

## Bodenstrukturentwicklung und Wasserhaushalt in Friedhofsböden

Zimmermann, I., Fleige, H., Horn, R.\*

### Zusammenfassung

Die Strukturentwicklung und der Wasserhaushalt in künstlichen Gräbern wurden auf einem Geschiebemergel-Standort in S-H untersucht. Die Störung der Bodenstruktur im Zuge der Grabarbeiten führte zu einer Zunahme der Luftkapazität und der Luftleitfähigkeit. Der geschüttete Boden zeigte erhöhte Stauwasserbildung, welche durch künstliche Bewässerung noch verstärkt wurde. Durch die Einmischung von Branntkalk und das Aufbrechen der Grabsohle konnten trockenere Bedingungen und eine bessere Sauerstoffverfügbarkeit erreicht werden.

**Schlüsselworte:** Friedhof, Matrixpotenziale, Branntkalk

### 1. Einleitung

Unzureichende Sauerstoffversorgung im Unterboden kann bei Erdbestattungen Verwesungsstörungen verursachen, die letztendlich dazu führen, dass die Grabstelle nach Ablauf der Ruhefrist (i.d.R. 20-30 Jahre) nicht wiederbelegt werden kann. Die Ursachen für eine unzureichende Sauerstoffversorgung im Unterboden sind neben einer geringen Porosität des Bodens vor allem, bedingt durch Grund- oder Stauwassereinfluss, hohe Wassergehalte im Grabraum (ZIMMERMANN ET AL. 2014, *accepted*). Künstliche Bewässerung im Rahmen der Grabpflege verstärkt das Problem, da ein Wasserstau im Grabraum gefördert wird. Die Einmischung von Branntkalk (CaO) in den Bodenaushub im Zuge der Beisetzung kann als Meliorationsmaßnahme

wirken, da vor allem in tonreichen Böden eine Verbesserung der Bodenstruktur erreicht wird. Das Löschen des Branntkalkes zu Kalkhydrat bei Kontakt mit (Poren-)Wasser ist eine exotherme Reaktion. Durch die Wärmeentwicklung und die Aufnahme von Wassermolekülen wird der Boden trockener. Ein weiterer Prozess ist die puzzolanische Reaktion des Kalkhydrates mit Silikaten und Aluminaten, die zu einer Verkittung der Bodenpartikel führt (WITT 2002). Diese bewirkt eine Zunahme der Aggregatstabilität durch Steigerung der Kohäsion und der Reibungswinkel (HARTGE 1977) und fördert die Bildung von Mikroaggregaten (Pseudosand).

### 2. Material und Methoden

Inwiefern durch eine alternative Strukturförderung bei der Verfüllung von „Gräbern“ die Porenfunktionen schneller wieder sichergestellt werden können, wurde an einer Pseudogley-Parabraunerde aus Geschiebemergel in der Jungmoränenlandschaft Schleswig-Holsteins untersucht.

Im Rahmen eines Feldversuchs wurden zu diesem Zweck künstliche Gräber mit einer Tiefe von 160 cm angelegt (Abbildung 1). In dem wieder eingefüllten Bodenaushub wurde ein Monitoring von Matrix- und Redoxpotenzialen durchgeführt. Es wurden der Einfluss der Beimischung von 20 kg m<sup>-3</sup> Branntkalk zum Bodenaushub sowie von Gießwassergaben unterschiedlicher Höhe auf die Bodenstruktur, den Wasserhaushalt und die Redoxbedingungen in den künstlichen Gräbern untersucht.

Die Messung der Matrixpotenziale erfolgte mit Tensiometern, die Messung der Redoxpotenziale erfolgte mit Platinstiften und einer Ag-AgCl Referenzelektrode, die über ein Brunnenrohr in Kontakt mit der Bodenlösung stand. Unter Berücksichtigung der Einbautiefe des jeweiligen Tensiometers konnten aus positiven Matrixpotenzialen die Obergrenze der Wassergesättigten Zone im Boden errechnet und so das aktuelle Ausmaß des Stauwassereinflusses grafisch dargestellt werden. Bei Anlage der künstlichen Gräber wurden ungestörte Bodenproben aus 50 cm und 160 cm Tiefe entnommen um den

\* Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde  
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel,  
Hermann-Rodewald-Str. 2, 24118 Kiel  
Iris Zimmermann, Tel: 0431/8803191  
Email: i.zimmermann@soils.uni-kiel.de

Ausgangszustand der Bodenstruktur im Bereich der Gräber und zusätzlich unterhalb der entstehenden Grabsohlen zu erfassen. 195 Tage nach der Wiederverfüllung der Gräber wurden in den Varianten A und B aus 50 cm Tiefe ebenfalls

ungestörte Bodenproben entnommen. An allen entnommenen Bodenproben wurden im Labor nach (HARTGE UND HORN 2009) die Porengrößenverteilung und die Luftleitfähigkeit bestimmt.

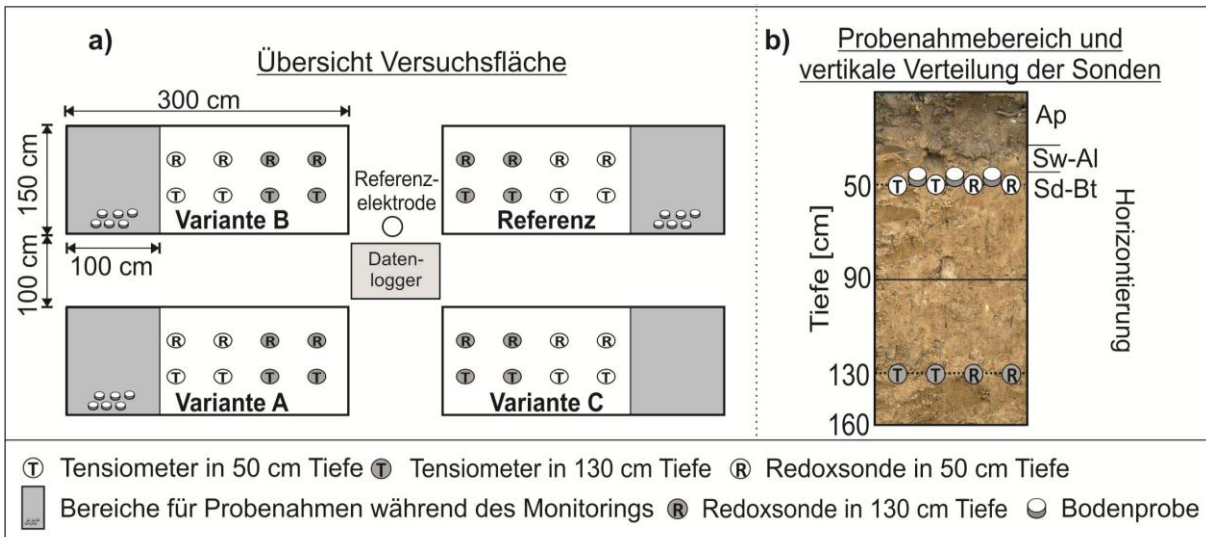


Abbildung 1: Feldversuch mit künstlichen Gräbern a): räumliche Lage der Versuchsvarianten: Referenz (Einbau von Tensiometern und Redoxsonden in 50 cm und 130 cm Tiefe in den ungestörten Boden), Variante A (Grab 150x300x160 cm, Einbau von Tensiometern und Redoxsonden in 50 cm und 130 cm Tiefe in den wiederverfüllten Boden), Variante B (wie Variante A mit Aufbrechen der verschmierten Oberflächen an Grabsohle und -wänden und Einmischung von 20 kg m<sup>-3</sup> Branntkalk (CaO) in den Bodenaushub) und Variante C (wie Variante A mit Durchführung von Bewässerungsversuchen). b): Leitprofil (SS-LL) mit vertikaler Verteilung der Messsensoren und Probenahmebereich

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Bodenstruktur

Die Störung der Bodenstruktur durch die Grabarbeiten führt in den Varianten A und B zu einer deutlichen Zunahme der LK

und der  $k_f$  bei FK im Vergleich zur Referenz (Abbildung 2). Diese Zunahme ist in der Variante B (mit CaO) im Mittel (x) stärker ausgeprägt als in Variante A.

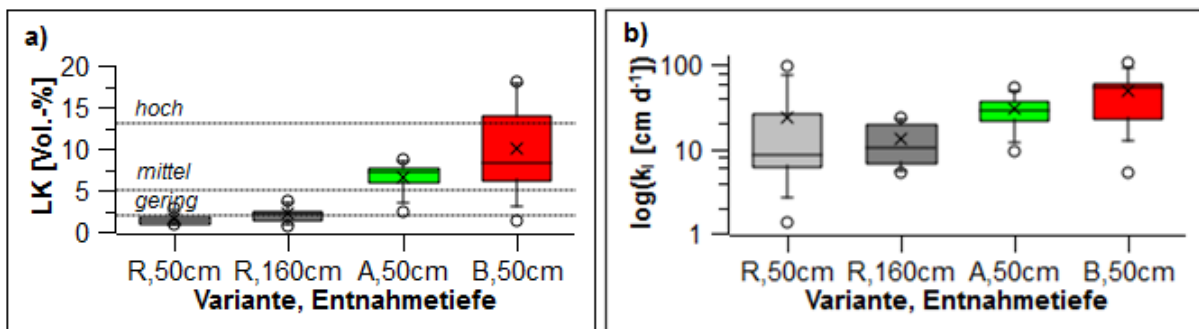


Abbildung 2: Boxplots mit Median (—) und Mittelwert (x) a): Luftkapazität in Referenz (R, 50 cm und 130 cm Tiefe), Variante A (50 cm) und Variante B (50 cm) mit Einstufung nach Ad-Hoc-AG Boden (2005). b): Luftleitfähigkeit nach Vorentwässerung auf -60 hPa (FK) in Referenz (R, 50 cm und 130 cm Tiefe), Variante A 195 Tage nach Schüttung (50 cm) und Variante B 195 Tage nach Schüttung (50 cm)

#### 3.2 Wasserhaushalt

Da der untersuchte Boden bereits in ungestörtem Zustand stauwasser geprägt ist, wird auch in der Referenz (R) Stauwassereinfluss sichtbar, der sich jedoch im Wesentlichen auf das Winterhalbjahr konzentriert (Abbildung 3, b).

Durch die Störung der Bodenstruktur wird der Stauwassereinfluss in Variante A ver-

stärkt (Abbildung 3, c). Hier kommt es auch im Sommerhalbjahr im Zusammenhang mit Niederschlagsereignissen > 10 mm d<sup>-1</sup> (Abbildung 3, a) wiederholt zu Wassersättigung, was sowohl in 50 cm als auch in 130 cm Tiefe deutlich wird. Die Zugabe von Branntkalk führt in der Variante B dazu, dass der Stauwas-

sereinfluss wieder auf das Niveau der Referenz sinkt, wobei hier im Sommerhalbjahr die in der Referenz gelegentlich

auftretende Wassersättigung in 50 cm Tiefe vollständig ausbleibt (Abbildung 3, d).

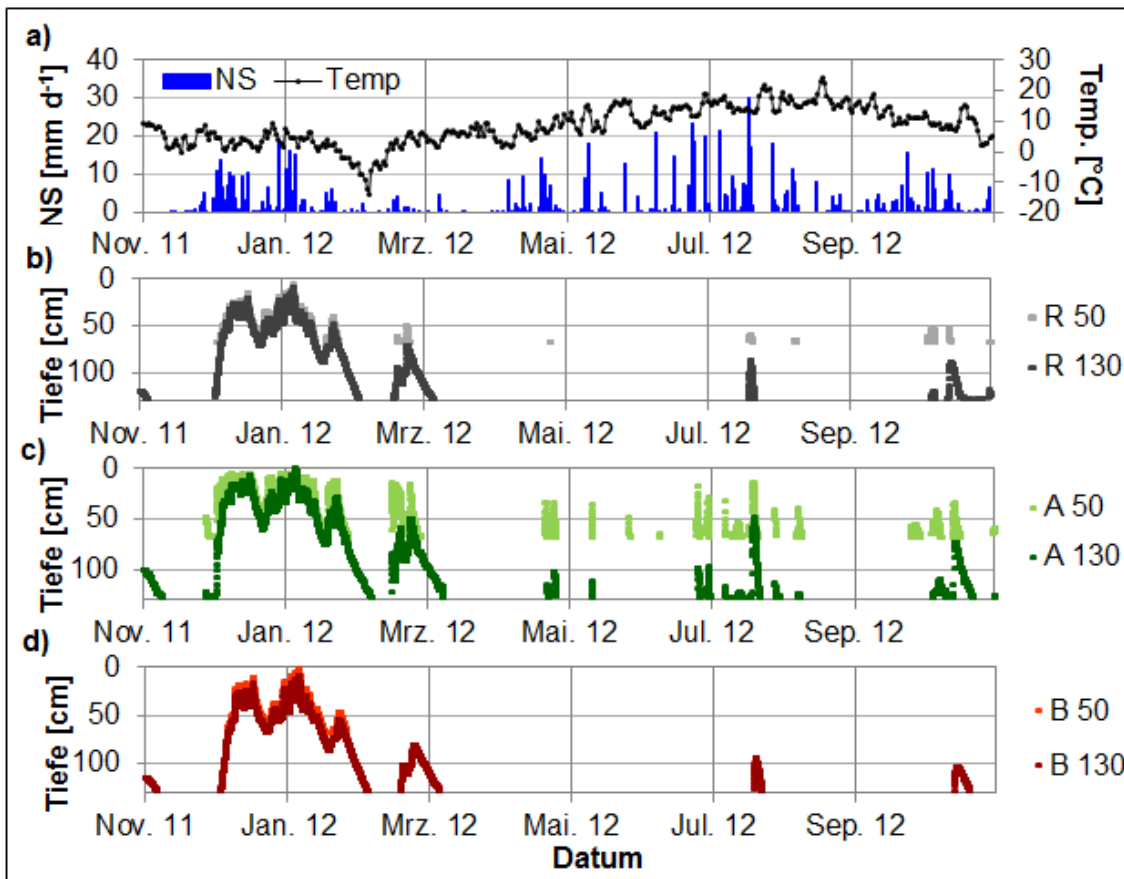


Abbildung 3: a) Tagesniederschläge und Tagesmitteltemperaturen der Luft; Obergrenze der wassergesättigten Zone (Stauwasserpegel) in b): Referenz (R, grau), c): Variante A (A, grün) und d): Variante B (B, rot) im hydrologischen Jahr 2012

### 3.3 Redoxpotenziale

Die Beeinflussung des Wasserhaushaltes durch die Störung der Bodenstruktur spiegelt sich auch in den Redoxpotenzialen wieder (Abbildung 4). Vor allem in 130 cm Tiefe (Abbildung 4, b) herrscht in der Variante A ganzjährig deutlicher Sauerstoffmangel mit überwiegend negativen

Redoxpotenzialen. Durch die Anwendung von Branntkalk konnte die Sauerstoffverfügbarkeit in Variante B deutlich verbessert werden und erreicht wieder annähernd das Niveau des ungestörten Bodens.

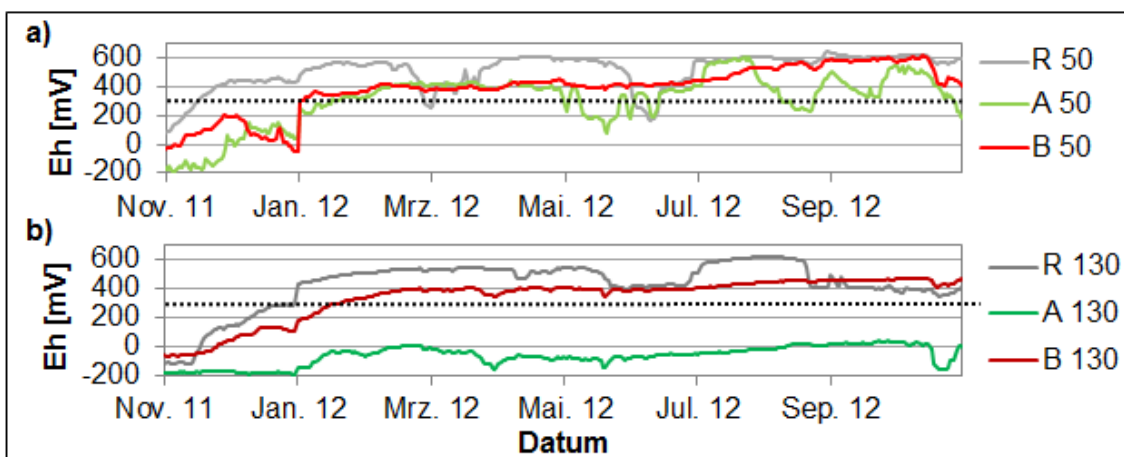


Abbildung 4: Redoxpotenziale (Eh) in Referenz (R, grau), Variante A (A, grün) und Variante B (B, rot) in a): 50 cm Tiefe und b): 130 cm Tiefe im hydrologischen Jahr 2012

### 3.4 Bewässerungsversuche

Einmalige Bewässerungen mit jeweils 2,2 mm, 4,4 mm und 8,9 mm hatten keinen messbaren Einfluss auf die Matrixpotenziale der Variante C in 50 und 130 cm Tiefe (Abbildung 5, a-c). Wiederholte Bewässerung (3 Bewässerungen im Ab-

stand von 25 und 13 Stunden) mit 8,9 mm führten hingegen bis zum nächsten Niederschlagsereignis zu anhaltender Wassersättigung in 50 und 130 cm Tiefe (Abbildung 5, d).

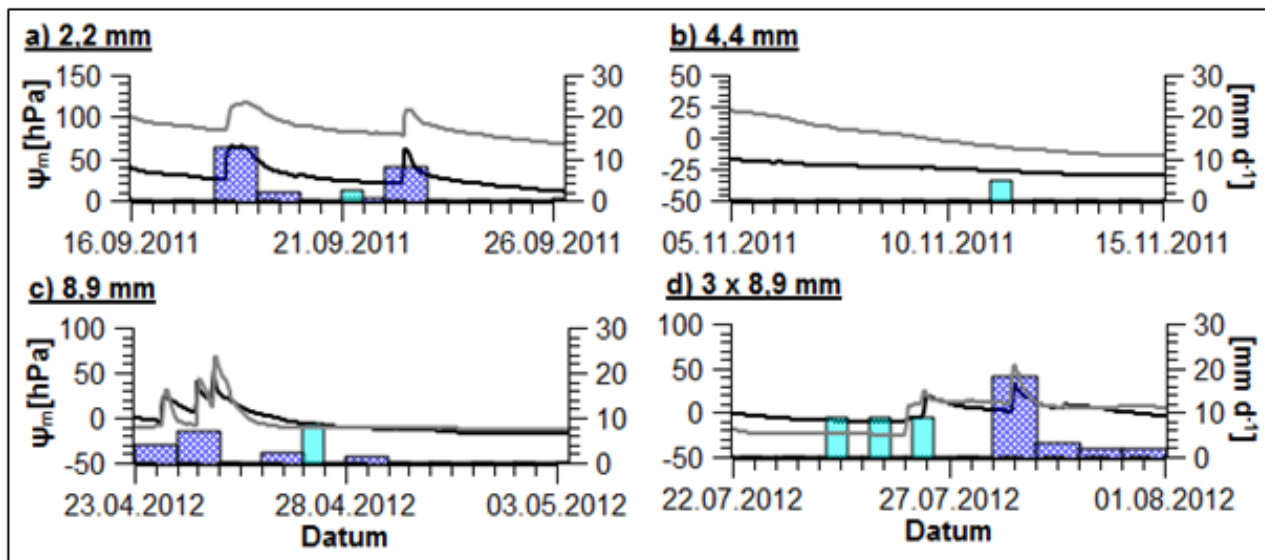


Abbildung 5: Bewässerungsversuche in der Variante C, Matrixpotenziale ( $\Psi_m$ ) in 50 cm (schwarze Linien) und 130 cm (graue Linien) Tiefe, Tagesniederschläge (blaue Säulen) und Gießwassergaben (türkise Säulen): a): einmalige Gießwassergabe von 2,2 mm, b): einmalige Gießwassergabe von 4,4 mm, c): einmalige Gießwassergabe von 8,9 mm und d): dreimalige Gießwassergabe von 8,9 mm

### 4. Fazit

Die durchgeführten Untersuchungen belegen den gravierenden Eingriff in die Bodenfunktionalität, der in einem Boden aus Geschiebemergel mit Erdbestattungen einhergeht. Der gelockerte Boden im Grabbereich wird zu einer Senke für Sickerwasser, welches in den umgebenden ungestörten Boden nur langsam entweichen kann. Als Folge des entstehenden Wasserstaus im Grabraum kommt es zu Sauerstoffmangel, was im Versuch anhand stark reduzierender Redoxpotenziale nachgewiesen wurde.

Künstliche Bewässerung verstärkt die Stauwasserproblematik und sollte im

Rahmen der Grabpflege weitestgehend vermieden werden.

Die Zugabe von Branntkalk zum Bodenaushub in Kombination mit der mechanischen Zerstörung der Baggerspuren (Schleifschichten) an Grabwänden und Sohle verbessert die Sauerstoffversorgung im untersuchten Geschiebemergel durch eine Strukturmelioration und eine verbesserte Ableitung von Sickerwasser in den umgebenden Boden.

### Dank

Die Autoren danken der Deutschen Bundesstiftung Umwelt für die Finanzierung.

### Literatur

HARTGE, K. H. UND HORN, R. 2009. Die physikalische Untersuchung von Böden: Praxis Messmethoden Auswertung. Vol. 4. Stuttgart: Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.

HARTGE, K. H.; ELLIES, A. 1977. Mechanismen der Aggregatstabilisierung in einem Tonboden mittels Branntkalk. Geoderma 17:47-55.

WITT, K. J. 2002. Zement - Kalk - Stabilisierung von Böden. Schriftenreihe Geotechnik Weimar Heft 7.

ZIMMERMANN, I.; FLEIGE, H. UND HORN, R. 2014 (accepted). Kartierung von Friedhofböden und Bewertung ihrer Verwesungs- und Filterleistung. Die Bodenkultur 65 (1).