

---

# Standpunkt

---

## Anforderungen an Bodenuntersuchungsmethoden zur Düngebedarfsermittlung

Zuständige Fachgruppen:

- I Pflanzenernährung, Produktqualität und Ressourcenschutz
- II Bodenuntersuchung

**Bearbeiter:**

Dr. Frank Lorenz, Oldenburg

**unter Mitarbeit von:**

Prof. Dr. Hans-Werner Olf, Osnabrück

Dr. Kathlin Schweitzer, Berlin

Dr. Wilfried Zorn, Jena

Speyer, den 25. Oktober 2017

**Impressum**

Standpunkt des VDLUFA, 25. Oktober 2017

Herausgeber: Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs-  
und Forschungsanstalten e.V. (VDLUFA)  
Obere Langgasse 40, 67346 Speyer  
Tel.: +49.6232.136-121; Fax: +49.6232.136-122  
E-Mail: [info@VDLUFA.eu](mailto:info@VDLUFA.eu)  
Internet: <http://www.VDLUFA.de>

Präsident: Prof. Dr. F. Wiesler

Stellungnahmen: Prof. Dr. T. Appel, Bingen; Dr. A. Baumgarten, Wien (A);  
Prof. Dr. T. Ebertseder, Freising; E. Grantzau, Seelze;  
Dr. N.U. Haase, Detmold; F. Hertwig, Berlin;  
Dr. L. Nätscher, Freising; Dr. H. Schaaf, Kassel;  
Prof. Dr. G. Schilling, Halle; Dr. K. Severin, Hannover;  
PD Dr. H. Spiegel, Wien (A); Dr. W. Übelhör,  
Karlsdorf-Neuthard; Prof. Dr. F. Wiesler, Speyer.

Gesamtherstellung: VDLUFA, Selbstverlag  
Endredaktion: VDLUFA Geschäftsstelle

Die Standpunkte des VDLUFA sind urheberrechtlich geschützt.

---

## **Anforderungen an Bodenuntersuchungsmethoden zur Düngebedarfsermittlung**

### **1 Veranlassung**

Stetig steigende Anforderungen an die Erhaltung und Förderung der Bodenfruchtbarkeit, an die Nährstoffeffizienz, an den Boden- und Umweltschutz sowie an den sparsamen Einsatz von Düngemitteln führen zu einer zunehmend kritischen Betrachtung etablierter Verfahren der Düngebedarfsermittlung, einschließlich der empfohlenen Bodenuntersuchungsmethoden. In der landwirtschaftlichen Praxis hatte dies in den letzten Jahren eine erhöhte Nachfrage nach neuen oder ergänzenden Bodenuntersuchungsmethoden und/oder Verfahren der Bodenbewertung zur Folge.

Aufgrund der Vielzahl von angebotenen Bodenuntersuchungsmethoden wird zunehmend die Frage nach der Präzision und Aussagekraft von Untersuchungsverfahren und der Zuverlässigkeit der darauf aufbauenden Düngeempfehlungen gestellt. Daher werden im folgenden Standpunkt die Mindestanforderungen für die Eignung von Bodenuntersuchungsverfahren, d. h. der Untersuchungsmethode und der Bewertung des Untersuchungsergebnisses, als Grundlage der Düngebedarfsermittlung dargelegt.

### **2 Grundlagen**

Der Düngebedarf hängt von mehreren Faktoren wie Nährstoffbedarf und Nährstoffaneignungsvermögen der Kultur, Ertrags- und Qualitätserwartung, Nährstoffangebot des Bodens sowie Boden-, Witterungs- und Bewirtschaftungsbedingungen ab.

Häufig werden gedüngte Nährstoffe nicht unmittelbar durch die Pflanze aufgenommen, sondern reagieren zunächst mit der festen Bodenmatrix oder werden mikrobiell umgesetzt. Infolge dessen bildet sich ein typisches Verhältnis zwischen schwer, mäßig und leicht pflanzenverfügbaren Verbindungen und den Nährstoffen in der Bodenlösung heraus. Dieses Verhältnis ist im Wesentlichen geprägt durch den geologisch bedingten Mineralbestand und den Verwitterungsgrad des Bodens, durch den Wasserhaushalt, die Sorptionseigenschaften, den pH-Wert und den Humusgehalt wie auch durch die langjährige Bewirtschaftung. Die jeweiligen Bindungsformen der Nährstoffe sowie deren Gehalt und Verhältnis zueinander bestimmen in ihrer Gesamtheit den Nährstoffzustand des Bodens.

In Abhängigkeit vom Nährstoffzustand des Bodens laufen bodentypische Prozesse der Nährstoffnachlieferung, der Pufferung wie auch der Festlegung von Nährstoffen ab. Sie werden durch Witterung, Bewirtschaftung, biologisch induzierte Prozesse und Nährstoffentzug angetrieben. In ihrer Quantität und Intensität sind sie ausschlaggebend dafür, dass die Pflanze in jeder Wachstumsphase ausreichend mit Nährstoffen versorgt wird. Dieser Nährstoffzustand ist durch angemessene Düngung auf dem notwendigen Niveau einzustellen und zu erhalten bzw. bei Nährstoffübersversorgung auf das notwendige Maß zu reduzieren.

Aufgabe der Bodenuntersuchung als Grundlage der Düngeempfehlung ist es, den Nährstoffzustand im Boden so zu quantifizieren, dass der Düngebedarf zur Erzielung der optimalen Nährstoffversorgung der Pflanze hinreichend genau bestimmt werden kann. Das heißt, die

empfohlene Düngermenge erzielt für regionaltypische Hauptkulturen im mehrjährigen Mittel den optimalen Ertrag in verwertungsgerechter Qualität. Gleichzeitig wird die Nährstoffübersorgung auf ein tolerierbares Maß begrenzt.

Zur Beschreibung des Nährstoffzustandes werden unter anderem umfangreiche und kostenintensive Bodenuntersuchungen angeboten. In der landwirtschaftlichen Routineuntersuchung kommen zur Ermittlung des Düngebedarfs hingegen wenige ausgewählte Extraktionsmethoden zur Anwendung. Aufgrund ihrer einfachen Durchführbarkeit, dem hohen Automatisierungsgrad und der geringen Kosten sind diese Methoden gut geeignet für Serienuntersuchungen, die in kurzer Zeit die notwendigen Ergebnisse liefern. Sie sind außerdem relativ robust gegenüber Schwankungen der Laborbedingungen, so dass bei guter Laborpraxis mit einer Geräteausstattung nach dem Stand der Technik die analytische Verlässlichkeit gesichert ist.

Das Ergebnis der chemischen Bodenextraktion ist kein absolutes Maß für den pflanzenverfügbaren Nährstoffgehalt im Boden, sondern ein Indikator für den Nährstoffzustand. Darunter ist zu verstehen, dass der Extraktionswert mit dem Nährstoffgehalt in den Bindungsformen korreliert, aus denen während des Pflanzenwachstums die Ernährung der Pflanzen erfolgt. Die Analyse von Gesamt-Nährstoffgehalten im Boden zum Zweck der Düngebedarfsermittlung ist meist nicht zielführend - ebenso wenig die Ermittlung schwer löslicher Fraktionen -, da zwischen diesen und den pflanzlichen Kenngrößen beziehungsweise dem tatsächlichen Düngebedarf nur ein schwacher bis gar kein Zusammenhang besteht (VETTER et al., 1977).

Der Nachweis für die Eignung von Methoden zur Vorhersage des Düngebedarfs ist durch die Kalibrierung in Feldversuchen zu erbringen. Gefäßversuche können als Screening dem Feldversuch vorangehen, ersetzen diesen jedoch nicht.

### **3 Anforderungen an Bodenuntersuchungsverfahren**

Die Düngebedarfsermittlung auf Grundlage der Bodenuntersuchung basiert auf mehreren Schritten: Der Bodenuntersuchung, der Interpretation der Untersuchungsergebnisse und der Düngeempfehlung. Zur Bodenuntersuchung gehören die Probenahme, die Probenvorbereitung und die Laboranalyse.

#### **3.1 Bodenuntersuchung**

Die Zuverlässigkeit der Düngebedarfsermittlung hängt von der sachgerechten Durchführung aller Verfahrensschritte ab. Verbleibende Unsicherheiten sind zu einem äußerst geringen Anteil auf die Laboranalyse zurückzuführen. Sie resultieren überwiegend aus der zeitlich-räumlichen Variabilität von Bodeneigenschaften und sind durch die Entnahme einer repräsentativen Bodenprobe auf ein Minimum zu reduzieren. Die Verfahren der Bodenprobenahme sind im VDLUFA-Methodenbuch Band I – Die Untersuchung von Böden (VDLUFA, 2016) und im VDLUFA-Standpunkt „Georeferenzierte Bodenprobenahme“ (LORENZ et al., 2015) beschrieben.

Anforderungen an die Bodenuntersuchungsmethoden wurden erstmals 1990 durch die Bundesländer in einer gemeinsamen „Leitlinie für Bodenuntersuchungsmethoden als Grundlage zur Düngebedarfsermittlung“ (ANONYMOUS, 1990) erläutert. Sie umfassen

- die exakte Beschreibung der Methode (Anwendungsbereich der Methode, eingesetzte Chemikalien und Geräte, detaillierte Arbeitsschritte, Validierungsdaten);

- die analytische Verlässlichkeit (Wiederholbarkeit des Untersuchungsergebnisses bei Mehrfachanalyse und Vergleichbarkeit zwischen den Laboren);
- die Eignung für schlagkräftige Serienuntersuchungen;
- die Kenntnis über Standortfaktoren, die zur Interpretation des Untersuchungsergebnisses notwendig sind;
- die Überprüfung der Aussagekraft der Untersuchungsergebnisse unter Feldbedingungen durch Kalibrierung der Methode in mehrjährigen Düngungsversuchen an unterschiedlichen Standorten für unterschiedliche Kulturen.

Diese Anforderungen sind konform mit internationalen Standards (DIN CEN/TS 16800, 2015; ELLISON und WILLIAMS, 2012; ISO 21748, 2017) beziehungsweise mit der in der internationalen Literatur publizierten Herangehensweise (z. B. JONES, 1998; JORDAN-MEILLE et al., 2012; SPIEGEL et al., 2014).

### 3.2 Interpretation der Untersuchungsergebnisse

Der Düngebedarf kann aus der Bodenuntersuchung nur dann abgeleitet werden, wenn ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Ergebnis der Bodenanalyse und dem durch Düngung erzielten Mehrertrag beziehungsweise der Änderung von Qualitätsmerkmalen besteht. Dieser Zusammenhang ist standortabhängig.

Neben den allgemeinen Regeln der Durchführung und Dokumentation von landwirtschaftlichen Feldversuchen (THOMAS, 2005; MUNZERT, 1992; WAGNER und PREDIGER, 1998) haben die erforderlichen Kalibrierversuche die nachstehend aufgeführten Anforderungen zu erfüllen.

Angesichts der großen boden- und auch klimabedingten Standortunterschiede Deutschlands sind Feldversuche in verschiedenen Regionen erforderlich; zusätzlich sind witterungsbedingte Jahreseffekte zu berücksichtigen. Die Versuche sollen das Spektrum der angebauten Feldfrüchte sowie die Spanne der Nährstoffgehalte im Boden repräsentieren.

Um die Beziehung zwischen der eingesetzten Menge des geprüften Nährstoffes, den Nährstoffgehalten im Boden und den Pflanzenmerkmalen (Ertrag des Haupt- und Koppelproduktes, Nährstoffgehalt, Nährstoffentzug, Qualitätsmerkmale) zu quantifizieren, ist die Düngung idealerweise fünffach abzustufen. Sie deckt in der Regel den Bereich von  $0 \text{ kg ha}^{-1}$  bis zur zweifachen Nährstoffabfuhr ab. Die Versuchsanlage muss der auf eine möglichst hohe Nährstoffeffizienz ausgerichteten Anwendung des jeweiligen Nährstoffs gerecht werden, z. B. hinsichtlich des Ausbringungszeitpunktes und der Düngemittelapplikation.

Das Versuchsdesign und die Dauer des Kalibrierversuches richten sich danach, wie sich der gedüngte Nährstoff im Boden verhält, z. B. ob er stark gebunden bleibt oder in leichtlöslicher Form unmittelbar pflanzenverfügbar ist. Die Hinweise zur Durchführung und Auswertung von Kalibrierversuchen, die durch SCHENK und BAUMGÄRTEL (1989), REX (1990) und RICHTER und KERSCHBERGER (1991) gegeben werden, sind bei der Planung der Versuche zu berücksichtigen.

### 3.3 Düngeempfehlung

Aus dem Zusammenhang zwischen Düngewirkung und pflanzenverfügbaren Nährstoffgehalten im Boden kann die Düngung für den optimalen Ertrag bzw. die gewünschte Qualität abgeleitet werden. Niedrigere Werte erfordern höhere Düngung, höhere Werte führen zu niedrigeren

Düngeempfehlungen. Um der Praxis eine schnelle Einschätzung des Versorgungszustands der Böden zu ermöglichen, werden die im Boden analysierten Nährstoffgehalte in Gehaltsklassen gruppiert (BAUMGÄRTEL et al., 1999; KERSCHBERGER et al., 1997; KERSCHBERGER et al., 2000).

#### **4 Bodenuntersuchungsmethoden des VDLUFA als Grundlage der Düngedarfsermittlung**

Die Methodenarbeit im VDLUFA ist Aufgabe der Fachgruppen und richtet sich nach der oben zitierten „Leitlinie für Bodenuntersuchungsmethoden als Grundlage zur Düngedarfsermittlung“ (ANONYMOUS, 1990). Am gesamten Prozess der Methodenentwicklung sind die Institutionen des Bundes und der Länder, Universitäten, Hochschulen und weitere kooperierende nationale wie auch internationale Einrichtungen beteiligt. Dies ermöglicht die Entwicklung und den Einsatz abgestimmter und einheitlicher Methoden und gewährleistet die Vergleichbarkeit der Ergebnisse der Bodenuntersuchung für die Regionen, die mit repräsentativen Standorten in der Kalibrierung und Validierung vertreten waren. Diese Methoden eignen sich deshalb als Grundlage für die Beratung.

Bodenuntersuchungsmethoden, welche als Grundlage der Düngeempfehlung in der Offizialberatung der Bundesländer eingesetzt werden, sind als sogenannte Verbandsmethoden erarbeitet worden (DELLER et al., 2001). Diese Methoden haben in den zuständigen Fachgruppen ein umfangreiches Prüfungs- und Validierungsverfahren durchlaufen.

Die Methodenarbeit des VDLUFA beinhaltet auf der Grundlage von Feldversuchen auch die Weiterentwicklung von Bodenuntersuchungsverfahren sowie die Prüfung weiterer Kenngrößen zur Präzisierung der P-Düngebedarfsprognose. Diese können ergänzend zu den bestehenden Bodenuntersuchungsmethoden mit geringem Mehraufwand weitere relevante Aussagen zum Nährstoffzustand des Boden liefern (z. B. FLOSSMANN und RICHTER, 1982; ZORN et al., 2015) oder als wichtige Einflussgrößen die Differenzierung der Gehaltsklassen nach Standortmerkmalen ermöglichen (SCHWEITZER et al., 2013). Zukünftig sind auch Verfahren der Online-Bodenuntersuchung unter kontrollierten Bedingungen zu verifizieren, zu kalibrieren und zu standardisieren.

##### **4.1 Methodendokumentation und Verfügbarkeit**

Alle im VDLUFA entwickelten Methoden sind detailliert beschrieben und im Methodenbuch des VDLUFA, Band I – Die Untersuchung von Böden veröffentlicht (VDLUFA, 2016).

Die Methoden werden regelmäßig re-evaluiert und bei Bedarf an den aktuellen Stand der Technik und des Wissens angepasst.

##### **4.2 Analytische Verlässlichkeit durch regelmäßige Ringversuche**

Alle Verbandsmethoden werden vor ihrer Veröffentlichung in Ringversuchen auf Wiederholbarkeit und Vergleichbarkeit überprüft. Für etablierte Methoden werden durch den VDLUFA jährlich Ringversuche angeboten, an denen die Labore der VDLUFA-Mitglieder wie auch externe Labore zum Zweck der internen Qualitätssicherung teilnehmen. Damit trägt der VDLUFA dazu bei, dass die Anforderungen nach DIN ISO/IEC 17025 (2005) eingehalten werden.

Die Durchführung der Ringversuche erfolgt auf der Grundlage internationaler Standards (DIN CEN/TS 16800, 2015). Die Ergebnisse der Ringversuche sind im Anhang E des VDLUFA-Methodenbuchs, Band I (VDLUFA, 2016) veröffentlicht und werden regelmäßig aktualisiert. Die seit mehr als 20 Jahren dokumentierten Ringversuchsdaten ermöglichen eine konsequente Bewertung der in Deutschland eingesetzten VDLUFA-Methoden, die kontinuierliche Qualitätssicherung und den Vergleich zu relevanten internationalen Normen. Zusammen mit regelmäßig durch den VDLUFA angebotenen Schulungen wird dadurch seit Jahren eine gleichbleibend hohe Qualität der Bodenuntersuchung sichergestellt.

### **4.3 Kalibrierung der Bodenuntersuchungsergebnisse und Ableitung von Richtwerten für die Nährstoffversorgung von Böden**

Feldversuche zur Kalibrierung von Bodenuntersuchungsmethoden werden in der Regel durch die Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalten, durch die Landwirtschaftskammern und die für Landwirtschaft zuständigen Landesanstalten der Länder durchgeführt, aber auch von Universitäten, Hochschulen und weiteren Stellen, die in engem fachlichen Austausch mit dem VDLUFA stehen. Hierdurch ist gewährleistet, dass die Kalibrierung von Untersuchungsmethoden nach anerkannten Regeln erfolgt und eine zuverlässige Grundlage der Beratung darstellt. Die Ergebnisse dieser Versuche werden publiziert und stehen der Öffentlichkeit zur Verfügung (z. B. KERSCHBERGER, 1980; KÖSTER, 1974; SCHACHTSCHABEL, 1973; SCHACHTSCHABEL und HEINEMANN, 1974; VDLUFA, 1996; VDLUFA, 1998; ZORN und KRAUSE, 1999).

Die derzeit gültigen Richtwerte für die Nährstoffversorgung von Böden (z. B. BAUMGÄRTEL et al., 1999; KERSCHBERGER et al., 1997; KERSCHBERGER et al., 2000) wurden durch eine deutschlandweite Auswertung einer großen Anzahl langjähriger Düngungssteigerungsversuche abgeleitet (VDLUFA, 1996; VDLUFA, 1998). Neue Versuche werden angelegt, um die Repräsentanz der Aussagen für Standorte und Anbausysteme zu verbessern und Düngeempfehlungen entsprechend der regionalen Bedingungen zu präzisieren.

Im internationalen Vergleich entsprechen die VDLUFA-Verfahren der gängigen Praxis der Düngebedarfsermittlung. SPIEGEL et al. (2014) geben einen zusammenfassenden Überblick über den Stand der Bodenuntersuchung als Grundlage der Düngeempfehlung in den Ländern Europas. Danach basiert die Düngeempfehlung, insbesondere für die Hauptnährstoffe Phosphor, Kalium und Magnesium, auf der Bodenuntersuchung mittels ausgewählter chemischer Extraktionsmethoden. Die Extraktionsverfahren sind in den einzelnen Ländern oder Regionen traditionell unterschiedlich. Die Richtwerte für die Bewertung des Nährstoffgehaltes im Boden sind aus Feldversuchen abgeleitet. Sie variieren je nach Methode, Land oder Region und sind in vielen Fällen nach Anbaubedingungen differenziert (z. B. Nutzungsart, Boden- und Standorteigenschaften).

## **5 Zusammenfassung**

Bodenuntersuchungsmethoden für die Düngebedarfsermittlung müssen wesentliche Anforderungen erfüllen, um in der landwirtschaftlichen Praxis zum Einsatz kommen zu können:

- Analytische Verlässlichkeit (Wiederholbarkeit, Vergleichbarkeit, Ermittlung der Mess-

- unsicherheit), die kontinuierlich überwacht wird;
- Kalibrierung der Methode an Feldversuchen, die die unterschiedlichen Klima- und Bodenbedingungen sowie die angebauten Fruchtarten repräsentieren, durch neutrale und unabhängige Stellen;
  - Veröffentlichung der Angaben über die Kalibrierung sowie über die Schritte zur Ableitung von Düngeempfehlungen.

Die vom VDLUFA veröffentlichten Methoden stellen die analytische Verlässlichkeit einer Methode sowie die Anwendung einheitlicher Methoden zur Erzielung vergleichbarer Ergebnisse sicher.

Die etablierten Bodenuntersuchungsverfahren, deren Ergänzung durch Zusatzmethoden sowie die Berücksichtigung von Standortfaktoren, Kulturarten und Fruchtfolgen sind zur Präzisierung der Düngeempfehlung weiter zu entwickeln.

## 6 Literatur

ANONYMOUS, 1990: Leitlinie für Bodenuntersuchungsmethoden als Grundlage zur Düngerbedarfsermittlung (Vereinbarung der Bundesländer). VDLUFA-Mitteilungen Heft 1/1990, 24–27

BAUMGÄRTEL, G., FRÜCHTENICHT, K., HEGE, U., HEYN, J., ORLOVIUS, K., 1999: Kalium-Düngung nach Bodenuntersuchung und Pflanzenbedarf – Richtwerte für die Gehaltsklasse C. VDLUFA-Standpunkt, Hrsg. Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA), Darmstadt, <http://www.vdlufa.de/Dokumente/Standpunkte/0-8-kalium.pdf> (09.08.2017)

DELLER, B., ECKSTEIN, B., JANßEN, E., 2001: Untersuchungsmethoden im VDLUFA – Zielsetzung – Klassifikation – Werdegang. VDLUFA-Standpunkt, Hrsg. Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA), Darmstadt, <http://www.vdlufa.de/Dokumente/Standpunkte/05-methoden.pdf> (09.08.2017)

DIN, 2015: DIN CEN/TS 16800:2015, Anleitung zur Validierung physikalisch-chemischer Analyseverfahren. Beuth Verlag GmbH, Berlin

DIN, 2005: DIN EN ISO/IEC 17025:2005-08, Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien. Beuth Verlag GmbH, Berlin

ELLISON, S.L.R., WILLIAMS, A. (Hrsg.), 2012: EURACHEM/CITAC Guide - Quantifying uncertainty in analytical measurement. CITAC Guide number 4, 3rd edn., [https://www.eurachem.org/images/stories/Guides/pdf/QUAM2012\\_P1.pdf](https://www.eurachem.org/images/stories/Guides/pdf/QUAM2012_P1.pdf) (09.08.2017)

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

ISO, 2017: ISO 21748:2017, Guidance for the use of repeatability, reproducibility and trueness estimates in measurement uncertainty estimation. <https://www.iso.org/standard/71615.html>

JONES, J.B., 1998: Soil test methods: Past, present, and future use of soil extractants. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 29, 1543-1552



JORDAN-MEILLE, L., RUBAEK, G.H., EHLERT, P.A.I., GENOT, V., HOFMAN, G., GOULDING, K., RECKNAGEL, J., PROVOLO, G., BARRACLOUGH, P., 2012: An overview of fertilizer-P recommendations in Europe: Soil testing, calibration and fertilizer recommendations. *Soil Use Management* 28, 419-435

KERSCHBERGER, M., 1980: Ermittlung von Kalkdüngermengen zur Erreichung optimaler pH-Werte des Bodens. Dissertation B (Habilitationsschrift), Akademie der Landwirtschaftswissenschaften, Berlin

KERSCHBERGER, M., HEGE, U., JUNGK, A., 1997: Phosphordüngung nach Bodenuntersuchung und Pflanzenbedarf. VDLUFA-Standpunkt, Hrsg. Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA), Darmstadt, <http://www.vdlufa.de/Dokumente/Standpunkte/0-4-phosphor.pdf> (09.08.2017)

KERSCHBERGER, M., DELLER, B., HEGE, U., HEYN, J., KAPE, H.-E., KRAUSE, O., POLLEHN, J., REX, M.J., SEVERIN, K., 2000: Bestimmung des Kalkbedarfs von Acker- und Grünlandböden. VDLUFA-Standpunkt, Hrsg. Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA), Darmstadt, <http://www.vdlufa.de/Dokumente/Standpunkte/0-9-kalk.pdf> (09.08.2017)

KÖSTER, W., 1974: Beziehungen zwischen dem Phosphorgehalt von Kartoffelkraut und Böden. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 137, 19-31

KÖSTER, W., SCHACHTSCHABEL, P., 1983: Beziehung zwischen dem durch Phosphatdüngung erzielbaren Mehrertrag und dem Phosphatgehalt im Boden. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 146, 539-542

LORENZ, F., ARMBRUSTER, M., KÖNIG, V., NÄTSCHER, L., OLFS, H.W., 2015: Georeferenzierte Bodenprobenahme auf landwirtschaftlichen Flächen als Grundlage für eine teilschlagspezifische Düngung mit Kalk und Grundnährstoffen. VDLUFA-Standpunkt, Hrsg. Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA), Darmstadt, <http://www.vdlufa.de/Dokumente/Standpunkte/15-Bodenprobenahme.pdf> (09.08.2017)

MUNZERT, M., 1992: Einführung in das pflanzenbauliche Versuchswesen. Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg

REX, M., 1990: Spezielle technische Versuchsdurchführung, B.10, Düngung – Anlage und Auswertung (Grunddünger). In: WAGNER, F., PREDIGER, G. (Hrsg.), 1989: Der Feldversuch – Durchführung und Technik. Selbstverlag Fritz Wagner 1989. Loseblattsammlung zur Fortsetzung, 6. Ergänzungslieferung

RICHTER, D., KERSCHBERGER, M., 1991: Methoden zur Ermittlung von Grenzwerten der Phosphor-, Kalium- und Magnesiumgehalte in Ackerböden. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 154, 337-342

SCHACHTSCHABEL, P., 1973: Beziehungen zwischen dem Phosphorgehalt in Böden und jungen Haferpflanzen. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 135, 31-43

SCHACHTSCHABEL, P., HEINEMANN, C.G., 1974: Beziehungen zwischen dem Kaliumgehalt in Böden und jungen Haferpflanzen. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 137, 123-134

SCHENK, M., BAUMGÄRTEL, G., 1989: Spezielle technische Versuchsdurchführung, B.10, Düngung. In: WAGNER, F., PREDIGER, G. (Hrsg.), 1989: Der Feldversuch – Durchführung und

Technik. Selbstverlag Fritz Wagner 1989. Loseblattsammlung zur Fortsetzung

SCHWEITZER, K., KULHÁNEK, M., BALÍK, J., 2013: Bewertung des pflanzenverfügbaren Phosphates im Boden - Präzisierung durch die Berücksichtigung des Gehaltes an oxalatlöslichem Eisen und Aluminium. VDLUFA Schriftenreihe 69, 226-233, [http://www.vdlufa.de/Dokumente/Schriftenreihe/SR069\\_2013\\_Kongressband.pdf](http://www.vdlufa.de/Dokumente/Schriftenreihe/SR069_2013_Kongressband.pdf) (09.08.2017)

SPIEGEL, H., ČERMAK, P., DE HAAN, J., FÜLEKY, G., GRIGNANI, C., D'HOSE, T., STAUGAITIENE, L.R., ZORN, W., GÚZMÁN, G., PIKUŁA, D., JORDAN-MEILLE, L., 2014: Düngeempfehlungen in Europa. VDLUFA Schriftenreihe 70, 48-56, [http://www.vdlufa.de/Dokumente/Schriftenreihe/SR070\\_2014\\_Kongressband.pdf](http://www.vdlufa.de/Dokumente/Schriftenreihe/SR070_2014_Kongressband.pdf) (09.08.2017)

THOMAS, E., 2005: Feldversuchswesen. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart

VDLUFA, 2016: VDLUFA-Methodenbuch Band I – Die Untersuchung von Böden. VDLUFA-Verlag, Darmstadt. <http://www.vdlufa.de/Methodenbuch/index.php/de/mb-i-boeden>

VDLUFA, 1996: Ergebnisse langjähriger, ortsfester Phosphatdüngungsversuche auf Acker und Grünland. VDLUFA Verlag, Darmstadt, VDLUFA Schriftenreihe 42, 129 S., [http://www.vdlufa.de/Dokumente/Schriftenreihe/SR042\\_1996\\_P-Duengungsversuche-Acker-Gruenland.pdf](http://www.vdlufa.de/Dokumente/Schriftenreihe/SR042_1996_P-Duengungsversuche-Acker-Gruenland.pdf) (09.08.2017)

VDLUFA, 1998: Ergebnisse langjähriger, ortsfester Kalidüngungsversuche auf Acker und Grünland. VDLUFA Verlag, Darmstadt, VDLUFA Schriftenreihe 47, 126 S., [http://www.vdlufa.de/Dokumente/Schriftenreihe/SR047\\_1998\\_Kaliduengungsversuche-Acker-Gruenland.pdf](http://www.vdlufa.de/Dokumente/Schriftenreihe/SR047_1998_Kaliduengungsversuche-Acker-Gruenland.pdf) (09.08.2017)

VETTER, H., FRÜCHTENICHT, K., MÄHLHOP, R., 1977: Untersuchungen über den Aussagewert verschiedener Bodenuntersuchungsmethoden für die Ermittlung des Phosphatdüngedarfs. Landwirtsch. Forsch. 34/II, 121-132

WAGNER, F., PREDIGER, G. (Hrsg.), 1989: Der Feldversuch – Durchführung und Technik. Selbstverlag Fritz Wagner 1989. Loseblattsammlung zur Fortsetzung, 1. bis 6. Ergänzungslieferung, 1989-1996

ZORN, W., KRAUSE, O., 1999: Untersuchungen zur Charakterisierung des pflanzenverfügbaren Phosphats in Thüringer Carbonatböden. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 162, 463-469

ZORN, W., SCHRÖTER, H., KIEßLING, 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](http://www.vdlufa.de/Dokumente/Schriftenreihe/SR071_2015_Kongressband.pdf) (09.08.2017)