

Kalkversorgung und Bodenwasserhaushalt



www.alb-bayern.de/bef23

Bewässerungsforum Bayern, Verfasser:

Andreas Weber
Bayerische Düngekalk Werbe-
und Marketing GmbH

Anton Weig
AELF Coburg-Kulmbach

Florian Ebertseder, Lisa Stocker
Bayerische Landesanstalt für
Landwirtschaft

Foren der ALB Bayern e. V.

Die ALB Bayern e. V. ist ein offiziell anerkannter, gemeinnützig tätiger, eingetragener Verein mit Mitgliedern aus Landwirtschaft, Wissenschaft, Beratung und den landwirtschaftlichen Organisationen. Weiterhin sind die staatliche Verwaltung, Firmen sowie Dienstleistungsunternehmen aus Industrie, Handel, Gewerbe sowie dem Umweltbereich vertreten.

Die ALB unterstützt die Landwirtschaft mit Wissensvermittlung in den Themenbereichen Bauen in der Landwirtschaft, Bewässerung, Biogas und Landtechnik. Hierzu handelt sie als neutraler Mittler und Bindeglied zwischen landwirtschaftlicher Praxis, Forschung, Umwelt, staatlicher Verwaltung, Gewerbe und Industrie.

Für umfassende Informationen zur umweltschonenden und effizienten Anwendung in der Praxis

werden zu den einzelnen Tätigkeitsbereichen Foren mit folgenden Aufgaben organisiert:

- ▶ Zusammenführen des aktuellen Wissensstandes,
- ▶ Reflektieren mit allen an der Thematik Beteiligten,
- ▶ Erarbeiten/Bekanntmachen konsensfähiger Lösungen.

Foren der ALB Bayern e. V.:

- ▶ BauForum Bayern (BaF),
Leitung: Jochen Simon, LfL-ILT
- ▶ Bewässerungsforum Bayern (BeF)
Leitung: Dr. Martin Müller, ALB
- ▶ Biogas Forum Bayern (BiF),
Leitung: Dr. Martin Müller, ALB
- ▶ Landtechnik Forum (LaF),
Leitung: Dr. Markus Demmel, LfL

Partner



Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Tourismus



Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz

Impressum

Herausgeber	Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und Landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e. V. (ALB), Vöttinger Straße 36, 85354 Freising
Telefon	08161 / 887-0078
Telefax	08161 / 887-3957
E-Mail	info@alb-bayern.de
Internet	www.alb-bayern.de
1. Auflage	06/2025
© ALB	Alle Rechte vorbehalten
Titelfoto	A. Weig

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	4
2. Warum wird der Boden sauer?	5
3. Kalkwirkung im Boden	6
3.1 Chemische Kalkwirkung	6
3.2 Physikalische Kalkwirkung	7
3.3 Biologische Kalkwirkung	10
4. Folgen der Versauerung auf die Bodenstruktur	11
5. Wirkungen der Kalkung auf den Bodenwasserhaushalt	12
6. Kalkdüngung	16
6.1 Bestimmung des Kalkdüngungsbedarfs (VDLUFA, EUF)	16
6.2 Abteilung der Kalkdüngungsempfehlung	17
6.3 Durchführung der Kalkung	20
7. Zusammenfassung / Fazit	23

1. Einleitung

Die vergangenen Jahre zeigten deutlich auf, dass der Klimawandel auch in der Landwirtschaft angekommen ist. Zum einen traten immer häufiger länger anhaltende Trockenperioden auf, die in den landwirtschaftlichen Kulturen zu Trockenstress und regional teilweise bis hin zu Totalverlusten führten. Zum anderen konnten die Wassermengen von Starkregenereignissen oft nicht ausreichend von den Böden aufgenommen werden, was zu Verschlammung der Bodenoberfläche, Bodenerosion und damit zu Verlust an wertvollem Wasser und Boden führte. Man konnte aber auch feststellen, dass Böden mit stabilem Krümelgefüge den negativen Einflüssen länger standhielten als Böden mit schlechter

Oberflächenstruktur. Eine wichtige Rolle dabei spielt Kalk, der nicht nur Pflanzendünger ist, sondern vor allem auch im Boden umfangreiche Aufgaben hat (Abbildung 1).

Er wirkt sich in der Regel günstig auf folgende Standortfaktoren aus (Dr. G. Schmid, 1967):

- ▶ Bodenstruktur
- ▶ Krümelstabilität und -beständigkeit
- ▶ Bodendurchlüftung und -durchwurzelung
- ▶ Bodenverdichtung und Staunäseeigenschaften
- ▶ Biologische Aktivität
- ▶ Nährstoffverfügbarkeit

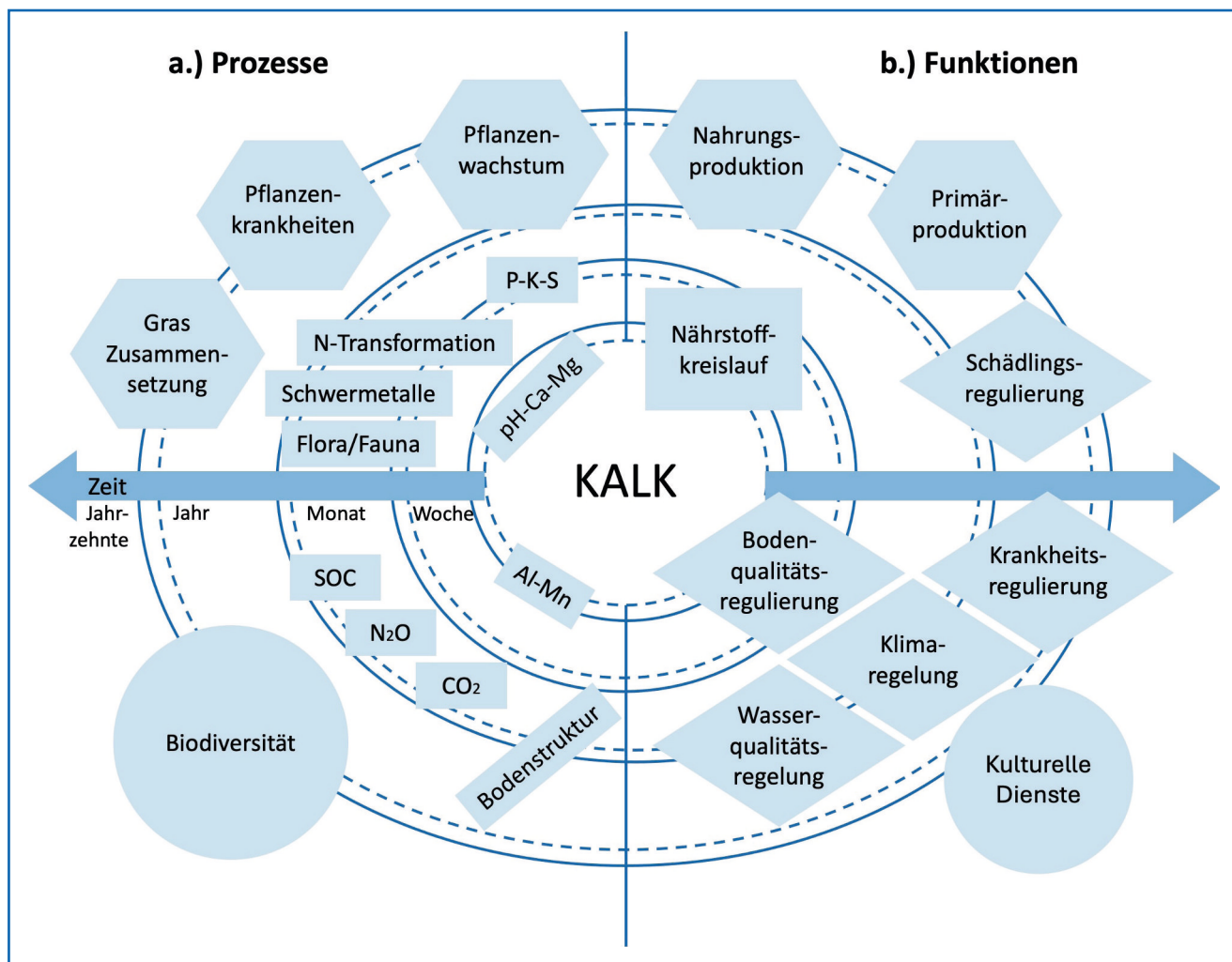


Abb. 1: Die Kalkversorgung beeinflusst vielfältige Prozesse und Funktionen im Boden (Quelle: nach Holland, 2018)

2. Warum wird der Boden sauer?

Böden sind sogenannte Säurepuffer. Unter Pufferung versteht man die Kraft eines Bodens Reaktionsveränderungen aufzufangen, die durch Säuren (H^+ -Ionen) oder alkalisierende Basen (OH^- -Ionen) entstehen. Diese Eigenschaft wird hervorgerufen von Puffersubstanzen wie zum Beispiel Carbonaten, die den pH-Wert bei sauer wirkenden Einträgen nahezu konstant halten. Sind diese Puffersubstanzen verbraucht, sinkt der pH-Wert.

Werden von außen oder durch bodeninterne Stoffwechselprozesse mehr saure H^+ -Ionen eingetragen als der Boden mit seinen Puffersubstanzen neutralisieren kann, spricht man von Versauerung. Dies ist auch der Fall, wenn basisch wirkende Puffersubstanzen ausgewaschen werden und nicht durch eine Erhaltungskalkung ausgeglichen werden.

Aufgrund der Atmung der Pflanzenwurzeln und der Bodenlebewesen wird Kohlendioxid freigesetzt und es entsteht in Verbindung mit Wasser Kohlensäure (H_2CO_3), die als wesentliche Quelle zur Versauerung beiträgt. Auch durch Regenwasser (pH-Wert ca. 5,6) werden laufend Säuren in den Boden eingetragen. Organische Säuren, die von Pflanzenwurzeln ausgeschieden werden oder durch Abbau organischer Substanz entstehen, tragen ebenfalls zur Versauerung bei. Grüne Pflanzenreste (z. B. Zwischenfrüchte)

sollten nach Möglichkeit nicht tief in den Boden eingearbeitet werden, da sich beim Abbau ohne Sauerstoff im Einarbeitungshorizont Säuren anreichern. Neben diesen natürlichen Prozessen versauert der Boden auch in Folge landwirtschaftlicher Bewirtschaftung durch das Einbringen organischer und mineralischer physiologisch sauer wirkender Düngemittel (v. a. ammoniumhaltige Dünger).

Im Durchschnitt kann mit Kalkverlusten durch Auswaschung und Neutralisation auf Ackerböden in Höhe von 500 kg CaO je Hektar und Jahr, auf Grünland von 300 kg CaO je Hektar und Jahr kalkuliert werden, die wiederum zum Erhalt der Bodenfruchtbarkeit durch gezielte Kalkungsmaßnahmen im Rahmen einer Erhaltungskalkung ausgeglichen werden müssen.

Eine Ausnahme im Zusammenhang mit der Bodenversauerung stellen natürlich kalkhaltige Böden dar. Dabei handelt es sich meist um junge Böden aus Löß, aus denen der Kalk noch nicht ausgewaschen wurde, oder karbonatische Böden, die sich aus der Verwitterung von Kalkgestein entwickelt haben. Diese Böden enthalten von Natur aus die Puffersubstanz Carbonat als sogenannten „freien Kalk“, erkennbar an der aufbrausenden Reaktion beim Salzsäuretest (Bild 1).



Bild 1: Nachweis von freiem Carbonat mit dem Salzsäuretest (Quelle: A. Weber)

3. Kalkwirkung im Boden

Eine Kalkung bzw. ein günstiger Kalkgehalt des Bodens hat Auswirkungen sowohl auf chemische, physikalische wie auch biologische Prozesse.

3.1 Chemische Kalkwirkung

Die Kalkung ist die wichtigste Maßnahme, um der Versauerung von Kulturböden entgegenzuwirken. Leitparameter zur Feststellung des Versauerungszustands des Bodens ist der pH-Wert, der Auskunft über die Konzentration der sauer wirkenden H^+ -Ionen gibt.

Die meisten Pflanzennährstoffe sind je nach Bodenart im Bereich von pH 5,5 bis pH 7,0 optimal pflanzenverfügbar. Für die Hauptnährstoffe Stickstoff, Kalium, Schwefel, aber auch Calcium, Magnesium und das Spurenelement Molybdän nimmt die Verfügbarkeit mit steigendem pH-Wert zu. Ab pH 7,5 ist die Verfügbarkeit bei den Hauptnährstoffen Stickstoff und Phosphor wieder rückläufig. Calcium ist bei hohen pH-

Werten im Boden zwar meist reichlich vorhanden, liegt dann aber häufig in Carbonatform mit geringer Löslichkeit vor. Im Gegensatz dazu nimmt bei den Mikronährstoffen Eisen, Mangan, Kupfer und Zink die Pflanzenverfügbarkeit mit steigendem pH-Wert ab, so dass es oberhalb von ca. pH 7 zu Festlegungen kommen kann (Abbildung 2).

Besonders die Phosphatverfügbarkeit reagiert deutlich auf zu geringe ($< \text{pH } 5,5$) und zu hohe ($> \text{pH } 7,5$) pH-Werte. Der Optimalbereich für Phosphat liegt daher in Abhängigkeit von der Bodenart zwischen pH 6,0 und pH 7,0.

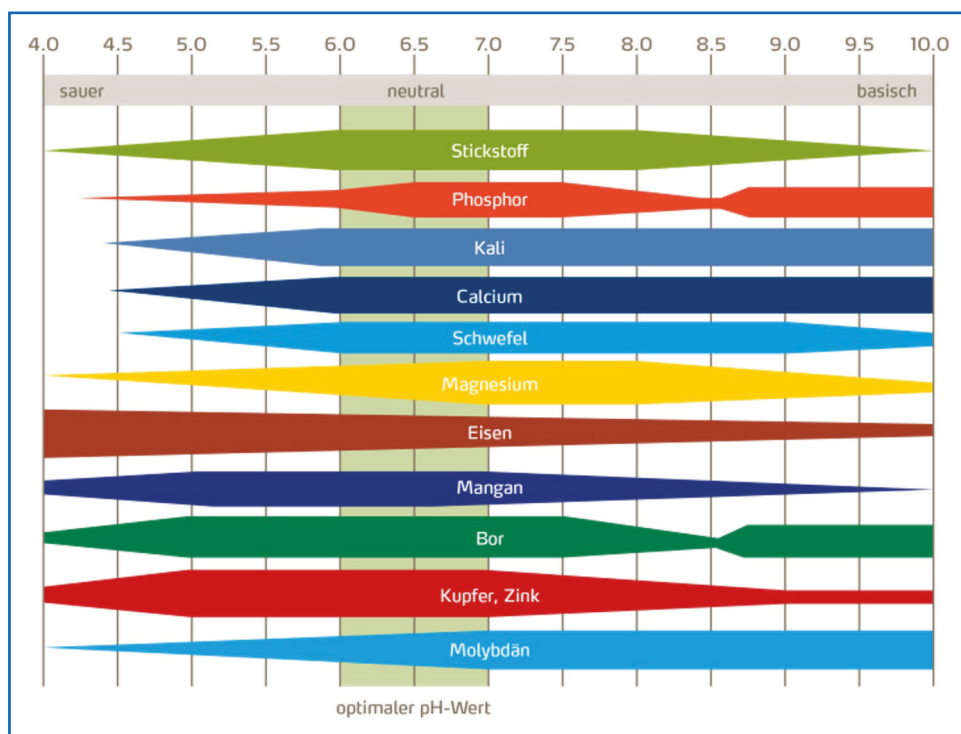


Abb. 2: Nährstoffverfügbarkeit im Boden in Abhängigkeit vom pH-Wert
(Quelle: Effizient Düngen Düngefiel, 5. Auflage, 2025)

In zahlreichen Feldversuchen wurde nachgewiesen, dass durch eine regelmäßige sowie bedarfsgerechte Kalkung die vorhandenen Nährstoffe besser genutzt werden und daher die Düngereffizienz gesteigert wird (Bild 2).



Bild 2: Nährstoffmangelerkrankungen (insbesondere Phosphor) und schlechte Bodenstruktur bei Mais; trotz kalkreichem Juragestein aufgrund unterlassener Kalkung sehr niedriger pH-Wert (Quelle: A. Weig)

3.2 Physikalische Kalkwirkung

Mit der Kalkung werden dem Boden Calcium (Ca^{2+}) und - je nach Art des verwendeten Kalkes - auch Magnesium (Mg^{2+}) zugeführt. Diese jeweils 2-fach positiv geladenen Ionen bilden „Brücken“ zwischen den überwiegend negativ geladenen Tonteilchen. Gleichzeitig stellen sie auch Verbindungen zu negativ geladenen Stellen von Humusteilchen her. Durch diesen auch Flockung genannten Prozess entsteht ein lockerer Verbund aus stabilen Aggregaten („Bodenkrümeln“) mit Hohlräumen und Poren (Abbildung 3). Trocknet der Boden aus, „vermörtelt“ der Kalk

sozusagen diese Strukturen und die Aggregate verfestigen sich zu sogenannten Ton-Humus-Komplexen (Abbildung 4).

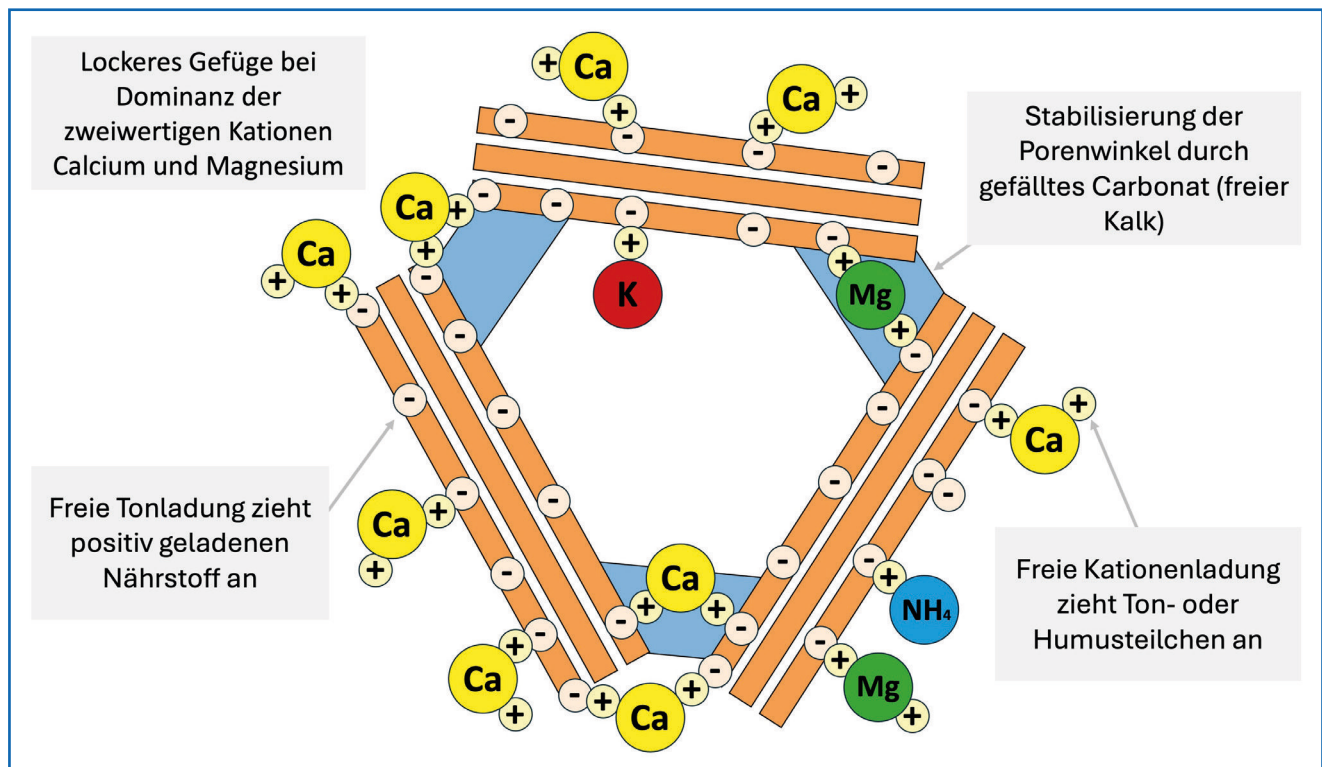


Abb. 3: Strukturbildung durch die basisch wirksamen zweiwertigen Kationen Calcium und Magnesium und Stabilisierung durch freien Kalk (Quelle: A. Weber)

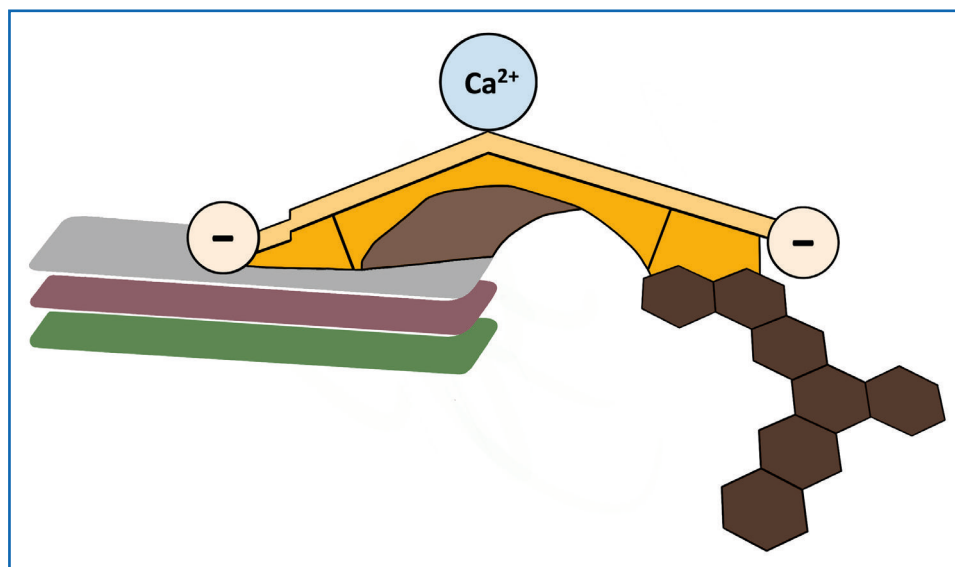


Abb. 4: Verbindung zwischen Tonmineralen und organischer Substanz (Humus) durch Calcium-Brücke zu stabilem Ton-Humus-Komplex. (Quelle: Bodengesundheitsdienst)

Dadurch wird eine optimale Bodenstruktur begünstigt, welche durch den besseren Luftaustausch schneller abtrocknet und sich rascher erwärmt. Nach einem Niederschlagsereignis können dementsprechend jene Flächen mit einer guten Bodenstruktur schneller wieder

befahren werden, weil sie insgesamt tragfähiger sind (Bild 3).

Voraussetzung für die nachhaltige Stabilisierung dieser Aggregate insbesondere in schwereren, tonhaltigen Böden ist das Vorhandensein von

gelöstem Calciumcarbonat („freier Kalk“, siehe Bild 1). Trocknet der Boden aus, fällt das Calciumcarbonat aus und lagert sich an den Porenwinkeln an. Dadurch wird verhindert, dass die Kartenhausstruktur der Tonminerale instabil wird (Bild 4).

Nur mit einer ausreichenden Calciumsättigung an den Bodenaustauschern wird ein stabiles

Bodengefüge gebildet, sodass die Bedingungen für Gasaustausch, Wasserspeicherung (nutzbare Feldkapazität nFK) und -transport im Boden optimal sind. Bei einem Starkregen bringt dies einen entscheidenden Vorteil, da mehr Wasser im Boden durch die günstige Struktur versickern kann und weniger oberflächlich abfließt. Dadurch wird die Erosion in erheblichem Maß reduziert.



Bild 3: Oberfläche eines abgeernteten Maisfeldes mit optimaler Krümelstruktur und druckstabilem Boden (siehe flache Fahrspur des 20 t schweren Maishäckslers links im Bild); Feld mit Bodenart „toniger Lehm“ seit vielen Jahren pfluglos bewirtschaftet und regelmäßig nach Erhaltungsbedarf gekalkt; aufgelockerte Fruchtfolge mit Zwischenfruchtanbau vor Mais sowie 2-jährigem Klee gras (Quelle: A. Weig)



Bild 4: Oberboden eines abgeernteten Maisfeldes unter der Fahrspur eines mehr als 17 t schweren Häckslers; gute Tragfähigkeit des Bodens durch mehrjährig pfluglose Bewirtschaftung, Zwischenfruchtanbau vor Mais sowie regelmäßige Kalkung (Bodenart: schluffiger Lehm) bei gleichzeitiger Stabilität der zahlreichen Bodenporen (Quelle: A. Weig)



Bild 5: Acker mit schlechter Bodenstruktur, aufgenommen am 30.05.2024. (Quelle: A. Weig)



Bild 6: Acker mit schlechter Bodenstruktur, selbe Fläche wie Bild 5, aufgenommen am 10.06.2024. (Quelle: A. Weig)

3.3 Biologische Kalkwirkung

Bodenlebewesen wie Bakterien, Pilze, Milben, Tausendfüßler und vor allem Regenwürmer sind ein wichtiger Bestandteil des Bodens und beeinflussen zahlreiche Umsetzungsprozesse. Ihr Vermehrungs- und Wirkungsoptimum haben sie, mit Ausnahme der Pilze, meist im schwach sauren bis neutralen pH-Bereich (pH 6 bis 7, Abbildung 5).

Bei optimalen pH-Werten im Boden finden die Bodenlebewesen gute Bedingungen, um sich

rasch zu vermehren und durch ihre Umsetzungsprozesse in der organischen Substanz gebundene Nährstoffe pflanzenverfügbar zu machen. Sie bilden dadurch wertvollen Dauerhumus. Ihre Ausscheidungen vernetzen und verkleben kleinste Bodenteilchen und bewirken folglich eine Zunahme der Stabilität der Bodenaggregate.

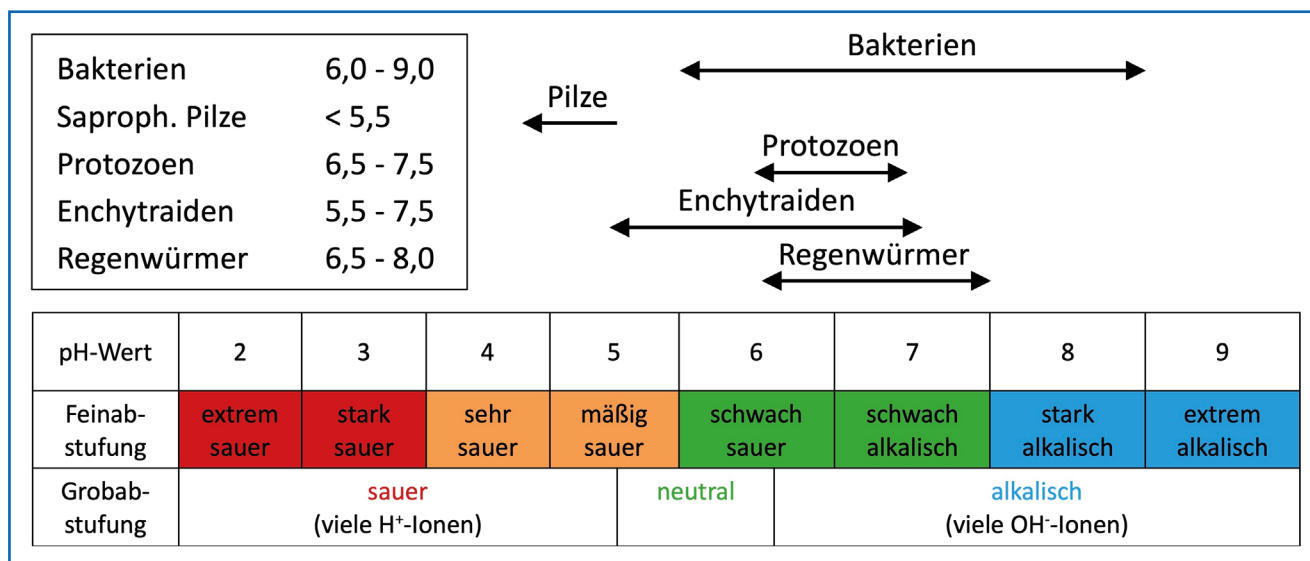


Abb. 5: Optimale pH-Werte für Bodenlebewesen (Quelle: verändert nach Stöven, FAL, 2002)

4. Folgen der Versauerung auf die Bodenstruktur

Durch die Atmung der Bodenlebewesen und Pflanzen, natürliche Ab- und Umbauprozesse im Boden sowie Bewirtschaftungsmaßnahmen (Düngung) und Immissionen werden Wasser-

stoffteilchen (H⁺-Ionen) freigesetzt (Abbildung 6). Sie verdrängen dabei das Calcium, das anschließend zusammen mit Sulfat, Nitrat und Chlorid in tiefere Bodenschichten verlagert wird.

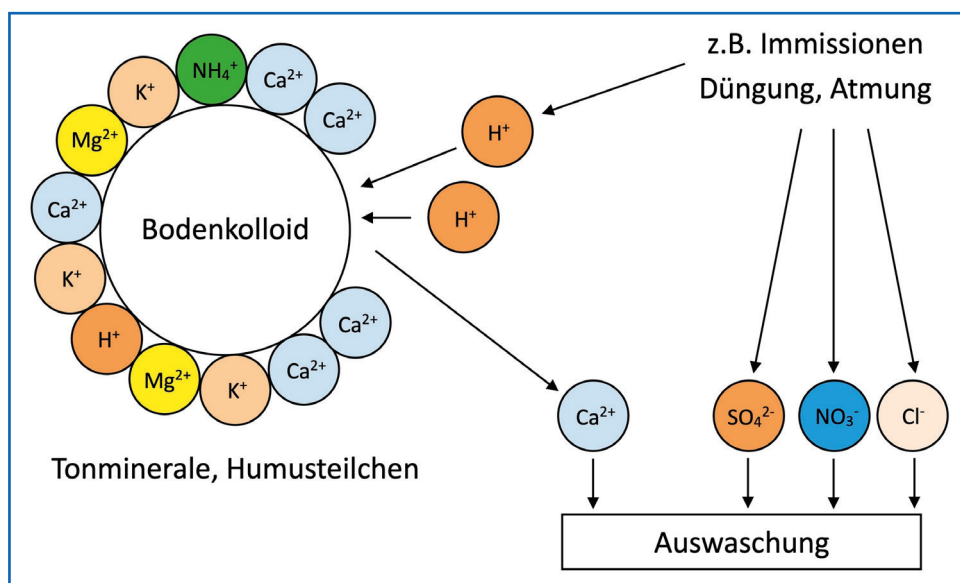


Abb. 6: Verdrängung von Ca²⁺- Ionen vom Austauscher destabilisiert die Bodenstruktur (Quelle: nach Schmidt, 2014)

Eine Verringerung der Calcium-Sättigung der Bodenkolloide hat zur Folge, dass die stabile Bodenstruktur zerfällt. Dadurch verschlämmt der Oberboden, sodass Wasser schlecht bis

gar nicht in den Boden einsickern, sondern nur oberflächlich abfließen kann (Bild 7 und Bild 8).



Bild 7: Nahaufnahme eines stark verschlammten Oberbodens nach einem Regenschauer auf einer Versuchsfläche in Puch, die langjährig nicht gekalkt wurde (Quelle: F. Ebertseder)



Bild 8: Feld oben: gute Kalkversorgung, keine Ton-Schluff-Trennung. Feld unten: schlechte Kalkversorgung, Trennung von Schluff und Ton. Verlagerung der Tonteilchen in tiefere Schichten, während die Schluffteilchen an der Oberfläche verbleiben und erosionsgefährdet sind (Quelle: R. Keller, DüKa)

5. Wirkungen der Kalkung auf den Bodenwasserhaushalt

Das Bodenporenvolumen und insbesondere die Porengröße stehen in enger Beziehung zur Wasser- und Luftversorgung im Boden (Abbildung 7).

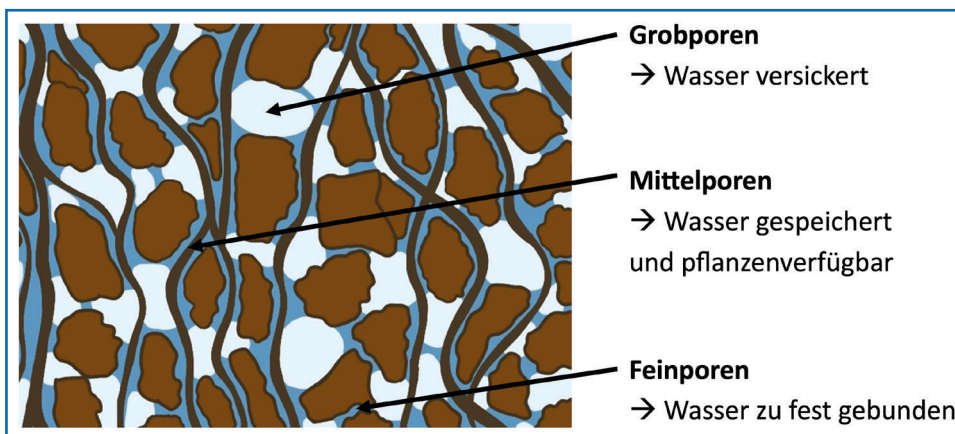


Abb. 7: Zusammenhang von Porengröße und Wasserhaushalt im Boden (Quelle: ALB)

In Untersuchungen der TU München-Weihenstephan an vier Standorten in Bayern (Schuhbauer, 1981) konnten nach einer Aufkalkung unterversorgter Ackerböden Änderungen in der Porengrößenverteilung im Oberboden festgestellt

werden (Tabelle 1). Die Anteile der Poren, die für die Wasserversickerung und Speicherung von pflanzenverfügbarem Wasser von Bedeutung sind, sind signifikant gestiegen.

Tab. 1: Änderung der Porengrößenverteilung durch eine Meliorationskalkung (Durchschnitt aus 4 Standorten und 132 Messreihen, Ergebnisse von Schuhbauer, 1981)

	Weite Grobporen	Enge Grobporen	Mittelporen	Feinporen
Porengröße	> 0,05 mm	0,05 - 0,01 mm	0,01 - 0,0002 mm	< 0,0002 mm
Verantwortlich für	Wasserversickerung, Gasaustausch	Wasserversickerung, Gasaustausch, Wasserspeicherung (Wasser leicht verfügbar)	Wasserspeicherung (Wasser schwer pflanzenverfügbar)	Totwasser für Pflanzen nicht verfügbar
Lebensraum für	Wurzeln, Mikroorganismen	Wurzelhaare, Pilze, Bakterien		
Oberboden	+57 %	+21 %	-5 %	-1 %
Pflugsohle	+13 %	+53 %	-5 %	-2 %
Unterboden	+2 %	+9 %	-2 %	-4 %

Ein durch Kalkung hervorgerufenen höheres Porenvolumen bedingt durch einen höheren Anteil weiter und enger Grobporen führt auch zu besserer Wasserinfiltration in den Boden

(Tabelle 2). Niederschlagswasser kann folglich effektiver in den Boden einsickern und somit das Erosionsrisiko verringert werden.

Tab. 2: Änderung der Wasserversickerung durch eine Meliorationskalkung (Quelle: Dissertation Schuhbauer, TU München 1981). Stechzylindermethode, Ermittlung des kf – Wertes; Probezeitraum: 11 Jahre, Probezahl: 552 Proben

Standort	Moos (Ndb.)	Puch (Obb.)	Burgsdorf (Ndb.)	Althausen (Ufr.)	Durchschnitt aus den 4 Standorten
Bodenart	schwach pseudovergleyte Parabraunerde aus Löss	Parabraunerde aus Löss	saure Braunerde aus Granit	Pelosol aus Gipskeuper	
Bodenschicht Oberboden 8-17 cm	+ 24 %	+ 129 %	+ 69 %	+ 150 %	+ 93 %
Pflugsohle 27-32 cm	+ 101 %	+ 19 %	+ 154 %	+ 239 %	+ 128 %
Unterboden 36-55 cm	+ 586 %	+ 124 %	+ 23 %	+ 143 %	+ 219 %

Um diese Erkenntnisse unter aktuellen Klimaverhältnissen zu überprüfen, wurden von der Universität Kiel im Jahr 2016 zwei Exakt-Kalkdüngungsversuche angelegt (Hansen). Die Versuchsstandorte Barlt und Struckum in Schleswig-Holstein sind gekennzeichnet durch sehr schwere Böden (Kleimarschen) mit Tongehalten im Oberboden von 47 % (Barlt) bzw. 27 % (Struckum) und wurden zu Versuchsbeginn von pH 5,5 auf

6,5 (Barlt) bzw. von pH 4,7 auf 6,4 (Struckum) aufgekalkt. Ziel der Kalkung war es, den pH-Wert an beiden Versuchsstandorten in den jeweils empfohlenen Optimalbereich (Gehaltsklasse C) nach Vorgaben der VDLUFA anzuheben.

Die **Luftkapazität (LK)** als Maß für das Gesamtporenvolumen im Oberboden stieg in Folge der Kalkung um bis zu 85 % gegenüber der ungekalkten Kontrolle von 2,5 Volumen-% auf 4,6 Volumen-% an. Dieser in der obersten Bodenschicht (0-10 cm) festgestellte Effekt war sieben Monate nach der Kalkung am größten und nahm nachfolgend jedoch ab, da bestehende Poren durch die zwischenzeitlich erfolgten Bodenbe-

arbeitungsmaßnahmen wieder zerstört wurden. Deshalb ist es wichtig, durch eine regelmäßige Erhaltungskalkung das verbesserte Porenvolumen wieder aufzubauen und nachhaltig zu stabilisieren. Die Luftkapazität ist ein wichtiger Parameter im Hinblick auf die Infiltrationsleistung des Bodens. Je höher sie ist, desto mehr Wasser kann in kurzer Zeit vom Boden aufgenommen werden.

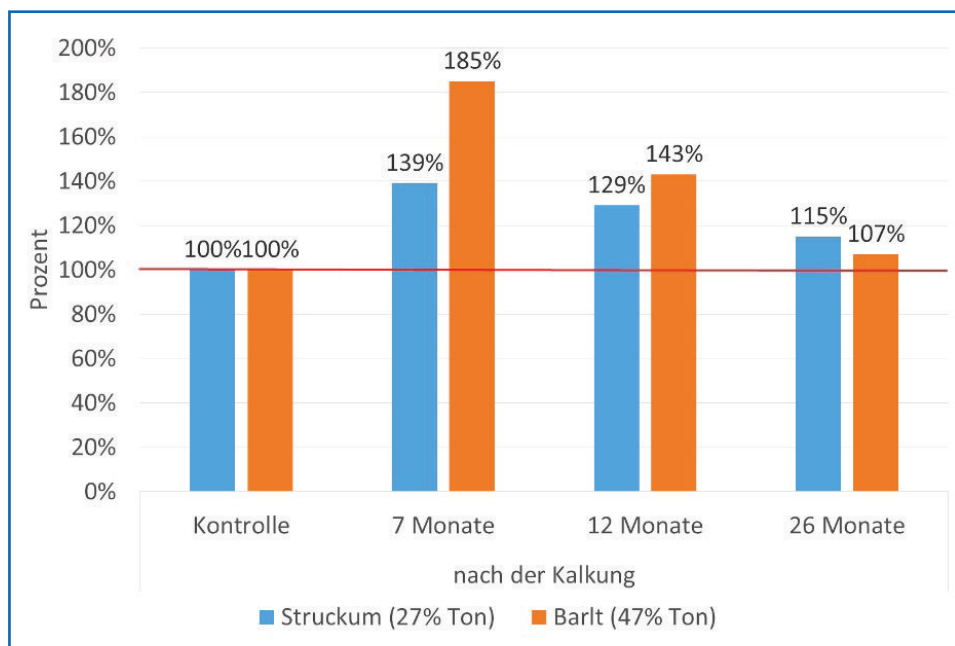


Abb. 8: Einfluss der Kalkung auf die Luftkapazität (LK) an den Standorten Barlt und Struckum 7 - 26 Monate nach der Kalkung, relativ zu ungekalkt (=100 %) (Quelle: Dissertation Schuhbauer, Uni Kiel 2020)

Die nachgewiesene verbesserte Luftkapazität ermöglicht einen optimierten Gasaustausch zwischen Boden und darüber liegender Atmosphäre sowie eine vorteilhaftere Wasserinfiltration durch Grobporen. Eine Anreicherung von CO_2 im Boden in Folge der Bodenatmung verbunden mit dem Risiko der Kohlensäurebildung und Versauerung wird damit vermieden. Die höhere Infiltration reduziert das Erosionsrisiko und verbessert die Wassernutzungseffizienz (Abbildung 8).

Die **nutzbare Feldkapazität (nFK)** - als Maß für die Wassermenge, die ein Boden pflanzenverfügbar speichern kann - wurde durch die Kalkung in Barlt nach 7 Monaten um 83 % erhöht (von 6,5 auf 11,9 Volumen-%). Nach 12 bzw. 26

Monaten lag die Verbesserung bei 24 bzw. 30 % (Abbildung 9). Am etwas weniger schweren Standort Struckum war der Einfluss der Kalkung auf die nutzbare Feldkapazität geringer; sie schwankte zwischen 36 und 21 % Verbesserung bei den drei Messungen. Bei höherer nFK steht den Pflanzen mehr Wasser zur Verfügung, um Trockenphasen leichter und ohne Ertragsdepressionen überstehen zu können.

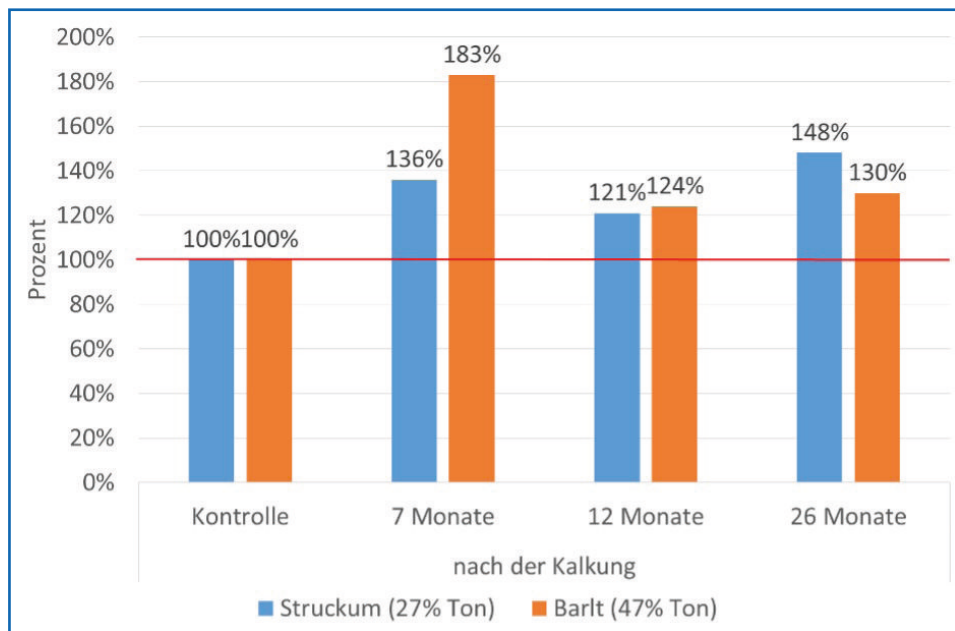


Abb. 9: Einfluss der Kalkung auf die nutzbare Feldkapazität an den Standorten Barlt und Struckum 7 - 26 Monate nach Kalkung, relativ zu ungekalkt (=100 %)

Wasserversickerung durch Kalkgare	
TU München-Weihenstephan Dr. Gutser (schluffiger Lehm)	Versickerungsrate: pH 5,5 = 100 % pH 6,3 = 196 % Steigerung der Versickerungsrate um + 96 %
Dr. Schuhbauer (Lössboden)	Versickerungsrate: pH 6,3 = 100 % pH 7,0+ = 228 % Steigerung der Versickerungsrate um + 128 %

Abb. 10: Infiltrationsversuche von Dr. Gutser (1987) und Dr. Schuhbauer (1981)

Die auf den Standort abgestimmte optimale Kalkversorgung ist damit die wichtigste Maßnahme im Pflanzenbau, um Böden in die Lage zu versetzen, extreme Witterungsbedingungen wie Starkregen und Trockenheit besser auszugleichen. Kalkverbrauch durch Neutralisation von Säuren und unvermeidbare Kalkverluste durch Auswaschung müssen deshalb regelmäßig ersetzt werden, um die Bodenfruchtbarkeit langfristig zu erhalten. Böden, die optimale pH-Werte aufweisen, sind auf die einleitend dargestellten Witterungseinflüsse deutlich besser vorbereitet als versauerte Böden (Bild 9).

Die Ergebnisse dieser Forschungsprojekte zeigen, dass auf den untersuchten, überwiegend schweren Böden durch Kalkung eine relativ schnelle und wesentliche Verbesserung der Porenraumverteilung und damit eine deutliche Optimierung des Wasser- und Lufthaushaltes im Boden erzielt werden konnte.

Dies untermauern zwei weitere Versuche, die von Dr. Gutser (Technische Universität München-Weihenstephan) und Dr. Schuhbauer durchgeführt wurden (Abbildung 10).



Bild 9: Direkter Vergleich einer gekalkten (links) und ungekalkten (rechts) Fläche nach einem Regenschauer. Der gekalkte Boden kann mehr Wasser infiltrieren, ist weniger verschlämmt aufgrund der besseren Bodenstruktur und trocknet in der Folge auch viel schneller ab (Quelle: F. Ebertseder, 2016).

6. Kalkdüngung

Über die Bemessung der notwendigen Kalkgabe gibt die Bodenuntersuchung Auskunft. Bei Einstufung in Gehaltsklasse C ist eine Erhaltungskalkung notwendig. In den Gehaltsklassen A und

B ist dringend angeraten, eine Aufkalkung über den Erhaltungskalkungsbedarf hinaus vorzunehmen, um die Kalkversorgung zu verbessern.

6.1 Bestimmung des Kalkdüngungsbedarfs (VDLUFA, EUF)

Das in Deutschland am weitesten verbreitete und gebräuchlichste Verfahren zur Bestimmung des Kalkbedarfs nutzt die Messung des pH-Wertes in einer Bodenprobe mit einer pH-Elektrode. Diese sogenannte VDLUFA-Methode wird im Rahmen der Standardbodenuntersuchung verwendet, um daraus den Kalkversorgungsstatus abzuschätzen und den Düngungsbedarf zu ermitteln. Im VDLUFA-Standpunkt zur Bestimmung des Bedarfes werden pH-Klassen definiert und analog zu den Grundnährstoffen in fünf Versorgungsstufen eingeteilt. Anzustreben und durch eine regelmäßige Kalkzufuhr (Erhaltungskalkung) aufrecht zu erhalten ist demnach die pH-Klasse C (Tabelle 3).

Daneben ist auch das EUF-Verfahren eine etablierte und weit verbreitete Methode zur Ermittlung des Kalkbedarfes. Mit Hilfe der Elektro-Ultrafiltration (EUF) wird nicht der pH-Wert, sondern direkt das Calcium gemessen, indem Ionen in einem elektrischen Feld bei unterschiedlichen

Temperaturen vom Boden getrennt und extrahiert werden. Eine erste Fraktion spiegelt die Calcium-Konzentration in der Bodenlösung wider. Die zweite Fraktion zeigt die Calciumvorräte im Boden mit austauschbar gebundenem Calcium und Teile des Carbonates an. Je niedriger der EUF-Calcium-Wert, desto höher ist der Kalkbedarf.

Das EUF-Verfahren ist wie die VDLUFA-Methode nach wissenschaftlichen Standards validiert und mittels Exakt-Feldversuchen überprüft. Beide Methoden sind durch die Officialberatung anerkannt und akkreditiert.

Tab. 3: Definition der pH-Klassen für die Beurteilung der Kalkversorgung und des Düngedarfs landwirtschaftlicher Böden (nach VDLUFA, 2000)

pH-Klasse Kalkversorgung	Beschreibung von Zustand und Maßnahme	Kalkdüngungsbedarf
A sehr niedrig	Erhebliche Beeinträchtigung von Bodenstruktur und Nährstoffverfügbarkeit Signifikante Ertragsverluste	Gesundungskalkung
B niedrig	Bodenstruktur und Nährstoffverfügbarkeit suboptimal Signifikante Ertragsverluste bei kalkanspruchsvollen Kulturen	Aufkalkung
C anzustreben	Optimale Bedingungen für Bodenstruktur und Nährstoffverfügbarkeit	Erhaltungskalkung
D hoch	Die Bodenreaktion ist stärker als beabsichtigt	Keine Kalkung
E sehr hoch	Die Bodenreaktion ist wesentlich stärker als beabsichtigt Nährstoffverfügbarkeit, Ertrag und Qualität können negativ beeinflusst werden	Keine Kalkung; keine Anwendung alkalisch wirkender Düngemittel

6.2 Ableitung der Kalkdüngungsempfehlung

Die Ableitung des anzustrebenden pH-Wertes und des Kalkbedarfes erfolgt bei der VDLUFA-Methode aus Ergebnissen zahlreicher langjähriger Exakt-Feldversuche der Officialberatung unter Berücksichtigung von Bodenart, Humus-

gehalt und Nutzungsart auf Grundlage wissenschaftlicher Standards und zusätzlich unter Berücksichtigung regionaler Aspekte (Tabelle 4 und Tabelle 5).

Tab. 4: Anzustrebende pH-Werte und Kalkdüngungsbedarf von **Ackerböden** mit Humusgehalt von $\leq 4\%$ (Mineralböden) - Gehaltsklasse C (nach LfL-Bayern, Gelbes Heft, 2022)

Bodenart	Ziel-pH-Wert	Erhaltungskalkung alle 3 Jahre (dt CaO/ha)
Sand	5,4 - 5,8	6
Schwach lehmiger Sand	5,8 - 6,3	10
Stark lehmiger Sand bis schluffiger Lehm	6,2 - 6,5 6,6 - 6,8 (-)	17
Toniger Lehm bis Ton	6,4 - 6,7 6,8 - 7,2 (-)	20

(-) falls kein freier Kalk nach Salzsäuretest nachgewiesen ist, ist eine Erhaltungskalkung erforderlich

Tab. 5: Anzustrebende pH-Werte und Kalkdüngungsbedarf von **Grünland** mit Humusgehalt bis maximal 15 % - Gehaltsklasse C (nach LfL-Bayern, Gelbes Heft, 2022)

Bodenart	Ziel-pH-Wert	Erhaltungskalkung alle 3 Jahre (dt CaO/ha)
Sand	4,7 - 5,0	3
Schwach lehmiger Sand	5,2 - 5,5	4
Stark lehmiger Sand bis schluffiger Lehm	5,2 - 5,9	5
Toniger Lehm bis Ton	5,7 - 6,1	6

Tab. 6: Kalkdüngertypen gemäß deutscher Düngemittelverordnung (Quelle: DLG-Merkblatt 456 - Hinweise zur Kalkdüngung, 2022)

Kalkdüngertyp	Herkunft/Herstellung	Basische Bindungsform	Neutralisationswert (NW in % CaO)	Wirkungsgeschwindigkeit	Nebenbestandteile	Einsatzbereiche
Kohlensaure Kalke Kohlensaure Magnesiumkalke	Natürliche Lagerstätten Brechen, Vermahlen, Sieben	CaCO ₃ MgCO ₃	42-57	In Abhängigkeit von Ausgangsgestein und Vermahlung: mittelfristig (innerhalb von Tagen bis einigen Monaten)	Magnesium (0-45 % MgCO ₃)	Alle Böden, Erhaltungskalkung, Aufkalkung, Gesundungskalkung
Brantkalke Magnesium-Brantkalke	Natürliche Lagerstätten Brennen, Vermahlen, Sieben	CaO MgO	70-111 ¹⁾	kurzfristig (innerhalb von einigen Stunden)	Magnesium (0-22 % MgO)	Mittlere bis schwere Böden, Aufkalkung, Gesundheitskalkung, Strukturkalkung
Mischkalke Magnesium-Mischkalke	Natürliche Lagerstätten Mischung	CaCO ₃ / MgCO ₃ CaO / MgO Ca(OH) ₂ / Mg(OH) ₂	50-60	kurzfristig (innerhalb von einigen Stunden)	Magnesium	Mittlere bis schwere Böden, Aufkalkung, Gesundheitskalkung, Strukturkalkung
Hüttenkalke	Nebenprodukt der Eisenverhüttung Vermahlen, Absieben	Silikatische Bindung	40-50	mittelfristig (innerhalb von Tagen bis einigen Monaten)	Freie Kieselsäure	Alle Böden, Erhaltungskalkung, Aufkalkung
Konverterkalke	Nebenprodukt der Stahlherstellung Vermahlen, Absieben	CaSiO ₃ / MgSiO ₃ / CaO / Ca(OH) ₂ / CaCO ₃	40-50	mittelfristig (innerhalb von Tagen bis einigen Monaten)	Freie Kieselsäure, Mangan, z.T. Phosphor, Spurennährstoffe	Alle Böden, Erhaltungskalkung, Aufkalkung, Gesundungskalkung
Carbokalke	Nebenprodukt der Zuckerherstellung Flüssig, Absieben	CaCO ₃ / MgCO ₃	15-25	kurzfristig (innerhalb von Tagen bis Wochen)	Phosphor, Stickstoff, Magnesium	Alle Böden, Erhaltungskalkung, Aufkalkung, Gesundungskalkung
Kalkdünger aus der Herstellung von ... gemäß DüMV, Anlage 2, Tabelle 6.4	Nebenprodukte verschiedener Industrieprozesse	CaCO ₃ / MgCO ₃ CaO / MgO Ca(OH) ₂	mind. 30 %	kurz- bis mittelfristig (innerhalb von Tagen bis einigen Monaten) je nach Herkunft		Erhaltungskalkung

¹⁾ Zu Neutralisationswerten über 100 % bei Mg-Kalken:
Der Neutralisationswert (NW) von Düngekalken wird aus der Summe der basisch wirksamen Bestandteile Calcium- und Magnesiumcarbonat oder -oxid rechnerisch ermittelt und als CaO angegeben. Aufgrund des geringeren Molekulargewichtes von Magnesium (Atommasse 24,302) im Vergleich zu Calcium (Atommasse 40,078) hat Magnesiumcarbonat eine um den Faktor 1,391 höhere neutralisierende Wirkung als Calciumcarbonat. Je nach Magnesium-Gehalt von Brantkalk können deshalb Neutralisationswerte von > 100 % auftreten. Z.B. Magnesium-Brantkalk 90 (60/30): 60 % CaO + (30 % MgO*1,392) = 101,8 % NW

6.3 Durchführung der Kalkung

Kalkdüngertypen

Kalkdünger unterscheiden sich in der Herkunft, der Bindungsform der basisch wirksamen Bestandteile, der Mahlfeinheit, der Wirkungsgeschwindigkeit (Reaktivität), der Streufähigkeit und den enthaltenen Nebenbestandteilen. Einen Überblick zu den gemäß Deutscher Düngemittelverordnung zugelassenen Kalkdüngemitteln mit ihren wichtigsten Eigenschaften und Einsatzbereichen gibt Tabelle 6.

Kalkungszeiträume / Pflanzenbauliche Aspekte der Kalkung

Grundsätzlich können Böden das ganze Jahr über ohne zeitliche Vorgaben gekalkt werden. Zum Schutz des Bodens vor Verdichtungen sollte die Kalkausbringung grundsätzlich nur auf tragfähigen Böden durchgeführt werden. Im Regelfall erfolgt die Ausbringung der Erhaltungskalkung aus arbeitswirtschaftlichen Gründen auf die Getreidestoppeln (Stoppelkalkung). Um spezielle Effekte der Kalkung hinsichtlich Verbesserung der Bodenstruktur und der Nährstoffverfügbarkeit zu nutzen, ist eine Kalkung vor der Saat (Vorsaatkalkung) hilfreich. Die jeweiligen

Nutzpflanzen haben unterschiedliche Ansprüche an den Boden-pH-Wert. Daher wird empfohlen, eine Erhaltungskalkung im Rahmen der Fruchtfolge gezielt vor den kalksensiblen Kulturen, siehe Abbildung 11, durchzuführen.

Wie berechne ich die auszubringende Kalkmenge?

Es gibt keinen Kalkdünger, der zu 100 % die basisch wirksamen Formen CaO , CaCO_3 , MgO oder MgCO_3 enthält, da immer auch Nebenbestandteile vorhanden sind. Auch sind die verschiedenen Formen unterschiedlich stark basisch wirksam.

Für den Landwirt ist deshalb der **Neutralisationswert** (d.h. der Gehalt aller basisch wirksamen Bestandteile) des Kalkdüngers, umgerechnet auf die Bezugsbasis CaO (%), entscheidend. Dieser Wert muss beim Kauf des Kalkes ausgewiesen sein.

Berechnung der auszubringenden Kalkmenge

$$\text{Kalkmenge (dt/ha)} = \frac{\text{empfohlener Kalkbedarf (dt CaO / ha)} \times 100}{\text{Neutralisationswert (\% CaO) des ausgewählten Kalkes}}$$

Tab. 7: Beispiele zur Berechnung des Kalkbedarfes

Kalkbedarf (Neutralisationsbedarf) lt. Düngeempfehlung (dt CaO /ha)	Verwendeter Kalk	Basisch wirksame Bestandteile (%) (=Neutralisationswert)	Auszubringende Kalkmenge (dt/ha)
17	Branntkalk	90	19
17	Kohlensauer Kalk	50	34
17	Kohlensaurer Mg-Kalk	52	33

Achtung: Der in der Düngungsempfehlung angegebene Kalkbedarf bezieht sich auf die ersten 3 Jahre nach der Bodenuntersuchung. Betriebe mit 6-jährigem Turnus der Bodenuntersuchung müssen für den Zeitraum des 4. bis 6. Jahres

eine zusätzliche Erhaltungskalkung lt. Tabellen 4 und 5 durchführen, um das Kalkversorgungsniveau konstant zu halten.

Weitere Informationen zur Quantifizierung der Kalkmenge sind im Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünlandflächen (gelbes Heft) der LfL zu finden.

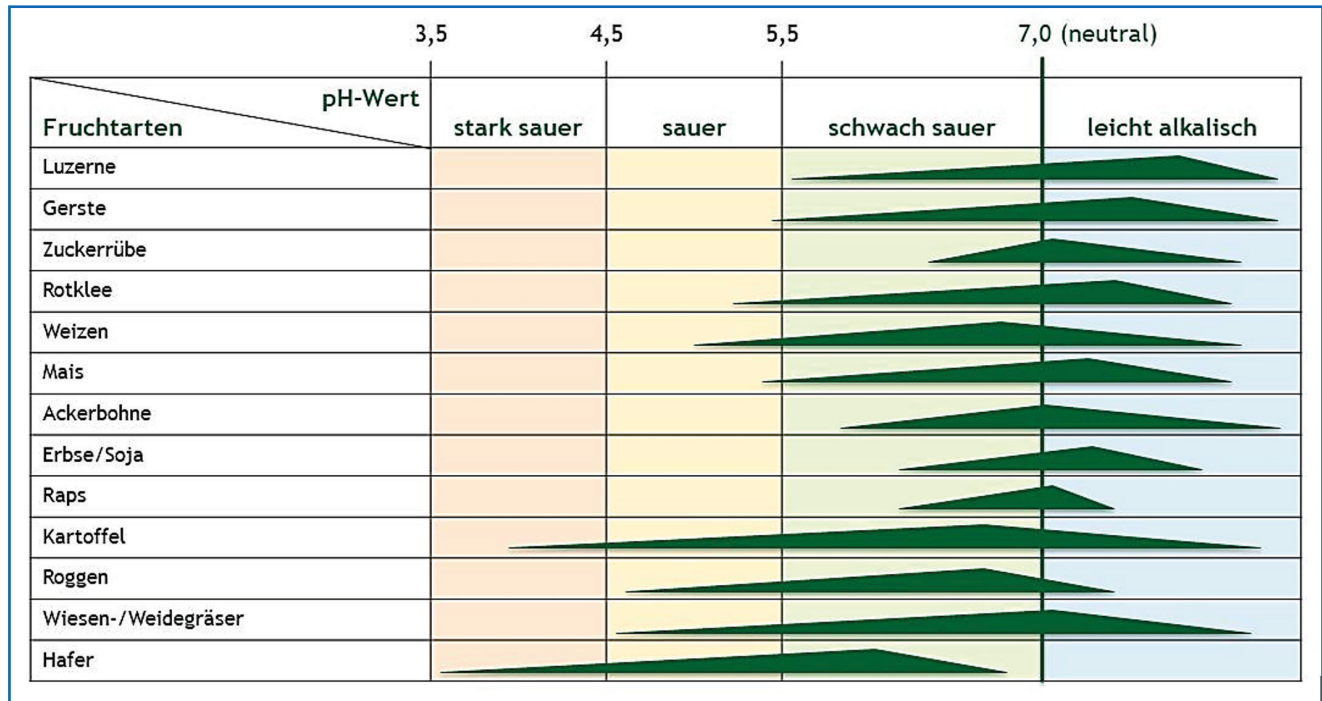


Abb. 11: Optimale pH-Wert Bereiche für Kulturpflanzen (Quelle: Gericke & Klapp)

Unterscheidung von Kalk und Gips

Im Gegensatz zum Kalk (CaCO_3) enthält Gips (CaSO_4) Sulfat, weshalb er vorrangig als Schwefeldünger (bis zu 20 % S) Anwendung findet.

Er ist in der Lage, durch den Calciumgehalt die Bodenstruktur zu verbessern, nicht jedoch den pH-Wert anzuheben. Hierbei muss beachtet werden, Sulfat bedarfsgerecht auszubringen, da er sehr auswaschungsgefährdet ist.

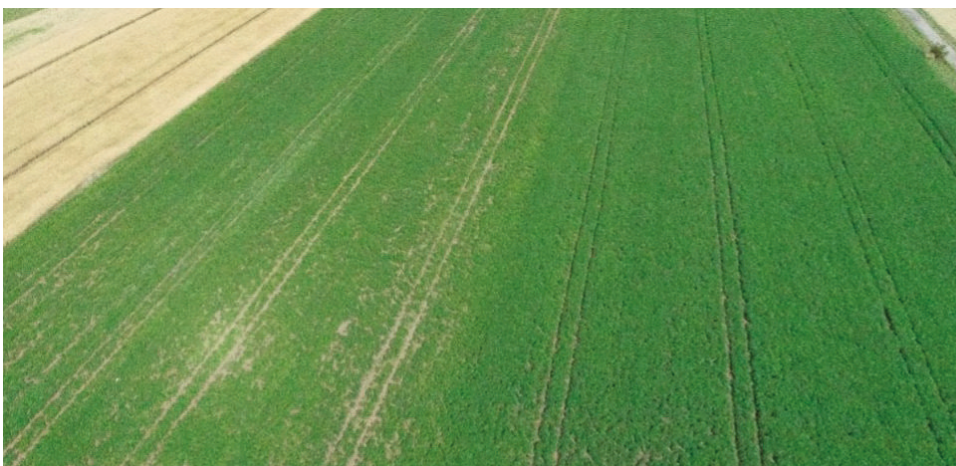


Bild 10: Deutlich sichtbare Bewirtschaftungsunterschiede in den Folgejahren nach einer Feldstückzusammenlegung (Quelle: A. Weig)

Das Feldstück in Bild 10 wurde bis 2017 von verschiedenen Bewirtschaftern landwirtschaftlich genutzt. Im Jahr darauf wurde es zusammengelegt und auf der gesamten Fläche Soja angebaut. Die ursprüngliche Bewirtschaftungsgrenze zeichnet sich sehr deutlich anhand der Pflanzenfärbung ab. Eine Bodenuntersuchung hat folgende Werte ergeben:

Rechte Feldhälfte:

pH-Wert: 6,6
 P_2O_5 : 13, K_2O : 29, MgO: 14
Bodenart: toniger Lehm

Linke Feldhälfte:

pH-Wert 5,1
 P_2O_5 : 11, K_2O : 20, MgO: 14
Bodenart: toniger Lehm

(Angaben bei P_2O_5 , K_2O , MgO jeweils in mg /100 g Boden)

Die rechte Hälfte des Feldes wurde regelmäßig gekalkt und seit 15 Jahren pfluglos bewirtschaftet. Der Boden weist eine gute Struktur mit einer krümeligen Oberfläche auf.
Die linke Feldhälfte hingegen wurde seit Jahren nicht mehr gekalkt, dafür jährlich gepflügt. Die Bodenoberfläche verschlämmt bzw. verkrustet

sehr leicht, wodurch der Gasaustausch gestört wird und keine Luft für die Knöllchenbakterien im Boden zur Verfügung steht.

Umschlags- und Ausbringtechnik / Teilflächen-spezifische Kalkung

Aus betriebs- und arbeitswirtschaftlichen Gründen hat sich in der Landwirtschaft die Lose-Kalkstrekette für Düngekalke in angefeuchteter Form durchgesetzt. Der Düngekalk wird per LKW direkt zum landwirtschaftlichen Betrieb oder an den Feldrand geliefert. Die Ausbringung der angefeuchteten Kalke erfolgt mit entsprechender Großflächen-Streutechnik mit angepassten Tellerstreuwerken (Bild 11 und 12).



Bild 11: Ausbringung von Kalk mit Großflächen-Streutechnik
(Quelle: A. Weig)



Bild 12: Mangelhafte Kalkverteilung auf dem Acker:
So sollte es nicht aussehen!
(Quelle: A. Weig)

6. Zusammenfassung / Fazit

Vor allem, um die Resilienz unserer Böden und damit einhergehender Pflanzenbausysteme gegenüber Trockenheit und Starkregenereignissen zu stärken, spielt die bedarfsgerechte Kalkung eine wichtige Rolle. Die positiven Wirkungen sind vielfältig: Strukturverbesserung, gesteigerter Gas- und Wasseraustausch, Förderung der Aktivität des Bodenlebens sowie erhöhte Tragfähigkeit und Nährstoffverfügbarkeit. All diese Punkte sind für eine ökonomische sowie nachhaltige Landbewirtschaftung von besonderer Bedeutung. Zudem kann so die Widerstandskraft gegen Erosion erhöht werden, da der Boden nicht so schnell verschlämmt und die Bodenkrümel beständiger gegen ein Abschwemmen sind. Die Kalkung ist folglich eine Basismaßnahme, die allen anderen Düngungsmaßnahmen vorausgehen muss.

Grundsätzliches für die Praxis:

Auf leichten Böden einen langsam wirkenden Kalkdünger wie beispielsweise Kohlensäuren (Magnesium-) Kalk ausbringen, auf mittel bis schweren Böden sind schnell wirkende Kalke sinnvoller, wie beispielsweise Brannt- und Mischkalke oder mikrofein vermahlene kohlen-saure Kalke. Die beste Wirkung wird durch die Ausbringung des Kalkes mit sehr feiner Vermahlung erzielt, da die umsetzungsaktive Oberfläche hier am größten ist. Eine flache Einarbeitung fördert die Einmischung und die Umsetzung des Kalkes im Boden.

Zitiervorlage: Weber, A., Weig, A., Ebertseder, F. und Stocker, L. (2025): Kalkversorgung und Bodenwasserhaushalt. In: Fachgruppe Bewässerung, Ausgabe 1 - 06/2025, Hrsg. ALB Bayern e.V., www.alb-bayern.de/bef23, Stand [Abrufdatum]



Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und
Landwirtschaftliches Bauwesen (ALB)
in Bayern e. V.
Vöttinger Straße 36, 85354 Freising

Telefon	08161 / 887-0078
Telefax	08161 / 887-3957
E-Mail	info@alb-bayern.de
Internet	www.alb-bayern.de