

# Grundlagen der Düngebedarfsermittlung für eine gute fachliche Praxis beim Düngen

Bearbeiter:  
Dr. Falko Holz

unter Mitarbeit von  
Dipl.-Agraring. Ursula Weigel  
Dipl.-Agraring. Karola Kuhn

LUFA Sachsen-Anhalt

# Inhaltsverzeichnis

1	Einführung .....	3
2	Boden- und Pflanzenuntersuchung .....	5
2.1	Boden- und Pflanzenuntersuchung als Grundlage für die Düngung .	5
2.2	Bodenuntersuchung .....	6
2.2.1	Untersuchungsmethoden .....	6
2.2.2	Probenahme.....	7
2.2.3	Stickstoff.....	10
2.2.4	Standard-Bodenuntersuchung .....	12
2.2.5	Schwefel.....	15
2.2.6	Mikronährstoffe .....	16
2.3	Pflanzenuntersuchung.....	18
2.3.1	Komplexe Pflanzenanalyse .....	19
2.3.2	Nitrat-Schnelltest.....	22
2.3.3	Indirekte Verfahren.....	24
3	Düngebedarfsermittlung.....	25
3.1	Stickstoff.....	25
3.1.1	Stickstoff-Bedarfs-Analyse-System .....	27
3.1.2	Einfaches Sollwertverfahren und Nutzung von Vergleichswerten....	31
3.1.3	N-Düngewirkung von Wirtschaftsdüngern .....	33
3.1.4	Pflanzenuntersuchung und Düngefenster.....	34
3.1.5	Grünland .....	36
3.2	Grunddüngung.....	36
3.2.1	Phosphor und Kalium .....	37
3.2.2	Kalkbedarf .....	42
3.2.3	Magnesium .....	46
3.3	Schwefel.....	48
3.4	Mikronährstoffe .....	50

## Anhang

# 1 Einführung

Düngung im engeren Sinn ist die gezielte Nährstoffzufuhr zur Erzeugung hoher und stabiler Erträge und zur Sicherung einer hohen Qualität der erzeugten Produkte. Die Realisierung dieses Ziels erfordert eine bedarfsgerechte Bemessung und zeitliche Verteilung der Düngung, die Auswahl eines geeigneten Nährstoffträgers und die sachgemäße Ausbringung unter Beachtung der räumlichen Verteilung. Der Erfolg bei der Bewältigung dieser Aufgabe mißt sich u.a. daran, daß die Nährstoffe von den Pflanzen weitestgehend ausgenutzt und Nährstoffverluste bei der Bewirtschaftung sowie damit verbundene Einträge in die Gewässer möglichst vermieden werden. Das entspricht zugleich einer der entscheidenden Forderungen der „Verordnung über die Grundsätze der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung)“.

Unabdingbar für eine gute fachliche Praxis ist die fundierte Ermittlung des Düngebedarfs. Die vorliegende Broschüre beschreibt die grundsätzliche Herangehensweise bei der Düngebedarfsermittlung und dient in Ergänzung zum bereits veröffentlichten Zahlenwerk „Richtwerte für eine gute fachliche Praxis beim Düngen im Rahmen einer ordnungsgemäßen Landbewirtschaftung“ (im folgenden ‘Richtwertbroschüre’ genannt; Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt Sachsen-Anhalt, 3. Auflage 1999) als fachliche Grundlage für die Umsetzung der Düngeverordnung im Land Sachsen-Anhalt.

Diese Broschüre wendet sich an jeden, der Informationen zu den Prinzipien der Düngebedarfsermittlung erwartet. Der erste Teil der Darstellung widmet sich ausführlich dem Thema der Boden- und Pflanzenuntersuchung. Damit wird auch der großen Bedeutung Rechnung getragen, die die Düngeverordnung der Untersuchung von Pflanzen, Böden und Düngemitteln als Ausgangspunkt für die Ermittlung des Düngebedarfs beimißt. Im zweiten Teil folgt eine Beschreibung von Verfahren und Möglichkeiten zur Bestimmung der Düngebedürftigkeit.

Spezielle acker- und pflanzenbauliche Fragen werden nicht behandelt. Dies würde den Rahmen einer solchen Veröffentlichung sprengen und auch die notwendige Aktualität von spezifischen Empfehlungen ließe sich in dieser Weise nicht gewährleisten. Aber gerade die praktische Umsetzung grundlegender Prinzipien erfordert die Berücksichtigung der Besonderheiten des jeweiligen Standortes. Hier ergeben sich wichtige Aufgaben für Landeseinrichtungen wie die Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt (LUFA) und die Lehr- und Versuchsanstalten (LVA), aber auch für wissenschaftliche Institutionen, die auf Basis von Ergebnissen ihrer Versuchstätigkeit den Landwirten und Beratern standortbezogene Empfehlungen liefern. Diese Informationen stehen den Nutzern in verschiedener Form zur Verfügung. Neben speziellen Veranstaltungen wie Feldtage oder themenbezogene Foren vermitteln die Landeseinrichtungen ihre Empfehlungen in Veröffentlichungen unterschiedlicher Form. In Ergänzung zu bewährten Medien wie landwirtschaftliche Zeitschriften erlangt die Präsentation im Internet zunehmende Bedeutung.

Es ist besonders hervorzuheben, daß fundierte Aussagen für eine standortangepaßte, bedarfsgerechte Düngung nur auf der Basis von Erkenntnissen aus regionalen Feldversuchen getroffen werden können. Dieser Umstand war progressiven Wissenschaftlern und Praktikern schon in früherer Zeit sehr wohl bewußt. Es sei an dieser Stelle an die großen Traditionen erinnert, auf die das Land Sachsen-Anhalt auf diesem Gebiet verweisen kann. Beispielhaft sind hier die Beiträge von HERMANN HELLRIEGEL (Nachweis der Luftstickstoffbindung durch Knöllchenbakterien), MAX MAERCKER (Einführung von Kalisalzen und Thomasmehl als Düngemittel, Untersuchungen zur organischen Düngung) und ALBERT SCHULTZ-LUPITZ (Düngung und Bewirtschaftung leichter Sandböden) zu nennen.

## 2 Boden- und Pflanzenuntersuchung

### 2.1 Boden- und Pflanzenuntersuchung als Grundlage für die Düngung

Das Wachstum und damit die Ertragsbildung von Pflanzen hängt von vielen Faktoren ab. Ziel acker- und pflanzenbaulicher Tätigkeit ist es, möglichst optimale Bedingungen für die Ertragsbildung der Kulturpflanzen zu schaffen. Eine sehr wirksame Möglichkeit der Einflußnahme auf die Pflanzenentwicklung stellt die Zufuhr von Pflanzennährstoffen in Form der Düngung dar. Im Mittelpunkt stehen dabei die sogenannten Mineralnährstoffe. Unter diesem Begriff werden gemeinhin die Makronährstoffe Stickstoff (N), Phosphor (P), Kalium (K), Magnesium (Mg), Calcium (Ca) und Schwefel (S) sowie die Mikronährstoffe Eisen (Fe), Mangan (Mn), Zink (Zn), Kupfer (Cu), Bor (B) und Molybdän (Mo) zusammengefaßt. Neben diesen genannten Elementen benötigen manche Pflanzen weitere Mineralnährstoffe.

Mineralnährstoffe, die Gegenstand der weiteren Ausführungen sind, werden durch die Pflanze im wesentlichen über die Wurzel aus dem Boden aufgenommen. Eine Aufnahme über das Blatt ist ebenfalls möglich, jedoch wird auf diesem Weg meist nur ein sehr geringer Teil des Nährstoffbedarfs gedeckt. Dem Boden kommt somit bei der Ernährung der Pflanzen eine besondere Bedeutung zu. Die genaue Kenntnis der Menge an Nährstoffen, die im Boden für die Pflanze verfügbar sind bzw. über einen bestimmten Zeitraum verfügbar werden, ist deshalb eine unabdingbare Voraussetzung für die Ermittlung des Düngebedarfs. Letztlich ist über Düngungsmaßnahmen der Teil des Nährstoffbedarfs zu befriedigen, der nicht aus dem Bodenvorrat gedeckt werden kann.

Die Untersuchung des Bodens und/oder der Pflanze ermöglicht eine Einschätzung der Nährstoffversorgung. Eine Bodenuntersuchung erlaubt Aussagen über den potentiell pflanzenverfügbaren Nährstoffvorrat. Hingegen gibt eine Pflanzenuntersuchung Aufschluß über die Nährstoffaufnahme, d.h. den tatsächlichen Ernährungszustand der Pflanze. Allerdings liefert jede Untersuchung zunächst nur einen Meßwert, der einer Interpretation bedarf. Die Entwicklung und Anwendung geeigneter Methoden zur Untersuchung der Nährstoffversorgung sowie für eine fundierte Bewertung der Analyseergebnisse ist also eine entscheidende Grundlage für die Ableitung des Düngebedarfs. Das erfordert die Kenntnis des Zusammenhangs zwischen dem Meßwert und einer definierten Zielgröße (typisches Beispiel: Zusammenhang zwischen dem Gehalt des Bodens an pflanzenverfügbarem Nährstoff und dem Ertrag). Diese Zusammenhänge lassen sich in der Regel nur durch umfangreiche Feldversuche ergründen. Entscheidend ist, daß Untersuchungsmethode und Bewertung eine untrennbare Einheit bilden.

Vom Verband der Deutschen Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) werden fortlaufend Methoden hinsichtlich ihrer Eignung geprüft und für eine einheitliche Anwendung in einem speziellen Methodenbuch detailliert beschrieben. Insbesondere die Anwendung der zu Verbandsmethoden erklärten Untersuchungsverfahren und die Einhaltung von definierten laborinternen Qualitätssicherungsmaßnahmen sichert eine nachvollziehbare Analytik als Grundlage für eine fundierte Bewertung.

Die Anwendung einheitlicher Methoden allein genügt jedoch nicht. Eine Übertragbarkeit von Methode und Bewertung auf andere Bedingungen ist nicht von vornherein gegeben. Vielmehr ist dies unter verschiedenen Standortbedingungen zu prüfen. Die regionalen Standortunterschiede erfordern es, die Eignung einer Methode auch innerhalb eines Bundeslandes nachzuweisen. Eine willkürliche Anwendung von Methoden oder eine Bewertung ohne ausreichende Eichung kann zu falschen Aussagen führen und ist ebenso abzulehnen wie eine einfache Umrechnung von Meßwerten zur Anwendung eines Bewertungsalgorithmus, der für eine andere Methode entwickelt wurde.

## 2.2 Bodenuntersuchung

### 2.2.1 Untersuchungsmethoden

Zur Ermittlung des Gehalts an pflanzenverfügbaren Nährstoffen im Boden empfiehlt die LUFA Sachsen-Anhalt die in Tab. 1 aufgeführten Untersuchungsmethoden, die auch im Sinne der Düngeverordnung § 4 (2) wissenschaftlich anerkannt sind.

Die Untersuchungsergebnisse werden für die Makronährstoffe in mg Nährstoff je 100 g trockener Boden angegeben. Für Stickstoff und Schwefel erfolgt zusätzlich eine Umrechnung auf kg Nährstoff je Hektar. Die übliche Einheit für die Angabe des Gehalts an pflanzenverfügbaren Mikronährstoffen ist mg Nährstoff je kg trockener Boden. Grundsätzlich sollte für die Angabe der Nährstoffe die Elementform zugrunde gelegt werden. Sehr häufig sind aber auch Angaben in Oxidform anzutreffen, insbesondere zum Phosphor- und Kaliumgehalt. Dies ist bei der Bewertung und Interpretation der Werte unbedingt zu beachten. Eine Verwechslung der Bezugsbasis zieht eine falsche Bewertung nach sich. Deshalb sollten alle Nährstoffangaben konsequent auf eine einheitliche Größe, bevorzugt die Elementform, umgerechnet werden. Faktoren zur Umrechnung enthält die Tab. 19 der Richtwertbroschüre.

Hinsichtlich der Bewertung der Untersuchungsergebnisse wird auf den Abschnitt 3 (Düngebedarfsermittlung) verwiesen.

Tab. 1: Untersuchungsmethoden zur Bestimmung des Gehalts an pflanzenverfügbaren Nährstoffen und des pH-Werts

Parameter	Untersuchungsmethode
Stickstoff	Nmin-Methode
Schwefel	Smin-Methode
Phosphor	DL-Methode
Kalium	DL-Methode
Magnesium	CaCl <sub>2</sub> - Methode
pH-Wert	CaCl <sub>2</sub> - Methode
Bor	Heißwasserextraktion nach BERGER und TRUOG
Kupfer	HNO <sub>3</sub> -Methode nach WESTERHOFF
Mangan	Sulfit-pH-8-Methode nach Schachtschabel
Molybdän	Untersuchungsmethode nach GRIGG
Zink	EDTA-Methode nach TRIERWEILER und LINDSAY

### 2.2.2 Probenahme

Der Aussagewert eines Untersuchungsergebnisses und damit die Korrektheit einer darauf basierenden Düngebedarfsermittlung wird entscheidend durch die Probenahme beeinflusst. Fehler bei der Probenahme lassen sich niemals durch eine noch so genaue Laboranalytik kompensieren. Untersuchungen der LUFA zeigen, daß die bei einer wiederholten Beprobung und Untersuchung auftretenden Abweichungen meist zu mehr als 80 % durch die Probenahme bedingt sind. Dabei wird die Streuung der Werte einerseits durch die naturgegebene Variabilität (horizontale und vertikale Nährstoffverteilung), andererseits durch wirkliche Fehler bei der Probenahme (z.B. falsche Handhabung des Bohrstocks, Verwechslung von Proben) verursacht. Die Gesamtstreuung wird also immer maßgeblich durch die Probenahme bestimmt. Ziel der Gestaltung der Probenahme muß es sein, diese Streuungsursachen im Sinn des gewünschten Ergebnisses weitgehend auszuschließen bzw. zu berücksichtigen. Für die Wiederholbarkeit und Vergleichbarkeit von Ergebnissen ist es aber genauso wichtig, die Größe der Gesamtstreuung möglichst konstant zu halten. Gemeinhin wird dieser Anspruch mit dem Begriff einer „repräsentativen Probenahme“ beschrieben und an der Präzision und Treffsicherheit des Untersuchungsergebnisses gemessen.

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 Nährstoffgehalts innerhalb der Fläche zu berücksichtigen.

Die Abgrenzung der Teilflächen erfordert eine genaue Kenntnis über Unterschiede in der Bodenbeschaffenheit eines Schläges, wobei neben Substratunterschieden u.a. auch Wasserverhältnisse, Reliefeigenschaften und Bearbeitungsrichtung von Bedeutung sein können. Auch die bisherige Bewirtschaftung (insbesondere Düngungsmaßnahmen) sind zu berücksichtigen. Dabei sind die Teilflächen um so kleiner zu wählen, je stärker die zu erwartende Differenzierung ist. Es ist jedoch davon auszugehen, daß selbst bei sehr einheitlichen Standorten Flächen von mehr als 10 ha nicht als homogen hinsichtlich des zu erfassenden Nährstoffgehalts gelten können.

Das festgelegte Probenahmeraster sollte in einer Karte eingetragen werden, um Nährstoffunterschiede besser zu lokalisieren und bei Wiederholungsbeprobungen die Vergleichbarkeit der Untersuchungsergebnisse zu sichern.

In sehr konsequenter Weise kann die Erfassung und Abbildung der Unterschiede im Nährstoffgehalt eines Feldes mit den Möglichkeiten der GPS-Technik erfolgen. Für eine differenzierte Grundaufnahme der Nährstoffverteilung mit einem solchen Verfahren ist es sinnvoll, die zu untersuchende Fläche gitterförmig in kleine Probenahmeflächen aufzuteilen. Nach den Erfahrungen der LUFA lassen sich bei einer Grundaufnahme Unterschiede im Nährstoffgehalt nur dann ausreichend erfassen, wenn die Beprobungseinheiten die Größe von 1 ha nicht überschreiten.

Die Differenzierung der gefundenen Nährstoffgehalte kann Ausgangspunkt für eine teilflächenspezifische Bewirtschaftung sein. Die einmal vorgenommene Teilflächenabgrenzung sollte über längere Zeit beibehalten werden, um Veränderungen im Nährstoffgehalt erkennen zu können.

Für die Probenahme gelten unabhängig von der Größe der Bezugsfläche immer die gleichen Grundregeln. In jedem Fall muß durch die Gestaltung der Probenahme gesichert sein, daß die jeweils zugrundeliegende Fläche durch die Probe repräsentiert wird. Wichtige Voraussetzungen dafür sind eine ausreichende Anzahl an Probenahmepunkten sowie die richtige Verteilung dieser Punkte.

Dabei muß ein Kompromiß zwischen Probenahmeaufwand und zu erzielender Genauigkeit eingegangen werden, für den sich bestimmte Mindestanforderungen formulieren lassen. So sollten je Teilfläche mindestens 15 bis 20 Einstiche entnommen werden. Die einzelnen Probenahmepunkte sollten so verteilt werden, daß sie möglichst gleichmäßig die gesamte Probenahmefläche überdecken. Das kann durch eine entsprechende Anordnung der einzelnen

Punkte auf einem vorgegebenen Probenahmepfad erreicht werden. Die Auswahl eines geeigneten Probenahmepfades (z.B. einfache oder doppelte Diagonale, S-, N- oder W-förmige Verteilungen) erfolgt in Abhängigkeit von den Standortgegebenheiten (Abb. 1). Der Probenahmepfad sollte nie parallel zur Bearbeitungsrichtung liegen, um Fehler durch Auswirkungen vorangegangener Bewirtschaftungsmaßnahmen (z.B. durch Düngestreifen) zu vermeiden.

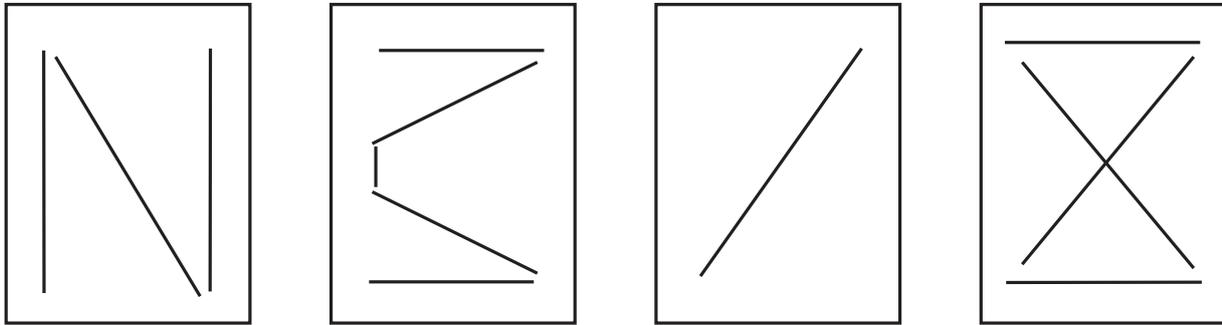


Abb. 1: Beispiele für Begehungsmuster einer Probenahme­fläche

An jedem Probenahmepunkt wird mit einem geeigneten Bohrstock auf ebener bzw. festgetretener Erde senkrecht eingestochen. Die für eine Teilfläche an den einzelnen Punkten entnommenen Teilproben werden zu einer Sammelprobe (auch Misch- oder Durchschnittsprobe genannt) vereint. Die zur Untersuchung einzuliefernde Probe sollte eine Masse von mindestens 300 bis 500 g aufweisen. Falls die Sammelprobe wegen einer großen Anzahl von Probenahmepunkten eine wesentlich größere Menge umfaßt, kann entweder die gesamte Substanz an das Labor geschickt oder zuvor eine Massereduktion durch Teilung vorgenommen werden. Bei einer Teilung ist eine intensive Durchmischung und weitgehende Homogenisierung der Sammelprobe unabdingbare Voraussetzung für die Repräsentativität der Endprobe.

Für die weitere Bearbeitung der Probe sind je nach Art der Untersuchung bestimmte Besonderheiten hinsichtlich der Behandlung der Probe zu beachten (z.B. Kühlung von Nmin-Proben bei Lagerung und Transport). Große Aufmerksamkeit sollte einer zweifelsfreien und gut zu erkennenden Kennzeichnung der Proben gewidmet werden. Da diese Probenbezeichnung im Labor nicht nur Voraussetzung für eine verwechslungsfreie Bearbeitung ist, sondern auch der Zuordnung des Untersuchungsergebnisses bei der Attestierung dient, sind möglichst kurze und eindeutige, aber auch sinnvolle Probenbezeichnungen zu verwenden. Letztlich können die Untersuchungsergebnisse nur anhand der Probenbezeichnung wieder den jeweiligen Probenahme­flächen zugeordnet werden. Eine zweifelsfreie Kennzeichnung liegt also auch im Interesse des Auftraggebers.

Diese Probenbezeichnungen sollten auch als Bezug im Probenbegleitschein benutzt werden. Im Probenbegleitschein, der in der Regel zugleich als Formular für die Auftragserteilung fungiert, werden wichtige probenbezogene Informationen erfaßt, die für eine sachgemäße Bewertung des Untersuchungsergebnisses (z.B. für die Berechnung einer Düngungsempfehlung) unabdingbar sind. Deshalb sollte man sich als Auftraggeber der Mühe unterziehen, den Probenbegleitschein möglichst lückenlos und exakt auszufüllen.

### 2.2.3 Stickstoff

Stickstoff (N) unterliegt im Boden einer regen Dynamik, wodurch der pflanzenverfügbare N-Gehalt in Abhängigkeit von Jahreszeit, Standort, Bewirtschaftungsbedingungen und anderen Faktoren in weiten Grenzen schwanken kann. Zudem gibt es - wesentlich bedingt durch die Witterung - große Unterschiede zwischen einzelnen Jahren.

Mit einer Stickstoffdüngung kann - stärker als bei anderen Nährstoffen - sehr direkt und kurzfristig Einfluß auf die Ertragsbildung genommen werden. Andererseits erfordert eine gezielte N-Düngung besonders gute Kenntnisse hinsichtlich des Nährstoffvorrats, der Verfügbarkeit und der Aufnahme aus dem Boden. Die jährliche Untersuchung des N-Gehalts des Bodens stellt eine wichtige Grundlage für die N-Düngebedarfsermittlung dar.

Ein weit verbreitetes Verfahren, insbesondere zur Bemessung der 1. N-Gabe im Frühjahr, ist die Untersuchung und Bewertung des pflanzenverfügbaren N im Boden nach der Nmin-Methode. Dabei wird davon ausgegangen, daß die Pflanze den größten Teil des im Boden vorhandenen N nicht direkt aufnehmen kann, da er in organischer Form gebunden ist. Die Pflanze muß ihren Nährstoffbedarf aus dem Vorrat an Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ )- und Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ )-Ionen, dem sogenannten mineralischen N (Nmin), decken. Durch eine Bodenuntersuchung läßt sich dieser pflanzenverfügbare Anteil ermitteln und daraus der Düngebedarf ableiten.

In Abhängigkeit von der Fruchtart erfolgt diese Untersuchung vorrangig unter folgenden Aspekten:

- |                 |  |
|-----------------|--|
| Wintergetreide: | Bemessung der 1. Gabe und Orientierungswert für die 2. N-Gabe zum Aufbau optimaler Bestände  |
| Winterraps:     | bestands- (und ertrags-) abhängige Frühjahrs-N-Düngung, eventuell zur Herbstdüngung bei ungünstigen Bedingungen für die Vorwinterentwicklung |
| Hackfrüchte:    | optimierte N-Düngung im Rahmen der Qualitätssicherung  |

Braugerste:	Einhaltung des zulässigen Rohprotein-Gehalts (< 11,5 %)
Mais:	Präzisierung der 2. N-Gabe
Sonnenblumen, Lein:	Vermeidung von Ernteerschwerenissen durch Reifeverzögerungen und Lager.

Für eine möglichst zutreffende Aussage der Untersuchung ist großer Augenmerk auf einen geeigneten Zeitpunkt der Probenahme zu legen. Die Probenahme erfolgt am besten kurz vor der Düngung (ca. 1 bis 2 Wochen vorher), d.h. in Abhängigkeit von Fruchtart und Jahreswitterung im Zeitraum von Februar bis April. Wurden die Flächen bereits mineralisch oder mit Wirtschaftsdüngern gedüngt, sollte der Boden frühestens 4 Wochen nach dem Düngungstermin auf Stickstoff untersucht werden.

Das Nmin-Verfahren basiert auf der getrennten Untersuchung der Bodenschichten 0 bis 30 cm, 30 bis 60 cm sowie 60 bis 90 cm. Dementsprechend ist die Probenahme zu gestalten. Die Untersuchung der drei Schichten ist insbesondere bei Winterungen und Zuckerrüben sinnvoll. Läßt sich aus zeitlichen oder arbeitswirtschaftlichen Gründen eine Beprobung der Schicht 60 bis 90 cm nicht realisieren, so kann eine Düngungsempfehlung auch auf Grundlage einer Untersuchung der beiden oberen Schichten berechnet werden. In diesem Fall wird der Gehalt der dritten Schicht über eine Regressionsfunktion geschätzt. Die dabei zwangsläufig auftretenden Schätzfehler werden in Kauf genommen, denn dies läßt sich noch eher vertreten, als die dritte Schicht gar nicht zu berücksichtigen. Bei Sommergetreide und anderen Sommerungen erfolgt die Berechnung der Düngungsempfehlung auf Grund der geringeren Durchwurzelungstiefe auf Basis der beiden oberen Schichten, so daß sich in diesem Fall eine Beprobung der dritten Schicht erübrigt.

Die Untersuchung von nur einer Schicht ist für die Ableitung einer Düngungsempfehlung nicht ausreichend. Da sich die einzelnen Schichten hinsichtlich Menge und Verfügbarkeit des mineralischen Stickstoffs unterscheiden, bietet auch eine Zusammenfassung von Schichten (z.B. zur Reduzierung der Untersuchungskosten) keine gesicherte Grundlage für eine Düngungsempfehlung.

Für die Abgrenzung der Flächen zur Beprobung gelten die unter 2.2.2 beschriebenen Grundsätze. Allerdings bereitet es aufgrund der Bedingungen im Frühjahr und des engen Zeitrahmens mitunter Schwierigkeiten, alle in Frage kommenden Flächen eines Betriebes zu beproben. Als Alternative läßt die Düngeverordnung zu, ausgewählte Schläge zu untersuchen und die Ergebnisse auf Flächen mit vergleichbaren Standort- und Bewirtschaftungsbedingungen zu übertragen. Weiterhin ist es denkbar, ausgehend von einer oder mehreren typischen Teilflächen auf den Gesamtschlag zu schließen. Untersuchungen zeigen jedoch, daß Ergebnisse von Nmin-Untersuchungen selbst bei genauerer

Kenntnis der Basisinformationen kaum übertragbar sind. Die Treffsicherheit von übernommenen Werten ist meist nicht besser als die von Berechnungs- und Schätzverfahren. In jedem Fall muß letztlich der Landwirt mit seinen Kenntnissen und Erfahrungen darüber entscheiden, wie die Probenahme zu gestalten und die daraus resultierende Düngungsempfehlung zu interpretieren ist.

Die Probenahme erfolgt vom gesamten Schlag oder bei sehr homogenen Standortbedingungen und jahrelang einheitlicher Bewirtschaftung des Schlages von einer repräsentativen Teilfläche (1 bis 4 ha). Bei erkennbar unterschiedlichen Bodenverhältnissen und verschiedenen Vorfrüchten müssen getrennte Proben gezogen werden. Auch auf relativ homogenen Böden und großen Schlägen sollte die Größe einer Probenahme­fläche 10 ha keinesfalls überschreiten.

Für die Probenahme gibt es verschiedene technische Lösungen. Neben einteiligen Nmin-Bohrstöcken oder mehrteiligen Bohrstocksets für die manuelle Probenahme existieren auch verschiedene maschinengestützte Verfahren. Der Bohrstock wird an jedem Probenahmepunkt zunächst 30 cm tief in den Boden gedrückt. Beim Herausziehen des Bohrstocks wird der Bohrstock gedreht, damit der Bohrkern möglichst vollständig erhalten bleibt. Der Bohrkern wird nun in einen Plastikeimer abgestreift. Es hat sich bewährt, zur Bildung der Sammelprobe die Teilproben in verschiedenfarbigen Eimern für die einzelnen Schichten zu sammeln. Die Verwendung solcher Eimer erleichtert die Unterscheidung für die einzelnen Schichten und ermöglicht zudem ein gutes Durchmischen der Sammelproben. Eine zweifelsfreie Unterscheidung bei gleichfarbigen Gefäßen läßt sich entweder durch farbige Markierungen oder mit einer eindeutigen Beschriftung erreichen. Bei den Schichten 30-60 cm und 60-90 cm wird jeweils wieder in das offene Bohrloch eingestochen und die jeweilige Schicht in den entsprechenden Plastikeimer (0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm) überführt. Jede Sammelprobe sollte aus mindestens 20 Einstichen bestehen.

Danach ist der Inhalt der Eimer in je einen Plastikbeutel zu füllen und der Beutel fest zu verschließen. Zur Vermeidung von Verwechslungen und zur Erleichterung der Arbeit des Labors empfiehlt es sich, die drei bzw. zwei jeweils zusammengehörenden Beutel zusammenzubinden. Auf eine eindeutige Kennzeichnung der Proben ist zu achten. Die Proben sind kühl (0 bis +4°C) aufzubewahren und zusammen mit dem vollständig ausgefüllten Probenbegleitschein schnellstmöglich dem Untersuchungslabor zuzuleiten.

#### 2.2.4 Standard-Bodenuntersuchung

Die Düngeverordnung schreibt vor, daß „für jeden Schlag ab 1 Hektar, in der Regel im Rahmen einer Fruchtfolge, mindestens alle sechs Jahre, auf extensivem Dauergrünland mindestens alle neun Jahre“ eine Untersuchung des Gehalts an

Phosphor und Kalium auf der Grundlage repräsentativer Bodenproben durchzuführen ist. Zur Überprüfung einer standortgerechten Kalkversorgung sind diese Proben zusätzlich auf den pH-Wert bzw. den Kalkbedarf zu untersuchen.

Diese nunmehr im Rahmen einer guten fachlichen Praxis pflichtgemäß durchzuführende Bodenuntersuchung ist für viele landwirtschaftliche Betriebe im Land Sachsen-Anhalt etwas Altbekanntes. Bereits 1952 wurde in der DDR per Gesetz eine flächendeckende systematische Bodenuntersuchung für Betriebe mit mehr als 1 ha landwirtschaftlicher Nutzfläche eingeführt. Sicher mögen damals bei der Einführung dieser Regelung auch planwirtschaftliche und dirigistische Erwägungen eine Rolle gespielt haben. Ungeachtet dessen wurde offensichtlich klar erkannt, welche Bedeutung eine angemessene und ausgewogene Nährstoffversorgung des Bodens für die Ertragsbildung hat. Seitdem wurden im vierjährigen Turnus alle Böden auf den pH-Wert sowie den Gehalt an P, K und ab 1961 auch Mg untersucht. Für die Einordnung und Bewertung der Untersuchungsergebnisse wurden auf vielen Flächen auch der Feinanteil (Bestimmung der Bodenart/-gruppe) und der Gehalt an organischer Substanz (Humusbestimmung) analysiert. Die „Standard-Bodenuntersuchung“ bzw. „systematische Bodenuntersuchung“ ist in den neuen Bundesländern zu einem festen Begriff geworden, der mit dem Inhalt der neuen Regelungen sicher Bestand haben wird.

Auch in den alten Bundesländern wurden in den vergangenen Jahrzehnten große Anstrengungen unternommen, um die Bodenuntersuchung als effektive und zuverlässige Grundlage für die Planung ertragswirksamer Maßnahmen zu nutzen, so daß auch dort die Bodenuntersuchung für viele Landwirte und Berater zum selbstverständlichen Bestandteil einer guten fachlichen Praxis geworden ist. Es waren insbesondere die Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalten (LUFA), die sich in den alten Bundesländern um die praktische Einführung und Weiterentwicklung von Methoden der Bodenuntersuchung verdient gemacht haben. Mit Gründung der LUFA Sachsen-Anhalt im Jahr 1991 finden in unserem Bundesland beide Entwicklungslinien ihre Fortsetzung.

Die in den vergangenen Jahrzehnten angesammelten Daten geben Aufschluß über die Entwicklung des Nährstoffgehalts der Böden. Es lohnt sich, noch vorhandene alte Untersuchungsergebnisse aufzubewahren und bei der Entscheidung über langfristige Düngungsstrategien heranzuziehen. Besonders wertvoll werden die Untersuchungsergebnisse, wenn dazu die entsprechenden flächenbezogenen Bewirtschaftungsdaten (insbesondere Angaben zur Nährstoffzu- und -abfuhr) vorliegen. In diesem Fall lassen sich Schlußfolgerungen über langfristige Wirkungen und die weitere Gestaltung von Bewirtschaftungsmaßnahmen ziehen.

Ziel der Standard-Bodenuntersuchung ist die Bestimmung des Gehalts an den pflanzenverfügbaren Nährstoffen P, K und Mg sowie des pH-Werts. Dabei wird

unterstellt, daß Pflanzenverfügbarkeit und Löslichkeit der Nährstoffe miteinander korrelieren. Es wird also versucht, durch eine geeignete Methode den Anteil der gelösten bzw. löslichen Nährstoffe zu ermitteln und so die Pflanzenverfügbarkeit abzubilden. Erst im Feldversuch läßt sich prüfen, ob diese Beziehung zwischen Löslichkeit und Pflanzenverfügbarkeit tatsächlich besteht. Der im Feldversuch ermittelte Grad des Zusammenhangs dient dann als Grundlage für die Bewertung der Ergebnisse, d.h. die Methode wird am Feldversuch für den jeweiligen Standort geeicht.

Aus historischen Gründen, aber auch wesentlich durch Standortunterschiede bedingt, werden in Deutschland insbesondere für die Bestimmung des Phosphor- und Kalium-Gehalts unterschiedliche Methoden angewandt. Diese Methoden unterscheiden sich vornehmlich in Bezug auf das verwendete Extraktionsmittel. Jede Methode muß sich daran messen lassen, inwieweit die Bewertung der Untersuchungsergebnisse durch regionale Feldversuche abgesichert ist. Bei den von der LUFA Sachsen-Anhalt empfohlenen Methoden (Tab. 1, S. 7) wurde dieser Nachweis für die Standortbedingungen in Sachsen-Anhalt erbracht.

Landwirtschaftlich genutzte Flächen sollten im Abstand von 4 bis maximal 6 Jahren bzw. einmal innerhalb einer Fruchtfolge untersucht werden. Nach Möglichkeit sollte die Probenahme innerhalb der Fruchtfolge immer nach der gleichen Fruchtart, zur gleichen Jahreszeit und nach Möglichkeit bei gleichem Bodenzustand erfolgen, um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten. Die Beprobung ist prinzipiell während der gesamten frostfreien Zeit möglich. Als günstige Termine können empfohlen werden:

Ackerland: nach der Ernte von Getreide und Raps,  
im zeitigen Frühjahr vor Hackfrüchten und Sommerungen  
Grünland: während der Vegetationsruhe von Oktober bis Februar.

Der Boden bietet dann günstige Voraussetzungen für eine Beprobung, wenn er sich in einem bearbeitbaren Zustand befindet, d.h. er sollte nicht stark ausgetrocknet oder vernäßt bzw. durchgefroren sein. Unmittelbar nach einer Düngungsmaßnahme mit dem entsprechenden Nährstoff ist eine Beprobung nicht sinnvoll. Solche Flächen sollten frühestens zwei Monate nach der Düngung beprobt werden. Bei sehr hohen Düngergaben können auch längere Wartezeiten erforderlich sein, um zu aussagefähigen Untersuchungsergebnissen zu kommen.

Insbesondere größere Schläge sollten für die Probenahme entsprechend den Ausführungen im Abschnitt 2.2.2 unterteilt 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. Bei Bodenunterschieden, verschiedener Bewirtschaftung, Intensivkulturen oder Erstbewirtschaftung der Flächen ist von 3 bis 5 ha eine Sammelprobe zu bilden.

Untypische Flächenanteile, wie ehemalige Mieten- oder Dunglagerplätze, Vorgewende u.ä., sind von der Beprobung auszuschließen oder gesondert zu beproben. In der Tab. 2 finden sich Empfehlungen zur Anzahl der Einstiche sowie zur Beprobungstiefe.

Tab. 2: Einstichzahl und -tiefe je Beprobungseinheit bei der Grundnährstoffuntersuchung

Flächennutzung	Einstiche je Sammelprobe	Beprobungstiefe
Ackerland	15 - 25	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 20 cm; in Abhängigkeit von der Krumen- bzw. Bearbeitungstiefe auch tiefer oder flacher (z.B. pfluglose Systeme)</li> </ul>
Grünland	ca. 40	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 8 bis 10 cm, je nach Narbentiefe</li> </ul>

Aus Gründen der Repräsentativität sollte eine Probe für eine Standard-Bodenuntersuchung mindestens 300 g Boden umfassen. Wird zusätzlich eine Untersuchung auf Mikronährstoffe gewünscht, beträgt die erforderliche Probenmenge 400 bis 500 g. Die Proben sind eindeutig zu kennzeichnen und einem Labor der Wahl zur Untersuchung zu übergeben. Das sorgfältige Ausfüllen des Probenbegleitscheins bzw. des Datenbelegs ist wie immer Voraussetzung für eine sachlich korrekte Bewertung des Ergebnisses durch die Untersuchungseinrichtung. Neben der Bodenart werden auch schlagspezifische Angaben zur Bewirtschaftung benötigt, wenn eine Düngungsempfehlung errechnet werden soll.

### 2.2.5 Schwefel

Schwefel (S) ist ein Nährstoff, der erst in den letzten Jahren stark an Bedeutung gewonnen hat. Noch bis zum Ende der achtziger Jahre waren auf dem Gebiet von Sachsen-Anhalt keine Schwefeldüngungsmaßnahmen erforderlich. Seit Beginn der neunziger Jahre führen jedoch verschiedene Maßnahmen dazu, daß auf vielen Acker- und Grünlandflächen die Schwefelabfuhr die Zufuhr deutlich übersteigt. Die Ursachen für diesen negativen S-Saldo liegen u.a. in

- dem Rückgang des S-Eintrags aus der Atmosphäre durch emissionsmindernde Maßnahmen im Industriesektor;
- der Umstellung von Kohleheizung auf andere Energieträger im Bereich der privaten Haushalte;
- der zurückgehenden Verwendung von Mineraldüngern, die Schwefel in verschiedener Form als Nebenbestandteil enthalten;
- der drastischen Reduzierung der Tierbestände, die einen starken Rückgang des Anfalls an wirtschaftseigenen organischen Düngern zur Folge hatte;

- der veränderten Anbaustruktur mit einem höheren Anteil stark S-bedürftiger Fruchtarten;
- steigenden Erträgen und damit einem höheren S-Entzug.

Diese Auswahl an Einflußgrößen macht verständlich, daß eine S-Düngebedarfsermittlung auf Basis einer Bodenuntersuchung mit gewissen Unsicherheiten behaftet ist. Hinzu kommt, daß im Unterschied zu anderen Nährstoffen Feldversuche zur S-Düngung erst in jüngerer Zeit durchgeführt werden (können). Aussagen zum S-Düngebedarf sind deshalb weniger spezifisch und genau als z.B. für P, K oder auch N. Dennoch kann eine Bodenuntersuchung wichtige Anhaltspunkte für Düngungsmaßnahmen liefern. Sehr schnell hat sich dafür die sogenannte Smin-Methode durchgesetzt. Da die Pflanze ihren Schwefelbedarf bevorzugt durch die Aufnahme von Sulfat ( $\text{SO}_4^-$ )-Ionen aus der Bodenlösung deckt, wird mit der Smin-Methode dieser leichtlösliche Anteil des Schwefels im Boden bestimmt. Aufgrund von Parallelen zwischen  $\text{SO}_4^-$ - und  $\text{NO}_3^-$ -Ionen, z.B. hinsichtlich Löslichkeit, Mobilität und Aufnahme, wird nach dem gleichen Verfahren extrahiert wie bei der Nmin-Untersuchung. Das hat aber nicht zuletzt auch praktische Gründe, da sich auf diese Weise Nmin- und Smin-Untersuchungen kombinieren lassen.

Es empfiehlt sich also, die Ermittlung des Smin-Gehalts an eine Nmin-Untersuchung zu koppeln. Da jedoch längst nicht für alle Kulturen gesicherte Aussagen zum Düngebedarf getroffen werden können, ist es nicht sinnvoll, jede Nmin-Probe auch auf den Smin-Gehalt hin untersuchen zu lassen. Vielmehr sollte man gezielt Schläge auswählen, die für eine Schwefeldüngung besonders prädestiniert sind. Dazu zählen vor allem Flächen, auf denen Kruziferen (vorzugsweise Raps) als Hauptfrucht stehen und die in der Vergangenheit bereits Schwefelmangel gezeigt haben oder zukünftig erwarten lassen.

Nach dem derzeitigen Kenntnisstand liefert das Smin-Verfahren befriedigende Ergebnisse, wenn die Schichten 0 bis 30 cm und 30 bis 60 cm getrennt voneinander untersucht werden. Die Einbeziehung der Schicht 60 bis 90 cm bringt kaum eine Verbesserung der Aussage zum S-Düngebedarf, so daß für eine separate Smin-Untersuchung eine Probenahme aus den ersten beiden Schichten genügt.

## 2.2.6 Mikronährstoffe

Mikronährstoffe werden von den Pflanzen nur in geringer Menge benötigt (Spurennährstoffe!), was aber nicht mit einer geringen Bedeutung dieser Nährelemente gleichzusetzen ist. Allerdings waren die meisten Böden in der Vergangenheit in der Lage, den mengenmäßig geringen Bedarf der Pflanzen (< 1 kg/ha und Jahr) zu decken. Wegen des vergleichsweise geringen Entzugs

weisen viele Böden immer noch sehr hohe Gesamtgehalte an Mikronährstoffen auf. Probleme für die Versorgung der Pflanzen ergeben sich häufig daraus, daß die Verfügbarkeit der Spurennährstoffe eingeschränkt ist oder daß in bestimmten Situationen keine ausreichende Nährstoffnachlieferung durch den Boden erfolgen kann. Dem pH-Wert kommt dabei eine besondere Bedeutung zu. So wirken sich zu hohe pH-Werte nachteilig auf die Versorgung mit Bor, Mangan und Zink aus, während zu niedrige pH-Werte die Molybdän-Verfügbarkeit beeinträchtigen.

Eine Bewertung der Mikronährstoffversorgung wird dadurch erschwert, daß die Ansprüche einzelner Pflanzenarten in Bezug auf die benötigte Nährstoffmenge sehr unterschiedlich sind. Akuter Mangel in der Versorgung der Pflanzen läßt sich zwar visuell erfassen, ist aber dann bereits meist mit Ertrags- bzw. Qualitätseinbußen verbunden. Hinzu kommt, daß sich der Mangel häufig im latenten Bereich bewegt, so daß keine klaren Mangelsymptome ausgeprägt werden.

Mit Hilfe einer Bodenuntersuchung können in vielen Fällen Mangelsituationen vorausschauend erkannt und Ertragsverluste durch Düngungsmaßnahmen vermieden werden. Am einfachsten läßt sich eine Untersuchung des Mikronährstoffgehalts im Boden in Verbindung mit einer Standard-Bodenuntersuchung realisieren. Je nach Standort kann für ausgewählte Proben festgelegt werden, welche Mikronährstoffe zu untersuchen sind. Neben der Einsparung des Aufwands für die Probenahme hat die Kombination mit der Standard-Bodenuntersuchung den Vorteil, daß die erforderliche Information über den pH-Wert als einem wesentlichen Einflußfaktor für die Verfügbarkeit der Mikronährstoffe erhält. Besteht die Notwendigkeit, eine separate Beprobung zwecks Mikronährstoffuntersuchung durchzuführen, so sollten für die Probenahme die im Abschnitt 2.2.4 gegebenen Empfehlungen Beachtung finden.

Tab. 3: Standorte mit besonderer Neigung zu Mikronährstoffmangel

Nährstoff	mangelgefährdete Standorte
Bor	trockene, alkalisch reagierende Böden; diluviale Standorte
Kupfer	Moorböden; sehr humusreiche Standorte; Grünland auf Niedermoor
Mangan	Böden mit neutraler bis alkalischer Bodenreaktion; häufig auf überkalkten sandigen Böden; kalkhaltige Niedermoorböden
Molybdän	saure Böden
Zink	Böden mit sehr hoher Phosphorversorgung; Sand- und Karbonatböden mit viel zersetzbarer organischer Substanz

Schwerpunkte der Untersuchung sollten mangelgefährdete Standorte und Fruchtarten mit hohen Ansprüchen an die Versorgung mit Mikronährstoffen bilden. Die Übersichten in Tab. 3 und Tab. 4 liefern eine Orientierungshilfe für die Auswahl der zu untersuchenden Flächen.

Tab. 4: Übersicht zum Mikronährstoffbedarf ausgewählter Fruchtarten

xx ... hoher Bedarf  
 x..... mittlerer Bedarf  
 o .... geringer Bedarf

Fruchtart	B	Cu	Mn	Mo	Zn
Getreide					
Winterweizen	o	xx	xx	o	o
Wintergerste	o	xx	x	o	o
Winterroggen	o	o	x	o	o
Hafer	o	xx	xx	o	o
Leguminosen					
Ackerbohne	x	x	o	x	x
Luzerne	xx	xx	x	xx	x
Rotklee	x	x	x	xx	x
Ölfrüchte					
Winterraps	xx	o	x	x	o
Hackfrüchte					
Kartoffel	x	o	x	o	x
Zuckerrübe	xx	x	xx	x	x
Feldgemüse					
Blumenkohl	xx	x	x	xx	o
Weißkohl	xx	x	x	x	o
Spinat	x	xx	xx	xx	o
Möhre	x	xx	x	o	o
Futterpflanzen					
Mais	x	x	x	o	xx
Weide	o	x	x	o	o

### 2.3 Pflanzenuntersuchung

Die im Boden vorhandenen und durch Untersuchung ermittelten sowie die durch organische und mineralische Düngung zugeführten Pflanzennährstoffe sind eine wesentliche Voraussetzung für die optimale Entwicklung und Ertragsbildung der Kulturpflanzen. Es haben jedoch viele Faktoren Einfluß darauf, in welchem Umfang und zu welcher Zeit die im Boden verfügbaren Nährstoffe von der

Pflanze aufgenommen werden. Letztlich sind nur die tatsächlich aufgenommenen Nährstoffmengen und die Nährstoffkonzentration in der Pflanze für die Biomassebildung entscheidend. Die Untersuchung der ganzen Pflanze oder bestimmter Teile davon kann Aufschluß über den Ernährungszustand geben. Während eine Bodenuntersuchung meist schon vor Aussaat oder zu sehr frühen Entwicklungsstadien der Kulturpflanze erfolgt, kommen Methoden der Pflanzenuntersuchung bevorzugt während der Bestands- und Ertragsbildung zur Anwendung. Die Pflanzenuntersuchung ergänzt somit die Bodenuntersuchung und stellt ein wichtiges Instrument für die Bestandsführung und Erfolgskontrolle dar.

Es existieren verschiedene Methoden der Pflanzenuntersuchung, die sich auch in ihrer Zielstellung etwas unterscheiden. Wie bei einer Bodenuntersuchung ist es möglich, auf dem Feld Pflanzenproben zu entnehmen und einem Labor zur Untersuchung zu übergeben. Dort wird dann meist die Gesamtkonzentration eines oder mehrerer Nährstoffe im Pflanzenmaterial ermittelt. Zunehmenden Eingang in die Praxis finden sogenannte Feld- oder Schnellmethoden zur Pflanzenuntersuchung. Diese Untersuchungsmethoden liefern zwar oft nicht so genaue Informationen wie eine Laboranalyse, haben aber den unschätzbaren Vorteil, daß sie direkt auf dem Feld und mit geringem Zeitaufwand eine Entscheidung über durchzuführende Maßnahmen ermöglichen. Die Genauigkeit eines Meßergebnisses ist jedoch nicht allein entscheidend. Mindestens ebenso wichtig ist eine ausreichende Prüfung bzw. Eichung der Methode im Feldversuch als Grundlage für eine sachgemäße Bewertung der Untersuchungsergebnisse. Deshalb sollte auch bei der Pflanzenuntersuchung die ausreichende fachliche Unterersetzung zur Ableitung begründeter Empfehlungen das Hauptkriterium bei der Auswahl eines Verfahrens sein. Im folgenden wird anhand von Beispielen die grundsätzliche Herangehensweise dargestellt. Für die praktische Anwendung einer speziellen Methode sollte der Landwirt die erforderlichen Informationen für die Durchführung und die Interpretation der Ergebnisse von derjenigen Institution einfordern, die die entsprechende Untersuchung anbietet.

### 2.3.1 Komplexe Pflanzenanalyse

Ein in den neuen Bundesländern übliches Verfahren zur Ermittlung des Ernährungszustandes der Pflanzen ist die komplexe Pflanzenanalyse (KPA). Kernstück des Verfahrens der KPA ist eine Mehrelement-Nährstoffanalyse von Kulturpflanzen während der Vegetation in bestimmten Entwicklungsstadien sowie die rechnergestützte Auswertung und Darstellung der Untersuchungsergebnisse. Da dieser ganzheitliche Ansatz einen vergleichsweise hohen Zeit- und Kostenaufwand nach sich zieht, nehmen derzeit leider nur wenige Landwirte die Möglichkeiten einer KPA in Anspruch. Dennoch handelt es sich um eine

empfehlenswerte Methode, da sie konsequent dem Gedanken einer ausgewogenen Nährstoffversorgung folgt.

Für die komplexe Pflanzenanalyse ergeben sich prinzipiell zwei Anwendungsbereiche:

1. Mit der Pflanzenanalyse läßt sich ermitteln, ob zum Zeitpunkt der Probenahme die Pflanzen mit allen wichtigen mineralischen Pflanzennährstoffen ausreichend versorgt sind und die einzelnen Mineralstoffe keinen ertragsbegrenzenden Faktor darstellen, d.h.

- ob durch die erfolgten Düngungsmaßnahmen in Abhängigkeit von den Standort-, Ackerkultur-, Bewirtschaftungs- und Witterungsbedingungen auch die Voraussetzungen für eine optimale Nährstoffversorgung der Pflanzen als Grundlage für ein hohes Ertrags- und Qualitätsniveau der Ernteprodukte gegeben sind;
- ob es erforderlich ist, zur Sicherung von Ertrag und Qualität zusätzliche und im Verlauf der Wachstumsperiode noch wirksam werdende Düngungsmaßnahmen durchzuführen oder ob geplante Düngergaben eingespart werden können;
- ob ganz allgemein auf Grund des Einflusses verschiedener Standort- und Bewirtschaftungsfaktoren in den Folgejahren durch höhere oder dem Wachstum der Pflanzen besser angepaßte Düngergaben günstigere Voraussetzungen für eine ständig ausreichende Nährstoffversorgung geschaffen werden können.

2. Es läßt sich weiterhin ermitteln, ob aufgetretene abiotische Schäden an Pflanzen und/oder Wachstumshemmungen auf Mangel oder Überschuß an irgendeinem Nährstoff zurückzuführen sind.

Bei Einhaltung folgender Vorgehensweise hat sich die Pflanzenanalyse als zuverlässiges Instrumentarium zur Diagnose des Düngerbedarfs bewährt:

- Probenahme zum empfohlenen Zeitpunkt und Probenahme der richtigen Pflanzenteile (Tab. 5),
- repräsentative Probenahme (die Probe muß für die zu untersuchende Grundgesamtheit typisch sein),
- Festlegung des Untersuchungsspektrums der Pflanzenanalyse (Tab. 6),
- unverzüglicher Transport zum Untersuchungslabor,
- chemische Analyse,
- Einstufung der Ergebnisse in Ernährungszustandsstufen (Anhang, Tab. A 1 und Tab. A 2) und bei Bedarf Erstellung einer Düngungsempfehlung.

Tab. 5: Fruchtarten, Probenahmeterminale und Probenahmeorgane für die Kontrolle der Nährstoffversorgung wachsender Pflanzenbestände

Fruchtart	Zeitraum Probenahme	Probenahmeorgan
Getreide	Ende Bestockung bis Ende Schossen	gesamte oberirdische Pflanzenteile ab 5 cm über Boden
Winterraps	Knospenstadium bis Vollblüte	gerade vollentwickelte Blätter
Mais	40 bis 60 cm Höhe Rispschieben Blüte	mittlere Blätter mittlere Blätter Kolbenansatz
Zuckerrüben	Mitte Juni bis Ende August	Spreiten gerade vollentwickelter Blätter
Futerrüben	Ende Juni bis Ende August	Spreiten gerade vollentwickelter Blätter
Kartoffeln	Knospenstadium bis Knollenbildung	gerade vollentwickelte Blätter
Luzerne	Knospenstadium bis Blüte	gesamte oberirdische Pflanzenteile
Rotklee	Knospenstadium bis Blüte	gesamte oberirdische Pflanzenteile
Wiesen- und Weidegräser	Blühbeginn 1. Aufwuchs	gesamte oberirdische Pflanzenteile

Das Hauptproblem bei der Bewertung der Analysendaten besteht darin, daß die Grenzwerte der Pflanzenanalyse nur für bestimmte Wachstumsbedingungen gelten. Weiterhin sind die Nährstoffe in ihrem Verhältnis zueinander zu betrachten, weil sich sonst möglicherweise Fehlinterpretationen ergeben. Besonders wichtig sind in dieser Beziehung die Mengen an antagonistisch wirkenden Ionen bzw. Nährstoffen in der Pflanze. Beispielsweise kann sich ein normalerweise ausreichender Zinkgehalt dann als zu niedrig erweisen, wenn die Phosphorkonzentration in der Pflanze sehr hoch ist (Ausfällung von Zn-Phosphaten). Auch für andere Nährstoffe gelten derartige Zusammenhänge, z.B. N/P, K/N, Mg/P und K/Mg.

Bei der Deutung der Analysenergebnisse sind auch die Witterungsbedingungen zu berücksichtigen, welche vor der Probenahme geherrscht haben. So kann längere Trockenheit geringe B-, Mn-, P- und Mg-Gehalte in der Pflanze bewirken, obwohl der Boden genug von diesen Elementen enthält. Beim Eintreten feuchter Witterung ändert sich die Situation meist sehr schnell und zwar ohne Nährstoffzufuhr.

Die Beurteilung der Analysenwerte muß also stets unter Berücksichtigung zusätzlicher Informationen erfolgen, damit neben der einfachen Zuordnung der Analysendaten nach dem Ernährungszustand „niedrig“, „ausreichend“ und

„hoch“ die richtige Entscheidung über eventuelle Düngungsmaßnahmen getroffen werden kann.

Tab. 6: Empfohlenes Untersuchungsspektrum für die komplexe Pflanzenanalyse

xx ... vordringlich zur Untersuchung empfohlen

x..... bedingt zur Untersuchung empfohlen

o .... zur Untersuchung nicht empfohlen

Fruchtart	empfohlene Untersuchungen										
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	Mo	Zn
Winterweizen	xx	xx	xx	x	x	x	o	xx	xx	o	o
Wintergerste	xx	xx	xx	x	x	x	o	xx	x	o	o
Winterroggen	xx	xx	xx	x	xx	x	o	o	x	o	o
Hafer	xx	xx	xx	x	xx	x	o	xx	xx	o	o
Braugerste	xx	xx	xx	x	xx	x	o	xx	x	o	o
Sommerfuttergerste	xx	xx	xx	x	xx	x	o	xx	x	o	o
Sommerweizen	xx	xx	xx	x	xx	x	o	xx	xx	o	o
Mais	xx	xx	xx	x	xx	x	x	x	x	o	xx
Winterraps	xx	xx	xx	x	xx	xx	xx	o	x	x	o
Kartoffeln	xx	xx	xx	x	xx	x	x	o	x	o	x
Zuckerrüben	xx	xx	xx	x	xx	x	xx	x	xx	x	x
Futterrüben	xx	xx	xx	x	xx	x	xx	x	xx	x	x
Rotklee	xx	xx	xx	x	xx	x	x	x	x	xx	x
Luzerne	xx	xx	xx	x	xx	x	xx	xx	x	xx	x
Wiesen- und Weidegräser	xx	xx	xx	x	xx	x	o	x	x	o	o

### 2.3.2 Nitrat-Schnelltest

Zur optimalen Bemessung der N-Düngung bei Winter- und Sommergetreide hinsichtlich der Stickstoffdüngung in der Phase des Schossens (2. N-Gabe) und während des Ährenschiebens bis zur Blüte (3. N-Gabe) hat der Nitrat-Schnelltest in der Praxis zunehmend an Bedeutung gewonnen. Er kann direkt auf dem Feld durchgeführt werden und bietet eine gute Möglichkeit für wiederholte Kontrollen.

Der aktuelle Wert des in weiten Grenzen schwankenden N-Angebots des Bodens schlägt sich im Nährstoffgehalt der Getreidepflanzen nieder. Während bei der komplexen Pflanzenanalyse der Gesamt-N-Gehalt der gesamten Pflanze als Bezugsbasis für den Ernährungszustand verwendet wird, dient beim Schnelltest der Nitratgehalt des Halmes der Pflanzen als Indikator. Der Nitratgehalt im

Zellsaft der Halme ändert sich sehr schnell in Abhängigkeit vom N-Angebot im Boden. Nitrat reichert sich im Halm nur an, wenn die Pflanze so gut mit Stickstoff versorgt ist, daß das Nitrat nicht sofort reduziert werden kann. Auf diese Weise ist es möglich, die oft sehr differenzierte Bereitstellung aus dem Bodenfonds (aus mineralischer 1. N-Gabe, dem Boden-Nmin-Vorrat, der N-Nachlieferung aus der organischen Bodensubstanz) bei der N-Düngung zu berücksichtigen.

Das Grundprinzip des Verfahrens besteht darin, daß der aktuelle Nitratgehalt des Pflanzensaftes über einen Färbungstest bestimmt wird. Je nach Nitratkonzentration im Pflanzensaft kommt es zu einer Verfärbung. Aus dem Farbwert wird über entsprechende Farbskalen und Tabellen der Düngbedarf ermittelt. Dabei ist die Bestandesdichte (Tab. 7) zu berücksichtigen. Umfangreiche Versuchsergebnisse belegen die Treffsicherheit des Tests.

Tab. 7: Orientierungswerte für mittlere Bestandesdichten

Fruchtart	Triebe/m <sup>2</sup> BBCH 30	starke Halme/m <sup>2</sup> BBCH 32 - 37
Winterweizen	700 - 1200	500 - 700
Wintergerste	900 - 1500	600 - 800
Winterroggen und Wintertriticale	700 - 1200	450 - 700

Bei der praktischen Durchführung des Nitrat-Schnelltests ist folgendes zu beachten :

- Der Test sollte möglichst ab Schoßbeginn in 7- bis 10-tägigen Abständen durchgeführt werden; dadurch können indirekt die N-Bereitstellung aus den Bodenquellen und die Verwertung der 1. N-Gabe beurteilt werden.
- Auch beim Nitratschnelltest gilt die Grundforderung einer repräsentativen Probenahme. Deshalb sollte der Test insbesondere bei größeren Schlägen mehrmals in verschiedenen Schlagbereichen wiederholt werden.
- Empfohlen wird die Anwendung des Rot-Tests mit Stäbchen oder des Blau-Tests mit Diphenylamin-Schwefelsäure.
- Bei Verwendung von Teststäbchen (Rot-Test) wird der Pflanzensaft der Halmenden für die Analyse verwendet. Dafür eignen sich besonders spezielle Probenahmezangen, die den Pflanzensaft auffangen. Die Teststäbchen werden in den gewonnenen Preßsaft von 10 starken Halmen eingetaucht. Am Stäbchen anhaftende Tropfen werden abgeschüttelt. Nach 30 Sekunden und nach 1 Minute wird die Verfärbung anhand einer Vergleichsskala eingestuft.
- Für den Blau-Test umfaßt eine Probe ebenfalls 10 starke Triebe. Von der Halmbasis her sind ca. 1 cm lange Halmstücke abzuschneiden und in die vorbereitete Presse zu legen. Jedes Halmstück wird mit 2 Tropfen

Diphenylamin-Schwefelsäure-Reagens benetzt, nach dem Pressen ist der mittlere Farbwert zu bestimmen.

### 2.3.3 Indirekte Verfahren

Eine Möglichkeit zur Ermittlung des N-Ernährungszustandes von Pflanzen basiert auf der Messung des Chlorophyllgehalts der Blätter. Bei diesem Verfahren wird unterstellt, daß die N-Ernährung der Pflanze mit der Grünfärbung der Blätter korreliert. Technisch basiert die Methode auf einer Messung der Intensität der Grünfärbung mittels einer photosensitiven Zelle. Es handelt sich demnach um ein indirektes Verfahren, da über eine Indikatorgröße (Chlorophyll) auf den Ernährungszustand geschlossen wird. Bei der Interpretation der Meßwerte ist aber zu berücksichtigen, daß neben der N-Versorgung andere Faktoren, wie z.B. Pflanzenart und Sorte, aber auch Mangel an anderen Nährstoffen, Witterung sowie Krankheiten Einfluß auf die Grünfärbung haben. Soweit möglich, müssen die dadurch erforderlichen Korrekturwerte über Vergleichsuntersuchungen ermittelt werden. In der Regel werden die Korrekturwerte in Tabellenwerke eingearbeitet, mit deren Hilfe dann der Düngebedarf abgeleitet werden kann. Wegen sich ändernder Faktoren (z.B. Sorte) bedürfen die Tabellen einer ständigen Überprüfung und Aktualisierung.

Ein weiteres Verfahren zur Bestimmung der Ernährungszustände der Kulturpflanzen ist die Luftbildaufnahme mit hochsensiblen Infrarot-Video-kameras, die u.a. Aufschluß über die Menge und Qualität sowie die Verteilung der Biomasse auf einem Schlag geben kann. Die Auswertung der Aufnahmen beruht auf der Erkenntnis, daß der Ernährungsstatus der Pflanze ihr Reflexionsverhalten und -spektrum beeinflusst. Sowohl ein Überschuß als auch ein Mangel an einem essentiellen Element kann Veränderungen in der Blattfärbung, der Größe und Gestalt von Blättern und Pflanzen verursachen. Auch dieses Verfahren erfordert im Vorfeld eine umfangreiche Absicherung über begleitende Untersuchungen, um fachlich begründete Regeln für die Interpretation der Aufnahmen ableiten zu können.

### 3 Düngebedarfsermittlung

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.

Unabdingbare Voraussetzung für die richtige Berechnung des Düngebedarfs sind verlässliche Daten. Insbesondere die Kenntnis der Produktmengen (Erträge, Düngemittel) und deren Nährstoffgehalte - am besten durch Untersuchungsergebnisse belegt - wirkt sich entscheidend auf die Plausibilität der Bedarfsermittlung aus.

#### 3.1 Stickstoff

Im Abschnitt 2.2.3 wurde bereits darauf eingegangen, daß der Stickstoffhaushalt des Bodens durch eine starke Dynamik geprägt ist. Zahlreiche Prozesse beeinflussen das für die Pflanze nutzbare N-Angebot. Der Nmin-Vorrat im Frühjahr hängt wesentlich vom Nmin-Gehalt des Bodens zum Vegetationsende des Vorjahres ab und wird jahresspezifisch stark geprägt durch die Winterwitterung. Insbesondere die Höhe und Verteilung des Niederschlags während des Winters beeinflusst durch Verlagerung und Auswaschung die Nmin-Menge und -Verteilung zu Vegetationsbeginn. Eine Nmin-Untersuchung liefert deshalb eine wertvolle Grundlage für die Bemessung der Frühjahrsdüngung.

Während der Vegetationsphase wird das N-Angebot im Boden neben der Düngung nachhaltig durch die standortspezifische N-Nachlieferung (Mineralisation) bestimmt. Jahrespezifisch wirkt auch hier die Witterung - vor allem in Form von Temperatur und Bodenfeuchte - auf Höhe und zeitliche Verteilung der N-Mineralisation. Die Abschätzung der zu erwartenden Nachlieferung ist somit ein wichtiger Teil der Düngebedarfsermittlung. Während

der Vegetationsperiode spiegelt sich die N-Nachlieferung im Versorgungszustand der Pflanze wider. Entsprechende Untersuchungen (siehe Abschnitt 2.3) geben Anhaltspunkte über die nachgelieferte N-Menge und erlauben insbesondere bei Teilung der N-Düngung eine Anpassung der Einzelgaben.

Bei der Bemessung der N-Düngung sind folgende Punkte zu beachten:

- Durch das N-Angebot und damit auch durch die N-Düngung werden Ertrag und Qualität nachhaltig beeinflusst. Die N-Düngung ist als Steuerungsinstrument und sehr wirksames Betriebsmittel von großer Bedeutung.
- Unsachgemäße, d.h. insbesondere eine zu hohe oder zeitlich falsch verteilte N-Düngung kann sich sehr nachteilig auswirken. Zu hohe N-Düngung führt zu N-Verlusten (Auswaschung, Entgasung) und trägt so häufig zur Belastung des Grundwassers, der Oberflächengewässer und der Atmosphäre bei. Eine zu hohe N-Düngung kann aber auch die Anfälligkeit des Pflanzenbestandes für Schaderreger erhöhen und in der Folge geringere Erträge, eine schlechtere Qualität der Ernteprodukte sowie erhöhte Pflanzenschutzmittelaufwendungen nach sich ziehen. Letztlich bedeuten Stickstoffverluste und geringe N-Ausnutzung auch finanzielle Nachteile für den Landwirt.

Diese Umstände zeigen die Bedeutung und zugleich auch die Schwierigkeiten, den N-Bedarf für eine ganze Vegetationsperiode im Voraus zu bestimmen. Hinzu kommt, daß die zeitliche Entwicklung des Nährstoffbedarfs berücksichtigt werden muß. Eine Berechnung ausschließlich auf Basis des Pflanzenentzugs (Bilanz) ist aus den dargestellten Gründen für eine hinreichend genaue Ermittlung des N-Düngedarfs nicht geeignet. Deshalb orientieren sich die üblichen Verfahren darauf, zu bestimmten Zeitpunkten und unter besonderer Beachtung der spezifischen Wachstumsbedingungen auf dem Schlag ein optimales Nährstoffangebot zu schaffen. Der Zielertrag ist dabei nur eine Einflußgröße. Entscheidungsgrundlage sind die Ergebnisse von vielen regionalen Feldversuchen, in denen der standortspezifische Einfluß verschiedener Faktoren untersucht und quantifiziert wurde.

Bei der N-Bedarfsermittlung haben sich bundesweit Verfahren eingebürgert, die auf der N<sub>min</sub>-Methode basieren. Wie schon erwähnt, eignet sich diese Methode besonders für die Bemessung der N-Düngung im Frühjahr. Die Grundidee geht davon aus, daß jede Fruchtart zu einem bestimmten Zeitpunkt ein bestimmtes N-Angebot im Boden erfordert. Diese als Sollwert bezeichnete N-Menge entspricht dem im Feldversuch ermittelten optimalen N-Angebot. Von diesem Sollwert ist der im Boden verfügbare, durch Untersuchung zu bestimmende N<sub>min</sub>-Vorrat (siehe 2.2.3) abzuziehen. Die sich ergebende Restmenge stellt den N-Düngebedarf dar:

Sollwert *minus* N<sub>min</sub> *gleich* Düngebedarf.

In der Praxis hat sich das Nmin-Verfahren bewährt. Zugleich zeigte sich die Notwendigkeit, das Ertragsniveau und bestimmte Standorteinflüsse stärker zu berücksichtigen. Aus diesem Grund sind auf Basis der Nmin-Methode verschiedene Systeme entwickelt worden, die unterschiedliche Einflußfaktoren bei der Ermittlung des N-Düngebedarfs einbeziehen.

### 3.1.1 Stickstoff-Bedarfs-Analyse-System

Für die Ermittlung des N-Düngebedarfs verwendet die LUFA Sachsen-Anhalt das Stickstoff-Bedarfs-Analyse-System (SBA-System), dessen Grundzüge im folgenden beschrieben werden. Das System wurde von der Hessischen Landwirtschaftlichen Versuchsanstalt entwickelt und von der LUFA Sachsen-Anhalt an regionale Besonderheiten des Bundeslandes angepaßt. Beim SBA-System handelt es sich um eine computergestützte Lösung mit flexiblen Datenstrukturen. Auf der Grundlage von Feldversuchen, die von der LUFA Sachsen-Anhalt gemeinsam mit anderen Landeseinrichtungen durchgeführt werden, erfolgt eine ständige Prüfung und Weiterentwicklung des Systems, so daß es an dieser Stelle nicht möglich ist, sämtliche Details darzustellen. Das betrifft insbesondere die Parametrisierung des Systems. Andererseits besteht dazu keine Notwendigkeit, weil es sich um eine in der Untersuchungseinrichtung anzuwendende Programmlösung handelt, so daß der Landwirt hauptsächlich mit dem Ergebnis der Bedarfsberechnung konfrontiert wird. Für die Interpretation der Ergebnisse und für das Verständnis der Bedeutung der Eingangsdaten ist die Kenntnis des Grundprinzips wichtig.

Beim SBA-System handelt es sich um eine modifizierte und erweiterte Form des Nmin-Verfahrens unter Beibehaltung der klassischen Komponenten

- Messung der  $\text{CaCl}_2$ -löslichen Stickstoff-Fraktionen  $\text{NO}_3^-$ -N und  $\text{NH}_4^+$ -N im Boden zu Vegetationsbeginn,
- N-Sollwerte als Basis für eine Düngungsempfehlung.

Ziel des SBA-Systems ist die computergestützte Auswertung von Nmin-Analysedaten und Erstellung von N-Düngungsempfehlungen für Wintergetreide (1. und 2. N-Gabe), Sommergetreide, Winterraps, Zuckerrüben, Kartoffeln, Silomais und andere Kulturen. Die grundsätzliche Vorgehensweise bei der Ableitung der Düngungsempfehlung wird in Tab. 8 dargestellt.

Zum Inhalt des 1. Bearbeitungsschrittes (Nmin-Untersuchung) wird auf die Ausführungen im Abschnitt 2.2.3 verwiesen. Die sich anschließenden Berechnungen im Schritt 2 zur Schätzung der Menge an pflanzenverfügbarem Stickstoff haben zum Ziel, aus dem im Labor ermittelten Analysenwert (mg N/kg Feinboden) auf die unter den spezifischen Schlagbedingungen tatsächlich verfügbare N-Menge (kg N/ha) zu schließen. Zum einen erfolgt eine

Umrechnung mit Faktoren, die sich aus der Stärke der betrachteten Bodenschicht in Abhängigkeit von der durchwurzelbaren Tiefe, der Lagerungsdichte des Bodens und seinem geschätzten Steingehalt ergeben (Tab. 9). Andererseits wird eine Bewertung der Verfügbarkeit des Bodenstickstoffs über - als Mineraldünger-äquivalente (MDÄ) bezeichnete - Wichtungsfaktoren vorgenommen.

Tab. 8: Grundstruktur des SBA-Systems

Bearbeitungsschritt	berücksichtigte Einflußfaktoren
1 Untersuchung des Bodens auf Nmin-Gehalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\text{NO}_3^-</math>- und <math>\text{NH}_4^+</math>-Stickstoff</li> <li>• Schichten 0-30, 30-60 und ggf. 60-90 cm</li> </ul>
2 Schätzung der pflanzenverfügbaren Stickstoffmenge im Boden	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bodenparameter (Dichte, Steingehalt, durchwurzelbare Tiefe)</li> <li>• Wichtungsfaktoren (MDÄ in Abhängigkeit von der Bodenart)</li> <li>• ggf. Schätzfunktion für Nmin in der 3. Schicht</li> </ul>
3 fruchtart- und standortspezifische Empfehlung zur N-Düngung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pflanzenverfügbarer N im Boden</li> <li>• Sollwerte</li> <li>• Sollwertmodifikationen, Zu- und Abschläge (Ertragserwartung, Bestandsentwicklung u.a.)</li> <li>• N-Nachlieferung aus organischen Quellen (Vor- und Zwischenfrüchte, organische Düngung)</li> <li>• Modelle zur Gabenteilung</li> </ul>

Das MDÄ beschreibt die prozentuale Wirkung des Boden-N im Vergleich zu N aus einem Mineraldünger. Das heißt z.B., daß bei einem MDÄ von 80 % 100 kg Nmin wie 80 kg Mineraldünger-N wirken. Dieser Bewertungsfaktor stellt eine Besonderheit dar, die für die Anpassung des SBA-Systems an die spezifischen Bedingungen in Sachsen-Anhalt notwendig wurde. In Versuchen hatte sich gezeigt, daß die Pflanzen in der Mehrzahl der Jahre auf vielen Standorten nicht in der Lage sind, den im Boden verfügbaren mineralischen Stickstoff vollständig zu nutzen. Dieser Umstand läßt sich maßgeblich mit der in vielen Regionen Sachsen-Anhalts typischen Vorsommertrockenheit erklären. Die Bodenfeuchte als wesentlicher Faktor für die Wirksamkeit des Boden-N hängt neben dem Niederschlag ganz entscheidend vom Wasserspeichervermögen des Bodens ab.

Somit ergibt sich die Notwendigkeit, den Standort- und möglichst auch den Jahreseinfluß bei der Festlegung der MDÄ zu berücksichtigen.

Tab. 9: Schätzung des pflanzenverfügbaren N-Gehalts im Boden

Einflußgröße	Quantifizierung
Bodendichte	Faktor 1,3 bis 1,6 (bodenart- und schichtabhängig)
durchwurzelbare Tiefe (dwT)	schichtbezogen: $\frac{N_{min} \cdot dwT}{30 \text{ cm}}$
Steingehalt	gering $N_{min} \cdot 1,0$ (schichtbezogene Berechnung) mittel $N_{min} \cdot 0,8$ hoch $N_{min} \cdot 0,6$
Bodenart und Tiefenverteilung	bodenart- und schichtabhängige Mineraldünger-äquivalente (MDÄ) zwischen 30 und 100 %: $\frac{N_{min} \cdot MDÄ}{100}$

Die Berechnung der fruchtart- und standortspezifischen Düngungsempfehlung im 3. Schritt geht von einem Sollwert aus. Eine Auswahl wichtiger Sollwerte ist in Tab. 11 (S. 31) zusammengestellt. Der Sollwert wird durch Zu- und Abschläge fruchtart- und schlagspezifisch modifiziert. Von diesem modifizierten Sollwert wird der im 2. Schritt ermittelte pflanzenverfügbare Boden-N abgezogen. Der sich ergebende Bedarfswert wird dann mit der aus organischen Quellen (Ernterückstände, Wirtschaftsdünger u.a.) zu erwartenden N-Nachlieferung verrechnet. Die Kalkulation der Nachlieferung erfolgt unter Beachtung von Art, Menge und Zeitpunkt der organischen Düngung bzw. der Einarbeitung von Ernterückständen. Dabei kommt ein Stichtagskonzept zur Anwendung. Bei Ausbringung bzw. Einarbeitung vor einem bestimmten Termin im Herbst wird unterstellt, daß keine Nachlieferung mehr erfolgt. Nach dem Stichtag wird in Abhängigkeit vom Termin der Ausbringung bzw. Einarbeitung und vom N-Gehalt der organischen Substanz die N-Nachlieferung geschätzt (Tab. 10). Ernterückstände werden nur berücksichtigt, wenn die Nebenprodukte (z.B. Stroh, Rübenblatt) auf dem Feld verblieben sind. Zwischenfrüchte finden nur dann Eingang in die Berechnung, wenn der gesamte Aufwuchs eingearbeitet wurde (Gründüngung).

Tab. 10: N-Nachlieferung aus organischer Substanz

organische Substanz	geschätzte Nachlieferung
Ernterückstände aus der Vorfrucht	Festwerte zwischen 10 und 30 kg N/ha in Abhängigkeit von Vor- und Hauptfrucht
Zwischenfrucht	Festwerte zwischen 5 und 10 kg N/ha in Abhängigkeit von der Bestandsentwicklung der Zwischenfrucht
Wirtschaftsdünger, Klärschlamm, u.ä.	in Abhängigkeit vom Ausbringungstermin 20 bis 40 % des organisch gebundenen N ( $\text{NH}_4^+$ -N wird nicht berücksichtigt)

Nach Abzug des pflanzenverfügbaren N im Boden und der geschätzten N-Nachlieferung aus organischen Quellen vom modifizierten Sollwert ergibt sich der Düngbedarf. Die berechnete Gabe stellt je nach Fruchtart eine Empfehlung für den Gesamtbedarf (z.B. bei Zuckerrüben, Kartoffeln, Winterraps) oder für die erste und zweite N-Gabe (Wintergetreide) dar.

Bei der Berechnung der erforderlichen N-Düngung findet ein weiterer Aspekt Berücksichtigung. Während der Jugendentwicklung kann sich die Pflanze über das Wurzelsystem meist nur den Krumbereich des Ackerbodens erschließen. Deshalb ist in dieser Phase nicht nur das N-Angebot, sondern auch die Verteilung des Stickstoffs im Boden von erheblicher Bedeutung. Aus diesem Grund prüft das SBA-System, ob die oberste Bodenschicht (0 bis 30 cm) genügend Stickstoff enthält, um eine zügige Anfangsentwicklung des Bestands zu ermöglichen. Bezugsgröße ist dabei die Summe aus  $N_{\text{min}}$  in der Krume und errechneter N-Düngung. Überschreitet diese Summe den in Tab. 11, S. 31 angegebenen Richtwert, so wird das N-Angebot in der Krume als ausreichend angesehen. Andernfalls wird die zu verabreichende N-Düngung um den Fehlbetrag erhöht.

Je nach Fruchtart und Höhe der errechneten Gabe kann die Notwendigkeit bestehen, eine Gabenteilung vorzunehmen. Das SBA-System enthält ein entsprechendes Berechnungsmodell zur Aufteilung der Gaben unter Berücksichtigung der in Tab. 13, S. 32 empfohlenen Höchstmengen. Es sei darauf verwiesen, daß eine späte N-Gabe bei Kartoffeln und Zuckerrüben zu Qualitätsproblemen führen kann und darum möglichst unterbleiben sollte. Aus dem gleichen Grund sollte eine Teilung der Gesamt-N-Gabe nur im Ausnahmefall, d.h. bei sehr hohem Düngbedarf erfolgen. Ohnehin dürfte der mit dem SBA-System errechnete Düngbedarf für Zuckerrüben und Kartoffeln nur äußerst selten eine Teilung erfordern.

### 3.1.2 Einfaches Sollwertverfahren und Nutzung von Vergleichswerten

Die Düngeverordnung läßt es zu, daß neben eigenen auch Ergebnisse der Untersuchungen vergleichbarer Standorte zur Ermittlung der im Boden verfügbaren Nährstoffmengen verwendet werden. Aufgrund der vielen Einflußfaktoren kann jedoch mit solchen übernommenen Werten die tatsächliche Situation auf einem Schlag nur sehr ungenau abgeschätzt werden. Sind eigene Untersuchungen nicht im erforderlichen Umfang möglich, sollte der Landwirt versuchen, sich an Werten von Schlägen aus dem Nahbereich und mit vergleichbarer Bewirtschaftung zu orientieren. Dabei sollte er auch seine Erfahrungen über die Wirkung bestimmter Maßnahmen (z.B. Nachwirkung organischer Düngung) einbringen. Im günstigsten Fall kann neben dem Nmin-Wert einer anderen Fläche auch die dazu gegebene Düngungsempfehlung zur Orientierung herangezogen werden.

Tab. 11: N-Sollwerte ausgewählter Fruchtarten und erforderliches Mindest-N-Angebot in der Krume

Kultur	Ertragsbereich (dt/ha)	Sollwert (kg N/ha)	Mindest-N i.d. Krume <sup>**)</sup> (kg N/ha)
Ackerbohnen	30 - 40	60	30
Hafer	45 - 65	100	60
Kartoffeln	RG 1-2	300 - 350	80
	RG 3-4	300 - 350	60
Körnermais	50 - 70	180	80
Silomais	400 - 500	180	80
Sommergerste	Braugerste	45 - 65	50
	Futtergerste	50 - 70	60
Sonnenblumen	30 - 35	80	50
Triticale	50 - 70	100	40
Wintergerste	55 - 85	100 <sup>*)</sup>	60
Winterraps	30 - 35	180	80
Winterroggen	50 - 70	100 <sup>*)</sup>	40
Winterweizen	55 - 85	120 <sup>*)</sup>	60
Zuckerrüben	450 - 600	140	40

<sup>\*)</sup> Sollwert für die 1. Gabe

<sup>\*\*)</sup> Mindest-N-Angebot: erforderliches N-Angebot als Summe aus Nmin in 0 bis 30 cm Bodentiefe und N-Düngung

Verfügt der Landwirt über keine anderen Möglichkeiten, so kann er sich bei der Düngebedarfsermittlung auf das oben beschriebene klassische Sollwertverfahren

(Sollwert - N<sub>min</sub> = N-Düngebedarf) stützen. Die erforderlichen Sollwerte sind Tab. 11 zu entnehmen. Um die Standortbedingungen und das Ertragsniveau zu berücksichtigen, kann der Sollwert ähnlich wie beim SBA-System modifiziert werden. Als Orientierung dafür sollen die Angaben in Tab. 12 dienen. Dabei wird empfohlen, den Gesamtbetrag aller Zu- und Abschläge zum Sollwert auf ± 40 kg N/ha zu begrenzen. Liegen Informationen zur N<sub>min</sub>-Verteilung vor, sollte durch den Vergleich der Summe aus N<sub>min</sub> in der Krume und der geplanten N-Düngung mit dem erforderlichen Mindest-N-Angebot (Tab. 11) geprüft werden, ob für die Pflanze nach der 1. Düngergabe eine ausreichende N-Menge zur Verfügung steht. Gegebenenfalls ist bei zu niedrigem N-Angebot die geplante N-Düngung entsprechend zu erhöhen. Weiterhin ist es ratsam, die in Tab. 13 ausgewiesenen Höchstmengen bei der Bemessung der N-Düngergaben zu berücksichtigen.

Tab. 12: Zu- und Abschläge zum N-Sollwert

Kriterium	Zu- oder Abschlag zum Sollwert (kg N/ha)
kalter, schlecht durchlüfteter Boden	+ 20
Ertragserwartung gegenüber Richtertrag (Tab. 11) höher / niedriger	Kartoffeln, Silomais, Zuckerrüben: + 20 / 0 Wintergetreide: + 10 / - 10
Bestandsentwicklung im Frühjahr schwach / stark	bei Wintergetreide: + 10 / - 10
organische Düngung im Herbst	- 20 bis - 40 (je nach Art und Menge des eingesetzten Düngers)

Tab. 13: Empfohlene Höchstmengen für N-Teilgaben

Fruchtart	Höchstmenge für Teilgabe (kg N/ha)
Wintergetreide	60 - 80
Winterraps	100 - 120
Zuckerrüben *)	100 - 120
Kartoffeln *)	100 - 120
Silomais	120 - 140

\*) späte N-Gabe infolge Teilung kann Qualitätsprobleme verursachen

### 3.1.3 N-Düngewirkung von Wirtschaftsdüngern

Soll ein Teil des N-Düngebedarfs über den Einsatz von Wirtschaftsdüngern abgedeckt werden, so ist die über Mineraldünger zugeführte N-Menge entsprechend zu reduzieren. Dabei muß man jedoch beachten, daß der in den organischen Düngern enthaltene Stickstoff teilweise in organischer Bindung vorliegt, so daß er den Pflanzen nicht vollständig und mit Zeitverzögerung zugänglich ist, da der Stickstoff erst mineralisiert werden muß. Hinzu kommt, daß je nach Anwendungszeitpunkt Teile des mit dem organischen Dünger aufgebrauchten N verlorengehen können. Deshalb wird die Ausnutzung des Stickstoffs aus organischen Düngern durch Verrechnung mit einem Mineraldüngeräquivalent (MDÄ) berücksichtigt. In diesem Fall bedeutet MDÄ die prozentuale Wirksamkeit von 100 kg N aus organischem Dünger im Vergleich zu 100 kg Mineraldünger-N. Richtwerte für die Wirksamkeit von Güllestickstoff in Abhängigkeit vom Anwendungszeitraum können Tab. 14 entnommen werden. Für Stallmist kann unabhängig vom Zeitpunkt der Ausbringung ein MDÄ von 30 % unterstellt werden.

Dabei sind jedoch folgende Punkte zu beachten:

- Die MDÄ beziehen sich auf den Gesamt-N-Gehalt der Wirtschaftsdünger nach Abzug der Lagerungs- und Ausbringungsverluste. Der Gesamt-N-Gehalt läßt sich entweder durch Untersuchung ermitteln oder der Richtwertbroschüre, Tab. 16 entnehmen.
- Wird die Düngebedarfsermittlung nach dem SBA-System vorgenommen, so ist die N-Lieferung aus organischen Düngern bereits berücksichtigt, sofern sie vor der N<sub>min</sub>- Beprobung ausgebracht wurden. In diesem Fall genügt es, die im Frühjahr zur Deckung des ermittelten N-Bedarfs eingesetzten organischen Dünger nach MDÄ zu bewerten.
- Die Düngeverordnung untersagt grundsätzlich die Ausbringung von Gülle, Jauche, Geflügelkot oder stickstoffhaltigen flüssigen Sekundärrohstoffdüngern in der Zeit vom 15. November bis 15. Januar.
- Laut Düngeverordnung dürfen auf Ackerland Gülle, Jauche, Geflügelkot oder stickstoffhaltige flüssige Sekundärrohstoffdünger nach der Ernte der Hauptfrucht nur zu Feldgras, Grassamen, Untersaaten, Herbstsaaten einschließlich Zwischenfrüchten oder bei Strohdüngung und zwar insgesamt nur bis zu 40 kg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N oder 80 kg Gesamt-N je ha ausgebracht werden.
- Bei der Erstellung eines Nährstoffvergleichs gemäß Düngeverordnung sind die MDÄ nicht anzuwenden; es ist mit dem Gesamt-N-Gehalt zu rechnen.

Tab. 14: Mittlere Wirksamkeit (MDÄ) von Güllestickstoff (in %) im Anwendungsjahr

Fruchtart	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli
Kartoffeln, Silomais, Zuckerrüben	20	30				60	60	60		
Feldgras, Grünland	35	40	45	45	50	50	50	40	35	35
Wintergetreide, Winterraps	30	35	40		50	55	60	50		
Sommer- getreide, einj. Futterpflanzen	20	30				55	60	50		
Winterzwischen- früchte	30	30	30							

### 3.1.4 Pflanzenuntersuchung und Düngefenster

Besonders zur Ermittlung bzw. Spezifizierung des Bedarfs für die 2. und 3. N-Gabe bei Getreide eignen sich die im Abschnitt 2.3 beschriebenen Verfahren. Bei der Bemessung der 3. Gabe ist zu berücksichtigen, daß diese Gabe unter den Standortverhältnissen Sachsen-Anhalts kaum ertragswirksam wird und sich vornehmlich auf den Eiweißgehalt des Getreides auswirkt (Qualitätsdüngung!). Die Bedingungen für die Aufnahme des N durch die Pflanze sind zu diesem Zeitpunkt mitunter sehr ungünstig, so daß insbesondere aus der 3. N-Gabe größere Rest-Nmin-Mengen nach der Ernte resultieren können. Deshalb sollten neben eigenen Beobachtungen auch die jahres- und fruchtartspezifischen Informationen in Zeitschriften und aus Facheinrichtungen mit als Entscheidungsgrundlage bei der Bemessung der N-Düngung genutzt werden.

Die Vorgehensweise der Bemessung der 2. bzw. 3. N-Gabe auf Grundlage einer Pflanzenuntersuchung wird beispielhaft anhand der komplexen Pflanzenanalyse und des Nitratschnelltests erläutert. Mit der komplexen Pflanzenanalyse wird der Gesamt-N-Gehalt der Pflanzen ermittelt (siehe Pkt. 2.3.1) und dieser in Beziehung zu den Normalstickstoffgehalten (Ernährungszustand „ausreichend“, siehe Tab. A 1 im Anhang) unter Berücksichtigung des Entwicklungsstadiums gesetzt. Entsprechend der Abweichung von den Normalgehalten ergibt sich dann die Notwendigkeit einer Stickstoffdüngung. Die Düngungsempfehlung gestaltet sich im Grundsatz folgendermaßen:

sehr hoher N-Gehalt: keine N-Düngung  
 hoher N-Gehalt: reduzierte N-Düngung  
 mittlerer N-Gehalt: N-Düngung (2. Gabe) entsprechend der Empfehlung nach SBA, eines Berechnungs- und Schätzverfahrens o.ä.  
 niedrige N-Gehalte: erhöhte N-Düngung.

Die genaue Höhe der Düngungsempfehlung wiederum richtet sich nach der Fruchtart und deren Entwicklungsstadium.

Bei Anwendung des Nitratschnelltests ergeben sich bei Getreide für die 2. und 3. N-Gabe die in Tab. 15 aufgeführten N-Düngungsempfehlungen, die je nach Bestandesdichte über Ab- bzw. Zuschläge zu korrigieren sind.

Tab. 15: Empfehlungen für die 2. und 3. N-Gabe zu Getreide bei mittlerer Bestandesdichte in Abhängigkeit vom ermittelten Farbwert bei Anwendung des Nitratschnelltests

Farbwert	2. N-Gabe (Schossergabe) kg N/ha	3. N-Gabe (Qualitätsgabe) kg N/ha	Färbung bei Blau-Test	Färbung bei Rot-Test
3,0	0	0	tiefblau	tiefviolett
2,5	20	20 - 40	blau	violett
2,0	30			
1,0	40	50 - 70	hellblau	hellviolett
0	50		ohne Blauton	ohne Violetton

Eine einfache und dennoch recht wirkungsvolle, weil standortspezifische und unter praktischen Bedingungen leicht anwendbare Methode zur N-Bedarfsermittlung ist das Anlegen von Düngefenstern. Dazu wird bei einer N-Düngungsmaßnahme ein kleines Teilstück des Schlages gar nicht oder mit einer um 20 bis 30 kg reduzierten N-Menge gedüngt. Ein Aufhellen des Bestandes auf diesem Teilstück zeigt dann die Notwendigkeit weiterer N-Düngungsmaßnahmen an. Diese Methode hat den großen Vorteil, daß außer der N-Düngung alle anderen Einflußfaktoren sowohl auf dem Gesamtschlag als auch auf der Teilfläche gleich wirken. Eine erfolgreiche Anwendung der Methode erfordert einige praktische Erfahrung, die der Landwirt unter seinen speziellen Standortbedingungen sammeln muß.

### 3.1.5 Grünland

Für die Ermittlung des N-Bedarfs auf Grünland hat sich das Nmin-Verfahren bisher nicht allgemein durchsetzen können. Da aber der Stickstoff auf Grünland in der Regel einer weit geringeren Auswaschungsgefährdung unterliegt als auf Ackerland, ist es möglich, in Abhängigkeit von der Ertragsersparnis sowie der Art und Intensität der Nutzung mit festen N-Düngergaben zu planen. Zur Ermittlung des zu erwartenden Entzugs können die Werte aus der Richtwertbroschüre, Tab. 13, Verwendung finden. Die tatsächlichen Wachstumsbedingungen lassen sich dann bei Bedarf durch Anpassung der einzelnen Teilgaben berücksichtigen. Dabei sollte die Höhe einer Teilgabe 60 bis 80 kg N/ha nicht überschreiten.

Bei Weidehaltung und Mähweidenutzung ist der Nährstoffanfall aus den Weideexkrementen bei der Bemessung der Düngung entsprechend der Weidedauer zu berücksichtigen. Der in den Weideexkrementen enthaltene N kann dabei mit 50 % in Anrechnung gebracht werden.

Zu beachten ist, daß mit der Höhe der N-Düngung ein deutlicher Einfluß auf die Bestandszusammensetzung des Grünlands genommen wird. Mit der N-Düngung wird neben dem Ertrag auch sehr stark auf die erzeugten Futterqualitäten eingewirkt. Das sollte vor allem dann Berücksichtigung finden, wenn der Futterwert nicht den Erfordernissen entspricht oder Änderungen in der Bewirtschaftungsintensität geplant sind.

Es sei noch angemerkt, daß in Sachsen-Anhalt für Flächen, die im Rahmen von Förderprogrammen extensiv bewirtschaftet werden, spezielle Regelungen zu den zulässigen Nährstoffzufuhren gelten, die entsprechend einzuhalten sind.

### 3.2 Grunddüngung

Um die Fruchtbarkeit und Ertragsfähigkeit der landwirtschaftlich genutzten Böden nachhaltig zu sichern, andererseits eine Luxus- bzw. Überversorgung und die daraus resultierende Gefahr von Nährstoffverlusten zu vermeiden, ist neben der Abdeckung des Bedarfs an Stickstoff auch die standortangepaßte, bedarfsgerechte Versorgung mit allen anderen Makronährstoffen sowie die Einstellung eines für den jeweiligen Boden optimalen pH-Bereichs erforderlich. Als Grunddüngung wird die regelmäßige und zielgerichtete Zufuhr der Grundnährstoffe Phosphor, Kalium und Magnesium in Form organischer oder mineralischer Düngemittel sowie die Kalkung verstanden.

Dem Boden werden durch die Abfuhr von Ernteprodukten Nährstoffe entzogen. Darüber hinaus können der Pflanze Nährstoffe durch Festlegung im Boden sowie

durch Auswaschung und Erosion verlorengehen. Langjährige Düngungsversuche zeigen, daß bei bestimmten Nährstoffkonzentrationen in der Bodenlösung auf vielen Standorten der weitaus größte Teil der zugeführten Nährstoffe durch die Pflanze genutzt werden kann, wenn sich auch der pH-Wert in einem optimalen Bereich befindet. Ziel der Grunddüngung ist demzufolge die Einstellung eines für die Ernährung der Pflanzen ausreichenden, optimalen Nährstoffgehalts des Bodens und der Ersatz der dem Boden durch die Ernten entzogenen Nährstoffe sowie die Erhaltung eines optimalen Bodenmilieus.

Zur Erreichung dieses Ziels wurde im Bereich des VDLUFA das Konzept der Gehaltsklassen entwickelt. Der Grundgedanke dieses Einstufungsverfahrens ist eine Klassifizierung des im Boden ermittelten Nährstoffgehalts. 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 Gehaltsklassen und insbesondere die Abgrenzung der Optimalbereiche erfolgte auf der Grundlage umfangreicher Feldversuche an verschiedenen Standorten. Der Standorteinfluß findet Berücksichtigung in Form der Bodenart, die wiederum Bodengruppen zugeordnet wird (Richtwertbroschüre, Tab. 1). Bei den Nährstoffen P, K und Mg gilt die Gehaltsklasse C als optimal, beim pH-Wert hingegen die pH-Stufe E (Richtwertbroschüre, Tab. 2 und Tab. 4).

Die Berechnung des Düngebedarfs durch die LUFA Sachsen-Anhalt und andere Untersuchungseinrichtungen erfolgt in der Regel rechnergestützt. In den nächsten Abschnitten wird die prinzipielle Vorgehensweise erläutert. Die Ausführungen ermöglichen es, die notwendigen Berechnungen im Bedarfsfall mit einfachen Hilfsmitteln (Taschenrechner, PC) nachzuvollziehen. Die Berechnungsschritte beziehen sich jeweils auf ein Anbaujahr. Trotzdem ist es sinnvoll, den Düngebedarf für mehrere Jahre im Voraus, im besten Fall für eine ganze Rotation zu ermitteln. Mit der so gewonnenen Kenntnis über den Gesamtbedarf einer Fruchtfolge lassen sich die Düngungsmaßnahmen zeitlich und mengenmäßig günstig in den betrieblichen Ablauf einordnen, z.B. innerhalb der Fruchtfolge bevorzugt zu Fruchtarten mit besonderen Nährstoffansprüchen.

### 3.2.1 Phosphor und Kalium

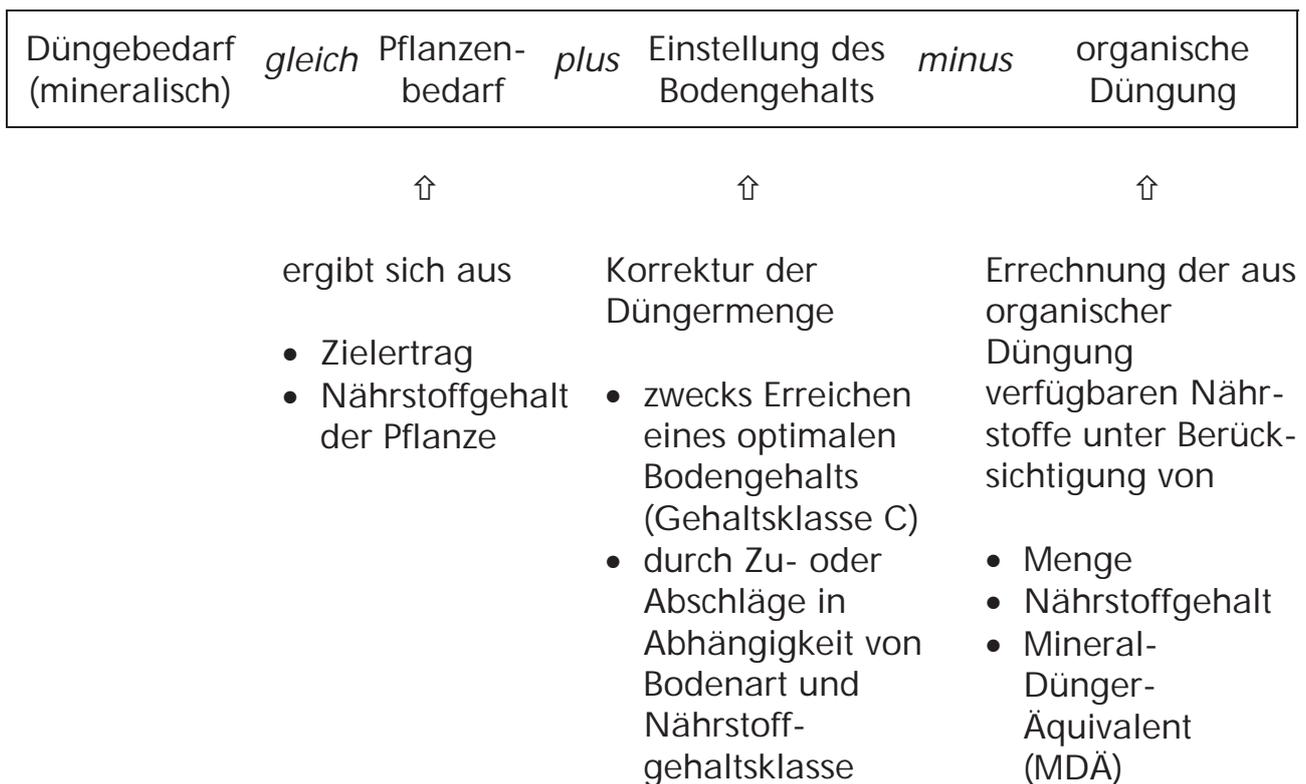
Grundlage der Ermittlung des Düngebedarfes an Phosphor und Kalium ist eine Bodenuntersuchung, wie sie auch durch die Düngeverordnung gefordert wird (siehe Abschnitt 2.2.4). Die Ergebnisse der Bodenuntersuchung werden in Sachsen-Anhalt üblicherweise in mg/100 g lufttrockener Boden als Elementwert (P, K) angegeben. Werden von einem Schlag mehrere Proben gezogen und

analysiert, gehen jeweils die Schlagmittelwerte bzw. Medianwerte in die Berechnung ein. Die Untersuchungsergebnisse werden entsprechend den Grenzwerten in der Richtwertbroschüre, Tab. 5 und Tab. 6 in Gehaltsklassen eingestuft. Als Besonderheit ist auf die andere Einstufung der P-Versorgung bei karbonatreichen Böden mit hohem pH-Wert sowie bei Kalium auf die Differenzierung zwischen Acker- und Grünland hinzuweisen.

Neben den Ergebnissen der Bodenuntersuchung sind zur Ermittlung des P- und K-Düngebedarfs folgende Angaben erforderlich:

- Bodenart
- angebaute bzw. zum Anbau vorgesehene Fruchtart(-en)
- Ertragsziel in dt/ha
- Art und Menge der organischen Düngung (Vorjahr, Anbaujahr und evtl. Folgejahre).

Das Prinzip der Berechnung des P- und K-Düngebedarfs veranschaulicht folgende Darstellung:



Die Berechnung erfolgt dabei in mehreren Schritten:

- Berechnung des Nährstoffentzugs:

$$\text{Entzug (kg/ha)} = \text{Ertragsziel (dt/ha)} \cdot \text{Nährstoffgehalt der Pflanze (kg/dt)}$$

Die erforderlichen Daten zum Nährstoffgehalt der Nutzpflanzen sind der Tab. 13 der Richtwertbroschüre zu entnehmen. Dabei ist auf die Auswahl der richtigen Zahl für den Nährstoffgehalt zu achten. In der Regel wird vom Entzug der Gesamtpflanze ausgegangen. Das ist insbesondere dann zwingend, wenn auch das Nebenprodukt (z.B. Stroh) vom Feld abgefahren wird. Verbleibt das Nebenprodukt auf dem Feld, erfolgt eine Verrechnung bei der Ermittlung der Nährstoffnachlieferung aus organischer Düngung. Es wäre allerdings auch eine vereinfachte Berechnung möglich, indem bei auf dem Feld verbleibenden Koppelprodukten der Entzug nur für das Hauptprodukt berechnet wird. Das kann jedoch bei einjähriger Betrachtungsebene und bestimmten Fruchtarten zu sehr niedrigen Düngungsempfehlungen führen. Im anderen Fall können sich durch Einbeziehung der Koppelprodukte in die Entzugsberechnung bei einjähriger Betrachtung besonders bei der Kombination von sehr hohen Erträgen und geringen Nährstoffgehalten im Boden außerordentlich hohe Düngungsempfehlungen ergeben. Diese Problematik spricht für die bereits weiter oben ausgeführte mehrjährige Betrachtungsweise. Werden in einem Anbaujahr mehrere Fruchtarten angebaut, so sind die ermittelten Einzelentzüge zu summieren. Vollständig auf dem Feld verbleibende Zwischenfrüchte können bei der Berechnung negiert werden.

Bei der Ermittlung des P- und K-Entzugs für Weiden und Mähweiden ist die Nährstoffrückführung durch tierische Ausscheidungen beim Weidegang zu berücksichtigen. Dazu wird der über den Ertrag errechnete Entzugswert mit den Korrekturfaktoren in Tab. 16 multipliziert.

Tab. 16: Korrekturfaktoren für P- und K-Entzug beim Weidegang

Fruchtart	Faktor für P	Faktor für K
Weide	0,90	0,8
Mähweide	0,94	0,9

- Ermittlung des Gesamtnährstoffbedarfs:

$$\text{Gesamtbedarf (kg/ha)} = \text{Entzug (kg/ha)} + \text{Bilanzwert (kg/ha)}$$

Die Ermittlung des Gesamtbedarfs erfolgt auf Grund des Entzugs durch die Pflanzen und der im Boden verfügbaren Nährstoffe. Der Versorgungszustand des Bodens wird über Bilanzwerte berücksichtigt. Der Bilanzwert stellt einen Zu- oder Abschlag dar, der von der aktuellen Gehaltsklasseneinstufung abhängt und mit dem der über den Entzug ermittelte Nährstoffbedarf verrechnet wird. Mit dieser

Korrektur soll langfristig ein optimaler Versorgungszustand im Boden (Gehaltsklasse C) eingestellt werden. Die erforderlichen Bilanzwerte sind Tab. 17 zu entnehmen. Die Werte berücksichtigen auch die scheinbare Ausnutzung der durch die Düngung zugeführten Nährstoffe. Das zeigt sich für Ackerland in der Gehaltsklasse C an den von Null abweichenden Bilanzwerten für die Bodengruppen 1, 2 und 6.

Tab. 17: Bilanzwerte in (kg/ha) als jährliche Zu- und Abschläge zur Düngung nach Pflanzenentzug

Boden- gruppe	Gehalts- klasse	Bilanzwerte Phosphor		Bilanzwerte Kalium	
		Ackerland	Grünland	Ackerland	Grünland
1	A	50	40	70	50
1	B	25	20	45	35
1	C	4	0	25	0
1	D	-4	-10	0	-50
1	E	0	0	-60	0
2	A	50	40	85	50
2	B	25	20	45	35
2	C	2	0	15	0
2	D	-6	-10	-35	-50
2	E	0	0	0	0
3	A	50	36	100	40
3	B	25	18	50	25
3	C	0	0	0	0
3	D	-8	-10	-60	-60
3	E	0	0	0	0
4	A	50	36	100	35
4	B	25	18	50	20
4	C	0	0	0	0
4	D	-8	-10	-70	-70
4	E	0	0	0	0
5	A	50	36	100	35
5	B	25	18	50	20
5	C	0	0	0	0
5	D	-7	-10	-60	-70
5	E	0	0	0	0
6	A	50	36	70	70
6	B	25	18	45	50
6	C	4	0	25	0
6	D	-4	-10	0	-20
6	E	0	0	-60	0



Nährstoffbedarf des Schlages (kg) = Nährstoffbedarf (kg/ha) • Schlagfläche (ha)

Nährstoffbedarf Oxidform (kg/ha) =

Nährstoffbedarf Elementform (kg/ha) • Umrechnungsfaktor

Düngermenge für den Schlag (kg) =  $\frac{\text{Nährstoffbedarf des Schlages (kg)} \cdot 100}{\text{Nährstoffgehalt des Düngers (\%)}}$

Der P- und K-Gehalt von Mineraldüngemitteln wird grundsätzlich in Oxidform angegeben. Deshalb müssen entweder die Gehaltsangaben des Düngemittels in Elementform oder der Nährstoffbedarf in Oxidform umgerechnet werden. Die Umrechnungsfaktoren können der Richtwertbroschüre, Tab. 19 entnommen werden. Eine Übersicht zum Nährstoffgehalt ausgewählter Düngemittel findet sich im Anhang (Tab. A 3). Die Werte dieser Tabelle haben Richtwertcharakter. Da für jeden Handelsdünger eine Pflicht zur Deklaration der Nährstoffgehalte besteht, sollten für konkrete Berechnungen die Nährstoffangaben der Verpackung oder des Lieferscheins herangezogen werden.

Anhand eines Beispiels soll die oben beschriebene Vorgehensweise bei der Ermittlung des P- und K-Bedarfs nochmals veranschaulicht werden:

#### Beispielrechnung für die Ermittlung des Phosphorbedarfs

Hauptfrucht: Kartoffeln  
Standort: Bodengruppe 4,  
laut Ergebnis der letzten Bodenuntersuchung in  
Gehaltsklasse D  
Vorfrucht: Wintergerste ⇒ 60 dt Stroh/ha auf dem Feld verblieben  
Ertragserwartung: 350 dt/ha  
Entzug: 350 dt/ha • 0,06 kg P/dt = 21 kg P/ha  
Gesamtbedarf (Abzug des Bilanzwerts):  
21 kg P/ha - 8 kg P/ha = 13 kg P/ha  
Nährstoffzufuhr aus organischer Düngung:  
60 dt Stroh/ha • 0,13 kg P/dt • 60/100 = 4,7 kg P/ha  
Mineraldüngerbedarf: 13 kg P/ha - 4,7 kg P/ha ≈ 8 kg P/ha

### 3.2.2 Kalkbedarf

Die Kalkung ist in erster Linie eine Bodendüngung. Die Kalkversorgung des Bodens zur Einstellung einer optimalen Bodenreaktion ist eine der wichtigsten Grundlagen für einen erfolgreichen Ackerbau. Eine Zufuhr von Calcium als

**HINWEIS:** Im Jahr 2000 nahm der VDLUFA eine Neufassung der Kalkbedarfsermittlung vor (siehe VDLUFA-Standpunkt). Seitdem gilt die pH-Klasse C als "anzustreben / optimal". Das erforderte eine grundlegende Überarbeitung der Kalkbedarfstabellen. Die Tabellen 18 und 20 entsprechen deshalb nicht mehr dem aktuellen Stand. Jedoch sind die Ergebnisse der Kalkbedarfsermittlung nach altem und neuem Verfahren hinsichtlich der empfohlenen Kalkmengen vergleichbar.

Pflanzennährstoff spielt unter normalen Umständen keine Rolle, da den Pflanzen auf Böden mit optimaler pH-Reaktion ein ausreichendes Ca-Angebot zur Verfügung steht.

Allgemein besteht unter unseren humiden Klimabedingungen die Tendenz zur Basenverarmung der Böden. Neben diesem natürlichen, durch Niederschläge verursachten Prozeß tragen Düngungsmaßnahmen und andere anthropogene Einträge („saurer Regen“) zu einer Versauerung der Böden bei. Auch die Pflanze entzieht dem Boden Calcium. Diesen Ca-Verlusten muß durch Kalkdüngung entgegengewirkt werden.

Die Festlegung des Kalkbedarfs erfolgt üblicherweise auf der Grundlage des bei der Standard-Bodenuntersuchung ermittelten pH-Wertes. Anhand der Werte in Tab. 3 der Richtwertbroschüre wird die Einstufung des Untersuchungsergebnisses vorgenommen. Es sei daran erinnert, daß die pH-Stufe E als anstrebenswert gilt. Außerdem ist der Humusgehalt zu berücksichtigen. Liegen keine Informationen zum Humusgehalt vor, werden folgende Werte angenommen:

Ackerland:  $\leq 4,0$  % Humus,  
Grünland: 4,1- 8,0 % Humus.

Bei allen folgenden Angaben zum Kalkbedarf ist zu beachten, daß die Empfehlungen

- sich grundsätzlich auf einen Zeitraum von 4 Jahren beziehen und
- für Ackerland gelten. Für die Kalkung von Grünland sind jeweils nur 50 % der für Ackerland empfohlenen Mengen einzusetzen.

Im Ergebnis umfangreicher Feldversuche sind Optimalbereiche für den pH-Wert und die erforderlichen Kalkmengen zum Erreichen bzw. zur Erhaltung dieser Optimalwerte auf verschiedenen Standorten ermittelt worden. Aus diesen Daten wurden Regressionsfunktionen geschätzt, die eine Berechnung des Kalkbedarfs in Abhängigkeit vom pH-Wert ermöglichen. In Abb. 2 sind diese Funktionen grafisch dargestellt. Das Diagramm erlaubt, den Kalkbedarf in Abhängigkeit von der Bodengruppe direkt aus dem pH-Wert abzulesen. So würde sich z.B. bei einem pH-Wert von 5,9 bei der Bodengruppe 4 ein Kalkbedarf von ca. 25 dt/ha Ca ergeben. Alternativ zu dieser grafischen Lösung können auch die Angaben in Tab. 18 verwendet werden.

**HINWEIS:** Im Jahr 2000 nahm der VDLUFA eine Neufassung der Kalkbedarfsermittlung vor (siehe VDLUFA-Standpunkt). Seitdem gilt die pH-Klasse C als "anzustreben / optimal". Das erforderte eine grundlegende Überarbeitung der Kalkbedarfstabellen. Die Tabellen 18 und 20 entsprechen deshalb nicht mehr dem aktuellen Stand. Jedoch sind die Ergebnisse der Kalkbedarfsermittlung nach altem und neuem Verfahren hinsichtlich der empfohlenen Kalkmengen vergleichbar.

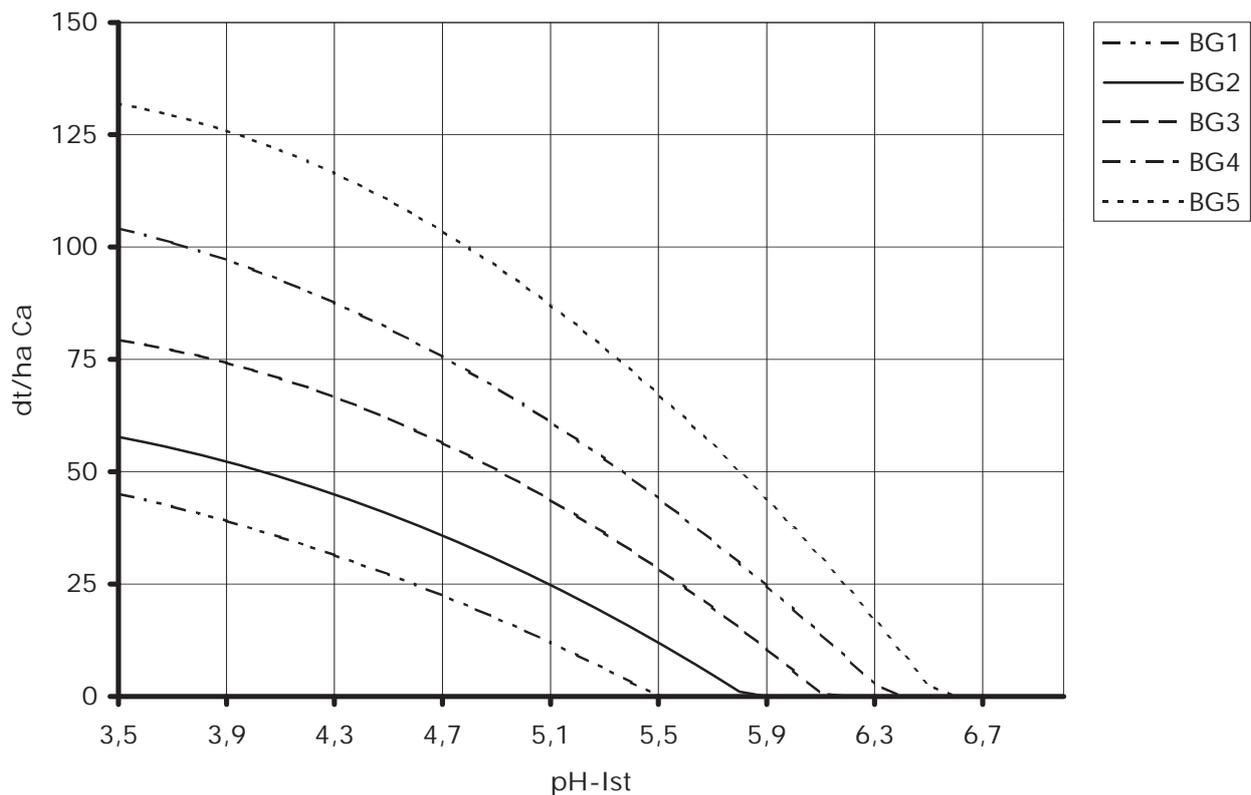


Abb. 2: Kalkbedarf in Abhängigkeit vom pH-Wert des Bodens (Humusgehalt  $\leq 4,0\%$ ), aufgliedert nach Bodengruppen

Tab. 18: Zu verabreichende Kalkmengen zum Erreichen eines optimalen pH-Wertes auf Ackerland (Angaben in dt Ca/ha)

Boden- gruppe	Humusgehalt in %	pH-Stufe			
		A	B	C	D
1	*	35	25	15	8
2	*	50	35	25	12
3	*	85	65	45	20
4	< 4	85	65	45	20
	4 - 8	75	55	40	20
	8,1- 15	70	50	35	20
5	< 4	115	85	60	30
	4 - 8	85	65	50	25
	8,1- 15	75	55	40	20
6	> 15	20	15	10	5

\* unabhängig vom Humusgehalt

Bei der Bemessung der Kalkdüngergaben sind die Empfehlungen zu den Höchstmengen in Tab. 19 zu beachten. Überschreitet die erforderliche

**HINWEIS:** Im Jahr 2000 nahm der VDLUFA eine Neufassung der Kalkbedarfsermittlung vor (siehe VDLUFA-Standpunkt). Seitdem gilt die pH-Klasse C als "anzustreben / optimal". Das erforderte eine grundlegende Überarbeitung der Kalkbedarfstabellen. Die Tabellen 18 und 20 entsprechen deshalb nicht mehr dem aktuellen Stand. Jedoch sind die Ergebnisse der Kalkbedarfsermittlung nach altem und neuem Verfahren hinsichtlich der empfohlenen Kalkmengen vergleichbar.

Kalkdüngermenge die empfohlene Höchstmenge, ist die Gesamtmenge in zwei Gaben innerhalb des vierjährigen Düngungsturnus aufzuteilen. Durch diese Gabenteilung sollen nachteilige Wirkungen durch ein zu schnelles Ansteigen des pH-Wertes vermieden werden.

Tab. 19: Höchstmengen, die bei einmaliger Kalkausbringung einzusetzen sind (dt Ca/ha)

Bodengruppe	Ackerland	Grünland
1	20	15
2	30	15
3	40	20
4	50	25
5	60	30
6	20	20

Auf Böden, die sich im optimalen pH-Bereich (pH-Stufe E) befinden, sollte zur Sicherung des erreichten Standes eine Erhaltungskalkung erfolgen. Diese Maßnahme ist vornehmlich bei pH-Werten im Grenzbereich zur pH-Stufe D von Bedeutung. Empfehlungen zur Erhaltungskalkung sind der Tab. 20 zu entnehmen.

Tab. 20: Erforderliche Kalkmengen für die Erhaltungskalkung

Boden- gruppe	pH-Bereich für die Erhaltungskalkung			Kalkdüngermenge für die Erhaltungskalkung (dt Ca/ha)
	Humusgehalt (%)			
	≤ 4,0 %	4,1 - 8,0 %	8,1 - 15,0 %	
1	5,5 - 5,7	5,1 - 5,3	4,8 - 5,0	6
2	5,8 - 6,0	5,4 - 5,6	5,0 - 5,2	8
3	6,1 - 6,3	5,6 - 5,8	5,2 - 5,4	10
4	6,3 - 6,5	5,8 - 6,0	5,4 - 5,6	12
5	6,4 - 6,6	5,9 - 6,1	5,5 - 5,7	14
6	4,3 - 4,5 (Humusgehalt > 15,0 %)			5

Die Kalkmengen beziehen sich auf eine Bodenschicht von 0-20 cm Tiefe. Bei deutlich größerer Krümen- bzw. Bearbeitungstiefe kann die aufzubringende Kalkmenge entsprechend angepaßt werden. Die Höchstmengen der Tab. 19 sollten dennoch nicht überschritten werden.

Zur Ermittlung des schlagbezogenen Kalkbedarfs und dem daraus resultierenden Düngerbedarf ist in gleicher Weise, wie für P und K beschrieben (Abschnitt 3.2.1), zunächst der Kalkbedarf je ha mit der Schlagfläche zu multiplizieren. Diese Calciummenge ist entsprechend der Düngerform je nach basisch

**HINWEIS:** Im Jahr 2000 nahm der VDLUFA eine Neufassung der Kalkbedarfsermittlung vor (siehe VDLUFA-Standpunkt). Seitdem gilt die pH-Klasse C als "anzustreben / optimal". Das erforderte eine grundlegende Überarbeitung der Kalkbedarfstabellen. Die Tabellen 18 und 20 entsprechen deshalb nicht mehr dem aktuellen Stand. Jedoch sind die Ergebnisse der Kalkbedarfsermittlung nach altem und neuem Verfahren hinsichtlich der empfohlenen Kalkmengen vergleichbar.

wirksamer Form entweder in CaO oder CaCO<sub>3</sub> (bei kohlensauen Kalken) umzurechnen. Über den Gehalt an CaO bzw. CaCO<sub>3</sub> im Kalkdünger kann dann die erforderliche Produktmenge kalkuliert werden.

Neben der Kalkung aus Sicht eines optimalen, standortbezogenen pH-Wertes, sollten auch die unterschiedlichen Ansprüche der einzelnen Fruchtarten hinsichtlich des pH-Wertes Beachtung finden. So weisen Zucker- und Futterrüben, Winterraps, Winter- und Sommergerste, Luzerne, Rotklee und Ackerbohnen eine besondere Kalkbedürftigkeit auf, während z.B. Gelbe Lupine, aber auch Kartoffeln auf eine frische Kalkung oft empfindlich reagieren. Diesem Aspekt sollte durch eine entsprechende Einordnung von Kalkungsmaßnahmen in die Fruchtfolge Rechnung getragen werden.

### 3.2.3 Magnesium

Im Vergleich zu anderen Nährstoffen stellt sich in Sachsen-Anhalt die Versorgung der Böden mit Magnesium am schlechtesten dar. Zwischen Nährstoff- und Kalkgehalt des Bodens sowie der Mg-Ernährung der Kulturpflanzen besteht ein enger Zusammenhang. Dabei begünstigen folgende Umstände das Auftreten von Magnesiummangel:

- versauerte Mg-arme (Sand)Böden mit pH < 5,0 (Aluminium-Magnesium-Konkurrenz)
- Böden über pH 7,0 (Calcium-Magnesium-Konkurrenz)
- Aufkalkungsmaßnahmen mit Mg-armen Kalken (Carbokalk)
- Böden aller Bodenarten mit überhöhten K-Gehalten (Kalium-Magnesium-Konkurrenz)
- ammoniumbetonte Düngung (Gülle, AHL, Harnstoff)
- hoher Anteil von Zuckerrüben, Kartoffeln, Raps und Mais in der Fruchtfolge; hohes Ertragsniveau (hoher Entzug)
- intensive Grünlandnutzung.

Da Magnesiumverbindungen eine wichtige Rolle im Basenhaushalt des Bodens spielen, unterliegen sie somit auch der unter unseren Bedingungen typischen Tendenz zur Basenverarmung. Diese Verluste sind neben dem Pflanzenentzug bei der Ermittlung des Mg-Bedarfs von besonderer Bedeutung.

Es besteht grundsätzlich die Möglichkeit, den Mg-Bedarf nach dem gleichen Prinzip zu ermitteln, wie für P und K im Abschnitt 3.2.1 beschrieben. In diesem Fall wäre also zunächst der zu erwartende Entzug durch die Pflanze zu errechnen und dann zum Erreichen der Gehaltsklasse C ein entsprechender Zuschlag (Bilanzwert) zu addieren. Dafür sind die Bilanzwerte in der letzten Spalte von Tab. 21 zu verwenden, wobei in den Gehaltsklassen D und E die Empfehlung „keine Düngung“ lautet.

Tab. 21: Bilanzwerte für die Magnesiumdüngung (jährlicher Bedarf in kg Mg/ha)

Boden- gruppe	Gehalts- klasse	Bilanzwert für vereinfachtes Verfahren	Bilanzwert für Berechnung nach Abschnitt 3.2.1 <sup>*)</sup>
1	A	48	40
1	B	30	25
1	C	18	10
2	A	48	40
2	B	30	25
2	C	18	10
3	A	42	30
3	B	27	15
3	C	15	0
4	A	42	30
4	B	27	15
4	C	15	0
5	A	36	30
5	B	24	15
5	C	12	0
6	A	48	40
6	B	30	25
6	C	18	10

<sup>\*)</sup> in Gehaltsklasse C und D keine Düngung empfohlen

Da aber der Mg-Bedarf häufig über den Einsatz Mg-haltiger Düngekalke gedeckt wird und in diesem Fall keine gezielte Mengenbemessung für Magnesium erfolgt, kann ein vereinfachtes Verfahren zur Anwendung kommen. Dabei werden die durchschnittlichen Mg-Verluste durch Auswaschung sowie der mittlere jährliche Pflanzenentzug in festen Bilanzwerten zusammengefaßt. Im einzelnen wird wie folgt vorgegangen:

- Einstufung der Untersuchungsergebnisse aus der Bodenuntersuchung in die Gehaltsklassen

Liegt der Bodengehalt in den Gehaltsklassen D oder E, ist keine Mg-Düngung erforderlich. Bei Gehaltsklassen A bis C wird nach folgenden Schritten weiterverfahren:

- Auswahl des Mg-Bilanzwertes in kg Mg/ha aus Tab. 21, 3. Spalte, entsprechend der Bodenart und der Mg-Gehaltsklasse aus der Bodenuntersuchung
- Mg-Bedarf für vierjährigen Untersuchungssturnus = Bilanzwert (kg/ha) • 4

- Magnesiumbedarf des Schlages = Nährstoffbedarf (kg/ha) • Schlagfläche (ha)
- Umrechnung Elementwert in Oxidwert: MgO kg/ha = Mg kg/ha • 1,66
- Düngermenge für den Schlag (kg) =  $\frac{\text{Nährstoffbedarf des Schlages (kg)} \cdot 100}{\text{Nährstoffgehalt des Düngers (\%)}}$

#### Berechnungsbeispiel:

Bodenart:	anlehmiger Sand (Bodengruppe 2)
Mg-Gehalt:	2,0 mg Mg/100 g Boden = GK A
Mg-Bilanzwert:	48 kg Mg/ha und Jahr
Düngebedarf für 4 Jahre:	48 kg Mg/ha • 4 = <u>192 kg Mg/ha</u>

### 3.3 Schwefel

Die Wirkung der Schwefeldüngung hängt stark vom Standort und der Jahreswitterung ab. Aber auch die Ansprüche der einzelnen Fruchtarten sind unterschiedlich. Raps ist die Kulturpflanze mit dem höchsten Schwefelbedarf. Kreuziferen haben prinzipiell einen hohen S-Düngebedarf infolge ihres Senfölgelhalts. Auch Sonnenblumen und Buschbohnen haben hohe Ansprüche an die S-Versorgung. Mittleren S-Bedarf weisen Wintergerste, Hafer, Sommergerste, Winterweizen, Winterroggen, Triticale, Weidelgras, Futter- und Zuckerrüben auf. Geringe Bedürfnisse zeigen Luzerne, Rotklee, Mais, Kartoffeln und Salat.

Etwa 90 % des S-Bodenvorrats liegen in organisch gebundener Form (Humus) vor. Der Schwefel muß, wie der organische Stickstoff, erst durch Mineralisation in die pflanzenverfügbare Form, das Sulfat, umgewandelt werden. Der größte Teil des Schwefels wird als Sulfat-Ion über die Wurzel aufgenommen. Dieses ist ähnlich dem Nitrat-Ion im Boden leicht beweglich und dadurch auswaschungsgefährdet. Deshalb sollte von einer S-Vorratsdüngung abgesehen werden. Günstig ist es, Schwefel und Stickstoff gemeinsam im Frühjahr zu düngen, da in dieser Jahreszeit beide Nährstoffe in erheblicher Menge durch die Pflanzen aufgenommen werden. Die S-Aufnahme im Herbst wird meist durch Nachlieferung aus dem Boden abgedeckt.

Die Grundlagen für die Ermittlung des S-Düngebedarfs sind derzeit noch recht lückenhaft. Das hängt ganz wesentlich damit zusammen, daß sich das Erfordernis von S-Düngungsmaßnahmen erst in jüngerer Vergangenheit entwickelt hat und deshalb aus der Vergangenheit vergleichsweise wenige Versuchsergebnisse vorliegen, die zur Ableitung von Kenngrößen für die Bedarfsermittlung dienen können.

Für Raps wurde eine Bedarfsprognose entwickelt, die auf der Smin-Untersuchung des Bodens im Frühjahr beruht (vgl. Abschnitt 2.2.5). Auf der Grundlage von Versuchsergebnissen wurde ein Sollwert von 60 kg Smin/ha definiert. Unterschreitet der Smin-Gehalt des Bodens diesen Wert, sollte die fehlende S-Menge über Düngungsmaßnahmen zugeführt werden. In den Versuchen erbrachte eine S-Düngung in solchen Fällen häufig einen Mehrertrag.

Eine Pflanzenanalyse zum Knospenstadium ermöglicht eine Bewertung des Ernährungszustandes von Winterraps. Dabei ist eine Einstufung nach Tab. 22 üblich.

Tab. 22: Richtwerte für die Einstufung des Schwefelgehalts von Rapsblättern (Blätter vom oberen Sproßdrittel, Knospenstadium)

Bewertung	% S in der TS
sehr niedrig (Mangel)	< 0,36
niedrig (latenter Mangel)	0,36 bis 0,55
ausreichend	0,56 bis 0,65
hoch	> 0,65

Die Pflanzenuntersuchung liefert zwar einen guten Orientierungswert zur Nährstoffaufnahme, aber für die Quantifizierung des Düngedarfs anhand dieser Information sind die derzeitigen Kenntnisse nicht ausreichend. Zudem ist der Zeitpunkt der Pflanzenanalyse für wirkungsvolle Düngungsmaßnahmen häufig zu spät. Insbesondere im Fall eines hohen Düngedarfs sind die Pflanzen kaum noch in der Lage, den zugeführten S vollständig aufzunehmen. Eine schnelle Aufnahme ist bei einer Blattdüngung mit einer Bittersalzlösung gegeben. Allerdings können auf diese Weise nur relativ geringe S-Mengen zugeführt werden.

Eine Alternative zur Untersuchung des Bodens stellt die Abschätzung des Mangelrisikos anhand von Standortfaktoren dar. Dabei ist vor allem dann mit Mangel zu rechnen, wenn mehrere der folgenden Bedingungen zusammenreffen:

- Standorteigenschaften:
  - leichter, durchlässiger Boden
  - flachgründiger Boden
  - Strukturschäden
- Witterung:
  - Winterniederschläge über langjährigem Mittel
- Bewirtschaftung:
  - hoher Anteil von Fruchtarten mit hoher S-Abfuhr
  - hohe Erträge
  - S-Mangel früher bereits aufgetreten

- Düngung:
  - kein Einsatz organischer Dünger
  - keine wesentliche Zufuhr von S über Mineraldüngung.

Zeichnet sich auf Grundlage dieser Bewertung bei einer Fläche die Gefahr eines S-Mangels ab und wird auf dieser Fläche eine Fruchtart mit höherem S-Bedarf (s.o.) angebaut, so ist eine S-Düngung in Erwägung zu ziehen. Für die meisten Kulturen sollte eine Gabe von 20-30 kg S/ha ausreichen. Selbst für Raps sind nach derzeitiger Kenntnis Gaben von mehr als 40 kg S/ha nicht erforderlich. Angaben zum Schwefelgehalt ausgewählter Düngemittel können dem Anhang, Tab. A 3, entnommen werden.

### 3.4 Mikronährstoffe

Sollen Düngemittel eingesetzt werden, die nur Spurennährstoffe enthalten, ist laut Düngeverordnung der Bedarf auf der Grundlage von Boden- oder Pflanzenuntersuchungen oder von Richtwerten zu ermitteln. Auf die Möglichkeiten der Untersuchung der Nährstoffverhältnisse im Boden und in der Pflanze wurde bereits in den Abschnitten 2.2.6 und 2.3 eingegangen. Bei der Bewertung des Nährstoffgehalts im Boden ist zu beachten, daß für die Mikronährstoffe nur zwischen den Gehaltsklassen A, C und E differenziert wird (Richtwertbroschüre, Tab. 8). Es ist davon auszugehen, daß ein Düngebedarf in jedem Fall dann gegeben ist, wenn der Bodengehalt der Gehaltsklasse A zugeordnet wird. Aber auch in der Gehaltsklasse C sind insbesondere bei Fruchtarten mit mittleren bis hohen Nährstoffansprüchen Düngungseffekte zu erwarten. Erfolgt die Einschätzung der Nährstoffsituation auf der Grundlage einer Pflanzenanalyse, so deutet sich ein Düngebedarf an, wenn der Nährstoffgehalt den als „ausreichend“ definierten Bereich (Tab. A 2, Anhang) unterschreitet.

Bei der Entscheidung von Düngungsmaßnahmen ist bei den Mikronährstoffen neben der Berücksichtigung des Versorgungszustandes des Bodens grundsätzlich vom Bedarf der angebauten Fruchtart auszugehen, da die Fruchtarten einen sehr unterschiedlichen Bedarf an den einzelnen Spurenelementen aufweisen (Tab. 4, Seite 18).

Wesentlichen Einfluß auf die Verfügbarkeit der meisten Mikronährstoffe hat der pH-Wert. Häufig ist Mangan-, Zink- und Kupfer-, z.T. auch Bormangel auf eine schwach saure bis alkalische Bodenreaktion zurückzuführen. Lediglich die Verfügbarkeit von Molybdän steigt mit zunehmenden pH-Wert an. Vor allem die Entscheidung darüber, ob eine Boden- oder Blattdüngung erfolgen soll, muß sich auch am pH-Wert des Bodens orientieren. Eine ungünstige Bodenreaktion kann die völlige Wirkungslosigkeit einer Bodendüngung zur Folge haben. In solchen Fällen ist eine Blattapplikation vorzuziehen.

Zum Beispiel enthalten die meisten Böden ausreichende Mengen an Mangan, so daß Mangelercheinungen praktisch immer auf eine eingeschränkte Verfügbarkeit hinweisen. Deshalb sollte Mangan nur als Blattdünger ausgebracht werden. Speziell bei Bor kann die Verfügbarkeit ebenfalls durch Trockenheit eingeschränkt sein. Auch in diesem Fall ist die Blattdüngung die Methode der Wahl.

Ist ein zu hoher pH-Wert als eigentliche Ursache für Mikronährstoffmangel erkannt worden, sind neben der Düngung des fehlenden Nährstoffs auch alle Maßnahmen förderlich, die der Einstellung einer günstigeren Bodenreaktion dienen (z.B. Verwendung versauernd wirkender Mineraldünger).

Wird eine Düngebedürftigkeit festgestellt, bieten Tab. 23 bis Tab. 30 eine Grundlage für die Festlegung der Düngermenge und des Applikationstermins bei der Blattdüngung. Die angegebenen Entwicklungsstadien sollten eingehalten werden, damit die Nährstoffe den Pflanzen entsprechend ihrem Bedarfszeitraum zur Verfügung stehen.

Tab. 23: Empfehlungen zur Düngung von Mikronährstoffen

Bedarf liegt vor bei: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Einstufung des Bodengehalts in die Gehaltsklassen A und C</li> <li>• Einstufung des Pflanzengehalts als niedrig</li> <li>• Fruchtarten mit hohem und mittlerem Bedarf (Tab. 4, S.18)</li> </ul>		
Nährstoff	Bodendüngung	Blattdüngung
Bor	1 bis 2 kg/ha (Tab. 24)	0,4 kg/ha zu den in Tab. 25 aufgeführten Entwicklungsstadien
Kupfer	2 bis 5 kg/ha (Tab. 26)	0,5 kg/ha zu den in Tab. 27 aufgeführten Entwicklungsstadien
Mangan	Bodendüngung wird nicht empfohlen	1 kg/ha zu den in Tab. 28 aufgeführten Entwicklungsstadien
Molybdän	0,5 kg/ha	0,3 kg/ha zu den in Tab. 29 aufgeführten Entwicklungsstadien
Zink	5 kg/ha	0,5 kg/ha zu den in Tab. 30 aufgeführten Entwicklungsstadien

Tab. 24: Empfehlungen zur Bodendüngung mit Bor

Boden- gruppe	Gehalts- klasse	Anspruch der Fruchtart an die Borversorgung		
		hoch	mittel	niedrig
		Bordüngung kg/ha		
1 und 2	A	2	1	0
	C	1	1	0
3 und 4	A	2	2	0
	C	2	1	0
5	A	2	2	0
	C	2	1	0

Tab. 25: Empfehlungen zur Blattdüngung mit Bor

Fruchtart	Entwicklungsstadium	
	optimal	maximal
Rüben	6.-8. Blatt	Ende August
Raps, Rübsen	Knospenstadium	Blühbeginn
Kartoffeln	vor der Blüte	Ende Blüte
Mais	Bestand 40- 60 cm	Fahnschieben
Klee, Luzerne	Bestand 10- 20 cm	Knospenstadium

Tab. 26: Empfehlungen zur Bodendüngung mit Kupfer

Boden- gruppe	Gehalts- klasse	Anspruch der Fruchtart an die Kupferversorgung		
		hoch	mittel	niedrig
		Kupferdüngung kg/ha		
1 und 2	A	3	2	0
	C	3	0	0
3 und 4	A	5	3	0
	C	5	0	0
5	A	5	3	0
	C	5	0	0

Tab. 27: Empfehlungen zur Blattdüngung mit Kupfer

Fruchtart	Entwicklungsstadium	
	optimal	maximal
Weizen, Gerste, Hafer	Schoßbeginn bis 1-Knoten-Stadium	Erscheinen des letzten Blattes
Mais	Bestand 40- 60 cm	Fahnschieben
Rüben	6.-8. Blatt	Ende August

Tab. 28: Empfehlungen zur Blattdüngung mit Mangan

Fruchtart	Entwicklungsstadium	
	optimal	maximal
Weizen, Gerste, Hafer, Roggen	Schoßbeginn bis Erscheinen des letzten Blattes	Blattscheide des Fahnenblattes angeschwollen
Mais	Bestand 40- 60 cm	Fahnschieben
Rüben	6.- 8. Blatt	Ende August
Raps, Rübsen	Knospenstadium	Blühbeginn
Klee, Luzerne	Bestand 10- 20 cm	Knospenstadium
Gräser	Bestand 10- 20 cm	vor der Blüte

Tab. 29: Empfehlungen zur Blattdüngung mit Molybdän

Fruchtart	Entwicklungsstadium	
	optimal	maximal
Rüben	6.- 8. Blatt	Ende August
Raps, Rübsen	Knospenstadium	Blühbeginn
Klee, Luzerne	Bestand 10 - 20 cm	Knospenstadium
Blumenkohl	4.- 6. Blatt	Beginn Blume

Tab. 30: Empfehlungen zur Blattdüngung mit Zink

Fruchtart	Entwicklungsstadium	
	optimal	maximal
Mais	Bestand 40-60 cm	Fahnschieben
Rüben	6 -8- Blatt	Ende August
Klee, Luzerne	Bestand 10- 20 cm	Knospenstadium
Kartoffeln	vor der Blüte	Ende Blüte

## Anhang

Tab. A 1: Ausreichende Makronährstoffgehalte ausgewählter Kulturpflanzen  
(nach BERGMANN, 1993)

Fruchtart	Makronährstoffgehalt (% i.d.TM)				
	N	P	K	Ca	Mg
Winterweizen					
Beginn Schossen	3,00-5,00	0,30-0,60	3,50-5,50	0,40-1,00	0,12-0,25
Mitte Schossen	2,30-3,80	0,25-0,50	3,30-4,50	0,35-1,00	0,10-0,23
Sommerweizen					
Beginn Schossen	4,00-5,50	0,35-0,60	3,30-4,50	0,40-1,00	0,20-0,30
Mitte Schossen	3,00-4,50	0,30-0,50	2,90-3,80	0,35-1,00	0,15-0,25
Wintergerste					
Beginn Schossen	2,50-5,00	0,30-0,60	3,50-5,00	0,30-1,00	0,15-0,30
Mitte Schossen	2,00-4,00	0,28-0,50	3,20-4,50	0,25-1,00	0,12-0,30
Sommergerste					
Beginn Schossen	2,80-5,00	0,25-0,60	3,00-5,50	0,50-1,00	0,15-0,30
Mitte Schossen	2,00-4,00	0,30-0,50	2,50-4,50	0,45-1,00	0,12-0,30
Winterroggen					
Beginn Schossen	2,50-5,00	0,30-0,60	2,80-4,50	0,35-1,00	0,15-0,30
Mitte Schossen	2,00-4,00	0,25-0,50	2,70-4,00	0,30-1,00	0,12-0,30
Hafer					
Beginn Schossen	3,00-5,00	0,35-0,60	4,50-5,80	0,50-1,00	0,20-0,30
Mitte Schossen	2,20-3,50	0,28-0,50	3,80-5,00	0,40-1,00	0,15-0,25
Mais					
40 cm Höhe	3,50-5,00	0,35-0,60	3,00-4,50	0,30-1,00	0,25-0,50
Kolbenbl. zur Blüte	2,80-3,50	0,25-0,50	2,00-3,50	0,25-1,00	0,20-0,50
Winterraps					
ger. vollent. Blätter	4,00-5,50	0,35-0,70	2,80-5,00	1,00-2,00	0,25-0,40
Zuckerrüben					
mittl. Blätter	4,00-6,00	0,35-0,60	3,50-6,00	0,70-2,00	0,30-0,70
Futterrüben					
mittl. Blätter	4,00-5,50	0,30-0,60	3,80-7,00	0,60-1,50	0,25-0,80
Kartoffeln					
ger. vollentw. Blätter	5,00-6,50	0,40-0,60	5,00-6,60	0,60-2,00	0,25-0,80
Luzerne					
Blühbeginn	3,50-5,00	0,30-0,60	2,50-3,80	1,00-2,50	0,30-0,80
Rotklee					
Blühbeginn	2,50-4,00	0,30-0,60	1,80-3,00	1,00-2,00	0,25-0,60
Wiesen- u. Weidegräser					
Blühbeg., 1. Aufw.	2,60-4,00	0,35-0,60	2,00-3,00	0,60-1,20	0,20-0,60

Tab. A 2: Ausreichende Mikronährstoffgehalte ausgewählter Kulturpflanzen  
(nach BERGMANN, 1993)

Fruchtart	Mikronährstoffgehalt (mg/kg)				
	B	Mo	Cu	Mn	Zn
Winterweizen					
Beginn Schossen	6-12	0,10-0,30	7-15	35-100	25-70
Mitte Schossen	5-10	0,10-0,30	5-10	30-100	20-70
Sommerweizen					
Beginn Schossen	6-12	0,10-0,30	7-15	35-100	25-70
Mitte Schossen	5-10	0,10-0,30	5-10	30-100	20-70
Wintergerste					
Beginn Schossen	6-12	0,10-0,30	6-12	30-100	20-60
Mitte Schossen	5-10	0,10-0,20	5-10	25-100	15-60
Sommergerste					
Beginn Schossen	6-12	0,10-0,30	6-12	30-100	20-60
Mitte Schossen	5-10	0,10-0,30	5-10	25-100	15-60
Winterroggen					
Beginn Schossen	5-10	0,10-0,30	6-12	25-100	20-60
Mitte Schossen	4-10	0,10-0,30	5-10	20-100	15-60
Hafer					
Beginn Schossen	6-12	0,20-0,40	6-12	40-100	25-70
Mitte Schossen	5-10	0,15-0,40	5-10	35-100	20-70
Mais					
40 cm Höhe	7-15	0,20-0,50	7-15	40-100	30-70
Kolbenbl. zur Blüte	6-15	0,15-0,50	6-12	35-100	25-70
Winterraps					
ger.vollent. Blätter	30-60	0,40-1,00	5-12	30-150	25-70
Zuckerrüben					
mittlere Blätter	35/40-100	0,25-1,00	7-15	35-100	20-80
Futterrüben					
mittlere Blätter	35-100	0,20-1,00	6-15	35-100	20-80
Kartoffeln					
ger. vollentw. Blätter	25-70	0,20-0,50	7-15	40-100	20-80
Luzerne					
Blühbeginn	35-80	0,50-2,00	6-15	30-100	25-70
Rotklee					
Blühbeginn	25-60	0,30-1,50	7-15	35-100	25-70
Wiesen- und Weidegräser					
Blühbeg., 1. Aufw.	6-12	0,15-0,50	5-12	35-100	20-70

Tab. A 3: Ausgewählte Mineraldünger und ihr handelsüblicher Gehalt an Makro-  
nährstoffen (Angaben in %)

Düngemittel	Nährstoffgehalt in %						Kalkwert des Düngers (kg CaO/dt)
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	S	CaO	
<b>Stickstoffdünger</b>							
Ammonnitrat- Harnstoff-Lösung (AHL)	28						-28
Alzon flüssig	28						-28
Alzon 25/ Basammon 25 stabil	25				16		-51
Ammonnitrat- Harnstoff-Schwefel	28				5		-30
(Mono-) Ammon- phosphat (MAP)	12	52					-37
Ammonsulfat- salpeter (ASS)	26				14		-51
Diammonphosphat (DAP)	18	46					-38
Harnstoff	46						-46
Kalkammon- salpeter (KAS)	27					12-18	-13
Kalksalpeter	15,5					21	+ 5
Perlkalkstickstoff	19,8					55	+35
Schwefelharnstoff	40				5		-51
Schwefelsaures Ammoniak	21				24		-63
Stickstoffmagnesia	22			7			-25
<b>Phosphordünger</b>							
(Mono-) Ammon- phosphat (MAP)	12	52					- 37
Diammonphosphat (DAP)	18	46					-38
Carolon-Phosphat		26				20	+22
Cederan-P		23			8	11	+11
Hyperphosphat gekörnt		26				29	+31
Hyperphos- Magnesia		21		7			+26
Novaphos		23				11	+13
Superphosphat		18			12	27	- 1
Thomasphosphat		15		2		43	+45
Triplephosphat		46				17	- 3

Düngemittel	Nährstoffgehalt in %						Kalkwert des Düngers (kg CaO/dt)
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	S	CaO	
<b>Kaliumdünger</b>							
Kalimagnesia (Patentkali)			30	10	18		0
Kaliumchlorid			60				0
Kaliumsulfat			50		18		0
Kornkali/ Kamex			40	6	4		0
60er Kali, grob			60				0
50er Kali, grob			50				0
Korn-Kali, 40 er Kali grob			40	6	4		0
Magnesia-Kainit			11	5	4		0
<b>Magnesiumdünger</b>							
Hyperphos- Magnesia		21		7	3		+26
Bittersalz				16	13		0
Kieserit				25	21		0
Magnesium- mischkalk				15		45	+76
Magnesia-Kainit, grob			12	6	4		0
<b>Kalkdünger</b>							
Branntkalk 90						90	+90
Carbokalk						26	+26
Hüttenkalk, gekörnt				10		42	+56
Hüttenkalk, gemahlen				7		40	+50
Kohlensaurer Kalk 90							+50
Kohlensaurer Magnesium-Kalke				5-14		45-50	
Konvertkalk				2			+45
Löschkalk						70	+70
Mischkalk						60	+60
Mg-Branntkalk gek. 85				15		70	+91
Magnesium- mischkalk				15		45	+76
Thomaskalk 8		8		2		43	+43
Thomaskalk 4		4		2		43	+42

Düngemittel	Nährstoffgehalt in %						Kalkwert des Düngers (kg CaO/dt)
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	S	CaO	
Mehrnährstoffdünger							
NPK 6+12+18	6	12	18		7		- 2
NPK 8+8+8	8	8	8				- 8
NPK 10+15+20	10	15	20				- 9
NPK 12+12+17+2	12	12	17	2	8		-12
NPK 12+8+17+2	12	8	17	2			- 9
NPK 13+13+21	13	13	21		2		-13
Nitrophoska 13+9+16+4	13	9	16	4	8		- 7
Nitrophoska 14+10+20	14	10	20		4		- 9
NPK 15+10+20	15	10	20				-15
NPK 15+9+15+2	15	9	15	2			-14
NPK 15+15+15	15	15	15				-14
NPK 15+5+20+2	15	5	20	2			-13
NPK 16+9+14+3	16	9	14	3			-15
NPK 16+16+16	16	16	16				-16
NPK 20+5+8+2	20	5	8	2			-19
NPK 20+6+11	20	6	11				-16
NPK 20+8+11+2	20	8	11	2			-18
Nitrophoska 14+10+20	14	10	20		4		- 9
Nitrophoska 21+8+11	21	8	11				-18
Nitrophoska 24+8+8	24	8	8				-23
Hydro ComplexD	12	11	18	2	8		-15
Carolon-Kali 14+24		14	24			11	+11
Carolon-Phosphat		26				20	+22
Cederan-PK		12	24		6	7	+7
Cederan-PK		15	20		6	7	+7
Hyperphosphat gekörnt		26				29	+31
Hyperphos-Kali		20	20				+23
Hyperphos- Magnesia		21		7			+26
Novaphos		23				11	+13
PK-Dünger 12+24		12	24		5		+ 4
PK-Dünger 15+20		15	20		6		+ 5
PK-Dünger 16+12		16	12		6		+ 5
PK-Dünger 16+16		16	16		6		+ 5

Düngemittel	Nährstoffgehalt in %						Kalkwert des Düngers (kg CaO/dt)
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	S	CaO	
PK-Dünger 18+10		18	10		7		+ 6
PK-Dünger 12+19+4		12	19	4	5		+ 4
PK-Dünger 14+14+4		14	14	4	9		+ 5
Rhe-Ka-Phos 9+25		9	25		6		0
Rhe-Ka-Phos 14+24		14	24		6		0
Rhe-Ka-Phos 20+30		20	30		2		0
Rhe-Ka-Phos 12+16		12	16		8		0
Rhe-Ka-Phos 16+20		16	20		6		0
Rhe-Ka-Phos 10+21+4		10	21	4	6		0
Rhe-Ka-Phos 14+8+8		14	8	8	7		0
Rhe-Ka-Phos 15+15+4		15	15	4	6		0
Thomasphosphat- kali		10	15	3		30	+33
Thomaskali 10+20+3		10	20	3		23	+24
Thomaskali 12+18+3		12	18	3		23	+24
Thomaskalk 8		8		2		43	+43

In der Tabelle sind die Nährstoffgehalte außer für N und S in Oxidform angegeben. Bei der Berechnung der Düngermenge müssen die in Elementform ermittelten Bedarfsmengen dementsprechend umgerechnet werden (Umrechnungsfaktoren Element  $\Rightarrow$  Oxidform, siehe Richtwertbroschüre, Tab. 19).

Beispiel:

Düngebedarf: 40 kg/ha Phosphor (P) (bzw.  $40 \times 2,29 =$   
91,6 kg/ha Phosphat (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>))

Düngermenge: Triplephosphat mit 46% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:  
 $91,6 \text{ kg/ha P}_2\text{O}_5 \times 100 / 46 = 2 \text{ dt/ha Triplephosphat}$   
oder  
Superphosphat mit 18% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:  
 $91,6 \text{ kg/ha P}_2\text{O}_5 \times 100 / 18 = 5,1 \text{ dt/ha Superphosphat}$

Die Zuordnung der einzelnen Düngemittel zu den jeweiligen Gruppen erfolgte nach praktischen Erwägungen. Daraus ergeben sich auch Mehrfachnennungen.

In der letzten Spalte der Tabelle sind Angaben zum Kalkwert des Düngers auf Ackerland enthalten. Der Kalkwert eines Düngemittels errechnet sich aus der basischen bzw. acidischen Wirksamkeit der Elemente und stellt somit eine Orientierung für die „Kalkwirksamkeit“ des jeweiligen Düngemittels dar. Der tatsächliche Kalkhaushalt wird allerdings von vielen Faktoren, wie z.B. der Auswaschung von CaO, beeinflusst. Der Kalkwert ist also nur als theoretischer Wert zu betrachten, erleichtert aber die Auswahl des Düngemittels entsprechend dem pH-Wert des Bodens.

Bei der Auswahl des Düngemittels sollte der Landwirt die Beeinflussung der Bodenreaktion durch die Düngemittel in seiner Düngeplanung einkalkulieren. Eine preisliche Einsparung beim Einsatz von z.B. Schwefelsauren Ammoniak kann durch die versauernde Wirkung des Schwefelsauren Ammoniak zu einem erhöhten Aufwand bei der Kalkung auf diesen Flächen führen (42 kg N/ha als Schwefelsaures Ammoniak ausgebracht, haben bei einem Kalkwert von - 63 kg CaO/dt Ware einen Kalkverlust von 126 kg CaO/ha zur Folge).