

Ein geregelter Kalkhaushalt legt ein sicheres pflanzenbauliches Fundament!

Nach den Angaben des statistischen Bundesamtes nimmt der durchschnittliche Reinnährstoffaufwand an Calciumoxid (CaO) in der vergangenen Dekade wieder kontinuierlich zu und belief sich im Wirtschaftsjahr 2018/19 zuletzt auf bundesweit gut 170 kg/ha CaO. Diesem steht ein standortabhängiger Basenverlust durch die Neutralisation von atmosphärischen Säureeinträgen, die Bodenatmung, die Nährstoffabfuhr mit dem Erntegut, die Pufferung von physiologisch „sauer“ wirkenden Düngemitteln und die Auswaschung in Höhe von bis zu 500 kg/ha CaO entgegen. Der Beitrag gibt einen Überblick zu der standortspezifisch optimalen Bodenreaktion von Ackerland, der Wirkungsweise und den qualitativen Anforderungen von derzeit handelsüblichen sowie regional relevanten Kalkprodukten.

Dr. Stefan Weimar, DLR Rheinhessen-Nahe-Hunsrück

Optimaler pH-Wert im Boden

Der anzustrebende pH-Wert eines Bodens bzw. dessen Kalkbedarf ist im Wesentlichen an der Bodentextur und dem Gehalt an organischer Substanz im Oberboden sowie der zugrundeliegenden Nutzung des Standorts auszurichten. Mit zunehmendem Tongehalt steigt der anzustrebende pH-Wert bzw. Kalkbedarf, mit steigendem Humusgehalt nimmt der Kalkbedarf tendenziell ab.

Seitens des VDLUFA wurde zur Einstufung der Kalkversorgung in Oberböden von Acker- und Grünlandstandorten ein Bewertungsrahmen definiert, der sich analytisch am Ton- bzw. Ton plus Schluff-Gehalt sowie am Humusgehalt (org. Substanz) bzw. an der jeweiligen Bodenartengruppe orientiert.

Vergleichbar der Grundnährstoff-Versorgung im Oberboden wird die jeweilige Kalkversorgung den entsprechenden pH-Klassen A bis E zugeordnet.

In Tabelle 1 wurde der anzustrebende pH-Wert einschließlich der erforderlichen Kalkzufuhr für die relevanten Bodenartengruppen von Ackerböden mit einem zu erwartenden Humusgehalt von bis zu vier Prozent auszugsweise zusammengestellt.

Die pH-Klasse C definiert die anzustrebende Bodenreaktion, die mit einer Erhaltungskalkung für eine mehrjährige Rotation die standortspezifisch optimale Bodenstruktur und Nährstoffverfügbarkeit aufrechterhält.

Im Bereich der pH-Klasse A besteht die dringende Notwendigkeit einer so genannten Meliorations- bzw. Gesundungskalkung, die neben der Bodenstruktur insbesondere die potenzielle Ertragsfähigkeit des Standorts wieder herstellen soll. Die Kalkzufuhr hat auf derartigen Standorten Priorität vor allen anderen Düngungsmaßnahmen. Bei absolutem Kalkmangel treten neben den symptomatischen Pflanzenverlusten während der Jugendentwicklung starke Ertragsdepressionen auf. Diese können u.a. auch auf der erhöhten Pflanzenverfügbarkeit von bestimmten Schwermetallen im Boden beruhen. Auf schwach gepufferten Standorten kann sich die Versauerung häufig auch bis in den Unterboden hinein fortsetzen. Der potenziell durchwurzelbare Bodenraum kann vom pflanzlichen Wurzelsystem nicht vollständig erschlossen und zur Nährstoff- und Wasserversorgung nicht optimal genutzt werden.

Für Standorte, die sich in der dazwischen liegenden pH-Klasse B befinden, ist eine Aufkalkung vorrangig zu den kalkbedürftigen Kulturen im Rahmen der betriebsüblichen Fruchtfolge vorzusehen.

Langjährige Dauerdüngungsversuche auf Standorten der neuen Bundesländer beziffern bei Marktfrüchten einen durchschnittlichen Ertragsverlust von 10 % bei suboptimaler Kalkversorgung.

Tab. 1:	Kalkdüngbedarf von Ackerböden bei einem Humusgehalt von $\leq 4\%$ (verändert nach VDLUFA)									
pH-Klasse	Bodenartengruppe									
	Sand		schwach lehmiger Sand		stark lehmiger Sand		sandiger bis schluffiger Lehm		schwach toniger Lehm bis Ton	
Ton-Gehalt:	$< 5\%$		$> 5-12\%$		$> 12-17\%$		$> 17-25\%$		$> 25\%$	
Ton + Feinschluff:	$< 7\%$		$> 7-16\%$		$> 16-23\%$		$> 23-35\%$		$> 35\%$	
	pH (CaCl ₂)	CaO (dt/ha)	pH (CaCl ₂)	CaO (dt/ha)	pH (CaCl ₂)	CaO (dt/ha)	pH (CaCl ₂)	CaO (dt/ha)	pH (CaCl ₂)	CaO (dt/ha)
A (Gesundungskalkung)	$\leq 4,0$	45	$\leq 4,0$	77	$\leq 4,5$	87	$\leq 4,5$	117	$\leq 4,5$	160
	4,1	42	4,1	73	4,6	82	4,6	111	4,6	152
	4,2	39	4,2	69	4,7	77	4,7	105	4,7	144
	4,3	36	4,3	65	4,8	73	4,8	100	4,8	136
	4,4	33	4,4	61	4,9	68	4,9	94	4,9	128
	4,5	30	4,5	57	5,0	63	5,0	88	5,0	121
B (Aufkalkung)	4,6	27	4,6	53	5,1	58	5,1	82	5,1	113
	4,7	24	4,7	49	5,2	53	5,2	76	5,2	105
	4,8	22	4,8	46	5,3	49	5,3	70	5,3	98
	4,9	19	4,9	42	5,4	44	5,4	65	5,4	90
	5,0	16	5,0	38	5,5	39	5,5	59	5,5	82
	5,1	13	5,1	34	5,6	34	5,6	53	5,6	75
	5,2	10	5,2	30	5,7	29	5,7	47	5,7	67
	5,3	7	5,3	26	5,8	25	5,8	41	5,8	59
	-	-	5,4	22	5,9	20	5,9	36	5,9	52
	-	-	5,5	19	6,0	15	6,0	30	6,0	44
	-	-	5,6	15	-	-	6,1	24	6,1	36
	-	-	5,7	11	-	-	6,2	18	6,2	29
	-	-	-	-	-	-	-	-	6,3	21
C (Erhaltungskalkung)	5,4-5,8	6	5,8-6,3	10	6,1-6,7	14	6,3-7,0	17	6,4-7,2	20
D	5,9-6,2	-	6,4-6,7	-	6,8-7,1	-	7,1-7,4	-	7,3-7,7	-
E	$\geq 6,3$	-	$\geq 6,8$	-	$\geq 7,2$	-	$\geq 7,5$	-	$\geq 7,8$	-

Die empfohlenen Kalkmengen beziehen sich auf den Kalkbedarf bis zur nächsten Bodenuntersuchung nach dem Ablauf einer Rotation.

Zum Aufbau eines lockeren Krümelgefüges müssen mit steigendem Gehalt an Ton im Boden mehr freie Ladungsstellen durch basisch wirksame Kationen ausgetauscht werden. Auf diesen Böden sollte eine Bodenreaktion im schwach sauren bis neutralen pH-Bereich (pH 6,5 – 7,0) angestrebt werden. Erfahrungsgemäß kann die Bearbeitbarkeit von sehr bindigen Böden zusätzlich verbessert werden, indem die Bodenreaktion sogar leicht über einen pH-Wert von 7,0 eingestellt wird. Mit der Förderung der räumlichen Nährstoffverfügbarkeit infolge einer besseren Durchwurzelbarkeit wird einer möglichen Festlegung von Spurenelementen bei höherem pH-Wert entgegengewirkt. Die Verschlammung und Dichtlagerung von ton- bzw. schluffreichen Böden kann vor allem durch die Anwesenheit von freiem Kalk, d.h. fein zwischen den Bodenaggregaten ausgefälltem sekundärem Calciumcarbonat (CaCO₃), deutlich herabgesetzt werden.

Zuverlässigster Indikator der Bodenreaktion bzw. Kalkversorgung ist die regelmäßige Bodenuntersuchung. Mit der in § 4 Abs. 4 der novellierten Düngeverordnung festgelegten Verpflichtung, Schläge über 1 ha in Intervallen von längstens 6 Jahren auf den Phosphat-Gehalt untersuchen zu lassen, sollte zugleich auch die Bodenreaktion überprüft werden. Mit dem Untersuchungsbefund wird in der Regel neben dem pH-Wert des Bodens auch der erforderliche Kalkbedarf in dt/ha CaO ausgewiesen.

Zur Erhaltungskalkung für den Zeitraum einer praxisüblichen Fruchtfolge von 3 bis 5 Jahren werden für leichte Böden umgerechnet zwischen 6 und 14 dt/ha CaO und für mittlere bis schwere Böden zwischen 15 und 20 dt/ha CaO empfohlen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass zur Anhebung des pH-Werts um eine bestimmte Einheit bei einem niedrigen Ausgangs-pH-Wert des Bodens grundsätzlich eine höhere Kalkmenge erforderlich ist als bei einem bereits höheren pH-Wert.

Um einen zu raschen Umschlag der Bodenreaktion auf leichten, sandigen Böden zu vermeiden und um den Kalk in der Krume von schweren, bindigen Böden gleichmäßig zu verteilen, empfiehlt sich eine Aufteilung der empfohlenen Kalkmenge.

Angesichts der regelmäßig trockenen Aussaatbedingungen der vergangenen Jahre profitiert die anspruchsvolle Etablierung der Rapssaat von der strukturfördernden Kalkwirkung insbesondere dann, wenn diese bereits als Krumenkalkung zur Vorfrucht Wintergerste verabreicht wurde.

Qualitative Anforderungen bei der Neutralisationswirkung von Kalkdüngemitteln

Zur Kalkdüngung steht der landwirtschaftlichen Praxis eine breite Palette an verschiedenen Natur- und Industriekalken, teilweise auch als Mischprodukte mit weiteren Nährstoffen, wie Phosphat, Kali oder Schwefel zur Verfügung (Tab. 2). Deren Neutralisationswirkung beruht auf dem Gehalt an Calcium- bzw. Magnesiumoxiden (CaO , MgO), -hydroxiden (Ca(OH)_2 , Mg(OH)_2), -carbonaten (CaCO_3 , MgCO_3) und -silikaten, die bei ihrer Umsetzung über OH^- -Ionen die eingetragenen oder im Boden entstandenen Wasserstoff-Ionen (H^+) abpuffern.

Nach der Düngemittelverordnung werden die **basisch wirksamen Bestandteile** von Kohlensäurem Kalk nach dem Gehalt an CaCO_3 , bei allen anderen Kalkdüngemittel mit dem Gehalt an CaO bewertet.

Der analytisch ermittelte **Neutralisationswert**, angegeben als prozentualer CaO -Anteil, dient der Vergleichbarkeit von unterschiedlichen Kalkprodukten und entspricht in etwa dem Gehalt an basisch wirksamen Bestandteilen. Dabei ist der prozentuale Gehalt an CaCO_3 über den Faktor 0,56 in CaO und an MgCO_3 über den Faktor 0,48 in MgO umzurechnen.

In der düngemittelrechtlichen Deklaration werden CaCO_3 und MgCO_3 gleichgesetzt, auch wenn die Neutralisationswirkung von MgO stöchiometrisch um den Faktor 1,4 höher im Vergleich zu CaO .

Weitere wichtige und in der Düngemittelverordnung geregelte Bewertungskriterien für das Wirkungsverhalten von Kalkdüngemitteln im Boden sind deren **Reaktivität** und **Mahlfeinheit**.

Die Reaktivität eines Kalkdüngemittels bezeichnet den innerhalb einer definierten Zeit (10 min.) in verdünnter Salzsäure (pH-Wert 2) umgesetzten Anteil an basisch wirksamen Stoffen.

Die Neutralisationsgeschwindigkeit wird darüber hinaus von der produktspezifischen Mahlfeinheit beeinflusst, die als Siebdurchgang definiert ist. Diese steigt mit zunehmender Feinvermahlung der Ausgangsbestandteile durch die Erhöhung der reaktiven Oberfläche an.

Produktübersicht

Der in der landwirtschaftlichen Praxis mit rund 75 % am häufigsten eingesetzte **Kohlensäure Kalk** wird durch die Vermahlung von Kalkstein (CaCO_3) oder Dolomit ($\text{CaCO}_3 \bullet \text{MgCO}_3$) hergestellt. Der Gehalt an Calcium- und Magnesiumcarbonat beträgt zwischen 75 und 98 %. Dies entspricht einer Säureneutralisation in Höhe von maximal bis zu 50 % CaO . Das Inverkehrbringen als Kohlensäurer Magnesiumkalk setzt einen Gehalt von mindestens 15 % MgCO_3 voraus. Für die Umsetzung der Kalksteinprodukte im Boden sind die Reaktivität und die Mahlfeinheit (Siebdurchgang) zentrale Kriterien. Mit zunehmendem MgCO_3 -Anteil nimmt die Reaktivität von Kohlensäurem Kalk ab, da sich MgCO_3 im Vergleich zu CaCO_3 im Boden langsamer umsetzt. Insofern wirken dolomitische Kalke langsamer als reines Calciumcarbonat. Bei einem Gehalt von mehr als 25 % MgCO_3 beträgt die nach der Düngemittelverordnung vorgeschriebene Reaktivität des Kohlensäuren Kalkes mindestens 10 %, bei weniger als 25 % MgCO_3 wird eine Reaktivität von mindestens

30 % verlangt. Als „leicht umsetzbar“ bezeichneter Kohlensaurer Kalk muss eine Reaktivität von mindestens 80 % aufweisen. Ausschlaggebend für die Neutralisationsgeschwindigkeit von Kohlensaurem Kalk ist insbesondere auch die Mahlfineinheit, für die ein Siebdurchgang von mindestens 97 % bei 3,0 mm und 70 % bei 1,0 mm vorgeschrieben ist.

Kohlensaurer Kalk wird unter dem Einfluß des CO_2 -Gehalts in der Bodenlösung zunächst zu Calciumhydrogencarbonat umgesetzt, das nach Abspaltung des Calciums mit den Protonen der Bodensäuren zur vergleichsweise schwachen Kohlensäure reagiert. Aufgrund der langsamen Umsetzung ist Kohlensaurer Kalk insbesondere zur Düngung von leichten und mittleren Böden sowie Dauergrünland geeignet. Die Ausbringung auf feuchte Boden- und Pflanzenoberflächen ist problemlos ohne Ätزشäden möglich.

Branntkalk entsteht durch Brennen von Kalkstein oder Dolomit bei Temperaturen von 1200 bis 1400 °C. Die basisch wirksamen Bestandteile im Branntkalk liegen ausschließlich in der Oxidform vor und betragen zwischen 85 und 90 % CaO. Ab einem Gehalt von mindestens 15 % MgO darf das Produkt als Magnesium-Branntkalk in Verkehr gebracht werden. Die Düngemittelverordnung verlangt 97 % Siebdurchgang bei 6,3 mm.

Branntkalk wird unter dem Einfluß des Bodenwassers zu Calciumhydroxid umgesetzt und bewirkt einen relativ raschen Anstieg des pH-Werts. Er eignet sich insbesondere zur Krümen- bzw. Kopfkalkung auf Standorten mit zur Verschlämmung neigenden Böden, die eine rasche Strukturstabilisierung und einen sicheren Feldaufgang verlangen.

Mischkalk darf Calcium- bzw. Magnesiumcarbonat, -hydroxid oder -oxid enthalten und kann durch Mischen von Kohlensaurem Kalk, Branntkalk und Löschkalk hergestellt werden. Der Gehalt an basisch wirksamen Bestandteilen beträgt mindestens 50 % CaO.

Brannt-, Misch- und Löschkalk wirken durch den Gehalt an freiem CaO bzw. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ sehr schnell und sollten daher vorzugsweise auf gut gepufferten bzw. schweren, tonreichen Böden zur Anwendung kommen.

Der als Nebenprodukt der Roheisen- bzw. Stahlerzeugung anfallende Hütten- bzw. Konverterkalk zählt zu den kieselsauren oder silikatischen Kalken.

Hüttenkalk wird durch Vermahlen von Hochofenschlacke hergestellt und verfügt über einen Gehalt an basisch wirksamen Bestandteilen von bis zu 47 % CaO.

Konverterkalk entsteht bei der Herstellung unlegierter Stähle aus der Vermahlung oder Absiebung von kalkreicher Konverterschlacke mit einem Gehalt an basisch wirksamen Bestandteilen von bis zu 50 % CaO. Bei der Stahlerzeugung werden der Eisenschmelze Kalkstaub aus Kohlensaurem Kalk und Silikate zugesetzt, die sich unter Sauerstoffzufuhr im Konverter zu Calcium- bzw. Magnesium-Silikophosphaten und Calciumphosphat umsetzen. Der vorgeschriebene Siebdurchgang wird nach vermahlener oder abgesiebter Konverterschlacke differenziert.

Der Gehalt an Begleitnährstoffen beider Produkte, wie z.B. Phosphat, Schwefel und verschiedenen Spurenelementen, hängt von der Zusammensetzung des Eisenerzes ab, während der Gehalt an Magnesium vom zugesetzten Kalk bestimmt wird. Die bei der Umsetzung von Hütten- und Konverterkalk freigesetzten Silikationen können die Pflanzenverfügbarkeit von Phosphat verbessern und die Widerstandsfähigkeit der Pflanzen gegenüber pilzlichen Schaderregern fördern.

Kieselsaure Kalke zeichnen sich durch eine langsame und nachhaltige Wirkung aus und können auf einem breiten Spektrum an Bodenarten zur Anwendung kommen, wobei die Neutralisationsgeschwindigkeit mit dem Gehalt an Bodensäuren zunimmt. Beide Kalke können in der Regel noch ungebundenes CaO bzw. MgO enthalten, das im Boden rascher umgesetzt wird.

Aus der Stahlverarbeitung von P-reichen Eisenerzen, wie z.B. Minette-Erze, leitet sich Konverterkalk mit Phosphat bzw. Thomaskalk ab, der mit einem Gehalt von bis zu 8 % zitronensäurelöslichem P_2O_5 in Verkehr gebracht wird. Dieser bildet unter Mischen und Granulieren von Kaliumchlorid, Magnesiumsulfat und Dicalciumphosphat auch die Grundlage des Folgeproduktes Thomaskali in den bisher bekannten Nährstoffverhältnissen.

Rückstandkalke fallen als basisch wirksame Rückstände aus der industriellen Produktion an. Diese stammen u.a. aus der Verarbeitung von Kalkstein und Dolomit, der Herstellung von Stickstoffdüngemitteln oder auch aus der Aufbereitung von Trink- und Brauchwasser. Die Düngemittelverordnung schreibt bei diesen Produkten einen Gehalt an basisch wirksamen Bestandteilen von mindestens 30 % in der Trockenmasse vor. Außerdem wird eine Reaktivität von mindestens 30 %, ab einem Gehalt von mehr als 25 % $MgCO_3$ von mindestens 10 % verlangt. In den vergangenen Jahren hat die Anwendung von Rückstandkalken an Bedeutung gewonnen, wie z.B. U-Kalk 48 oder Aquakalk 50, die als regionale Produkte in die Praxis eingeführt wurden. U-Kalk fällt bei der Herstellung von NPK-Düngemitteln im Zuge des ODDA-Verfahrens an. Es handelt sich um sekundäres Calciumcarbonat mit hoher Reinheit. Der Gehalt an basisch wirksamen Bestandteilen beträgt ca. 50 %.

Als **Carbokalk** wird der auf 60-70 % Trockenmasse abgepreßte Kalkschlamm aus der Zuckerproduktion bezeichnet, für den ein Gehalt von mindestens 45 % $CaCO_3$, entsprechend einer Neutralisationswirkung von mindestens 25 % CaO, vorgeschrieben ist. Carbokalk kann bis zu ca. 0,35 % organisch gebundenen Stickstoff, 1,4 % P_2O_5 und 1,7 % MgO als $MgCO_3$ enthalten. Zur Erhaltungskalkung von mittleren Böden sind Aufwandmengen von bis zu 8 t/ha für eine drei- bis vierjährige Rotation sinnvoll. Carbokalk wirkt durch seine hohe Strukturfeinheit etwas schneller als Kohlensäurer Kalk oder die kieselsauren Kalke.

Mögliche Mischungen mit weiteren Nährstoffen

Nach der Düngemittelverordnung ist bei bestimmten Kalkdüngemitteln die Zugabe von weicherdigem Rohphosphat oder aufgeschlossenen Phosphaten (Alkalicalcium- bzw. Dicalciumphosphat), Kali (Kaliumchlorid bzw. -sulfat), und Schwefel zugelassen. Die bulk blending-Produkte können entweder als Lohnmischung oder als fertig aufbereitetes Düngemittel bezogen werden und bieten beachtenswerte pflanzenbauliche und ökonomische Vorteile.

Im Rahmen einer Fruchtfolge-Düngeplanung kann der Landwirt begleitend zur Erhaltungskalkung auf den Pflanzenbedarf der tragenden Blattfrucht abgestimmte (Mehr)-Nährstoffkombinationen ausbringen. Dadurch können im Einzelfall auch vorgegebene Nährstoffverhältnisse von handelsüblichen Mehrnährstoff-Düngemitteln innerhalb der Fruchtfolge gezielt ausgeglichen werden. Angesichts wachsender Betriebseinheiten können sich daraus erhebliche arbeitswirtschaftliche Vorteile ergeben, indem die Anzahl an Überfahrten gesenkt und Arbeitsspitzen zwischen der Ernte und Bestellung der Folgefrucht entlastet werden.

Die Wahl der geeigneten P-Form in Mischungen sollte sich nach der Löslichkeit der zugesetzten Phosphate unter Berücksichtigung der jeweiligen Bodenreaktion des Standorts richten. Empfehlenswert sind vor allem Mischungen mit aufgeschlossenen Phosphaten, die sich im vorherrschenden schwach sauren pH-Bereich der meisten Böden durch eine langfristige P-Wirkung auszeichnen.

Angesichts der zu erwartenden Ausbringungsmengen erfolgt die Kalkzufuhr praxisüblich auf abgetrocknete und gut tragfähige Böden in der Regel nach der Räumung der Getreidevorfrucht. Die novellierte Düngeverordnung erlaubt für Kalkdüngemittel mit einem Gehalt von weniger als 2 % P_2O_5 auch eine Ausbringung auf gefrorenen Boden, soweit ein Abschwemmen in oberirdische Gewässer oder benachbarte Flächen nicht zu besorgen ist.

Grauer Kasten (separat):

Vielfältige chemische, physikalische und biologische Wirkungen des Kalkes

Eine regelmäßige Kalkversorgung des Bodens dient zur Pufferung von atmosphärischen und bodeninternen Säureinträgen. Der Boden wird in die Lage versetzt, durch die Luft eingetragene potentielle Säureträger, wie z.B. SO_2 , NO_x , HCl , CO_2 , die Nährstoffaufnahme der Wurzeln, die Oxidation von Ammonium zu Nitrat und die Nährstoffabfuhr langfristig zu neutralisieren.

Auch die mit der mineralischen Düngung zugeführten Begleit-Anionen können bei abwärts gerichteter Wasserbewegung und ausreichender Basensättigung des Sorptionskomplexes ebenfalls eine nennenswerte Verlagerung der zweiwertigen Kationen Calcium und Magnesium induzieren, z.B.

- als leicht lösliches $CaCl_2$ bzw. $MgCl_2$ im Austausch gegen K^+ nach der Ausbringung von chloridischen Düngemittel (KCl),
- als etwas schwerer lösliches $CaSO_4$ durch Pufferung von SO_4^{2-} -Ionen aus der Düngung mit Sulfatsalzen (z.B. K_2SO_4 , $NH_4(SO_4)_2$) oder
- als überschüssiges $Ca(NO_3)_2$ z.B. aus der mineralischen N-Düngung bzw. aus der bodenbürtigen Mineralisation von organisch gebundenem Stickstoff.

Mit einer K-Zufuhr von 100 kg/ha K_2O in Form von Kaliumchlorid nach der Räumung der Vorfrucht können bei vollständigem Austausch des Kaliums mit dem dissoziierten Chlorid umgerechnet knapp 60 kg CaO aus dem Oberboden transportiert werden. Bei einer Terminierung der K-Düngung zeitnah zur Hauptwachstumsphase im Frühjahr vollzieht sich aus chemischer Sicht die gleiche Nährstoffdynamik, im Zuge der aufwärts gerichteten Wasserbewegung profitiert die Pflanze auch von der verbesserten Ca-Verfügbarkeit im Oberboden.

Eine an Calcium-Ionen gekoppelte Verlagerung von 25 kg/ha NO_3-N kann rein kalkulatorisch etwa 50 kg/ha CaO betragen.

Die Umsetzung von organischer Substanz bzw. die Bodenatmung liefert u.a. CO_2 als wichtiges Endprodukt. Je nach Bodenstruktur wird das nicht gasförmig entweichende CO_2 als Kohlensäure in der Bodenlösung gebunden und als Ca-Hydrogencarbonat ($Ca(HCO_3)_2$) potenziell verlagert. Als beteiligte Steuerungsvariablen wirken dort die Versorgung des Standorts mit organischer Substanz, die Intensität der Bodenbearbeitung und auch die Niederschlagsverhältnisse.

Maßgeblich beeinflusst die Bodenreaktion auch die Pflanzenverfügbarkeit und Ausnutzung der Makro- und Mikronährstoffe, wobei das jeweilige pH-Optimum eines

Bodens von verschiedenen Einflussfaktoren, wie z.B. der Bodenart und dem Gehalt an organischer Substanz abhängt.

Die physikalische Wirkung (Bodenstrukturwirkung) des Kalkes umfasst neben der Flockung (Ca-Belegung) und Verkittung (CaCO_3 -Aushärtung) der Tonteilchen die Bildung von Ton-Humus-Komplexen mittels Ca-Brücken. Die daraus entstehenden Sekundärporen fördern den Gasaustausch und das Wasserspeichervermögen des Bodens, was angesichts von klimatisch bedingt längeren Trockenphasen oder auch unerwarteten Starkniederschlägen relevant wird. Eine ausreichende Sättigung der Bodenkolloide mit Calcium fördert die natürliche Krümelbildung und Aggregatstabilität des Bodens. Bei einer unzureichenden Kalkversorgung von mittleren bis schweren Böden nimmt der erforderliche Kraftaufwand zur mechanischen Lockerung und Zerkleinerung größerer Bodenaggregate überproportional zu.

Insbesondere die unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten ökonomisch vorzüglicheren Verfahren der konservierenden Bodenbearbeitung lassen sich nur dann erfolgreich umsetzen, wenn zuvor die erforderlichen bodenchemischen und -physikalischen Voraussetzungen über einen geregelten Kalkhaushalt im Boden geschaffen worden sind.

Die regelmäßige Kalkzufuhr erhöht die biologische Aktivität des Bodens und fördert indirekt die Lebendverbauung der Bodenkolloide durch Bodenorganismen zu stabilen Humusstrukturen.

Tab. 2:		Wichtige Kalkdüngemittel (Regionale Auswahl)										
Düngemittel	Bindungsform	Nährstoffgehalt (%)								Basisch wirksame Bestandteile (Neutralisationswert) *	Reaktivität	Siebdurchgang
		CaCO ₃	CaO	MgCO ₃	MgO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	kg CaO/dt	(%)	
Naturkalke												
Kohlensaurer Kalk	CaCO ₃ , MgCO ₃	55	-	35	-	-	-	-	-	54	> 30 / ab 25 % MgCO ₃ > 10	97 % bei 3,15 mm, 70 % bei 1,0 mm
Branntkalk	CaO, MgO	-	90	-	-	-	-	-	-	90	-	97 % bei 6,3 mm
Mischkalk	CaO, CaCO ₃ , Ca(OH) ₂ , MgO, MgCO ₃ , Mg(OH) ₂	-	60	-	-	-	-	-	-	60	-	97 % bei 4,0 mm, 50 % bei 0,8 mm
Industriekalke												
Hüttenkalk	Ca/Mg-Silikate, CaO, MgO	-	-	-	-	-	-	-	-	47	-	97 % bei 1,0 mm, 80 % bei 0,315 mm
Konverterkalk 46	Ca/Mg-Silikate, CaO, MgO	-	38	-	8	-	-	-	-	54	-	97 % bei 1,0 mm, 80 % bei 0,315 mm
Carbokalk	CaCO ₃ , MgCO ₃	-	27	-	1,7	0,35	1,4		0,23	30	> 30 / ab 25 % MgCO ₃ > 10	-
U-Kalk 48	CaCO ₃ , MgCO ₃	90	-	-	-	1	0,3			48	> 90	-
Aquakalk 50	CaCO ₃ , MgCO ₃	90	-	-	-					50	> 40	-
Bulk Blendings												
Raiffeisenkalk PK-S 70 (+5+5+1)	CaCO ₃ , MgCO ₃ , etc.	60	-	10	-	-	5	5	1	38	-	-
Raiffeisenkalk PK-S 75 (+5+3+1)	CaCO ₃ , MgCO ₃ , etc.	65	-	10	-	-	5	3	1	41	-	-
Raiffeisenkalk P-70 (+6)	CaCO ₃ , MgCO ₃ , etc.	70	-	-	-	-	6	-	-	40	-	-
Raiffeisenkalk PK 13+13 (+0+3)	CaCO ₃ , MgCO ₃ , etc.	32	-	-	-	1,4	13	13	3	18	-	-

¹⁾ = Summe der basisch wirksamen Bestandteile bzw. Neutralisationswert = (CaCO₃ x 0,56) + (MgCO₃ x 0,48)