in der DIN 4220 aufgeführten Ergebnisse weisen leider folgende gravierenden Mängel auf:

- die Prüfung der Ausgangsdaten und der ermittelten Kennwerte auf Plausibilität ist unzureichend,
- die Schätzung der Trockenrohdichte ist unzulänglich und entspricht nicht den neuesten Erkenntnissen,
- die vorgesehenen Zu- und Abschläge für Humusgehalte von mehr als 1 % sind korrekturbedürftig,
- der Einfluss von Grundwasser und Staunässe werden bei der Schätzung nicht ausreichend berücksichtigt,
- die Festlegung der Feldkapazität bei einem einheitlichen pF-Wert (z.B. 1,8) führt zu Über- und Unterschätzung der Kennwerte der Wasserbindung,
- den mittleren pF-Kurven für die einzelnen Bodenarten liegt einheitlich eine Trockenrohdichte von ca. $1,5 \text{ g/cm}^3$ zugrunde. Dies führt bei tonreichen Böden und reinen Sandböden zu Fehleinschätzungen (s. Abschnitt 4, S. 15).

Die Arbeitsgruppe der DBG hat sich daher das Ziel gesetzt:

1. die vorliegenden Erfahrungen und Vorschläge zur Verbesserung der Schätzta-bellen zu berücksichtigen und
2. die Zielvorstellung, bei der Ermittlung der Feldkapazitätswerte von realistischen Feldwassergehalten auszugehen, zu verwirklichen.

Das zweite Ziel ist in den neuen Bundesländern bereits vor etwa 30 Jahren mit der Bestimmung des Feuchtigkeitsäquivalents (FÄ) nach Vetterlein (1983) erfolgreich verwirklicht worden. Es ist daher an der Zeit, diesen methodischen Ansatz auch in den alten Bundesländern zu übernehmen und ihn bei der Ermittlung der Kennwerte für die Wasserbindung anzuwenden.

Die Arbeitsgruppe „Kennwerte des Bodengefüges“ begrüßt daher, dass in der im Dezember 2007 verabschiedeten DIN 4220 erste Ergebnisse unserer Arbeitsgruppe im Anhang der DIN übernommen wurden.

2. Kennwerte der Wasserbindung

2.1. Feldkapazität — Definition und Anwendung

Definition

Die Feldkapazität (FK) stellt einen der am häufigsten verwendeten Parameter zur Charakterisierung des Bodenwasserhaushalts dar. Der Begriff der Feldkapazität (field capacity) wurde maßgeblich in den Arbeiten von Veihmeyer und Hendrickson (1927, 1931) eingeführt und definiert als „...the amount of water held in the soil after the excess gravitational water has drained away and after the rate of downward movement of water has materially decreased...“. In anderen Arbeiten wird die FK beschrieben als:

- „...The content of water, on a mass or volume basis, remaining in a soil 2 or 3 days after having been wetted with water and after free drainage is negligible...“ (SSSA, 2006),
- "... soil moisture state when, 48 hours after saturation or heavy rain, all downward movement of water has ceased." (European Soil Bureau, 2006).

Der Bewegungszustand des Bodenwassers wird in folgender Weise gekennzeichnet:

- ... Verteilung des Wassers,, verlangsamt sich nach 1-2 Tagen so stark, dass das Erreichen eines Gleichgewichtes vermutet werden könnte. Der Wassergehalt, bei dem dieser Zustand auftritt wird als Feldkapazität (FK) bezeichnet " (Schachtschabel et al. 1998).

Bestimmung der FK

Die ursprünglich genutzte Prozedur zur Bestimmung der Feldkapazität beruhte auf einer Messung von Bodenwassergehalten in einem unbewachsenen Feldbodenprofil, das sorgfältig aufgesättigt, vor Verdunstung und Randeffekten geschützt, für einen Zeitraum von 2-3 Tagen einem gravitativem Wasserabfluss ausgesetzt war. Die klare Definition von Versuchsbedingungen erlaubt hier die Bestimmung des Wasservorrats, der unter den gegebenen Standortbedingungen im Boden nach der gewählten Entwässerungsdauer enthalten ist.

Das Verfahren ist allerdings sehr aufwendig und kann bei schluff- und tonreichen Böden bei rascher Aufsättigung infolge von Lufteinschlüssen zu Fehlern von 5-10 Vol. % führen (Lampe u. Wilkens, 1987).

Im Bemühen, die Ableitung der Feldkapazität zu vereinfachen, wurde in den alten Bundesländern für FK der Bodenwassergehalt (Vol. %) festgelegt, der bei einer Bodenwasserspannung von 60 hPa (pF 1,8) gebunden ist (s. Bodenkundliche Kartierung KA5 und DIN 4220). Bei diesem Vorgehen ist leider das ursprüngliche Ziel, die Feldbodenbedingungen und die Dynamik der Wasserbindung zu berücksichtigen, verloren gegangen. Die Festlegung der FK bei einem einzelnen pF-Wert führte zu einer Über- oder Unterschätzung der FK-Werte und damit auch der daraus abgeleiteten nutzbaren Feldkapazitäts- und Luftkapazitätswerte.

Ziel sollte es vielmehr sein, Schätzwerte abzuleiten, die sich an den Wassergehalten der „in situ“-Bestimmung im Feld orientiert. Die Arbeitsgruppe „Kennwerte des Bodengefüges“ schlägt daher vor, für die Bestimmung der FK das Feuchtigkeitsäquivalent (FÄ) nach Vetterlein (1983) zu verwenden, das aus im Frühjahr im Feld gemessenen Bodenwassergehalten abgeleitet wird (s. S. 14).

Dieser Parameter berücksichtigt sowohl (i) Hysteresiseffekte und Lufteinschlüsse bei der im Winter stattfindenden Aufsättigung als auch (ii) Eigenschaften des Bodenprofils und (iii) klimatische Bedingungen des Standortes.

Anwendungen der FK

Ein wichtiges Anwendungsgebiet für die FK ist die nährungsweise Ermittlung des pflanzenverfügbaren Bodenwasservorrates und der Luftkapazität.

Der pflanzenverfügbare Bodenwasservorrat errechnet sich aus der FK bzw. dem Feuchtigkeitsäquivalent $F\ddot{A}$ abzüglich des Bodenwassergehaltes bei pF 4,2 und wird als nutzbare Feldkapazität bezeichnet. Unter Luftkapazität wird der Porenraum verstanden, der bei FK mit Luft erfüllt ist. Er stellt ein Maß für den Gasaustausch bzw. Versorgung der Pflanzen mit Sauerstoff dar.

Bei diesem Ansatz wird vernachlässigt, dass im Frühjahr auch 2 bis 3 Tage nach Niederschlag insbesondere bei feinsandigen und schluffreichen Böden weiterhin ein anhaltender und signifikanter Sickerwasserabfluss auftritt (Nachabe, 1998, Meyer u. Gee, 1999, Zacharias u. Bohne, 2008). Da der Sickerwasserabfluss und die Evapotranspiration gleichzeitig ablaufen und die Pflanzen einen Teil ihrer Wasseraufnahme aus dem abfließenden Sickerwasser beziehen, sind für eine genaue Ermittlung des pflanzenverfügbaren Bodenwassers und Bestimmung von Flüssen Simulationsmodelle erforderlich. Als Eingabeparameter benötigen diese Modelle entweder direkte Angaben zur Feldkapazität oder verwenden MvG- Parameter, die ihrerseits u.a. mit FK-Angaben parametrisiert wurden.

Ein weiteres wichtiges Anwendungsfeld ist die Bewertung von Böden hinsichtlich ihrer technologischen Eigenschaften (z. B. Befahrbarkeit von Ackerflächen, Spielbarkeit von Sportplätzen). Die FK wird auch für die Hochwasserprognose benötigt, um über das auffüllbare Porenvolumen abzuschätzen, welche Anteile von Starkniederschlägen im Boden aufgenommen werden können. Auch zur Beurteilung der Entwässerbarkeit von Böden wird die FK benötigt. Schließlich seien planungs- und umweltrelevante Fragen aufgeführt, etwa die zu erwarteten Nähr- und Schadstoffausträge in Landschaften; zu ihrer Abschätzung muss ebenfalls die FK berücksichtigt werden. Schließlich geht bei der quantitativen Bestimmung der o.a. Zielgrößen mit Hilfe von Simulationsmodellen die FK oft als ein wichtiger Startparameter einer Berechnungsperiode ein (=Anfangswassergehalt).

2.2. Schätzung der bodenkundlichen Kennwerte der Wasserbindung

Die Schätzung der bodenphysikalischen Kennwerte beginnt mit der Bestimmung der Bodenart und der effektiven Lagerungsdichte (s. Abb. 1). Ein Schlüssel zur Ermittlung der Bodenart im Gelände mittels Fingerprobe ist in der Tab. 30 der Bodenkundlichen Kartieranleitung (KA 5) zu finden. Die wichtigsten Gefügemerkmale für die Schätzung der effektiven Lagerungsdichte L_d sind in der Tab. 1 zusammengestellt. Sie wurden aus den Angaben der Bodenkundlichen Kartieranleitung (KA 5, Tab. 19 und 20) und den Angaben zur Bestimmung der Packungsdichte (Harrach u. Sauer, 2002) abgeleitet. Bei der in Tab. 1 angegebenen Klasseneinteilung der effektiven Lagerungsdichte sind die Ergebnisse der neuen Auswertung, die im Folgenden beschrieben werden, bereits berücksichtigt.

Anhand der effektiven Lagerungsdichte lassen sich für die einzelnen Bodenarten die Trockenrohdichten TRD ermitteln.

Der in der KA 5 zurzeit geltenden Beziehung zwischen L_d und TRD liegt folgende Gleichung zugrunde:

$$\text{TRD [g/cm}^3] = \text{Ld [g/cm}^3] - 0,009 \left[\frac{\text{g/cm}^3}{\% \text{Ton}} \right] \cdot \% \text{ Ton bzw.}$$

$$\text{Ld [g/cm}^3] = \text{TRD [g/cm}^3] + 0,009 \left[\frac{\text{g/cm}^3}{\% \text{Ton}} \right] \cdot \% \text{ Ton}$$

Diese Beziehung wurde an Böden ermittelt, die überwiegend Marsch- und Auenböden umfassten und häufig bis zu 3 – 4 % organische Substanz enthielten. Auswertungen anhand anderer Böden, die geringere Humusgehalte aufwiesen, ergaben, dass der Faktor 0,009 zu hoch liegt. Die beste Übereinstimmung zwischen der im Gelände geschätzten effektiven Lagerungsdichte und der im Labor bestimmten TRD wurde für Böden mit Humusgehalten von < 1 % mit folgender Gleichung erzielt:

$$\text{TRD [g/cm}^3] = \text{Ld [g/cm}^3] - 0,005 \left[\frac{\text{g/cm}^3}{\% \text{Ton}} \right] \cdot \% \text{ Ton} - 0,001 \left[\frac{\text{g/cm}^3}{\% \text{Schluff}} \right] \cdot \% \text{ Schluff bzw.}$$

$$\text{Ld [g/cm}^3] = \text{TRD [g/cm}^3] + 0,005 \left[\frac{\text{g/cm}^3}{\% \text{Ton}} \right] \cdot \% \text{ Ton} + 0,001 \left[\frac{\text{g/cm}^3}{\% \text{Schluff}} \right] \cdot \% \text{ Schluff}$$

Die Gleichung zeigt, dass neben dem Tongehalt auch der Schluffanteil eine Rolle spielt. Bei Böden mit Humusgehalt von > 1 % vermindert sich bei gleicher effektiver Lagerungsdichte die TDR (Näheres s. Tab. 2).

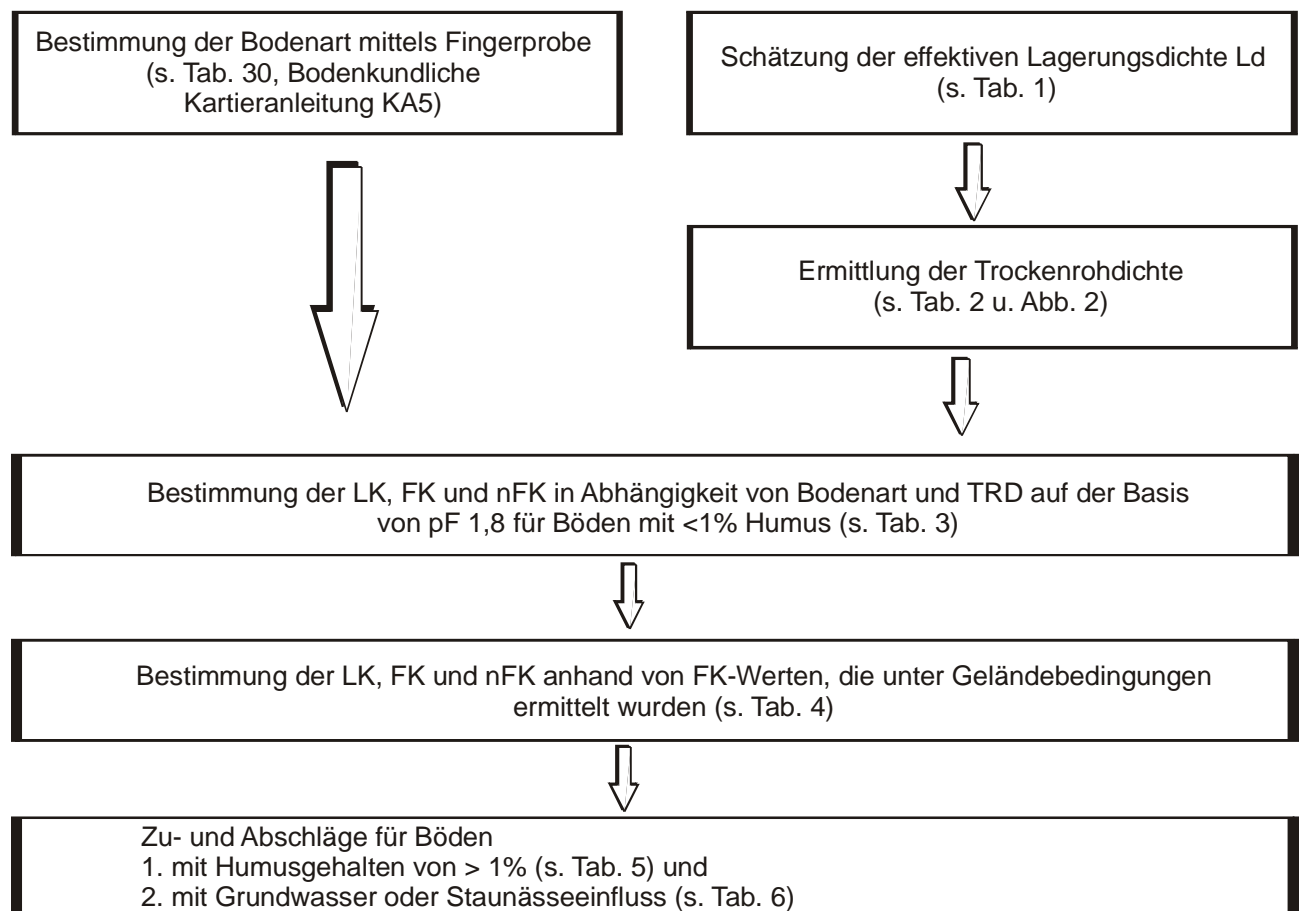


Abb. 1: Schema für die Schätzung der bodenphysikalischen Kennwerte FK, nFK und LK auf der Basis von FK-Werten, die realistischen Feldwassergehalten entsprechen

Tab. 1: Bestimmungsschlüssel für die Schätzung der effektiven Lagerungsdichte im Gelände

| Kennzeichnung der effektiven Lagerungsdichte | | | Gefügemerkmale für die Schätzung der effektiven Lagerungsdichte |
|--|-------------|---------------|--|
| Kurzzeichen | Bezeichnung | Kennwert Ld*) | |
| Ld 1 | sehr gering | < 1,3 | Feines Krümelgefüge, sehr lockeres Einzelkorn- oder sehr lockeres Kohärentgefüge, sehr feines bis feines Aggregatgefüge mit offener bis sperriger Lagerungsart und sehr losem Zusammenhalt, sehr hoher Anteil an biogenen Poren, gleichmäßige Wurzelverteilung |
| Ld 2 | gering | 1,3 - < 1,55 | Krümelgefüge, lockeres Einzelkorn - oder lockeres Kohärentgefüge, feines Aggregatgefüge mit offener und sperriger Lagerungsart und losem Zusammenhalt, hoher Anteil an biogenen Poren, gleichmäßige Wurzelverteilung |
| Ld 3 | mittel | 1,55 - < 1,75 | Subpolyedergefüge, Einzelkorn - oder Kohärentgefüge mit mittlerem Zusammenhalt, Aggregatgefüge mit halboffener bis offener Lagerungsart und mittlerem Zusammenhalt bzw. mittlerer Verfestigungsgrad, mittlerer Anteil an biogenen Poren, fast gleichmäßige Wurzelverteilung |
| Ld 4 | hoch | 1,75 - < 1,95 | dichtes Einzelkorn - oder dichten Kohärentgefüge, dichtes Aggregatgefüge mit geschlossener Lagerungsart und festem Zusammenhalt bzw. mit hohem Verfestigungsgrad, Plattengefüge, sehr geringer bis geringer Anteil an biogenen Poren, ungleichmäßige Wurzelverteilung |
| Ld 5 | sehr hoch | > 1,95 | sehr dichtes Einzelkorn - oder Kohärentgefüge, sehr dichtes Aggregatgefüge mit geschlossener Lagerungsart und sehr festem Zusammenhalt bzw. sehr hohem Verfestigungsgrad, sehr dichtes Plattengefüge, sehr geringer Anteil an biogenen Poren, sehr ungleichmäßige Wurzelverteilung |

$$*) Ld[g/cm^3] = TRD[g/cm^3] + 0,005 \left[\frac{g/cm^3}{\%Ton} \right] \cdot \%Ton + 0,001 \left[\frac{g/cm^3}{\%Schluff} \right] \cdot \%Schluff \text{ bzw.}$$

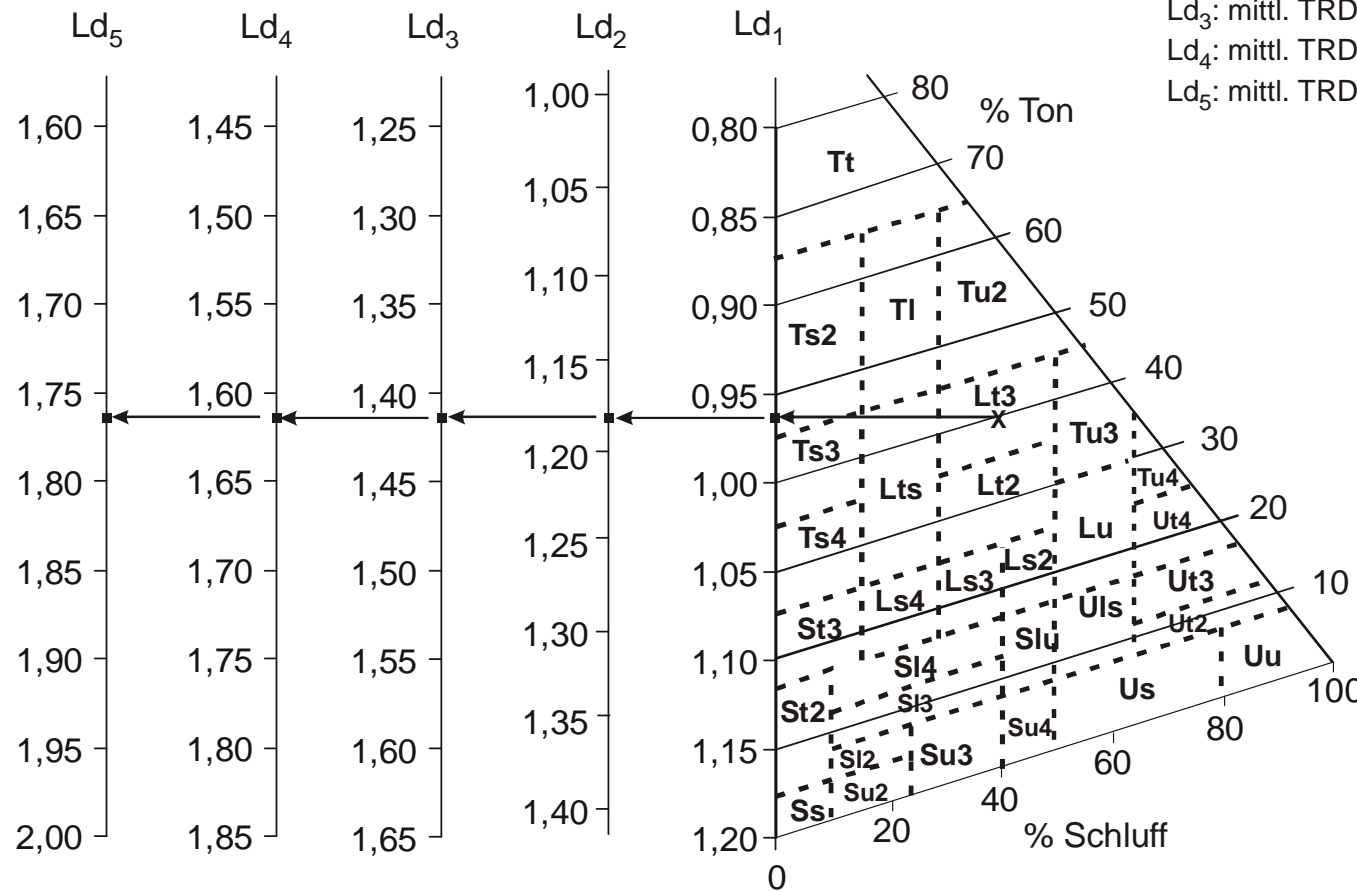
$$TRD[g/cm^3] = Ld[g/cm^3] - 0,005 \left[\frac{g/cm^3}{\%Ton} \right] \cdot \%Ton - 0,001 \left[\frac{g/cm^3}{\%Schluff} \right] \cdot \%Schluff$$

Abb. 2: Nomogramm zur Ermittlung der mittleren Trockenrohdichten TRD (g/cm^3) der effektiven Lagerungsdichteklassen Ld1 bis Ld5 in Abhängigkeit von der Bodenart

Gleichungen

Trockenrohdichte [g/cm^3] für:

$$\begin{aligned} \text{Ld}_1: & \text{mittl. TRD} = 1,20 - 0,005 \cdot \text{Ton\%} - 0,001 \cdot \text{Schluff\%} \\ \text{Ld}_2: & \text{mittl. TRD} = 1,42 - 0,005 \cdot \text{Ton\%} - 0,001 \cdot \text{Schluff\%} \\ \text{Ld}_3: & \text{mittl. TRD} = 1,65 - 0,005 \cdot \text{Ton\%} - 0,001 \cdot \text{Schluff\%} \\ \text{Ld}_4: & \text{mittl. TRD} = 1,85 - 0,005 \cdot \text{Ton\%} - 0,001 \cdot \text{Schluff\%} \\ \text{Ld}_5: & \text{mittl. TRD} = 2,00 - 0,005 \cdot \text{Ton\%} - 0,001 \cdot \text{Schluff\%} \end{aligned}$$



Beispiel

Lt3 = 40% Ton
40% Schluff

mittlere TRD für:

$$\begin{aligned} \text{Ld}_1 &= 0,96 \text{ g/cm}^3 \\ \text{Ld}_2 &= 1,18 \text{ g/cm}^3 \\ \text{Ld}_3 &= 1,41 \text{ g/cm}^3 \\ \text{Ld}_4 &= 1,61 \text{ g/cm}^3 \\ \text{Ld}_5 &= 1,76 \text{ g/cm}^3 \end{aligned}$$

Tab. 2: Mittlere Trockenrohdichten (TRD) der effektiven Lagerungsdichteklassen Ld1 bis Ld5 in Abhängigkeit von der Bodenart für Böden mit Humusgehalten von < 1 %*

Mittlere TRD (g/cm^3) der effektiven Lagerungsdichteklassen (Ld1 bis Ld5):

| Bodenart | Ld1 | Ld2 | Ld3 | Ld4 | Ld5 |
|----------|------|------|------|------|------|
| Ss | 1,18 | 1,40 | 1,63 | 1,83 | 1,98 |
| Sl2 | 1,15 | 1,37 | 1,60 | 1,80 | 1,95 |
| Sl3 | 1,13 | 1,35 | 1,58 | 1,78 | 1,93 |
| Sl4 | 1,10 | 1,32 | 1,55 | 1,75 | 1,90 |
| Slu | 1,09 | 1,31 | 1,54 | 1,74 | 1,89 |
| St2 | 1,14 | 1,36 | 1,59 | 1,79 | 1,94 |
| St3 | 1,09 | 1,31 | 1,54 | 1,74 | 1,89 |
| Su2 | 1,17 | 1,39 | 1,62 | 1,82 | 1,97 |
| Su3 | 1,15 | 1,37 | 1,60 | 1,80 | 1,95 |
| Su4 | 1,14 | 1,36 | 1,59 | 1,79 | 1,94 |
| Ls2 | 1,05 | 1,27 | 1,50 | 1,70 | 1,85 |
| Ls3 | 1,06 | 1,28 | 1,51 | 1,71 | 1,86 |
| Ls4 | 1,07 | 1,29 | 1,52 | 1,72 | 1,87 |
| Lt2 | 1,01 | 1,23 | 1,46 | 1,66 | 1,81 |
| Lt3 | 0,96 | 1,18 | 1,41 | 1,61 | 1,76 |
| Lts | 1,00 | 1,22 | 1,45 | 1,65 | 1,80 |
| Lu | 1,03 | 1,25 | 1,48 | 1,68 | 1,83 |
| Uu | 1,09 | 1,31 | 1,54 | 1,74 | 1,89 |
| Uls | 1,08 | 1,30 | 1,53 | 1,73 | 1,88 |
| Us | 1,12 | 1,34 | 1,57 | 1,77 | 1,92 |
| Ut2 | 1,07 | 1,29 | 1,52 | 1,72 | 1,87 |
| Ut3 | 1,05 | 1,27 | 1,50 | 1,70 | 1,85 |
| Ut4 | 1,02 | 1,24 | 1,47 | 1,67 | 1,82 |
| Tt | 0,81 | 1,03 | 1,26 | 1,46 | 1,61 |
| Tl | 0,90 | 1,12 | 1,35 | 1,55 | 1,70 |
| Tu2 | 0,90 | 1,12 | 1,35 | 1,55 | 1,70 |
| Tu3 | 0,96 | 1,18 | 1,41 | 1,61 | 1,76 |
| Tu4 | 0,99 | 1,21 | 1,44 | 1,64 | 1,79 |
| Ts2 | 0,92 | 1,14 | 1,37 | 1,57 | 1,72 |
| Ts3 | 0,99 | 1,21 | 1,44 | 1,64 | 1,79 |
| Ts4 | 1,04 | 1,26 | 1,49 | 1,69 | 1,84 |

* Bei höheren Humusgehalten vermindern sich die in der Tab. 2 angegebenen TRD um $0,04 \text{ g/cm}^3$ pro % Humus bei Humusgehalten von 1-6 % und um $0,03 \text{ g/cm}^3$ pro % Humus bei Humusgehalten von 6-15 %.

Mit dem in Abb. 2 dargestellten Nomogramm lassen sich die mittleren TRD für die effektiven Lagerungsdichteklassen Ld1 bis Ld5 in Abhängigkeit von der Bodenart bestimmen. Die ermittelten Werte sind in Tab. 2 zusammengestellt; sie sind zusammen mit der Bodenart die Ausgangswerte für die Schätzung der LK, FK und nFK (s. Abb. 1).

Die Gliederung der TRD erfolgte dabei in Form von TRD-Stufen für Bereiche von 1,1 bis $1,9 \text{ g/cm}^3$ und **nicht** wie in der KA 5 in Form von Klassen. Dies verbessert a) die weitere Schätzung der bodenphysikalischen Kennwerte und lässt klar erkennen, dass bestimmte TRD-Stufen bei einzelnen Bodenarten gar nicht erst auftreten.

Es hat sich gezeigt, dass eine frühe Klasseneinteilung der TRD wie bei der KA5, die für sämtliche Bodenarten gilt, kontraproduktiv ist: Sie täuscht eine Wertung vor, die so überhaupt nicht gegeben ist, sondern im Gegenteil zu Fehlinterpretationen führt (s. auch Abschnitt 3 und 4). Bei der Erstellung der Tab. 3 wurden neben den Daten der KA 3, KA 4 und KA 5 und eigenen Untersuchungsergebnissen, die Ergebnisse von Bachmann & Hartge (2007), Dehner (2007), Harrach (1982), Hennings & Müller (1993), Teepe et al. (2003), Renger & Henseler (1974), Riek et al. (1992), Schindler et al. (1989) und Vorderbrügge (2005) herangezogen.

Tab. 3: Luftkapazität, Feldkapazität und nutzbare Feldkapazität in Volumen -% in Abhängigkeit von Bodenart und Trockenrohdichte für Böden mit Humusgehalten von < 1 %

| Bodenart | Luftkapazität Poren > 50µ (pF<1,8) | | | | | Feldkapazität Poren <50 µ (pF >1,8) | | | | | nutzbare Feldkapazität Poren 0,2-50 µ (pF 4,2-1,8) | | | | |
|----------------|--|-----|-----|-----|-----|---|-----|-----|-----|-----|--|-----|-----|-----|-----|
| | Trockenrohdichte (g/cm ³)* | | | | | | | | | | | | | | |
| Kurzzeichen | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,9 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,9 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,9 |
| Ss | - | 38 | 30 | 23 | - | - | 13 | 13 | 13 | - | - | 10 | 10 | 10 | - |
| Sl2 | - | 25 | 19 | 14 | 9 | - | 26 | 24 | 22 | 20 | - | 18 | 16 | 14 | 12 |
| Sl3 | - | 22 | 17 | 12 | 7 | - | 29 | 26 | 24 | 22 | - | 18 | 16 | 14 | 12 |
| Sl4 | - | 18 | 14 | 10 | 5 | - | 33 | 29 | 26 | 24 | - | 20 | 16 | 13 | 11 |
| Slu | - | 17 | 12 | 7 | 2 | - | 34 | 31 | 29 | 27 | - | 22 | 19 | 17 | 15 |
| St2 | - | 25 | 21 | 17 | 12 | - | 26 | 22 | 19 | 17 | - | 18 | 14 | 11 | 9 |
| St3 | - | 17 | 13 | 10 | 6 | - | 34 | 30 | 26 | 23 | - | 20 | 16 | 12 | 9 |
| Su2 | - | 27 | 21 | 16 | 10 | - | 24 | 22 | 20 | 19 | - | 19 | 17 | 15 | 14 |
| Su3 | - | 21 | 16 | 11 | 6 | - | 30 | 27 | 25 | 23 | - | 23 | 20 | 18 | 16 |
| Su4 | - | 19 | 14 | 9 | 4 | - | 32 | 29 | 27 | 25 | - | 25 | 22 | 20 | 18 |
| Ls2 | 19 | 16 | 10 | 6 | 1 | 39 | 35 | 33 | 30 | 28 | 23 | 19 | 17 | 14 | 12 |
| Ls3 | 20 | 17 | 12 | 7 | 2 | 38 | 34 | 31 | 29 | 27 | 22 | 18 | 15 | 13 | 11 |
| Ls4 | 21 | 18 | 13 | 8 | 3 | 37 | 33 | 30 | 28 | 26 | 22 | 18 | 15 | 13 | 11 |
| Lt2 | 18 | 14 | 9 | 5 | - | 40 | 37 | 34 | 31 | - | 20 | 17 | 14 | 11 | - |
| Lt3 | 15 | 11 | 6 | 2 | - | 43 | 40 | 37 | 34 | - | 19 | 16 | 13 | 10 | - |
| Lts | 17 | 13 | 8 | 4 | - | 41 | 38 | 35 | 32 | - | 20 | 17 | 14 | 11 | - |
| Lu | 17 | 14 | 9 | 4 | - | 41 | 38 | 36 | 34 | - | 22 | 19 | 17 | 15 | - |
| Uu | 17 | 12 | 7 | 2 | - | 41 | 39 | 36 | 34 | - | 30 | 28 | 25 | 23 | - |
| Uls | 22 | 16 | 10 | 5 | - | 36 | 35 | 33 | 31 | - | 25 | 24 | 22 | 20 | - |
| Us | 21 | 16 | 10 | 5 | - | 37 | 35 | 33 | 31 | - | 27 | 25 | 23 | 21 | - |
| Ut2 | 20 | 15 | 9 | 4 | - | 38 | 36 | 34 | 32 | - | 27 | 25 | 23 | 21 | - |
| Ut3 | 19 | 14 | 8 | 3 | - | 39 | 37 | 35 | 33 | - | 25 | 23 | 21 | 19 | - |
| Ut4 | 17 | 12 | 6 | 2 | - | 41 | 39 | 37 | 35 | - | 24 | 22 | 20 | 18 | - |
| Tt | 5 | 3 | 1 | - | - | 53 | 48 | 43 | - | - | 17 | 14 | 9 | - | - |
| Tl | 8 | 5 | 2 | 0 | - | 50 | 46 | 42 | 37 | - | 18 | 15 | 11 | 8 | - |
| Tu2 | 8 | 5 | 2 | 0 | - | 50 | 46 | 42 | 36 | - | 19 | 16 | 12 | 7 | - |
| Tu3 | 11 | 8 | 4 | 1 | - | 47 | 42 | 39 | 35 | - | 21 | 17 | 14 | 10 | - |
| Tu4 | 14 | 10 | 6 | 2 | - | 44 | 40 | 36 | 33 | - | 21 | 18 | 15 | 12 | - |
| Ts2 | 11 | 8 | 3 | 0 | - | 47 | 43 | 40 | 36 | - | 19 | 16 | 13 | 10 | - |
| Ts3 | 15 | 12 | 9 | 4 | - | 43 | 38 | 34 | 32 | - | 21 | 17 | 13 | 11 | - |
| Ts4 | 18 | 15 | 11 | 6 | - | 40 | 36 | 32 | 30 | - | 21 | 17 | 14 | 12 | - |
| Sande | | | | | | | | | | | | | | | |
| fS,fSms,fSgs | - | 31 | 24 | 17 | - | - | 19 | 19 | 19 | - | - | 15 | 15 | 15 | - |
| mS, mSfs, mSgs | - | 37 | 30 | 23 | - | - | 13 | 13 | 13 | - | - | 10 | 10 | 10 | - |
| gS | - | 42 | 34 | 27 | - | - | 9 | 9 | 9 | - | - | 6 | 6 | 6 | - |

* Bei tonreichen Böden können bei sehr geringer effektiver Lagerungsdichte auch TRD von < 1,1 g/cm³ auftreten. In diesen seltenen Fällen sind die LK, FK und nFK durch Extrapolation anhand der in der Tab. 3 angegebenen Werte zu ermitteln.

Die Ergebnisse der Tab. 3 zeichnen sich im Vergleich zur Tab. 70 der KA 5 dadurch aus, dass sie plausibler sind und nicht mehr im Widerspruch zu verifizierten Ergebnissen stehen. So weisen z.B. die reinen Sande, wie es die Erfahrung lehrt, die geringsten nFK-Werte auf. Nach der KA 5 besitzen dagegen die reinen Sande eine höhere nFK als die Tone und tonigen Lehme (z.B. Lt3), wenn man für die FK pF 1,8 wählt. Außerdem tritt der Widerspruch, dass der Totwasseranteil mit zunehmender TRD abnimmt bei den Sanden, Lehmen und Schluffen nicht mehr auf. Lediglich bei den Tönen besteht beim Totwasseranteil zwischen der geringsten und der höchsten TRD noch eine geringe Differenz von 2 bis 3 Vol. %. Die Ursache hierfür konnte bisher noch nicht geklärt werden. Denkbar ist, dass bei sehr hoher Dichtlagerung die Abnahme der Poren bis in den Feinporenbereich hineinreicht. Die Umverteilung der Poren erfolgt erst ab pF 5 (s. Abb. 3). Die dargestellten pF-Kurven in Abb. 3 im Bereich zwischen pF 4,2 und 7 sind Annahmen, die bisher noch nicht durch Messungen belegt sind. Die in Abhängigkeit von der TRD gemessenen Differenzen beim Totwasseranteil können aber auch auf methodische Schwierigkeiten bei der Bestimmung des Totwassers zurückzuführen sein. Auch unterschiedliche Anteile der verschiedenen Tongrößenfraktionen können bei gleichem Tongehalt zu Differenzen beim Totwassergehalt führen.

Die Ergebnisse der Tab. 3 erfüllen noch nicht das eingangs definierte Ziel, von realistischen Feldwassergehalten bei der Ermittlung der FK auszugehen. Um dieses Ziel zu verwirklichen, wurden anhand vorliegender Bodenfeuchtemessungen die Wassergehalte im Frühjahr zu Beginn der Vegetationszeit (2 bis 3 Tage nach Niederschlagsperioden) für die einzelnen Bodenarten ermittelt. Dazu wurden die Ergebnisse von Duijnsveld (2006), Facklam (2007), Honisch (1996), Kolbe (1995), Müller (2006), Plagge et al. (1996), Plagge (1996), Schäfer, (2007), Knoblauch (2007) und eigene Messergebnisse ausgewertet. Der so ermittelte Feldwassergehalt wird nach Vetterlein (1983, s. auch TGL 31222/04) als Feuchtigkeits- bzw. Feuchteäquivalent FÄ bezeichnet.

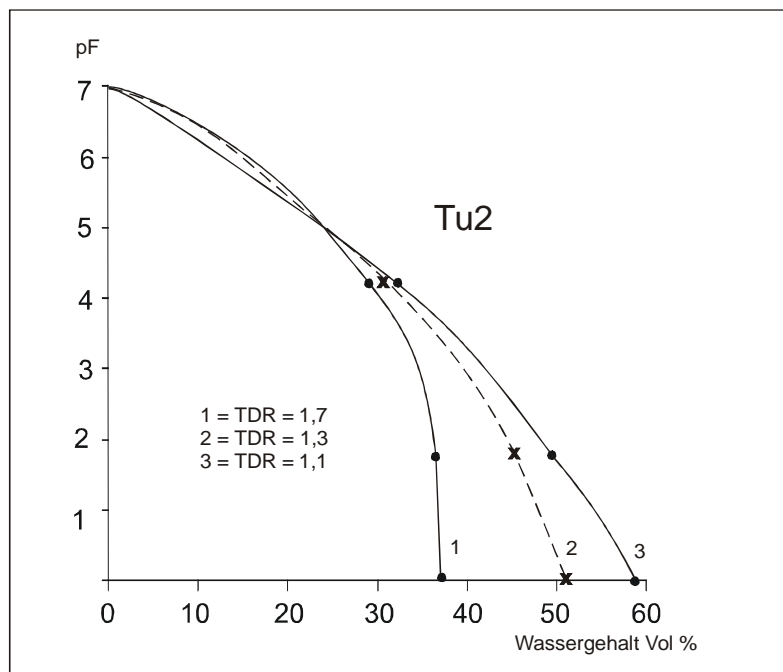


Abb. 3: Wasserretentionskurven eines Tonbodens (Tu2) in Abhängigkeit von der Trockenrohdichte (TRD)

Tab. 4: Luftkapazität, Feldkapazität und nutzbare Feldkapazität in Vol.% in Abhängigkeit von Bodenart und Trockenrohdichte unter Berücksichtigung des Feuchtigkeitsäquivalents FÄ bei Böden mit Humusgehalten von < 1 %*

| Bodenart | Luftkapazität Luftgehalt beim FÄ | | | | | Feldkapazität Wassergehalt beim FÄ | | | | | nutzbare Feldkapazität Wassergehaltsdifferenz zwischen FÄ und pF 4,2 | | | | | FÄ* pF* |
|-------------------|--|-----|-----|-----|-----|---------------------------------------|-----|-----|-----|-----|--|-----|-----|-----|-----|------------|
| | Trockenrohdichte (g/cm ³):** | | | | | | | | | | | | | | | |
| Kurz- zeichen | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,9 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,9 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,9 | |
| Ss | - | 39 | 31 | 24 | - | - | 12 | 12 | 12 | - | - | 9 | 9 | 9 | - | 1,9 |
| Sl2 | - | 28 | 22 | 17 | 11 | - | 23 | 21 | 19 | 18 | - | 15 | 13 | 11 | 10 | 2,0 |
| Sl3 | - | 26 | 20 | 14 | 9 | - | 25 | 23 | 22 | 20 | - | 15 | 13 | 12 | 10 | 2,0 |
| Sl4 | - | 23 | 18 | 12 | 7 | - | 28 | 25 | 24 | 22 | - | 15 | 12 | 11 | 9 | 2,1 |
| Slu | - | 22 | 16 | 10 | 4 | - | 29 | 27 | 26 | 25 | - | 18 | 15 | 14 | 13 | 2,1 |
| St2 | - | 30 | 25 | 20 | 14 | - | 21 | 18 | 16 | 15 | - | 13 | 10 | 8 | 7 | 2,1 |
| St3 | - | 22 | 17 | 13 | 8 | - | 29 | 26 | 23 | 21 | - | 15 | 12 | 9 | 7 | 2,2 |
| Su2 | - | 30 | 23 | 18 | 12 | - | 21 | 20 | 18 | 17 | - | 16 | 15 | 13 | 12 | 2,1 |
| Su3 | - | 25 | 19 | 14 | 9 | - | 26 | 24 | 22 | 20 | - | 19 | 17 | 15 | 13 | 2,1 |
| Su4 | - | 24 | 18 | 12 | 7 | - | 27 | 25 | 24 | 22 | - | 20 | 18 | 17 | 15 | 2,1 |
| Ls2 | 24 | 20 | 13 | 8 | 3 | 34 | 31 | 30 | 28 | 26 | 18 | 15 | 14 | 12 | 10 | 2,1 |
| Ls3 | 24 | 21 | 15 | 9 | 4 | 34 | 30 | 28 | 27 | 25 | 18 | 14 | 12 | 11 | 9 | 2,1 |
| Ls4 | 25 | 22 | 16 | 10 | 5 | 33 | 29 | 27 | 26 | 24 | 18 | 14 | 12 | 11 | 9 | 2,1 |
| Lt2 | 23 | 19 | 13 | 8 | - | 35 | 32 | 30 | 28 | - | 15 | 12 | 10 | 8 | - | 2,2 |
| Lt3 | 20 | 16 | 10 | 5 | - | 38 | 35 | 33 | 31 | - | 14 | 11 | 9 | 7 | - | 2,3 |
| Lts | 21 | 17 | 11 | 6 | - | 37 | 34 | 32 | 30 | - | 16 | 13 | 11 | 9 | - | 2,2 |
| Lu | 21 | 18 | 11 | 6 | - | 37 | 34 | 32 | 30 | - | 18 | 15 | 13 | 11 | - | 2,2 |
| Uu | 22 | 17 | 11 | 6 | - | 36 | 34 | 32 | 30 | - | 25 | 23 | 21 | 19 | - | 2,1 |
| Uls | 27 | 21 | 14 | 9 | - | 31 | 30 | 29 | 27 | - | 20 | 19 | 18 | 16 | - | 2,1 |
| Us | 26 | 20 | 14 | 9 | - | 32 | 31 | 29 | 27 | - | 22 | 21 | 19 | 17 | - | 2,1 |
| Ut2 | 26 | 20 | 14 | 8 | - | 32 | 31 | 29 | 28 | - | 21 | 20 | 18 | 17 | - | 2,2 |
| Ut3 | 24 | 19 | 12 | 6 | - | 34 | 33 | 31 | 30 | - | 20 | 19 | 17 | 16 | - | 2,2 |
| Ut4 | 23 | 17 | 12 | 4 | - | 35 | 34 | 33 | 31 | - | 18 | 17 | 16 | 14 | - | 2,2 |
| Tt | 9 | 6 | 3 | - | - | 49 | 45 | 41 | - | - | 13 | 11 | 7 | - | - | 2,5 |
| Tl | 12 | 8 | 4 | 2 | - | 46 | 43 | 39 | 35 | - | 14 | 12 | 8 | 6 | - | 2,5 |
| Tu2 | 12 | 8 | 4 | 2 | - | 46 | 43 | 39 | 35 | - | 15 | 13 | 9 | 6 | - | 2,5 |
| Tu3 | 15 | 11 | 7 | 3 | - | 43 | 39 | 36 | 33 | - | 17 | 14 | 12 | 10 | - | 2,4 |
| Tu4 | 18 | 13 | 9 | 4 | - | 40 | 37 | 33 | 31 | - | 18 | 15 | 13 | 11 | - | 2,3 |
| Ts2 | 15 | 11 | 6 | 2 | - | 43 | 40 | 37 | 34 | - | 15 | 13 | 10 | 8 | - | 2,5 |
| Ts3 | 19 | 15 | 12 | 6 | - | 39 | 35 | 31 | 30 | - | 17 | 14 | 10 | 9 | - | 2,3 |
| Ts4 | 22 | 18 | 14 | 8 | - | 36 | 33 | 29 | 28 | - | 17 | 14 | 11 | 10 | - | 2,2 |
| Sande | | | | | | | | | | | | | | | | |
| fS,fSms,fSg s | - | 35 | 28 | 21 | - | - | 15 | 15 | 15 | - | - | 11 | 11 | 11 | - | 2,1 |
| mS, mSfs, mSgs | - | 38 | 31 | 24 | - | - | 12 | 12 | 12 | - | - | 9 | 9 | 9 | - | 1,9 |
| gS | - | 43 | 35 | 28 | - | - | 8 | 8 | 8 | - | - | 5 | 5 | 5 | - | 1,9 |

*Feuchtigkeitsäquivalent in pF-Werten ermittelt anhand von Wassergehaltsmessungen im Gelände zu Beginn der Vegetationszeit und der im Labor bestimmten pF-Kurve (s. Abb.4)

** Bei tonreichen Böden können bei sehr geringer effektiver Lagerungsdichte auch TRD von < 1,1 g/cm³ auftreten. In diesen seltenen Fällen sind die LK, FK und nFK durch Extrapolation anhand der in der Tab. 4 angegebenen Werte zu ermitteln.

Schätzung bodenphysikalischer Kennwerte

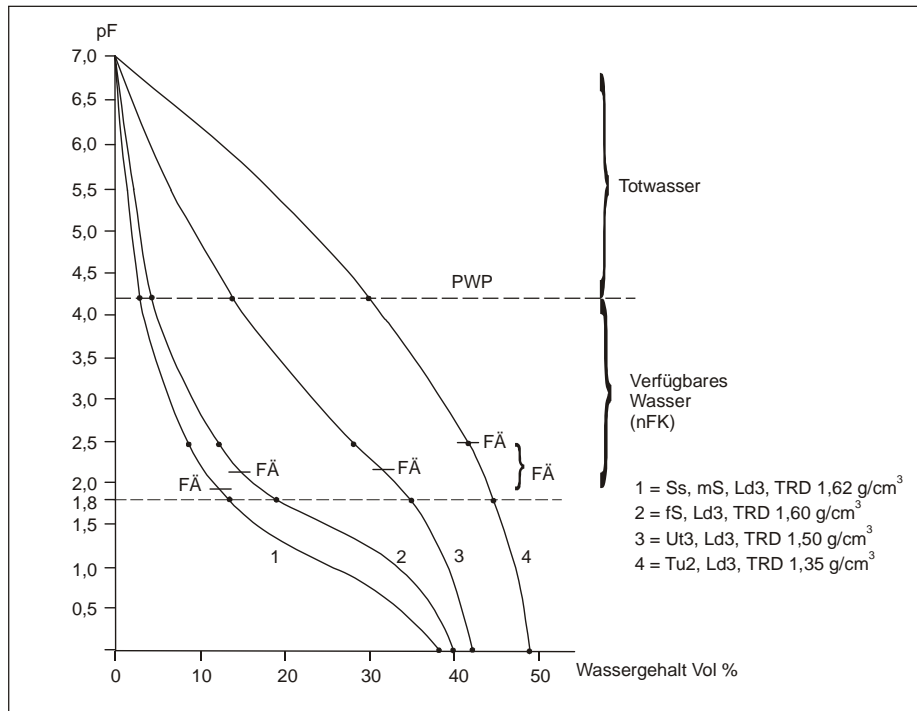


Abb. 4: Wasserretentionskurven für 4 verschiedene Bodenarten mit eingezeichneten Feuchtigkeitsäquivalenten FÄ

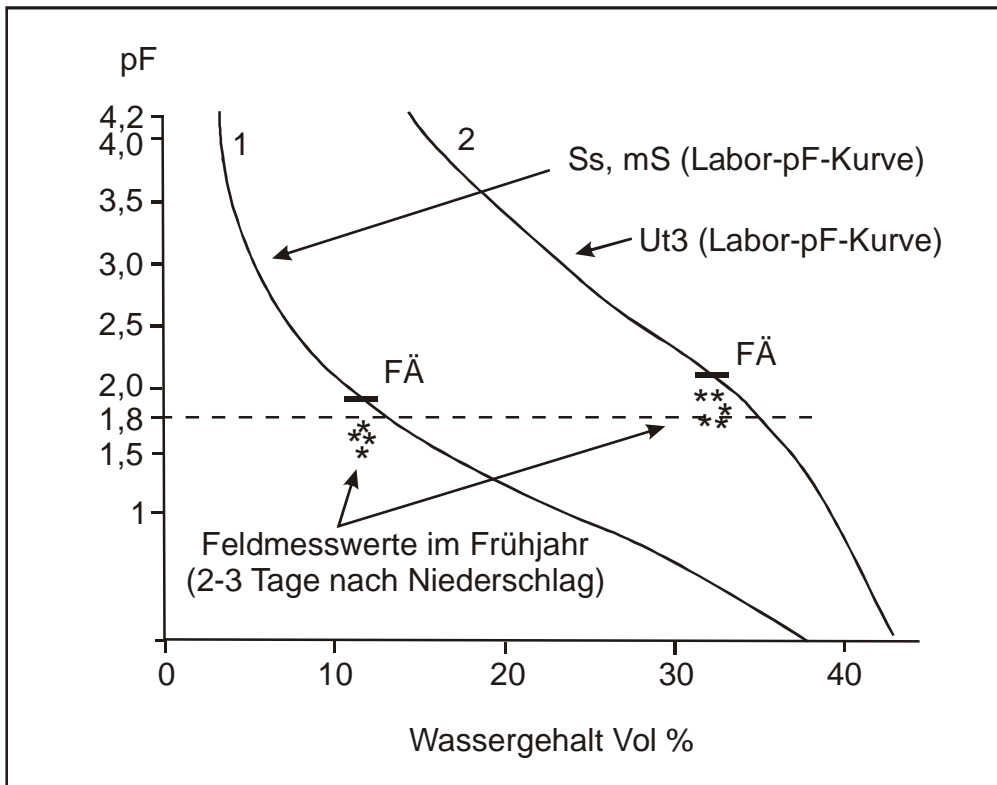


Abb. 5 Vergleich zwischen Labor pF-Kurven und Feldmesswerten von zwei Böden

In Abb. 4 sind für vier verschiedene Bodenarten die im Labor bestimmten pF-Kurven dargestellt und die im Gelände ermittelten FÄ-Werte auf den Labor-pF-Kurven gekennzeichnet. Auf diese Weise ist es möglich, den im Gelände ermittelten FÄ-Werten auch die dazu gehörigen Wasserspannungen (pF-Werte) für die verschiedenen Bodenarten zuzuordnen.

Die so ermittelten pF-Werte entsprechen allerdings nicht den pF-Werten, die unter Geländebedingungen beim Feuchtigkeitsäquivalent auftreten. Im Gelände liegen die Wasserspannungen beim FÄ aufgrund von Hysteresiseffekten und Lufteinschlüssen deutlich niedriger, wie die beiden Beispiele in Abb. 5 zeigen.

Die Bedeutung der aus der Labor-pF-Kurve abgeleiteten pF-Werte für die Feuchtigkeitsäquivalente liegt darin, dass für die Ermittlung der FK-Werte unter Geländebedingungen (FÄ-Werte), die im Labor ermittelten und in großer Zahl vorliegenden pF-Kurven verwendet werden können.

Die Wassergehaltsdifferenz zwischen pF 1,8 (Tab. 3) und dem FÄ (Tab. 4) schwanken je nach Bodenart zwischen 1 Vol. % bei den Mittel- und Grobsanden und 4-6 Vol. % bei den Schluffen und Feinsanden. Die größeren Wassergehaltsdifferenzen zwischen pF 1,8 und dem Feuchtigkeitsäquivalent des Feinsandes im Vergleich zu den Mittel- und Grobsanden sind auf die höhere Wasserleitfähigkeit des Feinsandes im Wasserspannungsbereich von 30 bis 300 hPa zurückzuführen. Dadurch kommt es nach Niederschlägen zu einer schnelleren und größeren Versickerung.

Vergleicht man die pF-Werte der Feuchtigkeitsäquivalente der verschiedenen Bodenarten, so ergibt sich, dass bei den Grob- und Mittelsanden die niedrigsten und bei den sehr tonreichen Böden die höchsten pF-Werte auftreten. Obwohl bei den tonreichen Böden die pF-Werte beim FÄ im Mittel bei 2,5 liegen, betragen die Wassergehaltsdifferenzen zwischen pF 1,8 und 2,5 aufgrund der steilen pF-Kurven im Bereich von pF 1,8 bis 2,5 je nach TRD nur zwischen 2-4 Vol. % (s. Tab. 3 und 4)

Für Böden mit einem Humusgehalt von mehr als 1% müssen nach Tab. 5 Zu- und Abschläge berücksichtigt werden. Die in Tab. 5 aufgeführten Zu- und Abschläge wurden anhand der Ergebnisse von Hennings & Müller (1993), Riek et al. (1992), Renger & Henseler (1974), Schindler (1989) überprüft und insbesondere bei den tonreichen Böden korrigiert.

Bei hydromorphen Böden sind in Abhängigkeit vom Grundwasserflurabstand und Stauwassereinfluss die in der Tab. 6 angegebenen Zu- und Abschläge zu berücksichtigen (Schindler et al. 2003, Bohne & Zacharias 2007). Der Einfluss des Grundwassers und der Staunässe wurde bisher bei der Schätzung der FK-, nFK- und LK-Werte nicht berücksichtigt.

In Tab. 7 sind 3 Beispiele für die Bestimmung der LK, FK und nFK zu finden. Um einen Vergleich zwischen den Kennwerten auf der Basis von pF 1,8 und dem FÄ zu ermöglichen, wurden in den Beispielen beide Ergebnisse aufgeführt.

Bei der Bestimmung des pflanzenverfügbaren Wassers (nFK) geht man davon aus, dass im Frühjahr FK erreicht wird. Dies trifft in niederschlagsarmen Gebieten bei Böden mit hohen nFK-Werten nicht in jedem Jahr zu. Das dabei nach trockenen Jahren auftretende Wassergehaltsdefizit im Frühjahr ist von der nFK des effektiven Wurzelraumes und der klimatischen Wasserbilanz des Sommer- und Winterhalbjahres abhängig. Wasserbilanzmessungen mit Lysimetern zeigen, dass die FK nicht erreicht wird, wenn im Sommerhalbjahr ein klimatisches Wasserbilanzdefizit (Niederschlag – Epot nach Turc) von 250 mm und mehr und im Winterhalbjahr klimatische Wasserbilanzüberschüsse von 50 mm und weniger auftreten (Knoblauch 2007).

Die in den Tab 3 und 4 aufgeführten bodenphysikalischen Kennwerte beruhen auf einer statischen Auswertung, die alle vorliegenden Daten einer Bodenart beinhaltet. Einflüsse

des geologischen Ausgangssubstrates und der Bodengenese auf die bodenphysikalischen Kennwerte sind daher in den Tabellen 3 und 4 noch nicht berücksichtigt.

Bei der Schätzung der Kennwerte in Abhängigkeit des geologischen Ausgangssubstrates und der bodengenetischen Trennung nach Horizonten wird diesen Differenzierungen Rechnung getragen. Bei beiden Herangehensweisen wurden die Datensätze einer Regressionsanalyse unterzogen. Daher unterscheiden sich Ergebnisse nicht nur hinsichtlich der Regression, sondern auch im Korrelationskoeffizienten (s. Abb.7). Diese Unterschiede sind besonders dort groß, wo die betrachtete Bodenart sich aus unterschiedlichen geologischen Herkünften zusammensetzt.

Die statistische Auswertung auf der Ebene profil- bzw. raumbezogener Daten zeigen Zusammenhänge, die sich teilweise nochmals von den Ergebnissen der beiden anderen Herangehensweisen unterscheiden.

In Abschnitt 5 sind die Ergebnisse einer statistischen Auswertung zu finden, bei der die Einflüsse der Bodengenese und des geologischen Ausgangssubstrates berücksichtigt wurden.

Tab. 5: Zuschläge und Abschläge zur Luftkapazität, nutzbaren Feldkapazität und Feldkapazität in Volumen-% in Abhängigkeit von Bodenart und Gehalt an organischer Substanz

| Bodenart Kurzzeichen | Luftkapazität | | | | nutzbare Feldkapazität | | | | Feldkapazität | | | |
|-------------------------|-------------------------------|----------|----------|-------------|------------------------|----------|----------|-------------|---------------|----------|----------|-------------|
| | organische Substanz in Stufen | | | | | | | | | | | |
| | h2 1,5% | h3 3% | h4 6% | h5 11,5% | h2 1,5% | h3 3% | h4 6% | h5 11,5% | h2 1,5% | h3 3% | h4 6% | h5 11,5% |
| Ss | 0 | -1 | -3 | -5 | 2 | 4 | 7 | 13 | 4 | 8 | 12 | 21 |
| Sl2 | 0 | -1 | -2 | -3 | 1 | 3 | 5 | 10 | 2 | 5 | 8 | 16 |
| Sl3 | 0 | -1 | -2 | -3 | 1 | 3 | 5 | 10 | 2 | 4 | 8 | 15 |
| Sl4 | 0 | -1 | -2 | -3 | 1 | 3 | 5 | 10 | 2 | 4 | 8 | 14 |
| Slu | 0 | -1 | -2 | -3 | 1 | 3 | 5 | 10 | 2 | 4 | 8 | 14 |
| St2 | 0 | 0 | -1 | -2 | 2 | 4 | 5 | 7 | 3 | 6 | 9 | 15 |
| St3 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 4 | 6 | 8 | 3 | 6 | 8 | 14 |
| Su2 | 0 | -1 | -2 | -3 | 2 | 4 | 7 | 10 | 3 | 6 | 10 | 16 |
| Su3 | 0 | -1 | -2 | -3 | 2 | 4 | 6 | 9 | 3 | 6 | 10 | 15 |
| Su4 | 0 | 0 | -1 | -2 | 2 | 4 | 6 | 9 | 3 | 6 | 9 | 14 |
| Ls2 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 3 | 5 | 9 | 2 | 4 | 7 | 13 |
| Ls3 | 0 | 0 | 1 | 2 | 2 | 4 | 6 | 9 | 2 | 4 | 7 | 13 |
| Ls4 | 0 | 0 | 1 | 2 | 2 | 4 | 7 | 10 | 3 | 5 | 8 | 13 |
| Lt2 | 0 | 1 | 2 | 3 | 1 | 3 | 4 | 7 | 2 | 4 | 6 | 10 |
| Lt3 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 6 | 2 | 3 | 5 | 10 |
| Lts | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 4 | 7 | 2 | 3 | 6 | 10 |
| Lu | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 5 | 8 | 2 | 4 | 7 | 12 |
| Uu | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 2 | 4 | 7 | 2 | 4 | 7 | 12 |
| Uls | 0 | 1 | 2 | 3 | 1 | 3 | 5 | 8 | 2 | 4 | 7 | 12 |
| Us | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 3 | 5 | 8 | 2 | 4 | 7 | 12 |
| Ut2 | 0 | 1 | 2 | 3 | 1 | 3 | 6 | 8 | 2 | 5 | 9 | 13 |
| Ut3 | 0 | 1 | 2 | 3 | 1 | 3 | 6 | 8 | 2 | 5 | 9 | 13 |
| Ut4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 3 | 6 | 8 | 2 | 5 | 9 | 13 |
| Tt | 3 | 4 | 5 | 7 | 1 | 2 | 3 | 5 | 1 | 2 | 3 | 6 |
| Tl | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 5 | 1 | 2 | 4 | 7 |
| Tu2 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 5 | 1 | 2 | 4 | 7 |
| Tu3 | 1 | 2 | 3 | 5 | 1 | 2 | 4 | 6 | 2 | 3 | 5 | 8 |
| Tu4 | 1 | 2 | 3 | 5 | 1 | 2 | 4 | 7 | 2 | 4 | 6 | 9 |
| Ts2 | 1 | 2 | 3 | 5 | 2 | 4 | 6 | 8 | 3 | 5 | 8 | 12 |
| Ts3 | 0 | 1 | 2 | 5 | 2 | 4 | 6 | 9 | 3 | 5 | 8 | 12 |
| Ts4 | 0 | 1 | 2 | 4 | 2 | 4 | 6 | 9 | 3 | 5 | 8 | 12 |

Tab. 6: Zu- und Abschlüge in Vol. % bei hydromorphen Böden

| Bodenart | vollhydromorphe Böden* | | halbhydromorphe Böden** | |
|--|------------------------|-----------|-------------------------|-----------|
| | LK | FK u. nFK | LK | FK u. nFK |
| fS, fSms | -5 | 5 | -2 | 2 |
| Ss, mS, gS, Sl2, Sl3, Slu, Su2, Su3, Su4 | -4 | 4 | -2 | 2 |
| Sl4, Ls2, Ls3, Ls4, St3, St2, Uls, Uu, Us, Ut2, Ut3, Ut4, Lu, Tu4, | -3 | 3 | -1 | 1 |
| Lt2, Lt3, Lts, Ts4, Ts3 Tu3 Tu2, Tl Ts2, Tt, | -2 | 2 | -1 | 1 |

*. Böden mit Grundwasserständen < 1 m bzw. stark staunasse Böden

** Böden mit Grundwasserständen 1-2 m bzw. staunasse Böden

Tab. 7: Beispiele für die Bestimmung von Feldkapazität FK, nutzbarer Feldkapazität nFK und Luftkapazität LK unter Berücksichtigung des Feuchtigkeitsäquivalents FÄ

| | | Beispiel 1 | Beispiel 2 | Beispiel 3 |
|--|--|------------------------|------------------------|------------------------|
| Geländedaten | Bodenart | Ss | Ut3 | Tu2 |
| | Effektive Lagerungsdichte | Ld3 | Ld3 | Ld3 |
| | Humusgehalt | <1%(h1) | <1%(h1) | 1-2%(h2) |
| | Grundwasser bzw. Stauwasser | nein | <1m | nein |
| Abgeleitete bzw. berechnete Werte | Trockenrohdichte (s. Tab. 2) | 1,62 g/cm ³ | 1,50 g/cm ³ | 1,35 g/cm ³ |
| | FK (pF 1,8) nFK (pF 1,8-4,2) LK (pF 1,8) } s. Tab. 3 | 13 Vol.% | 35 Vol.% | 45 Vol.% |
| | | 10 Vol.% | 21 Vol.% | 15 Vol.% |
| | | 26 Vol.% | 8 Vol.% | 4 Vol.% |
| | FK (Wassergehalt beim FÄ) nFK (Wassergehaltdifferenz zwischen FÄ und pF 4,2) LK (Luftgehalt beim FÄ) (s. Tab. 4) } Tab. 4 | 12 Vol.% | 31 Vol.% | 42 Vol.% |
| | | 9 Vol.% | 17 Vol.% | 12 Vol.% |
| | | 27 Vol.% | 11 Vol.% | 7 Vol.% |
| | Zu- und Abschlüge aufgrund des Humusgehaltes (s. Tab. 5): | | | |
| | FK | 0 | 0 | +1 Vol.% |
| | nFK | 0 | 0 | +1 Vol.% |
| | LK | 0 | 0 | +2 Vol.% |
| | bzw. von Grund- bzw. Stauwasser (s. Tab. 6): | | | |
| | FK | 0 | +3 | 0 |
| nFK | 0 | +3 | 0 | |
| LK | 0 | -3 | 0 | |
| Endergebnis: | | | | |
| FK* | 12 Vol.% | 34 Vol.% | 43 Vol.% | |
| nFK* | 9 Vol.% | 20 Vol.% | 13 Vol.% | |
| LK* | 27 Vol.% | 8 Vol.% | 9 Vol.% | |
| *) unter Berücksichtigung des Feuchtigkeitsäquivalents (s. Tab. 4) | | | | |

2.3. Schätzung der effektiven Durchwurzelungstiefe

Die in Tab. 81 der Bodenkundlichen Kartieranleitung KA 5 angegebenen mittleren Werte der effektiven Durchwurzelungstiefe für Einschichtprofile sind aus zwei Gründen korrekturebedürftig:

1. Der Einfluss der effektiven Lagerungsdichte bzw. Packungsdichte (s. Sauer et al. 2002) auf die Höhe der effektiven Durchwurzelungstiefe wurde bisher unterschätzt.
2. Durch die parallele Angabe der Trockenrohdichteklasse pt und der effektiven Lagerungsdichte Ld treten widersprüchliche Ergebnisse bei der Ermittlung der effektiven Durchwurzelungstiefe auf.

Nach Tab. 81 der Bodenkundlichen Kartieranleitung (KA 5) kommt man bei $pt3$ und $Ld 3$ bei der Schätzung der effektiven Durchwurzelungstiefe zum gleichen Ergebnis. Insbesondere bei tonreichen Böden entspricht dies Ergebnis nicht der Wirklichkeit. Tonreiche Böden (z.B. $Tu2$, Tt) mit einer TRD der Klasse $pt 3$ sind je nach Tongehalt als dicht bis sehr dicht einzustufen und entsprechen damit nicht der effektiven Lagerungsdichteklasse $Ld 3$. Bei den in Tab. 8 korrigierten Werten ist dieser Widerspruch beseitigt, da die Angaben zur effektiven Durchwurzelungstiefe nur noch auf der Basis der effektiven Lagerungsdichte beruhen. Außerdem wurde der Einfluss der effektiven Lagerungsdichte auf die Höhe der effektiven Durchwurzelungstiefe stärker berücksichtigt als bisher.

In sehr trockenen Jahren und in ausgeprägten Trockengebieten (< 500 mm Jahresniederschlag) können die in der Tab. 8 angegebenen effektiven Durchwurzelungstiefen bei schluff- und lehmreichen Substraten bei einer $Ld 1$ bis 3 um 10-30 % überschritten, bei Sanden dagegen unterschritten werden.

Tab. 8: Effektive Durchwurzelungstiefe für Ackerkulturen auf homogenen Böden in Abhängigkeit von Bodenart und effektiver Lagerungsdichte

| Bodenart | effektive Durchwurzelungstiefe in dm | | | |
|---|--------------------------------------|-----|-----|-----|
| | effektive Lagerungsdichte in Stufen: | | | |
| | Ld1+2 | Ld3 | Ld4 | Ld5 |
| gS, gSms, gSfs | 9 | 7 | 5 | 4 |
| Ss, mS, fS, mSgs, mSfs | 10 | 8 | 5 | 4 |
| Sl2, Su2, Su3, Su4 | 10 | 9 | 6 | 4 |
| Sl3, St2 | 11 | 9 | 7 | 5 |
| Sl4, St4, Slu | 13 | 10 | 8 | 5 |
| Ls2, Ls3, Ls4, Lt2, Lt3, Lts, Uu, Us, Tu2, Tl, Tt | 14 | 11 | 8 | 6 |
| Uls, Ut2, Ut3, Ut4, Lu, Tu3, Tu4 | 15 | 12 | 8 | 6 |
| Bei Grünland sind vom Tabellenwert 2 dm abzuziehen; bei Laubgehölzen ist der Tabellenwert mit 1,5 zu multiplizieren. Für die Bodenarten $Ts2$ - $Ts4$ können wegen zu geringer Untersuchungsergebnisse hier keine Angaben gemacht werden. | | | | |
| Torf | | | | |
| Hh (naturnah) | 2 | | | |
| Hh (naturnah) | 4 | | | |
| Bei Hochmoor unter Grünlandnutzung sind zum Tabellenwert 2 dm, bei Ackernutzung 4 dm und bei Niedermoor unter Acker 2 dm zu addieren. | | | | |

3. Mittlere pF-Kurven in Abhängigkeit von der Bodenart und die davon abgeleiteten Mualem/van Genuchten-Parameter, mittleren Wasserleitfähigkeitswerte im wasserungesättigten Zustand und kapillaren Aufstiegsraten

Die in der Bodenkundlichen Kartieranleitung KA 5 und in der DIN 4220 angegebenen mittleren pF-Kurven (s.Tab. 75 in KA5) gehen von einer TRD von ca. $1,5 \text{ g/cm}^3$ aus. Dies ergibt sich aus den geringen Schwankungen und der Höhe des Gesamtporenvolumens GPV bei den Bodenarten. Für die Sande Ss wird für die mittlere pF-Kurve ein GPV von 42 Vol-% und für die Tone ein GPV von 44 Vol-% zugrunde gelegt. Tonböden mit mehr als 45 % Ton und einem GPV von 44 % sind verdichtet und besitzen je nach Tongehalt eine hohe bis sehr hohe effektive Lagerungsdichte. Sandböden mit einem GPV von 42 Vol-% gehören dagegen zu den etwas lockeren Böden.

In der Abb. 6 ist die tatsächlich auftretende Schwankungsbreite des GPV und der TRD bei mittlerer effektiver Lagerungsdichte Ld 3 für einige Bodenarten dargestellt. Daraus geht hervor, dass zwischen den Sanden und den Tonen (z.B. Tt) mit mittlerer effektiver Lagerungsdichte Unterschiede im GPV von ca. 14 Vol. % auftreten. Nur bei den Bodenarten mit ca. 12 bis 35 % Ton entsprechen die in der KA 5 und der DIN 4220 angenommenen GPV mittleren pF-Kurven.

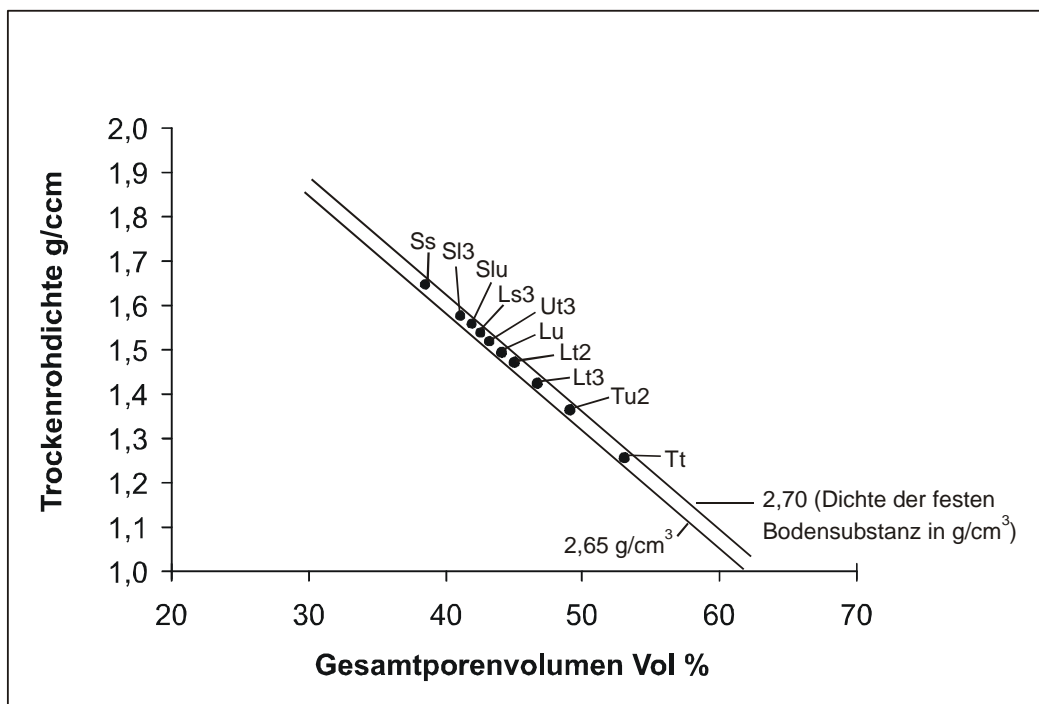


Abb.6: Beziehung zwischen Trockenrohdichte und Gesamtporenvolumen bei Böden mit mittlerer effektiver Lagerungsdichte (Dichte der festen Bodensubstanz zwischen $2,65$ und $2,70 \text{ g/cm}^3$)

Die von uns ermittelten mittleren pF-Kurven sind in Tab. 9 aufgeführt. Sie gelten für Böden mit einer mittleren effektiven Lagerungsdichte und wurden für die Ableitung der Mualem/van Genuchten-Parameter (MvG), der Berechnung der mittleren Wasserleitfähigkeit

im wasserungesättigten Zustand und des kapillaren Aufstiegs benutzt (s. Tab.10, 11 und 12).

Bei der Berechnung der mittleren Wasserleitfähigkeit im wassergesättigten Zustand wurde zugrunde gelegt, dass bei der Entwässerung jedem Wassergehalt ein Wert der Wasserspannung bzw. ein pF-Wert zugeordnet werden kann. Die Wasserströmung im Boden beschränkt sich auf die wasserführenden Poren, deren Durchmesser und deren Anzahl mit fortschreitender Entwässerung abnehmen. Mit der damit verbundenen Abnahme des Wassergehalts nimmt auch die Wasserleitfähigkeit ab.

Die Wasserleitfähigkeit des nicht wassergesättigten Bodens k_u lässt sich auch als Funktion der Wasserspannung ausdrücken.

Der Verlauf der ungesättigten Wasserleitfähigkeit wird durch eine Funktion $K(\theta)$ oder $K(\psi)$ beschrieben. Bei gegebenen Parametern (s. Tab. 10) kann die ungesättigte Wasserleitfähigkeit (k_u) auf der Basis des MvG-Modells für Bodenarten durch Gleichung 1 beschrieben werden:

$$K(\psi) = K_0 \frac{\left[1 - (\alpha|\psi|)^{n-1} (1 + (\alpha|\psi|)^n)^{-m} \right]^2}{(1 + (\alpha|\psi|)^n)^{mx}}$$

bzw.

(1)

$$K(S) = K_0 S^x \left[1 - (1 - S^{1/m})^m \right]^2$$

wobei S durch $S = (\theta - \theta_r) / (\theta_s - \theta_r)$ gegeben ist.

| | |
|--|--|
| $K_0, \alpha, n, m, x, \theta_r, \theta_s$ | = Parameter, $m = 1 - 1/n$ |
| ψ | = Wasserspannung (Porenwasserdruckhöhe), hPa |
| θ | = Volumetrischer Wassergehalt, Vol. % |

Tab. 9: Mittlere pF-Kurven in Abhängigkeit von der Bodenart für Böden mit mittlerer effektiver Lagerungsdichte (Ld3) und Humusgehalten von < 1 %

| Bodenart | Wassergehalt in Vol.% | | | | | | | | | | | | | |
|----------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| | pF-Stufen (dekadischer Logarithmus der Wasser- bzw. Saugspannung in hPa) | | | | | | | | | | | | | |
| | GPV* | 0,5 | 0,8 | 1,0 | 1,5 | 1,8 | 2,0 | 2,5 | 2,8 | 3,0 | 3,5 | 3,8 | 4,0 | 4,2 |
| Ss | 38 | 35 | 29 | 26 | 18 | 13 | 10,8 | 8 | 6,5 | 5,7 | 4,5 | 3,8 | 3,5 | 3 |
| SI2 | 39 | 37,5 | 36,0 | 34,5 | 28 | 23 | 20 | 14,5 | 12,5 | 11,8 | 9,8 | 8,7 | 8,5 | 8 |
| SI3 | 40 | 38,5 | 36,5 | 35 | 29,5 | 25,5 | 21,9 | 17,0 | 15 | 14,2 | 12,1 | 11 | 10,6 | 10 |
| SI4 | 41 | 39,5 | 38 | 36,7 | 31,5 | 28 | 26,7 | 21 | 19,5 | 18,3 | 15,3 | 14 | 13,5 | 13 |
| Slu | 42 | 40,3 | 38,5 | 37,5 | 33,7 | 30,5 | 28,5 | 23,5 | 20,3 | 18,8 | 14,7 | 13 | 12,3 | 12 |
| St2 | 40 | 35,6 | 31,8 | 28,5 | 24 | 21,2 | 20 | 16,5 | 14,8 | 13,8 | 11 | 9,9 | 9 | 8 |
| St3 | 42 | 40,3 | 38,5 | 37,5 | 33,5 | 29 | 2 | 23,7 | 22 | 20,9 | 17,5 | 16 | 15 | 14 |
| Su2 | 38 | 35 | 32 | 28,7 | 24 | 21 | 19 | 15 | 12,5 | 11,3 | 8,9 | 7,5 | 6,8 | 5 |
| Su3 | 39 | 36 | 34 | 32,5 | 28,7 | 26 | 24 | 19 | 16,3 | 15 | 11,5 | 9,7 | 8,1 | 7 |
| Su4 | 40 | 37,5 | 35,5 | 34 | 30,5 | 28 | 26 | 21 | 18 | 16 | 12 | 10 | 8,2 | 7 |
| Ls2 | 43 | 41,3 | 40 | 38,7 | 35,5 | 33 | 31 | 26 | 23,8 | 22,5 | 20 | 18 | 17,3 | 16 |
| Ls3 | 43 | 40,3 | 38,5 | 37 | 33,5 | 31 | 29,3 | 25,5 | 23 | 21,5 | 19,5 | 17,7 | 17 | 16 |
| Ls4 | 43 | 40 | 38 | 36,7 | 32,7 | 30 | 28,3 | 24,7 | 22 | 21 | 18,5 | 17 | 16 | 15 |
| Lt2 | 45 | 43 | 41,5 | 40 | 37 | 34,5 | 32,8 | 28,5 | 26,5 | 25 | 22,5 | 21,3 | 20,5 | 20 |
| Lt3 | 47 | 45 | 44 | 43 | 40,5 | 38,7 | 37,5 | 35 | 33 | 32 | 29 | 26 | 25 | 24 |
| Lts | 46 | 43,7 | 42,3 | 41 | 38,3 | 36 | 35 | 31 | 29,2 | 28 | 24,7 | 23 | 22 | 21 |
| Lu | 45 | 42,7 | 41,3 | 40 | 37,8 | 36 | 34,6 | 30 | 27,3 | 26,3 | 22,8 | 21 | 20 | 19 |
| Uu | 42 | 40,7 | 39,5 | 38,7 | 36,8 | 35,5 | 34 | 29,5 | 26,5 | 24 | 18,3 | 15,5 | 13 | 11 |
| Uls | 42 | 40,5 | 39 | 38 | 35 | 32,8 | 31,5 | 27 | 24,5 | 22,5 | 17 | 14,6 | 1 | 11 |
| Us | 41 | 40,6 | 38,2 | 37,2 | 33,7 | 32 | 29 | 24 | 21 | 19,5 | 15 | 13 | 11,3 | 10 |
| Ut2 | 42 | 40,7 | 39,2 | 38 | 35,7 | 34 | 32,8 | 26,5 | 24 | 22 | 17,3 | 15 | 13,4 | 12 |
| Ut3 | 42 | 40,7 | 40 | 39 | 36,5 | 35 | 33 | 28 | 25 | 23,5 | 18,9 | 16,8 | 15,3 | 14 |
| Ut4 | 44 | 42 | 41 | 40 | 38 | 37 | 35 | 30 | 27 | 25,5 | 21 | 19,5 | 18,2 | 17 |
| Tt | 52 | 51 | 50,5 | 50 | 49,5 | 49 | 48 | 46,5 | 45 | 44 | 41,6 | 38,5 | 36 | 34 |
| TI | 49 | 48,2 | 47,8 | 47,3 | 46 | 45 | 43,5 | 42 | 40,5 | 39,5 | 36,3 | 33,8 | 32 | 30 |
| Tu2 | 49 | 48,5 | 48 | 47,5 | 46 | 45 | 44,8 | 42,5 | 41 | 40 | 37 | 34,5 | 32,3 | 30 |
| Tu3 | 47 | 45,3 | 44,2 | 43,7 | 41,8 | 40 | 39,3 | 37,3 | 34,5 | 33,5 | 30,6 | 28,5 | 27,3 | 25 |
| Tu4 | 45 | 43,7 | 43 | 41,6 | 39 | 37 | 36 | 32 | 29,5 | 28 | 24,5 | 23 | 21,8 | 21 |
| Ts2 | 49 | 47,5 | 46,5 | 45,5 | 43,3 | 42 | 41 | 38,3 | 36,6 | 35,5 | 32 | 30 | 28,5 | 27 |
| Ts3 | 46 | 44 | 42 | 41 | 38 | 35 | 34 | 31 | 29 | 28 | 24,7 | 23 | 22 | 21 |
| Ts4 | 44 | 41,5 | 39,5 | 38 | 34,3 | 32 | 30,7 | 27 | 26 | 24,5 | 21 | 18,7 | 18 | 17 |
| Sande | | | | | | | | | | | | | | |
| fS | 40 | 38 | 35,5 | 33,5 | 27 | 19 | 16,5 | 12 | 9,5 | 8,2 | 6,5 | 5,2 | 4,6 | 4 |
| mS | 38 | 35 | 29 | 26 | 18 | 13 | 10,8 | 8 | 6,5 | 5,7 | 4,5 | 3,8 | 3,5 | 3 |
| gS | 37 | 33,5 | 28 | 24,3 | 14,5 | 9 | 7,5 | 5,5 | 4,8 | 4,5 | 3,6 | 3,2 | 2,9 | 2,6 |

* Gesamtporenvolumen

Tab. 10: Parameter nach Mualem/van Genuchten für unterschiedliche Bodenarten

| Bodenart | θ_r | θ_s | α hPa^{-1} | n | x | K_0 cm d^{-1} |
|------------------|------------|------------|-------------------------------|---------|--------|-----------------------------|
| Ss | 0 | 0,3879 | 0,26437 | 1,35154 | -0,594 | 512,094 |
| Sl2 | 0 | 0,3949 | 0,11647 | 1,25425 | 0 | 192,852 |
| Sl3 | 0,0519 | 0,3952 | 0,07097 | 1,35096 | 0 | 89,779 |
| Sl4 | 0 | 0,4101 | 0,10486 | 1,18427 | -3,236 | 141,295 |
| Slu | 0 | 0,4138 | 0,08165 | 1,17695 | -3,919 | 109,516 |
| St2 | 0 | 0,4049 | 0,48458 | 1,18828 | -6,189 | 420,421 |
| St3 | 0 | 0,4214 | 0,18023 | 1,13230 | -3,420 | 305,804 |
| Su2 | 0 | 0,3786 | 0,20387 | 1,23473 | -3,339 | 285,491 |
| Su3 | 0 | 0,3765 | 0,08862 | 1,21398 | -3,611 | 119,904 |
| Su4 | 0 | 0,3839 | 0,06005 | 1,22228 | -3,738 | 83,297 |
| Ls2 | 0,1062 | 0,4238 | 0,07743 | 1,22070 | -5,723 | 69,247 |
| Ls3 | 0,0337 | 0,4164 | 0,11076 | 1,15687 | -7,393 | 147,591 |
| Ls4 | 0,0250 | 0,4173 | 0,12968 | 1,15888 | -6,372 | 178,088 |
| Lt2 | 0,1492 | 0,4380 | 0,07013 | 1,24572 | -3,180 | 62,531 |
| Lt3 | 0,1629 | 0,4530 | 0,04947 | 1,17003 | -4,099 | 44,340 |
| Lts | 0,1154 | 0,4325 | 0,03401 | 1,19442 | 0 | 51,979 |
| Lu | 0,0534 | 0,4284 | 0,04321 | 1,16518 | -3,227 | 82,680 |
| Uu | 0 | 0,4030 | 0,01420 | 1,21344 | -0,561 | 33,787 |
| Uls | 0 | 0,4003 | 0,02513 | 1,19338 | -4,032 | 40,409 |
| Us | 0 | 0,3946 | 0,02747 | 1,22393 | -2,728 | 35,526 |
| Ut2 | 0,0101 | 0,4001 | 0,01868 | 1,22068 | -1,382 | 29,262 |
| Ut3 | 0,0053 | 0,4031 | 0,01679 | 1,20668 | -1,198 | 27,708 |
| Ut4 | 0,0276 | 0,4162 | 0,01697 | 1,20483 | -0,767 | 24,633 |
| Tt | 0 | 0,5238 | 0,06612 | 1,05215 | 0 | 154,737 |
| Tl | 0 | 0,4931 | 0,07339 | 1,06254 | 0 | 172,507 |
| Tu2 | 0 | 0,4971 | 0,07242 | 1,06062 | 0 | 178,700 |
| Tu3 | 0 | 0,4589 | 0,05500 | 1,08166 | 0 | 123,765 |
| Tu4 | 0,0170 | 0,4372 | 0,04538 | 1,12039 | 0 | 88,609 |
| Ts2 | 0 | 0,4836 | 0,08402 | 1,07669 | 0 | 249,862 |
| Ts3 | 0,07841 | 0,4374 | 0,06194 | 1,14565 | 0 | 118,038 |
| Ts4 | 0 | 0,4355 | 0,20919 | 1,11419 | -7,612 | 322,257 |
| Sande | | | | | | |
| fS,fSms,fSgs | 0 | 0,4095 | 0,15041 | 1,33576 | -0,328 | 285,093 |
| mS,mSfS,mSg s | 0 | 0,3886 | 0,26188 | 1,35330 | -0,579 | 507,500 |
| gS | 0 | 0,37676 | 0,22065 | 1,46574 | 1,3829 | 872,556 |

Die Berechnung der ungesättigten hydraulischen Leitfähigkeit gemäß Gleichung (1) mit Parametern nach Tabelle 10 ergibt die Werte der Tabelle 11.

Tab. 11: Mittlere Wasserleitfähigkeit (cm/Tag) im ungesättigten Boden in cm/d in Abhängigkeit von der Wasserspannung und der Bodenart

| Bodenart | Wasserspannung in hPa | | | | | |
|--------------|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | -30 | -63 | -100 | -300 | -500 | -1000 |
| Ss | 0.18 | 0,030 | 9,7E-3 | 6.3E-4 | 1,8E-4 | 3,1E-5 |
| Sl2 | 0,27 | 0,048 | 0,016 | 1.0E-3 | 2.9E-4 | 5.2E-5 |
| Sl3 | 0,53 | 0.090 | 0.02 | 1,5E-3 | 3,9E-4 | 6,0E-5 |
| Sl4 | 0,38 | 0,11 | 0.051 | 7.5E-3 | 3,0E-3 | 8.9E-4 |
| Slu | 0,47 | 0,15 | 0,072 | 0,012 | 5,2E-3 | 1,6E-3 |
| St2 | 0,41 | 0,17 | 0,096 | 0,025 | 0,013 | 5.9E-3 |
| St3 | 0,18 | 0,049 | 0,021 | 3,0E-3 | 1,2E-3 | 3,4E-4 |
| Su2 | 0,48 | 0,14 | 0,063 | 0,010 | 4,2E-3 | 1,3E-3 |
| Su3 | 0,64 | 0,20 | 0,097 | 0,016 | 7,0E-3 | 2,2E-3 |
| Su4 | 0,86 | 0,29 | 0,14 | 0,025 | 0,011 | 3,7E-3 |
| Ls2 | 0,79 | 0,34 | 0,20 | 0,055 | 0,030 | 0,013 |
| Ls3 | 0,66 | 0,28 | 0,17 | 0,048 | 0,026 | 0,012 |
| Ls4 | 0,54 | 0,21 | 0,12 | 0,028 | 0,014 | 5.8E-3 |
| Lt2 | 0,56 | 0,18 | 0,083 | 0,026 | 5,5E-3 | 1,7E-2 |
| Lt3 | 0,37 | 0,13 | 0,062 | 0,011 | 4,8E-3 | 1,5E-3 |
| Lts | 0,57 | 0,15 | 0,058 | 5.0E-3 | 1.5E-3 | 3.0E-4 |
| Lu | 0,70 | 0,23 | 0,11 | 0,016 | 6,5E-3 | 1,9E-3 |
| Uu | 1.53 | 0,57 | 0,26 | 0,031 | 0,010 | 2.2E-3 |
| Uls | 1,0 | 0,40 | 0,21 | 0,040 | 0,018 | 5,9E-3 |
| Us | 0,92 | 0,32 | 0,15 | 0,023 | 9,4E-3 | 2,7E-3 |
| Ut2 | 1,06 | 0,38 | 0,17 | 0,022 | 7,6E-3 | 1,8E-3 |
| Ut3 | 1,02 | 0,37 | 0,17 | 0,021 | 7,5E-3 | 1,8E-3 |
| Ut4 | 0,85 | 0,30 | 0,14 | 0,016 | 5,3E-3 | 1,2E-3 |
| Tt | 0,059 | 0,015 | 6,2E-3 | 6,8E-4 | 2,4E-4 | 5,5E-5 |
| TI | 0,076 | 0,019 | 7,7E-3 | 8,0E-4 | 2,8E-4 | 6,4E-5 |
| Tu2 | 0,076 | 0,019 | 7,7E-3 | 8,2E-4 | 2,8E-4 | 6,5E-5 |
| Tu3 | 0,14 | 0,037 | 0,015 | 1,5E-3 | 5,3E-4 | 1,2E-4 |
| Tu4 | 0,28 | 0,072 | 0,028 | 2.8E-3 | 9,1E-4 | 1,9E-4 |
| Ts2 | 0,12 | 0,030 | 0,012 | 1.2E-2 | 4,0E-4 | 9,0E-5 |
| Ts3 | 0,29 | 0,068 | 0,026 | 2,3E-3 | 7,2E-4 | 1,5E-4 |
| Ts4 | 0,27 | 0,1 | 0,054 | 0,012 | 6,1E-3 | 2,4E-3 |
| Sande | | | | | | |
| fS,fSms,fSgs | 0,33 | 0,054 | 0,017 | 1,0E-3 | 2,8E-4 | 4,8E-5 |
| mS,mSfS,mSg | 0,19 | 0,030 | 9,7E-3 | 6,2E-4 | 1,7E-4 | 3,1E-5 |
| s | | | | | | |
| gS | 0,092 | 6,9E-3 | 1,3E-3 | 2,7E-5 | 4,4E-6 | 3,7E-7 |

Tab.12: Kapillare Aufstiegsraten (mm/d) aus dem Grundwasser bis zur Untergrenze des effektiven Wurzelraumes in Abhängigkeit von der Bodenart

| Bodenart | kapillare Aufstiegsrate in mm/d | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|---|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| | Abstand zwischen der Grundwasseroberfläche und der Untergrenze des effektiven Wurzelraumes in dm: | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Kurzzeichen | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 17 | 20 | 25 | Ψ* |
| Ss | >5 | >5 | 5 | 1,6 | 0,9 | 0,5 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | | | | | | | | | | 130 |
| Sl2 | >5 | >5 | 5 | 2,6 | 1,3 | 0,8 | 0,5 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | | | | | | | | | 150 |
| Sl3 | >5 | >5 | >5 | 5 | 2,5 | 1,6 | 1,1 | 0,7 | 0,5 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | | | | | | | 150 |
| Sl4 | >5 | >5 | >5 | 5 | 3,6 | 2,4 | 1,6 | 1,2 | 0,8 | 0,6 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | | | | | 180 |
| Slu | >5 | >5 | >5 | >5 | 5 | 3,6 | 2,6 | 1,9 | 1,5 | 1,1 | 0,9 | 0,7 | 0,5 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | | 230 |
| St2 | >5 | >5 | 5 | 2,9 | 1,8 | 1,1 | 0,7 | 0,5 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | | | | | | | 260 |
| St3 | >5 | >5 | 5 | 2,9 | 1,8 | 1,1 | 0,7 | 0,5 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | | | | | | | 200 |
| Su2 | >5 | >5 | >5 | >5 | 5 | 3,0 | 2,2 | 1,7 | 1,2 | 1,0 | 0,8 | 0,6 | 0,5 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | | 240 |
| Su3 | >5 | >5 | >5 | >5 | >5 | 5 | 3,5 | 2,8 | 2,2 | 1,7 | 1,4 | 1,2 | 0,9 | 0,8 | 0,7 | 0,5 | 0,3 | 0,1 | 300 |
| Su4 | >5 | >5 | >5 | >5 | >5 | >5 | 5 | 3,9 | 2,9 | 2,3 | 1,8 | 1,5 | 1,2 | 1,0 | 0,8 | 0,5 | 0,3 | 0,1 | 250 |
| Ls2 | >5 | >5 | >5 | >5 | >5 | >5 | 4,0 | 3,0 | 2,2 | 1,7 | 1,3 | 0,9 | 0,7 | 0,5 | 0,4 | 0,2 | 0,1 | | 200 |
| Ls3 | >5 | >5 | >5 | >5 | >5 | 5 | 3,3 | 2,5 | 2,0 | 1,5 | 1,2 | 1,0 | 0,8 | 0,7 | 0,5 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | 270 |
| Ls4 | >5 | >5 | >5 | >5 | >5 | 3,6 | 2,6 | 2,0 | 1,5 | 1,2 | 0,9 | 0,7 | 0,6 | 0,5 | 0,4 | 0,3 | 0,1 | | 250 |
| Lt2 | >5 | >5 | >5 | >5 | 5 | 3,8 | 2,8 | 2,2 | 1,7 | 1,3 | 1,1 | 0,9 | 0,7 | 0,5 | 0,4 | 0,3 | 0,1 | | 250 |
| Lt3 | >5 | >5 | >5 | >5 | 5 | 3,4 | 2,6 | 1,9 | 1,5 | 1,2 | 1,0 | 0,8 | 0,7 | 0,6 | 0,5 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | 350 |
| Lts | >5 | >5 | >5 | >5 | 5 | 3,2 | 2,2 | 1,6 | 1,2 | 0,9 | 0,7 | 0,5 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | | | 280 |
| Lu | >5 | >5 | >5 | >5 | >5 | 5 | 4 | 3,1 | 2,4 | 1,9 | 1,5 | 1,2 | 1,0 | 0,8 | 0,7 | 0,5 | 0,3 | 0,1 | 300 |
| Uu | >5 | >5 | >5 | >5 | >5 | >5 | >5 | >5 | >5 | 5 | 4 | 3,3 | 2,8 | 2,4 | 2,0 | 1,5 | 1,0 | 0,5 | 400 |
| Uls | >5 | >5 | >5 | >5 | >5 | >5 | >5 | >5 | 5 | 4,4 | 3,6 | 3 | 2,6 | 2,2 | 1,9 | 1,4 | 0,9 | 0,5 | 350 |
| Us | >5 | >5 | >5 | >5 | >5 | >5 | 5 | 4,1 | 3,3 | 2,7 | 2,2 | 1,8 | 1,5 | 1,2 | 1,0 | 0,7 | 0,4 | 0,1 | 300 |
| Ut2 | >5 | >5 | >5 | >5 | >5 | >5 | >5 | 5 | 3,5 | 2,8 | 2,3 | 1,9 | 1,5 | 1,3 | 1,1 | 0,7 | 0,4 | 0,1 | 300 |
| Ut3 | >5 | >5 | >5 | >5 | >5 | >5 | >5 | 5 | 3,5 | 2,8 | 2,2 | 1,8 | 1,5 | 1,3 | 1,1 | 0,7 | 0,4 | 0,1 | 300 |
| Ut4 | >5 | >5 | >5 | >5 | >5 | >5 | 5 | 3,6 | 2,8 | 2,2 | 1,8 | 1,5 | 1,2 | 1,0 | 0,8 | 0,5 | 0,3 | 0,1 | 300 |
| Tt | >5 | 5 | 2 | 1 | 0,6 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,15 | 0,1 | | | | | | | | | 900 |
| Tl | >5 | 5 | 2,6 | 1,3 | 0,8 | 0,5 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | | | | | | | | | 750 |
| Tu2 | >5 | 5 | 2,6 | 1,3 | 0,8 | 0,5 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | | | | | | | | | 750 |
| Tu3 | >5 | >5 | 5 | 2,4 | 1,4 | 0,9 | 0,7 | 0,5 | 0,4 | 0,3 | 0,25 | 0,2 | 0,15 | 0,1 | | | | | 500 |
| Tu4 | >5 | >5 | >5 | 5 | 2,4 | 1,6 | 1,2 | 0,8 | 0,6 | 0,5 | 0,4 | 0,3 | 0,25 | 0,2 | 0,15 | 0,1 | | | 300 |
| Ts2 | >5 | >5 | 5 | 2 | 1,2 | 0,8 | 0,5 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,15 | 0,1 | | | | | | | 500 |
| Ts3 | >5 | >5 | 5,0 | 2,9 | 1,8 | 1,1 | 0,7 | 0,5 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | | | | | | | 300 |
| Ts4 | >5 | >5 | 5,0 | 2,9 | 1,8 | 1,1 | 0,7 | 0,5 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | | | | | | | 300 |
| Sande | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| fS | >5 | >5 | >5 | >5 | 5 | 3,3 | 2,2 | 1,4 | 0,9 | 0,5 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | | | | | | 140 |
| mS | >5 | >5 | 5 | 1,6 | 0,9 | 0,5 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | | | | | | | | | | 130 |
| gS | >5 | 5 | 1,4 | 0,5 | 0,2 | 0,1 | | | | | | | | | | | | | 130 |

* Angenommene Wasserspannung an der Untergrenze des effektiven Wurzelraumes W_e , dies entspricht etwa 70% der nFK an dieser Grenze, bezogen auf den ganzen Wurzelraum etwa 50% der nFK $_{we}$

4. Schätzung der gesättigten Wasserleitfähigkeit (kf in cm/Tag) in Abhängigkeit von Bodenart und Trockenrohdichte

Die in der Tab. 76 der Bodenkundlichen Kartieranleitung KA 5 (s. auch DIN 4220 Tab. 35) angegebenen gesättigten Wasserleitfähigkeitswerte zeigen besonders bei den tonreichen Böden nur eine sehr geringe Abhängigkeit von der Trockenrohdichte bzw. der effektiven Lagerungsdichte, die nicht der Wirklichkeit entspricht. Die real auftretenden Unterschiede bei den kf-Werten sind in Abhängigkeit von der TRD bei den tonreichen Böden wesentlich höher.

Anhand der Daten der Bodenkundlichen Kartieranleitung KA 3, der Ergebnisse von Renger & Henseler (1974), Harrach und Sauer (2002), Müller et al. (1970) und eigenen kf-Messungen wurde Tab. 76 der KA 5 bzw. Tab. 35 der DIN 4220 überarbeitet. Das Ergebnis ist in Tab. 13 zu finden.

Tab. 13: Mittlere Wasserdurchlässigkeit (cm/Tag) im wassergesättigten Boden in Abhängigkeit von Bodenart und Trockenrohdichte

| Bodenart | TDR (g/cm ³) | | | | |
|----------|--------------------------|------|-----|-----|------|
| | ≤1,1 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | ≥1,9 |
| Ss | - | 375 | 280 | 150 | - |
| Sl2 | - | 160 | 100 | 50 | 30 |
| Sl3 | - | 100 | 70 | 40 | 20 |
| Sl4 | - | 80 | 50 | 30 | 15 |
| Slu | - | 70 | 40 | 20 | 8 |
| St2 | - | 180 | 120 | 60 | 35 |
| St3 | - | 110 | 60 | 30 | 18 |
| Su2 | - | 185 | 125 | 65 | 30 |
| Su3 | - | 95 | 60 | 30 | 18 |
| Su4 | - | 85 | 55 | 30 | 15 |
| Ls2 | 70 | 50 | 30 | 15 | 5 |
| Ls3 | 80 | 60 | 35 | 20 | 8 |
| Ls4 | 90 | 70 | 40 | 25 | 10 |
| Lt2 | 60 | 40 | 25 | 10 | - |
| Lt3 | 35 | 20 | 10 | 3 | - |
| Lts | 45 | 30 | 20 | 5 | - |
| Lu | 50 | 35 | 20 | 8 | - |
| Uu | 40 | 30 | 18 | 4 | - |
| Uls | 50 | 35 | 20 | 7 | - |
| Us | 45 | 30 | 15 | 5 | - |
| Ut2 | 50 | 30 | 15 | 3 | - |
| Ut3 | 50 | 30 | 15 | 3 | - |
| Ut4 | 50 | 30 | 12 | 2 | - |
| Tt | 40 | 10 | ≤1 | - | - |
| Tl | 50 | 20 | 3 | ≤1 | - |
| Tu2 | 50 | 18 | 5 | ≤1 | - |
| Tu3 | 55 | 20 | 5 | ≤1 | - |
| Tu4 | 60 | 25 | 5 | 1 | - |
| Ts2 | 50 | 30 | 15 | 5 | - |
| Ts3 | 55 | 35 | 20 | 8 | - |
| Ts4 | 80 | 50 | 30 | 10 | - |
| Sande | | | | | |
| fS | - | 250 | 150 | 90 | - |
| mS | - | 375 | 250 | 150 | - |
| gS | - | 1100 | 380 | 250 | - |

5. Bestimmung bodenphysikalischer Kennwerte unter Berücksichtigung von Bodengenese und Ausgangssubstrat

Den folgenden Ergebnissen liegt eine breit gefächerte Datenbasis zugrunde (Riek et al. 1992). Die über 6000 Bodenhorizonte umfassende Datenbank enthält neben bodenphysikalischen Messgrößen zum großen Teil auch petrographische und bodengenetische Angaben, wodurch die Möglichkeit besteht, weitgehend repräsentative Aussagen zur FK, nFK und LK differenziert nach den geologischen Ausgangssubstraten des Bundesgebietes und der jeweiligen spezifischen Bodenentwicklung zu treffen. Im einzelnen stammen die Daten von den geologischen Landesämtern Bayerns (Dr. W. Grottenthaler), Niedersachsens (Dr. U. Müller), Schleswig-Holsteins (Dr. H. Finnern) und Nordrhein-Westfalens (Dr. U. Kramer). Sie wurden ergänzt durch Daten aus dem Bereich der neuen Bundesländern (Dr. E. Vetterlein), bereits veröffentlichten Daten der geologischen Landesämter Hessens und Rheinland-Pfalz sowie durch Daten des FG Bodenkunde (TU-Berlin). Einzelheiten der statistischen Auswertung sind in dem Endbericht „Ableitung bodenphysikalischer Kennwerte aus Basisdaten auf der Grundlage von bodenkundlichen Labordatenbanken“ (Riek et al. 1992) zu finden. Bei der damaligen Auswertung wurde für FK ein pF 1,8 zugrunde gelegt. Den hier im Folgenden dargestellten Feldkapazitätswerten liegen reale Feldwassergehalte (FÄ-Werte) zugrunde. Außerdem wurden die Änderungen der Bodenarteneinteilung nach KA4 bei der Darstellung der Ergebnisse berücksichtigt. Das vorhandene Datenmaterial wurde in folgende **Ausgangssubstrate** unterteilt:

1. Löss und Lösslehm
(Periglaziale, carbonathaltige, äolische Schluffablagerungen, bzw. entkalkter verwitterter Löss)
2. Sandlöss
(Periglaziale, carbonathaltige bis carbonatfreie, äolische Schluffablagerungen mit erhöhtem Sandanteil).
3. Reinsande,
(Geschiebesande, Geschiebedecksande, Sandersande, fluvioglaziale Sande, Flugsande mit Tongehalten $< 5\%$ und Schluffgehalten $< 10\%$).
4. Geschiebelehm, -mergel,
(Carbonathaltige bis carbonatfreie bindige Ablagerungen der Grund- und Endmoräne)
5. Glazialer Lehmsand (Salm),
(anlehmige Sandablagerungen der Grund- und Endmoräne Nordostdeutschlands; Tongehalt meist geringer, Sandgehalt höher als bei Geschiebelehmen).
6. Auenlehm, Hochflutlehm,
(Fluviatile, carbonathaltige bis carbonatfreie, bindige Ablagerungen).
7. Brackische, marine Ablagerungen,
(Sandige, tonige oder schluffige Ablagerungen im Gezeitenbereich der Nordseeküste).

8. Festgestein,
(Ton-, Kalk-, Tonmergelstein, Basalt, tonig verwitternd).
9. Festgestein, (Sandstein, Granit, Gneis, sandig verwitternd).

Durch die substrat-bodengenetisch differenzierte Auswertung lässt sich 1. die Genauigkeit der Schätzung der bodenphysikalischen Kennwerte deutlich verbessern (s. Riek et al. 1995, Vetterlein 1986) und 2. der substratspezifische Einfluss der Trockenrohdichte, Textur und des Humusgehaltes auf die bodenphysikalischen Kennwerte FK, nFK und LK quantifizieren.

Die Möglichkeit durch eine substratgenetische Differenzierung die Schätzergebnisse zu verbessern, wird durch die Darstellung in Abb. 7 a-c unterstrichen. Die Streudiagramme geben die Beziehung zwischen Luftkapazität und Trockenrohdichte für unterschiedliche Stichproben wieder. Bei Betrachtung aller geologischen Substrate im Korngrößenbereich von 60-80 % Schluff und 8-30 % Ton (Abb. 8) zeigt sich ein relativ lockerer Zusammenhang mit $r=-0,59$. Die Beziehung wird deutlich enger ($r=-0,78$) wenn man nur die Lössböden in diesem Körnungsbereich betrachtet (Abb. 7b). Innerhalb der Lössen erhöht sich der Erklärungswert noch weiter, wenn die Stichprobe auf einzelne Bodenhorizonte beschränkt wird, dies wird exemplarisch für die Bt-Horizonte in Abb. 7c dargestellt ($r=0,82$). Die Ergebnisse der statistischen Auswertung sind in den Tab. 14 bis 22 dargestellt.

Vergleicht man die Ergebnisse von sämtlichen bisher untersuchten Böden mit den Ergebnissen der einzelnen Substrat-Horizontgruppen so fällt auf, dass die größten Differenzen bei den Marschböden auftreten (s. Tab. 23 und Abb. 8). Die FK-Werte liegen z. B. bei den Marschböden der Bodenart SI4 z. T. um mehr als 10 Vol.% höher als die mittleren FK-Werte von sämtlichen Böden. Auch die nFK-Werte der Marschen werden ohne Berücksichtigung des substratspezifischen Ansatzes bei den sandigen Bodenarten deutlich unterschätzt. Die Ursache liegt in der spezifischen Korngrößenzusammensetzung innerhalb der Gesamtsandfraktionen (s. Abb. 9). Es zeigt sich, dass der Feinstsandanteil ca. 80 % ausmacht, gegenüber durchschnittlich 20 % bei allen anderen sandigen Substraten (s. Abb. 9). Die sandigen Bodenarten der brackisch-marinen Ablagerungen unterscheiden sich mithin kaum von den schluffigen Bodenarten, was sich entsprechend in der Porengrößenverteilung niederschlägt. Durch die Differenzierung nach Substraten werden derartige spezifische Relationen zwischen ffS, fS und gS, die bei der Bodenartenansprache nicht zum Tragen kommen, indirekt mit berücksichtigt.

Auch bei anderen Substraten treten Unterschiede zu den Angaben der KA5 und der DIN 4220 auf. So weisen z. B. die Ap- und Ah-Horizonte der Lössböden nur bei der LK eine Abhängigkeit zur TRD auf (s. Tab. 14a). Die FK und nFK-Werte sind dagegen von der TRD nicht abhängig (s. Abb. 8 und Tab. 14a).

Bei den Bv-, Cv- und G-Horizonten der Reinsande nimmt die FK und nFK mit zunehmender TRD leicht zu (s. Abb. 8 und Tab. 16b) wie Horn (1990) und Schindler (1989) bereits feststellten. Bei den humosen Ah, Bh, Aeh und Ap-Horizonten konnte dagegen bei den Sanden kein signifikanter Einfluss der TRD auf die FK und nFK nachgewiesen werden. Die Ursache dürfte in der sehr engen Korrelation zwischen Humusgehalt und TRD liegen. Dadurch ist eine Trennung der beiden Einflussgrößen nicht möglich.

Die aufgeführten Beispiele zeigen, dass mit Hilfe des substrat-horizontspezifischen Ansatzes die Schätzung der bodenphysikalischen Kennwerte FK, nFK und LK verbessert werden kann. Die Arbeitsgruppe „Kennwerte des Bodengefüges“ empfiehlt daher bei der Auswertung der bodenphysikalischen Daten in der Zukunft Ausgangssubstrat und bodengenetische Merkmale zu berücksichtigen.

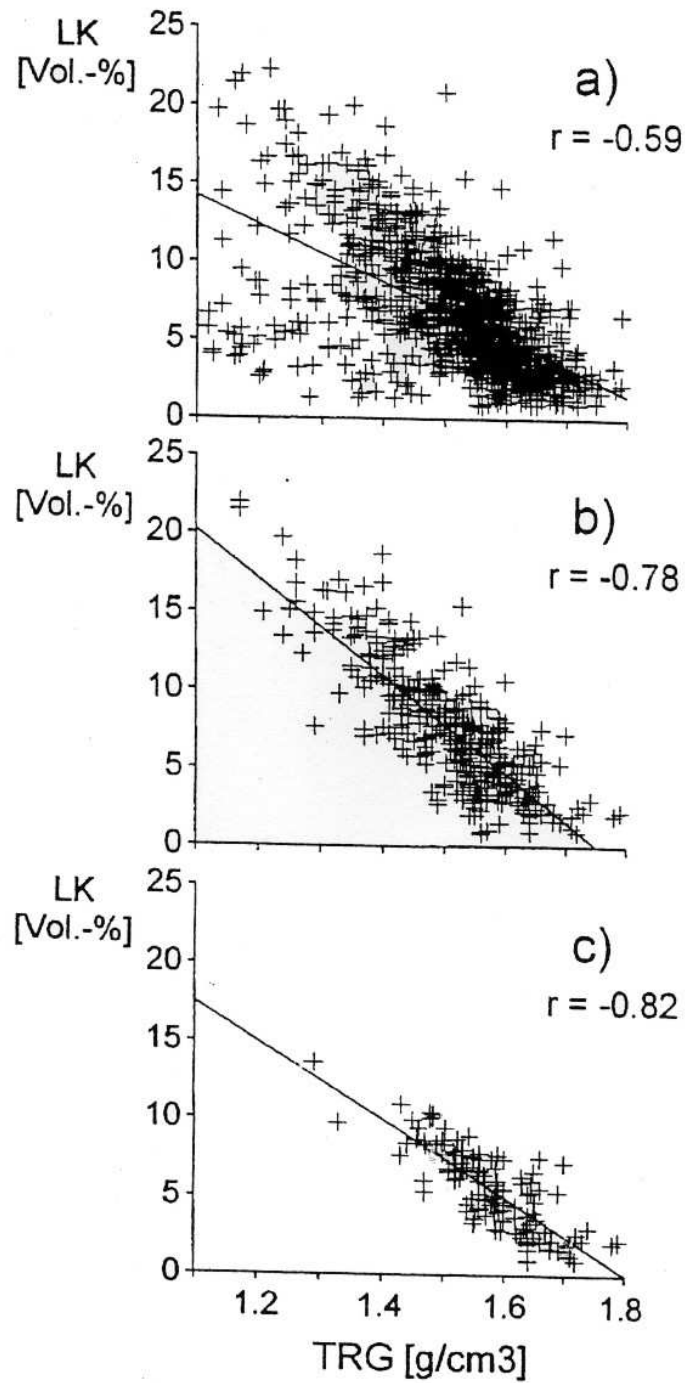


Abb. 7 a-c: Beziehung zwischen Luftkapazität (LK) und Trockenrohrdichte (TRG) für Böden im Körnungsbereich von 60 – 80 % Schluff und 12 bis 30 % Ton, a) alle geologischen Substrate, b) Löss, c) Bt-Horizonte der Löss.

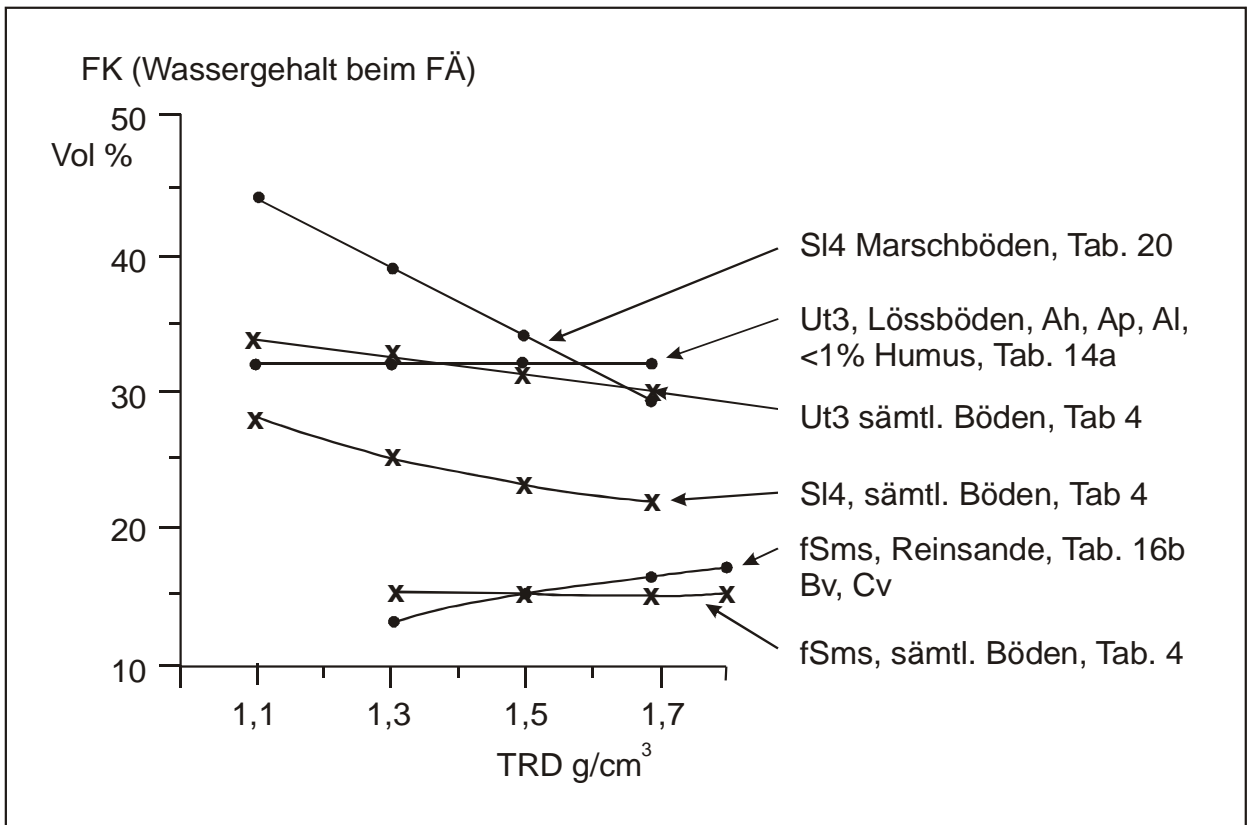


Abb. 8: Einfluss des Substrates und der Bodengeneese auf die Beziehung zwischen Feldkapazität und Trockenrohdichte am Beispiel von drei Bodenarten (SI4, Ut3, fSms)

Tab. 14a: Luftkapazität, Feldkapazität und nutzbare Feldkapazität für Bodenhorizonte aus Löss und Lösslehm unter Berücksichtigung des Feuchtigkeitsäquivalents FÄ

Löss und Lösslehm

Ah, Ap, Al

Luftkapazität Vol.% (Luftgehalt beim FÄ)*

| Humus (%): | 0,5 (h1) | | | 1,5 (h2) | | | 3,0 (h3) | | | 6,0 (h4) | | | FÄ pF |
|--------------------------|----------|-----|-----|----------|-----|-----|----------|-----|-----|----------|-----|-----|----------|
| TRD (g/cm ³) | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 0,9 | 1,1 | 1,3 | |
| Ut2 | 21 | 11 | 6 | 26 | 19 | 11 | 23 | 16 | 8 | 25 | 18 | 11 | 2,2 |
| Ut3 | 19 | 10 | 4 | 25 | 18 | 10 | 21 | 14 | 6 | 24 | 17 | 10 | 2,2 |
| Ut4 | 17 | 8 | 2 | 23 | 16 | 8 | 19 | 12 | 4 | 22 | 15 | 8 | 2,2 |
| Uls | 21 | 12 | 6 | 27 | 20 | 12 | 24 | 17 | 9 | 25 | 18 | 11 | 2,1 |
| Lu | 18 | 9 | 3 | 24 | 17 | 9 | 20 | 13 | 5 | 23 | 16 | 9 | 2,2 |
| Tu4 | 16 | 6 | 1 | 21 | 14 | 6 | 18 | 11 | 4 | 20 | 13 | 6 | 2,3 |
| Tu3 | 14 | 4 | 0 | 19 | 12 | 4 | 16 | 9 | 1 | 19 | 12 | 5 | 2,4 |

Feldkapazität Vol.% (Wassergehalt beim FÄ)*

| Humus (%): | 0,5 (h1) | 1,5 (h2) | 3,0 (h3) | 6,0 (h4) | FÄ pF |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Ut2 | 30 | 32 | 34 | 37 | 2,2 |
| Ut3 | 32 | 33 | 36 | 39 | 2,2 |
| Ut4 | 34 | 35 | 38 | 41 | 2,2 |
| Uls | 30 | 31 | 33 | 37 | 2,1 |
| Lu | 33 | 34 | 37 | 40 | 2,2 |
| Tu4 | 35 | 37 | 39 | 43 | 2,3 |
| Tu3 | 36 | 39 | 41 | 44 | 2,4 |

Nutzbare Feldkapazität Vol.% (Wassergehaltsdifferenz zwischen FÄ und pF 4,2)*

| Humus (%): | 0,5 (h1) | 1,5 (h2) | 3,0 (h3) | 6,0 (h4) | FÄ pF |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Ut2 | 19 | 20 | 21 | 23 | 2,2 |
| Ut3 | 18 | 19 | 20 | 22 | 2,2 |
| Ut4 | 17 | 18 | 19 | 21 | 2,2 |
| Uls | 17 | 17 | 18 | 20 | 2,1 |
| Lu | 15 | 16 | 17 | 19 | 2,2 |
| Tu4 | 14 | 15 | 16 | 18 | 2,3 |
| Tu3 | 13 | 14 | 15 | 17 | 2,4 |

* Bei hydromorphen Böden sind die Zu- und Abschläge der Tab. 6 zu berücksichtigen

Tab 14b: Luftkapazität, Feldkapazität und nutzbare Feldkapazität für Bodenhorizonte aus Löss und Lösslehm unter Berücksichtigung des Feuchtigkeitsäquivalents FÄ

Löss, Lösslehm

Bv, Bvt, Sw, Swd, G, Cv, C

Luftkapazität Vol.% (Luftgehalt beim FÄ)*

| Horizont | Bodenart | TRD (g/m ³) | | | FÄ pF |
|------------------------------|----------|-------------------------|-----|-----|----------|
| | | 1,3 | 1,5 | 1,7 | |
| Bv, Sw, G, Cv, C | Ut2 | 21 | 14 | 8 | 2,2 |
| | Ut3 | 20 | 12 | 6 | 2,2 |
| | Ut4 | 17 | 10 | 3 | 2,2 |
| | Uls | 20 | 13 | 7 | 2,1 |
| | Lu | 18 | 11 | 4 | 2,2 |
| | Tu4 | 15 | 8 | 2 | 2,3 |
| | Tu3 | 14 | 7 | 1 | 2,4 |
| Sd, Swd Bt, Bvt | Ut3 | 17 | 11 | 7 | 2,2 |
| | Ut4 | 15 | 9 | 4 | 2,2 |
| | Tu4 | 16 | 10 | 5 | 2,2 |
| | Lu | 13 | 7 | 2 | 2,3 |
| | Tu3 | 12 | 6 | 1 | 2,4 |

Feldkapazität Vol.% (Wassergehalt beim FÄ)*

| Horizont | Bodenart | TRD (g/m ³) | | | FÄ pF |
|------------------------------|----------|-------------------------|-----|-----|----------|
| | | 1,5 | 1,7 | 1,9 | |
| Bv, Sw, G, Cv, C | Ut2 | 30 | 29 | 28 | 2,2 |
| | Ut3 | 31 | 30 | 29 | 2,2 |
| | Ut4 | 34 | 32 | 31 | 2,2 |
| | Uls | 31 | 30 | 29 | 2,1 |
| | Lu | 33 | 32 | 32 | 2,2 |
| | Tu4 | 36 | 35 | 34 | 2,3 |
| | Tu3 | 37 | 36 | 35 | 2,4 |
| Sd, Swd Bt, Bvt | Ut3 | 34 | 32 | 29 | 2,2 |
| | Ut4 | 36 | 34 | 32 | 2,2 |
| | Tu4 | 35 | 33 | 31 | 2,2 |
| | Lu | 38 | 36 | 34 | 2,3 |
| | Tu3 | 39 | 37 | 35 | 2,4 |

Nutzbare Feldkapazität Vol.% (Wassergehaltsdifferenz zwischen FÄ und pF 4,2)*

| Horizont | Bodenart | TRD (g/m ³) | | | FÄ pF |
|------------------------------|----------|-------------------------|-----|-----|----------|
| | | 1,5 | 1,7 | 1,9 | |
| Bv, Sw, G, Cv, C | Ut2 | 19 | 18 | 17 | 2,2 |
| | Ut3 | 17 | 17 | 16 | 2,2 |
| | Ut4 | 17 | 16 | 16 | 2,2 |
| | Uls | 18 | 17 | 16 | 2,1 |
| | Lu | 15 | 14 | 14 | 2,2 |
| | Tu4 | 15 | 14 | 13 | 2,3 |
| | Tu3 | 14 | 13 | 12 | 2,4 |
| Sd, Swd Bt, Bvt | Ut3 | 20 | 18 | 16 | 2,2 |
| | Ut4 | 19 | 17 | 16 | 2,2 |
| | Tu4 | 18 | 16 | 14 | 2,2 |
| | Lu | 17 | 15 | 14 | 2,3 |
| | Tu3 | 16 | 14 | 12 | 2,4 |

* Bei hydromorphen Böden sind die Zu- und Abschläge der Tab. 6 zu berücksichtigen

Tab. 15a: Luftkapazität, Feldkapazität und nutzbare Feldkapazität für Bodenhorizonte aus Sandlöss unter Berücksichtigung des Feuchtigkeitsäquivalents FÄ

Sandlöss

Ah, Ap, Al

Luftkapazität Vol.% (Luftgehalt beim FÄ)*

| Humus (%): | 0,5 (h1) | | | 1,5 (h2) | | | | 3,0 (h3) | | | 6,0 (h4) | | | FÄ |
|---------------------------|----------|-----|-----|----------|-----|-----|-----|----------|-----|-----|----------|-----|-----|-----|
| TRD (g/cm ³): | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 0,9 | 1,1 | 1,3 | pF |
| Sl3 | 24 | 18 | 13 | 27 | 22 | 16 | 9 | 24 | 19 | 13 | 25 | 19 | 14 | 2,0 |
| Sl4 | 24 | 18 | 13 | 28 | 22 | 16 | 9 | 25 | 19 | 13 | 25 | 20 | 14 | 2,1 |
| Ls4 | 23 | 17 | 12 | 27 | 21 | 15 | 10 | 24 | 18 | 12 | 24 | 19 | 13 | 2,1 |
| Ls3 | 22 | 16 | 11 | 26 | 20 | 14 | 9 | 23 | 17 | 11 | 23 | 18 | 12 | 2,1 |
| Ls2 | 20 | 14 | 9 | 24 | 18 | 12 | 7 | 21 | 15 | 9 | 21 | 16 | 10 | 2,1 |
| Su3 | 25 | 19 | 14 | 29 | 23 | 17 | 12 | 26 | 20 | 14 | 26 | 20 | 14 | 2,1 |
| Su4 | 23 | 17 | 12 | 27 | 21 | 15 | 10 | 24 | 18 | 12 | 24 | 19 | 13 | 2,1 |
| Slu | 22 | 16 | 11 | 26 | 20 | 14 | 9 | 23 | 17 | 11 | 23 | 18 | 12 | 2,1 |
| Us | 20 | 14 | 9 | 24 | 18 | 12 | 7 | 21 | 15 | 9 | 21 | 16 | 10 | 2,1 |
| Uls | 20 | 14 | 9 | 24 | 18 | 12 | 7 | 21 | 15 | 9 | 21 | 16 | 10 | 2,1 |
| Lu | 20 | 14 | 9 | 23 | 18 | 12 | 7 | 21 | 15 | 9 | 21 | 16 | 10 | 2,2 |
| Ut2 | 18 | 12 | 7 | 21 | 16 | 10 | 5 | 19 | 13 | 7 | 19 | 14 | 8 | 2,2 |
| Ut3 | 17 | 11 | 6 | 20 | 15 | 9 | 4 | 18 | 12 | 6 | 18 | 13 | 7 | 2,2 |
| Ut4 | 16 | 10 | 5 | 19 | 14 | 8 | 3 | 17 | 11 | 5 | 17 | 12 | 6 | 2,2 |

Feldkapazität Vol.% (Wassergehalt beim FÄ)*

| Humus (%): | 0,5 (h1) | | | 1,5 (h2) | | | | 3,0 (h3) | | | 6,0 (h4) | | | FÄ |
|---------------------------|----------|-----|-----|----------|-----|-----|-----|----------|-----|-----|----------|-----|-----|-----|
| TRD (g/cm ³): | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 0,9 | 1,1 | 1,3 | pF |
| Sl3 | 27 | 25 | 23 | 31 | 29 | 27 | 25 | 33 | 31 | 29 | 38 | 37 | 35 | 2,0 |
| Sl4 | 27 | 25 | 23 | 30 | 29 | 27 | 25 | 32 | 31 | 29 | 38 | 36 | 35 | 2,1 |
| Ls4 | 28 | 26 | 24 | 31 | 30 | 28 | 26 | 33 | 32 | 30 | 39 | 37 | 36 | 2,1 |
| Ls3 | 29 | 27 | 25 | 32 | 31 | 29 | 27 | 34 | 33 | 31 | 40 | 38 | 37 | 2,1 |
| Ls2 | 31 | 29 | 27 | 34 | 33 | 31 | 29 | 36 | 35 | 33 | 42 | 40 | 39 | 2,1 |
| Su3 | 26 | 24 | 22 | 29 | 28 | 26 | 24 | 31 | 30 | 28 | 37 | 36 | 35 | 2,1 |
| Su4 | 28 | 26 | 24 | 31 | 30 | 28 | 26 | 33 | 32 | 30 | 39 | 37 | 36 | 2,1 |
| Slu | 29 | 27 | 25 | 32 | 31 | 29 | 27 | 34 | 33 | 31 | 40 | 38 | 37 | 2,1 |
| Us | 31 | 29 | 27 | 34 | 33 | 31 | 29 | 36 | 35 | 33 | 42 | 40 | 39 | 2,1 |
| Uls | 31 | 29 | 27 | 34 | 33 | 31 | 29 | 36 | 35 | 33 | 42 | 40 | 39 | 2,1 |
| Lu | 31 | 29 | 27 | 35 | 33 | 31 | 29 | 36 | 35 | 33 | 42 | 40 | 39 | 2,2 |
| Ut2 | 33 | 31 | 29 | 37 | 35 | 33 | 31 | 38 | 37 | 35 | 44 | 42 | 41 | 2,2 |
| Ut3 | 34 | 32 | 30 | 38 | 36 | 34 | 32 | 39 | 38 | 36 | 45 | 43 | 42 | 2,2 |
| Ut4 | 35 | 33 | 31 | 39 | 37 | 35 | 33 | 40 | 39 | 37 | 46 | 44 | 43 | 2,2 |

Nutzbare Feldkapazität Vol.% (Wassergehaltsdifferenz zwischen FÄ und pF 4,2)*

| Humus (%): | 0,5 (h1) | | | 1,5 (h2) | | | | 3,0 (h3) | | | 6,0 (h4) | | | FÄ |
|---------------------------|----------|-----|-----|----------|-----|-----|-----|----------|-----|-----|----------|-----|-----|-----|
| TRD (g/cm ³): | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 0,9 | 1,1 | 1,3 | pF |
| Sl3 | 18 | 16 | 14 | 21 | 19 | 17 | 15 | 22 | 20 | 18 | 25 | 23 | 21 | 2,0 |
| Sl4 | 16 | 14 | 12 | 18 | 17 | 15 | 13 | 19 | 18 | 16 | 23 | 21 | 20 | 2,1 |
| Ls4 | 15 | 13 | 11 | 17 | 16 | 14 | 12 | 18 | 17 | 15 | 22 | 20 | 19 | 2,1 |
| Ls3 | 16 | 14 | 12 | 18 | 17 | 15 | 13 | 19 | 18 | 16 | 23 | 21 | 20 | 2,1 |
| Ls2 | 17 | 15 | 13 | 19 | 18 | 16 | 14 | 20 | 19 | 17 | 24 | 22 | 21 | 2,1 |
| Su3 | 20 | 18 | 16 | 22 | 21 | 19 | 17 | 23 | 22 | 20 | 27 | 25 | 24 | 2,1 |
| Su4 | 21 | 19 | 17 | 23 | 22 | 20 | 18 | 24 | 23 | 21 | 28 | 26 | 25 | 2,1 |
| Slu | 17 | 15 | 13 | 19 | 18 | 16 | 14 | 20 | 19 | 17 | 24 | 22 | 21 | 2,1 |
| Us | 23 | 21 | 19 | 25 | 24 | 22 | 20 | 26 | 25 | 23 | 30 | 28 | 27 | 2,1 |
| Uls | 21 | 19 | 17 | 23 | 22 | 20 | 18 | 24 | 23 | 21 | 28 | 26 | 24 | 2,1 |
| Lu | 18 | 16 | 14 | 21 | 20 | 18 | 16 | 21 | 20 | 19 | 25 | 24 | 23 | 2,2 |
| Ut2 | 23 | 21 | 19 | 26 | 25 | 23 | 21 | 27 | 26 | 24 | 30 | 28 | 26 | 2,2 |
| Ut3 | 22 | 20 | 18 | 25 | 24 | 22 | 20 | 25 | 24 | 23 | 29 | 27 | 25 | 2,2 |
| Ut4 | 21 | 19 | 18 | 23 | 22 | 21 | 19 | 25 | 23 | 22 | 28 | 26 | 24 | 2,2 |

* Bei hydromorphen Böden sind die Zu- und Abschläge der Tab. 6 zu berücksichtigen

Tab. 15b: Luftkapazität, Feldkapazität und nutzbare Feldkapazität für Bodenhorizonte aus Sandlöss unter Berücksichtigung des Feuchtigkeitsäquivalents FÄ

Sandlöss

Bv, Bt, Sw, Sd, Cv

Luftkapazität Vol.% (Luftgehalt beim FÄ)*

| Bodenart | TRD (g/m ³) | | | FÄ pF |
|----------|-------------------------|-----|-----|----------|
| | 1,3 | 1,5 | 1,7 | |
| Sl3 | 25 | 18 | 13 | 2,0 |
| Sl4 | 23 | 17 | 12 | 2,1 |
| Ls4 | 23 | 17 | 12 | 2,1 |
| Ls3 | 22 | 16 | 11 | 2,1 |
| Ls2 | 20 | 14 | 9 | 2,1 |
| Su3 | 24 | 18 | 13 | 2,1 |
| Su4 | 22 | 16 | 11 | 2,1 |
| Slu | 21 | 15 | 10 | 2,1 |
| Us | 20 | 13 | 8 | 2,1 |
| Uls | 20 | 13 | 8 | 2,2 |
| Lu | 20 | 14 | 8 | 2,2 |
| Ut2 | 18 | 12 | 6 | 2,2 |
| Ut3 | 17 | 11 | 5 | 2,2 |
| Ut4 | 16 | 10 | 4 | 2,2 |

Feldkapazität Vol.% (Wassergehalt beim FÄ)*

| Bodenart | TRD (g/m ³) | | | FÄ pF |
|----------|-------------------------|-----|-----|----------|
| | 1,3 | 1,5 | 1,7 | |
| Sl3 | 26 | 25 | 23 | 2,0 |
| Sl4 | 28 | 26 | 24 | 2,1 |
| Ls4 | 28 | 26 | 24 | 2,1 |
| Ls3 | 29 | 27 | 25 | 2,1 |
| Ls2 | 31 | 29 | 27 | 2,1 |
| Su3 | 27 | 25 | 23 | 2,1 |
| Su4 | 29 | 27 | 25 | 2,1 |
| Slu | 30 | 28 | 26 | 2,1 |
| Us | 31 | 30 | 28 | 2,1 |
| Uls | 31 | 30 | 28 | 2,2 |
| Lu | 31 | 29 | 28 | 2,2 |
| Ut2 | 33 | 31 | 30 | 2,2 |
| Ut3 | 34 | 32 | 31 | 2,2 |
| Ut4 | 35 | 33 | 32 | 2,2 |

Nutzbare Feldkapazität Vol.% (Wassergehaltsdifferenz zwischen FÄ und pF 4,2)*

| Bodenart | TRD (g/m ³) | | | FÄ pF |
|----------|-------------------------|-----|-----|----------|
| | 1,3 | 1,5 | 1,7 | |
| Sl3 | 17 | 16 | 14 | 2,0 |
| Sl4 | 16 | 14 | 12 | 2,1 |
| Ls4 | 14 | 12 | 10 | 2,1 |
| Ls3 | 15 | 13 | 11 | 2,1 |
| Ls2 | 17 | 15 | 13 | 2,1 |
| Su3 | 21 | 19 | 17 | 2,1 |
| Su4 | 22 | 20 | 18 | 2,1 |
| Slu | 20 | 18 | 16 | 2,1 |
| Us | 22 | 21 | 19 | 2,1 |
| Uls | 20 | 19 | 17 | 2,2 |
| Lu | 17 | 15 | 14 | 2,2 |
| Ut2 | 23 | 21 | 20 | 2,2 |
| Ut3 | 21 | 19 | 18 | 2,2 |
| Ut4 | 19 | 17 | 16 | 2,2 |

* Bei hydromorphen Böden sind die Zu- und Abschläge der Tab. 6 zu berücksichtigen

Schätzung bodenphysikalischer Kennwerte

Tab. 16a: Luftkapazität, Feldkapazität und nutzbare Feldkapazität für Bodenhorizonte aus Reinsanden unter Berücksichtigung des Feuchtigkeitsäquivalents FÄ

Sandsubstrate: Geschiebesande, Geschiebedecksande, fluvioglaziale Sande, Flugsande (Tongehalt < 5 %, Schluffgehalt < 10 %)

Ah, Aeh, Ap, Al, Bh

Luftkapazität Vol.% (Luftgehalt beim FÄ)*

| Humus (%): | 0,5 (h1) | | | 1,5 (h2) | | | 3,0 (h3) | | | 6,0 (h4) | | | 11,5(h5) | | | FÄ pF |
|---------------------------|----------|-----|-----|----------|-----|-----|----------|-----|-----|----------|-----|-----|----------|-----|-----|----------|
| TRD (g/cm ³): | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 0,9 | 1,1 | 1,3 | |
| fS | 31 | 23 | 16 | 27 | 19 | 12 | 21 | 13 | 6 | 21 | 14 | 6 | 20 | 12 | 5 | 2,1 |
| fSms, fSgs | 33 | 25 | 18 | 29 | 21 | 14 | 23 | 15 | 8 | 23 | 16 | 8 | 22 | 14 | 7 | 2,0 |
| mSfs, mS | 38 | 30 | 23 | 34 | 26 | 19 | 27 | 19 | 12 | 26 | 19 | 11 | 25 | 17 | 10 | 1,9 |
| mSgs | 40 | 32 | 25 | 36 | 28 | 21 | 29 | 21 | 14 | 28 | 21 | 13 | 27 | 19 | 12 | 1,9 |
| gS | 42 | 34 | 27 | 38 | 30 | 23 | 30 | 22 | 15 | 29 | 22 | 14 | 28 | 20 | 13 | 1,9 |

Feldkapazität Vol.% (Wassergehalt beim FÄ)*

| Humus (%): | 0,5 (h1) | | 1,5 (h2) | | 3,0 (h3) | | 6,0 (h4) | | 11,5(h5) | | FÄ pF |
|------------|----------|--|----------|--|----------|--|----------|--|----------|--|----------|
| fS | 20 | | 24 | | 29 | | 35 | | 43 | | |
| fSms, fSgs | 18 | | 22 | | 27 | | 33 | | 41 | | 2,0 |
| mSfs, mS | 13 | | 17 | | 23 | | 30 | | 38 | | 1,9 |
| mSgs | 11 | | 15 | | 21 | | 28 | | 36 | | 1,9 |
| gS | 9 | | 13 | | 20 | | 27 | | 35 | | 1,9 |

Nutzbare Feldkapazität Vol.% (Wassergehaltsdifferenz zwischen FÄ und pF 4,2)*

| Humus (%): | 0,5 (h1) | | 1,5 (h2) | | 3,0 (h3) | | 6,0 (h4) | | 11,5(h5) | | FÄ pF |
|------------|----------|--|----------|--|----------|--|----------|--|----------|--|----------|
| fS | 16 | | 17 | | 20 | | 23 | | 28 | | |
| fSms, fSgs | 14 | | 15 | | 18 | | 21 | | 26 | | 2,0 |
| mSfs, mS | 10 | | 11 | | 14 | | 19 | | 24 | | 1,9 |
| mSgs | 8 | | 9 | | 12 | | 18 | | 23 | | 1,9 |
| gS | 6 | | 7 | | 11 | | 17 | | 22 | | 1,9 |

* Bei hydromorphen Böden sind die Zu- und Abschläge der Tab. 6 zu berücksichtigen

Schätzung bodenphysikalischer Kennwerte

Tab. 16b: Luftkapazität, Feldkapazität und nutzbare Feldkapazität für Bodenhorizonte aus Reinsanden unter Berücksichtigung des Feuchtigkeitsäquivalents FÄ

Sandsubstrate: Geschiebesand, Geschiebedecksande, fluvioglaziale Sande, Flugsande (Tongehalt < 5 %, Schluffgehalt < 10 %)

Bv, Cv, Sw, Go

Luftkapazität Vol.% (Luftgehalt beim FÄ)*

| Bodenart | TRD (g/cm ³) | | | | FÄ pF |
|------------|--------------------------|-----|-----|-----|----------|
| | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,8 | |
| fS | 36 | 26 | 18 | 13 | 2,1 |
| fSms, fSgs | 38 | 28 | 20 | 15 | 2,0 |
| mSfs, mS | 41 | 32 | 24 | 19 | 1,9 |
| mSgs | 43 | 34 | 26 | 22 | 1,9 |
| gS | 44 | 36 | 28 | 24 | 1,9 |

Feldkapazität Vol.% (Wassergehalt beim FÄ)*

| Bodenart | TRD (g/cm ³) | | | | FÄ pF |
|------------|--------------------------|-----|-----|-----|----------|
| | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,8 | |
| fS | 15 | 17 | 18 | 19 | 2,1 |
| fSms, fSgs | 13 | 15 | 16 | 17 | 2,0 |
| mSfs, mS | 10 | 11 | 12 | 13 | 1,9 |
| mSgs | 8 | 9 | 10 | 10 | 1,9 |
| gS | 7 | 7 | 8 | 8 | 1,9 |

Nutzbare Feldkapazität Vol.% (Wassergehaltsdifferenz zwischen FÄ und pF 4,2)*

| Bodenart | TRD (g/cm ³) | | | | FÄ pF |
|------------|--------------------------|-----|-----|-----|----------|
| | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,8 | |
| fS | 11 | 13 | 14 | 15 | 2,1 |
| fSms, fSgs | 9 | 11 | 12 | 13 | 2,0 |
| mSfs, mS | 7 | 8 | 9 | 10 | 1,9 |
| mSgs | 5 | 6 | 7 | 7 | 1,9 |
| gS | 4 | 4 | 5 | 5 | 1,9 |

* Bei hydromorphen Böden sind die Zu- und Abschläge der Tab.6 zu berücksichtigen

Tab. 17a:Luftkapazität, Feldkapazität und nutzbare Feldkapazität für Bodenhorizonte aus Geschiebelehm unter Berücksichtigung des Feuchtigkeitsäquivalents FÄ

Geschiebelehm, -mergel

Ah, Ap, Al

Luftkapazität Vol.% (Luftgehalt beim FÄ)*

| Humus (%): | 0,5 (h1) | | | 1,5 (h2) | | | | 3,0 (h3) | | | 6,0 (h4) | | | FÄ pF |
|---------------------------|----------|-----|-----|----------|-----|-----|-----|----------|-----|-----|----------|-----|-----|----------|
| TRD (g/cm ³): | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | |
| Lt2 | 17 | 12 | 7 | 21 | 16 | 11 | 6 | 18 | 13 | 7 | 18 | 13 | 9 | 2,2 |
| Lts | 20 | 15 | 10 | 23 | 19 | 13 | 9 | 20 | 16 | 9 | 21 | 16 | 12 | 2,2 |
| Ls2 | 18 | 13 | 8 | 22 | 17 | 12 | 7 | 19 | 14 | 8 | 19 | 14 | 10 | 2,1 |
| Ls3 | 20 | 15 | 10 | 23 | 19 | 13 | 9 | 20 | 16 | 10 | 20 | 16 | 12 | 2,1 |
| Slu | 20 | 15 | 9 | 23 | 19 | 13 | 9 | 20 | 16 | 10 | 21 | 16 | 12 | 2,1 |
| Ls4 | 23 | 17 | 13 | 26 | 22 | 16 | 12 | 23 | 19 | 13 | 24 | 19 | 15 | 2,1 |
| Sl4 | 23 | 16 | 12 | 26 | 22 | 15 | 11 | 23 | 19 | 12 | 24 | 19 | 15 | 2,1 |
| Sl3 | 25 | 19 | 15 | 28 | 24 | 18 | 14 | 25 | 20 | 15 | 25 | 20 | 15 | 2,0 |
| Sl2 | 27 | 21 | 17 | 30 | 25 | 20 | 16 | 27 | 22 | 17 | 27 | 22 | 17 | 2,0 |

Feldkapazität Vol.% (Wassergehalt beim FÄ)*

| Humus (%): | 0,5 (h1) | | | 1,5 (h2) | | | | 3,0 (h3) | | | 6,0 (h4) | | | FÄ pF |
|---------------------------|----------|-----|-----|----------|-----|-----|-----|----------|-----|-----|----------|-----|-----|----------|
| TRD (g/cm ³): | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | |
| Lt2 | 34 | 31 | 29 | 37 | 35 | 32 | 30 | 39 | 37 | 35 | 45 | 43 | 40 | 2,2 |
| Lts | 31 | 28 | 26 | 35 | 32 | 30 | 27 | 37 | 34 | 33 | 42 | 40 | 37 | 2,2 |
| Ls2 | 33 | 30 | 28 | 36 | 34 | 31 | 29 | 38 | 36 | 34 | 44 | 42 | 39 | 2,1 |
| Ls3 | 31 | 28 | 26 | 35 | 32 | 30 | 27 | 37 | 34 | 32 | 42 | 40 | 37 | 2,1 |
| Slu | 31 | 28 | 27 | 35 | 32 | 30 | 27 | 37 | 34 | 32 | 42 | 40 | 37 | 2,1 |
| Ls4 | 28 | 26 | 23 | 32 | 29 | 27 | 24 | 34 | 31 | 29 | 39 | 37 | 34 | 2,1 |
| Sl4 | 28 | 27 | 24 | 32 | 29 | 28 | 25 | 34 | 31 | 30 | 39 | 37 | 34 | 2,1 |
| Sl3 | 26 | 24 | 21 | 30 | 27 | 25 | 22 | 32 | 30 | 27 | 38 | 36 | 34 | 2,0 |
| Sl2 | 24 | 22 | 19 | 28 | 26 | 23 | 20 | 30 | 28 | 25 | 36 | 34 | 32 | 2,0 |

Nutzbare Feldkapazität Vol.% (Wassergehaltsdifferenz zwischen FÄ und pF 4,2)*

| Humus (%): | 0,5 (h1) | | | 1,5 (h2) | | | | 3,0 (h3) | | | 6,0 (h4) | | | FÄ pF |
|---------------------------|----------|-----|-----|----------|-----|-----|-----|----------|-----|-----|----------|-----|-----|----------|
| TRD (g/cm ³): | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | |
| Lt2 | 12 | 10 | 8 | 15 | 13 | 10 | 8 | 17 | 15 | 13 | 22 | 20 | 17 | 2,2 |
| Lts | 10 | 8 | 6 | 14 | 11 | 9 | 7 | 16 | 13 | 11 | 20 | 18 | 15 | 2,2 |
| Ls2 | 13 | 10 | 8 | 16 | 14 | 11 | 9 | 18 | 16 | 14 | 23 | 21 | 18 | 2,1 |
| Ls3 | 12 | 10 | 8 | 16 | 13 | 12 | 9 | 18 | 15 | 14 | 22 | 20 | 17 | 2,1 |
| Slu | 15 | 13 | 10 | 19 | 16 | 14 | 11 | 21 | 18 | 16 | 25 | 23 | 20 | 2,1 |
| Ls4 | 12 | 11 | 8 | 16 | 13 | 12 | 9 | 18 | 15 | 14 | 22 | 20 | 17 | 2,1 |
| Sl4 | 13 | 12 | 10 | 17 | 14 | 13 | 11 | 19 | 16 | 15 | 23 | 21 | 18 | 2,1 |
| Sl3 | 15 | 14 | 12 | 18 | 16 | 15 | 13 | 21 | 19 | 17 | 25 | 23 | 22 | 2,0 |
| Sl2 | 15 | 14 | 12 | 19 | 17 | 15 | 13 | 21 | 19 | 17 | 25 | 23 | 22 | 2,0 |

* Bei hydromorphen Böden sind die Zu- und Abschläge der Tab.6 zu berücksichtigen

Tab. 17b:Luftkapazität, Feldkapazität und nutzbare Feldkapazität für Böden aus Geschiebelehm unter Berücksichtigung des Feuchtigkeitsäquivalents FÄ

Geschiebelehm, -mergel

Bv, Bt, Sw, Cr, C

Luftkapazität Vol.% (Luftgehalt beim FÄ) *

| Horizont | Bodenart | TRD (g/cm ³) | | | | FÄ pF |
|----------------------|----------|--------------------------|-----|-----|-----|----------|
| | | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,9 | |
| Bv Bt Sw Sd | Lt2 | 17 | 11 | 5 | - | 2,2 |
| | Lts | 20 | 14 | 8 | 3 | 2,2 |
| | Ls2 | 20 | 14 | 8 | 2 | 2,1 |
| | Ls3 | 21 | 15 | 9 | 3 | 2,1 |
| | Slu | 22 | 16 | 10 | 4 | 2,1 |
| | Ls4 | 23 | 17 | 11 | 5 | 2,1 |
| | Sl4 | 24 | 18 | 12 | 7 | 2,1 |
| | Sl3 | 26 | 19 | 14 | 9 | 2,0 |
| | Sl2 | 28 | 21 | 16 | 11 | 2,0 |

| Horizont | Bodenart | TRD (g/cm ³) | | | | FÄ pF |
|----------|----------|--------------------------|-----|-----|-----|----------|
| | | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,9 | |
| Cv C | Lt2 | 17 | 12 | 7 | 4 | 2,2 |
| | Lts | 19 | 14 | 9 | 5 | 2,2 |
| | Ls2 | 18 | 13 | 8 | 5 | 2,1 |
| | Ls3 | 19 | 14 | 8 | 5 | 2,1 |
| | Slu | 19 | 14 | 9 | 7 | 2,1 |
| | Ls4 | 21 | 16 | 11 | 8 | 2,1 |
| | Sl4 | 22 | 17 | 12 | 9 | 2,1 |
| | Sl3 | 24 | 18 | 14 | 11 | 2,0 |
| | Sl2 | 26 | 20 | 16 | | 2,0 |

Feldkapazität Vol.% (Wassergehalt beim FÄ)*

| Horizont | Bodenart | TRD (g/cm ³) | | | | FÄ pF |
|----------------------|----------|--------------------------|-----|-----|-----|----------|
| | | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,9 | |
| Bv Bt Sw Sd | Lt2 | 34 | 32 | 31 | - | 2,2 |
| | Lts | 31 | 29 | 28 | 26 | 2,2 |
| | Ls2 | 31 | 29 | 28 | 27 | 2,1 |
| | Ls3 | 30 | 28 | 27 | 26 | 2,1 |
| | Slu | 29 | 27 | 26 | 25 | 2,1 |
| | Ls4 | 28 | 26 | 25 | 24 | 2,1 |
| | Sl4 | 27 | 25 | 24 | 22 | 2,1 |
| | Sl3 | 25 | 24 | 22 | 20 | 2,0 |
| | Sl2 | 23 | 22 | 20 | 18 | 2,0 |

| Horizont | Bodenart | TRD (g/cm ³) | | | | FÄ pF |
|----------|----------|--------------------------|-----|-----|-----|----------|
| | | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,9 | |
| Cv C | Lt2 | 34 | 31 | 29 | 25 | 2,2 |
| | Lts | 32 | 29 | 27 | 24 | 2,2 |
| | Ls2 | 33 | 30 | 28 | 25 | 2,1 |
| | Ls3 | 32 | 29 | 27 | 24 | 2,1 |
| | Slu | 32 | 29 | 27 | 24 | 2,1 |
| | Ls4 | 30 | 27 | 25 | 22 | 2,1 |
| | Sl4 | 29 | 26 | 24 | 21 | 2,1 |
| | Sl3 | 27 | 25 | 22 | 20 | 2,0 |
| | Sl2 | 25 | 23 | 20 | 18 | 2,0 |

Nutzbare Feldkapazität Vol.% (Wassergehaltsdifferenz zwischen FÄ und pF 4,2)*

| Horizont | Bodenart | TRD (g/cm ³) | | | | FÄ pF |
|----------------------|----------|--------------------------|-----|-----|-----|----------|
| | | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,9 | |
| Bv Bt Sw Sd | Lt2 | 12 | 10 | 9 | - | 2,2 |
| | Lts | 11 | 9 | 8 | 7 | 2,2 |
| | Ls2 | 13 | 11 | 10 | 9 | 2,1 |
| | Ls3 | 12 | 10 | 9 | 8 | 2,1 |
| | Slu | 15 | 13 | 12 | 10 | 2,1 |
| | Ls4 | 12 | 10 | 9 | 8 | 2,1 |
| | Sl4 | 14 | 12 | 11 | 10 | 2,1 |
| | Sl3 | 15 | 14 | 12 | 11 | 2,0 |
| | Sl2 | 15 | 14 | 12 | 11 | 2,0 |

| Horizont | Bodenart | TRD (g/cm ³) | | | | FÄ pF |
|----------|----------|--------------------------|-----|-----|-----|----------|
| | | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,9 | |
| Cv C | Lt2 | 12 | 10 | 8 | - | 2,2 |
| | Lts | 12 | 10 | 8 | 7 | 2,2 |
| | Ls2 | 15 | 12 | 10 | 8 | 2,1 |
| | Ls3 | 15 | 12 | 10 | 8 | 2,1 |
| | Slu | 18 | 15 | 13 | 10 | 2,1 |
| | Ls4 | 15 | 12 | 10 | 8 | 2,1 |
| | Sl4 | 17 | 14 | 12 | 10 | 2,1 |
| | Sl3 | 18 | 16 | 13 | 11 | 2,0 |
| | Sl2 | 18 | 16 | 13 | 11 | 2,0 |

* Bei hydromorphen Böden sind die Zu- und Abschlüge der Tab. 6 zu berücksichtigen

Tab. 18a: Luftkapazität, Feldkapazität und nutzbare Feldkapazität für Bodenhorizonte aus glazialen Lehmsand (Salm) unter Berücksichtigung des Feuchtigkeitsäquivalents FÄ

Glazialer Lehmsand (Salm), (anlehmige Sandablagerungen der Grund- und Endmoränen; Tongehalt meist geringer, Sandgehalt höher als bei Geschiebelehmen)

Ah, Ap

Luftkapazität Vol.% (Luftgehalt beim FÄ)*

| Humus (%): | 0,5 (h1) | | | 1,5 (h2) | | | 3,0 (h3) | | | 6,0 (h4) | | | FÄ pF |
|---------------------------|----------|-----|-----|----------|-----|-----|----------|-----|-----|----------|-----|-----|----------|
| TRD (g/cm ³): | 1,5 | 1,7 | 1,9 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | |
| SI4 | 19 | 14 | 9 | 22 | 16 | 11 | 19 | 12 | 7 | 17 | 11 | 5 | 2,1 |
| SI3 | 20 | 15 | 9 | 23 | 17 | 12 | 20 | 13 | 8 | 18 | 12 | 6 | 2,0 |
| SI 2 | 22 | 17 | 12 | 25 | 19 | 14 | 22 | 15 | 10 | 20 | 14 | 8 | 2,0 |
| Su2 | 22 | 17 | 12 | 25 | 19 | 14 | 22 | 15 | 10 | 20 | 14 | 8 | 2,1 |
| Su3 | 19 | 14 | 9 | 22 | 16 | 12 | 19 | 12 | 8 | 17 | 11 | 5 | 2,1 |
| Slu | 15 | 10 | 5 | 18 | 12 | 8 | 15 | 8 | 4 | 13 | 7 | 1 | 2,1 |

Feldkapazität Vol.% (Wassergehalt beim FÄ)*

| Humus (%): | 0,5 (h1) | | | 1,5 (h2) | | | 3,0 (h3) | | | 6,0 (h4) | | | FÄ pF |
|---------------------------|----------|-----|-----|----------|-----|-----|----------|-----|-----|----------|-----|-----|----------|
| TRD (g/cm ³): | 1,5 | 1,7 | 1,9 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | |
| SI4 | 24 | 22 | 20 | 29 | 27 | 25 | 31 | 30 | 30 | 39 | 38 | 36 | 2,1 |
| SI3 | 23 | 21 | 20 | 28 | 26 | 24 | 30 | 29 | 29 | 38 | 37 | 35 | 2,0 |
| SI 2 | 21 | 19 | 17 | 26 | 24 | 22 | 28 | 27 | 27 | 36 | 35 | 33 | 2,0 |
| Su2 | 21 | 19 | 17 | 26 | 24 | 22 | 28 | 27 | 27 | 36 | 35 | 33 | 2,1 |
| Su3 | 24 | 22 | 20 | 29 | 27 | 24 | 31 | 30 | 30 | 39 | 38 | 36 | 2,1 |
| Slu | 28 | 26 | 24 | 33 | 31 | 28 | 35 | 34 | 34 | 43 | 42 | 40 | 2,1 |

Nutzbare Feldkapazität Vol.% (Wassergehaltsdifferenz zwischen FÄ und pF 4,2)*

| Humus (%): | 0,5 (h1) | | | 1,5 (h2) | | | 3,0 (h3) | | | 6,0 (h4) | | | FÄ pF |
|---------------------------|----------|-----|-----|----------|-----|-----|----------|-----|-----|----------|-----|-----|----------|
| TRD (g/cm ³): | 1,5 | 1,7 | 1,9 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | |
| SI4 | 12 | 10 | 8 | 16 | 14 | 12 | 18 | 17 | 15 | 25 | 23 | 21 | 2,1 |
| SI3 | 14 | 12 | 11 | 18 | 16 | 14 | 20 | 19 | 17 | 27 | 25 | 23 | 2,0 |
| SI 2 | 14 | 12 | 10 | 18 | 16 | 14 | 20 | 19 | 17 | 28 | 26 | 23 | 2,0 |
| Su2 | 16 | 14 | 12 | 20 | 18 | 16 | 22 | 21 | 19 | 29 | 27 | 25 | 2,1 |
| Su3 | 18 | 16 | 14 | 22 | 20 | 17 | 24 | 23 | 20 | 32 | 30 | 27 | 2,1 |
| Slu | 18 | 16 | 14 | 22 | 20 | 18 | 24 | 23 | 21 | 32 | 29 | 27 | 2,1 |

* Bei hydromorphen Böden sind die Zu- und Abschläge der Tab. 6 zu berücksichtigen

Tab 18b: Luftkapazität, Feldkapazität und nutzbare Feldkapazität für Bodenhorizonte aus glazialen Lehmsand (Salm) unter Berücksichtigung des Feuchtigkeitsäquivalents FÄ

Glazialer Lehmsand (Salm), (anlehmiger Sandablagerungen der Grund- und Endmoränen; Tongehalt meist geringer, Sandgehalt höher als bei Grundmoränen)

Al, Bv, Sw, Go, G, C, Bt, Sd

Luftkapazität Vol.% (Luftgehalt beim FÄ)*

| Horizont | Bodenart | TRD (g/m ³) | | | FÄ pF |
|----------------------------|----------|-------------------------|-----|-----|----------|
| | | 1,5 | 1,7 | 1,9 | |
| Al, Bv Sw Go, G C | Ls3 | 14 | 8 | 2 | 2,1 |
| | Ls4 | 15 | 9 | 3 | 2,1 |
| | Sl4 | 16 | 11 | 5 | 2,1 |
| | Sl3 | 18 | 13 | 7 | 2,0 |
| | Sl2 | 21 | 16 | 10 | 2,0 |
| | St2 | 23 | 17 | 11 | 2,1 |
| | Su2 | 24 | 18 | 11 | 2,1 |
| | Su3 | 20 | 15 | 8 | 2,1 |
| | Slu | 16 | 10 | 4 | 2,1 |
| Bt Sd | Ls2, Ls3 | 16 | 10 | 3 | 2,1 |
| | Sl4 | 18 | 12 | 5 | 2,1 |
| | Slu | 17 | 13 | 4 | 2,1 |

Feldkapazität Vol.% (Wassergehalt beim FÄ)*

| Horizont | Bodenart | TRD (g/m ³) | | | FÄ pF |
|----------------------------|----------|-------------------------|-----|-----|----------|
| | | 1,5 | 1,7 | 1,9 | |
| Al, Bv Sw Go, G C | Ls3 | 29 | 28 | 26 | 2,1 |
| | Ls4 | 28 | 27 | 25 | 2,1 |
| | Sl4 | 27 | 25 | 23 | 2,1 |
| | Sl3 | 25 | 23 | 21 | 2,0 |
| | Sl2 | 22 | 20 | 18 | 2,0 |
| | St2 | 20 | 19 | 17 | 2,1 |
| | Su2 | 19 | 18 | 17 | 2,1 |
| | Su3 | 23 | 21 | 20 | 2,1 |
| | Slu | 27 | 26 | 24 | 2,1 |
| Bt Sd | Ls2, Ls3 | 27 | 26 | 25 | 2,1 |
| | Sl4 | 25 | 24 | 23 | 2,1 |
| | Slu | 26 | 25 | 24 | 2,1 |

Nutzbare Feldkapazität Vol.% (Wassergehaltsdifferenz zwischen FÄ und pF 4,2)*

| Horizont | Bodenart | TRD (g/m ³) | | | FÄ pF |
|----------------------------|----------|-------------------------|-----|-----|----------|
| | | 1,5 | 1,7 | 1,9 | |
| Al, Bv Sw Go, G C | Ls3 | 12 | 11 | 9 | 2,1 |
| | Ls4 | 11 | 10 | 8 | 2,1 |
| | Sl4 | 13 | 11 | 9 | 2,1 |
| | Sl3 | 15 | 13 | 11 | 2,0 |
| | Sl2 | 15 | 13 | 11 | 2,0 |
| | St2 | 15 | 14 | 12 | 2,1 |
| | Su2 | 15 | 14 | 13 | 2,1 |
| | Su3 | 18 | 16 | 15 | 2,1 |
| | Slu | 20 | 19 | 18 | 2,1 |
| Bt Sd | Ls2, Ls3 | 13 | 12 | 11 | 2,1 |
| | Sl4 | 15 | 14 | 13 | 2,1 |
| | Slu | 17 | 16 | 15 | 2,1 |

* Bei hydromorphen Böden sind die Zu- und Abschläge der Tab. 6 zu berücksichtigen

Tab. 19a: Luftkapazität, Feldkapazität und nutzbare Feldkapazität für Auenböden unter Berücksichtigung des Feuchtigkeitsäquivalents FÄ

Auenlehm, Hochflutlehm

Ah, Aeh, Ap, Al, Bh

Luftkapazität Vol.% (Luftgehalt beim FÄ)*

| Humus (%) | 0,5 (h1) | | | | 1,5 (h2) | | | | 3,0 (h3) | | | 6,0 (h4) | | | 11,5(h5) | | | FÄ pF |
|---------------------------|----------|-----|-----|-----|----------|-----|-----|-----|----------|-----|-----|----------|-----|-----|----------|-----|-----|-------|
| TRD (g/cm ³): | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 0,9 | 1,1 | 1,3 | 0,9 | 1,1 | 1,3 | |
| Sl4 | 26 | 23 | 18 | 14 | 25 | 22 | 17 | 13 | 23 | 20 | 15 | 25 | 20 | 17 | 22 | 17 | 14 | 2,1 |
| Ls4 | 25 | 22 | 16 | 13 | 24 | 21 | 15 | 12 | 22 | 19 | 13 | 24 | 19 | 16 | 21 | 16 | 13 | 2,1 |
| Ls3 | 23 | 20 | 14 | 11 | 22 | 19 | 13 | 10 | 20 | 17 | 11 | 20 | 17 | 14 | 17 | 14 | 11 | 2,1 |
| Ls2 | 21 | 18 | 12 | 9 | 20 | 17 | 11 | 8 | 18 | 15 | 9 | 18 | 15 | 12 | 15 | 12 | 9 | 2,1 |
| Lu | 19 | 16 | 10 | 6 | 18 | 15 | 9 | 5 | 16 | 13 | 7 | 17 | 13 | 10 | 14 | 10 | 7 | 2,2 |
| Lts | 21 | 18 | 12 | 9 | 20 | 17 | 11 | 7 | 18 | 15 | 9 | 19 | 15 | 12 | 16 | 12 | 9 | 2,2 |
| Lt2 | 19 | 16 | 11 | 6 | 18 | 15 | 10 | 5 | 16 | 13 | 8 | 17 | 13 | 10 | 14 | 10 | 7 | 2,2 |
| Lt3 | 17 | 13 | 8 | 4 | 16 | 13 | 8 | 4 | 14 | 11 | 6 | 15 | 11 | 8 | 12 | 8 | 5 | 2,3 |
| Tu4 | 17 | 13 | 7 | - | 16 | 12 | 6 | - | 14 | 10 | 4 | 15 | 11 | 7 | 12 | 8 | 4 | 2,3 |
| Tu3 | 15 | 12 | 6 | - | 14 | 11 | 5 | - | 12 | 9 | 3 | 12 | 9 | 6 | 9 | 6 | 3 | 2,4 |
| Tu2 | 13 | 10 | 4 | - | 12 | 9 | 3 | - | 10 | 7 | 1 | 10 | 7 | 4 | 7 | 4 | 1 | 2,5 |

Feldkapazität Vol.% (Wassergehalt beim FÄ)*

| Humus (%) | 0,5 (h1) | | | | 1,5 (h2) | | | | 3,0 (h3) | | | 6,0 (h4) | | | 11,5(h5) | | | FÄ pF |
|---------------------------|----------|-----|-----|-----|----------|-----|-----|-----|----------|-----|-----|----------|-----|-----|----------|-----|-----|-------|
| TRD (g/cm ³): | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 0,9 | 1,1 | 1,3 | 0,9 | 1,1 | 1,3 | |
| Sl4 | 32 | 28 | 25 | 22 | 33 | 29 | 26 | 23 | 34 | 30 | 27 | 38 | 36 | 32 | 40 | 38 | 34 | 2,1 |
| Ls4 | 33 | 29 | 27 | 23 | 34 | 30 | 28 | 24 | 35 | 31 | 29 | 39 | 37 | 33 | 41 | 39 | 35 | 2,1 |
| Ls3 | 35 | 31 | 29 | 25 | 36 | 32 | 30 | 26 | 37 | 33 | 31 | 43 | 39 | 35 | 45 | 41 | 37 | 2,1 |
| Ls2 | 37 | 33 | 31 | 27 | 38 | 34 | 32 | 28 | 39 | 35 | 33 | 45 | 41 | 37 | 47 | 43 | 39 | 2,1 |
| Lu | 39 | 35 | 33 | 36 | 40 | 36 | 34 | 31 | 41 | 37 | 35 | 46 | 43 | 39 | 48 | 45 | 41 | 2,2 |
| Lts | 37 | 33 | 31 | 28 | 38 | 34 | 32 | 29 | 39 | 35 | 33 | 44 | 41 | 37 | 46 | 43 | 39 | 2,2 |
| Lt2 | 39 | 35 | 32 | 30 | 40 | 36 | 33 | 31 | 41 | 37 | 34 | 46 | 43 | 39 | 48 | 45 | 41 | 2,2 |
| Lt3 | 41 | 38 | 35 | 32 | 42 | 38 | 35 | 32 | 43 | 39 | 36 | 48 | 45 | 41 | 50 | 47 | 43 | 2,3 |
| Tu4 | 41 | 38 | 36 | - | 42 | 39 | 37 | - | 43 | 40 | 38 | 48 | 45 | 42 | 50 | 47 | 44 | 2,3 |
| Tu3 | 43 | 39 | 37 | - | 44 | 40 | 38 | - | 45 | 41 | 39 | 51 | 47 | 43 | 53 | 49 | 45 | 2,4 |
| Tu2 | 45 | 41 | 39 | - | 46 | 42 | 40 | - | 47 | 43 | 41 | 53 | 49 | 45 | 55 | 51 | 47 | 2,5 |

Nutzbare Feldkapazität Vol.% (Wassergehaltsdifferenz zwischen FÄ und pF 4,2)*

| Humus (%) | 0,5 (h1) | | | | 1,5 (h2) | | | | 3,0 (h3) | | | 6,0 (h4) | | | 11,5(h5) | | | FÄ pF |
|---------------------------|----------|-----|-----|-----|----------|-----|-----|-----|----------|-----|-----|----------|-----|-----|----------|-----|-----|-------|
| TRD (g/cm ³): | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 0,9 | 1,1 | 1,3 | 0,9 | 1,1 | 1,3 | |
| Sl4 | 20 | 16 | 13 | 10 | 20 | 16 | 13 | 10 | 21 | 17 | 14 | 24 | 22 | 18 | 25 | 23 | 19 | 2,1 |
| Ls4 | 18 | 14 | 12 | 8 | 18 | 14 | 12 | 8 | 19 | 15 | 13 | 23 | 20 | 16 | 24 | 21 | 17 | 2,1 |
| Ls3 | 18 | 14 | 12 | 8 | 18 | 14 | 12 | 8 | 19 | 15 | 13 | 23 | 20 | 16 | 24 | 21 | 17 | 2,1 |
| Ls2 | 19 | 15 | 13 | 9 | 19 | 15 | 13 | 9 | 20 | 16 | 14 | 24 | 21 | 17 | 25 | 22 | 18 | 2,1 |
| Lu | 17 | 13 | 11 | 8 | 17 | 13 | 11 | 8 | 18 | 14 | 12 | 22 | 19 | 15 | 23 | 20 | 16 | 2,2 |
| Lts | 17 | 13 | 12 | 8 | 17 | 13 | 12 | 8 | 18 | 14 | 12 | 22 | 19 | 15 | 23 | 20 | 16 | 2,2 |
| Lt2 | 18 | 14 | 12 | 9 | 18 | 14 | 12 | 9 | 19 | 15 | 13 | 23 | 20 | 16 | 24 | 21 | 17 | 2,2 |
| Lt3 | 15 | 12 | 10 | 8 | 15 | 12 | 10 | 8 | 16 | 13 | 11 | 20 | 17 | 14 | 21 | 18 | 15 | 2,3 |
| Tu4 | 17 | 14 | 12 | - | 17 | 14 | 12 | - | 18 | 15 | 12 | 22 | 19 | 16 | 23 | 20 | 17 | 2,3 |
| Tu3 | 15 | 12 | 9 | - | 15 | 12 | 9 | - | 16 | 12 | 10 | 20 | 17 | 13 | 21 | 18 | 14 | 2,4 |
| Tu2 | 13 | 10 | 7 | - | 13 | 10 | 7 | - | 14 | 10 | 8 | 18 | 15 | 11 | 19 | 16 | 12 | 2,5 |

* Bei hydromorphen Böden handelt, sind die Zu- und Abschläge der Tab. 6 zu berücksichtigen

Tab. 19b: Luftkapazität, Feldkapazität und nutzbare Feldkapazität für Auenböden unter Berücksichtigung des Feuchtigkeitsäquivalents FÄ

Auenlehm, Hochluftlehm

Bv, M, S, G, C

Luftkapazität Vol.% (Luftgehalt beim FÄ)*

| Bodenart: | TRD (g/cm ³) | | | | FÄ pF |
|-----------|--------------------------|-----|-----|-----|----------|
| | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | |
| Sl4 | 23 | 20 | 16 | 13 | 2,1 |
| Ls4 | 21 | 18 | 14 | 12 | 2,1 |
| Ls3 | 20 | 17 | 13 | 11 | 2,1 |
| Ls2 | 19 | 16 | 12 | 9 | 2,1 |
| Lu | 16 | 13 | 9 | 6 | 2,2 |
| Lts | 17 | 14 | 11 | 8 | 2,2 |
| Lt2 | 16 | 13 | 9 | 6 | 2,2 |
| Lt3 | 12 | 10 | 6 | 3 | 2,3 |
| Tu4 | 13 | 11 | 7 | 4 | 2,3 |
| Tu3 | 12 | 9 | 5 | 2 | 2,4 |
| Tu2 | 9 | 7 | 3 | - | 2,5 |

Feldkapazität Vol.% (Wassergehalt beim FÄ)*

| Bodenart: | TRD (g/cm ³) | | | | FÄ pF |
|-----------|--------------------------|-----|-----|-----|----------|
| | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | |
| Sl4 | 35 | 31 | 27 | 23 | 2,1 |
| Ls4 | 37 | 33 | 29 | 24 | 2,1 |
| Ls3 | 38 | 34 | 30 | 25 | 2,1 |
| Ls2 | 39 | 35 | 31 | 27 | 2,1 |
| Lu | 42 | 38 | 34 | 30 | 2,2 |
| Lts | 41 | 37 | 32 | 28 | 2,2 |
| Lt2 | 42 | 38 | 34 | 30 | 2,2 |
| Lt3 | 46 | 41 | 37 | 33 | 2,3 |
| Tu4 | 45 | 40 | 36 | 32 | 2,3 |
| Tu3 | 46 | 42 | 38 | 34 | 2,4 |
| Tu2 | 49 | 44 | 40 | - | 2,5 |

Nutzbare Feldkapazität Vol.% (Wassergehaltsdifferenz zwischen FÄ und pF 4,2)*

| Bodenart: | TRD (g/cm ³) | | | | FÄ pF |
|-----------|--------------------------|-----|-----|-----|----------|
| | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | |
| Sl4 | 20 | 18 | 14 | 10 | 2,1 |
| Ls4 | 20 | 16 | 12 | 7 | 2,1 |
| Ls3 | 19 | 15 | 11 | 6 | 2,1 |
| Ls2 | 20 | 16 | 12 | 8 | 2,1 |
| Lu | 19 | 15 | 11 | 7 | 2,2 |
| Lts | 19 | 15 | 10 | 6 | 2,2 |
| Lt2 | 18 | 14 | 10 | 6 | 2,2 |
| Lt3 | 17 | 12 | 8 | 5 | 2,3 |
| Tu4 | 19 | 14 | 11 | 8 | 2,3 |
| Tu3 | 16 | 12 | 8 | 5 | 2,4 |
| Tu2 | 14 | 10 | 7 | - | 2,5 |

* Bei hydromorphen Böden sind die Zu- und Abschläge der Tab. 6 zu berücksichtigen

Tab. 20: Luftkapazität, Feldkapazität und nutzbare Feldkapazität für Marschböden unter Berücksichtigung des Feuchtigkeitsäquivalents FÄ

Brackische und marine Ablagerungen

Luftkapazität Vol.% (Luftgehalt beim FÄ)*

| Bodenart | TRD (g/cm ³) | | | | | FÄ pF |
|---------------------------------|--------------------------|-----|-----|-----|-----|----------|
| | 0,9 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | |
| Tt | 6 | 5 | 3 | - | - | 2,5 |
| Tl, Tu2 | 8 | 7 | 6 | 1 | - | 2,5 |
| Lt3 | 12 | 10 | 9 | 4 | 1 | 2,3 |
| Tu4, Lu | 14 | 12 | 9 | 4 | 1 | 2,4 |
| Tu3 | 14 | 12 | 10 | 7 | 3 | 2,3 |
| Lts | 15 | 11 | 8 | 4 | 2 | 2,2 |
| Lt2 | - | 13 | 10 | 6 | 3 | 2,2 |
| Ut4 | - | 13 | 12 | 9 | 6 | 2,2 |
| Ls2, Ls3, Ls4 | - | 13 | 11 | 8 | 5 | 2,1 |
| Sl2, Sl3 | - | 13 | 11 | 8 | 6 | 2,0 |
| Uls, Slu, Sl4, Su2, Su3, Su4 | - | 14 | 11 | 9 | 7 | 2,1 |

Feldkapazität Vol.% (Wassergehalt beim FÄ)*

| Bodenart | TRD (g/cm ³) | | | | | FÄ pF |
|---------------------------------|--------------------------|-----|-----|-----|-----|----------|
| | 0,9 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | |
| Tt | 59 | 53 | 48 | - | - | 2,5 |
| Tl, Tu2 | 56 | 51 | 45 | 42 | - | 2,5 |
| Lt3 | 53 | 48 | 42 | 39 | 35 | 2,3 |
| Tu4, Lu | 51 | 46 | 42 | 39 | 35 | 2,4 |
| Tu3 | 51 | 46 | 41 | 36 | 33 | 2,3 |
| Lts | 51 | 47 | 43 | 39 | 34 | 2,2 |
| Lt2 | 50 | 45 | 41 | 37 | 33 | 2,2 |
| Ut4 | - | 45 | 39 | 34 | 30 | 2,2 |
| Ls2, Ls3, Ls4 | - | 45 | 40 | 35 | 31 | 2,1 |
| Sl2, Sl3 | - | 45 | 40 | 35 | 30 | 2,0 |
| Uls, Slu, Sl4, Su2, Su3, Su4 | - | 44 | 39 | 34 | 29 | 2,1 |

Nutzbare Feldkapazität Vol.% (Wassergehaltsdifferenz zwischen FÄ und pF 4,2)*

| Bodenart | TRD (g/cm ³) | | | | | FÄ pF |
|---------------|--------------------------|-----|-----|-----|-----|----------|
| | 0,9 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | |
| Tt | 19 | 14 | 10 | - | - | 2,5 |
| Tl, Tu2 | 19 | 15 | 12 | 9 | - | 2,5 |
| Lt3 | 20 | 16 | 13 | 10 | 6 | 2,3 |
| Tu3 | 20 | 16 | 13 | 10 | 6 | 2,4 |
| Tu4 | 22 | 19 | 15 | 10 | 7 | 2,3 |
| Lu | - | 22 | 19 | 14 | 10 | 2,3 |
| Lt2, Lts | 21 | 16 | 13 | 10 | 7 | 2,2 |
| Ut4 | - | 22 | 17 | 14 | 10 | 2,2 |
| Ls2, Ls3, Ls4 | - | 24 | 21 | 17 | 12 | 2,1 |
| Uls | - | 30 | 26 | 21 | 17 | 2,1 |
| Slu | - | 30 | 25 | 20 | 16 | 2,1 |
| Sl4 | - | 28 | 24 | 20 | 16 | 2,1 |
| Sl2, Sl3 | - | 30 | 26 | 21 | 17 | 2,0 |
| Su2, Su3, Su4 | - | 36 | 32 | 25 | 20 | 2,1 |

* Bei hydromorphen Böden sind die Zu- und Abschläge der Tab. 6 zu berücksichtigen

Schätzung bodenphysikalischer Kennwerte

Tab 21: Luftkapazität, Feldkapazität und nutzbare Feldkapazität für Bodenhorizonte aus tonigen Festgestein unter Berücksichtigung des Feuchtigkeitsäquivalents FÄ

Festgestein (tonig verwitternd, Bsp. Ton-, Kalk-, Tonmelgelstein, Basalt)

Ah, Ap, Bt, Sw, Sd, Cv, P

| Luftkapazität Vol.% (Luftgehalt beim FÄ)* | | | | | | Feldkapazität Vol.% (Wassergehalt beim FÄ)* | | | | | | Nutzbare Feldkapazität Vol.% (Wassergehaltsdifferenz zwischen FÄ und pF 4,2)* | | | | | | |
|---|----------|-------------------------|-----|-----|-----|---|----------|-------------------------|-----|-----|-----|---|----------|-------------------------|-----|-----|-----|-------|
| Horizont | Bodenart | TRD (g/m ³) | | | | Horizont | Bodenart | TRD (g/m ³) | | | | Horizont | Bodenart | TRD (g/m ³) | | | | FÄ pF |
| | | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | | | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | | | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | |
| Ah Ap | Lu | 16 | 13 | 9 | - | Ah Ap | Lu | 42 | 38 | 34 | - | Ah Ap | Lu | 18 | 14 | 10 | - | 2,2 |
| | Lts | 15 | 12 | 8 | - | | Lts | 43 | 39 | 35 | - | | Lts | 16 | 12 | 9 | - | 2,2 |
| | Lt2 | 17 | 14 | 10 | - | | Lt2 | 41 | 37 | 33 | - | | Lt2 | 17 | 14 | 10 | - | 2,2 |
| | Lt3 | 15 | 13 | 8 | - | | Lt3 | 43 | 38 | 34 | - | | Lt3 | 16 | 12 | 8 | - | 2,3 |
| | Tu3 | 14 | 12 | 9 | - | | Tu3 | 44 | 39 | 34 | - | | Tu3 | 17 | 13 | 8 | - | 2,4 |
| | Tu2, Tl | 12 | 8 | 4 | - | | Tu2, Tl | 46 | 43 | 39 | - | | Tu2, Tl | 13 | 11 | 7 | - | 2,5 |
| | Tt | 10 | 6 | 2 | - | | Tt | 48 | 45 | 42 | - | | Tt | 12 | 10 | 7 | - | 2,5 |
| Bv Sw | Lu | 14 | 13 | 10 | 7 | Bv Sw | Lu | 44 | 38 | 33 | 29 | Bv Sw | Lu | 19 | 14 | 9 | 6 | 2,2 |
| | Lts | 13 | 12 | 9 | 5 | | Lts | 45 | 39 | 34 | 31 | | Lts | 17 | 12 | 7 | 5 | 2,2 |
| | Lt2 | 13 | 12 | 10 | 7 | | Lt2 | 45 | 39 | 33 | 29 | | Lt2 | 18 | 13 | 8 | 5 | 2,2 |
| | Lt3 | 12 | 11 | 9 | 6 | | Lt3 | 46 | 40 | 34 | 31 | | Lt3 | 17 | 12 | 7 | 5 | 2,3 |
| | Tu3 | 13 | 11 | 9 | 6 | | Tu3 | 45 | 40 | 34 | 30 | | Tu3 | 18 | 14 | 8 | 5 | 2,4 |
| | Tu2, Tl | 10 | 7 | 5 | 3 | | Tu2, Tl | 48 | 44 | 38 | 33 | | Tu2, Tl | 15 | 12 | 6 | 5 | 2,5 |
| | Tt | 8 | 5 | 3 | - | | Tt | 50 | 46 | 40 | - | | Tt | 13 | 10 | 5 | - | 2,5 |
| Sd Cv P | Lu | - | 14 | 10 | 7 | Sd Cv P | Lu | - | 37 | 33 | 29 | Sd Cv P | Lu | - | 13 | 7 | 5 | 2,2 |
| | Lts | - | 12 | 8 | 5 | | Lts | - | 39 | 35 | 31 | | Lts | - | 12 | 8 | 5 | 2,2 |
| | Lt2 | - | 13 | 9 | 6 | | Lt2 | - | 38 | 34 | 30 | | Lt2 | - | 12 | 8 | 5 | 2,2 |
| | Lt3 | - | 13 | 9 | 6 | | Lt3 | - | 38 | 34 | 30 | | Lt3 | - | 11 | 7 | 5 | 2,3 |
| | Tu3 | - | 12 | 9 | 6 | | Tu3 | - | 39 | 34 | 30 | | Tu3 | - | 13 | 8 | 5 | 2,4 |
| | Tu2, Tl | - | 8 | 4 | 1 | | Tu2, Tl | - | 43 | 39 | 35 | | Tu2, Tl | - | 10 | 7 | 5 | 2,5 |
| | Tt | - | 5 | 2 | - | | Tt | - | 46 | 41 | - | | Tt | - | 9 | 6 | - | 2,5 |

* Bei hydromorphen Böden sind die Zu- und Abschlüge der Tab.6 zu berücksichtigen

Tab 22: Luftkapazität, Feldkapazität und nutzbare Feldkapazität für Bodenhorizonte aus sandigem Festgestein unter Berücksichtigung des Feuchtigkeitsäquivalents FÄ

Festgestein (sandig verwitternd, Bsp. Sandstein, Granit)

Bv, Cv

Luftkapazität Vol.% (Luftgehalt beim FÄ)

| Bodenart | TRD (g/cm ³) | | | | FÄ pF |
|----------|--------------------------|-----|-----|-----|----------|
| | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | |
| SI2 | 41 | 34 | 26 | 19 | 2,0 |
| SI3 | 37 | 30 | 22 | 15 | 2,0 |
| SI4 | 31 | 24 | 16 | 9 | 2,1 |
| St2 | 41 | 34 | 26 | 19 | 2,1 |
| St3 | 36 | 29 | 21 | 14 | 2,2 |
| St2 | 42 | 35 | 27 | 20 | 2,1 |

Feldkapazität Vol.% (Wassergehalt beim FÄ)

| Bodenart | Vol. % | FÄ pF |
|----------|--------|----------|
| SI2 | 17 | 2,0 |
| SI3 | 21 | 2,0 |
| SI4 | 27 | 2,1 |
| St2 | 17 | 2,1 |
| St3 | 22 | 2,2 |
| St2 | 16 | 2,1 |

Nutzbare Feldkapazität Vol.% (Wassergehaltsdifferenz zwischen FÄ und pF 4,2)

| Bodenart | Vol. % | FÄ pF |
|----------|--------|----------|
| SI2 | 10 | 2,0 |
| SI3 | 12 | 2,0 |
| SI4 | 16 | 2,1 |
| St2 | 6 | 2,1 |
| St3 | 6 | 2,2 |
| St2 | 10 | 2,1 |

Schätzung bodenphysikalischer Kennwerte

Tab. 23: Vergleich der Feldkapazität und nutzbaren Feldkapazität in Vol.% von Böden verschiedener Ausgangsgesteine

| Kennwert | Bodenart | TRD (g/cm ³) | Humus % | Sämtl. Böden (Tab. 4) | Löss- u. Lösslehm (Tab. 14b) | Sandlöss (Tab. 15b) | Geschiebe- lehm (Tab. 17b) | Salm (Tab. 18b) | Auen (Tab. 19a und 19b) | Mar- schen Tab. 20) | Tongestein (Tab. 21) |
|----------|----------|-----------------------------|------------|--------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|----------------------------------|-----------------------|-------------------------------|---------------------------|-------------------------|
| FK* | Sl4 | 1,50 | < 1 | 26 | - | 26 | 25 | 27 | 27 | 35 | - |
| nFK** | Sl4 | 1,50 | < 1 | 13 | - | 14 | 12 | 13 | 14 | 20 | - |
| FK* | Ls5 | 1,40 | < 1 | 29 | - | 28 | 29 | - | 32 | 36 | - |
| nFK** | Ls5 | 1,40 | < 1 | 13 | - | 14 | 11 | - | 13 | 19 | - |
| FK* | Tu2 | 1,50 | < 1 | 39 | - | - | - | - | 40 | 42 | 39 |
| nFK** | Tu2 | 1,50 | < 1 | 9 | - | - | - | - | 7 | 9 | 7 |
| FK* | Tu2 | 1,10 | 3 | 48 | - | - | - | - | 47 | 51 | 48 |
| nFK** | Tu2 | 1,10 | 3 | 17 | - | - | - | - | 14 | 15 | 15 |
| FK* | Tu4 | 1,30 | < 1 | 37 | 37 | - | - | - | 42 | 41 | 40 |
| nFK** | Tu4 | 1,30 | < 1 | 14 | 14 | - | - | - | 12 | 13 | 13 |

* Wassergehalt in Vol.% beim Feuchtigkeitsäquivalent

** Wassergehaltsdifferenz in Vol.% zwischen Feuchtigkeitsäquivalent und pF 4,2

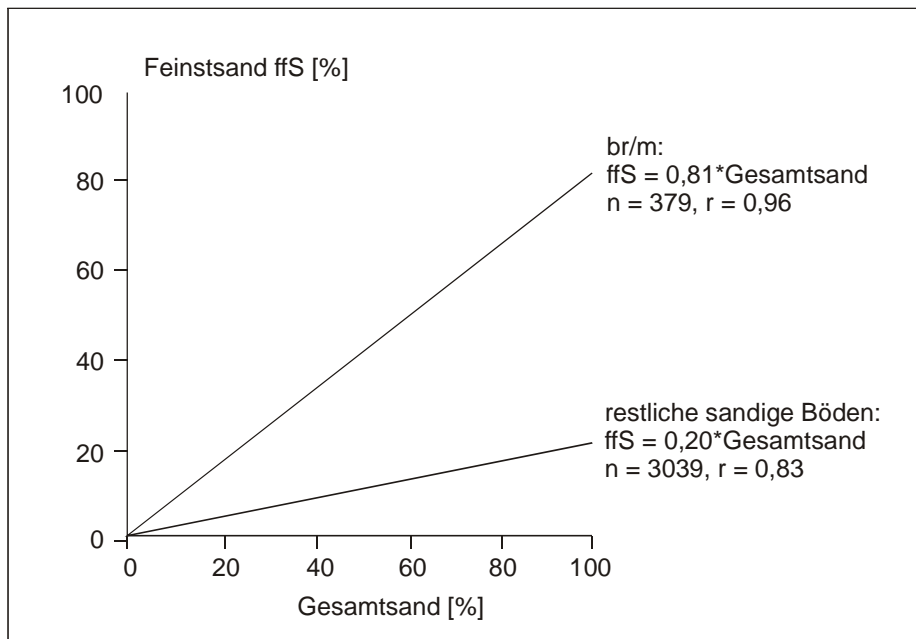


Abb. 9: Anteil des Feinstsandes (<125 µm) an der Gesamtsandfraktion von brackisch-marinen Ablagerungen (br/m) im Vergleich zu nicht marinen sandigen Substraten.

6. Zusammenfassung

Die in der Bodenkundlichen Kartieranleitung KA 5 bzw. in der DIN 4220 aufgeführten Tabellen für die Schätzung der bodenphysikalischen Kennwerte (FK, nFK, LK und kf) weisen leider gravierende Mängel auf. Die Arbeitsgruppe der DBG „Kennwerte des Bodengefüges“ hat sich daher das Ziel gesetzt:

1. die vorliegenden Erfahrungen und Vorschläge zur Verbesserung der Ergebnisse in den Schätztabellen zu berücksichtigen und
2. FK-Werte abzuleiten, die sich an realistischen Feldwassergehalten orientieren.

Zur Erreichung der o.a. genannten Ziele wurde zunächst die Beziehung zwischen effektiver Lagerungsdichte und Trockenrohdichte TRD überprüft und anhand der neuen Ergebnisse korrigiert. Bei der weiteren Überprüfung der Schätzergebnisse konnten bei sämtlichen Tabellen die Genauigkeit der Schätzung durch Korrekturen verbessert bzw. die Möglichkeiten der Fehlinterpretation verringert werden.

Das Ziel, bei der Ermittlung der FK-Werte von realistischen Feldwassergehalten auszugehen, wurde durch die Auswertung vorliegender Ergebnisse von Feldbodenfeuchtemessungen zu Beginn der Vegetationszeit verwirklicht. Der so ermittelte Feldwassergehalt wird nach Vetterlein auch als Feuchtigkeitsäquivalent FÄ bezeichnet. Anhand der im Labor bestimmten pF-Kurven lassen sich auch die Wasserspannungen (pF-Werte) für die FÄ-Werte ermitteln. Auf der Basis der ermittelten FÄ-Werte wurden in Abhängigkeit von Bodenart und Trockenrohdichte die FK-, nFK- und LK-Werte bestimmt (s. Tab. 4).

Im Abschnitt 5 sind zusätzlich die Ergebnisse einer substrat-bodengenetisch differenzierten Auswertung dargestellt. Sie zeigen, dass sich dadurch die 1. Genauigkeit der Schätzung der bodenphysikalischen Kennwerte deutlich verbessern lässt und 2. der substratspezifische Einfluss von Trockenrohdichte, Textur und Humusgehalt auf die bodenphysikalischen Kennwerte, Feldkapazität, nutzbare Feldkapazität und Luftkapazität quantifiziert werden kann.

Die Arbeitsgruppe „Kennwerte des Bodengefüges“ empfiehlt daher bei der Auswertung bodenphysikalischer Daten in Zukunft Ausgangssubstrat und bodengenetische Merkmale zu berücksichtigen.

7. Verwendete Unterlagen und Literatur

- Bachmann, J., Hartge, K-H. Bodenphysikalische Daten von ca. 1500 Bodenhorizonten, 2007. Bodenkundliche Kartieranleitungen. KA 3, KA 4, KA 5.
- Bohne, K. Berechnungen zum Einfluss des Grundwasserstandes auf den Wassergehalt bei Feldkapazität in Abhängigkeit von der Bodenart (nicht veröffentlicht), 2006.
- Dehner, U. Rasterdarstellung des Totwassergehaltes und der FK für unterschiedliche TRD, Bericht, 2007.
- Deller, B. Überprüfung der tabellierten Werte von Porengrößenklassen in der KA5, Bericht, 2007.
- DIN 4220. Bodenphysikalische Standortbeurteilung – Kennzeichnung, Klassifizierung und Ableitung von Bodenkennwerten.
- Duijnsveld, W. Wassergehalts- und Wasserspannungsmessungen von der Messstelle Ohlen-dorf, 2006 (nicht veröffentlicht).
- European Soil Bureau. Glossary of Soil Terms, 2006.
- Facklam, M. Bodenfeuchtemessungen zu Beginn der Vegetationszeit, unveröffentlicht, 2007.
- Harrach, T. Tabellen und Nomogramme zur Bestimmung der FK, nFK und LK. 1983.
- Harrach, T. & Sauer, St. Bestimmung der Packungsdichte von Böden zur Identifikation hochwasserrelevanter Flächen. Bericht im Auftrag des Landesamtes für Wasserwirtschaft Rheinland Pfalz, Mainz, Gießen, 2002.
- Hennings, V. und Müller, U. Überprüfung eines Schätzverfahrens zur Ermittlung von Kennwerten der Wasserbindung anhand der Labordatenbank des Niedersächsischen Bodeninformationssystems. Z. Pflanzenernähr. u. Bodenk. 156, 67-73, 1993.
- Honisch, M.: Abhängigkeit des Wasser- und Stoffhaushalts einer Lößlandschaft von Standorten und Bewirtschaftungsintensität. Hohenheimer Bodenkundliche Berichte , Heft 38, 1996.
- Horn, R. Böden als Pflanzenstandorte-Standortanforderungen der Pflanzen. in: Handbuch des Bodenschutzes. Blume, H.-P.(Hrsg.). Ecomed, Landsberg/Lech. 71-85, 1990.
- Knoblauch, S. Vergleich der klimatischen Wasserbilanz mit der aktuellen Wasserbilanz auf Lößböden im mitteldeutschen Trockengebiet. Bericht September 2007, 17S.
- Kolbe, F. Bodenökologische Untersuchungen zu Trockenstandorten in zwei Klimaräumen. Diplomarbeit TU-Berlin, 115 S. 1995.
- Lampe, U. und Wilhelms, M. Bodenphysikalische Untersuchungen am Haftnässe-Pseudogleyen aus Löss im Raum Osnabrück, Diplomarbeit, Fachhochschule Osnabrück, 108 S. 1987.

- Meyer, P.A.D. and G.W. Gee. Flux-based estimation of field capacity, J. Geotech. Geoenviron. Eng. 125, 595-599, 1999.
- Müller, U. Wassergehaltmessungen im Gelände zu Beginn der Vegetationszeit, 2007 (nicht veröffentlicht), 2006.
- Müller, W., Benecke, P. u. Renger, M. Bodenphysikalische Kennwerte wichtiger Böden, Erfassungsmethode, Klasseneinteilung und kartografische Darstellung. Beiheft 99 zum Geol. Jahrbuch, Hannover 1970.
- Nachabe, M.H. 1998. Refining the definition of field capacity in the literature. J. Irrigation Drainage Eng. 124:230-232.
- Plagge, R., Roth, C. u. Renger, M. Kontinuierliche Messungen des Bodenwassergehaltes im Felde und Labor mittels der TDR. Abschlussbericht des DFG-Forschungsvorhabens Re 422/14, 1994.
- Plagge, R. Transektuntersuchungen in Bölkendorf, Forschungsbericht, TU-Berlin, 1996.
- Renger, M. u. Henseler K. L. Erforschung und zahlenmäßige Kennzeichnung des Staunässegrades von wasserstauenden Böden Niedersachsens. Abschlussbericht, NLFb, 1974.
- Riek, W., Wessolek, G., Renger, M. u. Facklam, M. Ableitung bodenphysikalischer Kennwerte aus Basisdaten auf der Grundlage von bodenkundlichen Labordatenbanken. Abschlussbericht im Auftrag der BGR-Hannover, 1992.
- Riek, W., Wessolek, G., Renger, M. und Vetterlein, E. Luftkapazität, nutzbare Feldkapazität und Feldkapazität von Substrat- und Horizontgruppen – eine statistische Auswertung von Labordatenbanken. Z. f. Pflanzenernährung und Bodenkunde, 158, 485-491, 1995.
- Schachtschabel et al. Scheffer/Schachtschabel, Lehrbuch der Bodenkunde, 14. Auflage, 1998.
- Schäfer, W.: Messergebnisse von bodenphysikalischen Dauermessstellen in Niedersachsen, 2007, (nicht veröffentlicht).
- Schindler, U., Thieme, J., Steidl, J. u. Müller, L.: Bodenhydrologische Kennwerte heterogener Flächeneinheiten, Heft 82, 2003.
- Schindler, U. Einfluss von Trockenrohdichte und Humusgehalt auf die Porengrößenverteilung und hydraulische Leitfähigkeit von Sandsubstraten. Arch. Acker-Pflanzenbau und Bodenk. 33, 3-9, 1989.
- Sauer, St., Haussmann, W. & Harrach, T. Effektive Durchwurzelungstiefe, Sickerwasserbildung und Nitratverlagerung in tiefgründigen Lössböden eines Trockengebietes. J. Plant Nutr. Soil Sci. 165, 269 – 273, 2002.
- SSSA. 2006. Glossary of Soil Science Terms.
- Teepe, R., Dilling, H. u. Beese, F. Estimating water retention curves of forest soils from soil texture and bulk density. J. Plant Nutr. Soil Sci. 166, 111-119, 2003.

TGL 31222/04. Physikalische Bodenuntersuchung.

- Veihmeyer, F.J. und Hendrickson A. N. The moisture equivalent as a measure of the field capacity of soils. *Soil Sci.* 32, 181-193, 1931.
- Veihmeyer, F.J. und Hendrickson A.N. Soil moisture conditions in relation to plant growth. *Plant Physiol.* 2, 71-82, 1927.
- Vetterlein, E. Bodenphysikalische Parameter auf der Grundlage von Substrat-Horizont-Gruppen. Tag. – Ber. Akadem. Landwirtsch.- Wiss. DDR, Berlin, 245, 241-247, 1986.
- Vetterlein. E. Beziehung zwischen hydraulischer Leitfähigkeit und Bodenwassergehalt in Sand-lehm-, Lehm- und Tonsubstraten. *Archiv für Acker- Pflanzenbau und Bodenkunde*, 27, H. 7, 417-426, 1983.
- Vorderbrügge, T. Porenverteilung bei zunehmender Trockenrohdichte, Bericht, 2005.
- Zacharias, S. u. Bohne, K. Attempt of flux-based evaluation of field capacity. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 171, 399-408, 2008.
- Zacharias, S. and G. Wessolek. Excluding organic matter content from pedotransfer predictors of soil water retention. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71, 43-50.