

Grunddüngung effizient gestalten



DLG-Merkblatt 349

Grunddüngung effizient gestalten

Autorenteam:

- Dr. habil. Erhard Albert, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Leipzig
- Dr. Gerhard Baumgärtel, Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Hannover
- Dr. Andreas Gransee, K +S Kali GmbH, Kassel
- Dr. Hans-Heinrich Kowalewsky, Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Oldenburg
- Dr. Frank Lorenz, LUFA Nord-West, Oldenburg
- Dr. Gregor Pasda, BASF SE, Agrarzentrum Limburgerhof
- Dr. Martin Rex, Arbeitsgemeinschaft Hüttenkalk e.V., Duisburg
- Dr. Hans Ulrich von Wulffen, Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau Sachsen-Anhalt, Bernburg

Alle Abbildungen, soweit nicht anders angegeben: Dr. Frank Lorenz

Alle Informationen und Hinweise ohne jede Gewähr und Haftung

Herausgeber:

DLG e.V.
Fachzentrum Land- und Ernährungswirtschaft
Ausschuss für Pflanzenernährung (Vorsitzender: Lorenz von Schintling-Horny)
Eschborner Landstraße 122, 60489 Frankfurt/Main

1. Auflage, Stand 11/2008

© 2008

Vervielfältigung und Übertragung einzelner Textabschnitte, Zeichnungen oder Bilder – auch für den Zweck der Unterrichtsgestaltung – nur nach vorheriger Genehmigung durch DLG e.V., Servicebereich Information, Eschborner Landstraße 122, 60489 Frankfurt/Main

Inhalt

Vorwort	5
1. Wie haben sich die P- und K-Bilanzen in Deutschland entwickelt?	6
2. Was bedeuten P, K und Mg für die Pflanze?	9
3. Wie verhalten sich P, K und Mg im Boden?	16
3.1 Wesentliche Einflussfaktoren der Nährstoffverfügbarkeit	16
3.2 Phosphor (P)	18
3.2.1 Bodenkundliche Aspekte	18
3.2.2 Wo ist P-Mangel zu erwarten?	20
3.3 Kalium (K)	21
3.3.1 Bodenkundliche Aspekte	21
3.3.2 Wo ist K-Mangel zu erwarten?	23
3.4 Magnesium (Mg)	23
4. Ermittlung des P- und K-Düngebedarfs	24
5. Beschreibung der Düngemittel	30
5.1 Mineraldünger	30
5.2 Mehrnährstoffdünger	36
5.3 P, K und Mg aus organischen Düngern und Fleischknochenmehl	39
6. Ausbringtechnik für mineralische und organische Dünger	43
6.1 Anforderungen an die Ausbringtechnik	43
6.2 Vor- und Nachteile verschiedener Mineraldüngerstreuer	45
6.3 Gülleausbringtechniken im Vergleich	47
6.4 Weiterentwicklungen bei Miststreuern	49
6.5 Teilschlagspezifische Düngung	52

7. Wichtige Fragen zur Düngplanung	59
7.1 Düngesysteme: Fruchtfolge- oder jährliche Düngung?	59
7.2 Düngungstermin: Frühjahrs- oder Herbstdüngung?	60
7.3 Sehr niedrige Bodenversorgung: Aufdüngung, Erhaltungsdüngung oder gar keine Düngung?	66
7.4 Möglichkeiten zur Verbesserung der Nährstoffeffizienz	69
7.5 Möglichkeiten der Blattdüngung am Beispiel Magnesium	74
7.6 Besonderheiten der Grunddüngung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen	76
7.7 Welche Düngieberatungsprogramme gibt es?	77
8. Zusammenfassung	78
9. Literaturquellen und Ansprechpartner	81

Vorwort

Schneller als erwartet sind die Preise für Grundnährstoffe weltweit explodiert und haben sich binnen Jahresfrist mehr als verdoppelt und verdreifacht. Organische Dünger, soweit diese gehandelt werden, ziehen nach. Dies alles geschieht in einer Situation, in der auf viehhaltenden Betrieben nach wie vor hohe Bodenvorräte an Grundnährstoffen zur Verfügung stehen und die Nährstoffbilanzen für P und K häufig positiv sind, während sich Ackerbaubetriebe auf Grund negativer P- und K-Bilanzen und abnehmender Bodengehalte Gedanken machen müssen, wie sie günstig an Nährstoffe herankommen und unter welchen Bedingungen sich die Grunddüngung überhaupt noch lohnt.

Was bedeutet das für die praktische Düngung? Dieses Merkblatt hält viele Anregungen bereit. Der Bogen spannt sich von den Grundlagen der Pflanzenernährung über die Ermittlung des Düngebedarfs bis hin zu den verfügbaren Düngemitteln, von der Ausbringtechnik über Düngestrategien bis hin zu den ökonomisch so bedeutenden Fragen, welchen Düngeempfehlungen man folgen soll und wie man die Nährstoffe effizienter nutzen kann.

Der Leser wird auch feststellen, dass es keine Patentrezepte gibt. Zu unterschiedlich sind dafür Betriebsverhältnisse, Boden- und Klimabedingungen. Der Betriebsleiter oder sein Berater sind gefordert, den Wissenstransfer in den Einzelbetrieb zu leisten. Dafür stellt dieses Merkblatt einen Werkzeugkasten bereit. Dieser mag stellenweise noch nicht komplett erscheinen. Dies liegt zum einen daran, dass sich die Wirtschaftlichkeit der Grunddüngung durch die sich ständig ändernde Marktsituation sowohl bei Düngemitteln als auch bei den landwirtschaftlichen Erzeugnissen in einer bisher ungekannten Geschwindigkeit verändert. Zum anderen gibt es auf die dadurch ausgelösten Fragen zur Produktionstechnik nicht immer hinreichende Antworten. Einige Versuche wurden bereits angelegt, müssen für belastbare Ergebnisse aber noch mehrere Jahre laufen. Für andere Ideen fehlt es zurzeit noch an Mitteln finanzieller und personeller Art. Hier gilt es, die Aufwertung, die die Landwirtschaft aktuell erfährt, in Forschungs- und Fördergeldern umzusetzen.

Wir weisen darauf hin, dass wir der Übersichtlichkeit halber in dieser Broschüre die rechtlichen Regelungen zu Düngemitteln und zur Düngung nicht behandeln.

Unseren Lesern wünschen wir eine gute Hand für die richtigen Entscheidungen in dieser aufregenden Zeit!

Die Autoren

1. Wie haben sich die P- und K-Bilanzen in Deutschland entwickelt?

Nach dem 2. Weltkrieg waren viele Böden in Deutschland mit Phosphor und Kalium unterversorgt. Mit der in den 50er Jahren beginnenden zunehmenden Mineraldüngung und dem Aufstocken der Tierbestände stieg die Zufuhr an P und K erheblich an. Diese Entwicklung hielt bis Ende der 80er Jahre an (Abbildung 1.1). Dabei übertraf die Nährstoffzufuhr die entsprechende Abfuhr beträchtlich.

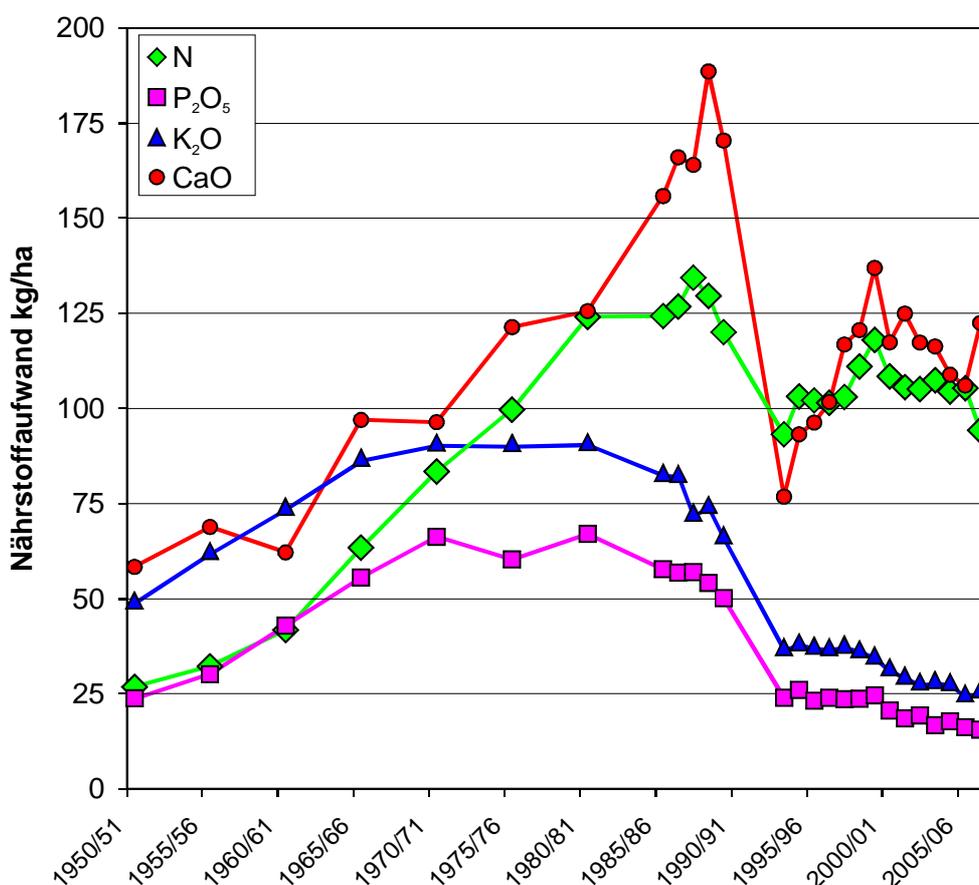


Abbildung 1.1: Nährstoffaufwand aus Mineraldüngern in kg je ha landwirtschaftlich genutzter Fläche (einschließlich Brache); Quelle: Statistisches Bundesamt

Die Bilanzüberschüsse ließen die verfügbaren Bodengehalte deutlich ansteigen. Die Verbesserung der Nährstoffversorgung war aus acker- und pflanzenbaulicher sowie ökonomischer Sicht überall dort richtig, wo die Gehalte bis in den optimalen, anzustrebenden Bereich angehoben wurden.

Nach 1990 erfolgte vor allem in Ostdeutschland ein starker Einbruch bei der PK-Zufuhr mit Mineraldüngern. Hinzu kommt der drastische Einbruch der Tierbestände nach 1990, wodurch der Nährstoffrückfluss aus Wirtschaftsdüngern annähernd halbiert

wurde. Dort herrschen seit Beginn der 90er Jahre durchweg negative Bilanzsalden vor. Die Folgen einer reduzierten Nährstoffzufuhr an Phosphor und Kalium schlagen sich inzwischen messbar in den pflanzenverfügbaren Gehalten der Böden der ostdeutschen Bundesländer nieder, wie Abbildung 1.2 am Beispiel des Phosphors in Sachsen zeigt.

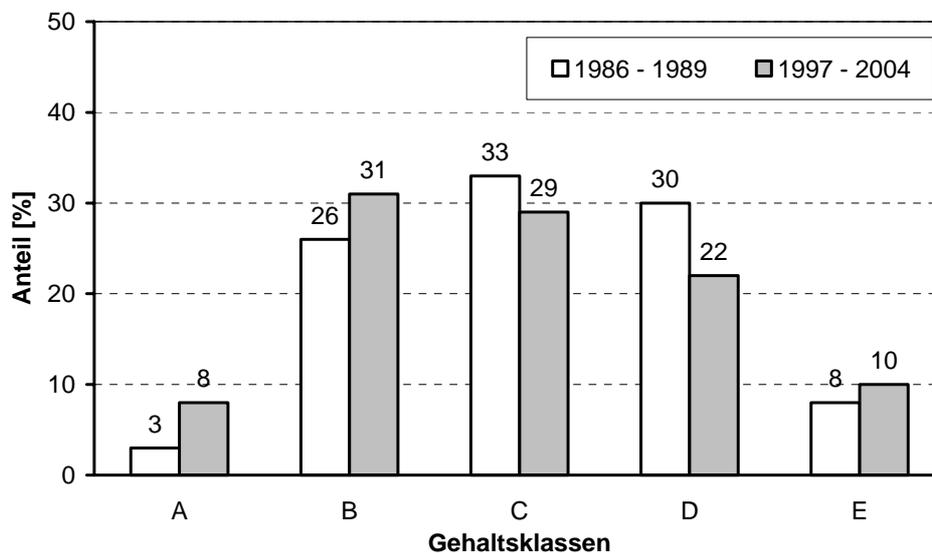


Abbildung 1.2: Entwicklung der Phosphorversorgung in Sachsen;
Quelle: Albert, unveröffentlicht

In Westdeutschland waren die Bedingungen in den Ackerbau- und Viehhaltungsregionen gegenläufig, was zu einer regionalräumlich starken Differenzierung geführt hat. In Gebieten mit intensiver Viehhaltung nahm die Tierdichte weiterhin zu, und trotz reduzierter Mineraldüngung dominieren nach wie vor positive PK-Bilanzen. Das hat dazu geführt, dass es in Veredlungsregionen über einen längeren Zeitraum zu einem Anstieg der Nährstoffgehalte in den Böden gekommen ist. Im reinen Ackerbau hingegen wurde die PK-Düngung deutlich zurückgefahren. Niedrige Produktpreise machten die Grunddüngung weniger rentabel, und man konnte zunächst von den in den 60er und 70er Jahren aufgebauten Nährstoffvorräten zehren. Das machte sich in negativen Bilanzen bemerkbar. Nach ca. 20 Jahren ohne Grunddüngung in vielen Betrieben werden P und K seit einigen Jahren wieder zum ertragsrelevanten Faktor.

Eine von WERNER¹ für die Bundesrepublik (außer Schleswig-Holstein und Saarland) vorgenommene Auswertung zum Versorgungsstatus der Böden mit P, K und Mg zeigt, dass immerhin 21% des Ackerlandes und 41% des Grünlandes mit P unterversorgt sind (Tabelle 1.1). Gleichzeitig ist der Anteil der Überversorgung mit P auf dem

¹ Werner, W. (2006): Düngung von Böden. Handbuch der Bodenkunde. VCH Verlagsgesellschaft

Ackerland (41%) und Grünland (24%) noch beträchtlich. Bei Kalium und Magnesium war die Situation ähnlich. Grundsätzlich wiesen Grünlandflächen oft wegen extensiver Bewirtschaftung geringe Nährstoffgehalte auf. Diese Tabelle verdeckt allerdings die regionalen Unterschiede, denn in den viehstarken Regionen liegen die Anteile der hoch versorgten Flächen höher und in ackerbauorientierten Regionen mit geringer Viehdichte auch deutlich niedriger als hier dargestellt.

Tabelle 1.1: Aktueller Stand der Versorgung landwirtschaftlicher Böden Deutschlands mit Phosphat^{*2} und Kalium^{3**}. Anteil (in %) der untersuchten Flächen in den Gehaltsklassen A – E

Gehaltsklasse ^{***}	Phosphat		Kalium		Magnesium	
	Ackerland	Grünland	Ackerland	Grünland	Ackerland	Grünland
	11,8 Mio. ha	5,0 Mio. ha	11,8 Mio. ha	5,0 Mio. ha	11,1 Mio. ha	4,6 Mio. ha
A	3	12	1	6	5	2
B	18	29	12	24	21	10
C	38	35	36	37	39	29
D	29	17	35	19	20	23
E	12	7	16	14	15	35

* außer Schleswig-Holstein und Saarland

** CAL- bzw. DL-Methode

*** A/B: unterversorgt; C: angestrebt; D/E: überversorgt

Weitergehende Untersuchungen in einer großen Anzahl von Referenzbetrieben in Sachsen ergaben, dass die Nährstoffsalden auf Betriebsebene in einem weiten Bereich schwanken können. Neben der Viehdichte spielen Faktoren wie die Finanzsituation des Betriebes, Düngungsgewohnheiten und die jeweiligen Kenntnisse des Betriebsleiters eine wesentliche Rolle. Nach wie vor findet in vielen Betrieben die aktuelle Bodenversorgung bei der Düngebedarfsermittlung zu wenig Beachtung. Aber auch innerhalb eines Schlages kann durchaus eine beachtliche Variabilität in der Bodenversorgung auftreten. Sie rührt daher, dass es bei schlageinheitlicher Düngung in Bereichen niedriger Erträge und somit auch geringerer Abfuhr zu einer allmählichen Anreicherung kommt. In Hohertragsbereichen hingegen übersteigen die Abfuhr regelmäßig die gedüngten Mengen, sodass die Nährstoffvorräte stark in Anspruch genommen werden.

2 Brod, H.-G., L. Suntheim, K.-H. Neubert u. H. Goldbach (2004): Studie zum aktuellen Stand der regionalen Phosphatverteilung in Deutschland. Schlußbericht Forschungsauftrag der BLE, Projekt Nr. 03HS046.

3 Suntheim, L. u. K.-H. Neubert (2005): Nährstoff- und Kalkversorgung der Bundesrepublik Deutschland außer Schleswig-Holstein und Saarland. Schriftliche Mitteilung, unveröffentlichtes Manuskript.

Infolgedessen verschlechtert sich mit der Zeit die Bodenversorgung. Fallen die verfügbaren Vorräte hier zu stark ab, beginnt die dann nicht mehr optimale Nährstoffversorgung die Ertragsbildung zu begrenzen. Größere Unterschiede in der Bodenversorgung können sich im Laufe von Jahren vor allem auf stark heterogenen Schlägen herausbilden (vgl. Kapitel 6.5).

2. Was bedeuten P, K und Mg für die Pflanze?

Die Nährstoffe Phosphor, Kalium und Magnesium erfüllen spezifische Aufgaben in der Pflanze.

Phosphor (P) wird von den Pflanzen vorwiegend in anorganischer Form als Orthophosphat (H_2PO_4^- und HPO_4^{2-}) über die Wurzeln aufgenommen. Dabei spielen neben dem verfügbaren P-Vorrat im Boden auch die Temperaturverhältnisse und die Bodenstruktur eine wichtige Rolle. Schadverdichtete Böden, Trockenheit oder kalte Witterung schränken die P-Aufnahme stark ein (s. Kap. 3.2).

Phosphor ist an allen Prozessen des Energiehaushaltes beteiligt. Er beeinflusst energetische Prozesse wie die Synthese von Kohlenhydraten, Fetten und Eiweiß (= Ertrag und Qualität).

- Phosphor ist ein wichtiges Bauelement der Zellmembranen und Nukleinsäuren. Er fördert das Wachstum der Wurzeln und verbessert die Winterfestigkeit.
- Er ist außerdem in Zuckerphosphaten, Phospholipiden und Coenzymen enthalten. In Körnern und Samen wird Phosphor zu 80% als Phytinphosphat organisch gebunden. Bei der Keimung wiederum wird durch den raschen Abbau von Phytaten Phosphorsäure für den Stoffwechsel freigesetzt.
- Der P-Stoffwechsel von Pflanzen ist an den Mg-Stoffwechsel gekoppelt, so dass beide Elemente in die gleiche Richtung wirken.

P-Mangel äußert sich in einer Wachstumshemmung und einer schwachen Bestockung bei Getreide. Typisch ist eine starr aufrechte Blatthaltung (Starrtracht) mit nach unten geneigten Spitzen. Die Pflanzen weisen eine dunkelgrüne, zum Teil auch eine antho-

cyan-rötliche Verfärbung auf. Die Qualität der Ernteprodukte ist bei P-Mangel verschlechtert.

Kalium (K) nimmt die Pflanze als Kation (K^+) aus der Bodenlösung auf. Dieser Prozess wird neben dem verfügbaren K-Vorrat des Bodens vor allem von der aktuellen Bodenfeuchtigkeit beeinflusst. Trockenheit reduziert die K-Aufnahme stark.

Kalium ist für die Regulierung des Wasserhaushaltes in der Pflanze verantwortlich. Über die Konzentration von Kalium in der Blattzelle wird das Öffnen und Schließen der Spaltöffnungen gesteuert. Es wird nicht in die organische Substanz der Pflanze eingebaut, sondern ist ein freies Ion in der Vakuole einer Zelle. Daher wird bereits vor der Ernte Kalium aus den abgestorbenen Blättern ausgewaschen.

- Kalium ist in der Pflanze sehr beweglich. Durch die hohe Mobilität ist Kalium fähig, den osmotischen Druck in den Stomata-Zellen des Blattes zu regulieren (Öffnen und Schließen der Spaltöffnungen). Damit wird auch die Wasseraufnahme über die Wurzel gesteuert.
- Kalium ist zur Erhaltung des elektrischen Gleichgewichtes in den Zellen wichtig. Hohe Gehalte an organischen Säuren bedingen auch hohe Gehalte an Kalium. Hohe Salzkonzentrationen in der Zelle verbessern die Winterfestigkeit und reduzieren das Risiko von Auswinterungsschäden.
- Kalium fördert indirekt den Aufbau und Transport der Assimilate vom Blatt in die Speicherorgane, d.h. Ertrag und Qualität nehmen zu. Bei Kartoffeln wird zudem die Lagerfähigkeit verbessert.

K-Mangel führt zu einer Wachstumshemmung. Typisch ist die Welketracht, die sich vor allem an heißen Tagen auf flachgründigen, nicht ausreichend mit K versorgten Schlägen ausbildet. Ältere Blätter vergilben von der Spitze und vom Rand her, später kommt es zu einer rötlichen bis braunen Verfärbung und schließlich zum Absterben der Blätter.

Besonders in trockenen Jahren treten K-Mangelsymptome verstärkt auf (Abb. 2.1).

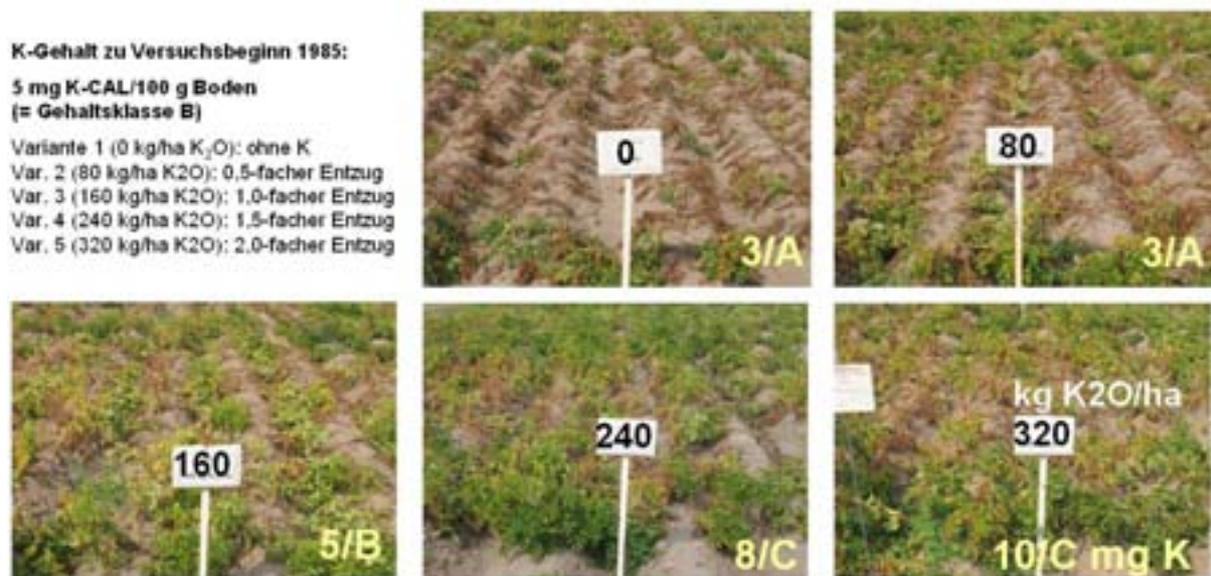


Abbildung 2.1: Wirkung einer Kaliumdüngung zu Kartoffeln in einem langjährigen Kalium-Steigerungsversuch der Landwirtschaftskammer Niedersachsen auf Sandboden in der Nähe von Celle (Aufnahmen aus dem Jahr 2003; Kartoffeln wurden insgesamt 9mal beregnet).

Magnesium (Mg) gelangt als Kation (Mg^{++}) in die Pflanze. Die Aufnahme wird sowohl vom verfügbaren Mg-Gehalt des Bodens als auch vom Verhältnis zu anderen Kationen in der Bodenlösung wie H^+ , K^+ , Na^+ , NH_4^+ , Ca^{++} und Al^{+++} beeinflusst.

Magnesium ist zentraler Baustein des Chlorophylls. Hier wird Lichtenergie in chemische Energie (Zucker, Stärke) umgewandelt. Es ist damit von essentieller Bedeutung für die Pflanze.

- Magnesium als Zentralatom des Chlorophylls ist unentbehrlich für die Fotosynthese. Auch die Blattpigmente (Karotin, Xanthophyll) werden durch Magnesium positiv beeinflusst.
- Magnesium kommt eine besondere Bedeutung bei Enzymreaktionen mit Energie übertragenden Prozessen zu. Ähnlich wie Phosphor ist Magnesium an allen Reaktionen des Enzyms ATP beteiligt.
- Davon betroffen sind der Aufbau von Kohlenhydraten, Fetten und Eiweiß sowie der Abbau von Kohlenhydraten. Das heißt, dass die Gehalte an Zucker/Stärke in den Früchten und Samen von der Mg-Versorgung beeinflusst werden.

Mg-Mangel äußert sich zuerst an älteren Blättern. Bei Getreide kommt es zu einer perl-schnurartigen Aufhellung des Blattes (Tigerung). Die Interkostalfelder hellen auf, wäh-

rend die Adern zunächst noch grün bleiben. Später bilden sich Nekrosen auf der gesamten Blattfläche aus.

Mg-Mangel reduziert Ertrag und Qualität vor allem bei Weizen, Kartoffeln und Mais.

Weitere **Informationen zu Nährstoff-Mangelsymptomen** sind im Internet in den Diagnosesystemen

- VISUPLANT der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft
(www.tll.de/visuplant) und
- NÄHRSTOFFCHECK des Bundesarbeitskreises Düngung
(www.duengung.net/diagnoseschluessel.asp)

abrufbar. Gegenwärtig wird hierzu an der LLFG Sachsen-Anhalt in Kooperation mit anderen Partnern ein Programm zur Bewertung von Nährstoffgehalten erarbeitet.

Ein sehr gute Zusammenstellung aller optimalen Nährstoffgehalte für alle wichtigen Kulturarten in Deutschland sowie weitere Details zur Pflanzenanalyse findet man in Breuer et al. (Breuer, J., V. König, D. Merkel, H-W. Olf, B. Steingrobe, E. Stimpfl, A-W. Wissemeyer und W. Zorn 2003: Die Pflanzenanalyse zur Diagnose des Ernährungszustandes von Kulturpflanzen – Anwendung in Landwirtschaft, Gemüse- und Obstbau, Agrimedia, Bergen/Dumme). Im Internet hat die LLFG Sachsen-Anhalt (www.llfg.sachsen-anhalt.de) in der Broschüre „Richtwerte für die Untersuchung und Beratung sowie zur fachlichen Umsetzung der Düngeverordnung (DüV)“ eine Übersicht der Bereiche optimaler Nährstoffgehalte in den Pflanzen zum Download veröffentlicht.

Pflanzenanalyse

Für eine optimale Ertragsbildung sind bestimmte Nährstoffkonzentrationen in der Pflanzensubstanz erforderlich. Bei zu geringen Konzentrationen kommt es zur Ausbildung typischer Mangelsymptome, die mit starken Ertrags- und Qualitätsverlusten verbunden sind. Durch eine bedarfsorientierte Düngung sind optimale Gehalte in der Pflanze anzustreben, die zu hohen und sicheren Erträgen auch unter Stressbedingungen führen.

Ein Nährstoffüberangebot hingegen kann Ertragsdepressionen bewirken. Die geschilderten Zusammenhänge sind schematisch in Abbildung 2.2 dargestellt.

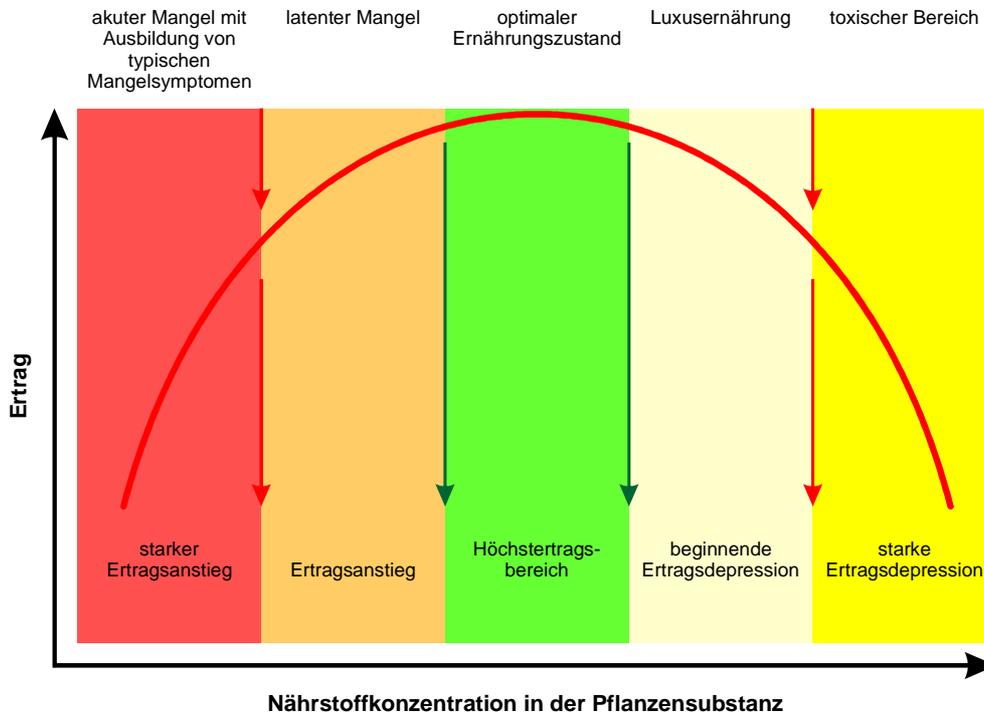


Abbildung 2.2: Schematische Darstellung von Nährstoffkonzentration in der Pflanzensubstanz und der Ertragsbildung

Der aktuelle Ernährungszustand von Pflanzen lässt sich exakt mit der Pflanzenanalyse bestimmen. Für alle wichtigen Kulturarten liegen Werte für den optimalen Gehalt verschiedener Nährstoffe vor. Diese Werte beziehen sich aber immer auf bestimmte Pflanzenteile und Entwicklungsstadien. Dies hat daher Konsequenzen für die Vorgehensweise bei der Pflanzenprobenahme: Es ist bei der Probenahme sicherzustellen, dass die entsprechenden Pflanzenteile zum entsprechenden Entwicklungsstadium entnommen werden (Tabelle 2.1).

Auf Nährstoffmangel beruhende Wachstumsstörungen können mit der Pflanzenanalyse sicher diagnostiziert werden. Besonders auf großen heterogenen Schlägen treten Schäden nicht flächendeckend, sondern lokal begrenzt auf. Trockenheit, kalte Witterung und Bodenverdichtungen können die Nährstoffaufnahme hemmen, so dass es zu einer zeitweiligen Unterversorgung der Pflanzen kommt. In all diesen Fällen ermöglicht die Pflanzenanalyse eine sichere Beurteilung des Ernährungszustandes und trägt zur Objektivierung der Düngeberatung bei.

DLG-Merkblatt 349: Grunddüngung effizient gestalten

Für eine bessere Interpretation der Analyseergebnisse ist es immer sinnvoll, neben einer Pflanzenprobenahme aus dem Bereich mit „schlechtem“ Wachstum und beeinträchtigter Entwicklung auch Pflanzen aus dem Bereich mit normalem Wachstum und guter Entwicklung zu ziehen, um eine bessere Vergleichsmöglichkeit zu haben. Häufig lohnt es sich, auch Bodenproben nach diesem Schema zu entnehmen.

Tabelle 2.1: Fruchtarten, Probenahmezeiträume und Probenahmeorgane für die Kontrolle der Nährstoffversorgung wachsender Pflanzenbestände⁴

Fruchtart	Zeitraum der Probenahme (Entwicklungsstadien mit BBCH-Code)	Probenahmeorgan
Winterweizen Sommerweizen Wintergerste Sommergerste Winterroggen Wintertriticale Hafer	Ende Bestockung... Ende Schossen <ul style="list-style-type: none"> • 8./9. Bestockungstrieb sichtbar (BBCH 28/29) • Bestockungstriebe stark aufgerichtet (BBCH 30) • Halmknoten wahrnehmbar (BBCH 31) • 2. – 4. Halmknoten wahrnehmbar (BBCH 32 – 34) • Fahnenblatt erscheint (BBCH 37) • Blatthäutchen des Fahnenblattes gerade sichtbar (BBCH 39) • Blattscheide des Fahnenblattes verlängert sich (BBCH 41) • Blattscheide des Fahnenblattes schwillt an und öffnet sich (BBCH 43 – 45) 	gesamte oberirdische Pflanze
Mais	• 40-60 cm Bestandshöhe (BBCH 33 – 36)	mittlere Blätter
	• Rispschieben (BBCH 51 – 59)	mittlere Blätter
	• Blüte (BBCH 61 – 69)	Kolbenblätter
Erbse	30 – 40 cm Bestandshöhe (BBCH 35 – 39) bis Blühbeginn (BBCH 61 – 62)	gesamte oberirdische Pflanze
Ackerbohne	Blühbeginn (BBCH 61 – 62)	gerade vollentwickelte Blätter
Winterraps	Knospenstadium (BBCH 53) bis Blüte (BBCH 64)	gerade vollentwickelte Blätter
Lein	Knospenbildung bis Blühbeginn	oberes Sprossdrittel
Sonnenblume	Blühbeginn (BBCH 61 – 62)	gerade vollentwickelte Blätter
Kartoffel	Knospenstadium bis Knollenbildung	gerade vollentwickelte Blätter
Zucker- und Futterrübe	Ende Juni bis Ende August	Spreiten von gerade vollentwickelte Blättern
Luzerne	Knospenstadium bis Blüte	gesamte oberirdische Pflanze
Rotklee	Knospenstadium bis Blüte	gesamte oberirdische Pflanze
Wiesen- und Weidegräser	Blühbeginn (1. Aufwuchs)	gesamte oberirdische Pflanze

⁴ Aus: Breuer et al. (2003): Die Pflanzenanalyse zur Diagnose des Ernährungszustandes von Kulturpflanzen. S. 32, Agrimedia

Häufig ist ein zu niedriger pH-Wert die Ursache von Wachstumsbeeinträchtigungen, und dieser kann am einfachsten mittels Bodenuntersuchung erkannt werden. Manchmal ist der Bodenvorrat eines Nährstoffes ausreichend, aber seine Verfügbarkeit eingeschränkt. Diese trifft allerdings eher für Mikronährstoffe wie z.B. Mangan zu, das bei hohem pH-Wert festgelegt wird.

Aufgrund der Wechselwirkungen zwischen Nährstoffen und zwischen Nährstoffen und ihrer Umwelt (Beispiel: Hohe Kaliumgehalte führen zu reduzierter Magnesiumaufnahme und können daher zur Diagnose des Magnesiummangels führen) ist es häufig sinnvoll, alle 12 Nährelemente (N, P, K, Mg, S, Ca, Fe, Mn, B, Cu, Zn, Mo) untersuchen zu lassen. Einige Labors bieten entsprechende Pakete an. Trotz Untersuchungszeiten von wenigen Tagen kann es bei akutem Mangel zu einer weiteren Verschlechterung des Pflanzenzustandes kommen. Besteht schon ein konkreter Verdacht auf einen bestimmten Mangel, sollte daher in einer solchen Situation gegebenenfalls präventiv eine Gegenmaßnahme eingeleitet werden, vor allem, wenn die Kosten gering sind und der mögliche Effekt groß. Die Pflanzenanalyse zeigt, ob die gestellte Diagnose richtig war.

Während die Bodenuntersuchung eine Vorausschau der verfügbaren Nährstoffmengen liefert, stellt die Pflanzenanalyse im Ackerbau eine Diagnose des aktuellen Ernährungszustandes dar. Sie wird deswegen hauptsächlich eingesetzt, wenn Mangelsymptome sichtbar werden. Die genaue Betrachtung der Bodenuntersuchungsergebnisse und das vorausschauende Beheben von Nährstoffmangelsituationen ist häufig günstiger, als wenn bereits Nährstoffmangel eingetreten ist, eine Pflanzenanalyse durchgeführt wird und gegebenenfalls noch nachgedüngt werden muss.

In den meisten rinderhaltenden Betrieben werden Gras- und Maissilagen neben anderen Wert gebenden Inhaltsstoffen auf Mineralstoffe untersucht. Dies ist im Prinzip der häufigste Fall der Pflanzenanalyse, aus dem sich wertvolle Hinweise zur Nährstoffversorgung und zur Wirkung der Düngung ziehen lassen. Von der Praxis werden diese Daten bisher leider nur in geringem Umfang zu diesen Zwecken genutzt.

3. Wie verhalten sich P, K und Mg im Boden?

3.1 Wesentliche Einflussfaktoren der Nährstoffverfügbarkeit

pH-Wert: Generell gilt, dass auf den landwirtschaftlich genutzten Böden der pH-Wert einen dominierenden Einfluss auf die Nährstoffverfügbarkeit hat. Bei nicht standortgerechten pH-Werten – dies gilt sowohl für zu geringe als auch für zu hohe pH-Werte – kann die Löslichkeit der meisten Nährelemente – dies gilt vorrangig für Phosphor – sinken (siehe Abbildung 3.1).

Die gängigen Bodenuntersuchungsverfahren extrahieren die pflanzenverfügbaren⁵ P- und K-Gehalte mit genau definierten Salz- und pH-Konzentrationen. Nicht standortgerechte pH-Werte fallen also bei diesen Extraktionsverfahren nur bei einer separaten pH-Wert-Bestimmung auf, die in Deutschland fast immer zur Standard-Bodenuntersuchung dazu gehört.

Bodenstruktur: Die im Boden verfügbaren Nährstoffmengen haben im Regelfall nur eine sehr geringe Beweglichkeit. Im Gegensatz zum Nitrat beträgt diese für P und K häufig nur 1 bis 2

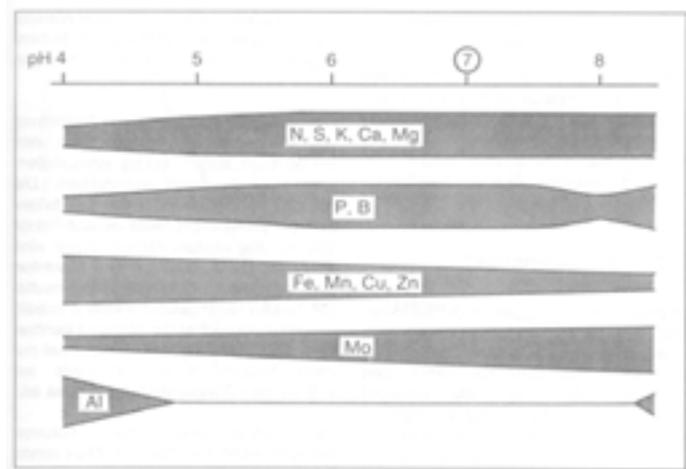


Abbildung 3.1: Nährstoffverfügbarkeit in Abhängigkeit vom pH-Wert (aus: Sturm/Buchner/Zerulla: Gezielte Düngen. Frankfurt 1994)



Abbildung 3.2: Einfluss der Bodenstruktur auf die Nährstoffverfügbarkeit (schematische Abbildung)

⁵ Im Regelfall werden die mit den gängigen VDLUFA-Methoden extrahierbaren Nährstoffmengen als „pflanzenverfügbar“ bezeichnet.

mm. Neben den absoluten Nährstoffmengen und den mit den Lösungsmitteln löslichen Teilfraktionen (z.B. P_{CAL} , P_{DL}) hat daher auch die Bodenstruktur einen entscheidenden Einfluss auf die Pflanzenernährung (siehe Abbildung 3.2).

Wasserversorgung: Sowohl Phosphor als auch Kalium gelangen nur durch Diffusion an die Pflanzenwurzel. Mit abnehmendem Wassergehalt der Böden sinkt aber die Diffusionsrate exponentiell. Hieraus folgt, dass bei sehr trockenen Böden auch ein P- und K-Mangel eintreten kann, obwohl die pflanzenverfügbaren Gehalte eigentlich ausreichend hoch sind.

P-Aneignungsvermögen der Pflanzen: Der Begriff der „räumlichen Verfügbarkeit“ wird in Abbildung 3.3 verdeutlicht. Durch die P-Aufnahme der Pflanze sinkt die Phosphatkonzentration an der Wurzel auf 50% der Ausgangskonzentration ab. Die Pflanze kann jedoch Phosphat nur bis zu einer Entfernung von 1 bis 2 mm um die Wurzeloberfläche herum aufnehmen. Dies ist mit der geringen Mobilität, d.h. der starken Bindung des Phosphats an die Bodenteilchen, sowie der geringen Löslichkeit zu erklären. Aus diesem Grunde tragen nur 20 bis 30% der Ackerkrume zur Phosphatversorgung der Pflanzen bei.

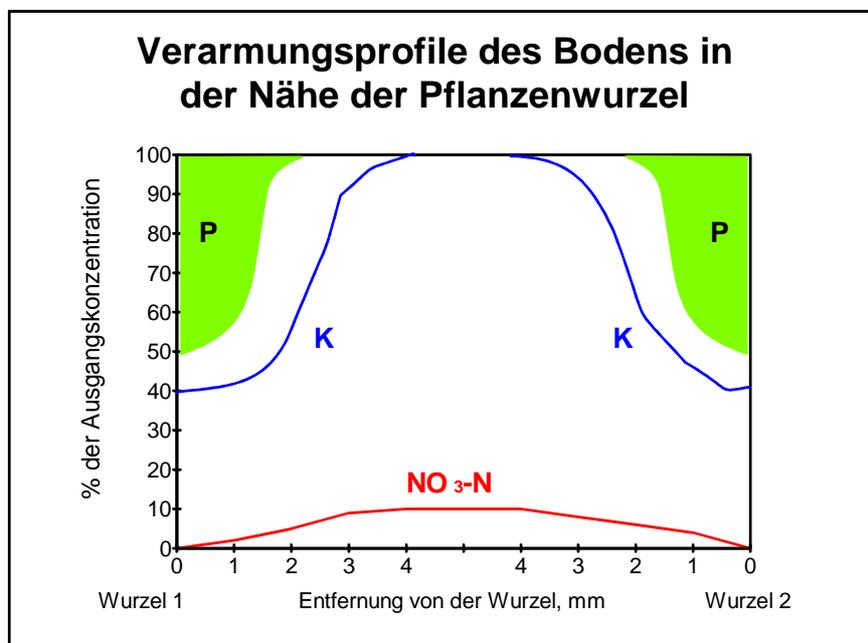


Abbildung 3.3: N-, P- und K-Verarmungsprofile in der Nähe der Pflanzenwurzel (nach Jungk und Claasen⁶)

⁶ Jungk, A. u. N. Claasen (1986): Availability of phosphate and potassium as the result of interactions between root and soil in the rhizosphere. Z. f. Pflanzenernährung u. Bodenkunde 149, 411-427.

Im Vergleich zum Phosphor wird Kalium weniger stark gebunden. Aus diesem Grunde kann auch ein größerer Bereich um die Wurzel genutzt werden. Nitratstickstoff wird überhaupt nicht an Bodenteilchen sorbiert, sondern liegt im Bodenwasser vor. Dies hat zur Folge, dass zwischen den Wurzeln nahezu das gesamte Nitrat von den Pflanzenwurzeln aufgenommen werden kann.

Aus dieser Abbildung ist ersichtlich, dass die Wurzeldichte, die durch die Pflanzenart und durch die Bodenstruktur bestimmt wird, in entscheidendem Maße die Phosphataneignung der Pflanze beeinflusst.

Kartoffeln haben im Vergleich zu Getreide eine sehr geringe Wurzeldichte. Die Wurzeldichte des Getreides ist etwa zehnmal so hoch. Getreide hat aus diesem Grunde im Vergleich zur Kartoffel ein wesentlich besseres Phosphat- und Kaliumaneignungsvermögen. Eine höhere Wurzeldichte würde bewirken, dass Wurzel 1 und 2 in Abbildung 3.3 näher zusammenrücken, damit ein größeres Bodenvolumen durchwurzelt wird und somit Phosphor und Kalium im Boden besser genutzt werden können. Dieser Sachverhalt erklärt auch, dass die Kartoffel im Vergleich zu Getreide in Düngungsversuchen bei höheren P-Gehalten im Boden auf eine P-Düngung anspricht.

3.2 Phosphor (P)

3.2.1 Bodenkundliche Aspekte

Phosphor (P) liegt im Boden in organischen und anorganischen Bindungsformen vor. Dabei nimmt der anorganisch gebundene Phosphor in unseren Mineralböden einen Anteil von 20% bis 80% ein. Je nach Bindungsform und Löslichkeit trägt er in unterschiedlichem Maß zur Pflanzenernährung bei. Im Folgenden sprechen wir hauptsächlich von Phosphat statt von Phosphor, denn als Phosphate bezeichnet man die mineralischen Salze der Phosphorsäure, also die Formen, in denen Phosphor hauptsächlich im Boden vorliegt. Auf die mengenmäßig ebenfalls bedeutsame organische Verbindung des Phosphors, das Phytat, wird weiter unten in diesem Kapitel eingegangen.

Vereinfacht dargestellt lassen sich drei unterschiedliche Phosphatfraktionen im Boden unterscheiden:

- in der Bodenlösung verfügbares Phosphat (direkt pflanzenverfügbar),
- labiles Phosphat (leicht gebundenes Phosphat, nach Lösung pflanzenverfügbar),
- stabiles Phosphat (fest gebundenes Phosphat, trägt in der Regel nicht zur Pflanzenernährung bei).

In der Bodenlösung befindet sich nur ein sehr geringer Anteil des im Boden vorhandenen Phosphats. Bei gut versorgten Böden sind dies in der Krume etwa 0,5–1 kg P (1,2–2,3 kg P_2O_5) pro Hektar. Dem gegenüber liegen 200–500 kg P (450–1.200 kg P_2O_5) in der labilen und zwischen 1.500 und 3.000 kg P (3.500–7.000 kg P_2O_5) pro Hektar in der stabilen Fraktion vor.

Wichtige Vertreter der stabilen Fraktion sind Calcium-, Eisen- und Aluminiumphosphate als anorganische und Phytate als organische Verbindungen. Die als labile Fraktionen bezeichneten Bodenphosphate beziehen sich auf locker gebundene Formen, wie die spezifische Sorption von Phosphaten an Oxiden und Hydroxiden des Eisens und des Aluminiums oder an Tonmineralen. Des Weiteren gehören in Abhängigkeit von der Kationenkonzentration der Bodenlösung Calcium-, Magnesium-, Kalium-, Natrium- und Ammoniumphosphate dazu. Zum labilen Phosphat sind auch leicht mineralisierbare organisch gebundene Phosphate zu rechnen.

Zwischen den einzelnen Fraktionen bestehen dynamische Gleichgewichte. Die Erhöhung der Phosphatkonzentration der Bodenlösung, z.B. durch Düngung, hat zur Folge, dass gelöstes Phosphat rasch in gebundene Fraktionen überführt wird. Mit zunehmender Dauer steigt die Festigkeit der Verbindungen. Umgekehrt wird bei Absenkung des Gehalts der Bodenlösung durch Phosphataufnahme in die Pflanze aus der labilen Fraktion leicht gebundenes Phosphat nachgeliefert und somit die Bodenlösung wieder aufgefüllt. Eine ausreichend schnelle Nachlieferung von gebundenem Phosphat in die Bodenlösung setzt einen entsprechenden Bodenvorrat an labilem Phosphat im Boden voraus. Die schnelle Bindung von löslichem mineralischem „Düngephosphat“ an die feste Phase des Bodens ist die Ursache dafür, dass die Auswaschungsgefährdung von mineralischem Phosphat im Regelfall deutlich niedriger ist als von Stickstoff und auch Kalium.

Die Bildung der unterschiedlichen Phosphatverbindungen im Boden und deren Verfügbarkeit wird u.a. in erheblichem Maß vom pH-Wert des Bodens beeinflusst. Am höchsten ist die Mobilität des Phosphats im schwach sauren bis neutralen Bereich, also

bei pH-Werten zwischen 5,5 und 7,0 (je nach dem optimalen pH-Wert der jeweiligen Bodenart). Oberhalb und unterhalb dieses Bereiches sinkt die Phosphatverfügbarkeit.

Auch bei standortgerechtem pH-Wert und guter Bodenstruktur führt ein langjähriger P-Entzug ohne P-Düngung dazu, dass die P-Nachlieferung von der stabilen Fraktion in die labile Fraktion so stark abnimmt, dass die P-Versorgung der Kulturpflanzen nicht mehr sichergestellt werden kann. Im Regelfall korrespondiert diese Abnahme auch mit einer Abnahme der pflanzenverfügbaren P-Gehalte (im Regelfall P_{CAL} - oder P_{DL} -Werte). Sinken die pflanzenverfügbaren P-Gehalte in Gehaltsklasse B oder sogar A ist eine P-Düngung dringend angezeigt. Nähere Einzelheiten über die Höhe und zeitliche Verteilung der dann notwendigen P-Düngermengen finden sich in den Abschnitten 7.1–7.3.

Im Regelfall ist davon auszugehen, dass Phosphor nur durch Erosion aus den Flächen ausgetragen wird. Eine P-Verlagerung in den Unterboden ist somit meistens zu vernachlässigen. Eine Ausnahme hiervon bilden Tonböden, die bei Trockenheit Schrumpfrisse ausbilden, in denen Düngemittel schnell nach unten verlagert werden können. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass bei organischen Düngern ein großer Teil des Phosphors in organischer Bindung vorliegt. Diese Phosphate können mit den im Boden löslichen organischen Substanzen in größeren Bodentiefen verlagert werden und unterliegen so einer gewissen Auswaschungsgefährdung. Diesen Effekt beobachtet man häufig auf Moorböden.

3.2.2 Wo ist P-Mangel zu erwarten?

Im Gegensatz zu den Böden der Tropen und Subtropen gibt es in Deutschland keine Standorte mit einem geologisch oder bodenkundlich bedingten **gravierenden** P-Mangel. Verwitterungsböden aus Gneis, Diabas oder Granit legen aber aufgrund ihrer relativ hohen löslichen Fe- und Al-Gehalte zugeführte mineralische P-Dünger schnell fest. Auf diesen Standorten kann daher eine P-Frühjahrsdüngung einer Herbst- oder einer Vorratsdüngung ertraglich überlegen sein (vgl. auch Abschnitt 7.2). Dies gilt auch für Kalkböden, die aufgrund ihrer häufig hohen Ca-Gehalte in der Bodenlösung zur P-Festlegung neigen.

Auf allen anderen Standorten tritt sichtbarer oder versteckter P-Mangel vorwiegend kleinräumig in Schlägen oder Teilschlägen auf. Im Regelfall ist der Mangel auf

1. langjährig unterlassene P-Düngung und/oder
2. einen nicht standortgerechten pH-Wert zurückzuführen.

P-Mangel ist häufig keine Frage der Bodenart oder der Region, sondern vorrangig der Flächennutzung. So ist der Flächenanteil von schlecht mit P versorgtem Ackerland in Deutschland geringer als der von Grünland (vgl. Tabelle 1.1).

3.3 Kalium (K)

3.3.1 Bodenkundliche Aspekte

Der natürliche Kaliumgehalt im Boden ist abhängig von

- dem Tongehalt und der Tonmineralart des Bodens, weil Kalium unterschiedlich stark an Tonteilchen gebunden ist. Schwere Böden brauchen daher höhere lösliche K-Gehalte (ermittelt nach Bodenuntersuchung in mg Kalium/100 g Boden) als z.B. Sandböden, um Pflanzen mit gleichen Kalimengen versorgen zu können.
- der möglichen Kali-Freisetzung der Böden, die diesen Nährstoff boden- und nutzungabhängig meist jedoch nur in sehr geringen Mengen aus Tonmineralen nachliefern.
- den Nährstoffverlusten in Form von Festlegung und Fixierung auf tonhaltigen Böden oder durch Verlagerung auf Sandböden.

Sehr kalireich sind im Regelfall tiefgründige Lössböden (inklusive der Schwarzerden), Marschen sowie Böden aus den geologischen Formationen des Röt, Keupers oder Muschelkalks.

Moorböden sowie Böden aus Quarzgestein haben häufig sehr geringe Kaliumgehalte. Bei diesen Standorten sowie bei Kalium fixierenden Böden (vorrangig ehemaliges Grünland im Bereich der Flussauen) ist dagegen eine K-Düngung oberhalb der Abfuhr angezeigt.

Die Kaliverfügbarkeit für die Pflanzen wird darüber hinaus von folgenden Boden-Faktoren beeinflusst:

- Tongehalt der Böden (mit steigendem Tongehalt nimmt im Regelfall die Kalifesterlegung bzw. -fixierung durch Tonminerale zu)
- Kationenaustauschkapazität und Grad der K-Sättigung am Austauscher
- Bodenstruktur und Bodenart
- Wasserhaushalt des Bodens
- K-Gehalt in der Bodenlösung
- Tiefgründigkeit des Bodens und Durchwurzelung durch die Pflanze
- Antagonismus (Verdrängung) durch Kationen wie z.B. Calcium, Ammonium und Magnesium

Nur bei guter Kaliversorgung des Bodens ist ein für die Pflanze ausreichender Gehalt in der Bodenlösung sichergestellt. Die austauschbar pflanzenverfügbaren Kaligehalte im Boden werden durch Bodenuntersuchung gemessen und nach Versorgungsstufen (A bis E) bewertet. Der anzustrebende Bodenvorrat an Kalium ist dabei abhängig von der Bodenart und Flächennutzung.

Auf Lehm- und Tönböden liegt die Kalium-Auswaschung meist unter 5 kg/ha*a K₂O; auf tonarmen Sand und organischen Böden sind Auswaschungsraten von über 50 kg/ha*a K₂O möglich. Neben der Bodenart hat auch der Jahresniederschlag sowie die jährliche Niederschlagsverteilung einen deutlichen Einfluss auf die jährlichen unvermeidlichen K-Auswaschungsverluste (Tabelle 3.1).

Tabelle 3.1: Unvermeidbare K-Auswaschung für Ackerflächen (Böden in Gehaltsstufe C sowie Düngung nach Abfuhr); Angaben in kg/ha K₂O (IVA 2003)

Bodenart	Jahresniederschlag		
	< 600 mm	600 – 750 mm	> 750 mm
S, Moor	30	40	50
I'S, uS	20	30	40
IS*	10	15	20
Übrige*	3	5	10

* bei durchlässigen Unterböden Verluste wie Sand- oder Moorböden (z. B. Schotterböden)

Bei der Berechnung der K-Düngung sind daher neben den pflanzlichen Entzügen auch die in Tabelle 3.1 aufgeführten Verluste mit zu berücksichtigen.

3.3.2 Wo ist K-Mangel zu erwarten?

K-Mangel ist hauptsächlich auf sehr tonarmen Sanden unter 5% Ton und sehr humusreichen (Moor)böden zu erwarten.

Entsprechend den Verhältnissen beim Phosphor wird die Häufigkeit eines K-Mangels auch stark von der Nutzung diktiert. Auf Grünland und hier insbesondere auf Mähgrünland wird deutlicher K-Mangel häufiger beobachtet als auf Ackerland.

3.4 Magnesium (Mg)

Der Magnesiumgehalt des Bodens ist abhängig vom Ausgangsgestein. Sandböden sind besonders arm an Magnesium, während Böden aus Dolomit und Basalt oder Marschböden häufig ausreichend Magnesium enthalten. Magnesium ist ähnlich wie Calcium im Boden leicht beweglich, so dass auf allen Böden beachtliche Verluste an Magnesium durch Verlagerung und Auswaschung eintreten können (Tabelle 3.2).

Tabelle 3.2: Unvermeidbare Mg-Auswaschung auf Böden der Gehaltsklasse C; Angaben in kg/ha MgO (IVA 2003)

Standort	Jährliche Mg-Auswaschung bei ... mm Jahresniederschlag		
	< 600 mm	600 – 750 mm	> 750 mm
leicht	35	40	45
mittel und schwer	40	60	80

Magnesium steht bei der Nährstoffaufnahme durch die Pflanzen in Konkurrenz mit Calcium, Ammonium und Kalium. Der Magnesiumdüngung muss besondere Beachtung geschenkt werden

- auf Böden unter pH 5,0: Aluminium wird zunehmend löslich und blockiert die Magnesium-Aufnahme (Gegenmaßnahme: Kalken)

- auf Böden über pH 7,0: Bei höherem pH-Wert ist die Löslichkeit von Magnesium aus Magnesium-Kalken eingeschränkt, so dass bei akutem Bedarf Mangel eintreten kann. Bei Düngung von Magnesium in Salzform besteht dieses Problem nicht.
- nach Aufkalkungsmaßnahmen mit Mg-armen Kalken (z. B. Carbokalk)
- bei sehr hohen Kaligehalten im Boden (Kalium-Magnesium-Konkurrenz): gut bekannt als Weidetetanie auf Grünland
- bei ammoniumbetonter N-Düngung (Gülle, AHL, Harnstoff): Ammonium schränkt kurzzeitig die Mg-Aufnahme an der Wurzel ein
- nach hohen Niederschlägen (Auswaschung): s. Tabelle 3.2
- bei niedrigen Mg-Gehalten im Boden
- bei hohem Blattfruchtanteil, intensiver Grünlandnutzung und hohem Ertragsniveau (hoher Mg-Bedarf).

4. Ermittlung des P- und K-Düngebedarfs

Durch Düngung soll den Pflanzen der Anteil an notwendigen Nährstoffen zugeführt werden, der im Boden für die Erreichung wirtschaftlich optimaler Erträge und erforderlicher Qualitäten fehlt. Der Düngebedarf hängt demnach vom spezifischen Nährstoffbedarf der jeweiligen Kulturpflanze, ihrem standortbedingten Ertragsniveau und dem Gehalt des Bodens an pflanzenverfügbaren Nährstoffen ab.

Der Nährstoffbedarf der Pflanzen ergibt sich aus ihrem Mineralstoffgehalt und dem mittleren Ertragsniveau. Schwieriger ist die Bestimmung der Gehalte an pflanzenverfügbaren Nährstoffen im Boden. Zahlreiche Arbeiten haben sich intensiv mit dem Zusammenhang zwischen der Nährstoffversorgung von Böden und dem Düngebedarf der Pflanzen befasst und Methoden zur Erfassung des pflanzenverfügbaren Nährstoffangebotes im Boden entwickelt.

Als Maß für den pflanzenverfügbaren Phosphor sowie das pflanzenverfügbare Kalium wird heute allgemein der leichtlösliche Phosphor- bzw. Kalium-Anteil der Böden zugrunde gelegt. Dieser wird von den Laboratorien mit Hilfe der CAL-(Calcium-Acetat-Lactat)- und in wenigen Fällen noch mit der DL-(Doppellaktat)-Methode bzw. der EUF-(Elektroultrafiltration)-Methode an Bodenproben bestimmt.

Die Beziehung zwischen dem Ergebnis der Bodenuntersuchung und dem Düngebedarf wird durch Felddüngungsversuche ermittelt. Hieraus werden Richtwerte abge-

leitet, die in Verbindung mit dem Bedarf der Pflanzen die konkrete Grundlage für Düngeempfehlungen bilden.

Feldversuchsergebnisse haben gezeigt, dass es eine scharfe für alle Standorte gleichermaßen zutreffende Grenze zwischen ausreichendem und nicht ausreichendem P-Gehalt im Boden nur eingeschränkt gibt. Dies ist verständlich, denn die Bodenuntersuchung gibt nur die Löslichkeit, d.h. den mit der jeweiligen Methode extrahierbaren P- oder K-Gehalt an. Die Aufnahme dieser Nährstoffe durch die Pflanzen wird jedoch daneben auch von der Wechselwirkung zwischen Pflanzenwurzel und Boden sowie den spezifischen Standorteigenschaften und der Witterung beeinflusst.

Bodenuntersuchung

Nach der neuen Düngeverordnung (Februar 2007) ist jetzt nur noch der Phosphorgehalt für jeden Schlag ab 1 Hektar mindestens alle sechs Jahre mit Hilfe von Bodenuntersuchungen zu bestimmen und dann auch bei eventuellen Überprüfungen vorzulegen. Empfehlenswert ist sicherlich, was auch schon vor der Zeit der Düngeverordnung galt, nämlich die Bodenuntersuchung im Rahmen einer Fruchtfolge – z.B. im dreijährigen Turnus – durchzuführen. Die Bestimmung des Kalium- und Magnesiumgehaltes sowie des pH-Wertes sollte aber auch wie bisher zum Standarduntersuchungsprogramm dazugehören, obwohl es die neue Düngeverordnung nicht mehr vorschreibt.

Die Bodenuntersuchung sollte immer zu bzw. nach der gleichen Kultur innerhalb einer Fruchtfolge, möglichst auch immer im gleichen Monat, durchgeführt werden. Eine Probennahme im direkten Anschluss an eine Düngung mit den Nährstoffen, deren Gehalt im Boden bestimmt werden soll, ist zu unterlassen und frühestens nach 2 Monaten wieder sinnvoll.

Normalerweise sollte eine Probe von 2 bis 3 Hektar entnommen werden. Bei einheitlicher Bodenart, Bestellung und Düngung genügt auf Flächen bis zu 5 Hektar eine Probe. Liegen verschiedene Bodenarten vor, dann sollte eine getrennte Beprobung stattfinden bzw. unwesentliche Teilflächen (z.B. Sand- oder Tonköpfe) ausgelassen werden. Auf Ackerland ist 20–30 cm tief zu beproben (20 Einstiche je Probe), auf Grünland 10 cm.

Bei pflugloser Bodenbearbeitung bildet sich nach HEROLD et al. (2004)⁷ durch die Düngungsmaßnahmen in der Bodentiefe von 0 bis 30 cm ein Nährstoffgradient mit sehr hohen Gehalten im Bereich von 0 bis 10 cm und niedrigeren Gehalten von 10 bis 30 cm. In diesem Fall kann bei der Bodenuntersuchung nicht mehr der Grundsatz gelten: Bearbeitungstiefe = Probenahmetiefe. Letztere sollte bei pflugloser Bewirtschaftung mindestens 20 cm betragen, da sonst bei einer ausschließlichen Beprobung der obersten zehn Zentimeter aufgrund der Nährstoffanreicherung der Düngebedarf unterschätzt werden würde.

Die Pflanzen können zwar unter bestimmten Voraussetzungen auch wesentliche Phosphor-, Kalium- und Magnesium-Mengen aus dem Unterboden unterhalb der Krume aufnehmen, eine routinemäßige Bestimmung der Nährstoffgehalte im Unterboden zum Zwecke der Düngebedarfsermittlung ist jedoch nicht angezeigt. Der Grund dafür sind fehlende Eichversuche, in denen der Einfluss unterschiedlicher Nährstoffgehalte im Unterboden bei unterschiedlichem Nährstoffangebot in der Krume überprüft wurde.

Zur Vermeidung von Probenahmefehlern kann die Probe auf der Basis folgender Vorschläge genommen werden:

- nach zufälliger Verteilung, oder
- entlang einer Diagonalen, um stetige Beprobung von Überlappungen (Düngerstreuer, Güllewagen) zu vermeiden, oder
- von einer repräsentativen Teilfläche (z.B. 100 x 100m)⁸

Eine Beprobung ehemaliger Silage- oder Dunglagerplätze sowie der Vorgewende muss vermieden werden.

Gehaltsklassen

Zahlreiche Felddüngungsversuche haben gezeigt, dass die durch Bodenuntersuchung ermittelten P- und K-Gehalte im Mittel der untersuchten Standorte mit dem Düngebedarf an diesen beiden Nährstoffen in Beziehung stehen: Je höher der Gehalt an leicht löslichem Phosphor bzw. Kalium ist, umso geringer ist der Düngebedarf. Bei hohen

⁷ Herold, Lothar, Wagner, Sabine und Lippold, Torsten (2004): Nährstoffgradienten im Boden bei pflugloser Bewirtschaftung und Schlussfolgerungen für die Probenahme. TLL Jena.

⁸ Die teilschlagspezifische Probenahme wird in Abschnitt 6.5 behandelt.

DLG-Merkblatt 349: Grunddüngung effizient gestalten

Gehalten im Boden hat die Düngung keine direkte Wirkung mehr auf den Ertrag. Die Ergebnisse in Abbildung 4.1 verdeutlichen dies sehr anschaulich.

Die Definition der P-, K- und Mg-Gehaltsklassen ist in Tabelle 4.1 aufgeführt. Daraus geht hervor, dass die Gehaltsklasse C anzustreben ist. Eine Düngung in Höhe der Abfuhr mit den Ernteprodukten ist allgemein ausreichend, um dieses P-Gehaltsniveau zu erhalten.

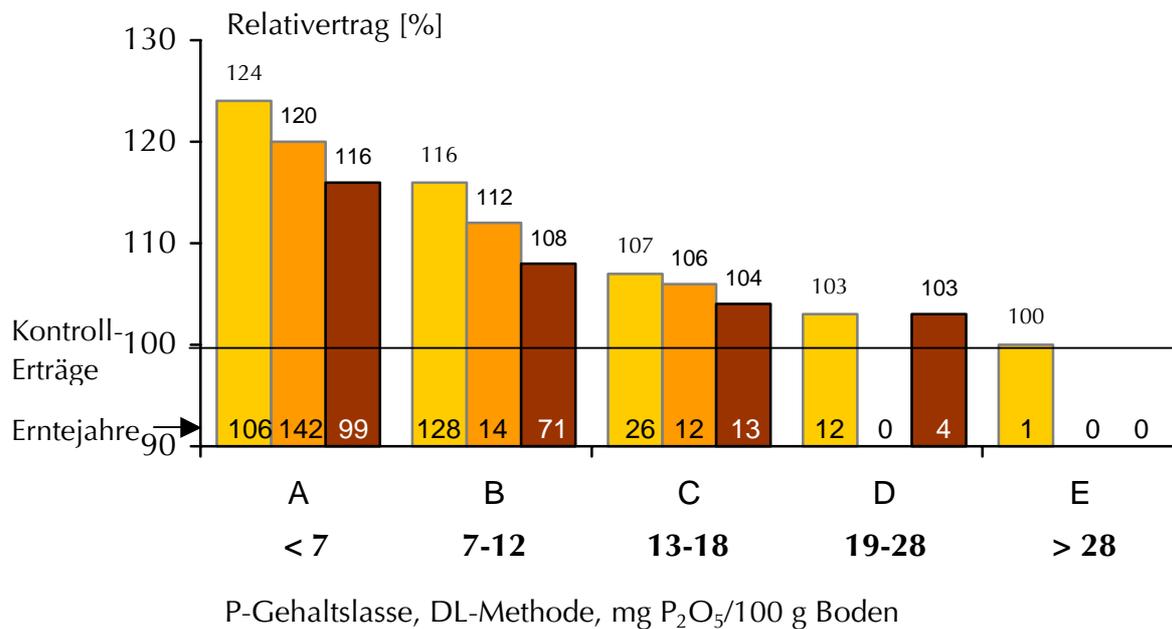


Abbildung 4.1: Mittlere relative Mehrerträge durch P-Düngung im Vergleich zu ungedüngt auf leichten, mittleren und schweren Böden (Versuche von 1954-1991 auf Ackerland in Ostdeutschland; Kerschberger und Schröter 1996⁹).

Die Gehaltsklassen A und B zeigen zu geringe Gehalte an. Für intensiven Ackerbau sollte daher eine Aufdüngung erfolgen. In den Gehaltsklassen D und E enthält der Boden unnötig hohe Gehalte. Sie sollten durch Verminderung oder Auslassung der P-Düngung auf Gehaltsklasse C zurückgeführt werden. Das Prinzip wird in Abbildung 4.2 veranschaulicht und gilt auch für Kalium.

⁹ Kerschberger, M. u. H. Schröter (1996): Ergebnisse von Dauerversuchen zur P-Düngung auf Acker- und Grünlandstandorten in Ostdeutschland. VDLUFA-Schriftenreihe 42, 20-44.

DLG-Merkblatt 349: Grunddüngung effizient gestalten

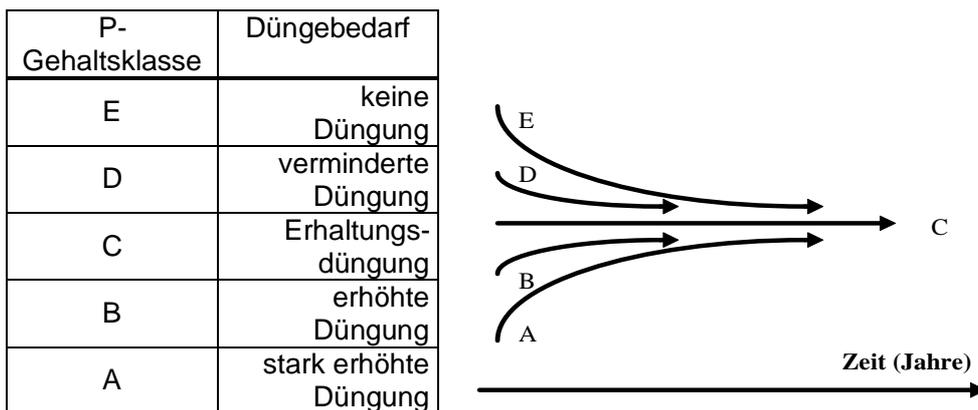


Abbildung 4.2: Schematische Darstellung der beabsichtigten Entwicklung der P-Gehalte im Boden in Abhängigkeit von der P-Düngung

Für die Bewertung der P-, K- und Mg-Gehalte im Boden hinsichtlich des Düngebedarfs sind entsprechende Richtwerte erforderlich. Sie basieren auf Feldversuchsergebnissen und werden am ökonomisch optimalen Pflanzenertrag geeicht.

Tabelle 4.1: Definition der Gehaltsklassen für die Phosphor-, Kalium- und Magnesium-Gehalte im Boden und dazugehörige Düngeempfehlung in den Gehaltsklassen (VDLU-FA 1997)

Gehalts-klasse (GK)	Kurzdefinition
A	<u>Sehr niedriger Gehalt</u> Düngeempfehlung: stark erhöhte Düngung gegenüber der Empfehlung in GK C Düngewirkung auf Ertrag: hoher Mehrertrag auf Boden: Gehalt im Boden steigt deutlich an
B	<u>Niedriger Gehalt</u> Düngeempfehlung: erhöhte Düngung gegenüber der Empfehlung in GK C Düngewirkung auf Ertrag: mittlerer Mehrertrag auf Boden: Gehalt im Boden steigt an
C	<u>Anzustrebender Gehalt</u> Düngeempfehlung: Erhaltungsdüngung in der Regel nach P-Abfuhr Düngewirkung auf Ertrag: geringer Mehrertrag auf Boden: Gehalt im Boden bleibt erhalten
D	<u>Hoher Gehalt</u> Düngeempfehlung: verminderte Düngung gegenüber der Empfehlung in GK C Düngewirkung auf Ertrag: Mehrertrag meist nur bei Blattfrüchten auf Boden: Gehalt im Boden nimmt langsam ab
E	<u>Sehr hoher Gehalt</u> Düngeempfehlung: keine Düngung Düngewirkung auf Ertrag: keine auf Boden: Gehalt im Boden nimmt ab

Düngeempfehlungen

Versuchsergebnisse belegen, dass in vielen Fällen schon etwa 5,0 mg P/100 g Boden (entsprechend 12 mg P₂O₅/100 g Boden¹⁰) ausreichen, um ohne P-Düngung ein optimales Ertragsniveau zu erreichen. Zumindest genügt bei solchen P-Gehalten eine P-Erhaltungsdüngung (etwa in Höhe der P-Abfuhr), um Ertragseinbußen zu vermeiden. Es gibt allerdings auch Versuchsergebnisse, wo sich diese Situation erst bei deutlich höheren P-Gehalten des Bodens ergibt. Aus diesem Grund lässt sich der vorgeschlagene Bereich für die P-Gehaltsklasse C von 4,5 bis 9,0 mg P/100 g Boden, wie er bundeseinheitlich vom VDLUFA vorgeschlagen wurde (Tabelle 4.2), nicht weiter einengen. Er stellt einen Rahmen dar, in dem sich die regional in Feldversuchen ermittelten Richtwerte der Gehaltsklasse C einordnen lassen, auf denen wieder die Düngungsempfehlungen beruhen. Diese werden von der Officialberatung herausgegeben (Adressen in Kapitel 9). Damit kann auch standortbedingten Einflüssen weitgehend Rechnung getragen werden. Der gleiche Gehaltsbereich trifft auch für Grünland zu.

Getreidearten benötigen allgemein geringere P-Gehalte im Boden als Hackfrüchte. Da sich der P-Gehalt des Bodens aber nicht jährlich an den Bedarf der Pflanze anpassen lässt, verbleibt nur die Möglichkeit, mit der P-Düngung auf die Ansprüche der Pflanzen zu reagieren. Dies ist von großer praktischer Bedeutung für die P-Düngung. Bei Böden der P-Gehaltsklasse C wird daher empfohlen, die für die Fruchtfolge nötige P-Düngung auf die Hackfrüchte/Blattfrüchte zu konzentrieren und das Getreide weitgehend ohne P-Düngung zu belassen. Nähere Einzelheiten sind aus Kapitel 7.1 ersichtlich.

Tabelle 4.2: Richtwerte für die P-Gehaltsklassen A bis E nach DL- bzw. CAL-Methode (VDLUFA-Standpunkt)

P-Gehaltsklasse	Mg P/100 g Boden	Mg P ₂ O ₅ /100 g Boden
A	≤ 2,0	≤ 5
B	2,1 bis 4,4	6 bis 9
C	4,5 bis 9,0	10 bis 20
D	9,1 bis 15,0	21 bis 34
E	≥ 15,01	≥ 35

10 Bei Fragen der Pflanzenernährung wird im Allgemeinen die Elementform verwandt, bei Düngungsfragen dagegen die Oxidform (P₂O₅ = Phosphat)

Aus den Feldversuchen lassen sich bei Kalium für den Ackerbau die nachfolgenden Eckwerte für den Bereich der Gehaltsklasse C ableiten (Tabelle 4.3). Die gleichen Gehaltsbereiche werden trotz geringerer Versuchszahl auch für Grünland empfohlen.

Tabelle 4.3: Richtwerte für die K-Gehaltsklasse C (VDLUFA-Standpunkt)

K (mg/100g Boden)	K ₂ O (mg/100g Boden)
Sehr leichte Böden (0 bis 5% Ton)	
5- 8	6-10
Leichte Böden (6 bis 12% Ton)	
8-12	10-15
Mittlere Böden (13 bis 25% Ton)	
8-17	10-20
Schwere und sehr schwere Böden (> 25% Ton)	
11-22	13-26

*) Werte in mg/100ml Boden

Die optimalen K-Düngergaben sind so bemessen, dass die Versorgung der Klasse C erhalten bleibt; sie liegen meist im Bereich der K-Abfuhr vom Feld. Bei hoher K-Auswaschung (manche Sandböden) bzw. Böden mit K-Fixierung liegen sie höher, bei hoher K-Nachlieferung (manche Löß- und Marschböden) liegen sie niedriger. Detaillierte Angaben zur Höhe der K-Düngung werden von den Beratungsstellen der Länder zur Verfügung gestellt.

Auf Maßnahmen bei sehr niedriger Grundnährstoffversorgung wird in Abschnitt 7.3 detailliert eingegangen.

5. Beschreibung der Düngemittel

5.1 Mineraldünger

Da durch die Nutzung der Ernteprodukte dem Boden ständig Nährstoffe entzogen werden, müssen sie nachgeliefert werden, um die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten oder zu verbessern. Dabei gibt es zwei grundsätzliche Möglichkeiten. Die erste Möglichkeit ist der Einsatz von wirtschaftseigenen Düngern oder Sekundärrohstoffdüngern wie Klärschlamm. Bei deren Einsatz begrenzt häufig einer der darin enthaltenen Nährstoffe die

Ausbringmenge. Bei einer intensiven Bewirtschaftung sind die anderen Nährstoffmengen daher meistens nicht ausreichend, um den Nährstoffentzug auszugleichen.

Deshalb müssen neben dem Wirtschaftsdünger Mineraldünger zum Einsatz kommen. Dabei liegen die Nährstoffe (P, K, Mg) in der Regel in Salzform vor und sind nach Lösung im Boden direkt pflanzenverfügbar.

Die Vorteile der Mineraldünger sind:

- schnelle Pflanzenverfügbarkeit der Nährstoffe,
- hohe Nährstoffkonzentration,
- genaue Dosierbarkeit,
- Freiheit von schädlichen Nebenbestandteilen,
- hohe Anwendersicherheit.

Für die Grundnährstoffe P, K und Mg gibt es die folgenden Mineraldünger:

Phosphat-Dünger

Phosphatlagerstätten, aus denen Phosphatdünger hergestellt werden, sind durch phosphathaltige Anreicherungen in Eruptivgesteinen, durch Ausfällungen aus phosphathaltigen Wässern und aus tierischen Rückständen entstanden. Sie sind also natürlichen Ursprungs. Die Hauptlagerstätten befinden sich in Nordafrika (Marokko, Algerien, Tunesien), USA (Florida) und Russland (Kola). Die Konsistenz reicht von steinhart (z.B. grobkristalliner harter Kola-Apatit) bis weicherdig. Zahlreiche Eisenerzlager haben ebenfalls z.T. bedeutende Phosphatbeimengungen. Die in den Phosphatlagerstätten vorliegenden Phosphatverbindungen sind in dieser Form meist nur bedingt für die Pflanzen ausnutzbar. Sie bedürfen der Aufbereitung bzw. eines Aufschlusses. Beim Aufschluss der so genannten Rohphosphate (chemisch oder thermisch) kommt es darauf an, die Apatitstruktur des Ausgangsmaterials zu zerstören und das Phosphat in eine lösliche und gut pflanzenverfügbare Form zu überführen, um eine möglichst hohe Ausnutzungsquote zu erreichen. Dabei steht bei vollaufgeschlossenen Phosphaten das frisch gedüngte Phosphat den Pflanzen sofort zur Verfügung, während bei teilaufgeschlossenen das nicht aufgeschlossene Phosphat erst im Boden in eine pflanzenverfügbare Form umgewandelt werden muss (vgl. Tabelle 5.1). Dies kann dazu führen, dass den Pflan-

zen das Phosphat in Zeiten intensiver Aufnahme nicht in ausreichendem Maße zur Verfügung steht. Auf die damit in Verbindung stehende Bedeutung des Ausbringzeitpunktes wird in Kapitel 7.2 näher eingegangen.

Tabelle 5.1: Zusammensetzung verschiedener Phosphat-Dünger

Produkt	Aufschlussgrad	P ₂ O ₅ -Gehalt (%)	Löslichkeitsform, weitere Nährstoffe
Superphosphat	Vollaufschluss	18	neutral-ammoncitratlösliches Phosphat, davon 16,7% P ₂ O ₅ als wasserlösliches Phosphat, ca. 12% S
Triplesuperphosphat	Vollaufschluss	46	neutral-ammoncitratlösliches Phosphat, davon 43,0% P ₂ O ₅ als wasserlösliches Phosphat
Novaphos	Teilaufschluss	23	mineralsäurelösliches Phosphat, davon 11,5% P ₂ O ₅ als wasserlösliches Phosphat, 13% CaO, 9% S
Dolophos	Weicherdiges Rohphosphat	15	mineralsäurelösliches Phosphat, in 2%iger Ameisensäure lösliches Phosphat, 65% CaCO ₃ , 15% MgCO ₃
Thomaskali	Vollaufschluss	7-14	in 2%iger Zitronensäure und in alkalischem Ammoncitrat (Petermann) lösliches P ₂ O ₅
NP- und NPK-Dünger	Vollaufschluss	verschied.	neutral-ammoncitratlösliches Phosphat, davon i.d.R. 60-80% wasserlösliches Phosphat

Vollaufgeschlossene Phosphate

Bei Aufschluss von Rohphosphat mit Schwefelsäure entsteht Superphosphat, ein Gemisch aus Monocalciumphosphat und Gips. Das hochkonzentrierte Triplesuperphosphat bildet sich bei Aufschluss der Rohphosphate mit Phosphorsäure. Die technische Herstellung erfolgt durch kontinuierliches Vermischen von feinstvermahlenem Rohphosphat mit den genannten Säuren. In den genannten P-Düngern ist das Phosphat zu mindestens 93% wasserlöslich. Bei der Herstellung der NP- und NPK-Dünger erfolgt der Aufschluss von Rohphosphat mit Salpetersäure.

Bei der Verhüttung phosphathaltiger Eisenerze findet ein thermischer Aufschluss von nicht pflanzenverfügbarem Phosphat statt. Bei einer Temperatur im Konverter von ca. 1.600 °C geht das Phosphat in die Schlacke über und wird an Kieselsäure gebunden. Nach Abkühlung und Vermahlung entstand so das Thomasphosphat, das heute wegen der Verhüttung phosphatarmer Erze keine Bedeutung mehr hat. Die Phosphatform des Thomasphosphats ist heute nur noch im Konverterkalk in geringen Anteilen von 1–2% P₂O₅ enthalten. Durch Zusatz von vollaufgeschlossenem Phosphat und Kalisalzen wird daraus Thomaskali hergestellt.

Vollaufgeschlossene Phosphate enthalten das Phosphat in einer pflanzenverfügbaren Form und sind deshalb für alle Kulturen zur sicheren Abdeckung des P-Bedarfes geeignet.

Teilaufgeschlossene Phosphate

Aus Kostengründen wird z.T. mit vermindertem Säureeinsatz gearbeitet, dadurch entstehen die so genannten teilaufgeschlossenen Phosphate. P-Dünger dieser Gruppe unterscheiden sich durch ihre unterschiedlichen Gehalte an Mineralsäure- bzw. wasserlöslichen Anteile. Sie enthalten nur einen bestimmten Anteil an voll aufgeschlossenem und damit unmittelbar wirksamem Phosphat. Sie nehmen damit eine Zwischenstellung zwischen den vollaufgeschlossenen und den Rohphosphaten ein. Da ein Teil des Phosphates nicht pflanzenverfügbar ist, eignen sich diese Düngemittel nur bei sauren Böden.

Rohphosphate

Unter bestimmten Voraussetzungen können Rohphosphate direkt als Düngemittel angewendet werden. Dies ist jedoch nur bei weicherdigen Rohphosphaten und nur nach feinsten Vermahlung sinnvoll. Sie sind in erster Linie für Böden mit einem Ziel-pH Wert von 5,5 und darunter sowie für saure Moorböden (z.B. Hochmoor) geeignet.

Phosphat-Mineraldünger können als Einzeldünger oder in Verbindung mit anderen Nährstoffen auch in Form von P-haltigen Mehrnährstoffdüngern mit sehr unterschiedlicher Phosphat-Konzentration verwendet werden. In den Mehrnährstoffdüngern liegt das Phosphat meist als vollaufgeschlossenes Phosphat vor.

Kali-Dünger

Die Kali-Lagerstätten in Deutschland sind vor mehr als 200 Millionen Jahren in der Zechsteinzeit durch Verdunstung von Meerwasser entstanden. Dabei kristallisierten Kalium- und Magnesiumsalze aus und setzten sich am Boden ab. Heute werden die Rohsalze in Deutschland in Tiefen von 350-1.200 m bergmännisch abgebaut. Bei den verschiedenen Aufbereitungsverfahren fallen Kaliumchlorid und Kieserit (Magnesiumsulfat) an, beide sind Ausgangsstoffe zur Weiterverarbeitung zu Patentkali und Kaliumsulfat. Alle Kalisalze sind wasserlöslich, also leicht pflanzenaufnehmbar. Sie verändern den pH-Wert des Bodens nicht.

In der Regel werden unter unseren Klima- und Bodenbedingungen Kali-Dünger in chloridischer Bindungsform eingesetzt (vgl. Tabelle 5.2). Diese Bindungsform ist sowohl in Kali-Einzeldüngern als auch in Mehrnährstoffdüngern vorherrschend. Chloridische Kali-Dünger können für die meisten landwirtschaftlichen Kulturen verwendet werden, Zucker- und Futterrüben sind sogar chloridliebende Pflanzen.

Einige Kulturen, besonders Kartoffeln und Sonderkulturen sowie Pflanzenarten aus dem gärtnerischen Bereich, sind jedoch chloridempfindlich. Hier eignen sich sulfatische Kali-Dünger oder kaliumsulfathaltige Mehrnährstoffdünger, die einen äußerst geringen Chloridgehalt und ausgesprochen niedrigen Salzindex aufweisen. Bei einer Düngung zur Saat bzw. im Keimstadium ist immer der Einsatz von Düngern zu empfehlen, die Kalium in sulfatischer Form enthalten.

Der Schwefelgehalt dieser sulfatischen Kali-Dünger erhält eine zunehmende Bedeutung, da der Schwefel-Eintrag mit Luft und Niederschlägen stark zurückgegangen ist. Der Schwefeldüngebedarf ist dadurch stark angestiegen.

Tabelle 5.2: Zusammensetzung verschiedener Kali-Dünger

Produkt	K ₂ O-Gehalt %	Kali-Form, weitere Nährstoffe
Korn-Kali	40	Kaliumchlorid; 6% MgO, 4% S, 3% Na; Magnesium und Schwefel in Sulfatform, Na als Na-Chlorid
60er Kali gran.	60	Kaliumchlorid
Magnesia-Kainit	11	Kaliumchlorid; 5% MgO, 4% S, 20% Na; Magnesium und Schwefel in Sulfatform, Na als Na-Chlorid
Kaliumsulfat gran.	50	Kaliumsulfat; 18% S, Schwefel in Sulfatform
Hortisul	52	Kaliumsulfat; 18% S, Schwefel in Sulfatform
Patentkali	30	Kaliumsulfat; 10% MgO, 17% S, Magnesium und Schwefel in Sulfatform

Die Kulturen können nach dem Grad ihrer Chloridempfindlichkeit in verschiedene Gruppen eingeteilt werden:

Chlorid-liebend:

Zuckerrübe, Futterrübe, Sellerie, Mangold

Chlorid-verträglich:

Getreide, Mais, Raps, Spargel, Grobkohlarten, Rote Beete, Grünland, Klee gras

Bedingt chlorid-verträglich:

Sonnenblume, Weinrebe, Kernobst, Schwarze Johannisbeere, Pflanz- und Speisekartoffel, Tomate, Radies, Kohlrabi, Feinkohlarten, Erbse, Spinat, Karotte, Lauch, Rettich, Chicoree

Chlorid-empfindlich:

Stärke- und Veredelungskartoffel, Tabak, Rote Johannisbeere, Stachelbeere, Himbeere, Erdbeere, Brombeere, Heidelbeere, Steinobst, Buschbohne, Dicke Bohne, Gurke, Melone, Paprika, Zwiebel, Salat, Frühgemüse, Koniferen, Blumen, Zierpflanzen und alle Unterglaskulturen

Magnesium-Dünger

Für die Magnesiumversorgung der Pflanzen gibt es zwei Möglichkeiten. Einmal kann dem Boden bei der Kalkung Magnesium über magnesiumhaltige Kalkdünger verabreicht werden. In diesen ist das Magnesium in carbonatischer (Kohlensaurer Kalk), oxidischer (Branntkalk) oder silikatischer (Konverterkalk) Bindung vorhanden und geht deshalb unterschiedlich schnell in Lösung. Bei guter Magnesium-Versorgung des Bodens reicht die Löslichkeit der Magnesium-Kalke in der Regel aus. Sie wird umso besser, je mehr von dem Kalk im Boden zur Neutralisierung der Bodensäure verbraucht wird.

Falls eine ausreichende Magnesiumversorgung der Pflanzenbestände nicht gewährleistet werden kann, kommen zu einer gezielten Ernährung der Pflanzen spezielle Magnesiumdünger zur Anwendung. Als Bodendünger wird dafür Kieserit verwendet, bei dem das Magnesium in sulfatischer Form gebunden ist. Kieserit wird gemeinsam mit den Kalirohsalzen (siehe Kali-Dünger) gefördert und aus diesen mit Hilfe eines elektrostatischen Trennverfahrens (ESTA) gelöst. Es hat eine hohe Nährstoffkonzentration (27% MgO), ist gut löslich und versorgt die Pflanze zusätzlich mit Schwefel. Neben Kieserit kann auch Bittersalz ($\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$) eingesetzt werden, um durch eine gezielte Blattapplikation die Pflanzen in kritischen Wachstumsphasen mit Mg zu versorgen.

5.2 Mehrnährstoffdünger

Mehrnährstoffdünger (MND) enthalten mindestens zwei Nährstoffe. Unter Berücksichtigung nur der drei in Kapitel 2 abgehandelten Grundnährstoffe P, K und Mg sowie N (zu N siehe DLG-Merkblatt „N-Düngung effizient gestalten“) lassen sich MND unter praktischen Gesichtspunkten in die Gruppen der Zwei- und Drei-(bzw. Vier-)nährstoffdünger einteilen. Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass sehr viele MND zusätzlich noch Schwefel und einige auch noch/oder andere Haupt- bzw. Spurennährstoffe enthalten können. In Tabelle 5.3 sind die wichtigsten Nährstoffkombinationen zusammengefasst.

Wesentlich für die Beurteilung der Qualität von MND sind die Gehalte und Art der chemischen Bindung der Nährelemente¹¹, ferner die Qualität der Düngerkörner, die sich auf Lagerung, Transport und Streuverhalten auswirkt, sowie die Homogenität der Nährstoffverteilung im Düngerhaufen und zwischen den einzelnen Düngerkörnern. Bezüglich der letztgenannten Qualitätskriterien lässt das Herstellverfahren gewisse Rückschlüsse zu.

Im Wesentlichen finden zwei Herstellverfahren Anwendung:

1. Herstellung durch eine chemische Reaktion und anschließende Granulation bzw. Prillen (→ Komplexdünger)
2. Herstellung durch Mischen verschiedener Basisdünger (überwiegend Nährstoffeinzeldünger) (→ Mischdünger, bulk blends)

11 Sind aus der Deklaration und der Produktbezeichnung/-beschreibung der MND ersichtlich: z. B. Gesamt-N-Gehalt, Anteil Ammonium-, Nitrat- und/oder Carbamid-N, Gesamtgehalte und Gehalte an wasserlöslichem P_2O_5 , MgO und S, Gesamt- K_2O -Gehalt und Kali-Form (K_2O als Kalisulfat, Kalichlorid oder beide Kaliformen)

Tabelle 5.3: Wichtige Nährstoffkombinationen von Mehrnährstoffdüngern (Komplexdüngern) einschließlich Produktbeispielen

in Kombination	Zweinährstoffdünger		Drei- bzw. Viernährstoffdünger	
		Produktbeispiele		Produktbeispiele
mit N	NP	Diammonphosphat (DAP) Monoammoniumphosphat (MAP) Nitrophos® 20+20 YARA NP 20+20	NPK	Nitrophoska® -Produkte YARA NPK-Produkte
		NK		Nitroka® plus
	NMg	YARA Kalkammonsalpeter mit MgO		
ohne N	PK	Thomas-Kali® -Produkte	PKMg	Thomas-Kali® -Produkte
	PMg			
	KMg	Korn-Kali® Patentkali (Kalimagnesia®)		

Ausgehend von diesen Herstellverfahren ergeben sich die in Tabelle 5.4 aufgeführten Unterschiede von Komplex- und Mischdüngern.

Tabelle 5.4: Wichtige Unterschiede zwischen Komplex- und Mischdüngern

Merkmal	Komplexdünger	Mischdünger
Nährstoffhomogenität zwischen den Düngerkörnern	hoch, da alle Nährstoffe in einem Düngerkorn	niedrig, da sehr häufig nur jeweils ein Nährstoff im Düngerkorn
Anzahl Düngerkörner (mit mindestens einem Nährstoff) pro Flächeneinheit	hoch, wobei alle Nährstoffe in einem Düngerkorn enthalten sind	gering (bei Verwendung hochkonzentrierter Nährstoffeinzeldünger als Basisdünger) bis mittel (bei Verwendung von Basisdünger mit geringeren Nährstoffgehalten)
Nährstoffentmischung im Haufwerk, beim Transport und Ausbringen (v. a. bei werfenden Ausbringverfahren)	unmöglich	gering bis hoch (je nach physikalisch-chemischen Eigenschaften der Körner der Basisdünger (z. B. Korngrößenverteilung, Oberflächenbeschaffenheit, Kornhärte, Schüttgewicht))
Streuer-Einstellwerte	vorhanden	selten vorhanden
Flexibilität (Formelspektrum)	eingeschränkt	hoch
Beachtung von Mischungsregeln	entfällt	sehr wichtig, da nicht alle Basisdünger miteinander mischbar sind

Die spezifischen Unterschiede der Anwendung von Ein- oder Mehrnährstoffdüngern sind in Tabelle 5.5 zusammengefasst.

Tabelle 5.5: Spezifische Unterschiede der Anwendung von Ein- und Mehrnährstoffdüngern für die Grunddüngung

	Merkmal	Einnährstoffdünger	Mehrnährstoffdünger
Agronomische Unterschiede	Nährstoffangebot	Anpassung der Nährstoffmengen an den jährlichen Bedarf möglich	jährliche Zufuhr mehrerer Nährstoffe (z.B. Frischphosphat) mit Bilanzausgleich über Fruchtfolge
	Nährstoffangebot in Kombination mit organischer Düngung	gute Anpassung der Nährstoffmengen an den Ergänzungsbedarf	gezielte Auswahl geeigneter Nährstoffkombinationen notwendig
	Nebenbestandteile	selten, da häufig hochkonzentriert	häufig
	Ausbringzeitpunkt	flexibel (Herbst oder Frühjahr)	flexibel (Herbst oder Frühjahr), aber in Kombination mit N-Düngung (→ NPK, NP) meist nur im Frühjahr, dadurch aber häufig sehr gute P-Wirkung („Frischphosphat“) ¹
	Teilflächenspezifische Ausbringung	geeignet (in Abh. von den benötigten Nährstoffen ein oder mehrere Arbeitsgänge notwendig)	geeignet, aber einmalig in Fruchtfolge teilflächenspezifische Applikation von Einnährstoffdüngern notwendig ²
Ökonomische Unterschiede	Lagerbedarf für Grunddünger	mindestens 2 Boxen	Nur eine Box, falls nur eine Sorte benötigt wird
	Anzahl Arbeitsgänge für Grunddüngung	mindestens 2 Arbeitsgänge	nur ein Arbeitsgang (→ Energieeinsparung und Bodenschutz)
	Gleichzeitige Applikation von Grundnährstoffen und N	nicht möglich	möglich (→ NPK, NP), dadurch weitere Einsparungen von Arbeitsgängen und Lagerboxen möglich

¹ Information zum optimalen P₂O₅-Düngungszeitpunkt siehe Kapitel 7.2² teilflächenspezifische Anwendung von Mehrnährstoffdüngern siehe Kapitel 6.5

Aufgrund der starren Nährstoffformeln in Komplexdüngern wird die sich daraus ergebende geringere Flexibilität häufig überbewertet. Aus pflanzenbaulicher Sicht ist es in der Regel nicht notwendig, i) die Gehalte aus der Bodenuntersuchung auf das Komma genau zu berücksichtigen¹² und ii) die Grundnährstoffabfuhr jeder Kultur jährlich auszugleichen. Entscheidend ist vielmehr, dass für jede Kultur jährlich möglichst zum Zeitpunkt des höchsten Bedarfes eine gewisse Menge an Grundnährstoffen verfügbar und die Gesamtnährstoffabfuhr aller Kulturen in der Fruchtfolge über die Fruchtfolge ausgeglichen ist. Zum einen wird damit in der Regel bedarfsgerecht gedüngt und zum anderen verhindert, dass die Gehalte an Grundnährstoffen im Boden absinken. Nur bei Gehalten in Bodenversorgungsstufen D und E ist eine Düngung unterhalb der Abfuhr pflanzenbaulich sinnvoll.

¹² Gehalte unterliegen Schwankungen aufgrund von Probenahmejahr, Probenahmezeitpunkt, Probennehmer und Untersuchungslabor.

Unter Berücksichtigung dieser praktischen Gesichtspunkte lassen sich geeignete Nährstoffformeln mit entsprechenden Merkblättern, Rechenformularen oder Computerprogrammen relativ leicht ermitteln. Diese basieren auf der Bestimmung des voraussichtlichen Nährstoffentzuges der Fruchtfolge (in Abhängigkeit von deren Ertragsniveau) und den Ergebnissen der Bodenuntersuchung sowie der Berücksichtigung von Standortfaktoren und der Nährstoffrücklieferung aus Ernterückständen der Fruchtfolge, Wirtschafts- und Sekundärrohstoffdüngern. Fehlende Mengen an Grundnährstoffen, die nicht ausgeglichen werden können, werden dann durch Einnährstoffdünger zu geeigneten Kulturen einmalig in der Fruchtfolge ausgebracht (Gründe hierfür können sein: gewählte bzw. verfügbare Nährstoffformel, Ertragsschwankungen, bei der Planung nicht vorhersehbare Änderungen der Fruchtfolge).

5.3 P, K und Mg aus organischen Düngern und Fleischknochenmehl

Beim Einsatz der preisgünstigen Wirtschaftsdünger wie Gülle, Gärresten und Geflügelmisten ist zu berücksichtigen, dass der Phosphor in Wirtschaftsdüngern zum Teil organisch gebunden ist. Dieser P-Anteil wird hauptsächlich durch Mineralisation pflanzenverfügbar. Auf niedrig mit P versorgten Böden (Gehaltsklassen A und B) und bei Kulturen mit einem geringen P-Aneignungsvermögen (Mais) sowie unter kühlen Witterungsbedingungen oder bei geschwächten Pflanzenbeständen mit P-Bedarf kann deshalb ergänzend eine P-Düngung mit wasserlöslichen Mineraldüngern erfolgen. Auf ausreichend mit P versorgten Böden und bei normal entwickelten Pflanzenbeständen kann in der Regel auf eine mineralische P-Düngung verzichtet werden (Ausnahme: Unterfußdüngung zu Mais, s. 7.4). Mit der regelmäßigen Bodenuntersuchung wird diese Strategie überprüft.

Die Gehalte an Nährstoffen in diesen Düngemitteln enthält Tabelle 5.6. Diese mittleren Gehalte unterliegen starken Schwankungen. Deshalb ist eine Untersuchung der Nährstoffgehalte vor der Ausbringung für die Düngeplanung sehr zweckmäßig.

Kalium wird grundsätzlich nicht in die organischen Verbindungen der Pflanze eingebaut und ist daher i.d.R. sofort pflanzenverfügbar, also zu 100% anzurechnen.

Die Bewertung der Pflanzenverfügbarkeit von P aus Klärschlämmen wurde wiederholt diskutiert. Entscheidend ist das P-Eliminationsverfahren. Wird P biologisch eliminiert,

so ist die Verfügbarkeit vergleichbar mit der in Wirtschaftsdüngern. In den meisten Kläranlagen wird P jedoch durch Fe- oder Al-haltige Salze bzw. Kalk gefällt. Die Verfügbarkeit der so gebundenen Phosphate für die Pflanze sowie das Verhalten der Fällungsprodukte im Boden ist noch nicht ausreichend geklärt. So zeigen einige Versuche eine sehr gute P-Wirkung, in anderen Untersuchungen ist sie dagegen gering.

Die Empfehlung lautet deshalb, bei der Düngeplanung mit Phosphor aus Ca- bzw. Fe- oder Al- gefällten Schlämmen wie bei den Wirtschaftsdüngern zu verfahren. Wichtig ist dabei, die Entwicklung der P-Gehalte im Boden regelmäßig zu verfolgen.

Tabelle 5.6: Durchschnittliche Nährstoffgehalte von Stallmist, Gülle, Geflügelkot, organischen NP-Düngern und Klärschlamm [kg/t bzw. kg/m³]

	N _{gesamt}	NH ₄ -N	P	K	Mg
Rindermist	5,5	1,2	2,0	9,5	1
Schweinemist	7,5	1,9	3,0	3,5	1,5
Hühnertrockenkot	28,0	10,0	11,5	15,0	3,5
Putenmist	23,0	5,0	9,0	19,0	2,5
Rindergülle (8 % TS)	3,5	1,8	0,7	5,0	0,6
Schweinegülle (8 % TS)	5,3	3,4	1,5	2,5	0,6
Fleischknochenmehl*	70,0	5,0	65,0	3,0	3,5
Kompost	8,5	0,1	1,75	5,0	1,8
Klärschlamm*	30,0	3,5	15,0	3,0	2,3

* in der Trockenmasse

Die Übersicht von Gutser (2008, Tabelle 5.7)¹³ enthält Angaben zur P-Wirkung der verschiedenen organischen P-Düngemittel.

¹³ Vortrag von Dr. Reinhold Gutser bei der Pflanzenbautagung der LWK Niedersachsen am 25.01.2008 in Altwarmbüchen zum Thema „Nährstoff- und Humuswirkungen bestimmen die Vorzüglichkeit organischer Dünger“

Tabelle 5.7: Bewertung der P-Wirkung organischer Düngemittel

Bewertungsmaßstab: Wirkung von wasser- oder citratlöslichen Mineraldüngern			
Bewertung:	+++ gut	++ mittel	+ langsam / ungenügend
Düngemittel	Besonderheiten	Wirkung	
		kurzfristig	langfristig
Gülle (Rind, Schwein)	(Schwein: Phytin-P)	+++	+++
Stallmist (Rind, Schwein)		++	+++
Hühnertrockenkot	Phytin-P 30 – 60 %	++	+++
Fleischknochenmehl	Apatit-P im Knochen	+	++
Kompost	(Ausgangsmaterialien!)	+	++ (+)
Klärschlamm	Fe-, Al-Zusätze		
	ohne	+++	+++
	mit	+	+

Seit dem EU-weiten Verfütterungsverbot von Tiermehl im Jahr 2001 wird zunehmend Fleischknochenmehl als preiswerter organischer NP-Dünger auf dem Markt angeboten. Die beim Schlachten, Zerlegen und Verarbeiten anfallenden Schlachtnebenprodukte – überwiegend in Form von Knochen und nicht verwertbarem Fleisch – werden zu Fleischknochenmehl verarbeitet. Fleischknochenmehl ist als organischer NP-Dünger düngemittelrechtlich zugelassen, wenn die Voraussetzungen nach der EU-Hygieneverordnung und nach der Düngemittelverordnung erfüllt werden.

Im Vergleich zu Stallmist, Gülle und Geflügelkot oder Klärschlamm weist Fleischknochenmehl deutlich höhere Gehalte an Stickstoff und Phosphor auf (Tabelle 5.6). Die chemische Zusammensetzung dieses Naturproduktes ist jedoch nicht konstant, sondern wird vom Verhältnis Knochen zu Fleisch stark beeinflusst. So erhöhen zunehmende Knochenanteile die Phosphor- und reduzieren die Stickstoffgehalte und umgedreht.

Phosphor liegt im Fleischknochenmehl in Form von Calciumphosphat vor. Der vergleichsweise hohe Phosphorgehalt ist daher nur zu einem sehr kleinen Teil von 2% wasserlöslich. Mehr als die Hälfte des Gesamt-P ist zitronensäurelöslich und damit als labiles, relativ leicht verfügbares Phosphat zu bewerten. Der Rest hingegen ist schwer löslich und als stabiles Phosphat nur eingeschränkt verfügbar.

Neben den Gehalten an Stickstoff und Phosphor ist der an Calcium mit ca. 15% beträchtlich, die Kalium- und Magnesiumgehalte hingegen sind gering. Trotz der vergleichsweise hohen Calciumgehalte ist die Neutralisationswirkung von Fleischknochenmehl als sehr gering zu bewerten. Günstig im Vergleich zu mineralischen P-Düngern ist

der extrem niedrige Gehalt an Cadmium zu beurteilen. Eine Anreicherung dieses Schwermetalls im Boden ist auch bei mehrmaliger Düngung im Gegensatz zu einigen Klärschlämmen nicht zu befürchten.

Auf der Grundlage mehrjähriger Gefäßversuche mit den Fruchtarten Mais, Weizen und Kartoffeln kann abgeschätzt werden, dass die P-Wirkung des Fleischknochenmehls auf die Ertragsbildung und die P-Entzüge im Anwendungsjahr deutlich hinter der von wasserlöslichen P-Düngern zurückbleibt. Dabei werden Mineraldüngeräquivalente von 20–50% bezogen auf den Mehrertrag und von 20–40% bezogen auf den Mehrentzug erreicht. Die P-Nachwirkung im Folgejahr ist jedoch beträchtlich. Auf Grund der verzögert einsetzenden P-Wirkung ist der Einsatz von Fleischknochenmehl vorrangig zum Erhalt des P-Versorgungszustandes des Bodens zu empfehlen. Bei akutem P-Mangel bzw. bei sehr niedrigen Bodengehalten sollten zusätzlich wasserlösliche Produkte zum Einsatz kommen, um so den P-Spitzenbedarf in der Jugendentwicklung der Pflanze abdecken zu können. Eine Aufdüngung niedrig versorgter Böden ausschließlich mit Fleischknochenmehl kann nicht empfohlen werden, da die hierfür erforderlichen hohen Aufwandmengen zu einem Stickstoffüberangebot mit Risiken für die Umwelt führen würden. Des Weiteren ist zu beachten, dass die P-Verfügbarkeit von Fleischknochenmehl mit ansteigenden pH-Werten des Bodens abnimmt. Daher ist die Ausbringung nur auf sauren und leicht sauren Standorten empfehlenswert.

Fleischknochenmehl kann zur Strohrotteförderung, zu Winterraps, Winterzwischenfrüchten, Mais, Kartoffeln und Sommergetreide eingesetzt werden.

Die Düngeverordnung (2007¹⁴) sieht für die Ausbringung von Fleischknochenmehl Beschränkungen vor. So ist auf Grünland oder zur Kopfdüngung im Gemüse- und Feldfutterbau der Einsatz verboten. Auf sonstigem Ackerland darf Fleischknochenmehl nur ausgebracht werden, wenn eine sofortige Einarbeitung in den Boden erfolgt. Das ausgebrachte Mehl muss dabei nach der Einarbeitung im Bodenmaterial vollständig abgedeckt sein. Unbedingt sind die Aufzeichnungspflichten bei Einsatz von Fleischknochenmehl zu beachten. Innerhalb eines Monats sind Angaben wie Schlag, Flurstück, Kultur, Art und Menge sowie Nährstoffgehalte, Termin der Ausbringung, Inverkehrbringen sowie Düngemitteltyp aufzuzeichnen.

14 Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung – DüV), neugefasst durch Bek. v. 27.2.2007 I 221

6. Ausbringtechnik für mineralische und organische Dünger

Die stark gestiegenen Preise für mineralische und organische Nährstoffe führen zu einem noch überlegteren Einsatz der entsprechenden Dünger. In diesem Zusammenhang spielt auch die Ausbringtechnik eine große Rolle. Hier hat es in den letzten Jahren bei den Techniken für Mineraldünger-, Mist- und Gülleausbringung erhebliche Fortschritte gegeben.

6.1 Anforderungen an die Ausbringtechnik

Die Anforderungen an die Ausbringtechnik ergeben sich aus rechtlichen Vorgaben sowie aus der Sicht der Düngung, des Umweltschutzes und der Betriebswirtschaft. Wegen der Vielzahl der rechtlichen Vorgaben kann an dieser Stelle nur auf die wichtigsten eingegangen werden, und diese sind in der Düngeverordnung geregelt. Dort ist zum Beispiel aufgeführt, dass Verteiler für organische Dünger, die im Hinblick auf die Dosierung und/oder Verteilung bestimmte Mindestanforderungen nicht erfüllen, ab dem Jahre 2010 nicht mehr eingesetzt werden dürfen. Zu diesen Verteilern zählen zentrale Gülle-Prallverteiler mit nach oben gerichteter Wurfbahn, Drehstrahlregner zur Verregnung von unverdünnter Gülle, Güllewagen mit senkrecht angeordneter Schleuderscheibe und Miststreuer ohne gesteuerte Mistzufuhr zum Verteiler.

Tabelle 6.1: Anforderungen an die Verteilgenauigkeit verschiedener Düngetechniken

	Ausbringtechnik		
	Mineraldüngerstreuer	Flüssigmistverteiler	Miststreuer
ausschlaggebender Nährstoffträger	Mineraldünger	Flüssigmist	Festmist
üblicher Anteil des Nährstoffträgers an Abdeckung des Nährstoffbedarfs	hoch (bis 100%)	mittel (50-75%)	gering (unter 50%)
technischer Aufwand für bessere Verteilung	niedriger	mittel	höher
anzustrebende Verteilgenauigkeit für die Querverteilung			
• in Praxis (VK)	um 10%	um 15%	um 20%
• auf Prüfstand (VK)	um 5%	um 10%	um 15%
anzustrebende Verteilgenauigkeit für die Längsverteilung			
• in Praxis und auf Prüfstand (VK)	um 5%	um 5%	um 5%

Die exakte Dosierung der in den mineralischen und organischen Düngern enthaltenen Nährstoffe ist Voraussetzung, um gezielt düngen zu können. Deshalb sollte es mit der Ausbringtechnik möglich sein, die Düngergabe genau zu bemessen. Voraussetzung dafür ist allerdings, dass die Nährstoffzusammensetzung der Dünger bekannt ist. Das ist in der Praxis nicht immer der Fall. Da die Dosierung immer auch über die Fahrgeschwindigkeit erfolgt und die heutigen Schlepper über fein abgestufte oder sogar stufenlose Getriebe verfügen, ist die Einhaltung der Dosieranforderungen in der Praxis meist kein Problem. Die Einstellung der Geräte und die Kontrolle der Ausbringmenge können durch integrierte Wiegesysteme bzw. Durchflussmesser erleichtert werden.

Größere Schwierigkeiten bestehen dagegen bei der gleichmäßigen Verteilung der Dünger. Ein Maß für die Genauigkeit der Verteilung ist der Variationskoeffizient (VK). Beim Variationskoeffizient handelt es sich um die durchschnittliche gewichtete Abweichung der auf der Fläche verteilten Düngermengen. Je kleiner dieser Wert, desto gleichmäßiger die Verteilung. Welche Anforderungen hier bei den verschiedenen Nährstoffträgern zu stellen sind, ist der Tabelle 6.1 zu entnehmen.

Im Hinblick auf die für verschiedene Ausbringtechniken wünschenswerten Verteilgenauigkeiten sind die höchsten Anforderungen bei Mineraldüngern und die niedrigsten bei Miststreuern zu stellen. Um in der Praxis z.B. mit einem Mineraldüngerstreuer einen Variationskoeffizient für die Querverteilung von etwa 10% zu erreichen, muss dieser Streuer auf dem Prüfstand einen Variationskoeffizienten von etwa 5% einhalten, denn in der Praxis werden immer schlechtere Ergebnisse erzielt als auf dem Prüfstand. Das ist darauf zurückzuführen, dass durch Unebenheiten auf der Fläche und Windeinflüsse das Verteilergeschehen beeinflusst wird und die Streueigenschaften selbst der gleichen Dünger durchaus in einem gewissen Bereich schwanken.

Da die aufgeführten Gründe nicht nur im Zusammenhang mit Mineraldüngerstreuern gelten, sondern auch bei Miststreuern und Flüssigmisttankwagen, sind auch hier die auf dem Prüfstand für die Querverteilung zu fordernden Variationskoeffizienten um etwa 5% niedriger anzusetzen als die für die Praxis zu fordernden. Bei der Längsverteilung braucht dagegen nicht zwischen Praxis- und Prüfstandsanforderungen unterschieden zu werden.

Die unterschiedlichen Anforderungen bei den verschiedenen Techniken ergeben sich, weil

- mit Mineraldüngern häufig der gesamte Nährstoffbedarf abgedeckt wird, während beim Einsatz von organischen Düngern in der Regel noch eine mineralische Ergänzungsdüngung erfolgt,
- mit den Düngetechniken nicht nur Grund-, sondern auch Stickstoffdünger ausgebracht werden und bei Düngern mit einem hohen Anteil schnell wirksamer Stickstoffverbindungen höhere Ertragseinbußen bei ungenauer Verteilung eintreten als bei solchen mit langsamer wirkendem Stickstoff,
- bei den verschiedenen Ausbringetechniken ein unterschiedlicher technischer und damit auch finanzieller Aufwand erforderlich ist, um eine gleichmäßigere Verteilung zu erreichen.

Neben der Dosiergenauigkeit gibt es noch eine Reihe weiterer Aspekte, die im Hinblick auf einen effizienten Einsatz von Düngern zu beachten sind. In Bezug auf die Technik sind hier folgende Punkte zu nennen:

- Kleine Überlappungsbereiche, um am Feldrand optimal düngen zu können (Grenzstreusysteme).
- Einhaltung der eingestellten Ausbringmenge über den gesamten Entlade- bzw. Entleerungsvorgang.
- Weitgehend windunabhängige Verteilung.
- Symmetrische Streubilder, um das Anschlussfahren zu erleichtern.
- Fahrgassentauglichkeit, um unnötige Fahrspuren zu vermeiden.
- Bei Düngern mit Geruchs- und/oder Ammoniakfreisetzungen emissionsarme Ausbringung durch bandförmige Ablage oder Einarbeitung in den Boden.
- Geringer Gesamtleistungsbedarf, wenig Verschleiß und niedrige Kosten.

6.2 Vor- und Nachteile verschiedener Mineraldüngerstreuer

Von den technischen Möglichkeiten zur Ausbringung von mineralischen Düngern spielen in der landwirtschaftlichen Praxis nur die Mineraldüngerstreuer eine größere Rolle. Innerhalb dieser Technik gibt es aber verschiedene Bauarten, so dass die Landwirte letztlich doch aus einem breiten Angebot auswählen können.

Bei den Mineraldüngerstreuern kann zwischen Schnecken-, Pendelrohr-, Scheiben- und Pneumatikstreuern unterschieden werden. In der Praxis werden zur Grunddüngung überwiegend Scheibenstreuer eingesetzt. Wie die verschiedenen Bauarten aus der Sicht eines Landwirts zu beurteilen sind, zeigt die Tabelle 6.2.

Tabelle 6.2: Vergleich verschiedener Mineraldüngerstreuer

	Bauart			
	Schneckenstreuer	Pendelrohrstreuer	Scheibenstreuer	Pneumatikstreuer
Arbeitsbreite	6 – 9 m	12 – 24 m	12 – 48 m	12 – 36 m
Überlappungsbereich	keiner	groß	sehr groß	gering
Verteilgenauigkeit	sehr gut	gut	gut	sehr gut
Windeinfluss auf Streubild	sehr gering	mittel	mittel	gering
Einfluss Düngereigenschaften	gering	groß	groß	mittel
Wartungsaufwand	mittel	gering	gering	mittel
Preis	hoch	niedrig	niedrig	hoch

Schneckenstreuer werden nur noch selten eingesetzt. Sie sind im Vergleich zu den anderen Bauarten unempfindlicher gegenüber unterschiedlichen Eigenschaften verschiedener Dünger und weniger windempfindlich. Beides hat zur Folge, dass mit ihnen staub- und pulverförmige Dünger, wie z.B. Kalke, besonders gut ausgebracht werden können. Hierbei stört auch ihre begrenzte Arbeitsbreite nicht, denn es muss nicht in Fahrgassen gearbeitet werden, und es sind relativ hohe Gaben pro Hektar zu verabreichen.

Relativ gering sind die Unterschiede zwischen Pendelrohr- und Scheibenstreuer. Beide sind relativ preisgünstig sowie pflege- und wartungsarm. Außerdem erreichen sie große Arbeitsbreiten, und ihre Verteilgenauigkeit lässt inzwischen kaum noch Wünsche offen. Lediglich die doch relativ große Auswirkung unterschiedlicher physikalischer Düngereigenschaften auf die Verteilung und die stärkere Windanfälligkeit, besonders bei Düngemitteln mit relativ geringem spezifischem Gewicht, schränken die Einsatzmöglichkeiten etwas ein.

Die Pneumatikstreuer hatten in früheren Jahren schon einmal größere Bedeutung. Als die anderen Bauarten noch deutlich schlechtere Verteilgenauigkeiten erzielten, waren sie für Ackerbaubetriebe häufig die optimale Alternative, um auch bei größeren Fahrgassenabständen exakt düngen zu können. Durch die Verbesserungen insbesondere bei den Scheibenstreuern lohnt eine Investition in Pneumatikstreuer heute erst

bei großem Einsatzumfang und in Gebieten mit überdurchschnittlich hohen Windgeschwindigkeiten. Aufgrund der Zunahme der Betriebsgrößen und des überbetrieblichen Einsatzes der Düngetechnik durch Lohnunternehmer gewinnen die Pneumatikstreuer wieder an Bedeutung.

Aufgrund der Vorgaben der Düngeverordnung kommt der Düngung am Feldrand besondere Bedeutung zu, wenn das Feld an ein Gewässer angrenzt. Es darf dann weder ein direkter Nährstoffeintrag noch ein Eintrag durch Abschwemmung ins Gewässer erfolgen. Bei der Düngerausbringung muss deshalb ein Abstand vom Gewässer gehalten werden, der größer ist als die Wurfweite. Zusätzlich ist bei genau platzierenden Geräten ein Sicherheitsstreifen von einem Meter und bei ungenau platzierenden Geräten von drei Metern einzuhalten. In Hanglagen sind noch deutlich breitere Sicherheitsstreifen einzuhalten. Genau platzierend sind alle Geräte, bei denen die Streubreite der Arbeitsbreite entspricht und Geräte, die mit einer Grenzstreueinrichtung ausgerüstet sind. Diese Vorgaben der Düngeverordnung gelten nicht nur für Mineraldüngerstreuer, sondern auch für Güllewagen und Miststreuer.

6.3 Gülleausbringetechniken im Vergleich

Im Gegensatz zu den Mineraldüngern liegen die Nährstoffe in der Gülle in relativ niedriger Konzentration vor. Das hat zur Folge, dass bei der Ausbringung größere Massen zu transportieren sind. Dort, wo dieser Transport auch noch über größere Entfernungen erfolgen muss, gewinnt das getrennte Ausbringverfahren an Bedeutung. Bei diesem Verfahren wird der Transport zum Feld meistens mit Lkw durchgeführt. Am Feldrand wird die Gülle direkt ins Ausbringfass oder in einen Zwischencontainer umgefüllt. Letzteres macht aber nur Sinn, wenn die zu begüllenden Flächen relativ groß sind, damit der Container nicht ständig umgesetzt werden muss. Das getrennte Verfahren kommt ab Transportentfernungen von etwa 10 km in Betracht. Dann sind die zusätzlichen Kosten für das Umfüllen meistens geringer als die Transportkosteneinsparung durch den Einsatz des Lkws.

Bei der Dosierung der Gülle besteht im Vergleich zu Mineraldüngern häufig die Schwierigkeit, dass die Nährstoffgehalte nicht bekannt sind und/oder sich im Verlauf der Ausbringung von Fass zu Fass ändern. Jährlich durchzuführende Nährstoffanalysen und eine intensive Homogenisierung der Gülle vor der Ausbringung sind deshalb

Grundvoraussetzungen für eine gezielte Düngung mit Gülle. Verbesserungen könnte hier ein neues Dosiersystem bringen, bei dem die Nährstoffgehalte im Güllewagen gemessen werden. In Verbindung mit einem Mengendosiersystem kann hiermit exakt die angestrebte Nährstoffgabe verabreicht werden. Derzeit werden mit dieser Technik erste Praxiserfahrungen gesammelt.

Entscheidend für die exakte Ausbringung der Gülle ist der Gülleverteiler. Hier kann zwischen Breitverteilern, Schleppschläuchen, Schleppkufen, Schleppscheiben und Injektoren unterschieden werden. Einen Überblick über die Vor- und Nachteile dieser Verteiler gibt die Tabelle 6.3.

Tabelle 6.3: Vergleich verschiedener Verteiler von Güllewagen

	Bauart des Gülleverteilers				
	Breitverteiler	Schleppschlauch	Schleppkufe -	Schleppscheibe	Injektor
Arbeitsbreite	10 – 15 m	10 – 30 m	6 – 18 m	4 – 10 m	3 – 8 m
Überlappungsbereich	mittel	keiner	keiner	keiner	keiner
Verteilgenauigkeit	mittel	sehr gut	sehr gut	sehr gut	sehr gut
Windeinfluss auf Streubild	groß	kein Einfluss	kein Einfluss	kein Einfluss	kein Einfluss
Geruchsfreisetzung	groß	mittel	gering	sehr gering	sehr gering
Einsetzbarkeit	kaum eingeschränkt	eingeschränkt	kaum eingeschränkt	eingeschränkt	stark eingeschränkt
Gewicht	gering	hoch	sehr hoch	sehr hoch	sehr hoch
Zugkraftbedarf	sehr gering	mittel	mittel	mittel	mittel – hoch
Preis	niedrig	mittel	hoch	sehr hoch	sehr hoch

Breitverteiler weisen den Vorteil auf, dass sie sowohl auf Grünland als auch auf unbewachsenem und bewachsenem Ackerland einsetzbar sind. Lediglich in höheren Maisbeständen ist der Einsatz problematisch. Vorteilhaft sind außerdem der geringe Wartungsaufwand, das geringe Gewicht und der niedrige Preis. Das alles hat dazu geführt, dass Breitverteiler für Güllewagen, die weniger stark und auf unterschiedlichen Flächen eingesetzt werden, nach wie vor interessant sind. Wenn man sich für einen Breitverteiler entscheidet, sollte es eine Schwenkdüse oder ein Prallkopf sein, weil diese eine einigermaßen genaue Verteilung ermöglichen.

Schleppschlauchverteiler stellen die optimale Technik dar, um Gülle auch bei großen Fahrgassenabständen in stehende Getreidebestände auszubringen. Durch die sehr gute Verteilung lassen sich im Getreidebau Mehrerträge von etwa 2 dt/ha im Ver-

gleich zu Breitverteilern erzielen. Wirtschaftlich interessant werden Schleppschlauchverteiler aber erst, wenn mit ihnen pro m Arbeitsbreite mindestens 150 m³ Gülle pro Jahr ausgebracht werden. Der gravierendste Nachteil der Schleppschlauchverteiler besteht darin, dass sie zur Gülleausbringung auf Grünland nicht geeignet sind.

Schleppkufen- und Schleppscheibenverteiler, die gemeinsam oft als Schleppschuhverteiler bezeichnet werden, hat man speziell auf Grünlandverhältnisse abgestimmt. Inzwischen wurden die Schleppkufen aber so weiterentwickelt, dass sie außer in hohen Pflanzenbeständen überall einsetzbar sind. Sowohl mit den Kufen als auch mit den Scheiben ist eine emissionsarme Ausbringung möglich, weil die Gülle streifenweise ausgebracht und leicht in den Boden eingeritzt wird.

Injektoren arbeiten zwar weitgehend emissionsfrei, sie sind aber lediglich für den Einsatz auf unbewachsenen Ackerflächen geeignet. Nachteilig sind außerdem der hohe Zugkraftbedarf und das hohe Gewicht, das bei Straßenfahrt stört. Die bislang nur relativ geringe Verbreitung dieser Verteiler könnte sich ändern, wenn sich das getrennte Ausbringverfahren stärker durchsetzt und die Injektoren gleich die Stoppel- oder die Saatbettbearbeitung mit erledigen.

6.4 Weiterentwicklungen bei Miststreuern

Stallmist ist ein sehr heterogenes Produkt, dessen physikalische Eigenschaften von Betrieb zu Betrieb in einem weiten Bereich schwanken können. Aber nicht nur zwischen verschiedenen Betrieben, sondern auch innerhalb einer Mistlagerstätte können das spezifische Gewicht und die Nährstoffgehalte des Mistes sehr unterschiedlich sein. Das macht es erforderlich, den Miststapel umzusetzen, um zu einem homogeneren Dünger zu kommen. Leider hat diese doch etwas aufwändigere Maßnahme in der Praxis bislang wenig Verbreitung gefunden. Bei einem Dünger mit so unterschiedlicher und meist unbekannter Zusammensetzung ist eine gezielte Düngung auch mit noch so guter Ausbringtechnik schwierig. Der „Aufbereitung“ des Mistes und der Ermittlung seiner Nährstoffzusammensetzung sollte deshalb mehr Beachtung geschenkt werden.

Bei den Miststreuern selber hat es in den letzten Jahren erhebliche Weiterentwicklungen, insbesondere im Hinblick auf eine genauere Dosierung gegeben. Zum Verteilen werden Streuwerke mit liegenden oder stehenden Walzen und so genannte

Breitstreuwerke, die mit Streutellern arbeiten, angeboten. Über ihre Vor- und Nachteile informiert die Tabelle 6.4.

Tabelle 6.4: Vergleich verschiedener Streuwerke von Miststreuern

	Streuwerk mit		
	liegenden Walzen	stehenden Walzen	Streutellern
Arbeitsbreite	3 – 4 m	6 – 12 m	10 – 24 m
Überlappungsbereich	klein	mittel	groß
Verteilgenauigkeit	schlecht	mittel	gut
Windanfälligkeit	gering	mittel	groß
Materialzerkleinerung	gering	gering	mittel
Wartungsaufwand	gering	gering	mittel
Preis	niedrig	mittel	hoch

Durch den hydraulischen Kratzbodenantrieb in Verbindung mit Stauschiebern konnte erreicht werden, dass während des Entladevorganges immer das gleiche Volumen pro Zeiteinheit den Streuorganen zugeführt wird. Verbessert wurde diese Technik noch dadurch, dass die Fahrgeschwindigkeit bei der Volumendosierung berücksichtigt wurde und dass eine Waage eingebaut werden kann. Mit dieser Technik ist eine gewichtsdozierte und fahrgeschwindigkeitsgeregelter Ausbringung des Mistes möglich.

Miststreuer mit liegenden Walzen sind technisch relativ einfach gehalten und werden zu vergleichsweise niedrigen Preisen angeboten. Aus der Sicht der Düngung ist die relativ geringe Arbeitsbreite ein Problem, weil bei der Ausbringung praktisch Spur an Spur gefahren werden muss. Gerade im Anschlussbereich gibt es aber große Verteilungenauigkeiten. Für die landwirtschaftliche Praxis besser geeignet sind Streuwerke mit stehenden Walzen. Sie erreichen deutlich größere Arbeitsbreiten. Allerdings nimmt mit der zunehmenden Wurfweite dieser Streuer auch die Windanfälligkeit zu. In Punkto Materialzerkleinerung gibt es keine prinzipiellen Vorteile gegenüber liegenden Walzen. Hier kommt es mehr auf die Anzahl und Ausführung der Zinken auf der Streuwalze an.

Die größten Arbeitsbreiten beim Miststreuen lassen sich mit den so genannten Breitstreuwerken erreichen. Diese Streuwerke bestehen aus liegend angeordneten Walzen, die den vom Kratzboden zum Streuwerk geschobenen Mist abfräsen. Durch ein Abdeckblech wird der abgefräste Mist auf darunter liegende Streuteller geleitet und von diesen nochmals zerkleinert und seitlich weggeschleudert. Arbeitsbreiten bis etwa 24 m lassen sich so realisieren. Damit ist der Einsatz in Fahrgassen möglich, und man erhält

weniger Fahrspuren auf dem Acker. Durch die größere Arbeitsbreite ist auch die Ausbringung kleiner Hektargaben einfacher möglich. Die sind z. B. gefragt, wenn nährstoffreicher Geflügelmist ausgebracht werden soll. Ein nach wie vor ungelöstes Problem stellt die Windempfindlichkeit dieser Verteiler dar. Sie wirkt sich besonders stark aus, wenn spezifisch leichter Mist verteilt werden soll.

Generell nimmt die Verteilgenauigkeit bei Überschreiten der für den Streuer bauartbedingt vorgesehenen Streubreite deutlich ab, was sich in einer Zunahme des Variationskoeffizienten bemerkbar macht (Abbildung 6.1)

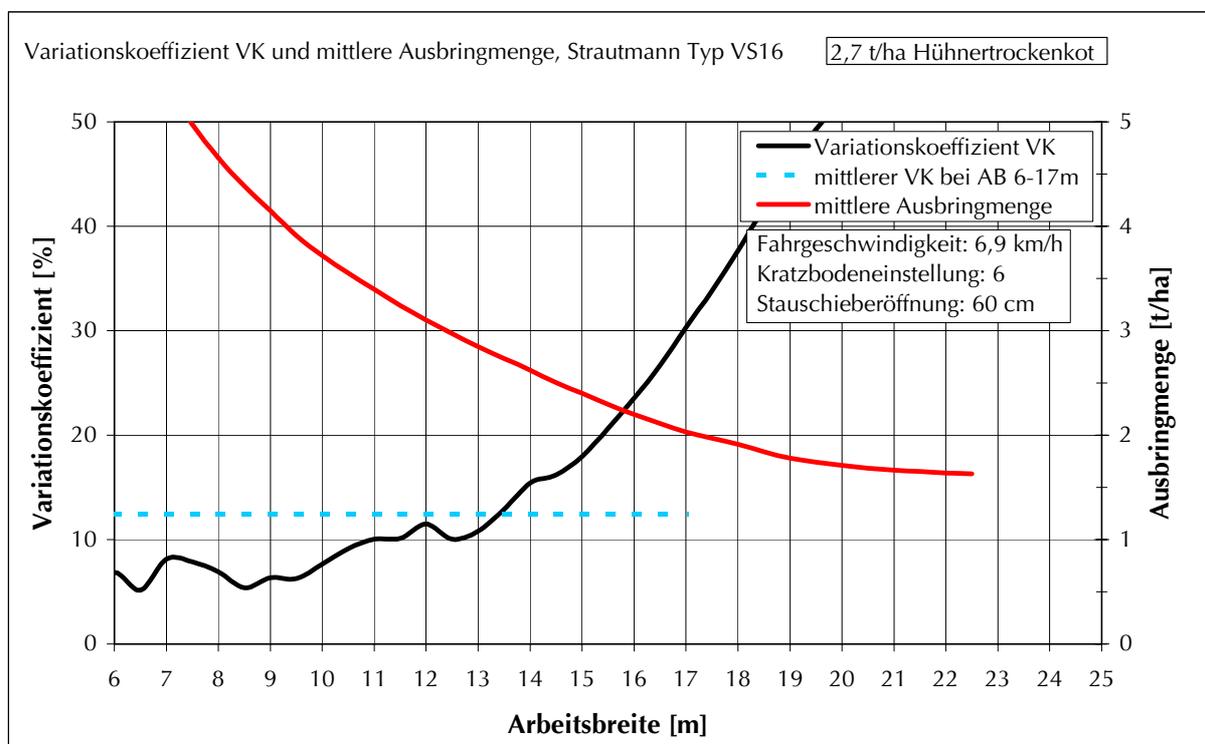


Abbildung 6.1: Mit Überschreiten der bauartbedingten Streubreite nimmt der Variationskoeffizient der Querverteilung zu und die Verteilgenauigkeit ab (Quelle: DLG).

Zusammenfassende Feststellungen

Zur Ausbringung von mineralischen und organischen Düngern werden in der Praxis überwiegend Mineraldüngerstreuer, Güllewagen und Miststreuer eingesetzt. Der Einsatz von Pflanzenschutzspritzen sowie von Zinken- oder Sternradapplikatoren spielt insgesamt nur eine untergeordnete Rolle. Bei den verschiedenen Ausbringetechniken gibt es jeweils mehrere verschiedene Bauarten. Von der Tendenz her geht die Entwicklung in diesem Bereich hin zu den technisch aufwändigeren und damit auch teureren Lösungen. Diese dosieren und verteilen in der Regel exakter. Der Einsatz dieser Tech-

nik ist aus betriebswirtschaftlicher Sicht aber nur vertretbar, wenn eine gute Auslastung erreicht wird. Wo dies einzelbetrieblich nicht möglich ist, kommen überbetriebliche Lösungen in Betracht. Letztere gewinnen deshalb immer stärker an Bedeutung.

6.5 Teilschlagspezifische Düngung

Die getrennte Bewirtschaftung von Teilflächen eines Schlages lohnt sich dann, wenn der Schlag in seiner Bodenbeschaffenheit, in seinen pflanzenverfügbaren Nährstoffgehalten oder in weiteren Eigenschaften so heterogen ist, dass der Aufwand der Teilung des Schlages und einer differenzierten Datenerhebung und Bewirtschaftung der Teilflächen dauerhaft einen finanziellen Mehrertrag gegenüber der einheitlichen Bewirtschaftung des Schlages erbringt. Die erwartete Rentabilität einer teilschlagspezifischen Bewirtschaftung ist daher von den Betriebsverhältnissen abhängig und nur auf Betriebsebene zu ermitteln. Manchmal sind es auch nur Teile eines Betriebes, die eine teilschlagspezifische Bewirtschaftung lohnen. Pauschale Aussagen sind nicht möglich. Grobe Anhaltspunkte, die eine Inbetrachtziehung der teilschlagspezifischen Grunddüngung beziehungsweise Wirtschaftsweise nahelegen, sind Ertragsschwankungen um mehr als 25% um den mittleren Ertrag oder zwei und mehr Gehaltsklassen Unterschied im pH-Wert oder in der Bodennährstoffversorgung auf einem Schlag.

Die beiden Ziele der teilschlagspezifischen Bewirtschaftung sind:

1. Den Faktoraufwand auf allen Teilschlägen wirtschaftlich optimal zu gestalten. Am Beispiel der Grunddüngung kann dies bedeuten, Teilschläge mit mangelhafter Versorgung (zum Beispiel in den Gehaltsklassen A und B) zu düngen und auf Teilschlägen mit pflanzenverfügbaren Bodenvorräten in den Gehaltsklassen D und E die Düngung zu reduzieren oder ganz wegzulassen.
2. Die Ertragsheterogenität so weit wie möglich in Richtung einer Erhöhung des Ertragspotentials zu reduzieren. Dies kann am praktischen Beispiel bedeuten, Teilschläge mit hohen Sandanteilen mit Kompost zu versorgen, um dort die nutzbare Feldkapazität zu erhöhen.

Teilschlagspezifische Bewirtschaftung kann allein aufgrund der heterogenen Nährstoffversorgung betrieben werden. Entscheidet sich ein Betrieb für diese Wirtschaftsweise, wird sie in der Regel auch für andere Fragestellungen herangezogen, wie Kalkung, Beregnungsbedürftigkeit, Bodenbearbeitung, Erosionsvermeidung und andere.

Unterschiede in der Nährstoffversorgung innerhalb eines Schlages haben in der Regel mehrere Ursachen:

1. Bei schlageinheitlicher Grunddüngung kommt es in Bereichen niedriger Erträge wegen der geringen Abfuhr zu einer Nährstoffanreicherung, während sich in Hochertragsbereichen infolge der starken Nährstoffinanspruchnahme allmählich niedrigere verfügbare Gehalte einstellen. Fallen die verfügbaren Vorräte hier zu stark ab, beginnt die nicht mehr optimale Nährstoffversorgung, die Ertragsbildung zu begrenzen (Abbildung 6.2).
2. Unterschiedliche Bodenarten unterscheiden sich deutlich hinsichtlich der Nährstoffverfügbarkeit. So ist Kalium in Sandböden sehr mobil, aber der Vorrat ist aufgrund des Fehlens von Tonmineralen als Zwischenspeicher begrenzt. Auf einem Sandboden ist der Zeitraum, innerhalb dessen Phosphat in die Bodenlösung abgegeben werden kann, bevor der Boden austrocknet, wesentlich kürzer als auf einem Lehmboden – es sei denn, die Wasserversorgung wird durch Beregnung sichergestellt.
3. Der pH-Wert hat einen starken Einfluss auf die Nährstoffverfügbarkeit. Leichte Böden haben einen deutlich niedrigeren optimalen pH-Wert (5,5–6,0) als schwere Böden (6,5–7,0). Gleichmäßige Kalkung über alle Bodenarten führt dazu, dass leichte Böden schnell überkalkt werden. Dann sind Mikronährstoffe wie Mangan, Kupfer und Zink schlechter verfügbar.
4. Bewirtschaftungsbedingte Unterschiede beobachtet man häufig nach der Zusammenlegung von Flächen. Diese lehnen sich scharf an den Grenzverlauf an. Sie dokumentieren, wie unterschiedlich die Vornutzer Kalk und organische Düngung auf ihren Flächen eingesetzt haben.

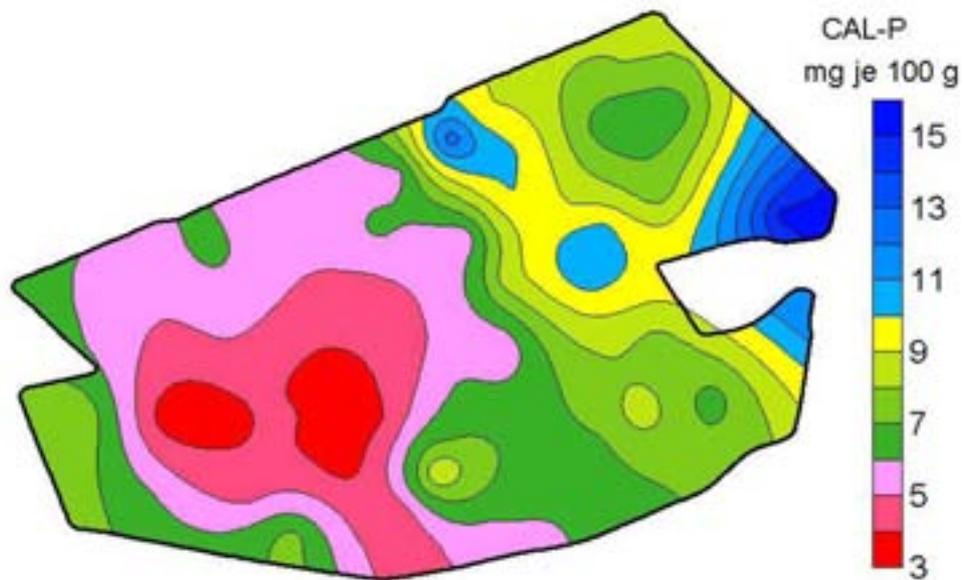


Abbildung 6.2: Beispiel für P-Gehalte eines großen heterogenen Ackerschlag (nach ALBERT)

Eine wesentliche Ursache für die unterschiedliche Nährstoffverfügbarkeit und den unterschiedlichen Nährstoffbedarf stellt also die Bodenart dar.

Um teilschlagspezifisch düngen zu können, sind folgende Voraussetzungen zu erfüllen:

1. Eine Einteilung der in Frage kommenden Schläge in Teilschläge nach definierten Kriterien
2. Bodenuntersuchungsergebnisse und Düngungsempfehlungen exakt von diesen Teilschlägen
3. Technik, um den Dünger teilflächenspezifisch ausbringen zu können

Für eine Einteilung in Teilschläge gibt es folgende Möglichkeiten:

- **Erfahrung des Bewirtschafters.** Betriebsleiter oder Mitarbeiter, die die Felder kennen, können Unterschiede innerhalb der Flächen aufgrund ihrer Erfahrung sehr gut eingrenzen. Wenn möglich, sollte die Aufzeichnung der unterschiedlichen Teilflächen gleich digital durchgeführt werden. In einer Ackerschlagkartei mit GIS-Programm (GIS = Geografisches Informations-System) stehen die Schlagumrisse bereits zur Verfügung, und Werkzeuge zum Unterteilen der Schläge sind vorhanden. Auch mit dem

Programm Google Earth, das im Internet kostenlos zur Verfügung gestellt wird, kann man seine Schläge anhand von Luftbildern aufsuchen und in Teilflächen unterteilen. Es ist sogar möglich, die Ganglinien für die Probenahme einzuzeichnen, abzuspeichern und dem Probenehmer zu überreichen.

- **Bodenleitfähigkeitsmessung.** Dabei werden entweder ein elektrischer Strom (Veris-Messverfahren: zweistufige Messung von 0–30 und 0–90 cm, Abbildung 6.3) oder ein Magnetfeld (EM 38-Verfahren, einstufige Messung von 0–150 cm) in den Boden geleitet. Je höher der Wassergehalt des Bodens ist, desto höher ist die elektrische Leitfähigkeit. Da der Wassergehalt in hohem Maße von der Bodenart und damit vom Tongehalt abhängig ist, gibt sich daraus eine indirekte und relativ grobe Aussage über die vorhandenen Bodenarten.



Abbildung 6.3: Bodenleitfähigkeitsmessung nach dem Veris-Verfahren.

- **Luftbilder.** Bei Luftbildern ist der Aufnahmezeitpunkt entscheidend. Aufnahmen, die Teilflächen erkennen lassen, gelingen meistens in trockenen Jahren bei Getreide nach dem Ährenschieben oder auf unbewachsenem Boden beim Abtrocknen. In Jahren mit ausreichendem Niederschlag werden Teilschläge in der Regel nicht hinreichend abgebildet.
- **Ertragskarten.** Hier gilt das für Luftbilder Gesagte. Die jährliche Variabilität lässt eine Einteilung in Teilschläge nur in begrenztem Rahmen zu.
- **Bodenschätzung.** Allen oben genannten Verfahren ist zu Eigen, dass Bodenunterschiede erfasst werden, aber nicht deren Ursache, also die tatsächlich vorhandene

Bodenart und der Bodenaufbau. Diese Informationen sind jedoch bundesweit in der Bodenschätzung vorhanden. In einer Reihe von Bundesländern liegen die Ergebnisse der Bodenschätzung mittlerweile in digitaler Form vor, so dass sie in geografischen Informationssystemen (GIS) verarbeitet werden können. Die Bodenschätzung ist meistens in einem 50-m-Raster durchgeführt worden und deshalb für die Ausweisung von Teilflächen in der Regel etwas grobmaschig. Deshalb wird sie in der Praxis häufig mit einem fein auflösenden Verfahren wie der elektrischen Bodenleitfähigkeitsmessung zur Hofbodenkarte verknüpft.

- **Hofbodenkarte.** Der Vorteil der Bodenschätzung – genaue Angabe der vorhandenen Bodenart und des Bodenaufbaues – und der Vorteil der elektrischen Leitfähigkeitsmessung – feinräumige Aufnahme von Bodenunterschieden – lassen sich kombinieren, woraus die so genannte Hofbodenkarte entsteht. Sie ist das genaueste und auch am vielfältigsten einsetzbare Instrument zur teilschlagspezifischen Bewirtschaftung, weil aus ihr viele weitere Bodeneigenschaften abgeleitet werden können wie zum Beispiel die nutzbare Feldkapazität zur Bestimmung der Beregnungsbedürftigkeit.

Die Größe der Teilflächen sollte sich in der Regel an die herkömmliche Bodenuntersuchung (vgl. Kapitel 4) anlehnen, also ca. 2–3 ha betragen. Damit ist eine hohe Aussagekraft gewährleistet, und die Bodenuntersuchung stellt eine hoch wirtschaftliche Maßnahme für den Betrieb dar. Eine noch kleinräumigere Auflösung in Parzellen von je 1 ha kann bei sehr heterogenen Bodenverhältnissen (Beispiel: Grundmoräne) sinnvoll sein.

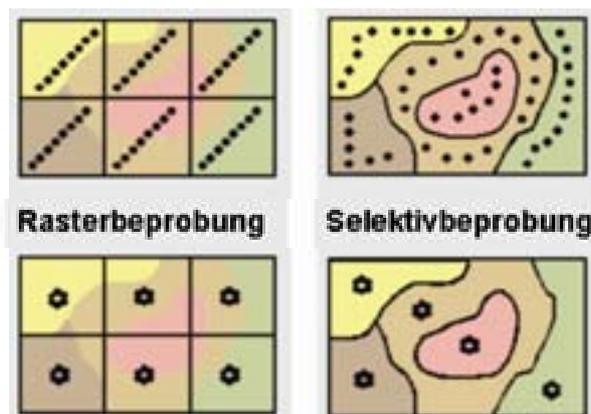


Abbildung 6.4: Verfahren der Raster- und Selektivbeprobung¹⁵

Die Bodenproben werden mittels Selektivbeprobung (Abbildung 6.4) innerhalb der homogenen Teilflächen gezogen. Die Vorgehensweise entspricht der der herkömmlichen Bodenbeprobung mit dem Unterschied, dass im Idealfall die Fahrlinien des Probenahmefahrzeugs oder die Probenahmepunkte bereits vor der Probenahme am Bildschirm festgelegt werden und der Probenehmer sich mit Hilfe eines GPS-Gerätes einfach daran orientieren kann (Abbildung 6.5). Dann ist gewährleistet, dass die Bodenuntersuchungsergebnisse und Düngungsempfehlungen der jeweiligen Teilfläche zugeordnet werden können und wiederholbar sind.

Die Düngungsempfehlungen werden in einem Computerprogramm wie z.B. einem Düngungsplanungsprogramm oder einer Ackerschlagkartei verarbeitet, indem zum Beispiel noch Korrekturen für die Nährstoffrücklieferung durch organische Nährstoffträger oder Ernterückstände eingefügt werden. Dies geschieht entweder durch das Untersuchungslabor, durch einen weiteren Dienstleister oder direkt auf dem landwirtschaftlichen Betrieb. Aus den Düngungsempfehlungen werden Streukarten (auch als Applikationskarten bezeichnet) erzeugt, die in einen Bordcomputer übertragen werden und von dort den Düngerstreuer ansteuern.

Auf Standorten mit ausgeglichenen Nährstoffgehalten (Versorgungsklasse C) kann eine teilschlagspezifische Grunddüngung sinnvoll sein, die sich ausschließlich an den Nährstoffabfuhr orientiert. Die Bemessung der Grunddüngung wird in diesem Fall entweder über Ertragskarten der Vorjahre oder über eine Ertragswartungskarte gesteuert.

¹⁵ aus Hufnagel, J. et al. (2006): Precision Farming. KTBL-Schrift 419, 3.2-62. KTBL, Darmstadt.

Eine teilschlagspezifische Grunddüngung kann man zum einen mit Einzelnährstoffdüngern durchführen. In der Regel ist für jeden Grundnährstoff eine Überfahrt notwendig. Auch mit stickstoffhaltigen Mehrnährstoffdüngern (NPK) ist eine teilflächenspezifische Grunddüngung möglich. Die Grunddüngung wird jährlich mit der ersten N-Gabe im Frühjahr schlageinheitlich ausgebracht. Dabei ist die Nährstoffformel so zu wählen, dass mit der N-Menge auch diejenige P_2O_5 - und K_2O -Menge gedüngt wird, die für die Mehrzahl der Teilflächen geeignet ist. Die eigentliche teilflächenspezifische Grunddüngung erfolgt dann einmalig in der Fruchtfolge mit Einzeldüngern zu geeigneten Kulturen. Dies hat den Vorteil, dass jedes Jahr zum Zeitpunkt des höchsten Bedarfes eine gewisse Menge an Grundnährstoffen gedüngt und das Verfahren für die teilflächenspezifische Düngung nur einmal in der Fruchtfolge angewendet wird. Zur Arbeitserleichterung bei der Auswahl geeigneter NPK für die teilflächenspezifische Grunddüngung sind entsprechende Computerprogramme verfügbar (s. Abschnitt 7.7).

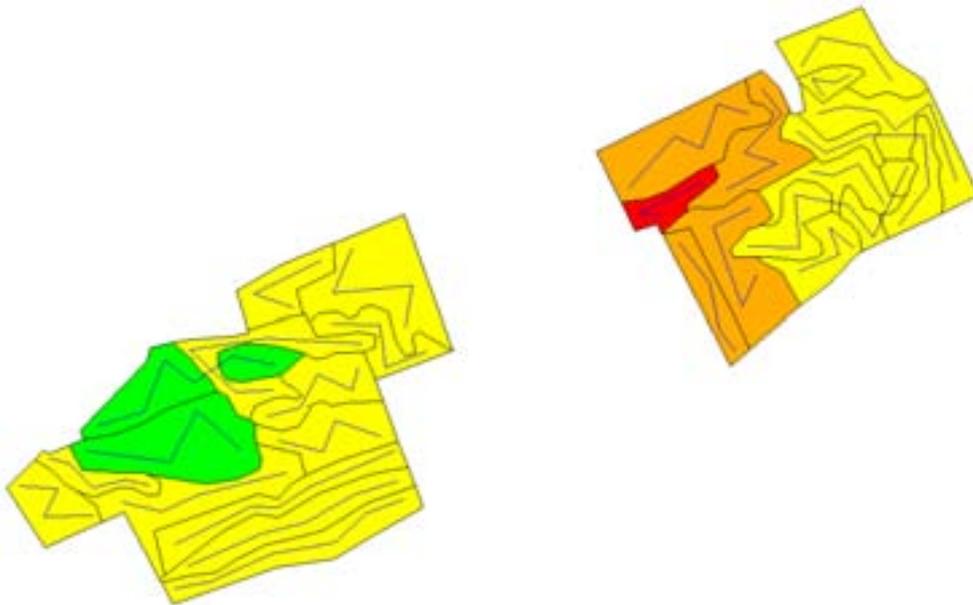


Abbildung 6.5: Hofbodenkarte mit Teilschlägen und Ganglinien des Probenahmefahrzeugs.
Die unterschiedlichen Farben kennzeichnen die Versorgungsklassen für Phosphor
(rot = A; orange = B; gelb = C; grün = D).

Technische Voraussetzungen für die teilschlagspezifische Bewirtschaftung sind auf größeren Betrieben schon vielfach in Form von GPS-Geräten zur Nutzung von Parallelfahreinrichtungen und Bordcomputern zur Ansteuerung von Maschinen vorhanden. Durch die Einführung standardisierter Schnittstellen zur Datenübertragung wie agroXML und isoXML sowie der standardisierten Datensteckdose ISOBUS können die

teilweise noch bestehenden technischen Schwierigkeiten im Hinblick auf den Datenfluss in Zukunft überwunden werden. Einige Ackerschlagkarteien und Düngeplanungsprogramme sind noch nicht in der Lage, auf Teilschlagebene zu arbeiten. Interessierte Anwender sollten sich die Kompatibilität der Hard- und Software, die auf ihrem Betrieb zum Einsatz kommen soll, nicht nur garantieren, sondern auch demonstrieren lassen.

7. Wichtige Fragen zur Düngeplanung

7.1 Düngeysteme: Fruchtfolge- oder jährliche Düngung?

Da die Grundnährstoffe Phosphor und Kalium im Gegensatz zum Nitratstickstoff eher stark an die Oberfläche der Bodenpartikel gebunden sind und nur wenig der Auswaschung unterliegen, besteht die Möglichkeit, diese Elemente nicht jährlich, sondern auch in einem zeitlich größeren Abstand auf Vorrat zu düngen. Ob letzteres ohne Wirkungsverluste möglich ist, hängt von den Eigenschaften des Bodens ab. Auf Sand- und Moorböden kann Kalium in nennenswertem Maße ausgewaschen werden. Auf solchen Standorten sollte die Kaliumdüngung möglichst zeitnah zur Hauptaufnahme des Nährstoffs durch die verschiedenen Kulturen ausgebracht werden.

Auswaschungsverluste sind beim Phosphat mit Ausnahme von organischen Böden (Moorböden) naturgemäß gering. Allerdings wird die mittel- bis langfristige Phosphatverfügbarkeit sehr stark von den Bodeneigenschaften beeinflusst. Im langjährigen Durchschnitt von Feldversuchen der Landwirtschaftlichen Versuchsanstalt Kamperhof auf unterschiedlichen Böden im Bereich der Gehaltsklasse „C“ waren die Ertragsunterschiede der jährlichen Phosphatdüngung im Vergleich zur P-Vorratsdüngung für eine 3jährige Fruchtfolge gering. Am Beispiel eines P-Düngungsversuches auf Schwarzerde wird dies deutlich (Tabelle 7.1). In Einzeljahren konnten jedoch teilweise erhebliche Unterschiede zwischen beiden Düngungsstrategien festgestellt werden.

Tabelle 7.1: Erträge und Mehrerträge durch jährliche P-Düngung und P-Vorratsdüngung. Schwarzerde aus Löß (Kreis Oschersleben); 10 mg P (CAL) bei Versuchsanlage, Durchschnittliche Erträge und Mehrerträge drei verschiedener Kulturen

P-Form	Thomaskali			
	0	50	100	300 für 3 J.
kg P ₂ O ₅ /ha	Ertrag	Mehrertrag (dt/ha) durch P-Düngung		
Ø bereinigter Zuckerertrag (1993, 1997)	113,3	4,6	6,2	7,8
Ø W.Weizen (1994-2001)	98,8	3,1	3,7	3,8
Ø Kartoffeln (1995, 2000)	431,7	29,6	37,8	40,8

Da das Phosphat zahlreichen Festlegungsprozessen im Boden unterliegen kann, sollten im Boden Bedingungen vorliegen oder geschaffen werden, die diesen Prozessen entgegenwirken und das Phosphat möglichst lange in pflanzenverfügbarem Zustand halten (vgl. Kapitel 3.1. u. 7.6).

Gelingt es, die angesprochenen Bodeneigenschaften weitgehend optimal zu gestalten und sind extreme Witterungsbedingungen eher unwahrscheinlich (vgl. 7.2), so können die ökonomischen wie arbeitswirtschaftlichen Vorteile einer P-Vorratsdüngung ohne Minderung der P-Düngeeffizienz genutzt werden. Dann bietet sich die Anwendung zu Hackfrüchten an. Sind dagegen nachteilige Bodeneigenschaften mit einem vertretbaren Aufwand nicht zu verbessern, sollte der jährlichen Düngung der Vorzug gegeben werden. Wichtig ist dabei stets, den Phosphatdünger möglichst zeitnah zur Hauptaufnahme des Nährstoffs in die Hauptwurzelzone auszubringen.

7.2 Düngungstermin: Frühjahrs- oder Herbstdüngung?

Falls eine mineralische P₂O₅-Ergänzungsdüngung notwendig ist, stellt sich die Frage nach dem optimalen Ausbringungszeitpunkt des Düngers bei jährlicher Phosphatdüngung. Wichtig für diese Entscheidung sind zum einen arbeitswirtschaftliche Kriterien und Merkmale wie der Zeitraum der Befahrbarkeit des Bodens. Zum anderen spielen auch pflanzenbauliche Kriterien eine wichtige Rolle, die an Hand von Düngungsversuchen und wissenschaftlichen Erkenntnissen im Folgenden näher betrachtet werden sollen.

Basis hierfür ist eine aktuelle Serie statischer Dauerdüngungsversuche, die seit 1996 in Thüringen, Baden-Württemberg und Bayern auf mittleren bis guten Ackerbaustandorten (Ackerzahl 50–80) durchgeführt werden. Neben zwei P₂O₅-Düngungs-

zeitpunkten (Herbst- bzw. Frühjahrsdüngung) werden noch zwei P_2O_5 -Aufwandmengen (50% bzw. 100% der geschätzten P_2O_5 -Abfuhr) geprüft. Die P_2O_5 -Gehalte im Boden zu Versuchsbeginn lagen in den Bodengehaltsklassen A, B und C. In den Herbstvarianten wurden PK-Dünger auf Basis von teilaufgeschlossenem Rohphosphat (ca. 54% wasserlösliches P_2O_5 , N im Frühjahr als KAS) und in den Frühjahrsvarianten vollaufgeschlossener NPK-Dünger (ca. 66% wasserlösliches, 100% wasser- und citratlösliches P_2O_5) eingesetzt. Die Prüfkulturen waren in der Mehrzahl der bisherigen Versuchsjahre Wintergetreide und Winterraps. Im Mittel von bisher 21 Versuchsjahren im Zeitraum 1996 bis 2005 wurde in der Kontrollvariante ohne Phosphatdüngung ein Kornertrag von 73,6 dt/ha Getreideeinheiten erzielt (Abbildung 7.1).

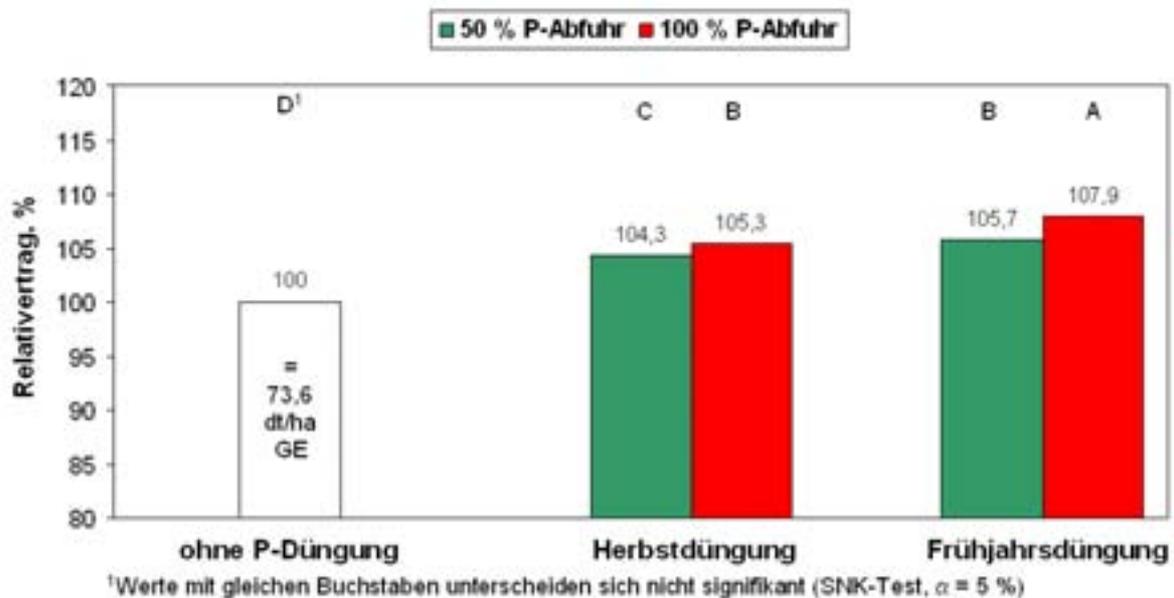


Abbildung 7.1: Einfluss der P-Düngermenge und des P-Düngungszeitpunktes auf den Relativertrag von landwirtschaftlichen Kulturen (Dauerdüngungsversuche, 1996 – 2005, n = 21) (Pasda 2007)¹⁶

Durch eine Phosphatdüngung im Herbst in Höhe von 50% der Abfuhr erhöhte sich der Kornertrag signifikant um 4,3%. Eine weitere Steigerung der P_2O_5 -Düngermenge auf 100% der Abfuhr führte zu einer weiteren signifikanten Ertragserhöhung (+ 1%). Ursachen für eine positive P-Wirkung bei Herbstdüngung könnten zum einen eine Erhöhung der Krankheits- und Frostresistenz und zum anderen eine Verstärkung des Wurzel-

¹⁶ Pasda, G. 2007: Phosphor – Im Herbst oder Frühjahr geben? DLG-Mitteilungen – Beilage Dünger-Magazin Sommer 2007, 10-13.

wachstums sein. Letzteres könnte wiederum zu einem besseren Erschließen der Wasser- und Nährstoffvorräte im Herbst führen. In der oben beschriebenen Versuchsserie wurden entsprechende Merkmale nicht erfasst.

Das Ausmaß der Ertragssteigerung durch eine P-Düngung vor Winter wurde auch von der Kulturart bestimmt. Vergleicht man die Ertragsergebnisse von Getreide mit denen von Winterraps, so zeigte sich, dass bei Winterraps mit der P-Herbstdüngung nur tendenziell ein Mehrertrag von maximal 2,3% erzielt wurde. Für Getreide scheint eine P-Herbstdüngung für die ertragsrelevanten Stoffwechselprozesse vor der Winterruhe im Vergleich zum (früher gesäten) Winterraps deutlich vorteilhafter gewesen zu sein.

Allerdings wurde der beschriebene Effekt einer Phosphat-Düngung im Herbst durch eine Düngung im Frühjahr deutlich übertroffen. So wurde im Vergleich zur P_2O_5 -Herbstdüngung in Höhe von 100% der P-Abfuhr mit einer Applikation im Frühjahr und einer P-Düngungsmenge, die nur 50% der Abfuhr entsprach, fast das gleiche Ertragsniveau erzielt (Abbildung 7.1). Eine Erhöhung der Düngermenge auf 100% der P-Abfuhr führte zu einer weiteren signifikanten Ertragssteigerung (+ 2,6% im Vergleich zu 100% bei P-Herbstdüngung). Bei dieser letztgenannten Versuchsvariante wurden keine Unterschiede in der Ertragsreaktion zwischen Getreide und Winterraps festgestellt.

Ergebnisse aus vergleichbaren Versuchen, die z.B. von der Officialberatung im Rheinland, in Niedersachsen, in Sachsen und in Dänemark durchgeführt wurden, zeigten ebenfalls, dass vielfach die P-Düngewirkung bei einer Frühjahrsanwendung höher war als bei einer Applikation im Herbst.

Als Ursachen für diese Beobachtungen kommen im Wesentlichen zwei Faktoren in Betracht. Zum einen unterliegen Düngerphosphate im Boden Veränderungen: Ein Teil geht mehr oder minder rasch in die Bodenlösung über und wird aus dieser von den Pflanzen zügig aufgenommen. Der größere, von den Pflanzen nicht sofort aufgenommene Teil wird im Laufe der Zeit an Bodenteilchen chemisch gebunden bzw. angelagert (Ausfällung bzw. Sorption). Dieses Phosphat ist zunächst nur locker gebunden und kann wieder gelöst werden. Über die Löslichkeit dieses so genannten labilen Phosphates und damit die Auffüllung des Vorrates in der Bodenlösung entscheiden biologische Aktivität sowie Feuchte- und Temperaturverhältnisse (Abnahme der Löslichkeit durch zum Beispiel Trockenheit und niedrige Bodentemperaturen). Die labilen Phosphate verändern sich aber auch in Richtung unlöslicher Verbindungen. Sie kristallisieren im Laufe der Zeit aus, das heißt sie altern und werden festgelegt. Es entsteht stabiles Phos-

phat, was für die P-Versorgung der Pflanzen praktisch nicht mehr verfügbar ist. Bei diesen Veränderungen spricht man auch vom Prozess der Phosphatalterung. Aufgrund der längeren Verweildauer im Boden der im Herbst ausgebrachten Düngerphosphate sind diese vom Prozess der Phosphatalterung in der Regel stärker betroffen als die, die erst im Frühjahr ausgebracht werden.

Im Herbst gedüngtes Phosphat ist daher für die Entwicklung speziell von Getreide wirksam, scheint aber für den Bedarf während der Hauptwachstumsphase oft nicht im ausreichenden Maß zur Verfügung zu stehen. Der zweite Faktor ist nämlich die Periode des höchsten P-Bedarfes der Pflanzen. Diese liegt in der Hauptwachstumsphase der Pflanzen (Schoßphase). So werden beispielsweise bei Winterraps nur bis zu 20% der Gesamtphosphormenge vor der Winterruhe aufgenommen, der größte Teil dagegen im folgenden Frühjahr. In dieser relativ kurzen Zeitspanne werden je nach Kultur bis zu 2 kg P_2O_5 pro ha und Tag aus der Bodenlösung aufgenommen. Dies setzt zum Bedarfszeitpunkt hohe P-Gehalte in der Bodenlösung voraus, die entweder durch Applikation von wasserlöslichen Düngerphosphaten zu oder kurz vor diesem Zeitraum und/oder durch günstige Umweltbedingungen (z.B. ausreichende Bodenfeuchte, pH-Wert im optimalen Bereich, höhere Bodentemperaturen), die für die Löslichkeit des labilen Phosphates (und damit die Auffüllung des Vorrates in der Bodenlösung) wichtig sind, am besten gewährleistet werden können. Bei ungünstigen Umweltbedingungen kann aufgrund der Phosphatalterung des im Herbst gedüngten Phosphates im Hauptbedarfszeitraum pflanzenverfügbares Phosphat in der Bodenlösung fehlen. Unter diesen Umständen ist der Effekt einer Frühjahrsdüngung auf die Pflanzen größer als der Effekt einer schon länger zurückliegenden Herbstdüngung auf die Pflanzenentwicklung vor Winter (Näheres hierzu in den folgenden Abschnitten).

Für das Ausmaß der Ertragsunterschiede zwischen den beiden P-Düngungszeitpunkten spielen somit die angebaute Kultur und die Umweltbedingungen eine wichtige Rolle, was dazu führt, dass teilweise ein deutlicher Jahreseinfluss beobachtet wird. Im Folgenden wird an Hand einer älteren Versuchsserie gesondert auf die Auswirkungen der beiden wesentlichen Umweltparameter Temperatur und Feuchte im Frühjahr bei ausschließlichem Anbau von Getreide eingegangen.

Bei einer Phosphatdüngung im Herbst und Frühjahr wurde im Vergleich zur Kontrolle bei Herbstdüngung ein Getreidemehrertrag von + 4,1% und bei Frühjahrsdüngung von + 7% festgestellt. Bei Betrachtung der einzelnen Versuchsjahre zeigte

sich, dass die P-Wirkung sehr stark von Jahreseffekten beeinflusst wurde. Sehr deutliche positive P-Wirkungen waren sowohl bei Herbst- als auch (jedoch noch ausgeprägter) bei Frühjahrsdüngung in den Jahren zu beobachten, die sich durch eine nasskalte Frühjahrswitterung auszeichneten (Abbildung 7.2).

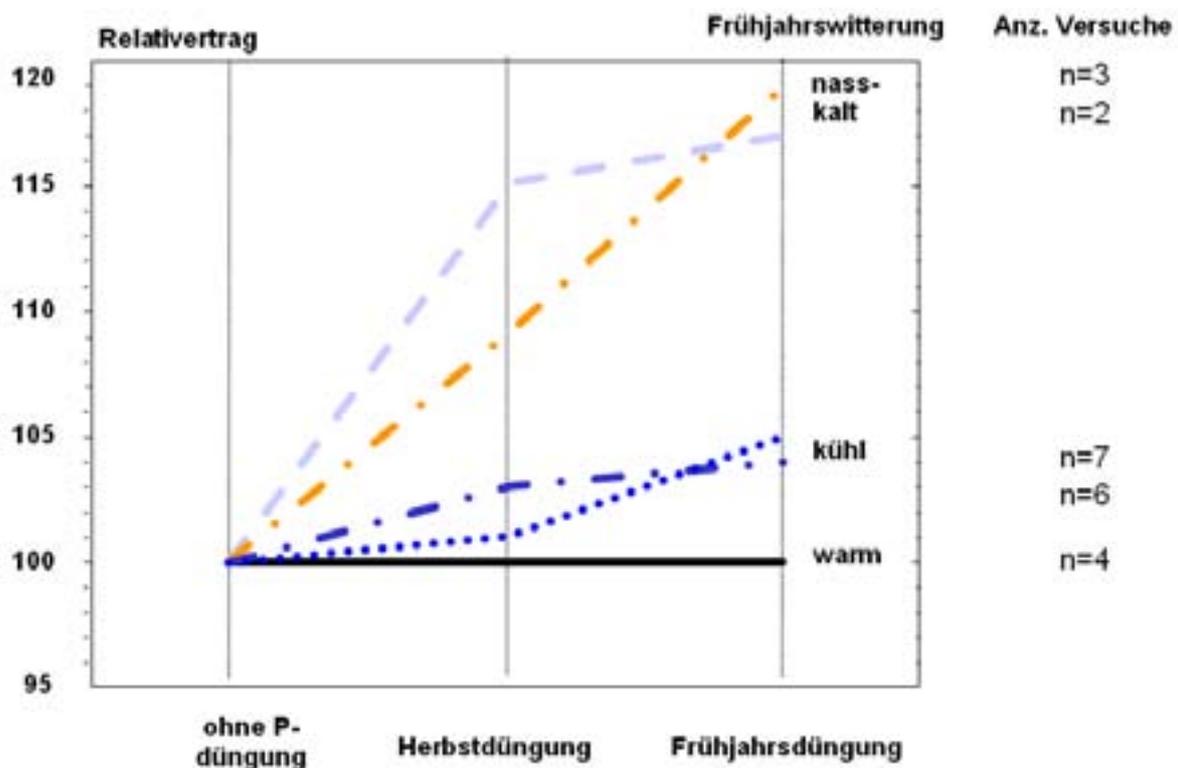


Abbildung 7.2: Einfluss der Frühjahrswitterung auf die Ertragseffekte einer P-Düngung im Herbst bzw. Frühjahr (Pasda 2007)

Auch bei niedrigen Temperaturbedingungen wurde in der Regel bei Frühjahrsdüngung noch eine deutliche P-Wirkung festgestellt.

Fazit: Je kühler und feuchter das Frühjahr ist, umso größer sind die Ertragsunterschiede zugunsten einer P-Frühjahrsdüngung im Vergleich zur Herbstapplikation. Der Jahreseinfluss in oben beschriebener Versuchsserie lässt sich dahingehend zusammenfassen, dass die P-Frühjahrsdüngung ertraglich nie schlechter, aber in der Mehrzahl der Versuchsjahre deutlich besser war als die P-Herbstdüngung.

Häufig wird die Frage gestellt, ob im Frühjahr gedüngtes Phosphat überhaupt schnell genug ertragswirksam werden kann, da P im Boden deutlich weniger beweglich ist als andere Nährstoffe. Daher wird auch häufig empfohlen, dass die Düngerphosphate möglichst nah an die Wurzeln gebracht werden sollten. Dies gelingt bei Winterun-

gen durch eine Herbstdüngung mit anschließender Einarbeitung vor oder mit der Saat. Wie in Abbildung 7.3 zu sehen ist, reicht jedoch die geringe P-Mobilität bei Applikation von Düngerphosphat auf die Bodenoberfläche aus, um ausreichende P-Mengen auch in einer Bodentiefe von 2 bis 5 cm gelangen zu lassen, also dem Bereich, in dem Wintergetreide vor allem das sekundäre Wurzelsystem (Kronenwurzeln) ausbildet.

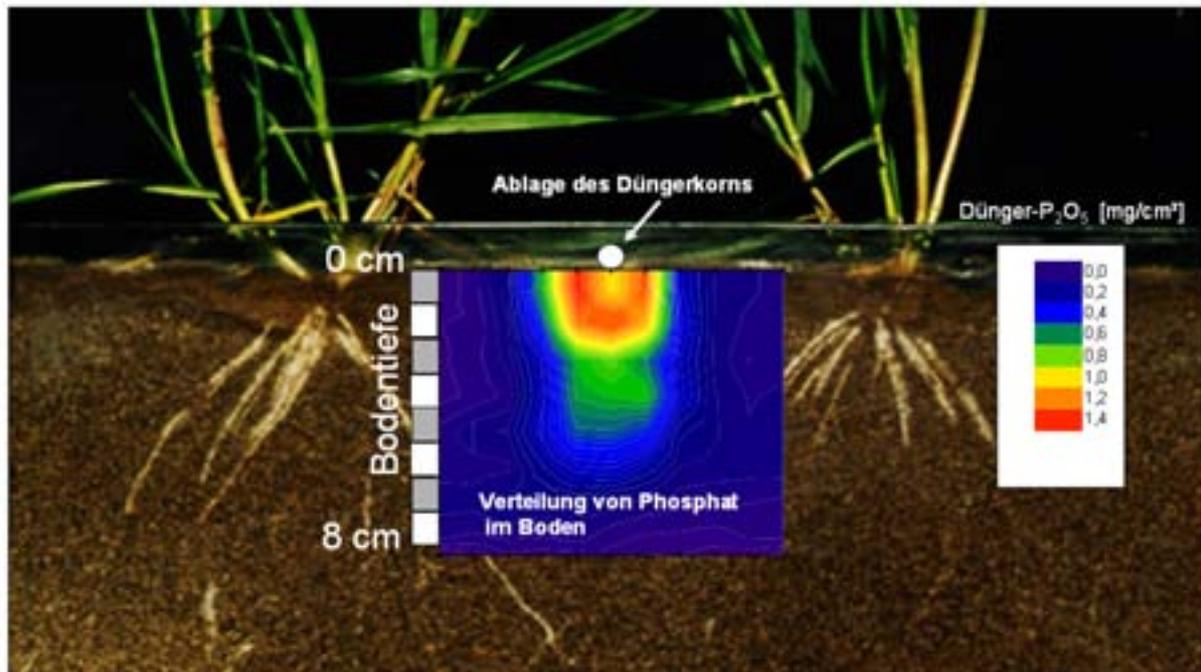


Abbildung 7.3: Verteilung von Phosphat im Boden bei P-Düngung auf die Bodenoberfläche (Pasda 2007)

Aus den Versuchsergebnissen lässt sich schlussfolgern, dass in Zeiten knapper Ressourcen (Arbeitskraft, Zeit, Kapital) im Fall einer Investitionsentscheidung über die Phosphatdüngung nicht nur die Arbeitswirtschaft (entscheidende Kennzahl: Düngungskosten frei Wurzel¹⁷), sondern auch Effekte des besten Applikationszeitpunktes einer Phosphatdüngung Berücksichtigung finden sollten.

Versuche zum Ausbringungszeitpunkt von Kalium und Magnesium zeigen in der Regel keine Ertragsunterschiede zwischen Herbst- und Frühjahrsausbringung. Das gilt auch für Zuckerrüben. Eine Ausnahme hiervon machen Sandböden unter 8% Tongehalt, auf denen diese Nährstoffe ausgewaschen werden können (vgl. Abschnitte 3.3 und 3.4). Lässt sich eine Herbstdüngung nicht vermeiden, sollte auf diesen Böden bei nach-

¹⁷ Durch Zusammenlegung von Düngungsgängen für N, P₂O₅ und/oder K₂O bei Frühjahrsapplikation können die Düngungskosten frei Wurzel unter Umständen günstiger sein als eine getrennte Nährstoffapplikation.

folgender Hack- oder Sommerfrucht unbedingt eine Zwischenfrucht eingeplant werden. Deutlich an Kalium verarmte Böden mit höheren Tongehalten (über 17%) können Kalium stark in den Zwischenschichten der Tonminerale binden und sollten ebenfalls im Frühjahr gedüngt werden. Hier muss man allerdings aufpassen: Da Ammoniumionen den gleichen Durchmesser haben wie Kaliumionen und ebenfalls in den Zwischenschichten der Tonminerale eingelagert werden, sollte Kalium vor Stickstoff gedüngt werden, falls ammoniumhaltige Dünger eingesetzt werden.

7.3 Sehr niedrige Bodenversorgung: Aufdüngung, Erhaltungsdüngung oder gar keine Düngung?

In Kapitel 1 wurde dargestellt, dass in den letzten Jahren der Anteil der Flächen mit hohen Gehalten an P_2O_5 , K_2O und Mg (Bodenversorgungsklassen D und E) teilweise stark abgenommen und der mit niedrigen Gehalten (Bodenversorgungsklassen A und B) entsprechend zugenommen hat. Nach dem aktuellen Schema des VDLUFA sollen Flächen, deren Bodenversorgung in den Klassen A und B liegen, mit einer Menge an Grundnährstoffen abgedüngt werden, die teilweise deutlich über der Abfuhr mit der Ernte liegt, um die Bodengehalte in den Optimalbereich (Bodengehaltsklasse C) zu überführen. Aus wirtschaftlichen Gründen (z.B. auslaufende Pachtverträge, anstehende betriebliche Investitionen, hohe Düngerpreise etc.) ist für viele landwirtschaftliche Betriebe diese Empfehlung jedoch schwer umzusetzen.

Welche Alternativen gibt es? Erste Phosphatdüngungsversuche auf Lehm- bzw. tonigen Lehmböden (Ackerzahlen 43 bis 70) haben gezeigt, dass eine jährliche Düngung mit frischem Phosphat einer Phosphatmeliorationsdüngung zumindest ebenbürtig ist.

In den vergangenen Jahren wurden weitere Versuche von Seiten der Officialberatung bundesweit angelegt. Da sich solche Fragestellungen sinnvollerweise nur in Dauerdüngungsversuchen beantworten lassen und die Laufzeit dieser Versuche erst relativ kurz ist, ist zum jetzigen Zeitpunkt noch keine abschließende Beantwortung der Versuchsfragen möglich. Die bisherigen Ergebnisse lassen sich jedoch wie folgt zusammenfassen:

- Unabhängig von der Bodenversorgung ist eine jährliche Düngung in Höhe der Nährstoffabfuhr mit dem Erntegut besser als eine Unterlassung der Düngung. Dadurch wird sichergestellt, dass zum einen die Abfuhr mit der Ernte ausgeglichen wird und zum anderen die Bodengehalte nicht weiter absinken.
- Bei der jährlichen Düngung ist darauf zu achten, dass die Phosphatdünger über einen relativ hohen Anteil an wasserlöslichem Phosphat verfügen. Das ist auf Böden mit schlechter P-Versorgung wichtiger als auf Böden mit relativ guter P-Versorgung. Erfolgt die Düngung über organische Dünger mit relativ gut verfügbarem Phosphor (Kap. 5.3), ist diese P-Quelle auf gut versorgten Böden ausreichend.
- Auf Lehm- und tonigen Lehmböden zieht eine jährliche Phosphatdüngung in Höhe der Abfuhr im Vergleich zu einer Phosphatmeliorationsdüngung (d.h. Aufdüngung von A bzw. B nach C) keine Ertragseinbußen nach sich. Auf leichten, sandigen Böden kann es nach einer für längere Zeit unterlassenen P-Düngung dauern, bis sich nach Wiederaufnahme der P-Düngung das alte Ertragsniveau wieder einstellt. Dies zeigt ein Versuch auf humosem Sandboden¹⁸ mit gleich hohen jährlichen P-Gaben im Frühjahr bei sehr unterschiedlichem Ausgangsniveau der P-Versorgung. Auch nach 13 Jahren lagen die Erträge der ursprünglich schlecht versorgten Parzellen niedriger als die der anfangs besser versorgten (Abbildung 7.4).

18 Lorenz, F. (2004): Wenn P und K fehlen: So ändern sich Ertrag, Düngbedarf, Nährstoffausnutzung und Bodenvorräte. *VDLUFA-Schriftenreihe 60*, VDLUFA-Verlag Speyer, 705-712.

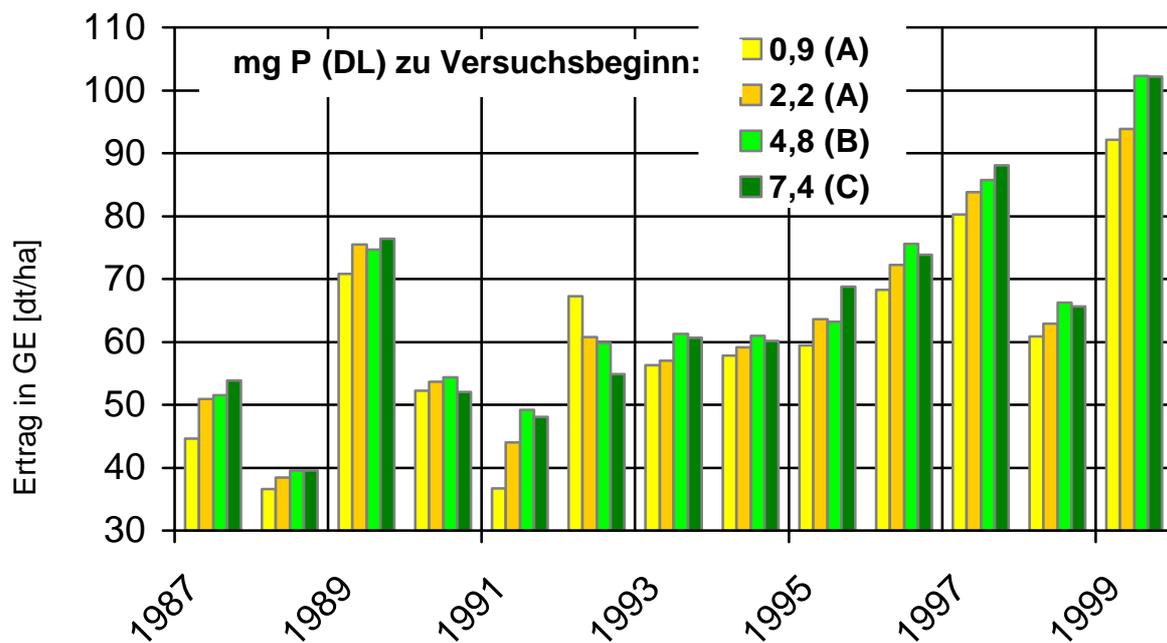


Abbildung 7.4: Erträge bei unterschiedlichem P-Ausgangsniveau und einheitlicher Düngung von 90 kg/ha P_2O_5 auf einem humosen Sandboden

Die Mehrerträge gegenüber der am schlechtesten versorgten Variante betragen im Mittel bis zu 6,3% bei Getreide und 9,0% bei Hackfrüchten. Im Durchschnitt aller Kulturen wurden mit den beiden besser versorgten Varianten mit 4,8 (Versorgungsklasse B) und 7,4 mg P/100 g Boden (Versorgungsklasse C) gegenüber der am schlechtesten versorgten Variante (0,9 mg P/100 g Boden, Versorgungsklasse A) 4,7 dt/ha Getreideeinheiten (GE) mehr geerntet, gegenüber der am zweitschlechtesten versorgten Variante (2,2 mg P/100 g Boden, Versorgungsklasse A) 2,2 dt/ha Getreideeinheiten (GE). Die Bodengehalte sind während des Versuchszeitraumes bei allen Versuchsvarianten angestiegen; die Gehalte der ursprünglich in Versorgungsklasse A angesiedelten Varianten stiegen nach Versorgungsklasse B. Aus den Ergebnissen lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

In diesem Beispiel wäre es unwirtschaftlich gewesen, die Variante, die zu Versuchsbeginn eine P-Versorgung in Höhe der Gehaltsklasse B aufwies, mit deutlich über die P-Abfuhr hinausreichenden P-Gaben auf das Niveau der Versorgungsklasse C aufzudüngen. In Versorgungsklasse B wurden sowohl bei Getreide als auch bei Hackfrüchten dieselben Mehrerträge wie in Versorgungsklasse C erzielt. Eine Erhaltungsdüngung in Höhe der Abfuhr war ausreichend.

In Klasse B keine Erhaltungsdüngung zu geben, ist der Start in eine sehr ungewisse Zukunft – je nach Pufferung des Standortes. Die P-Konzentration in der Bodenlö-

sung kann dann so niedrig werden, dass über Jahre Ertragsminderung zu befürchten ist. Wann dieser Punkt erreicht wird, lässt sich mit dem heutigen Wissen nicht vorhersagen. Dies ist ganz wichtig – sonst droht eine Fahrt ins Ungewisse, nach der sich eine gute Pufferung von der anderen, nämlich unangenehmen Seite zeigt.

7.4 Möglichkeiten zur Verbesserung der Nährstoffeffizienz

Je besser ein Boden mit Phosphat versorgt ist, umso länger bleibt zugefügtes P verfügbar. Sinkt der Phosphatvorrat im Boden in die Gehaltsklassen B und A ab, nehmen die P-Festlegungsmechanismen zu, und der Boden konkurriert mit der Pflanzenwurzel um die Aufnahme verfügbaren Phosphats.

Weitere Bodeneigenschaften, die die Aufnahme des Phosphats beeinflussen, zeigt Tabelle 7.2. Eine Erhöhung oder Verbesserung der links aufgelisteten Eigenschaften bewirkt die rechts aufgeführten Veränderungen der P-Verfügbarkeit.

Tabelle 7.2: Bodeneigenschaften, die die chemische und morphologische Phosphatverfügbarkeit beeinflussen¹⁹

Chemische und räumliche Verfügbarkeit des Phosphats im Boden		
Zunahme von		Bewirkt
Bodenart (Feinanteil)	=>	verbesserte P-Diffusion (P-Mobilität)
Wassergehalt	=>	verbesserte P-Diffusion
Bodenluft	=>	Erhöhung des Redoxpotentials, besseres Wurzelwachstum
Bodendichte	=>	verminderte P-Diffusion, vermindertes Wurzelwachstum
Bodentemperatur	=>	Erhöhung der P-Löslichkeit und der P-Diffusion
Biologische Aktivität	=>	erhöhte Phosphataseaktivität
	=>	Mineralisierung organischer Phosphate
pH-Wert	=>	erhöhte P-Desorption
Durchwurzelungsdichte	=>	Erschließung der Bodenmatrix
Ausbildung von Wurzelhaaren	=>	Vergrößerung der Kontaktfläche Boden-Wurzel
Wurzeltiefgang	=>	Erschließung des Unterbodens

¹⁹ Zusammengestellt nach

- Jungk, A. u. N. Claassen: Availability of phosphate and potassium as the result of interactions between root and soil in the rhizosphere. Z. Pflanzenernaehr. Bodenk. 149, 411-427 (1986)

- Buhse, J., Christa Hoffmann u. A. Jungk: Einfluss von Bodentemperatur und Bodenverdichtung auf das P-Aneignungsvermögen von Zuckerrüben und die P-Verfügbarkeit im Boden. VDLUFA-Schriftenreihe 35, Kongreßband 1992, 155-158 (1992)

Bodenstruktur

Während die Bodenart kaum mit vertretbarem Aufwand geändert werden kann, hat der Landwirt durch eine zielgerichtete Bewirtschaftung des Standorts, über Bodenbearbeitung, Humuswirtschaft, Kalkung und Fruchtfolgegestaltung, vielfache Möglichkeiten, die Bodenstruktur, und damit die Wasserführung, Belüftung und Bodentemperatur, sowie die biologische Aktivität und den pH-Wert, zu beeinflussen.

Wegen der geringen Beweglichkeit des Phosphats im Boden tragen alle Maßnahmen, die eine Verbesserung des Wurzelwachstums bewirken, besonders zu einer Erhöhung der Phosphataufnahme durch die Pflanzen bei. So hat eine Verbesserung der Bodenstruktur eine verbesserte Durchlüftung des Bodens zur Folge, die sich in einer Förderung des Wurzelwachstums der Pflanzen auswirkt. Die Vermeidung bzw. Beseitigung von Bodenverdichtungen trägt zu einer Verbesserung der P-Verfügbarkeit bei (Abbildung 7.5). Auf die Wirkung der Kalkung wurde bereits in Kapitel 3.1 näher eingegangen.

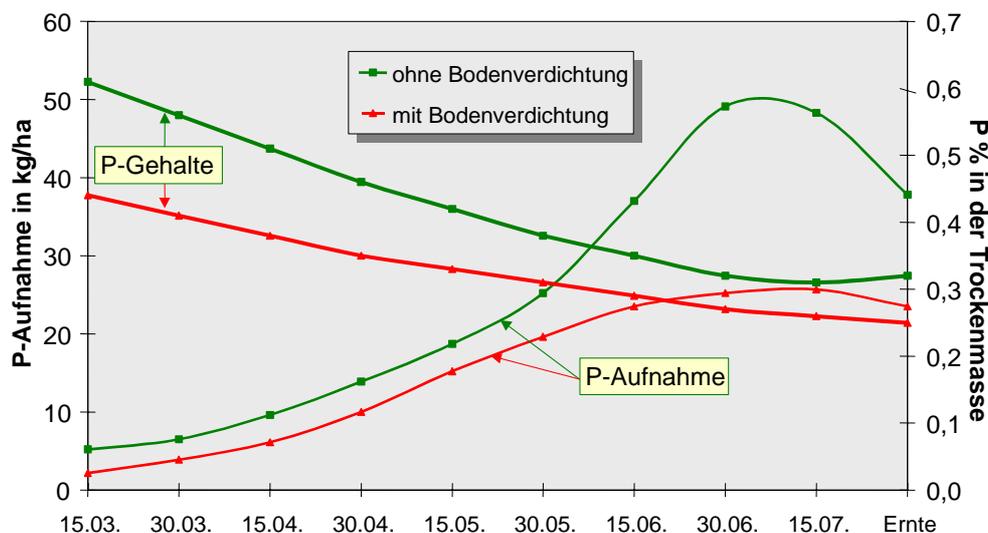


Abbildung 7.5: Einfluss der Bodenverdichtung auf P-Aufnahme und P-Gehalte von Wintergerste bei einem P-Gehalt von 27 mg DL-P₂O₅ /100 g Boden (Versorgungsklasse D) (Albert 1991)

Kombination von organischer und mineralischer Düngung

Seit jeher ist bekannt, dass die Kombination organischer und mineralischer P-Dünger zu einer besseren Ertragswirkung und einer höheren Ausnutzung des Phosphors führt als der jeweilige Dünger alleine. Diese Erscheinung wird als Humateffekt bezeichnet. Auch Versuche jüngerer Datums zeigen dies. Auf einem lehmigen Sandboden wirkten

sowohl Gülle-P als auch Phosphor in Form von Superphosphat ertragssteigernd, jedoch führte die Kombination beider Dünger zu höheren Mehrerträgen (Abbildung 7.6). In einem anderen mehrjährigen Versuch mit Triplesuperphosphat, Rindermist und Biokompost als alleinige P-Dünger war deren Wirkung auf den Ertrag nahezu gleich, übertraf in der Kombination die Einzelwirkung jedoch deutlich (Abbildung 7.7).

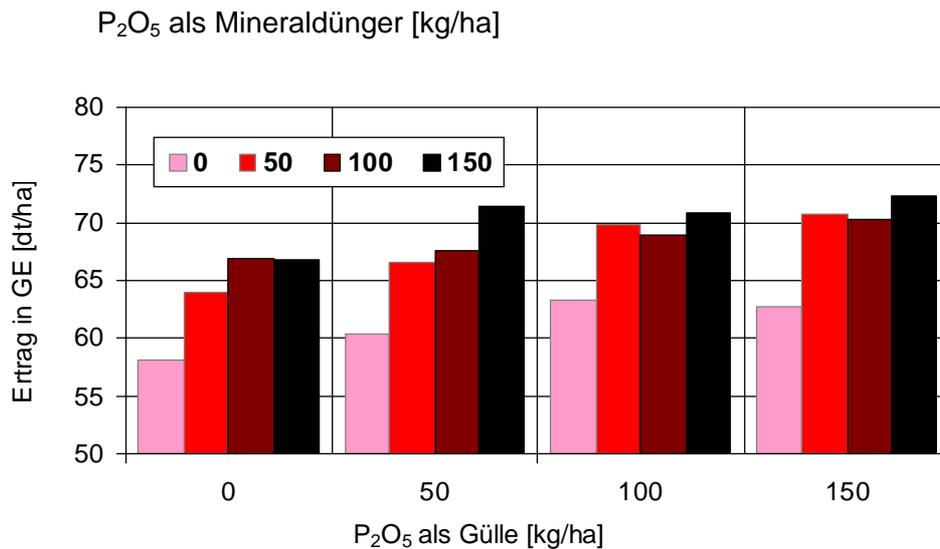


Abbildung 7.6: Ertragswirkung von Gülle- und mineralischem Phosphat, Mittel aus vier Versuchsjahren auf lehmigem Sandboden (Ausgangsgehalt 7 mg P₂O₅ [DL], Versorgungsklasse B) (LUFA Oldenburg, unveröffentlicht)

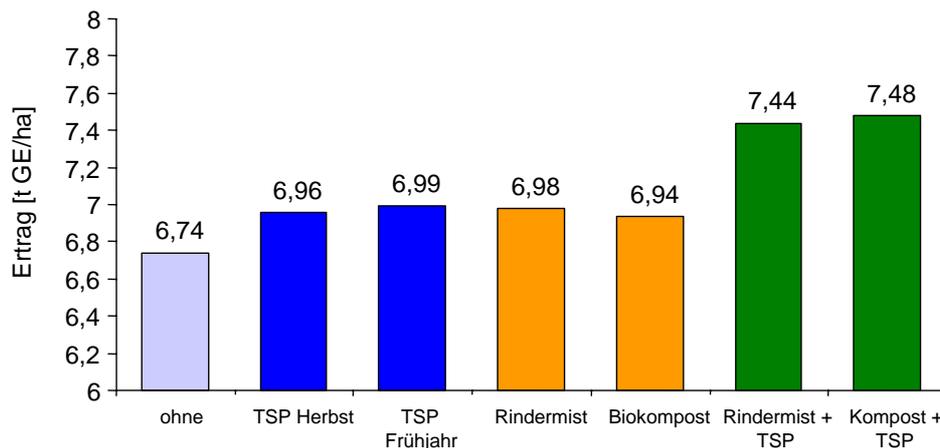


Abbildung 7.7: Ertrag bei unterschiedlicher P-Düngung (Mittel aus 6 Jahren) (Eichler-Löbermann *et al.*, 2007)

Ursache dafür ist die Intensivierung des Bodenlebens durch die organische Düngung. Diese führt zu vermehrter Kohlensäurebildung, die die Löslichkeit der Phosphorverbindungen fördert. Stoffwechselprodukte der Mikroorganismen sorgen ebenfalls für eine

bessere Verfügbarkeit. Zudem bieten die Phosphor enthaltenden organischen Verbindungen im Boden einen gewissen Schutz des Phosphors vor Festlegung als schwerlösliches anorganisches Phosphat. Dies zeigt auch der hohe Anteil von pflanzenverfügbarem P in langjährig organisch gedüngten Böden, der nicht nur auf die verabreichte Menge zurückzuführen ist. Auch eine gut gelungene Zwischenfrucht kann die Verfügbarkeit von P durch die Anregung der Mikroorganismenaktivität verbessern.

Platzierung von Nährstoffen

Eine Möglichkeit zur Steigerung der P-Effizienz kann sein, den Dünger möglichst nahe an der Wurzel und im Bereich der maximalen Durchwurzelungsdichte zu platzieren. Das praxisgängigste Verfahren ist die Unterfußdüngung mit NP-Düngern zur Maisausaat, die in klimatischen Grenzanbaugebieten und auf leichten Böden und auch bei hoher Bodenversorgung stets Mehrerträge bringt. Die reine P-Düngung hat sich als nicht so ertragswirksam erwiesen wie die Kombination aus N und P. Aktuelle Versuche mit dem organischen Mehrnährstoffdünger Gülle als Unterfußdünger zeigen bisher recht gute Erfolge²⁰.

Versuche zu Kartoffeln zeigten bisher bei ausschließlicher Anwendung von N oder P kaum wirtschaftliche Effekte einer Unterfußdüngung, wohl aber bei einer Mehrnährstoffdüngung²¹.

Die Wirkung einer platzierten P-Düngung auf andere Kulturarten ist in Deutschland bisher sehr wenig erforscht. Auch hier beginnt gerade die Versuchstätigkeit. Von einigen Herstellern werden Unterfußdüngungseinrichtungen für Körnerfrucht-Sämaschinen angeboten. Von verschiedener Seite wird deren Einsatz bei nicht wendender Bodenbearbeitung empfohlen, wenn keine vertikale Durchmischung des Bodens erfolgt und sich die Nährstoffe in den oberen cm des Bodens anreichern, in den darunter liegenden jedoch verarmen.

Auch die vertikale Platzierung spielt eine wichtige Rolle. Mit der richtigen Einarbeitungstiefe lassen sich die verfügbaren P-Gehalte auch mit den gängigen Bodenbearbeitungsgeräten deutlich beeinflussen, wie Abbildung 7.8 zeigt. So liegt beim Getreide das Maximum der Durchwurzelung im Entwicklungsstadium Bestockung/Schossbeginn,

20 Lüttmann, G. (2006): Unterfußdüngung mit Gülle. Landwirtschaftsblatt Weser-Ems (12), 21-24.
21 Pickny, J. u. J. Grocholl ((2003): 10 Jahre Unterfußdüngung. Kartoffelbau 54(3), 93-95.

in dem sich P-Mangel deutlich ertragsmindernd auswirkt, in einer Tiefe von 5–15 cm (vgl. Kap. 7.1).

Die P-Düngung in diese Bodenschicht einzuarbeiten, gelingt am ehesten durch eine Stoppeldüngung mit anschließender Stoppelbearbeitung oder durch Einarbeitung der P-Düngung bei der Saatbettbereitung (Grubber, Kreiselegge). Demgegenüber sind Kopfdüngung oder Unterpflügen ohne Stoppelbearbeitung eher nachteilig hinsichtlich der P-Verfügbarkeit zu beurteilen.

Versuchsergebnisse hinsichtlich einer Platzierung von Kalium und Magnesium als Einzeldünger liegen nicht vor. Da die entsprechenden Mineraldünger in der Regel gut wasserlöslich und somit im Boden mobil sind, stellt sich diese Frage eher im Zusammenhang mit der Mehrnährstoffdüngung (s.o.).

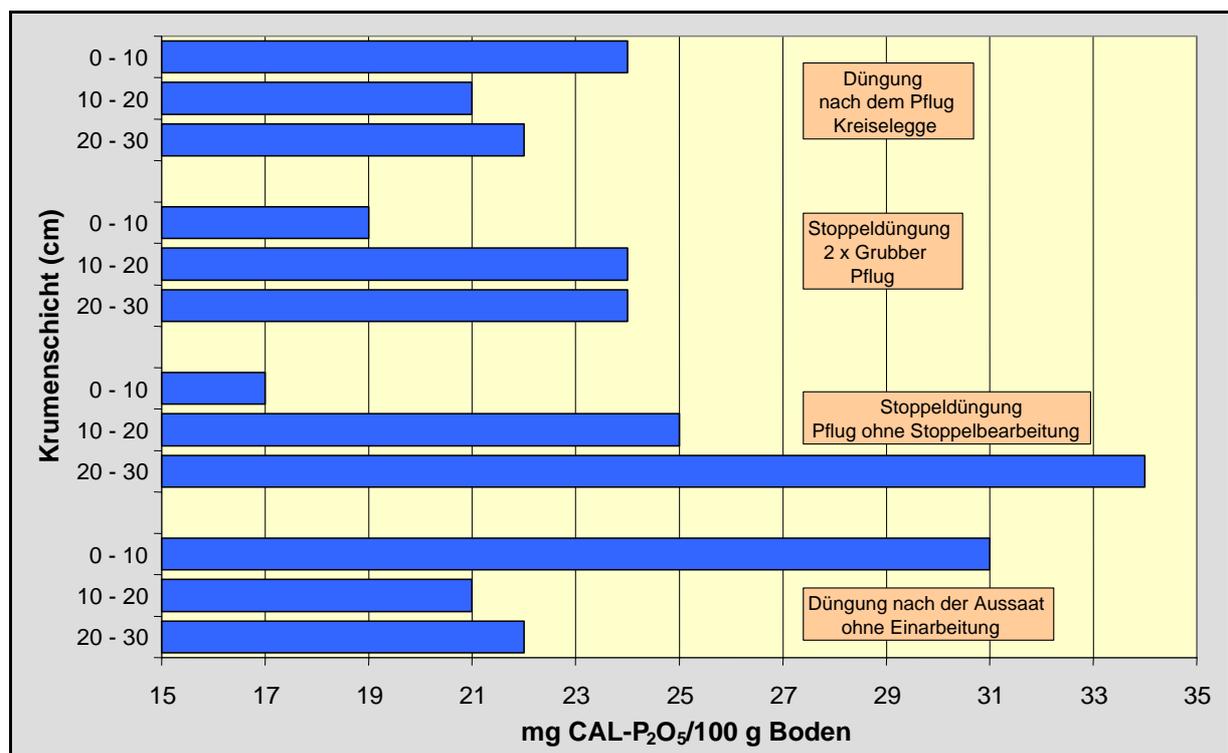


Abbildung 7.8: Einfluss des Düngungszeitpunkts und der Bodenbearbeitung auf die Phosphatverteilung in der Krume (Rex und Breuer, 1994)

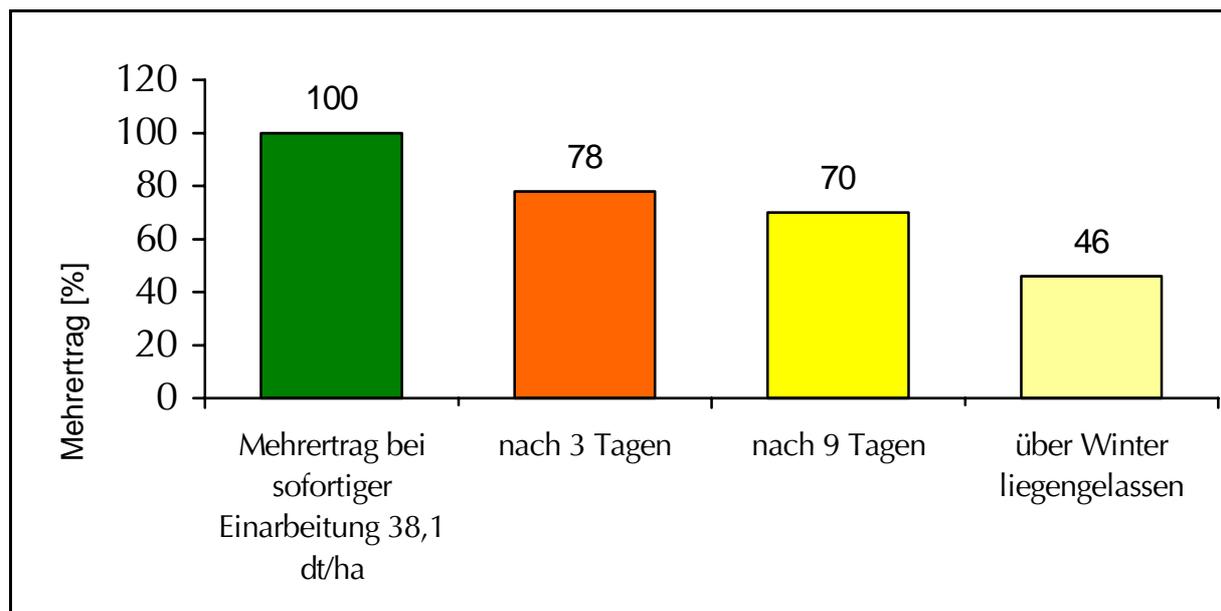


Abbildung 7.9: Ertragswirkung einer Stallmist-Herbstgabe zu Kartoffeln (Liebener 1936, aus: Römer, P. und P. Scheffer (1959): Lehrbuch des Ackerbaues. DLG-Verlag Frankfurt am Main.

Um die Wirkung der organischen Düngung zu verbessern, ist auf unbewachsenem Boden die Einarbeitung sinnvoll, was auch schon sehr alte Versuche zeigen (Abbildung 7.9). Eine flache Einarbeitung bringt bessere Ergebnisse als ein Vergraben des Düngers. Das gilt besonders beim Pflügen wo ein tiefes Wenden des Bodens eine Schichtung verursacht und dann der jungen Pflanze im oberen Bodenbereich nicht genügend Nährstoffe zur Verfügung stehen. Zusätzlich zu einer schlechteren Ausnutzung drohen bei Kopfdüngung und gleichzeitig höheren Temperaturen Ammoniakverluste und beim Einpflügen auf leichten Böden Kaliverluste durch Auswaschung.

7.5 Möglichkeiten der Blattdüngung am Beispiel Magnesium

Eine optimale Versorgung der Pflanzen mit Nährstoffen ist die beste Voraussetzung für hohe Erträge und gute Qualitäten. Unter bestimmten Bedingungen kann aber trotz einer ansonsten ausreichenden Bodenversorgung die Nährstoffaufnahme der Pflanzen für einen bestimmten Zeitraum unterbrochen sein. Dies trifft zu bei:

- Niedriger Nährstoffverfügbarkeit im Boden durch ungünstige chemische Bedingungen
- Ungünstigen Wachstumsbedingungen (Trockenheit, Hitze)

- Absinken der Wurzelaktivität während der reproduktiven Wachstumsphasen (z.B. während der Kornfüllungsphase)

Dann kann insbesondere die Magnesiumversorgung der Bestände ungenügend sein. Gerade das Magnesium wird ständig von den Pflanzen zur Energiegewinnung und damit zur Ertragsbildung gebraucht (s. Kap. 2.1).

Da Magnesium gut über das Blatt aufgenommen werden kann, hat sich eine Blattdüngung mit Magnesium als gut geeignete Maßnahme etabliert, die Magnesiumversorgung auch zu späteren Entwicklungsstadien zu gewährleisten. Wichtig für die Wirksamkeit ist es, gut lösliche Magnesiumverbindungen zu verwenden, da nur diese gut und schnell von den Blättern aufgenommen werden (z.B. Bittersalz $\text{MgSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$).

Für einige wichtige Kulturen sind die kritischen Anwendungszeitpunkte im Folgenden dargestellt.

Getreide:

Zwei kritische Phasen im Wachstumsverlauf des Getreides bestimmen den Anwendungszeitraum von Magnesium: Zu Beginn der Schossphase sowie in der Reife- und Kornausbildungszeit. Um das Fahnenblatt lange in der Grünphase zu halten und damit die Photosynthese sicherzustellen, ist ein hoher Magnesium- und Schwefelgehalt unerlässlich.

Raps:

Die Kreuzblütler reagieren am stärksten und sichtbarsten sowohl auf Magnesium- als auch Schwefelmangel. Die Behandlung als Blattdüngung sollte mehrfach während der Schossphase bis zur Blühphase wiederholt werden

Zuckerrüben:

Eine Blattdüngung mit Magnesium zum Reihenschluss zeigt einen hohen Wirkungsgrad sowohl auf die Ertrags- als auch Qualitätsausbildung der Rüben. Somit kann vor allem der Stickstoff-Stoffwechsel optimal ablaufen; die Qualität der Zuckerrüben wird verbessert.

Kartoffeln:

In der Zeit des Knollenansatzes und der Knollenausbildung – parallel zur Blühphase – hat die Kartoffelpflanze den höchsten Magnesium- und Schwefelbedarf. Die Versorgung über das Blatt hält die Photosyntheserate stabil, sodass in der Zeit der Knollenausbildung keine Mangelsituationen auftreten.

Die Gaben können in mehrere Teilapplikationen aufgeteilt werden und gemeinsam mit Pflanzenschutzmaßnahmen vorgenommen werden. Die Aufwandmenge sollte je nach Bedarf 2- 8 kg/ha MgO betragen.

Eine Blattdüngung mit Kalium und Phosphor ist in Deutschland am ehesten in Kombination mit anderen Nährstoffen oder Pflanzenschutzmitteln und in Mengen gebräuchlich, die nur einen Bruchteil des Gesamtbedarfs einer Kultur ausmachen. Sie sollen also eher Bedarfsspitzen brechen (gegebenenfalls auch akuten Mangel z.B. in Folge von Trockenheit beseitigen) und werden ergänzend zur Bodenversorgung eingesetzt. Akuter Mangel von P, K, und Mg lässt sich bei Vorhandensein von ausreichend Bodenfeuchte in vielen Fällen mit festen Düngern beheben.

7.6 Besonderheiten der Grunddüngung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen

Grundsätzlich gilt für alle Kulturarten, dass der Boden ausreichend mit pflanzenverfügbarem Phosphor, Kalium und Magnesium versorgt sein muss. Die in Tabelle 7.3 kurz aufgeführten Besonderheiten gelten über die bereits in vorausgegangenen Kapiteln gemachten Aussagen hinaus.

Tabelle 7.3: Besonderheiten der Grunddüngung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen (Teil 1)

Kulturart	Phosphor	Kalium	Magnesium
Wintergetreide	30-40 kg/ha P ₂ O ₅ bei sehr schwachen Beständen im Herbst (Wintergerste). Bei geschwächten Beständen im Frühjahr und bei Kälte kann eine Startdüngung sinnvoll sein (Kap. 7.2).		
	Kopfdüngung mit Gülle im Frühjahr gut möglich.		
Winterraps	P-Bedarf im Herbst muss gedeckt sein.		
	Organische Düngung im Herbst sinnvoll. Kopfdüngung mit Gülle im Frühjahr gut möglich.		

DLG-Merkblatt 349: Grunddüngung effizient gestalten

Tabelle 7.3: Besonderheiten der Grunddüngung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen (Teil 2)

Kulturart	Phosphor	Kalium	Magnesium
Sommergetreide	Beste Wirkung bei flacher Einarbeitung kurz vor der Aussaat.		
Zuckerrüben		Positive Wirkung durch natriumhaltige Kalidüngemittel. Kopfdüngung wg. Salzeempfindlichkeit bis 6-Blatt-Stadium vermeiden.	
	Organische Düngung im Herbst zur Zwischenfrucht oder flach eingearbeitet im Frühjahr.		
Kartoffeln	Ausreichende P-Versorgung für Schalenfestigkeit wichtig.	Kalium wirkt wie Stickstoff: <u>zuwenig</u> senkt Ertrag und Qualität genauso wie <u>zuviel</u> . Besonders bei Stärkekartoffeln nur sulfatische Kalidünger verwenden.	Auch als Blattdüngung.
	Organische Düngung im Herbst zur Zwischenfrucht oder flach eingearbeitet im Frühjahr möglich. Aufgrund der verstärkten N-Mineralisation nach org. Düngung und der starken Beeinflussung der Kartoffelqualität durch Stickstoff sollte die Ausbringungsmenge auf max. 2/3 des N-Bedarfs begrenzt und die Restmenge mineralisch ergänzt werden.		
	Unterfußdüngung beim Einsatz von Mehrnährstoffdüngern sinnvoll.		
Mais	Platzierte Unterfußdüngung mit Ammoniumphosphaten zur Förderung der Jugendentwicklung in vielen Lagen erforderlich.		
Grünland	P-Düngung fördert Leguminosen.	K-Düngung fördert Gräser und Kräuter. K-Lieferung aus Gülle berücksichtigen, sonst Gefahr zu hoher Kaligehalte im Grundfutter.	Ergänzende Mg-Düngung im Frühjahr unter kühlen Witterungsbedingungen zur Vorbeugung der Weidetanie.

7.7 Welche Düngeberatungsprogramme gibt es?

In Kapitel 4 wurde ausführlich die Ermittlung des P_2O_5 -, K_2O - und MgO -Düngebedarfs dargestellt. Zur Erleichterung dieser Berechnungen werden von verschiedenen Anbietern bzw. Institutionen entsprechende Computerprogramme angeboten. Teilweise lässt sich mit diesen Programmen auch ein Nährstoffvergleich erstellen.

Tabelle 7.4: Beispiele für kostenlose Computerprogramme zur Ermittlung des P₂O₅⁻, K₂O- und MgO-Düngebedarfs

Anbieter	Bezeichnung des Computerprogramms	Detailinformationen unter
YARA	YARA Plan 7.5	http://fert.yara.de
K+S Kali GmbH	K+S Düngermanager ¹	http://www.kali-gmbh.com
Fertiva		http://www.fertiva.com
LIZ (Landwirtschaftlicher Informationsdienst Zuckerrübe)	LIZ-Dungpro LIZ-Düngungskosten	http://www.liz-online.de/gi/dueng/liz-dungpro.htm http://www.liz-online.de/gi/dueng/duengungskosten.htm

¹ u.a. Nachfolgeprogramm von „DUPSY“
Die Liste erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

In Tabelle 7.4 sind einige Beispiele für kostenlose Programme aufgeführt. Für diese Programme gilt, dass der Nährstoffbedarf nach den Richtlinien der Officialberatung berechnet wird und die damit erstellten Nährstoffbilanzen als Nachweis ordnungsgemäßer Landwirtschaft im Rahmen der Düngeverordnung akzeptiert werden. Ferner werden diese Programme auch laufend den rechtlichen Bestimmungen angepasst.

Auf der Internetseite der DLG findet man unter dem Stichwort „Agrarsoftware“ weitere Düngungsplanungsprogramme von überwiegend kommerziellen Anbietern (<http://www.dlg.org/agrarsoftware>).

8. Zusammenfassung

1. Phosphor, Kalium und Magnesium nehmen nicht nur auf den **Ertrag**, sondern auch auf die **Qualität** der Erzeugnisse von Acker und Grünland deutlichen Einfluss.
2. Die Grunddüngung mit Phosphor, Kalium und Magnesium gewinnt in der Praxis wieder mehr an Interesse, nachdem in reinen Ackerbaubetrieben die **Bodenvorräte** durch lange Zeit unterlassene Düngung abgereichert worden sind und damit die schlechte P- und K-Bodenversorgung zum **ertragsbegrenzenden Faktor** geworden ist.
3. Durch die gleichzeitig immens gestiegenen **Nährstoffkosten** besteht gleichzeitig ein großer Bedarf an einer möglichst **effizienten Nutzung** dieser Nährstoffe.
4. Die **Bodenuntersuchung** und die daraus abgeleiteten **Düngeempfehlungen** sind nach wie vor die Grundlage der Düngebedarfsermittlung. Die Probenahme stellt die Hauptfehlerquelle dar und ist deshalb besonders sorgfältig durchzuführen.

5. Die **Pflanzenanalyse** stellt dann eine wertvolle Hilfe dar, wenn andere Mittel zur Bestimmung der Nährstoffversorgung keine ausreichenden Aussagen liefern.
6. Für die Ausbringung von mineralischen und organischen Düngemitteln steht eine ausgereifte **Technik** zur Verfügung, die eine gleichmäßige Verteilung in Quer- und Längsrichtung erlaubt. Eine höhere Genauigkeit ist teilweise mit höheren Kosten verbunden, die durch höhere Erträge, bessere und gleichmäßigere Qualitäten und/oder geringeren Düngerverbrauch herausgeholt werden müssen. Auf großen, heterogenen Schlägen sollte geprüft werden, ob die **teilschlagspezifische** Bodenuntersuchung und Düngung die Wirtschaftlichkeit verbessert.
7. Da P-Dünger im Boden relativ stark gebunden werden, ist die **Ausnutzung** von Düngern mit einem höheren wasserlöslichen P-Anteil in der Regel höher, wenn diese zu Winterkörnerfrüchten erst im **Frühjahr** verabreicht werden. Das gilt insbesondere dann, wenn der Boden sich nur langsam erwärmt oder das Getreide oder der Raps geschwächt aus dem Winter kommen. In einer Rotation mit **Hackfrüchten** bietet sich die Düngung zur Hackfrucht an, da diese den Phosphor besser ausnutzt als Getreide.
8. Als Düngemittel werden neben **Einzelnährstoffdüngern** auch **Mehrnährstoffdünger** angeboten, die entweder fertig formuliert sind oder vor Ort gemischt werden. Der jeweilige Einsatz hängt stark von der Betriebsstruktur und der innerbetrieblichen Ablauforganisation ab.
9. Nährstoffe aus **wirtschaftseigenen Düngern** wie Gülle, Mist und Hühnertrockenkot sowie Sekundärrohstoffdünger wie Klärschlamm, Fleischknochenmehl und Kompost sind häufig kostengünstiger zu erhalten als Nährstoffe aus Mineraldüngern. Aufgrund der vorgegebenen Nährstoffverhältnisse sind je nach Bedarf einzelne Nährstoffe über Mineraldüngung auszugleichen. Phosphor aus wirtschaftseigenen Düngern wirkt in der Regel gut und noch besser in Kombination mit mineralischer Düngung, jedoch eignet er sich nicht zur kurzfristigen Behebung von Nährstoffmangel. Bei Klärschlamm bestimmt das Fällungsverfahren die P-Wirksamkeit. Fleischknochenmehl verfügt nur bei saurer Bodenreaktion über eine relativ gute P-Löslichkeit. Die Verfügbarkeit von Kalium und Magnesium ist Mineraldüngern vergleichbar.
10. Neben einer optimalen Ausbringtechnik für die unterschiedlichen Düngemittel bietet sich neben anderen Verfahren die **Unterfußdüngung** (insbesondere zu Mais) zur weiteren Verbesserung der Nährstoffeffizienz an.

11. Neuere Versuche zeigen, dass auch bei **niedriger Boden-P- oder K-Versorgung** insbesondere auf mittleren Böden eine **Düngung in Höhe der Abfuhr** ausreicht, um die Erträge zu sichern. Allgemein gilt, dass sich eine **Aufdüngung über die Abfuhr hinaus nur dann rentiert**, wenn langfristig, also über einen Zeitraum von mehreren Jahren, die Spezialkosten der Düngung durch Mehrerträge mindestens ausgeglichen werden. Dies exakt zu prüfen ist Aufgabe eines praxisorientierten Feldversuchswesens.

9. Literaturquellen und Ansprechpartner

Fachbücher

- Amberger, A. 1996: Pflanzenernährung. Ulmer Verlag, Stuttgart
- Bergmann, W. 1986: Farbatlas Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Fischer Verlag Jena
- Bergmann, W. 1993: Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Fischer Verlag Jena
- Breuer, J., V. König, D. Merkel, H.-W. Olf, B. Steingrobe, E. Stimpfl, A.-W. Wissemeier und W. Zorn 2003: Die Pflanzenanalyse zur Diagnose des Ernährungszustandes von Kulturpflanzen – Anwendung in Landwirtschaft, Gemüse- und Obstbau. Agrimedia, Bergen/Dumme
- Finck, A. 1976: Pflanzenernährung in Stichworten. Hirt Verlag, Kiel
- Finck, A. 1989: Dünger und Düngung. Verlag Chemie, Weinheim
- Finck, A. 1991: Düngung – ertragssteigernd, qualitätsverbessernd, umweltgerecht. Ulmer Verlag, Stuttgart
- Finck, A. 2007: Pflanzenernährung und Düngung in Stichworten. Hirts Stichwortbücher, Gebrüder Borntraeger Verlagsbuchhandlung, Stuttgart
- Knittel, K. und E. Albert 2003: Praxishandbuch Dünger und Düngung. Agrimedia, Berge/Dumme
- Hufnagel, J., R. Herbst, A. Jarfe und A. Werner 2004: Precision Farming. KTBL-Schrift 419, KTBL, Darmstadt
- Laegreid, M., O. C. Bockman und O. Kaarstad 1999: Agriculture, fertilizers and the environment. CABI Publishing, Oxon
- Marschner, H. 1995: Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London
- Mengel, K. 1991: Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. Fischer Verlag, Jena
- Mengel, K. und E. A. Kirkby 2001: Principles of plant nutrition. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht
- Schilling, G. 1987 und 1990: Pflanzenernährung und Düngung Teil 1 Pflanzenernährung (1990), Teil 2 Düngung (1987). Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin
- Schilling, G. 2000: Pflanzenernährung und Düngung. Verlag Ulmer, Stuttgart
- Schubert, S. 2006: Pflanzenernährung Grundwissen Bachelor. Ulmer Verlag, Stuttgart
- Sturm, H., A. Buchner und W. Zerulla 1994: Gezielter düngen – integriert, wirtschaftlich, umweltgerecht. DLG-Verlag, Frankfurt/Main

Vetter, H. und G. Steffens 1986: Wirtschaftseigene Düngung. Verlagsunion Agrar, Frankfurt/Main

Zorn, W., G. Marks, H. Heß und W. Bergmann 2007: Handbuch zur visuellen Diagnose von Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Elsevier, München

DLG-Merkblätter

N-Düngung effizient gestalten

Als pdf-Datei herunterladbar unter
www.dlg.org/merkblaetter

Hinweise zur Kalkdüngung

Als pdf-Datei herunterladbar unter
www.dlg.org/merkblaetter

IVA/BAD-Broschüren

Stickstoff – Grundlagen des Stickstoffeinsatzes in der Landwirtschaft

Phosphat und Kali – Bausteine nachhaltiger Ertragsbildung

Mikronährstoffe in der Landwirtschaft und im Gartenbau – Bedeutung – Mangelsymptome – Düngung

Zu bestellen über www.duengung.net (unter www.duengung.net/infomaterial.asp)

Als pdf-Dateien herunterladbar unter www.duengung.net/infomaterial.asp

Standpunkte des VDLUFA:

Phosphordüngung nach Bodenuntersuchung und Pflanzenbedarf

Kalium-Düngung nach Bodenuntersuchung und Pflanzenbedarf – Richtwerte für die Gehaltsklasse C

Pflanzenanalyse zur Diagnose des Ernährungszustandes von Kulturpflanzen in Landwirtschaft, Gemüse- und Obstbau

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

Als pdf-Dateien herunterladbar von www.vdlufa.de
(unter www.vdlufa.de/content/view/21/37)

Internetbasierte Diagnosesysteme für Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen:

NÄHRSTOFFCHECK

www.duengung.net (unter www.duengung.net/diagnoseschluessel.asp)

VISUPLANT

www.tll.de (unter www.tll.de/visuplant/vp_idx.htm)

Links

A Interessenvertretungen:

Industrieverband Agrar (IVA):

www.iva.de

Bundesarbeitskreis Düngung (BAD) im IVA:

www.duengung.net

Verband deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA).

www.vdlufa.de

Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft (DLG)

www.dlg.org

B Firmen:

Alchem Trostberg GmbH

www.alzchem.de

AMI – Agrolinz Melamine International GmbH

www.linzerware.com

Amsterdam Fertilizers Deutschland OHG (amfert)

www.iclfertilizers.com

BASF SE

www.basf.com

COMPO GmbH & Co KG

www.compo.com

DSM Agro Deutschland GmbH

www.dsm-agro.de

fertiva GmbH

www.fertiva.com

www.fertiva-beratung.de

GPN SAS (Grande Paroisse Nitrogen)

www.gpn.fr

INEOS Köln GmbH

www.ineoskoeln.de

K+S Kali GmbH

www.kali-gmbh.com

Kemira GrowHow GmbH

www.kemira-growhow.de

SKW Stickstoffwerke Piesteritz GmbH

www.skwp.de

YARA GmbH & Co KG

www.yara.de

C Öffentliche Einrichtungen

Verband der Landwirtschaftskammern

www.landwirtschaftskammern.de

Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein

www.lwk-sh.de

Landwirtschaftskammer Niedersachsen

www.lwk-niedersachsen.de

Landwirtschaftskammer Hamburg

www.lwk-hamburg.de

Landwirtschaftskammer Bremen

www.lwk-bremen.de

Landesverband Gartenbau und Landwirtschaft Berlin e.V.

Boelckestraße 117, 12101 Berlin

Telefon: (0 30) 786 37 63,

Fax: (0 30) 786 50 85

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

www.landwirtschaftskammer.de

Landwirtschaftskammer für das Saarland

www.lwk-saarland.de

Landwirtschaftskammer Rheinland-Pfalz
www.lwk-rlp.de

LMS Landwirtschaftsberatung
www.lms-beratung.de/

Landesamt für Verbraucherschutz,
Landwirtschaft und Flurneuordnung
des Landes Brandenburg
www.mlub.brandenburg.de

Landesanstalt für Landwirtschaft, Fors-
ten und Gartenbau Sachsen-Anhalt
www.llfg.sachsen-anhalt.de

Sächsische Landesanstalt für Landwirt-
schaft
www.landwirtschaft.sachsen.de

Thüringer Landesanstalt für Landwirt-
schaft (TLL)
www.tll.de

Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen
www.llh-hessen.de

Landwirtschaftliches Technologiezent-
rum Augustenberg (LTZ)
www.ltz-augustenberg.de

Bayerische Landesanstalt für Landwirt-
schaft
www.lfl.bayern.de

D Auswahl überregionaler Unter- suchungslabore für die Boden-, Pflanzen- und Düngemittelanalytik

LUFA Rostock
www.lms-lufa.de

LUFA Nord-West
www.lufa-nord-west.de

LUFA NRW
www.landwirtschaftskammer.de/lufa

LUFA Speyer
www.lufa-speyer.de

Landwirtschaftliches Labor Dr. Janssen
GmbH
www.labor-dr-janssen.de/Start.htm

Eurofins AUA GmbH
<http://www.aua-jena.de/>

Bodengesundheitsdienst GmbH
bisz.suedzucker.de/Bodengesundheitsdienst/

Agrolab GmbH
www.agrolab.de/agrolab/index.php?-lang=de