



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften

Fachgebiet Pflanzenernährung und Bodenkunde

Prof. Dr. Bernhard Seggewiß

Dipl.- Ing. agr. Bernd Schulze

Bachelor-Studienarbeit

Kalkdüngung: Kalk im Boden und in der Pflanze

von

Lars Durke

April 2010

urn:nbn:de:gbv:519-thesis2010-0070-5

Danksagung

An erster Stelle möchte ich mich bei meiner Familie bedanken, ohne deren Unterstützung dieses Studium nicht möglich gewesen wäre.

Ein großer Dank geht auch an Herrn Prof. Dr. sc. agr. Bernhard Seggewiß, der es mir ermöglichte über das Thema der Kalkdüngung zu schreiben und mich während dieser Zeit betreute.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	4
1 Einleitung	6
2 Versauerung und Kalkwirkung	7
2.1 Versauerung der Böden	7
2.2 Kalkwirkung	9
2.2.1 Physikalische Wirkungen	10
2.2.2 Chemische Wirkung	13
2.2.3 Biologische Wirkung	15
2.2.4 Pflanzenphysiologische Wirkung	16
3 Versorgung der Böden	19
3.1 Boden- und pH- Wertuntersuchung	19
3.1.1 Methoden	23
3.2 Kalkversorgung der Böden in Mecklenburg-Vorpommern	24
3.3 Kalkung	27
3.3.1 Erhaltungskalkung	30
3.3.2 Gesundungskalkung	30
4 Düngekalke	32
4.1 Wichtige Kalkdünger und ihre Eigenschaften	33
4.1.1 Kohlensaure Kalke	34
4.1.2 Branntkalk	35
4.1.3 Löschkalk	36
4.1.4 Mischkalk	36
4.1.5 Hüttenkalk	36
4.1.6 Konverterkalk	37
4.1.7 Carbokalk	37
4.1.8 Sonstige Kalke	38
4.2 Mahlfinheit und Reaktivität	38
5 Durchführung der Kalkdüngung	39
5.1 Zeit der Ausbringung	39
5.2 Anspruch der Kulturen	41
5.3 Wechselwirkung mit anderen Düngern	42
5.4 Ausbringtechnik	42
5.5 Teilflächenspezifische Kalkung	44

6	Diskussion -----	46
7	Zusammenfassung-----	48
8	Quellenverzeichnis -----	50
9	Anhang-----	53

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vielfältige Auswirkung der Kalkung (Finck, 1979) -----	9
Abbildung 2: Schematische Darstellung der Lagerungsformen von Tonteilchen im Boden nach MEYER und POLLEHN, 1999 (Quelle:DLG) -----	11
Abbildung 3: Ton-Humus-Komplex-----	11
Abbildung 4: Veränderung der Gehalte an verfügbaren Nährstoffen in Abhängigkeit vom pH-Wert (Quelle:Finck, 1979) -----	14
Abbildung 5: Raps mit abknickenden Blütenstand -----	17
Abbildung 6: Blütenendfäule bei Tomaten -----	18
Abbildung 7: Mögliche Verfahren der Probenahme (Quelle: Finck, 1991)-----	22
Abbildung 8: Mögliche Zeitpunkte für die Kalkung -----	40
Abbildung 9: Kalkstreuer mit Schneckenstreuwerk -----	43
Abbildung 10: Räumliche differenziertheit der pH-Werte auf einem Schlag (Lösslehm); (Quelle: Münchoff Rimpau, GbR 2005)-----	45

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kalkverluste durch Ernteentzug-----	8
Tabelle 2: Optimale pH-Spannen verschiedener Bodenorganismen nach STÖVEN, 2002 (Quelle:DLG)-----	15
Tabelle 3:Einstufung in Bodengruppen der Düngung nach Ton- und Feinanteil-----	19
Tabelle 4: Definition der pH-Klassen für die Kalkversorgung des Bodens sowie des Kalkdüngedarfs nach VDLUFA -----	20
Tabelle 5: Anteil der pH-Wert-Klassen und der Gehaltsklassen (%) der Bodenuntersuchungen für die Jahre 2003, 2005 und 2007 in Mecklenburg Vorpommern -----	25
Tabelle 6: Rahmenschema für Ackerland zur Einstufung der pH-Werte des Bodens in pH-Klasse C sowie Erhaltungskalkung (dt/ha CaO). Die empfohlenen Kalkmengen beinhalten den Kalkbedarf bis zur nächsten Bodenuntersuchung.-----	28
Tabelle 7: Rahmenschema für Grünland zur Einstufung der pH-Werte des Bodens in pH-Klasse C sowie Erhaltungskalkung -----	29
Tabelle 8: Berechnung der Gesundungskalkung im Rahmen einer Fruchtfolge (Quelle: DLG)31	
Tabelle 9: Kalkmenge als einmalige Höchstgabe für eine Kalkgabe auf Ackerland und Grünland -----	31
Tabelle 10: Gliederung der Kalkdüngertypen -----	38
Tabelle 11: Ansprüche der einzelnen Fruchtarten an die Bodenreaktion -----	41
Tabelle 12: pH-Klassen zur Bewertung der Bodenuntersuchungsergebnisse für Ackerland --	53
Tabelle 13 Kalkdüngungsbedarf von Ackerböden -----	54
Tabelle 14: Kalkdüngungsbedarf von Ackerböden zur Erreichung und Erhaltung des optimalen pH-Bereiches -----	55

Tabelle 15: Kalkdüngungsbedarf von Ackerböden zur Erreichung und Erhaltung des optimalen pH-Bereiches -----	56
Tabelle 16: pH-Klassen zur Bewertung der Bodenuntersuchungsergebnisse für Grünland ---	57
Tabelle 17: Kalkdüngungsbedarf von Grünlandböden -----	58
Tabelle 18: Vorgaben für Kalkdünger -----	59

1 Einleitung

Für jeden Landwirt sollte es eine Selbstverständlichkeit sein, seinen wichtigsten Produktionsfaktor, den Boden in einem möglichst guten Zustand zu erhalten. Eine regelmäßig durchgeführte Kalkung der landwirtschaftlich genutzten Böden ist somit ein wesentlicher Bestandteil der Bewirtschaftung. Die richtige Kalkversorgung der Böden bildet die entscheidende Grundlage, dass die Pflanzen die Nährstoffe angepasst aufnehmen können und die Nährstoffe im richtigen Verhältnis zueinander bereitstehen. Im Zusammenhang mit der richtigen Kalkversorgung der Böden steht auch immer der pH-Wert. Ohne einen standortgerechten pH-Wert der Böden werden alle anderen Produktionsfaktoren wie Pflanzenschutz und Düngemittel eingeschränkt oder sogar aufgehoben. Durch den pH-Wert wird eine Vielzahl von Bodeneigenschaften beeinflusst wie zum Beispiel die Verfügbarkeit von Pflanzennährstoffen, das Bodenleben und die Struktur des Bodens. Durch einen zu niedrigen pH-Wert der Böden können toxische Metallionen in Lösung gehen. Die Folge sind Wachstums- und Ernährungsstörungen an den Kulturpflanzen.

Die Kenntnis über die Bedeutung der Kalkdüngung ist nicht neu. Trotzdem wurde die Kalkdüngung in den letzten Jahren häufig vernachlässigt und somit wertvolles Produktionspotential nicht optimal ausgenutzt. Viele Ackerböden erleiden somit schleichende Ertragsverluste und nicht selten kommt es zum völligen Ertragsausfall.

Jeder Landwirt möchte auf seinen Flächen höchstmögliche Erträge und Qualitäten produzieren. Um diese Erträge und Qualitäten zu erreichen oder sogar noch zu steigern, ist eine regelmäßige Kalkdüngung unablässig. Die vorliegende Arbeit soll als Leitfaden für eine sach- und standortgerechte Kalkung dienen.

Hierbei wird zuerst auf die Versauerung und Kalkwirkung eingegangen. Es wird erläutert, warum Böden versauern und welche Wirkung Kalk auf den Boden und für die Pflanzen hat. Des Weiteren wird die Versorgung der Böden dargestellt. Anschließend wird auf die Durchführung von Bodenuntersuchungen sowie deren Methoden eingegangen. Es werden die wichtigsten Düngekalke vorgestellt und deren Eigenschaften. Danach wird die Durchführung der Kalkdüngung dargestellt. In der Diskussion wird sich kritisch mit dem Gegenstand der Arbeit auseinandergesetzt und es werden Empfehlungen für die jeweiligen Böden gegeben. Abschließend werden die wichtigsten Punkte der Thematik zusammengefasst.

2 Versauerung und Kalkwirkung

2.1 Versauerung der Böden

Im Verlauf der Bodenentwicklung kommt es im mitteleuropäischen Raum zu einer natürlich bedingten Versauerung der Böden. Dem Boden werden durch interne Prozesse, aber auch durch externe, mehr H^+ -Ionen zugeführt als selbst neutralisiert werden können. Es kommt zu einer langsamen Versauerung. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von der Bodenacidität. Die Voraussetzung für diesen Prozess ist die Auswaschung basischer Reaktionsprodukte des Neutralisationsvorgangs.

H^+ -Ionen gelangen durch folgende Prozesse in den Boden:

Die H^+ -Ionen gelangen durch Niederschläge in den Boden. In den Niederschlägen sind Säuren gelöst (H_2SO_3 , H_2SO_4). Regenwasser hat im Durchschnitt einen pH-Wert von 4,8. In ländlichen Gebieten kann der pH-Wert bis auf 4,0 und in Städten sogar bis auf 3,5 absinken.

Des Weiteren entsteht bei der Atmung der Bodenorganismen und Pflanzenwurzeln CO_2 . Dieses reagiert mit Wasser zu H_2CO_3 , wobei H^+ -Ionen entstehen.

Formel: $CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3 \rightarrow HCO_3^- + H^+$

Kohlensäure kann den pH-Wert in kalkarmen und schlecht gepufferten Böden um ca. 0,5- 1,0 Einheiten absenken.

Kalkreiche Böden hingegen können die Kohlensäure durch Karbonate zu Hydrogenkarbonaten binden.

FORMEL: $CaCO_3 + H_2CO_3 \rightarrow Ca(HCO_3)_2$

Werden Hydrogenkarbonate ausgewaschen, kommt es zur Absorption von H^+ -Ionen an den Austauschern. Diese haben die Eigenschaft, bei pH-Werten unter 5, Al^{3+} -Ionen freizusetzen. Al^{3+} -Ionen sind ein Pflanzengift.

Weitere Säuren entstehen bei der Mineralisierung und bei der Humifizierung. Hierbei werden vor allem Fulvosäuren und Huminsäuren freigesetzt. Diese Säuren bewirken eine noch stärkere Absenkung des pH-Wertes als Kohlensäure. Besonders eingepflügte Gründüngung auf zu feuchtem Boden (besonders Zuckerrübenblatt) kann auf strukturlabilen Standorten leicht anfangen zu gären. Die Folge sind Reduktionsvorgänge und Säurebildung.

Säuren werden außerdem auch im Verlauf der Nährstoffaufnahme über die Pflanzenwurzeln ausgeschieden. Dazu zählen insbesondere Kohlensäure, Zitronensäure, Aminosäuren und Hydroxydsäuren.

Stickstoffhaltige Düngemittel sind in der Landwirtschaft unerlässlich. Bei der Umwandlung des Stickstoffs kommt es zur Säurebildung im Boden. Besonders Harnstoff und ammoniumhaltige Dünger sind stark säurebildend. Aus diesen Düngern entsteht bei der Nitrifikation HNO_3 . Ammonsulfat ist der Dünger, der die stärkste versauernde Wirkung aufweist. Die versauernde Wirkung der Phosphate ist demgegenüber gering.

Auch durch die Abfuhr von Ernteprodukten kommt es zum Kalkentzug.

Die Höhe der Entzüge ist jeweils abhängig vom Ertragsniveau und von der jeweiligen Pflanzenart (Tabelle1). Getreide entzieht dem Boden relativ wenig Kalk. Deutlich höher sind die Entzüge bei Raps, Zuckerrüben, Ackergras und Silomais.

Tabelle 1: Kalkverluste durch Ernteentzug

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

2.2 Kalkwirkung

Der Boden ist für jeden Landwirt der entscheidende Produktionsfaktor. Ob nun Pflanzen zur Erzeugung von Marktfrüchten angebaut werden oder als Futtermittel spielt im Wesentlichen keine große Rolle. Wichtig ist nur, dass eine wirtschaftliche und nachhaltige Produktion qualitativ hochwertiger Produkte möglich ist. Dies ist jedoch nur auf gesunden und fruchtbaren Böden zu realisieren. Eine unerlässliche Voraussetzung dafür ist die optimale Kalkversorgung der Böden. (DLG)

Im Vordergrund der Kalkdüngung steht nicht die Calciumversorgung der Pflanzen, sondern eher die Erhaltung und Verbesserung des Bodengefüges und der Bodenfruchtbarkeit.

Durch Kalk wird eine Vielzahl von Prozessen im Boden gesteuert (Abbildung 1). Kalk im Boden hat eine physikalische, chemische und biologische Wirkung. Kalkdünger haben demzufolge eine mehrfache Wirkung. Kalk ist somit ein Mehrwirkungsdünger.

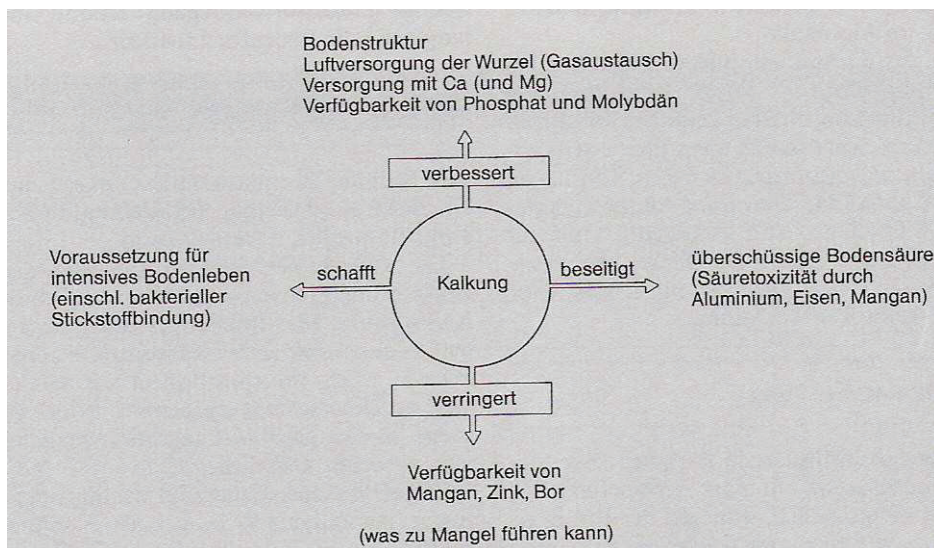


Abbildung 1: Vielfältige Auswirkung der Kalkung (Finck, 1979)

2.2.1 Physikalische Wirkungen

Zu den wichtigsten fruchtbarkeitsbestimmenden Bodeneigenschaften gehört das Bodengefüge.

Unter Bodengefüge versteht man die räumliche Anordnung der festen Bodenbestandteile, die zu Aggregaten zusammengeschlossen sind, sowie die Größe, Form und Verteilung der Poren sowohl innerhalb als auch außerhalb der Aggregate.

Oftmals wird der Begriff Bodenstruktur dem Begriff Bodengefüge gleichgesetzt. Der Begriff Bodenstruktur bezieht sich jedoch meist nur auf die Betrachtung der Ackerkrume. Wasserhaushalt, Luft- und Wärmehaushalt werden vom Bodengefüge maßgeblich beeinflusst. Die Struktur des Bodens hat auf die Pflanzenentwicklung einen sehr großen Einfluss. Besonders in der Phase der Keimung und im Jungpflanzenstadium spielt die Bodenstruktur eine bedeutende Rolle. Außerdem hat die Bodenstruktur auch einen enormen Einfluss auf die Befahrbarkeit und den Zugkraftbedarf bei der Bodenbearbeitung.

Ist im Boden keine ausreichende Calciumsättigung der Bodenaustauscher vorhanden (60-80%), bilden die Tonteilchen zunächst ein „Kante-Kante-Profil“, welches in ein Kohärentgefüge übergehen kann. Das bedeutet, dass die Tonteilchen des Bodens stark zusammenkleben. Sie bilden eine flächige, dichte Struktur, welche den Wassertransport und den Gasaustausch stark einschränkt.

Durch den Einsatz von Kalk kann das Bodengefüge stabilisiert werden. Calcium-Ionen sind in der Lage, sich an Tonteilchen anzulagern (Abbildung 2). Durch diese Anlagerung entsteht eine lockere Kartenhausstruktur. Dieser Prozess wird auch als Flockung bezeichnet und nimmt mit steigender Calciumkonzentration zu. Bei zunehmender Austrocknung des Bodens kommt es zur Vermörtelung der Porenwinkeln durch Ca-Carbonat oder Ca-Silikat. Das hat zur Folge, dass sich die Porenwinkeln verhaken und verfestigen und so dem Aggregatzerfall besser widerstehen können (Abbildung 2).

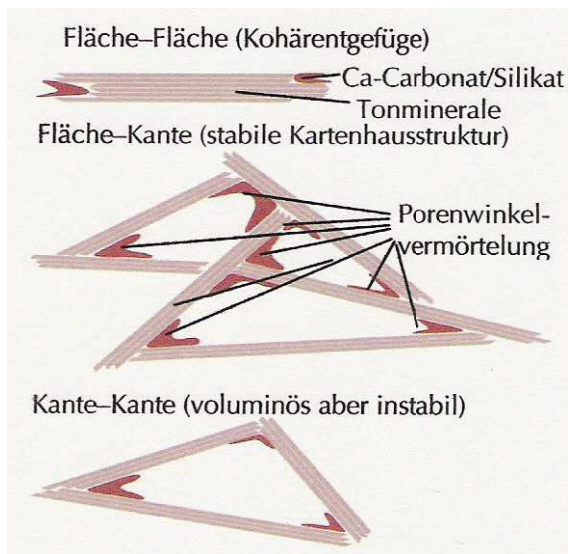


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Lagerungsformen von Tonteilchen im Boden nach MEYER und POLLEHN, 1999 (Quelle:DLG)

Kalk lagert sich aber nicht nur an Tonteilchen an, sondern auch an Humusteilchen. Es kommt zu einer Brückenbildung (Abbildung 3) zwischen Ton und Humus – dem sogenannten Ton-Humus-Komplex.

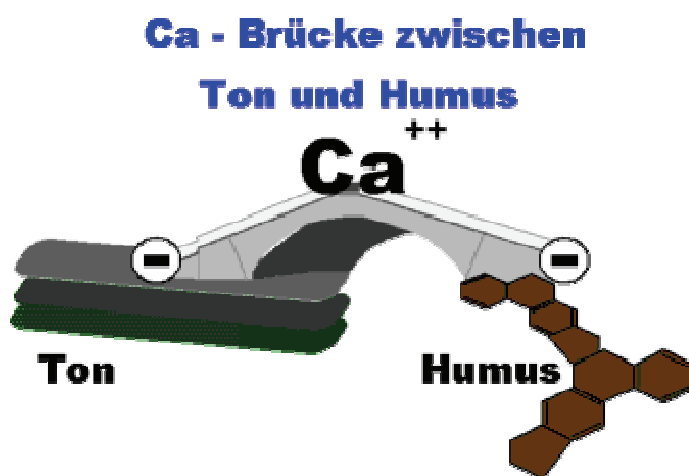


Abbildung 3: Ton-Humus-Komplex

Durch die Bildung eines Ton-Humus-Komplexes entstehen mehr oder weniger große Aggregate. Die Verbindungen zwischen Ton- und Humusteilchen ist die Voraussetzung für die Bildung stabiler Bodenkrümel (Bodengare).

Tonminerale sind nicht nur in der Lage Metallkationen zu binden sondern auch organische Ionen. Es werden Karboxylgruppen (-COOH) als Anionen (-COO⁻) und Amminogruppen (-NH₂) als Oberfläche der Tonminerale gebunden.

Eine besondere Rolle spielen in diesem Zusammenhang die austauschbaren Ca²⁺- und Mg²⁺-Ionen, da sie eine besondere Funktion haben. Diese liegt darin, dass Kalzium und Magnesium eine Kalkbrücke zwischen Ton- und Humuskolloiden bilden. Das bedeutet, dass nur bei einer ausreichenden Kalkversorgung des Bodens eine Ton-Humus-Komplexbildung und somit eine ausreichende Krümelung zu erwarten ist.

Des Weiteren kann Kalk den Luft- und Wasserhaushalt des Bodens verbessern und es werden durch Kalk stabile Porensysteme geschaffen. Durch Brückenbildung entstehen größere Aggregate und Aggregatverbindungen werden stabilisiert. Somit wird der Anteil der Grobporen erhöht und der Lufthaushalt des Bodens verbessert. Auch das gesamte Porensystem des Bodens wird dadurch positiv beeinflusst, also auch der Anteil an Mittel- und Feinporen. Dadurch verbessert sich das Wasserspeichungsvermögen des Bodens und die Wasseraufnahme wird erhöht. Es wird außerdem der oberflächige Wasserabfluss reduziert, da das Wasser durch das stabile Porensystem aufgenommen wird. Die Gefahr von Bodenerosion und oberflächiger Verschlammung wird somit sehr stark reduziert. Die Versickerungsrate eines gekalkten Bodens ist deutlich höher als die eines ungekalkten.

Erhöht sich die Stabilität des Bodens so erhöht sich auch seine Tragfähigkeit. Das hat zur Folge, dass die Verdichtung des Bodens reduziert wird. Durch die Verbesserung der Porensysteme wird der Luft- und Wärmehaushalt des Bodens positiv beeinflusst. Das heißt, der Boden trocknet im Frühjahr schneller ab und kann sich somit schneller erwärmen. Gekalkte Böden können somit in der Regel früher befahren werden als ungekalkte Standorte. Das Zeitfenster für die Bestellung und Bodenbearbeitung wird dadurch größer. Man kann seine Arbeitsgänge flexibler gestalten und Arbeitsspitzen eindämmen. Es kann früher gesät werden, sodass die Wachstumsphase vorverlegt wird. Dadurch wird die Ertragsbildung positiv beeinflusst. Kommt es im Umkehrschluss zu einer lang anhaltenden Trockenheit, so bildet der Boden bei ausreichender Kalkversorgung viele kleine Aggregate. Der Boden „schrumpft“ weniger als ein mit Kalk unterversorgter Boden. Es entstehen auch weniger Risse und Spal-

ten. Die Böden bleiben lockerer und die mechanische Belastung an den Wurzeln der Pflanzen nimmt ab. Kalkreiche Böden lassen sich besser und leichter bearbeiten als kalkarme Böden. Der Kraftaufwand für Maschine und Bodenbearbeitungsgeräte wird reduziert. Der Energie- und Kraftstoffbedarf wird gesenkt. Dieser Effekt wirkt sich positiv auf die Arbeitserledigungskosten aus.

2.2.2 Chemische Wirkung

Durch eine regelmäßige Kalkung kommt es zur Verbesserung der chemischen Bodeneigenschaften. Kalkdünger haben mehrfache Wirkung, vor allem aber sind sie basisch wirksame Stoffe. Das Ziel der Kalkung ist es, toxische Stoffe zu beseitigen und eine optimale Nährstoffverfügbarkeit sicherzustellen (Abbildung 4). Kalk reguliert die Bodenreaktion, d.h. der pH-Wert des Bodens wird reguliert. Durch den Eintrag von Säuren wird der pH-Wert des Bodens nach und nach herabgesetzt und der Boden versauert mehr und mehr. Dieses führt zu Säureschäden im Boden und an der Pflanze. Die Säureschäden sind zurückzuführen auf ein Überangebot an toxischen Stoffen (z.B. von natürlichen Salzen) oder von Schwermetallen (z.B. Eisen, Mangan), aber auch durch Leichtmetalle wie Aluminium. Häufig treten Säureschäden nach sehr nassen Wintern auf.

Durch Kalk wird die Nährstoffversorgung verbessert. Pflanzen sind nur in der Lage, Nährstoffe in gelöster Form aufzunehmen. Dies geschieht über die Pflanzenwurzel. Für eine angepasste Pflanzenernährung ist nicht nur die vorhandene Menge an Nährstoffen von Bedeutung sondern auch die Löslichkeit der Nährstoffe. Mit einer zunehmenden Versauerung des Bodens verschlechtert sich auch die Nährstoffverfügbarkeit. Der optimale pH-Wert der meisten Pflanzen liegt im Bereich von 5,5 bis 7,0. In diesem Bereich haben die meisten Pflanzennährstoffe die optimale Löslichkeit. Der optimale pH-Wert sollte unter allen Umständen annähernd eingehalten werden. Die Abweichung vom Optimum sollte maximal 0,2 pH-Einheiten betragen. So bedeutet ein Optimum von pH 6, dass die Bodenreaktion im Bereich von 5,8 bis 6,2 liegen sollte. Daraus folgt die Notwendigkeit der Kalkdüngung, wenn die Reaktion auf pH 5,8 abgesunken ist.

Mit steigenden pH-Wert nimmt die Verfügbarkeit an Stickstoff (N), Schwefel (S), Kalium (K), Calcium (Ca) und Magnesium zu. Aber auch die Verfügbarkeit von Molybdän (Mo). Die Ver-

füchtigkeit der Mikronährstoffe Eisen (Fe), Mangan (Mn), Kupfer (Cu) und Zink (Zn) nimmt hingegen mit zunehmenden pH-Wert ab. Ab pH-Werten größer 7,0 kann es deshalb zur Festlegung der eben genannten Mikronährstoffe kommen. Die Folge sind Mangelercheinungen an den Pflanzen.

Phosphor (P) reagiert besonders empfindlich auf zu geringe pH-Werte. Am besten löslich ist Phosphor in einem Bereich zwischen pH 6,0 bis 7,0.

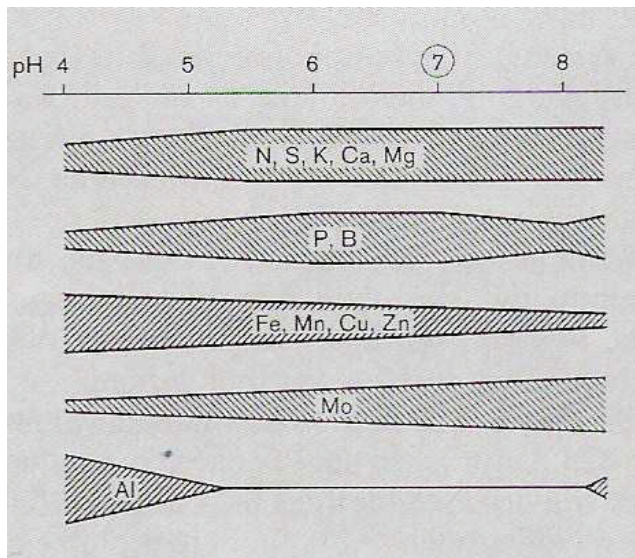


Abbildung 4: Veränderung der Gehalte an verfügbaren Nährstoffen in Abhängigkeit vom pH-Wert (Quelle:Finck, 1979)

Bei optimaler Kalkversorgung der Böden können Pflanzennährstoffe besser aufgenommen und ausgenutzt werden. Die Aufwandmengen an zugeführten Nährstoffen können somit reduziert werden. Die Kosten für oftmals teure Düngemittel können ebenfalls reduziert werden und die Nährstoffeffizienz wird erhöht. Durch Reduzierung der Aufwandmengen wird die Auswaschung insbesondere bei Nitrat und Phosphat reduziert. Dieses hat einen positiven Effekt auf die Umwelt.

Nicht nur die Löslichkeit von Nährstoffen in der Bodenlösung wird durch den pH-Wert beeinflusst, sondern auch die Mobilität von Schwermetallen. Durch Schwermetalle wird das Pflanzenwachstum negativ beeinflusst, da sie zum Teil eine phytotoxische Wirkung haben. Des Weiteren kann es zum Transfer von Schwermetallen in das Ernteprodukt kommen. In unseren Breiten weisen die landwirtschaftlichen Flächen, die zur Lebensmittelproduktion genutzt werden, jedoch Werte auf, die weit unter den rechtlich zugelassenen Grenzwerten

liegen. Höhere Grenzwerte treten zum Beispiel im Erzgebirge oder in Flussauen auf. Besonders Gemüsearten und Winterweizen können relativ viele Schwermetalle aufnehmen. Kommt es zum Anbau dieser Kulturen an diesen Standorten, so kann es bei zu niedrigem pH-Wert (<6) zur Schwermetallaufnahme kommen. In aller Regel wird das Schwermetall Cadmium aufgenommen.

Durch eine angepasste und standortgerechte Kalkung kann die Gefahr der Schwermetallfreisetzung reduziert bzw. eingedämmt werden und zur Ertrags- und Qualitätssicherung beitragen. Im Hinblick auf den Verbraucherschutz ist diesem Aspekt zukünftig mehr Aufmerksamkeit zu widmen.

Alle diese Punkte zeigen auf, dass sich das Leistungspotential eines Bodens besser ausnutzen lässt, wenn der Boden optimal mit Kalk versorgt ist.

2.2.3 Biologische Wirkung

Durch die basische Wirkung der Kalkdünger kommt es zur Erhöhung der Bodenreaktion (pH-Wert). Dieses führt wie oben beschrieben zur Verbesserung der physikalischen und chemischen Eigenschaften des Bodens. Kalk wirkt sich fördernd auf die Tätigkeit der Bodenorganismen aus. Die Bodenorganismen (Regenwürmer, Bakterien, Milben und Tausendfüßler) sind ein wichtiger Bestandteil des Bodens. Durch sie wird eine Vielzahl von Umsetzungsprozessen gesteuert. Optimale Bedingungen finden die Bodenorganismen aber nur in gut mit Kalk versorgten Böden, wo sie sich schnell vermehren können und die organische Substanz rasch abbauen können. Durch den Abbau der organischen Substanz entsteht wertvoller Humus. Der optimale pH-Wert liegt nach STÖVEN (2002) im schwach sauren bis neutralen pH-Bereich (Tabelle 2).

Tabelle 2: Optimale pH-Spannen verschiedener Bodenorganismen nach STÖVEN, 2002 (Quelle:DLG)

	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

Sinkt der pH-Wert, so ist die Tätigkeit der Bodenorganismen deutlich reduziert. Die Folge sind eine gehemmte Strohrotte und eine schlechtere Umsetzung organischer Dünger.

Regenwürmer beispielsweise sind unerlässlich für den Boden, da sie an der Krümelbildung des Bodens maßgeblich beteiligt sind. Ihre Gänge sind von größter Bedeutung für die Bodendurchlüftung.

In gut kalkversorgten Böden wird die „Lebendverbauung“ gefördert. Das bedeutet, dass es durch mikrobielle Aktivität zur Verklebung der Bodenkolloide kommt. Dieses wirkt sich wiederum positiv auf die Stabilität der Bodenaggregate aus.

Der angestrebte pH- Wert sollte stets in der Gehaltsklasse C liegen. In diesem Bereich verläuft die Mineralisierung durch die Mikroorganismen im Optimum.

2.2.4 Pflanzenphysiologische Wirkung

Calcium ist ein unentbehrlicher Pflanzennährstoff. Calcium gehört zu den essentiellen Pflanzennährstoffen und kommt in der Pflanze als Salz anorganischer und organischer Säuren (z.B. Ca-Oxalat) vor. Hauptsächlich ist Calcium in den älteren Blättern zu finden. Es ist für die strukturelle und physiologische Stabilität des Pflanzengewebes verantwortlich (Bergmann, 1993). Es fördert die Zellvermehrung, das Längenwachstum und das Wurzelwachstum der Pflanze. Die Aufnahme von Calcium ist abhängig vom Ca-Gehalt des Bodens und dessen pH-Wert. Calcium wird über die Wurzeln ausschließlich als Kation Ca^{2+} aufgenommen. Es gelangt über das Transpirationswasser der Pflanze in das Xylem und in andere oberirdische Pflanzenteile. Das Calcium wird in den Pflanzenteilen festgelegt, sodass eine Rückverlagerung aus älteren in jüngere Pflanzenteile oder zurück in die Wurzel nicht möglich ist. Die Versorgung der Pflanze mit Calcium aus der Wurzel in den Spross ist somit in erster Linie abhängig vom Transpirationsstrom. Durch geringe Transpiration kann es zu Ca-Mangel kommen. Die Konzentration an Calcium ist im Spross höher als in der Wurzel. Ältere Blätter sind immer calciumreicher als jüngere. Das liegt daran, dass sie aufgrund ihres Alters mehr transpiriert haben und durch den Xylemstrom das dort angelagerte Calcium nicht mehr mobilisiert wer-

den kann. Deshalb kann es bei nachlassendem Ca-Angebot in den schwächer transpirierenden Sprosssteilen, also den jüngeren Blättern, zuerst zu Mangelercheinungen komme.

Unregelmäßige Wasserversorgung der Pflanze ist die Hauptursache für das Auftreten von Calciummangel. Durch Reduzierung der Ca^{2+} - Zufuhr aufgrund verminderter Transpiration und gleichzeitig erhöhter Wachstumsintensität kann es bei normal gewachsenen Pflanzen zur Stängelweiche oder zum Stängelknicken kommen (Abbildung 5).



Abbildung 5: Raps mit abknickenden Blütenstand

Die Symptome des Ca-Mangels treten zuerst in den meristematischen Spross- bzw. Wurzelgeweben auf. Jüngere Blätter zeigen im unteren Blattdrittel Einschnürungen, Verkrümmungen, Auflösung der Zellwände, Nekrosen und schließlich ein Abknicken der Sprossspitze.

Ca-Mangel ist in unserem Klima eher selten. In den humiden Tropen hingegen ist das Auftreten von Ca-Mangel weit verbreitet aufgrund der enormen Ca-Auswaschung.

Typische Störungen der Ca-Versorgung während der Fruchtausbildung nach der Umstellung von Xylem- auf Phloemtransport sind die „Stippigkeit“ bei Äpfeln oder die Fruchtfäule bei Tomaten (Abbildung 6). Ein zu hohes Angebot an Kalium verstärkt das Auftreten der Stippigkeit.

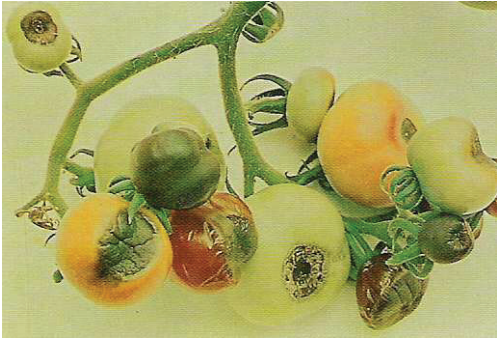


Abbildung 6: Blütenendfäule bei Tomaten

Durch Blattspritzungen oder Benetzen der Früchte mit Lösungen von $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ oder CaCl_2 (Neutralsalze) kann der Calciumbedarf der Pflanze in einem kritischen Entwicklungsabschnitt sichergestellt werden, wenn Calcium aus dem Boden nicht in ausreichenden Mengen nachgeliefert werden kann. Das über Blattdüngung aufgebraachte Calcium wird relativ schnell aufgenommen und verhindert somit Ertragsausfälle und Qualitätseinbußen.

3 Versorgung der Böden

3.1 Boden- und pH- Wertuntersuchung

Um eine bedarfsgerechte Kalkung durchzuführen, ist eine Vielzahl von Kenntnissen über den Zustand des zu düngenden Standortes Voraussetzung. Für die pH-Wertbestimmung eines Standortes gibt es verschiedene Methoden. Es gibt Schnelltests zur pH-Wertuntersuchung. Diese sollten aber nur zur groben Orientierung dienen, da sich der Kalkbedarf aus diesen Tests nicht zuverlässig ableiten lässt. Des Weiteren gibt es Bodenuntersuchungen, welche durch Fachlabore durchgeführt werden. Die Untersuchung durch Fachlabore gehört heute zur guten fachlichen Praxis und ist allen anderen Methoden vorzuziehen. Die durch das Labor ermittelten pH-Werte reichen allein noch nicht aus, um eine bedarfsgerechte Kalkmenge richtig zu ermitteln. Es werden noch weitere Faktoren, wie die Bodenart, der Humusgehalt und die Nutzung herangezogen, um den richtigen Kalkbedarf zu ermitteln. Berücksichtigt man diese Faktoren oder Kenndaten, so kommt es zunächst zu einer Einstufung in „Bodengruppen der Düngung“ (Tabelle 3) sowie zur Eingruppierung in „pH- Wertklassen“ (Tabelle 4). Anschließend lassen sich die daraus resultierenden Aufwandmengen berechnen.

Tabelle 3: Einstufung in Bodengruppen der Düngung nach Ton- und Feinanteil

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

Tabelle 4: Definition der pH-Klassen für die Kalkversorgung des Bodens sowie des Kalkdüngedarfs nach VDLUFA

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

Um den Boden untersuchen zu können, ist zuerst die Entnahme von Bodenproben notwendig. Die Düngeverordnung schreibt vor, dass auf Ackerflächen der Kalkbedarf mindestens alle 6 Jahre zu untersuchen ist. Um repräsentative Ergebnisse bei der Untersuchung zu erhalten

ten, ist die Bodenprobenahme nach VDLUFA Vorschriften (VDLUFA Methodenbuch Band I) durchzuführen. Um Fehlerquellen auszuschließen, ist bei der Beprobung auf unterschiedliche Parameter zu achten: den Zeitpunkt der Bodenprobenahme; die Auswahl, Einteilung und den Nachweis der Probenahme fläche; die Anzahl und Verteilung der Probenahmestellen; die Probenahmetechnik und die Probenteilung (Kape/Pöplau, 2004). Der beste Zeitpunkt für die Entnahme der Bodenproben ist nach der Ernte, um die Düngung rechtzeitig vor der Saat bemessen zu können. Falls der Zeitraum für die Probenahme nicht ausreicht, kann diese auch zu einem anderen Zeitpunkt erfolgen. Wichtig ist nur, dass die Entnahme nicht unmittelbar nach einer Düngung erfolgt. Vorangegangene Düngungsmaßnahmen sollten mindestens drei Monate zurückliegen. Damit man Tendenzen der Kalk- und Nährstoffentwicklung erkennen kann, sollte die Probeentnahme im Rahmen der Fruchtfolge, immer zu bzw. nach der gleichen Fruchtart erfolgen. Da große Ackerflächen oftmals keine Homogenität aufweisen, ist es sinnvoll, diese je nach Bodenart, Geländebeschaffenheit, Wasserverhältnissen und natürlichen Bedingungen in kleinere Teilflächen einzuteilen (Finck, 1991). Die Größe der Teilfläche ist bei gleicher Bewirtschaftung und einheitlichen Standortbedingungen auf 3 bis 5 ha zu begrenzen. Gesondert zu beproben sind Vorgewende, Schlagränder, Nassstellen, Kuppen, Senken, Kalk- und Dunglagerstätten. Diese sollten nicht unmittelbar in die Probenahme mit einbezogen werden (Kape/Pöplau, 2004). Eine Probenahme ist nur auf bearbeiteten Flächen durchzuführen. Keinesfalls sollten Proben von übermäßig nassen, ausgetrockneten oder gefrorenen Böden genommen werden, da diese die Aussagekraft der Probe beeinflussen können. Für jede Probenahme fläche wird aus allen Proben eine Mischprobe erstellt. Die Einzeleinstiche für eine Mischprobe sollten gleichmäßig über das gesamte Probefeld verteilt sein.

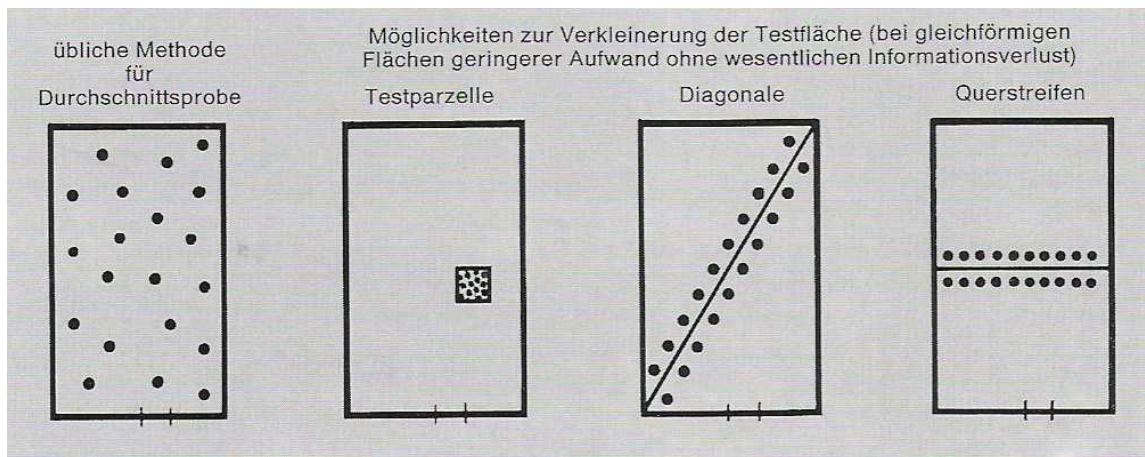


Abbildung 7: Mögliche Verfahren der Probenahme (Quelle: Finck, 1991)

In der Abbildung 9 werden mögliche Verfahren zur Probenentnahme auf einer definierten Fläche von 1 bis 3 ha dargestellt. Die Anzahl der Einstiche bzw. Einzelproben sollte mindestens einen Umfang von 20 Proben haben. Die Proben dürfen nicht parallel zur Bearbeitungsrichtung des Schlages genommen werden, da dies zu fehlerhaften Ergebnissen führen kann. Die Proben sollten deshalb über das gesamte Feld verteilt entnommen werden, um ein aussagekräftiges Ergebnis zu erhalten. Es ist zu empfehlen, ein einmal angewandtes Verfahren für zukünftige Beprobungen beizubehalten.

Die Standardtiefe für die Probenahme sollte bei 20 cm liegen, bei einer tieferen Krume auch bis 30 cm. Generell gilt jedoch die Standardtiefe von 20 cm eingehalten werden. Die Probenentnahme erfolgt mittels eines Bohr- oder Schlagstocks. Die Einzelproben werden in ein Sammelgefäß getan und anschließend kräftig durchmischt, sodass man eine Mischprobe aus allen Einzelproben erhält. Anschließend werden von der Mischprobe mindestens 200 g, besser 300 g, in einen geeigneten feuchtebeständigen Probebehälter oder Plastikbeutel gefüllt. Anschließend werden die Probebehälter mit Schlag- und Probennummer genau gekennzeichnet. Die genaue Herkunft, der Bewuchs (falls vorhanden), die Vorfrucht, auffällige Merkmale des Bodens und der Pflanzen, frühere Düngung usw. sollten zusätzlich dokumentiert werden (Finck, 1991).

In der heutigen Zeit gewinnt die geopositionierte Vermessung von landwirtschaftlich genutzten Flächen mehr und mehr an Bedeutung und damit einhergehend auch die Entnahme von Bodenproben mittels GPS. Diese Art der Probenahme bietet eine Vielzahl von Vorteilen. Es können zum Beispiel Beprobungsmuster festgelegt werden, GPS ermöglicht das genaue Wiederfinden von Beprobungspunkten und -flächen. Zusätzlich bietet GPS die Möglichkeit

zur automatischen Verarbeitung von Bodenuntersuchungsergebnissen und die Wiederholbarkeit des Beprobungsmusters für zukünftige Bodenuntersuchungen. Die Entnahme der Proben bei dieser Methode erfolgt mittels spezieller Fahrzeuge.

3.1.1 Methoden

Der pH-Wert kann nach mehreren Methoden bestimmt werden. Zum einen können pH-Werte im Feld leicht mittels Farbtests (Indikatoren) bestimmt werden. Dieser Test ergibt nur grobe Anhaltswerte und die erforderliche Menge an benötigten Kalk wird nicht ermittelt.

Auch Luftaufnahmen, die dem Landwirt im Rahmen der Flächennachweise zugestellt werden, können als eine Art Indikator dienen. Diese Aufnahmen, die im Frühjahr erstellt werden, zeigen die Wachstumsverhältnisse auf den einzelnen Flächen. Hinweise auf eventuelle Versauerung sind somit ersichtlich.

Seit 2000 hat die VDLUFA festgelegt, dass der Kalkbedarf in Deutschland in der Regel nur durch die Messung des pH-Wertes einer Bodensuspension in 0,01 molarer CaCl_2 -Lösung zu ermitteln ist. Dieses Verfahren wird auch als VDLUFA-Verbandsmethode bezeichnet und ist das heutige Standardverfahren. Das Verfahren besteht darin, dass der Ausgangs-pH-Wert in einer Suspension (Aufschlammung von Feinboden) mit 0,01 M CaCl_2 -Lösung und der End-pH-Wert nach Zusatz einer 1,5 M Calciumacetatlösung und Stehen über Nacht gemessen werden. Anschließend kann der Kalkbedarf aus empirischen Tabellen in dt/ha CaO abgelesen werden (Schilling, 2000). Weitere Einzelheiten zur Bodenuntersuchung sind dem Methodenbuch Band I (1991) der VDLUFA zu entnehmen.

Die Kosten für die Untersuchung einer einzelnen Bodenprobe, welche in der Regel auf einer Fläche von 3 bis 5 ha genommen wird, betragen in der Regel rund 0,50 Euro pro Jahr und Hektar. Diese können bereits gedeckt sein, wenn durch die Untersuchung Kalkdüngerausgaben eingespart werden (Kape/Pöplau, 2004).

3.2 Kalkversorgung der Böden in Mecklenburg-Vorpommern

Die Kalkversorgung der Böden in Mecklenburg-Vorpommern wird in der unten folgenden Tabelle 5 dargestellt. In dieser Tabelle werden die pH-Wert-Klassen und die Gehaltsklassen (GK) in Prozent (%) der Bodenuntersuchungen der verschiedenen Jahre dargestellt. Die Untersuchungen erfolgten jeweils für den pH-Wert (Kalkzustand), für Phosphor, Kalium und Magnesium und beziehen sich ausschließlich auf das Ackerland. Die älteste dieser Bodenuntersuchungen stammt aus dem Jahr 2003 und die aktuellste aus dem Jahr 2007.

Im Jahr 2003 lagen 35% der untersuchten Böden in der pH-Wert-Klasse C. Das ist die anzustrebende Klasse mit der optimalen Kalkversorgung des Bodens. Bei diesen Böden ist nur eine Erhaltungskalkung nach Ernteabfuhr durchzuführen. 20,3% der untersuchten Böden lagen in den pH-Wert-Klassen E und D. Diese Böden weisen ein Überangebot an Kalk auf, eine Kalkung ist zu unterlassen, da der pH-Wert sonst noch weiter in die Höhe schnellte. In die pH-Wert-Klassen A und B sind 44,7% der Böden einzuordnen. Das ist fast die Hälfte aller untersuchten Böden. Diese Böden sind unterversorgt. Eine Gesundungskalkung dieser Böden sollte schnellst möglich durchgeführt werden, um sie in die optimale pH-Wert-Klasse zu bringen. Im Jahr 2005 lag der Anteil der optimal mit Kalk versorgten Böden (Klasse C) bei 42,6%. Ein Anstieg von 7,6% im Vergleich zu 2003 ist zu verzeichnen. Die untersuchten Böden, die in pH-Wert-Klasse E und D liegen, haben einen Anteil von 20,3% - genau wie im Jahr 2003. Die mit Kalk unterversorgten Böden in den pH-Wert-Klassen A und B lagen im Jahr 2005 bei einem Anteil von 37,2%. Im Vergleich zu 2003 verbesserten sich die Böden dieser Klasse um 7,5%. Trotz Verbesserung in den pH-Wertklassen A und B liegt der Anteil der unterversorgten Böden im Jahr 2005 immer noch bei über einem Drittel.

Die aktuellste Untersuchung stammt aus dem Jahr 2007. Die Böden in der pH-Wert-Klasse C liegen bei einem Anteil von 41,0%. Im Vergleich zu 2005 ist eine Verschlechterung von 1,6% zu verzeichnen. Die Böden der pH-Wert-Klasse E und D liegen bei 31,4%. Dies sind 11,1% mehr als in den Jahren 2005 und 2003. Der Anteil der unterversorgten Böden der pH-Wert-Klassen A und B liegt bei 27,6%. Somit war 2007 eine Verbesserung um 9,6% im Vergleich zum Jahr 2005 erkennbar.

Tabelle 5: Anteil der pH-Wert-Klassen und der Gehaltsklassen (%) der Bodenuntersuchungen für die Jahre 2003, 2005 und 2007 in Mecklenburg Vorpommern

Parameter	Jahr	pH-Wert- bzw. Gehaltsklassen				
		E	D	C	B	A
Ackerland						
pH-Wert	2003	7,0	13,3	35,0	39,2	5,5
Phosphor	2003	8,3	24,3	37,4	25,5	4,5
Kalium	2003	8,3	41,2	36,7	12,5	1,3
Magnesium	2003	12,0	15,7	32,6	30,0	9,7
pH-Wert	2005	6,3	14,0	42,6	34,1	3,1
Phosphor	2005	5,3	17,4	33,1	37,2	7,0
Kalium	2005	5,0	34,7	40,7	17,2	2,5
Magnesium	2005	9,8	14,4	31,8	31,3	12,7
pH-Wert	2007	12,5	18,9	41,4	24,9	2,7
Phosphor	2007	6,3	19,9	33,5	34,3	6,0
Kalium	2007	7,4	41,4	35,5	13,8	1,9
Magnesium	2007	13,0	18,7	29,9	28,6	9,8

Anhand dieser Untersuchungen wird deutlich, dass sich der Kalkzustand der Böden in Mecklenburg-Vorpommern im Laufe der letzten 5 Jahre verbessert hat. Gründe hierfür dürften der wieder steigende Kalkeinsatz in den vergangenen Jahren sein.

Der Anteil der mit Kalk überversorgten Flächen stieg jedoch stark an. Er betrug im Jahr 2007 31,4%. Damit weisen knapp 1/3 der Ackerflächen in Mecklenburg-Vorpommern einen pH-Wert über dem anzustrebenden Optimum auf. 12,5% der untersuchten Flächen haben sogar einen so hohen pH-Wert, dass es zu einer negativen Beeinflussung der Bodenfruchtbarkeit (Nährstofffestlegung) kommen kann. In diesen Fällen sollten die Landwirte verhaltener düngen oder gänzlich auf eine Kalkdüngung verzichten.

Ein Rückgang der kalkunterversorgten Flächen ist festzustellen. Im Jahr 2003 wiesen noch 44,7% der Flächen eine Unterversorgung auf. Im Jahr 2007 hingegen nur noch 27,6% der Flächen, d.h. es war ein Rückgang von 17,1% zu verzeichnen. Auf diesen Flächen muss stärker gekalkt werden, um den Reaktionszustand des Bodens zu verbessern.

Der Anteil der optimal versorgten Böden pendelt sich bei 40,0% ein, sollte jedoch höher liegen, da der Boden in dieser pH-Wert-Klasse den optimalen Reaktionszustand aufweist.

Der Bodenreaktionszustand landwirtschaftlicher Böden ist wichtiger Bestandteil der Bodenfruchtbarkeit und bedeutend für die Ertragsfähigkeit landwirtschaftlicher Standorte.

Der optimale Reaktionszustand der Böden sollte deshalb ständig verbessert oder zumindest erhalten werden.

3.3 Kalkung

Zur Bewertung des Nährstoffzustandes eines landwirtschaftlich genutzten Bodens werden für Phosphor, Kalium und Magnesium fünf Gehaltsklassen angegeben. Die Einteilung der Gehaltsklassen erfolgt in A bis E. Die Gehaltsklasse A wird als „sehr niedrig“ deklariert, die Gehaltsklasse C, welche anzustreben ist, gilt als „optimal“ und die Gehaltsklasse E wird als „sehr hoch“ deklariert. Dieses Bewertungsschema und die Einteilung in Gehaltsklassen wurden durch die VDLUFA festgelegt und als geeignet befunden.

Dem entsprechend ist auch der Kalkzustand des Bodens in die Gehaltsklassen A bis E eingeteilt worden (Abbildung 10). Diese fünfklassige Einteilung ist infolge der allgemein relativ geringen Variabilität des pH-Wertes eines Feldes und der damit verbundenen hohen Treffsicherheit zur Klassenzugehörigkeit besonders zu rechtfertigen. Des Weiteren ermöglicht eine solche Gruppierung ausreichende Beratungsansätze für eine kulturartspezifische Kalkbedarfsermittlung. Für diese ist es erforderlich die Bodenart zu berücksichtigen. Das von der VDLUFA beschriebene Schema (VDLUFA-Methodenbuch) der Bodenarteneinteilung wurde dafür als geeignet befunden (Tabelle 3).

Aufgrund von Überschneidungen und Unschärfen hinsichtlich der Bezeichnung und Zuordnung von Bodenarten nach den verschiedenen Nomenklaturen sind die Bezeichnungen der Bodenartengruppen bzw. der vorwiegenden Bodenarten und die Symbole als Orientierung zu betrachten. Bodenarten können innerhalb dieses Rahmenschemas zusammengefasst werden, wenn es regional sinnvoll ist.

Die zur Bewertung des Kalkversorgungszustandes des Bodens zugrunde gelegten pH-Klassen A bis E sind entsprechend definiert (Abbildung 10). Aspekte der Bodenfruchtbarkeit wie Bodenstruktur, Nährstoff- und Schwermetallverfügbarkeit und allgemeine Hinweise zur Kalkdüngung in der Praxis wurden besonders berücksichtigt.

In der Vergangenheit wurden durch die jeweils zuständige LUFA die Richtwerte zur Einstufung der pH-Werte des Bodens eigenständig für ihre Region festgestellt. Diese Werte unterschieden sich zum Teil erheblich. Trotz gleicher pH-Werte im Boden gab es daher selbst unter sonst vergleichbaren Standortbedingungen von Fall zu Fall deutliche Unterschiede in den Kalkdüngungsempfehlungen. Ein Anliegen des VDLUFA war es, die in den Ländern vorliegenden Richtwerte zum anzustrebenden (optimalen) pH-Bereich des Bodens zu hinterfragen

und aus dieser Analyse einen Rahmen für einen bundesweit einheitlichen anzustrebenden pH-Bereich abzuleiten. Die so gefundenen Richtwerte sind in den nachfolgenden Tabellen 6 und 7 dargestellt. In ihnen sind auch die Richtwerte zur Erhaltungskalkung aufgeführt. (Standpunkt VDLUFA, 2000)

Tabelle 6: Rahmenschema für Ackerland zur Einstufung der pH-Werte des Bodens in pH-Klasse C sowie Erhaltungskalkung (dt/ha CaO). Die empfohlenen Kalkmengen beinhalten den Kalkbedarf bis zur nächsten Bodenuntersuchung.

Bodenartengruppe/vorwiegende Bodenart		Humusgehalt des Bodens (%)				
		≤ 4	4,1 bis 8,0	8,1 bis 15,0	15,1 bis 30	> 30
		pH-Werte der Klasse C und Erhaltungskalkung				
1/Sand	pH-Klasse C dt CaO/ha	5,4 bis 5,8 6	5,0 bis 5,4 5	4,7 bis 5,1 4	4,3 bis 4,7 3	
2/schwach lehmiger Sand	pH-Klasse C dt CaO/ha	5,8 bis 6,3 10	5,4 bis 5,9 9	5,0 bis 5,5 8	4,6 bis 5,1 4	
3/stark lehmiger Sand	pH-Klasse C dt CaO/ha	6,1 bis 6,7 14	5,6 bis 6,2 12	5,2 bis 5,8 10	4,8 bis 5,4 5	
4/sandiger/schluffiger Lehm	pH-Klasse C dt CaO/ha	6,3 bis 7,0 ¹⁾ 17	5,8 bis 6,5 15	5,4 bis 6,1 13	5,0 bis 5,7 6	
5/toniger Lehm bis Ton	pH-Klasse C dt CaO/ha	6,4 bis 7,2 ¹⁾ 20	5,9 bis 6,7 18	5,5 bis 6,3 16	5,1 bis 5,9 7	
6/Hochmoor und saures Niedermoor ²⁾	pH-Klasse C dt CaO/ha					4,3 3)

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

²⁾ Auf einem Großteil der Niedermoore sind die pH-Werte geogen bedingt > 6,5

³⁾ keine Erhaltungskalkung

Tabelle 7: Rahmenschema für Grünland zur Einstufung der pH-Werte des Bodens in pH-Klasse C sowie Erhaltungskalkung

Bodenartengruppe/vorwiegende Bodenart		Humusgehalt des Bodens (%)		
		≤ 15	15,1 bis 30	> 30
		pH-Werte der Klasse C und Erhaltungskalkung		
1/Sand	pH-Klasse C dt CaO/ha	4,7 bis 5,2 4	4,3 bis 4,7 2	
2/schwach lehmiger Sand	pH-Klasse C dt CaO/ha	5,2 bis 5,7 5	4,6 bis 5,1 3	
3/stark lehmiger Sand	pH-Klasse C dt CaO/ha	5,4 bis 6,0 6	4,8 bis 5,4 4	
4/sandiger/schluffiger Lehm	pH-Klasse C dt CaO/ha	5,6 bis 6,3 7	5,0 bis 5,7 5	
5/toniger Lehm bis Ton	pH-Klasse C dt CaO/ha	5,7 bis 6,5 8	5,1 bis 5,9 6	
6/Hochmoor und saures Niedermoor ¹⁾	pH-Klasse C dt CaO/ha			4,3 2)

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

²⁾ keine Erhaltungskalkung

Um eine sachgerechte Kalkung in der Pflanzenproduktion durchzuführen, ist die Bewertung der Neutralisationswirkung der Düngekalke von besonderer Bedeutung. Diese Bewertung erfolgt grundsätzlich nach dem Gehalt an basisch wirksamen Bestandteilen. Müssen sehr hohe Mengen an Kalk aufgewendet werden, so ist es von Vorteil, diese aufzuteilen. Folgende Mengen an CaO-Äquivalenten je Ausbringungsgang sollten nicht überschritten werden: für leichte Böden 30 dt CaO/ha, für mittlere Böden 60 dt CaO/ha und für schwere Böden 90 dt CaO/ha.

Die als erforderlich geltenden Kalkmengen beziehen sich auf Ackerland im Allgemeinen, auf Böden mit 20 bis 30 cm mächtiger, weitgehend steinarmen Ackerkrume. Ist diese Krume wesentlich geringer oder der Boden steinhaltiger, so kann eine Reduzierung der empfohlenen Kalkmenge von 20 bis 40% erfolgen. Die Ausbringung des Kalks erfolgt innerhalb der Fruchtfolge, zweckmäßig zur Kultur, die den höchsten Anspruch an den Kalkversorgungszustand des Bodens hat. Dieses gilt insbesondere für die Erhaltungskalkung. (Standpunkt VDLUFA, 2000).

3.3.1 Erhaltungskalkung

Unter Erhaltungskalkung versteht man die regelmäßige Ausbringung von Düngekalk (im Rahmen der Fruchtfolge alle 3 bis 4 Jahre zur kalkanspruchsvollsten Kultur), um Kalkverluste auszugleichen und somit den optimalen Kalkzustand des Bodens zu erhalten.

Die Kalkverluste entstehen durch atmosphärischen Säureeintrag (saurer Regen), Wurzelatmung und Bodenleben, Düngung mit physiologisch sauren Düngemitteln sowie Auswaschung und Ernteentzug.

Der Kalkentzug eines landwirtschaftlich genutzten Bodens kann grob geschätzt werden, man sollte jedoch immer auf die standortspezifische Ermittlung der benötigten Kalkmengen zurückgreifen.

3.3.2 Gesundungskalkung

Als Gesundungskalkung wird die Kalkmenge bezeichnet, die zusätzlich zur Erhaltungskalkung ausgebracht werden muss, um einen Boden mit zu niedrigem pH-Wert (pH-Klasse A und B) in einen optimalen pH-Bereich (pH-Klasse C) aufzukalken.

Benötigte Mengen an Düngekalk werden durch die vorrangegangene Bodenuntersuchung ermittelt. Die hierfür erforderlichen Mengen sind im Tabellenanhang detailliert dargestellt. In Tabelle 8 wird nur ein Auszug aus den Tabellen dargestellt, welcher als Beispiel dienen soll.

Nachfolgend ein Beispiel zur Mengenkalkulation einer Gesundungskalkung:

Ein Boden der Bodengruppe 4 (Lehmboden), welcher als Acker genutzt wird, weist einen Humusgehalt von 6% auf und hat einen pH-Wert von 4,8. Aus der nachfolgenden Tabelle lässt sich ablesen, dass der Boden in die Versorgungsstufe A einzuordnen ist. Im Rahmen einer 4 jährigen Fruchtfolge wird eine Gesamtgabe von 75 dt/ha CaO empfohlen. Wäre der Humusgehalt $\leq 4\%$, so würde sich die Aufwandmenge auf 100 dt/ha CaO erhöhen.

Tabelle 8: Berechnung der Gesundungskalkung im Rahmen einer Fruchtfolge (Quelle: DLG)

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 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

Bei sehr stark versauerten, schweren Böden werden im Rahmen der Gesundungskalkung bis zu 160 dt/ha CaO benötigt. Diese großen Mengen sollten aber nicht als eine Gabe ausgebracht werden, sondern aufgeteilt werden. Die nachfolgende Tabelle 9 zeigt die einmalige Höchstgabe auf Ackerland und Grünland.

Tabelle 9: Kalkmenge als einmalige Höchstgabe für eine Kalkgabe auf Ackerland und Grünland

Bodenart	Maximale Kalkmengen	
	Ackerland dt/ha CaO	Grünland dt/ha CaO
Sand	28	21
schwach lehmiger Sand	42	21
stark lehmiger Sand	56	28
sandiger/schluffiger Lehm	70	35
toniger Lehm bis Ton	84	42
Anmoor, Moor	28	28

4 Düngekalke

In Deutschland zählt Düngekalk zu dem Nährstoff, der die höchste Anwendungsintensität aufweist. Es wird in Deutschland eine Vielzahl von Düngekalken angeboten, welche sich in technischen Qualitätseigenschaften, Inhaltsstoffen und Herkunft deutlich unterscheiden. Diese Vielzahl der angebotenen Produkte macht eine Orientierung am Kalkmarkt oftmals schwierig. Da Düngekalk ein Düngemittel ist, unterliegt er rechtlich der Düngemittelverordnung. Durch die Düngemittelverordnung wird das Inverkehrbringen von Düngemitteln geregelt. Des Weiteren werden Mindestanforderungen an die Produktqualität von Düngemitteln darin beschrieben und festgelegt.

Hohe Mengen an Kalk können dem Boden auch durch das Düngen von Sekundärrohstoffen (Klärschlamm, Kompost) zugeführt werden.

Düngekalke sind basisch wirksame Stoffe, die in erster Linie der Erhöhung der Bodenreaktion dienen sollen. Sie werden aus natürlichen Carbonaten (Kalken) oder bei chemischen Umwandlungen (bei industriellen Prozessen) hergestellt. Das Ausgangsmaterial für Kalkdünger sind Ablagerungen von Kalkgesteinen. Diese Ablagerungen entstanden in den Meeren früherer geologischer Zeiträume, vor allem in der Kreide- und Jurazeit. Zum einen wurden die Carbonate des Meerwassers (Ca,Mg) chemisch ausgefällt, überwiegend jedoch lagerten sich kalkhaltige Gehäuse kleiner tierischer und pflanzlicher Lebewesen (Muscheln, Krebse, Algen) ab. Aus diesen Ablagerungen entwickelte sich ein Kalkschlamm. Je nach Druck und Temperatur auf diesen Schlamm entwickelte sich eher festes oder lockeres Kalkgestein. Auf diese Art und Weise entstanden riesige Kalkgebirge, d.h. die Vorräte sind enorm groß. In unseren Breiten haben wir mit der Versorgung des Rohstoffes Kalk keine Schwierigkeiten. Probleme mit der Kalkversorgung treten zum Beispiel in den humiden Tropen auf. Diese Regionen liegen weit weg von Kalklagerstätten und der Transport dieses Rohstoffs ist sehr teuer.

4.1 Wichtige Kalkdünger und ihre Eigenschaften

Kalkdünger bilden hinsichtlich ihrer Eigenschaften und Herkunft eine große Gruppe von Düngern. Sie lassen sich in unterschiedliche Gruppen einteilen:

- A: Naturkalke (CaCO_3 u.a.)
 - Mergel (kalkhaltiges Bodenmaterial)
 - Kalkstein (gemahlen)
 - Kalkhaltiges Pflanzenmaterial (z.B. Algenkalk)
- B: Chemisch aufbereitete Naturkalke
 - Branntkalk, Löschkalk, Mischprodukte
- C: Industriekalke (Hüttenkalk, Konvertkalk, Rückstandkalke)
- D: Sonstige Kalkdünger (z.B. mit Phosphat, organischer Substanz)
- E: Sonstige Dünger mit basischer Wirkung (z.B. P-Dünger mit CaO)

Als Grundlage für die Bewertung von Kalkdüngern dient der Gehalt an basisch wirksamen Stoffen. Dieser wird in der Bezugsbasis Calciumoxid (CaO) zusammengefasst. CaO ist außerdem die chemische Formel für Brandkalk. Die Kalkgehalte der einzelnen Düngerkalke können je nach dem, was sie im Produkt enthalten, als Oxid oder als Carbonat vorliegen. Sie können sowohl als Calciumoxid (CaO) als auch als Calciumcarbonat (CaCO_3) angegeben sein. Da die Bezugsgröße Calciumoxid (CaO) ist, muss eine Umrechnung erfolgen. Einige Düngerkalke enthalten zu dem noch Magnesium. Auch dieses kann als Oxid (MgO) oder als Carbonat (MgCO_3) vorliegen und deklariert sein.

Umrechnungsfaktoren:

CaO	*	1,785	→	CaCO ₃	CaCO ₃	*	0,560	→	CaO
Ca	*	2,497	→	CaCO ₃	CaCO ₃	*	0,400	→	Ca
Ca	*	1,399	→	CaO	CaO	*	0,715	→	Ca
MgO	*	2,092	→	MgCO ₃	MgCO ₃	*	0,478	→	MgO
Mg	*	2,497	→	MgCO ₃	MgCO ₃	*	0,288	→	Mg
Mg	*	1,685	→	MgO	MgO	*	0,603	→	Mg

Die wesentlichen Eigenschaften der wichtigsten Kalkdünger lassen sich wie folgt zusammenfassen:

4.1.1 Kohlensäure Kalke

Das natürlich vorkommende Kalkgestein wird an seinen Lagerstätten abgebaut und auf die vorgeschriebene Feinheit vermahlen. Je nach Herkunft der Lagerstätte können auch noch weitere Nährstoffe wie Magnesium, Schwefel und Natrium enthalten sein.

Die Nährstoffgehalte der Kalke sind somit von der natürlichen Verteilung in der Lagerstätte abhängig. In allen kohlensäuren Kalken sind die Nährstoffe Calcium und Magnesium enthalten. Diese liegen in carbonatischer Bindung (CaCO_3 und MgCO_3) vor.

Betragen die Gehalte an Magnesiumcarbonat über 15%, so darf das Produkt auch als Kohlensäurer Magnesiumkalk bezeichnet werden. Die Reaktivität des Kohlensäuren Kalks muss mindestens 30% betragen, die des Kohlensäuren Magnesiumkalkes mit mehr als 25% Magnesiumcarbonats mindestens 10%.

Die meisten Kohlensäuren Kalke weisen eine Reaktivität zwischen 40 und 60% auf.

Beträgt die Reaktivität mindestens 80%, so darf man das Produkt als „leicht umsetzbar“ bezeichnen.

Kreidekalke zum Beispiel weisen Reaktivitäten von mehr als 80% auf, das bedeutet, dass sie schnell umgesetzt werden können.

Durch Brechen und Aufmahlen des Gesteins wird die Reaktivität des Kalkdüngers zusätzlich verbessert .

Kohlensäure Kalke sind ohne jede Einschränkung für alle Bodenarten einsetzbar. Sie besitzen eine langsame und milde Wirkung. Sie sind deshalb besonders für leichte Böden, Grünland und für die Erhaltungskalkung von mittelschweren Böden gut geeignet. Durch den Einsatz von magnesiumhaltigen und kohlensäuren Magnesiumkalken wird auf Moor- und Sandböden ein Großteil des Magnesiumbedarfs abgedeckt. Die Umsetzungsgeschwindigkeit von kohlensäurem Magnesiumkalk nimmt auf Böden mit pH-Werten über 6 ab. Hier sollten Kalke mit einem niedrigeren Gehalt an Magnesiumcarbonat eingesetzt werden.

4.1.2 Branntkalk

Branntkalk entsteht durch das Brennen von Kalkstein (CaCO_3). Für den Brennvorgang sind Temperaturen von 900 bis 1200 °C erforderlich. Beim Brennvorgang werden Calciumcarbonat (CaCO_3) und Magnesiumcarbonat (MgCO_3) zu Calciumoxid (CaO) und Magnesiumoxid (MgO) umgewandelt. Dabei wird Kohlendioxid (CO_2) freigesetzt.

Hauptsächlich wird Branntkalk auf mittleren und schweren Böden eingesetzt, welche schnell entsauert werden sollen.

Branntkalk besitzt eine schnelle Wirkung. Aufgrund seiner konzentrierten Kalkwirkung ist die Feinheit der Dünger wichtig für eine gleichmäßige Verteilung im Boden.

Er sollte auf diesen Böden vorzugsweise zur Gesundungskalkung eingesetzt werden.

Magnesium-Branntkalke, die mehr als 15% CaO aufweisen, zeichnen sich im Gegensatz zu kohlensauen Magnesiumkalken durch eine gute Magnesiumwirkung aus. Sie können auf mittleren und schweren Böden mit pH-Werten größer 6 auch sehr gut als Calcium- und Magnesiumdünger eingesetzt werden. Kommt es zum Einsatz von Branntkalk auf nassen Böden, so kann es passieren, dass der Kalk mit den Bodenteilchen größere Klumpen bildet, wodurch sich seine Wirkung erheblich einschränkt.

Beim Umgang mit Branntkalk ist äußerste Vorsicht geboten, da es zur Verätzung von nasser Haut und Schleimhäuten kommen kann. Soll eine Kopfkalkung durchgeführt werden, kann diese nur im trockenen Pflanzenbestand erfolgen. Bei Raps ist eine Anwendung erst ab dem Rosettenstadium möglich, da sonst Ätزشäden an der Pflanze entstehen können.

Der Kalk sollte vier bis sechs Wochen vor der geplanten Aussaat in den Boden eingebracht werden, damit er genügend Zeit zur Umsetzung hat. Andernfalls kann es durch die ätzende Wirkung zur Schädigung der Keimlinge kommen.

Bei längerer Lagerung bindet Branntkalk Luftfeuchtigkeit und CO_2 . Dadurch entsteht viel Wärme, so dass es zur Entzündung von leicht brennbaren Materialien im Lager oder in der Umgebung kommen kann.

Branntkalke sollten nach der Anlieferung möglichst schnell ausgebracht werden. Sie werden in körniger oder in gemahlener Form angeboten (DLG).

Formel: $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$

4.1.3 Löschkalk

Löschkalk entsteht durch Wasserzusatz zum Branntkalk, wodurch sich Ca(OH)_2 bildet. Beim Löschen des Kalks wird mehr Wasser zugegeben als chemisch gebunden werden kann. Das überschüssige Wasser verdampft durch die entstehende Wärme. Hinsichtlich ihrer Wirkung ähneln Löschkalke weitestgehend den Branntkalken. Sie können auf mittelschweren bis schweren Böden eingesetzt werden. Sie sollten genau wie Branntkalk vier bis sechs Wochen vor Aussattermin in den Boden gelangen, um Ätزشäden zu vermeiden. Im Vergleich zu kohlensauren Kalken haben sie einen höheren Preis und werden deshalb nur dort eingesetzt, wo es unbedingt notwendig ist, d.h. wenn eine schnelle Entsauerung erforderlich ist.

Formel: $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$

4.1.4 Mischkalk

Mischkalk entsteht durch das Mischen von kohlensauren, Brannt- und Löschkalk. Im Mischkalk sind die schnellen und nachhaltigen Wirkungen aller Komponenten vereint. Von dem als CaO bewerteten Gesamtgehalt müssen mindestens 25% als Oxid vorliegen. Hat der Mischkalk einen Mindestgehalt an 15% Magnesium, bewertet als MgO, so darf man ihn als Magnesium Mischkalk bezeichnen. Durch seine reduzierte Anfangswirkung kann Mischkalk auch auf leichteren Böden eingesetzt werden.

4.1.5 Hüttenkalk

Hüttenkalk entsteht beim Hochofenprozess in der Eisenverhüttung und -veredelung. Er ist ein Hochofennebenprodukt. Produziert wird er durch die Vermahlung der Hochofenschlacke. Hüttenkalke werden in gemahlener und in körniger Form angeboten.

Weist der Hüttenkalk einen Gehalt von mehr als 3% Magnesiumoxid auf, so ist ein Hinweis auf den Magnesiumgehalt zulässig.

Weitere Inhaltsstoffe sind unter anderem auch Siliciumdioxid (SiO_2) und Mangan (Schilling, 2000).

Der Mangangehalt kann bis zu 3% betragen. Auf Sandböden kann so die Manganversorgung durch Hüttenkalk nachhaltig verbessert werden. Seine Wirkungsweise und sein Einsatzgebiet ist mit dem der kohlsauren Kalke zu vergleichen.

4.1.6 Konverterkalk

In der Stahlindustrie fällt Konverterkalk als Nebenprodukt an. Er entsteht durch Vermahlen der Konverterschlacke. Phosphor und Mangan sind in Konverterkalcken als Nebenbestandteile enthalten. Bei einem Mindestgehalt von 3% P_2O_5 (1,3% P) darf Phosphat deklariert werden.

Konverterkalke haben eine ähnlich chemische Zusammensetzung wie Hüttenkalke.

Sie sind in ihrer Wirkung und ihrem Einsatzgebiet vergleichbar mit kohlsauren Kalcken.

4.1.7 Carbokalk

Bei der Verarbeitung von Zuckerrüben in der Zuckerrübenfabrik entsteht Carbokalk. Die Klärung des Zuckerrübenrohsaftes erfolgt mit gelöschtem Kalk ($Ca(OH)_2$). Anschließend wird Kohlendioxid zugeführt, so dass Calciumcarbonat ($CaCO_3$) mit dem restlichen $Ca(OH)_2$ und alle sonstigen Ca-Salze ausfällt.

Der Kalk liegt somit in carbonatischer Form vor.

Das hierbei entstehende Nebenprodukt (Carbokalk) ist ein Feuchtkalk und wird von der Landwirtschaft üblicherweise gern zurückgenommen.

Die Hauptbestandteile sind Calcium und Magnesium. Des Weiteren sind auch nennenswerte Mengen an Stickstoff (ca. 0,3%) und Phosphor enthalten. Die Gehalte an Phosphor betragen in etwa 0,3 bis 0,5% P_2O_5 . Stickstoff liegt in einer leicht umsetzbaren Form vor. Er kann kurz nach der Ernte schnell zu Nitrat-Stickstoff umgewandelt werden. Der enthaltene Phosphor besitzt zudem auch eine hohe Wirksamkeit. Er sollte bei der Phosphordüngung deshalb voll angerechnet werden.

Carbokalk wirkt aufgrund des hohen Anteils an Calciumcarbonats ähnlich wie kohlsaurer Kalk. Es besteht jedoch die Gefahr, dass sich Zysten der Rübennematode ausbreiten können. Aufgrund dessen sollten keine Schläge, die für den Anbau von Beta-Rüben bestimmt sind, mit Carbokalk gedüngt werden (Schilling, 2000).

4.1.8 Sonstige Kalke

Zu den sonstigen Kalcken oder Sekundärrohstoffdüngern mit Kalkwirkung zählen unter anderem Klärschlämme und Kompost.

Kalkkonditionierte Klärschlämme können CaO-Gehalte von 20 bis 30% aufweisen. Die Wirkung der Klärschlämme ist ähnlich wie die der kohlen-sauren Kalke (AID).

Komposte weisen Kalkgehalte im Trockenrückstand von etwa 4 bis 5% auf. Das bedeutet, dass bei einer üblichen Gabe von 10 Tonnen Kompostfrischmasse etwa 200 bis 250 kg CaO pro ha gedüngt werden. Diese Menge ist in etwa ausreichend, um den Erhaltungsbedarf von leichten und mittleren Böden abzudecken.

Eine Einteilung der Kalkdüngertypen ist in Tabelle 10 zu sehen.

Tabelle 10: Gliederung der Kalkdüngertypen

Typen-bezeichnung	Gruppe	Bemerkungen	Mindestgehalte	Siebdurchgang
Kohlensaurer Kalk	Naturkalke	Direkt aus natürlichen Lagerstätten gewonnen	75 % CaCO ₃	97 % ≤ 3,15 mm 70 % ≤ 1,0 mm
Branntkalk			65 % CaO	97 % ≤ 6,3 mm bei Brantkalk körnig zusätzlich: max. 5 % ≤ 0,4mm
Mischkalk			50 % CaO	97 % ≤ 4,0 mm 50 % ≤ 0,8 mm
Hüttenkalk	Industriekalke	Aus der Eisen- und Stahlindustrie	42 % CaO	97 % ≤ 1,0 mm 80 % ≤ 0,315 mm oder 97 % ≤ 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	

4.2 Mahlfineinheit und Reaktivität

Für den Anwender von Kalkdüngern ist neben dem wirksamen Kalkgehalt auch die Wirkungsgeschwindigkeit von großer Bedeutung. Langsam wirkende Kalkdünger sind vor allem Naturkalke (kohlen-saure Kalke) und industriellen Kalke. Schnell wirkend sind demgegenüber Brantkalk, Löschkalk und einige Kreidekalke (Finck, 1991).

Deshalb ist es für carbonatische Kalkdünger wichtig, dass eine Umsetzung bereits nach Wochen oder Monaten erfolgt und nicht erst nach Jahren. Für Carbonatdünger wird deshalb eine gewisse Mindestgeschwindigkeit gefordert, basierend auf der im Labortest ermittelten Reaktivität. Als Reaktivität bezeichnet man den prozentualen Anteil des Kalkdüngers, der sich in 0,01 N HCl nach 10 Minuten löst. Die Reaktivität der Kalkdünger ist somit ein Maß für die zu erwartende Umsetzung der Kalkdünger im Boden. Hierbei werden gesetzliche Mindestgehalte gefordert. Die Reaktivität bezieht sich auf Umsetzungsbedingungen in einem weiten Spektrum von landwirtschaftlich genutzten Böden. Die Umsetzung kann jedoch deutlich höher liegen als die Reaktivität angibt. Das ist zum Beispiel auf sehr sauren Standorten der Fall.

Der Grad der Vermahlung der einzelnen Düngekalke ist auch von wesentlicher Bedeutung. Grundsätzlich gilt: je feiner der Kalk zermahlen ist, umso schneller ist er wirksam (Finck, 1991).

Im Tabellenanhang sind Mahlfeinheit sowie Hinweise auf die Reaktivität der einzelnen Düngekalke dargestellt.

5 Durchführung der Kalkdüngung

5.1 Zeit der Ausbringung

Eine Ausbringung der Kalkdünger ist grundsätzlich während des gesamten Jahres möglich. Der beste Zeitpunkt dafür ist jedoch nach der Ernte der jeweiligen Kulturen. Wird der Kalk noch vor dem ersten Stoppelsturz (Stoppelkalkung) ausgebracht, so können vorhandene Fahrgassen für eine exakte Ausbringung genutzt werden. Kann dieses Zeitfenster nicht realisiert werden, gibt es die Möglichkeit alte Fahrgassen mittels GPS wiederzufinden.

Die sogenannte Stoppelkalkung bringt verschiedene Vorteile mit sich: Nach der Ernte ist der Boden oftmals gut befahrbar. Somit können Strukturschäden des Bodens und Schäden an den Kulturpflanzen verhindert werden. Des Weiteren weisen die Böden zu diesem Zeitpunkt einen geringeren Rollwiderstand auf, was wiederum den Zugkraftbedarf reduziert und die Flächenleistung steigert. Durch die folgende Stoppelbearbeitung wird der verteilte Kalkdünger gut in den Boden eingearbeitet und vermischt. Die Wirkung der Kalkdünger kann nun

einsetzen. Branntkalk sollte möglichst schnell eingearbeitet werden, da er bei längerer Lagerung an der Bodenoberfläche mit Kohlendioxid zu kohlensauren Kalk reagieren kann. Somit wird die schnelle Wirkung des Branntkalks reduziert.

Kann die Herbstkalkung, aus welchen Gründen auch immer, nicht durchgeführt werden, so ist es jedoch möglich, die Kalkung auf einen späteren Termin zu verlegen. Sie kann zum Beispiel im Winter auf gefrorenen Boden als Kopfkalkung zu Wintersaaten, Futterpflanzen und Grünland erfolgen. Auch im Frühjahr ist es möglich, eine Kalkung durchzuführen. Dabei sollte man besonders auf die Befahrbarkeit der Böden achten. Im Frühjahr kann ebenso wie im Winter eine Kopfkalkung zu Wintergetreide und Futterpflanzen erfolgen. Wichtig ist es, dass der Pflanzenbestand abgetrocknet ist, da es sonst zu Ättschäden durch Brannt- oder Löschkalk kommen kann (Schilling, 2000).

Abbildung 8 zeigt mögliche Zeitpunkte für die Kalkusbringung.

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

Abbildung 8: Mögliche Zeitpunkte für die Kalkung

5.2 Anspruch der Kulturen

Der Anspruch der Kulturen an den pH-Wert des Bodens variiert zum Teil sehr deutlich. Die verschiedenen Kulturpflanzen lassen sich in zwei verschiedene Gruppen einteilen. Die eine Gruppe wird als „säureverträglich“ bzw. „säureliebend“ bezeichnet, und die andere Gruppe als „säureempfindlich“ bzw. „kalkliebend“. Säureliebende Kulturen sind zum Beispiel Hafer, Kartoffeln und Roggen. Kalkliebende Kulturen sind unter anderem Raps und Gerste. Bei einem wechselndem Anbau der Kulturen müsste daher praktisch gesehen der pH-Wert jährlich verändert werden. Dieses ist jedoch nicht zu realisieren. Es bietet sich zum Beispiel die Möglichkeit bei sehr weiten Fruchtfolgen, die Kultur mit den geringsten Kalkansprüchen ans Ende der Kalkungsperiode zu stellen. Bei säureliebenden Kulturen kann es auch von Vorteil sein, mit sauerwirkenden Stickstoffdüngern zu düngen. Ist die Fruchtfolge jedoch sehr eng und werden nur Kulturen mit ähnlichen Ansprüchen angebaut, so sollte der optimale pH-Wert nach der Bodenart ausgerichtet werden (Finck, 1991).

In der nachfolgenden Tabelle 11 wird der Anspruch der verschiedenen Kulturen an der Bodenreaktion dargestellt.

Tabelle 11: Ansprüche der einzelnen Fruchtarten an die Bodenreaktion

Fruchtart	optimaler pH-Bereich	Fruchtart	optimaler pH-Bereich
W-Gerste	6,5 - 8,0	Mais	5,8 - 7,0
S-Gerste	6,5 - 8,0	Gras	5,5 - 7,0
W-Raps	6,5 - 7,5	W-Roggen	5,0 - 6,5
W-Weizen	6,0 - 7,5	Hafer	5,0 - 6,0
Z-Rüben	6,0 - 7,5	Kartoffeln	5,0 - 6,0

5.3 Wechselwirkung mit anderen Düngern

Ammoniakfreisetzungen können entstehen, wenn eine Kalkung durchgeführt wurde und zeitnah die Ausbringung von ammoniumhaltigen Düngemitteln erfolgt. Ammoniumhaltige Düngemittel, Harnstoff und Superphosphat dürfen nicht unmittelbar vor oder nach der Kalkdüngung ausgebracht werden (Schilling, 2000).

Ist eine längere zeitliche Differenz zwischen der Stickstoffdüngung und Kalkung nicht möglich, so muss unter allen Umständen durch eine tiefere Stoppelbearbeitung der Kalk gut eingearbeitet werden.

Das Zwischenschalten einer Schälffurche ist auch eine Möglichkeit.

Auch die Kalkung auf ausgebrachte organische Dünger (Gülle, Jauche, Festmist) ist wegen der möglichen Ammoniakverluste unbedingt zu unterlassen. Hier sollte vorher auch eine Schälffurche oder eine tiefere Stoppelbearbeitung erfolgen.

Weitere Wechselwirkungen sind auch bei Phosphor zu berücksichtigen. Phosphordünger mit einem hohen Anteil an wasserlöslichem Phosphat können bei hohen pH-Werten schnell in eine für Pflanzen weniger verfügbare Phosphatfraktion überführt werden. In diesem Zusammenhang spricht man auch von der „Phosphor-Alterung“.

5.4 Ausbringtechnik

Düngekalk wird in den meisten Fällen direkt nach der Ernte durch den Landhändler angeliefert. In allererster Linie werden Düngekalke als lose Ware aber auch in Big Bags und in abgesagten Kleingebinden angeboten. Die Anlieferung erfolgt meist mit dem Silozug oder dem Sattelaufleger. Der Kalkdünger wird in den meisten Fällen direkt am Feldrand abgekippt oder wird auf einer Düngerplatte zwischengelagert. Weitere Lagerungsmöglichkeiten bieten Stahlsilos und geeignete Düngerboxen. Auf eine trockene Lagerung ist insbesondere bei Brannt- und Löschkalk zu achten, da dieser in Verbindung mit Wasser hohe Temperaturen erreichen kann. Kohlensäure Kalke und Carbokalke werden meist frei gelagert.

Trockene und mehlartige Kalkdünger werden mit einem Großflächenstreuer mit Streuschnecke (Abbildung 9) ausgebracht. Dieses Verfahren ermöglicht eine bodennahe und staubfreie Ausbringung. Bei körnigen und granulierten Kalkdüngern kommt meist der Anbau- oder Großflächenstreuer mit Tellerstreuwerk zum Einsatz. Bei Carbokalken und angefeuchteten Kalken werden Universalstreuer mit groß dimensionierten Tellerstreuwerken eingesetzt.

Für ein gutes Streubild muss die eingesetzte Technik über Möglichkeiten verfügen, die dem Benutzer eine optimale Einstellung der Maschinen auf die unterschiedlichen Streugüter erlaubt.



Abbildung 9: Kalkstreuer mit Schneckenstreuwerk

Wie in den vorangegangenen Abschnitten beschrieben, können pH-Werte als auch die zur Aufdüngung benötigten Kalkmengen je nach Boden, Humusgehalt und Nutzung variieren. Große zusammenhängende Flächen weisen oft heterogene Bodenverhältnisse auf. Eine Kalkdüngung anhand des Mittelwertes dieser großen Flächen ist deshalb eher als unwirtschaftlich zu betrachten, da manche Teile der Fläche unter Umständen zu wenig Kalk erhalten und andere wiederum zu viel. Deshalb ist es für die teilflächenspezifische Kalkung von aller größter Bedeutung, erst die Bodenarten und Humusgehalte eines großen Schlages genau zu erfassen.

5.5 Teilflächenspezifische Kalkung

Große Flächen weisen oft heterogene Bodenverhältnisse auf und somit auch unterschiedliche Ertragspotentiale. Kommt es zu einer gleichmäßigen Kalkausbringung über die gesamte Fläche, so passiert es, dass manche Teile der Schläge über-, andere unterversorgt werden. Wird die Düngung an das Ertragspotential, die Verfügbarkeit von Düngern im Boden und den örtlichen Bedarf angepasst, so lassen sich auf überversorgten Flächen Einsparungen und auf unterversorgten Flächen Ertragssteigerungen erzielen. Durch eine teilflächenspezifische Kalkung erreicht man einen ökologischen und ökonomischen Nutzen. Eine teilflächenspezifische Kalkung entspricht den Grundsätzen der Düngung nach der guten fachlichen Praxis.

Für eine teilflächenspezifische Kalkung muss zunächst die genaue Erfassung der Bodenarten und des Humusgehaltes stattfinden.

Dazu bietet sich folgendes an:

- Einmalige Beprobung und Untersuchung im kleinräumigen Raster (< 1ha Raster)
- Nutzung weiterer Informationsquellen (z.B. Karten der Reichsbodenschätzung usw.)
- Einsatz des Bodenscanners (EM38) zur Unterteilung des Schlages in eine Bodenscannerklasse. Die räumliche Verteilung der Probenahmepunkte orientiert sich dann an der Bodenscannerklasse. Die aus den Bodenuntersuchungen resultierenden Ergebnisse zeigen in der Praxis eine große Spreizung der Versorgungsstufen.

Die nachfolgende Abbildung 10 stellt die räumliche Differenziertheit der pH-Werte auf einen 50 ha großen Schlag dar.

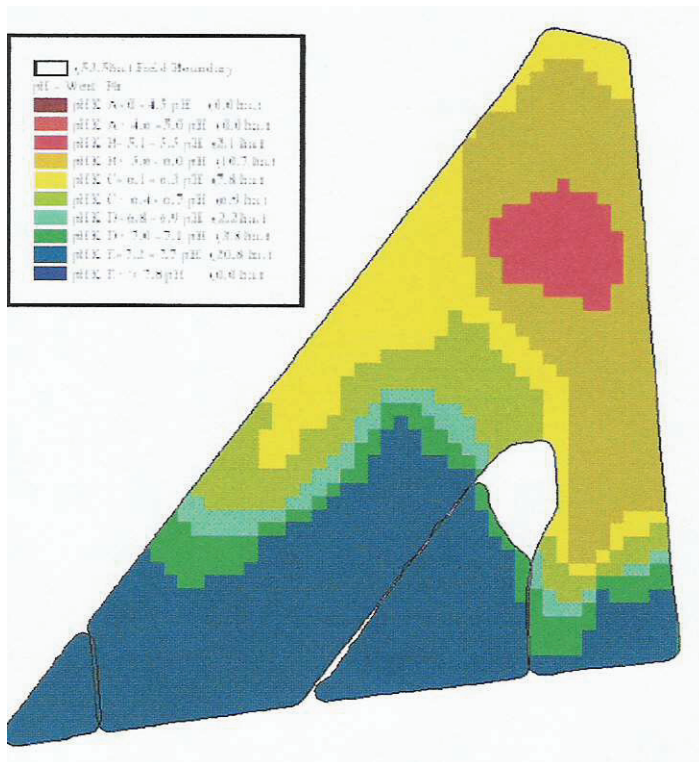


Abbildung 10: Räumliche differenziertheit der pH-Werte auf einem Schlag (Lösslehm); (Quelle: Münchoff Rimpau, GbR 2005)

Der Schlag scheint auf den ersten Blick bodenkundlich homogen zu sein. Er wurde seit über 10 Jahren einheitlich bewirtschaftet. Die pH-Werte dieser Fläche haben eine Spanne von 4,6 bis 7,7. Diese enormen Schwankungen der pH-Werte wurden erst nach der Einteilung in Teilflächen mit anschließender teilflächenspezifischer Bodenuntersuchung in ihrem Ausmaß, Lage und Bedeutung sichtbar. Die Notwendigkeit einer teilflächenspezifischen Kalkdüngung wird aus diesen Untersuchungen sichtbar.

6 Diskussion

Eine angepasste oder optimierte Kalkdüngung der landwirtschaftlich genutzten Flächen verbessert in vielerlei Hinsicht den Zustand des Bodens. Durch die richtige Kalkdüngung wird die Ernährung der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen sichergestellt und die Bodenfruchtbarkeit optimiert. Die Voraussetzung dafür bilden genormte Verfahren zur Bodenuntersuchung, diese sind unerlässlich für eine bedarfsgerechte Kalkbestimmung der Böden. Berücksichtigt man noch zusätzlich alle anderen durchzuführenden Düngungsmaßnahmen, so ist die Kalkung nur noch eine leicht durchzuführende Abhandlung im ackerbaulichen Bereich.

Obwohl sich der Kalkzustand der landwirtschaftlich genutzten Böden in Mecklenburg-Vorpommern in den vergangenen Jahren verbessert hat, sind immerhin noch ca. 38% der Böden in einem schlechten Nährstoffzustand (Gehaltsklasse A und B). Dies ist wohl mit der Einstellung der Landwirte zu begründen. Viele Landwirte wollen Geld sparen und verzichten auf eine Kalkdüngung. Doch dies ist genau der falsche Ansatzpunkt. Eine Kalkung ist für den Boden unerlässlich, ohne die Zufuhr von Kalk versauert der Boden zunehmend und es kommt nicht selten zu Ertragsausfällen. Die meisten Landwirte sind jedoch bestrebt ihren Boden, den wichtigsten Produktionsfaktor, in einem optimalen Zustand zu halten. Der moderne Landwirt nutzt hierfür technische Neuerungen wie zum Beispiel GPS oder teilflächen-spezifische Düngung. Diese modernen Techniken sind zwar in der Anschaffung teuer, aber oftmals hat man die Investition nach einigen Jahren durch Einsparungen an Düngemitteln oder durch höhere Erträge wieder herausgewirtschaftet. Die Landwirte sollten sich immer an den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis orientieren.

Da es eine Vielzahl von Kalkdüngern und deren Anbietern gibt, stellt sich für den Landwirt die Frage, welchen Kalk er einkaufen soll. Er sollte bei der Auswahl der Kalkdünger danach entscheiden, welchen Zweck er mit dem Dünger verfolgt. Es muss geklärt werden, ob der Kalkdünger nur zur Einstellung des optimalen pH-Wertes dienen soll, oder ob auch Nebenbestandteile wie Magnesium und Phosphor oder Spurennährstoffe genutzt werden sollen. Des Weiteren sollte auch geklärt werden, ob ein schnell wirkender Kalkdünger eingesetzt werden sollte oder ob die Kalkung auch mit einem langsam wirkenden Kalk erfolgen kann. Grundsätzlich gilt, dass man auf leichten Böden ausschließlich carbonatische und silicatische Kalkdünger einsetzen sollte. Zu den carbonatischen Kalkdüngern zählen wie schon vorher

beschrieben alle kohlen sauren Kalke und Carbokalke. Zu den silicatischen Kalkdüngern zählen Hüttenkalk und Konverterkalk. Diese Düngelkalle haben eine langsame bis verhaltene Wirkung und sind deshalb bevorzugt auf leichteren Böden einzusetzen.

Für mittlere bis schwere Böden können alle oxidischen Kalkdünger eingesetzt werden. Zu ihnen zählen alle Branntkalke und Löschkalke. Sie besitzen eine schnelle Wirkung und sind deshalb zur schnellen pH-Werterhöhung auf mittleren bis schweren Böden geeignet.

Einige Kalkdüngerhersteller lassen sich seit einigen Jahren ihre Produkte durch die DLG prämiieren. Dies ist jedoch überhaupt nicht notwendig, da alle Kalke nach den Anforderungen der bestehenden gesetzlichen Düngemittelverordnung geprüft werden. Es erfolgt eine Prüfung auf die Mindestmahlfeinheit und auf die Reaktivität der Kalke. Dieses ist wichtig, um die Aufgaben des Kalkes sicherzustellen. Bei den verschiedenen DLG prämierten Produkten geben die Hersteller an, dass diese hochwertiger sind. Was wirklich höher ist, ist ihr Preis. Ob sie wirklich eine intensivere Wirkung haben ist in Frage zu stellen.

7 Zusammenfassung

Das Ziel dieser Arbeit war es, einen umfangreichen Überblick über die Thematik der Kalkdüngung zu geben.

Im ersten Abschnitt wurde auf die Versauerung und die Kalkwirkung im Allgemeinen eingegangen. Es wurde dargestellt, wie der Boden im Laufe seiner Entwicklung langsam versauert und wie die Wirkung des Kalks auf die im Boden und in der Pflanze ablaufenden Prozesse Einfluss nimmt.

Des Weiteren wurde auf den Kalkversorgungszustand der Böden eingegangen, insbesondere auf den Versorgungszustand der Böden in Mecklenburg Vorpommern. Es wurde ersichtlich, dass sich der Kalkzustand der Böden in den letzten fünf Jahren erheblich verbessert hat. Trotzdem befindet sich noch ein sehr großer Teil der Böden in den pH-Klassen A und B. An dieser Problematik sollte weiter gearbeitet und es neue Verfahren zur Beprobung der einzelnen Flächen genutzt werden. Die Kalkung im Einzelnen wurde dargestellt und es wurde ein Beispiel zur Berechnung der Gesundungskalkung gegeben. Für einen guten Landwirt, der seine Flächen in einem optimalen Zustand hält, spielt die Gesundungskalkung wohl eher eine untergeordnete Rolle. Für ihn sollte die Erhaltungskalkung seiner Flächen im Vordergrund stehen, auf welche auch eingegangen wurde.

Es wurden eine Reihe von Düngekalken vorgestellt, mit ihren Eigenschaften und ihrer Wirkung. Dazu wurde erläutert, wann und wo welcher Kalkdünger eingesetzt werden kann und darf. Da das Düngekalksortiment groß ist, fällt es oft schwer, sich für einen Dünger zu entscheiden. In erster Linie ist es nicht immer notwendig, den teuersten Dünger zu kaufen, da dieser nicht anders wirkt als ein günstigerer. Eher sollte man sich fragen, was will ich mit dem Dünger erreichen. Wichtig ist es, auf die Inhaltsstoffe der Dünger zu achten und deren Wirkungsweise.

Am Ende der Arbeit wurde auf die Durchführung der Kalkdüngung eingegangen. Es wurde die Zeit der Ausbringung für die einzelnen Kulturen erläutert sowie deren Anspruch an den pH-Wert. Es wurden auch die Wechselwirkungen mit anderen Düngemitteln dargestellt. Insbesondere organische Dünger reagieren sehr stark mit Kalkdüngern. Die Folge sind Ammoniakverluste, welche sehr schädlich für die Umwelt sind. Diese Ammoniakverluste sollten auf jeden Fall verhindert werden, da somit in gewisser Weise auch Stickstoff verloren geht, welcher ein sehr teurer Dünger ist.

Weiter wurde auf die Ausbringtechnik von Kalk eingegangen. In den letzten Jahren hat die teilflächenspezifische Düngung immer mehr an Bedeutung gewonnen. Dieses ist sehr positiv zu bewerten, da viele Flächen jetzt angepasst gedüngt werden können. Durch die teilflächenspezifische Kalkdüngung lässt sich Geld für Dünger sparen und die Erträge werden verbessert, da die Nährstoffversorgung optimiert wird.

Ziel dieser Arbeit war es, eine Leitfaden für eine sach- und standortgerechte Kalkung vorzulegen.

Dabei wurde auf die verschiedenen Aspekte des Kalks eingegangen.

Wie schon eingangs erwähnt, möchte jeder Landwirt auf seinen Flächen höchstmögliche Erträge u. Qualitäten produzieren. Dass es dafür sinnvoll und notwendig ist, den Kalk mit seinen vielen positiven Eigenschaften zu nutzen, wurde in den einzelnen Kapiteln umfassend erläutert.

8 Quellenverzeichnis

Literatur:

Finck, A.: Düngung – ertagssteigernd qualitätsverbessernd umweltgerecht; Stuttgart: Ulmer, 1991

Finck, A.: Dünger und Düngung: Grundlagen und Anleitung zur Düngung der Kulturpflanzen; 2. neubearbeitete Auflage; Weinheim: VCH Verlagsgesellschaft mbH, 1992

Finck, A.: Pflanzenernährung in Stichworten; 5. Auflage; Berlin; Stuttgart: Hirt in der Gebrüder Borntraeger Verlagsbuchhandlung, 1991

Schilling, G.: Pflanzenernährung und Düngung; Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer GmbH & Co., 2000

Knittel,H./ Albert,E.: Praxishandbuch Dünger und Düngung; Bergen/Dumme: Agrimedia GmbH, 2003

Schubert, S.: Pflanzenernährung Grundwissen Bachelor; Stuttgart: Eugen Ulmer KG, 2006

Scheffer/Schachtschabel: Lehrbuch der Bodenkunde; 15. Auflage; Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag GmbH, 2002

Mückenhausen, E.: Die Bodenkunde und ihre geologischen, geomorphologischen, mineralogischen und petrologischen Grundlagen; 4. erg. Auflage; Frankfurt am Main: DLG-Verlag, 1993

Rowell, D.L.: Bodenkunde: Untersuchungsmethoden und ihre Anwendung; Berlin: Springer, 1997

Lütke Entrup/Oehmichen: Lehrbuch des Pflanzenbaues Band 1: Grundlagen; Gelsenkirchen: Verlag Th. Mann, 2000

Lütke Entrup/Oehmichen: Lehrbuch des Pflanzenbaues Band 2: Kulturpflanzen; Gelsenkirchen: Verlag Th. Mann, 2000

Diepenbrock/Ellmer/Léon: Ackerbau, Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung Grundwissen Bachelor; 2. Auflage; Stuttgart: Eugen Ulmer KG, 2009

Kundler, P.: Mineraldüngung; Berlin: VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, 1970

Schmitt, L.: Wegweiser für die Kalkdüngung; Darmstadt: Justus von Liebig Verlag Darmstadt, 1950

Bergmann, W.: Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen Entstehung, visuelle und analytische Diagnose; 3. Auflage; Jena/Stuttgart: G. Fischer, 1993

Claassen, N.: Nährstoffaufnahme höherer Pflanzen aus dem Boden; Göttingen: Severin Verlag, 1990

Buchner/Sturm: Gezielter düngen intensiv-wirtschaftlich-umweltbezogen; 2. Auflage; Frankfurt (Main): DLG-Verlag, 1985

Schmalfluss, K.: Pflanzenernährung und Bodenkunde; 10. Auflage; Leipzig: S.Hirzel Verlag, 1966

Schüsseler/von Zabeltitz: Umweltgerechte Techniken in der Pflanzenproduktion; Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer GmbH & Co., 2004

Kape/Pöplau: Systematische Bodenuntersuchung- Grundlage der Düngung und Kalkung; 2004

DLG Merkblatt 353: Hinweise zur Kalkdüngung; 4. Auflage; frankfurt am Main: DLG, 2009

AID: düngung nach guter fachlicher Praxis – Phosphor, Kalium, Magnesium, Kalk, Schwefel, Spurennährstoffe; Bonn: AID infodienst, 2006

VDLUFA: Standpunkt: Bestimmung des Kalkbedarfs von Acker und Grünlandböden; Darmstadt: VDLUFA, 2000

Düngung: Hinweise und Richtwerte für die landwirtschaftliche Praxis Leitfaden zur Umsetzung der Düngeverordnung; Rostock/Gülzow: Stand 2004

Internet:

Kalkung steigert die Rentabilität:
http://www.guetezeichen.de/pdf/kalkung_steigert_rentabilitaet.pdf Datum: 23.04.2010

Kalkdüngung: Richtig Düngen
<http://www.richtig-duengen.de/kalkduengung-kalkung> Datum: 23.04.2010

Bedeutung und Grundlagen der Kalkdüngung:
http://www.ages.at/uploads/media/kalkduengung_final_08.PDF Datum: 19.02.2010

Kalkdüngung: Basis für fruchtbare Böden
http://www.bodenkalk.at/beratung/brosch_kalk.pdf Datum: 21.02.2010

Bodenkalk:
<http://www.bodenkalk.at/WasserloeslicheKalke.pdf> Datum: 07.03.2010

VDLUFA:
<http://www.vdlufa.de/> Datum: 15.03.2010

LUFA Rostock der LMS:

<http://www.lms-lufa.de/index.phtml?view-6&SpecialTop=6> Datum: 15.03.2010

Düngemittelverordnung:

http://www.gesetze-im-internet.de/d_mv_2008/anlage_1_15.html Datum: 22.04.2010

Bodengesundheitsdienst:

<http://bisz.suedzucker.de/Bodengesundheitsdienst/Dienstleistungen/Erklaerungen/Ton-Humus-Komplexe/> Datum: 24.04.2010

9 Anhang

Tabelle 12: pH-Klassen zur Bewertung der Bodenuntersuchungsergebnisse für Ackerland

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 13 Kalkdüngungsbedarf von Ackerböden

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		
	5,3	7						
C	5,4-5,8	6	5,0-5,4	5	4,7-5,1	4	4,3-4,7	3
D	5,9-6,2	-	5,5-5,8	-	5,2-5,4	-	4,8-5,1	-
E	≥ 6,3	-	≥ 5,9	-	≥ 5,5	-	≥ 5,2	-
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 14: Kalkdüngungsbedarf von Ackerböden 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 15: Kalkdüngungsbedarf von Ackerböden 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)

Tabelle 16: pH-Klassen zur Bewertung der Bodenuntersuchungsergebnisse für Grünland

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			≤ 4,2
	C			4,3
	D, E			≥ 4,4

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

Tabelle 17: Kalkdüngungsbedarf von Grünlandböden

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
					5,0	9	4,4	6	5,2	10	4,6	7
				5,1	6	4,5	4	5,3	7	4,7	5	
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				
			1	5,6	9	5,0	7					
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)

Tabelle 18: Vorgaben für Kalkdünger

Vorbemerkungen und Hinweise

- 1 Düngemitteln dieses Abschnittes dürfen Düngemittel nach Abschnitt 1 oder mineralische Einnährstoffdünger nach der Verordnung (EG) Nr. 2003/2003 zugegeben sein. Von der Möglichkeit nach Satz 1 sind ausgenommen:
 - 1.1 die Zugabe von Ausgangsstoffen nach Anlage 2 Tabelle 6.4 Ziffern 6.4.7 bis 6.4.16,
 - 1.2 die Zugabe von Ammoniumstickstoff enthaltenden Stickstoffdüngern, vorbehaltlich einer abweichenden Regelung für einzelne Düngemitteltypen.
- 2 Kalkdünger, die bereits aus einer Kombination nach Nr. 1 bestehen, dürfen nicht erneut zur Mischung verwendet sein.
- 3 Die Mindestgehalte nach Spalte 2 des jeweiligen Ausgangstyps reduzieren sich im Falle einer Mischung nach Nr. 1 für das jeweilige Endprodukt um ein Drittel, soweit nicht ausschließlich eine Zugabe von Magnesiumdüngern erfolgt.
- 4 Für Kalkdünger gelten die Mindestgehalte nach Spalte 2 und, vorbehaltlich der besonderen Bestimmungen in Spalte 6, die angegebenen Gehalte an CaO oder CaCO₃ auch dann als erreicht, wenn das Düngemittel anstelle eines Teiles CaO einen Teil MgO und anstelle eines Teiles CaCO₃ einen Teil MgCO₃ enthält.

1	2	3	4	5	6
Typenbezeichnung	Mindestgehalte	Typbestimmende Bestandteile; Nährstoffformen und Nährstofflöslichkeiten	Angaben zur Nährstoffbewertung; weitere Erfordernisse	Wesentliche Zusammensetzung; Art der Herstellung	Besondere Bestimmungen, Hinweise
1.4.1 Kohlensaurer Kalk	75 % CaCO ₃	Calciumcarbonat	Kalk bewertet als CaCO ₃ ; Siebdurchgang: 97 % bei 3,15 mm, 70 % bei 1,0 mm Reaktivität, bewertet nach Umsetzung in verdünnter Salzsäure, mindestens 30 %, ab einem Gehalt von 25 % MgCO ₃ mindestens 10 % Toleranzen: CaCO ₃ 4 %-Punkte	Calciumcarbonat, daneben auch Magnesiumcarbonat; aus Kreide, Kalkstein, Dolomit natürlicher Lagerstätten; auch als Mischung oder aus Meeralgeln; auch Zugabe von a) Magnesiumcarbonat b) Azotobakter auf Torf, wenn 1 000 wirksame Azotobakterzellen je Gramm Endprodukt erreicht werden c) Brennummasche von unbehandelten Pflanzen nach Anlage 2 Tabelle 7 Zeile 7.3.16	Das Düngemittel darf als „Kohlensaurer Magnesiumkalk“ bezeichnet sein, wenn der Gehalt an MgCO ₃ und MgO mehr als 15 % beträgt. Das Düngemittel darf mit dem Hinweis „leicht umsetzbar“ gekennzeichnet sein, wenn die Reaktivität mindestens 80 % beträgt. Bei der Herstellung aus Meeralgeln: – Mindestgehalt nach Spalte 2: 65 % CaCO ₃ . – keine Mischung mit anderen kohlensauren Kalken, – das Düngemittel muss als „Kohlensaurer Kalk aus Meeralgeln“ bezeichnet sein.

Bei Herstellung aus holozänen Kalken:

- Mindestgehalt nach Spalte 2: 60 % CaCO₃.

Fortsetzung Tabelle 18

				keine Mischung mit anderen kohlen-sauren Kal-ken,
				das Düngemittel muss als „Kohlensaurer Kalk aus holozänem Kalk“ bezeichnet sein.
			Bei der Zugabe von Azotobakter nach Buchstabe b Spalte 5 darf das Düngemittel zusätzlich als AZ-Kalk bezeichnet sein, wenn	
			es mindestens 1 000 wirksame Azotobakter- zellen je g, bewertet nach ihrem Wachstum	
			auf Agarplatten, enthält.	
			Bei der Zugabe von Brennaumasche nach Buchstabe c Spalte 5:	
			– maximal 30 % Brennaumasche und nur	
			von unbehandelten Pflanzenteilen,	
			– Mindestgehalt nach Spalte 2: 70 % CaCO ₃ ,	
			– das Düngemittel muss mit dem Hinweis	
			„Enthält basisch wirksame Pflanzenasche“	
			gekennzeichnet sein,	
			– keine Verwendung von Aschen aus der	
			letzten filternden Einheit im Rauchgasweg,	
			keine	
			Kondensatfilterschlämme.	
1.4.2 Branntkalk	65 % CaO	Calciumoxid	Kalk bewertet als CaO; Calciumoxid, daneben auch beim Inverkehrbringen Magnesiumoxid;	Das Düngemittel darf als „Branntkalk, körnig“
			dürfen nicht mehr als 9 % CaO	oder „Magnesium-Branntkalk, körnig“ bezeichnet
			Kreide natürlicher Lagerstätten;	

Fortsetzung Tabelle 18

<p>als Carbonat vorliegen, auch mischen untereinander durch Brennen</p> <p>Siebdurchgang: 97 % bei 6,3 mm</p> <p>Toleranzen: CaO 4 %-Punkte</p>		<p>sein, wenn es zusätzlich folgenden Anforderungen entspricht: Siebdurchgang: bis zu 5 % bei 0,4 mm</p> <p>Im Rahmen der Hinweise zur sachgerechten Anwendung Kennzeichnung mit dem Hinweis: „Bei der Anwendung in der Forstwirtschaft die hohe Wirkungsintensität beachten“.</p> <p>Bezeichnung nach Spalte 1 gilt auch für recarbonatisierten Branntkalk.</p> <p>Im Rahmen der Hinweise zur sachgerechten Anwendung Kennzeichnung mit dem Hinweis: „Bei der Anwendung in der Forstwirtschaft die hohe Wirkungsintensität beachten“.</p> <p>Bei Zugabe von Wasser zur Staubbinding im Rahmen der Hinweise zur sachgerechten Anwendung Anwendung Kennzeichnung mit dem Hinweis:</p> <p>„Bei längerer Lagerung verringerte Wirkungs- geschwindigkeit durch Recarbonatisierung möglich“.</p> <p>Bei Siebdurchgang nach Spalte 4 Buchstabe b muss das Düngemittel mit einem Hinweis auf eine stark verlangsamte Wirkung gekennzeichnet sein.</p>
<p>1.4.3 Mischkalk</p>	<p>50 % CaO</p> <p>Calciumoxid</p>	<p>Kalk bewertet als CaO; Calciumcarbonat, -hydroxid oder -oxid, daneben auch Magnesiumcarbonat, -hydroxid oder -oxid, aus Kalkstein, Dolomit oder Kreide natürlicher Lagerstätten; durch Mischen oder Brennen, auch teilweises Brennen, auch Zugabe von Wasser zur Staubbinding.</p> <p>Carbonatanteil ≤ 65 %</p> <p>3 %-Punkte,</p> <p>Carbonatanteil > 65 %</p> <p>4 %-Punkte</p>
<p>1.4.4 Hüttenkalk</p>	<p>42 % CaO</p> <p>Calciumoxid</p>	<p>Kalk bewertet als CaO; Silikate von Calcium und Magnesium;</p> <p>Siebdurchgang</p> <p>a) 97 % bei 1,0 mm</p> <p>80 % bei 0,315 mm</p> <p>oder</p> <p>b) 97 % bei 3,15 mm</p> <p>Toleranzen:</p> <p>CaO 3 %-Punkte</p>
<p>1.4.5 Konverterkalk</p>	<p>40 % CaO</p> <p>Calciumoxid</p>	<p>Kalk bewertet als CaO; Silikate und Oxide von Calcium und Magnesium aus der Herstellung unlegierter Stähle;</p> <p>Siebdurchgang bei Herstellung nach</p> <p>Spalte 5 Buchstabe</p> <p>a) 97 % bei 1,0 mm</p> <p>80 % bei 0,315 mm</p> <p>b) 97 % bei 3,15 mm</p> <p>40 % bei 0,315 mm.</p> <p>Bei Siebdurchgang nach</p> <p>a) Vermahlen von Konverterschlacke</p> <p>b) Absieben zerfallener Konverterschlacke und Pfannenschlacke</p> <p>Ausgangsstoffe und Art der Herstellung aus der nach Spalte 5 müssen angegeben sein.</p>

Fortsetzung Tabelle 18

<p>Löslichkeit von Calcium und Magnesium, bewertet nach Umsetzung in verdünnter Salzsäure, mindestens 30 % Toleranzen: CaO 3 %-Punkte</p>		<p>1.4.6 Kalkdünger aus [Bezeichnung nach Anlage 2 Tabelle 6.4 Spalte 1]</p>
<p>Kalk bewertet als CaO, Oxide, Hydroxide, Silicate oder Carbonate von Calcium und Magnesium; Reaktivität, bewertet nach Umsetzung in verdünnter Salzsäure, mindestens 30 %, ab einem Gehalt von 25 % $MgCO_3$ mindestens 10 % Toleranzen: CaO Carbonatanteil ≤ 40 % 2 %-Punkte, Carbonatanteil > 40 % 3 %-Punkte</p>	<p>Calciumoxid</p>	<p>30 % CaO in der TM</p>
<p>In der Typenbezeichnung ist der Klammersausdruck durch die Bezeichnung nach Anlage 2 Tabelle 6.4 Spalte 1 zu ersetzen. Bei ausschließlicher Verwendung von Aschen pflanzlicher Herkunft nach Anlage 2, Tabelle 7.3 Zeile 7.3.16 Mindestgehalt nach Spalte 2: 15 % CaO in der TM. Keine Verwendung von Aschen aus der letzten filternden Einheit im Rauchgasweg, keine Kondensatfilterschlämme.</p>		
<p>Kalke nach Anlage 2 Tabelle 6 Nr. 6.4.12 und 6.4.13 dürfen abweichend von den Vorgaben zur Herstellung nach Spalte 5 auch mit Kalken nach Tabelle 6 Nr. 6.4.2, 6.4.4 und 6.4.6 gemischt sein.</p>		

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als die angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch nicht weiter veröffentlicht.

Penzlin, den 29.04.2010

Lars Durke