



60 Prozent der vom DLR Westerwald-Osteifel untersuchten Ackerböden weisen eine Unterversorgung mit Kalk auf. Foto: agrar-press

Untersuchungen am DLR Westerwald-Osteifel

Zirka 40 Prozent der untersuchten Ackerproben weisen einen gut versorgten Boden mit einem pH-Wert größer als 6,3 aus. 60 Prozent der Ackerproben weisen einen unversorgten Ackerboden auf, davon befinden sich 29 Prozent der Ackerproben in einem pH-Wertbereich unter 5,8 und weisen somit erhebliche Beeinträchtigungen der Bodenstruktur und der Nährstoffverfügbarkeit auf.

Die Grünlandflächen zeigen ein ähnliches Ergebnis, 42 Prozent weisen einen pH-Wert über 5,4 aus und 58 Prozent weisen einen nichtoptimalen pH-Wert aus. Besonders im Hinblick auf die aktuellen Herausforderungen, die an die Landwirtschaft gestellt werden, bezüglich der N-Düngung, des Wasserschutzes und der Klimaveränderungen, ist eine optimale Kalkversorgung der Böden unverzichtbar für eine optimale Nährstoffeffizienz und Ertragsstabilität.

Es wird viel zu wenig gekalkt

Gute Kalkversorgung für Nährstoffeffizienz und Ertragsstabilität

Im aktuellen Jahresbericht zur Düngemittelversorgung des Statistischen Bundesamtes wurde der durchschnittliche Verbrauch an mineralischen Düngern pro landwirtschaftlich genutzter Fläche ermittelt. Berücksichtigt wurden die Lieferungen der Produzenten und Importeure von mineralischen Düngemitteln an Absatzorganisationen oder Endverbraucher. Zur Berechnung der Fläche wurde die landwirtschaftlich genutzte Fläche ohne Brache zu Grunde gelegt. Dabei zeigt sich, dass viele Standorte nicht ausreichend mit Kalk versorgt sind.

Die Grafik zeigt, dass der Verbrauch an mineralischen Grundnährstoffen, Phosphor und Kali pro Hektar landwirtschaftlicher Nutzfläche in den letzten 25 Jahren leicht sinkend ist. Der Einsatz von CaO stieg tendenziell um 2,6 kg/ha und Jahr an. Der Verbrauch an mineralischem Stickstoff ist insgesamt fallend und besonders in den letzten fünf Jahren nochmals um rund 26 kg N/ha gesunken.

Verhältnis N-Düngung und Kalkung passt nicht

Auffallend an dieser Statistik ist, das Verhältnis der Nährstoffe untereinander. Der hohe Verbrauch an mineralischem Stickstoff pro ha passt nicht zu dem niedrigen Verbrauch der übrigen Grundnährstoffe. Dies betrifft besonders die Kalkversorgung der Böden. Während die Flächen im Durchschnitt der vergangenen 25 Jahre mit 101 kg/ha mineralischem Stickstoff gedüngt wurden, erhielten sie nur 128 kg/ha CaO.

Bestätigt wird diese Statistik auch durch Grundnährstoffuntersuchungen, die im Dienstbezirk des DLR Westerwald-Osteifel durchgeführt wurden.

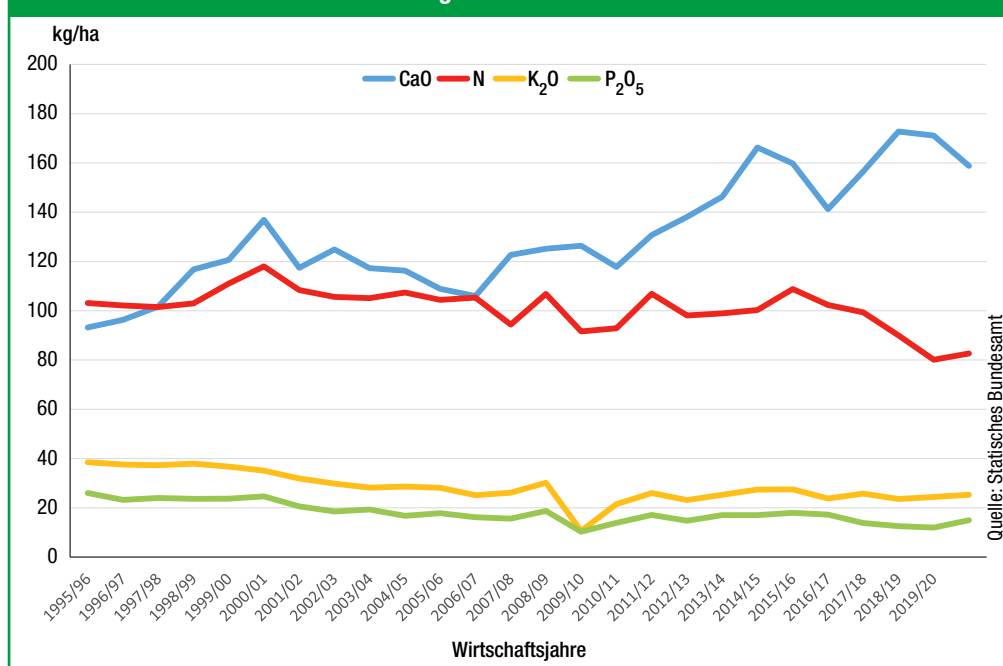
Insgesamt wurden, wie die Grafik 2 dargestellt, 3840 Ackerflächen und 2616 Grünlandflächen auf ihre pH-Werte hin untersucht.

Bodenstruktur bestimmt den Luft- und Wasserhaushalt

Ein optimaler pH-Wert stabilisiert das Bodengefüge, reguliert den Wasserhaushalt, verbessert die Nährstoffverfügbarkeit und ist Pflanzennährstoff. In einem guten Bodengefüge sind die Tonteilchen wie die Karten eines Kartenhauses aneinander stützend aufgestellt, sie bilden damit die Bodenstruktur.

Die Calcium-Ionen bilden zum einen den Kitt an den Verbindungsstellen.

Grafik 1: Inlandsabsatz von Düngemitteln nach Nährstoffarten in Deutschland



len der einzelnen Tonteilchen, zum anderen sie auch die stützende Verbindung von Tonmineralien und organischen Huminstoffen (Ton-Humus-Komplex). Diese Verbindungsform der Tonteilchen hat einen großen Einfluss auf den Luft- und Wasserhaushalt, die Tragfähigkeit und die Bearbeitbarkeit eines Bodens.

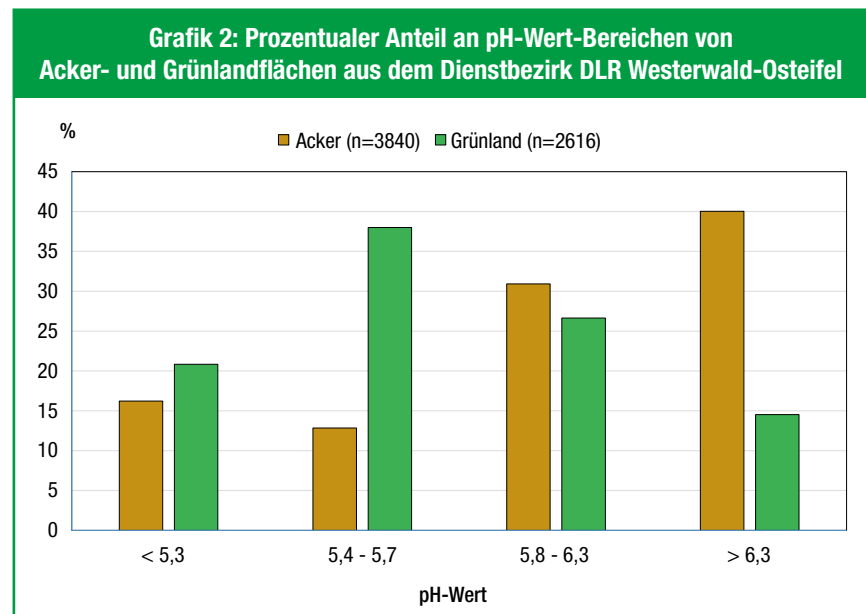
Kalkbedarf steigt mit zunehmendem Tonanteil

Der Kalkbedarf steigt mit zunehmenden Tonanteil des Bodens an. Ein schwach lehmiger Sand mit einem Humusgehalt von 4 Prozent und darunter hat seinen optimalen pH-Wert zwischen 5,8 und 6,3. Ein schwach toniger Lehm bis Ton hat hingegen seinen optimalen pH-Wert zwischen 6,4 bis 7,2.

Um einen versauerten Boden wieder in den optimalen pH-Bereich zu bringen, vervielfacht sich der Kalkbedarf gegenüber einer Erhaltungskalkung. Ein sandiger bis schluffiger Lehm Boden, auf Ackerland mit einem pH-Wert zwischen 6,3 bis 7, benötigt eine Erhaltungskalkung von 17 dt/ha CaO. Sinkt der pH-Wert um einen Punkt auf einen pH-Wert von 5,3 ab, steigt der Kalkbedarf auf 70 dt/ha an (s. Grafik 3). Die Angaben beziehen sich auf den Zeitraum einer paxisüblichen Fruchtfolge von drei bis fünf Jahren.

Verfügbarkeit von Nährstoffen

In Abhängigkeit von der Bodenart wird die Kalkversorgung Versorgungsstufen von A bis E zugeordnet (s. Tabelle 1). Der pH-Wert hat einen we-



sentlichen Einfluss auf die Verfügbarkeit von Nährstoffen (Tabelle 2). Eine sehr starke Abhängigkeit besteht zwischen dem pH-Wert und der Pflanzenverfügbarkeit von Phosphat. Besonders bei niedrigen pH-Werten findet eine Bindung von Phosphat an freierwerden Eisen- und Aluminium-Ionen statt. Diese Bindungen werden mit zunehmendem Alter sehr schwer löslich und liefern dann kaum noch pflanzenverfügbare Phosphat-Ionen.

Um den Phosphorbedarf einer Pflanzenkultur abzudecken, ist eine laufende Mobilisierung aus dem Bodenvorrat nötig. Dies bedeutet, dass der pH-Wert bezüglich der Aktivität des Bodens eine entscheidende Größe im P-Kreislauf darstellt. Am mobilsten ist das Phosphat im pH-Bereich zwischen 6,5 und 7,5.

Calcium ist ein Hauptnährstoff

Calcium ist zwar wie beispielsweise auch Stickstoff, Phosphat oder Kali ein Hauptnährstoff, spielt aber in der Pflanzenernährung im Vergleich zu diesen Nährstoffen nur eine untergeordnete Rolle. Die Abfuhr an Calcium beträgt pro dt Weizenkorn 0,1 kg CaO. Wird auch das Stroh abgefahren erhöht sich die Calcium-Abfuhr um 0,4 kg CaO/dt Stroh. Bei Körnerraps sind die Entzüge durch die Abfuhr der Körner etwas höher, sie betragen 0,6 kg/dt Korn.

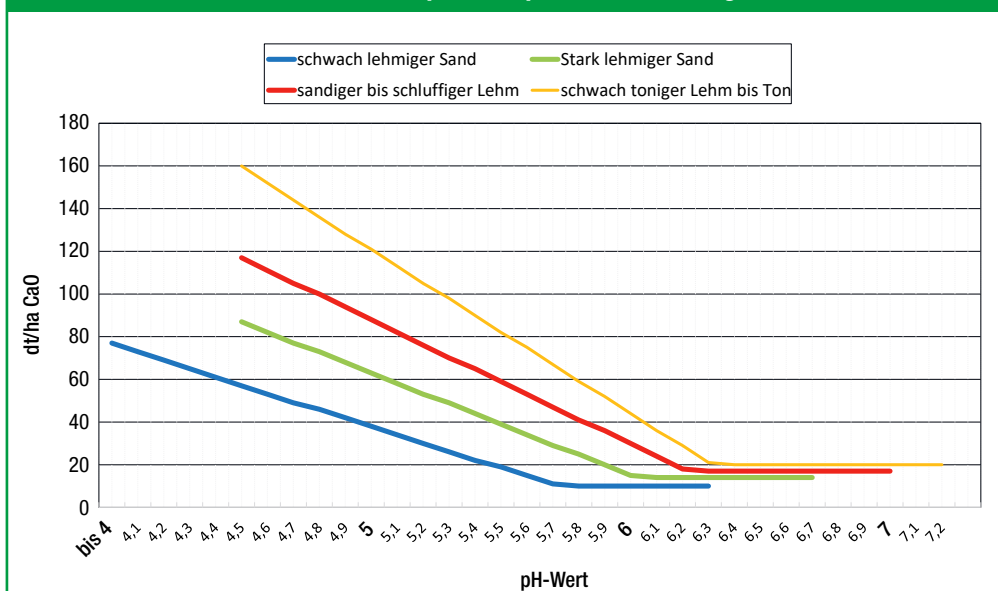
Die Symptome des Ca-Mangels an Acker- oder Grünlandpflanzen treten praktisch nicht auf. Auf extensiven Streuobstwiesen ist Ca-Mangel an Stippigkeit bei Äpfel zu erkennen.

Kalkauswaschung vor allem in leichten und sauren Böden

Der Kalkverbrauch im Boden ist ein natürlicher Vorgang und hat mehrere Ursachen. Die größten Verluste treten durch Auswaschung auf. Die Höhe der Auswaschung ist abhängig von der Bodenart, der Niederschlagsmenge und -Intensität. Leichtere Böden und Böden mit einem niedrigeren pH-Wert neigen zu höheren Auswaschungsverlusten.

Laut Literaturangaben schwankt die Calcium-Auswaschung zwischen 100 und 800 kg Ca/ha und Jahr. Die Atmung der Bodenlebewesen, die Nährstoffaufnahme der Pflanzen und Humusbildung tragen ebenfalls zur Versauerung der Böden bei. Wenn der natürliche Kalkgehalt des Bodens zur Neutralisation dieser chemischen Vorgänge nicht ausreichend ist, sinkt der pH-Wert ab.

Grafik 3: Notwendige Kalkmengen, um einen versauerten Ackerboden wieder in den optimalen pH-Bereich zu bringen



Der Einsatz physiologisch saurer Düngemittel ist auszugleichen

Weitere Kalkverluste entstehen durch den Einsatz von physiologisch sauren Düngemittel wie zum Beispiel Schwefelsaures Ammoniak (SSA), Ammonsulfatsalpeter (ASS) oder Diammoniumphosphat (DAP). Bei stickstoffhaltigen Düngemittel wirkt sich die Umwandlung von Ammonium zu Nitrat pH-Wert senkend im Boden aus.

Weitere Düngemittel und der dazu notwendige Kalkausgleich sind in Tabelle 3 dargestellt. Bei der Kostenbewertung der Düngemittel sollten die Kosten für den Kalkausgleich unbedingt berücksichtigt werden. Ziel einer Kalkdüngung ist es, die durch die beschriebenen Vorgänge entstandenen Säuren im Boden zu neutralisieren.

Anteil an basisch wirksamem Calciumoxid (CaO) im Kalk

Zur Neutralisation entstehender Säuren ist nicht die Kalkform entscheidend, sondern der Anteil an basisch wirksamem Calciumoxid (CaO) im Kalk. Lediglich in der Wirkungsgeschwindigkeit unterscheiden sich die Kalkformen. Zudem wird die Wirkungsgeschwindigkeit von der Herkunft und der Mahleinheit der Kalke bestimmt.

Der Einsatz von schnellwirksamen Kalken ist nur sinnvoll, wenn eine deutliche pH-Wertanhebung kurzfristig erzielt werden muss, oder wenn mit einer Krumenkalkung die Bodenstruktur oberflächlich verbessert werden soll. Die Einarbeitung von 10 bis 15 dt Brantkalk pro Hektar zur Saatbettbe-

reitung kann in einem begrenzten Umfang Verschlammungen vorbeugen. In der Regel wird eine Krumenkalkung nur für Sommerungen in Betracht kommen, da diese höhere Anforderungen an den Kalkzustand der Böden stellen als Winterungen.

Bei der Ausbringung von Calciumoxid (zum Beispiel Brantkalk) wird der pH-Wert auf der Bodenoberfläche kurzfristig stark erhöht. Im Zusammenhang mit Gülledüngung besteht dabei die Gefahr der Ammoniakverflüchtigung. Diesem Effekt kann eine Einarbeitung des Kalkes oder eine ausreichende Niederschlagsmenge zwischen Kalkung und Ausbringung der Gülle entgegenwirken. Bei der Verwendung von kohlensaurem Kalk besteht das Problem nicht.

Bemessung der Kalkdüngung mittels Bodenuntersuchung

Bei der Bemessung der Kalkdüngung kann nur eine Bodenuntersuchung Aufschluss geben, da der natürliche Kalkverbrauch nicht zu kalkulieren ist. Die Angaben der Düngeempfehlung beziehen sich auf die zu düngende Calciumoxidgehalt (CaO).

Bei Kohlensäuren Kalken muss der deklarierte Calciumcarbonat-Anteil des Düngers in basisch wirksamem CaO umgerechnet werden. Die Umrechnung erfolgt mit dem Faktor 0,56 (CaCO_3 -Gehalt in Prozent $\times$ 0,56 = CaO-Gehalt in Prozent). Der Magnesiumanteil in Kohlensäuren Kalken wird in der Regel als MgCO_3 (Magnesiumcarbonat) deklariert. Um den Düngewert als basisch wirksamem CaO



Mehr als die Hälfte der untersuchten Grünlandflächen weisen einen nicht optimalen pH-Wert auf. Foto: landpixel

zu erhalten wird dieser im ersten Schritt zu MgO (Magnesiumoxid) umgerechnet (Umrechnungsfaktor 0,478) und in einem weiteren Schritt in basisch wirksamem CaO umgerechnet (Umrechnungsfaktor 1,391).

Preise vergleichen und auf Neutralisationswert achten

Die Preise für Kohlensäuren Kalk variieren sehr stark, deshalb sind Preisvergleiche und das Nutzen von günstigen Angeboten sinnvoll. Wichtigste Kriterien sind der CaO-Neutralisationswert des Kalkes und die Mahleinheit. Wobei bei einem Sandboden maximal 15 dt/ha CaO und bei einem Tonboden maximal 50 dt/ha CaO als Einzelgabe gedüngt werden sollten. ➔

Tabelle 1: Definition der pH-Klassen für die Kalkversorgung von Ackerböden (nach VDLUFA)

pH-Klasse / Kalk- versorgung	Bodenarten/pH-Wertbereich von Ackerböden bei einem Humusgehalt von $\leq 4\%$				Beschreibung von Zustand und Maßnahmen	Kalkdüngungsbedarf
	schwach lehmiger Sand	stark lehmiger Sand	sandiger bis schluffiger Lehm	schwach toniger Lehm bis Ton		
A sehr niedrig	$\leq 4,0 - 4,5$	$\leq 4,5 - 5,0$	$\leq 4,5 - 5,0$	$\leq 4,5 - 5,0$	Zustand: Erhebliche Beeinträchtigung von Bodenstruktur und Nährstoffverfügbarkeit, sehr hoher Kalkbedarf, signifikante Ertragsverluste bei fast allen Kulturen bis hin zum Ertragsausfall, stark erhöhte Pflanzenverfügbarkeit von Schwermetallen im Boden. Maßnahme: Kalkung hat weitgehend unabhängig von der anzubauenden Kultur Vorrang vor anderen Düngungsmaßnahmen	Gesundungskalkung
B niedrig	4,6 - 5,7	5,1 - 6,0	5,1 - 6,2	5,1 - 6,3	Zustand: Noch keine optimalen Bedingungen für Bodenstruktur und Nährstoffverfügbarkeit, hoher Kalkbedarf, meist noch signifikante Ertragsverluste bei kalkanspruchsvollen Kulturen, erhöhte Pflanzenverfügbarkeit von Schwermetallen im Boden. Maßnahme: Kalkung erfolgt innerhalb der Fruchtfolge v. a. zu kalkanspruchsvollen Kulturen.	Aufkalkung
C anzustreben, optimal	5,8 - 6,3	6,1 - 6,7	6,3 - 7,0	6,4 - 7,2	Zustand: Optimale Bedingungen für Bodenstruktur und Nährstoffverfügbarkeit sind gegeben, geringer Kalkbedarf, kaum bzw. keine Mehrerträge durch Kalkdüngung. Maßnahme: Kalkung innerhalb der Fruchtfolge zu kalkanspruchsvollen Kulturen	Erhaltungs-Kalkung
D hoch	6,4 - 6,7	6,8 - 7,1	7,1 - 7,4	7,3 - 7,7	Zustand: Die Bodenreaktion ist höher als anzustreben, kein Kalkbedarf Maßnahme: Unterlassung einer Kalkung	Keine Kalkung
E sehr hoch	$\geq 6,8$	$\geq 7,7$	$\geq 7,5$	$\geq 7,8$	Zustand: Die Bodenreaktion ist wesentlich höher als anzustreben und kann die Nährstoffverfügbarkeit sowie den Pflanzenertrag und die Qualität negativ beeinflussen. Maßnahme: Unterlassung jeglicher Kalkung, Einsatz von Düngemitteln, die in Folge physiologischer bzw. chemischer Reaktion im Boden versauernd wirken.	keine Kalkung und keine Anwendung physiologisch bzw. chemisch alkalisch wirkender Düngemittel

Tabelle 2: Übersicht zur Nährstoffverfügbarkeit in Abhängigkeit vom pH-Wert

Nährstoff \ pH-Wert:	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5
Stickstoff	-	-	-	0	+	+	+	+	+	0
Phosphat	-	-	-	-	-	+	+	+	0	0
Kalium	-	-	-	0	+	+	+	+	+	+
- schlechte Verfügbarkeit, 0 gute Verfügbarkeit, + sehr gute Verfügbarkeit Quelle: LLH, Die Kalkversorgung im Auge behalten										

Tabelle 3: Kalkausgleich verschiedener Düngemittel pro 100 kg Düngemittel

Düngemittel	Gehalt an Nährstoff in %				Notwendiger Kalkausgleich in kg CaO
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	
Kalkammonsalpeter	27				13
AHL	28				28
Harnstoff	46				46
Diammonphosphat	16	46			38
Schwefelsaures Ammoniak	21			24	63
Ammonsulfatsalpeter	26			13	51
Volldünger 15/15/15	15	15	15		15

Bei kohlen-saurem Kalk mit einem CaCO₃-Gehalt von 80 Prozent und einem MgCO₃-Gehalt von 5 Prozent, wird der CaO-Neutralisationswert der jeweiligen Nährstoffe summiert. Rechnung: 80 Prozent CaCO₃ x 0,56 = 44,8 Prozent CaO plus 5 Prozent MgCO₃ x 0,478 = 2,39 Prozent MgO x 1,391 = 3,32 Prozent CaO. Somit hat dieser Kalk einen CaO-Neutralisationswert von 48,12 Prozent. Bei einem Preis von 2,50 Euro/dt kohlen-saurem Kalk und einem Kalkbedarf für eine Erhaltungskalkung von 17 dt CaO/ha in einem Zeitraum von vier Jahren würden sich die Kosten für das Kalkdüngemittel auf 88,32 Euro/ha belaufen.

Kalkdünger müssen zugelassen sein

Laut Industrieverband Agrar hatten kohlen-saure Kalke im Wirtschaftsjahr

2018/19 einen Marktanteil von 79 Prozent. Alle in der Landwirtschaft angewendeten Kalkdünger müssen durch die Düngemittelverordnung zugelassen sein. Die Düngemittelverordnung schreibt eine genaue Kennzeichnung der Kalkdünger vor, dabei werden die in Tabelle 4 dargestellten Düngemitteltypen unterschieden.

Die typbestimmenden Bestandteile und Nährstoffformen der Kalkdünger müssen deklariert werden. Dabei werden alle basisch wirksame Bestandteile des Düngemittels (wie zum Beispiel der Magnesiumanteil) mit der CaO-Wertigkeit bewertet. Der Siebdurchgang oder die Mahlfineinheit des Kalkes ist zwar bezüglich der Wirkungsgeschwindigkeit eine wesentliche Größe, hier werden aber nur Mindestanforderungen in der Düngemittelverordnung gestellt. Die tatsächlichen Werte müssen nicht deklariert werden.

Tabelle 4: Kalkformen und Mindestgehalte laut Düngemittelverordnung

Typenbezeichnung	typbestimmende Bestandteile	Mindestgehalte	Art der Herstellung
Kohlensäurer Kalk	CaCO ₃ Calciumcarbonat	75%	natürliche Lagerstätten
Branntkalk	Calciumoxid CaO	65%	natürliche Lagerstätten
Mischkalk	Calciumoxid CaO	50%	natürliche Lagerstätten
Hüttenkalk	Calciumoxid CaO	42%	Silikate von Calcium und Magnesium aus Hochofenschlacke
Konverterkalk	Calciumoxid CaO	40%	Silikate und Oxide von Calcium und Magnesium aus der Herstellung unlegierter Stähle
Sonstige Kalkdünger (Beispiele)	bewertet als Calciumoxid CaO	30%	Schwarzkalk (Calciumcarbonat) aus der Herstellung von Kalkstickstoff
			U-Kalk (Calciumcarbonat) aus dem Oddaverfahren der NPK-Düngeproduktion
			Calciumcarbonat aus der Zuckerherstellung
			Calciumoxid aus der Aufbereitung von Trink- und Brauchwasser (Emslandkalk)

Viele Kalke werden auch als Mischungen mit anderen Grundnährstoffen (Bulk Blendings) angeboten, oft sind auch Sondermischungen gemäß Kundenwunsch möglich. Dabei ist darauf zu achten, dass in Gebieten mit Phosphatgefährdeten Oberflächenwasserkörpern, wenn der betriebliche N-Saldo im Durchschnitt der letzten drei Jahre 35 kg N/ha/Jahr übersteigt, für phosphathaltige Düngemittel eine Ausbringsperre in der Zeit von 1. Dezember. bis 15. Januar besteht. Grundsätzlich können Beimischungen helfen den Transport und die Ausbringkosten zu reduzieren.

Peter Zilles, DLR
Westerwald-Osteifel