



Holger Lemme (Autor)

**Einfluss einer Kalkung auf EUF extrahierbares und  
pflanzenverfügbares Phosphat sowie Phosphatfraktionen im  
Boden**

Aus dem  
**Institut für Zuckerrübenforschung**  
Göttingen

Holger Lemme

---

**Einfluss einer Kalkung auf  
EUF extrahierbares und  
pflanzenverfügbares Phosphat  
sowie Phosphatfraktionen im Boden**

---

40/2014



**Cuvillier Verlag Göttingen**  
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag

<https://cuvillier.de/de/shop/publications/6688>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentzsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany  
Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: [info@cuvillier.de](mailto:info@cuvillier.de), Website: <https://cuvillier.de>



# I Einleitung

---

## 1 Aktuelle Herausforderungen für die Landwirtschaft

Derzeit leben über 7,16 Milliarden Menschen auf unserem Planeten, jährlich werden es über 82 Millionen mehr (*Stiftung Weltbevölkerung*, 2013). Ziel der Landwirtschaft muss es sein, ausreichend Nahrungsmittel für die gesamte Weltbevölkerung zur Verfügung stellen zu können, einerseits um den Hunger in Entwicklungsländern weiter zu verringern, andererseits um die Preise für Agrarprodukte auf dem Weltmarkt stabil zu halten. Dabei ist jedoch die weltweit zur Verfügung stehende landwirtschaftliche Nutzfläche auch durch die Inkulturnahme neuer Flächen nicht unbegrenzt steigerbar, ungeachtet der mit dem Flächennutzungswandel einhergehenden negativen ökologischen Folgen (*Foley et al.*, 2011).

Neben dem Bevölkerungswachstum führt zunehmender Wohlstand in weiten Teilen der Bevölkerung in Entwicklungs- bzw. Schwellenländern zu einem starken Anstieg der Nachfrage nach Veredlungsprodukten, z. B. Fleisch, in dessen Folge die Nachfrage nach pflanzlichen Rohstoffen wiederum weiter ansteigt. *Bauhus et al.* (2012) beziffern den Anstieg der globalen Nachfrage nach pflanzlichen Nahrungs- und Futtermitteln um etwa 70 – 100% bereits bis zum Jahr 2050.

Neben der steigenden Nachfrage nach Agrarprodukten, wird der weltweit steigende Energiebedarf (bis 2035 um 30%; *CRP*, 2013) mit entsprechend steigenden Preisen, zu einer wesentlichen Verteuerung der Agrarprodukte beitragen. Um unabhängiger vom globalen Energiemarkt zu werden, die Treibhausgasemissionen zu senken und die Energieeffizienz zu erhöhen, hat die Europäische Union (EU) im Jahr 2009 die Richtlinie 2009/28/EG zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen erlassen. In Deutschland führte unter anderem das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) seit Einführung im Jahr 2000 durch eine lukrative Einspeisevergütung von Strom aus Biomasse (EEG 2012 § 27) zu einem starken Anstieg der zur Produktion von nachwachsenden Rohstoffen verwandten Ackerfläche von etwa 700.000 ha im Jahr 2000 auf über 2,5 Mio. ha in 2012 (*FNR*, 2013).

Die steigende Nachfrage nach Nahrungs- und Futtermitteln und die zunehmende Konkurrenz um Ackerfläche durch Produktion sonstiger Agrarprodukte (z. B. nachwachsender Rohstoffe zur stofflichen und energetischen Nutzung) verdeutlichen die Notwendigkeit einer intensiven Landwirtschaft, die unter Berücksichtigung aller zur Produktion direkt eingesetzten und indirekt betroffenen Ressourcen (Arbeitskraft, finanzielles Kapital, Boden, Wasser, Energie, Biodiversität und Klima, d. h. Treibhausgasemissionen), eine maximale Ressourceneffizienz



## I Einleitung

bzw. in Bezug auf die begrenzt verfügbare Ackerfläche eine maximale Flächennutzungseffizienz zu erzielen vermag. Folglich lässt sich sowohl durch steigende Erträge bei konstantem, alle Ressourcen umfassenden Faktoreinsatz als auch durch Verminderung des Faktoreinsatzes bei konstantem Ertragsniveau eine nachhaltige Produktivitätssteigerung erzielen, wie durch den wissenschaftlichen Beirat für Agrarpolitik beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz definiert (*Bauhus et al., 2012*). Dies erfordert zwangsläufig auch eine bedarfsgerechte Ernährung der Pflanzen. Eine langfristig nicht am Nährstoffbedarf der Pflanze bzw. nicht an der Nährstoffabfuhr ausgerichtete Pflanzenernährung führt bei zu geringer Nährstoffzufuhr zu einer Verarmung des Bodens an Nährstoffen und zu einem Rückgang der Erträge; bei Nährstoffübersorgung zum Nährstoffaustrag in angrenzende Ökosysteme und negativen Umweltwirkungen.

Eine Bodenuntersuchung soll anhand der durch Extraktion aus dem Boden gewonnenen Nährstoffgehalte den Nährstoffversorgungszustand der Böden ermitteln und bereits vor Aussaat der jeweiligen Kultur die pflanzenverfügbaren Gehalte an Nährstoffen im Boden abschätzen. Die darauf basierende Düngeempfehlung muss, mit Blick auf die optimale Ernährung der Pflanzen, bereits bei ihrer Erstellung möglichst allumfassend die Effekte der empfohlenen Düngung berücksichtigen. Insofern war es das Ziel des EUF Projektes „Nährstoffwechselwirkungen im Boden“, den Einfluss einer Kalkung schwach Ca-versorgter Böden auf andere Nährstoffe im Boden zu untersuchen. Dabei sollten die extrahierbaren Nährstoffgehalte mittels EUF, die pflanzenverfügbaren Nährstoffe durch Versuche mit Zuckerrüben quantifiziert werden, um schlussendlich die EUF-Düngeempfehlung durch Berücksichtigung einer empfohlenen Kalkung in der Empfehlung anderer Nährstoffe zu optimieren.

## 2 Entwicklung der Bodenuntersuchung in Deutschland

Die fundamentalen Erkenntnisse, dass Pflanzen sich von Mineralstoffen ernähren (*Liebig, 1840; Sprengel, 1828*) führten zu einer revolutionären Weiterentwicklung der Pflanzenernährung und Düngungslehre. Dabei wurde klar, dass nur die ausreichende Verfügbarkeit aller für die Pflanze essentiellen Nährstoffe den Ertrag steigern konnte (Gesetz des Minimums). Gegen Ende des 19. Jh. rückte die Erfassung der Nährstoffausstattung der Böden, d. h. die Bodenuntersuchung, zunehmend in den Fokus wissenschaftlicher Untersuchungen. So untersuchte Adolph Emmerling bereits vor 1895 (*Rauterberg et al., 1968*) die P-Vorräte schleswig-holsteinischer Böden mittels Salzsäureextraktion. Spätestens seit 1926, war die Untersuchung von Böden mit Empfehlung der zu düngenden Nährstoffmengen wesentlicher Bestandteil der praktischen Landwirtschaft. Wie *Liehr (1928)* in den „Ergebnissen der Verbilligungsaktion des Reiches für Bodenuntersuchungen“



## I Einleitung

berichtet, kamen dabei zur Bestimmung des Phosphorsäure- und Kali-Gehaltes vor allem die Neubauer'sche Keimpflanzen- (*Neubauer*, 1923 in *Neubauer*, 1946) und die Lemmermann'sche Zitrat-Methode (*Lemmermann* und *Fresenius*, 1927) zum Einsatz. Desweiteren wurde von den etwa 50.000 Bodenproben der pH-Wert bestimmt. Viele wissenschaftliche Arbeiten aus damaliger Zeit zeigen vergleichende Untersuchungen beider Methoden hinsichtlich ihrer Aussagekraft (z. B. *Linkermann*, 1928). Man stellte fest, dass Keimpflanzen und chemische Bodenuntersuchung nicht in der Lage waren, identische P-Gehalte zu erfassen. *Elleder* (1930) beschrieb die Neubauer-Methode als für die praktischen Landwirte wesentlich verständlicher, da sie den natürlichen Bedingungen näher sei, als die chemische Extraktion, welche aber wiederum aufgrund hoher Probenzahlen von bis zu 300 Proben pro Tag wesentlich günstiger und schneller zu realisieren war. Umfangreiche Forschungen versuchten Extraktionsmittel zu finden, welche genau die für die Pflanze verfügbaren Nährstoffe zu erfassen vermochten; *van der Spuij* (1925) gab einen umfassenden Überblick der bis dahin erprobten Extraktionsmittel ( $H_2O_2$ ,  $HNO_3$ ,  $HCl$ ,  $H_2CO_3$ , Zitronensäure, Oxalsäure). *Herrmann* (1938) monierte die zahlreichen Methoden zur Erfassung des Nährstoffzustandes der Böden und schlug als Schnelltest eine chemische Extraktion, für Einzelfälle den Keimpflanzenversuch, vor. In der weiteren Entwicklung eines zur Erfassung von möglicherweise pflanzenverfügbarem P und K geeigneten Extraktionsmittels kamen die Lactat-, Doppel-Lactat- (DL; *Egnér*, 1932, *Riehm*, 1942 in *Behr*, 1949), und Calcium-Acetat-Lactat- (CAL; *Schüller*, 1969) Methode zum Einsatz. Sowohl DL- als auch CAL-Methode werden bis heute zu P- und K-Extraktion genutzt.

Einen weiteren, wesentlichen Beitrag zur „Bestimmung des Düngebedürfnisses des Bodens“ und zum Verständnis der Wirksamkeit gegebener Nährstoffe leistete *Mitscherlich* (1924) im gleichnamigen Buch, indem er den Ertragsanstieg bei der Düngung eines bestimmten Nährstoffes unter sonst konstanten Bedingungen in Gefäßversuchen quantifizierte und in Relation zum maximal mit Gaben diesen Nährstoffs möglichen Höchstertag setzte. Dabei stellte er unter anderem fest, dass jeder für die Pflanze nicht im Optimum befindliche Nährstoff den Ertrag zu steigern vermag, auch wenn sich dieser nicht im Minimum befand und dass die mögliche Ertragssteigerung durch Gabe eines Nährstoffes (Wachstumsfaktor) stets proportional dem am erreichbaren Höchstertag fehlenden Ertrag ist. Das bedeutet, dass die ertragssteigernde Wirkung eines Nährstoffes mit dessen zunehmender Gabe zurückgeht.

Ebenfalls seit Beginn des 20. Jh., jedoch gänzlich unabhängig von der Erforschung möglicher Extraktionsmittel, entwickelte sich die Methode der Elektro-Ultrafiltration (EUF). *Bechhold* (1925) beschreibt sie erstmals als Kombination aus der um 1900 erfundenen Elektrodialyse (*Morse* und *Pierce*, 1903 in *Bechhold*, 1925), welche in einer Drei-Kammer-Apparatur durch das Anbringen von Spannung (Anode und Kathode) die Diffusionsvorgänge



## I Einleitung

der bis dahin üblichen Dialyse erheblich beschleunigte, und der ebenfalls schon bekannten und nach Entwicklung neuer Geräte weniger kompliziert umsetzbaren Ultrafiltration. Durch das von *Bechhold* entwickelte Verfahren, die Reaktionsprodukte an Kathode und Anode abzusaugen, war es möglich die Bedingungen in der Mittelzelle konstant zu halten und die bei der Elektrodialyse problematische Neutralitätsstörung zu umgehen. In den Folgejahren wurden intensive Untersuchungen mit der von *Bechhold* entwickelten Apparatur (Geräte für Elektro-Ultrafiltration nach Bechhold-König) zur Bestimmung des Nährstoffbedürfnisses des Bodens durchgeführt (*Köttgen* und *Diehl*, 1929). Es gelang *Köttgen* und seinen Mitarbeitern die Apparatur so weiterzuentwickeln, dass diese für bodenkundliche Zwecke geeignet war (*Németh*, 1976). Nach dem Zweiten Weltkrieg geriet die Methode in Vergessenheit. Erst die Weiterentwicklung durch *Németh* (1976) rückte die Methode wieder in den Blickpunkt der Bodenuntersuchung und ermöglichte die Serienuntersuchung von Bodenproben. Durch die Variation der Extraktionsparameter Spannung und Temperatur der Bodensuspension, und die getrennte Erfassung und Analyse der so gewonnen Fraktionen wurde es möglich, Aussagen hinsichtlich der unmittelbar verfügbaren (erste Fraktion) und der nachlieferbaren (zweite und weitere Fraktionen) Nährstoffgehalte im Boden zu treffen (*Németh*, 1985; 1982; 1979; 1976). Seither wurde die EUF-Methode zur Erstellung der EUF-Düngeempfehlung verwandt und anhand von Versuchen stetig optimiert. Ein weiterer, wesentlicher Vorteil dieser Methode ist darin zu sehen, dass „die wichtigsten Pflanzennährstoffe je nach ihrer Verfügbarkeit und Pufferung in einem Extraktionsgang gewonnen werden können“ (*Németh*, 1976). Derzeit werden in der EUF-Routine zwei Fraktionen erfasst und auf die Gehalte an N, P, K, Ca, Mg, Na, S und B analysiert. Darüberhinaus wurde zur Untersuchung der Mikronährstoffgehalte des Bodens (Mn, Fe, Cu, Zn) die Extraktion einer dritten Fraktion unter DTPA-Zugabe etabliert (*Horn*, 2006).

### **3 Aufbau des EUF Projektes und Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit (Holger Lemme & Sven Fischer)**

Die Calcium- (Ca-) Versorgung von Ackerböden spielt eine entscheidende Rolle; neben einer ausreichenden Ca-Ernährung der jeweiligen Kultur steht insbesondere die Verbesserung der Bodenstruktur durch Flockung der Tonminerale und Bildung von Ton-Humus-Komplexen im Vordergrund (*Mengel*, 1984; *Molitor et al.*, 2012; *Scheffer* und *Schachtschabel*, 2010). Der Ca-Bedarf steigt mit steigendem Tongehalt (*Scheffer* und *Schachtschabel*, 2010). Unter humiden Bedingungen unterliegen die Ca-Ionen der Auswaschung und müssen besonders auf carbonatarmen Standorten regelmäßig zugeführt werden. Dafür und um einer durch vielfältige Prozesse permanent wirkenden Bodenversauerung entgegenzuwirken, ist es üblich, land- und forstwirtschaftlich genutzte Flächen zu kalken.



## I Einleitung

Die Beurteilung der Kalkbedürftigkeit eines Standorts erfolgt bei der EUF Düngeempfehlung anhand des EUF extrahierbaren Ca-Gehaltes der zweiten EUF-Fraktion. Liegt dieser unter  $40 \text{ mg (100 g Boden)}^{-1}$ , so ist von einer unzureichenden Ca-Sättigung der Austauschere ( $< 80\%$ ) und einem Kalkbedarf auszugehen (*Németh et al., 1989*). Insbesondere im pH-Bereich von 6,5 bis 7,1 zeigt der EUF-Ca-Gehalt der zweiten Fraktion den Kalkbedarf deutlich sensitiver an als der pH-Wert allein, sodass auch nahezu neutrale Böden eine zu geringe Ca-Sättigung und somit einen Kalkbedarf aufweisen können (*Németh et al., 1989*).

Ausgehend von den mit Kalk zugeführten Ca-Ionen einerseits und dem Anstieg des Boden-pH-Wertes durch Neutralisation von Protonen ( $\text{H}^+$ ) andererseits, kann sowohl die Pflanzenverfügbarkeit als auch die Extrahierbarkeit verschiedener Nährstoffe im Boden beeinflusst werden. Folglich war es das Ziel des EUF Projektes „Nährstoffwechselwirkungen im Boden“, den Einfluss einer Kalkung schwach Ca-versorgter, zum Teil pH neutraler, toniger Böden auf die mittels EUF extrahierbaren Nährstoffgehalte (insbesondere P und K) im Zeitverlauf nach der Kalkzufuhr zu quantifizieren, die Pflanzenverfügbarkeit der Nährstoffe durch Versuche mit Zuckerrüben zu erfassen und die EUF Düngeempfehlung durch Berücksichtigung eventueller Effekte der Kalkung weiter zu optimieren.

Das Projekt wurde durch die Südzucker AG, die Bodengesundheitsdienst GmbH, die EUF-Arbeitsgemeinschaft zur Förderung der Bodenfruchtbarkeit und Bodengesundheit und die K+S KALI GmbH finanziert. In zwei Teilprojekten sollte der Einfluss einer Kalkung sowohl unter standardisierten Bedingungen im Labor bzw. Gewächshaus als auch unter Feldbedingungen untersucht werden (Abb. 1).



**Abb. 1:** Projektstruktur-beteiligte Unternehmen und Arbeitsschwerpunkte der Dissertationen.

#### *Teilprojekt 1 – Laborinkubations- und Gewächshausversuche (Lemme, H.)*

Innerhalb des ersten Teilprojektes war es das Ziel, die Mechanismen und Wirkungszusammenhänge einer Kalkung des Bodens grundlegend in Modellversuchen zu klären. Hierzu wurden in Gefäßversuchen nach einer Kalkung des Bodens die mittels EUF extrahierbaren und in Gewächshausversuchen die für die Zuckerrübe pflanzenverfügbaren Nährstoffgehalte untersucht. Zur Unterscheidung der durch Kalkzufuhr verursachten Erhöhung des Ca-Gehaltes und des Anstieges des pH-Wertes, wurde den Böden in weiteren Varianten Gips zur pH neutralen Erhöhung des Ca-Gehaltes bzw. Natronlauge zur Ca-freien pH-Anhebung anstelle von Branntkalk zugesetzt.

Insbesondere das Phosphat ( $\text{PO}_4$  bzw. im folgenden P) im Boden zeichnet sich durch eine auf beide Kalkeffekte (Anstieg von Ca-Gehalt und pH-Wert im Boden) sensible Dynamik aus. Nach derzeitigem Kenntnisstand kann P im Boden, je nach Fortschreiten der Pedogenese, in Form von Apatit, sonstigen gefällten Calcium- (Ca) P, und gefällten Eisen- (Fe) und Aluminium- (Al) P sowie an Fe- und Al-Oxiden bzw. an Ca sorbiert, in der organischen Substanz gebunden und zu einem sehr geringen Anteil gelöst in der Bodenlösung vorliegen (Scheffer und Schachtschabel, 2010). Dabei sind Ca-P grundsätzlich zunehmend im saurer werdenden Milieu, das heißt mit sinkendem pH-Wert, löslich, wohingegen die Löslichkeit und Desorption der Fe/Al-P mit zunehmendem pH-Wert ansteigt. Die Zufuhr großer Ca-Mengen durch Kalkung ließ, insbesondere in Kombination mit dem steigenden pH-Wert, die zunehmende Bildung von Ca-P erwarten. Jedoch könnten auch Fe/Al-P, sofern sie im





## I Einleitung

schwach sauren bzw. fast neutralen pH-Bereich vorhanden sind (*Machold, 1963*), mit steigendem pH-Wert mobilisiert werden. Zudem war nicht klar, ob steigende Ca-Gehalte im Boden zwangsläufig zu einer Verringerung der Pflanzenverfügbarkeit von P oder der P-Extrahierbarkeit führen, schließlich kann P im alkalischen Bereich auch über Ca-Brücken an Fe-Oxiden sorbiert werden (*Scheffer und Schachtschabel, 2010*).

Folglich lag der Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit in der Untersuchung der P Extrahierbarkeit mittels EUF, der Pflanzenverfügbarkeit von P für Zuckerrüben in Gefäßversuchen und der verschiedenen P Fraktionen im Boden nach einer Kalkanwendung. Darüberhinaus war es möglich, aufgrund der Erfassung sämtlicher Pflanzennährstoffe, sowohl durch EUF (N, P, K, Ca, Mg, Na, S, B) als auch bei der Pflanzenanalyse (P, K, Ca, Mg, Na, S, B, Fe, Mn, Cu, Zn), Aussagen hinsichtlich des Einflusses einer Kalkung auf die Extrahierbarkeit und Pflanzenverfügbarkeit weiterer Nährstoffe in Gefäßversuchen zu treffen.

### *Teilprojekt 2 – Feldinkubations- und Felddüngungsversuche (Fischer, S.)*

Ziel des zweiten Teilprojektes war die Untersuchung des Einflusses einer Kalkung auf EUF-extrahierbare und von Zuckerrüben aufgenommenen Nährstoffen unter Feldbedingungen und damit auch die Validierung der in Teilprojekt 1 gewonnenen Erkenntnisse.

In den Feldversuchen wurden, zusätzlich zur Kalkung, Varianten mit unterschiedlich hoher Kalium- (K-) und Magnesium- (Mg-) Düngung etabliert. Diese ermöglichten die Betrachtung der Wechselwirkungen zwischen den Kationen bei unterschiedlich hohen Düngergaben und sollten Schlussfolgerungen hinsichtlich des Einflusses einer Kalkung auf Nährstoff-Nachlieferungsprozesse im Boden und das Nährstoff-Aneignungsvermögen von Zuckerrüben zulassen.

Der Einfluss einer Kalkung auf die K-Gehalte im Boden und die Pflanzenverfügbarkeit von K wird in der Literatur nicht einheitlich beschrieben. An den Austauschern im Boden kann K als Folge der Ca-Zufuhr desorbiert und so auf Böden mit geringer Pufferkapazität verlagert werden (*Schwertmann et al., 1976*). Auch die K-Aufnahme kann infolge der Kalkung behindert werden (*Ehrenberg, 1920; Varnai et al., 1985*). Der Ertrag von Zuckerrüben stieg aber nach einer Kalkung in Versuchen von *Grass und Budig (1976)*. Und auch bei *Ehrenberg (1920)* und *Varnai et al. (1985)* egalisierte eine zusätzlich zur Kalkung ausgebrachte K-Düngung den Effekt der Kalkgabe. Gefäßversuche von *Grimme et al. (1973)* weisen darauf hin, dass Ionenantagonismen zwischen K und Mg aber auch zwischen K und Ca hierbei von Bedeutung sein können, vor allem bei Böden, die sich im K-Mangelbereich befinden. Somit stand im zweiten Teilprojekt die Untersuchung der Kationenverhältnisse im Boden nach einer Kalkung im Vordergrund.

Die Ergebnisse dieses Projektteils werden in einer separaten Dissertationsschrift dargestellt.





### 4 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit ist in insgesamt sechs Kapitel gegliedert. In den Kapiteln II, III und IV finden sich die wesentlichen Ergebnisse in Form von veröffentlichten oder zur Veröffentlichung vorgesehenen Artikeln in wissenschaftlichen Journalen.

Der erste Artikel (*Lemme, H., Koch, H.-J., Horn, D., Märländer, B., 2013; Kapitel II*), veröffentlicht in der Zeitschrift „Zuckerindustrie“ (138, Sonderheft 11. Göttinger Zuckerrübenagung, 39–48), befasste sich mit dem „Einfluss einer Kalkung auf EUF-extrahierbares Phosphor, Kalium und Bor und deren Pflanzenverfügbarkeit in Gefäßversuchen mit Zuckerrüben“. Darüberhinaus wurden auch die Aufnahmen weiterer Nährstoffe, wie Magnesium, Natrium, Eisen und Mangan, in die Pflanze betrachtet und diskutiert.

Im zweiten Artikel (*Lemme, H., Koch, H.-J., Horn, D., Märländer, B.; Kapitel III*) „Effect of calcium addition and pH increase on electro-ultrafiltration (EUF) extractable and sugar beet plant available phosphate on loessial soils“ wurden über die Kalkung hinaus weitere Varianten mit Gips- bzw. Natronlauge-Gabe ausgewertet und der Einfluss des Ca-Gehaltes und des pH-Wertes des Bodens separat auf die Extrahierbarkeit und die Pflanzenverfügbarkeit von Phosphor untersucht und diskutiert. Dieser Artikel wurde beim „Journal of Plant Nutrition and Soil Science“ eingereicht.

Der dritte Artikel (*Lemme, H., Dittert, K., Koch, H.-J., Märländer, B.; Kapitel IV*) „Liming of loess soils increases EUF extractable and labile P“ hatte die Fraktionierung der Bodenphosphate zum Gegenstand. Es wurde der Einfluss einer Kalk-, Gips- und Natronlauge-Gabe zum Boden untersucht. Darüberhinaus wurden Zusammenhänge zwischen EUF extrahierbarem P der ersten und zweiten EUF-Fraktion und den sequenziell extrahierten Phosphorfraktionen hergestellt. Der Artikel wurde ebenfalls beim „Journal of Plant Nutrition and Soil Science“ eingereicht.

Der Ausblick (Kapitel V) „Nachhaltige Produktivitätssteigerung durch Erhöhung der P-Effizienz“ stellt die gewonnenen Erkenntnisse, die Bedeutung des Phosphates für die Pflanzenernährung und die Rolle der Bodenuntersuchung vor dem Hintergrund einer nachhaltigen Produktivitätssteigerung dar.



## II Artikel 1 – Einfluss einer Kalkung auf EUF-extrahierbares Phosphor, Kalium und Bor im Boden und deren Pflanzenverfügbarkeit in Gefäßversuchen mit Zuckerrüben

---

Holger Lemme, Heinz-Josef Koch, Dietmar Horn, Bernward Märländer

### Kurzfassung

Die Kalkung landwirtschaftlich genutzter Böden ist für die Anhebung des pH-Wertes und die Zufuhr von Calcium (Ca) insbesondere auf carbonatarmen Böden von großer Wichtigkeit. Dabei können vom Ca-Ion bzw. pH-Wert ausgehende Wechselwirkungen zu anderen Nährstoffen auftreten und diese in ihrer Verfügbarkeit für die Pflanze beeinflussen. Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, den Einfluss einer Kalkung auf mittels Elektro-Ultrafiltration (EUF) extrahierbare und pflanzenverfügbare Nährstoffe zu quantifizieren. Dazu wurden drei tonig schluffige Lössböden mit Branntkalk versetzt (0; 1,4; 3,7 und 7,4 g CaO kg<sup>-1</sup>) und für acht Wochen bei 12 °C und 40% ihrer Wasserhaltekapazität inkubiert. Im Anschluss wurden die Böden mittels EUF analysiert und als Substrat für die Testpflanze Zuckerrübe im Gewächshaus verwandt. Infolge der Kalkgabe stieg der pH-Wert von 6,8 auf 7,6; 8,1 bzw. 8,9 an, der EUF-extrahierbare Phosphor- (P-) Gehalt des Bodens nahm um 1 – 2 mg (100 g Boden)<sup>-1</sup> zu, die P-Aufnahme der Pflanzen stieg um bis zu 83%. Somit zeigt diese Studie einen Anstieg des extrahierbaren und pflanzenverfügbaren P infolge einer Kalkung von Böden mit neutralem Ausgangs-pH-Wert. Ein Einfluss der Kalkung auf extrahierbares Kalium (K) und die K-Gehalte der Pflanzen wurde nicht festgestellt. Von den Mikronährstoffen war es ausschließlich Bor, dessen Pflanzenverfügbarkeit durch die Kalkung zurück ging. Diese Ergebnisse müssen in Feldversuchen validiert werden.

Schlagwörter: Branntkalk, Elektro-Ultrafiltration, Nährstoffverfügbarkeit, pH-Wert, Bodenuntersuchung

### Abstract

Liming of agricultural used soils is important especially on sites with poor carbonate content to increase the pH value and to add calcium (Ca). Interactions of the Ca-ions as well as the pH on other nutrients in the soil can affect their plant availability. The objective of this study was to quantify the effect of liming on EUF-extractable and plant available nutrients in soil. In pot trials, increasing amounts of burnt lime (0, 1.4, 3.7 and 7.4 g CaO kg<sup>-1</sup>) were added to three clayey silt soils derived from loess. Afterwards the treatments were incubated for eight weeks at 12 °C and 40% water-holding capacity. After incubation, the soils were analyzed by



electro-ultrafiltration (EUF) and used as substrate for the test-crop sugar beet in the greenhouse. As a consequence of liming the pH of the soil increased from 6.8 up to 7.6, 8.1 and 8.9, respectively. The EUF-extractable phosphorus (P) content of the soil increased by 1 – 2 mg (100 g soil)<sup>-1</sup> with increasing amounts of lime. The P uptake of the sugar beet plants increased by up to 83% compared with the control. Consequently an increase of P extractability and plant availability occurred by liming soils with pH at nearly 7. There was no effect of lime on the extractable potassium (K) and the K content of the plants. Of the micronutrients only the plant available boron decreased by liming. These results must be validated by field trials.

Key words: burnt lime, electro-ultrafiltration, nutrient availability, pH, soil analysis

## 1 Einleitung

Aktuelle Entwicklungen, wie Energiewende und GAP-Reformen, stellen die deutsche und europäische Landwirtschaft vor neue Herausforderungen. Zielkonflikte in der Flächennutzung (Lebens- und Futtermittelproduktion vs. Energiepflanzenproduktion vs. Natur- und Umweltschutz; BMELV, 2012) und steigende Getreidepreise (DESTATIS, 2013) verstärken die Konkurrenz zwischen den Kulturen um Ackerfläche und könnten auch die Zuckerrübenproduktion in Zukunft zunehmend betreffen. In diesem Zusammenhang kommt der optimalen Ausnutzung des Ertragspotentials eines Standortes sowohl aus einzelbetrieblicher ökonomischer Sicht als auch mit Blick auf die zukünftige Wettbewerbsfähigkeit des Rübenanbaus insgesamt steigende Bedeutung zu.

Das Pflanzenwachstum und damit der Ertrag wird durch eine Vielzahl von Umweltfaktoren und dabei insbesondere durch diverse Bodenparameter beeinflusst. Hierbei spielen neben der standortgegebenen Textur und dem Humusgehalt in erster Linie die Bodenacidität (pH-Wert), eine ausreichende Versorgung mit Nährstoffen und die Bodenstruktur eine entscheidende Rolle. Calcium (Ca) ist dabei als Pflanzennährstoff und insbesondere für die Bodenstruktur bedeutsam (*Mengel, 1984; Scheffer und Schachtschabel, 2010*). Die Aggregatbildung, sowohl durch Flockung der Tonminerale als auch durch die Bildung von Ton-Humus-Komplexen, stabilisiert das Bodengefüge, erfordert aber eine ausreichende Ca-Versorgung der Böden. Dabei steigt der Bedarf an Ca mit steigendem Tongehalt (*Scheffer und Schachtschabel, 2010*).

Etwa 75% (*Molitor, 2013*) der deutschen Ackerböden sind weitestgehend carbonatfrei und erfordern die Regulation des pH-Wertes und Ca-Gehaltes durch den Landwirt. Dies ist umso wichtiger, da der Boden unter humiden Bedingungen einer natürlichen Versauerung unterliegt und beträchtliche Mengen an Ca durch Auswaschung verliert (*Mengel, 1984; Scheffer und Schachtschabel, 2010*). Um optimale Wachstumsbedingungen für die Kulturen