
Standpunkt

Phosphordüngung nach Bodenuntersuchung und Pflanzenbedarf

Zuständige Fachgruppen:

- I Pflanzenernährung, Produktqualität und Ressourcenschutz
- II Bodenuntersuchung

Bearbeiter:

Prof. Dr. Franz Wiesler, LUFA Speyer

Prof. Dr. Thomas Appel, Technische Hochschule Bingen

Prof. Dr. Klaus Dittert, Georg-August-Universität Göttingen

Prof. Dr. Thomas Ebertseder, Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Freising

Prof. Dr. Torsten Müller, Universität Hohenheim, Stuttgart

Dr. Ludwig Nätscher, Technische Universität München, Freising

Prof. Dr. Hans-Werner Olf, Hochschule Osnabrück

Dr. Martin Rex, FEhS - Institut für Baustoff-Forschung, Duisburg

Dr. Kathlin Schweitzer, Humboldt-Universität zu Berlin

Prof. Dr. Diedrich Steffens, Justus-Liebig-Universität Gießen

Prof. Dr. Friedhelm Taube, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Dr. Wilfried Zorn, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena

Speyer, den 08. März 2018

Impressum

Standpunkt des VDLUFA, 08. März 2018

Herausgeber: Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten e.V. (VDLUFA)
Obere Langgasse 40, 67346 Speyer
Tel.: 06232 - 136 121; Fax: 06232 - 136 122
E-Mail: info@VDLUFA.eu
Internet: <http://www.VDLUFA.de>

Präsident: Prof. Dr. F. Wiesler

Stellungnahmen: Dr. Sven Hartmann, Bundesarbeitskreis Düngung, Frankfurt
Dr. Gerhard Baumgärtel, AK Düngeberatung und Nährstoffhaushalte beim VLK, Hannover
Bundesgütegemeinschaft Kompost, Köln
Dr. Michael Diepolder, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising
Dr. Friedhelm Fritsch, DLR Rheinhessen-Nahe-Hunsrück, Bad Kreuznach
Dorothea Heidecke, LELF Brandenburg, Teltow
Frank Hertwig, K+S KALI GmbH, Kassel
Dr. Dietmar Horn, EUF Arbeitsgemeinschaft, Ochsenfurt
Dr. Andreas Kleeberg, Landeslabor Berlin-Brandenburg, Kleinmachnow
Dr. Heinz-Josef Koch, Institut für Zuckerrübenforschung, Göttingen
Dierk Koch, Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, Kassel
Bernhard Krüsken, Deutscher Bauernverband, Berlin
Dr. Johann Maier, Südzucker AG, Mannheim
Dr. Lutz Meyer, Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt, Halle
Dr. Gebhard Müller, Bodengesundheitsdienst, Ochsenfurt
Dr. Jürgen Reinhold, Förderverband Humus, Zossen
Dr. Harald Schaaf, Landesbetrieb Hessisches Landeslabor, Kassel
Prof. Dr. Günther Schilling, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Dr. Karl Severin, Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Hannover
Dr. Walter Übelhör, Karlsdorf-Neuthard

Gesamtherstellung: VDLUFA, Selbstverlag
Endredaktion: VDLUFA Geschäftsstelle

Die Standpunkte des VDLUFA sind urheberrechtlich geschützt.

Phosphordüngung nach Bodenuntersuchung und Pflanzenbedarf

1 Einführung

Zweck der Düngung ist es, die Ernährung von Nutzpflanzen sicherzustellen und die Fruchtbarkeit des Bodens zu erhalten oder nachhaltig zu verbessern. Dabei sollen Gefahren für die Gesundheit von Menschen und Tieren sowie für den Naturhaushalt vermieden und ein nachhaltiger und ressourceneffizienter Umgang mit Nährstoffen gewährleistet, insbesondere Nährstoffverluste in die Umwelt soweit wie möglich vermieden werden (ANONYMUS, 2017). Der VDLUFA befasst sich seit Langem mit der Entwicklung von Methoden zur Abschätzung des Düngebedarfs der Kulturpflanzen und, als Voraussetzung dafür, mit der Ermittlung von Richtwerten für die anzustrebenden Nährstoffgehalte in Böden. Die Phosphor(P)-Düngeempfehlung wurde letztmalig in den 1990er Jahren überarbeitet und in dem Standpunkt „Phosphordüngung nach Bodenuntersuchung und Pflanzenbedarf“ publiziert (KERSCHBERGER et al., 1997). Die zunehmende Bedeutung von Ressourcen- und Umweltschonung in der Landwirtschaft sowie wirtschaftliche Erwägungen haben seit einigen Jahren eine kritische Diskussion um die dort festgelegten Richtwerte ausgelöst.

Im Folgenden sollen

- (i) das vom VDLUFA entwickelte System der P-Gehaltsklassen noch einmal kurz skizziert,
- (ii) das Erfordernis für eine Anpassung der Richtwerte begründet,
- (iii) neue Richtwerte vorgestellt,
- (iv) notwendige produktionstechnische Anpassungen an die neuen Richtwerte umrissen und schließlich
- (v) Schritte zur Weiterentwicklung von standortangepassten P-Düngebedarfsprognosen abgeleitet werden.

2 P-Düngeempfehlung nach VDLUFA

Durch Düngung sollen nur diejenige Mengen an Pflanzennährstoffen zugeführt werden, die für das Erreichen „optimaler“ Erträge und Qualitäten notwendig, im Boden jedoch nicht ausreichend vorhanden bzw. nicht ausreichend verfügbar sind. Der Düngebedarf hängt demnach vom spezifischen Nährstoffbedarf und dem Nährstoffaneignungsvermögen der jeweiligen Kulturpflanzenart, ihrem standortbedingten Ertragsniveau und dem Gehalt des Bodens an pflanzenverfügbaren Nährstoffen ab.

Der Nährstoffbedarf von Pflanzenbeständen ist aus dem durchschnittlichen Ertragsniveau und dem Mineralstoffgehalt in den Pflanzen relativ einfach und hinreichend sicher abzuleiten. Schwieriger ist die Bestimmung der Gehalte an pflanzenverfügbaren Nährstoffen im Boden. Die landwirtschaftliche Forschung hat sich seit dem 19. Jahrhundert (z. B. VON WOLF, 1864; NEUBAUER und SCHNEIDER, 1923) intensiv mit dem Zusammenhang zwischen den Nährstoff-

gehalten der Böden und dem Düngbedarf beschäftigt und Methoden zur Erfassung der pflanzenverfügbaren Nährstoffgehalte der Böden entwickelt. Als Maß für den pflanzenverfügbaren Phosphor wird heute allgemein der lösliche P-Anteil der Böden zugrunde gelegt, der von den im VDLUFA organisierten Laboren und anderen Institutionen mit Hilfe der CAL-, der DL oder der EUF-Methode in Bodenproben bestimmt wird (VDLUFA 1991a, 2002, 2012). Die P-Düngeempfehlung des VDLUFA basiert auf der Annahme, dass die durch Bodenuntersuchung ermittelten P-Gehalte im Boden in Beziehung zum P-Düngebedarf stehen. Zahlreiche Feldversuche zur P-Düngung haben allerdings gezeigt, dass diese Beziehung nur locker ist und von zusätzlichen Boden- (chemische, physikalische, biologische), Pflanzen- (räumliche Erschließung des Nährstoffvorrats im Boden, Nährstoffmobilisierung, P-Bedarf der Kultur) und Witterungsfaktoren (Niederschläge, Temperatur) beeinflusst wird und es „eine einheitliche, für alle Standorte gleichermaßen gültige Grenze zwischen anzustrebendem und nicht ausreichendem P-Gehalt des Bodens nur eingeschränkt gibt“ (KERSCHBERGER et al., 1997). Diesem Umstand wird bislang durch die Einstufung der Bodenuntersuchungsergebnisse in fünf P-Gehaltsklassen (GK) Rechnung getragen, die jeweils relativ weite Bereiche pflanzenverfügbarer P-Gehalte umfassen, die durch „Richtwerte“ festgelegt sind. Die Höhe der Richtwerte wird aus den Ergebnissen von Feldversuchen abgeleitet.

Eine kurze Erläuterung des P-Gehaltsklassensystems findet sich in Tabelle 1. Daraus geht hervor, dass in der anzustrebenden Gehaltsklasse C eine P-Düngung in Höhe der P-Abfuhr mit den Ernteprodukten erfolgen sollte. Durch diese P-Düngung soll der Optimalertrag erreicht und der P-Gehalt im Boden langfristig erhalten werden. Im Gegensatz zur bisherigen Definition der Gehaltsklasse C sind Mehrerträge durch P-Düngung in Gehaltsklasse C also systemkonform. Die Gehaltsklassen A und B zeigen in der Regel für den Optimalertrag zu geringe P-Gehalte im Boden an. Die P-Düngung sollte im Vergleich zur Gehaltsklasse C erhöht (GK B) bzw. stark erhöht (GK A) sein. Für intensiven Ackerbau sollte mittelfristig eine Aufdüngung bis zur Gehaltsklasse C erfolgen. In den Gehaltsklassen D und E enthält der Boden dagegen in der Regel mehr pflanzenverfügbaren Phosphor als zum Erreichen des Optimalertrages erforderlich ist. In der Gehaltsklasse D kann der Optimalertrag durch eine im Vergleich zur Gehaltsklasse C verminderte Düngung erreicht werden. Bei der exakten Festlegung der Düngungshöhe in der GK D sollten Standort- und Pflanzenfaktoren berücksichtigt werden, welche die P-Verfügbarkeit beeinflussen. In der Gehaltsklasse E ist in der Regel keine P-Düngung erforderlich.

In allen Gehaltsklassen kann die für eine Fruchtfolge berechnete Gesamt-Düngermenge so aufgeteilt werden, dass zu den bedürftigen Kulturen ein höherer Anteil ausgebracht wird, während die Düngung der weniger bedürftigen Kulturen reduziert wird.

Tabelle 1: Gehaltsklassen (GK) für pflanzenverfügbaren Phosphor im Boden, P-Düngeempfehlung in den Gehaltsklassen sowie zu erwartende Wirkung einer P-Düngung auf den Pflanzenertrag und die Entwicklung der P-Gehalte im Boden.

GK	Definition	
A	P-Gehalt im Boden: P-Düngeempfehlung: Düngewirkung auf Ertrag: Düngewirkung auf P-Gehalt im Boden:	sehr niedrig stark erhöht im Vergleich zu GK C Erreichen des Optimalertrags steigt deutlich an
B	P-Gehalt im Boden: P-Düngeempfehlung: Düngewirkung auf Ertrag: Düngewirkung auf P-Gehalt im Boden:	niedrig erhöht im Vergleich zu GK C Erreichen des Optimalertrags steigt an
C	P-Gehalt im Boden: P-Düngeempfehlung: Düngewirkung auf Ertrag: Düngewirkung auf P-Gehalt im Boden:	optimal nach Abfuhr Erreichen des Optimalertrags* bleibt erhalten
D	P-Gehalt im Boden: P-Düngeempfehlung: Düngewirkung auf Ertrag: Düngewirkung auf P-Gehalt im Boden:	hoch vermindert im Vergleich zu GK C Sicherung des Optimalertrags nimmt langsam ab
E	P-Gehalt im Boden: P-Düngeempfehlung: Düngewirkung auf Ertrag: Düngewirkung auf P-Gehalt im Boden:	sehr hoch keine keine nimmt ab

* Die Wirkung der P-Düngung auf den Ertrag stellt eine Modifikation im Vergleich zur bisherigen Definition der Gehaltsklasse C dar, nach der in der Gehaltsklasse C ein „geringer Mehrertrag“ durch Düngung erzielt werden sollte.

3 Veranlassung für die Anpassung der Richtwerte

Das vom VDLUFA etablierte System der Gehaltsklassen für die Bewertung der Nährstoffverfügbarkeit im Boden wurde in regelmäßigen Abständen überprüft und insbesondere im Hinblick auf die Festlegung der Richtwerte für die fünf Gehaltsklassen mehrfach modifiziert. So wurden die Richtwerte für Phosphor in der damaligen Bundesrepublik zunächst erhöht und ab den 1980er Jahren wieder abgesenkt. Ursache bzw. Hintergrund für die jeweiligen Anpassungen der Werte waren Änderungen der ackerbaulichen Praxis, wie z. B. der Bodenbearbeitung sowie die Berücksichtigung aktualisierter wissenschaftlicher Auswertungen langjähriger Versuchsreihen bzw. zusätzlicher Versuchsergebnisse, die insbesondere seit der deutschen Wiedervereinigung zur Verfügung standen. Auch Änderungen der politischen und der rechtlichen Rahmenbedingungen, insbesondere die stärkere Berücksichtigung von Umweltzielen in der Landwirtschaft, spielten eine wesentliche Rolle. Erste Bestrebungen, die P-Düngeempfehlung des VDLUFA aus dem Jahre 1997 (KERSCHBERGER et al., 1997) zu evaluieren und ggf. zu modifizieren, fanden auf der Herbstsitzung der FG I im Jahre 2009 in Karlsruhe statt. Schließlich wurden in einer gemeinsamen Sitzung der Fachgruppe „Pflanzenernährung, Produktqualität und Ressourcenschutz“ (FG I) mit der Fachgruppe „Bodenuntersuchung“ (FG II) im März 2014, einer weiteren Sitzung der FG I im September 2015 sowie mehreren Sitzungen einer eingesetzten Projektgruppe (April 2014, März 2015, November 2015) die aktuell verfügbaren und umfassend ausgewerteten langjährigen P-Düngungsversuche auf Acker und Grünlandstandorten in Deutschland sowie andere aus der Literatur vorliegende Ergebnisse vorgestellt und im Hinblick darauf diskutiert, ob die aktuellen Richtwerte für die Gehaltsklasse C noch aufrecht erhalten werden können. Die Ergebnisse dieses Prozesses wurden in einem Positionspapier des VDLUFA veröffentlicht (TAUBE et al., 2015) und können wie folgt zusammengefasst werden:

1. Schon die bis zur Mitte der 1990er Jahre in den Bundesländern durchgeführten Phosphordüngungsversuche (VDLUFA, 1996) hätten die Festlegung auf niedrigere Richtwerte im Standpunkt Phosphordüngung nach Bodenuntersuchung und Pflanzenbedarf (KERSCHBERGER et al., 1997) erlaubt, wenn auf eine Risikominimierung für „vereinzelte“ Situationen verzichtet worden wäre, in denen höhere P-Gehalte im Boden erforderlich erschienen, um das optimale Ertragsniveau zu erreichen.
2. Zahlreiche Düngungsversuche und Publikationen, die seit Mitte der 1990er Jahre durchgeführt bzw. veröffentlicht wurden, bestätigen, dass eine Absenkung der Richtwerte auf Ackerbaustandorten möglich ist (z. B. LORENZ, 2004; HEGE et al., 2008; RÖMER, 2009; PASDA et al., 2011; KUCHENBUCH und BUCZKO, 2011), insbesondere auch dann, wenn produktionstechnische Anpassungen an die neuen Richtwerte erfolgen (s. u.). Die für Ackerland getroffenen Aussagen können auch für Dauergrünland bestätigt werden. So führten in den 1980er und 1990er Jahren etablierte statische P-Düngungsversuche nur bei vollständig unterlassener P-Düngung mit Bodenwerten unterhalb von $3 \text{ mg P (100 g Boden)}^{-1}$ langfristig zu signifikanten Ertragsbeeinträchtigungen. Aus der Pflanzenanalyse abgeleitete Ertragsgrenzwerte für Gräser dominierte Bestände bestätigten mit Werten von $2,8 - 3 \text{ g P (kg Trockenmasse)}^{-1}$ internationale Literaturwerte (GREINER et al., 2010, 2014; SCHUCH et al., 2013).

3. Neben der Analyse der Daten in Bezug auf den Ertrag zeigen auch ökonomische Auswertungen, dass ein Aufdüngen der Böden in der bisherigen Gehaltsklasse B auf das bisherige Niveau der Gehaltsklasse C in der Regel nicht erforderlich ist (HEGE et al., 2008).

4 Neue Richtwerte für Phosphor in den Gehaltsklassen A bis E

Abgeleitet aus den o. g. Versuchsergebnissen und den dazu gemachten Erläuterungen kann der untere Richtwert der Gehaltsklasse C für Ackerböden und Grünlandböden von 4,5 auf 3 mg P (100 g Boden)⁻¹, der obere Richtwert von 9 auf 6 mg P (100 g Boden)⁻¹ abgesenkt werden. Die Probenahme sollte entsprechend der Empfehlungen des VDLUFA auf Ackerland bis zur Bearbeitungstiefe (jedoch mindestens 20 cm) sowie auf Grünland bis 10 cm Bodentiefe erfolgen. (VDLUFA 1991b, 2007). Tabelle 2 zeigt die neuen Richtwerte für alle fünf Gehaltsklassen. Standortfaktoren mit Einfluss auf die P-Verfügbarkeit werden für Regionen mit geringer Niederschlagssumme bei der Festlegung erhöhter Richtwerte berücksichtigt.

Tabelle 2: Richtwerte* für die Gehaltsklassen (GK) A bis E für Acker- und Grünlandstandorte

Gehaltsklasse	Richtwert [mg CAL-P (100 g Boden) ⁻¹]
A	< 1,5
B	1,5 – 3,0
C	3,1 – 6,0
D	6,1 – 12,0
E	> 12,0

* Die Richtwerte gelten für alle Standorte mit einer Niederschlagsmenge von > ~550 mm/Jahr. In Trockengebieten (< ~550 mm) betragen die Richtwerte in GK A < 2,5, in GK B 2,5 – 5,0, in GK C 5,1 – 7,5, in GK D 7,6 – 12,0 und in GK E > 12,0 mg CAL-P (100 g Boden)⁻¹.

5 Zusätzliche produktionstechnische Maßnahmen zur Verbesserung der P-Effizienz

Um zu gewährleisten, dass die geänderten Richtwerte auch unter ungünstigsten Umweltbedingungen (z. B. sehr kaltes Frühjahr) eine hohe Ertragsfähigkeit der Kulturen sicherstellen, muss dafür Sorge getragen werden, dass die weiteren Komponenten der guten landwirtschaftlichen Praxis mit Relevanz für die P-Verfügbarkeit eingehalten werden. Dazu zählen:

1. Einhaltung eines guten Kalkzustandes des Bodens
Mit sub-optimalem pH-Wert sinkt die Phosphorverfügbarkeit. Dies betrifft sowohl die chemisch bedingte Verfügbarkeit als auch die räumliche Zugänglichkeit aufgrund einer

zu geringen Ca-Sättigung der Austauscher und in der Folge einer beeinträchtigten Bodenstruktur.

2. Einarbeitung des Phosphordüngers

Um eine möglichst hohe P-Düngerausnutzung bei abgesenkten Boden-P-Werten sicherzustellen, ist eine Einarbeitung des P-Mineraldüngers auf Ackerland vor der Saat sinnvoll. Bei organischen Düngern (Gülle, Gärreste) ist dies schon aus Gründen der Vermeidung von Ammoniakverlusten notwendig und auch entsprechend durch die Düngeverordnung geregelt. In Betriebssystemen mit Minimalbodenbearbeitung besteht das Risiko einer sehr ungünstigen P-Verteilung im Boden und entsprechend eingeschränkter P-Verfügbarkeit, z. B. bei Bodentrockenheit. Hier sollte eine regelmäßige Einmischung der wenig mobilen Nährstoffe in die gesamte „Krumme“ in Erwägung gezogen werden.

3. Platzierung des P-Düngers

Die Unterfußdüngung bei Mais ist inzwischen Standard der guten fachlichen Praxis. Entsprechende Verfahren zur Düngerplatzierung bei Getreide und Raps sollten geprüft und ggf. weiterentwickelt werden.

4. Pflanzenartspezifische Anpassung der P-Düngung

Die in Feldversuchen identifizierte unterschiedliche Reaktion verschiedener Kulturpflanzenarten auf die P-Düngung erfordert eine pflanzenartspezifische Anpassung der P-Düngungshöhe. In der Fruchtfolge sollte die P-Düngung vornehmlich zu den Kulturarten Kartoffel, Mais, Zuckerrübe, Winterraps und zu Leguminosen erfolgen.

5. P-Düngerform

Generell sollten vornehmlich P-Dünger mit guter Pflanzenverfügbarkeit eingesetzt werden. Die Verfügbarkeit von Phosphor aus Wirtschaftsdüngern ist wie bei mineralischen Düngern langfristig mit 100 % anzusetzen.

6. Erosionsmindernde Maßnahmen

Da der wichtigste Verlustpfad für P aus der landwirtschaftlichen Bodennutzung durch Bodenerosion (Wasser- und Winderosion) entsteht, sind geeignete Erosionsschutzmaßnahmen umzusetzen. Über Zwischenfruchtanbau kann zusätzlich Phosphor für Folgefrüchte mobilisiert werden.

7. Vermeidung bzw. Behebung von Bodenverdichtungen

Da die räumliche Verfügbarkeit von P sehr stark vom Wurzelwachstum abhängt, sollten Bodenverdichtungen vermieden und bereits bestehende Verdichtungen aufgelockert werden.

6 Notwendige Schritte zur Weiterentwicklung von standortangepassten P-Düngebedarfsprognosen

Für eine weitergehende Differenzierung der Richtwerte, z. B. nach Böden bzw. Standortfaktoren oder Regionen, bieten die vorhandenen Versuchsergebnisse, mit Ausnahme von Trockenstandorten, keine zuverlässige Grundlage. In der Vergangenheit ist wiederholt versucht worden,

bei der Abgrenzung der P-Gehaltsklassen Standortfaktoren zu berücksichtigen, wie z. B. chemische, physikalische und biologische Eigenschaften des Bodens oder das Klima. Es ist jedoch auch durch die neue Auswertung des Versuchsmaterials nicht ausreichend gelungen, den Einfluss dieser Faktoren auf die P-Versorgung von Pflanzen zahlenmäßig zu belegen. Als Zwischenschritt können Standortfaktoren auf der Basis von am Ort durchgeführten Feldversuchen zur genaueren Festlegung der Zielwerte der P-Gehalte im Boden innerhalb der vorgeschlagenen Richtwerte berücksichtigt werden. Auch kann die im Vergleich zur Gehaltsklasse C in den Gehaltsklassen A und B erhöhte und die in der Gehaltsklasse D verminderte Düngermenge auf diese Weise genauer ermittelt werden. Das Feldversuchswesen sollte sich jedoch dringend der Weiterentwicklung der P-Düngeempfehlung auf der Basis zusätzlich zu berücksichtigender standortspezifischer Parameter annehmen. Weiterhin sollte geprüft werden, ob die P-Düngerbedarfsprognose durch die Berücksichtigung weiterer Größen bei der P-Extraktion verbessert werden kann. So wurde gezeigt, dass die Ermittlung der P-Freisetzungsrates nach FLOßMANN und RICHTER (1982) einen Beitrag zur Präzisierung der P-Düngebedarfs-ermittlung leisten kann (ZORN et al., 2015, 2016). Andere, noch nicht hinlänglich geprüfte Größen sind z. B. die Bestimmung nachlieferbarer organischer und anorganischer Phosphorverbindungen im Boden und die Sorptionseigenschaften des Bodens. Dies betrifft auch die Berücksichtigung verfügbarer Phosphormengen im Unterboden. Darüber hinaus besteht dringender Forschungsbedarf zur genaueren Quantifizierung des Einflusses des CAL-P-Gehaltes der Böden auf die standortspezifischen P-Austräge in die Umwelt.

7 Literatur

ANONYMUS (2017): Düngegesetz vom 9. Januar 2009 (BGBl I S. 54, 136), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 5. Mai 2017 (BGBl. I S. 1068) geändert worden ist.

FLOßMANN, R., RICHTER, D. (1982): Extraktionsmethode zur Charakterisierung der Kinetik der Freisetzung von P aus der festen Phase des Bodens in die Bodenlösung. Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkunde 26, 703–709.

GREINER, B., SCHUPPENIES, R., HERTWIG, F., HOCHBERG, H., RIEHL, G. (2010): Ergebnisse aus zwölfjährigen Phosphor- und Kaliumdüngungsversuchen auf Grünland. VDLUFA-Schriftenreihe 66, 157–168. (www.vdlufa.de/kongress2010/Kongressband2010.pdf)

GREINER, B., HERTWIG F., HOCHBERG, H., PRIEBE, R., RIEHL, G., SCHUPPENIES, R. (2014): Auswirkungen einer unterlassenen Phosphor- und Kaliumdüngung - Ergebnisse aus sechzehnjährigen Grünlanddüngungsversuchen. Tagungsband der 58. AGGF, 107–110. (www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ipz/dateien/aggf_2014_greiner_et_al.pdf)

HEGE, U., WENDLAND, M., OFFENBERGER, K. (2008): Versuchsergebnisse zur Bedeutung der Bodenversorgung mit Phosphat und Kali. Wie hoch müssen die Nährstoffgehalte im Boden sein?. Pflanzenbauwissenschaften 12, 53–63.

KERSCHBERGER, M., HEGE, U., JUNGK, A. (1997): Phosphordüngung nach Bodenuntersuchung und Pflanzenbedarf, VDLUFA-Standpunkt. (www.vdlufa.de/Dokumente/Standpunkte/0-4-phosphor.pdf)

KUCHENBUCH, R.O., BUCZKO, U. (2011): Re-visiting potassium- and phosphate-fertilizer responses in field experiments and soil-test interpretations by means of data mining. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 174, 171–185.

LORENZ, F. (2004): Wenn P und K fehlen. So ändern sich Ertrag, Düngebedarf, Nährstoffausnutzung und Bodenvorräte. *VDLUFA Schriftenreihe* 60, 705–712.

(http://www.vdlufa.de/download/Kongressband_2004.pdf)

NEUBAUER, H., SCHNEIDER, W. (1923): Die Nährstoffaufnahme der Keimpflanzen und ihre Anwendung auf die Bestimmung des Nährstoffgehaltes der Böden. *Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde A* 2, 329–362.

PASDA, G., ZERULLA, W., WILLKOMMEN, S. (2011): Ergebnisse aus P-Düngungsversuchen der BASF SE für die gemeinsame Auswertung zur Überarbeitung des P-VDLUFA-Standpunktes. *VDLUFA-Schriftenreihe* 67, 154–161.

(<http://www.vdlufa.de/kongress2011/KB2011.pdf>)

RÖMER, W. (2009): Ansätze für eine effizientere Nutzung des Phosphors auf der Basis experimenteller Befunde. *Berichte über Landwirtschaft* 87, 5–30.

(www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Service/BerichteLandwirtschaft/2009_Heft1_Band87.html)

SCHUCH, H., TAUBE, F., LAUSEN, P., TECHOW, E., HERRMANN, A. (2013): Wurzelmasse und C-Sequestrierung von Grünland: Einfluss der Phosphor- und Kaliumversorgung. *Tagungsband der 57. AGGF*, 222–226.

(www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ipz/dateien/aggf_2013_schuch_et_al.pdf)

TAUBE, F., APPEL, T., EBERTSEDER, T., MÜLLER, T., OLFS, H.-W., NÄTSCHER, L., SCHWEITZER, K., STEFFENS, D., WIESLER, F., ZORN, W. (2015): Phosphordüngung nach Bodenuntersuchung – Anpassung der Richtwerte für die Gehaltsklassen ist geboten und notwendig. *VDLUFA-Positionspapier*.

(http://www.vdlufa.de/joomla/www.vdlufa.de/Dokumente/Positionspapiere/2015_Phosphordüngung-nach-Bodenuntersuchung.pdf)

VDLUFA (1991a): Methode A 6.2.1.2, Bestimmung von Phosphor und Kalium im Doppellactat(DL)-Auszug. In: *Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch)*, Bd. I Die Untersuchung von Böden, 4. Auflage, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

VDLUFA (1991b): Methode A 1.3.2, Probenahme auf Grünlandstandorten. In: *Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch)*, Bd. I Die Untersuchung von Böden, 4. Auflage, 1. Teillieferung, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

VDLUFA (1996): Ergebnisse langjähriger, ortsfester Phosphatdüngungsversuche auf Acker und Grünland. *VDLUFA-Schriftenreihe* 42.

(http://www.vdlufa.de/Dokumente/Schriftenreihe/SR042_1996_P-Duengungsversuche-Acker-Gruenland.pdf)

VDLUFA (2002): Methode A 6.2.1.2, Bestimmung der durch Elektro-Ultrafiltration (EUF) löslichen Anteile von Phosphor, Kalium, Calcium, Magnesium, Natrium, Schwefel und Bor. In: *Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch)*, Bd. I Die Untersuchung von Böden, 4. Auflage, 3. Teillieferung, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

VDLUFA (2007): Methode A 1.2.1, Probennahme für die Untersuchung auf pflanzenverfügbare Nährstoffe in Acker- und Gartenböden. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. I Die Untersuchung von Böden, 4. Auflage, 5. Teillieferung, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

VDLUFA (2012): Methode A 6.2.1.1, Bestimmung von Phosphor und Kalium im Calcium-Acetat-Lactat-Auszug. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. I Die Untersuchung von Böden, 4. Auflage, 6. Teillieferung, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

VON WOLF, E. (1864): Entwurf zur Bodenanalyse. Die Landwirtschaftlichen Versuchsstationen 6.

ZORN, W., SCHRÖTER, H., KIEBLING, G. (2015): Präzisierung des P-Düngebedarfs auf dem Ackerland durch zusätzliche Bodenuntersuchungen. VDLUFA Schriftenreihe 71, 86–93.

(http://www.vdlufa.de/Dokumente/Schriftenreihe/SR071_2015_Kongressband.pdf)

ZORN, W. SCHRÖTER, H., KIEBLING, G. (2016): Ergebnisse von P-Düngungsversuchen zu Winterweizen in Thüringen. VDLUFA Schriftenreihe 73, 225–232.

(http://www.vdlufa.de/Dokumente/Schriftenreihe/SR073_2016_Kongressband.pdf)