

Tagungsbeitrag zu:

Jahrestagung der DBG, Kommission I

Titel der Tagung:

Horizonte des Bodens

Veranstalter: DBG**Termin und Ort der Tagung:** 2.-6. September 2017, GöttingenBerichte der DBG (nicht begutachtete online Publikation); <http://www.dbges.de>

Steigerung der Wassernutzungseffizienz in der Pflanzenproduktion durch optimierte Kalkung – Entwicklung eines Anwendungsmodells für die landwirtschaftliche Umsetzung

Arne Hanssen¹, Iris Zimmermann¹, Rainer Horn¹

Zusammenfassung

Etwa 50% der landwirtschaftlich genutzten Flächen in Schleswig-Holstein gelten als mit Kalk unterversorgt. Eine mangelnde Versorgung mit Kalk kann auf mehreren bodenkundlichen Ebenen negative Effekte aufweisen. So ist die Verfügbarkeit von vielen Nährstoffen für die Pflanzen häufig mit geringem pH-Wert minimiert, ebenso die Aktivität der Mikroorganismen. Auf physikalischer Ebene spielt vor allem die Flockung und Aggregation der Tonpartikel eine Rolle. Dies kann eine Veränderung des vorhandenen Porensystems zur Folge haben, da Feinporen in Mittelporen und enge Grobporen umgewandelt werden können. Dadurch können bodenphysikalische Parameter positiv beeinflusst werden, beispielsweise eine erhöhte nutzbare Feldkapazität und eine erhöhte Wasserleitfähigkeit. Es wurden zwei Standorte an der Westküste Schleswig-Holstein untersucht, auf denen aufgrund hoher Tongehalte und niedriger pH-Werte Kalkversuche angelegt wurden. Neben dem in der Landwirtschaft hauptsächlich eingesetzten Kohlensäurem Kalk wurde auch der schnell wirkende Branntkalk untersucht. Die Ergebnisse zeigen unter anderem bei den beiden angesprochenen

Messungen strukturelle Verbesserungen in den Kalkvarianten.

Schlüsselworte:

Kalk, Wasserspeicherfähigkeit, gesättigte Wasserleitfähigkeit, Porengrößenverteilung, Sauerstoffdiffusionskoeffizient

Einleitung

In Schleswig-Holstein gibt es sowohl im östlichen Hügelland (carbonathaltiger Geschiebemergel) als auch in den Marschen (carbonathaltige Meeressedimente) kalkhaltige Ausgangssubstrate für die jeweilige Bodenentwicklung (Burbaum, et al., 2006). Im Laufe der Zeit setzt vielerorts eine Entkalkung von der Oberfläche aus ein. Diese hat natürliche und anthropogene Ursachen, unter anderem Lösung von Carbonaten durch Niederschlagswasser, Aktivität von Mikroorganismen (H^+ -Freigabe), Eintrag von sauren Düngemitteln und den Entzug mit der Ernte. Der Entkalkung wird mit der Zufuhr von Düngerkalk entgegen gewirkt. Kalk ist einer der ältesten Düngestoffe der Geschichte der Landwirtschaft, schon vor hunderten Jahren wurden beispielweise in einigen Marschengebieten carbonathaltiger blauer Sand aus tieferen Schichten an die Oberfläche gebracht um den schwer zu bearbeitenden Schlick aufzubessern (Kuntze, 2014). Auch im alten Rom wurde Branntkalk (CaO) aufgrund seines Struktureffekts zum Straßenbau eingesetzt. In der modernen Landwirtschaft wird hauptsächlich Kohlensäurer Kalk ($CaCO_3$) verwendet, welcher relativ kostengünstig ist und von der Lagerung und Ausbringung unkompliziert (Lausen, 2012). Die übliche Praxis ist in der Fruchtfolge vor der kalkbedürftigsten Frucht zu kalken, meistens auf die Stoppel der Vorfrucht, so dass der Kalk zügig eingearbeitet werden kann. Die Kalkmengen werden aber bei vielen Betrieben nach Erfahrungswerten bestimmt und selten angepasst. Auch finden regelmäßige Untersuchungen zum aktuellen pH-Wert und damit eine Aussage zum Kalkbedarf des Standortes zu unregelmäßig statt. Dies führt dazu, dass in Schleswig-Holstein etwa die Hälfte der

¹ Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Kiel

landwirtschaftlich genutzten Böden zu den Klassen A und B, also mit Kalk unterversorgt, gezählt werden.

Kalk gilt als ein Multifunktionsdünger, der neben positiven Einflüssen auf die Bodenchemie (Bindung von Schwermetallen, Erhöhung der Verfügbarkeit von Nährstoffen) und der Bodenbiologie (Erhöhung der Aktivität von Mikro- und Makroorganismen) auch die physikalische Ebene beeinflusst (Blume, et al., 2010). Tonpartikel liegen häufig in einer plattenähnlichen Struktur vor. In einem solchen Zustand weisen Böden mit hohem Tongehalten hohe Anteile an Feinporen auf, welche dann negative Eigenschaften für die ackerbauliche Nutzung zeigen (Beetham, et al., 2014). So ist der Anteil an nicht pflanzenverfügbarem Wasser hoch und die Wasserleitfähigkeit gering. Ein verringerter Gasaustausch zwischen Boden und Atmosphäre tritt ebenfalls auf.

Die Austauschplätze von Tonpartikeln sind häufig mit einwertigen Kationen wie Kalium oder Natrium belegt. Durch eine Kalkung sind vermehrt freie Ca^{2+} Ionen in der Bodenlösung vorhanden, welche die Austauschplätze von Tonpartikeln belegen können. Dadurch wird die diffuse Doppelschicht, welche die Tonpartikel umgibt, komprimiert und dadurch wird eine Flockung und anschließende Aggregation der Tonpartikel möglich (Mahanta, et al., 2014). Durch diese Prozesse wird das Porengefüge umgewandelt und es entsteht ein sogenanntes Kartenhausgefüge mit erhöhter Inter- und Intraaggregatporosität (Beetham, et al., 2014). Dieses neue Gefüge kann erhöhte Gesamtporenvolumina aufweisen, zumindest aber eine Änderung in der Porengrößenverteilung in Hinblick auf mehr Mittel- und enge Grobporen (Metelková, et al., 2012). In diesen Poren kann mehr Wasser pflanzenverfügbar gespeichert werden, aber auch in Zeiten von Wasserüberschuss besser abgeleitet werden. Der Gasaustausch in dem durch die Kalkung verbesserten Bodengefüge ist erhöht, dadurch wird die Sauerstoffversorgung des Bodenkörpers verbessert und Mikroorganismen sowie

Pflanzenwurzeln profitieren von den günstigeren Bedingungen.

Beim Einsatz von Branntkalk (CaO) werden sehr hohe pH-Werte im Bereich von 12 erreicht. Dadurch wird die Löslichkeit von Aluminaten und Silikaten erhöht, welche sich dann zu Calcium-Silikat-Hydrate (CSH) bzw. Calcium-Aluminat-Hydrate (CAH) verbinden können (Bérubé, et al., 1990). Diese haben eine gelartige Konsistenz und können die angesprochenen, neu geschaffenen Porensysteme verkleben und dadurch stabilisieren. Dies wird als puzzolanische Reaktion bezeichnet (Witt, 2002).

Material und Methodik

Die beiden Standorte Barlt und Struckum befinden sich beide an der Westküste in Schleswig-Holstein im sogenannten Bereich der alten Marschen, also den landesinneren gelegenen tonreichen, bereits entkalkten Marschen. Der Tongehalt in Barlt beträgt 45 % im Oberboden, bei einem Schluffgehalt von 46 % und 9 % Sand. In Struckum hat der Oberboden 27 % Ton, 56 % Schluff und 16 % Sand. Es sind an beiden Standorten Kleimarschen kartiert worden, die jeweils im Untergrund ab einer Tiefe von 125 cm uGOF einen Torfkörper aufweisen. Dies lässt auf ehemalige Geestrandmoore schließen, welche mit Meeressedimenten überspült wurden. Die Profile von beiden Standorten sind in den Abbildungen 1 (Barlt) und 2 (Struckum) dargestellt.



Abbildung 1: Profilaufnahme vom Standort Barlt

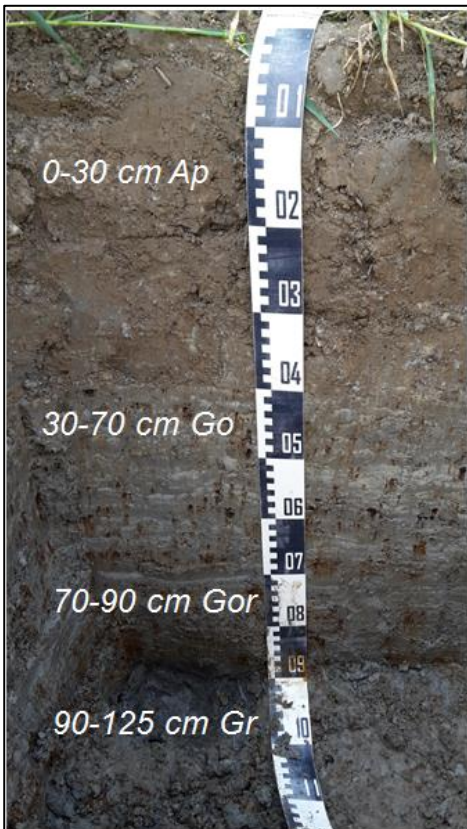


Abbildung 2: Profilaufnahme vom Standort Struckum

Die Versuche wurden als randomisierte Blockversuche angelegt, mit einer 4-fachen Wiederholung. Die untersuchten Varianten sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Überblick der untersuchten Varianten an beiden Standorten.

OK	Nullkalkung-Referenz
KK-1	Kohlensaurer Kalk in der Menge nach LUFA Empfehlung
KK-1,5	Kohlensaurer Kalk mit der 1,5-fachen Menge der LUFA Empfehlung
BK-1	Branntkalk in der Menge nach LUFA Empfehlung
BK-1,5	Branntkalk mit der 1,5-fachen Menge der LUFA Empfehlung

Die Porengrößenverteilung wurde mittels Bestimmung der pF/WG Kurve berechnet. Dazu wurden im Feld genommene Stechzylinder (100 cm^3) kapillar aufgesättigt und dann auf keramischen Druckplatten sowie im Überdrucktopf auf -6, -15, -30, -50, -1500 kPa entwässert. Durch die Gewichtsabnahme über die jeweiligen Druckstufen lassen sich die Wassergehalte und damit die Anteile an den jeweiligen Porenklassen berechnen. Durch die Anteile an Porenklassen lassen sich dann Aussagen über die Luftkapazität (weite Grobporen), nutzbare Feldkapazität (enge Grobporen und Mittelporen), sowie Totwasser (Feinporen) treffen.

Die gesättigte Wasserleitfähigkeit wurde ebenfalls an 100 cm^3 Zylindern bestimmt. Diese wurden kapillar aufgesättigt und anschließend mit einem Haubenpermeameter gemessen (Hartge, 1966). Die Diffusivität wurde an im Feld entnommenen Stechzylindern (6 cm Höhe, 10 cm Durchmesser; 671 cm^3 Volumen) bestimmt. Diese wurden kapillar aufgesättigt und auf -6 kPa entwässert. Die Proben werden in ein Doppel-Kammer-System eingebaut (Abbildung 3).

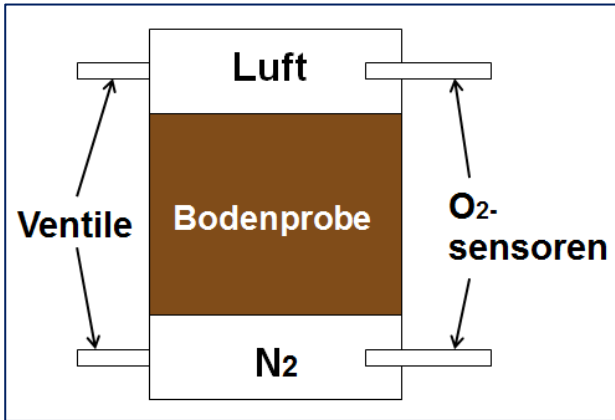


Abbildung 3: Schematischer Aufbau des Doppel-Kammer-Systems zur Diffusivitätsmessung.

In die obere Kammer wird synthetische Luft mit einem O₂-Gehalt von 20,9 % zugeführt. In die untere Kammer wird N₂ mit 0 % O₂ zugeführt. Zwischen den beiden Kammern befindet sich die Bodenprobe und nach Schließen der Kammern kann der Gasaustausch nur noch durch die Probe passieren. Der stattfindende Gasaustausch kann durch Sauerstoffsensoren gezeigt werden, welche sich in beiden Kammern befinden. Bei der Bestimmung des relativen Sauerstoffdiffusionskoeffizienten wird der ermittelte Diffusionskoeffizient im Boden in Verhältnis gesetzt zum Diffusionskoeffizienten in freier Luft (D_s/D_o) (Rolston, et al., 2002).

Die pH-Werte wurden in CaCl₂ gemessen und die Körnungsanalyse wurde nach Standardmethodik durch Sieben und Sedimentation bestimmt.

Ergebnisse

Die pH-Werte der untersuchten Varianten sind in Tabelle 2 dargestellt. Die Werte der Nullkalkung Variante entsprechen den Werten vor der Kalkausbringung. In Struckum sind die höchsten Werte beim Branntkalk in 30 cm Tiefe zu finden. In Barlt hingegen sind die Werte in 10 cm Tiefe und beim Branntkalk die höchsten gemessenen.

Tabelle 2: pH-Werte der untersuchten Varianten an beiden Standorten in beiden Probenahmetiefen, 7 Monate nach der Kalkausbringung. Gemessen in CaCl₂.

Standort / Variante	Struckum	Struckum	Barlt	Barlt
	10 cm	30 cm	10 cm	30 cm
OK	4,72	4,85	5,52	5,46
KK-1	6,25	6,56	6,25	6,01
KK-1,5	6,24	6,58	6,57	6,44
BK-1	6,45	7,09	6,71	6,45
BK-1,5	6,81	7,29	6,94	6,57

Die Porengrößenverteilung liefert Aussagen über den Luft- und Wasserhaushalt von Böden. Daher sind die Ergebnisse der entsprechenden Parameter exemplarisch für den Standort Barlt aus 10 cm Tiefe in Tabelle 3 aufgeführt.

Tabelle 3: Gesamtporenvolumen, Luftkapazität, nutzbare Feldkapazität und Totwasser Anteile in Volumenprozent der verschiedenen Varianten am Standort Barlt in 10 cm Tiefe, 7 Monate nach Kalkausbringung; n = 12

	GPV (Vol.- %)	LK (Vol.- %)	nFK (Vol.- %)	TW (Vol.- %)
OK	52	3	5	44
KK-1	55	4	7	43
KK-1,5	56	6	13	37
BK-1	55	5	10	40
BK-1,5	56	9	13	34

Die hohen Werte für das Gesamtporenvolumen sowie für den Anteil an Totwasser sind typische für tonreiche Böden. Man erkennt, dass die Kalkvarianten, vor allem die 1,5-fachen Mengen erhöhte Luftkapazitäten und auch nutzbare Feldkapazitäten aufweisen. Parallel dazu sind die Anteile an Totwasser bei den beiden genannten Varianten die geringsten.

Die Ergebnisse der Messung der gesättigten Wasserleitfähigkeit sind in Tabelle 4 aufgelistet.

Tabelle 4: Gesättigte Wasserleitfähigkeit in $\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$ für beide Standorte in beiden Probenametiefen, 7 Monate nach der Kalkausbringung. n = 8

Standort / Variante	Struckum		Barlt	
	10 cm	30 cm	10 cm	30 cm
OK	53	0,29	31	0,08
KK-1	225	14	59	0,07
KK-1,5	240	40	171	0,09
BK-1	671	97	220	0,04
BK-1,5	851	240	241	1,47

Am Standort Struckum erkennt man in beiden Tiefen eine klare Erhöhung der Wasserleitfähigkeiten der Kalkvarianten gegenüber der Nullvariante. Die Brantkalkvarianten weisen die höchsten Werte auf, die 1,5-fache Menge jeweils höhere Werte als die einfache Menge. Nach Klassifizierung der KA5 sind die Werte der Brantkalkvarianten in 10 cm Tiefe im extrem hohen Bereich einzuordnen, der Kohlensaure Kalk erreicht sehr hohe Werte und die Nullkalkung mittlere Wertestufe.

In Barlt sind in 10 cm Tiefe ähnliche Beobachtungen zu machen, lediglich in 30 cm Tiefe scheint der Kalk noch nicht wirksam zu sein.

Die Ergebnisse der Bestimmung des relativen Sauerstoffdiffusionskoeffizienten sind in Abbildungen 4 (Barlt) und 5 (Struckum) aufgezeigt.

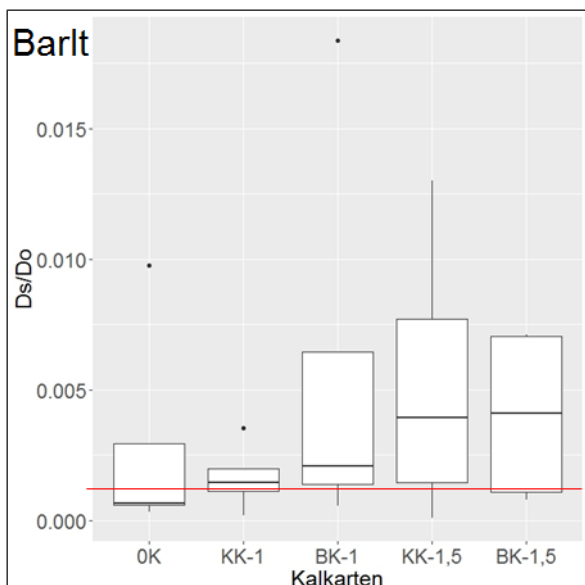


Abbildung 4: relative Sauerstoffdiffusionskoeffizienten der verschiedenen Varianten am Standort Barlt. n = 4

Die rote Linie in der Abbildung aus Barlt läuft beim Wert von 0,002 und symbolisiert eine kritische Untergrenze, unterhalb derer aus pflanzenphysiologischer Sicht ein unzureichender Gasaustausch stattfindet. Hier sieht man, dass nur die ungekalkte Variante diesen Wert unterschreitet und alle Kalkvarianten oberhalb des Wertes liegen. Die beiden Varianten mit den anderthalbfachen Mengen an Kalk zeigen die höchsten Werte und die Brantkalkvarianten liegen jeweils oberhalb der Kohlensauren Kalke.

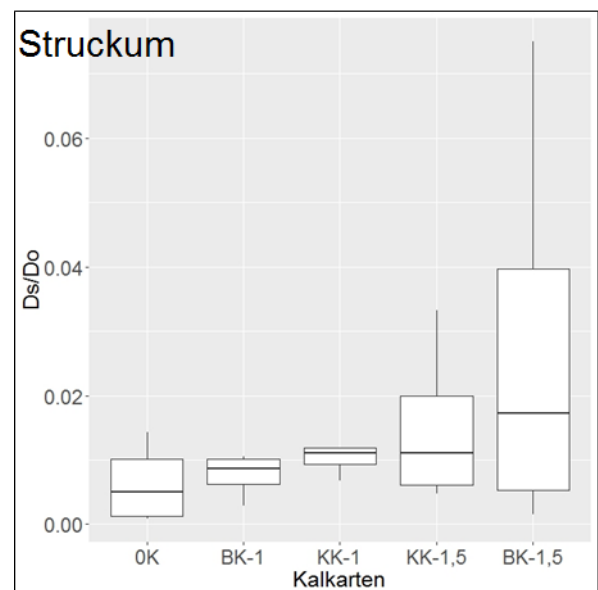


Abbildung 5: relative Sauerstoffdiffusionskoeffizienten der verschiedenen Varianten am Standort Struckum. n = 4

In Struckum zeigt ebenfalls die ungekalkte Variante die niedrigsten Werte auf. Die anderthalbfachen Mengen haben die höchsten Werte.

Schlussfolgerung

Anhand der Ergebnisse lassen sich strukturelle Verbesserungen durch Kalkungsmaßnahmen zeigen. Parameter des Luft- und Wasserhaushaltes zeigen sich in den verschiedenen Kalkarten und Mengen gegenüber der Referenz verbessert. So kann gleichzeitig mehr Wasser pflanzenverfügbar gespeichert werden, aber auch die Ableitung von Wasser ist höher. Zu bemerken ist, dass bei der gesättigten Wasserleitfähigkeit die Kalkart einen größeren Einfluss hat als die Kalkmenge. Bei der pF/WG Bestimmung und bei der Messung der Diffusivität ist es

gegenteilig, hier ist die ausgebrachte Menge wirksamer als die Kalkart.

Danksagung

Dank gilt der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) für die Finanzierung des Projektes. Ebenfalls gebührt der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein sowie der Düngekalk Hauptgemeinschaft Dank für die Zusammenarbeit im Projekt.

Literatur

Ad-hoc. 2005. *Bodenkundliche Kartieranleitung*. Hannover : Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe., 2005.

Beetham, P., et al. 2014. Lime stabilisations for earthworks: a UK perspective. *Ground Improvement*. 2014, 168, S. 81-95.

Bérubé, M.-A., Choquette, M. und Locat, J. 1990. Effects of lime on common soil and rock forming minerals. *Applied Clay Science*. 1990, S. 145-163.

Blume, H.-P., et al. 2010. *Lehrbuch der Bodenkunde*. Heidelberg : Spektrum Akademischer Verlag, 2010.

Burbaum, B. und Filipinski, M. 2006. *Die Böden Schleswig-Holsteins*. Flintbeck : Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein, 2006.

Hartge, K.H. 1966. Ein Haubenpermeameter zum schnellen Durchmessen zahlreicher Stechzylinderproben. *Z. f. Kulturtechnik und Flurbereinigung*. 1966, S. 155-163.

—. **1977.** Mechanismen der Aggregatstabilisierung in einem Tonboden mittels Branntkalk. *Geoderma*. 1977, S. 47-55.

Horn, R. und Stêpniewski, W. 2004. Modification of mineral liner to improve its

long-term stability. *International agrophysics*. 2004, S. 317-324.

Kuntze, H. 2014. Marschkultur. *Handbuch der Bodenkunde*. 2014.

Lausen, P. 2012. Kalkung wird oft vernachlässigt. *Bauernblatt*. 2012, S. 34-39.

Mahanta, K.K., Mishra, G.C. und Kansal, M.L. 2014. Estimation of the electric double layer thickness in the presence of two types of ions in soil water. *Applied Clay Science*. 2014, S. 212-218.

Metelková, Z., et al. 2012. Maturation of loess treated with variable lime admixture: Pore space textural evolution and related phase changes. *Applied clay science*. 2012, S. 47-53.

Rolston, D.E. und Moldrup, P. 2002. Gas Diffusivity. *Methods of Soil Analysis: Part 4 Physical Methods. Soil Science Society of America*. 2002, S. 1113-1139.

Stoltz, G., Cuisinier, O. und Masrouri, F. 2012. Multi-scale analysis of the swelling and shrinkage of a lime-treated expansive clayey soil. *Applied clay science*. 2012, 61, S. 44-51.

Witt, K.J., 2002. Zement-Kalk-Stabilisierung von Böden. *Geotechnik Seminar Weimar*. 2002.