



Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten

Speyer, Dezember 2015

Positionspapier

des Verbands Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten

Phosphordüngung nach Bodenuntersuchung - Anpassung der Richtwerte für die Gehaltsklassen ist geboten und notwendig

Veranlassung

Das vom Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (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 A bis E mehrfach modifiziert. So wurden die Richtwerte für Phosphor 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 Rahmenbedingungen, insbesondere die stärkere Berücksichtigung von Umweltzielen in der Landwirtschaft, spielten eine Rolle. Leitbild für eine Anpassung der Richtwerte sollte stets das im Düngegesetz hinterlegte Paradigma der „optimalen Versorgung der Pflanzenbestände unter weitgehender Vermeidung von negativen Umwelteffekten“ sein.

Während der untere Wert der Gehaltsklasse C, der im Sinne einer nachhaltigen Bodenfruchtbarkeit und Ertragsfähigkeit angestrebt bzw. eingehalten werden sollte, in den Bundesländern relativ einheitlich festgelegt ist, bestehen bezüglich des oberen Wertes erhebliche Differenzen zwischen den Bundesländern. Dies dürfte stärker auf historische Einschätzungen mit Sicherheitszuschlägen als auf evidenzbasierte Befunde zurückzuführen sein. Gerade der obere Wert der Gehaltsklasse C muss jedoch im Zuge der inzwischen vorliegenden Erkenntnisse der ökologischen Wirkungen hoher Boden-P-Gehalte seine Begründung nicht nur in der Absicherung einer hohen Ertragsfähigkeit der Böden in Extremsituationen, sondern auch in der weitgehenden Vermeidung negativer Umwelteffekte finden.

Für beide Zielgrößen, d. h. die optimale Pflanzenversorgung und die Vermeidung negativer Umwelteffekte, ist der jeweils aktuelle Erkenntnisfortschritt seitens der einschlägigen For-

schungs- und Beratungsinstitutionen zu berücksichtigen, was dazu führt, dass die Richtwerte der Gehaltsklassen einer ständigen Anpassung unterliegen.

Der Status quo der Richtwerte für Phosphor in der Gehaltsklasse C

Der VDLUFA hat zuletzt im Jahre 1997 in einem umfassenden Standpunkt „Phosphordüngung nach Bodenuntersuchung und Pflanzenbedarf“ die Richtwerte für die fünf Gehaltsklassen auf der Basis der Auswertung von über 300 Versuchen (Acker- und Grünlandstandorte) überarbeitet. Wie Tabelle 1 am Beispiel der Richtwerte für Gehaltsklasse C zeigt, werden diese Empfehlungen in den Bundesländern derzeit allerdings teilweise unterschiedlich umgesetzt.

Tabelle 1: Derzeitige Richtwerte für Phosphor in der Gehaltsklasse C in mg P/100 g Boden nach Empfehlung des VDLUFA sowie in den deutschen Bundesländern

VDLUFA (Standpunkt 1997)	4,5 – 9,0
Bayern, Baden-Württemberg, Hessen	4,4 – 8,7
Nordrhein-Westfalen	4,4 – 7,9
Sachsen, Thüringen, Brandenburg, Sachsen-Anhalt, Mecklenburg-Vorpommern	4,9 – 7,2
Niedersachsen	5,0 – 10,0
Rheinland-Pfalz	5,2 – 8,7
Schleswig-Holstein	7,4 – 14,0

Welche neueren Rahmenbedingungen und Erkenntnisse sind für eine Anpassung der Richtwerte für Phosphor in den Gehaltsklassen zu berücksichtigen?

Seit der Publikation des VDLUFA-Standpunkts zur Phosphordüngung im Jahr 1997 haben Entwicklungen stattgefunden, die eine Anpassung der Richtwerte in den Gehaltsklassen notwendig erscheinen lassen:

1. Viele Landwirte, insbesondere in den Ackerbauregionen der neuen Bundesländer, haben die Grundnährstoffdüngung über einen Zeitraum von mehr als 20 Jahren erheblich vermindert, was häufig zu negativen P-Salden in diesen Regionen geführt hat. Dieser reduzierte Einsatz von P-Düngern hat zum Beispiel in Sachsen und Thüringen dazu geführt, dass auf Datenbasis des Jahres 2009 45 - 48 % der Ackerflächen in die Gehaltsklassen A oder B eingestuft wurden. Bundesweit wurden 2006 zwar lediglich 21 % der Flächen in die Gehaltsklassen A und B eingeteilt (Werner, 2006), ein Trend abnehmender P-Gehalte im

Boden ist aber auch in den westdeutschen Ackerbauregionen festzustellen. Ähnliches gilt auch für viele Grünlandstandorte. Daraus resultiert, dass sowohl aus den Betrieben als auch aus den Versuchen der Forschungs- und Beratungsinstitutionen nunmehr langjährige Erfahrungen mit Abreicherungsphasen von Phosphor im Boden vorliegen, die in die Neubewertung der P-Gehaltsklassen ebenso einfließen müssen wie in die daraus resultierenden Düngeempfehlungen.

2. Mit dem Inkrafttreten der EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) im Jahre 2000 und der EU-Meeressstrategierichtlinie (MSRL) im Jahre 2008 ist das Ziel des guten chemischen und ökologischen Zustands der Gewässer auch für Phosphor definiert. Da die P-Einträge aus dem nicht-landwirtschaftlichen Bereich (insbesondere der kommunalen Abwässer) in den letzten Jahrzehnten überproportional reduziert werden konnten, hat der Anteil der Landwirtschaft an der Eutrophierung der Gewässer, trotz der Reduzierung der P-Bilanzüberschüsse in den Ackerbauregionen, im Verlauf der zurückliegenden zwei Jahrzehnte relativ an Bedeutung gewonnen. Laut UBA (2014) liegt der Anteil der Landwirtschaft an den Phosphoreinträgen in die Nord- und Ostsee zwischen 50 und 63 % der Gesamteinträge. Die Langfristigkeit der negativen Nachwirkungen langjährig hoher P-Bilanzüberschüsse nicht nur auf den erosionsbedingten P-Austrag, sondern auch auf den P-Austrag mit dem Sickerwasser ist inzwischen wissenschaftlich zuverlässig abgesichert (vgl. Djovic und Mattsson, 2013; Svanbäck et al., 2013; Verloop et al., 2010).
3. Weiterhin hat sich, auch nach der Entdeckung neuer P-Vorkommen bzw. nach modifizierter Bewertung der vorhandenen Daten zu den P-Reserven, prinzipiell an der Endlichkeit der weltweiten Phosphorreserven nichts geändert. Die bekannten Phosphorreserven, die fast ausschließlich in derzeit geopolitisch unsicheren Regionen lokalisiert sind, weisen darüber hinaus häufig erhöhte Schwermetallgehalte auf.

Neben einer rein naturwissenschaftlichen Betrachtungsweise muss aus ökonomischer Sicht festgestellt werden, dass sich das Verhältnis von Produkt- zu Düngerpreisen in den letzten 20 Jahren, insbesondere bei den mineralischen Phosphatdüngern, kontinuierlich verengt hat. Daraus muss eine noch stärkere Ausrichtung auf kosteneffiziente Düngungsstrategien für die landwirtschaftliche Praxis bei hoher Ertragsfähigkeit resultieren, um so einen Baustein zur internationalen Konkurrenzfähigkeit der pflanzlichen Erzeugung in Deutschland im Bereich reduzierter Düngungskosten zu liefern.

Diese geänderten Rahmenbedingungen veranlassten den VDLUFA, eine umfassende Re-Evaluierung des Kenntnisstandes zur P-Düngeempfehlung vorzunehmen.

Zusammenfassende Bewertung neuerer Ergebnisse zur P-Düngung in Deutschland

In einer gemeinsamen Sitzung der Fachgruppe „Pflanzenernährung, Produktqualität und Ressourcenschutz“ (FG I) mit der Fachgruppe „Bodenuntersuchung“ (FG II) des VDLUFA (März 2014), einer weiteren Sitzung der Fachgruppe I (September 2015) sowie mehreren Sitzungen einer eingesetzten Projektgruppe (April 2014, März 2015, November 2015) wurden die aktuell verfügbaren und umfassend ausgewerteten langjährigen P-Düngungsversuche auf Acker- und Grünlandstandorten in Deutschland sowie bereits vorliegende Erkenntnisse aus der Literatur (u. a. Kuchenbuch und Buczko, 2011) vorgestellt und im Hinblick darauf diskutiert, ob die aktuellen Richtwerte für die Gehaltsklasse C noch aufrecht erhalten werden können. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Ackerland

Bereits in den späten 1990er Jahren gab es Hinweise, dass der untere Richtwert für Gehaltsklasse C für bestimmte Standorte nach unten korrigiert werden kann (u. a. Mokry, 1996). Inzwischen kann festgestellt werden, dass praktisch alle langjährigen, wissenschaftlich ausgewerteten Datenreihen aus Exaktversuchen in Deutschland für verschiedenste Kulturarten, Fruchtfolgen, Böden und Klimaräume eine Absenkung der Richtwerte für die Gehaltsklasse C nahelegen. Basis dieser Aussage sind u. a. die Arbeiten von Hege et al. (2008), Kolbe (2001), Köster und Nieder (2007), Pasda et al. (2011), Römer et al. (2004), Römer (2009), Steffens und Leithold (2011), Zorn und Schröter (2014), Zorn und Wagner (2014) sowie Zorn et al. (2014). 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 derzeitige Niveau der Gehaltsklasse C in keinem Fall sinnvoll ist (Hege et al., 2008; Zorn et al., 2014).

Dauergrünland

Die für Ackerland getroffenen Aussagen können auch für Dauergrünland bestätigt werden. Die in den 1980er und 1990er Jahren etablierten statischen P-Düngungsversuche führten nur bei vollständig unterlassener Phosphordüngung mit Bodenwerten unterhalb von 3 mg P/100 g Boden zu signifikanten Ertragsbeeinträchtigungen. Aus der Pflanzenanalyse abgeleitete Ertragsgrenzwerte bestätigten mit Werten von 2,8 - 3 g P/kg Trockenmasse internationale Literaturwerte (Greiner et al., 2006, 2010, 2014; Schuch et al., 2013). Zusammenfassend ist somit für Intensivstandorte des Dauergrünlands abzuleiten, dass die neueren Versuchsergebnisse mit einer Versuchsdauer zwischen 15 und 25 Jahren an insgesamt 9 Standorten eine Herabsetzung der Richtwerte für P in der Gehaltsklasse C erlauben.

Vorschlag für eine Anpassung der Richtwerte für Phosphor in den Gehaltsklassen A bis E

Abgeleitet aus den vorliegenden Datenserien kann der untere Richtwert der Gehaltsklasse C für Ackerböden (Krumentiefe ~ 30 cm) und Grünlandböden (Probenahmetiefe 10 cm) von 4,5 auf 3 mg P/100 g Boden, der obere Richtwert von 9 auf 6 mg P/100 g Boden abgesenkt werden. Tabelle 2 zeigt die Vorschläge für die Anpassung in den Gehaltsklassen A bis E im Vergleich zu den bisherigen Richtwerten (VDLUFA, 1997). Lediglich in Regionen mit geringer Niederschlagssumme erscheint ein etwas höherer oberer Richtwert in Gehaltsklasse C gerechtfertigt zu sein.

Tabelle 2: Bisherige und vorgeschlagene neue Richtwerte für die Gehaltsklassen A bis E für Acker- und Grünlandstandorte (mg CAL-P/100 g Boden)

Gehaltsklasse	bisherige Richtwerte	neue Richtwerte
A	<2,0	<1,5
B	2,0 – 4,5	1,5 – 3,0
C	4,5 – 9,0	3,0 – 6,0*
D	9,0 – 15,0	6,0 – 12,0
E	>15,0	>12,0

* Der obere Wert für die Gehaltsklasse C von 6 mg CAL-P gilt für alle Standorte mit Niederschlagsmengen > ~550 mm/Jahr. In Trockengebieten (< ~550 mm) erhöht sich der obere Wert auf 7,5 mg CAL-P

Notwendige produktionstechnische Anpassungen an die neuen Richtwerte

Um zu gewährleisten, dass die vorgeschlagenen 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 unbedingt eingehalten werden. Dazu zählen:

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

3. Platzierung des P-Düngers

Während die Unterfußdüngung bei Mais inzwischen Standard der guten fachlichen Praxis ist, zeigen jüngere Ergebnisse auch für Getreide positive Effekte einer P-Düngerplatzierung. Die entsprechenden Verfahren sind weiterzuentwickeln.

4. Kulturartenspezifität

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

5. P-Düngerform

Generell sollten vornehmlich voll aufgeschlossene P-Dünger (wasser- bzw. ammoniumcitratlösliche) 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 landwirtschaftlicher Bodennutzung durch Bodenerosion (Wassererosion, Winderosion) erfolgt, ist eine ganzjährige Bodenbedeckung anzustreben. Über Zwischenfruchtanbau kann zusätzlich Phosphor für Folgefrüchte mobilisiert werden.

Notwendige Schritte zur Weiterentwicklung von standortangepassten P-Düngebedarfsprognosen

Die dargestellte Absenkung der Richtwerte für die Gehaltsklasse C erfordert als komplementäre Maßnahme die Überprüfung und gegebenenfalls Anpassung der Düngebedarfsprognose in Abhängigkeit von Bodenart, pH-Wert und Standort sowie die Ableitung präferenzierter P-Düngungsempfehlungen zu bestimmten Fruchtfolgegliedern. Weiterhin sollte geprüft werden, ob die P-Düngerbedarfsprognose durch die Berücksichtigung weiterer Größen bei der P-Extraktion, wie die Bestimmung nachlieferbarer organischer und anorganischer Phosphorverbindungen, verbessert werden kann. Dies betrifft auch die Berücksichtigung verfügbarer Phosphormengen im Unterboden.

Resümee

Die aus den Fachgruppen I und II des VDLUFA gebildete Projektgruppe (s. Autorenliste) schlägt auf der Grundlage einer umfassenden Re-Evaluierung der verfügbaren Daten eine Anpassung der Richtwerte für Phosphor in den Gehaltsklassen A bis E vor. Zentrales Ergebnis dieser Anpassung ist eine Absenkung der Richtwerte für die Gehaltsklasse C. Dies ermöglicht vielen landwirtschaftlichen Betrieben eine Kosteneinsparung durch nun nicht mehr erforderliche Aufdüngungsmaßnahmen und schont die Umwelt durch verminderte P-Austräge insbesondere in aquatische Ökosysteme, aber auch in naturnahe terrestrische Ökosysteme.

Der Vorstand des VDLUFA stellt sich nachdrücklich hinter diese Vorschläge. Damit wird der VDLUFA seiner Aufgabe gerecht, die Rahmenbedingungen der guten fachlichen Praxis der Düngung – in diesem Fall für den Nährstoff Phosphor – stets dem Fortschritt der wissenschaftlichen Erkenntnisse anzupassen. Eine einheitliche Umsetzung der vorgeschlagenen Richtwerte in den Bundesländern ist aus ökonomischen (Verzicht auf unnötige Aufdüngung von Böden) und ökologischen (Verminderung von P-Austrägen aus landwirtschaftlich genutzten Flächen) und aus Gründen des Ressourcenschutzes (Endlichkeit der P-Vorräte) wünschenswert.

Quellen

- Djodjic, F. und Mattsson, L., 2013. Changes in plant-available and easily soluble phosphorus within 1 year after P amendment: Soil phosphorus changes after applied fertilizers. *Soil Use and Management* 29, 45–54. doi:[10.1111/j.1475-2743.2012.00436.x](https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2012.00436.x)
- Greiner, B., Schuppenies, R., Hertwig, F., Hochberg H. und 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. und 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. und Offenberger, K., 2008. Versuchsergebnisse zur Bedeutung der Bodenversorgung mit Phosphat und Kali. Wie hoch müssen die Nährstoffgehalte im Boden sein? *Pflanzenbauwissenschaften* 12, 53–63. www.ulmer.de/artikel.dii?AID=803407
- Kerschberger, M., Hege, U. und Jungk, A., 1997. Phosphordüngung nach Bodenuntersuchung und Pflanzenbedarf. *Standpunkt*. VDLUFA, Darmstadt. www.vdlufa.de/joomla/Dokumente/Standpunkte/0-4-phosphor.pdf
- Kolbe, H., 2001. Anleitung zur P-, K-, Mg- und Kalk-Düngung im ökologischen Landbau. *SÖL-Berater-Rundbrief* 3–9. <http://orgprints.org/798/>

- Köster, W. und Nieder, R., 2007. Wann ist eine Grunddüngung mit Phosphor, Kalium und Magnesium wirtschaftlich vertretbar? Heft I: Erweiterte & Überarbeitete 2te Auflage www.beratung-mal-anders.de/aktuelles/
- Kuchenbuch, R.O. und 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. doi: [10.1002/jpln.200900162](https://doi.org/10.1002/jpln.200900162)
- Mokry, M., 1996. P-Düngungsversuche - Baden-Württemberg. VDLUFA-Schriftenreihe 42, 4–10
- 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.
- Römer, W., Claassen, N., Steingrobe, B., Märländer, B., 2004: Die Reaktion der Zuckerrübe auf Phosphordüngung – Ergebnisse eines 20jährigen Feldversuchs. Zuckerrübe 6, 291-293.
- 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. und Herrmann, A., 2013. Wurzelmasse und C-Sequestrierung von Grünland: Einfluss der Phosphor- und Kaliumversorgung. In: LfL (Hrsg.) Mehr Eiweiß vom Grünland und Feldfutterbau; Potenziale, Chancen und Risiken, 57. Jahrestagung der AGGF, 222–226. www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ipz/dateien/aggf_2013_schuch_et_al.pdf
- Steffens, D. und Leithold, G., 2011. Wie Phosphor im Organischen Landbau zukünftig düngen? Wirkung von Phosphatdüngung und Phosphatform im Organischen Landbau. In: Leithold, G., Becker, K., Brock, C., Fischinger, S., Spiegel, A.-K., Spory, K., Wilbois, K.-P. und Williges, U. (Hrsg.) „Beiträge zur 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau“, Gießen, 16.-18.03.2011, Band 1: Boden, Pflanze, Umwelt, Lebensmittel und Produktqualität 1: 189–192. <http://orgprints.org/17765/>
- Steffens, D. und Schubert, S., 2014. Organisch gebundenen Bodenphosphor zukünftig bei einer Routinebodenuntersuchung berücksichtigen. Vortrag auf der Frühjahrssitzung der FG I Pflanzenernährung, Produktqualität und Ressourcenschutz am 11.-12. März 2014 in Veitshöchheim zum Themenschwerpunkt „Phosphor-Düngebedarfsprognose“
- Svanbäck, A., Ulén, B., Etana, A., Bergström, L., Kleinman, P.J.A. und Mattsson, L., 2013. Influence of soil phosphorus and manure on phosphorus leaching in Swedish topsoils. Nutrient Cycling in Agroecosystems 96, 133–147. doi:[10.1007/s10705-013-9582-9](https://doi.org/10.1007/s10705-013-9582-9)
- Taube, F., Herrmann, A. und Schuch, H., 2014. Auswirkungen einer langjährig differenzierten Grünland-Phosphatdüngung auf Erträge und Boden-P-Gehalte auf sandigen Böden in Schleswig-Holstein. Vortrag auf der Frühjahrssitzung der FG I Pflanzenernährung, Produktqualität und Ressourcenschutz am 11.-12. März 2014 in Veitshöchheim zum Themenschwerpunkt „Phosphor-Düngebedarfsprognose“.

- UBA, 2014. Stickstoff- und Phosphoreinträge aus Punktquellen und diffusen Quellen in die Oberflächengewässer in Deutschland. Umweltbundesamt.
www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/2_abb_n-p-eintraege_2014-09-23_1.pdf
- Verloop, J., Oenema, J., Burgers, S.L.G., Aarts, H.F.M. und van Keulen, H., 2010. P-equilibrium fertilization in an intensive dairy farming system: effects on soil-P status, crop yield and P leaching. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 87, 369–382. doi:
[10.1007/s10705-010-9344-x](https://doi.org/10.1007/s10705-010-9344-x)
- Werner, W., 2006. Düngung von Böden. In: Blume, H.-P., Felix-Henningsen, P., Frede, H.-G., Guggenberger, G., Horn, R., Stahr, K. (Hrsg.): *Handbuch der Bodenkunde*. 26. Ergänzung Lfg. 11/06; Kap. 6.4, 1–63.
- Zorn, W., Hochberg, H., Zopf, D. und Kießling, G., 2013. Auswertung aktueller Versuche zur P- und K-Düngung auf dem Grünland nach der Bilanzmethode. *VDLUFA-Schriftenreihe* 69, 263–270. www.vdlufa.de/kongress2013/KB2013.pdf
- Zorn, W. und Wagner, S., 2014. Ergebnisse eines vierjährigen Monitorings zum Ernährungszustand Thüringer Ackerkulturen. *VDLUFA-Schriftenreihe Band* 69, 218–225. www.vdlufa.de/kongress2013/KB2013.pdf
- Zorn, W. und Schröter, H., 2014. Auswertung aktueller Versuche zur P-Düngung auf dem Ackerland nach der Bilanzmethode *VDLUFA-Schriftenreihe Band* 70, 261–268.
http://www.vdlufa.de/download/KB2014_web_gross.pdf

Autoren

Prof. Dr. Friedhelm Taube
 Prof. Dr. Thomas Appel
 Prof. Dr. Thomas Ebertseder
 Prof. Dr. Torsten Müller
 Prof. Dr. Hans-Werner Olfs
 Dr. Ludwig Nätscher
 Dr. Kathlin Schweitzer
 Prof. Dr. Diedrich Steffens
 Prof. Dr. Franz Wiesler
 Dr. Wilfried Zorn

Für den Vorstand des VDLUFA

Prof. Dr. Franz Wiesler (Präsident)
 Prof. Dr. Thomas Ebertseder (Vizepräsident Pflanzenproduktion)
 Prof. Dr. Karl-Heinz Südekum (Vizepräsident Tierproduktion)