

Änderungen der Lagerungs-, Mikrostruktur- und hydraulischen Parameter eines Bodens während eines Jahres

D. KLOTZ

Abstract

Durch Untersuchungen der totalen Porosität, der Porengrößenverteilung und der hydraulischen Parameter konnte der jahreszeitliche Gang der Lagerung und des Gefüges eines Oberbodens durch die Bodenbearbeitung und durch natürliche Vorgänge nachgewiesen und korreliert werden.

It was possible to prove and correlate the seasonal sequence of sedimentation as well as the structure of the top soil, as it had developed from cultivation measures and natural processes, by testing the total porosity, the pore size distribution and the hydraulic parameters.

Einleitung

Im oberen Bodenhorizont ändert sich im jahreszeitlichen Gang insbesondere durch die Bodenbearbeitung und natürliche Vorgänge, wie Kleintiertätigkeiten, Durchwurzelung, Setzen bei Durchfeuchtung, Trocknung und Rissbildung sowie Gefrier- und Auftauvorgängen laufend die Lagerungsdichte und das Gefüge. Beide bodenphysikalischen Kenngrößen beeinflussen aber die Lagerungs- (totale Porosität), die Mikrostruktur- (Porengrößenverteilung) und die hydraulischen Parameter (effektives Fließvolumen, Dispersivität, Durchlässigkeit).

Grundlagen

Die A-Horizonte der Böden bestehen im allgemeinen aus bindigem Material, sie weisen Aggregatgefüge (z.B. Waben-, Flocken-, Krümel- oder Schollengefüge) auf. Bei Änderung der äußeren Bedingungen (z.B. Temperatur, Durchfluss) kann sich dieses Aggregatgefüge verändern.

Bindige Materialien werden neben der Kornverteilung charakterisiert durch

☉ die **totale Porosität** n , die ein Maß für das ganze Hohlraumvolumen darstellt,

- die **Porengrößenverteilung** ("mittlere Porengröße"), die ein Maß für die Anzahl der unterschiedlich dimensionierten Porenkanäle ist,

- die **Durchlässigkeit** k_p , die ein Maß für den Widerstand ist, den das Korngerüst dem strömenden Wasser entgegensetzt,

- die **effektive Porosität** n_{eff} (für wassergesättigte Bedingungen) oder **effektiver Wassergehalt** Θ_{eff} (für wasserungesättigte Bedingungen), die ein Maß für das Wasservolumen sind, das am Fließvorgang teilnimmt,

- die **longitudinale Dispersivität** α , die ein Maß für die mechanische Vermischung von Wasserinhaltsstoffen ist.

Die hydraulischen Parameter k_p , n_{eff} (Θ_{eff}) und α sind abhängig von den sedimentphysikalischen Parametern wirksame Größe d der Aggregate, Ungleichförmigkeit U der Aggregatverteilung und totaler Porosität n des bindigen Materials. Nach KLOTZ, 2002 a gilt

$$d \uparrow \leftrightarrow \alpha \uparrow, k_f \uparrow \quad (1)$$

$$U \uparrow \leftrightarrow \alpha \uparrow, k_f \downarrow, n_{\text{eff}} \downarrow \quad (2)$$

$$n \uparrow \leftrightarrow \alpha \downarrow, k_f \uparrow \quad (3)$$

Es bedeutet: Aus der Zunahme der Größe A ($A \uparrow$) folgt (\rightarrow) Zunahme ($B \uparrow$) bzw. Abnahme ($B \downarrow$) der Größe B und umgekehrt (\leftarrow).

Durchführung der Untersuchungen

In der GSF-Anlage Neuherberg (KLOTZ et al., 2000) sind zu den in den Gefäßlysimetern eingebauten Böden verschiedener Standorte zusätzlich Behälter zur Aufnahme der A-Horizonte angeordnet. Diese unten offenen Behälter aus Edelstahl von 1 m² Querschnitt und einer

Höhe von 0,6 m sind in das Erdreich auf einer 0,1 m mächtigen Quarzsandschicht eingebaut und werden äquivalent zu den Lysimetern landbewirtschaftet.

Die Untersuchungen wurden 1997/1998 (angebaut: Winter-Gerste) am A-Horizont einer Rendzina/Kiese, Standort Feldkirchen/Bayern, der 1996 gestört in den Behälter eingebaut wurde, durchgeführt. Der Boden ist ein feinsandiger Schluff, die Kennkorngrößen und die spezifischen Oberfläche betragen (KLOTZ, 2002 b; KLOTZ und HINREINER, 2002): wirksame Korngröße $d_w = 11 \mu\text{m}$, mittlere Korngröße $d_m = 26 \mu\text{m}$, Ungleichförmigkeitsgrad $U = 4,9$, spezifische Oberfläche $S = 9,1 \text{ m}^2/\text{g}$.

Ein Jahr lang wurden monatlich an verschiedenen Stellen des Bodenbehälters mit Stechzylindern von 38 mm Innendurchmesser, 1 mm Wandstärke und 100 mm Länge je drei Proben genommen. Diese Stechzylinder besitzen ein anderes Durchmesser/Längen-Verhältnis (ca. 1/3) als handelsübliche (ca. 1/1), sie ermöglichen eine nahezu ungestörte Entnahme von bindigen Materialien (KLOTZ, 1992). Nach der Probenentnahme wurden die Stechzylinder oben und unten mit Verteilern (mit Fritte) gefasst und

- die Lagerungs- und Mikrostrukturparameter nach der Tensiometer-Methode (KLOTZ, 2002 c; KLOTZ und HINREINER, 2002) sowie

- für wassergesättigte Bedingungen die hydraulischen Parameter effektive Porosität und longitudinale Dispersivität mit Tracer-Methoden unter naturnahen Fließgeschwindigkeiten (KLOTZ, 1992)

bestimmt.

Messergebnisse

In *Tabelle 1* sind die Mittelwerte und Standardabweichungen aus je drei Ein-

Autor: Dipl.-Phys. Dietmar KLOTZ, GSF-Institut für Hydrologie, Ingolstädter Landstraße 1, D-85764 NEUHERBERG

Tabelle 1: Mittelwerte (Dreifach-Bestimmung) der totalen (n) und effektiven Porosität (n_{eff}) sowie der mittleren Porengröße p_m , der longitudinalen Dispersivität α und der Durchlässigkeit k_f eines Oberbodens (s. *Abbildung 1*), *Kursivwerte: Fehler > 5 % (bzw. > 10 % für α)*

Monat		n	n_{eff}	p_m [μm]	α [cm] ⁻¹	k_f [cm/s]
Okt. 1997		0,576 ± 0,012	0,476 ± 0,012	1,8	1,48 ± 0,04	8,0 · 10 ⁻³
Nov. 1997		0,631 ± 0,031	0,307 ± 0,016	4,5	4,53 ± 0,84	7,6 · 10 ⁻³
Dez. 1997		0,576 ± 0,024	0,320 ± 0,009	2,0	4,18 ± 0,33	6,2 · 10 ⁻³
Jan. 1998		0,601 ± 0,037	0,327 ± 0,007	0,7	4,53 ± 0,06	9,8 · 10 ⁻³
Febr. 1998		0,647 ± 0,004	0,449 ± 0,006	0,8	1,85 ± 0,24	5,6 · 10 ⁻⁴
Mrz. 1998		0,622 ± 0,013	0,369 ± 0,016	1,2	3,72 ± 0,26	1,6 · 10 ⁻²
Apr. 1998		0,658 ± 0,027	0,460 ± 0,013	2,5	2,27 ± 0,24	2,0 · 10 ⁻²
Mai 1998		0,608 ± 0,013	0,255 ± 0,033	2,2	5,57 ± 0,30	9,7 · 10 ⁻³
Aug. 1998		0,525 ± 0,025	0,183 ± 0,009	1,1	6,16 ± 0,55	1,8 · 10 ⁻³
Sept. 1998		0,544 ± 0,016	0,251 ± 0,005	1,2	13,9 ± 3,3	1,8 · 10 ⁻³

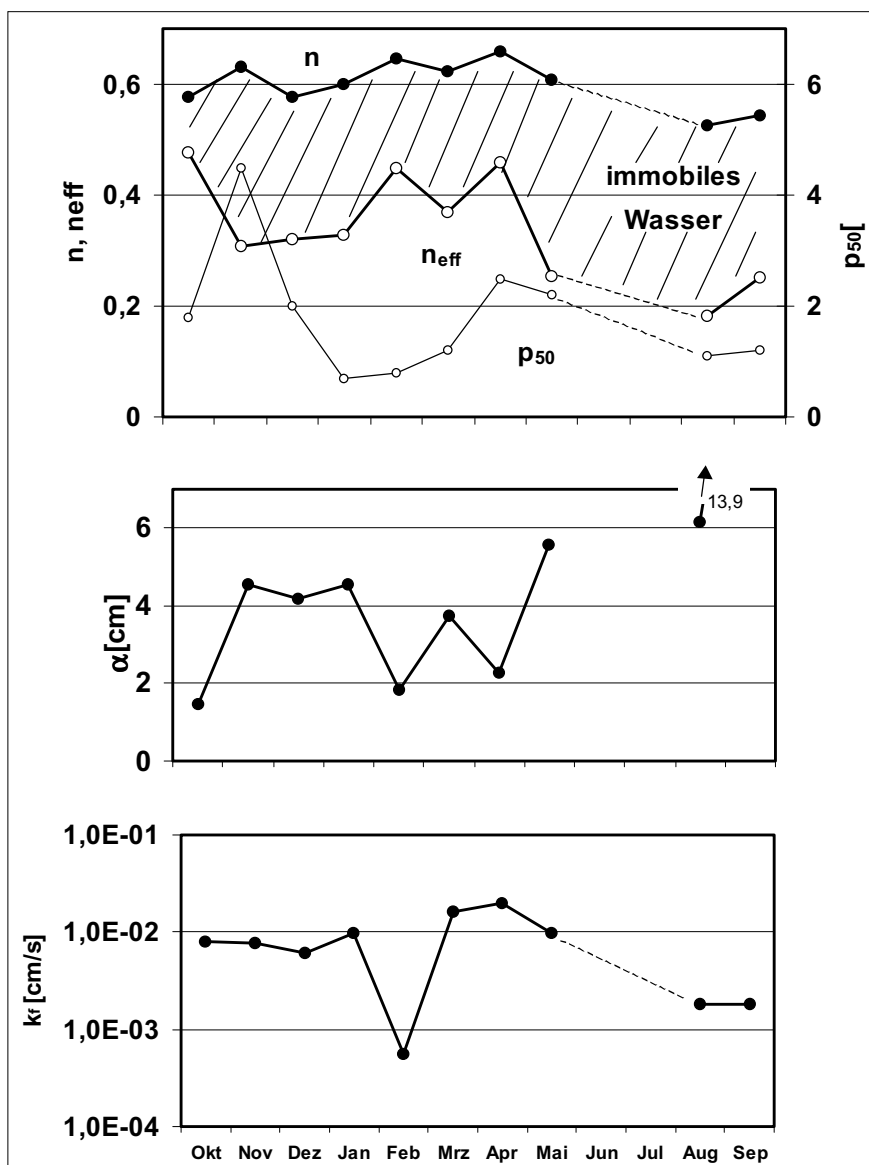


Abbildung 1: Totale (n) und effektive Porosität (n_{eff}) sowie mittlere Porengröße (p_m) (oben), Dispersivität (α) (Mitte) und Durchlässigkeit (k_f) (unten) eines Bodens während eines Jahres. Boden: A-Horizont einer Rendzina/Feldkirchen, Fruchtanbau: Winter-Gerste; hydraulische Parameter unter wassergesättigten Bedingungen

zelmessungen aufgelistet, die Ergebnisse der totalen und effektiven Porosität, der Durchlässigkeit und der mittleren Porengröße sind i.a. besser 5 % (Dispersivitäten besser 10 %) reproduzierbar. Es existiert keine eindeutige Korrelation zwischen totaler Porosität und mittlerer Porengröße.

Alle Messgrößen reagieren auf jahreszeitliche Ereignisse wie Bodenbearbeitung, Keimen des Saatgutes, Gefrier- und Auftauvorgänge, starke Durchwurzelung, Bodensetzungen bis zur Ernte. Die Änderungen der Ergebnisse im jahreszeitlichen Gang sind in *Abbildung 1* dargestellt, es folgt:

- Kurz vor der ersten Messung wurde die Bodenbearbeitung händisch durchgeführt. Der Boden ist homogenisiert, totale (n) und effektive Porosität ($n_{\text{eff}} \approx 0,82 \cdot n$) liegen nahe beieinander, die Totwasserbereiche (immobiles Wasser) sind klein. Die niederen Werte der Dispersivität deuten (nach Gl. (1) und (2)) auf kleine Aggregate hin, die gleichförmig sind.
- Nach Aussaat der Winter-Gerste begann im Spätherbst mit dem Keimen die Wurzelbildung und eine deutliche Abnahme der effektiven Porosität ($n_{\text{eff}} = 0,5 \cdot n$), d.h. eine Zunahme der Totwasserbereiche sowie eine Zunahme der mittleren Porengröße. Die zunehmenden Dispersivitäten und abnehmenden effektiven Porositäten deuten auf größere und/oder ungleich verteilte Aggregate hin (nach Gl. (1) und (2)).
- Die Gefrier- und Auftauvorgänge im Winter homogenisieren den Boden zu kleineren, gleichförmigen Aggregaten (nach Gl. (1) bis (3)), z.B. gilt für Februar:
 - Zunahme der totalen und besonders der effektiven Porosität ($n_{\text{eff}} = 0,7 \cdot n$),
 - Abnahme der mittleren Porengröße ($p_m < 1 \mu\text{m}$),
 - Abnahme der Dispersivität ($\alpha_{\text{Feb}} \approx \alpha_{\text{Okt}}$),
 - Abnahme der Durchlässigkeit um ca. eine Größenordnung.
- Im Frühjahr mit dem Wachstum der Gerste nimmt die Bodendurchwurzelung und parallel dazu die Inhomogenität des Bodens zu, d. h.: Anwachsen der wirksamen Aggregatgröße, Bildung verschieden großer Aggregate.

Die Folge ist eine Zunahme der Dispersivität (nach Gl. (1) und (2)) und eine Abnahme der Durchlässigkeit (nach Gl. (2)).

- Im Sommer mit dem Ausreifen der Gerste verdichtet sich der Boden (abnehmende totale Porosität), die Inhomogenitäten des Bodens werden größer. Die Folge sind eine starke Zunahme der Dispersivität (nach Gl. (1) und (2)) und der Totwasserbereiche sowie eine Abnahme der Durchlässigkeit (nach Gl. (3)).

Literatur

KLOTZ, D., 1992: Erfahrungen mit Säulenversuchen zur Bestimmung der Schadstoffmigration. - GSF-Bericht 7/91, 118 S.

KLOTZ, D., 2002 a: Charakterisierung eines Lockersediments durch bodenphysikalische, hydraulische und chemische Grundparameter. In: Grundparameter der Lysimetersedimente - Standorte Scheyern, Kelheim, Hohenwart und Feldkirchen (Hrsg.: D. Klotz), GSF-Bericht im Druck, 7 - 9.

KLOTZ, D., 2002 b: Körnungsparameter der Lysimetersedimente. - In: Grundparameter der Lysimetersedimente - Standorte Scheyern, Kelheim, Hohenwart und Feldkirchen (Hrsg.: D. Klotz), GSF-Bericht 10/02, 15 - 26.

KLOTZ, D., 2002 c: Lagerungsparameter der Lysimetersedimente. In: Grundparameter der Lysimetersedimente - Standorte Scheyern, Kelheim, Hohenwart und Feldkirchen (Hrsg.: D. Klotz), GSF-Bericht 10/02, 27 - 32.

KLOTZ, D., K.P. SEILER und R. SCHROLL, 2000: Die GSF-Lysimeteranlagen. - In: Methoden der Sickerwassermodellierung - Theorie und Praxis (Hrsg.: K.-P. Seiler, D. Klotz), GSF-Bericht 18/00, 14 - 21.

KLOTZ, D. und G. HINREINER, 2002: Porengrößen der Lysimetersedimente. - In: Grundparameter der Lysimetersedimente - Standorte Scheyern, Kelheim, Hohenwart und Feldkirchen (Hrsg.: D. Klotz), GSF-Bericht 10/02, 33 - 50.

