

DLG-Merkblatt 353

Hinweise zur Kalkdüngung



www.DLG.org



SACHSEN-ANHALT

DLG-Merkblatt

Hinweise zur Kalkdüngung

Autorenteam:

- Herbert Molitor, Bayerische Düngekalk – Werbe- und Marketing GmbH
- Klaus Münchhoff, Landwirt
- Johannes Pesch, Rheinkalk KDI
- Joachim Pollehn, Düngekalk-Hauptgemeinschaft (DHG)
- Dr. Martin Rex, Landwirtschaftliche Beratung Thomasdünge
- Dr. Ulrich Rubenschuh, DLG e.V.
- Prof. Dr. Heinrich Scherer, Uni Bonn - Institut für Pflanzenernährung
- Dr. Frank Setzer, DLG e.V.
- Dr. Ulrich von Wulffen, Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau Sachsen-Anhalt

Alle Informationen und Hinweise ohne jede Gewähr und Haftung.

Herausgeber:

DLG e.V., Eschborner Landstr. 122, 60489 Frankfurt am Main
Fachzentrum Land- und Ernährungswirtschaft
DLG-Ausschuss für Pflanzenernährung und
DLG-Prüfungskommission Düngekalk

Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau Sachsen-Anhalt (LLFG),
Strenzfelder Allee 22, 06406 Bernburg

4. ergänzte und überarbeitete Auflage, 2009 (Stand 11/2009)

© 2009

Vervielfältigung und Übertragung einzelner Textabschnitte, Zeichnungen oder Bilder – auch für den Zweck der Unterrichtsgestaltung – nur nach vorheriger Genehmigung durch DLG e.V., Servicebereich Information, Eschborner Landstr. 122, 60489 Frankfurt am Main.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Vorbemerkung	5
2 Warum versauern Böden	6
3 Wirkung der Kalkdüngung	8
3.1 Physikalische Wirkungen – Kalk und Bodenstruktur	8
3.2 Chemische Wirkungen	12
3.3 Biologische Wirkung – Kalk schafft Leben	16
3.4 Pflanzenphysiologische Bedeutung	17
3.4.1 Calcium (Ca)	17
3.4.2 Magnesium (Mg)	18
4 Verfahren zur Bedarfsermittlung	19
4.1 Einstufung der Böden in Bodengruppen der Düngung	19
4.2 Eingruppierung in pH-Klassen	20
4.3 Kalkulation der benötigten Kalkmengen	22
4.4 Erhaltungskalkung	22
4.5 Gesundungskalkung	23
4.6 Meliorationskalkung	24
5 Das Kalkangebot	24
5.1 Kalkverbrauch in Deutschland	25
5.2 Rechtliche Grundlagen der Kalkdüngung in Deutschland	26
5.3 Das Düngekalksortiment	29
5.3.1 Die Qual der Wahl – Den richtigen Kalk einkaufen	29
5.3.2 Wichtige Kalkdünger und ihre Eigenschaften	30
5.4 Qualitätsparameter – Besser ist besser	33
5.5 Qualitätskontrolle – Mehr Sicherheit für die Pflanzenproduktion	34
5.5.1 Amtliche Düngemittelverkehrskontrolle	34
5.5.2 Interne Werkskontrolle	35
5.5.3 Qualitäts-Management-Systeme	35
5.5.4 DLG-Qualitätssicherung für Düngekalke	35
6 Durchführung der Kalkdüngung	38
6.1 Zeit für die Kalkung	38
6.2 Pflanzenbauliche Aspekte – Der Anspruch der Kulturen	39

6.3	Wechselwirkungen mit anderen Düngern	40
6.4	Wirtschaftliche Aspekte	40
6.4.1	Was `kostet` eine unterlassene Kalkung? – Entgangener Nutzen	40
6.4.2	Der „richtige“ Kalkdünger – Kalk- und Ausbringungskosten	44
6.5	Umschlags- und Ausbringtechnik	48
6.6	Teilflächenspezifische Kalkung	49
7	Bodenschutzkalkung im Wald	50
7.1	Einführung	50
7.2	Ziele der Bodenschutzkalkung	51
7.3	Standorte	52
7.4	Kalkzusammensetzung und Kalkmenge	52
7.5	Ausbringtechnik	54
7.5	Finanzielle Förderung	56
	Tabellenanhang	57
	Tabellenverzeichnis	63
	Abbildungsverzeichnis	65
	Literaturverzeichnis	67
	Weiterführende Literatur und Informationsquellen	70

1 Vorbemerkung

Ohne einen standortgerechten pH-Wert der Böden sind die Wirkungen aller anderen Produktionsfaktoren (Düngemittel, Pflanzenschutz) eingeschränkt oder sogar aufgehoben. Die optimale Kalkversorgung des Bodens ist daher eine der Grundvoraussetzungen für die erfolgreiche Pflanzenproduktion, sowohl aus ökonomischer als auch aus ökologischer Sicht.

Die Kenntnis über die Bedeutung der Kalkdüngung ist nicht neu. Schon die Väter und Großväter wussten: „*Die Mergelgrube ist des Bauern Goldgrube* (HAMM, 1872)“. Trotz dieses Wissens wurde aber in den letzten Jahren die Kalkdüngung des Öfteren vernachlässigt und dadurch wertvolles Produktionspotenzial nicht optimal ausgeschöpft. Das vorliegende Merkblatt behandelt die Kalkdüngung unter aktuellen Gesichtspunkten und soll allen interessierten Landwirten als Leitfaden für eine sach- und standortgerechte Kalkung dienen. Es werden die vielfältigen Wirkungen von Kalkdüngern und die verschiedenen Düngekalktypen sowie Düngekalkqualitäten mit ihren Einsatzschwerpunkten beschrieben und Hinweise zur Bedarfsermittlung sowie zur Durchführung der Kalkung gegeben. Darüber hinaus werden agronomische und betriebswirtschaftliche Aspekte diskutiert und die rechtlichen Grundlagen sowie Maßnahmen zur Qualitätssicherung vorgestellt.

Aktuelle und weitergehende Informationen zur Kalkdüngung können auch über die Internetseiten der DLG (DLG e.V.) und der LLFG (Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau Sachsen-Anhalt) abgerufen werden. Im Anhang finden sich Hinweise auf weitere empfehlenswerte Informationsquellen und Kontaktadressen rund um die Kalkdüngung.

2 Warum versauern Böden?

Im mitteleuropäischen Klima findet eine natürlich bedingte Versauerung statt. Durch Regenwasser mit einem durchschnittlichen pH-Wert von 5,6 werden laufend Säuren eingetragen und mit dem Sickerwasser in den Unterboden transportiert. Dies führt zu unvermeidbaren Kalkverlusten durch **Auswaschung** und **Neutralisation**, die in Abhängigkeit von Niederschlagsmenge, Bodenart und Nutzungsform zum Teil erhebliche Mengen erreichen können (Tabelle 1).

Tabelle 1: Jährliche Kalkverluste durch Auswaschung und Neutralisation (kg/ha CaO) (BAD/VLK, 2003)

Bodenartengruppe	Nutzung	Niederschläge		
		niedrig < 600 mm	mittel 600 - 750 mm	hoch > 750 mm
leicht (S, l'S)	Acker	100* - 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

* nach ROSCHKE, 2006

Die Verbrauchsangabe „kg/ha CaO“ lässt den Eindruck entstehen, dass der Kalk den Boden ungenutzt durchläuft, was aber nicht der Fall ist. Während andere Nährstoffe durch Auswaschung zum Teil ungenutzt, das heißt ohne produktive Wirkung in den Unterboden und später ins Grundwasser verlagert werden können, hat der Kalk nach der Passage des Bodenkörpers seine Wirkung bereits getan. Er hat die im Boden vorhandenen oder gebildeten Säuren neutralisiert. Die Auswaschung erfolgt dann z. B. als Ca-Sulfat, Ca-Chlorid oder Ca-Nitrat. Ausgewaschener Kalk ist also nicht einfach nur „verloren“, so dass man besser von produktiver Kalkverlagerung spricht.

Neben den unvermeidbaren Verlusten können **acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen** die Bodenversauerung noch verstärken, zum Beispiel durch das Einbringen von organischer Substanz, der Aktivierung des Bodenlebens (CO₂-Bildung) oder durch die Anwendung physiologisch sauer wirkender Düngemittel, wie z.B. AHL oder Harnstoff (Abbildung 1).

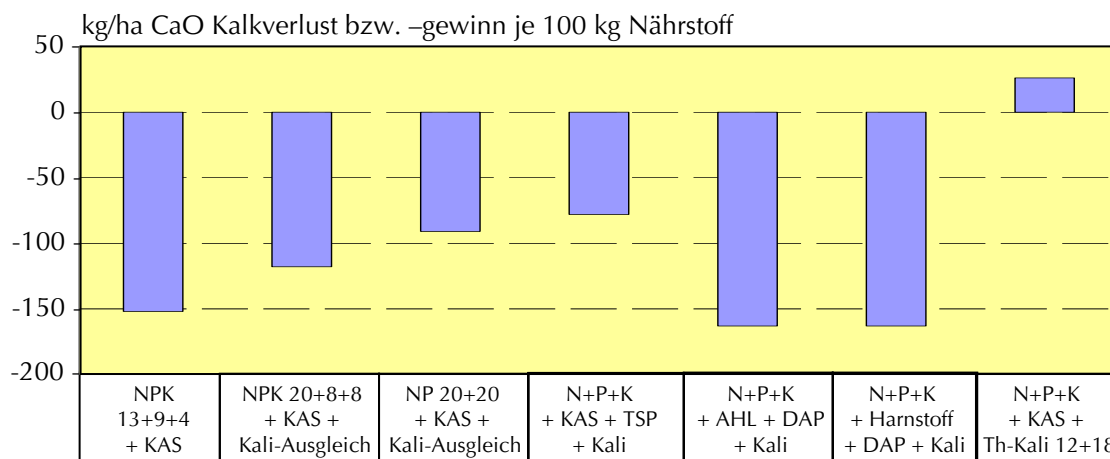


Abb. 1: Jährlicher Kalkverlust bzw. -gewinn durch Düngung in einer Fruchtfolge (Z-Rüben – Getreide – Getreide), 140 kg/ha N, 50 kg/ha P_2O_5 , 90 kg/ha K_2O , (DHG, 1996)

Je nach Region verläuft der Prozess der Versauerung unterschiedlich schnell. Beispielhaft sei auf den Kalksteigerungsversuch in Harpstedt (bei Bremen) hingewiesen, wo innerhalb von nur 5 Jahren der pH-Wert von 5,1 auf 4,4 abgesunken ist (Abbildung 2). Nach Erreichen dieses Wertes kann er zunächst nicht weiter abnehmen, da ab pH 4,4 der so genannte Aluminium-Pufferbereich aktiv wird, d.h. verstärkt phytotoxische Aluminiumionen freigesetzt werden.

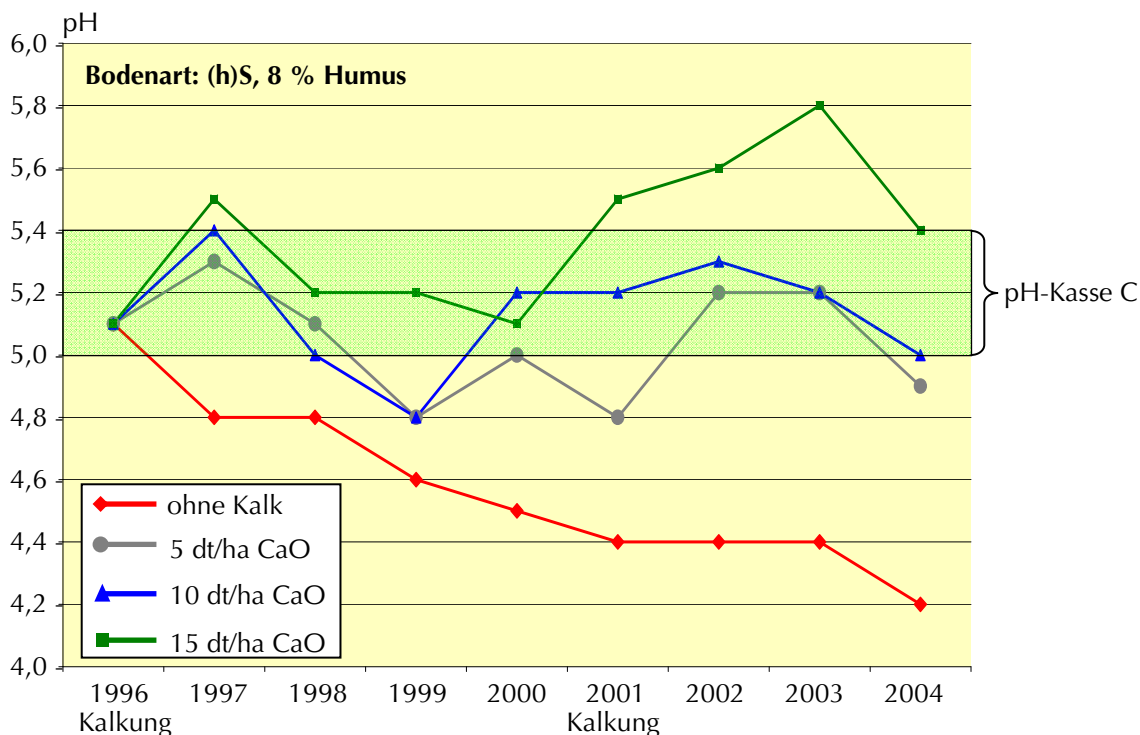


Abb. 2: Entwicklung der pH-Werte im Kalkdüngungsversuch Harpstedt, Bodenart: (h)S, 8 % Humus; LUFA Oldenburg VR 1657 (POLLEHN, 2005)

Schließlich wird dem Boden auch durch die Abfuhr von Ernteprodukten Kalk entzogen. Die Höhe der **Ernteentzüge** ist abhängig von Pflanzenart und Ertragsniveau. Bei der Getreideernte wird relativ wenig Kalk entzogen. Die Verluste durch die Entzüge bei Raps, Zuckerrübe, Silomais oder Ackergras sind hier deutlich höher (Tabelle 2).

Tabelle 2: Kalkverluste durch Ernteentzug

Fruchtart	Ertragsniveau	CaO-Entzug je Einheit	CaO-Entzug je ha
Getreide	80 dt/ha Korn	0,1 kg/dt Korn	8 kg/ha CaO
Raps	40 dt/ha Korn	0,5 kg/dt Korn	20 kg/ha CaO
Zuckerrüben	500 dt/ha Rüben	0,1 kg/dt Rüben	50 kg/ha CaO
Ackergras	100 dt/ha TM	1,0 kg/dt TM	100 kg/ha CaO
Silomais	100 dt/ha TM	0,5 kg/dt TM	50 kg/ha CaO

Quelle: PETTER, 2001

3 Wirkung der Kalkdüngung

Nur auf gesunden und fruchtbaren Böden ist eine wirtschaftliche und nachhaltige Erzeugung hochwertiger pflanzlicher Rohstoffe möglich.

Der Boden ist somit für jeden Landwirt der entscheidende Produktionsfaktor und zwar unabhängig davon, ob die Pflanzen zur Erzeugung von Marktfrüchten oder als Futtergrundlage angebaut werden.

Der richtige Kalkzustand ist dafür eine unerlässliche Voraussetzung. Neben Humus und Ton trägt Kalk mit seinen vielfältigen Funktionen direkt und indirekt zur Bodenfruchtbarkeit bei. Kalk ist mehr als nur ein Nährstofflieferant. Durch die Regulierung des pH-Wertes im Boden steuert er eine Vielzahl von Prozessen. Kalk wirkt physikalisch, chemisch und biologisch. Kalk ist also ein **Mehrwirkungsdünger**.

3.1 Physikalische Wirkung – Kalk und Bodenstruktur

Das Bodengefüge gehört zu den wichtigsten fruchtbarkeitsbestimmenden Bodeneigenschaften. Es beschreibt die räumliche Anordnung der festen Bodenteilchen und Porensysteme. Diese resultiert in erster Linie aus Größe und Form der mineralischen und organischen Bodenbestandteile. Der Begriff Bodenstruktur wird dem oft gleichgesetzt, beschränkt sich aber meist auf die Betrachtung der Ackerkrume. Vom Bodengefüge werden Wasser-, Luft- und Wärmehaushalt sowie die mechanischen Bodeneigenschaften maßgeblich beeinflusst. Für die Pflanzenentwicklung, insbesondere während der Kei-

mung und im Jungpflanzenstadium, hat die Struktur überragenden Einfluss auf Start und Weiterentwicklung der Pflanzen, aber auch die Befahrbarkeit und der Zugkraftbedarf bei der Bodenbearbeitung stehen damit in unmittelbarem Zusammenhang.

Ohne eine ausreichende Calciumsättigung der Bodenaustauscher (60 – 80%) bilden die Tonteilchen zunächst ein „Kante-Kante-Profil, das in ein so genanntes Kohärentgefüge übergehen kann. In dieser Lagerungsform „kleben“ die Tonteilchen des Bodens zusammen und bilden dann eine dichte, flächige Struktur, so dass Gasaustausch und Wassertransport stark behindert werden.

Kalk stabilisiert das Bodengefüge.

Durch die Anlagerung von Calcium-Ionen an Tonteilchen bilden diese eine lockere Kartenhausstruktur. Der als Flockung bezeichnete Vorgang nimmt mit steigender Calcium-Konzentration in der Bodenlösung zu. Die Porenwinkel werden bei fortschreitender Austrocknung des Bodens durch Kalk (Ca-Carbonat oder Ca-Silikat) „vermörtelt“ und widerstehen durch Verhaken und Verfestigung (Interlocking) dem Aggregatzersfall (Abbildung 3).

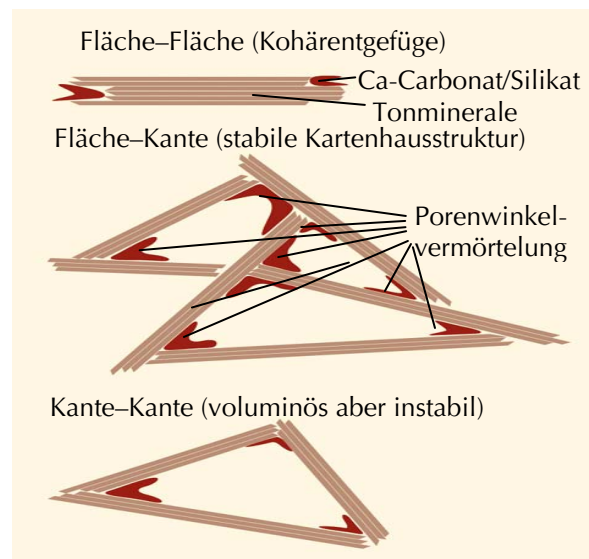


Abb. 3: Schematische Darstellung der Lagerungsformen von Tonteilchen im Boden (nach MEYER und POLLEHN, 1999).

Durch Kalk wird aber nicht nur die Struktur der Tonteilchen untereinander fixiert. Die Calcium-Ionen lagern sich auch an Humusteilchen an. Kalk bildet also eine „Brücke“ zwischen den Ton- und Humusteilchen, der so genannte Ton-Humus-Komplex entsteht (Abbildung 4).

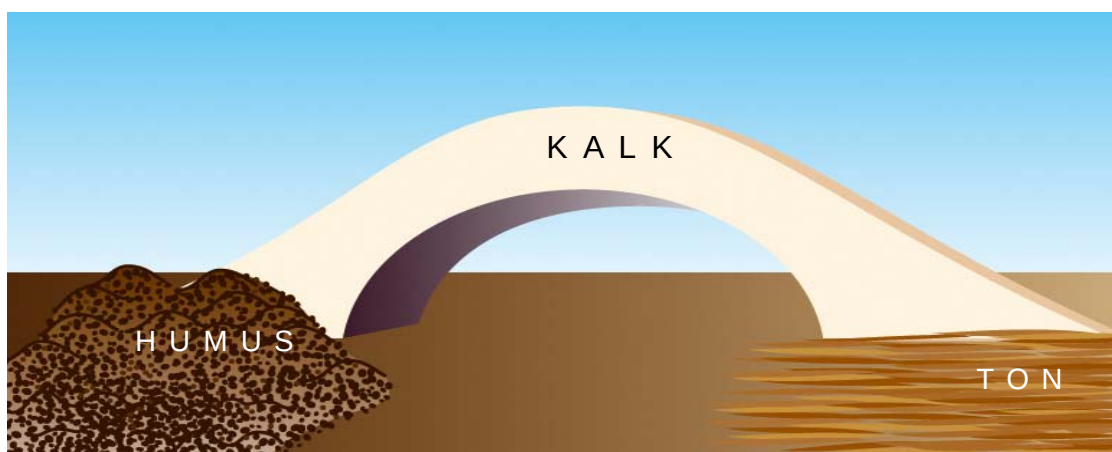


Abb. 4: Schema einer Kalk-Humus-Brücke (in Anlehnung an DHG, 1965)

Kalk schafft stabile Porensysteme und verbessert den Luft- und Wasserhaushalt.

Durch Flockung und Brückenbildung werden Aggregatverbände stabilisiert und auch größere Aggregate gebildet. Auf diese Weise wird der Anteil an luftführenden Grobporen erhöht und das gesamte Porensystem aus Grobporen und wassergefüllten Mittel- und Feinporen günstig beeinflusst. Dies trägt zu einer Verbesserung von Luft- und Wasserhaushalt bei. Wasseraufnahme- und Wasserspeichungsvermögen des Bodens werden erhöht und der oberflächige Wasserabfluss vermindert. Damit wird auch die Verschlammungs- und Erosionsgefahr reduziert. Bei einem Starkregen beispielsweise liegt die Versickerungsrate eines gekalkten Ackerbodens deutlich über den Vergleichswerten einer ungekalkten Variante (Abbildung 5).

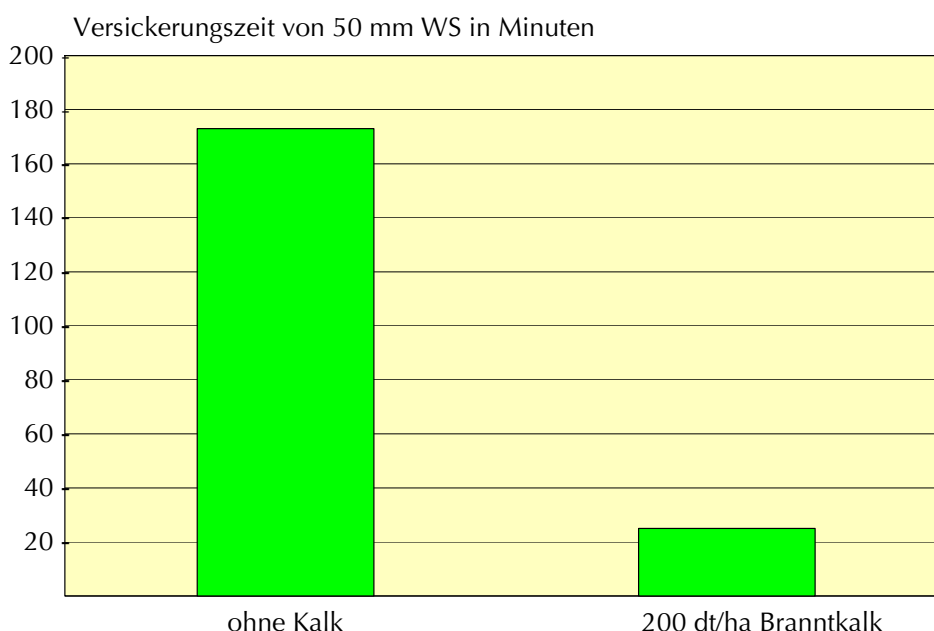


Abb. 5: Einfluss der Kalkdüngung auf die Regenverdaulichkeit eines sandig-tonigen Lehms (nach VETTER, 1977)

Durch eine stabile Bodenstruktur erhöht sich die Tragfähigkeit des Bodens und die Verdichtungsneigung nimmt ab. Gleichzeitig führt der verbesserte Luft- und Wärmehaushalt dazu, dass der Boden schneller abtrocknet und sich rascher erwärmt (Abbildung 6). **Gekalkte Standorte können im Frühjahr häufig früher befahren werden.** Die Zeitfenster für Bodenbearbeitung und Bestellung werden somit ausgedehnt, eine flexiblere Gestaltung der Arbeitsgänge ist möglich und Arbeitsspitzen werden entschärft. Auch der Beginn der Wachstumsphase kann vorverlegt und so die Ertragsbildung günstig beeinflusst werden.



Abb. 6: Verbesserung der Bodenstruktur durch Kalkung bewirkt frühzeitiges Abtrocknen (Versuch Schillhofen, Kreis Dachau) (nach BLESSING und REX, 2004)

Bei länger anhaltender Trockenheit führt die stabilisierende Wirkung von Kalk dazu, dass beim Austrocknen viele kleine Aggregate gebildet werden. Kalkversorgte Böden schrumpfen daher im Vergleich zu kalkarmen Standorten weniger und es entstehen weniger Spalten und Risse. Die mechanischen Belastungen an den Pflanzenwurzeln nehmen damit ab und die Böden bleiben locker. Gut mit Kalk versorgte Böden lassen sich leichter bearbeiten, der für die Bearbeitung benötigte Kraftaufwand und damit auch der Energie- und Kraftstoffbedarf sind reduziert.

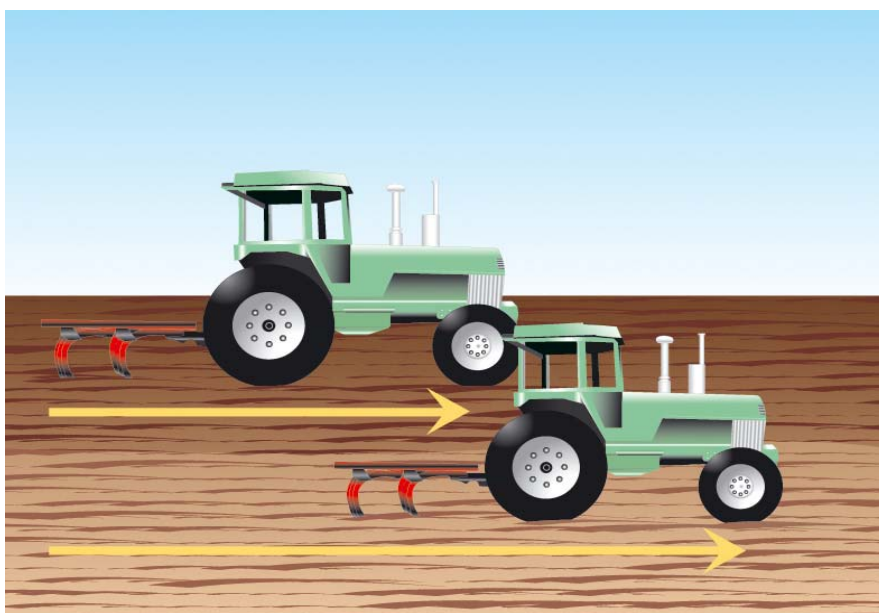


Abb. 7: Reduzierter Zugkraftbedarf bei kalkversorgten Böden (in Anlehnung an DHG, 1965)

3.2 Chemische Wirkungen

Kalk reguliert den pH-Wert. Kalk neutralisiert schädliche Säuren. Werden die in den Boden eingetragenen Säuren nicht neutralisiert, sinkt der pH-Wert des Bodens mehr oder minder deutlich ab. Dies führt neben den in Abschnitt 3.1 dargestellten Strukturschäden auch zu den so genannten Säureschäden, die in erster Linie auf ein Überangebot an Aluminium aus der Zerstörung von Ton (ab pH 4,3) und Mangan zurückgeführt werden. Kalk neutralisiert schädliche Säuren im Boden und verhindert damit die häufig nach nassen Wintern verstärkt auftretenden akuten Säureschäden.

Kalk verbessert die Nährstoffverfügbarkeit. Die Pflanzenwurzel kann Nähr- (und Schad-) stoffe nur in gelöster Form aufnehmen. Für eine optimale Ernährung der Pflanzen ist daher nicht nur die Menge, sondern auch die Löslichkeit der Pflanzennährstoffe entscheidend.

Eine schleichende Bodenversauerung hat im Anfang nur selten unmittelbar Auswirkungen auf das Pflanzenwachstum. Viel bedeutsamer ist die Verschlechterung der Nährstoffverfügbarkeit, was durch zahlreiche Versuche belegt wird.

Die meisten Pflanzennährstoffe haben im Bereich von pH 5,5 bis 7,0 eine optimale Löslichkeit. Mit steigendem pH-Wert nehmen die Verfügbarkeiten von Stickstoff (N), Schwefel (S), Kalium (K), Calcium (Ca), und Magnesium (Mg), aber auch Molybdän (Mo) zu. Die Löslichkeit 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 zu Mangelercheinungen kommen kann (Abbildung 8).

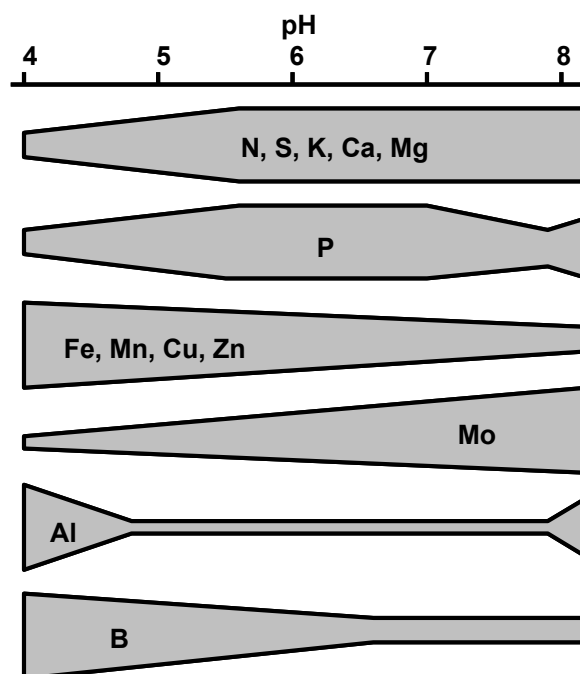


Abb. 8: Schema Mobilität
(in Anlehnung an FINCK, 1979)

Besonders die **Phosphatverfügbarkeit** reagiert deutlich auf zu geringe pH-Werte. Die Löslichkeit der Bodenphosphate ist im Bereich zwischen pH 6 und pH 7 am Besten. In zahlreichen Feldversuchen wurde nachgewiesen, dass durch Kalkdüngung der pflanzenverfügbare Phosphatgehalt des Bodens (DL-Methode) mehr oder weniger anstieg, selbst bei Ausgangs-pH-Werten von 6,0 – 6,5 (Abbildung 9).

In Versuchen von KERSCHBERGER und PREUSKER (2009) betrug die Erhöhung des DL-löslichen Phosphatgehaltes im Boden durch die Zufuhr von 60 – 110 dt CaO/ha 2 – 3 mg P bzw. 5 – 7 mg P_2O_5 /100g Boden. Da die Bodenuntersuchung im vierten Jahr nach der Kalkung erfolgte, ist davon auszugehen, dass bereits in den Vorjahren der Effekt der Phosphatgehaltserhöhung vorlag. Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass auf fast allen Böden mit pH-Werten unterhalb der Klasse C durch Kalkzufuhr, d.h. durch Erhöhung der Bodenreaktion, der pflanzenverfügbare Phosphatgehalt des Bodens über die Jahre angehoben wird. In den angesprochenen Feldversuchen erfolgte die Bestimmung des pflanzenverfügbaren Phosphatgehaltes im Boden mit der Doppellaktat-Methode (DL). Bekanntlich wird deren Lösungskraft mit zunehmenden Anteilen von Ca-Ionen in der Bodenlösung mehr und mehr eingeschränkt („Kalkböden“). Die Autoren gehen davon aus, dass eine solche Einschränkung auch noch einige Zeit nach der Zufuhr hoher Kalkmengen vorlag, so dass pflanzenverfügbares Bodenphosphat zumindest in einigen Versuchen leicht unterbewertet wurde. Durch die Calcium-Azetat-Laktat-Methode (CAL) wäre die Erhöhung des pflanzenverfügbaren Bodenphosphatgehaltes durch Kalkung mitunter noch deutlicher nachweisbar gewesen.

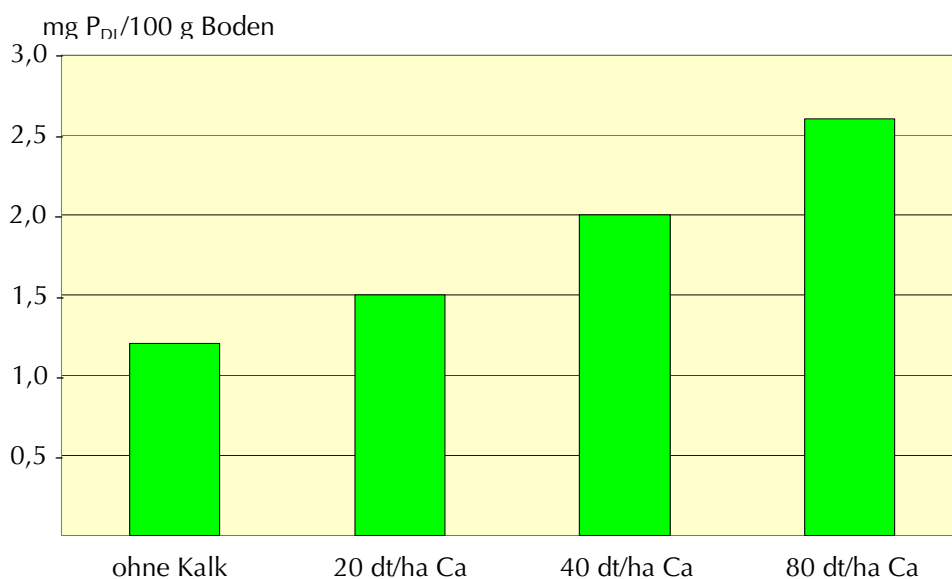


Abb. 9: Einfluss des pH-Wertes auf den P_{DL}-Gehalt von Ackerland; Ergebnis von 23 Versuchsstandorten der Jahre 1979 - 1982 (nach KERSCHBERGER, 1988)

Durch die bessere Pflanzenverfügbarkeit bei einer optimalen Kalkversorgung können die vorhandenen Nährstoffe also besser genutzt und die Aufwandmengen an zugeführten Nährstoffen reduziert werden. **Die Nährstoffeffizienz wird gesteigert** (Abbildung 10).

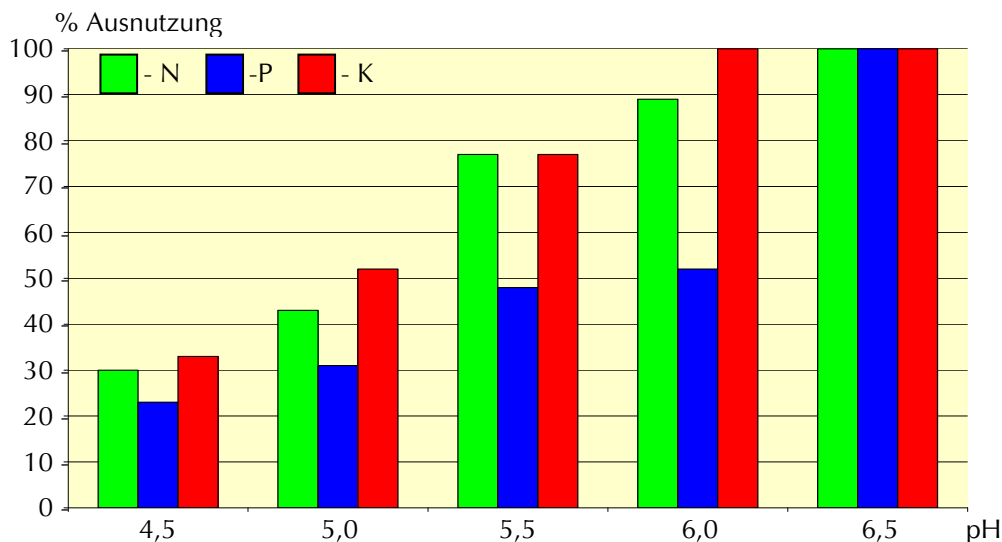


Abb. 10: Einfluss des Kalkzustandes auf die Nährstoffverfügbarkeit (schematisch) (nach CELAC, 2005)

Im Hinblick auf die ökologischen Vorgaben der Gesellschaft an die Landnutzer ist besonders bei Stickstoff und Phosphor eine sehr hohe Nährstoffeffizienz essentiell. Beispielhaft sei hier nur auf die novellierte Düngeverordnung verwiesen, die mittelfristig den betrieblichen N-Saldo auf 60 kg/ha N begrenzt. Landwirtschaftliche Betriebe, deren Böden keine optimalen pH-Werte aufweisen, dürften diese Vorgaben – entsprechend der Abbildung 9 – kaum einhalten können.

Der pH-Wert in der Bodenlösung beeinflusst nicht nur die Löslichkeit der Pflanzennährstoffe sondern auch die **Mobilität von Schwermetallen**. Schwermetalle haben oft negative Effekte auf das Pflanzenwachstum und zeigen zum Teil auch phytotoxische Wirkungen. Eine standortgerechte Kalkung verhindert die Freisetzung dieser phytotoxischen Schwermetalle und kann so zur Ertragssicherung beitragen. Kalk reduziert auch den **Transfer von Schwermetallen** in die Ernteprodukte. Neben der Ertragssicherung kann eine standortgerechte Kalkung so auch zur Qualitätssicherung beitragen. Die zur Lebensmittelproduktion genutzten Ackerflächen weisen im Regelfall Schwermetallgehalte weit unterhalb der rechtlich zulässigen Grenzwerte auf. In Einzelfällen, z.B. im Erzgebirge oder in Flussauen, können aber höhere Werte auftreten. Werden auf diesen Flächen Kulturen mit einer relativ hohen Schwermetallaufnahme, z.B. Gemüsearten

oder auch Winterweizen angebaut, kann es bei deutlich erniedrigten pH-Werten zu einer Schwermetallaufnahme (im Regelfall Cadmium) kommen.

Durch eine standortgerechte Kalkung kann auf diesen Standorten die Löslichkeit der unerwünschten Schwermetalle soweit reduziert werden, dass eine Cd-Anreicherung in den angebauten Kulturen nicht zu befürchten ist. Im Hinblick auf die Anforderungen, die sich aus den rechtlichen Vorgaben zum Verbraucherschutz ergeben, ist diesem Aspekt zukünftig verstärkt Beachtung zu schenken. Abbildung 11 zeigt ein Beispiel für den Anbau von Spinat.

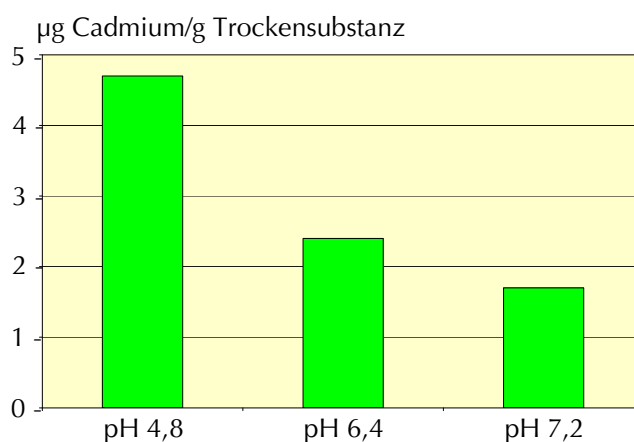


Abb. 11: Einfluss des pH-Wertes auf den Cd-Gehalt von Spinat (GENIESER, 1995)

Alle diese Faktoren führen dazu, dass auf gut mit Kalk versorgten Standorten das Leistungspotential besser ausgeschöpft werden kann (Abbildung 12).

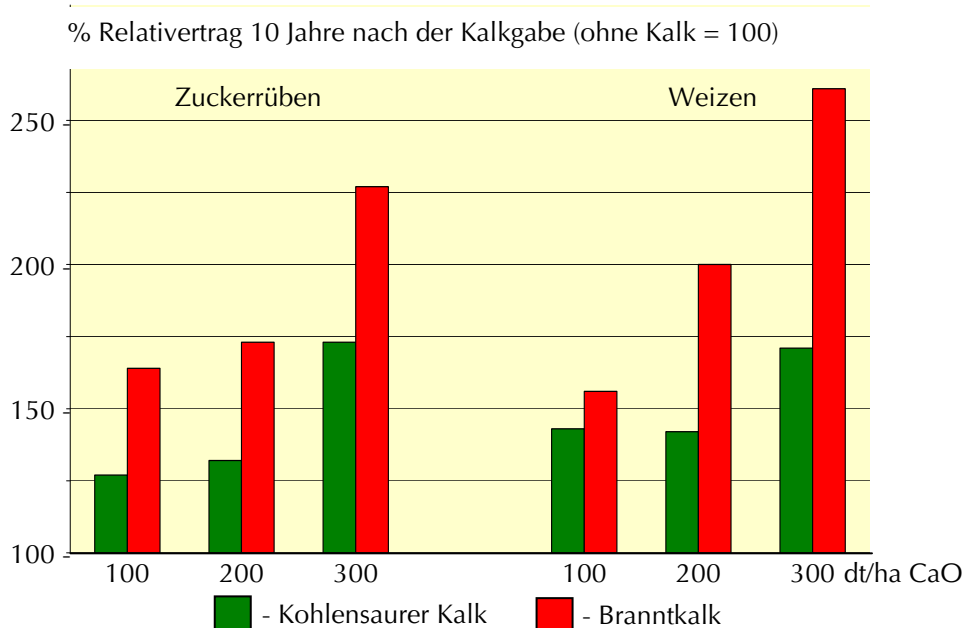


Abb. 12: Ertragswirkung eines Kalkdüngungsversuches an Zuckerrüben und Winterweizen (nach LÜDERS, 1977)

3.3 Biologische Kalkwirkung – Kalk schafft Leben

Kleinorganismen wie Bakterien, Milben, Tausendfüßler und vor allem Regenwürmer, sind ein wichtiger Bestandteil des Bodens und beeinflussen zahlreiche Umsetzungsprozesse. Ihr Vermehrungs- und Wirkungsoptimum haben sie meist im schwach sauren bis neutralen pH-Bereich (Tabelle 3). Nur im gut kalkversorgten Boden finden diese nützlichen Helfer optimale Bedingungen. Dort können sie sich rasch vermehren und die organische Substanz des Bodens abbauen und in wertvollen Dauerhumus aufbauen.

Tabelle 3: Optimale pH-Spannen verschiedener Bodenorganismen (STÖVEN, 2002)

	pH-Bereich
Bakterien	6,0 – 9,0
Pilze	< 5,5
Einzeller	6,5 – 7,5
Ringelwürmer	5,5 – 7,5
Regenwürmer	6,5 – 8,0

Auf versauerten Böden dagegen ist die Mikrobentätigkeit deutlich reduziert. Dies kann dazu führen, dass sowohl die Strohrotte als auch der Abbau organischer Dünger gehemmt sind. **Mulchsaatverfahren** sind daher bei großen Strohmenngen darauf angewiesen, dass sich der pH-Wert im standorttypischen Optimalbereich befindet (pH-Klasse C), da sonst leicht die Gefahr besteht, dass der Auflauf der neu gedrillten Saat massiv durch das noch nicht zersetzte Stroh beeinträchtigt wird. Regenwürmer sind an der Krümelbildung maßgeblich beteiligt und die Regenwurmgänge sind unerlässlich für das Porensystem (Abbildung 13). Die Mikrobentätigkeit wird durch Kalk gefördert (Abbildung 14), die bodenbürtigen Umsetzungsprozesse werden beschleunigt.

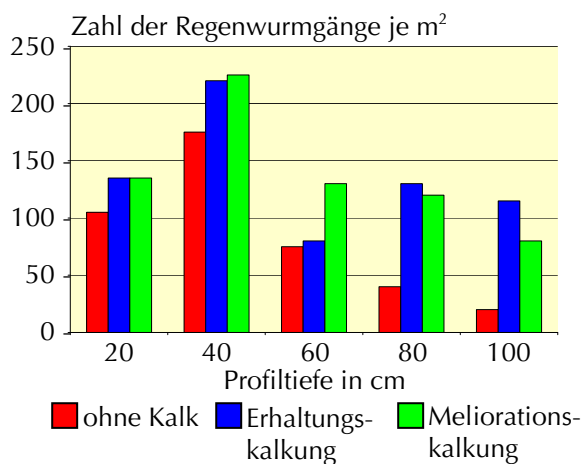


Abb. 13: Regenwurmaktivität (SCHMID und RUDERT, 1974)

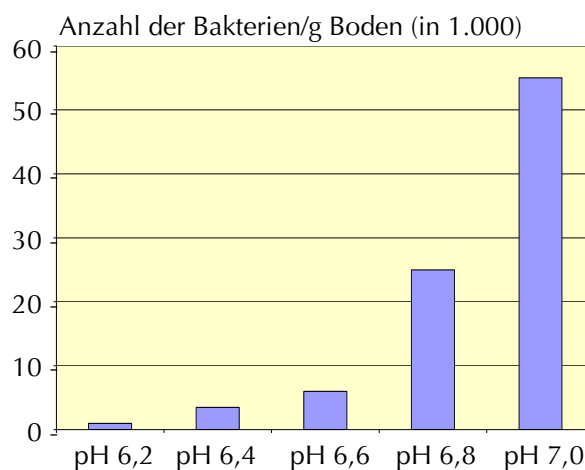


Abb. 14: Einfluss pH-Wert auf die Bakterienzahl (CELAC, 1999)

Die gesteigerte mikrobielle Aktivität führt zu einer Anreicherung niedermolekularer organischer Verbindungen im Boden, was wiederum zu einer Vernetzung und Verklebung der Bodenkolloide führt und sich somit positiv auf die Zunahme und Stabilität der Aggregate auswirkt. Bei der anzustrebenden pH-Klasse C ist die Mineralisierung, d.h. der Abbau von organischer Substanz und die Nachlieferung der in organischer Bindung vorliegenden Nährstoffe (z.B. Stickstoff und Schwefel) im Optimum.

3.4 Pflanzenphysiologische Bedeutung

3.4.1 Calcium (Ca)

Im Stoffwechsel der Pflanze übt Ca^{2+} verschiedene Funktionen aus: Es ist am Aufbau der Zellwände beteiligt, es stabilisiert Zellmembranen und greift in Hormonreaktionen ein. Calcium wird in Abhängigkeit vom Ca-Gehalt des Bodens und dessen pH-Wert von den Wurzeln ausschließlich als Ca^{2+} aufgenommen und mit dem Transpirationswasser im Xylem in die oberirdischen Pflanzenteile verlagert. Eine Rückverlagerung des Calciums aus älteren in jüngere Pflanzenteile oder in die Wurzeln ist dagegen nicht möglich. Die Transpirationsintensität hat somit einen entscheidenden Einfluss auf die Ca-Verlagerung aus den Wurzeln in den Spross.

Unregelmäßigkeiten bei der Wasserversorgung der Pflanzen sind oft ein Hauptgrund für das Auftreten von Ca-Mangel. **Mangelsymptome** treten aufgrund der geringen Mobilität des Calciums in der Pflanze immer zuerst an den Wachstumsspitzen, Blüten und Früchten auf. Bei Hemmung der Ca^{2+} -Zufuhr aufgrund verminderter Transpiration und gleichzeitig erhöhter Wachstumsintensität, kann es bei sonst normal gewachsenen Pflanzen zur „**Stängelweiche**“ bzw. zum „**Stängelknicken**“ kommen.



Abb. 15: Sonnenblume mit Ca-Mangel
(SCHERER, 2006)

Bei Äpfeln äußert sich Ca-Mangel in Form von braunen Stippen. Eine der Stippigkeit der Äpfel analoge Erscheinung bei Ca-Mangel ist die Fruchtfäule der Tomate. Beide Krankheitssymptome, deren Auftreten durch kühle, feuchte Witterung begünstigt wird, sind auf einen Zerfall des Gewebes zurückzuführen. Nicht äußerlich erkennbare Symptome sind eine erhöhte Durchlässigkeit der Zellmembranen, Zerstörung der Zellkernstrukturen und Abnahme der Chromosomenstabilität, was zu einer Störung der Kern- und Zellteilung führt.

3.4.2 Magnesium (Mg)

Magnesium (Mg^{2+}) wird im allgemeinen von der Pflanze in geringeren Mengen als Ca^{2+} aufgenommen. Ionenkonkurrenz mit verschiedenen Kationen bei der Aufnahme kann die Aufnahme beeinträchtigen. In der Pflanze ist Mg^{2+} recht gut beweglich, wodurch es sich grundsätzlich vom Ca^{2+} unterscheidet. Die gute basipetale Verlagerung in oberirdischen Pflanzenteilen ist auch der Grund dafür, dass Mg^{2+} bei nicht ausreichender Versorgung aus älteren Pflanzenteilen in jüngere Blätter transportiert wird.

Zentrale Bedeutung im Stoffwechsel der Pflanze hat Mg^{2+} in der **Photosynthese** als Baustein des Chlorophylls. Des Weiteren liegt es als integrierender Baustein in den Ribosomen und in der Matrix des Zellkerns vor. In seiner membranstabilisierenden Eigenschaft ähnelt Mg^{2+} dem Ca^{2+} . Weiterhin werden zahlreiche Enzyme durch Mg^{2+} aktiviert.

Obwohl Mg-Mangel sich bei den verschiedenen Pflanzenarten unterschiedlich äußert, beginnt er wegen der Mobilität immer bei den älteren Blättern. Bei dikotylen Pflanzen bilden sich in der Mitte der Blathälfte zwischen den Blattadern Aufhellungen, die immer größer werden. Bei fortschreitendem Mangel erscheinen nur noch die Hauptadern grün. Bei monokotylen Pflanzen kommt es infolge lokaler Chlorophyllanhäufungen entlang der Blattnerven der älteren Blätter zu **perlschnurartigen Marmorierungen**.



Abb. 16: Sonnenblume mit Mg-Mangel (SCHERER, 2006)

4 Verfahren zur Bedarfsermittlung (VDLUFA-Methode)

Eine bedarfsgerechte Kalkdüngung setzt, wie bei den anderen Nährstoffen auch, umfangreiche Kenntnisse über den Zustand aber auch über weitere Kenndaten des zu düngenden Standorts voraus. Die Bestimmung des pH-Wertes mit einer Schnellmethode kann nur zur groben Orientierung über den Säurezustand dienen. Der Kalkbedarf lässt sich daraus nicht zuverlässig ableiten. Regelmäßige Bodenuntersuchungen durch ein Fachlabor gehören heute zur guten fachlichen Praxis. Aber auch die vom Labor ermittelten pH-Werte alleine reichen für die Ermittlung des Kalkdüngedarfs nicht aus. Vielmehr müssen bei der Bedarfsermittlung neben den **pH-Werten** auch weitere Faktoren wie die **Bodenart**, der **Humusgehalt** und die **Nutzung** einbezogen werden.

Unter Berücksichtigung dieser Kenndaten hat daher zunächst eine schlagbezogene Einstufung in **Bodengruppen der Düngung** sowie die Eingruppierung in **pH-Klassen** zu erfolgen, bevor die anzustrebenden pH-Werte und daraus resultierenden Aufwandmengen berechnet werden können.

4.1 Einstufung der Böden in Bodengruppen der Düngung

Die Einstufung der Böden in Bodengruppen der Düngung wird entweder nach dem **Tongehalt** (%) oder nach dem **Feinanteil** (%) durchgeführt (Tabelle 4). Eine schlagbezogene Zuordnung in die Bodengruppen der Düngung ist ebenfalls aus den Daten der

- Bodenschätzung,
- Erhebung der Bodenartengruppen nach TGL 24300 oder
- Bestimmung der Bodenartengruppe nach Kartieranleitung

möglich. Das hierzu benötigte umfangreiche Zuordnungsschema kann auf der Internetseite der LLFG (www.llfg.sachsen-anhalt.de) eingesehen werden.

Tabelle 4: Einstufung in Bodengruppen der Düngung nach Ton- und Feinanteil (nach DIN 19682); Feinanteil = Summe aus Ton und Feinschluff

Boden- gruppe	Tonanteil % < 0,002 mm	Feinanteil % < 0,006 mm	Bezeichnung	
BG 1	≤ 5	≤ 7	Sand	leichte Böden
BG 2	6 – 12	8 - 16	lehmiger Sand	
BG 3	13 – 17	17 - 23	sandiger Lehm	mittlere Böden
BG 4	18 – 25	24 - 35	Lehm/Schlufflehm	
BG 5	≥ 26	≥ 36	Ton	schwere Böden
BG 6	Eingruppierung nur anhand des Humusgehaltes		Moor	

Der **Humusgehalt** der Mineralböden wird in Abhängigkeit von der Flächennutzung untergliedert. Bei Ackerböden gelten die Klassengrenzen „0 bis 4 %“, „4,1 bis 8 %“ und „8,1 bis 15 %“ „15,1 bis 30 %“. Bei **Grünlandstandorten** auf Mineralböden wurden dagegen die alten Klassen in zwei Gruppen (0 bis 15 % und 15,1 bis 30 %) zusammengefasst. Böden mit Humusgehalten über 30 % werden unabhängig von der Nutzung in die Kategorie (An)moor eingruppiert. Bei fehlenden Angaben zum Humusgehalt wird immer die erste Klasse (bei Ackerböden also 0 bis 4 %, bei Grünlandböden 0 bis 15 %) unterstellt.

4.2 Eingruppierung in pH-Klassen

Tabelle 5: Definition der pH-Klassen für die Kalkversorgung des Bodens sowie des Kalkdüngungsbedarfs (nach VDLUFA, 2001: Verbandsmethode A5.2.2)

pH-Klasse / Kalkversorgung	Beschreibung von Zustand und Maßnahme	Kalkdüngungsbedarf
A sehr niedrig	Zustand: Erhebliche Beeinträchtigung von Bodenstruktur und Nährstoffverfügbarkeit, sehr hoher Kalkbedarf, signifikante Ertragsverluste bei fast allen Kulturen bis hin zum gänzlichen Ertragsausfall, stark erhöhte Pflanzenverfügbarkeit von Schwermetallen im Boden. Maßnahme: Kalkung hat weitgehend unabhängig von der anzubauenden Kultur Vorrang vor anderen Düngungsmaßnahmen.	Gesundungskalkung
B niedrig	Zustand: Noch keine optimalen Bedingungen für Bodenstruktur und Nährstoffverfügbarkeit, hoher Kalkbedarf, meist noch signifikante Ertragsverluste bei kalkanspruchsvollen Kulturen, erhöhte Pflanzenverfügbarkeit von Schwermetallen im Boden. Maßnahme: Kalkung erfolgt innerhalb der Fruchtfolge bevorzugt zu kalkanspruchsvollen Kulturen.	Aufkalkung
C anzustreben, optimal	Zustand: Optimale Bedingungen für Bodenstruktur und Nährstoffverfügbarkeit sind gegeben, geringer Kalkbedarf, kaum bzw. keine Mehrerträge durch Kalkdüngung. Maßnahme: Kalkung innerhalb der Fruchtfolge zu kalkanspruchsvollen Kulturen.	Erhaltungskalkung
D hoch	Zustand: Die Bodenreaktion ist höher als anzustreben, kein Kalkbedarf. Maßnahme: Unterlassung einer Kalkung	keine Kalkung
E sehr hoch	Zustand: Die Bodenreaktion ist wesentlich höher als anzustreben und kann die Nährstoffverfügbarkeit sowie den Pflanzenertrag und die Qualität negativ beeinflussen. Maßnahme: Unterlassung jeglicher Kalkung, Einsatz von Düngemitteln, die in Folge physiologischer bzw. chemischer Reaktion im Boden versauernd wirken.	keine Kalkung und keine Anwendung physiologisch bzw. chemisch-alkalisch wirkender Düngemittel

Die Eingruppierung der pH-Werte erfolgt analog der Eingruppierung der Nährstoffanalysen (Tabelle 5). **Angestrebt wird die pH-Klasse C**, bei der die so genannte **Erhaltungskalkung** empfohlen wird.

Zur groben Einschätzung der ermittelten pH-Werte sind in der Tabelle 6 (für Ackerland) und Tabelle 7 (für Grünland) die anzustrebenden pH-Wertspannen für die angestrebte Klasse C angegeben. Eine detaillierte Übersicht wird im Tabellenanhang gegeben.

Tabelle 6: Rahmenschema für Ackerland zur Einstufung der pH-Werte des Bodens (CaCl₂-Methode) in pH-Klasse C (anzustrebender/optimaler pH-Bereich)

Bodengruppen	Humusgehalt des Bodens (%)				
	≤ 4	4,1 bis 8,0	8,1 bis 15,0	15,1 bis 30	>30
	pH-Werte der Klasse C				
BG 1	5,4 bis 5,8	5,0 bis 5,4	4,7 bis 5,1	4,3 bis 4,7	
BG 2	5,8 bis 6,3	5,4 bis 5,9	5,0 bis 5,5	4,6 bis 5,1	
BG 3	6,1 bis 6,7	5,6 bis 6,2	5,2 bis 5,8	4,8 bis 5,4	
BG 4	6,3 bis 7,0 ¹⁾	5,8 bis 6,5	5,4 bis 6,1	5,0 bis 5,7	
BG 5	6,4 bis 7,2 ¹⁾	5,9 bis 6,7	5,5 bis 6,3	5,1 bis 5,9	
BG 6 (Hoch- und Niedermoor ²⁾)					4,3 ³⁾

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

²⁾ bei vielen Niedermooeren des Landes sind die pH-Werte geogen bedingt > 6,5

³⁾ keine Erhaltungskalkung

Tabelle 7: Rahmenschema für Grünland zur Einstufung der Kalkversorgung des Bodens in pH-Klasse C (anzustrebender/optimaler pH-Bereich); pH-Bestimmung nach CaCl₂-Methode

Bodengruppen der Düngung	Humusgehalt des Bodens (%)		
	≤ 15	15,1 bis 30	> 30
	pH-Werte der Klasse C		
BG 1	4,7 bis 5,2	4,3 bis 4,7	
BG 2	5,2 bis 5,7	4,6 bis 5,1	
BG 3	5,4 bis 6,0	4,8 bis 5,4	
BG 4	5,6 bis 6,3	5,0 bis 5,7	
BG 5	5,7 bis 6,5	5,1 bis 5,9	
BG 6 ¹⁾			4,3 ²⁾

¹⁾ auf einem Großteil der Niedermooere liegen die pH-Werte geogen bedingt > 6,5.

²⁾ keine Erhaltungskalkung

4.3 Kalkulation der benötigten Kalkmengen

Anhand der Ergebnisse aus der Einstufung in die Bodengruppen der Düngung sowie der pH-Wert-Analysen des Bodens und den daraus resultierenden Ziel-pH-Werten können die benötigten Kalkmengen berechnet werden. In Abhängigkeit von der Höhe der Kalkgabe erfolgt hierbei eine Einteilung in die drei Bereiche **Erhaltungskalkung**, **Aufkalkung** und **Gesundungskalkung**. Davon zu unterscheiden ist die **Meliorationskalkung**.

Bei allen Berechnungen ist darauf zu achten, dass die Kalkgehalte bei den verschiedenen Düngekalken, je nach dem, ob sie im Produkt als Oxid oder als Carbonat vorliegen, sowohl als Calciumoxid (CaO) als auch als Calcium-Carbonat (CaCO₃) angegeben sein können. Als Bezugsgröße wird zumeist die Einheit CaO bevorzugt, eine Umrechnung wird daher erforderlich. Einige Düngekalke enthalten Magnesium. Auch dieses kann als Oxid (MgO) oder Carbonat (MgCO₃) vorliegen und deklariert sein.

Umrechnungsfaktoren:

CaO	x	1,785	→	CaCO ₃	CaCO ₃	x	0,560	→	CaO
Ca	x	2,497	→	CaCO ₃	CaCO ₃	x	0,400	→	Ca
Ca	x	1,399	→	CaO	CaO	x	0,715	→	Ca

MgO	x	2,092	→	MgCO ₃	MgCO ₃	x	0,478	→	Mg
Mg	x	3,468	→	MgCO ₃	MgCO ₃	x	0,288	→	Mg
Mg	x	1,658	→	MgO	MgO	x	0,603	→	Mg

4.4 Erhaltungskalkung

Unter Erhaltungskalkung versteht man die regelmäßige Zufuhr des Erhaltungsbedarfes eines im optimalen pH-Zustand befindlichen Bodens (pH-Klasse C) zum Ausgleich der Calcium-Verluste, die aus den in Abschnitt 2 genannten Prozessen resultieren:

- atmosphärischer Säureeintrag (Stichwort saurer Regen),
- Wurzelatmung und Bodenleben,
- Düngung mit physiologisch sauren Düngemitteln,
- Auswaschung und
- Ernteentzug.

In Tabelle 1 auf Seite 5 sind zur Orientierung einige 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.

4.5 Gesundungskalkung und Aufkalkung

Über den Erhaltungsbedarf hinaus muss auf stärker versauerten Standorten (pH-Klassen A und B) eine Gesundungs- oder eine Aufkalkung in den empfohlenen pH-Bereich nach Bodenuntersuchungsergebnissen vorgenommen werden. Die hierfür erforderlichen Mengen sind detailliert in den Tabellen im Tabellenanhang aufgeführt. Nachfolgend ein Beispiel zur Mengenkalkulation:

Beispiel

Bei einem Lehm Boden (Bodengruppe 4), der einen Humusgehalt von 6 % aufweist und als Acker genutzt wird, wird ein pH-Wert von 4,8 gemessen. Aus Tabelle 8 lässt sich ablesen, dass der Standort in die Versorgungsstufe pH-Klasse A einzustufen ist. Beim Humusgehalt von 6 % wird im Rahmen einer vierjährigen Fruchtfolge eine Gesamtgabe von **75 dt/ha CaO** empfohlen (bei einem Humusgehalt von ≤ 4 % erhöht sich der Wert auf **100 dt/ha CaO**).

Bei einer Flächengröße von 10 ha werden also 750 dt CaO bzw. 1.339 dt CaCO_3 benötigt. Enthält ein Kohlensaurer Kalk beispielsweise 75 % CaCO_3 ergibt sich daraus eine benötigte Kalkdüngermenge von 1.784 dt für 10 ha (= 1.339 dt x 100 % / 75 %). Für die Gesundungskalkung sind somit im Beispiel jährliche Kalkgaben von ca. 446 dt Düngekalk auf dem 10 ha Schlag auszubringen (4 x 446 dt = 1.784 dt).

Tabelle 8: Berechnung einer Gesundungskalkung im Rahmen einer Fruchtfolge

pH-Klasse	Humusgehalt							
	$\leq 4,0$ %		4,1 bis 8,0 %		8,1 bis 15,0 %		15,1 bis 30 %	
	pH	CaO	pH	CaO	pH	CaO	pH	CaO
BG 4 (sandiger bis schluffiger Lehm)								
A	$\leq 4,5$	117	$\leq 4,2$	115	$\leq 3,8$	109	$\leq 3,3$	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

Bei stärker versauerten schweren Böden werden im Rahmen der Gesundungskalkung bis zu 160 dt/ha CaO benötigt. Diese Mengen sollten aber nicht auf einmal ausgebracht, sondern entsprechend den in Tabelle 9 aufgeführten Maximalmengen aufgeteilt werden.

4.6 Meliorationskalkung

Unter Meliorationskalkung wird die einmalige Zufuhr sehr hoher Kalkmengen zur grundlegenden Verbesserung degradiert Böden über den Krumenbereich hinaus verstanden. Die Meliorationskalkung erfolgt meist in Verbindung mit anderen bodentechnologischen Maßnahmen.

Tabelle 9: Empfohlene Höchstmengen je Kalkung (dt/ha CaO/Jahr)

Bodengruppe	Ackerland	Grünland
BG 1	28	21
BG 2	42	21
BG 3	56	28
BG 4	70	35
BG 5	84	42
BG 6	28	28

5 Das Kalkangebot

Kalk ist der Nährstoff mit der höchsten Anwendungsintensität in Deutschland. Zahlreiche, in Herkunft, Inhaltsstoffen und technischen Qualitätseigenschaften deutlich differierende Düngekalke werden angeboten. Die Vielzahl der angebotenen Produkte mit ihren unterschiedlichen Wirkungsweisen machen eine Orientierung am Markt schwierig. Als Düngemittel unterliegt Düngekalk rechtlich der Düngemittelverordnung. Diese regelt das Inverkehrbringen und beschreibt Mindestanforderungen an die Produktqualität. Einige Düngekalkhersteller beteiligen sich mit verschiedenen Produkten an einer freiwilligen Qualitätsüberwachung durch die DLG, sichtbar durch das DLG-Qualitätssiegel für Düngekalk (siehe Abschnitt 5.5.4).

Auch durch das Düngen von Sekundärrohstoffen, wie kalkkonditioniertem Klärschlamm oder Kompost, werden den Standorten zum Teil beträchtliche Kalkmengen zugeführt.

5.1 Kalkverbrauch in Deutschland

Der Nährstoffaufwand an CaO unterliegt deutlichen Schwankungen und lag im Wirtschaftsjahr 2008/09 bei 2,4 Mio. t (Abbildung 17). Dies entspricht unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Gehalte in den verschiedenen Düngekalktypen einer Gesamtmenge von rund 4,8 Mio. t Kalkdünger. In den Bundesländern ist der Kalkaufwand sehr unterschiedlich und hängt zum großen Teil von den standörtlichen Voraussetzungen ab. Insgesamt ist aber festzustellen, dass der Kalkverbrauch in Deutschland auf breiter Basis dauerhaft zu niedrig liegt. Dies zeigen auch die Bodenuntersuchungsergebnisse in den Ländern.

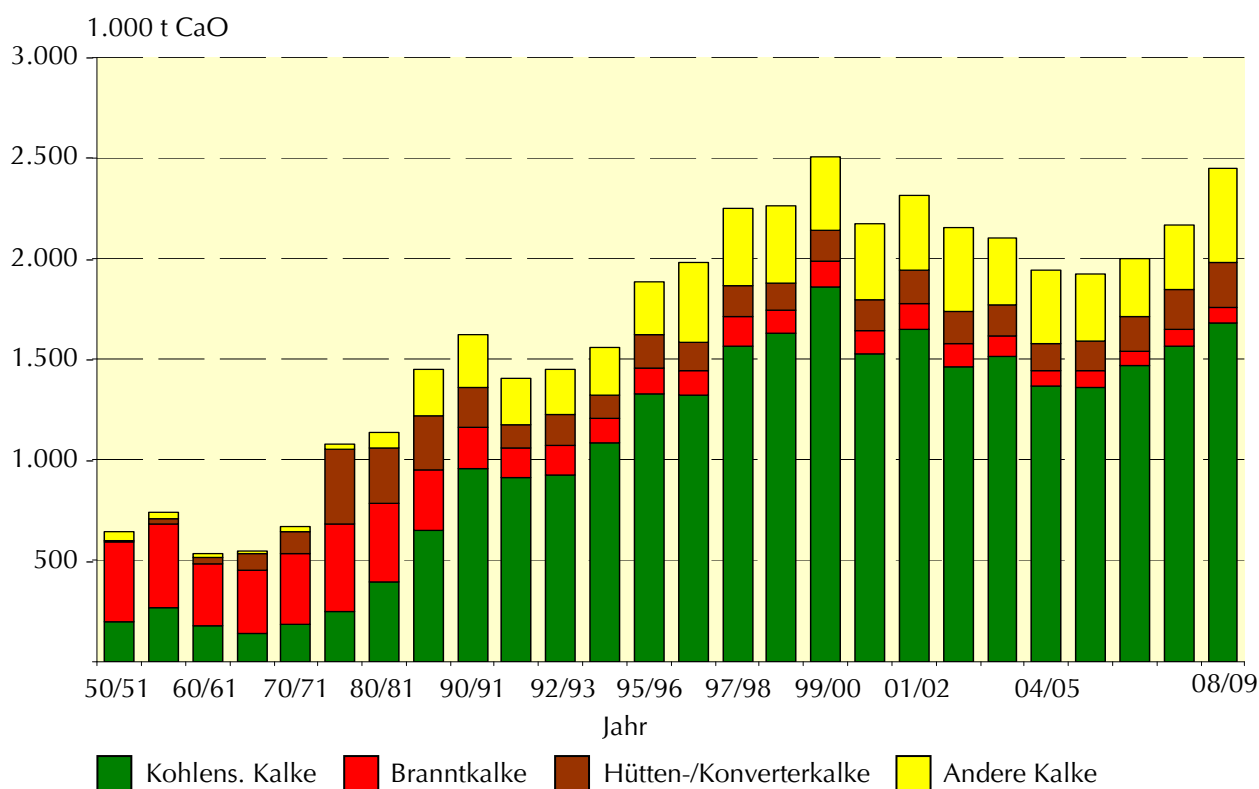


Abb. 17: Düngekalkverbrauch in Deutschland
(Quelle: Statist. Bundesamt, 2009 - bis 92/93 nur alte Bundesländer)

Von den Düngekalken haben die Kohlensäuren Kalke mengenmäßig die größte Bedeutung. Mit 1,68 Mio. t CaO wurden in 2008/09 mehr als 70 % als Kohlensäure Kalke gedüngt. Gemeinsam mit Brannt- und Mischkalken erreichten diese zu den Naturkalken gehörenden Düngekalke einen Anteil von ca. 80 % des gedüngten CaO. Die silikatischen Kalke hatten einen Anteil von 10 % (Abbildung 18). Über Carbo-

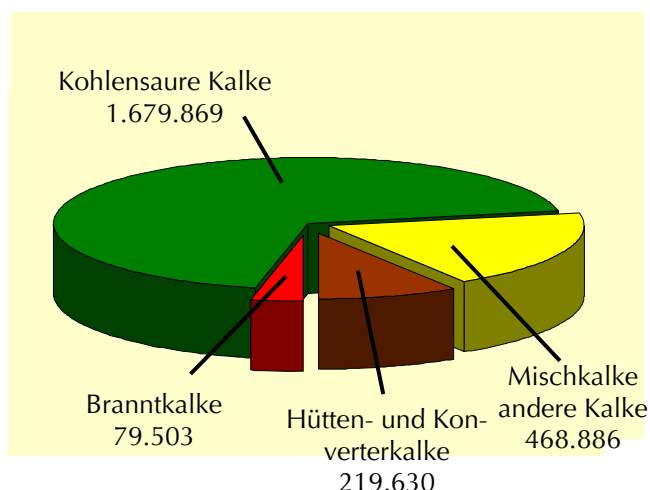


Abb. 18: Marktbedeutung der Kalktypen in Deutschland (in t CaO) - Düngejahr 2008/09 (Quelle: Statist. Bundesamt, 2009)

kalk wurden ca. 14 % des gedüngten CaO zugeführt (230.000 t CaO $\approx$ 780.000 t TM).

Kalkdünger, und hier besonders die Gruppe der Naturkalke, sind neben ihrer allgemeinen Kalkwirkung gleichzeitig der wichtigste **Magnesiumlieferant** in Deutschland. Etwa die Hälfte des gedüngten Magnesiums (jährlich 400.000 t MgO) stammen aus dieser Quelle (in erster Linie magnesiumhaltige Kohlensäure Kalke oder Kohlensäure Magnesiumkalke). Die Grundversorgung an Magnesium kann so einfach durch die Verwendung von magnesiumhaltigen Düngekalken sichergestellt werden.

5.2 Rechtliche Grundlagen der Kalkdüngung in Deutschland

In Deutschland existiert eine große Zahl von Anbietern, die die verschiedensten Produkte auf den Markt bringen. Alle Kalkdünger lassen sich aber einem von sechs zugelassenen Düngemitteltypen zuordnen. Diese Typenabgrenzungen enthalten die wesentlichen Eigenschaften nach einheitlichen und allgemeinen Parametern (Tabelle 10).

Für Kalkdünger gelten die in der Tabelle 10 angeführten Mindestgehalte an CaO bzw. CaCO_3 , wobei ein Teil CaO durch MgO bzw. ein Teil CaCO_3 durch MgCO_3 ersetzt werden kann. Ab einem Magnesiumanteil von 15 % MgCO_3 bzw. 7 % MgO darf die Typenangabe um den Begriff „Magnesium“ ergänzt sein. Daneben sind in der Düngemittelverordnung für die Kohlensäuren Kalke Mindestanforderungen an die Reaktivität und für Branntkalke sowie Mischkalke die Maximalanteile an carbonatisch gebundenem Calcium definiert. Weiterhin sind die Anforderungen an den Vermahlungsgrad und Grenzwerte für unerwünschte Begleitstoffe beschrieben.

Tabelle 10: Gliederung der Kalkdüngertypen (Auszug DüM-VO vom 19.12.2008)

Typen- bezeichnung	Gruppe	Bemerkungen	Mindestgehalte	Siebdurchgang
Kohlensaurer Kalk	Naturkalke	Direkt aus natürlichen Lagerstätten gewonnen	75 % CaCO_3	97 % $\leq 3,15$ mm 70 % $\leq 1,0$ mm
Branntkalk			65 % CaO	97 % $\leq 6,3$ mm bei Branntkalk körnig zusätzlich: max. 5 % $\leq 0,4$ mm
Mischkalk			50 % CaO	97 % $\leq 4,0$ mm 50 % $\leq 0,8$ mm
Hüttenkalk	Industriekalke	Aus der Eisen- und Stahlindustrie	42 % CaO	97 % $\leq 1,0$ mm 80 % $\leq 0,315$ mm oder 97 % $\leq 3,15$ mm
Konverterkalk			40 % CaO	Spezielle Anforderungen in Abhängigkeit von der Herstellung
Andere Kalkdünger	Diverse Industrieherkünfte	z.B. aus der Wasseraufbereitung	30 % CaO in TM	

Die Düngemittelverordnung erlaubt es, dass den Kalkdüngern andere mineralische Düngemittel zugemischt werden. Eine Ausnahme stellt ammoniumhaltiger N-Dünger dar, dessen Beimischung untersagt ist. Dadurch können auf Basis der Kalkdünger beliebige Nährstoffkombinationen hergestellt und so den besonderen Standortbedingungen angepasst werden.

Die Düngemittelverordnung schreibt eine genaue Kennzeichnung der Düngemittel vor, damit der Anwender seine Düngung exakt planen kann. Alle acker- und pflanzenbaulich wichtigen Angaben sind darin zu deklarieren. Daneben bleibt Raum für Warenzeichen und Handelsnamen sowie für zusätzliche, ergänzende Angaben und Informationen, die nicht im Widerspruch zu den vorgegebenen Angaben stehen dürfen. Abbildung 19 zeigt beispielhaft, wie eine solche Deklaration gestaltet sein kann.

Raum für Warenzeichen und Handelsnamen		Handelsname
Düngemittelrechtlich vorgeschriebene Angaben		Typenbezeichnung, zB.: <i>Kohlensaurer Magnesiumkalk 90</i> Gehaltsangaben, z.B.: <i>60 % CaCO₃ Calciumcarbonat</i> <i>30 % MgCO₃ Magnesiumcarbonat</i> Basisch wirksame Bestandteile in % CaO, z.B.: <i>53 % CaO basisch wirksame Bestandteile,</i> <i>bewertet als CaO (Neutralisationswert)</i> Menge: kg Anschrift Inverkehrbringer z.B.: 
Zusätzliche, ergänzende Angaben und Informationen, die nicht im Widerspruch zu den vorgeschriebenen stehen dürfen		

Abb. 19: Musterdeklaration

5.3 Das Düngekalksortiment

5.3.1 Die Qual der Wahl – Den richtigen Kalk einkaufen

Bei der Auswahl der Kalkdünger muss zunächst entschieden werden, ob der Dünger „nur“ für die Einstellung des empfohlenen pH-Wertes genutzt werden soll oder ob auch Nebenbestandteile, wie z.B. Magnesium, sinnvoll verwertet werden können.

Weiterhin ist zu klären, ob ein schnell wirkender Kalk benötigt wird oder ob die Kalkung auch mit langsam wirkenden Kalken erfolgen kann. Bei der Gefahr eines Spurenelementmangels können die im Hütten- und Konverterkalk enthaltenen Mikronährstoffe unter Umständen dazu führen, dass auf eine Mikronährstoffdüngung verzichtet werden kann (Tabelle 11).

Tabelle 11: Kalkdüngerarten und ihre Nebenbestandteile

Düngerart	CaO	Nebenbestandteile	Farbe und Wirkung
Branntkalk	70 - 90 %	z.T. 15 - 40 % MgO	weiss, schnell wirkend
Kohlensaurer Kalk	ca. 45 %		weiss-grau, langsam wirkend
Kohlensaurer Kalk mit Magnesium	ca. 30 %	bis 30 % MgO	weiss-grau, langsam wirkend
Carbokalk	ca. 30 %	MgO, Stickstoff, Phosphor	grau-weiss, relativ schnell wirkend
Hüttenkalk	ca. 47 %	MgO, Spurenelemente, Silizium	grau, langsam wirkend
Konverterkalk	ca. 40 %	MgO, Spurenelemente, Silizium	grau bis schwarz, schnelle Wirkung der oxidischen (6 - 10%), langsame Wirkung der kieselsauren Anteile

Schließlich beeinflussen nicht zuletzt das verfügbare Angebot an Kalkdüngern, häufig ist dieses regional sehr unterschiedlich, und die Lieferbedingungen die Entscheidung. Bei der Auswahl der einzelbetrieblich optimalen Kalksorte ist weiterhin die verfügbare Technik zu berücksichtigen. So kann z.B. fein vermahlener Branntkalk nur mit speziellen Schneckenstreuern ausgebracht werden. Natürlich spielt der Preis je kg CaO bzw. CaCO_3 bei der Entscheidungsfindung eine wichtige Rolle. Immer aber sollte beim Einkauf auf die Qualität der angebotenen Düngekalke geachtet werden, denn die Wirkung muss im Vordergrund stehen und nicht allein der Preis.

5.3.2 Wichtige Kalkdünger und ihre Eigenschaften

Die wesentlichen Eigenschaften der Kalkdünger lassen sich stichwortartig wie folgt zusammenfassen (in Anlehnung an SEVERIN, 2002):

Kohlensaurer Kalk / Kohlensaurer Magnesiumkalk

Alle Kohlensäuren Kalke/Magnesiumkalke enthalten die Nährstoffe Calcium und Magnesium in carbonatischer Bindung (CaCO_3 oder MgCO_3). Kohlensäure Kalke werden ausschließlich aus natürlichen Lagerstätten gewonnen und durch Brechen und Vermahlen weiterverarbeitet. Die Nährstoffgehalte sind daher weitestgehend von der natürlichen Verteilung in der Lagerstätte abhängig. Zwischen den verschiedenen Produkten können die MgCO_3 -Gehalte von 0 % bis 45 % variieren. Innerhalb einer Lagerstätte und damit auch für ein Produkt, sind die Calcium- und Magnesiumgehalte aber sehr konstant. Die Reaktivität muss mindestens 30 % betragen, bei Kohlensäuren Magnesiumkalken mit mehr als 25 % MgCO_3 mindestens 10 %. Häufige Reaktivitäten im Kohlensäuren Kalk liegen zwischen 40 und 60 %. Kreidekalke weisen Reaktivitäten von mehr als 80 % auf; sie zeichnen sich durch eine raschere Umsetzung aus. Einen wesentlichen Einfluss auf die Reaktivität hat die Vermahlung.

Kohlensäure Kalke können ohne Einschränkungen für alle Bodenarten eingesetzt werden. Sie verfügen über eine langsame und milde Wirkung und eignen sich besonders auf Sandböden und Grünland, aber auch für die Erhaltungskalkung von mittelschweren Böden. Magnesiumhaltige und Kohlensäure Mg-Kalke decken auf Sand- und Moorböden einen großen Teil des Magnesiumbedarfes von Boden und Pflanze ab. Auf Böden mit pH-Werten über 6 nimmt die Umsetzungsgeschwindigkeit von Kohlensäurem Magnesiumkalk (**Dolomitische Kalke**) mit zunehmendem pH-Wert ab. Deshalb sind für diese Böden Kalke mit niedrigen MgCO_3 -Gehalten vorzuziehen.

Branntkalk / Magnesium-Branntkalk

Branntkalke enthalten Calcium und als Mg-Branntkalke auch das Magnesium in oxidischer Bindung (CaO/MgO). Sie entstehen durch Brennen von Kalkstein oder Dolomit bei Temperaturen über 900°C bis 1200°C. Hierbei werden CaCO_3 bzw. MgCO_3 zu CaO bzw. MgO umgewandelt bei gleichzeitiger Freisetzung von Kohlendioxid (CO_2). Branntkalke werden gemahlen oder körnig angeboten.

Branntkalk hat auf mittleren und schwereren Böden von allen Kalken die beste Strukturwirkung. Auf diesen Böden sollte er vorzugsweise auch zur Gesundungskalkung eingesetzt werden. Mg-Branttkalke mit mehr als 15 % MgO zeichnen sich im Gegensatz zu Kohlensaurem Mg-Kalk durch eine hohe Magnesiumwirkung aus und sind auf mittleren und schwereren Böden mit pH-Werten über 6,0 als Calcium- und Magnesiumdünger geeignet. Die Magnesiumwirkungen sind praktisch so hoch wie bei wasserlöslichen Magnesiumdüngerformen. Beim Ausbringen auf nasse Böden kann Branttkalk jedoch mit den Bodenteilchen größere Klumpen bilden, wodurch seine Kalkwirkung eingeschränkt wird. Wegen seiner ätzenden Wirkung ist Branttkalk für eine Kopfkalkung ungeeignet. Bei längerer Lagerung bindet Branttkalk Luftfeuchtigkeit und reagiert zu Calcium-Hydroxid. Dadurch nimmt der in einer Gewichtseinheit enthaltene Basengehalt ab. Branttkalk sollte also nach der Anlieferung durch den Hersteller zügig verbraucht werden.

Mischkalk / Magnesium-Mischkalk

Mischkalke werden durch das Mischen von Kohlensauren Kalken und Branttkalken hergestellt. In Abhängigkeit von den Ausgangssubstraten (Kalkstein oder Dolomit) können sie unterschiedliche Magnesiumgehalte besitzen. Sie enthalten sowohl carbonatische als auch oxidische Kalkanteile. Sie enthalten damit sowohl schneller wirkende Bestandteile (Ca-/Mg-Oxide) und auch langsamer wirkende Bestandteile (Ca-/Mg-Carbonate).

Hüttenkalk

Bei Hüttenkalken sind Calcium und Magnesium überwiegend an Kieselsäure gebunden. Sie sind Nebenprodukte der Eisenverhüttung und -veredelung und werden durch Vermahlung der Hochofenschlacke hergestellt. Hüttenkalke werden gemahlen oder körnig angeboten. Ab einem Gehalt von 3 % MgO ist ein Hinweis auf den Magnesiumgehalt zulässig.

Hüttenkalke sind in ihrer Wirkung mit Kohlensauren Kalken vergleichbar. Neben dem Kalkanteil enthält Hüttenkalk 0,3 % bis 1,0 % Mangan. Die Manganversorgung kann auf Sandböden nachhaltig durch Hüttenkalke verbessert werden. Akuter Manganmangel kann jedoch nicht durch Hüttenkalke behoben werden.

Konverterkalk

Konverterkalke werden durch Vermahlen von Konverterschlacke hergestellt. Sie enthalten den Kalkanteil in oxidischer und kieselaurer Form. Sie werden vermahlen oder körnig angeboten.

Ihre Wirkung ist vergleichbar mit der von Kohlensauren Kalken. In Konverterkalken sind Mangan, in Thomaskalken auch Phosphat wichtige Nebenbestandteile. In verschiedenen Versuchen führt die Kieselsäure zu einer verbesserten Pflanzenverfügbarkeit der im Boden gebundenen P-Vorräte.

Carbokalk

Carbokalk ist ein Kalkdünger aus der Verarbeitung von Zuckerrüben. Der Kalk liegt als Carbonat vor.

Carbokalk hat wegen seiner Feinkörnigkeit eine gute und schnelle Wirkung. Mit Carbokalken kann der pH-Wert auch auf Lehm Böden zügig angehoben werden. Auf sandigen Böden muss jedoch im Vergleich zu Lehm- und Tonböden mit einer höheren und schnelleren Auswaschung gerechnet werden. Neben Calcium und Magnesium enthält Carbokalk auch nennenswerte Mengen an Stickstoff (ca. 0,3 % N) und hat P-Gehalte von ca. 0,3 % – 0,5 % P_2O_5 . Der Stickstoff liegt zum größten Teil in einer leicht umsetzbaren organischen Form vor, der bei einer Ausbringung im Sommer kurz nach der Ernte rasch zu Nitrat-Stickstoff umgesetzt wird. Da der Stickstoff auswaschungsgefährdet ist, sollte Carbokalk nach der Ernte nur in Verbindung mit einer Strohdüngung oder dem Anbau von Haupt- oder Zwischenfrüchten eingesetzt werden (Düngeverordnung). Das enthaltene Phosphat hat eine hohe Wirksamkeit und ist bei der P-Düngung voll anzurechnen.

Kalkdünger aus Anlage 2, Tabelle 10 der Düngemittelverordnung

In Tabelle 10 der Anlage 2 in der Düngemittelverordnung werden Ausgangsstoffe für Kalkdünger aufgeführt, die als Nebenprodukte bei verschiedenen industriellen Produktionen 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 und auf die Vermahlung geachtet werden. Beim Kauf sollten sich Landwirte nach den Schadstoffgehalten erkundigen.

Sekundärrohstoffdünger

Sekundärrohstoffe, wie Komposte oder kalkkonditionierte Klärschlämme, können je nach Herkunft hohe Kalkmengen enthalten. Im Kompost beträgt der Kalkgehalt im Mittel 4 bis 5 % CaO im Trockenrückstand. Dieser Kalk liegt in Carbonatform vor. Mit einer üblichen Gabe von 10 t Kompostfrischmasse je Hektar werden ca. 200 bis 250 kg CaO gedüngt. Diese Menge reicht für den Erhaltungsbedarf für leichte und mittlere Böden aus. Bei Komposten mit höheren Kalkgehalten begrenzt der Kalkgehalt, nicht der Phosphorgehalt, die zu düngende Menge. Kalkbehandelte Klärschlämme enthalten im Mittel etwa 20 bis 30 % CaO im Trockenrückstand. Dieser Kalk liegt in carbonatischer oder hydroxidischer Form vor. Die Wirkung ist vergleichbar mit der von Kohlensäuren Kalken. Bei leichten und mittleren Böden mit pH-Werten im Bereich des Ziel-Wertes begrenzt der Kalk- und nicht der Phosphorgehalt die Klärschlammaufbringungsmenge. Bei hohen pH-Werten im Boden sollten Klärschlämme ohne Kalk vorgezogen werden. Im Sinne des vorbeugenden Boden- und Verbraucherschutzes sollten Sekundärrohstoffe mit anerkannter Qualitätssicherung (z.B. QLA der VDLUFA) bevorzugt werden.

5.4 Qualitätsparameter – Besser ist besser

Zur Beurteilung der **Kalkqualität** von Düngemitteln sind für den Landwirt folgende Parameter wesentlich:

- CaO- bzw. CaCO_3 -Gehalte, MgO- bzw. MgCO_3 -Gehalt,
- Bindungsformen (Oxid, Hydroxid, Carbonat, Silikat),
- Gehalt an basisch wirksamen Bestandteilen, berechnet als CaO,
- Gehalt an unerwünschten Nebenbestandteilen (im Regelfall Schwermetallgehalte; höhere Schwermetallgehalte sind ab 2011 durch den „Inverkehrbringer“ des Düngemittels auszuweisen).

Bei Kalken und kalkhaltigen Düngemitteln sind zusätzlich noch folgende Faktoren wichtig:

- Reaktivität bei Kohlensäuren Kalken - die Reaktivität beschreibt die Löslichkeit des Kalkes in verdünnter Salzsäure (pH 2, konstant) und ist somit ein Indiz für die Umsetzungsgeschwindigkeit,
- Mahlfeinheit - im Regelfall gilt hier: je feiner aufgemahlen, desto besser die Umsetzung im Boden.

Daneben sind weitere technische Eigenschaften wie Schüttgewicht und vor allem der Feuchtigkeitsgehalt von Bedeutung, da diese Eigenschaften maßgeblich die Streueigenschaften (u.a. Verteilqualität und Staubbildung) sowie die Lagerfähigkeit beeinflussen.

Die natürliche Färbung des Kalkdüngers übt hingegen keinen Einfluss auf die Qualität und Wirksamkeit aus.

5.5 Qualitätskontrolle – Mehr Sicherheit für die Pflanzenproduktion

Die Angebotsvielfalt an Kalkdüngern in Deutschland ist enorm groß. Nach Schätzungen gibt es in Deutschland ca. 220 Anbieter für Düngekalkprodukte. Allein 160 Hersteller davon liefern Naturkalke. Aber Kalk ist nicht gleich Kalk, die Produkteigenschaften können stark variieren. Einerseits hängen von diesen die Wirkungen im Boden ab und andererseits beeinflussen sie auch die Ausbringung auf den Boden.

Weiter ist zu berücksichtigen, dass nach geltendem EU-Recht – z.B. EG VO-178/2002 - der Landwirt verpflichtet ist, die Rückverfolgbarkeit der Lebensmittelproduktion zu gewährleisten. Hierzu wurden in verschiedenen Bundesländern Qualitätssicherungssysteme für die Bereiche Tier- und Pflanzenproduktion entwickelt. Bei den immer weiter ansteigenden gesellschaftlichen Anforderungen an eine „gläserne Produktion“ wird daher in Zukunft nur der landwirtschaftliche Betrieb sicher vermarkten können, der diese Anforderungen des Marktes an die Qualitätssicherung erfüllt. Eine effiziente Pflanzenproduktion wird daher ohne angepasste Qualitätssicherung nicht mehr möglich sein. Qualitätssicherungssysteme können aber nur dann zuverlässig arbeiten, wenn auch die Betriebsmittel einer gewissenhaften Qualitätsüberwachung unterliegen.

Eine Prüfung der Produktqualität durch den Anwender ist aber ohne Labor und zeitaufwändige Analysen nicht möglich. Umso wichtiger ist eine Qualitätskontrolle auf anderer Ebene. In Deutschland kann diese in verschiedenen Systemen organisiert sein.

5.5.1 Amtliche Düngemittelverkehrskontrolle

Im Düngemittelgesetz ist die amtliche Kontrolle der Düngemittel den Ländern übertragen. Die auf Länderebene durchgeführte staatliche Düngemittelverkehrskontrolle ist in

der Regel aber nicht in der Lage, die gesamte Jahresproduktion an Düngekalken umfassend zu überwachen. Die hier gezogenen Proben können somit nur als Stichprobe angesehen werden.

5.5.2 Interne Werkskontrolle

Der Hersteller selbst überwacht während der Produktion laufend die wichtigsten Parameter und gewinnt damit bereits einen durchgehenden Überblick über die Produktqualität. Die Prüf- und Kontrollverfahren werden eigenständig festgelegt und die Parameter und deren Kontinuität werden rein werkspezifisch bestimmt. Externe Überprüfungen finden in der Regel nicht statt.

5.5.3 Management-Systeme zur Qualitätssicherung

Eine Reihe von Unternehmen und Werke verfügen über integrierte und zertifizierte Managementsysteme zur Qualitätssicherung, wie z.B. das QMS nach DIN EN ISO 9000, QS, GMP oder HACCP. Im Rahmen dieser Managementsysteme finden neben den festgelegten Kriterien der Prozess- und Produktsteuerung auch interne und externe Auditierungen (Überprüfungen) statt, durch die die Wirksamkeit und Plausibilität der Maßnahmen bewertet werden. Produkte aus Unternehmen mit solchen Systemen unterliegen einer strengeren und intensiveren Kontrolle.

5.5.4 DLG-Qualitätssicherung für Düngekalk

Ein sehr umfangreiches System zur Qualitätsüberwachung für Düngekalke bietet die DLG an. Die neutralen Kontrollen der DLG schließen sowohl den Herstellungsprozess als auch die Produktqualität in das Überwachungssystem ein.

Die Hersteller von Düngekalkprodukten können sich freiwillig einer Prüfung durch die DLG unterziehen. Die zugrunde liegenden Prüfkriterien wurden von DLG-Expertengremien erarbeitet, in denen Landwirte, Wissenschaftler und Berater, aber auch Hersteller vertreten sind. Die Anforderungen orientieren sich dabei an den Belangen der Praxis.

Die DLG-qualitätsgesicherten Düngekalke müssen aber nicht nur eine **kontrollierte Produktqualität** nachweisen. Darüber hinaus müssen die Hersteller zusätzlich einen Nachweis über die erfolgreiche Durchführung einer **werksinternen Produktionsüberwachung (WPÜ)** erbringen. Diese besteht aus von der DLG festgelegten Anforderungen an die Eigenüberwachung (Häufigkeit und Umfang) sowie einer Dokumentation, in der der Hersteller seine Maßnahmen zur Sicherung der Qualität der Produkte beschreibt. Erst nach erfolgreicher Auditierung kann ein Düngekalk das DLG-Qualitätssiegel verliehen bekommen.

In der **Grundstufe** müssen die qualitätsgesicherten Düngekalke durch regelmäßige Kontrollen die Einhaltung der gesetzlichen Anforderungen an die Produktqualitäten nachweisen.



Abb. 20a: DLG-Qualitätssiegel für Düngekalk „Grundstufe“

In der **Premiumstufe** liegen die Anforderungen an die Produktqualität deutlich über den gesetzlichen Mindestanforderungen (siehe Tabelle 12). Besonders hohe Anforderungen werden hier vor allem an solche Qualitätsparameter gestellt, die die Wirksamkeit der Produkte verbessern und damit einen hohen Nutzen für den Landwirt haben. Neben den Gehalten an Calcium und Magnesium sind dies bei Kohlensäuren Kalken aus Kalkstein oder Dolomit besonders die Mahlfineinheit und bei Kohlensäuren Kalken aus Kreide die Reaktivität. Bei den gebrannten Naturkalken (Branntkalke, Mischkalke) werden zum Beispiel die Wert bestimmenden Anteile an Ca-Oxid deutlich oberhalb der gesetzlichen Forderungen angesetzt.



Abb. 20b: DLG-Qualitätssiegel für Düngekalk „Premiumstufe“

Tabelle 12: Qualitätsanforderungen für Düngekalke aus natürlichen Lagerstätten in der „Premiumstufe“ der DLG-Qualitätssicherung

Kriterium		Produkte aus natürlichen Lagerstätten							
		Kohlensaurer Kalk aus Kalkstein		Kohlensaurer Magnesiumkalk aus Dolomit				Kohlensaurer Kalk aus Kreide	
		0-15% MgCO ₃		15-25% MgCO ₃		>25% MgCO ₃		reak- tiv	sehr reaktiv
		fein	sehr fein	fein	sehr fein	fein	sehr fein		
Mindestgehalt		75 % CaCO ₃ + MgCO ₃							
Sieb- durch- gang [%]	3,150mm	---	---	---	---	---	---	97	97
	2,000mm	97	97	97	97	97	97		
	1,000mm	80	90	80	90	80	90	70	70
	0,315mm	50	50	50	50	50	70		
	0,100mm	-	20	-	20	-	20		
Mindest- reaktivität [%]	< 15% MgCO ₃	30						65	80
	15-25% MgCO ₃			30				50	65
	> 25% MgCO ₃					10			
		Branntkalk / Mg-Branntkalk				Branntkalk, körnig / Mg-Branntkalk, körnig			
Mindestgehalt CaO + MgO		75 %							
CaO an CO ₂ gebunden		< 6 %							
Mahlfeinheit		97% < 4,0 mm				mindestens 97% < 6,3 mm höchstens 5% < 0,4 mm			
		Mischkalk / Mg-Mischkalk							
Mindestgehalt CaO + MgO		50 % mindestens 35 % des angegebenen CaO-Gehaltes als Oxid							
Mahlfeinheit		mindestens 97% < 4,0 mm und 55% < 0,8 mm							

Der Vergabe des DLG-Qualitätssiegels geht eine umfangreiche Verleihungsprüfung voraus. Nach erfolgreicher **Verleihungsprüfung** werden regelmäßig kontinuierliche **Überwachungsprüfungen** durch die DLG durchgeführt. Durch dieses System aus Produkt- und Prozessprüfungen können ein sehr hohes Maß an Produktsicherheit und in der *Premiumstufe* darüber hinaus überdurchschnittliche Qualitäten gewährleistet werden. Die teilnehmenden Hersteller mit ihren qualitätsgesicherten Düngekalken sind tagesaktuell unter der Internetadresse www.dlg.org/duengekalk veröffentlicht.

6 Durchführung der Kalkdüngung

6.1 Zeit für die Kalkung

Bis auf wenige Ausnahmen, wie z.B. Krumenkalkung beim Anbau von Zuckerrüben, bestehen für die Ausbringung des Kalkes keine engen terminlichen Vorgaben. Aus arbeitswirtschaftlichen Gründen sowie aus Gründen des Bodenschutzes sollte der Kalk dann ausgebracht werden, wenn der Boden tragfähig ist und der Pflanzenbestand es zulässt. Im Regelfall ist daher eine Ausbringung auf die Stoppel angezeigt (Abbildung 21).

Erfolgt die Ausbringung noch vor dem ersten Stoppelsturz, können die Fahrgassen für eine exakte Ausbringung genutzt werden. Kann dieser Zeitraum nicht realisiert werden, besteht mittlerweile durch preisgünstige GPS-Empfänger die Möglichkeit, die nicht mehr sichtbaren Fahrgassen wieder sichtbar zu machen. Eine nach der Kalkung erfolgte Stoppelbearbeitung verteilt dann bei Bedarf auch größere Kalkmengen gleichmäßig in der Krume, so dass die Wirkung sofort einsetzen kann.

Eine rasche und gleichmäßige Verteilung ist bei Branntkalken empfehlenswert, da diese bei längerer Lagerung an der Bodenoberfläche mit Kohlendioxid zu Kohlensaurem Kalk reagieren können und so die rasche Wirkung reduziert wird.

	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Juni
Raps		Versaat										
Wi-Gerste		Versaat										
Roggen			Versaat									
Weizen			Versaat									
So-Gerste/Hafer			Stoppel						Versaat			
Zuckerrübe			Stoppel						Versaat			
Mais			Stoppel						Versaat			
Kö.-Leguminosen			Stoppel						Versaat			
Kartoffeln												Kopfalkung
Wiesen											nach 1. Schnitt	
Weiden	nach dem Umtrieb											Kopfalkung

Abb. 21: „Kalken, wenn der Boden trägt“ (Auszug aus DHG, 2006)

6.2 Pflanzenbauliche Aspekte – Der Anspruch der Kulturen

Der Anspruch der angebauten Kulturen an den pH-Wert des Bodens variiert deutlich. Die verschiedenen Kulturen können in die Rubriken „vorwiegend kalkanspruchsvoll“ und „vorwiegend kalkanspruchslos“ eingeteilt werden. Besteht in der Rotation ein Kalkbedarf, so sollte versucht werden, den Kalk vorrangig zur Aussaat/Pflanzung der anspruchsvollen Kulturen auszubringen.

Die nachfolgende Tabelle 13 enthält keine weiteren Angaben zu ggf. relevanten Nebenwirkungen der Kulturen. Diese Nebenwirkungen werden häufig vom Standort einfluss „überlagert“, so dass z.B. nicht generell von einer Kalkung zu Kartoffeln abgeraten werden kann (Kalkung führt unter Umständen zu einer erhöhten Schorfanfälligkeit). Diese Nebenwirkungen sollten aber im Hinblick auf die Qualitätsansprüche der aufnehmenden Hand mit berücksichtigt werden.

Nähere Angaben zu möglichen Problemfällen sind z.B. in den Anbauempfehlungen oder in Pflanzenbaulehrbüchern zu finden.

Tabelle 13: Ansprüche wichtiger landwirtschaftlicher und gartenbaulicher Kulturen an die Bodenreaktion (pH-Wert) (nach SCHILLING, 2000)

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

6.3 Wechselwirkungen mit anderen Düngern

Führt eine Kalkdüngung mit schnell wirkenden Düngekalken, z.B. mit Branntkalken, zu kurzfristigen pH-Wert Anstiegen, kann dies bei einer zeitnahen Ausbringung von ammoniumhaltigen Düngern verstärkte Ammoniakfreisetzungen hervorrufen. Falls aus betrieblichen Gründen eine längere zeitliche Differenz zwischen der Kalkung und der N-Düngung nicht möglich ist, sollte daher der Kalk durch eine tiefere Stoppelbearbeitung oder Schälfrucht gut in den Boden eingearbeitet werden. Gleiches gilt auch für eine Kalkdüngung vor Gülle oder Stallmist.

Wechselwirkungen sind auch bei Phosphordüngern mit einem höheren Anteil an wasserlöslichem Phosphat zu berücksichtigen. Die wasserlösliche Phosphatfraktion kann durch ein überhöhtes Calciumangebot bei hohen pH-Werten rascher in eine nur wenig pflanzenverfügbare Phosphatfraktion überführt werden („P-Alterung“).

6.4 Wirtschaftliche Aspekte

6.4.1 Was `kostet` eine unterlassene Kalkung? – Entgangener Nutzen

Auf einem suboptimal mit Kalk versorgten Standort wird in der Regel das Ertragspotential nicht ausgeschöpft. Andere pflanzenbauliche Aufwendungen (N-Düngung, Pflanzenschutz) werden in ihrer Wirksamkeit eingeschränkt bzw. bleiben im Extremfall wirkungslos. Die Kosten für die Kalkung sind somit als Investition in eine mittel- und langfristige Standortsicherung anzusehen.

Während sich die Kosten der Kalkung relativ schnell und sicher ermitteln lassen, ist der „*entgangene Nutzen einer fehlenden Kalkung*“ nur relativ schwer genau zu erfassen. Zur Abschätzung dieser Größe wird in folgendem **Beispiel** vereinfachend unterstellt, dass es sich bei dem Schlag um einen stark sandigen Lehm, Bodengruppe 3 mit einem Humusgehalt ≤ 4 % handelt und

- zwischen dem standortgerechten pH-Wert (C) und dem ermittelten pH-Wert (A) bei Weizen eine Ertragsdifferenz von ca. 25 dt/ha liegt,
- für den Weizen im betrachteten Zeitraum von 7 Jahren je dt Getreide ein Preis von 10 Euro (netto) erzielt werden kann (bei Raps und bei Zuckerrüben kann dieser Wert deutlich höher liegen),
- im betrachteten Zeitraum von 7 Jahren ständig Weizen angebaut wird,

- die Aufkalkung von pH-Klasse A in Klasse C schon mit einer hohen Kalkung im zweiten Jahr erfolgen kann,
- im fünften Jahr eine Erhaltungskalkung durchgeführt werden muss und
- jedes kg CaO (frei Krume) zwischen 4 Cent und 7 Cent kostet.

Beispiel

Entsprechend der Tabelle A3 im Anhang (Seite 59) werden zur Gesundungskalkung zwischen 7,3 t CaO (bei pH-Wert 4,8) und 1,5 t CaO (pH Wert 6,0) und zur Erhaltungskalkung in der Klasse C ca. 1,4 t CaO benötigt. Die hierbei anfallenden Kosten schwanken in der Modellrechnung zwischen 56 € (Erhaltungskalkung bei einem pH-Wert von 6,4 und Kalkkosten von 4 Cent/kg CaO) und 511 €/ha (7,3 t CaO bei 7 Cent/kg CaO) (Tabelle 14).

Tabelle 14: Zusammenhang zwischen der Bodenreaktion (pH-Wert), dem Kalkbedarf und den Kosten der Kalkung

Stark sandiger Lehm, BG 3, Humusgehalt $\leq 4\%$				
pH-Klasse	Bodenreaktion pH-Wert	Kalkbedarf in t/ha CaO	Kosten der Kalkung in €/ha	
			bei 4 Cent/kg CaO	bei 7 Cent/kg CaO
A	4,8	7,3	292	511
A	5,0	6,3	252	441
B	5,2	5,3	212	371
B	5,4	4,4	176	308
B	5,6	3,4	136	238
B	5,8	2,6	104	182
B	6,0	1,5	60	105
C	6,2	1,4	56	98
C	6,4	1,4	56	98

Zur Bewertung der ökonomischen Rentabilität der Kalkung sind den in der Tabelle 14 dargestellten Kosten die durch die Kalkung erzielten **Mehrerträge** gegenüberzustellen. Abbildung 22 zeigt den zeitlichen Verlauf der Erlöse abzüglich der Kosten für das beschriebene Szenarium.

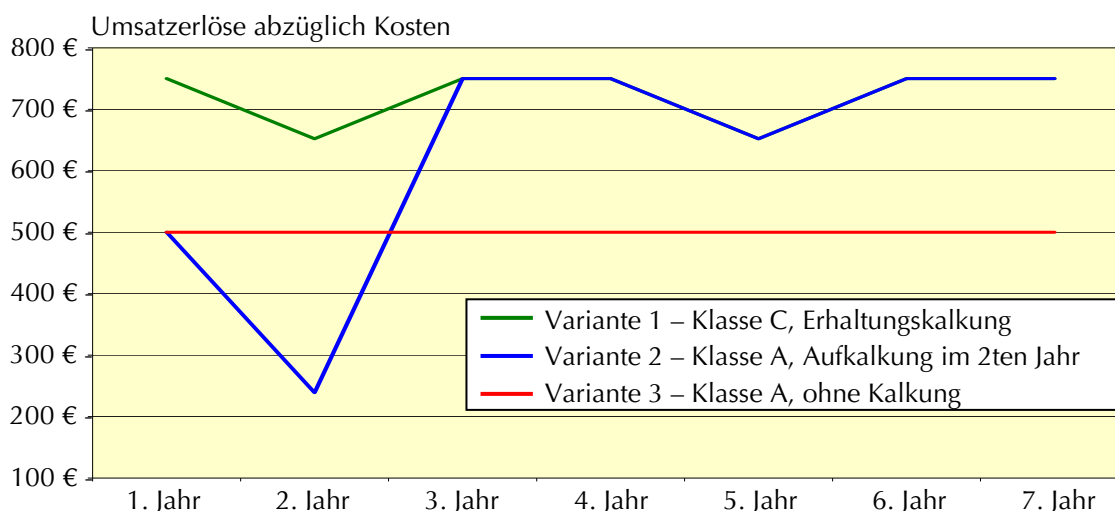


Abb. 22: Zeitliche Entwicklung der Umsatzerlöse abzüglich Kalkdüngungskosten

Bei optimalen Verhältnissen können in der **Modellrechnung** jedes Jahr 750 €/ha aus dem Weizenverkauf erzielt werden (Variante 1, pH-Klasse C). Im zweiten und im fünften Jahr sind für die Erhaltungskalkung jeweils 98 €/ha aufzuwenden.

In der Variante 2 liegt der pH-Wert in der Klasse A. Zur Aufkalkung in die Klasse C werden einmalig im zweiten Jahr 511 €/ha benötigt (worst-case). Nach dieser Investition steigt allerdings der Ertrag von 50 auf 75 dt/ha, so dass in den Jahren 3 bis 7 ebenfalls 75 dt/ha entsprechend 750 €/ha erzielt werden.

Ohne Kalkung (Variante 3, pH-Klasse A) werden dagegen jedes Jahr nur 50 dt/ha geerntet. In sieben Jahren werden somit in der Variante A (Erhalt der Klasse C) 5.138 € erzielt. Die Variante 2 (Aufkalkung von A nach C im 2. Jahr) erbringt noch 4.652 € und die Variante 3 (ohne Kalkung) erzielt einen Erlös von 3.500 €. Die Kosten der Kalkung am Ernteerlös variiert dabei zwischen 0 % (Variante 3 ohne Kalkung) und 7 % (Variante 2 mit der Aufkalkung von A nach C).

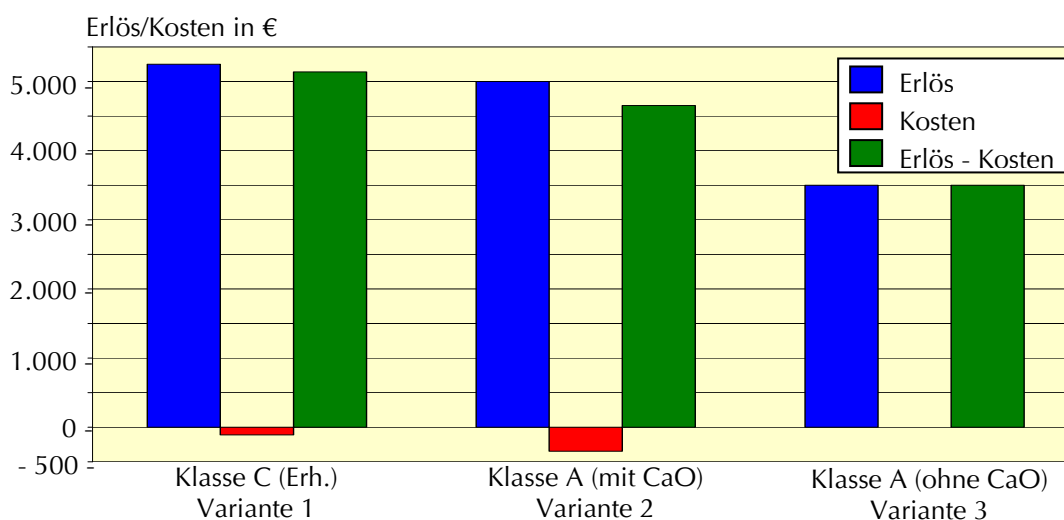


Abb. 23: Erlöse und Kosten mit und ohne Kalkdüngung

Im Regelfall ist der Landwirt informiert über

- die Inhalte an basisch wirksamen Bestandteilen (Gehalte),
- den Preis pro Tonne und
- die notwendige Ausbringungsmenge bei Vorlage von Bodenproben.

Dagegen besitzt er über

- die Wirkungsweise,
- die Wirkungsgeschwindigkeit,
- die chemische Formulierung des Kalkdüngers,
- die Bewertung der Parameter Korngrößenverteilung und Reaktivität,
- die Nebenbestandteile an Makro- und Mikronährstoffen und
- die ökonomische Bewertung von Nebenbestandteilen (N, P oder Spurennährstoffen)

häufig nur geringere Kenntnisse. So bleiben oft wesentliche Qualitätsparameter bei seiner Kaufentscheidung unberücksichtigt. Dies kann dazu führen, dass er ein Produkt mit einer zögerlichen Anfangswirkung und/oder eingeschränkter Gesamtwirkung erwirbt. Dies kann - bedingt durch die mehrjährige Betrachtungsweise einer Kalkung - zu einem negativen Einfluss auf das Gesamtergebnis führen.

Ein „preiswerter“ Kalk kann daher auch „teuer“ werden, wenn

- die Wirksamkeit des Düngekalks eingeschränkt ist,
- die Wirkung mit starker Verzögerung einsetzt und
- der Düngekalk große Schwankungen hinsichtlich der Homogenität aufweist und sich nicht exakt ausbringen lässt.

Der mögliche Einfluss der Kalkqualität auf den monetären betrieblichen Erfolg ist in der nachfolgenden Abbildung 24 schematisch dargestellt.

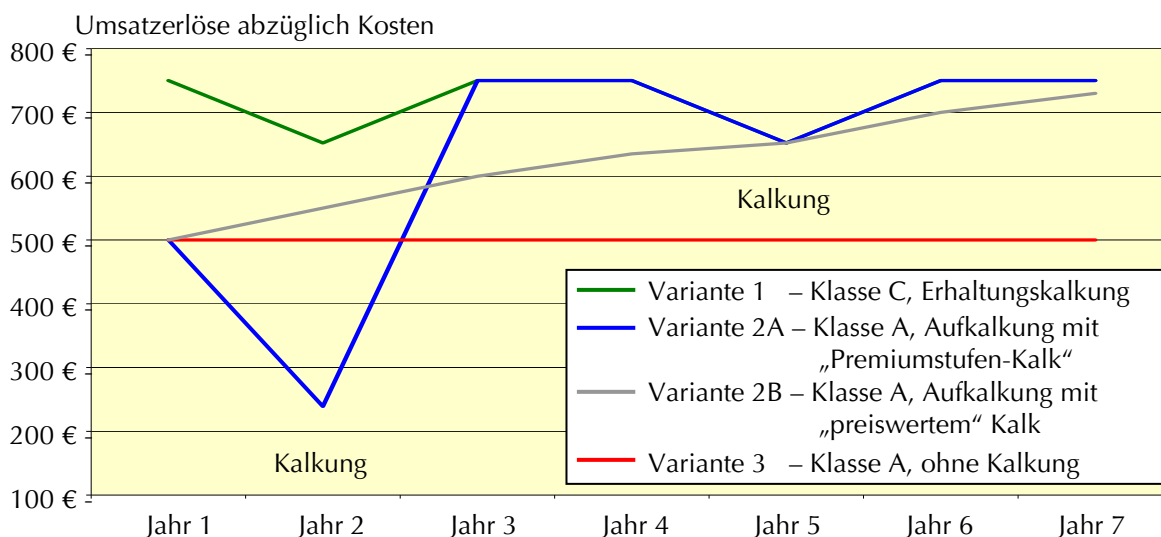


Abb. 24: Einfluss der Kalkqualität auf den monetären Erfolg (schematisch)

Entsprechend den Verhältnissen in der Abbildung 23 erzielt in der **Modellrechnung** die Variante „ohne CaO“ jährlich 500 €/ha (3.500 € in sieben Jahren). In der zusätzlichen Variante 2B (Klasse A mit CaO, „preiswerter“ Kalk) wird zwar im zweiten Jahr durch die Verwendung des preiswerten Kalks ein höheres Ergebnis als in der Variante 2A (DLG-Qualitätssiegel *Premiumstufen-Kalk*) erzielt. Durch die langsame Umsetzung dieses Kalks wird allerdings das angestrebte Ertragsniveau erst im 5. Jahr annähernd erreicht. Das Ertragspotential wird nicht voll ausgeschöpft, so dass sich im Verlauf der sieben Jahre zwischen Variante 2A (DLG-Qualitätssiegel *Premiumstufen-Kalk*) und Variante 2B („preiswerter“ Kalk) eine Differenz von ca. 200 € zu Gunsten des qualitätsgesicherten Düngekalks ergibt.

6.4.2 Der „richtige“ Kalkdünger – Kalk- und Ausbringungskosten

Bei der Auswahl des "richtigen" Düngertyps müssen die folgenden Fragen geklärt werden:

- 1) Wie hoch ist der Kalkbedarf?
- 2) Werden neben dem Kalk noch weitere Nährelemente benötigt?
- 3) Wie rasch muss der Kalk wirken (z.B. wenn "Kopfkalkung" geplant ist)?
- 4) "Verträgt" der zu kalkende Boden die ausgewählte Kalkform? (Brantkalk ist nicht für jeden Boden optimal)
- 5) Was kostet der Dünger frei Hof oder frei Feld?
- 6) Was kostet die Ausbringung?

Die Antwort auf die erste Frage findet sich im Attest der Bodenuntersuchungsergebnisse. Werden neben dem Kalk noch weitere Nährelemente wie z.B. Magnesium benötigt, ist zu prüfen, ob der Bedarf an diesen Nährelementen über die Kalkdünger gedeckt werden kann. In diesem Fall "verbilligt" sich der im Dünger enthaltene CaO-Anteil und damit die Kosten der Kalkung um denjenigen Betrag, der ansonsten bei der Düngung dieser Nebenbestandteile anfallen würde. Die Nebenbestandteile (z.B. Magnesium) sind aber dann kalkulatorisch zu vernachlässigen, wenn der Boden hoch versorgt ist und eine Düngung mit diesen Nährelementen zu keinem Ertragszuwachs führt.

Die unter 3) aufgeführte Frage hat einen sehr entscheidenden Einfluss auf die Wahl der Düngerart. Sind zur Strukturstabilisierung schnell wirkende Kalke erforderlich, so empfiehlt sich die Verwendung von Brant-, Kreide- oder Carbokalken. Auf

mittleren bis leichten Böden sollte jedoch kein Branntkalk verwandt werden, da diese Böden nur relativ schwach puffern und daher, zumindest partiell, die Gefahr einer Überkalkung besteht. Hier bietet sich die Verwendung von langsamer wirkenden Kalkdüngern an, wie Kohlensäurer Kalk oder Hüttenkalk.

Nachfolgend wird anhand einer weiteren **Modellrechnung** ein Verfahren zur Preisermittlung vorgestellt. Hierbei wird unterstellt, dass der Betrieb Kalk zu den in der Tabelle 15 genannten Konditionen frei Hof kaufen kann. Bei der Bewertung der Preiswürdigkeit der einzelnen Dünger wird zunächst weiter vereinfachend angenommen, dass der Betrieb nur den Kalkwert nutzen kann, d.h. der monetäre Wert der Nebenstandteile, wie z.B. Magnesium und Phosphor, ist mit 0,- € anzusetzen¹⁾. Bei der Kalkulation ist darauf zu achten, dass der Kalkgehalt sowohl in % CaCO_3 als auch in % CaO angegeben werden kann. Für den Vergleich sind daher die Einheiten unbedingt auf ein einheitliches Bezugsniveau umzurechnen.

¹⁾ Ein monetärer Wert für Nebenbestandteile ist nur dann anzusetzen, wenn auch ein entsprechender Nährstoffbedarf besteht.

Bei der Auswahl der Kalkdünger ist weiter zu beachten, dass die Transportkosten einen relativ großen Anteil am Preis frei Hof haben. Die in den nachfolgenden Tabellen unterstellten Preise wurden zum Zeitpunkt der Drucklegung für einen Betrieb in der Nähe von Magdeburg ermittelt und gelten daher nur für das nachfolgende Beispiel.

Tabelle 15: Beispieldaten zur Kalkulation der Kosten einer Kalkdüngung

Kalkform	CaO	MgO	Σ CaO + MgO	€ je t Kalk	€ je dt CaO ^{*)}
Branntkalk 80, körnig	80 %	0 %	80 %	75,00 €	9,38 €
Kohlensäurer Kalk 85 (80 + 5)	44 %	3 %	47 %	18,00 €	3,83 €
Kohlensäurer Mg-Kalk 85 (50 + 35)	28 %	21 %	49 %	21,00 €	4,29 €
Konverterkalk 43	40 %	3 %	43 %	27,00 €	6,28 €
Carbokalk	25 %	1 %	26 %	11,00 €	4,21 €

^{*)} ohne Berücksichtigung der Nebenbestandteile bei Berücksichtigung der basisch wirksamen Substanzen (Summe aus CaO und MgO)

Beispiel

Für die Kalkulation der Gesamtkosten werden Ausbringungskosten in Höhe von 5,- €/t, 10,- €/t und sogar 25,- €/t Kalk angenommen. Die Gesamtkosten je dt CaO frei Krume ergeben sich dann aus den Kalkkosten – ggf. reduziert um den Wert der Nebenbestandteile – und den Ausbringungskosten.

Tabelle 16: Beispiel zur Berechnung der Gesamtkosten einer Kalkung

Ausbringkosten je t Kalkdünger	5,00 €	10,00 €	25,00 €* [*]
Ausbringkosten je dt Gesamt CaO			
Branntkalk 80, körnig	0,63 €	1,25 €	3,13 €
Kohlensaurer Kalk 85 (80 + 5)	1,06 €	2,13 €	3,13 €
Kohlensaurer Mg-Kalk 85 (50 + 35)	1,02 €	2,04 €	5,10 €
Konverterkalk 43	1,16 €	2,33 €	5,81 €
Carbokalk	1,92 €	3,83 €	9,58 €
Gesamtkosten je dt CaO			
Branntkalk 80, körnig	10,00 €	10,63 €	12,50 €
Kohlensaurer Kalk 85 (80 + 5)	4,98 €	5,96 €	9,15 €
Kohlensaurer Mg-Kalk 85 (50 + 35)	5,31 €	6,33 €	9,39 €
Konverterkalk 43	7,44 €	8,60 €	12,09 €
Carbokalk	6,13 €	8,05 €	13,79 €

*Extremwert für Modellrechnung

In der in Tabelle 15 und Tabelle 16 dargestellten **Modellrechnung** zeigt sich, dass bei den im Beispiel unterstellten Kosten der Kohlensaure Kalk und der Carbokalk die geringsten Kaufpreise je dt Kalk haben. Addiert man zu den Preisen frei Hof noch die Ausbringungspreise hinzu, für eine t CaO aus Carbokalk müssen ca. 4 t gestreut werden, ist bei den im oben angeführten Beispiel gewählten Kosten der Kohlensaure Kalk die preiswerteste Variante für die Zielgröße dt/ha CaO frei Krume.

In Abhängigkeit von einzelbetrieblichen Kalkdüngerpreisen und Kosten sowie dem einzelbetrieblichen Nutzen der Nebenbestandteile können sich aber auch völlig andere Kalke als optimal erweisen.

Für den Fall, dass die Nebenbestandteile der in Tabelle 15 aufgeführten Kalkdünger voll genutzt werden können, sind diese Nebenbestandteile finanziell entsprechend zu bewerten. Für die nachfolgende Modellrechnung werden dabei folgende Preise unterstellt (ohne MwSt):

- 1 kg N = 0,75 €,
- 1 kg P = 0,50 € / 1 kg P₂O₅ = 1,00 €,
- 1 kg MgO = 0,85 € (Referenzpreis aus Kieseritpreis berechnet).

Tabelle 17: Beispieldaten zur Kalkulation der Kosten einer Kalkdüngung mit Berücksichtigung der Nebenbestandteile (Stand 04/2009)

Kalkform	CaO [%]	MgO [%]	N [%]	P ₂ O ₅ [%]	Preis je t Kalk	Preis je dt CaO ^{*)}	Preis je dt CaO ^{**)}
Kohlensaurer Mg-Kalk 85 (50 + 35)	28	21	0	0	21,00 €	4,29 €	-17,14€
Carbokalk	25	1	0,3	0,5	11,00 €	4,21 €	0,19€

^{*)} ohne Berücksichtigung der Nebenbestandteile

^{**)} mit Berücksichtigung der Nebenbestandteile

Unterstellt man die oben aufgeführten Nährstoffpreise und die in Abschnitt 5 genannten Nebenbestandteile, ändert sich für die **Modellrechnung** das zuvor skizzierte Bild. Für den Fall, dass die im dolomitischen Kalk enthaltenen Mg-Gehalte im Verlauf einer Rotation voll nutzbar werden und der Betrieb alternativ das benötigte MgO nur als Kieserit zuführen kann, reduziert sich der CaO-Preis für den Kohlensäuren Magnesiumkalk auf -17,- €/dt. Auch der Kalk im Carbokalk wäre in diesem Beispiel praktisch umsonst.

Anmerkung:

Die Kalkpreise und Transportkosten können regional und saisonal sehr stark differieren. Daher wird an dieser Stelle ausdrücklich darauf hingewiesen, dass es sich bei den in Abschnitt 6.4 vorgestellten Modellrechnungen um Beispiele handelt, die keinen Anspruch auf Allgemeingültigkeit besitzen. Es werden die Verfahren zur Kalkulation sowie die zu berücksichtigenden Faktoren vorgestellt und einige Tendenzen aufgezeigt. Auf eine einzelbetriebliche Kalkulation unter den standortspezifischen Bedingungen sollte nicht verzichtet werden.

6.5 Umschlags- und Ausbringtechnik

Düngekalke werden in erster Linie als lose Ware aber auch in Big Bags und abgesackt als Kleingebinde angeboten. Aus betriebs- und arbeitswirtschaftlichen Gründen hat im landwirtschaftlichen Bereich die Lose-Kalkstreuette die größte Verbreitung. Wo keine direkte Abholung beim Kalkwerk möglich ist, ist eine Zwischenlagerung bei der Handelsstufe, im landwirtschaftlichen Betrieb oder direkt auf der Fläche erforderlich. Durch die Zwischenlagerung können aber auch Wartezeiten in den Hauptbedarfszeiten, in denen große Düngermengen sehr kurzfristig zur Verfügung stehen müssen, reduziert werden. Die Anlieferung erfolgt mit dem Silozug oder dem Sattel-LKW.

Für die Lagerung bieten sich Stahlsilos und geeignete Düngerboxen an. Vor allem bei trockenen und mehlförmigen Kalkdüngern und Branntkalken sind Maßnahmen zu ergreifen, die einen Feuchtigkeitszutritt verhindern. Angefeuchtete Kohlensäure Kalk und Carbokalk werden zu meist frei gelagert.

Die Ausbringung trockener und mehlförmiger Kalkdünger erfordert Großflächenstreuer mit Streuschnecken für die bodennahe und staubarme Ausbringung. Körnige und granuliert Kalkdünger können mit Anbau- oder Großflächenstreuern mit Tellerstreuwerken ausgebracht werden. Bei angefeuchteten Kalken und Carbokalken kommen Universalstreuer mit groß dimensionierten Tellerstreuwerken zum Einsatz. Überbetrieblicher Maschineneinsatz hat auch bei der Kalkdüngung große Bedeutung erlangt. Die Dienstleistungsangebote von Lohnunternehmern, Maschinenringen aber auch von Handelsstufen mit dem Vermieten von Großflächenstreuern ab Zwischenlager sind vielseitig.

Wie bei den anderen Düngemitteln ist auch bei der Ausbringung von Düngekalke 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 Einarbeiten des Kalkes beschleunigt in jedem Fall die Umsetzung durch intensivere Durchmischung. Zügiges Einarbeiten ist aber nur dort zwingend erforderlich, wo die Kalkdüngerform zur Vermörtelung neigt. Auf Grünland soll der Düngekalke durch Abschleppen zeitnah nach dem Ausbringen in die Narbe eingearbeitet werden.

6.6 Teilflächenspezifische Kalkung

Wie in den vorangegangenen Abschnitten ausgeführt, variieren sowohl der Ziel-pH-Wertkorridor als auch die zur Aufdüngung erforderliche Kalkmenge in Abhängigkeit von Boden (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 zuviel, ein anderer Teil aber zuwenig Kalk erhält. Für eine teilflächenspezifische Kalkung ist daher zunächst eine genaue Erfassung der Bodenarten und des Humusgehaltes (bei sehr humosen bis anmoorigen Verhältnissen) zu empfehlen. Hierzu bieten sich an:

1. Einmalige Beprobung und Untersuchung im kleinräumigen Raster (< 1 ha Raster).
2. Nutzung weiterer Informationsquellen (z.B. Karten der Reichsbodenschätzung etc.).
3. Einsatz des Bodenscanners (EM 38) zur Unterteilung des Schlates in einer Bodenscannerklasse. Die räumliche Verteilung der Probenahmepunkte orientiert sich dann an den Bodenscannerklassen. Die aus diesen Bodenuntersuchungen resultierenden Ergebnisse zeigen in der Praxis eine große Spreizung der Versorgungstufen.

Die Notwendigkeit einer teilflächenspezifischen Bodenuntersuchung und einer hierauf beruhenden teilflächenspezifischen Düngung wird in der Abbildung 25 deutlich. Obwohl der ca. 50 ha große Schlag, der bodenkundlich homogen erscheint, schon seit über 10 Jahren einheitlich bewirtschaftet wird, weisen die gemessenen pH-Werte eine Spannbreite von 4,6 bis 7,7 auf. Diese Differenzierung wurde erst nach der Unterteilung in Teilschläge in Ausmaß, Lage und Bedeutung sichtbar.

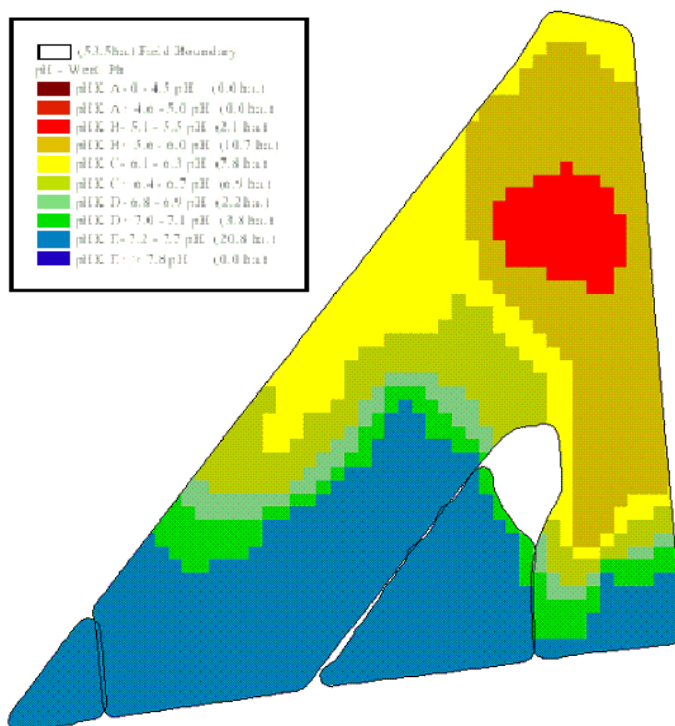


Abb. 25: Räumliche Differenziertheit der pH-Werte auf einem Schlag (Lösslehm); Quelle: Münchhoff Rimpau, GbR (2005)

7 Bodenschutzkalkung im Wald

7.1 Einführung

Waldböden nehmen aufgrund ihrer Filter-, Puffer- und Speicherfunktion im Naturhaushalt eine zentrale Stellung ein. Durch einen generellen Verzicht von Düngemaßnahmen im Wald im Rahmen ordnungsgemäßer Forstwirtschaft ist die Nährstoffbilanz im Waldboden allein von der Verwitterung des Bodens sowie von Ein- und Austrägen abhängig. In den letzten Jahrzehnten ist das ökologische Bodengleichgewicht jedoch stark durch anthropogene Säureeinträge über Niederschlagswasser verschlechtert worden, so dass nur durch die zusätzliche Gabe von Basen eine weitere Bodendegradierung verhindert werden kann. Durch die fortschreitende Bodenversauerung kommt es zu nachhaltiger Auswaschung wachstumsnotwendiger Nährstoffe, vor allem von Calcium, Magnesium, teilweise auch von Phosphat sowie Kalium. Durch Auswaschung dieser Hauptnährelemente vermindert sich die Pufferkapazität des Waldbodens, so dass eine nachweisbare Störung der Bestandsernährung eintritt. Durch die Versauerung kommt es zu einer Verschlechterung der Wachstumsbedingungen für die Baumwurzeln, aber auch für die Kleinlebewesen im Boden, was dazu führt, dass lediglich die oberen Schichten des Oberbodens durchwurzelt werden. Kommt es dann witterungsabhängig zu einer längeren Trockenphase, führt dies zu Mangelercheinungen bei den Bäumen. Folgen dieser andauernden Mangelernährung sind ökologisch und wirtschaftlich relevante Zuwachsdepressionen bei Waldbäumen. Vor allem im Sommer und in Trockenzeiten sind Magnesiummangelercheinungen in vielen Beständen leider schon ein übliches Bild.

Ein weiteres Problem besteht darin, dass durch die zunehmende Bodenversauerung und damit verbundene pH-Wert-Absenkung eine Veränderung in der Zusammensetzung in der Bodenmakrofauna, z.B. bei der Anzahl der Regenwürmer, führt, einschließlich einer radikalen Verminderung der Bakteriendichte und Bakterienaktivität. Dies führt wiederum zu negativen Rückwirkungen auf die Bodenstruktur und die Abbaurate des organischen Substrates. Im Ergebnis entstehen gerade in Nadelreinbeständen mehrere Dezimeter dicke rohhumusartige Moder- oder Rohhumusauflagen, die nur durch eine externe Zufuhr von Calcium und Magnesium abgebaut werden und so das bodenchemische Gleichgewicht wieder hergestellt wird.

7.2 Ziele der Bodenschutzkalkung im Wald

Bodenschutzkalkungen im Wald sind dann notwendig, wenn die systematische Verschlechterung der biologischen, chemischen und ökosystemaren Funktionen im Waldboden eingesetzt hat und nicht mehr allein durch natürliche Prozesse umgekehrt werden kann. Die Ziele der Bodenschutzkalkung im Wald können deshalb wie folgt zusammengefasst werden:

- Neutralisation der Säureeinträge durch Niederschläge,
- Verbesserung der Pufferkapazität des Bodens,
- Zuführung der ausgetragenen basischen Hauptnährelemente, besonders Calcium und Magnesium
- Erhöhung der Vitalität der Waldbestände durch Zuführung von basischen Hauptnährelementen,
- Verbesserung der bodenchemischen Bedingungen für Bodenlebewesen und Wurzeln,
- Verbesserung des Schutzes von Quell- und Grundwasser vor Schwermetall-, Aluminium- und Säureeinträgen.

Langfristig führt die Bodenschutzkalkung zu einer Verbesserung der Aktivität der Bodenlebewesen, was letztlich zu einer Erhöhung des Kohlenstoffvorrates und damit zu einer Erhöhung der Stickstoffspeicherkapazität im Waldboden führt.

Betont werden muss, dass die Bodenschutzkalkung im Wald keine Düngemaßnahme zur Erhöhung der Zuwachsleistung der Waldbäume ist, sondern vielmehr eine Schutzmaßnahme zur Pufferung der durch menschliche Aktivitäten herbeigeführten Verschlechterung der Bodenstruktur, um damit das ökologische Gleichgewicht wieder herzustellen. Deshalb spricht man auch von Bodenschutzkalkung.

7.3 Standorte

Die bekannten Verfahren zur Bestimmung der bodenchemischen Zusammensetzung des Waldbodens sind komplex und bisher nicht für Waldbauern praktikabel. Deshalb gibt es in allen Bundesländern wissenschaftliche Bodenuntersuchungen der Forstlichen Versuchsanstalten, welche Standorte in den Bundesländern kalkungswürdig sind. Hierzu führen die Versuchsanstalten Untersuchungen u.a. zur Basensättigung durch und erstellen Karten mit Vorranggebieten für Bodenschutzkalkungen. Diese Karten sind Grundlage für die von staatlicher Seite organisierten Bodenschutzkalkungen. Das bedeutet, dass Waldbauern in der Regel nicht selbst die Entscheidung für oder gegen eine Bodenschutzkalkung treffen, sondern die Angebote des Landes in Anspruch nehmen. Waldbauern können sich bei den Forstämtern in ihrer Region erkundigen, welche Waldbestände für die Waldkalkung geeignet und vorgesehen sind. Im Allgemeinen kann aber davon ausgegangen werden, dass durch die höheren Auskämmungseffekte der Nadelbaumkronen für luftgetragene Schadstoffe Nadelbaumreinbestände eher kalkungsbedürftig sind als Laubholzbestände. Zusätzlich wird durch die höhere Säureproduktion von Nadelwäldern, Nadeln werden langsamer abgebaut als Blätter, stetig die Versauerung vorangetrieben. Hinzu kommt, dass mit dem Laubfall mehr basische Stoffe wieder zurückgeführt werden und so die Intensität der Bodenversauerung geringer ist. Dennoch sind auch viele Laubholzstandorte kalkungsbedürftig.

Ausschlussgebiete, auf denen grundsätzlich keine Bodenschutzkalkung stattfindet und ein Mindestabstand von in der Regel 100 m einzuhalten ist, sind:

- Wasserschutzgebiete der Zone 1,
- Versuchs- und Beobachtungsflächen, sofern das Untersuchungsziel hierdurch verfehlt wird,
- spezielle Biotope, besonders in FFH-Gebieten und Naturschutzgebieten, Moore etc.

7.4 Kalkzusammensetzung und Kalkmengen

Für die Waldkalkung werden in erster Linie ungebrannte Naturkalke verwendet. So weit verfügbar, sind Kohlensäure Magnesiumkalke (Dolomite) auszubringen. In der Regel werden die Düngekalke erdfeucht, d.h. mit einem Feuchtegehalt zwischen 4 % und

8 % ausgebracht, um die Staubbildung und den Abdrift zu reduzieren, aber auch um die Verteilqualität zu gewährleisten.

Die Vorgaben der Forstlichen Versuchsanstalten für Mindestgehalte für Magnesium schwanken in den Bundesländern. So wird in Baden-Württemberg ein Magnesiumoxidanteil (MgO) von über 12 % und für den Gesamtkarbonatanteil von über 90 % verlangt. Im Freistaat Sachsen hingegen sind folgende Mindestanforderungen formuliert:

Tabelle 18: Nährstoffgehalte für Bodenschutzkalkungen im Freistaat Sachsen

Kalk	Summe $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$	davon MgCO_3
aufgemahlen	80 %	25 %
granuliert	80 %	20 %
maximale Abweichung	-3 %	-1 %

(Quelle: SMUL 2009)

Die Dosierung der dargebotenen Kalke hängt entscheidend von den standörtlichen Voraussetzungen und den vorab durchgeführten Bodenanalysen ab. Im Allgemeinen werden 3t/ha Kohlensaurer Magnesiumkalk mit feiner Vermahlung verwendet. Auf besonders stark versauerten Böden werden bis zu 4,5 t/ha ausgebracht, auf stark wasser-durchlässigen Böden 2 t/ha.

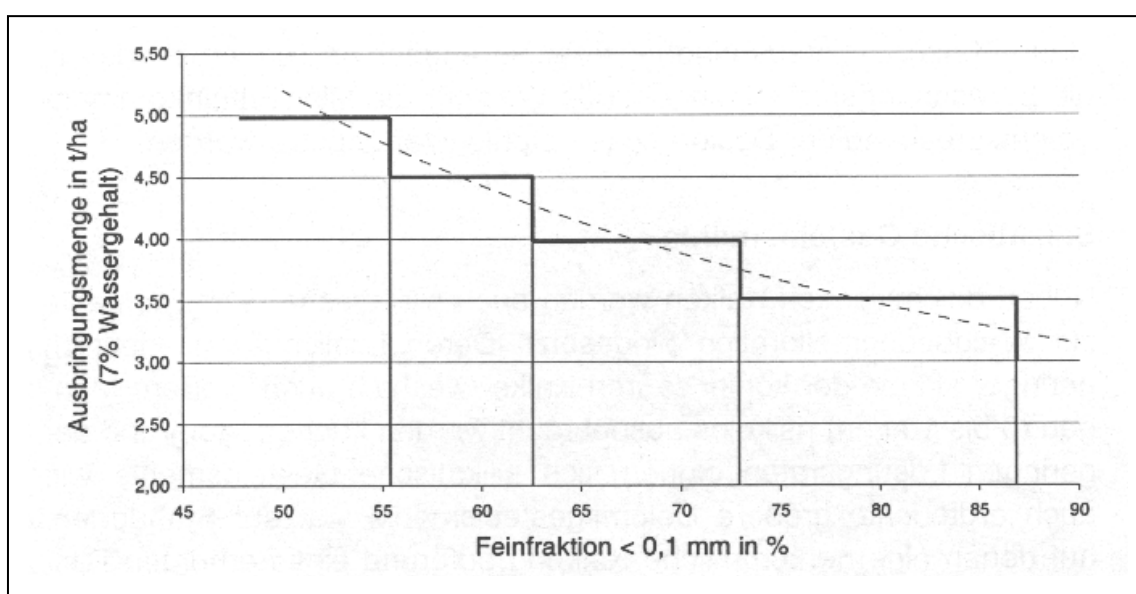
Bei der Waldkalkung ist es noch wichtiger als bei der landwirtschaftlichen Kalkdüngung, auf die feine Vermahlung zu achten. Aufgrund ihrer hohen spezifischen Oberflächen haben fein vermahlene Kalke eine hohe Lösungsrate und werden zügig in den Mineralboden transportiert. Dies ist bei der Waldkalkung besonders wichtig, weil der ausgebrachte Kalk nicht wie auf dem Feld aktiv eingearbeitet werden kann.

Weniger fein vermahlene Kalke haben eher eine langsame Meliorationswirkung im Waldboden. Mit abnehmendem Vermahlungsgrad nimmt daher die Aufwandmenge an Kalk zu. Beispielhaft zeigen Tabelle 19 und Abbildung 26 die Dosierempfehlungen der Forstlichen Versuchsanstalt in Baden-Württemberg für Kalke in Abhängigkeit vom Feuchtegehalt und Feinfraktionsanteil.

Tabelle 19: Ausbringungsmenge für erdfeuchte Kalke in Baden-Württemberg

Dosierung in t/ha	Prozentualer Anteil Fraktion $\varnothing < 0,1$ mm bei einem Wassergehalt von		
	0 %	4 %	7 %
5,0	50 – 51	50 – 53	50 – 55
4,5	52 – 58	54 – 60	56 – 62
4,0	59 – 67	61 – 70	63 – 72
3,5	≥ 68	≥ 71	≥ 73

(Quelle: Forstliche Versuchsanstalt Baden-Württemberg 2000)

**Abb. 26: Ausbringungsmenge für erdfeuchte Kalke in Baden-Württemberg in Abhängigkeit von der Feinfraktion** (Quelle: Forstliche Versuchsanstalt Baden-Württemberg 2000)

Die übliche Ausbringungsmenge hält in der Regel für einen Zeitraum von etwa zehn Jahren vor. Dann ist der Kalk aufgebraucht und eine Wiederholungskalkung wird notwendig. Dieser Turnus wird in mehreren Bundesländern empfohlen. Auf einigen Flächen, z.B. im Harz, ist bereits die dritte Kalkung ausgebracht worden.

7.5 Ausbringtechnik

Die Ausbringung der Kalke erfolgt in der Regel durch Ausstreuen mit Hubschraubern oder Flugzeugen, teilweise auch durch terrestrisches Verblasen von fein gemahlenem Material.

Das Verblasen ist in der Regel mit geringeren Kosten verbunden. Allerdings setzt dies eine gute Erschließung des Waldes (Feinerschließungsnetz erforderlich) voraus, damit eine gleichmäßige Ausbringung möglich ist. Verblasereichweiten von bis zu 50 m sichern überdies eine gleichmäßige und bis in das Bestandesinnere vordringende Kalkung.



Abb. 27: Waldkalkung – terrestrisches Verblasen (BDG, 2009)

Die Ausbringung per Hubschrauber bietet die größten Tagesleistungen, ist allerdings auch teurer. Vorteilhaft sind vor allem die gleichmäßige Verteilung sowie die Erreichbarkeit unzugänglicher und nicht befahrbarer Flächen in hängigem und dicht bewachsenem Gelände.



Abb. 27: Waldkalkung – Ausbringung mit dem Helikopter (BDG, 2009)

Bei der Ausbringung mit Fluggeräten werden in der Regel erdfeuchte Kalke verwendet. Dies vermeidet weitgehend Abdrift. Vor allem in Gebirgslagen, wo aufgrund

der topografischen Gegebenheiten kein ausreichendes Feinerschließungsnetz vorhanden ist, wird diese Technik bevorzugt angewendet.

7.6 Finanzielle Förderung

Bodenschutzkalkungen sind in Deutschland nach den Förderungsgrundsätzen für 2009 in der Fassung des Rahmenplans der Gemeinschaftsaufgabe "Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes" für den Zeitraum 2009 bis 2012 vom 29. April 2009 in der Bundesrepublik förderfähig, sofern das jeweilige Bundesland diese Fördermöglichkeit in seinen Landesprogrammen anbietet. Unter Punkt 7.4. der GAK wird die Bodenschutzkalkung dann gefördert, wenn dadurch eine strukturelle Verbesserung der Bodenstreu, des Bodens oder des Nährstoffhaushalts erzielt wird und damit eine Verbesserung der Widerstandskraft der Bestände erwartet werden kann. Der Nachweis hierfür wird dadurch erbracht, dass eine gutachterliche Stellungnahme die Zweckmäßigkeit und Unbedenklichkeit der geplanten Kalkungsmaßnahme bestätigt; gegebenenfalls ist eine Boden- oder eine Blatt- bzw. Nadelanalyse durchzuführen. In der Regel haben die Forstlichen Versuchsanstalten hierfür bereits Untersuchungen durchgeführt, so dass die Ergebnisse dort erfragt werden können. Die Forstämter können hierzu nähere Informationen geben.

Sind die Voraussetzungen zur Waldkalkung erfüllt, ist ein finanzieller Zuschuss von bis zu 90 % der förderfähigen Kosten möglich. Die Mehrwertsteuer wird grundsätzlich nicht gefördert. Teilweise beträgt der Förderungssatz durch regionale oder lokale Ergänzungen auch 100 %.

Ob und in welchem Umfang in den Bundesländern eine Förderung erfolgt, kann in den zuständigen Forstämtern oder bei den Forstwirtschaftlichen Zusammenschlüssen bzw. Waldbauernvereinigungen erfragt werden.

Tabellenanhang

A1 pH-Klassen und Kalkdüngungsempfehlungen

A1.1 Ackerland

Tabelle A1: pH-Klassen zur Bewertung der Bodenuntersuchungsergebnisse für Ackerland (CaCl₂-Methode)

Bodengruppe	pH-Klasse	pH-Werte Humus- gehalt ≤ 4,0%	pH-Werte Humus- gehalt 4,1 - 8,0%	pH-Werte Humus- gehalt 8,1 - 15,0%	pH-Werte Humus- gehalt 15,1-30,0%
BG 1 (Sand)	A	≤ 4,5	≤ 4,2	≤ 3,9	≤ 3,6
	B	4,6 – 5,3	4,3 – 4,9	4,0 – 4,6	3,7 – 4,2
	C	5,4 – 5,8	5,0 – 5,4	4,7 – 5,1	4,3 – 4,7
	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
BG 2 (schwach leh- miger Sand)	A	≤ 4,8	≤ 4,5	≤ 4,1	≤ 3,7
	B	4,9 – 5,7	4,6 – 5,3	4,2 – 4,9	3,8 – 4,5
	C	5,8 – 6,3	5,4 – 5,9	5,0 – 5,5	4,6 – 5,1
	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
BG 3 (stark lehmiger Sand)	A	≤ 5,0	≤ 4,7	≤ 4,3	≤ 3,8
	B	5,1 – 6,0	4,8 – 5,5	4,4 – 5,1	3,9 – 4,7
	C	6,1 – 6,7	5,6 – 6,2	5,2 – 5,8	4,8 – 5,4
	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
BG 4 (sandiger bis schluffiger Lehm)	A	≤ 5,2	≤ 4,9	≤ 4,5	≤ 4,0
	B	5,3 – 6,2	5,0 – 5,7	4,6 – 5,3	4,1 – 4,9
	C	6,3 – 7,0 ¹⁾	5,8 – 6,5	5,4 – 6,1	5,0 – 5,7
	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
BG 5 (toniger Lehm bis Ton)	A	≤ 5,3	≤ 4,9	≤ 4,5	≤ 4,0
	B	5,4 – 6,3	5,0 – 5,8	4,6 – 5,4	4,1 – 5,0
	C	6,4 – 7,2 ¹⁾	5,9 – 6,7	5,5 – 6,3	5,1 – 5,9
	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
		Humusgehalt ≥ 30,1%			
BG 6 ²⁾ (Moor, An- moor)	A, B	≤ 4,2			
	C	4,3			
	D, E	≥ 4,4			

Legende:

fett = Spannweite der anzustrebenden pH-Klasse C.

Anmerkung: Bei fehlenden Angaben zum Humusgehalt wird immer die erste Klasse der Humusgehalte (0 bis 4 % Humus) unterstellt. Bei humusreichen Ackerstandorten besteht daher ohne Angaben zum Humusgehalt oder Auftrag zur Bestimmung des Humusgehaltes die Gefahr einer Überkalkung!

¹⁾ auf carbonathaltigen 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 A2: Kalkdüngungsbedarf von Ackerböden: pH-CaCl₂-Werte und jeweils zugehörige Kalkmengen in dt/ha CaO¹⁾ zur Erreichung und Erhaltung des optimalen pH-Bereiches

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
	BG 1 (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		
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	-
	BG 2 (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	-

Die empfohlenen Gaben beinhalten den Kalkbedarf bis zur nächsten Bodenuntersuchung (nach Ablauf einer Fruchtfolge).

gelb unterlegt: Mengen zur Erhaltungskalkung (in dt/ha CaO)

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

Tabelle A3: Kalkdüngungsbedarf von Ackerböden: pH-CaCl₂-Werte und jeweils zugehörige Kalkmengen in dt/ha CaO¹⁾ zur Erreichung und Erhaltung des optimalen pH-Bereiches

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
BG 3 (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	-
BG 4 (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	-

Die empfohlenen Gaben beinhalten den Kalkbedarf bis zur nächsten Bodenuntersuchung (nach Ablauf einer Fruchtfolge).

gelb unterlegt: Mengen zur Erhaltungskalkung (in dt/ha CaO)

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

Tabelle A4: Kalkdüngungsbedarf von Ackerböden: pH-CaCl₂-Werte und jeweils zugehörige Kalkmengen in dt/ha CaO¹⁾ zur Erreichung und Erhaltung des optimalen pH-Bereiches

pH-Klasse	Humusgehalt									
	≤ 4,0 %		4,1 bis 8,0 %		8,1 bis 15,0 %		15,1 bis 30 %		> 30	
	pH	CaO	pH	CaO	pH	CaO	pH	CaO	pH	CaO
BG 5 (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	-		
BG 6: (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

gelb unterlegt: Mengen zur Erhaltungskalkung (in dt/ha CaO)

A1.2 Grünland

Tabelle A5: pH-Klassen zur Bewertung der Bodenuntersuchungsergebnisse für Grünland (CaCl₂-Methode); fett = Spannweite der anzustrebenden pH-Klasse C

Bodengruppe	pH-Klasse	pH-Werte Humusgehalt ≤ 15,0 %	pH-Werte Humusgehalt 15,1 - 30,0 %	pH-Werte Humusgehalt ≥ 30,1 %
BG 1 (Sand)	A	≤ 4,0	≤ 3,6	
	B	4,1 – 4,6	3,7 – 4,2	
	C	4,7 – 5,2	4,3 – 4,7	
	D	5,3 – 5,6	4,8 – 5,1	
	E	≥ 5,7	≥ 5,2	
BG 2 (schwach leh- miger Sand)	A	≤ 4,3	≤ 3,7	
	B	4,4 – 5,1	3,8 – 4,5	
	C	5,2 – 5,7	4,6 – 5,1	
	D	5,8 – 6,1	5,2 – 5,5	
	E	≥ 6,2	≥ 5,6	
BG 3 (stark lehmiger Sand)	A	≤ 4,5	≤ 3,9	
	B	4,6 – 5,3	4,0 – 4,7	
	C	5,4 – 6,0	4,8 – 5,4	
	D	6,1 – 6,5	5,5 – 5,8	
	E	≥ 6,6	≥ 5,9	
BG 4 (sandiger bis schluffiger Lehm)	A	≤ 4,7	≤ 4,1	
	B	4,8 – 5,5	4,2 – 4,9	
	C	5,6 – 6,3	5,0 – 5,7	
	D	6,4 – 6,8	5,8 – 6,1	
	E	≥ 6,9	≥ 6,2	
BG 5 (toniger Lehm bis Ton)	A	≤ 4,7	≤ 4,1	
	B	4,8 – 5,6	4,2 – 5,0	
	C	5,7 – 6,5	5,1 – 5,9	
	D	6,6 – 7,0	6,0 – 6,4	
	E	≥ 7,1	≥ 6,5	
BG 6 (Anmoor, Moor)	A, B C D, E			≤ 4,2 4,3 ≥ 4,4

Anmerkung: Liegen keine Angaben zum Humusgehalt des Bodens vor,
so wird der Wert ≤ 15,0 % Humus unterstellt.

Tabelle A6: Kalkdüngungsbedarf von Grünlandböden: pH-CaCl₂-Werte und jeweils zugehörige Kalkmengen in dt/ha CaO¹⁾ zur Erreichung und Erhaltung des optimalen pH-Bereiches. Die empfohlenen Gaben beinhalten den Kalkbedarf bis zur nächsten Bodenuntersuchung

pH-Klasse	Humusgehalt											
	≤ 15 %		15,1 bis 30		≤ 15 %		15,1 bis 30		≤ 15 %		15,1 bis 30	
	pH	CaO	pH	CaO	pH	CaO	pH	CaO	pH	CaO	pH	CaO
Bodenartengruppe												
	BG 1 (Sand)				BG 2 (schwach lehmiger Sand)				BG 3 (stark lehmiger Sand)			
A	≤ 3,5	30	≤ 3,1	19	≤ 3,8	40	≤ 3,2	25	≤ 4,0	50	≤ 3,4	30
	3,6	28	3,2	17	3,9	37	3,3	23	4,1	47	3,5	28
	3,7	25	3,3	16	4,0	35	3,4	22	4,2	43	3,6	26
	3,8	23	3,4	15	4,1	32	3,5	20	4,3	40	3,7	24
	3,9	21	3,5	13	4,2	29	3,6	18	4,4	37	3,8	22
	4,0	19	3,6	12	4,3	27	3,7	17	4,5	33	3,9	20
B	4,1	16	3,7	11	4,4	24	3,8	15	4,6	30	4,0	18
	4,2	14	3,8	9	4,5	22	3,9	14	4,7	27	4,1	16
	4,3	12	3,9	8	4,6	19	4,0	12	4,8	24	4,2	15
	4,4	9	4,0	7	4,7	16	4,1	10	4,9	20	4,3	13
	4,5	7	4,1	5	4,8	14	4,2	9	5,0	17	4,4	11
	4,6	5	4,2	4	4,9	11	4,3	7	5,1	14	4,5	9
C	4,7-5,2	4	4,3-4,7	3	5,2-5,7	5	4,6-5,1	3	5,4-6,0	6	4,8-5,4	4
D	5,3-5,6	-	4,8-5,1	-	5,8-6,1	-	5,2-5,5	-	6,1-6,5	-	5,5-5,8	-
E	≥ 5,7	-	≥ 5,2	-	≥ 6,2	-	≥ 5,6	-	≥ 6,6	-	≥ 5,9	-
Bodenartengruppe												
	BG 4 (sandiger bis schluffiger Lehm)				BG 5 (schwach toniger Lehm bis Ton)				BG 6 (Hochmoor und saure Niedermoore)			
A	≤ 4,2	57	≤ 3,6	3	≤ 4,2	68	≤ 3,6	45	≤ 4,2	10		
	4,3	54	3,7	6	4,3	63	3,7	42				
	4,4	50	3,8	3	4,4	59	3,8	40				
	4,5	46	3,9	4	4,5	55	3,9	37				
	4,6	42	4,0	3	4,6	51	4,0	34				
	4,7	38	4,1	1	4,7	47	4,1	31				
B	4,8	35	4,2	2	4,8	43	4,2	29				
	4,9	31	4,3	2	4,9	38	4,3	26				
	5,0	27	4,4	2	5,0	34	4,4	23				
	5,1	23	4,5	0	5,1	30	4,5	21				
	5,2	19	4,6	1	5,2	26	4,6	18				
	5,3	16	4,7	8	5,3	22	4,7	15				
	5,4	12	4,8	1	5,4	17	4,8	12				
	5,5	8	4,9	5	5,5	13	4,9	10				
C	5,6-6,3	7	5,0-5,7	5	5,7-6,5	8	5,1-5,9	6	4,3	²⁾		
D	6,4-6,8	-	5,8-6,1	-	6,6-7,0	-	6,1-6,4	-	≥ 4,4			
E	≥ 6,9	-	≥ 6,2	-	≥ 7,1	-	≥ 6,5	-				

Legende:

¹⁾ errechnet mittels biostatistischer Verfahren aus Ergebnissen von Kalkdüngungsversuchen; Werte für Praxisempfehlungen runden.

²⁾ keine Erhaltungskalkung

gelb unterlegt: Mengen zur Erhaltungskalkung (in dt/ha CaO)

Tabellenverzeichnis

	Seite
Tabelle 1: Jährliche Kalkverluste durch Auswaschung und Neutralisation	6
Tabelle 2: Kalkverluste durch Ernteentzug	8
Tabelle 3: Optimale pH-Spannen verschiedener Bodenorganismen	16
Tabelle 4: Einstufung in Bodengruppen der Düngung nach Ton- und Feinanteil	19
Tabelle 5: Definition der pH-Klassen für die Kalkversorgung des Bodens sowie des Kalkdüngungsbedarfs	20
Tabelle 6: Rahmenschema für Ackerland zur Einstufung der pH-Werte des Bodens (CaCl ₂ -Methode) in pH-Klasse C	21
Tabelle 7: Rahmenschema für Grünland zur Einstufung der Kalkversorgung des Bodens (CaCl ₂ -Methode) in pH-Klasse C	21
Tabelle 8: Berechnung einer Gesundungskalkung im Rahmen einer Fruchtfolge	23
Tabelle 9: Empfohlene Höchstmengen je Kalkung	24
Tabelle 10: Gliederung der Kalkdüngertypen (Auszug DüM-VO)	27
Tabelle 11: Kalkdüngerarten und ihre Nebenbestandteile	29
Tabelle 12: Qualitätsanforderungen für Düngekalke aus natürlichen Lagerstätten in der „Premiumstufe“ der DLG-Qualitätssicherung	37
Tabelle 13: Ansprüche wichtiger landwirtschaftlicher und gartenbaulicher Kulturen an die Bodenreaktion (pH-Wert)	39
Tabelle 14: Zusammenhang zwischen der Bodenreaktion (pH-Wert), dem Kalkbedarf und den Kosten der Kalkung	41
Tabelle 15: <u>Beispieldaten</u> zur Kalkulation der Kosten einer Kalkdüngung	45
Tabelle 16: <u>Beispiel</u> zur Berechnung der Gesamtkosten einer Kalkung	46
Tabelle 17: <u>Beispieldaten</u> zur Kalkulation der Kosten einer Kalkdüngung mit Berücksichtigung der Nebenbestandteile	47
Tabelle 18: Nährstoffgehalte für Bodenschutzkalkungen im Freistaat Sachsen	53
Tabelle 19: Ausbringungsmenge für erdfeuchte Kalke in Baden-Württemberg	54

Tabelle A1:	pH-Klassen zur Bewertung der Bodenuntersuchungsergebnisse für Ackerland	57
Tabelle A2:	Kalkdüngungsbedarf von Ackerböden: pH- CaCl_2 -Werte und jeweils zugehörige Kalkmengen in dt/ha CaO zur Erreichung und Erhaltung des optimalen pH-Bereiches	58
Tabelle A3:	Kalkdüngungsbedarf von Ackerböden: pH- CaCl_2 -Werte und jeweils zugehörige Kalkmengen in dt/ha CaO zur Erreichung und Erhaltung des optimalen pH-Bereiches	59
Tabelle A4:	Kalkdüngungsbedarf von Ackerböden: pH- CaCl_2 -Werte und jeweils zugehörige Kalkmengen in dt/ha CaO zur Erreichung und Erhaltung des optimalen pH-Bereiches	60
Tabelle A5:	pH-Klassen zur Bewertung der Bodenuntersuchungsergebnisse für Grünland (CaCl_2 -Methode)	61
Tabelle A6:	Kalkdüngungsbedarf von Grünlandböden: pH- CaCl_2 -Werte und jeweils zugehörige Kalkmengen in dt/ha CaO zur Erreichung und Erhaltung des optimalen pH-Bereiches	62

Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abbildung 1: Jährlicher Kalkverlust bzw. –gewinn durch Düngung in einer Fruchtfolge (Z-Rüben – Getreide – Getreide)	7
Abbildung 2: Entwicklung der pH-Werte im Kalkdüngungsversuch Harpstedt, Bodenart: (h)S, LUFA Oldenburg VR 1657	7
Abbildung 3: Schematische Darstellung der Lagerungsformen von Tonteilchen im Boden	9
Abbildung 4: Schema einer Kalk-Humus-Brücke	9
Abbildung 5: Einfluss der Kalkdüngung auf die Regenverdaulichkeit eines sandig-tonigen Lehms	10
Abbildung 6: Verbesserung der Bodenstruktur durch Kalkung bewirkt frühzeitiges Abtrocknen	11
Abbildung 7: Reduzierter Zugkraftbedarf bei kalkversorgten Böden	11
Abbildung 8: Schema Mobilität	12
Abbildung 9: Einfluss des pH-Wertes auf den P_{DL} -Gehalt von Ackerland; Ergebnis von 23 Versuchsstandorten der Jahre 1979 - 1982	13
Abbildung 10: Einfluss des Kalkzustandes auf die Nährstoffverfügbarkeit (schematisch)	14
Abbildung 11: Einfluss des pH-Wertes auf den Cd-Gehalt von Spinat	15
Abbildung 12: Ertragswirkung eines Kalkdüngungsversuches an Zuckerrüben und Winterweizen	15
Abbildung 13: Regenwurmaktivität	16
Abbildung 14: Einfluss pH-Wert auf die Bakterienzahl	16
Abbildung 15: Sonnenblume mit Ca-Mangel	17
Abbildung 16: Sonnenblume mit Mg-Mangel	18
Abbildung 17: Düngekalkverbrauch in Deutschland	25

Abbildung 18: Marktbedeutung der Kalktypen in Deutschland - Düngejahr 2008/09	26
Abbildung 19: Musterdeklaration	28
Abbildung 20a: DLG-Qualitätssiegel für Düngekalk „Grundstufe“	36
Abbildung 20b: DLG-Qualitätssiegel für Düngekalk „Premiumstufe“	36
Abbildung 21: „Kalken, wenn der Boden trägt“	38
Abbildung 22: Zeitliche Entwicklung der Umsatzerlöse abzüglich Kalkdüngungskosten	42
Abbildung 23: Erlöse und Kosten mit und ohne Kalkdüngung	42
Abbildung 24: Einfluss der Kalkqualität auf den monetären Erfolg	43
Abbildung 25: Räumliche Differenziertheit der pH-Werte auf einem Schlag (Lösslehm)	49
Abbildung 26: Ausbringungsmenge für erdfeuchte Kalke in Baden-Württemberg in Abhängigkeit von der Feinfraktion	54
Abbildung 27: Waldkalkung – terrestrisches Verblasen	55
Abbildung 28: Waldkalkung – Ausbringung mit dem Helikopter	55

Literaturverzeichnis

BAD/VLK, 2003:

Unvermeidbare Nährstoffverluste in der Landwirtschaft.
Frankfurt, 2003

BLESSING, E. und M. REX, 2004:

Versuchsergebnisse Versuchsanstalt Kamperhof.
persönliche Mitteilung 2006, unveröffentlicht

CELAC, 1999:

Les Amendements Calciques et Magnesiens.
Puteaux, 1999

CELAC, 2005:

Les Amendements Calciques et Magnesiens.
Puteaux, 2005

DHG, 1965:

Düngerkalk-Leitfaden für Wirtschaftsberater.
Köln, 1965

DHG, 1996:

Naturkalk – Grundlage der Bodenfruchtbarkeit 8116/14.
Köln, 1996

DIN 19682:

DIN 19682-10: Beschreibung und Beurteilung des Bodengefüges.
Beuth-Verlag GmbH, Berlin, 2006

DüM-VO, 2008:

Bundesgesetzblatt, JG 2003, Teil I, Nr. 57

FINCK, A., 1979:

Dünger und Düngung.
Verlag Chemie Weinheim, 1979

Forstliche Versuchsanstalt Baden-Württemberg, 2000:

Merkblatt 50/2000 Bodenschutzkalkung im Wald.

Merkblätter der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalten Baden-Württemberg.

Genieser, S., 1995:

Einfluss langjähriger düngungsbedingter Bodenversauerung auf chemische und mikrobiologische Parameter der Bodenfruchtbarkeit.

Dissertation Universität Bonn, 1995

HAMM, W., 1872:

Das ganze der Landwirthschaft in Bildern.

Leipzig (Arnoldische Buchhandlung),

genehmigter Nachdruck für den Bechtermünz Verlag, Augsburg, 1996

KERSCHBERGER, M., 1988:

Tagungsbericht.

Berliner Akademie der Landwirtschaftlichen Wissenschaften der DDR, Berlin, 1988

LÜDERS, R., 1977:

Untersuchungen zur Schadensminderung von Schwermetall-Immissionen.

MEYER, B. und J. POLLEHN, 1999:

Vorlesung zur Bodenkunde.

Universität Göttingen

MÜNCHHOFF RIMPAU GbR, 2005:

persönliche Mitteilung.

Derenburg, 2005

PETTER, D., 2001:

Kalkdüngung braucht langen Atem.

Vortrag BBZ Futterkamp, 31. März 2001

POLLEHN, J., 2005:

Versuchsberichterstattung.

LUFA Weser-Ems, Oldenburg, 2005

SCHERER, H., 2006:

persönliche Mitteilung.

Bonn, 2006

SCHILLING, G., 2000:

Pflanzenernährung und Düngung.

UTB Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, 2000

SCHMID, G. und RUDERT, 1964:

Zusammenhänge zwischen Meliorationskalkung und Ertrag, Qualität sowie Rentabilität auf Urgesteinsböden nordostbayerischer Mittelgebirgslagen.

Sonderdruck aus: Die Bodenkultur, Band. 15, Heft 8

SEVERIN, K., 2002:

Kalkung des Ackerlandes: wann, wieviel, womit.

www.lwk-hannover.de

Stat. Bundesamt, 2006:

Fachserie 4, Reihe 8.2: Produzierendes Gewerbe – Düngemittelversorgung.

Wiesbaden, 2006

STÖVEN, K., 2002:

Kalkung und Bodenleben.

Kalkinformationstag der FAL, Braunschweig, November 2002

VDLUFA, 2001:

Methodenbuch Band I.

Darmstadt, 2001

VETTER, H., 1977:

Versuchsberichterstattung.

LUFA Weser-Ems, Oldenburg, 1977

Weiterführende Literatur und Informationsquellen

Einzelarbeiten:

Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft

Merkblatt 227: Kalkdüngung – heute.

Frankfurt, 1995

Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft (Dünger-/Kainit-Abteilung)

Kalk- und Mergel-Düngung – Anleitungen für den praktischen Landwirt.

Berlin, 1896 und 1918

Kerschberger, M. und G. Franke

Düngung in Thüringen nach „Guter fachlicher Praxis“.

Schriftenreihe der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 11/2001, S. 1 – 86

König, V. und M. Kerschberger

Wieviel Kalk braucht das Grünland?

Neue Landwirtschaft, Berlin, 1999, S. 42 – 46

VDLUFA Methodenbuch – Band I

Darmstadt, 2001

Sauerbeck, D.

Funktionen, Güte und Belastbarkeit des Bodens aus agrikulturchemischer Sicht.

Kohlhammer-Verlag, Stuttgart und Mainz, 1985

Trier, K.

Untersuchungen zur Charakterisierung der Calciumbindungsformen im Boden.

Tagungsbericht der Akad. der Landwirtsch.- Wiss. der DDR, Band 267, Berlin, 1988

VDLUFA- Standpunkt

Bestimmung des Kalkbedarfes von Acker- und Grünlandböden.

Darmstadt, 2000

Lehrbücher:

Scheffer, F. und P. Schachtschabel

Lehrbuch der Bodenkunde

Verlag Enke, Stuttgart, 1976

Boguslawski, E. von

Ackerbau – Grundlagen der Pflanzenproduktion

DLG-Verlag, Frankfurt, 1981

Blume, H.-P.

Handbuch des Bodenschutzes

ekomed Verlagsgesellschaft, Landsberg/Lech, 1990

Buchner, A. und H. Sturm

Gezielter düngen

DLG-Verlag, Frankfurt, 1985

Düngekalk-Hauptgemeinschaft (Herausgeber)

Düngekalk-Leitfaden für Wirtschaftsberater, Köln, 1965

Fiedler, H.-J.

Böden und Bodenfunktionen in Ökosystemen, Landschaften und Ballungsgebieten

Expert Verlag, 2001

Finck, A.

Dünger und Düngung - Anleitung zur Düngung der Kulturpflanzen

Verlag Chemie, Weinheim, 1979

Hege , U. et al.

Pflanzliche Erzeugung – Grundlagen

BLV Buchverlag GmbH & Co KG, München, 2006

Klapp, E.

Lehrbuch des Acker- und Pflanzenbaus

Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg, 1967

Kuntze, H. et al.

Bodenkunde

Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 1988

Meyer, B. et al.

Bodenkunde – Aspekte und Grundlagen

Eigenverlag Universität Göttingen, Institut für Bodenkunde, 1974

Oehmichen, J.

Pflanzenproduktion Bd. 1 - Grundlagen

Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg, 1983

Pokorny, D. et al.

Grundlagen der Düngung und des Pflanzenschutzes

VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin, 1981

Rübensam, E. und K. Rauhe

Ackerbau

VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin, 1968

Tegethoff, W. (Herausgeber)

Calciumcarbonat - Von der Kreidezeit ins 21. Jahrhundert

Birkhäuser Verlag, Basel/Boston/Berlin, 2001

Internetadressen:

DLG e.V.

www.dlg.org

Fachzentrum Land- und Ernährungswirtschaft

Eschborner Landstr. 122

60489 Frankfurt am Main

DLG e.V.

www.dlg-test.de

Testzentrum Technik und Betriebsmittel

www.dlg.org/duengekalk

Max-Eyth-Weg 1

64823 Groß-Umstadt

Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten

und Gartenbau, Sachsen-Anhalt (LLFG)

www.llfg.mlu.sachsen-anhalt.de

Strenzfelder Allee 22

06406 Bernburg

Landwirtschaftskammer Hannover

www.lwk-niedersachsen.de

Johannsenstr. 10

30159 Hannover

Düngerkalk-Hauptgemeinschaft (DHG)

www.naturkalk.de

Annastr. 67 – 71

50968 Köln