

Tagungsbeitrag zu:

Jahrestagung der DBG, Kommission I

Titel der Tagung:**Unsere Böden – Unser Leben****Veranstalter:** DBG**Termin und Ort der Tagung: 05. bis 10. September 2015, München**Berichte der DBG (nicht begutachtete online Publikation); <http://www.dbges.de>**Brantkalk zur Strukturmelioration von geschüttetem Boden -Auswirkungen auf Bodenstruktur, Wasser- und Gashaushalt**Filser, S.¹, Mordhorst, A.¹, Zimmermann, I.¹, Fleige, H.¹, Horn, R.¹**Zusammenfassung**

Eine durch Grabarbeiten in ihrer Funktion eingeschränkte Bodenstruktur kann den aeroben Abbau von Leichen und Sargmaterial verlangsamen und so Verwesungsstörungen begünstigen. Vorhandene Maßnahmen um Verwesungsstörungen bei sensiblen Böden vorzubeugen, wie Grabkammersysteme oder Bodenaustausch, sind kostenintensiv und selten finanzierbar. Die strukturstabilisierende Wirkung von Brantkalk (CaO) ist bereits aus landwirtschaftlichen Anwendungen bekannt, seine Eignung zur Tiefenmelioration von Friedhofsböden soll nun geprüft werden. Beprobte wurden jeweils zwei Grabsimulationen an drei Standorten (pseudovegleyter Normrigosol aus Sandlöss, Braunerde-Pseudogley aus Löss, Pseudogley-Pelosol aus Ton), die ohne und mit Zugabe von 0,5 Vol.-% CaO verfüllt wurden. Die Porengrößenverteilung verschiebt sich durch die Kalkung zu Gunsten größerer Poren. Vergleiche von gesättigter Wasserleitfähigkeit, Luftleitfähigkeit und Diffusionskoeffizienten ungestörter Bodenproben zeigen erhöhte Werte für die mit Brantkalk behandelten Grabsimulationen. In situ Messungen von CO₂- und O₂-Konzentrationen in der Bodenluft sprechen ebenfalls für einen erhöhten Gasaustausch in den Brantkalk-Varianten. Diese ersten Ergebnisse zeigen, dass durch die Beimengung von Brantkalk das vorhandene Bodenmaterial

weiterverwendet und kostengünstig aufgearbeitet werden kann.

Stichworte: Brantkalk, Wasser- und Luftleitfähigkeit, Diffusion

Einleitung

Verwesungsstörungen stellen Friedhöfe vor planerische und finanzielle Probleme. Etwa 30-40% der Friedhöfe in Deutschland können von Verwesungsstörungen betroffen sein (Pagels, 2004). Hierbei ist die Bildung von Wachsleichen besonders häufig anzutreffen, welche auf eine mangelnde Sauerstoffversorgung im Sargraum zurückgeht. Sollen Gräber nach Ablauf der Ruhefrist (25-30 Jahre) wieder belegt werden und es werden Wachsleichen vorgefunden, müssen diese exhumiert/umgebettet oder im selben Grab tiefer bestattet werden. Beides stellt zum einen für Friedhofsmitarbeiter eine zusätzliche psychische Belastung, zum anderen für Friedhofsverwaltungen einen finanziellen Mehraufwand dar.

Etablierte Maßnahmen der Friedhofssanierung beinhalten einerseits den Austausch ungeeigneten Bodenmaterials durch sandig-kiesige Substrate andererseits den Einbau von belüfteten Grabkammersystemen aus Beton oder Kunststoff. Beiden Systemen gemein ist der hohe finanzielle Aufwand. Erstrebenswert wäre daher ein kostengünstiges Verfahren bei dem der vor Ort vorhandene Boden aufbereitet und weiter verwendet werden kann.

Brantkalk könnte ein für die gezielte Aufbereitung von Friedhofsböden geeignetes Mittel darstellen. Aus bautechnischen (Bell, 1996) und landwirtschaftlichen (Scheffer, 1972) Anwendungen ist die strukturfördernde und strukturstabilisierende Wirkung von CaO bekannt. Ungeklärt ist bisher, ob sich dies auch positiv auf den Gashaushalt des geschütteten Bodens auswirkt, und auch über eine Deckschicht von 90 cm Mächtigkeit hinweg höhere O₂-Konzentrationen auf Sargniveau erzielt werden können.

¹Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Hermann-Rodewald-Str. 2, D-24118 Kiel

Material und Methodik

Um Branntkalk auf diese Eignung hin zu untersuchen wurden drei Standorte unterschiedlicher Textur ausgewählt. Ein pseudovergleyter Normrigosol aus Sandlöss in einer abgelaufenen Friedhofsabteilung, in der Verwesungsstörungen (Wachsleichen) nachgewiesen werden konnten, ein Braunerde-Pseudogley aus Löss unter bisheriger Ackernutzung und ein Pseudogley-Pelosol aus Ton unter bisheriger Acker- und Grünlandnutzung.

Es wurden jeweils zwei Grabsimulationen (9x2x1,6 m [L B T]) neben einer ungestörten Referenzfläche („Ref“) angelegt (Abb.1). Der Aushub einer Grabsimulation wurde mit 20 kg m^{-3} Branntkalk vermengt und danach verfüllt („CaO“), die zweite Grabsimulation wurde nach dem Ausheben wieder verfüllt („Nul“). Diese drei Varianten wurden mit PVC-Rohren zur Entnahme von Bodenluft, Tensiometern und Redoxsonden in jeweils 50 cm und 135 cm ausgestattet. Die entnommene Bodenluft wurde mit einem portablen CO_2/O_2 -Analysegerät (Geotech G100) untersucht.

Zusätzlich wurden 3 bzw. 6 Monate nach Verfüllen ungestörte Bodenproben zur Messung von Luftleitfähigkeit (k_l) (Peth, 2004), gesättigter Wasserleitfähigkeit (k_f) (Hartge, 1966) und Diffusionskoeffizient (D_s) (Rolston und Moldrup, 2002) in 20, 50 und 90 cm Tiefe entnommen.

Zur Überprüfung von statistisch signifikanten Unterschieden zwischen den Varianten wurden p-Werte mit einem U-Test berechnet.

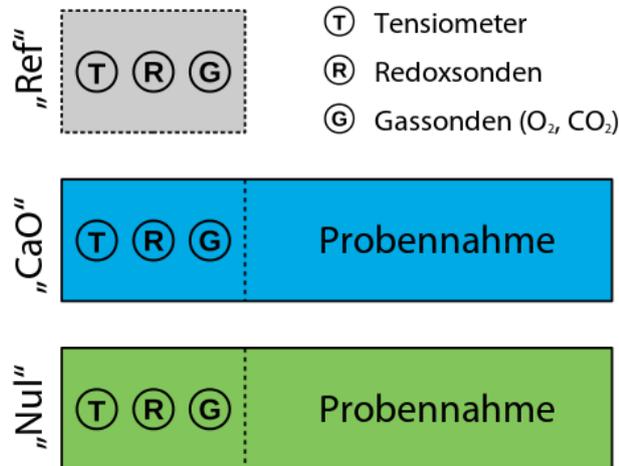


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus.

Ergebnisse

Branntkalk beeinflusst auf allen drei Standorten und in allen beobachteten Tiefen k_l , k_f , D_s und die Zusammensetzung der Bodenluft. In Abbildung 2 sind die gemessenen k_f -Werte für die drei Standorte und die jeweiligen Tiefen dargestellt. Es zeigen sich generell höhere k_f -Werte für „CaO“ im Vergleich zu „Nul“.

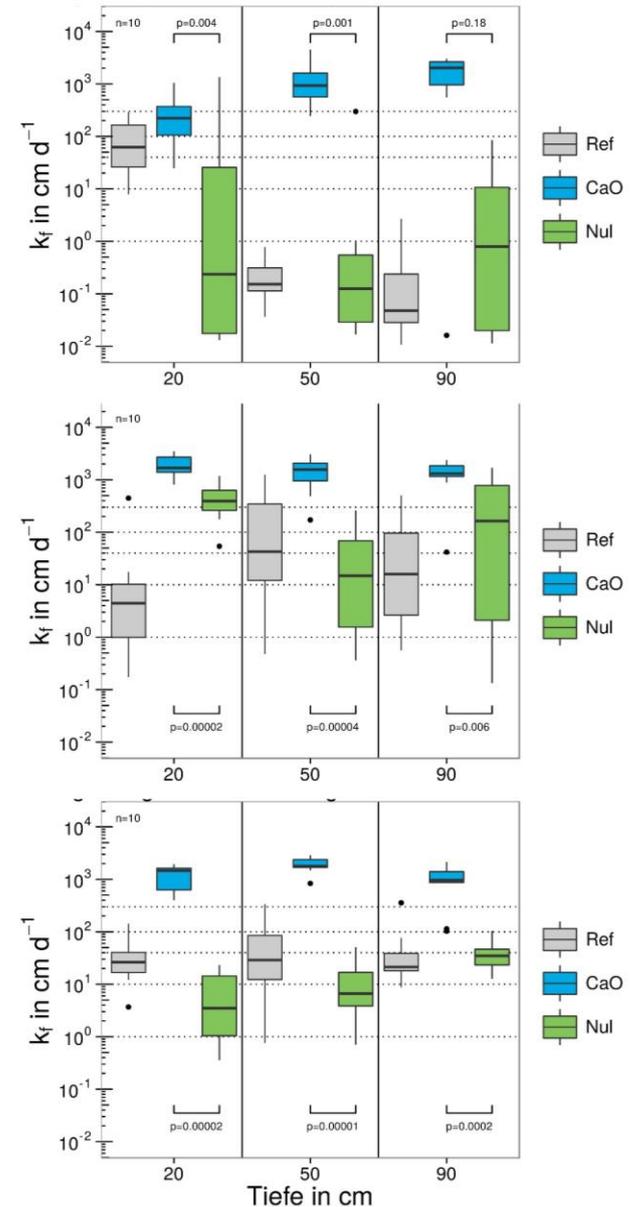


Abbildung 2: k_f -Werte der 3 Standorte nach 3 Monaten (oben Ton, Mitte Löss, unten Sandlöss). Die Klassifizierung nach Ad-hoc-Ag Boden (2005) ist durch gepunktete Linien dargestellt.

In Abbildung 3 sind die bei ψ_m -6 kPa gemessenen k_l -Werte für die drei Standorte und die jeweiligen Tiefen dargestellt. Auch hier zeigen sich generell höhere Werte für „CaO“. Die Unterschiede zwischen „CaO“ und „Nul“ sind jedoch für den Ton-Standort in 20 und 50 cm Tiefe, für die anderen

Standorte in 90 cm Tiefe schwächer ausgeprägt.

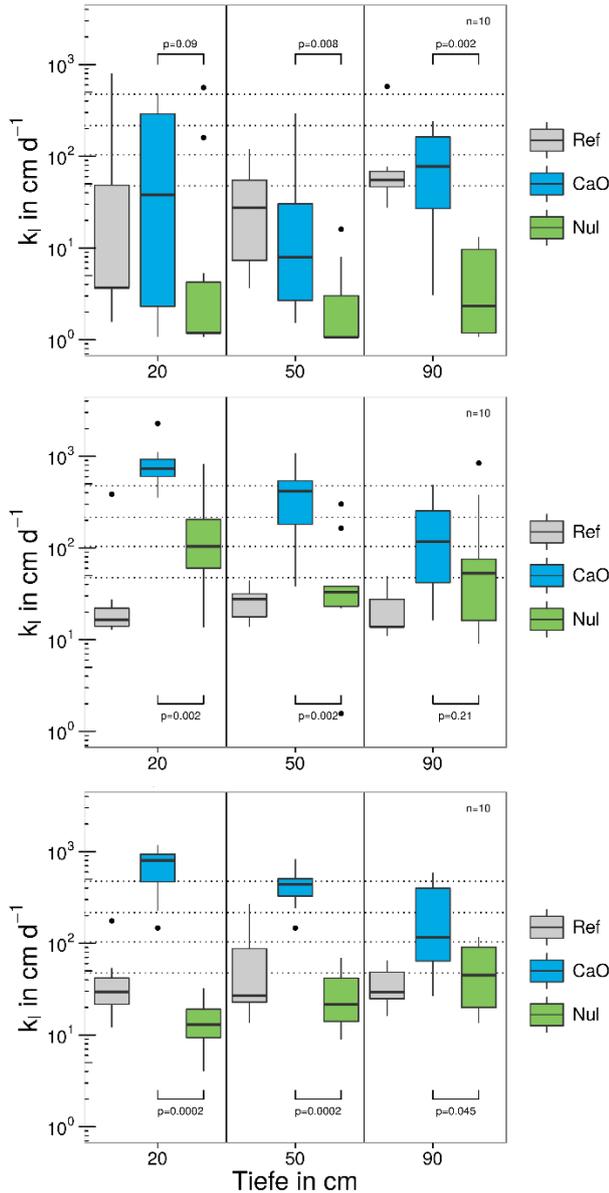


Abbildung 3: k_1 -Werte der 3 Standorte nach 3 Monaten (oben Ton, Mitte Löss, unten Sandlöss). Die Klassifizierung nach DVWK (1997) ist durch gepunktete Linien dargestellt.

In Abbildung 4 sind für den Sandlöss-Standort die relativen Diffusionskoeffizienten D_s/D_0 nach 3, 6 und 9 Monaten für 50 und 90 cm Tiefe dargestellt. Hier zeigen sich ebenfalls höhere Werte für „CaO“ im Vergleich zu „Nul“, wobei sich die Werte bei 6 Monaten vorübergehend annähern.

In Abbildung 5 sind die Ergebnisse der Bodengasmessungen auf Sargniveau in 135 cm Tiefe dargestellt. Es zeigt sich, dass die höheren Luftleitfähigkeiten und Diffusionswerte sich positiv auf die O_2 -Versorgung in „CaO“ auswirken. CO_2 ließ sich in „CaO“ nicht nachweisen. In „Nul“ wurden mit bis zu

15 Vol.-% die höchsten CO_2 -Konzentrationen und mit 1 Vol.-% die niedrigsten O_2 -Konzentrationen gemessen.

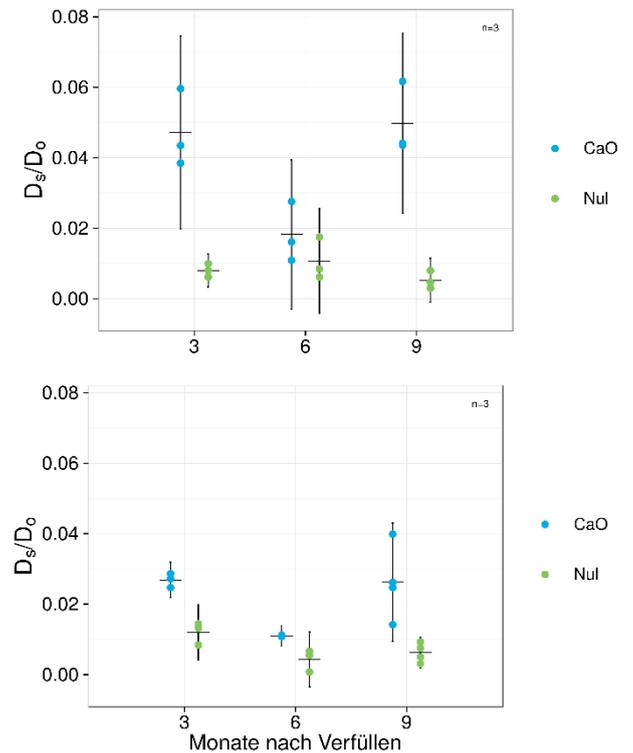


Abbildung 4: relativer Diffusionskoeffizient für den Sandlöss-Standort in 50 cm Tiefe (oben) und 90 cm Tiefe (unten). Median und 95%-Konfidenzintervall sind mit schwarzen Linien dargestellt.

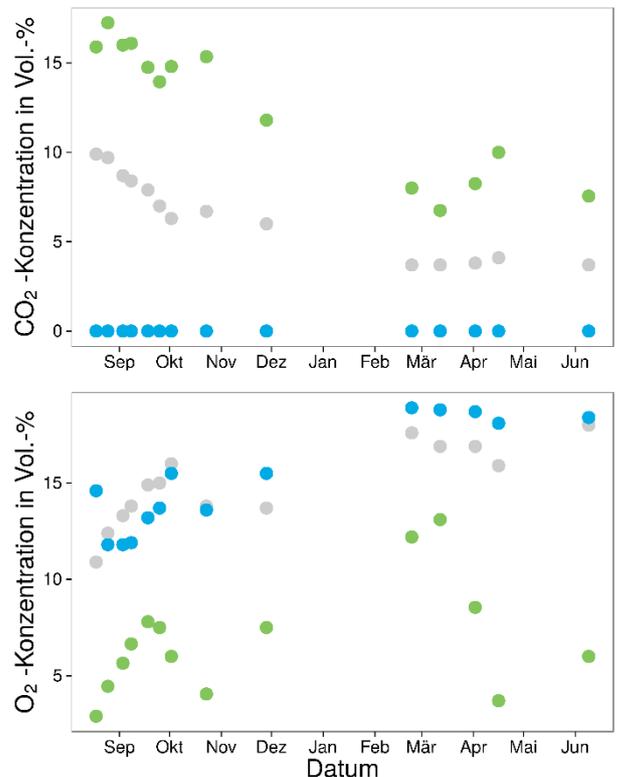


Abbildung 5: CO_2 -Konzentrationen (oben) und O_2 -Konzentrationen in 135 cm Tiefe am Sandlöss-Standort (grau „Ref“, blau „CaO“, grün „Nul“).

Diskussion

Brantkalk führt direkt nach der Beimischung zu einer Trocknung des Bodenaushubs (Löschreaktion), wodurch Aggregate stabilisiert und schmierend wirkende Wasserfilme an Partikeloberflächen reduziert werden. Zusätzlich wird das Bodenwasser mit Ca^{2+} aufgesättigt wodurch in der Tonfraktion Ca-Brücken ausgebildet werden können. Dies führt zu einer geringeren Verdichtungsempfindlichkeit beim Verfüllen (Sommer, 1972) und erhöht das Porenvolumen (Kuron und Jung, 1962). Im Folgenden reagiert $\text{Ca}(\text{OH})_2$ mit CO_2 zu CaCO_3 . Diese Reaktion dauert am Sandlöss-Standort (kein CO_2 nachweisbar) bereits über 10 Monate an. Der entstandene Kalk fällt an Partikeloberflächen aus und kann so Partikel verkitten, d.h. ebenfalls stabilisierend wirken. Diese stabilisierenden Prozesse spiegeln sich in den Messergebnissen wieder, da in „CaO“ die höchsten Leitfähigkeiten und O_2 -Konzentrationen gemessen wurden. Die Ausprägung der Unterschiede zwischen „CaO“ und „Nul“ ist aber nicht für alle Standorte gleich. Hier könnte die unterschiedlich gute Durchmischung mit Brantkalk eine Erklärung sein. Während sich Sandlöss gut mit Brantkalk durchmischen lässt, bestand der Aushub des Tons z.T. aus großen Schollen, die nur oberflächlich mit Brantkalk Kontakt hatten.

Die hohen k_f -Werte von „CaO“ schließen die Bildung von Haftnässe in der Sargüberdeckung und damit den Abbruch der Sauerstoffzufuhr aus. Es kann aber zu Staunässe auf Sargniveau kommen, wenn das schnell infiltrierende Wasser nicht weiter geleitet werden kann. Hier könnte eine zusätzliche Drainage Abhilfe schaffen.

Die Diffusionsmessungen zeigen auch die Grenzen einer Stabilisierung mit Brantkalk. Während die Messungen nach 3 und 9 Monaten deutlich höhere relative Diffusionskoeffizienten für „CaO“ im Vergleich zu „Nul“ zeigen, gleichen sich diese bei 6 Monaten an. Die Probennahme zu diesem Zeitpunkt erfolgte unter sehr feuchten Bedingungen (ψ_m ca. -3 kPa). Durch die bei Probennahme und Transport einwirkenden Kräfte erfolgte vermutlich eine Verschlämung der Proben und damit reduzierte relative Diffusionskoeffizienten.

Die Aufnahme von CO_2 durch den Löschkalk könnte sich positiv auf die Verwesung auswirken, da sich neben niedrigen O_2 - auch hohe CO_2 -Konzentrationen negativ auf die an ein aerobes Milieu angepassten Verwesungsbakterien auswirken könnten. Dies bedarf aber weiterer Untersuchungen.

Die vergleichsweise hohen CO_2 -Konzentrationen in „Nul“ des Friedhofsstandortes können über bisher nicht verwesene Sarg- und Leichenreste erklärt werden, die in beiden Grabsimulationen vorgefunden wurden

Schlussfolgerung

Brantkalk stellt eine kostengünstige Möglichkeit der Friedhofssanierung dar, die von Friedhofsmitarbeitern selbst durchgeführt und in den Bestattungsprozess integriert werden kann. Dabei ist besonders auf die gute Durchmischung von Brantkalk und Boden zu achten. Nach dem Verfüllen sollte das Grab z.B. bei Pflanzarbeiten besonders in feuchtem Zustand nicht betreten werden.

Literatur

- Ad-hoc-AG Boden** (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. 5.Aufl. Schweizerbart, Stuttgart
- Bell, F. G.** (1996): Lime stabilizatin of clay minerals and soils. *Engineering Geology*. 42:223-237
- DVWK** (1997): Gefügestabilität ackerbaulich genutzter Mineralböden. Teil 2. Auflastabhängige Veränderung von bodenphysikalischen Kennwerten. Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn
- Hartge, K. H.** (1966): Ein Haubenpermeameter zum schnellen Durchmessen zahlreicher Stechzylinderproben. *Z. f. Kulturtechn. U. Flurber.* 7:155-163
- Kuron, H, Jung, L.** (1962): Unterbodenkalkung auf Ton-schieferverwitterungsboden. *Z. f. Acker- u. Pflanzenbau.* 155:144-157
- Peth, S.** (2004): Bodenphysikalische Untersuchungen zur Trittbelastung von Böden bei der Rentierweidewirtschaft an borealen Wald- und subarktisch-alpinen Tundrenstandorten -Auswirkungen auf thermische, hydraulische und mechanische Bodeneigenschaften-. Schriftenreihe 64, Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde. Universität Kiel, Kiel
- Rolston, D.E., Moldrup, P.** (2002). Gas diffusivity. In: *Methods of Soil Analysis. Part 4.* Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin
- Scheffer, K.** (1972): Parameter und Jahresgang der Strukturwirkung meliorativer Kalkung von Löß-Parabraunerde-Ap-Horizonten. *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.* 15:85-93
- Pagels, B., Fleige, H., Horn, R.** (2004): Endbericht zur Studie: Bodenbeschaffenheit und Zersetzungsproblematik auf Friedhöfen. Zentralverband deutsches Baugewerbe