



Sven Fischer (Autor)

## **Einfluss einer Kalkung auf Phosphor und Kalium in Lössböden und Zuckerrüben**

Aus dem  
**Institut für Zuckerrübenforschung**  
Göttingen

Sven Fischer

---

**Einfluss einer Kalkung auf Phosphor und  
Kalium in Lössböden und Zuckerrüben**

---

45/2016



Cuvillier Verlag Göttingen  
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag

<https://cuvillier.de/de/shop/publications/7189>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-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. Prolog

---

## Einleitung

Die Düngung ackerbaulich genutzter Böden ist Teil einer nachhaltigen Landwirtschaft. Mit jeder Ernte werden dem Boden Nährstoffe entzogen, die, je nach Versorgungszustand, früher oder später ersetzt werden müssen. Finck (1992 p. 3) definiert: „Ziel des Düngereinsatzes ist die Erzielung hoher und hochwertiger Erträge durch Verbesserung der Nährstoffversorgung der Pflanzen unter Erhaltung oder Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit ohne nachteilige Auswirkungen auf die Umwelt.“ Damit beschreibt Finck einerseits das allgemeine Bestreben nach einem effizienten Pflanzenbau durch optimierte Pflanzenernährung. Andererseits fordert er aber auch eine nachhaltige Bodenbewirtschaftung ohne schädliche Einflüsse der Düngung auf Boden und Umwelt. Demnach sollen in der Düngeplanung nicht allein wirtschaftliche Interessen berücksichtigt werden.

Landwirtschaftliche Betriebe setzen in Deutschland neben wirtschaftseigenen, organischen Düngern, mineralische Düngemittel ein (Tab. 1). Zur Bestimmung der optimalen Düngermenge beschreibt Beringer (1985) drei grundlegende Philosophien: 1. Das Konzept der Bilanzierungsmethoden, wobei unabhängig des Nährstoffstatus im Boden, Nährstoffabfuhr durch -zufuhr ausgeglichen werden muss. 2. Das Konzept harmonischer, ausgeglichener Nährstoffverhältnisse. Dabei ist das Ziel, die Kationenaustauschkapazität der Böden gemäßiger Klimata zu 65 % durch Calcium (Ca), zu 10 % durch Magnesium und zu 5 % durch Kalium zu sättigen. 3. Das Versorgungskonzept, das auf dem Nährstoffstatus des Bodens beruht und wobei dieser auf ein Niveau gebracht/gehalten werden soll, bei dem durch weitere Düngung kein zusätzlicher Mehrertrag erzielt werden kann. Beringer (1985) schlussfolgert über die Eignung der Bodenuntersuchung zur Vorhersage des Düngebedarfs, dass der einzige Weg zur Überwachung und Korrektur von Veränderungen der Bodenfruchtbarkeit, die regelmäßige Bodenuntersuchung auf pflanzenverfügbare Nährstoffe ist.

**Tabelle 1:** Inlandsabsatz (Deutschland) mineralischer Düngemittel nach Nährstoffarten in 1.000 t Nährstoff.

Wirtschaftsjahr	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO
2010/2011	286	434	2.276
2011/2012	247	386	2.398
2012/2013	284	421	2.539

Quelle: Statistisches Bundesamt (2014)



### **Bodenuntersuchung**

Die Zusammensetzung des Bodens als Medium, dem Pflanzen Nährstoffe entnehmen, wurde seit van Helmonts erstem belegten Gefäßversuch mit Weidenzweigen im Jahr 1620 wissenschaftlich untersucht (Schilling 2000). Aber erst mit der Einführung der Mineralstofftheorie durch Carl Sprengel (1828) und deren Verbreitung durch Justus von Liebig (1840) wurde die Agrikulturchemie begründet, und damit begann die gezielte Untersuchung von Böden auf Nährstoffgehalte (Ploeg et al. 1999). Lemme (2014) beschreibt die Entwicklung der Bodenuntersuchung in Deutschland von Sprengel und Liebig bis zu den heute verwendeten Methoden. Dabei sind insbesondere fünf Verfahren erwähnenswert, die in der praktischen Landwirtschaft und damit der Düngeberatung Verwendung finden. Zur Bestimmung des Phosphor- und Kaliumgehalts im Boden wird heute überwiegend die Ca-Acetat-Lactat-Methode angewendet (Schüller 1969), in manchen Regionen Deutschlands auch die Doppel-Lactat-Methode (nach Egner und Riehm in Behr 1949). Magnesium und der pH-Wert werden im Ca-Chlorid-Auszug gemessen, und für die Bestimmung des Stickstoffgehaltes wird die Nmin-Methode (Wehrmann und Scharpf 1979) verwendet. Bei diesen vier Verfahren werden die Nährstoffe extrahiert, indem das Bodenmaterial mit einer Extraktionslösung gemischt und anschließend über einen definierten Zeitraum geschüttelt wird. Die Nährstoffe werden schließlich konventionell im Filtrat gemessen. Davon unterscheidet sich die fünfte Bodenuntersuchungsmethode grundsätzlich. Bei der Elektro-Ultrafiltration (EUF; Németh 1976, 1979) werden die Nährstoffe mittels einer durch Spannung, Temperatur und Vakuum unterstützten Wasserextraktion aus der Bodensuspension herausgefiltert. Durch Variation dieser Extraktionsparameter können, zeitlich getrennt, verschiedene Fraktionen abgezogen werden, die eine unterschiedliche Nährstoffverfügbarkeit im Verlauf der Vegetationsperiode simulieren (Németh 1982, 1985).

Die Bodenuntersuchung allein ist jedoch für die Bestimmung der optimalen Düngemenge nicht ausreichend. Während die meisten Untersuchungsmethoden den sofort verfügbaren Nährstoffgehalt des Bodens zum Zeitpunkt der Probenahme wiedergeben, müssen darüber hinaus weitere Einflussgrößen für die Berechnung der Düngemenge geschätzt und berücksichtigt werden. Wesentliche Faktoren sind das kulturartspezifische Nährstoffaneignungsvermögen, die Nährstoffdynamik der Rhizosphäre, mögliche Wechselwirkungen zwischen den Nährstoffen und deren Nachlieferung während der Vegetationsperiode. Außerdem können Standortfaktoren wie Temperaturverlauf und Niederschlagsverteilung die Bestimmung der optimalen Düngemenge beeinflussen. Die



## Prolog

Bodenuntersuchung mittels EUF kann die Nährstoffnachlieferung während der Vegetationsperiode aufgrund der verschiedenen Nährstofffraktionen abschätzen. Überdies ermöglicht es die Methode, Wechselwirkungen zwischen Nährstoffen zu berücksichtigen, da alle Nährstoffe aus demselben Aliquot bestimmt werden. Damit wird die Streuung vermieden, die auftritt, wenn Proben geteilt werden müssen, um die einzelnen Nährstoffe mit verschiedenen Methoden zu bestimmen.

Wechselwirkungen können von Bedeutung sein, wenn infolge einer Düngung das Mengenverhältnis zwischen den Nährstoffen im Boden verändert (Grimme und Németh 1975) und die Aufnahme eines nicht gedüngten Nährstoffs beeinflusst wird (Moore und Quimet 2010; Seggewiss und Jungk 1988; Truog 1948). Prominentes Beispiel hierfür ist das von Ehrenberg (1920) formulierte Kalk-Kali-Gesetz. Die Kalkung, mit der gleichzeitigen Zufuhr einer großen Menge von Ca-Ionen sowie der Anhebung des pH-Wertes, kann die Ursache für Wechselwirkungen zu anderen Nährstoffen sein (Mengel 1984). In erster Linie wird die Kalkung angewendet zur Anhebung des pH-Wertes und damit zur Reduzierung von gelösten und austauschbar gebundenen Aluminium- und anderen Schwermetallionen (Foy et al. 1978), sowie zur Verbesserung der Bodenstruktur durch die Versorgung des Bodens mit zweiwertigen Ca-Ionen (Haynes und Naidu 1998). Während eine Kalkung von Böden mit niedrigem Ca-Gehalt und/oder niedrigem pH-Wert unerlässlich ist, kann damit einhergehend, die Extrahierbarkeit und Pflanzenverfügbarkeit anderer Nährstoffe beeinflusst werden (Haynes 1984; Jaskulska et al. 2014; Lemme 2014; Scheffer und Scheffer 1984; Wasner et al. 2001). Düngempfehlungen, die derzeit in Deutschland auf Basis von Bodenuntersuchungsergebnissen erstellt werden, berücksichtigen beispielsweise einen hohen pH-Wert oder hohen Ca-Gehalt bei der Berechnung des empfohlenen Phosphors (Horn et al. 2009; VDLUFA 2002a). Mögliche Nährstoffwechselwirkungen, die infolge einer empfohlenen, d. h. noch auszubringenden Kalkung auftreten, werden bei der Berechnung der Düngempfehlung bislang nicht berücksichtigt. Für eine verbesserte Düngberatung ist es aber wünschenswert, Standorte aufgrund der Bodenuntersuchung identifizieren zu können, an denen Nährstoffwechselwirkungen nach einer Kalkung auftreten werden.

### **Düngberatung auf Basis der EUF-Methode**

Ab Ende der 1960er Jahre verschlechterte sich in Österreich die technische Qualität von Zuckerrüben aufgrund zu hoher Düngergaben (Wiklicky 1982). Zur Verbesserung der Zuckerausbeute suchte die Rüben verarbeitende Industrie nach einem geeigneten Werkzeug



## Prolog

für die Düngeberatung. Ebenso waren Rüben liefernde Landwirte an einer Lösung interessiert, um den Anbau von Zuckerrüben wirtschaftlich zu optimieren. Dies war Anlass, erste Versuche zu unternehmen, eine Düngeberatung auf Basis der EUF-Methode (Németh 1972, 1976) zu etablieren. Zwischen 1974 und 1979 wurden im Bereich der Zuckerfabrik Tulln mehr als 330 Feldversuche mit Zuckerrüben und anderen Kulturen durchgeführt (Wiklicky 1982). Dabei standen zunächst die für die Saftreinheit wesentlichen Nährstoffe Stickstoff (N), Kalium (K) und Natrium im Vordergrund. Die Versuche ergaben hohe Korrelationen zwischen den Nährstoffgehalten der Rübe und den EUF-Nährstoffgehalten im Boden. Insbesondere für K wurden unter Berücksichtigung von Wechselwirkungen mit dem N-Entzug gute Beziehungen gefunden.

Während in Österreich bereits 1974 ein Labor für die Serienuntersuchung mit der EUF-Methode eingerichtet wurde (Wiklicky und Németh 1981), prüfte die Zuckerindustrie in Deutschland zunächst andere Verfahren und Methoden zur Düngungsoptimierung. In Norddeutschland wurde ab 1976 die Nmin-Methode (Wehrmann und Scharpf 1979) etabliert. Im Bereich der damaligen Süddeutschen Zucker-AG versuchte man ein Bilanzierungsmodell für N zu entwickeln (Irion 1976). Dabei konnte der Landwirt anhand eines Formulars individuelle betriebs- und flächenspezifische Faktoren gegen den geschätzten Bedarf verrechnen. Die N-Bilanzierung brachte aber aufgrund einer fehlenden Bodenuntersuchung nicht den gewünschten Erfolg (Irion 1988). Daraufhin wurde die N-Bilanzierung mit der Nmin-Bodenuntersuchung verknüpft und zwischen 1975 und 1982 mit mehr als 270 Feldversuchen und 30.000 Nmin-Proben geeicht (Günther 1978, 1988). Obwohl der fachliche Erfolg dieser „N-Düngung nach Diagnose“ mit einer Reduzierung der N-Düngung von durchschnittlich  $260 \text{ kg N ha}^{-1}$  im Jahr 1975 auf circa  $150 \text{ kg N ha}^{-1}$  im Jahr 1982 beachtlich war (Günther 1988), konnte sich das Beratungssystem aufgrund geringer Praktikabilität nicht durchsetzen (Köhler 1997). Ein Problem war die Laborkapazität, da sich der Zeitraum zwischen Nmin-Probenahme und Aussaat von Zuckerrüben im Frühjahr für die flächendeckende Untersuchung als zu kurz erwies. Zudem zeigten die Landwirte eine geringe Akzeptanz aufgrund der Bodenprobenahme im Frühjahr bis 90 cm Tiefe und der nötigen Kühlkette vom Feld bis ins Labor.

Während die Zuckerfabrik Tulln in Österreich zu Beginn der 1980er Jahre Düngeempfehlungen auf Basis der EUF-Methode bereits für etwa 25.000 ha jährlich aussprach (Wiklicky und Németh 1981), wurde die Methode in Süddeutschland von 1978 bis 1982 in 110 Feldversuchen mit der „N-Düngung nach Diagnose“ verglichen und als gleichwertig



## Prolog

erkannt (Günther 1988; Köhler 1997). Zudem war die Probenahme aus dem Oberboden im Sommer vor dem Anbau von Zuckerrüben praktikabel und ohne Kühlkette anwendbar. Neben einer flächendeckenden Beprobung ermöglichte das System eine rechtzeitige Düngeplanung. Außerdem konnte mit der Extraktion der zwei Nährstofffraktionen eine schlagbezogene Aussage über das Nachlieferungsvermögen aller Nährstoffe des Bodens getroffen werden. Mit der Inbetriebnahme eines eigenen Labors begann in Süddeutschland ab 1982 die flächendeckende Düngeberatung für Zuckerrüben auf Basis der EUF-Methode (Wiedemann 1982).

Unabhängig davon führte die Süddeutsche Zucker-AG 1978 die individuelle Bezahlung nach Zuckergehalt ein (Wiedemann 1978). 1982 folgte die Zuckerfabrik Franken GmbH (Anonymus 1982). In Verbindung mit der ebenfalls eingeführten Prämie für gute Rübenqualität erhöhte diese Maßnahme die Sensibilität der Landwirte für eine fachgerechte Düngung der Rüben (Köhler 1997; Wiedemann 1978, 1982). Die technische Qualität wurde dabei zunächst nach Reinefeld et al. (1974) und ab 1996 mit der neu bewerteten Formel nach Buchholz et al. (1995) geschätzt. In der Auswertung von Glattkowski und Märländer (1995) bewies die N-Düngung im Vergleich zu Standort und Jahr nur einen geringen Einfluss auf den Bereinigten Zuckerertrag. Der Ausbeuteverlust (Standardmelasseverlust + Fabrikverlust) war dagegen durch die N-Düngung mit rund 16 % der Varianz gut beeinflussbar. Infolge der durch die Qualitätsanalyse begleiteten Düngeberatung wurde die Düngermenge für den Anbau von Zuckerrüben auf circa  $100 \text{ kg N ha}^{-1}$  reduziert und damit zugleich der Amino-N-Gehalt (Fürstenfeld und Horn 2010).

Neben der Zuckerrübe wurde die Düngeberatung auf Basis der EUF-Methode für weitere Kulturen wie Getreide, Mais, Kartoffeln und Reben geeicht (Eifert et al. 1985; Horn 1990; Maier 1988; Ziegler 1989). Zudem wurden Eichversuche zur Weiterentwicklung der EUF-Methode (Günther 1988) und Versuche zur Bewertung von Gülle (Fürstenfeld 1985) und Zwischenfrüchten durchgeführt (Fürstenfeld et al. 2012). Horn (2006) entwickelte eine dritte Fraktion unter Zugabe von DTPA für die Extraktion von Mikronährstoffen. Heute werden für die Düngeberatung auf Basis der EUF-Methode jährlich Bodenproben untersucht, die eine Fläche von rund 120.000 ha in Deutschland repräsentieren, 23.000 ha in Polen und 32.000 ha in Österreich (Horn 2015; Izdebski 2015; Kempl 2015).

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

Die 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.

Die Beurteilung der Kalkbedürftigkeit eines Standorts erfolgt bei der EUF Düngeempfehlung anhand des EUF extrahierbaren Ca-Gehaltes der zweiten EUF-Fraktion, die den nachlieferbaren Teil der Nährstoffe beschreibt. Liegt dieser unter  $40 \text{ mg } (100 \text{ g Boden})^{-1}$ , so ist von einer unzureichenden Ca-Sättigung der Austauscher ( $< 80 \%$ ) 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 „Nährstoffwechsel-



**Abb. 1:** Projektstruktur – beteiligte Unternehmen und Arbeitsschwerpunkte der Teilprojekte.



## Prolog

wirkungen im Boden“, den Einfluss einer Kalkung schwach Ca-versorgter, zum Teil pH neutraler, toniger Böden auf die mittels EUF extrahierbaren Nährstoffgehalte (insbesondere Phosphor (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).

### **Teilprojekt 1 – Laborinkubations- und Gewächshausversuche (Holger Lemme)**

Innerhalb des ersten Teilprojektes war es das Ziel, die Mechanismen und Wirkungszusammenhänge einer Kalkung des Bodens grundlegend in Modellversuchen zu klären (Lemme 2014). 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 schwach sauren bzw. fast neutralen pH-Bereich vorhanden sind (Machold 1963), mit steigendem pH-Wert mobilisiert werden. Zudem war nicht klar, ob