

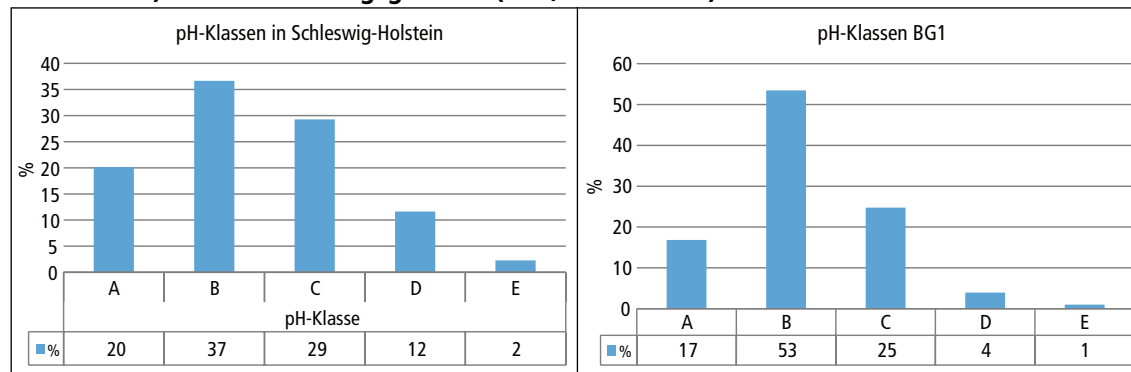
Richtig kalken: Der optimale pH-Wert

## Mehr Nährstoffeffizienz, sichere Erträge, Grundwasserschutz

„Knicken, lochen, abheften. Oder ist da doch mehr?“ Alle sechs Jahre müssen nach geltender Düngeverordnung (DüV) für alle Ackerschläge neue Grundnährstoffanalysen vorliegen. Ein genauer Blick auf die Ergebnisse lohnt sich, denn nur ein optimaler Kalkzustand der Böden bietet eine gute Basis für hohe Erträge und die uneingeschränkte Wirkung aller anderen Produktionsfaktoren wie Düngung und Bodenbearbeitung.

Die Erfahrung aus der Gewässerschutzberatung zeigt, dass Bodenuntersuchungen zwar auf den meisten Betrieben vorliegen, diese aber kaum als Anhaltspunkt für eine schlagspezifische Kalkung genutzt werden. Seit kalkhaltige Phosphat- und Stickstoffdünger in den 1970er und 1990er Jahren aus der Düngung verschwunden sind, sinken die pH-Werte deutscher Ackerstandorte zunehmend. Dagegen sind die Absatzmengen von Kalkdüngern nicht gestiegen. Für Schleswig-Holstein zeigen die Bodenuntersuchungsergebnisse der Lufa ITL GmbH von 1999 bis 2012 auf vielen Flächen ein Kalkdefizit. Der Grund hierfür ist nicht nur die natürliche Versauerung und geringe Kalkapplikation, sondern auch die versauernde Wirkung der eingesetzten Stickstoffdünger. Eine Übersicht zur Bewertung von Böden nach ihren pH-Klassen zeigt der Infokasten.

Abbildung 1: Verteilung der pH-Klassen in Schleswig-Holstein (Schleswig-Holstein; 350 Flächen) und im Beratungsgebiet 1 (BG1; 100 Flächen)



Nach den Ergebnissen der Lufa ITL GmbH waren 2012 zirka 58 % der leichten Standorte in Schleswig-Holstein den pH-Klassen A und B zuzuordnen (Bauernblattartikel vom 25. August 2012). Die Untersuchungsergebnisse von Iglu im Beratungsgebiet 1 (BG1) zeigen 2016 ein ähnliches Bild (siehe Abbildung 1).

Die Bodenuntersuchungen im BG1 (Abbildung 1) ergaben, dass zirka 50 bis 70 % der Flächen den pH-Klassen A und B zuzuordnen sind und daher keinen optimalen Kalkzustand aufweisen. Niedrige pH-Werte (< pH 5) bedingen eine eingeschränkte Verfügbarkeit der Hauptnährstoffe und eine er-

höhte Mobilität von Schwermetallen. Diese Faktoren schränken das Pflanzenwachstum ein und limitieren die Erträge auf ein niedrigeres Niveau als der Standort eigentlich leisten könnte.

Abhängig von Bodenart und Niederschlagsmenge verliert der Boden unter norddeutschen Klimabedingungen zirka 500 kg CaO/ha und Jahr. Die Kalkverluste teilen sich wie folgt auf:

- Entzug durch Ernteprodukte (50 bis 150 kg CaO/ha),
- saure Düngung und saurer Regen (100 bis 150 kg CaO/ha),
- natürliche Versauerung durch die Entstehung von Kohlensäure bei der Freisetzung von CO<sub>2</sub> durch das Bodenleben und die Pflanzen (150 bis 250 kg CaO/ha/Jahr).

Um dieser stetigen Versauerung des Bodens entgegen zu wirken, muss regelmäßig gekalkt werden. Befindet sich der Boden in der pH-Klasse C, wird nur der jährliche Kalkverlust ausgeglichen. Ist der pH-Wert erst einmal abgefallen, muss ein erheblicher Mehraufwand zur Verbesserung der Kalkversorgung betrieben werden (siehe Tabelle 1).

Der Mehraufwand liegt darin begründet, dass ein längerfristiger Verzicht auf eine Kalkgabe die fortschreitende Versauerung des Bodens fördert. Eine Versauerung wird durch den Abfall des pH-Wertes indiziert. Je Einheit, die der pH-Wert absinkt, steigt die Konzentration der Wasserstoffionen (H<sup>+</sup>-Ionen) um ein Zehnfaches an.

H<sup>+</sup>-Ionen wirken sauer, daher wird mit abnehmendem pH-Wert auch eine höhere Kalkmenge benötigt, um die saure Wirkung der zunehmenden H<sup>+</sup>-Ionen auszuglei-

Tabelle 1: Kalkbedarf nach pH-Klasse für einen humosen schwach lehmigen Sand (hl'S) (eigenes Beispiel nach den Richtwerten der Düngung Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein)

pH-Klasse	Boden pH-Wert	entspricht CaO-Bedarf der Fruchtfolge innerhalb von 3 Jahren [t/ha]	entspricht Bedarf an kohlenstoffreichem Kalk (80 - 85 %) [t/ha]
C = optimal	5,4 - 5,9	0,9 t	zirka 1,8 t
B = niedrig	5,2 - 5,3	1,0 - 1,5 t	2 - 8 t
	5,1 - 4,9	1,9 - 2,8 t	
	4,9 - 4,6	3,3 - 4,2 t	
A = sehr niedrig	< 3,7 - 4,5	4,5 - 8,2 t	8 - 16 t

### INFO

#### A: Sehr niedrige Kalkversorgung

- Beeinträchtigung von Nährstoffverfügbarkeit und Bodenstruktur, signifikante Ertragsverluste durch Säureschäden
- Stark erhöhte Freisetzung von pflanzenverfügbaren Spurenelementen, insbesondere Mangan, Kupfer, Zink, (Eisen) und Schadstoffen wie Aluminium und Cadmium
- ➔ Maßnahme: Eine Gesundungskalkung ist zwingend erforderlich.

#### B: Niedrige Kalkversorgung

- Bedingungen für Nährstoffverfügbarkeit u. Bodenstruktur suboptimal
- Spurenelemente und Schadstoffe erhöht verfügbar
- ➔ Maßnahme: Eine Aufkalkung zur Erreichung der pH-Klasse C ist erforderlich.

#### C: Optimale Kalkversorgung

- Optimale Bedingungen für Bodenstruktur und Nährstoffverfügbarkeit, geringer Kalkbedarf
- ➔ Maßnahme: Die optimale Kalkversorgung wird durch eine Erhaltungskalkung erfüllt.
- Strategie 1: Einmalige Kalkung innerhalb einer FF. / Strategie 2: Jährliche Kalkung zur Kultur

#### D: Hohe Kalkversorgung

- pH-Wert erhöht über Optimalbereich, Festlegung von Spurenelementen
- ➔ Maßnahme: Keine Kalkung.

#### E: Sehr hohe Kalkversorgung

- Wesentlich zu hoher pH-Wert, spürbare Mindererträge.
- ➔ Maßnahme: Zwingende Unterlassung jeglicher Kalkung

chen. Im Gegensatz zu den H<sup>+</sup>-Ionen wirken positiv geladene Ionen (Kationen) wie Kalzium und Magnesium (Ca<sup>++</sup> & Mg<sup>++</sup>) basisch. Diese führen daher zu einer Anhebung des pH-Wertes. Alle positiv geladenen Nährstoffe werden am Ton-Humus-Komplex, durch dessen leicht negative Ladung gespeichert. Die Verteilung der Nährstoffe am Ton-Humus-Komplex bei verschiedenen pH-Werten wird in Abbildung 2 dargestellt. Fällt der pH-Wert ab, werden Kalzium- und Magnesium-Kationen aus dem Ton-Humus-Komplex gelöst und durch H<sup>+</sup>-Ionen ersetzt. Negativ geladene Ionen (Anionen) wie Nitrat (NO<sub>3</sub>) nehmen die freien Kationen bei der Verlagerung in tiefere Bodenschichten mit. Der längerfristige Verzicht auf Kalkung fördert somit eine fortschreitende Versauerung sowie Kalzium- und Magnesiumverluste, verbunden mit exponentiell steigenden Kosten für deren Rückführung (siehe Tabelle 1).

Weitere Konsequenzen eines Kalkdefizits bestehen im steigenden Risiko der Verdichtung, Verschlammung und Erosion von Böden. Auf der Geest dominieren leichte, auswaschungsgefährdete Böden, für die der Humusgehalt beziehungsweise -aufbau durch Zwischenfrüchte und eine angepasste Düngung besonders wichtig sind. Kalk und Humus bilden in diesen Böden ein stabiles Krü-

**Tabelle 2: Direkte und indirekte Wirkung der Kalkung auf Boden und Pflanze (fett = direkte Wirkung)**

Bodenchemie	Bodenphysik	Bodenbiologie
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Regulation des pH-Wertes</li> <li>✓ Verfügbarkeit von freiem Ca &amp; Mg</li> <li>✓ erhöhte Nährstoffverfügbarkeit</li> <li>✓ bessere Nährstoffausnutzung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Ausflockung von Tonteilchen</li> <li>✓ Krümelbildung</li> <li>✓ Bildung Ton-Humus-Komplexe</li> <li>✓ Vergrößerung des Porenvolumens</li> <li>✓ Durchlüftung</li> <li>✓ Regenverdaulichkeit/Infiltration</li> <li>✓ Verminderung von Verschlammung</li> <li>✓ Erwärmung</li> <li>✓ Befahrbarkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Förderung des Bodenlebens</li> <li>✓ bessere Umsetzung org. Substanz</li> <li>✓ bessere Umsetzung von Stickstoffdüngern durch Förderung der Nitrifikation</li> <li>✓ höherwertiger Humusaufbau</li> <li>✓ Förderung des Wurzelwachstum</li> </ul>

melgefüge, fördern so die Bodenfruchtbarkeit und tragen dazu bei, die Auswaschung von Nährstoffen zu mindern.

Bei mittelschweren Böden, wie zum Beispiel Braunerden und Parabraunerden, können wie in leichten Böden bei einem Absinken des pH-Wertes Tonminerale gelöst und ausgewaschen werden. Sie fehlen dann in der Ackerkrume, um ein stabiles Bodengefüge aus Ton-Humus-Komplexen zu bilden. Dieser Vorgang führt zu Luftmangel und einem erhöhten Risiko für Staunässe, da sich ein Tonanreicherungs-horizont unter der Ackerkrume bildet. Eine gute Luft- und Wasserführung ist jedoch extrem wichtig für einen ertragsstarken Boden und wird ebenfalls durch eine angepasste Kalkung gefördert. Auf

verschlammten Böden können 15 bis 30 % des Stickstoffs durch Denitrifikation verloren gehen. Statt der Pflanze als Nährstoff zur Verfügung zu stehen, entweicht teurer Dünger als klimawirksames Lachgas. Eine stabile Krümelstruktur bewahrt den Luftaustausch und verhindert so die Denitrifikation durch Verdichtung oder Verschlammung.

### Durch Kalkung Bodenleben fördern

Die Aktivität von Mikroorganismen wird durch eine Kalkung gefördert. Zum einen bevorzugen sie einen schwach sauren bis neutralen pH-Wert (> 6), zum anderen begünstigt eine optimale Bodenstruktur die biologische Aktivität (zum

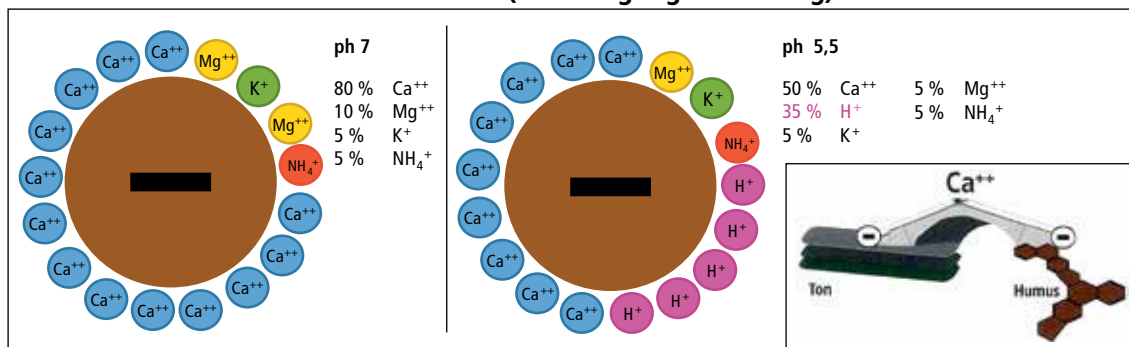
Beispiel von Regenwürmern). Daher sollte auch auf leichten Böden ein pH-Wert von 5,5 angestrebt werden. Denn pH-Werte unter 5,5 fördern die unerwünschte Verbreitung von Pilzen, mindern das Bodenleben und führen zu einer Aufweitung des C/N-Verhältnisses mit der Folge der Stickstofffestlegung. Durch eine optimale Kalkversorgung des Bodens kann dagegen neben weiteren Nährstoffen eine verbesserte Stickstofffreisetzung aus organischen Düngern und die zügige Umsetzung von Ernteresten zu wertvollem Dauerhumus gefördert werden. Ein aktives Bodenleben ist wichtig für die Nährstoffverfügbarkeit und dadurch für die Pflanzenentwicklung, denn nicht nur organischer Dünger, sondern auch Mineraldünger werden zunächst von Bodenlebewesen verarbeitet, bevor die Nährstoffe pflanzenverfügbar werden. Eine bessere N-Verfügbarkeit ist gerade auf austragsgefährdeten Standorten entscheidend, da Sicherheitszuschläge in der Düngung und damit potenzielle N-Überschüsse abgebaut werden können. Die Tabelle 2 zeigt die direkten und indirekten Vorteile einer Kalkung bezogen auf Bodenchemie, Bodenphysik und Bodenbiologie.

### Nährstoffverfügbarkeit bewahren

Je nach pH-Wert sind Nährstoffe verfügbar oder im Boden festgelegt. Abbildung 3 zeigt deutlich, wie die Nährstoffverfügbarkeit mit sinkendem pH-Wert abnimmt. Die Tabelle 3 enthält eine monetäre Bewertung des reduzierten Ausnutzungsgrades von Nährstoffen bei sinkenden pH-Werten.

Das Rechenbeispiel für einen lehmigen Sandboden zeigt, dass schon bei einem Abfall des pH-Wertes von 6,0 (optimal versorgt) auf 5,5 durch die verminderte Nährstoffverfügbarkeit rechnerisch zirka 52 €/ha jährlich an ökonomischem Verlust entstehen. Sinkt der pH-Wert noch weiter bis auf 4,5 ab, steigt der rechnerische Verlust auf 136 €/ha jährlich an. Die Kosten einer Kalkungsmaßnahme (siehe Tabelle 4) lassen sich damit mehr als ausgleichen!

**Abbildung 2: Belegung der Austauschplätze am Ton-Humus-Komplex bei einem pH-Wert von 7 im neutralen Milieu und beim pH-Wert von 5,5. Je mehr Ca<sup>++</sup>-Ionen vorliegen, desto mehr Brücken werden zwischen Tonmineralen und Huminstoffen gebildet. Einwertige Kationen können diese Brücken nicht bilden (Kalkdüngung DLG Verlag)**



**Tabelle 3: Beispielhafte Zusammenstellung der Kosten für Nährstoffverluste durch sinkende pH-Werte für einen lehmigen Sandboden**

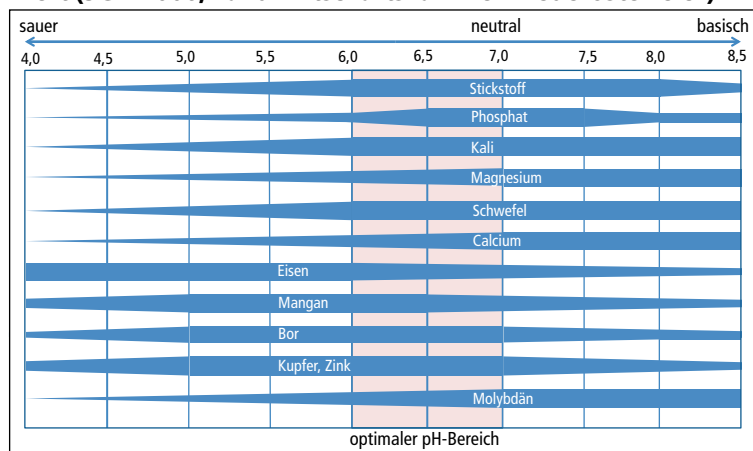
Düngeniveau [kg/ha]			Beispiel 1			Beispiel 2		
			pH 5,5 (anstatt Zielwert 6,0)	verschenkte Nährstoffmenge [kg/ha]	Verlust [€/ha]	pH 4,5 (anstatt Zielwert 6,0)	verschenkte Nährstoffmenge [kg/ha]	Verlust [€/ha]
Stickstoff (N)	170	verminderte Ausnutzung gegenüber optimal gekalktem Boden:	12 %	20	12 €	46 %	78	47 €
Phosphat (P)	75		4 %	3	2 €	21 %	16	11 €
Kalium (K)	295		23 %	68	37 €	48 %	153	78 €
<b>Wirtschaftlicher Verlust:</b>					<b>52 €/ha</b>			<b>136 €/ha</b>

Nährstoffpreise vom Januar 2017, kg N zirka 0,6 €, kg P zirka 0,7 € und K zirka 0,5 € (nach DLG Merkblatt 353, CELAC 2005)

### Wie kalke ich richtig?

Je nach Bodenart liegt der optimale pH-Wert zwischen 5,4 und 7,4. Bodenart und Messwert können aus den Bodenuntersuchungen der Lufa entnommen werden.

**Abbildung 3: Nährstoffverfügbarkeit in Abhängigkeit vom pH-Wert (SGD 2006, Landwirtschaftskammer Niederösterreich)**



Zudem liefert die Lufa zu jeder Bodenuntersuchung eine Kalkempfehlung, bezogen auf drei Jahre sowie eine Krumentiefe von 20 cm. In den Richtwerten der Düngung der Landwirtschaftskammer sind alle nötigen Informationen enthalten, um den Kalkbedarf zu bestimmen. Im folgenden Beispiel (siehe Tabelle 4) wurde die Bodenart der zu kalkenden Ackerfläche als schwach lehmiger Sand (I'S) angesprochen. Diese hat einen pH-Wert von 5,5. Hiernach fällt die Fläche in die Versorgungstufe B und benötigt eine Aufkalkung von 19 dt CaO/ha. Für leichte Böden wird kohlensaurer Kalk empfohlen. Um die ungefähre Aufwandmenge zu bestimmen, wird mit dem Faktor 1,78 multipliziert (zur groben Abschätzung x 2). Eine dt kohlensaurer Kalk kostet im Beispiel 3 €. Danach entsprechen die Kalkungskosten für drei Jahre zirka 120 €/ha bei besserer Nährstoffeffizienz!

**Bodenbegutachtung und Bodenanalyse**

Grundnährstoffanalysen sind Basis jeder Dünge- und Kalkungsplanung. Sie sagen jedoch nur etwas über den chemischen Bodenzustand aus. Auch die physikalische und biologische Qualität des Bodens sollte regelmäßig auf dem Schlag überprüft werden. Und er-

weiterte Nährstoffanalysen können zusätzlich wertvolle Hinweise für eine optimierte Düngung geben. Die Gewässerschutzberatung kann hier bei Bedarf Hilfestellung geben:

- Spatenprobe: Es lassen sich auf einfache Weise der Gefügestand, die Wurzelqualität und das vorhandene Bodenleben beurteilen.

- Salzsäuretest: Durch Auftrüfeln von 10%iger Salzsäure lässt sich das Vorhandensein von für die Pflanzenernährung wichtigem freiem Kalzium überprüfen.

- Bodensonde: es lassen sich Verdichtungen feststellen. Ist eine Fläche in sich sehr heterogen, bietet sich eine teilflächenspezifische Grundnährstoffuntersuchung und gegebenenfalls auch Kalkung/Düngung an.

- Erweiterte Bodenanalyse der KAK: Erweiterte Bodenanalysen wie zum Beispiel beim Düngekompass von BLGG AgroXpertus geben nicht nur detaillierte Informationen über den Versorgungszustand und die Nachlieferung der Hauptnährelemente, sondern liefern durch die Analyse der Kationen-Austauschkapazität (KAK) auch Angaben zur Basensättigung der Kationen am Ton-Humus-Komplex. Die KAK ist insofern interessant, da der pH-Wert nur eine Aussage hinsichtlich der Versauerung des Bodens trifft, aber kein Indi-

kator für das Kationen-Verhältnis am Austauscher ist. Das Kationenverhältnis von Ca<sup>2+</sup> und Mg<sup>2+</sup> zu K<sup>+</sup> am Austauscher ist jedoch wichtig für die Bestimmung der optimalen Düngemaßnahme. So ist zum Beispiel eine Kalziumsättigung am Austauscher mit 70 bis 80 % als optimal für die Bodenstruktur, die Kalziumernährung der Pflanze sowie die kalziumbedingte Resistenz gegenüber Krankheiten. Bei einer Verschiebung des Verhältnisses zu Kalium oder Magnesium kann es zu einer Verschlechterung der Bodenstruktur kommen. Typisches Beispiel sind die „Minutenböden“ in der Marsch, die ein enges Kalzium-Magnesium-Verhältnis haben. Ein Kalium-Überschuss am Austauscher kann dagegen die Kalzium- und Magnesiumaufnahme behindern (→ Weidetetanie). Eine erweiterte Grundnährstoffuntersuchung kostet zirka 75 € und sollte für einen Überblick zunächst auf einer schlechten, guten sowie mittleren Fläche durchgeführt werden. Um möglichst gute Ergebnisse zu erzielen, sollte die Probenahme gut vorbereitet sein und im Rahmen einer Beratung begleitet werden.

**Empfehlungen für die Praxis**

- Grundnährstoffuntersuchungen regelmäßig durchführen. Optimal sind alle zwei bis drei Jahre.
- Bei Kalkdüngung Umrechnungsfaktoren und Kalkgehalte beachten: zum Beispiel Kohlensaurer

Kalk (CaCO<sub>3</sub>/Mg CO<sub>3</sub>) → CaO (Düngeempfehlung).

- Höchstgaben beachten!
- Kohlensäure Kalke sind im Gegensatz zum Branntkalk oder Mischkalke nicht in der Lage, den pH-Wert über 7,5 anzuheben. Es kommt daher nicht zu Ammoniakverlusten bei gemeinsamer Gülleausbringung (Gülle pH-Wert bei 8). Fein gemahlene Kalke können in die Gülle gemischt werden und wirken geruchsmindernd.
- Regelmäßige Kalkung bei Verpachtung vertraglich absichern.
- Bodenfruchtbarkeit und damit Nährstoffverfügbarkeit wird gleichermaßen durch Kalk und Humus bestimmt! Sicherheitszuschläge können reduziert werden.
- Schlagspezifische Kalkung beachten! Eine Überversorgung (Klasse D und E) ist unbedingt zu vermeiden. Diese geht unter anderem mit unerwünschten N-Austrägen einher.
- Überprüfen Sie regelmäßig den Boden- und Pflanzenzustand sowie das Wurzelwachstum. Dies wird zuerst beeinträchtigt, noch bevor Ca-Mangelsymptome sichtbar werden.
- Über magnesiumhaltigen Kalk wird günstig auch der Mg-Bedarf gedeckt.

**Kim Isabell Ruhberg**  
**Dr. Christiane Wiese**  
**Dr. Christine von Buttlar**  
**Iglu Schleswig-Holstein**  
**Tel.: 0 48 34-9 65 54 05**  
**kim.ruhberg@iglu-goettingen.de**

**Tabelle 4: Beispiel Düngbedarf und Kosten bei Einsatz von kohlensaurem Kalk (85 % CaCO<sub>3</sub>)**

Boden: I'S (Schwach lehmiger Sand)	pH-Wert: 5,5 = pH-Klasse B
Düngerform: Kohlensaurer Kalk	85 % CaCO <sub>3</sub>
Düngeempfehlung nach Lufa für 3 Jahre:	19 dt CaO * 1,78 = 34 dt CaCO <sub>3</sub>
erforderliche Kalkmenge (gerundet)	34 dt CaCO <sub>3</sub> * 100 % / 85 % = 40 dt/ha
Kosten der Kalkmaßnahme:	1 dt kohlensaurer Kalk * 3 € = 120 €/ha

**Hinweis:** Entsprechend der Düngeempfehlung müssten fast 4 t Kalk gedüngt werden, um die Fläche aufzukalken. Die einmalige Höchstgabe auf leichten Böden liegt entsprechend des Sandanteils zwischen 15 bis 30 dt CaO je ha. Größere Kalkgaben sollten gegebenenfalls in Teilgaben gedüngt werden und der Erfolg mit einer Bodenuntersuchung begleitet werden.

**FAZIT**

Eine Kalkung wirkt auf drei Wegen, die alle eine bessere Nährstoffversorgung der Pflanze sicherstellen. Zunächst einmal sorgt sie für die Festlegung toxischer Schwermetalle und verhindert dadurch die Beeinträchtigung des Wurzelwachstums und fördert die Versorgung mit essenziellen Nährstoffen. Eine Kalkung verbessert zudem die Bodenstruktur, fördert dadurch das Wurzelwachstum und eine bessere räumliche Ausnutzung der Nährstoffe. Außerdem führt die Anhebung des pH-Wertes zu erhöhter mikrobieller Aktivität. Je höher die Mineralisationsrate ist, desto mehr Nährstoffe stehen der Kulturpflanze zur Verfügung. Für die Bemessung von Höhe und Art der Kalkung müssen die spezifischen standörtlichen Gegebenheiten, die Boden-

art, die Nutzung und der jeweilige Versorgungszustand des Bodens berücksichtigt werden. Zudem ist Kalzium selbst ein wichtiger Pflanzennährstoff. Ein Kalkdefizit mindert Erträge und erhöht die Produktionskosten je dt Ertrag, da ein höheres Nährstoffpotenzial benötigt wird. Entsprechend ist die Kalkung eine im Verhältnis kostengünstige und notwendige Bodenschutzmaßnahme gegen die fortschreitende Versauerung und für die nachhaltige Ertragsicherheit. Weiter fördert eine regelmäßige Kalkung indirekt die Biodiversität in der Ackerkrume und die Verminderung von ungewollten Nährstoffverlusten. Ertragssicherheit und bessere Nährstoffverfügbarkeit wiegen die Kosten der Kalkung mehr als auf.