

Hinweise zur Kalkdüngung



DLG-Mitgliedschaft. Wir geben Wissen eine Stimme.



Jetzt Mitglied werden!

Die DLG ist seit mehr als 130 Jahren offenes Netzwerk, Wissensquelle und Impulsgeber für den Fortschritt.

Mit dem Ziel, gemeinsam mit Ihnen die Zukunft der Land-, Agrar- und Lebensmittelwirtschaft zu gestalten.

www.DLG.org/Mitgliedschaft



DLG-Merkblatt 456

Hinweise zur Kalkdüngung

Autoren

- DLG-Fachausschuss Pflanzenernährung
- DLG-Prüfungskommission Düngekalk
- Dr. Dietmar Horn
- Dr. Frank Lorenz
- Dr. Reinhard Müller
- Prof. Dr. Torsten Müller
- Klaus Münchhoff
- Dr. Uwe Pihl
- Dr. Andreas Weber
- Dr. Hans-Ulrich von Wulffen

Titelbild: Herbert Molitor

Alle Informationen und Hinweise ohne jede Gewähr und Haftung

Herausgeber:

DLG e.V.
Fachzentrum Landwirtschaft
Eschborner Landstraße 122, 60489 Frankfurt am Main

3. Auflage, Stand: 05/2022

© 2022

Vervielfältigung und Übertragung einzelner Textabschnitte, Zeichnungen oder Bilder – auch für den Zweck der Unterrichtsgestaltung – nur nach vorheriger Genehmigung durch DLG e.V., Servicebereich Marketing, Eschborner Landstraße 122, 60489 Frankfurt am Main, Tel. +49 69 24788-209, M.Biallowons@DLG.org

Inhalt

1. Einleitung	5
2. Warum versauern Böden?	5
3. Warum regelmäßig kalken? Kalkwirkung im Boden	6
3.1 Physikalische Kalkwirkung im Boden	6
3.2 Chemische Kalkwirkung im Boden	7
3.3 Biologische Kalkwirkung im Boden	8
4. Bestimmung des Kalkbedarfs/Kalkempfehlung	9
4.1 Bestimmung nach dem pH-Wert (VDLUFA-Schema)	9
4.2 Bestimmung mit dem Verfahren der Elektro-Ultrafiltration (EUF)	10
4.3 Ableitung der Empfehlung	10
4.3.1 Kalkempfehlung mittels pH-Wert nach der VDLUFA-Methode	10
4.3.2 Kalkempfehlung mit dem EUF-Verfahren	11
5. Kalkdünger und ihre Eigenschaften	12
5.1 Qualitätsindikatoren	12
5.2 Kalkdüngertypen	13
5.3 Kalkulation der Kalk- bzw. Produktmengen (Umrechnung)	15
5.4 DLG-Qualitätssicherung für Düngekalk	15
6. Kalkung	16
6.1 Erhaltungskalkung	16
6.2 Aufkalkung	16
6.3 Gesundungskalkung (Meliorative Kalkung)	16
6.4 Strukturkalkung/Vorsaatkalkung	16
7. Durchführung der Kalkdüngung	17
7.1 Kalkungszeiträume	17
7.2 Pflanzenbauliche Aspekte; optimale pH-Werte für Pflanzen	17
7.3 Wechselwirkungen mit anderen Düngern	18
7.4 Umschlags- und Ausbringtechnik	19
7.5 Teilflächenspezifische Kalkung	19
8. Wirtschaftlichkeit der Kalkung	20
9. Fazit	22
10. Literatur	22
11. Tabellenanhang	24

1. Einleitung

Ein standortgerechter pH-Wert im Boden und eine günstige Versorgung mit Calcium und Magnesium sind die Basis für Bodenfruchtbarkeit und eine optimale Wirkung aller anderen Produktionsfaktoren (Saatgut, Düngemittel, Pflanzenschutz). Die optimale Kalkversorgung des Bodens ist daher eine der Grundvoraussetzungen für eine erfolgreiche und nachhaltige Pflanzenproduktion, sowohl aus ökologischer als auch aus ökonomischer Sicht. Böden werden nur mit optimalen pH-Werten und ausreichender Kalkversorgung nachhaltig gesund bleiben.

Dieses Merkblatt beinhaltet die wesentlichen Gesichtspunkte der Kalkdüngung von Ackerflächen. Es soll allen interessierten Landwirten als Leitfaden für eine standortgerechte, bodenartspezifisch optimale Kalkversorgung landwirtschaftlicher Böden dienen. Ertragssicherung und -optimierung wie auch Bodenschutz (Verbesserung der Befahrbarkeit und der Wasserinfiltration, Erosionsminderung) sind die Ziele.

Bodenkundliche Grundlagen werden nur begrenzt behandelt, da diese bereits an vielen anderen Stellen beschrieben sind. Zu den Themen Grünland- und Bodenschutzkalkung (Waldkalkung) sind künftig gesonderte DLG-Merkblätter geplant.

2. Warum versauern Böden?

Bei hoher CO_2 -Konzentration in der Bodenluft aufgrund von natürlicher Mikroorganismenaktivität und Wurzelatmung wird im Bodenwasser Kohlensäure (H_2CO_3) gebildet. Auch durch Regenwasser werden Säuren in den Boden eingetragen. An Tonmineral- und Humus-Oberflächen tauschen die von den Säuren abgegebenen Protonen (H^+) dann Kationen (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+) aus, welche so in die Bodenlösung gelangen. In Regionen mit einer positiven Wasserbilanz (Wasser-Versickerung) werden diese Kationen zusammen mit Basen (d. h. Anionen wie z. B. Carbonat, Nitrat, Sulfat und organische Anionen) in den Unterboden verlagert. Diese **Basenauswaschung** führt zu unvermeidbaren Kalkverlusten im Oberboden, die in Abhängigkeit von Bodenart, Nutzungsform und Niederschlagsmenge (Tabelle 1) zum Teil erhebliche Mengen erreichen können.

Tabelle 1: Jährliche Kalkverluste durch Auswaschung und Neutralisation (kg/ha CaO) (Galler, 2013)

Bodenartengruppe	Nutzung	Niederschläge		
		niedrig < 600 mm	mittel 600–750 mm	hoch > 750 mm
leicht (S, l'S)	Acker	300	400	500
	Grünland	150	250	350
mittel (sL bis t'L)	Acker	400	500	600
	Grünland	200	300	400
schwer (tL, T)	Acker	500	600	700
	Grünland	250	350	450

Neben dieser natürlichen Bodenversauerung unter mitteleuropäischem Klima bewirkt die landwirtschaftliche Nutzung von Böden eine zusätzliche unvermeidbare Versauerung. Durch die Abfuhr von

Ernteprodukten werden dem Boden je nach Kultur zwischen 10–80 kg/ha Calcium und Magnesium zusammen mit entsprechenden Mengen an Basen entzogen. Auch chemisch und physiologisch saure Düngemittel, d. h. vor allem N-haltige Mineraldünger, tragen zur Säurebildung im Boden bei.

Eine Ausnahme stellen natürlich kalkhaltige Böden dar. Dabei handelt es sich um Böden aus Löß, aus denen der Kalk nicht ausgewaschen wurde, oder um Böden, die sich aus Kalkgestein entwickelt haben und häufig flachgründig sind. Diese Böden enthalten von Natur aus freien Kalk, der nicht an die Bodensubstanz gebunden ist. Die pH-Werte in diesen Böden liegen meist über 7,0. Solche Böden reagieren bei Zugabe von Salzsäure und schäumen durch Bildung von Kohlendioxid (CO_2), da freier Kalk vorhanden ist. Diese Vorgehensweise macht man sich ergänzend zur VDLUFA-Methode beim Salzsäuretest in Bayern zunutze, der auf Böden mit Tongehalt größer 12 % und mit pH-Werten von 6,6 bis 7,2 angewendet wird, um mit einem zusätzlichen Kriterium die Kalkbedürftigkeit zu beurteilen.

3. Warum regelmäßig kalken? Kalkwirkung im Boden

Kalkverbrauch und unvermeidbare Kalkverluste müssen regelmäßig ersetzt werden, um die Bodenfruchtbarkeit langfristig zu erhalten. Die Kalkdüngung reguliert den pH-Wert der Bodenlösung und liefert Calcium und Magnesium. Damit beeinflusst sie eine Vielzahl von physikalischen, chemischen und biologischen Prozessen im Boden. Kalk ist somit ein Dünger und Bodenverbesserer und trägt damit wesentlich zur Bodengesundheit bei (Schmidt, 2016). Die Kalkung ist eine Basismaßnahme, die allen anderen Düngungsmaßnahmen vorausgehen muss.

3.1 Physikalische Kalkwirkung im Boden

Kalk stabilisiert das Bodengefüge. Bei hinreichender Konzentration von Calcium-Ionen in der Bodenlösung bilden die Tonteilchen eine lockere Kartenhausstruktur. Daraus entstehen im Idealfall Aggregate in Form von Krümeln. Der als Flockung bezeichnete Vorgang nimmt mit steigender Calcium-Konzentration in der Bodenlösung zu. Die Winkel des Kartenhauses werden bei fortschreitender Austrocknung des Bodens durch Kalk (Calcium-Carbonat oder Calcium-Silikat) „vermörtelt“ und widerstehen durch diese Verfestigung nachhaltig dem Aggregatzerfall (Abbildung 1). Nur mit einer ausreichenden Calciumsättigung an den Bodenaustauschern (60–80%) werden in der Bodenlösung Calciumkonzentrationen erreicht, bei denen sich ein stabiles Bodengefüge ausbildet, so dass Gasaustausch, Wasserspeicherung (nutzbare Feldkapazität, nFK) und Wassertransport optimal sind. So können der oberflächige Wasserabfluss und auch die Verschlammungs-

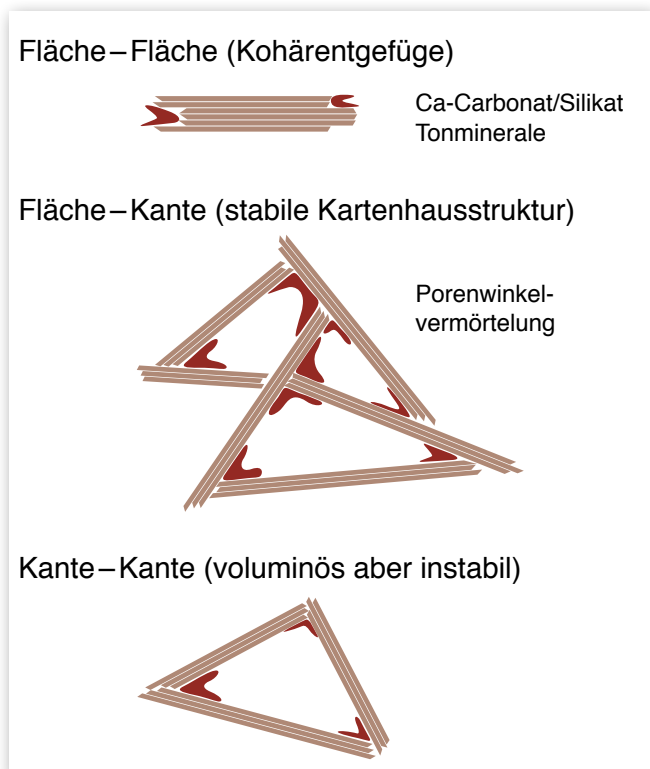


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Lagerungsformen von Tonteilchen im Boden (Quelle: nach Meyer und Pollehn, 1990)

und Erosionsgefahr reduziert werden. Bei einem Starkregen beispielsweise ist die Versickerungsrate eines Ackerbodens mit optimalem Kalkzustand deutlich erhöht im Vergleich zu einer suboptimalen Kalkversorgung. Auf sandigen Böden tritt dieser strukturstabilisierende Effekt nicht ein, denn dafür ist der Anteil der Tonteilchen an der Bodensubstanz zu gering.

Die zweiwertigen Ca- und Mg-Ionen (aus dem Kalk) können sowohl an Tonmineralen als auch an der organischen Substanz (Humus) angelagert werden. So können stabile Ton-Humus-Komplexe („mit Calcium-Brücke“) gebildet werden (Abbildung 2).

Durch eine stabile Bodenstruktur erhöht sich die Tragfähigkeit des Bodens und die Verdichtungsneigung nimmt ab. Gleichzeitig führt der verbesserte Lufthaushalt dazu, dass der Boden an der Oberfläche schneller abtrocknet und sich rascher erwärmt. So können diese Flächen nach Niederschlägen früher befahren werden als Flächen mit ungünstiger Bodenstruktur.

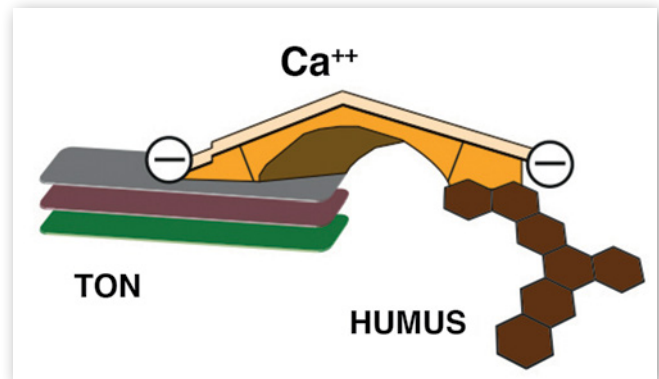


Abbildung 2: Schema eines Ton-Humus-Komplexes mittels Calcium-Brücke (Quelle: Schmidt, 2016)

3.2 Chemische Kalkwirkung im Boden

Kalk reguliert den pH-Wert und schützt vor Säureschäden.

Die primäre Wirkung von Kalk ist die Neutralisierung von Säuren. Werden die in den Boden eingebrachten und dort gebildeten Säuren nicht neutralisiert, sinkt der pH-Wert der Bodenlösung ab. Dies führt neben den dargestellten Strukturschäden bei pH-Werten unter 5,0 zunächst zu Säureschäden an den Wurzeln, die sich nachfolgend auf das gesamte Pflanzenwachstum auswirken können. Unter pH 4,5 sind diese in erster Linie auf ein Überangebot an Aluminium und Mangan aus der irreversiblen Zerstörung von Tonmineralen und aus der Freisetzung aus oxidischen Bindungen zurückzuführen.

Kalk verbessert die Nährstoffverfügbarkeit.

Die meisten Pflanzennährstoffe sind – in Abhängigkeit von der Bodenart (s. Abbildung 3) – im Bereich von pH 5,5 bis 7,0 optimal pflanzenverfügbar. Mit steigendem pH-Wert nimmt die Verfügbarkeit von Stickstoff (N), Schwefel (S), Kalium (K), Calcium (Ca), Magnesium (Mg) und Molybdän (Mo) zu. Die Verfügbarkeiten der Mikronährstoffe Eisen (Fe), Mangan (Mn), Kupfer (Cu) und Zink (Zn) nehmen hingegen ab, so dass es bei pH-Werten oberhalb 7,0 für diese durch Festlegung im Boden zu Mangelerscheinungen kommen kann (Abbildung 3). Diese Effekte sind bei den von dem VDLUFA empfohlenen optimalen pH-Werten bereits ausreichend berücksichtigt.

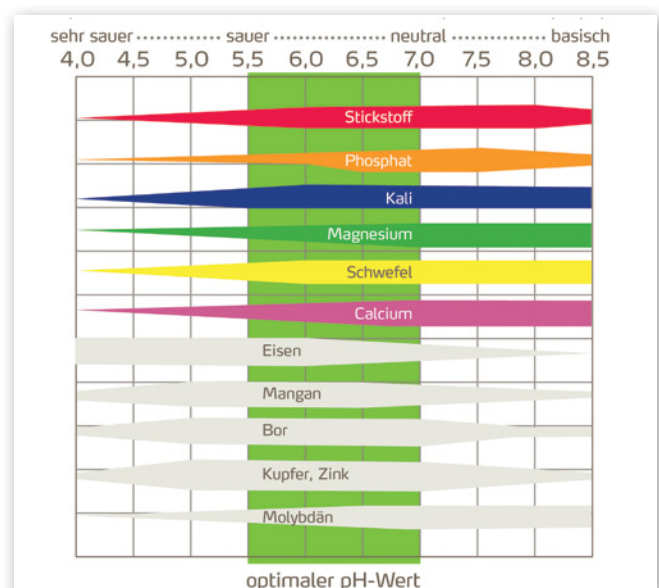


Abbildung 3: Nährstoffverfügbarkeit im Boden in Abhängigkeit vom pH-Wert des Bodens (Quelle: Yara, 2020)

Besonders die Phosphatverfügbarkeit reagiert deutlich auf zu geringe (kleiner 5,5) und zu hohe (größer 7,5) pH-Werte. Die optimale Verfügbarkeit der Bodenphosphate liegt im Bereich zwischen pH 6 und pH 7,5. In zahlreichen Feldversuchen wurde nachgewiesen, dass durch regelmäßige bedarfsgerechte Kalkdüngung die vorhandenen Nährstoffe besser genutzt werden und somit Düngungseffizienz gesteigert wird (Abbildung 4). Neue ökologische und rechtliche Anforderungen an die Düngung fordern besonders bei Stickstoff und Phosphor eine möglichst hohe Nährstoffnutzungseffizienz.

Der pH-Wert des Bodens beeinflusst auch die Mobilität und Pflanzenverfügbarkeit von Schwermetallen, die von Pflanzen entweder als Mikronährstoffe nur in sehr geringen Mengen benötigt werden und in großen Mengen oder sogar generell giftig sind. Eine standortgerechte Kalkung mindert oder verhindert die Freisetzung dieser giftigen Schwermetalle. Weitere Informationen hierzu gibt es im BZL Heft „Mit Kalk gegen Schwermetalle“ (BZL, 2020).

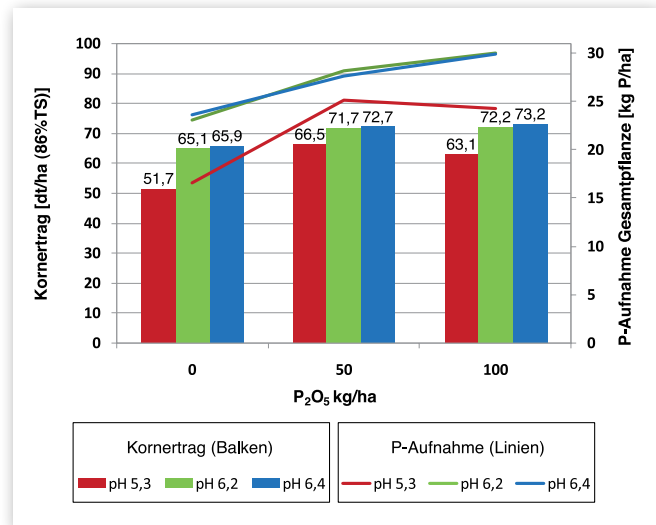


Abbildung 4: Einfluss des pH-Werts des Bodens auf die P-Verfügbarkeit (Quelle: Tucher, 2016)

3.3 Biologische Kalkwirkung im Boden

Kalk unterstützt das Leben – 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 (Abbildung 5).

Wenn bei zunächst unzureichend kalkversorgten Böden durch Kalkung die pH-Werte ansteigen, finden die nützlichen Helfer zunehmend optimale Bedingungen (Abbildung 6). Bei optimalen pH-Wer-

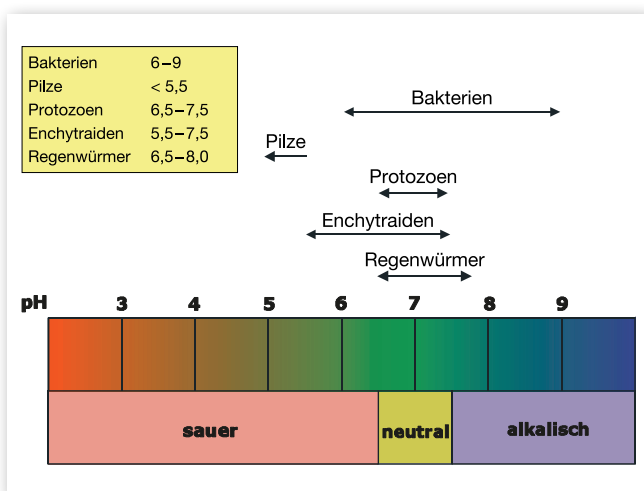


Abbildung 5: Optimale pH-Bereiche verschiedener Bodenorganismen (Quelle: Stöven, 2002)

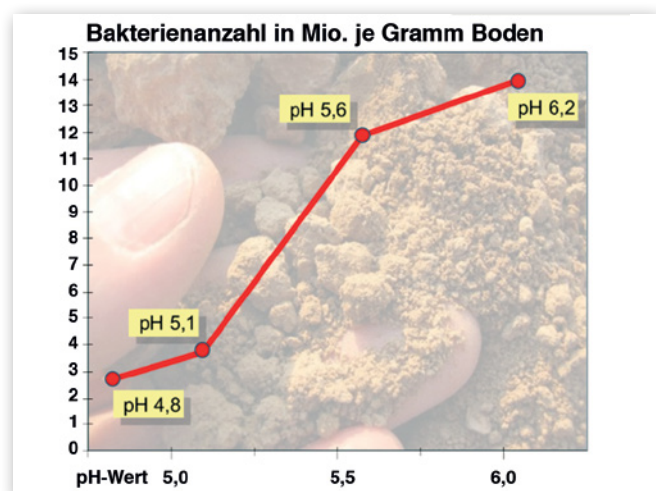


Abbildung 6: Entwicklung der Bakteriendichte im Boden in Abhängigkeit vom pH-Wert des Bodens (Quelle: Galler, 2013)

ten können sie sich rasch vermehren, die im Humus enthaltenen Nährstoffe pflanzenverfügbar machen und damit die Voraussetzungen zur Bildung von Dauerhumus schaffen. Ihre Ausscheidungen vernetzen und verkleben kleinste Bodenteilchen, was sich positiv auf die Zunahme und Stabilität der Bodenaggregate auswirkt.

4. Bestimmung des Kalkbedarfs/Kalkempfehlung

4.1 Bestimmung nach dem pH-Wert (VDLUFA-Schema)

Das gebräuchlichste Verfahren zur Bestimmung des Kalkbedarfs in Deutschland ist die Messung des pH-Werts des Bodens im Labor. Die Bodenprobe wird in Calcium-Chlorid-Lösung (0,01 mol/l) geschüttelt (suspendiert). Danach wird der pH-Wert in der Lösung mit einer Elektrode gemessen (VDLUFA, 2001). Dieses Verfahren hat sich bewährt, da es einfach, kostengünstig und hinreichend genau ist. Aufwendige Methoden wie die Messung des Calcium-Gehalts an den Austauschern des Bodens (Tonminerale, Metalloxide, Humus) sind nicht erforderlich, da zwischen dem pH-Wert des Bodens und der Calcium-Sättigung an den Austauschern eine enge Beziehung besteht (Abbildung 7).

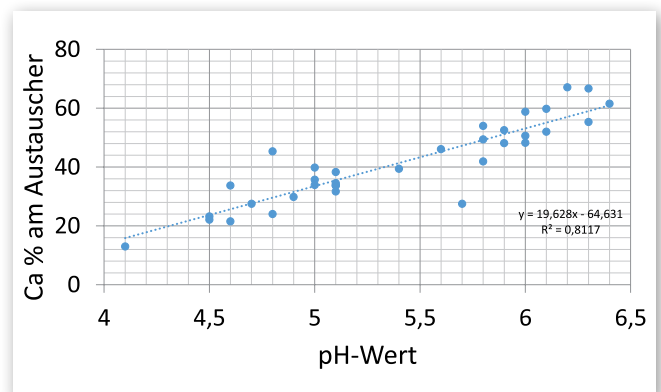


Abbildung 7: Zwischen dem pH-Wert des Bodens und der Calcium-Sättigung am Austauscher besteht eine enge Beziehung (Quelle: Lorenz, 2016)

Im VDLUFA-Standpunkt (VDLUFA, 2000) werden die pH-Klassen für die Kalkversorgung des Bodens definiert und wie bei den Grundnährstoffen in fünf Versorgungsklassen eingeteilt; angestrebt wird die pH-Klasse C (s. Tabelle 2).

Tabelle 2: Definition der pH-Klassen für die Beurteilung der Kalkversorgung sowie des Kalkdüngungsbedarfs 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 höher als anzustreben.	keine Kalkung
E sehr hoch	Die Bodenreaktion ist wesentlich höher als anzustreben. Nährstoffverfügbarkeit, Ertrag und Qualität können negativ beeinflusst werden.	keine Kalkung, keine Anwendung alkalisch wirkender Düngemittel

4.2 Bestimmung mit dem Verfahren der Elektro-Ultrafiltration (EUF)

Während nach der VDLUFA-Methode der Kalkbedarf über die Messung des pH-Wertes unter Berücksichtigung der Bodentextur und des Humusgehaltes bestimmt wird, wird nach dem Verfahren der Elektro-Ultrafiltration (EUF) Calcium direkt gemessen. Dabei werden die Ionen in einem elektrischen Feld bei unterschiedlichen Temperaturen vom Boden getrennt und extrahiert.

Das EUF-Verfahren bestimmt zwei Nährstoff-Fraktionen bei unterschiedlichen Bedingungen (VDLUFA, 2002). Während die erste Fraktion bei milden Bedingungen (20 °C, 200 V, max. 15 mA, 0–30 min) die Calcium-Konzentration der Bodenlösung widerspiegelt, zeigt die zweite Fraktion bei starken Bedingungen (80 °C, 400 V, max. 150 mA, 30–35 min) die Calciumvorräte im Boden mit austauschbar gebundenem Calcium sowie einen Teil des Carbonats (Nemeth et al., 1989). EUF-Calcium-Gehalte der zweiten Fraktion, die größer als 40 mg/100 g Boden sind, finden sich auf carbonatreichen Böden mit hoher Kalkreaktivität (Horn und Becker, 2004). Hohe EUF-Calcium-Gehalte der zweiten Fraktion (größer 40 mg/100 g Boden) weisen auf eine hohe Beladung (70–80%) der negativ geladenen Plätze am Austauscher mit Calcium hin, die Kalkreaktivität ist hoch.

4.3 Ableitung der Empfehlung

4.3.1 Kalkempfehlung mittels pH-Wert nach der VDLUFA-Methode

Der Kalkbedarf ist aus zahlreichen langjährigen Feldversuchen der Officialberatung abgeleitet worden. Dabei handelte es sich in der Regel um Kalksteigerungsversuche (Abbildung 8), bei denen Parzellen ohne Kalk mit Varianten steigender Kalkgaben verglichen wurden. Dadurch wurde ermittelt, welche pH-Werte bei den wesentlichen Ackerfrüchten auf den verschiedenen Bodenarten zu optimalen Erträgen führten und welche Kalkmengen zur Erhaltungskalkung bzw. zur Aufkalkung in klassischen drei- bis vierjährigen ackerbaulichen Fruchtfolgen erforderlich sind. Die Auswertung ergab den VDLUFA Standpunkt „Bestimmung des Kalkbedarfs von Acker- und Grünlandböden“ (VDLUFA, 2000), der hier zitiert wird. Die Bodenarten wurden in sechs Bodenartengruppen eingeteilt, die den Tabellen 3 und 4 zu entnehmen sind.



Abbildung 8: Kalksteigerungsversuch auf Sandboden mit langjährig ungekalkter Parzelle im Vordergrund (Quelle: Lorenz)

Der Kalkbedarf hängt von der Bodenart – insbesondere dem Tongehalt –, dem Humusgehalt und der Nutzung (Acker- oder Grünland) ab. Dabei gelten folgende Abhängigkeiten:

- Je höher der Tongehalt ist, desto höher liegt der optimale pH-Wert
- Je höher der Humusgehalt ist, desto niedriger liegt der optimale pH-Wert, da die organische Substanz des Bodens sowohl die Bodenstruktur als auch das Vermögen des Bodens, einen Säureeintrag abzupuffern, positiv beeinflusst
- Aufgrund der intensiven Durchwurzelung auf Grünland insbesondere in den oberen 10 cm (die der Probenahmetiefe auf Grünland entsprechen) tritt der Einfluss des Kalkes auf physikalische und biologische Eigenschaften des Bodens im Vergleich zu Ackerland zurück. Deshalb liegt der optimale pH-Wert in der Regel um 0,5 Einheiten niedriger als auf Ackerland.

Zur groben Einschätzung der ermittelten pH-Werte sind in der Tabelle 3 (für Ackerland) und der Tabelle 4 (für Grünland) die anzustrebenden pH-Wert-Spannen für die angestrebte Klasse C angegeben. Eine detaillierte Übersicht finden Sie im Tabellenanhang. Aus diesen Tabellen kann auch der Kalkbedarf bei den jeweils gemessenen pH-Werten abgelesen werden. Der dort angegebene Kalkbedarf wurde aus vielen langjährigen Feldversuchen abgeleitet.

Tabelle 3: Rahmenschema für Ackerland zur Einstufung der pH-Werte des Bodens (CaCl₂-Methode) in pH-Klasse C (anzustrebender/optimaler pH-Bereich) (VDLUFA, 2000)

Bodenarten- gruppe	Bodenart (Tongehalt in %)	Humusgehalt des Bodens (%)				
		≤ 4	4,1–8,0	8,1–15,0	15,1–30	> 30
		pH-Werte der Klasse C				
1	Sand (bis 5)	5,4–5,8	5,0–5,4	4,7–5,1	4,3–4,7	
2	Schwach lehmiger Sand (5–12)	5,8–6,3	5,4–5,9	5,0–5,5	4,6–5,1	
3	Stark lehmiger Sand (12–17)	6,1–6,7	5,6–6,2	5,2–5,8	4,8–5,4	
4	Sandiger/schluffiger Lehm (17–25)	6,3–7,0 ¹⁾	5,8–6,5	5,4–6,1	5,0–5,7	
5	Toniger Lehm bis Ton (über 25)	6,4–7,2 ¹⁾	5,9–6,7	5,5–6,3	5,1–5,9	
6	Moorböden ²⁾					4,3 ³⁾

1) auf carbonathaltigen Böden (freier Kalk): keine Erhaltungskalkung

2) bei vielen Niedermoores liegen die pH-Werte entstehungsbedingt > 6,5

3) keine Erhaltungskalkung

Tabelle 4: Rahmenschema für Grünland zur Einstufung der Kalkversorgung des Bodens in pH-Klasse C (anzustrebender/optimaler pH-Bereich) (VDLUFA, 2000)

Bodenarten- gruppe	Bodenart (Tongehalt in %)	Humusgehalt des Bodens (%)		
		≤ 15	15,1–30	> 30
		pH-Werte der Klasse C		
1	Sand (bis 5)	4,7–5,2	4,3–4,7	
2	Schwach lehmiger Sand (5–12)	5,2–5,7	4,6–5,1	
3	Stark lehmiger Sand (12–17)	5,4–6,0	4,8–5,4	
4	Sandiger/schluffiger Lehm (17–25)	5,6–6,3	5,0–5,7	
5	Toniger Lehm bis Ton (über 25)	5,7–6,5	5,1–5,9	
6	Moorböden ¹⁾			4,3 ²⁾

1) bei vielen Niedermoores liegen die pH-Werte entstehungsbedingt > 6,5

2) keine Erhaltungskalkung

4.3.2 Kalkempfehlung mit dem EUF-Verfahren

Beim EUF-Verfahren erfolgt die Ermittlung des Kalkbedarfs in Abhängigkeit der EUF-Calciumgehalte und der Bodenart. Kalkbedarf liegt vor, wenn EUF-Calcium der zweiten Fraktion kleiner 40 mg/100 g Boden gemessen wird. Je niedriger der EUF-Calcium-Wert ist, umso höher ist der Kalkbedarf. Tonreiche Böden erhalten bei gleichem EUF-Calciumgehalt höhere Kalkempfehlungen. Die Mindestgabe für Sande und lehmige Sande (Bodenartengruppe 1, 2 gemäß VDLUFA-Standpunkt) beträgt bei Kalkbe-

darf 1.000 kg/ha CaO und Fruchtfolge. Bei besser gepufferten Böden (> 15 mg je 100 g Boden EUF-Calcium, zweite Fraktion) beträgt die Mindestgabe bei Kalkbedarf 1.500 kg/ha CaO und Fruchtfolge. Maximal werden beim EUF-Verfahren in Abhängigkeit der Bodenartengruppe (siehe Tabelle 3 und 4) zwischen 1.000 und 4.000 kg/ha CaO und Fruchtfolge empfohlen (Abbildung 9).

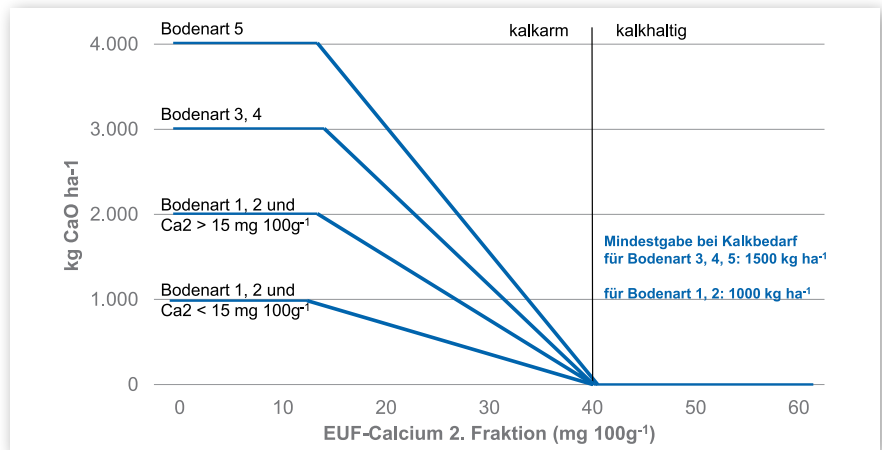


Abbildung 9: Kalkbedarf einer Fruchtfolge in Abhängigkeit von EUF-Calcium und Bodenartengruppe gemäß VDLUFA (s. Tabellen 3 und 4) (Quelle: Bodengesundheitsdienst)

5. Kalkdünger und ihre Eigenschaften

5.1 Qualitätsindikatoren

Kalkdünger unterscheiden sich in der Art der Herkunft, der Bindungsform der basisch wirksamen Verbindungen, der Korngrößenverteilung, der Wirkungsgeschwindigkeit (Reaktivität), der Streufähigkeit und den enthaltenden Nebenbestandteilen. Zur Differenzierung und Beurteilung der Qualität von Kalkdüngern und zur Auswahl eines geeigneten Produktes können Landwirtinnen und Landwirte folgende Indikatoren heranziehen:

- Der **Gesamtgehalt an basisch wirksamen Verbindungen** wird als Neutralisationswert (NW) bezeichnet und in % relativ zu reinem Calciumoxid (CaO) ausgewiesen, welches als 100 % angesetzt wird. Alle Kalkformen lassen sich so, unabhängig von der Form ihrer basisch wirkenden Verbindungen, auf der Basis der Gewichtseinheit vergleichen
- Die **Bindungsform** (Oxid, Hydroxid, Carbonat, Silikat) hat einen Einfluss auf die Wirkungsgeschwindigkeit und die möglichen optimalen Einsatzbereiche
- Die **Mahlfeinheit und Siebsortierung**. Je feiner die Aufmahlung, desto größer ist die Oberfläche und je schneller kann der Kalk im Boden umgesetzt werden. Allerdings hat das geologische Ausgangsgestein vor allem bei kohlen-sauren Kalken auch einen Einfluss auf die Umsetzungsgeschwindigkeit im Boden
- Die **Reaktivität** dient als Vergleichsmaßstab der Umsetzungsgeschwindigkeit der verschiedenen Kalke. Hier besteht wiederum eine enge Beziehung zum Ausgangsgestein und der Mahlfeinheit
- Die **Transport- und Lagereigenschaften** sowie die **Streufähigkeit**. Hierbei sind das spezifische Schüttgewicht und der Feuchtegehalt von Bedeutung, welche die Verteilgenauigkeit und Staubbildung wesentlich beeinflussen können
- Der Gehalt an **zusätzlichen nützlichen Begleitnährstoffen**, wie z. B. Magnesium, Stickstoff, Phosphat, Schwefel, Kieselsäure oder Spurennährstoffe
- Der Gehalt an **unerwünschten Nebenbestandteilen**, z. B. Schwermetalle oder organische Schadstoffe.

5.2 Kalkdüngertypen

Die **Kohlensauren Kalke** und Kohlensauren Magnesiumkalke, stammen aus natürlichen Lagerstätten. Die Nährstoffgehalte variieren in Abhängigkeit der Lagerstätte. Basisch wirksame Bestandteile sind Calcium- und Magnesium-Carbonate (CaCO_3 , MgCO_3). Es können Magnesiumgehalte bis 45 % MgCO_3 enthalten sein.

Die Kohlensauren Kalke sind in Abhängigkeit von der Vermahlung und dem Ausgangs-pH-Wert des Bodens mittelfristig, d.h. innerhalb von Tagen bis einigen Monaten wirksam. Mit diesem Kalkdünger können leichtere und mittlere Böden mit zu niedrigen pH-Werten rasch aufgekalkt und mit einer regelmäßigen Erhaltungskalkung im optimalen pH-Bereich gehalten werden. Mit zunehmendem Magnesiumgehalt sinkt – bei vergleichbarer Korngröße – die Umsetzungsgeschwindigkeit. Die Neutralisationswerte liegen zwischen 42 und 57 % je nach Magnesium-Gehalt. Im Vergleich zu anderen Kohlensauren Kalken wirken Kreidekalke relativ schnell (innerhalb von Tagen bis Wochen).

Branntkalk wird durch einen Entsäuerungsprozess bei hohen Temperaturen (ca. 1.000 °C) aus Kalk- oder Dolomitgestein hergestellt. Basisch wirksame Bestandteile sind Calciumoxid (CaO) und Magnesiumoxid (MgO). Die Neutralisationswerte variieren zwischen 70 und 111 % NW (s. Fußnote bei Tabelle 5).

Der Kalkdüngertyp **Mischkalk** besteht aus Mischungen von carbonatischen Kalken mit Branntkalk. Brannt- und Mischkalke wirken kurzfristig und eignen sich daher besonders für mittlere und schwere Böden zur Auf- und Gesundungskalkung und zur Verbesserung der Bodenstruktur. Die Neutralisationswerte von Mischkalken variieren zwischen 50 und 60 % NW.

Die **Hütten- und Konverterkalke** bestehen im Wesentlichen aus silikatischen Verbindungen (CaSiO_3 , MgSiO_3). Sie sind Nebenprodukte aus der Eisen- und Stahlherstellung und werden durch Vermahlen und Absieben hergestellt. Neben den silikatischen liegen noch geringe Anteile in oxidischen, hydroxidischen oder karbonatischen Bindungsformen vor. Je nach verwendetem Einsatzstoff können variierende Gehalte an Magnesium sowie weitere Haupt- und Spurennährstoffe wie Phosphat oder Mangan enthalten sein. Die mit 8–20 % enthaltene freie Kieselsäure hat einen zusätzlichen strukturverbessernden Effekt und verbessert die Pflanzenverfügbarkeit des im Boden gebundenen Phosphats. In ihrer Wirkung und ihren Einsatzbereichen sind sie den Kohlensauren Kalken vergleichbar. Die Neutralisationswerte variieren zwischen 40–50 % NW.

Carbokalk ist ein Kalkdünger aus der Verarbeitung von Zuckerrüben. Der Kalk liegt als sekundäres Carbonat vor. Carbokalk hat wegen seiner Feinkörnigkeit eine schnelle Wirkung. Carbokalk enthält nennenswerte Mengen an verfügbarem Stickstoff (ca. 0,3 % N), Phosphat (0,5–1,4 % P_2O_5) sowie Magnesium. Die Neutralisationswerte variieren zwischen 15–25 % NW.

In der Düngemittelverordnung werden in Tabelle 6.4 der Anlage 2 die Ausgangsstoffe für Kalkdünger aufgeführt, die als **Nebenprodukte bei verschiedenen industriellen Produktionsprozessen** anfallen. Die Herkunft ist in der Deklaration anzugeben (Kalkdünger aus ...). Die Kalkdünger können Oxide, Hydroxide und Carbonate von Calcium oder Magnesium enthalten. Bei der Anwendung sollte je nach Boden auf die chemische Bindungsform, die Vermahlung und den Kalkgehalt (Neutralisationswert) geachtet werden.

Für alle Kalkdünger gelten die in der Düngemittelverordnung aufgeführten Schadstoff-Grenzwerte, die beim Inverkehrbringen nicht überschritten werden dürfen.

Eine Zusammenfassung der Kalkdüngertypen gemäß Düngemittelverordnung mit ihren Eigenschaften und Einsatzbereichen gibt Tabelle 5:

Tabelle 5: Kalkdüngertypen

Kalkdüngertyp	Herkunft/ Herstellung	Basische Bindungsform	Neutralisations- wert (NW in % CaO)	Wirkungs- geschwindigkeit	Nebenbestand- teile	Einsatzbereiche
Kohlensäure Kalke Kohlensäure Magnesium Kalke	Natürliche Lagerstätten Brechen, Vermahlen, Sieben	CaCO ₃ 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
Branntkalke Magnesium-Branntkalke	Natürliche Lagerstätten Brennen, Vermahlen, Sieben	CaO MgO	70–111 ¹⁾	kurzfristig (innerhalb von einigen Stunden)	Magnesium (0–22% MgO)	Mittlere bis schwere Böden Aufkalkung Gesundungskalkung 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 Gesundungskalkung 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 verschie- dener 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

5.3 Kalkulation der Kalk- bzw. Produktmengen (Umrechnung)

Der Kalkbedarf wird in der Regel mit dem Ergebnis der Bodenuntersuchung geliefert und in kg/ha CaO oder t/ha CaO angegeben. Bei den verschiedenen Kalkdüngertypen wird der Neutralisationswert in % CaO angegeben. Somit kann mit Hilfe des Neutralisationswerts unmittelbar die benötigte Produktmenge errechnet werden.

Beispielrechnung zur Erhaltungskalkung mit Kohlensaurem Kalk

(ausgehend vom Neutralisationswert):

Kalkbedarf: 1.500 kg/ha CaO (in der Regel für 3 Jahre)

Produkt mit Neutralisationswert 50 % CaO, das entspricht 50 kg CaO je 100 kg Produkt

Benötigte Produktmenge: $1.500 \text{ kg/ha CaO} / 50 \text{ kg CaO} * 100 \text{ kg Produkt} = 3.000 \text{ kg/ha Produkt}$

Zu Umrechnung der Düngemitteltypen Kohlensaurer Kalk/Kohlensaurer Magnesiumkalk auf den CaO-Gehalt gelten folgende Umrechnungsfaktoren:

$\text{CaCO}_3 \times 0,56 = \text{CaO}$ ($\text{CaO} \times 1,785 = \text{CaCO}_3$)

$\text{MgCO}_3 \times 0,478 = \text{MgO}$ ($\text{MgO} \times 2,092 = \text{MgCO}_3$)

MgO-Gehalte können rechnerisch in CaO (Neutralisationswert) umgerechnet werden:

$\text{MgO} \times 1,391 = \text{CaO}$

Bei Kohlensuren Kalkdüngern mit Gehalten zwischen 75%–95 % $\text{CaCO}_3/\text{MgCO}_3$ ist der Gehalt bei der Berechnung der Warenmenge zu berücksichtigen.

Beispielrechnung zur Erhaltungskalkung mit Kohlensaurem Kalk

(ausgehend vom Calciumcarbonatgehalt):

Produkt mit Calciumcarbonatgehalt von 90%:

$90\% \text{ CaCO}_3 * 0,56 = 50\% \text{ CaO}$, das entspricht 50 kg CaO je 100 kg Produkt

Benötigte Produktmenge: $1.500 \text{ kg/ha CaO} / 50 \text{ kg CaO} * 100 \text{ kg Produkt} = 3.000 \text{ kg/ha Produkt}$

5.4 DLG-Qualitätssicherung für Düngekalk

Die DLG prüft seit vielen Jahren die Qualität von Düngekalken und vergibt für positive Testergebnisse das „DLG-Qualitätssiegel für Düngekalke“. Düngekalke mit DLG-Qualitätssiegel bieten geprüfte und im Premiumsegment über die gesetzlichen Anforderungen hinaus gehende Qualität.

Qualitätsgesicherte Kalkdünger bieten dem Anwender folgende Vorteile:

- Regelmäßige Qualitätsüberwachung beim Hersteller
- Wiederkehrende Fremdüberwachung der Produktion durch externe Prüfung
- Rückverfolgbarer, sicherer Produktionsprozess
- Gleichbleibend hohe Produktqualität
- Sichere Wirkung zur pH-Steuerung, Strukturstabilisierung und Nährstoffverfügbarkeit.

Sie sind auf folgender Website zu finden:

<https://www.dlg.org/de/landwirtschaft/tests/suche-nach-pruefberichten/#!/p/4/u/280/1>

Die teilnehmenden Firmen sind in einer Tabelle aufgeführt unter:

http://www.guetezeichen.de/cgi-bin/gz_duengekalk.cgi?sort=Firma

Weitergehende Informationen sind auf der Website der DLG zu finden unter:

<https://www.dlg.org/de/landwirtschaft/tests/informationen-fuer-hersteller/betriebsmittel-pruefungen-und-dienstleistungen/duengekalk/>

6. Kalkung

6.1 Erhaltungskalkung

Unter Erhaltungskalkung versteht man die regelmäßige Zufuhr des Erhaltungsbedarfs an Kalk eines im optimalen pH-Zustand befindlichen Bodens (pH-Klasse C). Damit sollen die kontinuierliche Versauerung und die unvermeidlichen Calcium-Verluste ausgeglichen werden.

In Tabelle 1 sind zur Orientierung Näherungswerte für die Kalkverluste pro Jahr wiedergegeben, die allerdings nur zur Grobkalkulation der Erhaltungskalkung dienen können. Sie ersetzen nicht die standortspezifische Ermittlung der tatsächlich benötigten Aufwandmengen mittels Bodenuntersuchung (pH-Wert Messung, Bodenart- und Humusgehalt-Bestimmung) nach dem VDLUFA-Schema. (siehe Tabellen im Anhang).

6.2 Aufkalkung

Auf stärker versauerten Standorten (pH-Klasse B) ist über den Erhaltungsbedarf hinaus eine Aufkalkung vorzunehmen. Die für den erhöhten Kalkbedarf erforderlichen Mengen sind detailliert in den Tabellen im Anhang aufgeführt. Die Kalkdüngung soll bevorzugt zu den kalksensibleren Kulturen (s. Kapitel 7.3) erfolgen.

6.3 Gesundungskalkung (Meliorative Kalkung)

Eine Gesundungskalkung ist dringend angeraten, wenn der pH-Wert in Klasse A liegt. Die dann notwendigen sehr hohen Kalkmengen zur grundlegenden Verbesserung sollen auf mehrere Jahre aufgeteilt werden. Dabei sollten die folgenden Mengen an CaO-Äquivalenten je Ausbringungsgang nicht überschritten werden: leichte Böden 30 dt CaO/ha, mittlere Böden 60 dt CaO/ha und schwere Böden 90 dt CaO/ha.

6.4 Strukturkalkung/Vorsaatkalkung

Unter Strukturkalkung ist der Einsatz von schnell wirkenden Kalkdüngern zur Stabilisierung von zur Verschlämmung und Strukturschäden neigenden Böden zu verstehen. Der Kalk wird vor der Aussaat (Vorsaatkalkung) oberflächennah flach eingearbeitet. Dabei werden geringe Mengen (500 kg/ha CaO entsprechend ca. 1.000 kg/ha Kohlensaurem Kalk) eingesetzt. Diese Maßnahme kann auch auf Böden mit optimalem pH-Wert sinnvoll sein, wenn nach größeren Niederschlägen in den oberen cm des Bodens Calcium ausgewaschen wurde. Aufgrund der geringen Kalkmenge wird der pH-Wert auf mittleren und schweren Böden nur unwesentlich verändert.

7. Durchführung der Kalkdüngung

7.1 Kalkungszeiträume

Grundsätzlich bestehen für die Ausbringung des Kalkes keine engen zeitlichen Vorgaben. Aus Gründen des Schutzes des Bodens vor Bodenverdichtungen soll die Kalkdüngung nur auf tragfähigem Boden erfolgen und wenn keine Beeinträchtigungen des Pflanzenbestandes zu erwarten sind (Abbildung 10). Die Ausbringung des Kalkdüngers auf die Stoppel ist daher der Regelfall. Die Orientierung an vorhandenen Fahrgassen oder die Nutzung von Parallelfahrssystemen ermöglichen auf dem Stoppelfeld eine exakte und schlagkräftige Ausbringung. Mit der nachfolgenden Stoppelbearbeitung wird der Kalk in die oberste Bodenschicht eingemischt, so dass eine rasche Wirkung einsetzen kann. Um spezielle Effekte der Kalkung hinsichtlich der Verbesserung der Bodenstruktur und der Nährstoffverfügbarkeit zu nutzen, ist eine Kalkung vor der Saat (Vorsaatkalkung) oder eine Kopfkalkung zu ausgewählten Kulturen hilfreich. Auf Grünland soll der Düngekalk durch Abschleppen zeitnah nach dem Ausbringen in die Narbe eingearbeitet werden.

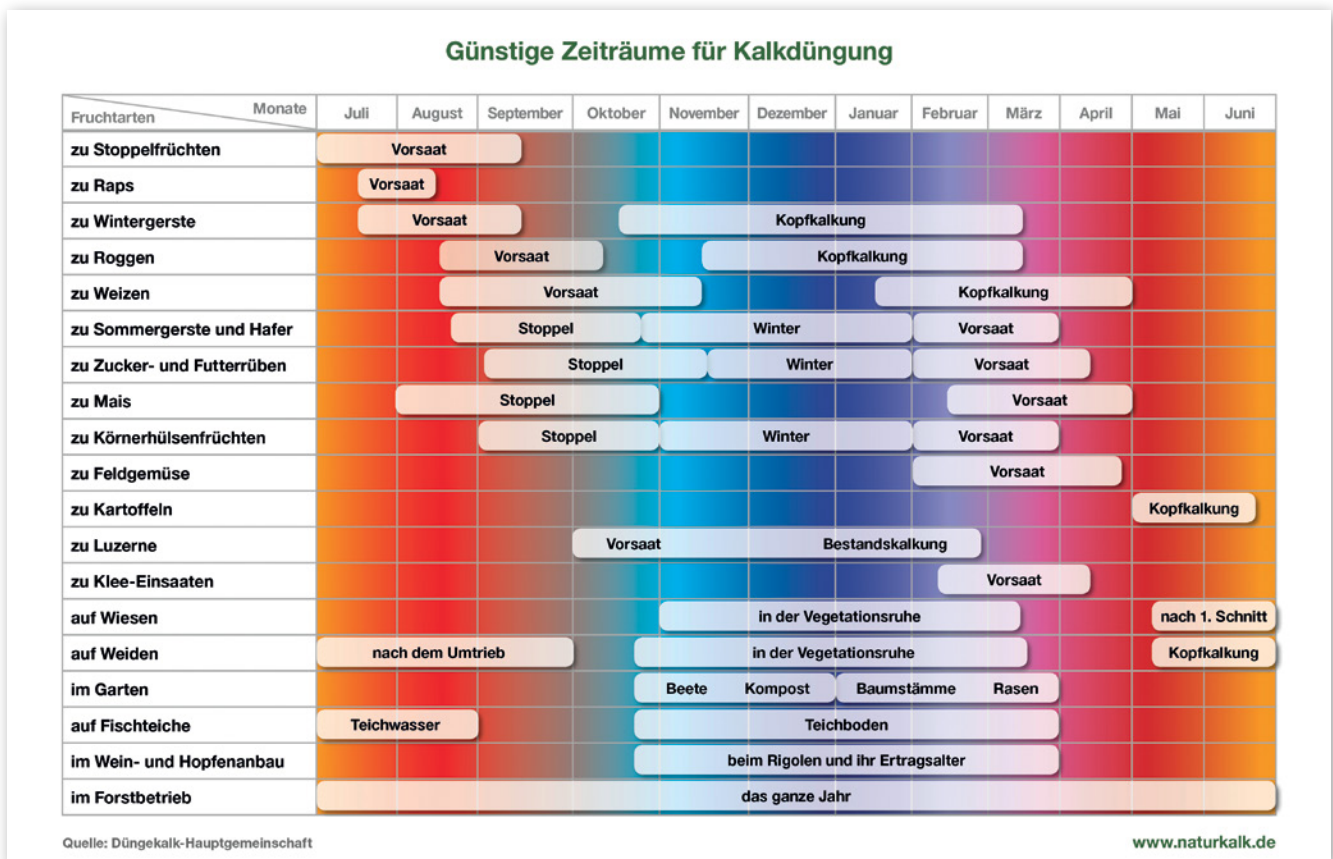


Abbildung 10: Ausbringungszeiträume für Kalkdünger zu verschiedenen Kulturen (Quelle: DHG, 2019)

7.2 Pflanzenbauliche Aspekte; optimale pH-Werte für Pflanzen

Der Anspruch verschiedener Kulturen an den pH-Wert des Bodens variiert deutlich. Daher gibt es pflanzenartspezifische pH-Ansprüche für optimales Wachstum und Erträge. Als „vorwiegend kalkanspruchsvoll“ eingestufte Kulturen reagieren – in Abhängigkeit von den jeweiligen Standortfaktoren – auf eine vorausgehende Kalkung positiv hinsichtlich Ertrag und Qualität (Tabelle 6). Eine Kalkungsmaßnahme sollte deshalb im Rahmen einer Fruchtfolge bevorzugt vor der Saat bzw. Pflanzung entspre-

chend kalkanspruchsvoller Kulturen erfolgen. Außerdem können dadurch aus pflanzenbaulicher Sicht positive Nebenwirkungen einer Kalkung genutzt werden wie z. B. durch die Verwendung von Branntkalk die Reduzierung von Schneckenbefall und Kohlhernie bei Raps. Ein negativer Einfluss einer Kalkung auf den Schorfbefall bei Kartoffeln konnte mit neueren Untersuchungen nicht nachgewiesen werden (Nitsch, 2013). Bei Kartoffeln wie auch bei den in Tabelle 6 genannten Kulturen ist es sinnvoll, den pH-Wert auf den für den Standort (Bodenart) optimalen Wert einzustellen.

Tabelle 6: Ansprüche wichtiger landwirtschaftlicher und gartenbaulicher Kulturen an die Bodenreaktion (verändert nach Schilling, 2000)

Hoher Kalkanspruch	Mittlerer/geringer Kalkanspruch
Winter- und Sommergerste	Weizen, Durum, Dinkel
Futter- und Zuckerrüben	Winter- und Sommerroggen, Hafer
Mais	Kartoffeln
Winter- und Sommerraps	Serradella
Luzerne, Rotklee	Lein
Espartette, Steinklee	Gemüseerbsen
Senf	Gurke, Kürbis
Ackerbohne, Sojabohne	Tomate, Petersilie
Weißer Lupine	Gelbe Lupine
Rote Rüben	Möhren, Kohlrüben

7.3 Wechselwirkungen mit anderen Düngern

Schnell wirksame Kalke wie Brannt- und Mischkalk führen zu einem kurzfristigen raschen Anstieg des pH-Wertes. Um eine negative Wechselwirkung mit organischen und ammoniumhaltigen Düngern zu vermeiden, ist entweder ein größerer Zeitabstand zwischen der Ausbringung einzuhalten oder besser eine mischende Bodenbearbeitung zwischen den Düngemaßnahmen durchzuführen.

Bei der Ausbringung von Kohlensäuren Kalkdüngern im Zusammenhang mit einer Düngung von Gülle, Gärresten oder Stallmist sind keine kalkbedingten gasförmigen N-Verluste zu erwarten. Kalkdünger, die Anteile von Branntkalk (CaO/MgO) enthalten, müssen vor der Gülleausbringung eingearbeitet werden.

Wechselwirkungen sind auch bei Phosphatdüngern mit einem höheren Anteil an wasserlöslichem Phosphat zu berücksichtigen. Die wasserlösliche Phosphatfraktion kann bei hohem Calciumangebot bei pH-Werten über 7,0 besonders schnell in weniger pflanzenverfügbare Phosphatfraktionen überführt werden („P-Alterung“).

Bei höheren Gaben von kurzfristig wirkenden Kalken kann über diesen Zeitraum die Mobilität von Mikronährstoffen wie Kupfer, Zink und Mangan eingeschränkt sein. Sollte gleichzeitig die Bodenversorgung niedrig sein (Gehaltsklasse A), ist eine Ausgleichsdüngung mit diesen Mikronährstoffen empfehlenswert. Die in Konverterkalken enthaltenen Spurennährstoffe können zur Mikronährstoffversorgung beitragen.

7.4 Umschlags- und Ausbringtechnik

Aus betriebs- und arbeitswirtschaftlichen Gründen hat im landwirtschaftlichen Bereich die Lose-Kalkstreuetechnik die größte Verbreitung erlangt. Die meisten Düngelkalken werden in angefeuchteter Form direkt zum landwirtschaftlichen Betrieb oder auf die zu kalkende Fläche per Kipper-LKW angeliefert. Teilweise wird auch die Selbstabholung im Kalkwerk oder die Zwischenlagerung beim regionalen Landhandel angeboten. Angefeuchtete Kalken werden mit entsprechender Großflächen-Streutechnik mit groß dimensionierten Tellerstreuerwerken ausgebracht. Die Beladung der Kalkstreuer kann durch Schlepper mit Frontlader, Rad- oder Teleskoplader oder am Streuer integrierte Hydraulikbagger erfolgen.

Angefeuchtete Kalken werden meist im Freilager gelagert. Für eine gleichmäßige und staubarme Verteilung des Kalkes auf der Fläche ist eine ausreichende und gleichmäßige Durchfeuchtung des Kalkes notwendig. Bei sehr hochwertigen, feinstvermahlenden Kalken ist zu empfehlen, bei längerer Zwischenlagerung das Haufwerk durch Abdecken vor Austrocknen oder übermäßiger Durchfeuchtung zu schützen.

Überbetrieblicher Maschineneinsatz hat auch bei der Kalkdüngung große Bedeutung erlangt. Lohnunternehmer, Maschinenringe und Landhandel bringen Kalk mit Großflächenstreuern aus oder vermieten diese.

Trockene mehlartige Düngelkalken werden als lose Ware, im Bigbag oder als Sackware angeboten. Zur Lagerung sind bei loser Ware Stahlsilos geeignet. Bei Branntkalk sind grundsätzlich Maßnahmen gegen Feuchtigkeitszutritt zu ergreifen, da diese mit Wasser schnell unter Bildung von Löschkalk reagieren. Die Anlieferung erfolgt mit Silo-LKW oder bei Bigbags oder Sackware mit dem Sattelzug. Die Ausbringung trockener mehlartiger Kalkdünger erfordert Großflächen-Streutechnik mit Streuschnecken für die bodennahe und staubarme Applikation. Granulierte Kalken können mit Großflächenstreuern oder auch mit herkömmlichen Düngerstreuern staubarm ausgebracht werden. Vor allem bei der Kopfkalkung im Bestand bietet diese Technik die gewünschte Verteilgenauigkeit.

Wie bei den anderen Düngemitteln ist auch bei der Ausbringung von Düngelkalken auf eine gute Verteilqualität zu achten. Die Streueigenschaften der Düngelkalken können stark variieren. Sie werden in erster Linie durch das spezifische Gewicht, die Korngrößen und die Siebfractionierung sowie durch die Feuchte des Streuguts beeinflusst. Um gute Streuergebnisse zu erzielen, muss die eingesetzte Technik daher über Möglichkeiten verfügen, die dem Landwirt oder dem Lohnunternehmer eine optimale Einstellung der Maschinen auf die unterschiedlichen Streugüter erlaubt.

Das flache Einarbeiten des Kalkes auf Ackerland beschleunigt die Umsetzung durch die intensivere Durchmischung. Auf Grünland soll der Düngelkalk nach Möglichkeit durch Abschleppen zeitnah nach dem Ausbringen in die Narbe eingearbeitet werden.

7.5 Teilflächenspezifische Kalkung

Wie in den vorangegangenen Abschnitten ausgeführt, variieren sowohl der Ziel-pH-Wertkorridor als auch die zur Aufdüngung erforderliche Kalkmenge in Abhängigkeit von Bodenart (Sand bis Ton), Humusgehalt und Nutzung (Ackerland oder Grünland).

Auf großen zusammenhängenden Flächen mit häufig stark heterogenen Bodenverhältnissen ist eine Kalkdüngung anhand des Mittelwertes häufig unwirtschaftlich, da ein Teil der Flächen zu viel, ein anderer Teil aber zu wenig Kalk erhält. Für eine teilflächenspezifische Kalkung ist daher zunächst eine

genaue Erfassung der Bodenarten und des Humusgehaltes (bei sehr humosen bis anmoorigen Verhältnissen) notwendig. Die Vorgehensweise zu einer Unterteilung des Schläges in Teilflächen ist detailliert bei Lorenz u. Münchhoff, 2015, beschrieben.

Die Notwendigkeit einer teilflächenspezifischen Bodenuntersuchung (s. Lorenz u. Münchhoff, 2018, DLG-Merkblatt 407) und einer hierauf beruhenden teilflächenspezifischen Kalkung wird in der Abbildung 12 deutlich. Zwischen und innerhalb der sechs Schläge schwankt der pH-Wert über vier Gehaltsklassen. Diese Differenzierung wurde erst nach der bodenkundlichen Unterteilung in Teilschläge in Ausmaß, Lage und Bedeutung sichtbar.

8. Wirtschaftlichkeit der Kalkung

Die Kalkung ist eine mittelfristige Investition. Die Kosten der Kalkung sollen durch Erlöse oder Einsparungen mindestens gedeckt, besser übertroffen werden. Die Ertragswirksamkeit der Kalkung bzw. des standortspezifische pH-Wertes ist durch eine Vielzahl von Exaktversuchen belegt und Grundlage der Empfehlungen des VDLUFA-Standpunktes zur Kalkung. Neben den rein wirtschaftlichen Erwägungen spielen heute aber auch ökologische und bodenschonende Aspekte eine zunehmende Rolle. Die positiven Effekte hinsichtlich besserer, günstiger Bodenstruktur, verminderter Erosionsgefahr, schnellerer Wasserinfiltration, höhere nutzbare Feldkapazität (nFK), bessere Ausnutzung der Nährstoffe sowie Stärkung des Bodenlebens sind im Einzelfall schwer monetär zu bewerten. Landwirte bewerten den Erfolg einer Kalkung aufgrund eigener Erfahrungen. Die Kalkdüngung ist ein Beitrag für eine nachhaltige Bewirtschaftung und Teil der guten fachlichen Praxis.

Kosten der Kalkung

Die Kosten der Kalkung hängen von verschiedenen Faktoren ab. Neben der Qualität des Kalkes haben die gelieferte Menge, der Transport, der Umschlag und die Lagerung sowie die Ausbringung wesentlichen Einfluss auf die Kosten „frei

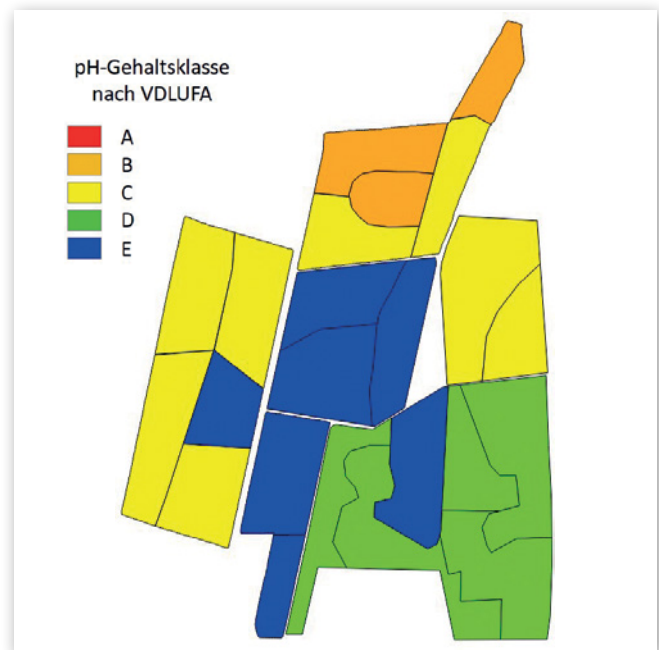


Abbildung 12: Räumliche Differenzierung der pH-Werte auf mehreren Schlägen (76 ha) eines landwirtschaftlichen Betriebes (Quelle: Lorenz)

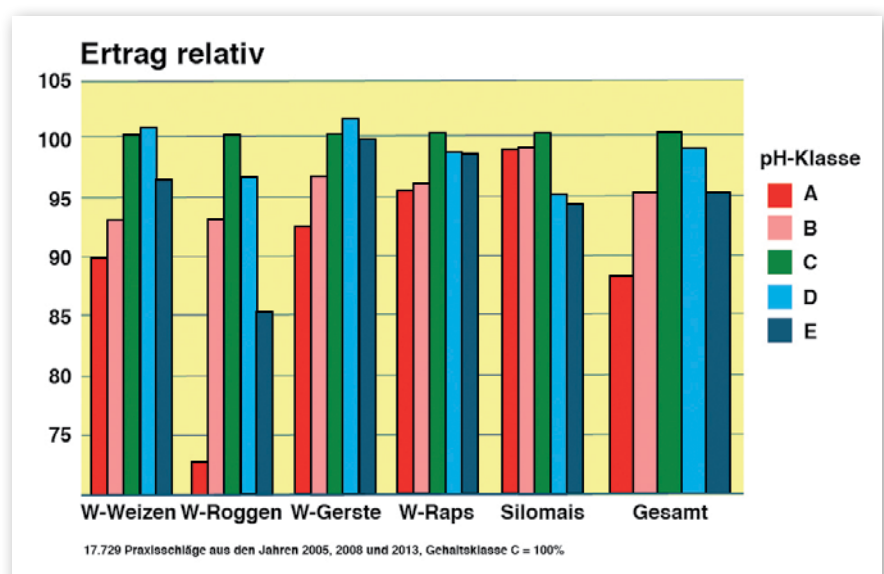


Abbildung 13: Ertrag auf sächsischen Praxisschlägen in Abhängigkeit von der pH-Gehaltsklassen (Quelle: Grunert, 2015)

Acker“. Da die Kalkdünger unterschiedliche Gehalte an basisch wirksamen Bestandteilen haben (Neutralisationswert, entspricht dem Gehalt an CaO) und teilweise zusätzliche Nährstoffe wie Magnesium oder Spurennährstoffe enthalten, bietet der Preis je kg CaO „frei Krume“ die beste Vergleichsmöglichkeit.

Werden z. B. neue Pachtflächen übernommen, deren Kalkzustand sehr schlecht ist, ist die Aufkalkung auf den Ziel-pH-Bereich eine erste notwendige Maßnahme für eine ausreichende Fruchtbarkeit des Ackers zu sorgen. Mit ca. 5 bis 10 t/ha CaO (10 bis 20 t Kohlensaurer Kalk) können die versauerten Böden saniert werden. Die Kosten von 600 bis 1.000 €/ha werden schnell durch Ertragssteigerung und -sicherung gedeckt. Abbildung 13 zeigt die Ertragsabhängigkeit einiger Fruchtarten von den Boden-pH-Wert-Klassen in Sachsen. In den pH-Klassen A und B mit suboptimaler Kalkversorgung ergaben sich durchschnittlich Mindererträge von 5–12%.

Beispiel für einen Kostenvergleich:

Bedarf von 1.500 kg/ha CaO (Ergebnis der Bodenuntersuchung)

Kohlensaurer Kalk mit 90 % CaCO₃; das entspricht 50,4 % CaO (1 t = 500 kg CaO)

Branntkalk mit 90 % CaO (1 t Ware = 900 kg CaO)

Bei dem Bedarf von 1.500 kg/ha CaO werden entweder 3 t/ha Kohlensaurer Kalk 90 oder 1,66 t/ha Branntkalk 90 benötigt

Die in Tabelle 7 unterstellten Preise gelten nur als Beispiel, da regional als auch saisonal erhebliche Preisschwankungen bestehen und die Transportkosten je nach Lieferentfernung deutlich variieren.

Tabelle 7: Beispielkalkulation der Kosten einer Erhaltungskalkung mit 1.500 kg/ha CaO

Kalktyp	Gehalt CaO	Gehalt MgO	Summe basisch wirksamer Bestandteile = NW ¹⁾	Ausbringungsmenge Erhaltungskalkung 1.500 kg/ha CaO	Kosten frei Feld ²⁾	Ausbringkosten ³⁾	Gesamtkosten Erhaltungskalkung 1.500 kg/ha CaO	Gesamtkosten Erhaltungskalkung 1.500 kg/ha CaO
	%	%	% CaO	Tonnen je Hektar	€ je Tonne	€ je Hektar	€ je Hektar	€ je kg CaO
Branntkalk 90, körnig	90	0	90	1,7	125	13	221	0,15
Kohlensaurer Kalk 90	50	0	50	3,0	33	20	119	0,08
Kohlensaurer Mg-Kalk 85 (85/35)	28	17	51	2,9	35	20	123	0,08
Konverterkalk 45	38	7	48	3,1	34	21	127	0,08
Carbokalk	27	2	30	5,0	18	29	119	0,08

¹⁾ NW = Neutralisationswert (ausgedrückt in % CaO)

²⁾ angenommene mittlere Lieferentfernung: 80 km

³⁾ Ausbringung durch Maschinenring bzw. Lohnunternehmer

Wenn eventuell vorhandene Nebenbestandteile (z. B. Stickstoff, Phosphor, Magnesium, Spurenelemente) der in Tabelle 7 aufgeführten Kalkdünger voll genutzt werden können, sind diese Nebenbestandteile finanziell entsprechend zu bewerten. Für eine Beispielrechnung können dabei folgende Preise (ohne MwSt.) unterstellt werden:

1 kg N = 0,70 €,
 1 kg P = 1,70 € / 1 kg P₂O₅ = 0,75 €,
 1 kg MgO = 0,80 € (Referenzpreis aus Kieserit-Preis berechnet)

Zum Beispiel enthält Carbokalk ca. 1,4% P₂O₅. Bei einer Ausbringung von 5 t/ha Ware werden somit ca. 70 kg/ha P₂O₅ ausgebracht, die mit einem Wert von 52,5 €/ha anzurechnen sind. Bei einem Kohlensäuren Magnesiumkalk kann der Mg-Gehalt folgendermaßen bewertet werden: Bei 21% MgO-Gehalt und 2 t/ha Ware werden ca. 420 kg/ha MgO ausgebracht, die mit 336,- €/ha (im Vergleich zu einem anderen Mg-Dünger) zu berücksichtigen sind.

Analog sind auch andere enthaltene wertgebende Nährstoffe zu bewerten.

Eine Kalkung im Rahmen einer Erhaltungskalkung (500 kg/ha CaO pro Jahr) kostet im Durchschnitt ca. 46–60 €/ha pro Jahr (frei Krume). Diese Investition trägt sich bereits bei ca. 3–5% Mehrerträgen, wie sie bei einer Optimierung des Kalkzustandes in vielen Versuchen nachgewiesen werden konnten. Auf diese „Ertragssicherung“ (+ positive Nebenwirkungen für Boden und Bodenleben) zu verzichten, wäre deshalb nicht wirtschaftlich und auch nicht nachhaltig.

Die Kosten für eine Aufkalkung auf stärker vernachlässigten Standorten sind mit 150–200 €/ha deutlich höher, führen aber in der Regel auch zu erheblichen Ertragssteigerungen, so dass sich diese Investition schnell rentiert. Die Aufwendungen für die Kalkung sind – gemessen an den vielseitigen und unverzichtbaren Wirkungen – gering und stets lohnenswert.

9. Fazit

Für den Erhalt von Bodenfruchtbarkeit und Bodengesundheit, für den Bodenschutz und eine nachhaltige landwirtschaftliche Bodennutzung im Rahmen guter landwirtschaftlicher Praxis sind die Einstellung und Erhaltung eines bodenartspezifisch optimalen pH-Wertes und eine entsprechende Kalkversorgung des Bodens zwingend erforderlich. Die Kalkung ist damit eine Basismaßnahme, die allen anderen Düngungsmaßnahmen vorausgehen muss.

Mögen diese Informationen helfen, fruchtbare, gesunde Böden dauerhaft zu erhalten.

10. Literatur

BZL-Heft (2020): Mit Kalk gegen Schwermetalle, <https://www.ble-medien-service.de/search?sSearch=Kalk>
 DHG (2019): Das Düngejahr, DHG-Website, <https://www.naturkalk.de/anwendungen/das-duengejahr/>
 Galler, J. (2013): Kalk – Basis für Bodenfruchtbarkeit, <https://www.naturkalk.de/publikationen/infomaterial/>

- Grunert, M. (2015): Kalkung sichert Bodenfruchtbarkeit und Nährstoffverfügbarkeit, https://www.proplanta.de/agrar-nachrichten/pflanze/kalkung-sichert-bodenfruchtbarkeit-und-naehrstoffverfuegbarkeit_article1437110934.html
- Horn, D., Becker, K. W. (2004): Ermittlung des Kalkstatus von Böden durch die direkte Calciummessung mittels Elektro-Ultrafiltration (EUF). Proceeding of the 67th IIRB congress, 243 – 249
- Lorenz, F., Münchhoff, K. (2015): Teilflächen bewirtschaften – Schritt für Schritt. AgrarPraxis kompakt, DLG-Verlag, Frankfurt am Main.
- Lorenz, F. (2016): Die Kationenbelegung am Austauscherkomplex und das Ca:Mg-Verhältnis im Lichte alter Feldversuchsergebnisse. VDLUFA-Schriftenreihe Band 73/2016, 150-157, VDLUFA-Verlag Darmstadt
- Lorenz, F., Münchhoff, K. (2018): DLG-Merkblatt 407: Teilflächenspezifische Bodenprobenahme und Düngung. 2. Auflage., DLG-Fachzentrum Landwirtschaft, Frankfurt am Main
- Meyer, B., Pollehn, J. (1990): persönliche Mitteilung
- Németh, K., Bartels, H., Heuer, C. und Ziegler, K. (1989): Kalbedarf mittels EUF sicher und genau beurteilen. Zuckerindustrie, Band 114, 336 -338
- Nitsch, A. (2013): Praxishandbuch Kartoffelbau. Agrimedia Verlag, Clenze. Petter, D. (2001): Kalkdüngung braucht langen Atem. Vortrag 31.3.2005
- Schilling, G. (2000): Pflanzenernährung und Düngung, Verlag Eugen Ulmer Stuttgart
- Schmidt, M. (2016): Kalkdüngung – gesunde Ackerböden – optimale Erträge, DLG-Verlag
- Stöven, K. (2002): Kalkung und Bodenleben, Kalk-Informationstag der FAL 2002, <http://boden-fruchtbarkeit.de/bodenfruchtbarkeit-optimieren-fal-naehrstofftage/>
- Tucher, S. von, Schmidhalter, U. (2014): Phosphor verpufft ohne Kalk, BWagrar 16 / 2014
- VDLUFA (2000): Bestimmung des Kalkbedarfs von Acker- und Grünlandböden. VDLUFA-Verlag, Darmstadt
- VDLUFA (2001): Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. I Die Untersuchung von Böden. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- VDLUFA (2002): Bestimmung der durch Elektro-Ultrafiltration (EUF) löslichen Anteile der Elemente Phosphor, Kalium, Calcium, Magnesium, Natrium, Schwefel und Bor in Böden. VDLUFA-Methodenbuch A 6.4.2.
- Yara (2020): <https://www.effizientduengen.de/2018/08/09/kalkduengung-die-grundlage-fuer-sichere-ertraege/>

11. Tabellenanhang

pH-Klassen und Kalkdüngerempfehlungen gemäß VDLUFA-Standpunkt

„Bestimmung des Kalkbedarfs von Acker- und Grünlandböden“ (VDLUFA, 2000)

Tabelle 1: Rahmenschema für **Ackerland** zur Einstufung der Kalkversorgung des Bodens in pH-Klassen (pH-Bestimmung nach CaCl_2 -Methode)

Bodenart/ Bodenartengruppe (BG)	pH-Klasse	Humusgehalt des Bodens				
		< 4	4,1 bis 8,0	8,1 bis 15,0	15,1 bis 30	> 30,0
		pH-Werte der Klassen A bis E				
Sand, S BG 1	A	≤ 4,5	≤ 4,2	≤ 3,9	≤ 3,6	
Tongehalt bis 5%	B	4,6 bis 5,3	4,3 bis 4,9	4,0 bis 4,6	3,7 bis 4,2	
Ton- plus Feinschluffgehalt	C	5,4 bis 5,8	5,0 bis 5,4	4,7 bis 5,1	4,3 bis 4,7	
bis 7%	D	5,9 bis 6,2	5,5 bis 5,8	5,2 bis 5,4	4,8 bis 5,1	
	E	≥ 6,3	≥ 5,9	≥ 5,5	≥ 5,2	
schwach lehmiger Sand, l'S BG 2	A	≤ 4,8	≤ 4,5	≤ 4,1	≤ 3,7	
Tongehalt > 5 bis 12%	B	4,9 bis 5,7	4,6 bis 5,3	4,2 bis 4,9	3,8 bis 4,5	
Ton- plus Feinschluffgehalt	C	5,8 bis 6,3	5,4 bis 5,9	5,0 bis 5,5	4,6 bis 5,1	
> 7 bis 16%	D	6,4 bis 6,7	6,0 bis 6,3	5,6 bis 5,9	5,2 bis 5,5	
	E	≥ 6,8	≥ 6,4	≥ 6,0	≥ 5,6	
stark lehmiger Sand, IS BG 3	A	≤ 5,0	≤ 4,7	≤ 4,3	≤ 3,8	
Tongehalt > 12 bis 17%	B	5,1 bis 6,0	4,8 bis 5,5	4,4 bis 5,1	3,9 bis 4,7	
Ton- plus Feinschluffgehalt	C	6,1 bis 6,7	5,6 bis 6,2	5,2 bis 5,8	4,8 bis 5,4	
> 16 bis 23%	D	6,8 bis 7,1	6,3 bis 6,7	5,9 bis 6,2	5,5 bis 5,8	
	E	≥ 7,2	≥ 6,8	≥ 6,3	≥ 5,9	
sandiger/schluffiger Lehm, sL/uL; BG 4	A	≤ 5,2	≤ 4,9	≤ 4,5	≤ 4,0	
Tongehalt > 17 bis 25%	B	5,3 bis 6,2	5,0 bis 5,7	4,6 bis 5,3	4,1 bis 4,9	
Ton- plus Feinschluffgehalt	C	6,3 bis 7,0 ¹⁾	5,8 bis 6,5	5,4 bis 6,1	5,0 bis 5,7	
> 23 bis 35%	D	7,1 bis 7,4	6,6 bis 7,0	6,2 bis 6,5	5,8 bis 6,1	
	E	≥ 7,5	≥ 7,1	≥ 6,6	≥ 6,2	
schwach toniger Lehm bis Ton, t'L, tL, IT, T BG 5; Tongehalt > 25%	A	≤ 5,3	≤ 4,9	≤ 4,5	≤ 4,0	
Ton- plus Feinschluffgehalt	B	5,4 bis 6,3	5,0 bis 5,8	4,6 bis 5,4	4,1 bis 5,0	
> 35%	C	6,4 bis 7,2 ¹⁾	5,9 bis 6,7	5,5 bis 6,3	5,1 bis 5,9	
	D	7,3 bis 7,7	6,8 bis 7,2	6,4 bis 6,7	6,0 bis 6,3	
	E	≥ 7,8	≥ 7,3	≥ 6,8	≥ 6,4	
Hochmoor und saure	A, B					≤ 4,2
Niedermoore, Mo ²⁾	C					4,3
BG 6	D, E					≥ 4,4

1) Auf karbonathaltigen Böden (freier Kalk): keine Erhaltungskalkung

2) Auf sauren organischen Böden wird Ackernutzung nicht empfohlen. Auf einem Großteil der Niedermoore liegen die pH-Werte gegen bedingt > 6,5.

Tabelle 2: Kalkdüngungsbedarf von Ackerböden: pH-CaCl₂-Werte und jeweils zugehörige Kalkmengen in dt CaO/ha¹) zur Erreichung und Erhaltung des optimalen pH-Bereiches. Die empfohlenen Gaben beinhalten den Kalkbedarf bis zur nächsten Bodenuntersuchung (nach Ablauf einer Fruchtfolge)

pH-Klasse	Humusgehalt							
	≤ 4,0%		4,1 bis 8,0%		8,1 bis 15,0%		15,1 bis 30%	
	pH	CaO	pH	CaO	pH	CaO	pH	CaO
Bodenartengruppe 1: S – Sand								
A	≤ 4,0	45	≤ 3,7	50	≤ 3,4	50	≤ 3,1	21
	4,1	42	3,8	46	3,5	47	3,2	19
	4,2	39	3,9	43	3,6	43	3,3	18
	4,3	36	4,0	39	3,7	39	3,4	16
	4,4	33	4,1	35	3,8	35	3,5	15
	4,5	30	4,2	32	3,9	31	3,6	13
B	4,6	27	4,3	28	4,0	28	3,7	12
	4,7	24	4,4	24	4,1	24	3,8	10
	4,8	22	4,5	21	4,2	20	3,9	9
	4,9	19	4,6	17	4,3	16	4,0	7
	5,0	16	4,7	13	4,4	13	4,1	6
	5,1	13	4,8	10	4,5	9	4,2	4
	5,2	10	4,9	6	4,6	5		
5,3	7							
C	5,4–5,8	6	5,0–5,4	5	4,7–5,1	4	4,3–4,7	3
D	5,9–6,2	–	5,5–5,8	–	5,2–5,4	–	4,8–5,1	–
E	≥ 6,3	–	≥ 5,9	–	≥ 5,5	–	≥ 5,2	–
Bodenartengruppe 2: l'S – schwach lehmiger Sand								
A	≤ 4,0	77	≤ 3,7	82	≤ 3,3	83	–	–
	4,1	73	3,8	78	3,4	78	≤ 3,0	31
	4,2	69	3,9	73	3,5	74	3,1	29
	4,3	65	4,0	69	3,6	69	3,2	27
	4,4	61	4,1	64	3,7	64	3,3	26
	4,5	57	4,2	60	3,8	60	3,4	24
	4,6	53	4,3	55	3,9	55	3,5	22
	4,7	49	4,4	51	4,0	51	3,6	20
	4,8	46	4,5	46	4,1	46	3,7	19
B	4,9	42	4,6	42	4,2	41	3,8	17
	5,0	38	4,7	37	4,3	37	3,9	15
	5,1	34	4,8	33	4,4	32	4,0	14
	5,2	30	4,9	28	4,5	27	4,1	12
	5,3	26	5,0	24	4,6	23	4,2	10
	5,4	22	5,1	19	4,7	18	4,3	8
	5,5	19	5,2	15	4,8	13	4,4	7
	5,6	15	5,3	10	4,9	9	4,5	5
	5,7	11						
C	5,8–6,3	10	5,4–5,9	9	5,0–5,5	8	4,6–5,1	4
D	6,4–6,7	–	6,0–6,3	–	5,6–5,9	–	5,2–5,5	–
E	≥ 6,8	–	≥ 6,4	–	≥ 6,0	–	≥ 5,6	–

noch Tabelle 2: **Kalkdüngungsbedarf von Ackerböden: pH-CaCl₂-Werte und jeweils zugehörige Kalkmengen in dt CaO/ha¹⁾ zur Erreichung und Erhaltung des optimalen pH-Bereiches. Die empfohlenen Gaben beinhalten den Kalkbedarf bis zur nächsten Bodenuntersuchung (nach Ablauf einer Fruchtfolge)**

pH-Klasse	Humusgehalt							
	≤ 4,0%		4,1 bis 8,0%		8,1 bis 15,0%		15,1 bis 30%	
	pH	CaO	pH	CaO	pH	CaO	pH	CaO
Bodenartengruppe 3: IS – stark lehmiger Sand								
A	≤ 4,5	87	≤ 4,2	89	≤ 3,8	90	≤ 3,3	33
	4,6	82	4,3	83	3,9	84	3,4	31
	4,7	77	4,4	77	4,0	78	3,5	29
	4,8	73	4,5	71	4,1	72	3,6	27
	4,9	68	4,6	66	4,2	66	3,7	25
	5,0	63	4,7	60	4,3	60	3,8	23
B	5,1	58	4,8	54	4,4	54	3,9	21
	5,2	53	4,9	48	4,5	48	4,0	19
	5,3	49	5,0	42	4,6	42	4,1	17
	5,4	44	5,1	36	4,7	35	4,2	15
	5,5	39	5,2	31	4,8	29	4,3	14
	5,6	34	5,3	25	4,9	23	4,4	12
	5,7	29	5,4	19	5,0	17	4,5	10
	5,8	25	5,5	13	5,1	11	4,6	8
	5,9	20					4,7	6
	6,0	15						
C	6,1–6,7	14	5,6–6,2	12	5,2–5,8	10	4,8–5,4	5
D	6,8–7,1		6,3–6,7	–	5,9–6,2	–	5,5–5,8	–
E	≥ 7,2	–	≥ 6,8	–	≥ 6,3	–	≥ 5,9	–
Bodenartengruppe 4: sL/uL – sandiger bis schluffiger Lehm								
A	≤ 4,5	117	≤ 4,2	115	≤ 3,8	109	≤ 3,3	39
	4,6	111	4,3	108	3,9	103	3,4	37
	4,7	105	4,4	102	4,0	97	3,5	35
	4,8	100	4,5	95	4,1	90	3,6	33
	4,9	94	4,6	89	4,2	84	3,7	31
	5,0	88	4,7	82	4,3	78	3,8	29
	5,1	82	4,8	75	4,4	71	3,9	27
	5,2	76	4,9	69	4,5	65	4,0	25
B	5,3	70	5,0	62	4,6	59	4,1	23
	5,4	65	5,1	55	4,7	52	4,2	21
	5,5	59	5,2	49	4,8	46	4,3	19
	5,6	53	5,3	42	4,9	40	4,4	17
	5,7	47	5,4	36	5,0	33	4,5	15
	5,8	41	5,5	29	5,1	27	4,6	13
	5,9	36	5,6	22	5,2	21	4,7	11
	6,0	30	5,7	16	5,3	14	4,8	9
	6,1	24					4,9	7
	6,2	18						
C	6,3–7,0	17	5,8–6,5	15	5,4–6,1	13	5,0–5,7	6
D	7,1–7,4	–	6,6–7,0	–	6,2–6,5	–	5,8–6,1	–
E	≥ 7,5	–	≥ 7,1	–	≥ 6,6	–	≥ 6,2	–

noch Tabelle 2: **Kalkdüngungsbedarf von Ackerböden: pH-CaCl₂-Werte und jeweils zugehörige Kalkmengen in dt CaO/ha¹⁾ zur Erreichung und Erhaltung des optimalen pH-Bereiches. Die empfohlenen Gaben beinhalten den Kalkbedarf bis zur nächsten Bodenuntersuchung (nach Ablauf einer Fruchtfolge)**

pH-Klasse	Humusgehalt									
	≤ 4,0%		4,1 bis 8,0%		8,1 bis 15,0%		15,1 bis 30,0%		≥ 30,0%	
	pH	CaO	pH	CaO	pH	CaO	pH	CaO	pH	CaO
Bodenartengruppe 5: t¹/L/tL/IT/T – schwach toniger Lehm bis Ton										
A	≤ 4,5	160	≤ 4,2	137	≤ 3,8	121	≤ 3,3	44		
	4,6	152	4,3	130	3,9	115	3,4	41		
	4,7	144	4,4	123	4,0	108	3,5	39		
	4,8	136	4,5	115	4,1	102	3,6	37		
	4,9	128	4,6	108	4,2	95	3,7	35		
	5,0	121	4,7	100	4,3	89	3,8	33		
	5,1	113	4,8	93	4,4	82	3,9	31		
	5,2	105	4,9	86	4,5	76	4,0	29		
	5,3	98								
B	5,4	90	5,0	78	4,6	69	4,1	27		
	5,5	82	5,1	71	4,7	63	4,2	25		
	5,6	75	5,2	69	4,8	56	4,3	23		
	5,7	67	5,3	56	4,9	50	4,4	21		
	5,8	59	5,4	49	5,0	43	4,5	19		
	5,9	52	5,5	41	5,1	37	4,6	17		
	6,0	44	5,6	34	5,2	30	4,7	14		
	6,1	36	5,7	27	5,3	24	4,8	12		
	6,2	29	5,8	19	5,4	17	4,9	10		
	6,3	21					5,0	8		
C	6,4–7,2	20	5,9–6,7	18	5,5–6,3	16	5,1–5,9	7		
D	7,3–7,7	–	6,8–7,2	–	6,4–6,7	–	6,0–6,3	–		
E	≥ 7,8	–	≥ 7,3	–	≥ 6,8	–	≥ 6,4	–		
Bodenartengruppe 6: Mo – Hochmoor und saure Niedermoore, Humusgehalt > 30%										
A, B									≤ 4,2	10
C									4,3	– ²⁾
D, E									≥ 4,4	–

1) Errechnet mittels biostatistischer Verfahren aus Ergebnissen von Kalkdüngungsdauerversuchen; Werte für Praxisempfehlungen runden.

2) Keine Erhaltungskalkung

DLG-Merkblätter. Wissen für die Praxis.

- DLG-Merkblatt 407
**Teilflächenspezifische Boden-
probenahme und Düngung**
- DLG-Merkblatt 426
Die Düngeverordnung umsetzen
- DLG-Merkblatt 445
Einsatz von Mineraldüngerstreuern
- DLG-Kompakt 02/2019
Kationenaustauschkapazität
- **Aus dem DLG-Verlag:**
Agrarpraxis kompakt, Kalkdüngung



Download unter www.DLG.org/Merkblaetter



DLG e.V.
Mitgliederservice
Eschborner Landstraße 122 • 60489 Frankfurt am Main
Deutschland
Tel. +49 69 24788-205 • Fax +49 69 24788-124
Info@DLG.org • www.DLG.org