

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

Alle Informationen und Hinweise ohne jede Gewähr und Haftung

Herausgeber:

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

1. Auflage, Stand: 07/2020

© 2020

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
6.5 Unsachgemäße Kalkung	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.

In anderer Literatur wie auch in diesem Merkblatt wird häufig vom „pH-Wert des Bodens“ geschrieben. In diesem Merkblatt beziehen sich pH-Angaben auf die in Kapitel 4 näher beschriebene Messung in einer Suspension mit stark verdünnter Calcium-Chlorid-Lösung (VDLUFA-Methode).

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 abgegeben 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), weil freier Kalk vorhanden ist. Diese Vorgehensweise macht man sich beim Salzsäuretest zunutze, der auf Böden mit pH-Werten von 6,6 bis 7,0 angewendet wird, um mit einem zusätzlichen Kriterium die Kalkbedürftigkeit zu beurteilen (s. u.).

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 Wassertrans-

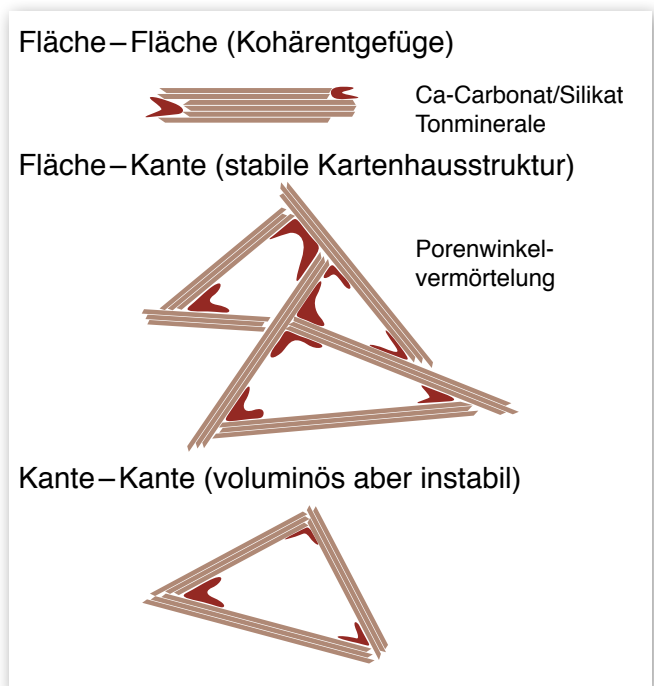


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Lagerungsformen von Tonteilchen im Boden (Quelle: nach Meyer und Pollehn, 1990).

port optimal sind. So können der oberflächige Wasserabfluss und auch die Verschlammungs- 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 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.

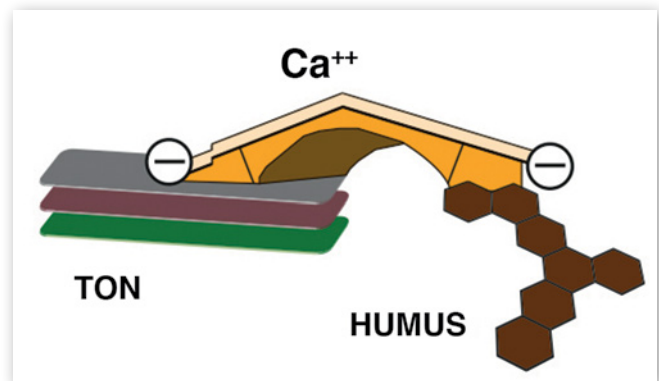


Abbildung 2: Schema eines Ton-Humus-Komplexes mittels Calcium-Brücke (Quelle: Schmidt, 2016)

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).

Besonders die Phosphatverfügbarkeit reagiert deutlich auf zu geringe (kleiner 5,5) und zu hohe

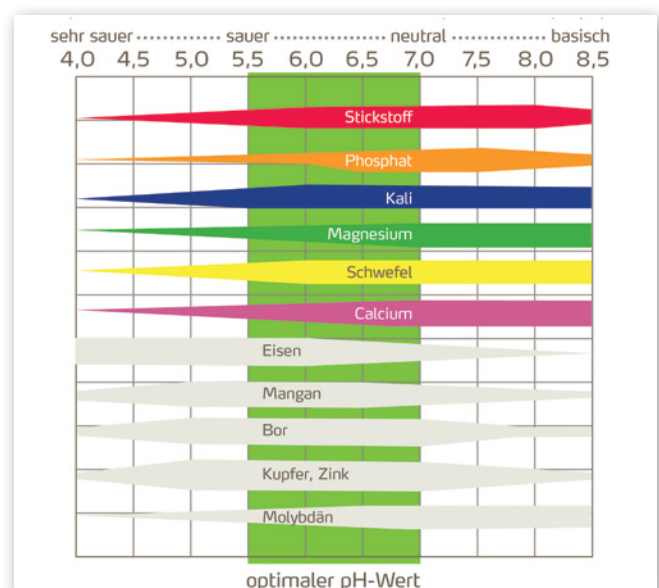


Abbildung 3: Nährstoffverfügbarkeit im Boden in Abhängigkeit vom pH-Wert des Bodens (Quelle: Yara, 2020)

(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).

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-Werten können sie sich rasch vermehren, die im Humus enthaltenen Nährstoffe pflanzenverfügbar machen

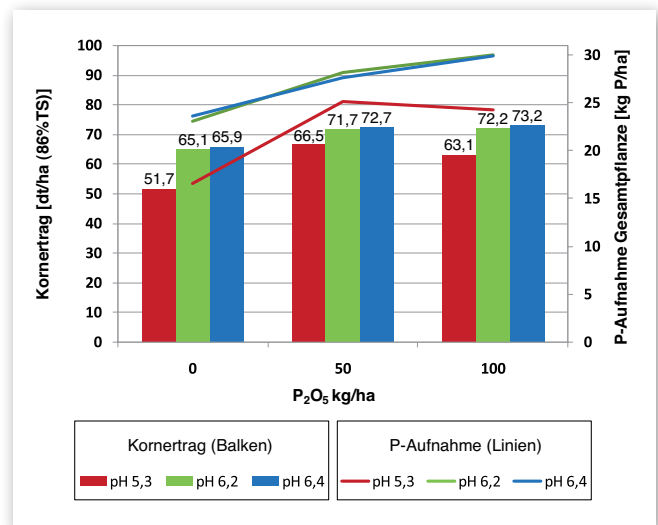


Abbildung 4: Einfluss des pH-Werts des Bodens auf die P-Verfügbarkeit (Quelle: Tucher, 2016)

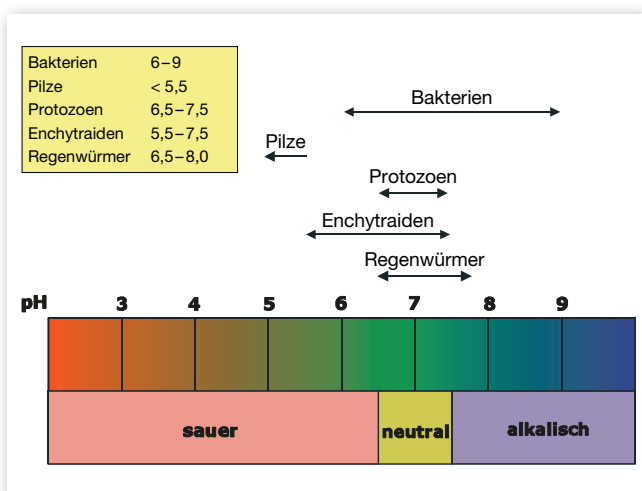


Abbildung 5: Optimale pH-Bereiche verschiedener Bodenorganismen (Quelle: Stöven, 2002)

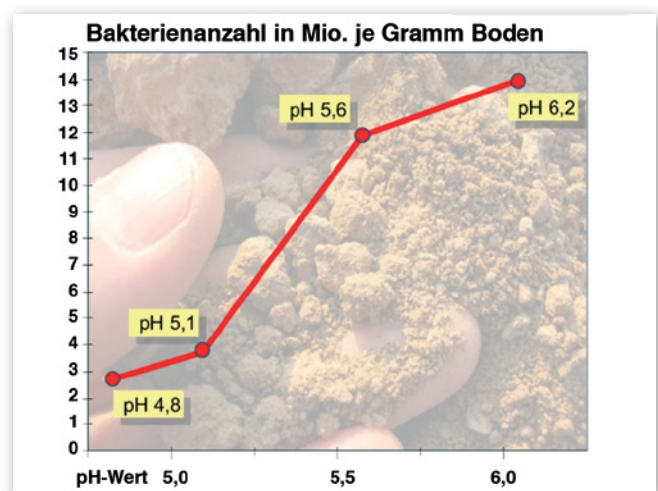


Abbildung 6: Entwicklung der Bakteriendichte im Boden in Abhängigkeit vom pH-Wert des Bodens (Quelle: Galler, 2013)

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, Metalloxyde, Humus) sind nicht erforderlich, da zwischen dem pH-Wert des Bodens und der Calcium-Sättigung an den Austauschern eine enge Beziehung besteht (Abbildung 7).

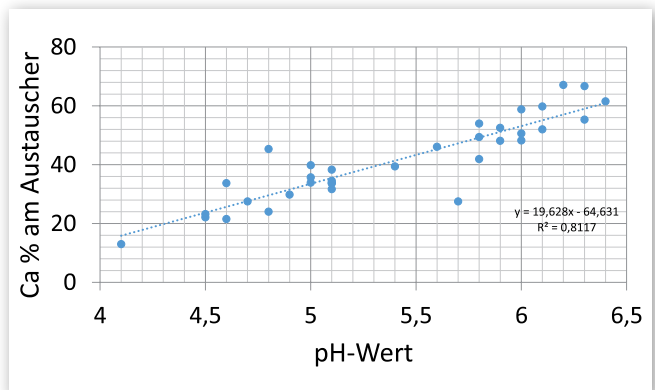


Abbildung 7: Zwischen dem pH-Wert des Bodens und der Calcium-Sättigung am Austauscher besteht eine enge Beziehung (Quelle: Lorenz, 2016)

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-Fractionen 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 ($> 15 \text{ mg je } 100 \text{ g}$ 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 Bodenarten-Gruppe (siehe Tabelle 3 und 4) zwischen 1.000 und 4.000 kg/ha CaO und Fruchtfolge empfohlen (Abbildung 9).

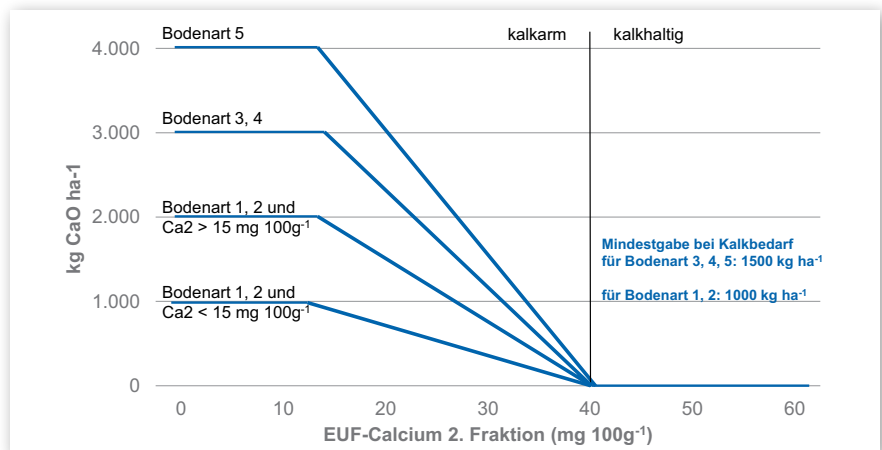


Abbildung 9: Kalkbedarf einer Fruchtfolge in Abhängigkeit von EUF-Calcium und Bodenartengruppe gemäß VDLUFA (s. Tabellen 3 und 4) (Quelle: Bodengesundheitsdienst)

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 (Neutralization Value, NV) 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** (Carbonat, Oxid, Hydroxid, 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 kohlensaurigen 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 Feuchtgehalt 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 wirksamer Bestandteil sind Calcium- oder Magnesium-Carbonate (CaCO_3 oder 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 (innerhalb von Tagen bis einigen Monaten, bei niedrigen Boden-pH-Werten) oder längerfristig (bei optimalen Boden-pH-Werten) wirksam und sind somit auf allen Böden zur Auf- und Erhaltungskalkung einsetzbar. Da ihre Wirksamkeit verglichen mit den im folgenden vorgestellten Branntkalken langsamer ist, kommen kohlensaure Kalke besonders auf Böden mit niedriger pH-Pufferkapazität wie z. B. Sandböden zum Einsatz. Mit zunehmendem Magnesiumgehalt sinkt – bei vergleichbarer Korngröße – die Umsetzungsgeschwindigkeit. Die Neutralisationswerte liegen zwischen 50 und 70 % je nach Mg-Gehalt. Im Vergleich zu anderen Kohlensauren Kalken wirken Kreidekalke relativ schnell (innerhalb von Tagen bis Wochen).

Über einen Brennpzess wird aus den Kalksteinen **Branntkalk** erzeugt, der als Calcium- oder Magnesiumoxid (CaO oder MgO) vorliegt. Mischungen von carbonatischen Kalken mit Branntkalk ergeben den Kalkdüngertyp Mischkalk. Brannt- und Mischkalke wirken kurzfristig und eignen sich daher besonders für mittlere und schwere Böden mit höherer pH-Pufferkapazität, zur Auf- und Gesundungskalkung und zur Verbesserung der Bodenstruktur. Die Neutralisationswerte variieren zwischen 40 und 110 % NV (s. Fußnote bei Tabelle 5).

Die **Hütten- und Konverterkalke** sind Nebenprodukte aus der Eisen- und Stahlherstellung. Sie werden vermahlen und abgeseibt. Als basisch wirksame Verbindungen liegen überwiegend silikatische, z. T. oxidische oder hydroxidische 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 % NV.

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 (bis 1,4 % P_2O_5) sowie Magnesium. Die Neutralisationswerte variieren zwischen 15–30 % NV.

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. Die Kalkdünger können Oxide, Hydroxide oder 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 (NV in % CaO)	Wirkungs- geschwindigkeit	Nebenbestand- teile	Einsatzbereiche
Kohlensäure Kalk Kohlensäure Magnesium Kalk	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 %	Alle Böden Erhaltungskalkung Aufkalkung Gesundungskalkung
Branntkalk Magnesium-Branntkalk	Natürliche Lagerstätten Brennen, Vermahlen, Sieben	CaO MgO	70 – 111 ¹⁾	kurzfristig (innerhalb von einigen Stunden)	Magnesium 0 – 45 %	Mittlere bis schwere Böden Aufkalkung Gesundungskalkung Strukturkalkung
Mischkalk Magnesium-Mischkalk	Natürliche Lagerstätten Mischung	CaCO ₃ /MgCO ₃ CaO/MgO Ca(OH) ₂ /Mg(OH) ₂	55 – 80	kurzfristig (innerhalb von einigen Stunden)	Magnesium 0 – 45 %	Mittlere bis schwere Böden Aufkalkung Gesundungskalkung Strukturkalkung
Hüttenkalk	Nebenprodukt der Eisenverhüttung Vermahlen, Absieben	Silikatische Bindung	40 – 50	mittelfristig (innerhalb von Tagen bis einigen Monaten)	Freie Kieselsäure	Alle Böden Erhaltungskalkung Aufkalkung
Konverterkalk	Nebenprodukt der Stahlherstellung Vermahlen, Absieben	Silikatische Bindung/ CaO, Ca(OH) ₂	40 – 50	mittelfristig (innerhalb von Tagen bis einigen Monaten)	Freie Kieselsäure, Mangan, z. T. P ₂ O ₅ Spurennährstoffe	Alle Böden Erhaltungskalkung Aufkalkung Gesundungskalkung
Carbokalk	Nebenprodukt der Zuckerherstellung Flüssig, Absieben	CaCO ₃ /MgCO ₃	15 – 25	kurzfristig (innerhalb von Tagen bis Wochen)	P ₂ O ₅ , N, 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 (NV) 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 % NV

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 (ausgehend vom Neutralisationswert):

Kalkbedarf: 1.000 kg/ha CaO

Produkt mit Neutralisationswert 50 % CaO, das entspricht 500 kg/t CaO Produkt

Benötigte Produktmenge: $1.000 \text{ kg/ha CaO} / 500 \text{ kg/t CaO Produkt} = 2.000 \text{ kg/ha Produkt}$

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

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

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

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

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

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

Beispielrechnung (ausgehend vom Gehalt an Calciumcarbonat):

Kalkbedarf: 1.000 kg/ha CaO

Produkt mit Calciumcarbonatgehalt von 90 %:

$90\% \text{ CaCO}_3 \times 0,56 = 50\% \text{ CaO}$, das entspricht 500 kg/t CaO im Produkt

Benötigte Produktmenge: $1.000 \text{ kg/ha CaO} / 500 \text{ kg/t CaO Produkt} = 2.000 \text{ kg/ha Produkt}$

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“. Diese Düngekalke, die das DLG-Qualitätssiegel erhalten haben, bieten geprüfte und über die gesetzlichen Anforderungen hinaus gehende Qualität. 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.

6.4 Strukturkalkung/Vorsaatkalkung

Unter Strukturkalkung ist der Einsatz von schnell wirkenden Kalkdüngern zur Stabilisierung von zu 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.

6.5 Unsachgemäße Kalkung

Auch für die Kalkdüngung gilt, „zu viel“ ist nicht gut. Von besonderen Meliorationskalkungen abgesehen, sollten die Auf- und Gesundungskalkungen die in den Tabellen im Anhang genannten jährlichen Höchstmengen nicht überschreiten.

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 ermöglicht auf der Stoppel eine exakte und schlagkräftige Ausbringung auch ohne Einsatz von technischen Hilfsmitteln wie GPS-Technik. Die nachfolgende Stoppelbearbeitung mischt den Kalk in die oberste Bodenschicht ein, 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.

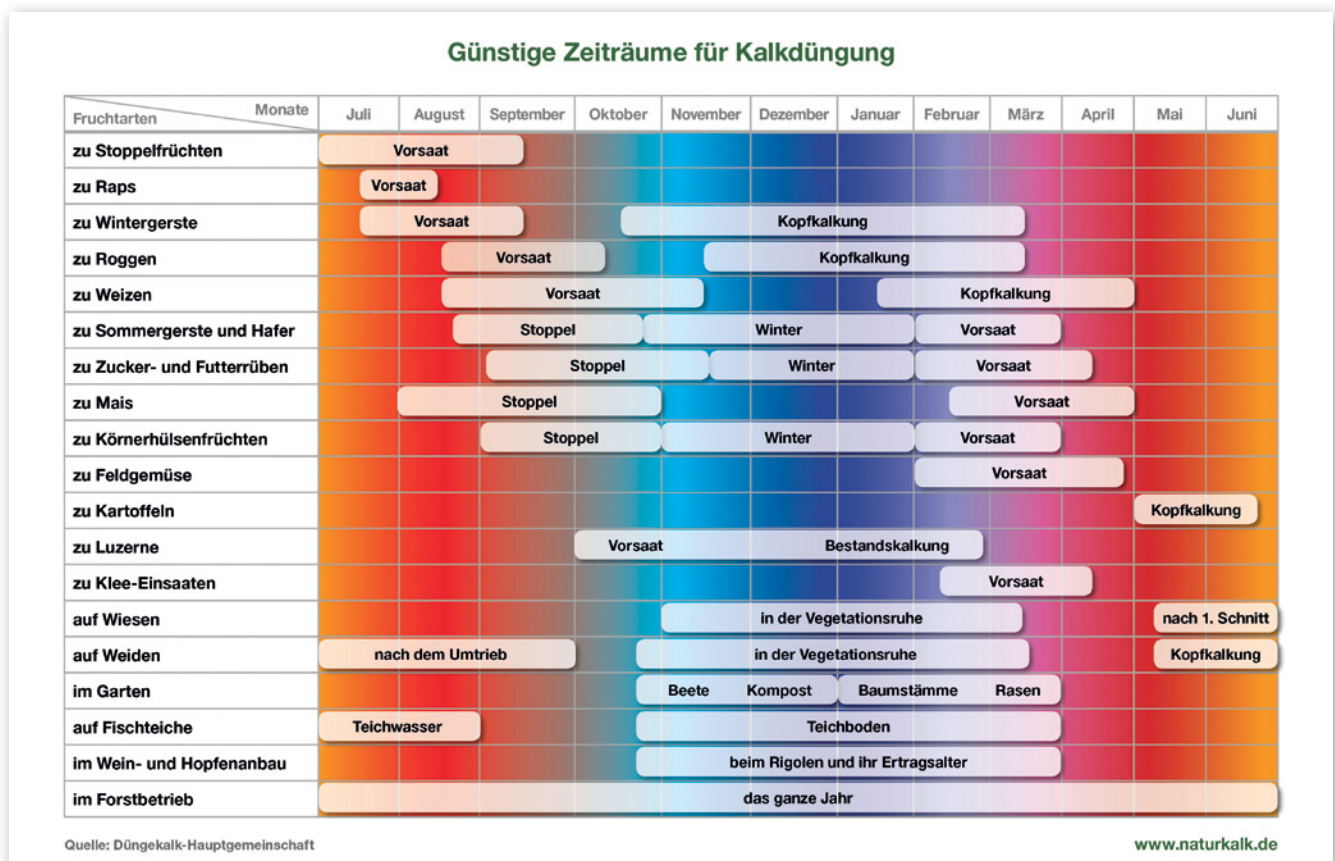


Abbildung 10: Ausbringungszeiträume für Kalkdünger zu verschiedenen Kulturen (Quelle: DHG, 2019)

7.2 Pflanzenbauliche Aspekte; optimale pH-Werte für Pflanzen

Der Anspruch verschiedener Kulturen an den pH-Wert des Bodens variiert deutlich. Daher gibt es pflanzenartsspezifisch optimale pH-Werte 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 entsprechend kalkanspruchsvoller Kulturen erfolgen. Außerdem können dadurch aus pflanzenbaulicher Sicht

positive Nebenwirkungen einer Kalkung genutzt werden wie z. B. Reduzierung von Schneckenbefall und Kohlhernie bei Raps. Um den Befall mit Schorf (*Streptomyces scabies*) bei Kartoffeln zu reduzieren, wurde früher die Einhaltung eines niedrigen pH-Wertes empfohlen. In neueren Versuchen konnte der Beweis dafür nicht erbracht werden (Nitsch, 2013). Bei Kartoffeln wie auch bei den weiter oben 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 (nach Schilling, 2000)

Vorwiegend kalkanspruchsvoll	Vorwiegend kalkanspruchslös
Winter- und Sommergerste	Kartoffeln
Futter- und Zuckerrüben	Winter- und Sommerroggen
Rote Rüben	Hafer
Luzerne, Rotklee	Gelbe Lupine
Espartette, Steinklee	Serradella
Mais	Lein
Winter- und Sommerraps	Gemüseerbsen
Senf	Gurke, Kürbis
Ackerbohne, Buschbohne	Tomate, Petersilie
Weißer Lupine	Möhren, Kohlrüben

7.3 Wechselwirkungen mit anderen Düngern

Eine Düngung mit Kalken, die schnell wirkende Kalkkomponenten wie Branntkalk enthalten, kann zu einem kurzfristigen deutlichen Ansteigen des pH-Wertes führen. Dies kann bei einer im zeitlichen Zusammenhang stehenden Ausbringung von ammoniumhaltigen Mineraldüngern, aber auch von organischen Düngern wie Gülle und Gärresten das Risiko für gasförmige Ammoniakverluste erhöhen. Falls aus arbeitswirtschaftlichen Gründen ein ausreichender Zeitabstand zwischen den Düngungsmaßnahmen nicht möglich ist, sollte durch eine mischende Bodenbearbeitung der Kalk vor der N-Düngung eingearbeitet werden.

Bei der Ausbringung von Kohlensäuren Kalkdüngern im Zusammenhang mit 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 Versorgung von Mikronährstoffen beitragen.

7.4 Umschlags- und Ausbringtechnik

Aus betriebs- und arbeitswirtschaftlichen Gründen hat im landwirtschaftlichen Bereich die Lose-Kalkstreuetechnik die größte Verbreitung erlangt. Die meisten Düngekalke 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 Kalke werden mit entsprechender Großflächen-Streutechnik mit groß dimensionierten Tellerstreuwerken ausgebracht. Die Beladung der Kalkstreuer kann durch Schlepper mit Frontlader, Rad- oder Teleskoplader oder am Streuer integrierte Hydraulikbagger erfolgen.

Angefeuchtete Kalke 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 Düngekalke werden als lose Ware, im Bigbag oder als Sackware angeboten. Zur Lagerung sind bei loser Ware Stahlsilos geeignet. Bei Branntkalken sind 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.

Wie bei den anderen Düngemitteln ist auch bei der Ausbringung von Düngekalken auf eine gute Verteilqualität zu achten. Die Streueigenschaften der Düngekalke 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 in jedem Fall die Umsetzung durch intensivere Durchmischung. Auf Grünland soll der Düngekalk 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 Schlages in Teilflächen ist detailliert im DLG-Merkblatt 407 (DLG, 2018) beschrieben.

Die Notwendigkeit einer teilflächenspezifischen Bodenuntersuchung 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

Eine Kalkung ist eine mittelfristige Investition. Die Kosten der Kalkung sollen durch Erlöse oder Einsparungen mindestens gedeckt, besser übertriften werden. 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 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 und auch die Ausbringung wesentlichen Einfluss auf die Kosten „frei Acker“. Da die Kalkdünger unterschiedliche Gehalte an basisch wirksamen Stoffen haben (Neutralisationswert) und teilweise zusätzliche Nährstoffe wie Magnesium oder Spurennährstoffe enthalten, bietet der Preis je kg CaO „frei Krume“ (auf dem Acker ausgebracht) die beste Vergleichsmöglichkeit.

Werden z.B. neue Pachtflächen übernommen, deren Kalkzustand sehr schlecht ist, ist die Aufkalkung auf den Ziel-pH-Bereich

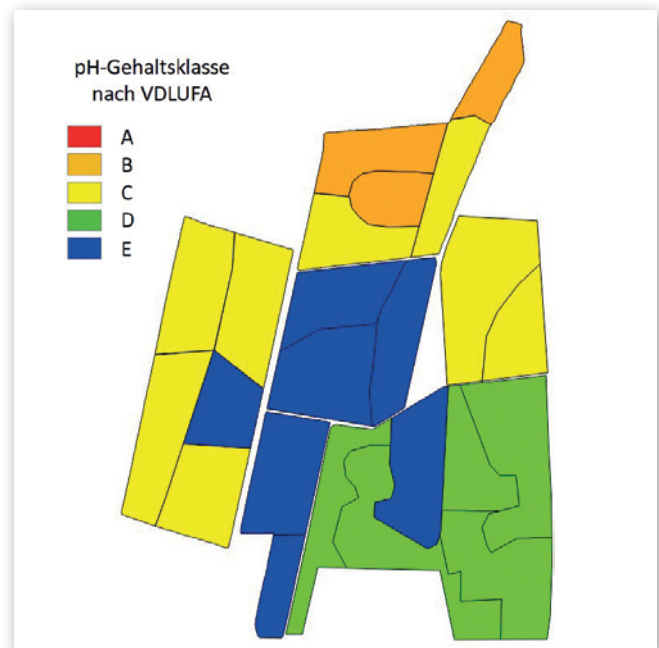


Abbildung 12: Räumliche Differenzierung der pH-Werte auf mehreren Schlägen (76 ha) eines landwirtschaftlichen Betriebes (Quelle: Lorenz)

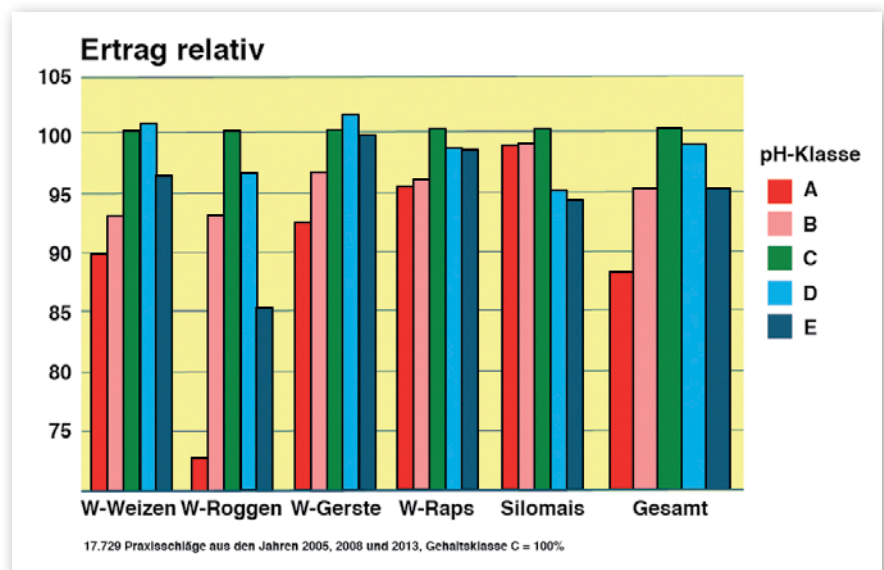


Abbildung 13: Ertrag auf sächsischen Praxisschlägen in Abhängigkeit von der pH-Gehaltsklassen (Quelle: Grunert, 2015)

reich eine erste notwendige Maßnahme für eine ausreichende Fruchtbarkeit des Ackers. 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 1.000 kg/ha CaO (Ergebnis der Bodenuntersuchung)

Kohlensaurer Kalk mit 89,25 % CaCO_3 ; das entspricht 50 % CaO (1 t = 500 kg CaO)

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

Bei dem Bedarf von 1.000 kg/ha CaO werden entweder 2 t/ha Kohlensaurer Kalk oder 1,11 t/ha Branntkalk benötigt.

Die in Tabelle 7 unterstellten Preise gelten nur als Beispiel.

Tabelle 7: Beispieldaten zur Kalkulation der Kosten einer Kalkdüngung mit 1.000 kg/ha CaO
(Stand 02/2020)

Kalktyp (Beispiele)	Gehalt CaO (%)	Gehalt MgO (%)	Summe CaO +MgO = NV ⁷⁾	Menge Ware (kg) für 1.000 kg/ha CaO	Preis je 1.000 kg Ware: (€/t) frei Krume ¹⁾	Kosten je ha (€) frei Krume
Branntkalk 90, körnig	90	0	90	1111	108,00 ²⁾	120,00
Kohlensaurer Kalk 90	50	0	50	1984	46,00 ³⁾	91,26
Kohlensaurer Mg-Kalk 85 (50+35)	28	21	49	2041	46,00 ⁴⁾	93,88
Konverterkalk 45	38	7	45	2222	43,00 ⁵⁾	95,56
Carbokalk	25	1	26	3846	32,00 ⁶⁾	123,07

1) Preis je Tonne Ware incl. Transport, Lagerung, Ausbringung; ohne Berücksichtigung der Nebenbestandteile.

2) Branntkalk 90 : z. B. 1 t Ware = 85,– €, Transport + Ausbringung = 23,– €

3) Kohlens. Kalk 90: z. B. 1 t Ware = 28,– €, Transport + Ausbringung = 18,– €

4) Kohlens. Mg-Kalk 85: z. B. 1 t Ware = 28,– €, Transport + Ausbringung = 18,– €

5) Konverterkalk 43: z. B. 1 t Ware = 25,– €, Transport + Ausbringung = 18,– €

6) Carbokalk: z. B. 1 t Ware = 17,– €, Transport + Ausbringung = 15,– €

7) NV = Neutralisationswert (in CaO ausgedrückt)

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 P_2O_5 = 0,75 €,
 1 kg MgO = 0,80 € (Referenzpreis aus Kieserit-Preis berechnet)

Zum Beispiel enthält Carbokalk üblich 0,5 % P_2O_5 . Bei der Ausbringung von 4 t/ha Ware werden somit ca. 20 kg/ha P_2O_5 ausgebracht, die mit einem Wert von 15,– €/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). Damit beträgt der Anteil einer Kalkung an den Gesamtkosten der eingesetzten Produktionsmittel lediglich ca. 3 %. Diese Investition trägt sich bereits bei ca. 3–5 % Mehrträgen, 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-Werts und eine entsprechende Kalkversorgung des Bodens 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 Düngjahr, DHG-Website, <https://www.naturkalk.de/anwendungen/das-duengejahr/>
 DLG (2018): DLG-Merkblatt 407: Teilflächenspezifische Bodenprobenahme und Düngung. 2. Auflage. Lorenz, F., Münchhoff, K. DLG-Fachzentrum Landwirtschaft, Frankfurt am Main
 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. (2016): Die Kationenbelegung am Austauscher und das Ca:Mg-Verhältnis im Lichte alter Feldversuchsergebnisse. VDLUFA-Schriftenreihe Band 73/2016, 150-157, VDLUFA-Verlag Darmstadt
- 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, Glenze. 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) lösbaren 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	A	≤ 4,5	≤ 4,2	≤ 3,9	≤ 3,6	
BG 1	B	4,6 bis 5,3	4,3 bis 4,9	4,0 bis 4,6	3,7 bis 4,2	
Tongehalt bis 5 %	C	5,4 bis 5,8	5,0 bis 5,4	4,7 bis 5,1	4,3 bis 4,7	
Ton- plus Feinschluffgehalt	D	5,9 bis 6,2	5,5 bis 5,8	5,2 bis 5,4	4,8 bis 5,1	
bis 7 %	E	≥ 6,3	≥ 5,9	≥ 5,5	≥ 5,2	
schwach lehmiger Sand, l'S	A	≤ 4,8	≤ 4,5	≤ 4,1	≤ 3,7	
BG 2	B	4,9 bis 5,7	4,6 bis 5,3	4,2 bis 4,9	3,8 bis 4,5	
Tongehalt > 5 bis 12 %	C	5,8 bis 6,3	5,4 bis 5,9	5,0 bis 5,5	4,6 bis 5,1	
Ton- plus Feinschluffgehalt	D	6,4 bis 6,7	6,0 bis 6,3	5,6 bis 5,9	5,2 bis 5,5	
> 7 bis 16 %	E	≥ 6,8	≥ 6,4	≥ 6,0	≥ 5,6	
stark lehmiger Sand, IS	A	≤ 5,0	≤ 4,7	≤ 4,3	≤ 3,8	
BG 3	B	5,1 bis 6,0	4,8 bis 5,5	4,4 bis 5,1	3,9 bis 4,7	
Tongehalt > 12 bis 17 %	C	6,1 bis 6,7	5,6 bis 6,2	5,2 bis 5,8	4,8 bis 5,4	
Ton- plus Feinschluffgehalt	D	6,8 bis 7,1	6,3 bis 6,7	5,9 bis 6,2	5,5 bis 5,8	
> 16 bis 23 %	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	
	B	5,3 bis 6,2	5,0 bis 5,7	4,6 bis 5,3	4,1 bis 4,9	
Tongehalt > 17 bis 25 %	C	6,3 bis 7,0 ¹⁾	5,8 bis 6,5	5,4 bis 6,1	5,0 bis 5,7	
Ton- plus Feinschluffgehalt	D	7,1 bis 7,4	6,6 bis 7,0	6,2 bis 6,5	5,8 bis 6,1	
> 23 bis 35 %	E	≥ 7,5	≥ 7,1	≥ 6,6	≥ 6,2	
schwach toniger Lehm bis	A	≤ 5,3	≤ 4,9	≤ 4,5	≤ 4,0	
Ton, t'L, tL, IT, T	B	5,4 bis 6,3	5,0 bis 5,8	4,6 bis 5,4	4,1 bis 5,0	
BG 5; Tongehalt > 25 %	C	6,4 bis 7,2 ¹⁾	5,9 bis 6,7	5,5 bis 6,3	5,1 bis 5,9	
Ton- plus Feinschluffgehalt	D	7,3 bis 7,7	6,8 bis 7,2	6,4 bis 6,7	6,0 bis 6,3	
> 35 %	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 geogen 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: t¹L/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