

# Rolle des Phosphors als Steuerungsgröße des Stickstoffertrages und der Phytodiversität ökologisch bewirtschafteter

## Dauergrünlandbestände

B. Mahnke und J. Müller

Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät,  
Grünland und Futterbauwissenschaften, Justus-von-Liebig-Weg 6, 18059 Rostock

barbara.mahnke@uni-rostock.de

### Einleitung und Problemstellung

Neben dem Schaffen von Voraussetzungen zur Erzielung hoher Grundfutterleistungen und der Bereitstellung von Stickstoff für den Ackerbau spielen auf ökologisch bewirtschafteten Grünlandstandorten die Erhaltung und Erhöhung der Artenvielfalt eine außerordentlich große Rolle (GOTTARDI *et al.*, 2005; RAHMANN, 2002). Entscheidend für die gedeihliche Entwicklung der stickstofffixierenden Grünlandleguminosen ist eine hinreichende Phosphor(P)versorgung (ACUÑA & WILMAN, 1993; PARFITT *et al.*, 2005). Überhöhte Boden-P-Gehalte wirken sich allerdings nach JANSSENS *et al.* (1998), MCCREA *et al.* (2004), WRAGE *et al.* (2010), ZELNIK, I. & ČARNI, A. (2013) sowie CEULEMANS *et al.* (2014) negativ auf die Biodiversität aus. Vor diesem Hintergrund wird im BÖLN-Projekt der Effekt der Phosphorversorgung auf die Zusammensetzung von Pflanzenbeständen unter besonderer Berücksichtigung der Grünlandleguminosen, deren Funktionalität und der Phytodiversität untersucht. Ziel ist es, Methoden eines praxisorientierten P-Managements ökologisch bewirtschafteten Grünlands aufzuzeigen. Im Beitrag sollen das Projekt, die verfolgten experimentellen Ansätze und ferner erste Ergebnisse der Felderhebungen vorgestellt sowie diskutiert werden.

### Stand des Wissens

Phosphor als essentieller Pflanzennährstoff führt bei Überdüngung landwirtschaftlicher Nutzflächen zur Anreicherung von P im Boden und infolge Austrags zur Eutrophierung von Oberflächengewässern. Aufgrund dessen und der schwindenden Phosphatreserven mit vergleichsweise niedrigen Gehalten an Schadstoffen, sind angepasste P-Düngestrategien gefragt, welche ein besseres Verständnis der Boden-Pflanzen-Dynamik hinsichtlich der P-Versorgung voraussetzen (WHITERS *et al.*, 2014). Leguminosen weisen einen erhöhten P-Bedarf auf. P-Defizite können zu geringeren Anteilen an der Narbe, geringeren Stickstoff(N)fixierungs- und Photosyntheseleistungen sowie in der Folge zu markanten Ertrags Einschränkungen führen (ACUÑA & WILMAN 1993; HØGH-JENSEN *et al.*, 2002; KÄDING *et al.*, 2003). Die unterschiedlichen Leguminosenarten weisen einen spezifischen P-Bedarf auf. Während Weißklee (*Trifolium repens*) auf eine hohe P-Versorgung angewiesen ist (LOWTHER, 1991; ACUÑA & WILMAN, 1993) zeigt *Lotus pedunculatus* (Sumpf-Hornklee) bei P-Mangel eine effizientere P-Nutzung (HART & JESSOP, 1984; LOWTHER, 1991). Demgegenüber steht die Forderung nach Erhalt und Entwicklung der Biodiversität. Aus Metaanalysen europäischer Grünlanddaten (JANSSENS *et al.*, 1998; CEULEMANS *et al.*, 2014) wird eine streng negative Beziehung zwischen dem Artenreichtum und den Boden-P-Gehalten abgeleitet. Den Autoren war es dennoch nicht möglich, kritische P-Schwellenwerte für die Phytodiversität anzugeben. GÜSEWELL (2004) schlägt für die Bestimmung des Trophiestatus von Grünland und der damit einhergehenden potenziellen Gefährdung der Biodiversität die Verwendung der N:P-Ratio des Pflanzenmaterials vor. Auch LIEBISCH *et al.* (2013) konnten eine Verbesserung der Bewertung der P-Verfügbarkeit im Grünland bei gleichzeitiger Einbeziehung von N feststellen (N\_P-Ratio und PNI). Die Autoren ermittelten, dass P-Konzentrationen von 2,1-3,0 mg P g<sup>-1</sup> ausreichend für das Pflanzenwachstum und optimal für

eine effiziente P-Nutzung im Grünland seien. Für N:P- und K:P-Ratios leiteten sie Optimalwerte von 5,5-9,0 bzw. 6,0-10,5 ab.

### Projektziele

- Kann auf typischen, naturschutzfachlich bedeutsamen Grünlandstandorten Nordostdeutschlands ein Zusammenhang zwischen der Präsenz und dem Deckungsgrad von Grünlandleguminosen einerseits sowie der Phytodiversität andererseits hergestellt werden?
- Welche Rolle spielen Bodentyp und Nutzungsart im Hinblick auf diese Relationen?
- Gibt es Unterschiede zwischen *Trifolium repens* und anderen Leguminosen des Dauergrünlandes hinsichtlich der pedotrophischen Beschaffenheit ihrer unmittelbaren Umgebung?
- Welche P-Fraktion eignet sich am besten zur Abschätzung des P-Trophiestatus des Bodens im Hinblick auf dessen Einschränkung der botanischen Artenvielfalt?
- Eignen sich Boden- oder Pflanzenparameter oder aber eine Kombination beider besser zur Abschätzung des P-Versorgungsstatus der Grünlandleguminosen?
- Können Schwellenwerte für das Vorkommen von Grünlandleguminosen als auch für die Phytodiversität abgeleitet werden?

### Versuchsansätze

Die für das Erreichen der Projektziele notwendigen Daten werden mittels umfangreicher Felderhebungen in Mecklenburg-Vorpommern mit den Schwerpunkten Warnowiederung und Peenetal sowie durch Feldversuche auf einer konventionell (Neu Heinde) und einer ökologisch bewirtschafteten Fläche (Gut Prebberede) mit nachgewiesenem P-Mangel über einen Zeitraum von zwei Hauptnutzungsjahren gewonnen. Beide Versuchsflächen befinden sich in unmittelbarer Nachbarschaft zueinander, etwa 30 km südöstlich von Rostock in der Nähe von Laage (53° 56' N, 12° 21' O). Die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt 8,7°C, der mittlere jährliche Niederschlag liegt bei 607mm (1981-2010, Deutscher Wetterdienst, Station Laage).

Die Versuchsfelder wurden im Frühjahr 2014 als randomisierte Blockanlagen mit insgesamt 18 Behandlungsvarianten angelegt, die sich aus den Faktoren Art des Pflanzenbestandes und Düngesystem ergeben (Tab. 1). Jedes einzelne Versuchsfeld besteht aus 12 Varianten in vier Blöcken mit 48 1,5m x 5,5m großen Parzellen. Bei der Art des Pflanzenbestandes handelt es sich bis auf Stufe d (ohne Klee) um ein Klee-Gras-Gemenge mit *Lolium perenne*, *Phleum pratense*, *Poa pratensis* und *Festuca pratensis* sowie je nach Faktorstufe mit den Kleearten *Trifolium repens* (kleinblättrig und großblättrig) und *Lotus corniculatus*. Neben unterschiedlichen Leguminosenarten sollen bei den Feldversuchen auch verschiedene Phosphor-Dünger eingesetzt werden. Aufgrund der beschriebenen Problematik der schwindenden Phosphatreserven und den aktuellen Forschungen auf Bundes-, EU- und internationaler Ebene zum Phosphor-Recycling (z.B. RÖMER, 2013) sind dies neben einem handelsüblichen Referenzpräparat auch Düngemittel aus recyceltem Phosphor: Knochenkohle aus Tiermehl sowie die Produkte AshDec (Glühphosphat, Outotec) und Leachphos (Calciumphosphat, BSH Umweltservice AG) aus Klärschlammasche.

Auf Ebene der Versuchsanlagen und Bewirtschaftungseinheiten erfolgen neben vollständigen Vegetationsaufnahmen mit Schätzung der Deckungs- und Ertragsanteile funktioneller Gruppen (Süßgräser, Sauergräser, Leguminosen, Kräuter) im Frühjahr und Sommer repräsentative Bodenbeprobungen. Die Parameter Leguminosenart, –anteil, Verteilung und Vitalität der ausdauernden Leguminosen sowie Diversitätskennzahlen sollen den Phosphorkonzentrationen und –fraktionen im Boden gegenübergestellt werden.

Tabelle 1: Faktoren und Stufen der Parzellenversuche im PhosphorusLegumesDiversity-Projekt. (Die Nomenklaturen einzelner Behandlungsvarianten ergeben sich aus einer Kombination der Stufenkürzel (fett gedruckt) in der Reihenfolge Art des Pflanzenbestandes+Düngesystem)

	Faktor	Stufe
Ökologisch, Gut Prebberede	Art des Pflanzenbestandes	Trifolium repens sylvestre ( <b>a</b> ) Trifolium repens giganteum ( <b>b</b> ) Lotus corniculatus ( <b>c</b> ) ohne Klee ( <b>d</b> )
	Düngesystem	0-P (kein Dünger) ( <b>I</b> ) TIMAC ( <b>II</b> ) Knochenkohle ( <b>III</b> )
Konventionell, Neu Heinde	Art des Pflanzenbestandes	Trifolium repens ( <b>a</b> ) Lotus corniculatus ( <b>c</b> ) ohne Klee ( <b>d</b> )
	Düngesystem	0-P (kein Dünger) ( <b>I</b> ) TIMAC ( <b>II</b> ) AshDec ( <b>IV</b> ) Leachphos ( <b>V</b> )

Eine der Erhebungsflächen des Projekts befindet sich auf dräniertem tiefgründigen Niedermoor in der Warnowniederung, etwa 20 km südlich von Rostock. Seit 1992 werden auf dem nun repräsentativen Niedermoorgrünland mit typischen Feuchtwiesenvertretern keine Düngemittel mehr ausgebracht. 1999 wurde hier eine Versuchsanlage mit vier Trophie-Varianten und je vier Wiederholungen angelegt (Tab. 2). Die Nutzung erfolgt dreischnittig.

Tabelle 2: Faktorstufen und deren Abkürzungen (fett gedruckt) der Erhebungsfläche in Kambs.

Faktor	Stufe	Bemerkungen
Düngung	1	Ohne Düngung ( <b>Ohne</b> )
	2	160 kg N, 160 kg K, 48 kg P in 3 Teilgaben je ha und Jahr ( <b>NPK</b> )
	3	160 kg K, 48 kg P je ha und Jahr ( <b>PK</b> )
	4	160 kg K je ha und Jahr ( <b>K</b> )

Für die Jahre 2007, 2009 und 2014 liegen für die vor dem ersten Schnitt durchgeführten Bonituren vollständige Vegetationsaufnahmen vor. In der ersten Arbeitsphase des Projekts wurde anhand dieser Daten des Niedermoorstandortes mittels Varianzanalyse (ANOVA) geprüft, ob zwischen den Trophiestufen und den Leguminosenanteilen Zusammenhänge festzustellen ist. Die Daten wurden mit dem Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung geprüft. Die statistische Auswertung erfolgte mit R (Version 3.0.2, R CORE DEVELOPMENT TEAM 2011).

### Erste Ergebnisse

Abbildung 1 zeigt den positiven Einfluss der PK-Düngung auf die Präsenz und den Deckungsanteil der Leguminosen in allen drei Jahren. 2009 ist der Leguminosenanteil mit 38% besonders hoch. Während sich die Ergebnisse von 2007 und 2009 ähneln, zeigt 2014 ein anderes Bild. Der Anteil der Süßgräser in Variante „Ohne“ ist deutlich gesunken, während der Kräuteranteil, vor allem durch einen erhöhten Anteil von *Filipendula ulmaria* (Mädesüß) gestiegen ist. Die Varianten „NPK“ und „PK“ zeigen mit Deckungsanteilen von durchschnittlich 83% und 72% eine deutlich höhere Präsenz der Süßgräser als in den Vergleichsjahren. *Cirsium oleraceum* (Kohldistel) tritt 2014 vor allem bei „NPK“ und „PK“ erhöht auf und erklärt neben der Dominanz der Süßgräser, dass *Trifolium repens* aufgrund seiner Lichtbedürftigkeit zurückgedrängt wird.

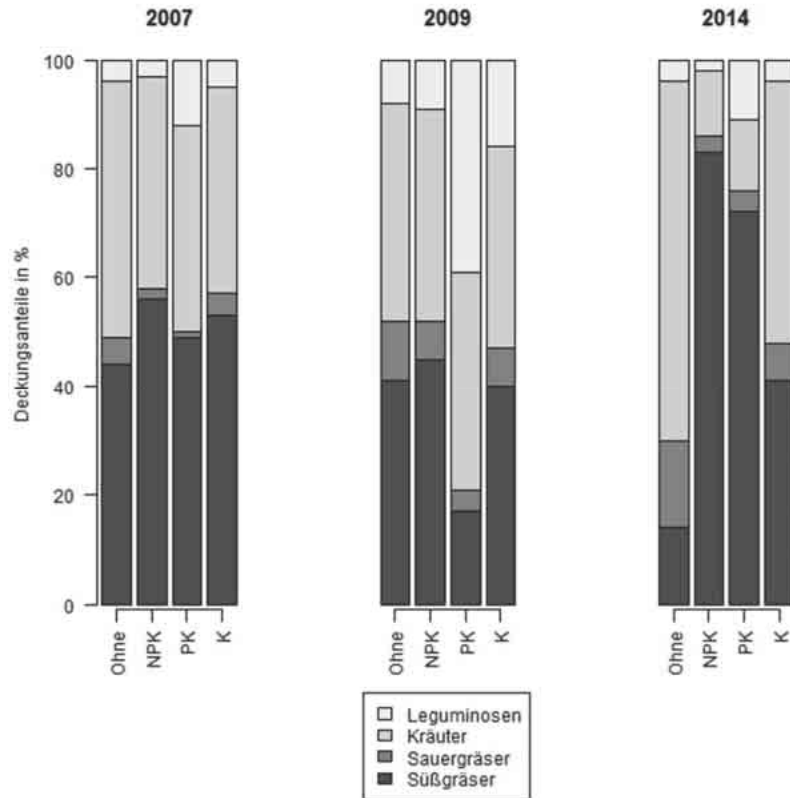


Abbildung 1: Deckungsanteile der funktionellen Gruppen an der Gesamtdeckung für die Düngevarianten „Ohne“, „NPK“, „PK“ und „K“ der Jahre 2007, 2009 und 2014. Ergebnisse der Bonitur vor dem ersten Schnitt. Mittelwerte der Wiederholungen.

Mit der ANOVA und anschließendem Tukey-Test konnte ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Deckungsanteil der Leguminosen insgesamt und den Düngevarianten „Ohne“ und „PK“ sowie signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Düngevarianten nachgewiesen werden (Abb. 2, Tab. 3).

Tabelle 3: Ergebnisse der Prüfung mittels ANOVA auf signifikante Effekte der Düngevarianten „Ohne“, „NPK“, „PK“ und „K“ auf den Deckungsgrad der Leguminosen (Jahre 2007, 2009 und 2014. *p*-Werte, Signifikanzniveaus 0.001\*\*\*; 0.01\*\* ; 0.05\*).

Erhebungsjahr	Ohne	NPK	PK	K
2007	0.0175 *	0.4992	0.0108 *	0.0216 *
2009	0.0000 ***	0.6077	0.0023 **	0.1716
2014	0.0018 **	0.0890 .	0.0036 **	0.6465

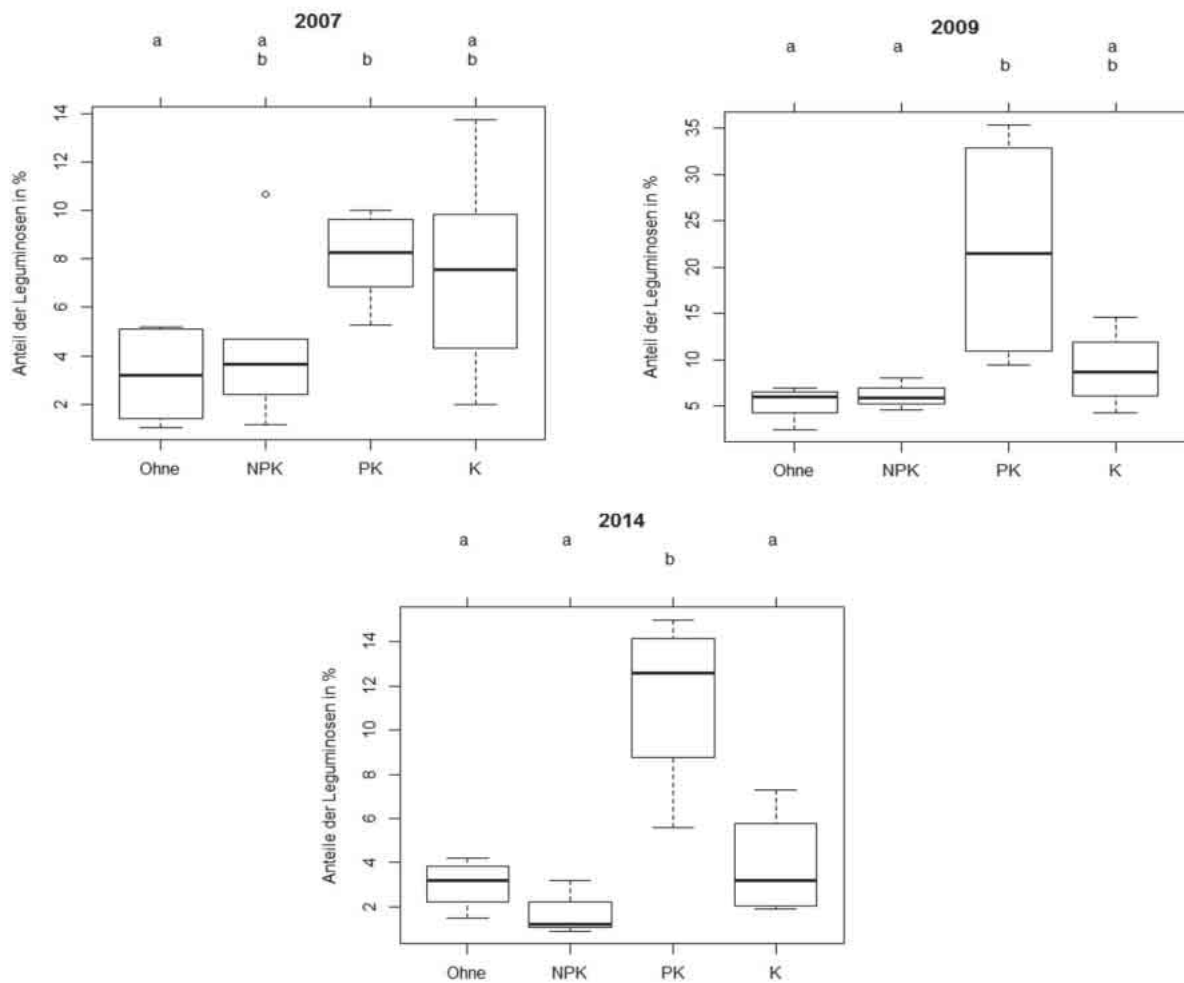


Abbildung 2: Vergleich der Lagemaße des Anteils der Leguminosen an der Gesamtddeckung der Düngevarianten „Ohne“, „NPK“, „PK“ und „K“ der Jahre 2007, 2009 und 2014. Dicke Linie: Median. Länge der Box: Interquartilsabstand. Länge der Whisker: Markieren die Daten, die innerhalb der Grenzen vom 1,5-fachen des Interquartilsabstands liegen. Kreis: Ausreißerverdächtig. Signifikante Unterschiede (Tukey) sind mit den Buchstaben *a* und *b* dargestellt.

Tabelle 4: Mittlere Artenzahl der Düngevarianten „Ohne“, „NPK“, „PK“ und „K“ der Jahre 2007, 2009 und 2014. Ergebnisse der Bonitur vor dem ersten Schnitt. Mittelwerte der Wiederholungen.

Erhebungsjahr	Ohne	NPK	PK	K
2007	29,50	28,00	28,50	27,00
2009	18,50	22,00	22,00	23,00
2014	25,50	22,75	24,75	24,25

### Ausblick

Dass eine gute Phosphorversorgung keinesfalls zwangsläufig zu einer geringen Phytodiversität führt, belegt Tab. 4. Die wenigen bisherigen Auswertungen der Herbsthebungen im Peenetal (hier nicht dargestellt) zeigen darüber hinaus, dass der Boden-P-Gehalt (DL) allein offenbar kein hinreichender Prädiktor für die Präsenz von Grünlandleguminosen auf extensiv bewirtschafteten Weiden ist. Es bleibt weiteren Erhebungen vorbehalten zu ergründen, inwieweit dies auch auf deren Ökosystemleistungen zutrifft. Auch sollte die Diskussion des Zusammenhangs zwischen Leguminosen und korrespondierender Vegetationsstruktur nicht unabhängig von der Nutzung und den räumlichen Skalenebenen geführt werden, was in den Metaanalysen nicht oder nur sehr eingeschränkt erfolgte. Die Daten der Erhebungen sollten

es zudem ermöglichen, die weniger oft untersuchten autochthonen Grünlandleguminosen wie *Lathyrus pratensis*, *Lotus pedunculatus* oder *Trifolium fragiferum* im Hinblick auf Ihren P-Bedarf präziser zu charakterisieren.

## Literatur

- ACUÑA, G.H. und WILMAN, D. (1993): Some effects of added phosphorus on perennial ryegrass-white clover swards. *Grass and Forage Science* 48, 416-420.
- CEULEMANS, T., STEVENS, C.J., DUCHATEAU, L., JAQUEMYN, H., GOWING, D.J.G., MERCKX, R., WALLACE, H., VAN ROOIJEN, N., GOETHEM, T., BOBBINK, R., DORLAND, E., GAUDNIK, C., ALARD, D., CORCKET, E., MULLER, S., DIESE, N.B., DUPRÉ, C., DIEKMANN, M. & HONNAY, O. (2014): Soil phosphorus constrains biodiversity across European grasslands. *Global Change Biology*. Accepted Article (13.5.2014). doi: 10.1111/gcb.12650
- GOTTARDI, S., FRICKE, T., SPATZ, G. & WACHENDORF, M. (2005): Quantitative Untersuchung des Einflusses verschiedener Standortfaktoren auf das Vorkommen von Weißklee in einem ökologisch bewirtschafteten Grünlandbestand. *Mitt. der AG Grünland und Futterbau* 7, 73-76.
- GÜSEWELL, S. (2004): N:P ratios in terrestrial plants: variation and functional significance. *New Phytologist* 164, 243-266.
- HART, A.L. & JESSOP, D. (1984): Leaf phosphorus fractionation and growth responses to phosphorus of the forage legumes *Trifolium repens*, *T. dubium* and *Lotus pedunculatus*. *Physiologia Plantarum* (3), 61, 435-440.
- HØGH-JENSEN, H., SCHJOERRING, J.K. & SOUSSANA, J.-F. (2002): The Influence of Phosphorus Deficiency on Growth and Nitrogen Fixation of White Clover Plants. *Annals of Botany* 90, 745-753.
- JANNSENS, F., PEETERS, A., TALLOWIN, J.R.B., BAKKER, J.P., BEKKER, R.M., FILLAT, F. & OOMES, M.J.M. (1998): Relationship between soil chemical factors and grassland diversity. *Plant and Soil* 202, 69-78.
- KÄDING, H., WERNER, A. & SCHALITZ, G. (2003): Auswirkungen langjähriger N-Düngung auf Standorteigenschaften, Erträge, Stoffgehalte und Vegetationszusammensetzung des Niedermoorgrünlandes. *Pflanzenbauwissenschaften* 7 (1), 13-20.
- LIEBISCH, F., BÜNEMANN, E.K., HUGUENIN-ÉLIE, O., JEANGROS, B., FROSSARD, E. & OBERSON, A. (2013): Plant phosphorus nutrition indicators evaluated in agricultural grasslands managed at different intensities. *European Journal of Agronomy* 44, 67-77.
- LOWTHER, W.L. (1991): Comparison of Maku lotus (*Lotus pedunculatus*)-based and clover (*Trifolium* spp.)-based swards with and without regular phosphorus fertilizer. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 34, 335-339.
- MCCREA, A.R., TRUEMAN, I.C. & FULLEN, M.A. (2004): Factors relating to soil fertility and species diversity in both semi-natural and created meadows in the West Midlands of England. *European Journal of Soil Science* 55, 335-348.
- PARFITT, R.L., YEATES, G.W., ROSS, D.J., MACKAY, A.D. & BUDDING, P.J. (2005): Relationships between soil biota, nitrogen and phosphorus availability, and pasture growth under organic and conventional management. *Applied Soil Ecology* 28, 1-13.
- R CORE DEVELOPMENT TEAM (2011): R: A Language and Environment for Statistical Computing. *R Foundation for Statistical Computing*, Vienna. Available online at <http://www.R-project.org/>.
- RAHMANN, G. (2002): Biodiversität und Ökologischer Landbau gehören zusammen! *Katalyse Nachrichten* 35 (1), 1-8.
- RÖMER, W. (2013): Phosphor-Düngewirkung von P-Recyclingprodukten. *Korrespondenz Abwasser, Abfall* (60) 3, 202-215.
- WHITERS, P.J.A., SYLVESTER-BRADLEY, R., JONES, D.L., HEALEY, J.R. & TALBOYS, P.J. (2014): Feed the Crop Not the Soil: Rethinking Phosphorus management in the Food Chain. *Environmental Science & Technology* 48 (12), 6523-6530.
- WRAGE, N., CHAPUIS-LARDY, L. & ISSELSTEIN, J. (2010): Phosphorus, Plant Biodiversity and Climate Change. In: Lichtfouse, E. (ed.): *Sociology, Organic farming, Climate Change and Soil Science. Sustainable Agriculture Reviews* 3, 147-169.
- ZELNIK, I. und ČARNI, A. (2013): Plant species diversity and composition of wet grasslands in relation to environmental factors. *Biodiversity and Conservation* 22, 2179-2192.