

Bodenuntersuchung und Grunddüngung

4.1.1.2.2 Bodenuntersuchung und Grunddüngung Seite 519

**Dr. Manfred Kerschberger und Dipl.-Ing. Elke Kerschberger;
Dipl.-Ing. agr. Peer Leithold**

Bodenuntersuchung und Grunddüngung

Februar 2004

Dr. sc. Manfred Kerschberger war Leiter der Grunddüngungsforschung im Institut für Pflanzenernährung Jena, Fortführung der Tätigkeit in der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft Jena und ist stellvertretender Vorsitzender des wissenschaftlichen Beirates für Düngungsfragen beim Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft.

Dipl.-Ing. agr. Peer Leithold, Agri Con GmbH, 04749 Jahna, Im Wiesengrund 4, Tel. 034324-52430

Gliederung	Seite
1. Anleitung für die Praxis unter Berücksichtigung aktueller Ergebnisse und neuester Technik	521
- Dr. Manfred Kerschberger und Dipl.-Ing. Elke Kerschberger -	
1.1 Historie und Problematik	521
1.2 Einführung der Bodenuntersuchung in Deutschland	523
1.3 Bodenuntersuchung	525
1.4 Turnusmäßige Bodenuntersuchung auf Phosphor, Kalium, Magnesium, pH-Wert sowie Mikronährstoffe	526
1.5 Bemessung der Grunddüngung und ihre Wirkung auf den Pflanzenertrag	530
1.6 Fazit	537
2. Standortvariabilität und Nachweis von Effekten einer differenzierten Grunddüngung	538
- Dipl.-Ing. agr. Peer Leithold –	
2.1 Beprobungsraster und Ausrichtung	538
2.2 Wiederholbarkeit der Bodenuntersuchung	539
2.3 Technische Umsetzung	540
2.4 Was bringt eine differenzierte Grunddüngung?	540
2.5 Nachweise in der Praxis	541
2.6 Versuchsdurchführung	541
2.7 Versuchsauswertung	543
2.8 On Farm Research	543
2.9 Einzelergebnisse	545
2.10 Zusammenfassung der Ergebnisse	546
2.11 Betriebswirtschaftliche Bewertung	547

1. Anleitung für die Praxis unter Berücksichtigung aktueller Ergebnisse und neuester Technik

1.1 Historie und Problematik

„Solange wir uns bewusst sind, dass die Bodenuntersuchung keine Wunderdinge vollbringt, ist sie ein ausgezeichnetes diagnostisches Werkzeug, ein brauchbares Hilfsmittel zur Überwachung der Bodenfruchtbarkeit. Sie ist vor allem überaus wertvoll in Verbindung mit anderen Diagnoseverfahren für diejenigen, die sie mit Kenntnis und Erfahrung anwenden.“ (REED zit. in ARMSTRONG et. al., 1984). Dieses Zitat des angelsächsischen Wissenschaftlers könnte die Vermutung aufkommen lassen,

die Problematik der Bodenuntersuchung erst kürzlich aufgeworfen zu haben. Ganz im Gegenteil! Bereits in den Zwanziger Jahren sagte Prof. HUDIG aus den Niederlanden: „Der Landwirt der ohne Kenntnis des Kalkzustandes seinen Boden düngt, gleicht einem Schiffer, der ohne Kompass auf den Weltmeeren fährt!“ (zit. in BERGMANN 1990).

Schon vor den bahnbrechenden Untersuchungen von Th. De SAUSSURES (1767 – 1845) über die Notwendigkeit der Mineralstoffe für den Stoffwechsel der Pflanzen versuchte man die Fruchtbarkeit der Böden durch vergleichende Anbauversuche zu erfassen. Die später und vor allem heute interessierende Frage nach der Nährstoff- bzw. Düngungsbedürftigkeit der Böden und Pflanzen spielte dabei jedoch noch keine Rolle. Steuer- und betriebswirtschaftliche Aspekte standen im Vordergrund.

Die steigenden Einwohnerzahlen seit Beginn des 19. Jahrhunderts, verbunden mit regional auftretenden Hungersnöten (z. B. um 1846 – 1849 in Irland) verlangten eine Steigerung der Agrarproduktion. Durch Arbeiten z. B. von DAVY (1813), SPRENGEL (1837, 1845), LIEBIG (1842, 1858) und der von ihm erfolgreich propagierten Mineralstofftheorie bezüglich der Pflanzenernährung wurde der Anstoß zur Ermittlung der Nährstoff- bzw. Düngungsbedürftigkeit der Böden und Pflanzen gegeben. Seit dieser Zeit betrachtet die Agrarkulturchemie die Ermittlung der pflanzenverfügbaren Bodennährstoffe und die Bestimmungen des Düngebedarfs als eine ihrer wichtigsten Aufgaben, um der landwirtschaftlichen Praxis eine sichere Grundlage für eine sachgemäße Düngung zur Steigerung der Agrarproduktion zu geben. Dieses Anliegen gilt nach wie vor auch heute, wobei eine ökonomisch und energetisch effektive und zugleich umweltverträgliche Anwendung von Düngemitteln im Vordergrund steht.

Im Verlauf der folgenden Jahrzehnte wurden unter dem Druck des gesellschaftlichen Anliegens die Agrarproduktion zu steigern immer mehr, meist chemische oder physiologisch-chemische Methoden zur Ermittlung der pflanzenverfügbaren Nährstoffe (Phosphor, Kalium und Kalkbedarf) entwickelt. Diese wiesen eine einigermaßen befriedigende Treffsicherheit auf und waren in ihrer Durchführung recht einfach und preiswert und eigneten sich für Serienuntersuchungen in sofern besser als aufwendige Gefäß- und Feldversuche. Es folgten weiter Arbeiten zur methodischen Erfassung der Düngebedürftigkeit von Magnesium und Mikronährstoffen. In nahezu allen Ländern mit moderner Landwirtschaft wurde seit etwa Mitte des vorigen Jahrhunderts daran gearbeitet, der landwirtschaftlichen Praxis immer bessere Empfehlungen für den Einsatz von organischen Düngestoffen und Mineraldüngern zu geben. Insbesondere erforderte der seit den 50- und 60er Jahren stark ansteigende Mineraldüngereinsatz im Zusammenhang mit der Erhöhung der Tierbestände und des so bedingten erhöhten Anfalls von Wirtschaftsdüngern ein geordnetes Nährstoffangebot für die unterdessen hohen Pflanzenerträge.

Der Stickstoff als einer der wichtigsten Pflanzennährstoffe wurde zunächst nicht in Serienuntersuchungen einbezogen, obwohl gerade hier eine zuverlässige Schnellmethode ratsam gewesen wäre. Der Grund dafür lag darin, dass der Gehalt an pflanzenaufnehmbaren Stickstoff im Gegensatz zu den anderen Mineralstoffen im Boden

durch den Einfluss der Mikroorganismen des Bodens und der Atmosphären derartigen Veränderungen unterliegt, dass es als nicht möglich erschien mittel- geschweige denn längerfristig exakte Aussagen abzugeben. Erst durch die in den Jahren 1960 – 80 entwickelten und auch praxisreif gemachten Methoden zur Ermittlung des pflanzenverfügbaren (löslichen) N-Gehaltes im Boden (N-anorganisch, N-mineralisiert) wurde ein wesentlicher Fortschritt zur Bemessung der jährlichen N-Düngergaben erzielt. Eine längerfristige Aussage ist jedoch mit solch einer einmaligen Nmin-Bestimmung nach wie vor nicht möglich.

Dafür hat sich heute insbesondere bei Stickstoff die **Pflanzenanalyse** als kooperierender Faktor zur Bodenuntersuchung durchgesetzt. Sowohl mit der N-Bestimmung der Pflanzen im Labor als auch mit Schnellmethoden auf dem Feld wurde die Aussage der N-Bodenuntersuchung für ein optimales Pflanzenwachstum zweckdienlich ergänzt.

Vergleichbar dem Stickstoff lässt sich die Problematik von Boden- und Pflanzenanalyse auf den Schwefel übertragen. Noch bis in die Zeit 1970/80 war die Zufuhr von Schwefel für die intensive Pflanzenproduktion kein Thema in der Düngungspraxis. Jedoch mit dem technischen Fortschritt bei der Rauchgasentschwefelung, war der wichtigste S-Lieferant nämlich der atmosphärische S-Eintrag auf die landwirtschaftlich genutzten Flächen im Rückzug. Andere Faktoren verstärkten das Problem. Einsetzender S-Mangel der Kulturen erforderte die Zufuhr von pflanzenverfügbarem Schwefel. Analog zur Bestimmung des Bodenstickstoffs (N-min) gab es die Entwicklung hin zur Bestimmung des pflanzenverfügbaren Schwefels im Boden (S-min). Infolge der dem pflanzenverfügbaren Bodenstickstoff vergleichbar hohen Beweglichkeit des Sulfat-Schwefels im Boden ist auch hier nur eine kurzfristige, d. h. jährlich begrenzte, und keine längerfristige Aussage für die S-Ernährung der Pflanzen gegeben. Deshalb hat sich auch hier die Pflanzenanalyse als ergänzende Methode bewährt. Auch der von der BASF entwickelte S-Schätzrahmen in der Praxis zur Ermittlung des S-Düngebedarfes hat sich als mehr oder weniger geeignet erwiesen. Die Bodenuntersuchung mit dem Ziel, dem Landwirt unmittelbare Düngungsempfehlungen für den Bedarf der Pflanzen an Mineralstoffen zu geben hat also vor vielen Jahren begonnen und dauert an.

1.2 Einführung der Bodenuntersuchung in Deutschland

Erst in den Jahren um 1920 begann im damaligen Deutschen Reich die Bodenuntersuchung für die Praxis hinsichtlich der Ermittlung der Kalk-, Phosphor- und Kaliumbedürftigkeit zunehmende Bedeutung zu erlangen. Auf Grund der Anwendung verschiedener Extraktionsmethoden in den einzelnen Untersuchungslaboratorien war jedoch zunächst keine Vergleichbarkeit hinsichtlich der Untersuchungsergebnisse der Böden im gesamten Reichsgebiet möglich. Eine daraufhin in den 30er Jahren erfolgte Reichsmethodenprüfung führte in den Untersuchungsstationen des Verban-

des Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungsanstalten zur vorrangigen Einführung der für Serienanalysen gut geeigneten DL-Methode (EGNER-RIEHM) zur Ermittlung der pflanzenverfügbaren P- und K-Gehalte der Böden. Gleichzeitig wurde von SCHACHTSCHABEL (1940) eine Kalkbedarfsbestimmungsmethode eingeführt. Mit der Anwendung beider Methoden konnte die Einführung der systematischen, gemeindeweisen Bodenuntersuchungen im gesamten Reichsgebiet gesetzlich verankert werden. In den Jahren 1940-44 wurden vom Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungsanstalten jährlich bis zu 100.000 Bodenproben untersucht.

Nach dem zweiten Weltkrieg wurde die Bodenuntersuchung wieder intensiviert. Es zeigte sich, dass die Nährstoffversorgung des Bodens während der Kriegs- und vor allem in den Nachkriegsjahren (um 1950) mit Phosphat und Kalium bei 40 % aller Böden ungenügend und bei weiteren 40 % nur mäßig war. Auch in den Folgejahren erfolgte die Bodenuntersuchung auf dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland (Alte Bundesländer) auf freiwilliger Grundlage der Landwirte.

Im Gegensatz dazu wurde auf dem Gebiet der ehemaligen Deutschen Demokratischen Republik die Bodenuntersuchung gesetzlich verordnet. Im Juni 1952 wurde die Neuordnung der Bodenuntersuchung erlassen und darin festgelegt, die Untersuchung der Böden in allen Landwirtschaftsbetrieben mit über 1 ha landwirtschaftlicher Nutzfläche obligatorisch durchzuführen. Die so über die Jahre bis 1990 erhaltenen Ergebnisse wurden im Turnus von drei bis vier Jahren zusammengefasst ausgewertet und für die Düngeberatung zugrunde gelegt. Mit der Wiedervereinigung Deutschlands war die Pflicht zur Bodenuntersuchung im Osten Deutschlands (neue Bundesländer) ausgelaufen.

Im Jahre 1996 trat die Düngeverordnung in Deutschland in Kraft (Verordnung über die gute fachliche Praxis beim Düngen), sie griff die Aktivitäten zur Bodenuntersuchung aus der Vergangenheit auf und legte fest (§ 4 Abs. 2): „Die im Boden verfügbaren Nährstoffmengen sind vom Betrieb zu ermitteln:

1. Für Stickstoff auf jeden Schlag oder jeder Bewirtschaftungseinheit für den Zeitpunkt der Düngung, mindestens aber jährlich,
 - a) durch Untersuchung repräsentativer Proben - außer auf Dauergrünlandflächen oder
 - b) nach Empfehlung der nach Landesrecht für die landwirtschaftliche Beratung zuständigen Behörde oder einer von dieser empfohlenen Beratungseinrichtung.
2. für Phosphor und Kali auf der Grundlage der Untersuchung repräsentativer Bodenproben, die für jeden Schlag ab 1 Hektar, in der Regel einer Fruchtfol-

ge, mindestens alle sechs Jahre, auf extensiven Dauergrünland mindestens alle neun Jahre durchzuführen sind.

3. Für Magnesium und Schwefel für jeden Schlag ab 1 Hektar auf der Grundlage der Untersuchung repräsentativer Boden- oder Pflanzenproben oder durch Übernahme von Richtwerten der oben genannten zuständigen Behörde.

Absatz (3): Zur Überprüfung einer standortgerechten Kalkversorgung des Bodens sind die Bodenproben unter 2. gleichzeitig zusätzlich auf dem pH-Wert oder den Kalkbedarf zu untersuchen.

Absatz (4): Für Düngemittel die nur Spurennährstoffe enthalten, ist der Bedarf auf der Grundlage von Boden- oder Pflanzenuntersuchungen oder von Richtwerten der oben genannten zuständigen Behörde zu ermitteln.“

1.3 Bodenuntersuchung

Voraussetzung für eine präzise Düngerbemessung ist die Analyse des Nährstoffbedarfes der Pflanzen sowie des im Boden vorliegenden pflanzenverfügbaren Nährstoffpotenzials.

Der Nährstoffbedarf der Pflanzen lässt sich aus dem Mineralstoffgehalt des Aufwuchses und dem Ertragniveau relativ einfach und hinreichend sicher ermitteln. Schwieriger ist die Bestimmung der Gehalte an pflanzenverfügbaren Nährstoffen im Boden. Forschungseinrichtungen und auch andere Institutionen in verschiedenen Bundesländern haben sich intensiv mit dem Zusammenhang zwischen der Nährstoffversorgung von Böden und dem Düngebedarf der Pflanzen befasst und Methoden zur Erfassung der Nährstoffreserven des Bodens entwickelt.

Als Maß für den verfügbaren Nährstoffgehalt im Boden dient heute allgemein der leichtlösliche Nährstoffanteil. Er wird vom Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) und anderen Laboratorien mit Hilfe von wissenschaftlich anerkannten Untersuchungsmethoden gemessen. Auf diese Weise kann man den Nährstoffgehalt der Böden flächendeckend erfassen und über die Zeit verfolgen. Für die zur Düngebedarfsermittlung erforderliche Berücksichtigung der Bodenart wurde zunächst geprüft, welche Einteilung der Bodenarten für die landwirtschaftliche Praxis sinnvoll erscheint. Das im VDLUFA - Methodenbuch beschriebene Schema der Bildung von sechs Bodenartengruppen ist dafür geeignet. Bei der Übernahme erfolgte lediglich eine Rundung der Tongehalte in ganze Zahlen (Tab. 1).

Tabelle 1: Rahmenschema für die Gruppierung der Bodenarten nach VDLUFA

Nr.	Bodenartengruppe/ vorwiegende Bodenart	Symbol	Tongehalt ¹⁾ %	Ton- plus Feinschluffgehalt ²⁾ (%)	Bezeichnung in der Düngungspraxis
1	Sand	S	≤ 5	≤ 7	leichte Böden
2	schwach lehmiger Sand	l'S	> 5 bis 12	> 7 bis 16	
3 ³⁾	stark lehmiger Sand	IS	> 12 bis 17	> 16 bis 23	mittlere Böden ⁵⁾
4 ³⁾	sandiger/schluffiger Lehm	sL/uL	> 17 bis 25	> 23 bis 35	
5 ⁴⁾	toniger Lehm bis Ton: schwach toniger Lehm toniger Lehm lehmiger Ton Ton	t'L tL lT T	> 25 bis 35 > 35 bis 45 > 45 bis 65 > 65	} > 35	schwere Böden
6	Moor (Böden um >30 % Humus)	Mo	-		

1) Korngröße < 0,002 mm in % mineralischer TM nach DIN 19682

2) Korngröße < 0,006 mm in % mineralischer TM nach DIN 19682

3) Die Einstufung der Böden in den Bodenartengruppen kann entweder nach dem Gehalt an Ton oder nach dem Gehalt an Ton plus Feinschluff erfolgen.

4) Böden mit Schluffgehalten von > 50 % werden in die Bodenartengruppe 4, bei höherem Gehalt an Ton (oder Ton plus Feinschluff) in die Bodenartengruppe 5 eingestuft.

5) Die aufgeführten Bodenarten der Gruppe 5 können im Untersuchungsbefund ausgewiesen werden. Sie unterscheiden sich jedoch im Aufkalkungsziel und -bedarf nicht.

6) Bodenartengruppe 4 wird in Thüringen als schwerer Boden eingestuft.

Wegen der Überschneidungen und Unschärfen hinsichtlich der Bezeichnung und Zuordnung von Bodenarten sind die Bezeichnungen der Bodenartengruppe/vorwiegende Bodenart nach verschiedenen Nomenklaturen (Reichsbodenschätzung, DIN, TGL, Bodenkundliche Kartieranleitung 4) und Symbolen als Orientierung zu betrachten. Innerhalb dieses Rahmenschemas können auch Bodenartengruppen zusammengefasst werden, sofern es regional sinnvoll ist.

1.4 Turnusmäßige Bodenuntersuchung auf Phosphor, Kalium, Magnesium, pH-Wert sowie Mikronährstoffe

Die Grundlage hierzu ist die Vorgabe im Methodenbuch des VDLUFA Band 1: Die Untersuchung von Böden, Darmstadt, VDLUFA Verlag 1991.

Unter turnusmäßiger Bodenuntersuchung versteht man die Bodenprobenahme und Untersuchung der Grundnährstoffe Phosphor, Kalium und Magnesium sowie des pH-Wertes zur Ermittlung des Nährstoffversorgungszustandes und der Bodenreaktion der landwirtschaftlichen Nutzfläche von Agrarunternehmen in einem Zeitabstand von drei (fachliche Empfehlung) bis sechs (Gebot der Düngeverordnung) Jahren. Sie ist die Grundlage für die Berechnung von Düngungsempfehlungen.

Geräte zur Probenahme

- Einteiliger Rillenbohrstock, mit Handriff und seitlicher Fußraste
- Auswerfer

- Wiesenteller: Zusatzvorrichtung für Rillenbohrstock zur Begrenzung der Probenahmetiefe
- Verpackung: fortlaufend nummerierte Pappkästchen oder Kunststofftüten oder beschichtete Papiertüten
- Es dürfen keine Geräte und Materialien verwendet werden, welche die Proben verunreinigen.

Zeitpunkt der Probenahme

- Die Bodenuntersuchung sollte je nach Nutzungsintensität alle drei bis sechs Jahre durchgeführt werden
- Die Probenahme kann während der gesamten frostfreien Zeit erfolgen, soweit der Boden begeh - bzw. befahrbar ist. Eine erneute Bodenuntersuchung (Folgeturnus) soll etwa zur gleichen Jahreszeit durchgeführt werden.
- Die Probenahme muss vor Düngungsmaßnahmen (organische Düngung, Mineraldüngung) erfolgen. Ist das nicht möglich, ist zwischen Düngung und Probenahme eine Karenzzeit von mindestens zwei Monaten einzuhalten (Bedingung: Dünger ist eingearbeitet worden, und es sind mindestens mehr als 30 mm Niederschlag gefallen).

-

Probenahmefläche

- Auf Flächen mit einheitlicher Bodenherkunft und –art sowie Bewirtschaftung: 3 bis 5 ha/Probe
- Bei ungleicher Feld- bzw. Schlaggeschichte (verschiedene Bodenarten und Kulturen je Feld bzw. Schlag ist eine diesen Faktoren entsprechende getrennte Beprobung vorzunehmen.
- Das Feld soll in fixe (feststehende) Probenahmeflächen eingeteilt und kartiert werden. Im nächsten Turnus sind die gleichen Probenahmeflächen zu beproben, um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten.
- Die Lage der Probenahmeflächen (Hauptbearbeitungsrichtung beachten!) sollte eine Teilflächendüngung ermöglichen.
- Um eine repräsentative Probenahme zu sichern, sind u. a. folgende untypische Teilflächen von der Probenahme auszuschließen und im Bedarfsfall getrennt zu beproben: Vorgewende, Feldränder, Mieten-, Silo- und Dungplätze, Geilstellen (Grünland).

Probenahmetiefe

- Ackerland, Feldgemüse und Dauerkulturen: 0 bis 20 cm (nach VDLUFA Bearbeitungstiefe). Eine Begrenzung auf 20 cm Tiefe erhöht die Sicherheit ausschließlich Krumboden zu beproben.
- Grünland: 0 bis 10 cm (Hauptwurzelzone) Probenahme mit Wiesenteller

Probemenge

- Zahl der Einstiche:
 Ackerland, Feldgemüse und Dauerkulturen: 20 Einstiche/Probe;
 Grünland: 40 Einstiche/Probe.
- Aus den Einzelproben (Einstichen) wird eine Sammelprobe (Mischprobe) gebildet, die gleichzeitig die Endprobe darstellt und dem Untersuchungslabor zu übergeben ist. Vor dem Verpacken ist die Sammelprobe auf einer sauberen Unterlage intensiv zu durchmischen. Die Probemenge soll mindestens 250 g frischen Boden umfassen, bei Untersuchung von mehr als zwei Mikronährstoffen werden mindestens 400 g Boden benötigt.

Probenahmebegang

- Die Bodenentnahme auf der Probenahmefläche erfolgt im Zick-Zack-Gang, in Form eines liegenden „N“ oder entlang einer Diagonale.
- Die Einstiche sind entlang der Beganglinie gleichmäßig zu verteilen. Zur nächsten Probenahme (nächster Turnus) sollte der gleiche Begang gewählt werden. Die Beganglinie darf nicht parallel zur Hauptbearbeitungsrichtung des Feldes verlaufen.
- Nach erfolgter Probenahme sind die Proben mit einer fortlaufenden Proben-Nr. zu kennzeichnen.

Untersuchungsauftrag und Probenliste

- Auf der Probenliste sind neben den Untersuchungswünschen anzugeben: Betrieb, Feld-Nr., Nutzungsart, Bodenart und – wenn vorhanden – Humusgehalt.
- Als Standarduntersuchung gilt: pH-Wert, Phosphor, Kalium (und Magnesium).
- Andere wichtige Untersuchungen: Die Bestimmung des Tongehaltes zu Einstufung der Bodenart und des Humusgehaltes. Die Bestimmung von Mikronährstoffen (wie Bor, Kupfer, Mangan, Molybdän, Zink) sowie Schwefel, Natrium u. a. ist standortbezogen vom Landwirt zu entscheiden.
- Untersuchungsauftrag, Probenliste und Proben zusammen versenden!
- Werden die nach Nährstoffgehalts- bzw. pH-Klassen ausgewiesenen Bodenuntersuchungsergebnisse farblich dargestellt, so gelten folgende Farbkombinationen nach VDLUFA – Empfehlung:

A = rot, B = orange, C = gelb, D = grün, E = blau.

Neue Möglichkeiten der Bodenprobenahme für Grundnährstoffe

Durch moderne Technologien wie „Global-Positioning-System (GPS)“, Geo-Informationssystem (GIS) und Fernerkundung ergibt sich eine moderne Handhabung zur ortsdifferenzierten (georeferenzierten), teilflächenspezifischen Informationsgewinnung und –bewertung sowie der Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Flächen. Die GPS-gestützte Bodenprobenahme in Verbindung mit der Erstellung von aussagefähigen Karten zu Nährstoffversorgung des Bodens und des Düngerbedarfs

der Kulturen stellt in Kombination mit der Steuerung von Maschinen derzeit die wichtigste Grundlage für die Anwendung der teilflächenspezifischen Düngung dar. Allerdings erfordert dies insgesamt höhere finanzielle Aufwendungen, die nicht zwangsläufig zur Senkung des Aufwandes für die Düngung führen, aber eine optimale Düngerverteilung innerhalb eines Feldes ermöglichen. Für die Grundsätze und Verfahren einer solchen Bodenprobenahme, einschließlich Bewertung und Darstellung von Nährstoffversorgung und Düngerbedarf wird auf den VDLUFA-Standpunkt (2000): „Georeferenzierte Bodenprobenahme...“ verwiesen. Solche modernen Technologien zur Bodenprobenahme und teilflächenspezifischen Düngung bieten Dienstleister an.

Bodenuntersuchung auf Mikronährstoffe

Er ist ohne weiteres möglich, im Bedarfsfall aus derselben Endprobe der turnusmäßigen Bodenuntersuchung zusätzlich ein bis mehrere Mikronährstoffe zu untersuchen. Dabei sollte sich die Auswahl der zu bestimmenden Mikronährstoffe nach den Besonderheiten, wie geologische Herkunft des Bodens und Mikronährstoffintensität der angebauten Kultur, richten. Noch besteht keine Pflicht zur Bodenuntersuchung auf Mikronährstoffe. Damit aber auch im Zusammenhang mit der Mikronährstoffversorgung/Düngung der Kulturen die „Gute fachliche Praxis“ gewahrt wird, gilt die Empfehlung, jährlich gezielt von einigen Feldern/Kulturen Boden- und Pflanzenanalysen durchzuführen, um damit im Verlauf der Jahre einen zunehmenden Überblick des standortbedingten Nährstofftransfers Boden/Pflanze für die gegebenen Bedingungen im Landwirtschaftsbetrieb zu erhalten.

Bodenuntersuchungsmethoden zur Ermittlung der Düngerbedürftigkeit

Der Kalkbedarf wird derzeit in Deutschland in der Regel durch Messung des pH-Wertes einer Bodensuspension in 0,01 molarer Calciumchlorid-Lösung (pH-CaCl₂) ermittelt.

Als Maß für den pflanzenverfügbaren P- und K- Gehalt des Bodens wird heute im Allgemeinen der leicht lösliche P- bzw. K- Anteil der Böden betrachtet. Die Ermittlung erfolgt mittels der CAL - Methode (Calcium – Acetat - Lactat) oder der DL – Methode (Doppellactatlösung). Die nach beiden Extraktionsverfahren ermittelten Werte unterscheiden sich nur unwesentlich.

Die Feststellung des pflanzenverfügbaren Mg –Gehaltes des Bodens beruht vorwiegend auf der Methode der Extraktionen mit 0,0125 molarer CaCl₂ –Lösung.

Die Bewertung des ermittelten Bodenuntersuchungsergebnisses erfolgt auf der Grundlage der Richtwerte der für die landwirtschaftliche Beratung zuständigen Behörde. Untersuchungsmethoden zur Ermittlung anderer pflanzenverfügbarer Nähr-elemente sind im Rahmen des vorliegenden Beitrages zur Grunddüngung nicht aufgeführt.

1.5 Bemessung der Grunddüngung und ihre Wirkung auf den Pflanzenertrag

Nachdem das Vorgehen zur Ermittlung des Kalkversorgungszustandes und des Nährstoffgehaltes im Boden diskutiert wurde, soll nunmehr auf die Umsetzung der Bodenuntersuchungsergebnisse im Rahmen der praktischen Düngung eingegangen werden.

Kalkung

Seit jeher ist die Bodenreaktion für die Pflanzenproduktion bedeutsam. Der Kalkversorgungszustand des Bodens beeinflusst alle für das Pflanzenwachstum relevanten Faktoren und bestimmt insofern erstrangig den Bodenfruchtbarkeitszustand. Nur unter den Bedingungen optimaler pH-Werte im Boden ist die Zufuhr der Makro- und Mikronährstoffe ökonomisch sinnvoll und ihre ausreichende Löslichkeit bzw. Pflanzenverfügbarkeit gegeben. Bei extremen Abweichungen vom anzustrebenden pH-Zustand kommt es zu Nährstofffestlegungen bzw. auch übermäßiger Freisetzungen von Nährionen, was sich dann z. B. in Mn- und Al-Toxizität in stark sauren Böden zeigt. Letzteres ist eine der Hauptursache von Wachstumsbehinderungen (Schadfällen) in der Praxis. Seit Jahren werden z. B. an der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft in Jena-Zwätzen und ihren Vorgängereinrichtungen solche Schadfälle untersucht. Mit dem Ergebnis, dass fast die Hälfte solcher Schadfälle auf Bodenversauerung zurückzuführen ist (Tabelle 2)

Tabelle 2: Wachstumsminderung im Feldbestand

Bodenversauerung	44%
N-Mangel	14%
P-Mangel	13%
Mg-Mangel	11%
K-Mangel	9%
Mo-Mangel	5%
Cu-, B-, Mn- und Zn-Mangel	4%

Quelle: Zorn, TLL

So wie Stickstoff und Kalium in großen Mengen vor allem durch die Abfuhr mit der Ernte, aber auch infolge von Verlagerungs- und Fixierungsvorgängen verbraucht werden, unterliegt auch der Kalk aus den verschiedensten Gründen einem hohen Verbrauch.

Für die praktische Düngung interessiert in erster Linie der pH-Anspruch der einzelnen Kultur an die Bodenreaktion. Hierbei gibt es erhebliche Unterschiede, die im Interesse sicherer Pflanzenerträge, aber auch gezielter und ökonomisch gerechtfertigter Düngungsmaßnahmen bekannt sein müssen. Durch Steigerung der Kalkgaben auf sauren Böden findet man anhand der Ertragsreaktion der Pflanzen Maximum bzw. Optimum für den Ertrag und kann so pH-Werte für pH-Klassen ableiten (Tabelle 3).

Tabelle 3: Definition der pH-Klassen für die Kalkversorgung des Bodens sowie des Kalkdüngungsbedarfs auf der landwirtschaftlich genutzten Fläche

pH-Klasse / Kalkversorgung	Beschreibung von Zustand und Maßnahme
A/sehr niedrig	<p>Zustand: Erhebliche Beeinträchtigung von Bodenstruktur und Nährstoffverfügbarkeit, sehr hoher Kalkbedarf, signifikante Ertragsverluste bei fast allen Kulturen bis hin zum gänzlichen Ertragsausfall, stark erhöhte Pflanzenverfügbarkeit von Schwermetallen im Boden.</p> <p>Maßnahme: Kalkung hat weitgehend unabhängig von der anzubauenden Kultur Vorrang vor anderen Düngungsmaßnahmen.</p>
B/niedrig	<p>Zustand: Noch keine optimalen Bedingungen für Bodenstruktur und Nährstoffverfügbarkeit, hoher Kalkbedarf, meist noch signifikante Ertragsverluste bei kalkanspruchsvollen Kulturen, erhöhte Pflanzenverfügbarkeit von Schwermetallen im Boden.</p> <p>Maßnahme: Kalkung erfolgt innerhalb der Fruchtfolge, bevorzugt zu kalkanspruchsvollen Kulturen.</p>
C/anzustreben, optimal	<p>Zustand: Optimale Bedingungen für Bodenstruktur und Nährstoffverfügbarkeit sind gegeben, geringer Kalkbedarf, kaum bzw. keine Mehrerträge durch Kalkung.</p> <p>Maßnahme: Kalkung innerhalb der Fruchtfolge zu kalkanspruchsvollen Kulturen.</p>
D/hoch	<p>Zustand: Der pH-Wert ist höher als anzustreben, kein Kalkbedarf.</p> <p>Maßnahme: Unterlassung einer Kalkung.</p>
E/sehr hoch	<p>Zustand: Der pH-Wert ist wesentlich höher als anzustreben und kann die Nährstoffverfügbarkeit sowie den Pflanzenertrag und die Qualität negativ beeinflussen.</p> <p>Maßnahme: Unterlassung jeglicher Kalkung, Einsatz von Düngemitteln, die infolge physiologischer bzw. chemischer Reaktion im Boden versauernd wirken.</p>

Doch auch die – anzustrebende – pH-Klasse C ist nur ein Kompromiss zwischen stark und schwach kalkanspruchsvollen Kulturen, so dass für den effektiven Kalkeinsetz in der Praxis immer Beratungsbedarf besteht (Tabelle 4). Düngeempfehlungsprogramme sollten darauf hinweisen. Die Richtwerte zur Einstufung der pH-Werte des Bodens in pH-Klassen sowie die Richtwerte zur Kalkung werden von der nach Landesrecht für die landwirtschaftliche Beratung zuständigen Behörde vorgegeben. Unterdessen gibt es auch deutschlandweit verbindliche Empfehlungen vom VDLUFA, die bei der zuständigen Behörde vorliegen.

Tabelle 4: Rangfolge der Kulturen hinsichtlich ihrer Ansprüche an die Bodenreaktion

1. Gruppe	sehr stark kalkbedürftig; Ertragsverlust³ 50 bis 30 %; Winterraps ¹ , Futterrübe ¹ , Luzerne ¹ , Ackerbohne ¹ , Sommergerste ¹ , Leindotter, Zuckerrübe ¹
2. Gruppe	stark kalkbedürftig; Ertragsverlust³ 30 bis 20 %; Durum, Sommerraps ¹ , Rotklee ¹ , Wintergerste ¹ , Sommerweizen, Triticale, Hafer, Senf ¹
3. Gruppe	mittel kalkbedürftig; Ertragsverlust³ 20 bis 10 %; Winterweizen, Weidelgras ² u.a., Kartoffeln, Wicken, Sommerroggen, Ölrettich, Mais ²
4. Gruppe	gering kalkbedürftig; Ertragsverlust³ 10 bis 0 %; Krambe, Erbse, Winterroggen, Sonnenblume, Öllein, Lupine, Seradella

¹ Kulturen erwiesen sich im Feldversuch als besonders kalkanspruchsvoll,

² Kultur reagierte im Feldversuch eher stark kalkbedürftig,

³ bei sehr niedriger Kalkversorgung des Bodens.

Phosphor, Kalium und Magnesiumversorgung

Phosphor, Kalium und Magnesium üben wesentliche Funktionen im pflanzlichen Stoffwechsel aus. Mangelt es an ihnen, kommt es zu Wachstumsstörungen, die bis zum Ertragsausfall führen können. Auch hierbei ist die Durchführung von Düngungsfeldversuchen zur Ermittlung von Richtwerten unumgänglich.

Wie bei der Ermittlung der optimalen Bodenreaktion bedarf es auch für Phosphor, Kalium und Magnesium einer Eichung des Ertragsverhaltens in Abhängigkeit vom pflanzenverfügbaren Nährstoffgehalt im Boden. Die so ermittelten Nährstoffgehaltsklassen (Tabelle 5) stellen die Grundlage zur Düngungsberatung dar.

Tabelle 5: Definition der P-, K- und Mg-Gehaltsklassen für den leichtlöslichen (pflanzenverfügbaren) Nährelementgehalt im Boden und Düngungsempfehlungen (VDLUFA-Rahmenschema, 1997)

Gehaltsklasse (GK)	Definition
A	<p><u>Sehr niedriger Gehalt</u></p> <p>Düngungsempfehlung: stark erhöhte Düngung gegenüber der Empfehlung in GK C</p> <p>Düngewirkung: auf Ertrag: hoher Mehrertrag auf Boden: Gehalt im Boden steigt deutlich an</p>
B	<p><u>Niedriger Gehalt</u></p> <p>Düngungsempfehlung: erhöhte Düngung gegenüber der Empfehlung in GK C</p> <p>Düngewirkung: auf Ertrag: mittlerer Mehrertrag auf Boden: Gehalt im Boden steigt an</p>
C	<p><u>Anzustrebender Gehalt</u></p> <p>Düngungsempfehlung: Erhaltungsdüngung in Höhe der Nährstoffabfuhr</p> <p>Düngewirkung: auf Ertrag: geringer Mehrertrag auf Boden: Gehalt im Boden bleibt erhalten</p>
D	<p><u>Hoher Gehalt</u></p> <p>Düngungsempfehlung: verminderte Düngung gegenüber der Empfehlung GK C</p> <p>Düngewirkung: auf Ertrag: Mehrertrag meist nur bei Blattfrüchten auf Boden: Gehalt im Boden nimmt langsam ab</p>
E	<p><u>Sehr hoher Gehalt</u></p> <p>Düngungsempfehlung: keine Düngung</p> <p>Düngewirkung: auf Ertrag: keine auf Boden: Gehalt im Boden nimmt ab</p>

Unterdessen gibt es hierfür, wie auch bei den pH-Klassen und beim Kalkbedarf deutschlandweit verbindliche Empfehlungen vom VDLUFA, die bei der zuständigen Behörde vorliegen. Damit ist jedoch nicht gleichzeitig deren verbindliche Anwendung gegeben. Diese sind mit den in den neuen Bundesländern seit langem zugrunde gelegten Richtwerten weitgehend identisch, so dass die folgenden Versuchsergebnisse in diesem Zusammenhang zu betrachten sind.

Von besonderem Interesse ist seit jeher die Frage, ob bei standortbedingt niedrigem Ertragsniveau geringere Nährstoffgehalte des Bodens angestrebt werden können als bei hohem. Dies ist nicht der Fall. Überraschenderweise liegen die Mehrerträge durch P bzw. K-Düngung sowohl bei niedrigem als auch bei hohem Ertragsniveau in vergleichbarer Größenordnung. Dabei kommt deutlich zum Ausdruck, dass die Mehrerträge durch Düngung eng mit dem P- bzw. K-Gehalt des Bodens korrelieren, das heißt, sie sind in den Gehaltsklassen A und B hoch und in den Gehaltsklassen D und E von untergeordneter Bedeutung bzw. bleiben aus.

Die Tabellen 6 und 7 enthalten die Ertragsreaktion wichtiger, flächenbedeutsamer Kulturen.

Vor allem die Blattfrüchte zeigen eine überdurchschnittliche Reaktion auf die P-Düngung, wobei der Mehrertrag bei Mais in allen P-Gehaltsklassen besonders hoch

ist. Unter der Getreidearten ist der hohe Anspruch der Wintergerste an die P-Versorgung auffällig.

Bei der K-Düngung sind die Mehrerträge der Hack- bzw. Blattfrüchte erstrangig, wobei auch hier der Mais neben Kartoffeln und Rüben beachtenswerte Ansprüche anzeigt. Im Getreidebau könnte dem Hafer eine gewisse Vorrangrolle zukommen. In den in den Tabellen 6 und 7 ausgewerteten Versuchsserien wurden nur wenige Versuche mit Winterraps durchgeführt und insofern nicht in die Auswertung als repräsentative Ergebnisinformation einbezogen. Die ab Mitte der 90er Jahre auf Versuchsstationen in Thüringen durchgeführten Düngungsversuche zu Winterraps lassen bisher den vorläufigen Schluss zu, dass die durch P bzw. K-Düngung erzielten Mehrerträge in Abhängigkeit vom P bzw. K-Gehalt des Bodens in etwa mit denen im Mittel der Getreidearten vergleichbar sind.

Tabelle 6: Relative Mehrerträge ausgewählter Kulturen durch P-Düngung in Abhängigkeit von der Gehaltsklasse. Ergebnisse aus ca. 600 Feldversuchen in Ostdeutschland

P-Gehaltsklasse DL-Methode	Kultur	Mittlerer Mehrertrag relativ
A	Mais	40
	Futter- und Zuckerrüben	27
	Wintergerste	24
	Kartoffeln	23
	Winterroggen, Winterweizen, Sommergerste, Hafer	15
	Winterraps ¹⁾	13
B	Mais	30
	Wintergerste	18
	Kartoffeln	17
	Futter- und Zuckerrüben	10
	Winterroggen, Winterweizen, Sommergerste, Hafer	8
	Winterraps ¹⁾	9
C	Mais	20
	Wintergerste	9
	Winterroggen, Winterweizen, Sommergerste, Hafer	5
	Kartoffeln	3
	Winterraps ¹⁾	3

¹⁾ Ergebnisse nur aus Thüringen

Tabelle 7: Relative Mehrerträge ausgewählter Kulturen durch K-Düngung in Abhängigkeit von der Gehaltsklasse. Ergebnisse aus ca. 600 Feldversuchen in Ostdeutschland

K-Gehaltsklasse DL-Methode	Kultur	Mittlerer Mehrertrag relativ
A	Kartoffeln	40
	Mais	38
	Hafer	23
	Futter- und Zuckerrüben	14
	Wintergerste, Winterroggen, Winterweizen, Sommergerste	10
	Winterraps ¹⁾	12
B	Futter- und Zuckerrüben	16
	Kartoffeln	15
	Mais	14
	Hafer	13
	Wintergerste, Winterroggen, Winterweizen, Sommergerste	8
	Winterraps ¹⁾	7
C	Mais	13
	Kartoffeln	9
	Hafer	8
	Wintergerste	7
	Winterroggen, Winterweizen, Sommergerste	5
	Winterraps ¹⁾	5

¹⁾ Ergebnisse nur aus Thüringen

Versuchsserien mit umfangreicher Datenbasis zu Fragen der Mg- Versorgung der Pflanzen führten zu treffsicheren Aussagen bezüglich der Ertragsreaktionen der Kulturen in Abhängigkeit vom Mg- Versorgungszustand des Bodens. In diesem Zusammenhang wird in Tabelle 8 mit dem Ertragsergebnissen aufgezeigt, dass auf leichten, tonarmen Böden nur geringe Mg- Reserven wirken und damit eine ausreichend hohe Mg- Zufuhr insbesondere bei Vorliegen von Mg- Gehaltsklassen A und B zu erheblichen Mehrerträgen führt. Mit zunehmendem Tongehalt der Böden vermindert sich der Ertrageinfluss einer Mg-Düngung. Bei hohen und sehr hohen Mg-Gehalten des Bodens (Mg-Gehaltsklasse D und E) bleiben Mehrerträge durch Mg-Düngung weitgehend aus.

Tabelle 8: Mittlerer Relativertrag¹⁾ in Abhängigkeit von Mg-Gehalt des Bodens

Bodenart	Mg-Gehaltsklasse				
	A	B	C	D	E
leicht	75	85	95	98	100
mittel	80	90	95	98	100
schwer	85	90	95	100	100
Mittel	80	90	95	100	100

¹⁾ Höchstertrag 100 % gesetzt

Mg-Düngung in der Praxis

Zur Mg-Düngung gibt es in der Praxis oft mehr Fragen als zur Phosphor- und Kaliversorgung von Boden und Pflanze. Die wirksamste Maßnahme einer Mg-Zufuhr erfolgt durch Bodendüngung. Dabei sind die mit der organischen Düngung zugeführten Mg-Mengen nach der Mineralisierung der organischen Substanz ebenso gut pflanzenverfügbar wie die der Mineraldünger. Infolge des hierbei vorliegenden Angebotes von Ein- und Mehrnährstoffdüngern sind die Möglichkeiten der Mg-Zufuhr in großer Vielfalt vorhanden.

Oft wird der Einfluss der Bodenreaktion auf den Mg-Gehalt des Bodens und dessen Pflanzenverfügbarkeit diskutiert. Die hierzu durchgeführten Untersuchungen führten zu der Aussage, dass im anzustrebenden optimalen pH-Bereich der pH-Klasse C und auch bei suboptimalen pH-Werten des Bodens (pH-Klasse B) kein negativer Einfluss auf die Pflanzenverfügbarkeit des Mg-Gehaltes im Boden besteht. Eher lässt sich in diesen pH-Bereichen im Trend eine positive Wirkung auf den pflanzenverfügbaren Mg-Gehalt des Bodens ableiten.

Ein schon immer in der Praxis angewandtes und bewährtes Verfahren bei Mg-Düngungsbedarf ist auf sauren Böden die Zufuhr von Mg-haltigen Kalken. Infolge der Vielfalt der im Handel angebotenen Mg-haltigen Kalkdünger sind ausreichende Möglichkeiten zur Wahl der einzusetzenden Kalkformen gegeben. Dabei sind bekannterweise auf leichten Böden karbonatische Kalkdünger den Branntkalken zu bevorzugen. Auf Böden mit optimaler Bodenreaktion, aber zugleich hohem Mg-Bedarf empfiehlt sich die Anwendung von Mg-haltigen Mehrnährstoffdüngern bzw. Mg-Spezialdüngern, wie u. a. von Kieserit. Die Zufuhr von Mg-freien Kalken kann auf Böden mit weniger hohen Mg-Reserven zumindest vorübergehend den pflanzenverfügbaren Mg-Gehalt des Bodens beeinträchtigen. Offenbar ist das Magnesium im Boden relativ leicht aus seinen Bindungsstellen durch ein Überangebot von Ca-Ionen zu verdrängen.

Für die Behandlung einer sichtbaren oder auch mittels Pflanzenuntersuchung festgestellten, unzureichenden Mg-Ernährung des wachsenden Bestandes kommt nur eine Mg-Blattdüngung in Betracht. Durchgeführte Untersuchungen über die dabei vorteil-

hafteste Mg-Bindungsform ergaben, dass sowohl MgCl_2 als auch MgSO_4 günstige Aufnahmeraten erreichten, wobei in der Düngungspraxis vornehmlich die letztere Form gebräuchlich ist. Die dabei in der Fachliteratur häufig angegebene Dosis einer 5 %-igen Bittersalzlösung kann nach eigenen Untersuchungen bis auf maximal 10 % erhöht werden, ohne dabei phytotoxische Schäden befürchten zu müssen. Diese Empfehlung gilt gleichermaßen für die Anwendung von MgSO_4 bei Schwefelbedarf der Kulturen.

1.6 Fazit

Im intensiven Pflanzenbau kommt einer optimalen Bodenreaktion vorrangige Bedeutung zu, wobei diese in einem engen Zusammenhang mit dem „Kalkanspruch“ der einzelnen Kultur zusehen ist. Hierfür wurden die flächenhaft bedeutsamsten Kulturpflanzen entsprechend klassifiziert. Die notwendige Zufuhr von Phosphor, Kalium und Magnesium ist weitgehend vom Nährstoffgehaltspotenzial des Bodens abhängig. Nur auf diese Weise ist die Düngerbemessung im Sinne optimaler Ertragsleistungen auch ökonomisch sinnvoll und zugleich umweltverträglich.

2. Standortvariabilität und Nachweis von Effekten einer differenzierten Grunddüngung

Vor rund 10 Jahren begann man in der Praxis mit der GPS-gestützten Beprobung und Bodenuntersuchung. In diesem Zeitraum konnte sich dieses Verfahren in den meisten Betrieben fest etablieren. Mittlerweile werden in den ostdeutschen Bundesländern in jedem zweiten landwirtschaftlichen Unternehmen zumindest Teile der Betriebsfläche nach diesem Verfahren beprobt. Neuesten Umfragen zufolge wird sich dieser Anteil in den nächsten 2 Jahren sogar auf rund 2/3 aller größeren Betriebe (>200 ha) erhöhen. Damit kann man wohl konstatieren, dass sich die GPS-gestützte Bodenuntersuchung durchgesetzt hat.

2.1 Beprobungsraster und Ausrichtung

Aufgrund vielfältiger wissenschaftlicher Untersuchungen weiß man, dass man für eine entsprechende Aussagegüte je nach Standort Beprobungsraster zwischen 0,25 und 0,75 ha wählen sollte. Diese haben sich aus Kostengründen bisher nicht durchsetzen können. Weit verbreitet sind heute feste 1-, 3- und auch noch 5 ha Raster. Diese eher gröberen und starren Raster werden allerdings zunehmend qualifiziert, indem man versucht, die Beprobungsraster an Merkmalen der Standortvariabilität auszurichten. Es gilt die Annahme, dass die Bodenart Beziehungen aufweist zum Gesamtvorrat eines Nährstoffs, dessen Sorptions- und Desorptionseigenschaften und zum Ertrag sowie demzufolge zum Entzug eines Nährstoffs.

Als Merkmal für eine gerichtete Probenahme (variables Raster) benutzte man zunächst die Karten der Reichsbodenschätzung. Bei der Überprüfung dieses Merkmals in der Praxis musste man schnell erkennen, dass die räumliche Ausprägung des Merkmals Bodenart zu ungenau und stellenweise falsch ist. Auch die Bodenartbestimmung aus dem Oberboden führte zu keinem besseren Ergebnis. Die Standortvariabilität wird leider nur zu einem sehr geringen Teil durch den Oberboden wiederspiegelt. Die Differenzierung wird eher durch Bodenart und Schichtung in tieferen Bereichen hervorgerufen. Die Beprobung nach Ertragsmustern schien zunächst ein zielführender Lösungsansatz zu sein. Allerdings stellt man bei der Auswertung von mehrjährige Ertragskarten der gleichen Kulturart fest, dass diese Muster weder absolut noch relativ konstant waren. Der jährliche Einfluss der Witterung überdeckt hier den scheinbaren Zusammenhang zwischen Bodenart und Ertrag. So können Hohertragszonen in einem trockenerem Jahr schnell zu Niedrigertragszonen in einem nasen Jahr werden.

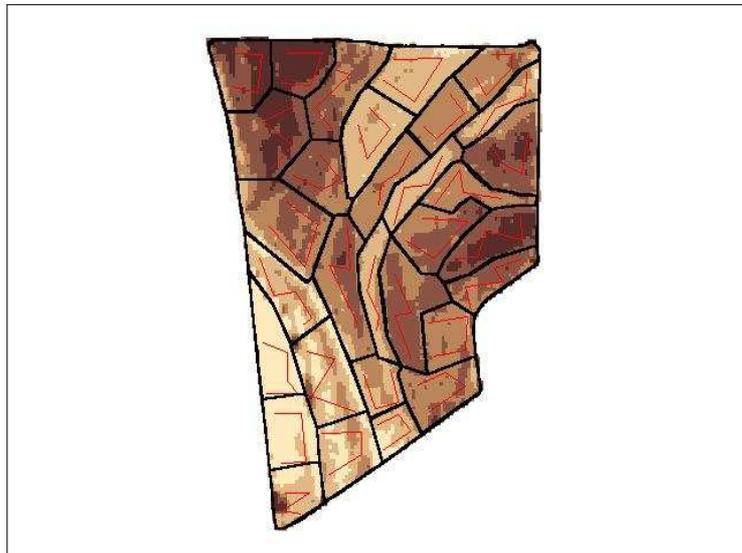


Abbildung 1: Beprobungsraster nach BodenScanner Messungen

Als äußerst stabiles und über die Zeit reproduzierbares Merkmal hat sich die Messung der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit (BodenScanner) herausgestellt. Diese aus der Geologie stammende Methodik misst die relative Veränderung des Ton- und Schluffgehaltes (Feinerdeanteil) über einen Horizont von 0 bis etwa 120 bis 150 cm Tiefe. Es entstehen Relativkarten der Verteilung der Bodengüte. Eine direkte Ableitung der Bodenart bzw. der Schichtung ist allerdings nicht möglich. Auf Basis dieser Karten kann sichergestellt werden, dass die Einzelprobe innerhalb einer Bodengüteklasse gezogen werden kann. Somit werden immer Areale mit gleichen Sorptions- und Desorptionseigenschaften beprobt. Zwischen der Bodengüte (Leitfähigkeitsklassen) und dem Ertrag besteht ein von Jahr zu Jahr wechselnder oftmals nichtlinearer Zusammenhang, wobei klimatisch sich ähnelnde Jahre zu ähnlichen/gleichen Zusammenhängen führen.

2.2 Wiederholbarkeit der Bodenuntersuchung

In den letzten Jahren hat es wiederholt Hinweise und Einwände bezüglich der Reproduzierbarkeit eines Nährstoffgehaltes gegeben. So würden die Aussagen zur Nährstoffverteilung bei einer direkten Wiederholung oder zeitlich versetzten Probenahme oder Veränderung des Rasters gänzlich voneinander abweichen. Dies kann so nicht bestätigt werden. Mittlerweile gibt es Betriebe, die Ihre gesamte Fläche (oftmals > 1.000 ha) jetzt zum dritten mal GPS-gestützt beproben. Zwischenzeitlich wurden in den Betrieben die Probenahmeraster von 5 ha auf 3 abgesenkt. Sowohl das allgemeine Versorgungsniveau, als auch die Differenzierung (hoher – niedriger Nährstoffgehalt) bleibt über die Zeit relativ stabil erhalten. Die Nichtreproduzierbarkeit

von Bodenuntersuchungen ist eher im Zusammenhang mit der Qualität der Probenahme zu sehen. Insbesondere bei Punktbeprobungen und auch bei nichtdokumentierten Beganglinien häufen sich in der Praxis diese Phänomene. Als Qualitätsmerkmal bei der GPS gestützten Bodenuntersuchung sollte deshalb immer die Beganglinie mit angegeben werden.

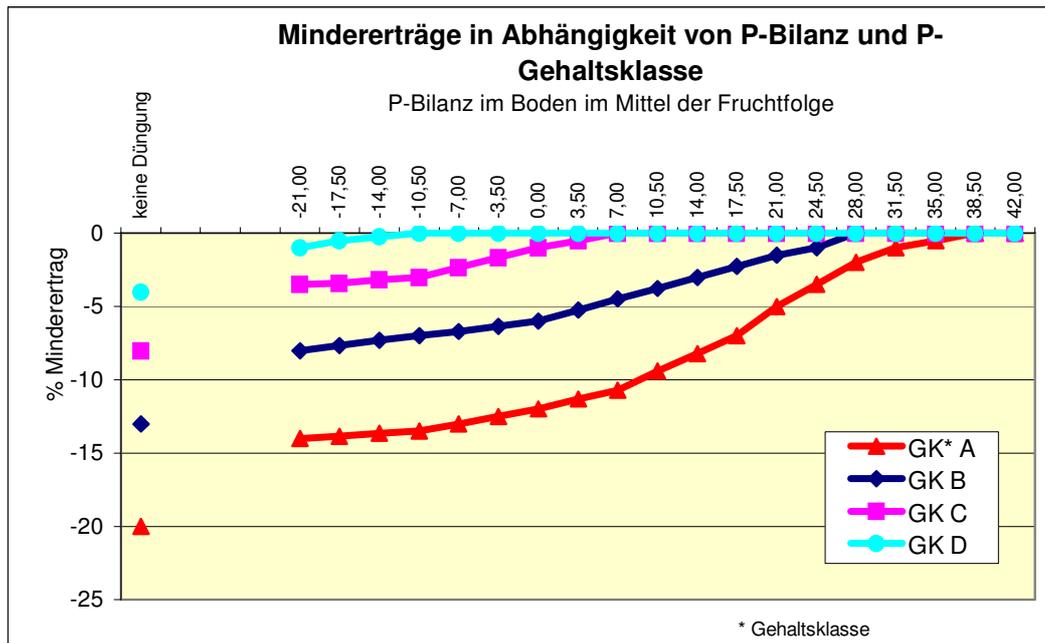
2.3 Technische Umsetzung

Obwohl mehr als die Hälfte aller Betrieb Aussagen über die unterschiedlichen Nährstoffgehalte ihrer Flächen vorliegen haben, setzen nur rund 5-7 % diese Information in eine teilflächenspezifische Düngung um. Woran liegt das? Zum einen liegt es wohl in den fehlenden Managementsystemen bzw. Düngeplanungsprogrammen begründet. Eine Teilflächenspezifische Düngeplanung ist bis heute immer noch eine Domäne der Dienstleister. Entsprechende Softwareprogramme mit einer robusten Anbindung an die Applikationstechnik fehlen in den meisten Betrieben.

Zum anderen liegt es auch einfach daran, dass elektronisch regelbare Ausbringege­räte in den meisten Betrieben doch noch fehlen. Hersteller von Großflächenstreuern berichten allerdings, dass der Anteil von elektronisch geregeltem Geräten innerhalb der letzten drei Jahre von 20 % auf über 70 % angestiegen ist. Auch die erfolgreiche Einführung des Hydro N-Sensors wird hier zu einer weiteren Zunahme führen können. Denn, jedes Hydro N-Sensor System ist zusätzlich auch zur teilflächenspezifischen Grunddüngung auf der Basis von Applikationskarten in der Lage. Waren 1996/97 die meisten der Applikationssysteme (ca. 20 Stück) bei den Dienstleistern/Lohnunternehmen angesiedelt, so muss man heute von etwa 250 einsatzfähigen Systemen in den landwirtschaftlichen Betrieben ausgehen.

2.4 Was bringt eine differenziert Grunddüngung?

Die Zusammenhänge zwischen Nährstoffgehalten, Düngung und deren Einfluss auf den Ertrag einer Kultur sind prinzipiell bekannt. Die Grundlagenforschung in Deutschland stellt hier über umfangreiche und langjährige Versuchsserien entsprechende Ergebnisse zur Verfügung.



Grafik 1 zeigt hier den prinzipiellen Zusammenhang zwischen Gehaltsklasse, Düngungshöhe und dem Ertrag für Phosphor (Quelle: Kerschberger u.a.). Spätestens mit den ersten 10.000 ha GPS-gestützten Bodenuntersuchungen ist auch das Ausmaß der Variabilität der Nährstoffgehalte bekannt. Aus beiden Faktoren ließen Modellrechnungen Mitte der neunziger Jahre vermuten, dass sich eine teilflächenspezifische Grunddüngung rentiert.

2.5 Nachweis in der Praxis

Im Rahmen eines durch das BMBF+T geförderten Forschungsprojektes „preagro“ konnte am Standort Raguhn in Sachsen-Anhalt eine dreijährige Versuchsserie zum Nachweis der Effekte einer teilflächenspezifischen Grunddüngung angelegt werden. Bedingung war, dass sich die Versuchsserie an praxisüblichen Verfahrensweisen orientiert. Die Versuche wurden in 8 Betrieben auf einer Gesamtfläche von knapp 1000 ha angelegt. Die Flächen wurden alle mit dem BodenScanner hinsichtlich ihrer Heterogenität beurteilt.

2.6 Versuchsdurchführung

Aufbauend auf der BodenScanner-Messung wurde eine GPS-gestützte Beprobung im 1 ha Raster durchgeführt und auf P, K, Mg und pH Wert untersucht. Auf den Versuchsfeldern wurde durch eine differenzierte Kalkung in allen Versuchsgliedern der Ziel pH-Wert versucht einzustellen. Die mittleren Nährstoffgehalte zeigt nebenste-

hende Tabelle. Die Schwankungsbreite der Nährstoffgehalte lag bei Phosphor zwischen 5 und 20 mg/100 g, bei Kalium zwischen 9 und 42 mg/100g und bei Magnesium zwischen 3 und 14 mg/100 g. Insgesamt waren die Versuchsfelder im Mittel recht gut versorgt (Gehaltsklassen C und D).

Tabelle 1: Nährstoffgehalte der Versuchsglieder

Nährstoffgehalt [mg/100g Boden]				
	pH-Wert	P	K	Mg
VG1	6,4	9	20	7
VG2	6,5	11	22	7
VG3	6,5	9	20	7
VG4	6,5	9	20	7

Zur Beurteilung der Effekte einer Teilflächendüngung wurden folgende Versuchsglieder angelegt:

VG 1: 0-Parzelle; keine Düngung

VG 2: konstante Düngung nach mittlerem Nährstoffgehalt und mittlerem Entzug,

VG 3: variable Düngung nach einzelnen Nährstoffgehalten und diff. Entzug

VG 4: variable Düngung nach Entzug; ersetzt, was im Vorjahr entzogen worden ist;

Die Grunddüngung wurde je nach Bedarf für einen, zwei oder auch drei Nährstoffe, aber immer für alle Versuchsglieder nach dem entsprechenden Planungsalgorithmus durchgeführt. Der mittlere Nährstoffeinsatz ist in Tabelle 2 ersichtlich.

Tabelle 2: Applikationsmengen der Versuchsglieder als dreijähriges Mittel

Durchschnitt kg NS/ha * Jahr			
	P	K	Mg
VG1	0	0	0
VG2	17	17	8
VG3	21	29	9
VG4	24	95	13

Auffällig sind vor allem die hohen Kaliummengen bei VG 4. Das Nichtberücksichtigen der aktuellen Bodenversorgung bei der reinen Entzugsdüngung führt dort zu sehr hohen Applikationsmengen. Versuchsglied 3 liegt tendenziell etwas über den Mengen von Versuchsglied 2.

Der Planungsalgorithmus basiert im wesentlichen auf den in Sachsen-Anhalt von der LUFA empfohlenen Ansätzen zur Düngungsplanung.

2.7 Versuchsauswertung

Für alle ausgewerteten Schläge liegen digital, lückenlos und in hoher technologischer Qualität as-applied Karten der Applikation, Ertragskarten, Nährstoffkarten und BodenScannerkarten (siehe Abb. 2) vor. Im Erntejahr 2000 konnten diesen Anspruch nur 5 Felder mit einer Gesamtfläche von 250 ha, im Erntejahr 2001 10 Felder mit einer Gesamtfläche von 380 ha und 2002 6 Felder mit einer Gesamtfläche von 380 ha genügen. Der hohe Abgang an Versuchsfläche liegt darin begründet, dass z.B. keine kartierfähige Frucht (z.B. ZR) angebaut wurde oder dass eine von den o.g. Prämissen nicht erfüllt werden konnte.

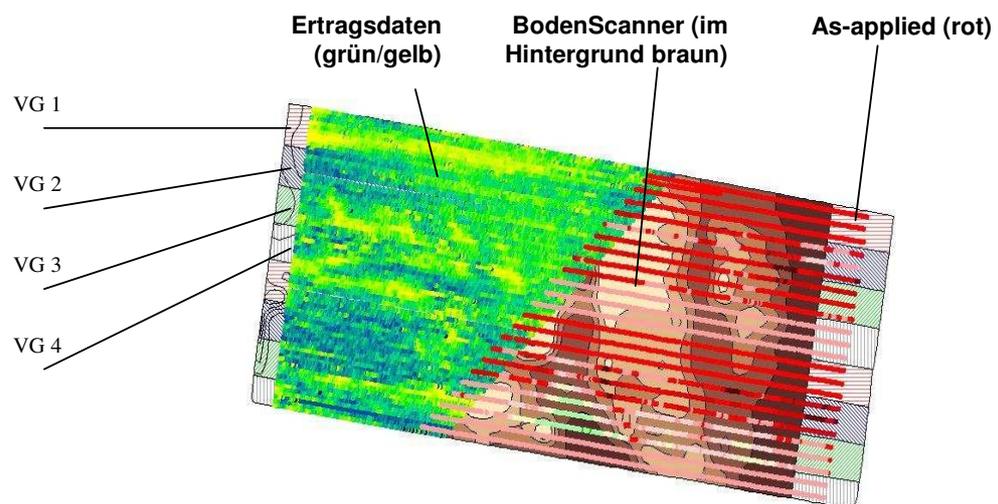


Abbildung 2: Versuchsglieder und Daten'schichten'

2.8 On Farm Research

Erfolgreiche Versuche zur Ermittlung des Effektes einer teilflächenspezifischen Applikation müssen:

- erstens eine gewisse Heterogenität des Steuermerkmals (z.B. Ertrag oder Nährstoffverteilung) aufweisen (ist bei größeren Flächen (fast) immer gegeben) und
- zweitens müssen die Ergebnisse über vergleichbare Standorteigenschaften (hier BodenScannerklassen= Klassen gleicher Standortgüte) wieder normiert werden.

Damit wird die Vergleichbarkeit der betrachteten Versuchsglieder hergestellt. Jedes Versuchsglied ist somit mathematisch gleich heterogen.

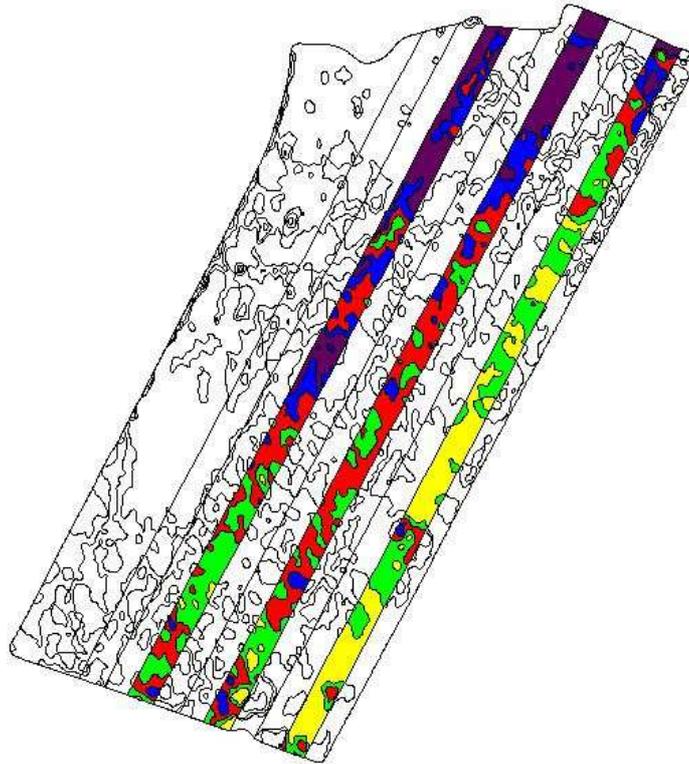


Abbildung 3: Die einzelnen Anteile unterschiedlicher BodenScannerklassen werden farblich für ein Versuchsglied dargestellt. Keine dieser drei Wiederholungen des Versuchsgliedes 2 ist gleich heterogen.

Aus diesem Grund werden die Ertragsdaten nach Versuchsglied (VG) und BodenScannerklasse einzeln dargestellt. Tabelle 3 zeigt exemplarisch die Erträge eines Schlages von einem Erntejahr für jedes einzelne Versuchsglied und BodenScannerklasse. Die Erträge der Spalte „Mittel“ geben einen normierten mittleren („synthetischen“) Ertrag des Versuchsgliedes an, wenn dieses Versuchsglied zu gleichen Teilen aus den BodenScannerklassen 1 bis 5 bestehen würde.

Je BodenScannerklasse und Versuchsglied werden etwa 400-1000 Einzelbeobachtungen betrachtet.

Tabelle 3: Ertrag nach Versuchsglied und BodenScannerklasse

	BodenScannerklassen					Mittel
	1	2	3	4	5	
VG 1	39,25	49,67	55,27	43,69	41,64	45,9
VG 2	43,73	44,27	52,44	54,65	59,67	50,95
VG 3	42,67	45,74	52,06	61,13	63,14	52,95
VG 4	44,49	43,49	48,53	55,84	48,89	48,25

2.9 Einzelergebnisse

Das Erntejahr 2000 war gekennzeichnet von einem sehr trockenem Witterungsverlauf. Geringe Niederschläge während der Vegetationszeit mit geringer Mineralisierungsleistung. Insgesamt wurde nur ein Durchschnittsertrag von 55 GE dt/ha realisiert. VG 3 war mit einer Ertragssteigerung von über 10 % dem VG 1 und VG 3, die rund 8 % erzielten, überlegen. Dieses Jahr zeigt eindrucksvoll die enorme Ertragswirksamkeit einer frischen Grunddüngung bei Pflanzenbeständen unter Stressbedingungen.

Das Jahr darauf (2001) war durch einen deutlich höheren Ertrag von immerhin 78 GE/ha gekennzeichnet. Während der gesamten Vegetationsperiode trat kaum Wasserstress auf. Gut verteilte Niederschläge führten zu einer höheren Mineralisation von organischer Substanz und zu einem aktiven Sorptions-/Desorptionsverhalten an den Tonmineralen. Die Mehrerträge fallen geringer als im Vorjahr aus. Berücksichtigt man den deutlich höheren Ertrag so erreichen die absoluten Mehrerträge aber einen recht plausiblen Bereich (2000: 3,7-5,5 GE/ha; 2001 1,6-3,2 GE/ha).

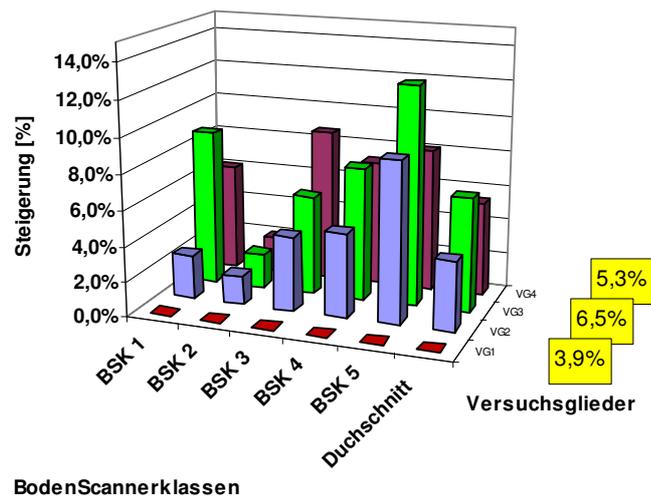
Das Jahr 2002 ordnet sich in der Ertragshöhe mit 65 dt/ha zwischen den beiden Vorjahren ein. Vorsommertrockenheit führte zur Begrenzung der Ertragsbildung. Der Ertragszuwachs gegenüber der ungedüngten Variante liegt bei 2,5-5,2 % und damit bei rund 1,5 – 3,3 GE/ha auf einem vergleichbaren Niveau wie im Vorjahr.

Tabelle 4: Ertragssteigerung nach Versuchsglied und Jahr

	Ertragssteigerung			Mittel
	2000	2001	2002	
VG1	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
VG2	7,50%	1,70%	2,50%	3,90%
VG3	11,50%	2,70%	5,20%	6,50%
VG4	8,10%	4,00%	3,90%	5,30%

2.10 Zusammenfassung der Ergebnisse:

1. Insgesamt kann man einschätzen, dass in diesen Versuchen mittlere Mehrerträge von 4-8 % durch eine Grunddüngung erreicht worden sind.
2. Variable Grunddüngung war der konstanten mit 2,6 bzw. 1,4 % Mehrertrag überlegen.
3. Betrachtet man die dreijährigen Ergebnisse als Mittelwerte innerhalb der BodenScannerklassen (siehe Grafik 2), so fallen insbesondere die enormen Ertragszuwächse (6-12 %) bei der variablen Düngung (VG 3 und 4) in den BodenScannerklassen 1, 4 und 5 auf.
4. Gerade in kritischen Jahren mit vielen Stressfaktoren für die Pflanzen führt eine frische Grunddüngung zu hohen Mehrerträgen.



Grafik 2: Ertragssteigerung nach Versuchsglied und BodenScannerklasse als dreijähriges Mittel

2.11 Betriebswirtschaftliche Bewertung

In der Gesamtbeurteilung werden die Mehrerlöse den Mehrkosten des entsprechenden Applikationsverfahrens gegenübergestellt. Bei den Mehrkosten kommen die tatsächlich ausgebrachten Nährstoffe und auch die Mehrkosten des Verfahrens, bedingt durch die entsprechende Wahl des Düngungsalgorithmus, zum Ansatz.

	VG 2	VG 3	VG 4
	€/ha*Jahr	€/ha*Jahr	€/ha*Jahr
Mehrerlöse	29,71	50,97	42,82
Mehrkosten	25,72	34,51	52
Mehrgewinn	3,99	16,46	-9,18

Tabelle 5: Aufstellung der Mehrerlöse und –kosten der Versuchsglieder

VG 4 scheidet letztendlich aufgrund zu hoher Düngerkosten aus. VG 2 und 3 führen zu einem Mehrgewinn von 4 bis 17 €/ha. Selbst auf eher gut versorgten Standorten (Gehaltsklasse D/C) konnte noch eine beträchtliche Wirkung einer differenzierten Grunddüngung gemessen werden. Als grobe Orientierung für die Wirkung einer teilflächenspezifischen Kalk- und Grunddüngung bei einem Betrieb, der im Durchschnitt C versorgt ist, können Mehrgewinne in Höhe von 20-30 €/ha und Jahr angenommen werden.

Die teilflächenspezifischen Applikation unter Berücksichtigung des teilflächenspezifischen Nährstoffgehaltes und Entzuges erbrachte in dieser Versuchsserie mit Abstand das beste betriebswirtschaftliche Ergebnis (+16,50 €/ha*Jahr). Die Versuchsserie bestätigte die schon vor Jahren angenommene Vorteilswirkung einer teilflächenspezifischen Kalk- und Grunddüngung.