

Was hat der pH-Wert mit der Kalkversorgung zu tun?

Auf die Versorgung des Bodens mit Kalzium achten

Genau genommen hat der pH-Wert zuerst einmal nichts mit dem Kalk-, genauer gesagt dem Kalziumhaushalt des Bodens zu tun. Der pH-Wert (lateinisch *potentia hydrogenii*) gibt die Konzentration der sauer wirkenden H⁺-Ionen (H = Wasserstoff, englisch *hydrogen*, lateinisch *hydrogenium*) an und ist daher ein Maß für die Säure. Je mehr H⁺-Ionen im Bodenwasser sind, desto saurer reagiert der Boden. Wie entsteht Bodenversauerung?

Bodenversauernd wirkende H⁺-Ionen entstehen durch natürliche Prozesse beim Pflanzenwachstum, Humusabbau und dem Eintrag aus der Atmosphäre. Durch die Bewirtschaftung tragen einige Dünger zur Versauerung bei. Versauernd wirkende Prozesse können in der Reihenfolge ihrer Bedeutung folgendermaßen eingeordnet werden:

- **Bodenatmung:** Wachsende Pflanzen geben über die Wurzel Kohlendioxid (CO₂) ab, aus dem sich im Bodenwasser versauernd wirkende Kohlensäure (H₂CO₃) bildet. Die Wurzelatmung macht dabei zirka 30 % der Bodenatmung aus. Den größeren Anteil an der Bodenatmung (zirka 70 %) hat die Atmungsaktivität der Bodenlebewesen und Mikroorganismen, zum Beispiel beim Aufbau (Huminsäuren) und Abbau von Humus (Nitrifikation, Säurebildung).

- **Nährstoffaufnahme:** Um positiv geladene Nährstoffe (Kationen) aufzunehmen, gibt die Wurzel zum Ladungsausgleich H⁺-Ionen ab. Für zwei H⁺-Ionen kann die Pflanze zwei einwertige Kationen (zum Beispiel K⁺) oder ein zweiwertiges Kation (zum Beispiel Mg²⁺) aufnehmen.

Die meisten Kationen sitzen an den negativ geladenen Ton- und Humuspartikeln, den Kationenaustauschern.

- **sauer wirkende Dünger:** zum Beispiel Ammoniumdünger, Schwefeldünger

- **atmosphärische Einträge („saurer Regen“):** zum Beispiel NO_x, NH_x, SO₂, CO₂

- **Bodenbildung:** Oxidation von Eisen und Mangan in trockenen, gut durchlüfteten beziehungsweise gelockerten Böden (zum Beispiel Ortsteinbildung auf der Geest). Oxidation von Eisen und Schwefel zu Pyrit (zum Beispiel bei der Trockenlegung von Marschen)



Bei der Auswahl des Kalkes ist genau auf die Inhaltsstoffe zu achten, auf die Reaktivität und den Vermahlungsgrad.
Foto: Dr. Ute Kropf

Welche Folgen hat die Bodenversauerung?

Auch wenn Bodenversauerung in unserem humiden Klima ein natürlicher Prozess ist, hat sie in fortgeschrittenem Zustand erhebliche Nachteile, nicht nur für das Pflanzenwachstum. Mit der Versauerung nimmt die Verfügbarkeit der meisten Nährstoffe ab (Übersicht), unter pH 6,5 von P, Mg und Mo, unter pH 6 von N, S, K, Ca. Nur bei Eisen und Mangan nimmt die Verfügbarkeit zu. Eine Bodendüngung ist dann auch wenig hilfreich, weil die Elemente schnell in nicht aufnehmbare Verbindungen umgewandelt werden.

Die **Nitrifikation**, also die Umwandlung von Ammonium-N in Nitrat-N, hängt ebenfalls vom pH-Wert ab. Die nitrifizierenden Bak-

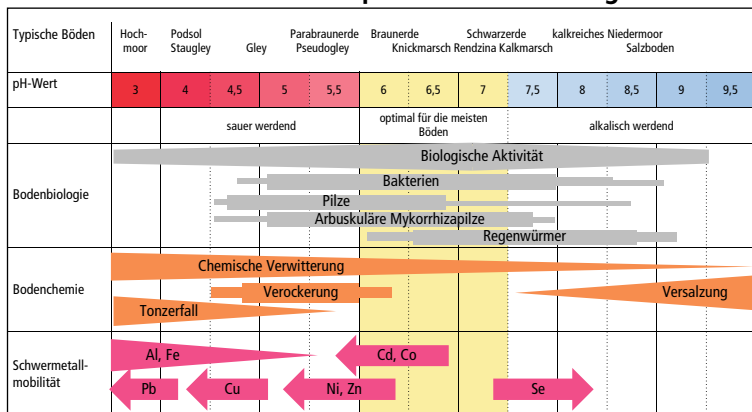
terien haben ihre höchste Aktivität bei pH 8. Bei pH 6 beträgt ihre Aktivität bereits weniger als ein Fünftel. Die N-Mobilisierung aus den Bodenvorräten, der Gülle und die Umsetzung ammoniumhaltiger Dünger verschlechtern sich. Auf sauren Standorten sind daher Nitratdünger die sinnvollere Wahl. Säure greift die **Tonminerale** an. Sie weiten sich und zerfallen, wenn der pH-Wert unter 5 fällt. Tonzerfall ist irreversibel! Der Boden verliert so an Speicherkapazität für Wasser und Nährstoffe (Kationenaustauschkapazität, KAK). Auch die Etablierung eines stabilen Bodengefüges geht verloren und damit seine Tragfähigkeit und die Wasserableitung. Unter pH 4,2 wird das in den Tonmineralen enthaltene und für Pflanzen hochtoxisch wirkende Aluminium freigesetzt.

Zu viel Bodensäure mobilisiert **Schwermetalle** wie Kupfer, Zink, Cadmium. Schwermetalltoxizität spielt auch im Erosionsumfeld von Abraumbalden eine Rolle.

Die **biologische Aktivität** wünschenswerter Bodenorganismen nimmt in sauren Böden generell ab. Die Bakterien- und Regenwurmpopulationen gehen zurück. Pilze hingegen halten sich länger, unterstützt durch das Schwinden der bakteriellen und biologischen Antagonisten. Daher haben übersäuerte Standorte häufig mehr Probleme mit bodenbürtigen Pilzkrankheiten (zum Beispiel Schwarzbeinigkeit, Kohlhernie, Pythium).

Wie schnell sich eine unterlassene Kalkung auf den pH-Wert des Bodens und die Ertragsfähigkeit auswirkt, zeigt ein Versuch auf unserem Versuchsstandort Linden-

Übersicht: Effekte des Boden-pH-Wertes auf biologische und chemische Prozesse, Schwermetalle sowie Nährstoffverfügbarkeit



hof (Tabelle). Im dritten Jahr sank der pH-Wert um 0,4 Punkte und im sechsten Jahr betrug der Minderertrag bereits signifikante 9 dt/ha in der Wintergerste.

Wie Bodenversauerung aufhalten?

Die sauren H⁺-Ionen können durch basisch wirkende, negativ geladene Ionen gebunden und damit neutralisiert werden. Die bekannteste Base ist das Karbonat (CO₃²⁻) im Kalk. Das Kalziumkarbonat CaCO₃ (kohlenaurer Kalk, Kreide) löst sich, wenn auch nur langsam, in Wasser in Ca²⁺ und HCO₃⁻. Damit liefert es das für das Pflanzenwachstum und die Bodenstruktur wichtige Kalzium (Ca²⁺) und neutralisiert mit dem negativen Carbonation das positive H⁺-Ion.

Kalke mit einem hohen Anteil an Mg-Karbonat sind ebenfalls pH-wirksam, bringen aber im Verhältnis zum hohen Ca-Bedarf, gerade auf tonigen Böden, zu wenig Kalzium ein. Langjährig mit Magnesiumkalk versorgte Standorte können daher einen (zu) hohen pH, aber trotzdem Defizite in der Kalziumversorgung haben. Neben den Karbonaten neutralisieren auch anionische Laugen die Bodensäure. Diese Bedingungen finden wir vor allem in Gärresten. Die durch den Fermentationsprozess aus dem Pflanzenmaterial freigesetzten Kationen bilden in wässriger Lösung eine Lauge. Beim Vergären von Mais liegt vor allem das Kalium (K⁺) in der flüssigen Phase des Gärrestes vor und wird zur Kalilauge (KOH). Bei der Vergärung von Rüben oder Speiseresten fällt Natrium an, aus dem Natronlauge (NaOH) entsteht. Daher haben pflanzliche Gärreste häufig einen pH-Wert, der im alkalischen Bereich deutlich über 7, meist um pH 8, liegt. Der Kalziumgehalt von Gärresten liegt nur bei rund 2 kg CaO/t FM. Den höchsten Kalziumgehalt hat vergorene Rindergülle (3,5 bis 4,2 g CaO/t FM). Mit 30 t Gärrest/ha werden aber auch damit nicht mehr als 1,2 dt CaO/ha ausgebracht. Von einer positiven Kalkwirkung von alkalischen Gärresten ist also nicht auszugehen.

Wie wirkt sich der Kalziumverlust aus?

Kalzium hat neben seiner Bedeutung als Pflanzennährstoff auch eine wichtige Funktion für die Bodenstruktur. Mit seinen zwei positiven Ladungsstellen stabilisiert es

Tabelle: Ertrags- und pH-Effekte der Kalkung nach sechs beziehungsweise drei Jahren

(Kalk mit 80 % CaCO₃ und 5 % MgCO₃ bei 80 % Reaktivität; Boden: SI, 6 % Ton, 2,5 % Humus, opt. pH 6,2, Lindenhof-Versuchsfeld, Ostenfeld/Rd.)

CaCO ₃ -Menge (kg/ha) Summe 2015-20	Aufteilung in der FF 2015-20 WG-WR-WW-ZR-WW-WG	2020: WGerste Ertrag (dt/ha) GD _{0,05} : 5.8 dt/ha	Ertrag rel.	pH-Wert 2018 im 3. Jahr
0	keine Kalkung	114,9	100 b	5,6
720 kg/ha	WG (2015) und ZR (2018), vSe	123,7	108 a	6,2
960 kg/ha	WG (2015) und ZR (2018), vSe+F	123,8	108 a	6,1
1.500 kg/ha	jedes Jahr	126,2	110 a	6,2

die negativ geladenen Ton- und Humuspartikel (Ton-Humus-Komplex) und die Ton-Ton-Verbindungen (Tonflockung). Bei vielen Böden ist eine Ca-Absättigung von 80 bis 85 % an den Austauschern (Ton, Humus) optimal, auf leichten Böden genügen unter Umständen 70 %. Kalziumverlust durch langjährig unterlassene Kalkung und/oder überzogene Gärrestedüngung ohne Ausgleichskalkung lässt den Boden kompakter und vor allem bei Nässe fließfähiger werden. Je höher der Tongehalt, desto stärker sind die beschriebenen Effekte. Der Boden verliert an Struktur, ist schnell zu nass und trocknet nur langsam ab, lässt sich nur schwer bearbeiten und neigt zur Verschlämmung und Instabilität bei mechanischer Belastung. Nach den nassen Wintern konnte man vor allem nach Zuckerrüben auf Problemstandorten die eingeschränkte Lebendverbauung des Rübenblattes durch den Sauerstoffmangel beobachten.

Die weitreichenden Folgen des Kalziumverlustes sind so massiv, dass das gesamte Wachstum beeinträchtigt ist. Gerade die letzten zu nassen Winter im Wechsel mit den zu trockenen Frühjahren im Norden haben die Folgen des Kalkverlustes kaschiert und so kaum bezifferbar verstärkt. Daher sollte im Zweifelsfall und insbesondere nach langjähriger Gärresteausbringung ohne Ausgleichskalkung die Kalziumversorgung des Bodens überprüft werden.

Welche Folgen hat ein zu hoher pH?

Ein zu hoher pH-Wert verändert die Nährstoffdynamik genauso nachteilig wie ein zu niedriger (Übersicht). Aber ein zu hoher pH bedeutet nicht unbedingt auch eine gute Versorgung mit Kalzium. Ein Beispiel sind tonige Böden, die regelmäßig mit viel Mg-Kalk gekalkt wurden, um sie gefügiger zu machen. Der pH steigt zwar durch den Karbonatanteil, aber die

Mg-Gehalte nehmen über die Jahre stärker zu, der Ca-Gehalt durch den hohen Entzug und die Auswaschungsverluste hingegen stärker ab. Hinzu kommt der Ca-Mg-Antagonismus an der Wurzel. Die vielen voluminösen Mg-Ionen blockieren die Aufnahme von Ca und verstärken das Ca-Defizit in der Pflanze.

Ab einem pH von 7 kann Ca²⁺ als freier Kalk auch in merklichen Mengen zusätzlich in der Bodenlösung vorliegen. Bei der Ausbringung von ammoniumhaltigen Düngern (zum Beispiel Gülle, Gärrest) bildet sich dann aus dem Ammonium flüchtiges Ammoniak. Daher sollte Kalk vor einer Güllegabe eingearbeitet beziehungsweise beide Maßnahmen zeitlich getrennt werden.

Kalken oder nicht kalken?

Der optimale pH-Wert für einen Boden und die erforderlichen Kalkmengen sind aus den aktuellen Empfehlungen der Offizialberatung (zum Beispiel „Richtwerte für die Düngung“ der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein) zu entnehmen. Sandige und humose Böden sind eher im leicht sauren Bereich angesiedelt. Je toniger der Boden, desto mehr tendiert der optimale pH in den neutralen bis leicht alkalischen Bereich. Passt der pH-Wert nicht zum Boden, muss über eine Kalkung nachgedacht werden, um die Nährstoffeffizienz zu verbessern und die Ertragsbildung abzusichern.

Ein zu niedriger pH-Wert zeigt generell einen Bedarf an Kalzium (Ca) als Pflanzennährstoff und zur Strukturstabilisierung an. Mit dem karbonatischen Anteil (CO₃²⁻) muss die Bodensäure abgepuffert werden. Geeignet sind schnell wirkende CaCO₃-haltige Kalke (kohlenaurer Kalke: zum Beispiel Faxekalk, Söka I, Coccolithenkalk). Besteht zusätzlich Mg-Bedarf, können diese auch Mg enthalten, um bis auf Versorgungsstufe C zu kom-

men (zum Beispiel Söka II/III, Coccofreak, Rügener II-Phasenkalk, Granukal, Profi-Kombi-Kalk). Je feiner vermahlen, desto besser ist die Anfangswirkung des Kalkes. Da das Mg-Karbonat den pH-Wert schneller anhebt als Ca-Karbonat, werden/wurden für schnelle Effekte gerne meist preislich attraktive, Mg-betonte Kalke (zum Beispiel Schottenkalk) eingesetzt. Bleibt die Ca-Versorgung des Bodens dabei auf der Strecke, hat man – wie oben beschrieben – pflanzenbaulich zu wenig erreicht.

Ist der pH-Wert in Ordnung und passen die Ca- und die Mg-Versorgung im Boden, können auch langsamer wirkende Kalke verwendet werden. Die Mg-Zufuhr ist auf den Entzug auszurichten (Versorgungsstufe C). Ist der Boden strukturell auffällig (zum Beispiel schlechte Krümfähigkeit toniger Böden), der pH-Wert aber im Optimum, kann man überprüfen, ob der pH durch zu viele basisch wirkende Kationen in die Höhe getrieben wurde (zum Beispiel Gärreste) und trotzdem Kalzium (Ca) fehlt. In diesem Fall ist eine kontinuierliche Auffüllung des Boden-Ca mit einem reaktiven Kalk angebracht.

Dr. Ute Kropf
 Fachhochschule Kiel
 Fachbereich Agrarwirtschaft
 ute.kropf@fh-kiel.de

FAZIT

Jeder Boden sollte auf seinen optimalen pH-Wert geprüft und eingestellt werden. Nährstoffdynamik und Bodenbiologie können mit einer Aufkalkung deutlich verbessert werden und die Ertragsfähigkeit des Standortes stabilisieren. Der pH-Wert ist nur ein Maß für die Bodensäure. Erhöhend wirken darauf basische Kationen. Kalzium hat daran den höchsten Anteil und ist für die Strukturbildung wichtig. Andere basische Kationen wie Kalium, Magnesium, Natrium können ebenfalls den pH-Wert ansteigen lassen, tragen aber nicht zur Strukturbildung bei und können diese bei nasser Witterung sogar verschlechtern. Die alljährlichen Kalkverluste durch Entzug und Auswaschung sollten regelmäßig ausgeglichen werden. Auch bei der Düngung mit Gärresten ist eine angepasste Kalkung unverzichtbar.