

Tagungsbeitrag zu: Jahrestagung der
DBG, Kom. V
Titel der Tagung: Unsere Böden – Unser
Leben
Veranstalter: DBG
Termin und Ort der Tagung: 5.-10.
September 2015, München
Berichte der DBG (nicht begutachtete
online Publikation) <http://www.dbges.de>

Neue Kennwerte für die Wasserbindung in Böden - Ergebnisse der Abstimmung zwischen dem Personenkreis Wasser- haushaltstabellen der Ad-hoc-AG Boden und dem DWA

DEHNER, U.¹⁾, RENGER, M.²⁾, BRÄUNIG, A.³⁾,
LAMPARTER, A.⁴⁾, BAURIEGEL, A.⁵⁾, BURBAUM,
B.⁶⁾, HARTMANN, K.-J.⁷⁾, HENNINGS, V.⁸⁾,
IDLER, F.⁹⁾, KRONE, F.⁴⁾, MARTIN, W.¹⁰⁾,
MEYER, K.¹¹⁾ & F. WALDMANN¹²⁾

Stichworte:

Bodenwasserhaushalt, Feldkapazität,
Luftkapazität, nutzbare Feldkapazität,
Totwasser, Porenvolumen

Einleitung, Anlass

Die Kennwerte des Bodenwasserhaushalts
sind ein zentraler Bestandteil der Boden-
kundlichen Kartieranleitung.

- 1) Landesamt für Geologie und Bergbau
Rheinland-Pfalz, email: ulrich.dehner@lgb-rlp.de
- 2) Einbeck
- 3) Sächsisches Landesamt für Umwelt,
Landwirtschaft und Geologie
- 4) Bundesanstalt für Geowissenschaften und
Rohstoffe
- 5) Landesamt für Bergbau, Geologie und
Rohstoffe Brandenburg
- 6) Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und
Ländliche Räume des Landes Schleswig-
Holstein
- 7) Landesamt für Geologie und Bergwesen
Sachsen-Anhalt
- 8) Hannover
- 9) Landesamt für Umwelt, Naturschutz und
Geologie Mecklenburg-Vorpommern
- 10) Bayerisches Landesamt für Umwelt
- 11) Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie
Niedersachsen
- 12) Regierungspräsidium Freiburg

Dort können mittels eines Schätzrahmens
über die Kenntnis der Lagerungs- bzw.
Trockenrohdichte, der Bodenart und des
Steingehaltes die im Boden gespeicherten
Wassermengen und die Luftkapazität ab-
geschätzt werden (Tabelle 70, Ad-hoc-AG
Boden 2005).

Darüber hinaus werden die Werte der Kar-
tieranleitung als Grundlage für Modellie-
rungen des Boden- und Landschaftswas-
serhaushaltes genutzt.

Zur Aktualisierung der Wasserhaushaltsta-
bellen wurde im Jahr 2008 durch die Ad-
hoc-AG Boden ein Personenkreis (PK) mit
folgender Aufgabenstellung eingesetzt:

- Aufbau und Pflege einer Datenbank mit
bodenphysikalischen und –chemischen
Daten incl. Substrat- und Horizontkenn-
zeichnung
- Entwicklung neuer Wasserhaushalts-
tabellen mit Porenvolumina für humus-
freie bzw. –arme Böden
- Erstellung einer Tabelle mit Zu- und Ab-
schlägen für Proben mit Humusgehalten
> 1 M.-%
- Erstellung eines Schätzrahmens für
gesättigte Wasserleitfähigkeiten (kf-
Werte)
- Entwicklung bodenphysikalischer Kenn-
werte für Substrat-Horizont-Kombinatio-
nen

Im Frühjahr 2015 wurde seitens der
Ad-hoc-AG Boden der Auftrag an den Per-
sonenkreis „Wasserhaushaltstabellen“
vergeben, die Ergebnisse mit der Arbeits-
gruppe „Bodenfunktionsansprache“ des
DWA (Deutsche Vereinigung für Wasser-
wirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.) ab-
zustimmen. Damit soll gewährleistet wer-
den, dass bundesweit einheitliche Was-
serhaushaltstabellen zur Verfügung ste-
hen.

Datenbasis, Datenaufbereitung

Zur Schaffung der Datengrundlage wurden
bei den Geologischen Diensten der Bun-
desländer Datenbestände mit bodenphysi-
kalischen Daten angefragt (s. Tabelle 1).
Aufbau und Pflege der Datenbank erfolg-

ten durch die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR).

Tabelle 1: Bodenphysikalische Datensätze der beteiligten Bundesländer

Bundesland	Probenzahl
Schleswig-Holstein	1.082
Niedersachsen	2.374
Nordrhein-Westfalen	2.715
Rheinland-Pfalz	2.491
Baden-Württemberg	1.051
Bayern	3.837
Brandenburg	372
Mecklenburg-Vorpommern	53
Sachsen	1.209
Sachsen-Anhalt	1.183
Datenbestand Vetterlein	1.234
Gesamt	17.601

Neben bodenchemischen und –physikalischen Daten sollten die Proben boden- und substratsystematische Angaben beinhalten. Dazu wurde ein Mindestdatensatz vereinbart, um eine Datenauswertung mit Bezug auf bodenbildende Substrate und Bodenhorizonte vorzunehmen (Substrat-Horizont-Kombinationen, vgl. VETTERLEIN 1984, RIEK et al. 1995, RENGER et al 2009).

Methodik der Datenaufbereitung

Die Methodik der Datenaufbereitung konzentrierte sich zunächst auf Plausibilitätsprüfungen (u.a. Abgleich Trockenrohdichten/Gesamtporenvolumina und Überprüfung der Korngrößenanalytik).

Im Rahmen der Datenaufbereitung wurden etwa 9.000 Proben aussortiert, so dass ca. 8.500 Datensätze für die Konstruktion des Schätzrahmens zur Verfügung stehen (s. Abbildung 1).

Folgende Proben wurden aussortiert:

- Proben mit Analysefehlern (Überprüfung Gesamtporenvolumina, Summen der Korngrößenanalytik)
- Proben > 1 M.-% Humusgehalt
- Ausreißer aus der Regression Tongehalt (M.-%) / Totwasser (M.-%, Defini-

tion über die doppelte Standardabweichung der Differenz Probe zu Regressionsgleichung)

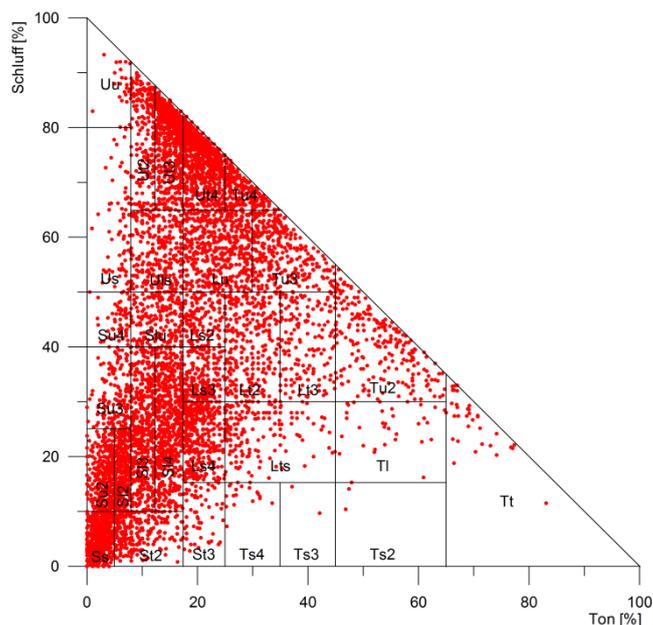


Abbildung 1: Lage der Proben im Korngrößendiagramm der Bodenkundlichen Kartieranleitung

Die Verteilung der Proben im Korngrößendiagramm zeigt einen Schwerpunkt im Bereich der Sande, Lehme und Schluffe. Unterrepräsentiert sind Tone und Ton-Sand-Gemische sowie reine Schluffe, die in der Bundesrepublik offenbar nur selten vorkommen.

Das Datenkollektiv der Reinsande (Bodenart Ss) besteht nahezu ausschließlich aus Fein- und Mittelsanden.

Methodik der Erstellung von Diagrammen und Schätztabellen

Die Datenauswertung erfolgte durch die Gruppierung der Daten nach Bodenarten und klassifizierten Trockenrohdichten (Klassen nach Ad-hoc-AG Boden 2005). Daraus ergaben sich innerhalb der Bodenartenuntergruppen trotz Datenaufbereitung erhebliche Schwankungen, so dass keine schlüssige Erstellung eines Schätzrahmens durch Mittelwertbildung über alle Dichteklassen möglich war.

Als praktikable Methode für den vorliegenden Datensatz hat es sich erwiesen, Diagramme mit Isolinien auf der Basis des Korngrößendiagramms zu erstellen (vgl.

DEHNER et al. 2009, DEHNER 2009). Als Interpolationsgrundlage wurden in der vorliegenden Auswertung 7 hinreichend mit Daten belegte Punkte an den Rändern des Korngrößendiagramms verwendet (Bodenarten Ut3, Tu3, Slu, Tu2, Tt, Tl, Ss). Mit diesen Werten konnte das Spektrum über alle Porenbereiche und Trockenrohdichten abgebildet werden. Abbildung 2 zeigt einen charakteristischen Verlauf der Isolinien für die Feldkapazität (Poren <math>< 50 \mu\text{m}</math>, pF 1,8) als Funktion steigender Schluff- und Tongehalte.

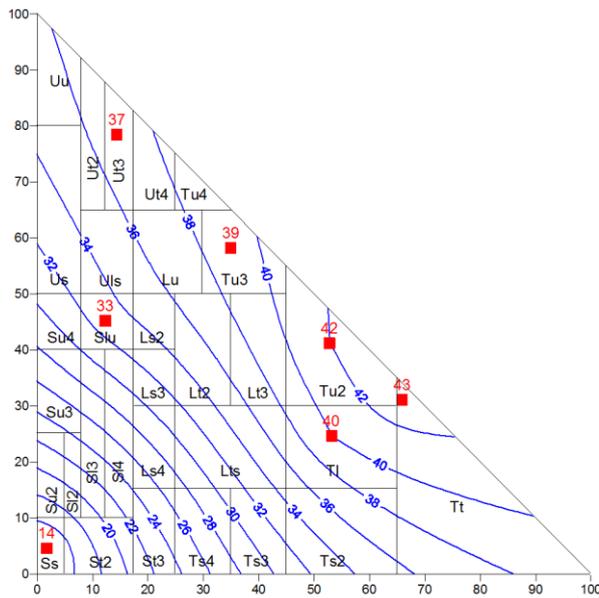


Abbildung 2: Wassergehalt in Poren von 0,2 – 50 µm für Trockenrohdichte 1,4-1,6 g/cm³ (Angaben in Vol.-%)

Analog zu Abbildung 2 wurden Diagramme für die pF-Werte 2,5 und 4,2 erstellt. Aus diesen wurden die Porenvolumina im Zentrum der betreffenden Bodenarten abgegriffen und in einen Schätzrahmen übertragen.

Der Vergleich des Entwurfes des PK Wasserhaushaltes mit dem Schätzrahmen von RENGER et al. (Tabelle 3, 2009) kam zu dem Ergebnis, dass trotz unterschiedlicher Ansätze sehr gute Übereinstimmungen vorliegen. Die größten Abweichungen mit mehr als 3 Vol.-% lagen bei den Feld- und Luftkapazitäten für Ton-Sand-Gemische vor. Es zeigte sich, dass die Wassergehalte der Tabelle 3 von RENGER et al. (2009) mit den vorliegenden Diagrammen gut abgebildet werden können. Im Zuge

der Abstimmung wurden die Diagramme (s. Abbildungen 5 bis 11, Anhang 1) und Schätzrahmen (s. Tabelle 2 und 3, Anhang 2) miteinander abgeglichen und neue Diagramme konstruiert.

Darüber hinaus wurde durch Auswertung der Wasserspannungskurven zwischen den pF-Werten 1,8 und 2,5 eine Tabelle mit den Wassergehalten bei Frühjahrsfeuchte analog zu RENGER et al. (2009) erstellt (s. Tabelle 4, Anhang 2).

In Anlehnung an RENGER et al. (2009) wurden sämtliche Porenvolumina für die Zentralpunkte der Dichteklassen der bodenkundlichen Kartieranleitung berechnet, so dass in den Spaltenüberschriften die entsprechenden Trockenrohdichten als neutrale Bezeichnungen Verwendung finden. Weiterhin wurde der Schätzrahmen um die Trockenrohdichten 1,1 und 1,9 g/cm³ erweitert. Insbesondere bei den locker gelagerten Substraten ergeben sich im Datenkollektiv des PK Wasserhaushaltstabellen jedoch große Werteschwankungen, so dass die Angaben über Interpolation aus den vorhandenen Trockenrohdichten ermittelt wurden. Ebenfalls kommt in natürlich gelagerten Substraten die Dichte 1,9 nur selten vor. Auch hier ist die Datenbasis im Verhältnis zu den anderen Trockenrohdichten eher gering.

Da nutzbare Feldkapazitäten bzw. Feldkapazitäten über verschiedene Porenspektren (pF 1,8 bzw. 2,5) definiert werden können, wurden in den Spaltenüberschriften neutrale Bezeichnungen in der Form von pF-Werten bzw. Porenweiten verwendet.

Bei den Reinsanden (Bodenart Ss) wurden konsequent die Werte der Fein- und Mittelsandgemische angegeben, da für diese Fraktionen länderübergreifend die meisten Datensätze vorliegen.

Ergebnisse

Diagramme und Schätzrahmen zeigen die folgenden Tendenzen:

Poren $\leq 0,2 \mu\text{m}$ (Totwasser, TW)

Die Isolinien der Wassergehalte bei pF 4,2 verlaufen nahezu senkrecht auf die Tonachse und zeigen eine Zunahme des Totwassers mit ansteigenden Tongehalten (s. Abbildung 5). Mit steigenden Trockenrohdichten ergeben sich geringe Zunahmen bzw. geringfügige Änderungen. Eine Ausnahme bilden die Tone mit leicht höheren Totwassergehalten bei niedrigen Trockenrohdichten.

Poren $\leq 50 \mu\text{m}$, bzw. Poren $\leq 10 \mu\text{m}$ (Feldkapazität, FK)

Schräg auf beide Achsen verlaufende Isolinien verdeutlichen eine Zunahme der Feldkapazitäten (s. Abbildung 6 und Abbildung 7) mit steigenden Ton- und Schluffgehalten. Im Bereich der Sande, Lehm- und Schluffsande sind die Unterschiede zwischen den Bodenarten deutlicher ausgeprägt als bei Schluffen und Tonen. Dies bedeutet, dass schon geringe Zunahmen des Schluff- und Tongehaltes größere Änderungen der Feldkapazität hervorrufen. Anhand der Diagramme können in diesem sensiblen Bereich die Wassergehalte bei Feldkapazität differenzierter abgeschätzt werden. Mit Ausnahme der Reinsande sinken bei allen Bodenarten die Feldkapazitäten mit steigender Trockenrohdichte. Bei den Sanden kommt es offenbar zu Porenverteilungen in erster Linie auf Kosten der Luftkapazität, so dass dichter gelagerte Sande höhere Feldkapazitäten aufweisen.

Poren $0,2 - 50 \mu\text{m}$, bzw. Poren $0,2 - 10 \mu\text{m}$ (nutzbare Feldkapazität, nFK)

Die nutzbaren Feldkapazitäten ergeben sich aus der Überlagerung der Diagramme für Feldkapazität und Totwasser, so dass an den Schnittpunkten der Isolinien die nFK-Werte abgegriffen werden können (s. Abbildung 8 und Abbildung 9). Damit ergeben sich deutliche Zusammenhänge zwischen nutzbaren Feldkapazitäten und steigenden Schluffgehalten. Dies ist bei den Wassergehalten auf der Basis des pF-Wertes 2,5 noch deutlicher ausgeprägt als bei pF 1,8. Typisch für beide Porenbereiche sind abnehmende Wassergehalte mit

ansteigenden Trockenrohdichten. Auch hier bilden die Reinsande eine Ausnahme, so dass in dichter gelagerten Sanden die nutzbaren Feldkapazitäten ebenfalls leicht ansteigen.

Poren $> 50 \mu\text{m}$ bzw. Poren $> 10 \mu\text{m}$ (Luftkapazität)

Da sich Feld- und Luftkapazitäten zum Gesamtporenvolumen addieren, haben die entsprechenden Diagramme gleiche Kurvenverläufe (s. Abbildung 10 und Abbildung 11). Die höchsten Luftkapazitäten liegen bei den Reinsanden vor. Sie sinken im Bereich der Tone auf Werte um wenige Vol.-%. Darüber hinaus zeigt sich eine Abnahme der Luftkapazität mit steigender Trockenrohdichte. Diese Tendenz ist bei den Sanden und Schluffen am deutlichsten ausgeprägt.

Einfluss des Humusgehaltes auf die Wasserbindung in Böden

Ergänzend zu den Kennwerten für humusfreie bis sehr schwach humose (h_0 - h_1) Bodenhorizonte sollen im Folgenden Veränderungen der Porenvolumina für die Bodenarten in Abhängigkeit von der Humusstufe abgeleitet werden.

Die Häufigkeitsverteilung der Humusklassen nach Ad-hoc-AG Boden (2005) zeigt einen Schwerpunkt des Datenkollektives im Bereich der sehr schwach bis mittel humosen Proben (h_1 - h_3), wohingegen stark bis sehr stark humose Horizonte (h_4 - h_5) deutlich niedrigere Fallzahlen aufweisen (s. Abbildung 3).

Darüber hinaus wird in der Unterteilung der Säulen nach TRD-Klassen ein deutlicher Einfluss des Humusgehaltes auf die Trockenrohdichte sichtbar. Demnach steigen mit zunehmendem Humusgehalt die Gesamtporenvolumina, so dass ab Humusklasse h_4 fast ausschließlich Proben sehr geringer bzw. geringer Trockenrohdichte vorliegen.

Auf der Basis der vorliegenden Daten wurden für die Kombination Bodenart/Humusklasse Mittelwerte für die Zuschläge zu

den Porenvolumina der Tabellen 2 und 3 berechnet. Übernommen wurden nur die Kombinationen, in denen mindestens 6 Proben vorlagen.

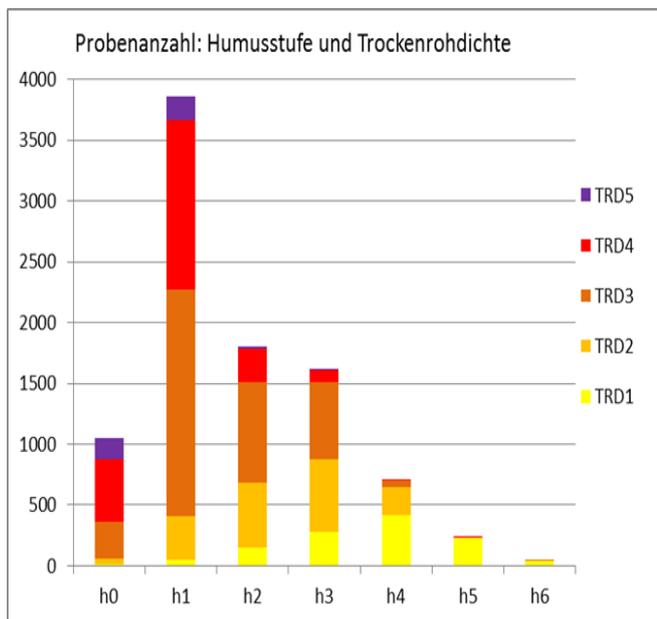


Abbildung 3: Häufigkeitsverteilung der Proben in Abhängigkeit von Humus- und Trockenrohdichtestufe

Die Ergebnisse zeigten zwar für alle Bodenarten einen Anstieg der Feldkapazitäten (pF 1,8 und 2,5) mit zunehmender Humusstufe. Jedoch lagen für benachbarte Bodenarten z.T. sehr unterschiedliche Zuschläge vor, die fachlich nicht immer nachvollziehbar waren.

Daraufhin wurde in Anlehnung an SAXTON & RAWLS (2006) ein Regressionsmodell entwickelt. Die Autoren fanden auf der Basis umfangreicher Daten aus den USA heraus, dass grobkörnige Böden stärker auf zunehmende Humusgehalte reagieren als feinkörnige.

Dieser Sachverhalt liegt auch im Datenkollektiv des Personenkreises vor. Abbildung 4 verdeutlicht dies am Beispiel des pF-Wertes 2,5 für die Humusstufe h4. So zeigen sehr sandige Proben (Bodenart Ss, Sl2, Su2) einen höheren Anstieg der Wassergehalte mit zunehmendem Humusgehalt als Lehme, Schluffe und Tone.

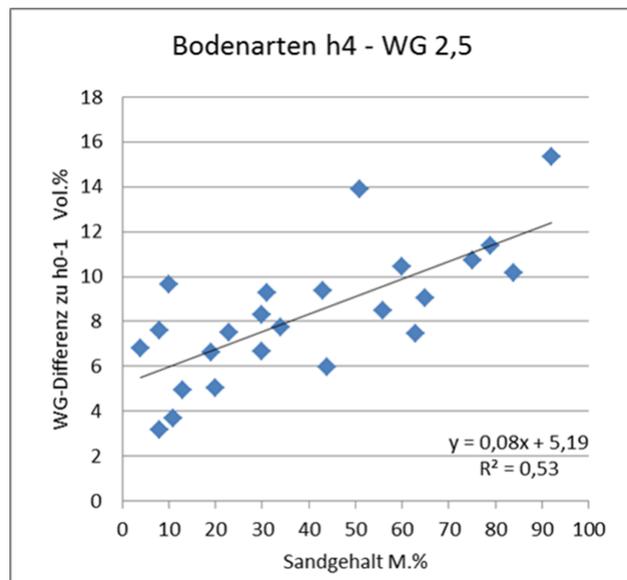


Abbildung 4: Mittlere Wassergehaltsdifferenz von h4 zu h0-1 in Abhängigkeit vom Sandgehalt für Wassergehalte bei pF 2,5

Für die Erstellung der Kennwerttabelle wurden folgende idealisierte Gleichungen abgeleitet, die neben dem Humusgehalt auch den Einfluss des Sand- bzw. Tongehaltes beinhalten:

- (1) WG-Zuschlag bei pF 1,8 in Vol.-% = $(0,011 \cdot \text{Sandgehalt in M.-%} + 0,72) \cdot \text{Humusgehalt in M.-%}$
- (2) WG-Zuschlag bei pF 2,5 in Vol.-% = $(0,011 \cdot \text{Sandgehalt in M.-%} + 0,58) \cdot \text{Humusgehalt in M.-%}$
- (3) WG-Zuschlag bei pF 4,2 in Vol.-% = $(0,005 \cdot \text{Sandgehalt in M.-%} + 0,15) \cdot \text{Humusgehalt in M.-%}$
- (4) GPV-Zuschlag = $(0,05 \cdot \text{Tongehalt} + 0,1) + 1,3 \cdot \text{Humusgehalt}$

GPV = Gesamtporenvolumen
WG = Wassergehalt

Diese Gleichungen und die Arbeitsergebnisse von RENGER et al. (2009) weichen nicht erheblich voneinander ab. Die zwischen den Arbeitsgruppen abgestimmte Tabelle 5 im Anhang 2 stellt somit eine orientierende Kennwerttabelle für den Humuseinfluss auf die Porengrößenverteilung im Boden dar.

Zusammenfassung

Mit den vorliegenden Diagrammen und Tabellen liegen bundesweit abgestimmte Grundlagen für die Einschätzung des Wasser- und Lufthaushaltes von Böden vor.

Die Werteschwankungen von Wassergehalten in verschiedenen Porenbereichen des Bodens können über die graphische Datenauswertung auf der Basis des Korngrößendiagramms schlüssig abgebildet werden.

Gegenüber der bodenkundlichen Kartieranleitung (Ad-hoc-AG Boden 2005) liegen folgende Änderungen bzw. Erweiterungen vor:

- Schätzrahmen mit Werten für 5 Trockenrohdichten
- Schätzrahmen mit Angaben für pF 2,5
- Schätzrahmen mit Angaben für die Frühjahrsfeuchte
- Diagramme auf der Basis des Korngrößendreiecks
- Erweiterung der Tabelle mit Zuschlägen in Abhängigkeit von der Humusstufe und Bodenart für pF 2,5

Schätzrahmen und Diagramme bieten ein aufeinander abgestimmtes Gesamtpaket für die feldbodenkundliche Arbeit.

Literatur

AD-HOC-AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung 5. Aufl. Hannover.

DEHNER, U., HARRACH, T. & T. VORDERBRÜGGE (2009): Raster- und Isoliniendiagramme für Kennwerte des Bodenwasserhaushalts. Berichte der DBG (nicht begutachtete online Publikation), <http://www.dbges.de>.

DEHNER, U. (2009): Bodenphysikalische Kennwerte – Auswertung der Bodenphysikdatenbank des Landesamtes für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz. http://www.lgb-rlp.de/bodenphysikalische_kennwerte.html

RENGER, M., BOHNE, K., FACKLAM, T., HARRACH, W., RIEK, W. SCHÄFER, W. WESSOLEK, G. & S. ZACHARIAS (2009): Teil I: Ergebnisse und Vorschläge der

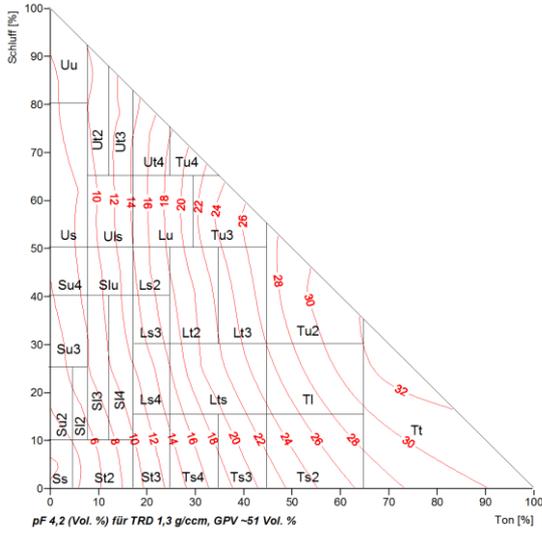
DBG-Arbeitsgruppe „Kennwerte des Bodengefüges“ zur Schätzung bodenphysikalischer Kennwerte. In: WESSOLEK, G., KAUPENJOHANN, M., & M. RENGHER (Hrsg.): Bodenökologie und Bodengenese Heft 40, Bodenphysikalische Kennwerte für die Praxis. S. 5-50. Berlin.

RIEK, W., WESSOLEK, G., RENGHER, M. & E. VETTERLEIN (1995): Luftkapazität, nutzbare Feldkapazität und Feldkapazität von Substrathorizontgruppen - eine statistische Auswertung von Labordatenbanken, Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 158, 485-491.

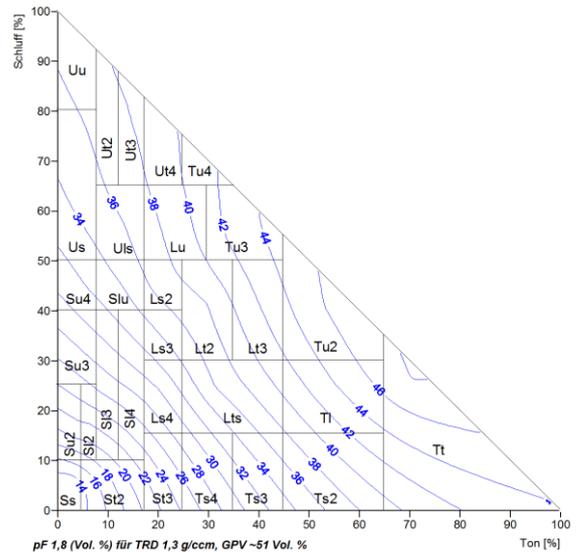
SAXTON, K. E. & RAWLS, W. J. (2006): Soil Water Characteristic Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions, Soil Sci. Soc. Am. J. 70:1569–1578

VETTERLEIN, E. (1986): Bodenphysikalische Parameter auf der Grundlage von Substrat-Horizont-Gruppen, Tag.-Ber., Akad. Landwirtsch.-Wiss. DDR, Berlin, 245, 241 – 247.

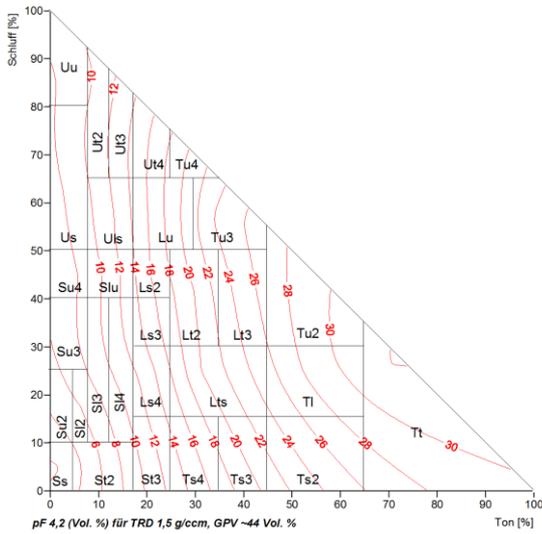
Anhang 1: Diagramme



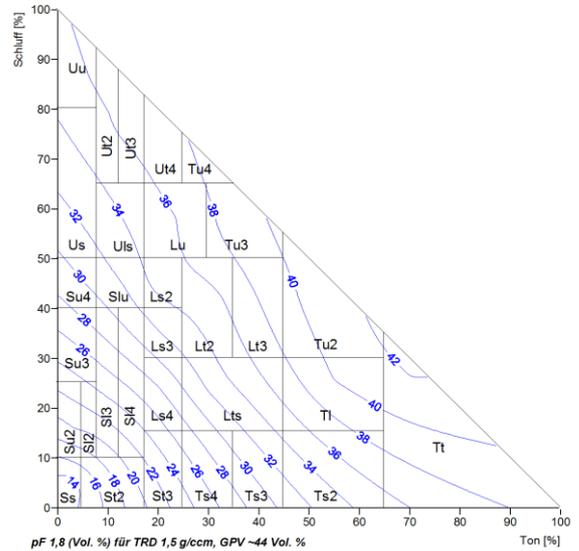
TRD 1,3 g/cm³; GPV 51-52 Vol.-%



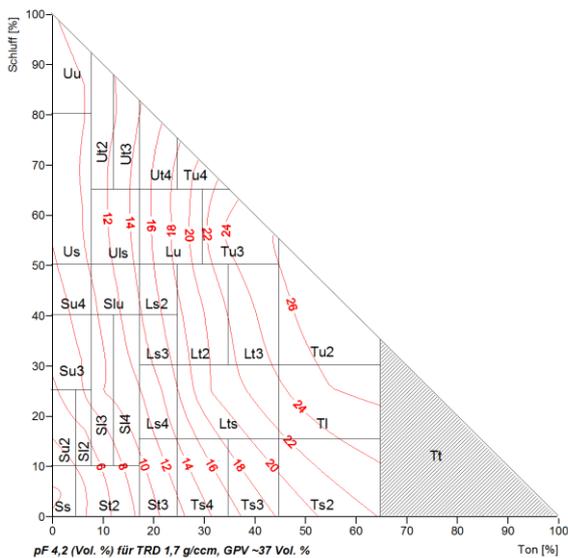
TRD 1,3 g/cm³; GPV 51-52 Vol.-%



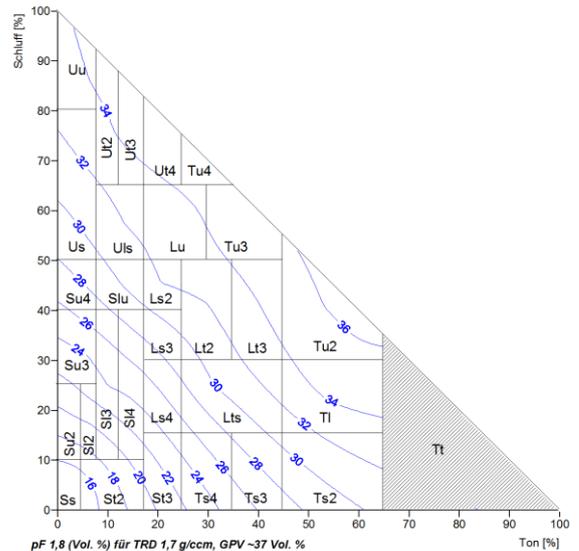
TRD 1,5 g/cm³, GPV 44 Vol.-%



TRD 1,5 g/cm³ GPV 44 Vol.-%



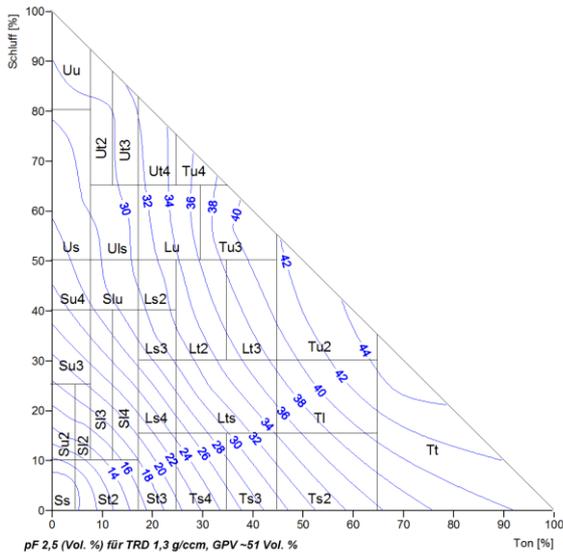
TRD 1,7 g/cm³, GPV 37 Vol.-%



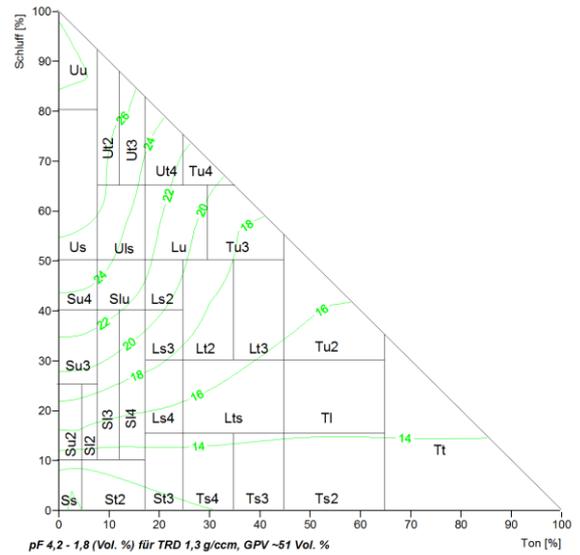
TRD 1,7 g/cm³, GPV 37 Vol.-%

Abbildung 5: Poren ≤ 0,2 μm, pF ≥ 4,2 (Totwasser)

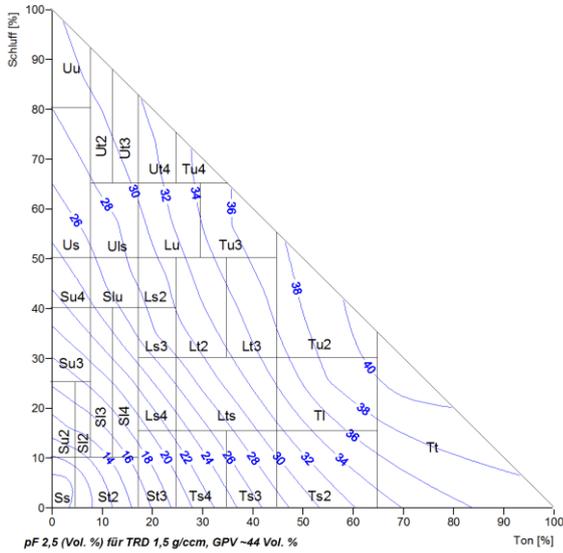
Abbildung 6: Poren ≤ 50 μm, pF ≥ 1,8 (Feldkapazität)



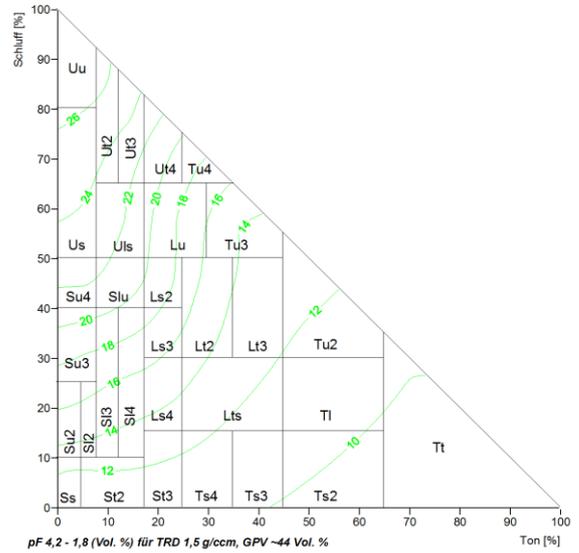
TRD 1,3 g/cm³; GPV 51-52 Vol.-%



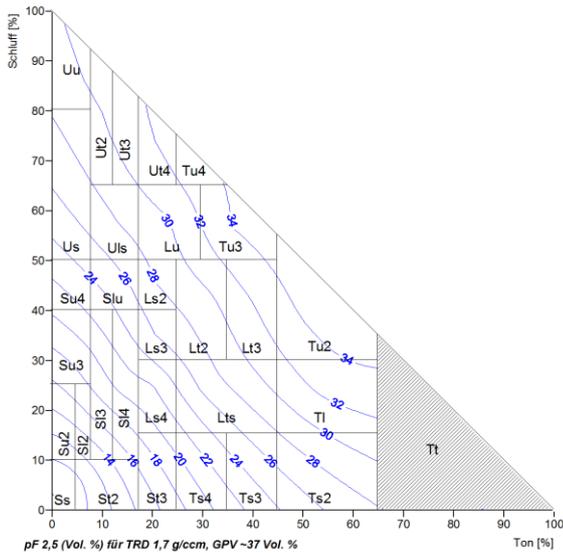
TRD 1,3 g/cm³; GPV 51-52 Vol.-%



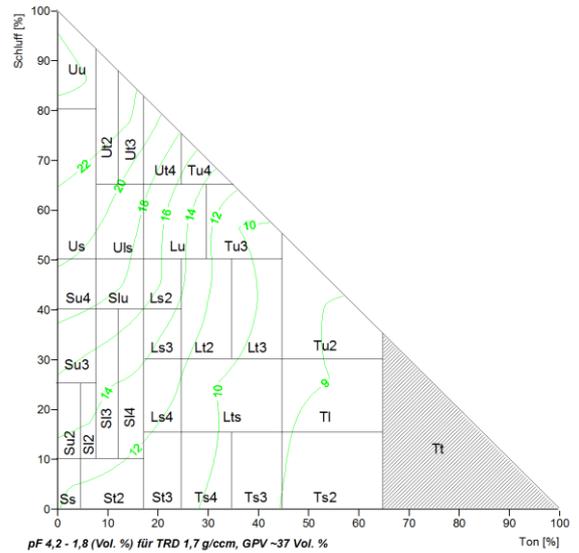
TRD 1,5 g/cm³ GPV 44 Vol.-%



TRD 1,5 g/cm³ GPV 44 Vol.-%



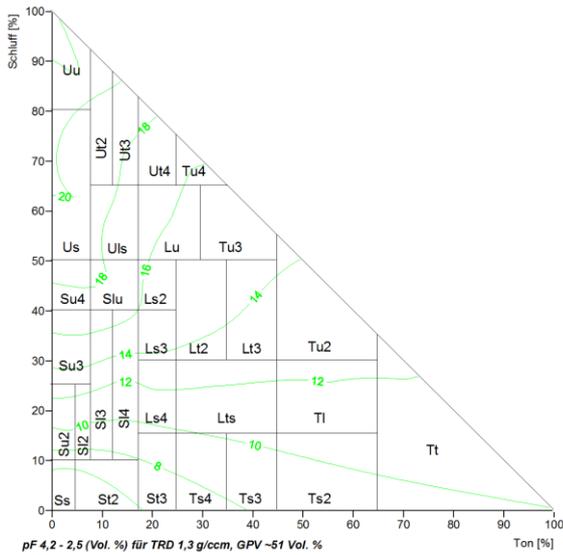
TRD 1,7 g/cm³, GPV 37 Vol.-%



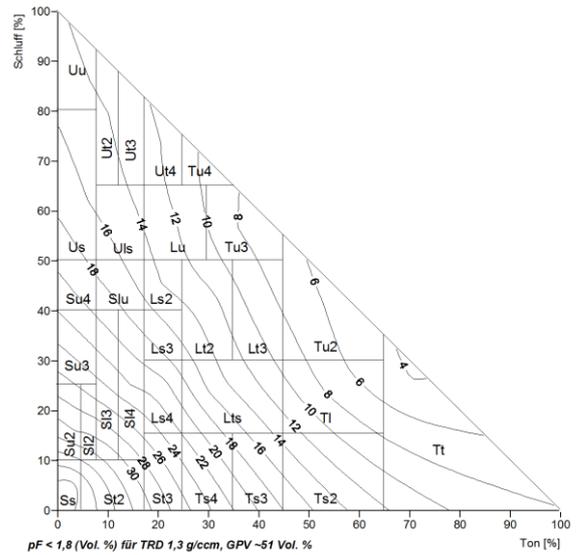
TRD 1,7 g/cm³; GPV 37 Vol.-%

Abbildung 7: Poren ≤ 10 μm, pF ≥ 2,5

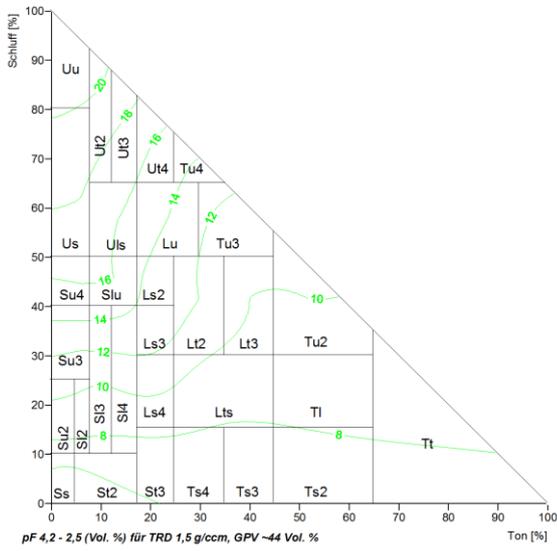
Abbildung 8: Poren 0,2 - 50 μm, pF 4,2 – 1,8 (nutzbare Feldkapazität)



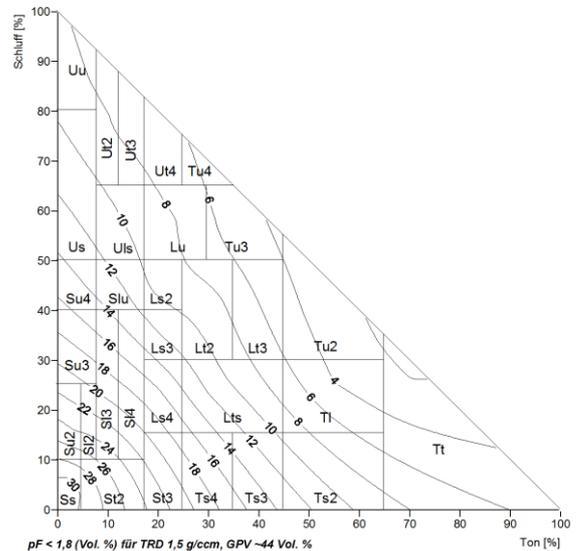
TRD 1,3 g/cm³; GPV 51-52 Vol.-%



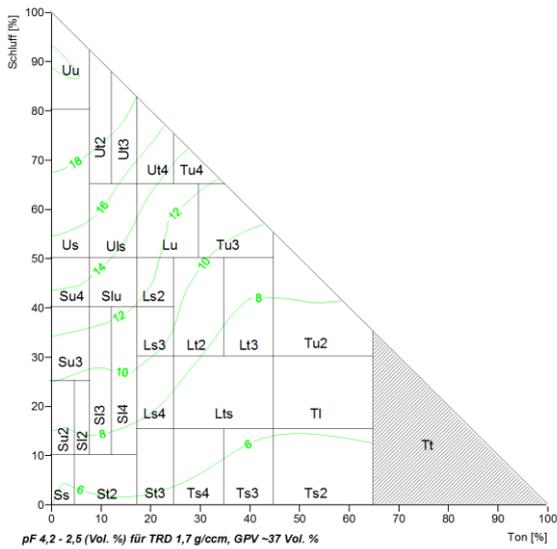
TRD 1,3 g/cm³; GPV 51-52 Vol.-%



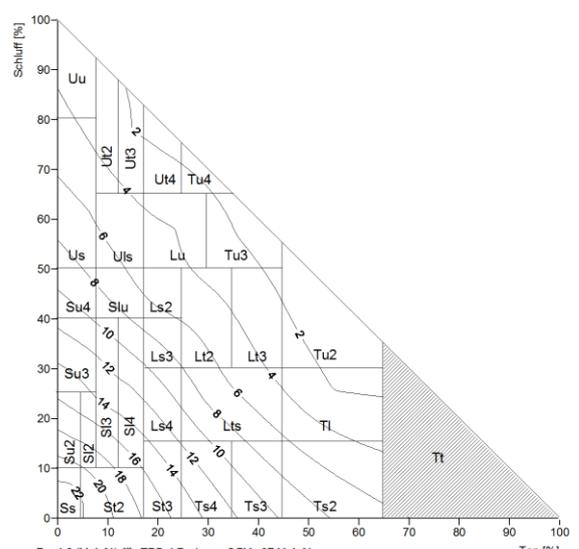
TRD 1,5 g/cm³ GPV 44 Vol.-%



TRD 1,5 g/cm³ GPV 44 Vol.-%



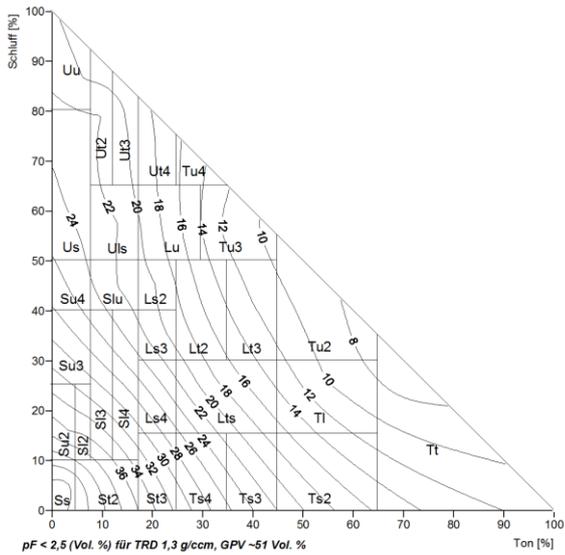
TRD 1,7 g/cm³; GPV 37 Vol.-%



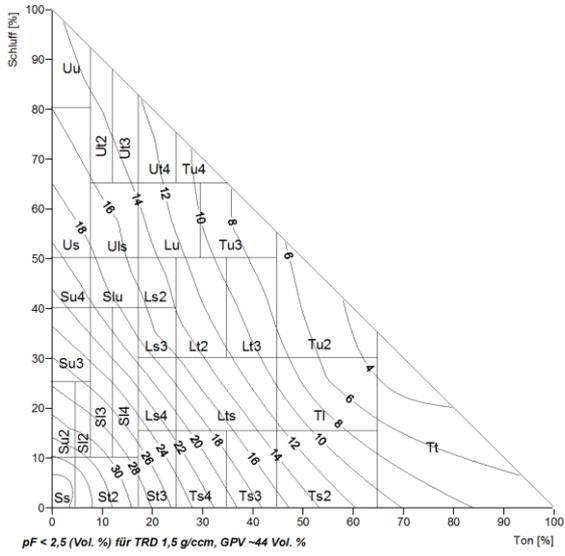
TRD 1,7 g/cm³; GPV 37 Vol.-%

**Abbildung 9: Poren 0,2 - 10 µm,
pF 4,2 - 2,5**

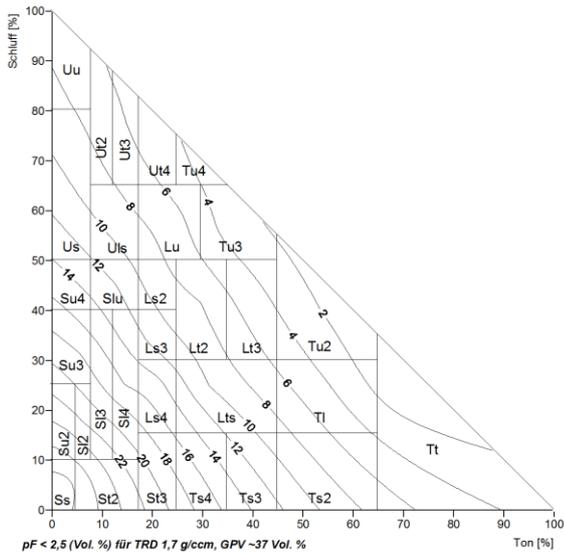
**Abbildung 10: Poren > 50 µm, pF < 1,8
(Luftkapazität)**



TRD 1,3 g/cm³; GPV 51-52 Vol.-%



TRD 1,5 g/cm³ GPV 44 Vol.-%



TRD 1,7 g/cm³; GPV 37 Vol.-%

Abbildung 11: Poren > 10 μ m, $pF < 2,5$

Anhang 2: Tabellen

Tabelle 2: Schätzrahmen zur Bestimmung von Parametern der Wasserbindung in Böden in Abhängigkeit von Bodenart und Trockenrohdichte für humusfreie bzw. sehr schwach humose Böden (Humusgehalte < 1 Masse-%), Bezugswert Feldkapazität pF 1,8, (Angaben in Vol.-%)

Bodenart	Poren ≤ 0,2 µm pF ≥ 4,2					Poren 0,2 - 50 µm pF 4,2 – 1,8					Poren ≤ 50 µm pF ≥ 1,8					Poren > 50 µm pF < 1,8				
	Trockenrohdichte (g/cm ³)																			
	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	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9
Ss		2	2	2			10	11	12			12	13	14			39	31	23	
Sl2		6	6	6	6		16	15	14	13		22	21	20	19		29	23	17	11
Sl3		9	9	10	10		18	16	14	12		27	25	24	22		24	19	13	8
Sl4		11	11	11	11		18	16	14	12		29	27	25	23		22	17	12	6
Slu		11	11	12	12		23	21	18	16		34	32	30	28		17	12	7	2
St2		6	6	6	7		12	12	12	11		18	18	18	18		33	26	19	12
St3		11	11	11	10		13	11	11	11		24	22	22	21		27	22	15	9
Su2		5	5	5	5		16	15	14	13		21	20	19	18		30	24	18	12
Su3		7	8	8	8		21	18	16	14		28	26	24	22		23	18	13	8
Su4		8	8	9	9		24	22	19	17		32	30	28	26		19	14	9	4
Ls2	16	16	16	16	16	23	21	19	16	13	39	37	35	32	29	20	14	9	5	1
Ls3	15	15	15	15	15	21	19	17	14	12	36	34	32	29	27	23	17	12	8	3
Ls4	13	13	13	13	13	19	17	15	13	11	32	30	28	26	24	27	21	16	11	6
Lt2	20	20	20	20		21	18	15	12		41	38	35	32		18	13	9	5	
Lt3	25	25	25	24		20	17	13	10		45	42	38	34		14	9	6	3	
Lts	20	20	20	20		19	16	13	10		39	36	33	30		20	15	11	7	
Lu	18	18	18	18		24	21	18	15		42	39	36	33		17	12	8	4	
Uu	9	9	9	10		30	28	27	24		39	37	36	34		20	14	8	3	
Uls	12	12	12	13		26	24	22	19		38	36	34	32		21	15	10	5	
Us	8	8	9	10		29	27	24	21		37	35	33	31		22	16	11	6	
Ut2	11	11	11	11		28	26	25	23		39	37	36	34		20	14	8	3	
Ut3	13	12	13	13		27	26	24	22		40	38	37	35		19	13	7	2	
Ut4	16	16	16	16		25	23	21	19		41	39	37	35		18	12	7	2	
Tt	36	33	32			17	15	10			53	48	42			6	4	2		
Tl	30	29	29	26		18	15	11	9		48	44	40	35		11	7	4	2	
Tu2	31	30	29	27		19	16	12	9		50	46	41	36		9	6	3	1	
Tu3	26	25	25	25		21	18	14	10		47	43	39	35		12	8	5	2	
Tu4	20	20	20	20		25	21	18	15		45	41	38	35		14	10	6	2	
Ts2		24	24	22			14	11	9			38	35	31			13	9	6	
Ts3		20	20	19			14	11	9			34	31	28			17	13	9	
Ts4		15	15	15			15	13	11			30	28	26			21	16	11	
fS, fSms, fSgs		3	3	3			14	15	16			17	18	19			34	26	18	
mS, mSfs, mSgs		2	2	2			10	11	12			12	13	14			39	31	23	
gS		2	2	2			7	8	9			9	10	11			42	34	26	

Tabelle 3: Schätzrahmen zur Bestimmung von Parametern der Wasserbindung in Böden in Abhängigkeit von Bodenart und Trockenrohddichte für humusfreie bzw. sehr schwach humose Böden (Humusgehalte < 1 Masse-%), Bezugswert Feldkapazität pF_{2,5} (Angaben in Vol.- %)

Bodenart	Poren 0,2 - 10 µm pF 4,2 – 2,5					Poren ≤ 10 µm pF ≥ 2,5					Poren > 10 µm pF < 2,5				
	Trockenrohddichte (g/cm ³)														
	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		4	5	6			6	7	8			45	37	29	
Sl2		10	9	9	8		16	15	15	14		35	29	22	16
Sl3		12	10	9	7		21	19	19	17		30	25	18	13
Sl4		12	10	10	8		23	21	21	19		28	23	16	10
Slu		18	16	13	11		29	27	25	23		22	17	12	7
St2		7	7	7	7		13	13	13	14		38	31	24	16
St3		8	7	7	7		19	18	18	17		32	26	19	13
Su2		10	9	8	7		15	14	13	12		36	30	24	18
Su3		15	12	11	10		22	20	19	18		29	24	18	12
Su4		18	16	14	13		26	24	23	22		25	20	14	8
Ls2	16	15	13	12	9	32	31	29	28	25	27	20	15	9	5
Ls3	16	15	13	11	9	31	30	28	26	24	28	21	16	11	6
Ls4	14	13	11	9	8	27	26	24	22	21	32	25	20	15	9
Lt2	17	15	12	9		37	35	32	29		22	16	12	8	
Lt3	17	14	10	8		42	39	35	32		17	12	9	5	
Lts	15	12	9	7		35	32	29	27		24	19	15	10	
Lu	17	16	14	12		35	34	32	30		24	17	12	7	
Uu	23	22	21	20		32	31	30	30		27	20	14	7	
Uls	18	17	16	15		30	29	28	28		29	22	16	9	
Us	21	20	18	17		29	28	27	27		30	23	17	10	
Ut2	19	18	19	19		30	29	30	30		29	22	14	7	
Ut3	19	19	18	18		32	31	31	31		27	20	13	6	
Ut4	18	17	16	16		34	33	32	32		25	18	12	5	
Tt	13	12	9			49	45	41			10	7	3	0	
Tl	14	12	9	7		44	41	38	33		15	10	6	4	
Tu2	15	13	10	8		46	43	39	35		13	9	5	2	
Tu3	16	15	11	9		42	40	36	34		17	11	8	3	
Tu4	19	16	14	13		39	36	34	33		20	15	10	4	
Ts2		10	8	6			34	32	28			17	12	9	
Ts3		10	8	6			30	28	25			21	16	12	
Ts4		10	7	6			25	22	21			26	22	16	
fS,fSms,fSgs		5	6	6			8	9	9			43	35	28	
mS, mSfs, mSgs		4	5	6			6	7	8			45	37	29	
gS		3	4	5			5	6	7			46	38	30	

Tabelle 4: Luftkapazität, Feldkapazität und nutzbare Feldkapazität in Vol.-% in Abhängigkeit von Bodenart und Trockenrohddichte unter Berücksichtigung des Feuchtigkeitsäquivalents FÄ für Böden mit Humusgehalten von < 1 % *)

Bodenart	Luftkapazität, Vol% Luftgehalt beim FÄ					Feldkapazität, Vol% Wassergehalt beim FÄ					Nutzbare Feldkapazität Wassergehaltsdifferenz zwischen FÄ und pF 4,2					FÄ* pF*
	Trockenrohddichte (g/cm ³):**															
	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		40	32	24			11	12	13			9	10	11		1,9
Sl2		32	26	19	13		19	18	18	17		13	12	12	11	2,0
Sl3		27	22	15	10		24	22	22	20		15	13	12	10	2,0
Sl4		26	20	14	9		25	24	23	21		14	13	12	10	2,1
Slu		21	15	9	4		30	29	28	26		19	18	16	14	2,1
St2		35	28	21	14		16	16	16	16		10	10	10	9	2,1
St3		29	23	17	11		22	21	20	19		11	10	9	9	2,2
Su2		33	27	21	15		18	17	16	15		13	12	11	10	2,1
Su3		27	22	16	10		24	22	21	20		17	14	13	12	2,1
Su4		23	17	12	6		28	27	25	24		20	19	17	15	2,1
Ls2	24	18	13	7	3	35	33	31	30	27	19	17	15	14	11	2,1
Ls3	25	19	14	9	4	34	32	30	28	25	19	17	15	13	11	2,1
Ls4	29	23	18	12	7	30	28	26	25	23	17	15	13	12	10	2,1
Lt2	21	16	11	6		38	35	33	31		18	15	13	11		2,2
Lt3	16	11	8	4		43	40	36	33		18	15	11	9		2,3
Lts	23	18	13	8		36	33	31	29		16	13	11	9		2,2
Lu	22	16	12	6		37	35	32	31		19	17	14	13		2,2
Uu	24	17	11	6		35	33	33	31		26	24	24	21		2,1
Uls	26	19	14	8		33	32	30	29		21	20	18	16		2,1
Us	27	20	15	8		32	31	29	29		24	23	20	19		2,1
Ut2	25	18	11	5		34	33	33	32		23	22	22	21		2,2
Ut3	24	17	10	4		35	34	34	33		22	22	21	20		2,2
Ut4	22	16	10	4		37	35	34	33		21	19	18	17		2,2
Tt	10	6	3			49	45	41	-		13	12	9			2,5
Tl	15	10	6	3		44	41	38	33		14	12	9	7		2,5
Tu2	13	8	5	2		46	43	39	35		15	13	10	8		2,5
Tu3	15	11	8	4		44	40	36	33		18	15	11	8		2,4
Tu4	18	13	9	4		41	38	35	33		21	18	15	13		2,3
Ts2		15	10	8			36	34	29			11	9	7		2,4
Ts3		20	15	11			31	29	26			11	9	8		2,3
Ts4		23	19	14			28	25	23			12	10	9		2,2
fS, fSms, fSgs		36	28	20			15	16	17			12	13	14		2,0
mS, mSfs, mSgs		40	32	24			11	12	13			9	10	11		1,9
gS		42	34	27			8	9	10			6	7	8		1,9

*) Feuchtigkeitsäquivalent in pF-Werten ermittelt anhand von Wassergehaltsmessungen im Gelände zu Beginn der Vegetationszeit mithilfe der im Labor bestimmten pF-Kurve (s. Abb.4, RENGER et al. 2009)

**) 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.

Tabelle 5: Zuschläge für Poren in Vol.-% in Abhängigkeit von der Humusstufe und der Bodenart

Bodenart	Gesamtporenvolumen				Poren <50 µm (pF 1,8)				Poren <10 µm (pF 2,5)				Poren <0,2 µm (pF 4,2)			
	h2	h3	h4	h5	h2	h3	h4	h5	h2	h3	h4	h5	h2	h3	h4	h5
Ss	2	4	7	15	3	5	10	20	2	4	8	17	1	2	4	7
Sl2	2	4	7	14	2	5	9	17	2	4	7	14	1	2	3	6
Sl3	2	4	8	15	2	4	9	16	2	3	6	13	1	1	3	5
Sl4	3	5	9	15	2	4	8	15	2	3	6	12	1	1	3	5
Slu	3	5	9	16	2	4	7	14	2	3	5	11	1	1	2	4
St2	2	4	8	14	2	5	10	17	2	4	8	14	1	2	3	7
St3	2	5	9	15	2	5	9	16	2	4	7	13	1	2	3	6
Su2	2	4	8	15	2	5	10	18	2	4	7	14	1	2	3	6
Su3	2	5	9	15	2	5	9	16	2	4	7	13	1	2	3	5
Su4	2	5	8	15	2	5	8	15	2	4	6	12	1	2	2	5
Ls2	3	6	9	16	2	4	7	13	1	3	5	10	1	1	2	4
Ls3	3	5	9	16	2	4	7	14	2	3	5	11	1	1	2	4
Ls4	3	5	9	15	2	4	8	14	2	3	6	11	1	1	2	4
Lt2	3	5	9	16	2	3	6	11	1	2	4	9	0	1	2	3
Lt3	3	6	10	17	1	3	6	11	1	2	4	9	0	1	2	3
Lts	3	6	10	17	2	4	7	13	2	3	5	10	1	1	2	3
Lu	3	5	9	16	1	3	6	11	1	2	4	9	0	1	1	3
Uu	1	4	7	14	1	3	5	10	1	2	4	8	0	1	2	3
Uls	3	6	9	16	2	4	6	12	1	3	4	10	0	1	2	3
Us	2	5	8	15	2	4	6	12	1	3	4	10	0	1	2	4
Ut2	3	6	10	16	2	4	7	11	1	3	5	9	0	1	2	3
Ut3	3	6	11	17	2	4	7	11	1	3	5	9	0	1	2	3
Ut4	4	7	11	16	2	4	7	10	1	3	5	8	0	1	2	3
Tt	4	6	9	15	1	2	4	8	1	1	3	6	0	1	1	2
Tl	3	6	9	14	1	2	4	8	1	1	3	6	0	1	1	2
Tu2	3	6	9	15	1	2	4	8	1	1	3	6	0	1	1	2
Tu3	3	4	9	15	1	2	5	8	1	1	4	6	0	1	1	2
Tu4	3	5	9	16	1	2	5	9	1	1	4	7	0	1	1	2
Ts2	4	6	11	18	2	3	7	13	1	2	5	10	1	1	2	4
Ts3	3	6	11	18	2	4	8	14	2	3	6	11	1	1	2	4
Ts4	3	6	10	17	2	4	8	14	2	3	6	11	1	1	2	4

Anmerkung zu Tabelle 5:

Mit zunehmendem Humusgehalt verringert sich die Trockenrohdichte bzw. erhöht sich das Gesamtporenvolumen des Bodens. Daher ist bei den Humuszuschlägen zu berücksichtigen, dass bei hohen Humusgehalten entsprechend geringere Trockenrohdichten vorliegen.

Humusstufe	TRD- Stufe	Humus Masse-%	TRD g/cm ³	Reindichte g/cm ³	GPV Vol.-%
h3	<= 3 (4)	3	<1,70	2,59	>34
h4	<= 3	6	<1,55	2,53	>39
h5	<= 1 (2)	11,5	<1,2	2,42	>50