

TELMA	Band 39	Seite 113 - 118	1 Tab.	Hannover, November 2009
-------	---------	-----------------	--------	-------------------------

# Unsichere physikalische Größen von Torf

## Uncertain physical parameters of peat

VOLKER SCHWEIKLE

### Zusammenfassung

Physikalische Eigenschaften von Torfen werden beschrieben wie bei Mineralböden und Rohstofflagern. Gezeigt wird, dass die Eigenschaften von Pflanzen(resten) physikalische Parameter, und deren Interpretation, wesentlich bestimmen und das sie zum Teil nicht messbar sind.

### Abstract

Physical characteristics of peat are described according to mineral soils and deposits of raw material. I show, that the features of plants (and their residues) determine physical parameters and their interpretation considerably and that they are partly not measurable.

## 1. Einleitung

Für die Kennzeichnung von Torfen werden von AG BODEN (1994), BADEN & SEGEBERG (1949), DIN 19683 (1973), SEGEBERG (1962), SCHEFFER & BLANKENBURG (1993), SCHWEIKLE (1990) und ZEITZ (2001)

die Dichte  $\rho_s = \frac{m_s}{V_s} / \text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$  (1),

das Raumgewicht  $\rho_b = \frac{m_s}{V_b} / \text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$  (2)

und das Substanzvolumen  $V_{bs} = \frac{\rho_b}{\rho_s} / \text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$  (3),

mit  $m$  = Masse / Mg,  $V$  = Volumen /  $\text{m}^3$ ,  $s$  = feste Substanz und  $b$  = Boden bestimmt.

Betrachtet man den Aufbau lebender oder toter Zellen, bzw. von Zellverbänden (im Folgenden „Organopart/-s“) mit elastischen bis starren Zellwänden, einem Zellplasma, Vakuolen und gashaltigen Hohlräumen müsste definiert werden:

die Dichte  $\rho_o = \frac{m_o}{V_o} / \text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$  (4),

das Raumgewicht  $\rho_{bo} = \frac{m_o}{V_b} / \text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$  (5)

und das Substanzvolumen  $V_{bo} = \frac{\rho_{bo}}{\rho_o} / \text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$  (6),

mit  $m_o = m_s + m_w + m_g$ ,  $V_o = V_s + V_w + V_g$ ,  $V_b = V_{bo} + V_p = 1$ ,  
 $_o$  = organische Substanz,  $_w$  = Wasser,  $_g$  = Gas und  $_p$  = Poren.

Daraus ergeben sich Konsequenzen, die im Folgenden vorgestellt werden.

## 2. Methodik

Auswertung von Literatur laut Zitaten.

## 3. Ergebnisse

### 3.1 Grundlegende physikalische Daten

Grundlegende physikalische Daten sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Die Masse von Gasen kann, weil geringfügig im Verhältnis zu festen und flüssigen Medien, vernachlässigt werden; nicht jedoch deren Volumen, welches einen großen Teil von Organoparts einnehmen kann und, abhängig von Temperatur und Druck, sogar noch erheblich variiert.

Tab. 1: Dichte ( $\rho/\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) organischer Stoffe, Wasser und Gasen nach -- (2008), KUCHLING (1996), SCHEFFER & BLANKENBURG (1992) und SCHWEIKLE (1990)  
 Density of organoparts, water and gases

<b>Dichte organischer Stoffe</b>			
Zellulose / Lignin	1,5 ± 0,1	trockenes Eichenholz	0,85 ± 0,15
trockenes Fichtenholz	0,55 ± 0,15	Braunkohle	1,3 ± 0,1
<b>Dichte von Wasser</b>			
Wasser bei 1013 hPa Luftdruck und 10°C		0,999700 ± 0,000.074 je 1°C	
<b>Dichte von Gasen (x 10<sup>-3</sup>)</b>			
Sauerstoff*	1,42895	Stickstoff*	1,9767
Kohlendioxid*	1,2505	Methan*	0,7168
<b>Dichte von Luft (x 10<sup>-3</sup>)</b>			
Temperatur / °C		Luftdruck / hPa	
-	960	1013	1030
0	1,224	1,293	1,314
7	1,194	1,260	1,280
15	1,161	1,225	1,245

\* x 369 · 10<sup>-5</sup>/°K bei 1013 hPa Luftdruck und 0°C (gültig von 0 bis 100°C)

### 3.2 Wirkung der Zersetzung

Mit zunehmender Zersetzung und Dispergierung der organischen Substanz entfallen endogene Wasser- und Gasgehalte, wobei nicht ausgeschlossen ist, dass auf deren Oberfläche haftende Saprophyten wiederum Wasser- und Gasvolumina besitzen. Sicher ist die Bildung einer fest haftenden elektrischen Doppelschicht aus Wasserdipolen auf der Oberfläche der Organoparts (Ladungsdichte  $2\text{-}5 \text{ eq} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), die  $8^{-10}\text{-}10^{-10}$  m dick ist. Die Dichte stark zersetzter Organoparts beträgt damit

$$\rho_o = \frac{m_o + m_{wex}}{V_o + V_{wex}} / \text{Mg} \cdot \text{m}^{-3} \quad (7)$$

mit  $m_{wex}$  = externes gebundenes Wasser.

### 3.3 Dichte, Schwimmfähigkeit und Auflast

Untersuchungsmethoden der Bodenphysik (Trocknen bei  $50 - 105^\circ \text{C}$  bis zur Gewichtskonstanz) berücksichtigen intra- und extrazelluläres Wasser und Gas und deren Variabilität (abhängig von Umwelt, Stoffwechsel und Zersetzung) bei Organoparts nicht: erlauben also die Nutzung der Gleichungen (4) bis (6) nicht.

Organoparts schwimmen (sinken) bei einer Dichte  $< 1$  ( $> 1$ )  $\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$  und schweben bei einer Dichte um  $1 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$  ( $\rho_s \approx 1,5 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$  und  $V_s / V_g \approx 2,0$ ). Schwebende Organoparts steigen, wenn sich ihr Gasvolumen bei sinkendem Luftdruck und steigender Temperatur ausdehnt, bzw. sinken bei steigendem Luftdruck und fallender Temperatur, sofern elastische Zellwände eine Druckübertragung zulassen, Entgasung bzw. Lösung von Gasen unerheblich und Gase nicht verstoffwechselt werden. Sinken wird durch den zunehmenden hydrostatischen Druck mit der Tiefe beschleunigt und ist endgültig. **Dichte und Raumgewicht von Organoparts sind variable und variierende i. d. R. nicht fassbare Größen.**

Für die Bestimmung der Auflast gilt

$$\text{über dem Grundwasser} \quad p_{\bar{u}} = g \cdot h \cdot (\rho_o + \rho_p) / \text{Pa} \quad (8),$$

$$\text{im Grundwasser} \quad p_u = g \cdot h \cdot (\rho_o + \rho_p - \rho_w) / \text{Pa} \quad (9)$$

$$\text{und insgesamt} \quad p_t = p_{\bar{u}} + p_u / \text{Pa} \quad (10)$$

mit  $g$  = Gravitationskonstante /  $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ,  $h$  = Schichtmächtigkeit / m und  $p$  = Porenfüllung.

In Höhenlagen des Schwarzwaldes müssen im Winter noch Schneelasten bis 30 kPa berücksichtigt werden. Variieren  $h$ , Grundwasserstand unter Flur,  $V_o$ ,  $V_w$  und  $\rho_o$  im Profil ergibt sich die gesamte Auflast aus der Summe der Teillasten der Schichten, bzw. Horizonte. Moorwasserstand und -oberfläche variieren synchron, was fixe Referenzpunkte für Höhenmessungen von Mooren außerhalb auf stabilem Boden erfordert.

Die Auflast ist, bei nicht messbarem Raumgewicht, nicht bestimmbar und damit auch nicht bei Entwässerung von Torfen deren Sackung. Deshalb sind Prognosen zur Moorsackung empirisch, gebunden an regionale und torftypische Erfahrungen und nicht an physikalische Parameter.

Zwei Hinweise zur Auflast:

- Nach dem Aufstau von Karseen im Nordschwarzwald rissen Torfschollen vom Torfkörper ab und drifteten auf der Wasseroberfläche.
- Dichte, harte Torfschichten im Untergrund von Mooren im Südschwarzwald, nach Schaber (mündliche Mitteilung/ Moorkataster Baden-Württemberg) „Spanplatten vergleichbar“, lassen sich nicht mit der Last hangender Torfe, sondern nur mit der mächtigen Firneises, erklären.

### 3.4 Porung

Nach Gleichung (6) in Kapitel 1 und den Erläuterungen in Kapitel 3.3 sind das Porenvolumen und somit auch die Luftkapazität bei Feldkapazität und die Feld- und Totwasserkapazität nicht bestimmbar. Gemessen werden können Volumenanteile von Poren mit Membranapparaturen (Sandbäder, keramische Platten) zwischen  $\geq 0,5 \text{ hPa}$  ( $\approx 6000 \mu\text{m}$ )  $\leq 0,5 \text{ MPa}$  ( $\approx 6 \mu\text{m}$ ), d.h. das für die Nettoassimilation verfügbare Wasservolumen in Torf in Poren  $\leq 50$  bis  $\geq 3$  bzw.  $12 \mu\text{m}$ , nicht jedoch die  $\text{O}_2$ -Versorgung von Pflanzenwurzeln ohne Aerenchym. Die Bestimmung größerer Poren wird begrenzt durch hohe Strömungsraten, die feinerer durch unzulängliche Technik. Hinzu kommt, dass Wasser, ein in der Bodenphysik übliches Messfluid, sowohl Porung, als auch Poren- und Bodenvolumen durch Quellen und Schrumpfen erheblich beeinflusst (SCHWEIKLE 1982, ZEITZ 2001).

### 3.5 Durchströmung

Aus den Strömungsgleichungen von Darcy (i.c. HILLEL 1980) und Hagen-Poiseuille (i.c. KUCHLING 1996) in Verbindung mit der Theorie der elektrischen Doppelschicht (i.c. SCHWEIKLE 1982) wird die Wasserleitfähigkeit

$$k = \frac{A_p (r - \varepsilon \cdot \sigma \cdot U)^2}{A_b \cdot \sqrt{2} \cdot 8 \cdot \eta} / (\text{m}^4 - \text{C}^2 \cdot \text{V})^2 \cdot \text{m}^{-6} \cdot \text{Pa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \quad (11),$$

mit  $A$  = Fläche /  $\text{m}^2$ ,  $p$  = Poren,  $b$  = Boden,  $\sqrt{2}$  = Tortuosität (BOLT et al. 1966),  $\eta$  = dynamische Viskosität /  $\text{Pa} \cdot \text{s}$ ,  $\varepsilon$  = Permittivität /  $\text{C} \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ ,  $\sigma$  = Flächenladungsdichte /  $\text{C} \cdot \text{m}^{-2}$ ,  $U$  = Spannung /  $\text{V}$  und  $r$  = Porenradius /  $\text{m}$ , beschrieben.

Der Quotient  $A_p/A_b$  liegt zwischen 0 und 1.  $k$  wird im Wesentlichen bestimmt vom effektiven Porenradius  $r_e = (r_p - x)$ , mit  $x = \varepsilon \cdot \sigma \cdot U$ , d.h. letztlich nur von der Summe der Poren mit Radien  $>50 \mu\text{m}$  (SCHEIDEGGER 1974, SWARTZENDRUBER 1968). In Mineralböden mit wesentlich geringerer Ladungsdichte wie Organoparts mit hohem Zersetzungsgrad waren bei einem Pelogley  $G_{or}$  nur 3 und einem Parabraunerde- $B_t$  nur 25 % des Porenvolumens durchströmbar (SCHWEIKLE 1982). Erhöhte Reibung im diffusen Bereich der elektrischen Doppelschicht senkt wohl die Strömungsrate insgesamt, da der starre Bereich so dünn ist, dass er alleine nicht für die deutlich verringerte Strömungsrate verantwortlich sein kann.

Sinnvollerweise misst man die strömungsmechanischen Eigenschaften von Torfen fallweise mit Bohrlochmethoden im Gelände.

#### 4. Diskussion

Die konventionelle Definition von Dichte, Raumgewicht und Substanzvolumen von Torf und organischen Auflagen von Mineralböden entspricht nicht der physikalisch-ökologischen Realität und wurde deshalb durch neue Definitionen ersetzt, für die Daten aus messtechnischen Gründen bis dato allerdings nicht ermittelt werden können. Ableitungen von Feldkapazität, nutzbarer Feldkapazität, Wasserleitfähigkeit, Luftkapazität u.a. Größen des Wasser- und Lufthaushaltes sind damit ohne kausalen Bezug zu ökologisch-physikalischen Parametern und ermittelte enge Korrelationen sind wohl eher zufällig.

Außerdem sind Dichte, Raumgewicht und Substanz- und Porenvolumen für das Wachstum von Pflanzen irrelevant. Wichtig sind jedoch beim Wasser- und Lufthaushalt die messbare für Pflanzen nützliche Wasserkapazität und Wasserleitfähigkeit und die geschätzte für Pflanzen nützliche Luftkapazität aus dem Volumen der Poren mit Durchmessern von  $50 \mu\text{m}$  bis  $6 \text{mm}$ ).

#### 5. Literaturverzeichnis

- AG BODEN (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung; Stuttgart (Schweizerbart).
- BADEN, W. & SEGEBERG, H. (1949): Die Probenahme und Volumengewichtsbestimmung von Moorböden. – Landw. Forschung **1**: 147–162.
- BOLT, G.H., JANSE, A.R.P. & KOENIGS, F.F.R. (1966): Basic elements of soil chemistry and physics. – Postgraduate training program in soil science. University of Wageningen.
- DIN 19683 (1973): Physikalische Bodenuntersuchungen, Blatt **12**: Bestimmung der Rohdichte von Böden; Berlin und Köln (Beuth).
- HILLEL, D. (1980): Fundamentals of soil physics; New York (Academic Press).

- KUCHLING, H. (1996): Taschenbuch der Physik; Leipzig (Fachbuch).
- SCHEFFER, B. & BLANKENBURG, J. (1993): Die Bestimmung der Rohdichte von Böden. – *Agrobiol. Res.* **46**, Heft 1: 46–53.
- SCHEIDEGGER, A.E. (1974): *The physics of flow through porous media*; Toronto (University of Toronto Press).
- SCHWEIKLE, V. (1982): *Gefügeeigenschaften von Tonböden*; Stuttgart (Ulmer).
- SCHWEIKLE, V. (1990): Physik des Torfes und der Moorböden. – In: GÖTTLICH, Kh. (Hrsg): *Moor- und Torfkunde*. S. 272–283; Stuttgart (Schweizerbart).
- SEGEBERG, H. (1962): Über die Möglichkeiten die Lagerungsdichte von Torfen ohne die Kenntnis ihrer spezifischen Gewichte zu bestimmen. – Bericht 8. Internatl. Moor und Torfkongress: 66–68; Bremen.
- SWARTZENDRUBER, D. (1968): The applicability of Darcy's law. – *Soil Sci. Soc. Amer. J.*: **32**: 11–18.
- ZEITZ, J. (2001): Physikalisch-hydrologische Kennzeichnung. – In SUCCOW, M. & JOOSTEN, H. (Hrsg): *Landschaftsökologische Moorkunde*; Stuttgart (Schweizerbart).
- .– (2008): <http://de.wikipedia.org/wiki/holz>

Anschrift des Verfassers:

Dr. V. Schweikle  
Wilflingerstraße 46/3  
D-72355 Schömberg  
E-Mail: Vs61@vr-web.de

Manuskript eingegangen am 15. Mai 2009