

Tagungsbeitrag zu: DBG-Jahrestagung  
Titel der Tagung: Böden verstehen – Böden nutzen  
– Böden fit machen  
3.-9. September 2011, Berlin  
Berichte der DBG (nicht begutachtete online  
Publikation)  
<http://www.dbges.de>

## Physikochemische und rheologische Parameter eines natürlichen und eines meliorierten Fluvaquents in SW-Spanien (Sevilla)

Wibke Markgraf\*, Felix Moreno, Rainer Horn

### Zusammenfassung

Salorthitic Fluvaquents aus der Region des Guadalquivir Flusses nahe Sevilla, Andalusien, wurden beprobt und physikochemischen Standarduntersuchungen unterzogen, sowie rheologische Parameter ermittelt. Ein Vergleich struktureller Veränderungen eines bewirtschafteten (Reis- und Rübenanbau) und eines natürlichen Standortes wurde anhand bekannter Methoden aus dem Bereich der allgemeinen Laboranalytik, der Mineralogie (REM), der Kolloidchemie (PCD-Messung/Partikelladungsdichte) und der Mikromechanik (Rheometrie) herangezogen. Das Absenken des Grundwasserspiegels, sowie die zugleich notwendige Bewässerung und Düngung mittels Gips des semi-ariden kultivierten Standortes haben zu einer Modifikation des Salinitätsgradienten innerhalb des Bodenprofils geführt und somit Prozess- und Strukturierungsvorgänge stark beeinflusst. Dies bestätigen Parameter wie die der KAK (16-20 cmol<sub>c</sub>/kg), des pH-Wertes (~pH 8) und der elektrischen Leitfähigkeit (1,6 dS/m).

---

Dr. Wibke Markgraf  
Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde  
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel  
Hermann-Rodewald-Str. 2  
D-24118 Kiel  
Tel: +49-431-880-2668  
Email: w.markgraf@soils.uni-kiel.de

Dem gegenüber steht ein nahezu unveränderter Standort in unmittelbarer Nähe des Guadalquivir, über den es regelmäßig zu einem Austausch von Salzen, insbesondere in Form von NaCl<sup>-</sup> kommt (Na<sup>+</sup> bis zu 16 cmol<sub>c</sub>/kg; KAK 21 cmol<sub>c</sub>/kg). Der Einsatz von Gips-Dünger am bewirtschafteten Standort führt zur Freisetzung von Na<sup>+</sup>-Ionen (Na<sup>+</sup> <8 cmol<sub>c</sub>/kg) an den Austauschern. Die Struktur der von Natur aus karbonatreichen (17-30% CaCO<sub>3</sub>), tonigen (25-70% Ton; 70% Illit, 15% Smectit, 10% Kaolinit) Böden wird dementsprechend erhalten und eine oberflächliche Verschlammung und Verkrustung vermieden. Die aus den PCD-Messungen ermittelten Zetapotenziale und rheologische Parameter (G', G'', tan δ und Integral z) bestätigen eine erhöhte Dispersionsbereitschaft im Fall des naturbelassenen Standortes. Die Melioration des bewirtschafteten Standortes kann als erfolgreich angesehen werden.

**Schlüsselwörter:** *Salorthidic Fluvaquents; Gipsmelioration; Rheometrie; PCD; Zetapotenzial*

### 1 Einführung

Die Versalzungsproblematik besteht seit vielen Jahrzehnten im mediterranen Raum, insbesondere in SW-Spanien, und erfordert sensitive wie effektive Meliorationsmaßnahmen. Solche Eingriffe, darunter Gipsmelioration und das Herabsetzen des Grundwasserspiegels tragen zu einer besseren Bodenstruktur und -funktion bei, jedoch stellt die Nachhaltigkeit dieser Maßnahmen weiterhin eine Herausforderung dar (Moreno et al., 1981).

Gipsmelioration hat im Wesentlichen zur Folge, dass Natrium, das sich vorwiegend an den Austauschern befindet, gegen Calcium eingetauscht wird und mit dem durch das Solum infiltrierte Wasser-Regen-, wie Bewässerungswasser - in tiefer gelegene Bodenhorizonte und das Grundwasser gelangt. – In dieser Studie standen vor allem mikrostrukturelle

Veränderungen im Vordergrund, und somit eine Gegenüberstellung eines natürlichen marin-fluvial beeinflussten mit einem Gips gedüngten, drainierten Standortes. Hierbei galt es vor allem, den positiven strukturellen Effekt von Calcium gegenüber dem dispergierenden Effekt von Natrium herauszustellen - u.a. mit Hilfe des Gapon-Koeffizienten  $K_G$   $\text{Na/Ca}$   $(\text{mol L}^{-1})^{0.5}$  - und anhand rheologischer (Quasielastizität; Integral z) wie kolloidaler Methoden (Partikelladungsdichte; Zetapotenzial  $\zeta$ ) und Daten zu belegen.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Physikochemische Eigenschaften

Gestörtes Probenmaterial eines Salorthidic Fluvaquents (WRB) wurde aus vier Tiefen - 10 (Ah, Ap), 40 (Bg1), 70 (Bg2), 90cm (Cg) - an einem meliorierten und einem naturbelassenem Standort (unter Weide) entnommen. Physikochemische Eigenschaften sind in **Tabelle 1** zusammengefasst.

**Tabelle 1:** Physikochemische Eigenschaften der untersuchten Salorthidic Fluvaquents, Versuchsgut La Señuela, Lebrija, Andalusien.

Standort	Horizont	Ton	SOC	pH <sub>CaCl2</sub>	CaCO <sub>3</sub>	Na	Ca	KAK
		mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	-log <sub>10</sub>	%	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	
Fluvaquent (bewirtschaftet)	Ap	393	6	7.8	17	2	8	18
	Bg1	282	5	7.9	19	3	6	11
	Bg2	402	4	7.9	18	6	5	18
	Cg	690	5	8.1	23	9	5	22
Fluvaquent (natürlich)	Ah	390	8	8.1	30	13	5	25
	Bg1	470	7	8.2	31	10	4	20
	Bg2	520	6	8.1	27	16	5	28
	Cg	500	6	8.1	27	15	5	26

Die sodic-salinen Standorte, insbesondere der natürliche Standort, sind durch hohe Carbonatgehalte, sowie eine hohe Na-Sättigung und exchangeable sodium percentage (ESP) gekennzeichnet. Tongehalte nehmen vom Oberboden zum Unterboden zu; die Hauptbodenarten reichen somit von stark lehmigen Sanden bis hin zu reinem Ton; Illite (70%) und Smectite (15%) dominieren den Tonmineralbestandteil, ferner lassen sich Coccolithen als Indizien des marinen Einflusses in Bg2- und Cg-Horizonten finden. Laboranalysen, darunter Textur (Sieb- und Sedimentationsverfahren),

Kohlenstoff- (Ströhlein), Carbonat- (Scheibler) und pH-Bestimmung, sowie die Ermittlung der effektiven KAK und der elektrischen Leitfähigkeit erfolgten nach Blume et al. (2011).

### 2.1 Rheometrie und PCD-Messungen

Amplitudentests wurden nach Markgraf et al., 2006, und Markgraf et al., 2011a, an einem Rotationsrheometer im Oszillationsmodus durchgeführt (n=3 je Horizont). Der quasielastische Bereich (Speichermodul  $G'$  > Verlustmodul  $G''$ ; wobei  $G''/G' = \text{Verlustfaktor } \tan \delta$ ), der sich durch das Integral z quantifizieren lässt, definiert sich als Bereich unterhalb der so genannten  $\tan \delta = 1$ -Linie (Markgraf et al., 2011a), der durch den Schnittpunkt des Graphen  $\tan \delta$  ( $\gamma$ ) mit dieser Linie begrenzt ist. Im Allgemeinen gilt: je größer Integral z, desto (mikrostrukturell) stabiler ist das Substrat; weiterhin liefern diese Größe sowie der Kurvenverlauf selbst Informationen über das Scherverhalten: turbulent (sandig-schluffig) oder gleitend (tonreich).

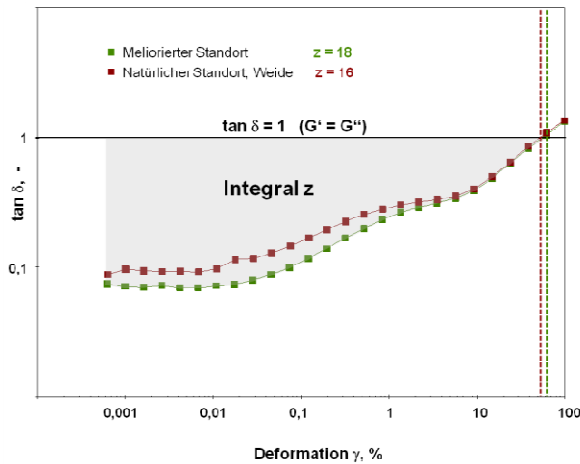
Partikelladungsmessungen an  $\leq 5 \mu\text{m}$ -Suspensionen der Bodensubstrate erfolgten an einem PCD-Messgerät (StabiSizer®) der Firma Particle Metrix, Meerbusch, und basieren auf dem Prinzip einer Ladungstitration mit Hilfe eines Polyelektrolyten (Poly-DADMAC) (Böckenhoff und Fischer, 2001). Aus den ermittelten Strömungspotenzialen  $I$  (mV) wurden durch die Division durch den Faktor 12 Zetapotenziale  $\zeta$  (mV) berechnet (Markgraf et al., 2011b).

## 3 Ergebnisse

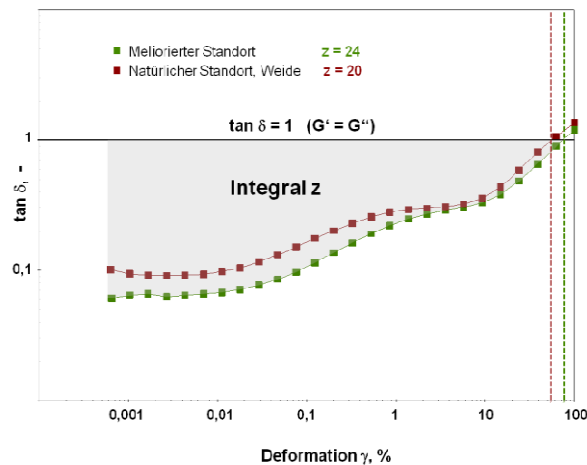
### 3.1 Rheometrie: Integral z

Der Verlauf der Graphen weisen sowohl unter gesättigten als auch unter teilentwässerten (-6kPa) Bedingungen auf ein überwiegend gleitendes Scherverhalten hin. Während unter gesättigten Bedingungen das mikrostrukturelle Verhalten texturbedingt ist, bedingen Meniskenkräfte unter teilentwässerten Bedingungen eine

zunehmende mikrostrukturelle Stabilität. In diesem Zustand zeigt sich insbesondere der Einfluss der strukturgebenden Calciumionen an dem meliorierten Standort (**Abbildungen 1 und 2**).



**Abbildung 1:** Quasielastischer Bereich (Integral z) und mikrostrukturelle Stabilität gesättigter Proben des Ap und Ah-Horizontes des meliorierten und natürlichen Standortes.



**Abbildung 2:** Quasielastischer Bereich (Integral z) und mikrostrukturelle Stabilität ungesättigter Proben (vorentwässert, -6kPa) des Ap und Ah-Horizontes des Gips meliorierten und Na-dominierten Standortes.

Bei einem Vergleich der  $\Delta z$ -Werte (**Tabelle 2**) wird die Zunahme mikrostruktureller Stabilität im Falle des Gips meliorierten Standortes ersichtlich, bzw. deutlicher unter vorentwässerten Bedingungen.

**Tabelle 2:** Integral z und  $\Delta z$ -Werte untersuchter Fluvaquent-Proben, gesättigt und teilentwässert (-6kPa).

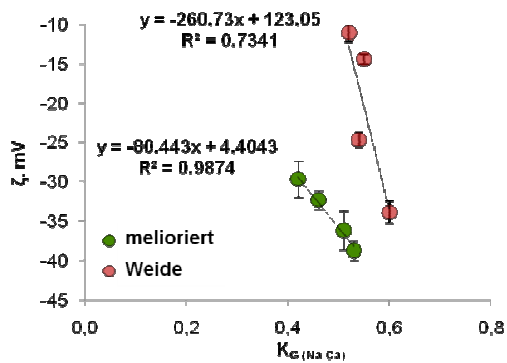
Standort	Horizont	$Z_0$ kPa	$Z_{-6}$ kPa	$\Delta z$
Fluvaquent (bewirt.)	Ap	$18 \pm 3.8$	$24 \pm 4.1$	8
	Bg1	$10 \pm 4.7$	$18 \pm 3.4$	8
	Bg2	$6 \pm 1.1$	$8 \pm 3.0$	2
	Cg	$5 \pm 0.7$	$6 \pm 1.1$	1
Fluvaquent (natürlich)	Ah	$16 \pm 3.1$	$20 \pm 1.9$	2
	Bg1	$10 \pm 1.5$	$13 \pm 1.1$	3
	Bg2	$8 \pm 0.3$	$10 \pm 1.6$	2
	Cg	$7 \pm 0.2$	$7 \pm 0.4$	0

### 3.2 PCD und Zetapotenzial

Während Rheometrie im Wesentlichen Information über das mikromechanische Verhalten liefert, erbringen PCD-Messungen wichtige Daten hinsichtlich ionarer Kräfte (repulsiv vs. anziehend – elektrostatisch vs. van der Waals). Gemessene Strömungspotenziale führen zu den in **Tabelle 3** dargestellten Zetapotenzial  $\zeta$  (mV). Diese weisen mitunter auf den Einfluss der Carbonate im Unterboden des natürlichen Fluvaquents, sowie auf ein Calcium dominiertes System im Oberboden des meliorierten Standortes hin. Als weitere Indikatoren eines Rückgangs der Na-Sättigung im bewirtschafteten Oberboden diesen sowohl die ESP als auch der Gapon-Koeffizient: Beide weisen deutlich auf die größere Eintauschstärke des zweiwertigen Calciums hin, und somit auch auf eine mikrostrukturelle Stabilisierung (s. 3.1). Dieser Zusammenhang ist weiterhin in **Abbildung 4** dargestellt.

**Tabelle 3:** Gegenüberstellung von Zetapotenzialen  $\zeta$ , ESP und Gapon-Koeffizienten des meliorierten, bewirtschafteten und natürlichen Fluvaquents.

	$\zeta$ mV	ESP %	$K_e$ Na/Ca (mol L <sup>-1</sup> ) <sup>0.5</sup>
Fluvaquent (bewirt.)	-30	11	0,42
	-32	20	0,46
	-36	33	0,51
	-39	41	0,53
Fluvaquent (natürlich)	-25	52	0,54
	-34	50	0,60
	-11	57	0,52
	-14	58	0,55



**Abbildung 4:** Korrelation von Zetapotenzial vs. Gapon-Koeffizient  $K_{G \text{ Na/Ca}}$  – Bestimmtheitsmaße weisen auf einen engen Zusammenhang zwischen dem Einfluss und der Modifikation des Na/Ca-Systems auf das Zetapotenzial hin.

## Schlussfolgerungen

Rheometrie und Zetapotenzialmessungen haben zu einer Übereinstimmung von mikromechanischen und Oberflächenladungseigenschaften der untersuchten tonreichen Salorthidic Fluvaquents geführt. Quasielastizität konnte durch die Anwendung Amplitudentests quantifiziert werden und durch PCD-Messungen ergänzt werden. Beide Methoden zeigten eine höhere Dispersionsbereitschaft und somit eine Tendenz zu Verschlammung und Verkrustung des natürlichen Salorthidic Fluvaquent. Der rheologische Parameter Integral z bestätigte Stabilisierungseffekte in dem Gips meliorierten Ap Horizont des bewirtschafteten Fluvaquents, indiziert durch einen geringeren Gapon-Koeffizienten. Das Kationenverhältnis von bestätigte eine verbesserte Integrität des Porensystems des meliorierten Standortes. Korrelationen der Zetapotenziale und Integral z mit ESP und  $K_G$  zeigten eine Abhängigkeit von mikrostrukturellen Veränderungen überwiegend auf Grund der Modifikationen der Na und Ca-dominierten Salorthidic Fluvaquents.

Eine Kombination von Rheometrie und PCD-Messungen stellt eine geeignete Methode zur Quantifikation des quasielastischen Zustands eines Bodens und darin stattfindender physikochemischer Prozesse, d.h. Dispersion und/ oder Aggregation auf

kolloidalen (<1 m) bis hin zur Mikroskala dar (Partikel-Partikel-Ebene, Mikroaggregate <250µm).

## Literatur

- Blume, H.-P., Stahr, K., and P. Leinweber, 2011. Bodenkundliches Praktikum: Eine Einführung in pedologisches Arbeiten für Ökologen, Land- und Forstwirte, Geo- und Umweltwissenschaftler. Springer, Berlin, Germany.
- Böckenhoff, K., and W. Fischer, 2001. Determination of electrokinetic charge with a particle-charge detector, and its relationship to the total charge. *Fresenius J. Anal. Chem.* 371:670-674.
- Markgraf, W., Horn, R., and S. Peth, 2006. An Approach to Rheometry in Soil Mechanics: Structural Changes in Bentonite, Clayey and Silty Soils. *Soil Till. Res.* 91:1-14.
- Markgraf, W., Watts, C. W., Whalley, C. R., Hrkac, T., and R. Horn, 2011a. Influence of organic matter on rheological properties of soil. *Appl. Clay Sci.* 10.1016/j.clay.2011.04.009
- Markgraf, W., Moreno, F., Horn, R., 2011b: Quantification of microstructural changes in Salorthidic Fluvaquents using a combined approach of rheological and particle charge techniques. *VZJ*, im Druck.
- Moreno, F., Martin, J., and J.L. Mudarra, 1981. A Soil Sequence in the Natural and Reclaimed Marshes of the Guadalquivir River, Seville (Spain). *Catena* 8:201-221.