

Bernburger Agrarberichte

Heft 2/2002

„Bodenbeprobung und Düngung“

Inhalt:

Vorwort

Fernerkundung als Datengrundlage für die Bodenbeprobung und teilflächenspezifische Düngung DOHMEN, B.	4
Aspekte der Bodenprobenahme zur Düngebedarfsermittlung HEROLD, L.; KERSCHBERGER, M.	8
Stand und Entwicklung der ph-Versorgung der landwirtschaftlichen Flächen in Sachsen-Anhalt v. WULFFEN, U.	12
Gezielte Bodenbeprobung – Grundvoraussetzung für eine effektive Umsetzung der Düngeverordnung und Gebot wirtschaftlicher Vernunft HOPPE, B.	17
Methodische Grundlagen für eine teilflächenspezifische Bewirtschaftung, dargestellt am Beispiel Grundnährstoff-Düngung SCHRÖDTER, M.; HOLZ, F.	21
Präzise düngen mittels Applikationskarten WAGNER, U.	25
Georeferenzierte Bodenprobenahme auf landwirtschaftlichen Flächen als Grundlage für eine teilflächenspezifische Düngung mit Grundnährstoffen VDLUFA - Standpunkt	30
Grundlagen der Düngebedarfsermittlung für eine gute fachliche Praxis beim Düngen HOLZ, F.	39

IMPRESSUM

Herausgeber: Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau
des Landes Sachsen-Anhalt
Strenzfelder Allee 22, 06406 Bernburg
Tel.: (03471)334-0; Fax: (03471)334-105
www.llg-lsa.de

Diese Veröffentlichung ist urheberrechtlich geschützt.
Eine Veröffentlichung und Vervielfältigung (auch auszugsweise) ist nur mit schriftlicher
Genehmigung des Herausgebers gestattet.

VORWORT

Am 31.01.2002 fand eine gemeinsame Veranstaltung zwischen der Hochschule Anhalt, FB 1, Bernburg, der Firma AGROSAT-Consulting GmbH Baasdorf und der Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau des Landes Sachsen-Anhalt statt. Das Thema Bodenbeprobung und Düngung lockte über 100 interessierte Zuhörer nach Bernburg. Die Beiträge der Referenten sind im vorliegenden Heft zusammengefasst.

DIE REDAKTION

Fernerkundung als Datengrundlage für die Bodenbeprobung und teilflächenspezifische Düngung

DOHMEN, B.
Hochschule Anhalt

Schon immer wussten die Landwirte um die Ertragsschwankungen auf ihren bewirtschafteten Schlägen. Erste Veröffentlichungen zum teilschlagspezifischen Pflanzenbau gab es bereits 1929 durch LINSLEY und BAUER. Entsprechend aufwendige Forschungsarbeiten der letzten 20 Jahre haben aufgezeigt, dass nahezu alle untersuchten Ackerflächen Inhomogenitäten hinsichtlich der Bodenbeschaffenheit aufweisen, die zu einem unterschiedlichen Wachstum der Kulturpflanzen führen. In der flächenmäßig kleinstrukturierten Landwirtschaft unserer Vorfahren hat man versucht, dieser Tatsache durch eine entsprechende Schlageinteilung Rechnung zu tragen. Mit zunehmender Schlaggröße infolge des Mechanisierungszwanges musste dieses Prinzip aber aufgegeben werden, um Maschinen wirtschaftlich nutzen zu können.

Die heute übliche einheitliche Behandlung eines Einzelschlages mit Saatgut-, Dünge- und Pflanzenschutzmitteln wird den kleinräumig auftretenden Bodenunterschieden nicht gerecht. Das führt aus ökonomischer Sicht zu einer Wirtschaftsweise, bei der die eingesetzten Produktionsmittel nicht optimal ausnutzt werden. Diese Problematik nimmt mit wachsender Schlaggröße zu und ist vor allem für die großflächige Agrarstruktur Sachsen-Anhalts evident. So werden z.B. in den fertileren Zonen eines Schlages infolge der einheitlichen Düngung die dort möglichen Ertragspotentiale nicht voll ausgeschöpft. Es kommt sogar mittel- und langfristig zu einer Negativbilanz, die sich irgendwann durch sinkende Erträge bemerkbar macht. Umgekehrt führt eine Durchschnittsdüngung in den weniger fertilen Zonen zu einem Nährstoffüberangebot, das von der Pflanze nicht umgesetzt werden kann. Man hätte den gleichen Ertrag auch mit weniger Input erzielen können, was einer Faktorverschwendung gleichkommt. Derzeit wird auf die Landwirte durch sinkende Preise der Agrarprodukte bei gleichzeitig steigenden Produktionskosten wirtschaftlicher Druck ausgeübt. Da in der europäischen Agrarpolitik ein Trend erkennbar ist, bei dem mit weiteren Agrarpreissenkungen bzw. Subventionskürzungen gerechnet werden kann, ist in Zukunft eine Wirtschaftsweise angesagt, die die bevorstehenden Einkommensverluste kompensiert. Ein Weg ist die Einführung der Teilflächenbewirtschaftung. Damit werden im wesentlichen folgende Ziele realisiert:

- Einsparung von Betriebsmitteln bzw. deren effizienterer Einsatz
- Stabilisierung bzw. Erhöhung der Erträge
- Verbesserung der Qualität des Erntegutes
- Senkung der Kosten und Steigerung des Gewinns je Hektar

Das Ziel besteht darin, das Potential aller Teilflächen optimal auszuschöpfen. Den Mehrkosten (Luftbildauswertung, Bodenanalysen, Arbeitszeit, EDV, Elektronik) stehen Mehrerlöse aus einer verbesserten Relation zwischen Produktionsmittelinputs und Ertrag gegenüber (u.a. AMON, MAJEHRKE, REINER 1990).

Ein erfolgversprechendes Teilschlagmanagement benötigt entsprechende Daten, die neben der geographischen Lage eines Schlages interne Unterschiede innerhalb des Schlages wiedergeben. Das betrifft die räumliche Erfassung der Bodenparameter (Bodenart, Bodentyp, Nährstoffgehalte, pH-Werte, Wassergehalte etc.), der Exposition (Neigung des Geländes) und der Ertrags- bzw. Biomassenverteilung innerhalb des Schlages. Darüber hinaus müssen auch Daten aus der Schlaggeschichte wie z.B. frühere Schlagteilungen, unterschiedliche Fruchtfolgen, rekultivierte Wege etc. räumlich aufbereitet werden.

Die Fernerkundung spielt dabei eine bedeutende Rolle und ist ein wichtiges Instrument bei der Datengewinnung. Unter Fernerkundung versteht man die Gesamtheit von Verfahren zur Erfassung der Umwelt und ihrer Veränderungen ohne direkten physikalischen Kontakt. Träger der Informationen ist die elektromagnetische Strahlung, die vom Objekt (Pflanzenbestand, unbewachsener Boden) abgestrahlt und vom Sensor (Flugzeug, Satellit) empfangen wird. Die Umsetzung der empfangenen Messwerte erfolgt in Form von georeferenzierten und digitalen Bilddaten.

Für eine erste Beurteilung der Heterogenität eines Schläges hat sich für die landwirtschaftliche Praxis die Kombination von Satelliten- und Flugzeugfernerkundung mit low-cost-Sensoren als eine effiziente und kostengünstige Informationstechnologie erwiesen. Mit der Fernerkundung wird dem Landwirt ein Instrument angeboten, mit dem zum jeweiligen Zeitpunkt der Boden und Pflanzenbestand in der entsprechenden Schlageinheit charakterisiert werden kann. Bei der Verarbeitung der Fernerkundungsaufnahmen werden aus den verschiedenen Spektralkanälen die Pixelinformationen ermittelt und in unterschiedliche Klassen eingeteilt. Daraus lassen sich qualitative Informationen über die Beschaffenheit des Bestandes oder Bodenoberfläche ableiten. Beispielsweise wird bei der Bestandsanalyse reflektiertes Licht im nahen Infrarot gemessen, um Kenntnis über die aktive Blattmasse bzw. den grünen Blattflächenindex (Green Leaf Area Index) zu erhalten. Aus den Aufnahmen von unbedecktem Boden im nahen Infrarot oder im roten Spektralbereich können Aussagen über die Bodeneigenschaften der obersten Bodenschicht (10 cm) und die Wasserhaltefähigkeit des Bodens abgeleitet werden, sofern keine Störfaktoren (z.B. Mischung von Boden und Pflanzenmaterial) das Bild verfälschen.

Mit dem Einsatz eines im Flugzeug eingebauten Thermalscanners lassen sich Temperaturmessungen im Schlag durchführen. Die vom Scanner gemessene Strahlung wird nach dem Planck'schen Strahlungsgesetz in Oberflächentemperatur umgerechnet. Zur genauen Ableitung der absoluten Temperatur müssen allerdings bestimmte Messparameter bekannt sein. Für eine Relativdarstellung reicht die gemessene Strahlung aus. Über die Aufzeichnungen im thermalen Infrarot können folgende Phänomene innerhalb eines Schläges aufgezeigt werden:

- Inhomogene Temperaturverteilungen
- Räumliche Anomalien in der Wasserversorgung von Pflanzen (Evapotranspiration)
- Räumlich differenzierte Temperaturdynamik (thermale Trägheit) durch Doppelbefliegungen im Laufe eines Tages

Derartige Temperaturunterschiede können insbesondere in Versuchsfeldern zu Verfälschungen der Versuchsergebnisse führen, da z.B. die Jugendentwicklung von Zuckerrüben und Mais signifikant durch die Bodentemperatur beeinflusst wird.

Bei der Interpretation der Luftbilder müssen die Erfahrungen und die Beobachtungen des Landwirtes mit einfließen. Ein Landwirt, der seine Flächen genau kennt, ist in der Lage, einen Teil der Reflexionsunterschiede zu erklären und die hiermit gelieferten Informationen für weitere Entscheidungen zu nutzen. Dieses Monitoring hilft, zu erfahren wie heterogen die Schläge sind und Schlagbegehungen gezielter zu planen. Dabei sind weitere Boden- und Bestandsbeobachtungen unerlässlich.

Die über mehrere Jahre hinweg durchgeführte Analyse der Flächen per Luftbild oder Satellitenaufnahme kann zu einer Aufspaltung der Schläge in sich immer wiederholende Extremzonen führen. Bereits durch das Lokalisieren der unterschiedlichen Intensitätszonen könnte der Schlag in kleinere Einheiten geteilt und differenziert bewirtschaftet werden. Reichen diese Informationen nicht aus, dann sind weitere Datenquellen wie z.B. mehrjährig verrechnete Ertragskartierungsdaten, Reichsbodenschätzung, Bodenartenkarten

(Grablochbeschriebe, Bodenbeprobungsergebnisse) zur Entscheidungsfindung in die teilschlagspezifische Bewirtschaftung einzubeziehen.

Aufgrund der Komplexität der Zusammenhänge und der damit erforderlichen Fülle von Daten, die raum- und zeitbezogen über mehrere Jahre (multitemporal) erfasst werden, besteht die Notwendigkeit, eine effiziente Verwaltung der Daten zu gewährleisten. Mit Hilfe von Geo-Informationssystemen (GIS) werden die Anwender in die Lage versetzt, Entscheidungen bezüglich eines optimierten Betriebsmitteleinsatzes aus Fakten und nicht aus subjektiven Eindrücken abzuleiten. Das digitale Verschneiden von Informationen aus verschiedenen Jahren bzw. unterschiedlichen Quellen erfordert ein beträchtliches Know-how im Umgang mit Computern bzw. dieser anspruchsvollen Softwareklasse.

Unter Verwendung von thematischen Karten verschiedener Datenquellen (Fernerkundung, Ertragskartierung, Reichsbodenschätzung, Bodenkarten) wurde ein Verfahren zur Bestimmung von Intensitätszonen auf Basis der Maximum-Likelihood-Klassifizierung entwickelt. Die unterschiedlichen Karten fließen in die Klassifizierung ein. Je nach Intensität und Merkmalsausbildung des Ausgangsmaterials erfolgt eine Klasseneinteilung.

Abb.: 3-Zonenkarte



Die klassifizierte Karte in der Abbildung stellt die Ertragspotentiale eines Schlags in 3 Zonen dar. Die Unterteilung erfolgt in Hoch-, Mittel- und Niedrigertragsbereiche.

Gleichzeitig werfen derartige Analysen neue Fragen auf. Während bisher die NIR-Fernerkundung die Zielsetzung verfolgte, räumliche Unterschiede der Pflanzenbestände zu einem bestimmten Zeitpunkt aufzuzeigen, erweitert sich nun die Fragestellung für die Standortanalyse. Bodenkundler werden mit der Frage konfrontiert, welche Bodenparameter dafür ausschlaggebend sind, dass Areale in ortstreu, ertragsstabile Zonen eingeteilt werden können, bzw. was die dynamische Variabilität einer Zone bedingt. Und letztlich sind auch von den Pflanzenbauern mit wissenschaftlichen Methoden abgesicherte Vorgehensweisen darzustellen, wie denn Pflanzenbestände in verschiedenen Intensitätszonen eines Schlags auf unterschiedlichen Standorten unter Berücksichtigung ökonomischer und ökologischer Zielstellung zu managen sind.

Mit der gezielten Programmierung von mobilen low-cost GPS-Empfängern aus der Freizeitbranche steht der Landwirtschaft nun eine alternative Variante zur Verfügung, die bei entsprechender Bereitschaft zur manuellen Steuerung von Düngerstreuern oder Pflanzenschutzspritzen einen relativ risikolosen Einstieg ins Teilschlagmanagement ermöglicht. Dabei kann von den Interessenten nur einzelbetrieblich zwischen der sicherlich bequemen, allerdings kapitalintensiven Vollautomatisierung oder der „konzentrationsintensiveren“ manuellen GPS-Applikation abgewogen werden.

Verfasser:

Prof. Dr. Bernd Dohmen
Hochschule Anhalt
FB 1
Strenzfelder Allee 28
06406 Bernburg

Tel.: 03471- 355 430
Fax: 03471-352 067
E-Mail: dohmen@loel.hs-anhalt.de

Aspekte der Bodenprobenahme zur Düngebedarfsermittlung

HEROLD, L.; KERSCHBERGER, M.

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena

Schwerpunkte:

- Gebote der Düngeverordnung
- Grundsätze und Fehler der Probenahme
- Georeferenzierte Bodenprobenahme und deren Durchführung
- Neue Untersuchungsergebnisse zu
 - o Probenahmetiefen und Probenahme bei pflugloser Bewirtschaftung
 - o Einfluss verschiedener Bodenprobenahmegeräte

Gebote der Düngeverordnung

Zu den Geboten der Düngeverordnung gehört nach § 4 (2) unter anderem die flächendeckende Untersuchung repräsentativer Bodenproben der landwirtschaftlich genutzten Flächen ab einem Hektar Schlaggröße auf den pH-Wert und die Gehalte an P und K. Die Probenahme ist im Rahmen der Fruchtfolge mindestens alle sechs Jahre, auf extensivem Grünland mindestens alle neun Jahre durchzuführen. Dabei sind die Probenahmen und Untersuchungen nach wissenschaftlich anerkannten Methoden durchzuführen. Was unter repräsentativer Probenahme zu verstehen ist, soll im Vortrag näher erläutert werden.

Probenahmefehler

Bei der sachgerechten Bodenprobenahme muss die Vermeidung von Fehlern an vorderster Stelle stehen. Grundsätzlich kann das Untersuchungsergebnis nur so gut sein wie die vorangegangene Entnahme und Bearbeitung der Proben. Fehler bei der Probenahme sind durch keine noch so sorgfältige Analyse zu korrigieren oder gar zu eliminieren. Auch bei noch so sorgfältiger Arbeit kann der Probenahmefehler bis zu 10 mal größer sein als die Summe aller Fehler im Laboratorium.

Es ist deshalb außerordentlich wichtig, dass die im Land zuständigen Stellen die Personen die mit Probenahmen betraut werden in der sachgerechten Probenahme zu schulen bzw. schulen zu lassen und wenn es sich um Probenahmen im amtlichen Bereich handelt, mit Probenehmerausweis und Zulassungs-Nr. amtlich zuzulassen. Das trifft insbesondere für Probenehmer von Privatlabors und von Dienstleistungsunternehmen, die sich mit Probenahmen beschäftigen (GPS gestützte Probenahme) zu.

Georeferenzierte Probenahme und ihre Durchführung

Der im Jahre 2000 vom VDLUFA erarbeitete Standpunkt „Georeferenzierte Bodenprobenahme auf landwirtschaftlich genutzten Flächen als Grundlage für eine teilflächenspezifische Düngung mit Grundnährstoffen“ (www.vdlufa.de) sollte Mindeststandards für die georeferenzierte Bodenprobenahme formulieren und die Ermittlung und Darstellung der teilflächenspezifischen Nährstoffversorgung weitgehend vereinheitlichen. Gleichzeitig sollten Fehlentwicklungen bei Probenahme und Ergebnisdarstellung entgegengewirkt werden.

Bei der georeferenzierten Bodenprobenahme wird dabei in

- Nährstoffgrundinventur und
- Teilflächenbeprobung

unterschieden.

Die Nährstoffgrundinventur die nur bei unbekannter Heterogenität bzw. großer Variabilität der Nährstoffversorgung zur Anwendung kommen sollte kann dabei als Punktbeprobung oder Flächenbeprobung erfolgen. Die Probenahme bei der Punktbeprobung erfolgt dabei an den georeferenzierten Punkten des Gitters (Grid). Der Gitterabstand ist dabei so eng zu wählen dass eine Autokorrelation besteht. Das bedeutet, dass bei Rasterabständen von beispielsweise 30x30 m bis 50x50 m 4 bis 11 Proben/ha zu ziehen wären. Die Punktbeprobung erfordert die spätere Interpolation zwischen den Probenahmepunkten.

Der Normalfall der Bodenuntersuchung stellt nach wie vor die herkömmliche Teilflächenbeprobung dar. Sie ist immer dann durchzuführen, wenn eine Nährstoffgrundinventur vorausging bzw. wenn vorangegangene Bodenuntersuchungen eine geringe Variabilität der Nährstoffversorgung feststellten.

Zur Abgrenzung der Probenahmeflächen können zusätzliche Informationen (Ertragskarten, Reliefkarten, Bodenkarten ...) genutzt werden.

Hinsichtlich der Repräsentativität der Probenahme sind bei der Teilflächenbeprobung folgende Grundsätze maßgebend:

- Probenahme-flächengröße: 1 - 5 ha
- Entnahmetiefe: Ackerland: Bearbeitungstiefe
Grünland: 0 - 10 cm
- Anzahl Einstiche: Ackerland: 20
Grünland: 40
(Wiesenteller verwenden!)
Die Einstiche sind gleichmäßig auf der Beganglinie zu verteilen.
- Probenahme-flächen: quadratisch oder rechteckig ($L \times B = 2:1$)
Keine langen und schmalen Probenahme-flächen wählen.
- Beganglinie: Verschiedene Beganglinien möglich
(W-Form, Z-Form, Diagonale, Kreis ...)
Grundsätzlich muss zur Vermeidung systematischer Fehler immer die Hauptbearbeitungsrichtung geschnitten werden.
Bei der s.g. Kreisbeprobung muss die Länge der Beganglinie (Kreisumfang) mindestens der Länge der Diagonalen betragen
(d.h. bei 1 ha: Diagonale: 141 m, Kreisdurchmesser: 45 m)
- Probenahmezeitpunkt: Während der gesamten frostfreien Zeit möglich, soweit der Boden begehbar bzw. befahrbar ist. Der Boden sollte nicht schmierig und nicht völlig ausgetrocknet sein.

- Karenzzeiten: Probenahme möglichst vor Düngungsmaßnahmen (organ. Düngung, mineral. Düngung, Kalkung) durchführen
Sollte das nicht möglich sein sind folgende Karenzzeiten einzuhalten:
Organ. Düngung: 8 Wochen
Mineral. Düngung: 4 Wochen
und es sollten mindestens 30 mm NS gefallen sein.
- Bodenmenge: mind. 250 g als Endprobe

Des weiteren gilt:

- keine Geräte und Materialien verwenden, welche die Proben verunreinigen
- keine Probenahme entlang der Fahrgassen (Hauptbearbeitungsrichtung)
- keine Bündelung von Probenstechern vornehmen
- Bodenverschleppungen vermeiden
- Vorgewende, Mietenplätze etc. abgrenzen und nicht bzw. getrennt beproben.

Die Einzelproben (Einstiche) sind in einem Sammelgefäß zu sammeln und nach Beendigung der Probenahme zu homogenisieren (mischen). Die Probe ist anschließend zu verpacken (Kunststofftüte, mit Kunststoff ausgekleidete Papiertüte, Pappschachtel) und mindestens mit Probenahmeort (Betrieb) und Probe-Nr. zu kennzeichnen.

Für die Bewertung und Darstellung der Nährstoffversorgung gilt das Gehaltsklassenprinzip des VDLUFA. Die Einstufung der Ergebnisse hat in die fünf Gehaltsklassen A bis E zu erfolgen. Dabei sind bei der Ermittlung der Gehaltsklassen Bodenart, Humusgehalt und weitere bekannte Standortfaktoren entsprechend VDLUFA bzw. deren länderspezifischer Umsetzung zu berücksichtigen. Die weitere Differenzierung über die Gehaltsklassen hinaus nach Einzelmesswerten sollte aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht vorgenommen werden.

Bei der Darstellung der Nährstoffversorgung in Nährstoffverteilungskarten wird folgende Farbzuordnung zu den Gehaltsklassen empfohlen:

GHK	A:	rot
	B:	orange
	C:	gelb
	D:	grün
	E:	blau

Untersuchungsergebnisse zu Probenahmetiefen

Wenn das VDLUFA-Methodenbuch (Band I, Untersuchung von Böden, 4. Auflage, 1991) die Entnahme der Einzelproben bis zur Bearbeitungstiefe vorschreibt, erhebt sich die Frage nach der richtigen Probenahmetiefe bei permanenter konservierender (pflugloser) Bodenbearbeitung, die mitunter nur 10-12 cm beträgt. Entsprechende Untersuchungen wurden in der TLL Jena auf drei Standorten (1. tiefgründig mit Pflugfurche, 2. flachgründig mit Pflugfurche, 3. tiefgründig mit pflugloser Bewirtschaftung) durchgeführt. Im Ergebnis konnte festgestellt werden, dass auf gepflügten tiefgründigen Standorten die Probenahmetiefe eine untergeordnete Rolle spielt. Auf flachgründigen Standorten (Übergangs- und Höhenlagen) besteht bei Probenahmetiefen die über die Bearbeitungstiefe hinausgehen die Gefahr, dass nährstoffärmerer Unterboden mit erfasst wird. Das hat zur Folge das niedrigere Nährstoffgehalte ermittelt und ein ungerechtfertigt höherer Düngebedarf errechnet wird, was aus ökologischer und ökonomischer Sicht nicht zu vertreten ist. Bei pflugloser Bewirtschaftung darf sich die Bodenprobenahme nicht auf den Be-

arbeitungshorizont (z.B. 0-10 cm) beschränken, da es auf solchen Flächen in der obersten Bodenschicht zu einer starken Nährstoffanreicherung gekommen ist, die gleichfalls zu einer Verfälschung der Untersuchungsergebnisse führen würde. Hier ist die Festlegung einer Mindestprobenahmetiefe von 20 oder 25 cm notwendig, weil anderenfalls zu geringe Nährstoffmengen empfohlen würden. Aus den genannten Gründen ist deshalb auch die gleichzeitige Untersuchung der Grundnährstoffe (P, K, Mg) und des pH-Wertes aus der N_{\min} -Probe (Oberbodenprobe 0-30 cm im Frühjahr) nicht zu empfehlen und in Thüringen und Sachsen auch nicht zugelassen.

Untersuchungsergebnisse zu Probenahmegeräten

Auch die Verwendung verschiedener Probenahmegeräte bei der Bodenprobenahme hat Einfluss auf das Untersuchungsergebnis, wie Untersuchungen der LUFA Augustenberg (2001) belegen. Auf Flächen mit ungleichmäßiger Nährstoffverteilung im Bearbeitungshorizont (Nährstoffgradient) wurden folgende Ergebnisse erzielt:

- Eine exakte Beprobung ist auf ausgetrockneten Böden wesentlich schwieriger als auf feuchten Böden. Grund: Pfropfbildung und Herausfallen von rieselfähigem Bodenmaterial.
- Bohrende Werkzeuge (Spiralbohrer) neigen dazu aus der unteren Hälfte der beprobten Schicht mehr Material zu fördern (Unterbewertung der Nährstoffe).
- Stechende Werkzeuge (Rillenbohrstöcke) neigen dazu aus der oberen Bodenschicht mehr Material zu fördern, besonders bei schmaler Nut (Überbewertung der Nährstoffe).
- Dienstleistungsunternehmen für teil- oder vollmechanisierte Probenahmen können sich nicht nur auf einem Gerätetyp (bohrend oder stechend) festlegen, wenn sie der Vielzahl der unterschiedlichen Standorteigenschaften (Bodenart, Feuchte- und Steingehalte) gerecht werden wollen.

Fazit

In diesem Jahr feiern wir in den neuen Bundesländern 50 Jahre Bodenuntersuchungspflicht (im Jahre 1952 wurde das Gesetz zur Durchführung der systematischen Bodenuntersuchung verabschiedet). Trotz moderner Technik, die bei der Probenahme eingesetzt wird, sind die Grundsätze für eine exakte und repräsentative Bodenprobenahme im Wesentlichen unverändert. Wer die Bodenprobenahme über viele Jahre verfolgt hat wird feststellen, dass in der Vergangenheit auf eine exakte Probenahme noch stärker geachtet wurde als heute. Die moderne Analysentechnik liefert zwar immer präzisere Laborergebnisse, es muss aber auch darauf geachtet werden, dass sich die Schere zwischen Probenahmefehler und Analysenfehler nicht noch weiter öffnet. Mit der modernen Probenahmetechnik haben wir die Möglichkeit teilflächenspezifisch zu beproben und zu düngen. Das setzt aber die exakte Arbeit von geschulten Probennehmern voraus. Hier haben die zuständigen landwirtschaftlichen Fachbehörden eine große Verantwortung bei der Schulung der Probenehmer von Privatlabors und Dienstleistern für GPS-Probenahme.

Stand und Entwicklung der pH-Versorgung der landwirtschaftlichen Flächen in Sachsen-Anhalt

v. WULFFEN, U.

Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau des Landes Sachsen-Anhalt,
06406 Bernburg, Strenzfelder Allee 22

Der pH-Wert ist ein Maßstab für die **Säurekonzentration**. Er wird in einer logarithmischen Skala angegeben. So führt z.B. eine Abnahme von pH 7 auf pH 6 zu einer Verzehnfachung der Säurekonzentration während der Übergang von pH 7 auf pH 5 zu einer **Verhundertfachung** führt. Die zur Aufkalkung der Böden benötigten Kalkmengen nehmen daher mit fallendem pH-Wert nicht linear, sondern exponentiell zu.

Bewertung des pH-Wertes

Der pH-Wert eines Bodens hat eine sehr enge Beziehung zum Calcium- und Magnesiumgehalt. Mit fallendem pH-Wert nimmt dabei in der Regel der Ca- und Mg-Gehalt ab. Auch bei sehr geringen pH-Werten ist aber im allgemeinen das bodenbürtige Ca- und Mg-Nährstoffangebot für die Pflanzen ausreichend. Zu geringe und auch nicht standortangepaßte überhöhte pH-Werte wirken dagegen auf die Faktoren:

1. Bodengefüge (Bodenstruktur),
2. Bodenbiologie (Bodenleben) und Humusgehalt sowie
3. Nährstoffverfügbarkeit

Die unter 1. bis 3. genannten Faktoren haben maßgeblichen Einfluß auf die Ertragsfähigkeit eines Standortes. Kalk ist daher kein Pflanzennährstoff, sondern „ein Bodendünger, der die Grundvoraussetzung für gutes Pflanzenwachstum schafft“ (VETTER, 1997).

Normalerweise wird der Zustand der Kalkversorgung direkt aus dem pH-Wert des Bodens abgeleitet. Da die standorttypischen Optimalbereiche in Abhängigkeit von den Größen

- Bodenart (Sand bis Ton, Moor)
- Nutzungsart (Ackerland, Grünland)
- Humusgehalt

stark differieren, wurden schon frühzeitig Bewertungsschlüssel zur Interpretation des analytisch bestimmten pH-Wertes entwickelt. Diese Schlüssel wiesen - aus historischen Gründen - deutliche Differenzen zwischen den Bundesländern auf. Dies führte zur Verwirrung in der Praxis. Vom Verband der Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) wurde daher im Jahr 2001 ein einheitliches Verfahren der Analytik, der Klassifikation der Werte, der Definition des Kalkversorgungszustandes des Bodens sowie der Kalkbedarfsermittlung erarbeitet. Die LLG hat dieses neue Schema zum 01.01.2002 übernommen.

Tab. 1: Bedeutung der pH-Stufen in Sachsen-Anhalt (bis zum 31.12.2001)

pH-Stufe	Einschätzung des pH-Wertes	Kalkbedürftigkeit	Mögliche pH-Wert bedingte Schäden
A	sehr niedrig	sehr stark	<ul style="list-style-type: none"> • Pflanzenschäden wahrscheinlich • Nährstofffestlegung möglich • hohe Verschlammungsneigung schluffiger Böden
B	niedrig	stark	
C	mittel	mittel	
D	hoch	schwach	<ul style="list-style-type: none"> • Mindererträge bei empfindlichen Kulturen möglich
E	optimal	keine	<ul style="list-style-type: none"> • keine
F	extrem hoch	keine	<ul style="list-style-type: none"> • Festlegung von Mikronährstoffen und Phosphor möglich • Humusabbaus möglich

Mit dem neuen Verfahren bedient sich der Verband der schon seit Jahrzehnten in den neuen Ländern angewandten analytischen Methodik. Im Hinblick auf die Analytik bleibt also alles beim Alten. Auch bei der Interpretation der analysierten Messwerte ändert sich nur wenig. In der Tendenz bleiben die angestrebten pH-Wertbereiche auf gleichem Niveau. Neu ist allerdings das Bewertungsschema. Während bislang ein sechsstufiges Bewertungsschema angewandt wurde (siehe Tabelle 1), bei dem die pH-Stufe E den Optimalbereich charakterisierte, gilt mit dem neuen Verfahren ein fünfstufiges Schema mit der anzustrebenden Stufe C (Tabelle 2). Der bislang genutzte Begriff „pH-Stufe“ wurde - ohne Veränderung der inhaltlichen Bedeutung - durch den Begriff „pH-Klasse“ ersetzt.

Tab. 2: Bewertungsschema zur Definition der pH-Klassen für die Kalkversorgung des Bodens sowie des Kalkdüngungsbedarfs (Anwendung in Sachsen-Anhalt seit dem 01.01.2002)

pH-Klasse/Kalkversorgung	Beschreibung von Zustand und Maßnahme	Kalkdüngungsbedarf
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>	Gesundungskalkung
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>	Aufkalkung
C anzustreben, optimal	<p>Zustand: Optimale Bedingungen für Bodenstruktur und Nährstoffverfügbarkeit sind gegeben, geringer Kalkbedarf, kaum bzw. keine Mehrerträge durch Kalkdüngung.</p> <p>Maßnahme: Kalkung innerhalb der Fruchtfolge zu kalkanspruchsvollen Kulturen.</p>	Erhaltungskalkung
D hoch	<p>Zustand: Die Bodenreaktion ist höher als anzustreben, kein Kalkbedarf.</p> <p>Maßnahme: Unterlassung einer Kalkung</p>	Keine Kalkung
E sehr hoch	<p>Zustand: Die Bodenreaktion 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 in Folge physiologischer bzw. chemischer Reaktion im Boden versauernd wirken.</p>	keine Kalkung und keine Anwendung physiologisch bzw. chemisch-alkalisch wirkender Düngemittel

Zeitliche Entwicklung der pH-Werte in Sachsen-Anhalt

Bis in die Mitte des 18. Jahrhunderts war der pH-Wert vieler landwirtschaftlich genutzter Böden weit unter den standorttypischen Optimalbereich abgesunken. Mit der Wiederentdeckung des Kalkmergels wurde der pH-Wert häufig stark angehoben. Dies führte zunächst zu einem verstärkten Abbau der organischen Substanz und einer hiermit verbundenen kurzfristigen starken N-Mineralisation, so dass die Erträge deutlich stiegen.

Durch den Abbau des Humus kam es dann aber in den folgenden Jahrzehnten zu einer verringerten N-Nachlieferung der Böden und somit zu einer Abnahme der Erträge. Der aus dem 19. Jahrhundert stammende Satz „Kalk schafft reiche Väter und arme Söhne“ beschreibt die mit dem Mergeln verbundene Problematik recht treffend. In den folgenden Jahrzehnten wurde daher die Kalkzufuhr der Böden wieder reduziert.

Bis Anfang der 60er Jahre des vorherigen Jahrhunderts waren in den fünf neuen Ländern die pH-Werte vieler landwirtschaftlich genutzter Flächen wieder (weit) unterhalb des Optimalbereiches (Abb. 1) abgesunken. Im Rahmen der Intensivierung der landwirtschaftlichen Produktion und der hiermit verbundenen Aufkalkung der Böden sank der Anteil gering versorgter Flächen von ca. 60 % in den Jahren 1956 bis 1960 auf unter 10 % in den Jahren 1987 bis 1991 (Abb.1).

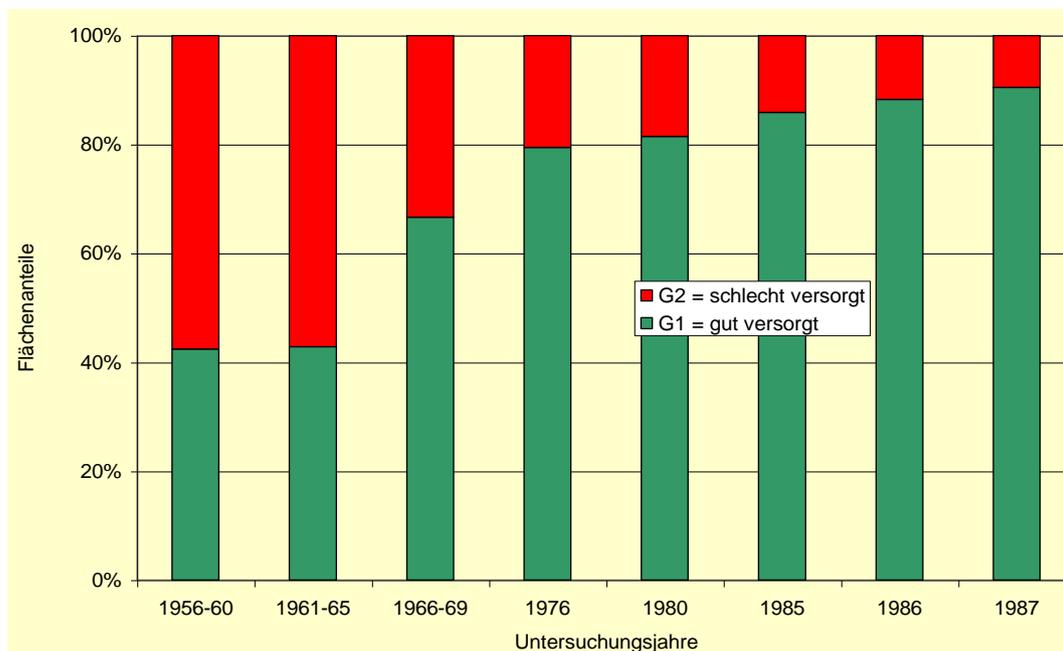


Abb. 1: Entwicklung der pH-Werte in den neuen Ländern (nach RUNGE, 1990)

Seit Mitte der achtziger Jahre ist in Sachsen-Anhalt die Tendenz **steigender pH-Werte** zu verzeichnen. HERBST (1992) kam bei der Auswertung der letzten *Systematischen*

Tab. 3: Ergebnisse der Bodenuntersuchungen der LLG Sachsen-Anhalt in den Untersuchungsjahren 1995 bis 1997; Legende: A – F = pH-Stufe A – F

Region	A	B	C	D	E	F
	Ackerland					
Altmark	1%	6%	18%	24%	42%	8%
Mitte	0%	1%	3%	8%	52%	36%
Anhalt	0%	2%	10%	18%	48%	22%
Süd	0%	0%	3%	11%	57%	30%
Grünland						
Altmark	1%	7%	17%	12%	54%	9%
Mitte	2%	5%	11%	11%	42%	30%
Anhalt	0%	0%	0%	7%	42%	51%
Süd	5%	32%	18%	16%	26%	4%

Bodenuntersuchung der Jahre 1987 bis 1991 zu dem Schluss: „Als problematisch können sich auch solche Flächen erweisen, bei denen der pH-Wert über dem Optimalbereich liegt. Dieser Flächenanteil ist in der Versorgungsstufe E mit enthalten und beträgt etwa 20 % an der Gesamtfläche. Auf solchen Flächen kann die Verfügbarkeit vor allem von Mikronährstoffen eingeschränkt sein.

Sie sollten deshalb im Allgemeinen vorübergehend nicht gekalkt werden.“

Diese Tendenz hat sich in den letzten 10 Jahren in den Regionen der ÄLF Mitte und Süd fortgesetzt (Tabelle 3 und 4). Während z.B. im Bereich „Süd“ in den Jahren 1995 bis 1997 „nur“ 30 % der Ackerflächen in die pH-Stufe „F“ eingruppiert wurden, liegt der Vergleichswert für die Jahre 1998 bis 2001 schon bei 51 %.

Tab. 4: Ergebnisse der Bodenuntersuchungen der LLG Sachsen-Anhalt in den Untersuchungsjahren 1998 bis 2001; Legende: A – F = pH-Stufe A – F

Region	A	B	C	D	E	F
	Ackerland					
Altmark	1%	7%	19%	25%	39%	9%
Mitte	0%	1%	4%	10%	39%	45%
Anhalt	1%	3%	10%	17%	42%	28%
Süd	0%	1%	4%	10%	45%	40%
Grünland						
Altmark	1%	3%	10%	17%	53%	15%
Mitte	0%	4%	8%	13%	45%	30%
Anhalt	1%	1%	12%	22%	53%	12%
Süd	0%	0%	1%	3%	23%	74%

Bei der Interpretation der Messwerte ist zwar zu berücksichtigen, dass in den beiden Untersuchungsintervallen unterschiedliche Flächen beprobt wurden. Aufgrund des großen Probenumfangs (jeweils über 5000 Proben) dürfte dies aber zu keinen systematischen Verzerrungen der Ergebnisse geführt haben.

Der in verschiedenen Landesregionen zu beobachtende Anstieg des pH-Wertes findet auch in vielen Betrieben (einschließlich des Lehr- und Versuchsgutes der LLG in Bernburg) seine Entsprechung.

Der oben beschriebene Anstieg der pH-Werte ist vorrangig auf den hoch bonitierten Böden (Ackerzahl > 70) zu beobachten. Auf diesen Flächen wird der überwiegende Teil der in Sachsen-Anhalt angebauten Zuckerrüben produziert.

Steigende pH-Werte führen – insbesondere in Verbindung mit der für Sachsen-Anhalt typischen

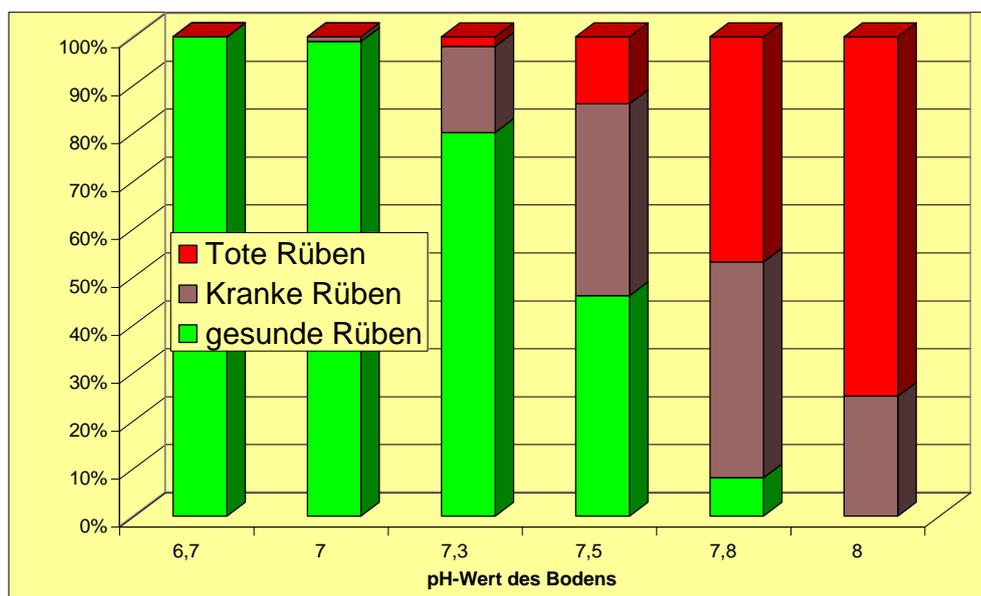


Abb. 2: Einfluss des pH-Wertes auf die Borverfügbarkeit sowie die Vitalität von Zuckerrüben (nach SCHEFFER et al., 1955)

Vorsommertrockenheit – zu einer deutliche Abnahme der Borverfügbarkeit und damit der Vitalität der Rübenbestände. Schon in den 50er Jahren (Abb. 2) konnten SCHEFFER und Mitarbeiter diesen Zusammenhang nachweisen (Abb. 2). Aus der Abbildung wird deutlich, dass oberhalb pH 7,3 das Borangebot des Bodens für die Rüben nicht mehr ausreicht. Ab diesem pH-Wert dürften daher im Regelfall ein bis zwei Bordüngungen über das Rübenblatt notwendig werden.

Handlungsempfehlungen:

Zu geringe pH-Werte lassen sich relativ leicht durch Kalkung in den Zielbereich anheben. Dagegen ist die Absenkung überhöhter pH-Werte relativ schwierig. Auf Flächen, die eine Tendenz zum unerwünschten pH-Wert Anstieg haben, sollte daher zunächst vollständig auf die Zufuhr kalkhaltiger und pH-Wert anhebender Stoffe verzichtet werden.

Mit der mineralischen N-Düngung kann der pH-Wert des Bodens angehoben, aber auch abgesenkt werden. Zur Charakterisierung dieser Eigenschaft der Stickstoffdünger dient der sog. **Kalkwert**. Liefert

ein Dünger mehr Kalk, als zur Neutralisation der bei der N-Umsetzung entstehenden Säuren benötigt wird, ist sein Kalkwert positiv. Im umgekehrten Fall ist sein Kalkwert negativ, d.h. er zehrt vom Kalkgehalt des Bodens, wodurch der pH-Wert des Bodens sinkt.

Die Kalkwerte der Stickstoffdünger weisen deutliche Differenzen auf (Tabelle 5). Während mit z.B. mit der Zufuhr von 100 kg N aus Schwefelsaurem Ammoniak ca. 300 kg CaO neutralisiert werden, würde bei der Zufuhr von ebenfalls 100 kg N aus Kalkstickstoff ca. 190 kg CaO gedüngt.

Fazit:

Während in den vergangenen Jahrzehnten eher die Gefahr zu geringer denn überhöhter pH-Werte bestand, ist in Sachsen-Anhalt eher das Gegenteil der Fall. Auf Flächen mit der Tendenz eines unerwünschten pH-Wert Anstieges ist auf den Einsatz pH-Wert anhebender Düngemittel zu verzichten.

Auf die Bedeutung einer regelmäßigen und sachgerechten Probenahme zur Charakterisierung des Nährstoffstatus und pH-Wertes der Böden wurde im Vortrag von Dr. HEROLD, TLL, hingewiesen.

Tab. 5: Kalkwert ausgewählter N-Dünger; Angabe des Kalkwertes in kg CaO

Dünger	N-Gehalt (%)	Kalkwert	
		je Dünger dt	je 100 kg N
• Monoammonphosphat	12	-37	-308
• Schwefelsaures Ammoniak	21	-63	-300
• Diammonphosphat	18	-38	-211
• Ammonsulfatsalpeter	26	-51	-196
• Alzon 27/ Basammon stabil	27	-51	-189
• NP 22+22	22	-31	-141
• Schwefelharnstoff - Ureas	40	-51	-128
• NP 24+14	24	-30	-125
• NP 26+14	26	-31	-119
• NP 26+ 7	26	-29	-112
• Ammonnitrat-Harnstoff-Schwefel	28	-30	-107
• Harnstoff	46	-46	-100
• Ammonnitrat-Harnstoff-Lösung	28	-28	-100
• Alzon flüssig	28	-28	-100
• Kalkstickstoff	20	39	+190

Gezielte Bodenbeprobung – Grundvoraussetzung für eine effektive Umsetzung der Düngeverordnung und Gebot wirtschaftlicher Vernunft

HOPPE, B.

AGRO-SAT Consulting Baasdorf

Die in der Düngeverordnung gesetzlich verankerte Pflicht, auf landwirtschaftlichen Flächen ab 1 Hektar mindestens alle 6 Jahre, auf extensiven Dauergrünland mindestens alle 9 Jahre, eine Bodenuntersuchung durchzuführen ist die wichtigste Grundlage für die Ermittlung des Düngerbedarfs (1).

Die derzeit in der Praxis gängige Bodenbeprobung erfolgt als Rasterbeprobung. Die Ergebnisse der Rasterbeprobung, das zeigen neuere Untersuchungen auf, sind bei einem Raster gleich oder größer 1 ha, da die Proben ohne Beachtung der naturgegebenen Variabilität „blind“ gezogen werden, stark zufallsabhängig.

Das von der Firma AGRO-SAT Consulting Baasdorf entwickelte Verfahren der zielgerichteten Bodenbeprobung nutzt die Informatik, um durch multitemporale und multifaktorielle Zusammenhänge zu aussagekräftigen und repräsentativen potenzialorientierten Ertragszonen zu kommen.

Hierbei geht es darum, alle georeferenzierten Daten der Biomasse, NIR-Aufnahmen unbewachsenen Bodens, der Bodenanalyse, der Reichsbodenschätzung, der EM 38-Messung, der Standort- und Bewirtschaftungsbedingungen in einem Geografischen Informationssystem (GIS) zu verknüpfen, um u. a. auch mittels der Maximum Likelihood Klassifikation potenzialorientierte Ertragszonen für die Bodenbeprobung abzugrenzen (Maximaldatenbasis).

Die Erfassung der benötigten Daten kann automatisch über die Mähdruschertragskartierung, die Fernerkundung (bei beiden Verfahren müssen mindestens 3 Jahre verrechnet sein, sind zeitabhängig) und auch über die EM 38-Messung (elektromagnetisches Verfahren, ganzjährig möglich, einmalige Erfassung, bis 1 m Tiefe) erfolgen.

Mit dem EM 38-Schlitten wird eine georeferenzierte Messung der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit des Bodens (ECa) vorgenommen. Da die ECa vom Ton- und Wassergehalt, der Leitfähigkeit der Bodenlösung und der Bodendichte abhängt, kann aus einer flächenhaften Messung der ECa eine Karte der Bodenarten erstellt werden. Die ECa wird in mS/m (Millisiemens/Meter) gemessen. Werte zwischen 5 - 15 mS/m sind typisch für Sandböden, lehmige Böden liegen zwischen 16 – 29 mS/m und tonigere Böden zwischen 30 – 60 mS/m. Werte über 60mS/m weisen auf hohe Wassersättigung und den Einfluss relativ hoher Salzgehalte der Bodenlösung hin (2).

Die Abgrenzung der potenzialorientierten Ertragszonen für die gezielte Bodenbeprobung kann auch auf Minimaldatenbasis erfolgen, das heißt auf der Grundlage mehrjährig verrechneter Daten der Fernerkundung (jährliche Kosten ca. 0,53 €/ha) oder/und der Mähdruschertragskartierung (jährliche Kosten ca. 7,86 €/ha).

Die Umsetzung des Verfahrens der gezielten Bodenprobenahme wird möglich durch den Einsatz von GPS, GIS, durch die Verfügbarkeit der erforderlichen Informationen sowie deren Verarbeitung in einem Softwaremodul. Ökonomisch werden die für die Datenerfassung und -verarbeitung verursachten Kosten durch das neue Verfahren mehr als ausgeglichen. Die gezielte Bodenbeprobung kann bei exakteren Ergebnissen zu Kosteneinsparungen bis zu 59% bei der Bodenbeprobung führen.

Gegenwärtig kommt in der Praxis fast ausschließlich das Verfahren der Rasterbeprobung zur Anwendung. In der Regel wird im 5 Hektar-Raster beprobt. Nach Ansicht vieler Wissenschaftler ist die Rasterbeprobung selbst im 1 Hektar-Raster unzureichend, da sie zufallsbedingte Ergebnisse aufzeigt.

"Eine ausreichende Probenahmedichte ist besonders wichtig, da Nährstoffgehaltskarten, die aus einer zu geringen Probenzahl je ha erzeugt werden, reine Zufallsprodukte sind. ... sie haben dann sogar nichts mehr mit den tatsächlichen Verhältnissen des betreffenden Schläges zu tun. Die Folge ist eine völlig unbrauchbare und falsche Düngeempfehlung ... Nach Angaben der Hydro Agri-Düngeberatung sind im Durchschnitt mindestens 4 bis 5 Proben je ha notwendig ... Je nach Standort kann sich jedoch die Zahl der notwendigen Beprobungspunkte auch auf 10 bis 15 und mehr pro ha erhöhen (3)."

Das wäre richtig, aber ökonomisch nicht machbar. Die 1 Hektar-Rasterbeprobung stellt gegenwärtig einen am Markt durchsetzbaren Preiskompromiss dar.

Auch Jürschik (1999) verweist auf diese Problematik: „Zunehmend hat sich jedoch die Erkenntnis durchgesetzt, dass eine Beprobung nach engen Rastern, die in den USA eine gewisse Verbreitung gefunden hatte, zumindest in Europa aus Kostengründen kaum Chancen für eine Einführung in die Praxis hat (4).“

Nach Lütticken (2000) ist „... für optimale Abstände ... zunächst eine sehr kleinmaschige Beprobung von 20 bis 30 m nach geostatistischen Aspekten nötig (5).“

Kerschberger et al. (2000) schlagen dazu eine einmalige Nährstoffgrundinventur vor: „Bei einer punktbezogenen Bodenprobennahme ist ein enger Rasterabstand von 30 bis 50 m zu wählen. Je Hektar sollen mindestens vier bis elf Proben entnommen werden (6).“

Im Zwischenbericht des Forschungsvorhabens "pre agro" vom März 2000 wurden als zwei wesentliche Fehler bei der Nährstoffanalyse am Beispiel Phosphor herausgearbeitet: 1. durch Rasterbeprobung und 2. nicht genau bekannter Nährstoffentzug der Pflanzen, da Fehler bei kontinuierlicher Ertragsaufnahme (7).

Im Rahmen des Forschungsprojektes "pre agro" wurde auch der Einfluss der Geometrie auf die Nährstoffkarte untersucht. Der gleiche Versuchsschlag wurde in Rastern von 50 x 200 m und 200 x 50 m beprobt. Die erzielten Nährstoffuntersuchungsergebnisse waren gegensätzlich (7). Weiter heißt es in diesem Forschungsbericht zur Bodennährstoffkartierung:

„Je nach Rastergeometrie entstehen ganz unterschiedliche Verteilungsbilder. Auf dem Projektbetrieb Kassow wurde daher schon vor Projektbeginn über mehrere Jahre versucht, die Rasterbeprobung durch Orientierung an den Klassenflächen der Reichsbodenschätzung zu verbessern. Es zeigte sich jedoch, dass die Nährstoffgehalte kaum mit der Reichsbodenschätzung korrelieren. ... Eine Möglichkeit, diese Situation zu verbessern, könnte die Nutzung von flächendeckenden Geodaten sein, die Korrelationen zu Nährstoffgehalten und zur Nährstoffdynamik aufweisen. Dadurch können die Probenahme optimiert und die Messergebnisse wesentlich besser auf die Fläche übertragen werden (7).“

Das Speicher- und Transformationsvermögen des Bodens steht im unmittelbaren Zusammenhang mit der Bodenart (8). Auf Grund der Transformations- und Pufferwirkung unterscheiden sich Nährstoff- und Düngerbedarf verschiedener Bodengruppen erheblich (Holz 1999, 9).

Für die Festlegung des optimalen Düngerbedarfs ist die exakte Ermittlung der richtigen Bodengruppe entscheidend. Der pH-Wert, die Nährstoffwerte von Kalium, Magnesium und die Mikronährstoffe Bor, Zink, Mangan, Molybdän und Kupfer können nur auf der Basis der jeweiligen Bodengruppe richtig bewertet werden. Insofern ist die Abgrenzung möglichst homogener Bodengruppen eine Grundvoraussetzung für exakte Werte. Beispielsweise liegt der optimale Mg-Gehalt in der BG 1 (Sand) bei 3,6 – 5,0 und in der BG 4 (Lehm) bei 7,6 – 11,0 mg Mg/100 g Boden (10).

Untersuchungen der LUFA Halle haben gezeigt, „... dass die bei einer wiederholten Beprobung und Untersuchung auftretende Abweichungen meist zu mehr als 80% durch die Probenahme bedingt sind. Dabei wird die Streuung der Werte ... durch die naturgegebene Variabilität ... verursacht. Ziel der Gestaltung der Probenahme muss es sein, diese Streuungsursachen ... weitgehend ... zu berücksichtigen (Holz et al. 1999, 9).“ Die gezielte Beprobung berücksichtigt diese naturgegebene Variabilität.

Da in Sachsen-Anhalt die Ackerschläge eine Größe von 10 ha oft deutlich überschreiten, wird es in vielen Fällen erforderlich sein, für die Probenahme Teilflächen abzugrenzen, um eine mögliche Differenzierung des Nährstoffgehaltes innerhalb der Fläche zu berücksichtigen.

Die Abgrenzung der Teilfläche erfordert die genaue Kenntnis über Unterschiede in der Bodenbeschaffenheit eines Schlates ... (Holz et al. 1999, 9).“ Die unterschiedliche Ertragsfähigkeit von Teilflächen innerhalb eines Schlates ist im wesentlichen durch die betreffende Bodenart, Bodenphysik und -chemie bestimmt.

Damit wird deutlich, die gezielte Probenahme erfordert vorherige Informationen zur Variabilität des Schlates, sie erfordert die Kenntnis und Quantifizierung der unterschiedlichen Ertragszonen. Anhand dieser potenzialorientierten Zonen sollten die Bodenprobendichte und -punkte festgelegt werden.

„Zeichnet sich die zu beprobende Fläche durch relativ homogene Standortbedingungen und Einheitlichkeit hinsichtlich Bodenart, Humusgehalt und Nutzungsvorgeschichte aus, so kann für die Teilflächen eine Größe von 5 bis 10 ha gewählt werden (Holz et al., 1999, 9).“

Wir haben dazu als Firma AGRO-SAT die 3-Zonen-Karte entwickelt, die den jeweiligen Schlag in eine Hoch-, Mittel- und Niedrigertragszone einteilt und damit dem Praktiker ein gut handhabbares Managementsystem auch für die differenzierte Grund- und N-Düngung an die Hand gibt.

Die gegenwärtig am Markt angebotene neue Generation von GPS-Geräten zeichnet sich durch ein hohes datentechnisches Leistungsvermögen und eine große Funktionalität aus. Durch eine Funktionserweiterung der auf dem deutschen Markt erhältlichen GPS-Geräte der Etrex-Serie der Firma Garmin lassen sich neue Anwendungsgebiete für die Landwirtschaft preiswert erschließen. Mithilfe des handygroßen GPS-Gerätes der Fa. Garmin können die auf Basis der unterschiedlichen Ertragszonen vorher festgelegten Bodenprobenpunkte georeferenziert, d. h. mit Längs- und Höhenkoordinaten versehen, in den jeweiligen repräsentativen Ertragszonen gezogen werden.

Die Vorteile der GPS-gestützten Bodenbeprobung sind:

- dauerhaft dokumentierte Probenahmepunkte, da die Koordinaten gespeichert werden
- können in Geografische Informationssysteme (GIS) eingelesen werden
- positioniertes Ziehen der Bodenproben immer am gleichen Punkt. Damit ist die Kontrolle der Wirksamkeit der Düngemaßnahmen (Entwicklung der Nährstoffsituation) gegeben
- zielgerichtete Untersuchung von Hoch-, Mittel- und Niedrigertragszonen eines Schlages, was zu einer geringeren Probenzahl, geringeren Kosten und exakteren Ergebnissen führt.

Literatur:

1. Verordnung über die Grundsätze der guten fachlichen Praxis beim Düngen, BGBl. Teil I vom 6. Februar 1996, S. 118; geändert durch Artikel 2 der Verordnung vom 16. Juli 1997 im BGBl. I, S. 1836
2. Verbundprojekt pre agro, Zwischenbericht 2001 (unveröffentlicht)
3. Hydro Agri/Agribusiness: Bodenanalyse erfordert hohen Aufwand. Agribusiness 3/2000, S.8
4. Jürschik, P.: Bilanz und Perspektiven. DLG-Mitteilungen 11/1999, S. 15-19
5. Lütticken, Ruth: Präzise nach Nährstoffkarten düngen. dlz agrarmagazin, Nr. 3/2000, S. 52-57
6. Kerschberger, M., Herold, L. und O. Krause: Probennahmen nach Vorschrift. Bauernzeitung, Nr. 37/2000, S. 24-25
7. Verbundprojekt pre agro, Zwischenbericht März 2000
8. Meißner, J.: Wann und wie mit Precision Farming beginnen? Neue Landwirtschaft, Nr. 9/1999, S. 70-74
9. Holz, F., Weigel, U. und K. Kuhn: Grundlagen der Düngebedarfsermittlung für eine gute fachliche Praxis beim Düngen, LUFA Sachsen-Anhalt Halle, 2., überarbeitete Auflage, Oktober 1999
10. Richtwerte für eine gute fachliche Praxis beim Düngen im Rahmen einer ordnungsgemäßen Landbewirtschaftung. LUFA Sachsen-Anhalt Halle, 2., überarbeitete Auflage, Oktober 1999

Verfasser:

Dipl.-Ing. Bernd Hoppe
AGRO-SAT Consulting Baasdorf
Schulstraße 3
06388 Baasdorf

Tel.: 03471-35 28 33
Tel./Fax: 03496-550 929
E-Mail: mail@agro-sat.de
Internet: www.agro-sat.de

Methodische Grundlagen für eine teilflächenspezifische Bewirtschaftung, dargestellt am Beispiel Grundnährstoff-Düngung

SCHRÖDTER, M.; HOLZ, F.

Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau des Landes Sachsen-Anhalt,
06406 Bernburg, Strenzfelder Allee 22

1 Einleitung

Standort- und Bestandesdaten, welche die Heterogenität des Schlages beschreiben und Grundlage für ein angepasstes Bewirtschaften darstellen, sind schon immer für den Landwirt von Interesse gewesen. Mit dem Einzug neuer Technologien, wie GPS, GIS und Fernerkundung, sind neue Möglichkeiten einer ortsdifferenzierten, teilschlagspezifischen Informationsgewinnung, -bewertung und Bewirtschaftung gegeben.

Der Unterschied zur bisherigen Verfahrensweise besteht in der Ortung der wesentlich kleineren Teilflächen durch GPS und der Zuordnung von Informationen, welche letztendlich in die Steuerung der Maschinen umgesetzt werden. Dabei ist zu hinterfragen, ob dies betriebswirtschaftlich von Vorteil ist und die Informationen angemessen bewertet und technologisch umgesetzt werden können.

Landwirtschaftlich genutzte Böden weisen in der Ackerkrume eine hohe natürliche räumliche Variabilität der Nährstoffversorgung auf, die mit steigender Schlaggröße zunimmt. Selbst eine an der mittleren Nährstoffversorgung des Gesamtschlages orientierte einheitliche Düngung erfordert eine sachgemäße Probenahme, welche die Inhomogenitäten in der Fläche berücksichtigt. Die Probenahmenvorschriften sehen Sammelproben von max. 3 – 5 ha großen Teilflächen vor [1, 2, 3 u.a.]. Die Nährstoffversorgung des Schlages wird durch den Mittelwert bzw. Medianwert charakterisiert, welcher aus den Untersuchungsergebnissen der Teilflächen errechnet wird. Dennoch führt die einheitliche Düngung zwangsläufig zu einer Unter- und Überdüngung von Teilflächen.

Bei der teilflächenspezifischen Düngung wird der Schlag nicht mit einer einheitlichen Düngergabe gedüngt, sondern die Applikationsmenge wird entsprechend dem Düngebedarf von Teilflächen variiert. Voraussetzung ist auch hier in jedem Fall die sachgerechte Bestimmung des Düngebedarfs, jedoch für die Teilflächen, um eine Unter- oder Überdüngung zu vermeiden und Betriebsmittel einzusparen.

2 Abgrenzung der Teilflächen und Ermittlung des Düngebedarfs für eine teilflächenspezifische Düngung

Im wesentlichen zeichnen sich in der landwirtschaftlichen Praxis zwei Strategien bei der teilflächenspezifischen Grundnährstoff-Düngung ab.

1. Düngung entsprechend des Düngebedarfs von festgelegten Teilschlägen.
2. Düngung auf der Grundlage von Verteilungskarten und daraus generierten Applikationskarten.

Hieraus ergeben sich unterschiedliche Herangehensweisen an die Abgrenzung der Teilflächen, aber auch verschiedene Anforderungen an die Informationsgewinnung, insbesondere an die Bodenprobenahme.

Bei der Ermittlung des Düngebedarfs sind für die einzelnen Teilflächen (unabhängig von ihrer Größe) eine Reihe von Einflußgrößen zu berücksichtigen, wie der Nährstoffgehalt im Boden, die Bodenartengruppe, der Humusgehalt, der pH-Wert, die angebaute Fruchtart, die Ertragserwartung und eingesetzte organische Dünger. Die Bewertung der Boden-Nährstoffgehalte kann den bekannten Grundsätzen der Ermittlung des Düngebedarfs nach dem Gehaltsklassenprinzip folgen. Der Nährstoffgehalt wird zunächst in die Gehaltsklasse eingestuft. Unter Berücksichtigung weiterer Standort- und Wirtschaftsbedingungen wird dann der Düngerbedarf für die (Teil-) fläche

ermittelt. Diesem bewährten Verfahren liegen langjährige regionale Feldversuche zu Grunde, die eine angemessene Genauigkeit der Düngungsempfehlung gewährleisten, aber auch Ursache für ländertypische, regionale Unterschiede sein können. Deshalb sind bei der Ermittlung des Düngebedarfs die landesspezifischen Empfehlungen zu berücksichtigen.

2.1 Düngung entsprechend des Düngebedarfs von festgelegten Teilschlägen

Auf der Grundlage von Erfahrungen, alten Bodenuntersuchungsergebnissen, Nährstoffverteilungskarten, mehrjährigen Ertragskarten, großmaßstäbigen Bodenkarten und Luftbildern werden Teilflächen ausgegrenzt, von denen ausgegangen wird, dass sie aus Sicht der Düngung (oder einer einheitlichen Bewirtschaftung) ausreichend homogen sind. Mit der Bodenuntersuchung soll nicht die Heterogenität der flächenhaften Nährstoffverteilung der Teilschläge aufgedeckt werden, sondern es wird der mittlere Nährstoffgehalt ermittelt. Es sind die Grundsätze einer flächenhaften, repräsentativen Probenahme zu beachten.

Die Teilflächen bilden auch den Flächenbezug für die Bodenartengruppe und für andere relevante Bodeneigenschaften zur Ableitung der Gehaltsklasse. Es wird empfohlen, einmalig die Bodenartengruppe anhand einer Bodenuntersuchung auf Tongehalt oder Feinanteil zu bestimmen. Anderenfalls kann die vorherrschende Bodenart bzw. Bodenartengruppe aus großmaßstäbigen Bodenkarten wie der Bodenschätzungskarte/Bohrlochbeschriebe entnommen und den Teilflächen zugeordnet werden. Hierbei ist zu beachten, dass die Aussagen zur Bodenart aus der Bodenschätzung nicht mehr in jedem Fall zutreffend sind und angepasst werden müssen, da es seit der Aufnahme der Bodenschätzungsergebnisse aufgrund von Bodendegradationen oder Rekultivierungen zu Veränderungen gekommen sein kann.

Der Düngebedarf der Teilfläche ergibt sich aus der Nährstoffversorgung (Gehaltsklasse) der Fläche unter Berücksichtigung des Zielertrages und ggf. anderer Einflussgrößen. Der Zielertrag für die Teilflächen lässt sich für einige Fruchtarten anhand von mehrjährigen digitalen Ertragskarten ableiten. Für eine Reihe von Fruchtarten gibt es keine Ertragsmeßsysteme und somit keine Ertragskarten. In diesem Fall ist der Zielertrag für die Teilfläche empirisch abzuschätzen und zu berücksichtigen.

2.2 Düngung auf der Grundlage von Verteilungskarten

Die teilflächenspezifische Düngung erfolgt der auf Grundlage von

- Karten der räumlichen Variabilität der Nährstoffe (Nährstoffverteilungskarten),
- Karte der räumlichen Variabilität der Bodenart bzw. Bodenartengruppe,
- Karte der räumlichen Variabilität des Zielertrages.

Die Gestaltung der Bodenprobenahme beeinflusst maßgeblich, wie es gelingt, die flächenhafte Nährstoffverteilung in ihrer Heterogenität zu erfassen. Dabei ist es für die zu treffende Aussage unerheblich, ob die Probenahme punktuell oder flächenhaft erfolgt. Entscheidend ist die Probendichte bzw. die Größe der Probenahmeflächen. In Auswertung verschiedener Literaturquellen und eigener Versuchsanstellungen wird für die Untersuchung von im Durchschnitt hoch bis sehr hoch versorgten und regelmäßig gedüngten Schlägen eine Probendichte von max. 100 m bzw. 1 ha empfohlen. Liegen die Flächen im Nährstoff-Optimum oder darunter und weisen sehr heterogene Standortverhältnisse auf, ist die Probendichte zu erhöhen. In diesem Fall sollte der Punktabstand 30 m betragen, jedoch nicht größer als 50 m bzw. 1/4 ha sein [4, 5, 6, 7, 8, 9]. Die Probenahme folgt einem gleichmäßigen Grid. Eine Anpassung der Probenahme an Kartierungseinheiten von Bodenkarten ist abzulehnen, da die aktuelle räumliche Variabilität der Nährstoffe nur gering mit Kartierungseinheiten korreliert.

Wird die Nährstoffverteilungskarte auf der Grundlage einer punktuellen Probenahme durch Interpolation geschätzt, kann man die Aussage einer Karte, welche auf Basis einer zu geringen Probendichte erstellt wurde, nicht verbessern, indem man den wenigen Punkten jeweils eine von einer größeren Fläche entnommene Sammelprobe zuordnet. Die Probe sollte mit mehreren Einstichen von einer höchstens 2 – 3 m² großen Stelle gewonnen werden. Dies ist auch deshalb wichtig, da bei der Erstellung der Nährstoffverteilungskarte gewöhnlich Interpolationsverfahren

zur Verrechnung von Punktwerten zum Einsatz kommen. Aus den punktuell erfassten Nährstoffgehalten des Schlages lassen sich mit Hilfe von Interpolationsverfahren Flächen gleicher Nährstoffgehalte (Isoflächen) berechnen, die in Form einer Nährstoffverteilungskarte dargestellt werden. Voraussetzung für die Anwendung der Interpolationsverfahren ist, dass ein räumlicher Zusammenhang zwischen den Nährstoffgehalten der Probenahmepunkte besteht. Ist dies nicht der Fall, ist eine Interpolation nicht zulässig. Die Höhe der interpolierten Nährstoffgehalte wäre dann rein zufällig, d.h. die Nährstoffverteilungskarte gibt die tatsächlichen Verhältnisse meist nur ungenügend wieder und das Fehlgeschehen ist nicht abschätzbar. Ausschlaggebend für die Qualität der Nährstoffverteilungskarte ist in erster Linie die Probenahmedichte. Mathematische Methoden, mit denen zusätzliche Punkte geschätzt werden können, sind nicht geeignet, die Aussage einer Nährstoffverteilungskarte zu verbessern, die auf einer ungenügenden Proben-dichte basiert. Bei der Anwendung der Interpolationsverfahren ist darauf zu achten, dass die jeweiligen Modellanforderungen erfüllt sind.

Aus der Nährstoffverteilungskarte wird eine Rasterkarte generiert. Diese Rasterzellen stellen die Teilflächen zur Ableitung der Applikationskarte dar. Weitere Bodeneigenschaften (z.B. Bodenartengruppe) sind in kongruente Rasterkarten zu überführen und bei der Ableitung der Gehaltsklasse für die Rasterzellen durch geeignete Algorithmen zu berücksichtigen. Grundsätzlich ist zu gewährleisten, dass alle miteinander zu verschneidenden Bodeneigenschaften mit einer vergleichbaren Beprobungsdichte erhoben wurden.

Eine flächenhafte Probenahme erfolgt von vornherein auf der Grundlage eines gleichmäßigen Flächenrasters. Eine Anpassung des Rasters an die Arbeitsrichtung und Arbeitsbreite der Technik ist empfehlenswert. Die einzelnen Rasterzellen sind über eine Sammelprobe zu beproben. Dabei sind die Grundsätze einer repräsentativen Probenahme zu beachten (Mindestanzahl der Einstiche für die Bildung einer Sammelprobe, räumliche Verteilung der Einstiche über die Teilfläche usw.).

Für die Darstellung der Nährstoffverteilung werden die Rasterflächen anhand ihrer Nährstoffgehalte klassifiziert. Eine Interpolation ist nicht erforderlich. Die Rasterzellen bilden auch den Flächenbezug für die Bodenartengruppe, für andere relevante Bodeneigenschaften zur Ableitung der Gehaltsklasse und für den Zieldertrag. Eine Bestimmung der Bodenartengruppe anhand einer Bodenuntersuchung auf Tongehalt oder Feinanteil ist empfehlenswert. Das Ergebnis kann bei Beibehaltung des Rasters in den Folgejahren für die Einstufung der aktuellen Nährstoffgehalte in die Gehaltsklasse wieder verwendet werden. Eine Ableitung der vorherrschenden Bodenart bzw. Bodenartengruppe aus großmaßstäbigen Bodenkarten wie der Bodenschätzungskarte/Bohrlochbeschriebe ist ebenfalls möglich. Hierbei sind die unter 2.1 genannten Einschränkungen zu beachten.

Für die Ableitung des Düngedarfs aus Gehaltsklasse und Zieldertrag der Teilfläche gilt das unter 2.1 Gesagte.

3 Schlussfolgerungen

In den Ausführungen sind Anforderungen formuliert, die sich aus anzuwendenden Methoden und Bewertungsverfahren ergeben. Den Autoren ist bewusst, dass vor allem die unter 2.2 beschriebenen Verfahrensweisen aus Gründen des Aufwandes nur bedingt in der Praxis Akzeptanz finden können. Es muss jedoch deutlich gemacht werden, dass die aus Kostengründen getroffenen Kompromisslösungen wie

- punktuelle Probenahme im 5 ha-Raster
- nicht repräsentative flächenhafte Probenahme
- Nichtberücksichtigung der Bodenart bei der Ableitung der Gehaltsklasse bzw. des Düngedarfs
- unzulässiger Verschnitt von Informationen unterschiedlicher Maßstabsebene

zu fachlich nicht fundierten Ergebnissen führen, die nicht vorhandene Genauigkeiten vortäuschen und den finanziellen Aufwand nicht rechtfertigen. Konsequenterweise sollte dann auf solche Verfahren verzichtet werden.

4 **Literatur**

- 1 DIN ISO 10381-4 (Entwurf Februar 1996): Bodenbeschaffenheit und Probenahme. Teil 4: Anleitung für das Vorgehen bei der Untersuchung von natürlichen, naturnahen und Kulturstandorten. Berlin, Beuth Verlag GmbH, S. 9
- 2 VDLUFA-Methodenbuch Band I: Die Untersuchung von Böden. VDLUFA-Verlag Darmstadt, Kapitel A 1.2.1
- 3 Klärschlammverordnung (1992): Anhang 1, Probenahme, Probevorbereitung und Untersuchung von Klärschlamm und Boden. Bundesgesetzblatt, Jahrgang 1992, Teil I
- 4 ANDERSON L. and D. BULLOCK (1996): Use caution in interpreting clusters of similar values in Soil Fertility Maps. Better Crops 80 (3)
- 5 BAKER, W. H. and S. D. CARROL (1996): Assessment of rice yield and fertility using site-specific technologies. Better Crops 80 (3)
- 6 DAMMER, K.-H., T. SCHWEIGERT, M. SCHRÖDTER und F. HOLZ (1998): Zur Erstellung von Nährstoffverteilungskarten auf der Basis GPS-gestützter Probenahme – Informationsverluste bei der Anwendung praxisüblicher Beprobungsdichten. Referate der 19. GIL-Jahrestagung in Halle (Saale), 1998
- 7 FRANZEN, D. W. and T. R. PECK (1995): Field soil sampling density for variable rate fertilization (North Dakota). J. Prod. Agric., Vol. 8 no. 4, 1995
- 8 HOLZ, F. und M. SCHRÖDTER (1997): Gestaltung von Stichproben bei der Bodenprobenahme zur Gewinnung repräsentativer Nährstoffdaten. VDLUFA-Schriftenreihe 46, Kongreßband 1997
- 9 WOLLENHAUPT, N. C., R. P. WOLKOWSKI and M. K. CLAYTON (1994): Mapping soil test phosphorus and potassium for Variable-Rate Fertilizer Application. J. Prod. Agric., Vol. 7 no. 4, 1994

Präzise düngen mittels Applikationskarten

WAGNER, U.

WIMEX Agrarprodukte Baasdorf

WIMEX Agrarprodukte Baasdorf verfügt eine landwirtschaftliche Nutzfläche von rund 7.000 ha. Wir bewirtschaften relativ große Schläge, die zum großen Teil eiszeitlich bedingt sehr heterogen sind. Deshalb sehen wir Optimierungspotenziale auf der Ebene des Schlages:

Potenzial	Zielfunktionen
Deckungsbeitragsteigerung	Erhöhung Qualitäten und Erträge, Minimierung Stückkosten
Managementoptimierung	optimierte Bestandesführung
Ressourcenschonung	höhere N-Effizienz, bedarfsgerechte Grunddüngung
Sicherheit	Bewirtschaftungsdokumentation (Transparenz)

In einem Großbetrieb ist es natürlich nur schwer möglich, den N-Dünger manuell in der Menge auf einem Schlag zu variieren. Aus diesem Grunde setzen wir in unseren Betrieben seit mehreren Jahren auf den Schlägen, die über eine ökonomisch relevante Heterogenität verfügen, **Applikationskarten** ein. Unter den Bedingungen des mitteldeutschen Trockengebietes wird der offline-Umsetzung der Daten über Applikationskarten gegenüber dem **online-Verfahren mit dem Hydro-N-Sensor** der Vorrang gegeben, weil die im Computer erstellten Optimierungsvorschläge vorab durch den Landwirt auf ihre Plausibilität geprüft werden können. Der Landwirt ist und bleibt so der entscheidende Faktor. Bei Fehlern kann noch korrigierend vor der Ausführung eingegriffen werden. Das ist auch eine Schlussfolgerung aus dem Trockenjahr 2000, die verdeutlicht, dass eine ertragspotenzialorientierte Strategie nicht mit einer „Momentaufnahme“ abgebildet werden kann.

Als Landwirte wissen wir, hier wächst mehr, dort wächst weniger, aber wir können die sichtbaren Ertragsunterschiede nicht quantifizieren. Das ist aber notwendig, wenn man Präzisionsackerbau betreiben will. Deswegen sind entsprechende Daten eine unabdingbare Voraussetzung. Unsere Erfahrungen besagen, Ertragsunterschiede lassen sich nicht aus einer Datenquelle allein beantworten. Die multitemporale und multifaktorielle Betrachtung ergibt sich aus der Vielschichtigkeit der ertragsbestimmenden Faktoren in der landwirtschaftlichen Produktion. Dabei kann die qualitative Bewertung von Ertragsmustern optimal durch die Fernerkundung und die quantitative Bewertung von Ertragsmustern durch die Ertragskartierung erfolgen.

Die Abgrenzung von Zonen unterschiedlicher Ertragsfähigkeit kann im **ersten Schritt** auch über die preiswertere Fernerkundung (0,53 €/ha und Jahr gegenüber der Mähdruschertragskartierung, die 7,87 bis 15,34 €/ha und Jahr Kosten verursacht) und der darauf aufbauenden gezielte Bodenbeprobung erfolgen. Im **zweiten Schritt** ist bei erkennbarer ökonomischer Heterogenität des Schlages über entsprechende Klassifizierungsverfahren zu prüfen, ob die für den Landwirt interessanten Hoch-, Mittel- und Niedrigertragszonen unabhängig von Fruchtarten und jährlichen Schwankungen sich als stabil erweisen. Erst dann kann man eine langfristige Strategie für die optimierte Bestandesführung entwickeln.

Gegenüber der herkömmlichen Düngung werden in einem 750 ha-Betrieb durch den Einsatz teilflächenspezifischer Düngetechnik für die N-Düngung 8,20 €/ha Mehrkosten erforderlich, die bei entsprechender Heterogenität der Schläge durch Einsparungen und Mehrerträge einen Grenzgewinn von rund 25,56 €/ha und Jahr ermöglichen.

Die Realisierung dieses Grenzgewinnes ist u.a. über den Einsatz von Applikationskarten und DGPS- und computergesteuerter Düngetechnik möglich. Die Applikationskarten werden nach unseren Vorgaben durch unseren Dienstleister, die Firma AGRO-SAT Consulting Baasdorf, erstellt. Diese ganz speziellen Fachkenntnisse und Erfahrungen erfordernden saisonalen Leistungen sind über den Dienstleister deutlich billiger und effektiver. Ein weiterer Vorteil besteht in der mehrfachen Nutzung der Grunddaten, die auch für die Aussaat und den Pflanzenschutz genutzt werden können. Auch für die gezielte Bodenbeprobung sind diese einmal erfassten Daten nutzbar. Insofern relativieren sich die Kosten, die auch als immaterielle Werte über mehrere Jahre abgeschrieben werden können.

Über Bordcomputer und Jobrechner erfolgt auf der Grundlage der erstellten Applikationskarte die Ausbringung des Düngers teilflächenspezifisch. Dabei werden gleichzeitig auch die Daten der tatsächlich ausgebrachten Menge in der Fläche erfasst, die als Dokumentation dann vorliegt. Jüngste Forderungen seitens der Politik unterstreichen dieses.

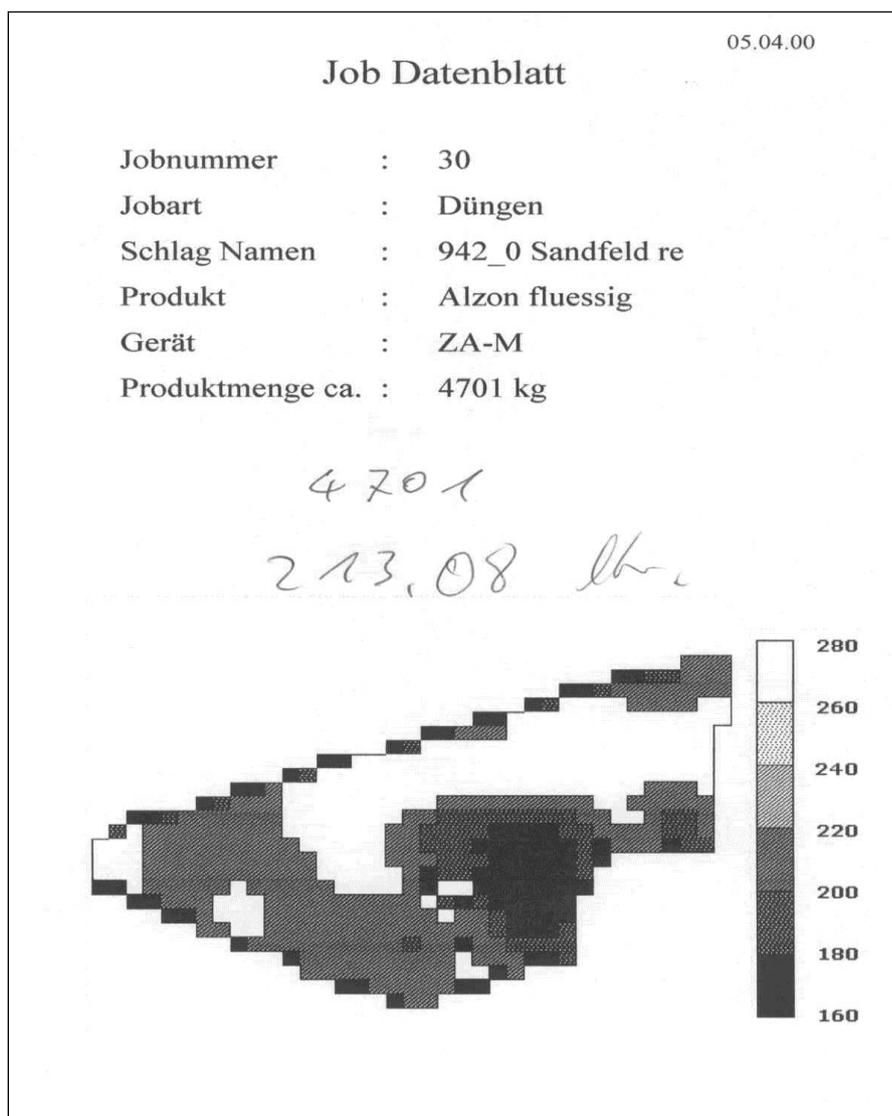


Abb. 1: Jobdatenblatt 942_0 Sandfeld rechts.

Es verdeutlicht die große Differenzierung der Düngermenge auf diesem Schlag nach Ertragszonen. Im Schlagmittel wurden 213 l/ha ausgebracht. Aus der Abbildung wird

ersichtlich, dass die Aufwandmenge von 160 l/ha, das sind 75% vom Schlagmittel, bis 280 l/ha gleich 131% vom Schlagmittel, differenziert worden ist. Das heißt in den Niedrigertragszonen haben wir 25 % des Düngers eingespart. In den Hohertragszonen haben wir 31% mehr ausgebracht. Diese differenzierte Bewirtschaftungsintensität dient der optimalen Versorgung von Zonen unterschiedlicher Ertragsfähigkeit.

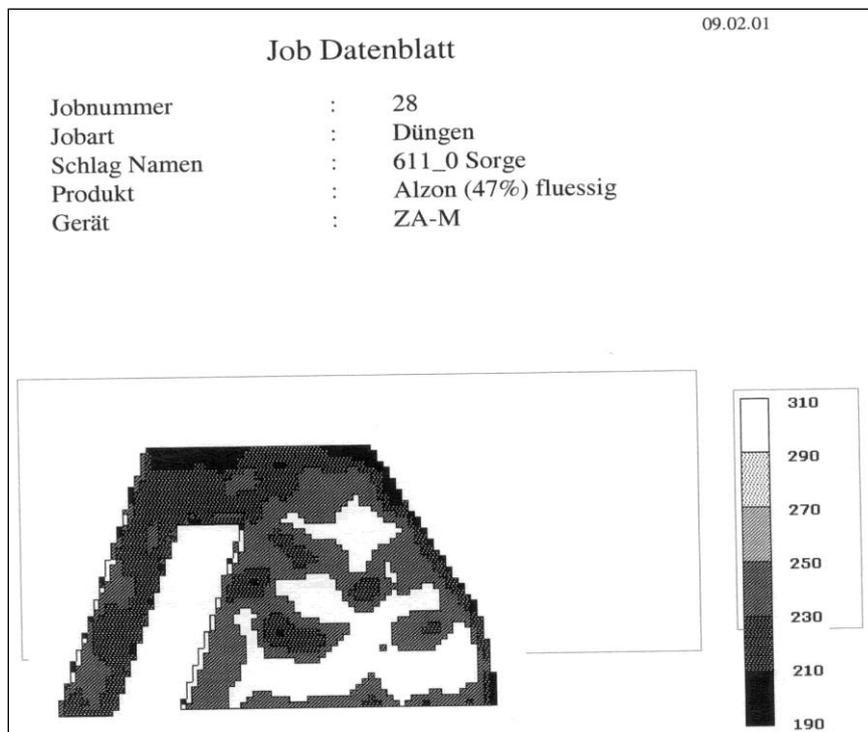


Abb. 2: Jobdatenblatt 611_0 Sorge. Schlageinheitlich wären laut Plan 264 l/ha ausgebracht worden. Durch die differenzierte Düngung waren es im Ist nur 233 l/ha.

Das Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim hat in den Jahren 1995 bis 1999 in der Agrar GmbH Golzow Untersuchungen zur Effektivität der teilflächenspezifischen Düngung durchgeführt. Die Fragestellung lautete, wie viel kg Korn können aus einem kg N realisiert werden.

Tab. 1: kg Korn je kg N bei schlageinheitlicher und teilflächenspezifischer Düngung am Beispiel Winterweizen in der Agrar GmbH Golzow (SCHMERLER, J., WARTENBERG, G. und D. EHLERT 2000)

Düngungsart Winterweizen	1995	1996	1998
Schlageinheitliche N-Düngung	37,4	44,2	37,8
Teilflächenspezifische N-Düngung	43,4	49,5	47,8

Diese höhere N-Effizienz ist das Ziel unserer teilflächenspezifischen Düngung. Der Dünger muss dort hin, wo ihn die Pflanze auch verwerten kann. Obwohl wir heute die Möglichkeiten haben wie GPS, GIS, PC, Elektronik usw. wird fast ausschließlich schlageinheitlich gedüngt. Dabei wird in Kauf genommen, dass die schlechteren Teile überdüngt, die besseren unterversorgt werden.

Das in der „Neuen Landwirtschaft“ Heft 11/2001 im Artikel „Variabel applizieren ohne viel zu investieren“ vorgestellte offline-Verfahren mittels low-cost GPS-Empfängern kann auf dem Weg zur Teilflächenbewirtschaftung eine preiswerte Einstiegsalternative sein.

Um differenziert Dünger auszubringen, haben wir uns unter unseren Bedingungen des mitteldeutschen Trockengebietes nach Abwägung der Vor- und Nachteile beider Verfahren für das offline-Verfahren entschieden.

	Hydro-N-Sensor ¹⁾	Teilschlagtechnik
Vorteile	- online-Verfahren	- Multifaktorielle und multi-temporale Datengrundlage. - Mehrfachnutzung der einmal erfassten Grunddaten . - Ermöglicht differenzierte Grund- und N-Düngung. - Landwirt kann aus seiner konkreten Sachkenntnis noch Einfluss nehmen.
Nachteile	- Nur für N-Düngung geeignet. - Helle Färbung der Ähren führt zu Überdüngung. Bei Dürre, Schwefelmangel, Gelbrost u.a. frühen Blattkrankheiten rät Hydro-agri vom Einsatz ab. - Für genaue Messung ist ein minimaler Sonnenstand erforderlich, wodurch die tägliche Einsatzzeit eingeschränkt ist. - Sensor erfasst nur 40% der Fläche und rechnet sie hoch. - Nur monokausaler Zusammenhang: Plausibilitätskontrolle fehlt.	- offline-Verfahren - Erfordert eine Vielzahl von mehrjährigen Daten: Fernerkundungs- bzw. Mähdruschertragskartierungsdaten, Bodenart, Ergebnisse Nährstoffuntersuchung, Reichsbodenschätzung, EM 38-Messung usw. - Erfordert die Erstellung von Applikationskarten.
Investitionsausgaben	N-Sensor 15.339.- € Regeltechnik Streuer 2.556.- €	Bordcomputer mit GPS 10.226.- € Jobrechner 2.863.- €
Jährliche Kosten	Aktualisierung PC-Programm 1.125.- €	Fernerkundungsdaten 0,53 €/ha 2 Applikationskarten N 4,20 €/ha
Kosten DM/ha + Jahr	6,14 € bis 7,16 €/ha ²⁾	8,22 €/ha ³⁾

¹⁾ Quelle: DLG, Nr. 2/2000, S. 25

²⁾ Quelle: DLG, Nr. 2/2000, S.25 (5 Jahre Nutzungsdauer, Jahresleistung 750 ha, 2 Gaben, in € umgerechnet)

³⁾ 750 ha unterstellt, 20% AfA, nur N-Düngung berücksichtigt (2.+3. Gabe), Fernerkundungsdaten 5 Jahre nutzbar (entspricht 0,53 €/ha + Jahr)

→ Bei beiden Verfahren nur Mehrkosten berücksichtigt. Traktor und Düngerstreuer als vorhanden unterstellt.

Für das mitteldeutsche Trockengebiet ist der Hydro-N-Sensor derzeit nur bedingt geeignet. „Durch den Einsatz des N-Sensors im Jahr 2000 mit einer extremen Vorsommertrockenheit wurde deutlich, dass der N-Sensor Bereiche mit Wasserstress falsch bewertet. Eine mögliche Lösung wäre somit die Hinterlegung während der Applikation mit anderen Standortinformationen.“ (pre agro. Zwischenbericht 2001, S.33). Auf Seite 304 des pre agro-Zwischenberichtes heißt es weiter: „ Im Gegensatz zu den bekannten Veröffentlichungen konnten für diesen (Versuchs-)Schlag keine pflanzenbaulichen Unterschiede zwischen den sensorgedüngten Fahrgassen und den konstant gedüngten Fahrgassen gefunden werden. ... aufgrund der höheren variablen Kosten für ... (den Einsatz des Hydro-N-Sensors) sinkt der Deckungsbeitrag um ca. 40 DM/ha (20,45 €/ha).“ Verbessert werden könnte die Situation dadurch, dass die Anwendungssoftware des Hydro-N-Sensors mit multitemporalen und multifaktoriellen Daten hinterlegt wird. Insofern muss er uns noch den Beweis seines Zusatznutzens – zumindest unter den Bedingungen des mitteldeutschen Trockengebietes - erbringen.

Der Vorteil beim Einsatz der teilflächenspezifischen Düngetechnik liegt darüber hinaus auch darin, dass sie sowohl für die N- als auch für die differenzierte Grunddüngung einsetzbar ist. Die differenzierte Grund- und N-Düngung ist der konventionellen Düngung überlegen (pre agro. Zwischenbericht 2001, S.34).

Verfasser:

Ulrich Wagner
WIMEX Agrarprodukte GmbH Baasdorf
Feldstraße 5
06388 Baasdorf

Mobiltelefon: 0172-340 75 69
Fax: 03496- 400 315
E-Mail: Wagner@Wimex-online.de

Standpunkt

Georeferenzierte Bodenprobenahme auf landwirtschaftlichen Flächen als Grundlage für eine teilflächenspezifische Düngung mit Grundnährstoffen

zuständige Fachgruppen:

- I Bodenkunde, Pflanzenernährung und Düngung
- II Bodenuntersuchung
- X Bodenfruchtbarkeit und Agrarökologie

Bearbeiter:

Dr. P. Boysen, Kiel
Dr. Th. Ebertseder, Limburgerhof
Dipl.-Ing. K. Gosch, Kiel
Fr. Dr. S. Haneklaus, Braunschweig
Dr. L. Herold, Jena
Dr. F. Holz, Halle
Dr. H. E. Kape, Rostock
Prof. Dr. O. Krause, Jena
Dr. K. Orlovius, Kassel
Dr. K. Severin, Hannover
Dr. M. Schrödter, Halle

Darmstadt, 19. September 2000

Impressum

Standpunkt des VDLUFA, 19. September 2000

Herausgeber: Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und
Forschungsanstalten (VDLUFA)
Bismarckstr. 41 A, 64293 Darmstadt
Telefon: 0 61 51-9 55 84-0, Fax: 0 61 51-95 58 40
E-Mail: info@VDLUFA.de
Homepage: <http://www.vdlufa.de>

Präsident: Prof. Dr. G. Breitschuh

Redaktionelle Bearbeitung: Dr. H.-E. Kape

Stellungnahme: Prof. Dr. R. Aldag, Speyer; Prof. Dr. D. Alt, Osnabrück, Dr. Th. Appel, Großbeeren, Prof. Dr. K. Auerswald, Freising; Dr. G. Baumgärtel, Hannover; Prof. Dr. G. Breitschuh, Jena; Dr. R. Flisch, Zürich; Dr. F. Fürstenfeld, Ochsenfurt; Dr. E. Grantzau, Hannover; Dr. J. Günther, Oldenburg; Dr. R. Gutser, Freising; LD U. Hege, Freising; Prof. Dr. G. Hoffmann, Freising; Dr. D. Horn, Ochsenfurt, Prof. Dr. W. Horst, Hannover; Dr. M. Kerschberger, Jena; Dr. R. Kluge, Karlsruhe; Prof. Dr. D. Köppen, Rostock; Prof. Dr. M. Körschens, Halle; Dr. J. Kralovez, Pilzen; Dr. M. Kücke, Soest; Dr. J. Lammel, Dülmen; Dr. A. Link, Dülmen; Prof. Dr. W. Merbach, Halle; Dr. H. Munk, Heiligenhaus; Dr. L. Nätscher, Freising; Dr. H.-W. Olf, Dülmen; Dr. G. Pasda, Limburgerhof; Dipl. Ing. J. Pollehn, Köln; Dr. D. Pradt, Frankfurt/M; Prof. Dr. G. Schilling, Halle; Dr. D. Schröder, Hannover; Dr. Th. Schwarick, Erfurt; Dr. K. Seibert, Speyer; Dr. Ch. v. Braunschweig, Kassel; Dr. E. Viehausen, Düsseldorf; Prof. Dr. W. Werner, Bonn; Dr. A. H. Wissemeier, Limburgerhof; Dr. J. Wollring, Dülmen; Dr. W. Zerulla, Limburgerhof

Endredaktion: Dr. H.-G. Brod
Gesamtherstellung: VDLUFA, Selbstverlag

Die Standpunkte des VDLUFA sind urheberrechtlich geschützt.

Georeferenzierte Bodenprobenahme auf landwirtschaftlichen Flächen als Grundlage für eine teilflächenspezifische Düngung mit Grundnährstoffen

1. Zielstellung

Mit dem Einzug neuer Technologien, wie GPS (Globales Positionierungs-System), GIS (Geoinformationssystem) und Fernerkundung, sind neue Möglichkeiten einer ortsdifferenzierten (georeferenzierten), teilflächenspezifischen Informationsgewinnung und -bewertung sowie Bewirtschaftung von landwirtschaftlichen Flächen gegeben.

Auch bei der Bodenprobenahme für die Bestimmung der Grundnährstoffversorgung (P, K, Mg und pH-Wert) und der Düngbedarfsermittlung für diese Nährstoffe werden diese Technologien zunehmend eingesetzt. Hierbei werden Informationen zur Lage der Probenahmeflächen bzw. Probenahmepunkte der Bodenuntersuchung mit Informationen über die Nährstoffversorgung, den zu erwartenden Nährstoffentzug und andere Standortfaktoren dieser Flächen bzw. Punkte kombiniert und zur Steuerung von Maschinen eingesetzt.

Durch eine an den Bedarf der Teilfläche angepasste Düngung soll erreicht werden, dass innerhalb der Schläge auftretende Differenzen im Nährstoffgehalt und Nährstoffbedarf bei der Düngung besser berücksichtigt werden. Dabei ist durch den Anwender zu hinterfragen, ob die dafür erforderlichen Informationen angemessen erfasst und bewertet wurden.

Die Zielstellung des vorliegenden Standpunktes beinhaltet deshalb die Formulierung von Mindestanforderungen an die Durchführung der georeferenzierten Bodenprobenahme mit Globalen Positionierungs-Systemen sowie an die Ermittlung und Darstellung der teilflächenspezifischen Nährstoffversorgung und des sich aus dem Ertragsniveau der Teilfläche ergebenden Düngedarfs für die Grundnährstoffe in Geoinformationssystemen.

Weiterhin soll Fehlentwicklungen bei der GPS-gestützten Bodenprobenahme sowie der Darstellung der Nährstoffversorgung und des Düngedarfs in Geoinformationssystemen entgegen gewirkt werden.

Die Nährstoffe Schwefel und Stickstoff wurden in den Standpunkt nicht einbezogen, da deren Beprobungsmuster grundsätzlich von dem für die Grundnährstoffe abweicht und die georeferenzierte Ermittlung der zusätzlich aktuell zu ermittelnden Düngedarfsparameter nach anderen Prinzipien erfolgt.

2. Grundsätze der Bodenprobenahme

Unabhängig von den Verfahren der Festlegung von Probenahmeflächen (Punkt 3) gelten bei der Entnahme von Bodenproben für die Ermittlung der Nährstoffversorgung die Richtlinien entsprechend VDLUFA-Methodenbuch I.

Die Entnahme der Bodenproben für die Erstellung von Nährstoffverteilungskarten kann als punktbezogene oder als flächenbezogene Probenahme erfolgen.

Die **punktbezogene Probenahme** (Punktbeprobung) ist die Entnahme von Boden an den Kreuzen eines gleichmäßigen Probenahmegitters (Grid). An jedem georeferenzierten Gitterpunkt, der jeweils zu dokumentieren ist, wird dazu auf sehr engem Raum eine Bodenprobe entnommen, die als Sammel- bzw. Endprobe zur Analytik gelangt.

Die Größe des Probenahmegitters (Rasterabstand) ist so zu wählen, dass die räumliche Abhängigkeit der Standorteigenschaften zwischen den Punkten noch gewährleistet ist (Autokorrelation). Die Autokorrelation ist erforderlich, um vom Punkt auf die Fläche schließen zu können. Sie ist zu ermitteln und nachzuweisen. Aufgrund vorliegender Untersuchungen ist eine Autokorrelation bei einer punktbezogenen Probenahme in der Regel noch gegeben, wenn der Rasterabstand zwischen den Probenahmepunkten 30 m bis 50 m beträgt, d.h. je Hektar mindestens vier bis 11 Proben entnommen werden.

Die **flächenbezogene Probenahme** (Streckenbeprobung) ist die Entnahme von Einzelproben entlang einer Beganglinie innerhalb einer abgegrenzten Probenahmefläche, die zu einer Sammel- bzw. Endprobe vereinigt werden. Die Größe der Probenahmefläche kann in Abhängigkeit vom Verfahren der Bodenuntersuchung (siehe Punkt 3) variieren. Die Probenahmefläche ist nach Möglichkeit quadratisch anzulegen.

Der Nachweis einer Autokorrelation ist für die flächenbezogene Probenahme nicht erforderlich, da die Fläche unmittelbar beprobt wird. Die Grenzen der Probenahmeflächen sind innerhalb der Feldgrenzen georeferenziert zu dokumentieren.

Auf der Probenahmefläche ist für die Probeentnahme eine Beganglinie zu wählen, die eine repräsentative Entnahme der Einzelproben gewährleistet (siehe Anleitung VDLUFA- Methodenbuch I) und eine Beprobung parallel zur Hauptbearbeitungsrichtung ausschließt. Eine Probenahme in oder entlang der Fahrgassen ist nicht zulässig. Die Länge der Beganglinie auf einer Probenahmefläche muss mindestens gleich der Länge der Diagonalen der jeweiligen Probenahmefläche sein.

Für eine Sammelprobe, deren Untersuchungsergebnis für die gesamte Probenahmefläche repräsentativ ist, sind entsprechend den Probenahmевorschriften entlang der Beganglinie

- auf dem Ackerland mindestens 15 - 20 Einzelproben (Einstiche)
- auf dem Grünland mindestens 30 - 40 Einzelproben (Einstiche)

zu entnehmen. Die Einzelproben sind entlang der Beganglinie gleichmäßig zu verteilen.

Bei der Nutzung mechanisierter Bodenprobenahmegeräte ist eine Bodenverschleppung auszuschließen sowie sicherzustellen, dass die in den Richtlinien des VDLUFA- Methodenbuches I geforderte Probenahmetiefe und eine gleichmäßige Entnahme des Bodenmaterials über die gesamte Schichttiefe gewährleistet werden.

Eine Bündelung von Probenahmeaggregaten (mehrere Einstiche an der selben Stelle) zur Absicherung der Anzahl der Einzelproben und der Bodenmenge ist abzulehnen.

3. Verfahren der Bodenprobenahme

Die georeferenzierte Entnahme von Bodenproben zur Ermittlung der Nährstoffversorgung landwirtschaftlicher Flächen und die Darstellung in Nährstoffverteilungskarten kann erfolgen für eine:

- Nährstoffgrundinventur
oder für eine
- Teilflächenuntersuchung.

Aus diesen beiden Verfahren ergeben sich unterschiedliche Anforderungen an die Festlegung der Probenahmeflächen bzw. des Probenahmerasters.

3.1 Nährstoffgrundinventur

Die Nährstoffgrundinventur verfolgt das Ziel, eine Aussage über die Differenziertheit der Nährstoffversorgung von landwirtschaftlichen Flächen zu erhalten. Sie sollte nur anlassbezogen durchgeführt werden, z.B. wenn die Heterogenität der Nährstoffversorgung völlig unbekannt ist, die Gehaltsunterschiede zwischen Probenahmeflächen vorangegangener Bodenuntersuchungen eine große Variabilität auf der Fläche aufweisen oder wenn deutliche Wachstumsunterschiede in den Pflanzenbeständen des jeweiligen Feldes beobachtet wurden.

Die Nährstoffgrundinventur basiert daher auf einer Bodenuntersuchung in einem sehr kleinräumigen, gleichmäßig angelegten Raster. Auf der Grundlage der Nährstoffgehalte und der Bodenart der einzelnen Rastereinheiten können nachfolgend Teile eines Feldes mit gleicher Nährstoffversorgung als Teilflächen für die Düngung und für spätere Probenahmen zusammengefasst und abgegrenzt werden.

Eine Wiederholung der Nährstoffgrundinventur zur Kontrolle, ob durch eine teilflächendifferenzierte Düngung entsprechend dem Düngebedarf der Teilflächen eine Angleichung der Nährstoffgehalte erreicht wurde, sollte nach 10 - 15 Jahren erfolgen.

Die Nährstoffgrundinventur kann als punktbezogene oder flächenbezogene Probenahme in einem gleichmäßigen Raster durchgeführt werden. Entscheidend für die Qualität der Erfassung der flächenhaften Nährstoffverteilung im Rahmen einer Nährstoffgrundinventur ist die Probenahmedichte bzw. die Größe der Probenahmeflächen (siehe Punkt 2).

Die flächenbezogene Probenahme im Rahmen einer Nährstoffgrundinventur stellt mathematisch-statistisch das robustere Verfahren dar. Die Flächengröße kann daher im Vergleich zur punktbezogenen Probenahme größer sein. Bei einer flächenbezogenen Probenahme sollte das Raster bei einer Flächengröße von 0,25 - 0,5 ha liegen.

Unter Berücksichtigung der in Punkt 2 genannten Anforderungen stößt man bei der punktbezogenen Probenahme bezüglich des Aufwandes, der Kosten und der Technologie eher an Grenzen der Praktikabilität als bei der flächenbezogenen Probenahme.

3.2 Teilflächenuntersuchung

Die Teilflächenuntersuchung stellt unter Praxisbedingungen den Normalfall der Bodenuntersuchung dar. Für die Abgrenzung der zu beprobenden Teilflächen auf einem Feld können die Ergebnisse der Nährstoffgrundinventur bzw. vorangegangener Bodenuntersuchungen sowie zusätzliche Informationen wie die Reichsbodenschätzung, Reliefdaten, Ertragskarten u.a. herangezogen werden. Mit der Teilflächenuntersuchung wird der mittlere Nährstoffgehalt einer bereits abgegrenzten Fläche ermittelt.

Die Teilflächenuntersuchung ist als flächenbezogene Probenahme durchzuführen. Die Größe der einzelnen Probenahmeflächen sollte in Abhängigkeit von der Variabilität der Nährstoffgehalte auf der Teilfläche eine Größe von 3 - 5 ha nicht überschreiten (siehe VDLUFA Methodenbuch Band I).

Das Testparzellenverfahren, bei dem nur eine einzelne Testparzelle für eine Fläche untersucht wird, deren Ergebnis die gesamte Fläche repräsentieren soll, ist für die teilflächenspezifische Düngebedarfsermittlung nicht geeignet.

4. Bewertung und Darstellung der Nährstoffversorgung

Die Bewertung der Bodennährstoffgehalte und der pH-Werte bei der Verarbeitung in Geoinformationssystemen hat nach den Grundsätzen des Gehaltsklassenprinzips des VDLUFA zu erfolgen. Bei der Ermittlung und Darstellung der Gehaltsklassen der Nährstoffversorgung bzw. der pH-Wertklassen sind Bodenart, Humusgehalt und weitere bekannte Standortfaktoren entsprechend der VDLUFA-Richtlinie bzw. deren länderspezifischer Umsetzung zu berücksichtigen. Grundsätzlich ist zu gewährleisten, dass alle Informationen mit einer ihrer räumlichen Variabilität angemessenen Dichte erhoben wurden. Bei der Auswertung wiederholter Bodenuntersuchungen ist die Vergleichbarkeit der angewandten Beurteilungsmaßstäbe für die ermittelten Messwerte der Nährstoffversorgung zu beachten.

Die Darstellung der Nährstoffversorgung in Nährstoffverteilungskarten von Geoinformationssystemen hat auf der Grundlage der fünf Gehalts- bzw. pH-Wertklassen A bis E zu erfolgen. Eine weitere Differenzierung über die Gehaltsklassen hinaus nach den Einzelmesswerten der Bodenuntersuchung sollte aus Gründen der Übersichtlichkeit der Darstellung und einer fachlich angemessenen und vergleichbaren Bewertung nicht vorgenommen werden.

Zur Vereinheitlichung der Darstellung im Sinne einer besseren Vergleichbarkeit wird folgende Zuordnung der Farben zu den Gehaltsklassen empfohlen:

Gehaltsklasse A:	rot
Gehaltsklasse B:	orange
Gehaltsklasse C:	gelb
Gehaltsklasse D:	grün
Gehaltsklasse E:	blau

Eine weitere farbliche Untersetzung (violett) der Gehaltsklasse E kann in ausgewählten Fällen erfolgen, wenn die Spanne der Nährstoffgehalte bzw. pH-Werte innerhalb eines Feldes oder Betriebes dadurch besser dargestellt werden kann.

Bei einer flächenbezogenen Beprobung werden die Probenahmeflächen an Hand ihrer Nährstoffgehalte den Gehaltsklassen entsprechend einzeln zugeordnet. Die Probenahmefläche bildet den Flächenbezug für die Bodenart und andere relevante Bodeneigenschaften zur Ableitung der Gehaltsklasse. Eine Interpretation der Messwerte über die Grenzen der Probenahmeflächen hinweg ist nicht zulässig.

Bei einer punktbezogenen Probenahme im Rahmen einer Nährstoffgrundinventur können für die kartografische Darstellung mit Hilfe von Interpolationsverfahren Flächen gleicher Nährstoffgehalte abgegrenzt werden. Bei der Auswahl der Interpolationsverfahren ist darauf zu achten, dass die jeweiligen Modellanforderungen erfüllt sind. Voraussetzung für die Anwendung der Interpolationsverfahren ist, dass ein räumlicher Zusammenhang zwischen den Nährstoffgehalten der Probenahmepunkte besteht.

Nach der Interpolation ist die für die einzelnen Isoflächen ermittelte Nährstoffversorgung entsprechend der VDLUFA-Richtlinie bzw. den länderspezifischen Grundsätzen zur Beurteilung der Nährstoffgehalte bzw. pH-Werte in die Gehalts- bzw. pH-Wertklassen einzustufen.

5. Ermittlung und Darstellung des Düngebedarfs

Der Düngebedarf für Phosphor, Kalium und Magnesium - bzw. der Kalkbedarf ist auf der Basis der Nährstoffversorgung bzw. der pH-Werte sowie unter Berücksichtigung des Zielertrages und anderer standorttypischer Einflussgrößen (u.a. Bodenart, Humusgehalt) für die Probenahmefläche bzw. Isofläche der Interpolation zu ermitteln. Hierbei sind die in den entsprechenden VDLUFA-Standpunkten definierten Grundsätze zu berücksichtigen.

Aufgrund der georeferenzierten Vermessung der Probenahmeflächen bzw. Probenahmepunkte ist es möglich, zur Ableitung des Düngebedarfs den für die einzelne Probenahme- bzw. Isofläche relevanten Zielertrag aus der Auswertung von mehrjährigen Ertragskartierungen innerhalb der Fruchtfolge zu nutzen und gegebenenfalls auch einen kleinflächigen, noch innerhalb der Probenahme- bzw. Isofläche differenzierten Düngebedarf zu berechnen. Liegen keine Ertragskartierungen vor, ist der Zielertrag der Rastereinheiten auf Grundlage von Erfahrungen abzuschätzen.

Für die Ermittlung des Düngebedarfs sind die Forderungen der Düngeverordnung bzw. deren länderspezifische Umsetzung zu berücksichtigen. Letztere gewährleisten eine angepasste Düngeempfehlung auf der Basis langjähriger Ergebnisse regionaler Feldversuche.

Die Darstellung der sich ergebenden Düngemengen in den Düngebedarfskarten der Geoinformationssysteme sollte für die einzelnen Nährstoffe in nur einer Grundfarbe erfolgen, wobei die Nährstoffmengen entsprechend ihrer Höhe in der Intensität der jeweiligen Farbe abgestuft werden müssen.

Um den Landwirten den unterschiedlichen Düngebedarf in vereinfachter Form darzustellen, sollte die Breite der Intervallstufen bei der Darstellung des Düngebedarfs je nach Nährstoff nicht geringer sein als:

Kalk:	5 dt/ha Ca	(7 dt/ha CaO)
Phosphor:	5 kg/ha P	(12 kg/ha P ₂ O ₅)
Kalium:	15 kg/ha K	(18 kg/ha K ₂ O)
Magnesium:	5 kg/ha Mg	(8 kg/ha MgO)

6. Fazit

Die GPS-gestützte Bodenprobenahme mit der Erstellung von Nährstoffverteilungs- und Düngebedarfskarten in Geoinformationssystemen findet zunehmend bei der Ermittlung des teilflächenbezogenen Düngebedarfs für die Grundnährstoffe in der praktischen Landwirtschaft Anwendung. Sie kann auf geeigneten Flächen die traditionelle Bodenprobenahme und die einheitliche Erstellung von Düngeempfehlungen für das Gesamtfeld ablösen. Für eine teilflächenspezifische Düngung stellt sie derzeit die wichtigste Entscheidungsgrundlage dar.

Die Nutzung der GPS-gestützten Bodenprobenahme und die Erstellung aussagefähiger Nährstoffverteilungs- und Düngebedarfskarten erfordert erhebliche Aufwendungen für die Beprobung und Untersuchung der Teilflächen sowie die Bewertung und Darstellung der Ergebnisse. Den Anwendern muss dabei deutlich gemacht werden, dass häufig aus Kostengründen getroffene Kompromisslösungen wie z. B.:

- punktuelle Probenahme im 3 - 5 ha Raster
- nicht repräsentative Probenahme bei flächenbezogener Beprobung
- Nichtberücksichtigung der Standortfaktoren bei der Ableitung der Gehaltsklassen und des Düngebedarfs
- Verschnitt von Informationen unterschiedlicher Dichte

zu fachlich nicht fundierten Ergebnissen führen, die nicht vorhandene Genauigkeiten vortäuschen und den finanziellen Aufwand nicht rechtfertigen.

Die GPS-gestützte Bodenuntersuchung und die Düngebedarfsermittlung entsprechend der Nährstoffversorgung und dem Nährstoffentzug der Pflanzen von Teilflächen führen nicht zwangsläufig zu einer Senkung des Düngeaufwandes, sondern ermöglichen vielmehr eine Optimierung der Düngeverteilung innerhalb eines Feldes. Dabei gleicht sich u. U. der Mehraufwand an Nährstoffen auf niedrig versorgten Teilflächen mit den Düngeersparungen auf hoch versorgten Flächen aus. Indem jedoch die Düngemittel verstärkt dort zur Anwendung gelangen, wo sie den größten Nutzeffekt erzielen, besteht die Möglichkeit, dass Ertragsreserven erschlossen und ökologische Effekte erreicht werden.

Mit Hilfe der georeferenzierten Positionierung der Bodenprobenahme wird die Auswertung und Anwendung der Bodenuntersuchung weiter verfeinert, da die Zuordnung von Analysenwert und Entnahmestelle erleichtert wird. Bei erneuter Bodenprobenahme besteht die Möglichkeit, die vorhergehenden Probenahmeflächen bzw. -punkte wiederzufinden und die Beprobung nach dem gleichen Beprobungsmuster zu wiederholen. Damit ist eine bessere Vergleichbarkeit von Untersuchungsergebnissen verschiedener Untersuchungszyklen gegeben.

Grundlagen der Düngebedarfsermittlung für eine gute fachliche Praxis beim Düngen

HOLZ, F.

Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau, Zentrum für Acker- und Pflanzenbau

Die Düngeverordnung regelt den rechtlichen Rahmen der guten fachlichen Praxis beim Düngen. Der § 4 der Düngeverordnung beschreibt die Grundsätze der Düngebedarfsermittlung. Dementsprechend sind bei der Ermittlung des Düngebedarfs der Kulturen folgende Einflussfaktoren zu berücksichtigen:

1. Nährstoffbedarf der angebauten Kultur für die unter den jeweiligen Standort- und Anbaubedingungen zu erwartenden Erträge und Qualitäten
2. Nährstoffgehalt und -nachlieferung des Bodens
3. Kalk- und Humusgehalt
4. durch Bewirtschaftung (ausgenommen Düngung) zugeführten nutzbaren Nährstoffe (Kultursubstrate, Bodenhilfsstoffe u.a.)
5. Anbaubedingungen (Kulturart, Vorfrucht, Bodenbearbeitung etc.).

Die ausreichende Kenntnis des Gehalts des Bodens an pflanzenverfügbaren Nährstoffen ist eine entscheidende Voraussetzung für eine bedarfsgerechte Düngung. Deshalb schreibt die Düngeverordnung die Ermittlung der im Boden verfügbaren Nährstoffmengen vor:

1. Stickstoff: mindestens einmal jährlich durch
 - ▶ Bodenproben oder
 - ▶ nach Empfehlung der zuständigen Behörde (LLG als Nachfolgerin der LUFA) oder einer von dieser empfohlenen Beratungseinrichtung
 - durch die Übernahme von Untersuchungsergebnissen vergleichbarer Standorte oder
 - durch Berechnungs- oder Schätzverfahren
2. Phosphor, Kalium, pH-Wert:
 - ▶ Bodenuntersuchung ist Pflicht !
 - ▶ Untersuchungsturnus:
 - Ackerland - mind. alle 6 Jahre,
 - extensives Dauergrünland - mind. alle 9 Jahre
3. Magnesium, Schwefel:
nur bei zu erwartendem Düngebedarf Bodengehalt ermitteln durch
 - ▶ Untersuchung von Boden- oder Pflanzenproben oder
 - ▶ Übernahme von Richtwerten der zuständigen Behörde (LLG) oder einer von dieser empfohlenen Beratungseinrichtung.

Die Probenahme und Untersuchung hat nach wissenschaftlich anerkannten Methoden zu erfolgen (z.B. Nmin-Untersuchung, DL-Methode)!

Zu Fragen der Bodenprobenahme wird auf den Beitrag von HEROLD und KERSCHBERGER im vorliegenden Heft verwiesen.

Düngungsplanung setzt die Kenntnis voraus, welches Nährstoffangebot in einem bestimmten Zeitraum erforderlich ist, um optimale Bedingungen für die Ertragsbildung der Pflanze zu sichern. Dabei hängt die Nährstoffaufnahme der Pflanze (= Nährstoffentzug) nicht nur von der vorhandenen Nährstoffmenge, sondern entscheidend auch von deren Verfügbarkeit ab. Der Düngebedarf ist diejenige Nährstoffmenge, die zu einem bestimmten Zeitpunkt dem Boden bzw. der Pflanze zugeführt werden muß, um einen optimalen Ertrag zu erzielen. Nicht zuletzt aufgrund der Transformations- und Pufferwirkung des Bodens unterscheiden sich Nährstoffbedarf und Düngebedarf teilweise erheblich. Somit sind bei der Düngebedarfsermittlung neben dem Nährstoffentzug auch Faktoren zu berücksichtigen, die die Verfügbarkeit der angebotenen Nährstoffe beeinflussen (z.B. Mineralisierung, Fixierung, Auswaschung, Bodenstruktur). Deshalb kann die einfach zu bewerkstellende Gegenüberstellung von Nährstoffzu- und abfuhr (meist als Nährstoffbilanz bezeichnet) zwar Aufschluß über die Größenordnung des Nährstoffbedarfs geben, für die Ermittlung des Düngebedarfs ist dies allein nicht ausreichend.

Hinsichtlich des Verhaltens im Boden sowie bei der Düngebedarfsermittlung zu berücksichtigender Eigenschaften lassen sich zwei Gruppen von Pflanzennährstoffen abgrenzen:

- A. Nährelemente, bei denen Boden vorwiegend als Speicher fungiert:
 - ⇒ P, K, Mg, B, Cu, Mn, Mo, Zn (pH-Wert)
 - Für diese Elemente ist vor allem der pflanzenverfügbare Gehalt entscheidend (Nährstoffkonzentration in der Bodenlösung)
- B. Nährelemente mit hoher Mobilität und leichter Umsetzbarkeit:
 - ⇒ N, S
 - Für diese Substanzen ist vor allem die gelöste Nährstoffmenge bedeutsam.

Phosphor, Kalium, Magnesium, pH-Wert

Ziel ist die Einstellung eines für die Ernährung der Pflanzen ausreichenden, optimalen Nährstoffgehalts des Bodens und der Ersatz der dem Boden durch die Ernten entzogenen Nährstoffe. Die Einstellung und Erhaltung eines optimalen Bodenmilieus (pH-Wert) ist u.a. Voraussetzung für die optimale Verfügbarkeit von Pflanzennährstoffen.

Wegen der Pufferwirkung des Bodens kann die Düngung in der Regel als Gesamtgabe für den Bedarf eines oder auch mehrerer Jahre erfolgen. Letztere Verfahrensweise - als Vorrats-, Voraus- oder Fruchtfolgedüngung bezeichnet - ist auf vielen Standorten möglich und empfehlenswert.

Grundlage für Düngebedarfsermittlung ist das Konzept der Gehaltssklassen (GK). Der Grundgedanke dieses Einstufungsverfahrens ist eine Klassifizierung des im Boden ermittelten Nährstoffgehalts bzw. des pH-Wertes. Je nach Grad der Abweichung von einem definierten Optimalbereich ergibt sich dann der Düngebedarf aus Zu- bzw. Abschlägen zur Einstellung einer optimalen Nährstoffkonzentration im Boden und aus dem Pflanzenentzug. Durch die Einbeziehung des Pflanzenentzugs in die Düngebedarfsermittlung kommt bei diesem Verfahren der Bilanzgedanke zum Tragen. Die Definition der GK und insbesondere die Abgrenzung der Optimalbereiche erfolgt auf der Grundlage umfangreicher Feldversuche an verschiedenen Standorten. Der Standorteinfluss findet Berücksichtigung in Form der Bodenart, die wiederum Bodengruppen zugeordnet wird.

Zur Definition der GK und der entsprechenden Grenzwerte für die einzelnen Nährstoffe wird auf die Richtwertbroschüre der LUFSA Sachsen-Anhalt (1) verwiesen. Dieses Heft enthält u.a. auch Angaben zum Nährstoffgehalt von pflanzlichen Produkten und organischen Düngern. Diese Daten werden benötigt, um eine Düngebedarfsermittlung nach dem in Abb. 1 dargestellten Schema vorzunehmen. Für Bestimmung der in der Abb. 1 erwähnten Zu- und

Abschläge zur Erreichung eines optimalen Bodengehalts sind zwei Verfahren üblich. Von der LLG (früher LUFA) wird die Verwendung von Bilanzwerten empfohlen, die aus Feldversuchen abgeleitet wurden. Die prinzipielle Vorgehensweise sowie Tabellen mit den Bilanzwerten sind der Broschüre von HOLZ (2) zu entnehmen. Alternativ dazu ist es möglich, die erforderlichen Zu- und Abschläge durch Faktoren zu berücksichtigen. Je nach GK wird der ermittelte Pflanzenbedarf (Abb. 1) mit einem Faktor multipliziert:

GK	A	B	C	D	E
Faktor	2,0	1,5	1,0	0,5	0 (keine Düngung)

Stickstoff

Wegen der hohen Mobilität und leichten Umsetzbarkeit des Stickstoffs im Boden und in Abhängigkeit von Fruchtart, Bewirtschaftung und Standort erfolgt die N-Düngung grundsätzlich so, dass der Nährstoff wesentlich während der Zeit des Wachstums der Pflanzen in einer am Bedarf orientierten Menge verfügbar wird. Zur besseren Nährstoffausnutzung ist häufig die zeitliche und mengenmäßige Verteilung der N-Düngung auf mehrere Gaben erforderlich. Für die Ermittlung des N-Düngungsbedarfs im Frühjahr haben sich verschiedene Systeme etabliert, die zumeist auf dem bekannten Nmin-Verfahren basieren. Dies trifft auch für das **Stickstoff-Bedarfs-Analyse-System** (SBA-System) zu, das von der LUFA bzw. LLG speziell für die Standortbedingungen in Sachsen-Anhalt angepasst wurde. Das Prinzip der Berechnung von N-Düngungsempfehlungen nach dem SBA-System verdeutlicht Abbildung 2. Eine nähere Beschreibung einschl. Tabellen zu Sollwerten und zur Sollwertanpassung gibt HOLZ (2).

Bei einer Verteilung der N-Düngung auf mehrere Gaben (z.B. bei Getreide) besteht das Erfordernis, während der Vegetationsperiode den N-Bedarf für die einzelnen Teilgaben zu ermitteln bzw. zu präzisieren. Dafür ist die Anwendung eines der folgenden Verfahren als Entscheidungshilfe in Betracht zu ziehen:

- Nitrat-Schnelltest (Feld)
- komplexe Pflanzenanalyse (Labor)
- Messung der Blattfärbung (Chlorophyllmessung)
- Nahinfrarot-Aufnahme (Luftbildmessung)
- Düngefenster

Weiterführende Literatur

- (1) LANDWIRTSCHAFTLICHE UNTERSUCHUNGS- UND FORSCHUNGSANSTALT SACHSEN-ANHALT (1999): Richtwerte für eine gute fachliche Praxis beim Düngen im Rahmen einer ordnungsgemäßen Landbewirtschaftung. Eigenverlag, 38 S.
- (2) HOLZ, F. (1999): Grundlagen der Düngebedarfsermittlung für eine gute fachliche Praxis beim Düngen. Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt (LUFA) Sachsen-Anhalt, 61 S.
- (3) RÜHLMANN, O. (2000): Wirtschaftsdünger, effektiv und umweltschonend lagern und einsetzen. LUFA Sachsen-Anhalt, 66 S.

Anschrift des Verfassers

Dr. Falko Holz
Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau, Zentrum für Acker- und Pflanzenbau
Strenzfelder Allee 22, D-06406 Bernburg
Email: Falko.Holz@llg.mrlu.lsa-net.de, Internet: www.llg-lsa.de

Abb. 1: Prinzip der Berechnung von P- und K-Düngungsempfehlungen

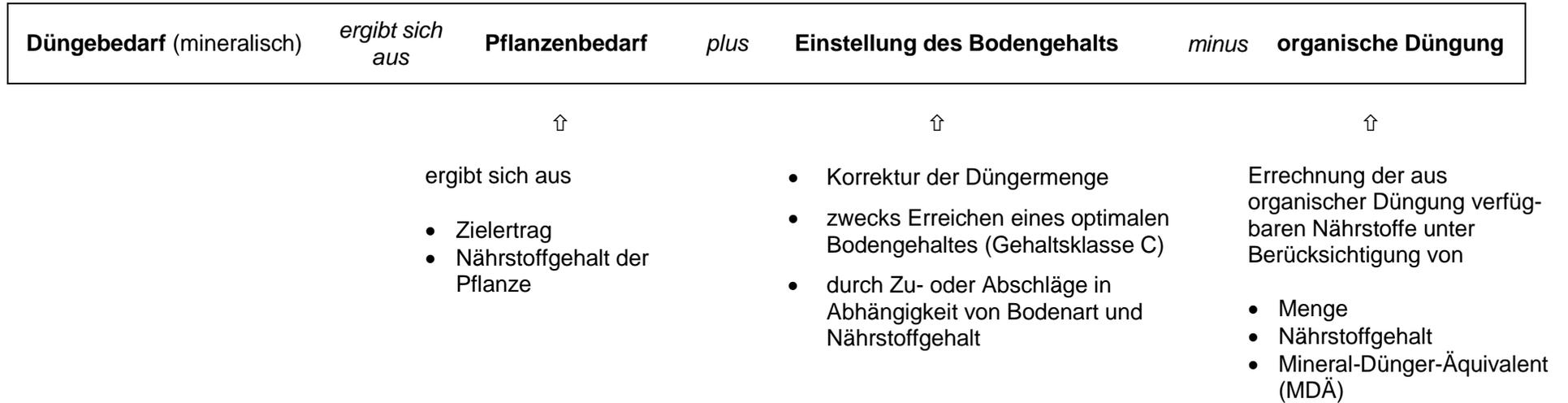


Abb. 2: Prinzip der Berechnung von N-Düngungsempfehlungen nach dem SBA-System

