

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

BÖLN

Bundesprogramm Ökologischer Landbau
und andere Formen nachhaltiger
Landwirtschaft

Abschlussbericht

Förderkennzeichen BOELN 2812OE008

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

Zuwendungsempfänger:

Universität Rostock
Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät
Professur Grünland u. Futterbauwissenschaften
Dr. Jürgen Müller
Justus-von-Liebig-Weg 6
18059 Rostock

Universität Rostock
Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät
Professur Bodenkunde
Prof. Peter Leinweber
Justus-von-Liebig-Weg 6
18059 Rostock

Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und
Fischerei Mecklenburg-Vorpommern
Institut für Pflanzenproduktion und Betriebs-
wirtschaft Fachgebiet Ökologischer Landbau
Dipl. agr. Ing. Andreas Titze
Dorfplatz 1
18276 Gülzow

Laufzeit:

01.09.2013 bis 31.05.2017

Autor_innen des Abschlussberichtes:

M.Sc. Barbara Mahnke, Dr. Jürgen Müller, M.Sc.
Daniel Korpat, B.Sc. Rebekka L. Erlinghagen, Prof.
Nicole Wrage-Mönnig

„We feel that species richness has no simple explanation, whereas species ‚poorness‘ may have a single cause. In other words: ‘explaining diversity requires a diversity of explanations’; the more stabilizing mechanisms can operate simultaneously, the higher the diversity can be.”

(Braakekke & Hooftman 1999)

Tabellenverzeichnis

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	4
Abbildungsverzeichnis	8
1 Zusammenfassung	1
2 Abstract	1
3 Einführung	2
3.1 Gegenstand des Vorhabens	2
3.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projektes	2
Bezug des Vorhabens zu den einschlägigen Zielen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau oder zu konkreten Bekanntmachungen und Ausschreibungen	2
3.3 Planung und Ablauf des Projektes	3
4 Wissenschaftlicher und technischer Stand des Wissens	4
5 Erhebungen	6
5.1 Versuchsfragen	6
5.2 Material und Methoden	6
5.2.1 Standorte und Datenerhebung	6
5.2.2 Datenauswertung	9
5.3 Ergebnisse	9
5.3.1 Kartierungen	9
5.3.2 Nährstoffgehalte im Boden	16
5.3.3 Zusammenhang von Boden-P und Phytodiversität	19
5.3.4 Nährstoffgehalte in den Pflanzen	20
5.4 Diskussion	22
5.4.1 Leguminosen und Phytodiversität	22
5.4.2 Boden-P- sowie weitere Nährstoffgehalte und Phytodiversität	24
5.4.3 Eignen sich Boden- oder Pflanzenparameter besser zur Abschätzung des P- Versorgungsstatus der Grünlandleguminosen?	27
6 Feldversuche	28
6.1 Versuchsfragen	28
6.2 Material und Methoden	29
6.2.1 Versuchsstandort und Versuchsdesign	29
6.2.2 Datenerhebung	33
6.2.3 Datenauswertung	33

Tabellenverzeichnis

6.3	Ergebnisse.....	34
6.3.1	Erträge und Anteil der funktionellen Gruppen	34
6.3.2	Erträge 2014 bis 2016 innerhalb der Leguminosen-Varianten	49
6.3.3	Boden-Nährstoffgehalte	52
6.4	Diskussion.....	60
6.4.1	Unterscheiden sich die eingesetzten P-Dünger hinsichtlich ihrer Düngewirkung? Sind P-Recyclingdünger in ihrer Ertragswirkung mit einem für den Ökolandbau zugelassenen P-Dünger vergleichbar?	60
6.4.2	Stellt der Gewöhnliche Hornklee (<i>Lotus corniculatus</i>) auf trockenen, sandigen Standorten eine Alternative zum Weißklee (<i>Trifolium repens</i>) dar?	62
6.4.3	Sind Unterschiede zwischen einer kleinblättrigen und großblättrigen Weißkleeart hinsichtlich ihrer Etablierung und Ertragswirkung feststellbar?	62
6.4.4	Kann die Applikation von Knochenkohle, einem P-Recyclingdünger, eine kurzfristig messbare Erhöhung des pflanzenverfügbaren Phosphors für die Grünlandleguminosen bewirken?	62
7	Gefäßversuch.....	63
7.1	Versuchsfragen.....	63
7.2	Material und Methoden	63
7.2.1	Versuchsdesign.....	63
7.2.2	Datenerhebung und -auswertung	66
7.3	Ergebnisse.....	67
7.3.1	Unter Einbeziehung beider Bodensubstrate	67
7.3.2	Innerhalb der einzelnen Bodensubstrate	69
7.4	Diskussion	70
7.4.1	Kann die Knochenkohle den Etablierungserfolg von Weißklee (<i>Trifolium repens</i>) und Gewöhnlichem Hornklee (<i>Lotus corniculatus</i>) verbessern (z.B. bei einer Nachsaat)?.....	70
7.4.2	Sind Wechselwirkungen der P-Versorgung mit der Konkurrenzsituation (Lichtkonkurrenz) feststellbar?.....	71
8	Angaben zum voraussichtlichen Nutzen und zur Verwertbarkeit der Ergebnisse.....	71
9	Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen; Hinweise auf weiterführende Fragestellungen.....	72
10	Literaturverzeichnis	73
11	Übersicht über alle realisierten Veröffentlichungen im Projektzeitraum.....	78
11.1	Beiträge in Sammelbänden	78
11.2	Vortrag mit veröffentlichtem Beitrag.....	79
11.3	Poster mit veröffentlichtem Beitrag.....	79
11.4	Studentische Arbeiten.....	79

Tabellenverzeichnis

11.5	Geplante Aktivitäten zur Verbreitung der Ergebnisse	80
12	Anhang.....	80
12.1	Erhebungen	80
12.2	Feldversuch	96
12.3	Gefäßversuch.....	99

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Dominierende Leguminosenarten, weitere Leguminosenarten sowie häufigste Gräser, Kräuter und Sauergräser mit ihrer Häufigkeit und Deckung auf den ökologisch bewirtschafteten Erhebungsflächen. _____ 11

Tabelle 2: Bodenmaterial, pH-Wert und Diversitäts-Indizes der Erhebungsflächen auf fünf ökologisch bewirtschafteten Mähweiden in Nordostdeutschland. _____ 14

Tabelle 3: Boden-P-Gehalte innerhalb der Leguminosenbereiche und im Bereich ihrer assoziierten nicht-legumen Begleitvegetation. Mittelwerte \pm Standardabweichung. MW=Mähweide. ____ 17

Tabelle 4: P-Gehalte in der oberirdischen Biomasse von Leguminosen und ihrer Begleitvegetation auf fünf ökologisch bewirtschafteten Mähweiden in Nordostdeutschland. Mithilfe des Wilcoxon-Tests wurde geprüft, ob es zwischen den beiden Gruppen einen signifikanten Unterschied gibt. _____ 21

Tabelle 5: Angaben aus der Literatur zu optimalen/kritischen P-Konzentrationen in Leguminosen _ 27

Tabelle 6: Charakterisierung der Versuchsfelder zu Beginn des Grünland-Versuchs. Die Großbuchstaben in Klammern geben die Bodengehaltsklassen wider. Die Angaben stammen aus den Schlagkarteien der landwirtschaftlichen Betriebe. _____ 30

Tabelle 7: Faktoren und Faktorstufen der beiden Versuchsfelder _____ 32

Tabelle 8: Erträge in dt TM ha⁻¹ (Mittelwert \pm Standardabweichung) der verschiedenen P-Düngevarianten innerhalb der *T. repens sylvestre*-Variante auf dem ökologischen Versuchsfeld. _____ 49

Tabelle 9: Erträge in dt TM ha⁻¹ (Mittelwert \pm Standardabweichung) der verschiedenen P-Düngevarianten innerhalb der *T. repens giganteum*-Variante auf dem ökologischen Versuchsfeld. _____ 50

Tabelle 10: Erträge in dt TM ha⁻¹ (Mittelwert \pm Standardabweichung) der verschiedenen P-Düngevarianten innerhalb der *Lotus corniculatus*-Variante auf dem ökologischen Versuchsfeld. _____ 50

Tabelle 11: Erträge in dt TM ha⁻¹ (Mittelwert \pm Standardabweichung) der verschiedenen P-Düngevarianten innerhalb der O-Klee-Variante auf dem ökologischen Versuchsfeld. _____ 51

Tabelle 12: Erträge in dt TM ha⁻¹ (Mittelwert \pm Standardabweichung) der verschiedenen P-Düngevarianten innerhalb der *T. repens sylvestre*-Variante auf dem konventionellen Versuchsfeld. _____ 51

Tabelle 13: Erträge in dt TM ha⁻¹ (Mittelwert \pm Standardabweichung) der verschiedenen P-Düngevarianten innerhalb der *L. corniculatus* -Variante auf dem konventionellen Versuchsfeld. _____ 51

Tabelle 14: Erträge in dt TM ha⁻¹ (Mittelwert \pm Standardabweichung) der verschiedenen P-Düngevarianten innerhalb der O-Klee-Variante auf dem konventionellen Versuchsfeld. ____ 52

Tabelle 15: Faktoren und Faktorstufen des Gefäßversuches _____ 63

Tabelle 16: Ergebnisse der ANOVA zur Untersuchung der Effekte der untersuchten Faktoren auf die Etablierung der Pflanzen im Gefäßversuch, Signifikanzniveaus: 0 „***“; 0.001 „**“; 0.01 “*“; 0.05 „.“; 0.1=“ “ _____ 67

Tabelle 17: Etablierungserfolg der Pflanzen (%) im Gefäßversuch nach Bodensubstrat sowie Art und Lichtkonkurrenz. Angegeben sind Mittelwerte \pm Standardabweichungen. Signifikante Unterschiede zwischen den Faktorstufen von Art und Lichtkonkurrenz sind mit

Tabellenverzeichnis

- unterschiedlichen Kleinbuchstaben markiert. Signifikante Unterschiede zwischen den Faktorstufen von Bodensubstrat sind mit unterschiedlichen Großbuchstaben markiert. _____ 67
- Tabelle 18: Etablierungserfolg der Pflanzen (%) im Gefäßversuch nach P-Versorgung sowie Art und Lichtkonkurrenz. Angegeben sind Mittelwerte±Standardabweichungen. Signifikante Unterschiede zwischen den Faktorstufen von Art und Lichtkonkurrenz sind mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben markiert. Signifikante Unterschiede zwischen den Faktorstufen der P-Versorgung sind mit unterschiedlichen Großbuchstaben markiert. _____ 67
- Tabelle 19: Etablierungserfolg der Pflanzen (%) im Gefäßversuch nach P-Versorgung sowie Bodensubstrat. Angegeben sind Mittelwerte±Standardabweichungen. Signifikante Unterschiede zwischen den Faktorstufen von Bodensubstrat sind mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben markiert. Signifikante Unterschiede zwischen den Faktorstufen der P-Versorgung sind mit unterschiedlichen Großbuchstaben markiert. _____ 68
- Tabelle 20: Ergebnisse der ANOVA zur Untersuchung der Effekte der untersuchten Faktoren auf die Etablierung der Leguminosen im Gefäßversuch, Signifikanzniveaus: 0 „***“; 0.001 „**“; 0.01 „*“; 0.05 „.“; 0.1=“ “ _____ 68
- Tabelle 21: Etablierungserfolg der Leguminosen (%) im Gefäßversuch nach Bodensubstrat sowie Art und Lichtkonkurrenz. Angegeben sind Mittelwerte±Standardabweichungen. Signifikante Unterschiede zwischen den Faktorstufen von Art und Lichtkonkurrenz sind mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben markiert. Signifikante Unterschiede zwischen den Faktorstufen von Bodensubstrat sind mit unterschiedlichen Großbuchstaben markiert. _____ 68
- Tabelle 22: Etablierungserfolg der Leguminosen (%) im Gefäßversuch nach P-Versorgung sowie Art und Lichtkonkurrenz. Angegeben sind Mittelwerte±Standardabweichungen. Signifikante Unterschiede zwischen den Faktorstufen von Art und Lichtkonkurrenz sind mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben markiert. Signifikante Unterschiede zwischen den Faktorstufen der P-Versorgung sind mit unterschiedlichen Großbuchstaben markiert. _____ 68
- Tabelle 23: Etablierungserfolg der Leguminosen (%) im Gefäßversuch nach P-Versorgung sowie Bodensubstrat. Angegeben sind Mittelwerte±Standardabweichungen. Signifikante Unterschiede zwischen den Faktorstufen von Bodensubstrat sind mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben markiert. Signifikante Unterschiede zwischen den Faktorstufen der P-Versorgung sind mit unterschiedlichen Großbuchstaben markiert. _____ 69
- Tabelle 24: Etablierungserfolg der Pflanzen (%) im organischen Bodensubstrat nach P-Versorgung sowie Art und Lichtkonkurrenz. Angegeben sind Mittelwerte±Standardabweichungen. Signifikante Unterschiede zwischen den Faktorstufen von Art und Lichtkonkurrenz sind mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben markiert. Signifikante Unterschiede zwischen den Faktorstufen der P-Versorgung sind mit unterschiedlichen Großbuchstaben markiert. _____ 69
- Tabelle 25: Etablierungserfolg der Leguminosen (%) im organischen Bodensubstrat nach P-Versorgung sowie Art und Lichtkonkurrenz. Angegeben sind Mittelwerte±Standardabweichungen. Signifikante Unterschiede zwischen den Faktorstufen von Art und Lichtkonkurrenz sind mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben markiert. Signifikante Unterschiede zwischen den Faktorstufen der P-Versorgung sind mit unterschiedlichen Großbuchstaben markiert. _____ 69
- Tabelle 26: Etablierungserfolg der Pflanzen (%) im mineralischen Bodensubstrat nach P-Versorgung sowie Art und Lichtkonkurrenz. Angegeben sind Mittelwerte±Standardabweichungen. Signifikante Unterschiede zwischen den Faktorstufen von Art und Lichtkonkurrenz sind mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben markiert. Signifikante Unterschiede zwischen den Faktorstufen der P-Versorgung sind mit unterschiedlichen Großbuchstaben markiert. _____ 69

Tabellenverzeichnis

Tabelle 27: Etablierungserfolg der Leguminosen (%) im mineralischen Bodensubstrat nach P-Versorgung sowie Art und Lichtkonkurrenz. Angegeben sind Mittelwerte±Standardabweichungen. Signifikante Unterschiede zwischen den Faktorstufen von Art und Lichtkonkurrenz sind mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben markiert. Signifikante Unterschiede zwischen den Faktorstufen der P-Versorgung sind mit unterschiedlichen Großbuchstaben markiert. _____	70
Tabelle 28: Liste aller kartierten Kräuter auf den Erhebungsflächen von fünf ökologisch bewirtschafteten Mähweiden in Nordostdeutschland _____	80
Tabelle 29: Liste aller kartierten Süßgräser auf den Erhebungsflächen von fünf ökologisch bewirtschafteten Mähweiden in Nordostdeutschland _____	82
Tabelle 30: Liste aller kartierten Sauergräser auf den Erhebungsflächen von fünf ökologisch bewirtschafteten Mähweiden in Nordostdeutschland _____	82
Tabelle 31: K_{DL} -Gehalte (Mittelwert±Standardabweichung) im Boden der Leguminosen-Patches und der Begleitvegetation-Patches auf fünf ökologisch bewirtschafteten Mähweiden in Nordostdeutschland. Mithilfe des Wilcoxon-Tests wurde geprüft, ob es zwischen den beiden Gruppen einen signifikanten Unterschied gibt. _____	83
Tabelle 32: Mg_{DL} -Gehalte (Mittelwert±Standardabweichung) im Boden der Leguminosen-Patches und der Begleitvegetation-Patches auf fünf ökologisch bewirtschafteten Mähweiden in Nordostdeutschland. Mithilfe des Wilcoxon-Tests wurde geprüft, ob es zwischen den beiden Gruppen einen signifikanten Unterschied gibt. _____	84
Tabelle 33: N-Gehalte (Mittelwert±Standardabweichung) im Boden der Leguminosen-Patches und der Begleitvegetation-Patches auf fünf ökologisch bewirtschafteten Mähweiden in Nordostdeutschland. Mithilfe des Wilcoxon-Tests wurde geprüft, ob es zwischen den beiden Gruppen einen signifikanten Unterschied gibt. _____	85
Tabelle 34: C-Gehalte (Mittelwert±Standardabweichung) im Boden der Leguminosen-Patches und der Begleitvegetation-Patches auf fünf ökologisch bewirtschafteten Mähweiden in Nordostdeutschland. Mithilfe des Wilcoxon-Tests wurde geprüft, ob es zwischen den beiden Gruppen einen signifikanten Unterschied gibt. _____	86
Tabelle 35: C/N-Verhältnisse (Mittelwert±Standardabweichung) im Boden der Leguminosen-Patches und der Begleitvegetation-Patches auf fünf ökologisch bewirtschafteten Mähweiden in Nordostdeutschland. Mithilfe des Wilcoxon-Tests wurde geprüft, ob es zwischen den beiden Gruppen einen signifikanten Unterschied gibt. _____	87
Tabelle 36: S-Gehalte (Mittelwert±Standardabweichung) im Boden der Leguminosen-Patches und der Begleitvegetation-Patches auf fünf ökologisch bewirtschafteten Mähweiden in Nordostdeutschland. Mithilfe des Wilcoxon-Tests wurde geprüft, ob es zwischen den beiden Gruppen einen signifikanten Unterschied gibt. _____	88
Tabelle 37: N-Gehalte (Mittelwert±Standardabweichung) in der oberirdischen Biomasse von Leguminosen und ihrer Begleitvegetation auf fünf ökologisch bewirtschafteten Mähweiden in Nordostdeutschland. Mithilfe des Wilcoxon-Tests wurde geprüft, ob es zwischen den beiden Gruppen einen signifikanten Unterschied gibt. _____	89
Tabelle 38: N/P-Verhältnisse (Mittelwert±Standardabweichung) in der oberirdischen Biomasse von Leguminosen und ihrer Begleitvegetation auf fünf ökologisch bewirtschafteten Mähweiden in Nordostdeutschland. Mithilfe des Wilcoxon-Tests wurde geprüft, ob es zwischen den beiden Gruppen einen signifikanten Unterschied gibt. _____	90
Tabelle 39: C-Gehalte (Mittelwert±Standardabweichung) in der oberirdischen Biomasse von Leguminosen und ihrer Begleitvegetation auf fünf ökologisch bewirtschafteten Mähweiden in	

Nordostdeutschland. Mithilfe des Wilcoxon-Tests wurde geprüft, ob es zwischen den beiden Gruppen einen signifikanten Unterschied gibt. _____	91
Tabelle 40: C/N-Verhältnisse (Mittelwert±Standardabweichung) in der oberirdischen Biomasse von Leguminosen und ihrer Begleitvegetation auf fünf ökologisch bewirtschafteten Mähweiden in Nordostdeutschland. Mithilfe des Wilcoxon-Tests wurde geprüft, ob es zwischen den beiden Gruppen einen signifikanten Unterschied gibt. _____	92
Tabelle 41: S-Gehalte (Mittelwert±Standardabweichung) in der oberirdischen Biomasse von Leguminosen und ihrer Begleitvegetation auf fünf ökologisch bewirtschafteten Mähweiden in Nordostdeutschland. Mithilfe des Wilcoxon-Tests wurde geprüft, ob es zwischen den beiden Gruppen einen signifikanten Unterschied gibt. _____	93
Tabelle 42: Mg-Gehalte (Mittelwert±Standardabweichung) in der oberirdischen Biomasse von Leguminosen und ihrer Begleitvegetation auf fünf ökologisch bewirtschafteten Mähweiden in Nordostdeutschland. Mithilfe des Wilcoxon-Tests wurde geprüft, ob es zwischen den beiden Gruppen einen signifikanten Unterschied gibt. _____	94
Tabelle 43: K-Gehalte (Mittelwert±Standardabweichung) in der oberirdischen Biomasse von Leguminosen und ihrer Begleitvegetation auf fünf ökologisch bewirtschafteten Mähweiden in Nordostdeutschland. Mithilfe des Wilcoxon-Tests wurde geprüft, ob es zwischen den beiden Gruppen einen signifikanten Unterschied gibt. _____	95
Tabelle 44: Erträge in dt TM ha ⁻¹ (Mittelwert±Standardabweichung) nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose auf dem ökologisch bewirtschafteten Versuchsfeld. _____	96
Tabelle 45: Erträge in dt TM ha ⁻¹ (Mittelwert±Standardabweichung) nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose auf dem konventionell bewirtschafteten Versuchsfeld. _____	96
Tabelle 46: Anteil der funktionellen Gruppen in % (Mittelwert±Standardabweichung) nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose auf dem ökologisch bewirtschafteten Versuchsfeld. _____	97
Tabelle 47: Anteil der funktionellen Gruppen in % (Mittelwert±Standardabweichung) nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose auf dem konventionell bewirtschafteten Versuchsfeld. _____	98
Tabelle 48: Etablierung der Pflanzen im Gefäßversuch. Gesamt und einzeln nach Leguminose (Klee) und Gras. TR= <i>Trifolium repens</i> , LC= <i>Lotus corniculatus</i> , FL= <i>Festulolium braunii</i> . _____	100

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage der Erhebungsflächen	7
Abbildung 2: Schematische Darstellung der Verteilung der Plots auf einem Standort.	7
Abbildung 3: Schematische Darstellung eines Plots mit Leguminosen- und Begleitvegetationsbereich	8
Abbildung 4: Anzahl der Pflanzenarten auf den Erhebungsflächen auf fünf ökologisch bewirtschafteten Mähweiden in Nordostdeutschland in Abhängigkeit vom Leguminosenanteil. Die Linie ist Ergebnis des linearen Modells, wobei die Anzahl der Pflanzenarten log-transformiert wurde. $r^2=0.04$.	15
Abbildung 5: P_{DL} -Gehalte ($\text{mg P } 100 \text{ g}^{-1}$) innerhalb der Leguminosenbereiche und im Bereich ihrer assoziierten nicht-legumen Begleitvegetation. Mittelwerte \pm Standardabweichung. MW=Mähweide.	16
Abbildung 6: P-Boden-Gehalte (mg kg^{-1}) nach Fraktionierung von Patches verschiedener Leguminosenarten der sandig-mineralischen Mähweide (MW1) unter ökologischer Bewirtschaftung in Nordostdeutschland (Sommer 2015). Die Ergebnisse sind präsentiert als Mittelwerte \pm Standardabweichung. <i>Trifolium repens</i> (n=4), <i>Trifolium pratense</i> (n=3), <i>Lotus corniculatus</i> (n=4), <i>Lathyrus pratensis</i> (n=1).	18
Abbildung 7: Anzahl der Pflanzenarten (4m^{-2}) je Plot in Abhängigkeit vom Boden- P_{DL} -Gehalt ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$). ¹⁾ Der Boden- P_{DL} -Gehalt ist als Mittelwert des Boden-P-Gehalts innerhalb des Leguminosenbereichs und des Boden-P-Gehalts des Bereichs der nicht-legumen Begleitvegetation angegeben. MW=Mähweide.	20
Abbildung 8: P-Gehalte in der oberirdischen Biomasse von Leguminosen und ihrer Begleitvegetation auf fünf ökologisch bewirtschafteten Mähweiden in Nordostdeutschland.	21
Abbildung 9: Lage der Versuchsfelder in Deutschland und Mecklenburg-Vorpommern.	29
Abbildung 10: Versuchsplan der beiden Versuchsfelder	31
Abbildung 11: Mittlere Erträge des ökologisch bewirtschafteten Versuchsfeldes im Jahr 2014, nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose. Im Etablierungsjahr 2014 erfolgte nach einem Pflegeschnitt im Juli nur eine Ernte im September.	35
Abbildung 12: Mittlere Erträge des konventionell bewirtschafteten Versuchsfeldes im Jahr 2014, nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose. Im Etablierungsjahr 2014 erfolgte nach einem Pflegeschnitt im Juli nur eine Ernte im September.	35
Abbildung 13: Mittlerer Anteil der funktionellen Gruppen (Gräser, Kräuter, Leguminosen) nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose beim 2. Schnitt 2014 auf dem ökologisch bewirtschafteten Versuchsfeld.	36
Abbildung 14: Mittlerer Anteil der funktionellen Gruppen (Gräser, Kräuter, Leguminosen) nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose beim 2. Schnitt 2014 auf dem konventionell bewirtschafteten Versuchsfeld.	36
Abbildung 15: Ökologisches Versuchsfeld vor dem 2. Schnitt 2015.	37
Abbildung 16: Konventionelles Versuchsfeld vor dem 2. Schnitt 2015.	37
Abbildung 17: Mittlere Erträge des ökologisch bewirtschafteten Versuchsfeldes im Jahr 2015, nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose.	38
Abbildung 18: Mittlere Erträge des konventionell bewirtschafteten Versuchsfeldes im Jahr 2015, nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose.	39

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 19: Mittlerer Anteil der funktionellen Gruppen (Gräser, Kräuter, Leguminosen) nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose beim 1. Schnitt 2015 auf dem ökologisch bewirtschafteten Versuchsfeld. _____	40
Abbildung 20: Mittlerer Anteil der funktionellen Gruppen (Gräser, Kräuter, Leguminosen) nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose beim 2. Schnitt 2015 auf dem ökologisch bewirtschafteten Versuchsfeld. _____	40
Abbildung 21: Mittlerer Anteil der funktionellen Gruppen (Gräser, Kräuter, Leguminosen) nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose beim 3. Schnitt 2015 auf ökologisch bewirtschafteten Versuchsfeld. _____	41
Abbildung 22: Mittlerer Anteil der funktionellen Gruppen (Gräser, Kräuter, Leguminosen) nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose beim 1. Schnitt 2015 auf dem konventionell bewirtschafteten Versuchsfeld. _____	42
Abbildung 23: Mittlerer Anteil der funktionellen Gruppen (Gräser, Kräuter, Leguminosen) nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose beim 2. Schnitt 2015 auf dem konventionell bewirtschafteten Versuchsfeld. _____	42
Abbildung 24: Mittlerer Anteil der funktionellen Gruppen (Gräser, Kräuter, Leguminosen) nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose beim 3. Schnitt 2015 auf dem konventionell bewirtschafteten Versuchsfeld. _____	43
Abbildung 25: Ökologisches Versuchsfeld vor dem 2. Schnitt 2016. _____	43
Abbildung 26: KOnventionelles Versuchsfeld beim 2. Schnitt 2016. _____	43
Abbildung 27: Mittlere Erträge des ökologisch bewirtschafteten Versuchsfeldes im Jahr 2016, nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose. _____	44
Abbildung 28: Mittlere Erträge des konventionell bewirtschafteten Versuchsfeldes im Jahr 2016, nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose. _____	45
Abbildung 29: Mittlerer Anteil der funktionellen Gruppen (Gräser, Kräuter, Leguminosen) nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose beim 1. Schnitt 2016 auf dem ökologisch bewirtschafteten Versuchsfeld. _____	46
Abbildung 30: Mittlerer Anteil der funktionellen Gruppen (Gräser, Kräuter, Leguminosen) nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose beim 2. Schnitt 2016 auf dem ökologisch bewirtschafteten Versuchsfeld. _____	46
Abbildung 31: Mittlerer Anteil der funktionellen Gruppen (Gräser, Kräuter, Leguminosen) nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose beim 3. Schnitt 2016 auf dem ökologisch bewirtschafteten Versuchsfeld. _____	47
Abbildung 32: Mittlerer Anteil der funktionellen Gruppen (Gräser, Kräuter, Leguminosen) nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose beim 1. Schnitt 2016 auf dem konventionell bewirtschafteten Versuchsfeld. _____	48
Abbildung 33: Mittlerer Anteil der funktionellen Gruppen (Gräser, Kräuter, Leguminosen) nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose beim 2. Schnitt 2016 auf dem konventionell bewirtschafteten Versuchsfeld. _____	48
Abbildung 34: Mittlerer Anteil der funktionellen Gruppen (Gräser, Kräuter, Leguminosen) nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose beim 3. Schnitt 2016 auf dem konventionell bewirtschafteten Versuchsfeld. _____	49
Abbildung 35: Boden-P _{DL} -Gehalte des ökologisch bewirtschafteten Versuchsfeldes nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose (Mittelwert mit Standardabweichung). Die gestrichelten waagerechten Linien zeigen die Grenzen der Boden-P-Gehaltsklassen mit den entsprechenden Bezeichnungen (Majuskeln). Die Kleinbuchstaben zeigen die Ergebnisse des post hoc Tukey	

Abbildungsverzeichnis

- (HSD) Tests an: unterschiedliche Buchstaben entsprechen signifikanten Unterschieden ($p < 0.05$).
_____ 53
- Abbildung 36: P_{DL} -Gehalte im April 2017 nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose (außer *T. repens giganteum*) über alle Tiefen (0-30, 30-60 und 60-90 cm). Die Kleinbuchstaben zeigen die Ergebnisse des post hoc Tukey (HSD) Tests an: unterschiedliche Buchstaben entsprechen signifikanten Unterschieden ($p < 0.05$). _____ 54
- Abbildung 37: P_{DL} -Gehalte im April 2017 nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose (außer *T. repens giganteum*) in 0-30 cm Tiefe. Die Kleinbuchstaben zeigen die Ergebnisse des post hoc Tukey (HSD) Tests an: unterschiedliche Buchstaben entsprechen signifikanten Unterschieden ($p < 0.05$). _____ 54
- Abbildung 38: P_{DL} -Gehalte im April 2017 nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose (außer *T. repens giganteum*) in 30-60 cm Tiefe. Die Kleinbuchstaben zeigen die Ergebnisse des post hoc Tukey (HSD) Tests an: unterschiedliche Buchstaben entsprechen signifikanten Unterschieden ($p < 0.05$). _____ 55
- Abbildung 39: P_{DL} -Gehalte im April 2017 nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose (außer *T. repens giganteum*) in 60-90 cm Tiefe. Die Kleinbuchstaben zeigen die Ergebnisse des post hoc Tukey (HSD) Tests an: unterschiedliche Buchstaben entsprechen signifikanten Unterschieden ($p < 0.05$). _____ 55
- Abbildung 40: Boden- P_{DL} -Gehalte des konventionell bewirtschafteten Versuchsfeldes nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose (Mittelwert mit Standardabweichung). Die gestrichelten waagerechten Linien zeigen die Grenzen der Boden-P-Gehaltsklassen mit den entsprechenden Bezeichnungen (Majuskeln). Die Kleinbuchstaben zeigen die Ergebnisse des post hoc Tukey (HSD) Tests an: unterschiedliche Buchstaben entsprechen signifikanten Unterschieden ($p < 0.05$).
_____ 56
- Abbildung 41: Boden- Mg_{DL} -Gehalte des ökologisch bewirtschafteten Versuchsfeldes nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose (Mittelwert mit Standardabweichung). Die gestrichelten waagerechten Linien zeigen die Grenzen der Boden-Mg-Gehaltsklassen mit den entsprechenden Bezeichnungen (Majuskeln). Die Kleinbuchstaben zeigen die Ergebnisse des post hoc Tukey (HSD) Tests an: unterschiedliche Buchstaben entsprechen signifikanten Unterschieden ($p < 0.05$).
_____ 57
- Abbildung 42: Boden- Mg_{DL} -Gehalte des konventionell bewirtschafteten Versuchsfeldes nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose (Mittelwert mit Standardabweichung). Die gestrichelten waagerechten Linien zeigen die Grenzen der Boden-Mg-Gehaltsklassen mit den entsprechenden Bezeichnungen (Majuskeln). Die Kleinbuchstaben zeigen die Ergebnisse des post hoc Tukey (HSD) Tests an: unterschiedliche Buchstaben entsprechen signifikanten Unterschieden ($p < 0.05$).
_____ 58
- Abbildung 43: Boden- K_{DL} -Gehalte des ökologisch bewirtschafteten Versuchsfeldes nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose (Mittelwert mit Standardabweichung). Die gestrichelten waagerechten Linien zeigen die Grenzen der Boden-K-Gehaltsklassen mit den entsprechenden Bezeichnungen (Majuskeln). Die Kleinbuchstaben zeigen die Ergebnisse des post hoc Tukey (HSD) Tests an: unterschiedliche Buchstaben entsprechen signifikanten Unterschieden ($p < 0.05$).
_____ 59
- Abbildung 44: Boden- K_{DL} -Gehalte des konventionell bewirtschafteten Versuchsfeldes nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose (Mittelwert mit Standardabweichung). Die gestrichelten waagerechten Linien zeigen die Grenzen der Boden-K-Gehaltsklassen mit den entsprechenden Bezeichnungen (Majuskeln). Die Kleinbuchstaben zeigen die Ergebnisse des post hoc Tukey

Abbildungsverzeichnis

(HSD) Tests an: unterschiedliche Buchstaben entsprechen signifikanten Unterschieden ($p < 0.05$).

_____	60
Abbildung 45: Versuchsplan des Gefäßversuches, 1. Randomisierung bis 1. Schnitt. _____	65
Abbildung 46: Aussaatraster des Gefäßversuches _____	66
Abbildung 47: Versuchsplan des Gefäßversuches, 2. Randomisierung nach dem 1. Schnitt. _____	99

1 Zusammenfassung

In einem konzeptionellen Projektansatz, der sowohl Felderhebungen, Feldversuche, Gefäßversuche und Laboranalysen umfasste, wurde der Frage der Bedeutung der Bodenphosphor-Trophie für die Präsenz, die Entwicklung und die Leistungsfähigkeit von Grünlandleguminosen im Ökologischen Landbau nachgegangen.

Ziel der Untersuchungen war es, die Bivalenz des Phosphors, der einerseits die Leguminosen und damit den N-Ertrag fördern kann und andererseits die Phytodiversität zu reduzieren vermag, näher zu ergründen. Es zeigte sich, dass die Präsenz von Grünlandleguminosen auf heterogenem Dauergrünland weder vom Gehalt an pflanzenverfügbarem P noch den einzelnen P-Fractionen hinreichend erklärt werden konnte. Demnach spielen erratische bzw. weitere nicht kontrollierte Umweltbedingungen eine mindestens ebenso wichtige Rolle bei der kleinräumigen Verbreitung der Leguminosen auf dem Dauergrünland. Bei überhöhten P-Gehalten war tendenziell eine Verringerung der Phytodiversität zu konstatieren, wobei diese Beziehung im Bereich moderater P-Level weniger stark ausgeprägt war als in internationalen Studien, die sich nicht auf Öko-Grünland beschränkten. Offenbar vermochte der Phosphor aufgrund der N-Co-Limitierung im System des Ökologischen Landbaus keine vergleichbar verdrängende Wirkung via Förderung konkurrenzstärkerer, aber auch Nährstoff-bedürftigerer Florenvertreter zu entfalten. Beide Befunde weisen auf die realistische Möglichkeit hin, unter hiesigen Bedingungen eine moderate P-Düngung zur Förderung der Grünlandleguminosen ohne markant negative Auswirkungen auf die Phytodiversität zu rechtfertigen und damit auch zu praktizieren. Hierfür stehen verschiedene Düngemittel zur Verfügung, von denen sich in unseren Feldversuchen der zugelassene Standarddünger ‚Physalg‘ besonders für die kurzfristige Behebung von P-Defiziten sowie für die Unterstützung der Leguminosenetablierung empfahl, wohingegen das mit elementarem Schwefel versetzte Knochenkohle- Präparat seine Stärken in der Langzeitstabilisierung der Leguminosenanteile hatte und weniger zur Bodeneutrophierung neigte, was es zum Einsatz in floristisch wertvollen, artenreichen Grünlandbeständen prädestiniert. Die potenziellen P-Alternativen, die Recycling-Präparate ‚Leachphos‘ und ‚AshDec‘, erwiesen sich in ihrer Ertragswirkung der für den Ökolandbau zugelassenen P-Dünger als ebenbürtig. Insgesamt waren die Ertragseffekte aller geprüften P-Dünger jedoch gering und daher auch selten abzusichern. Die in einigen Aufwüchsen festgestellte Interaktion Leguminosenart x Art des P-Düngers kann mit der unterschiedlichen Wurzelmorphologie und dem damit einhergehenden unterschiedlichen P-Aneignungsvermögen auch bei geringen P_{DL} -Werten erklärt werden.

2 Abstract

The influence of different soil phosphorus levels on grassland legumes' presence and performance was investigated within a study framework consisting of field surveys, field experiments, pot experiments and laboratory analyses at different organic grassland sites. The aim was to achieve a better knowledge about the bivalent nature of phosphorus; a plant macronutrient that is able to promote legumes and thus the nitrogen yield, but may concurrently reduce phytodiversity.

Neither plant available phosphorus contents in the topsoil nor different P fractions could satisfactorily explain presence and distribution patterns of legumes in organically farmed grasslands. We concluded that other erratic factors or uncontrolled environmental conditions besides

phosphorus nutrition must be responsible for the small scale spatial distribution of grassland legumes. We could confirm that an increase in plant available topsoil P-content tended to reduce phytodiversity. However, this relationship was weaker than in previous international studies that were not restricted to organically farmed grassland. We attributed this finding to the co-limitation of nitrogen as a characteristic of organic farming, which obviously prevented phosphorus from acting as a strong promotor of competitive species responsible for strong declines in phytodiversity. Thus, fostering grassland legumes on organic grasslands by moderate P fertilization and preserving phytodiversity must not necessarily be a contradiction. Some P fertilizers were found to be useful to facilitate grassland legumes development and performance. As a result of our field plot experiments, the standard fertilizer "Physalg" can be recommended for a fast resolution of P deficiencies and promotion of legume establishment. The bone char fertilizer supplemented with elemental sulphur was especially suitable for the long-term stabilisation of grassland legumes in the sward without tending to cause soil P-eutrophication. This property predestines bone char for applications in floristically valuable grasslands with a high biodiversity. The alternative recycling fertilizers "Leachphos" and "AshDec" reached levels of nutritional P efficiency comparable to approved standard fertilizers. However, P effects on dry matter yield of grass/legume mixtures were generally limited. The interaction of fertilizer x kind of legume sometimes observed can be attributed to the specific root morphology of the different legume species and the associated P uptake capabilities.

3 Einführung

3.1 Gegenstand des Vorhabens

Es ist bekannt, dass Leguminosen einen erhöhten Phosphor(P)bedarf haben, erhöhte P-Bodengehalte aber die Phytodiversität im Grünland negativ beeinflussen können. Das Forschungsvorhaben hatte daher zum Ziel, den Effekt der Phosphorversorgung auf die Zusammensetzung von Pflanzenbeständen des ökologisch bewirtschafteten Grünlandes unter besonderer Berücksichtigung der Grünlandleguminosen und deren Funktionalität zu untersuchen und Möglichkeiten eines gezielten P-Managements des ökologisch bewirtschafteten Grünlandes aufzuzeigen.

3.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projektes

Bezug des Vorhabens zu den einschlägigen Zielen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau oder zu konkreten Bekanntmachungen und Ausschreibungen

Das Bundesprogramm verfolgt die Stärkung und Ausdehnung der ökologischen und nachhaltigen Land- und Lebensmittelwirtschaft in Deutschland. Unser Ansatz kann dazu beitragen, die ökonomische Nachhaltigkeit des wichtigsten Produktionszweiges des Ökologischen Landbaus, der Grünland basierten Milchviehhaltung, zu stabilisieren und zu verbessern, indem sie Wege zur biologischen N-Fixierung als betrieblicher Möglichkeit der natürlichen biologischen Aquisierung des limitierenden Pflanzennährstoffs Stickstoff aufzeigt. Damit verbunden wären substantielle Verbesserungen der Flächenverwertung (da höhere Erträge erzielt werden können), der

Proteinversorgung (da höhere Leguminosenanteile erreicht werden können) sowie der Nährstoffeffizienz (da mit dem Zukauf geringer P-Mengen erheblich mehr Luftstickstoff in das Betriebssystem geholt werden kann). Für ökologisch wirtschaftende Betriebe mit einem Schwerpunkt in der Mutterkuhhaltung, wie sie in den neuen Bundesländern typisch sind, ist die Vereinbarkeit einer ökonomisch nachhaltigen, extensiven Grünlandnutzung mit den gesellschaftlichen Zielstellungen des Arten- und Biotopschutzes auf Grenzstandorten besonders relevant. Zum einen, da sie die ökonomische Stabilisierung des betrieblichen Einkommens durch Förderkulissen des Naturschutzes absichern kann, zum anderen, da sich die ökologische Grünlandnutzung auch als Bewahrer der Ökosystemfunktion „Erhalt und Entwicklung von Biodiversität“ weiter profilieren könnte. Die Aspekte der heimischen Eiweißgrundlage und die der kooptierten Naturschutzfreundlichkeit vermögen zudem die Produkte der Milch- und Fleischerzeugung auch für den Verbraucher aufzuwerten und könnten als sogenannte „soft skills“ auch Vermarktungsstrategien ökologisch erzeugter Lebensmittel unterstützen.

3.3 Planung und Ablauf des Projektes

Das Forschungsvorhaben gliederte sich in die drei praktischen Versuchsbereiche Felderhebungen auf Praxisflächen, den Feldversuchen und einem Gefäßversuch. Durch eine verspätete Besetzung der Doktorand_instelle begann das Projekt insgesamt fünf Monate später als ursprünglich geplant. Durch den verzögerten Projektbeginn wurde die Projektlaufzeit aufgaben- und kostenneutral verlängert. Statt der ursprünglich geplanten Projektlaufzeit vom 01.09.2013 bis 31.07.2016 betrug der aktuelle Förderzeitraum 01.09.2013 bis 31.05.2017. Alle vorgesehenen Arbeitsphasen und Arbeitsschritte konnten fast vollständig durchgeführt werden. Noch fehlende Analysen werden in diesem Jahr abgeschlossen und in noch geplanten Publikationen berücksichtigt.

Zu Beginn wurden geeignete Flächen für die Feldversuche und die Erhebungen gesucht. Die Versuche wurden geplant und nach alternativen Phosphor-Recycling-Düngern gesucht. Diese konnten letztendlich über das P-REX-Projekt (Kontakt Dr. C. Kabbe) in ausreichenden Mengen besorgt werden. Die Feldversuche wurden durch die spätere Besetzung der Doktorand_instelle im April 2014 statt schon im Herbst 2013 angelegt. Somit fungierte das Jahr 2014 zunächst als Etablierungsjahr, mit einem Pflegeschnitt im Sommer und einer ersten Ernte im September. Die Jahre 2015 und 2016 waren somit die zwei Hauptnutzungsjahre, die hauptsächlich in die Auswertung einbezogen wurden. Das ökologische Versuchsfeld wurde auch im Frühjahr 2017 noch weiter betreut. Eine letzte Ernte auf dieser Fläche wird aufgrund der langen kühlen Witterungsverhältnisse voraussichtlich erst Anfang Juni 2017 realisiert werden und deren Ergebnisse werden daher nicht mehr in diesem Bericht berücksichtigt werden können.

Im Sommer 2014 und 2015 wurden an mehreren Tagen die Erhebungen auf ausgewählten Praxis-Dauergrünlandflächen in Mecklenburg-Vorpommern durchgeführt. Der Gefäßversuch wurde in der Vegetationsperiode des Jahres 2016 durchgeführt.

Parallel zur Datenerhebung und -auswertung fand eine umfangreiche Literaturrecherche zu den Themenbereichen Grünlandleguminosen, Phytodiversität, Phosphor und Phosphorrecycling sowie deren thematischen Verknüpfungen statt. Unterstützt wurden diese Recherche und der fachliche Austausch mit Besuchen von diversen öffentlichen Veranstaltungen:

- Teller Vortragsveranstaltung 2014 der Landesforschungsanstalt M-V und Bioland Markt (05.02.2014, eigener Vortrag)
- ATB-Workshop „Phosphor für die Landwirtschaft – Strategien für eine endliche Ressource“ des Leibniz-Instituts für Agrartechnik in Potsdam und der Berliner Wasserbetriebe (11.06.2014)
- 58. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau (AGGF) in Arnstadt „Multifunktionalität des Dauergrünlands erhalten und nutzen“ (28.-29.08.2014, eigener Vortrag)
- Soil and Plant Ecology-Seminar der Rhine-Waal University of Applied Sciences in Kleve (05.02.2015, eigener Vortrag)
- 1. Internationales Symposium des WissenschaftsCampus Phosphorforschung Rostock in Rostock (02.-03.03.2015, Posterbeitrag)
- 2nd European Sustainable Phosphorus Conference 2015 (ESPC-2) in Berlin (06.03.2015)
- Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau in Eberswalde „Am Mut hängt der Erfolg“ (17.-20.03.2015)
- Praxistag Öko-Grünland in Walkendorf der Landesforschungsanstalt M-V (07.05.2015)
- 59. Jahrestagung der AGGF in Aulendorf „Grünland effizient und nachhaltig nutzen“ (27.-29.08.2015, Posterbeitrag)
- Agrosnet-Doktorandentag an der Universität Rostock (24.06.2016, eigener Vortrag)
- 60. Jahrestagung der AGGF in Luxemburg „Nachhaltige Milchproduktion: Forschung und Praxis im Dialog“ (25.-27.08.2016, Posterbeitrag)
- 26th General Meeting of European Grassland Federation (EGF) in Trondheim, Norwegen (04.-08.09.2016, Posterbeitrag)
- 8th International Phosphorus Workshop (IPW8) in Rostock (12.-16.09.2016, Posterbeitrag)
- V.Ö.P.-Dialog-Workshop in Frankfurt am Main „Nährstoffmanagement im ökologischen Landbau weiterentwickeln“ (06.02.2017)
- 14. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau in Freising-Weihenstephan „Ökologischen Landbau weiterdenken Verantwortung übernehmen, Vertrauen stärken“ (07.-10.03.2017, Posterbeitrag).

Zudem war das Forschungsprojekt während des gesamten Projektzeitraums im Leibniz-WissenschaftsCampus Phosphorforschung Rostock eingebunden.

4 Wissenschaftlicher und technischer Stand des Wissens

Phosphor (P) ist ein wichtiger, oft wachstumslimitierender Pflanzennährstoff (Sattari et al. 2016). Seit der Mitte des 20. Jahrhunderts wurden landwirtschaftliche Flächen daher vermehrt mit Phosphor gedüngt (Haygarth et al. 2014). Die Intensivierung der Landwirtschaft in den letzten Jahrzehnten führte in vielen Böden zu einer immensen P-Anreicherung (De Bolle et al. 2013). Dieser Trend wird sich voraussichtlich mit dem weiteren Wachstum der Weltbevölkerung noch verstärken. Koning et al. (2008) vermuten, dass sich der globale Bedarf an Lebensmitteln, darunter auch auf Wiederkäuern basierte Produkte, bis 2015 verdoppeln wird. Deshalb werden sich auch die Anforderungen an Futterqualität und -quantität verstärken (Koning et al. 2008). Sattari et al. (2016) berechneten, dass sich der P-Input im derzeit bestehenden Grünland um mehr als viermal bis 2050 gegenüber 2005 vergrößern muss, um die dann prognostizierte 80% höhere Futterproduktion realisieren zu können. Sie schlussfolgerten daher, dass die Höhe des im Grünland eingesetzten, mineralischen P-Düngers 24

Mt pro Jahr betragen müsste, was vergleichbar mit dem Gesamteinsatz von 23 Mt mineralischen P-Dünger im weltweiten Grünland zwischen 1970 und 2005 ist. Für den ökologischen Landbau sind allerdings nur wenige P-Dünger zugelassen. Vor dem Hintergrund der in naher Zukunft endenden natürlichen Phosphorvorkommen, die für einen Abbau und eine Verwendung in der Landwirtschaft in Frage kommen, rückt das P-Recycling seit ein paar Jahren verstärkt in die Vordergrund und ist Gegenstand von Forschung und Diskussionen. Die potenzielle Eignung und Akzeptanz von P-Recyclingprodukten wird auch in der Öko-Community bereits diskutiert und wissenschaftlich beleuchtet. Da sowohl in der Schweiz als auch in Deutschland die Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm obligatorisch wird, werden das Thema um die Entwicklung des P-Recycling und dessen Akzeptanz hier besonders interessant.

Von der P-Rückhaltekapazität der Böden unabhängig, erhöhen P-Überschüsse aber das Risiko von P-Verlusten durch Erosion, Oberflächenabfluss, Auswaschung und über Dränungen (Amery und Schoumans 2014) und damit einhergehend das Risiko der Eutrophierung von Oberflächengewässern, für welche die Landwirtschaft eine der Hauptursachen ist (Schoumans et al. 2013). Des Weiteren wirken sich erhöhte Boden-P-Gehalte negativ sowohl auf die Phytodiversität (Janssens et al. 1998, Wassen et al. 2005, Ceulemans et al. 2014) als auch die Artenzusammensetzung im Grünland aus (Wassen et al. 2005, Hejzman et al. 2012), u. a als Ergebnis einer erhöhten Produktivität des Grünlands und einer daraus resultierenden Konkurrenz um Licht (Wassen et al. 2005, Hautier et al. 2009). Diversität ihrerseits hat vielseitige positive Effekte auf verschiedene Ökosystemprozesse, z.B. auf die Primärproduktion und auf Nährstoffkreisläufe infolge einer verbesserten Nutzung bestehender Ressourcen (Roscher et al. 2011a). Laut Ceulemans et al. (2014) übertreffen die bestehenden P-Düngeempfehlungen für Grünland oft schon jetzt die Grenzen der Boden-P-Gehalte für Phytodiversität. Selbst mit einer reduzierten P-Düngung erwarten die Autoren keine Grünlandnarben mit hoher Diversität. Deshalb schlussfolgern sie, dass Grünland gar nicht mit P gedüngt werden sollte.

Doch gerade Grünlandleguminosen mit ihren zahlreichen bekannten Vorteilen für die Futterproduktion und -qualität wie auch für die Umwelt (Graham & Vance 2000, Hopkins & Holz 2006, Sanderson 2010, Phelan et al. 2014) haben einen hohen P-Bedarf (Divito & Sadras 2014). Eine Düngung mit Phosphor kann ihre Vitalität verbessern und ihre Kapazität, molekularen Stickstoff (N_2) zu fixieren, ihren Anteil an der Grünlandnarbe als auch ihre Erträge und damit Gesamterträge des Grünlands erhöhen (Davis 1991, Høgh-Jensen et al. 2002, Sanderson 2010). Die Höhe der symbiotischen N_2 -Fixierung von Grünlandleguminosen liegt zwischen 15 und 680 kg (Stickstoff) $N\ ha^{-1}\ a^{-1}$ (Spehn et al. 2002) und ist dabei stark von der Leguminosenart abhängig (Spehn et al. 2002, Roscher et al. 2011a). Pirhofer-Walzl et al. (2012) ermittelten, dass *Trifolium repens*, *Trifolium pratense* und *Medicago sativa* etwa 40 kg N ha^{-1} ihrer Begleitvegetation in einem Grünlandversuch mit einem Gras-Leguminosen-Kräuter-Gemenge in Dänemark zur Verfügung stellten. Gerade für den ökologischen Landbau, der auf den N-Input durch die Leguminosen angewiesen ist, eine P-Düngung der Grünlandleguminosen daher agronomisch empfehlenswert (Römer & Lehne 2004).

Um dem wachsenden Preisdruck in der Milch- und Fleischwirtschaft standzuhalten und ihren Marktanteil zu behalten, müssen ökologisch wirtschaftende Landwirte herausragende Produktqualitäten abliefern. Energie- und proteinreiches Futter für die Wiederkäuer ist für das Erreichen dieses Ziels essentiell. In der weidebasierten Viehhaltung, der verbreitetsten Nutzung von naturnahem Grünland (Kruse et al. 2016), ist deshalb eine Erhöhung des Anteils von Leguminosen als Proteinlieferanten für eine ökonomische nachhaltige, moderne ökologische

Grünlandbewirtschaftung unbedingt notwendig. Leguminosen-Trockenmasse-Anteile von 20 bis 45% des Aufwuchses werden von Thomas (1992) als optimale und produktive Weidesysteme in der temperierten als auch in der tropischen Klimazone gesehen.

Verbraucher_innen und die Gesellschaft erwarten aber gleichzeitig, dass ökologisch produzierte Lebensmittel sowohl nachhaltige Produktionssysteme als auch den Schutz ökologischer Ressourcen garantieren (Tregear et al. 1994). Zudem wird die ökologische Landwirtschaft generell als ein Werkzeug zum Erhalt der Biodiversität gesehen (Van Elsen 2000). Ökologisch wirtschaftende Landwirte sind also dem Druck, wirtschaftlich zu produzieren und der Erwartung sowie dem Anspruch, die Biodiversität im Grünland zu erhalten, gleichzeitig ausgesetzt. Das P-Management spielt hierbei, wie vorgestellt, eine entscheidende Rolle: Phosphor hat das Potenzial, den Leguminosenanteil im Grünland und somit die N-Erträge zu erhöhen, kann allerdings auch zu einem deutlichen Rückgang der Phytodiversität führen.

5 Erhebungen

5.1 Versuchsfragen

Mithilfe der Erhebungen auf Praxis-Dauergrünlandflächen sollte untersucht werden, welchen Effekt die Phosphorversorgung auf die Zusammensetzung von Pflanzenbeständen des ökologisch bewirtschafteten Grünlands unter besonderer Berücksichtigung der Grünlandleguminosen und deren Funktionalität hat. Folgende Versuchsfragen wurden bearbeitet:

1. Kann auf typischen, naturschutzfachlich bedeutsamen Grünlandstandorten Nordostdeutschlands ein Zusammenhang zwischen der Präsenz und dem Deckungsgrad von Grünlandleguminosen einerseits sowie der Phytodiversität andererseits hergestellt werden?
2. Welche Rolle spielen Bodenmaterial und Boden-P-Gehalte dabei?
3. Können die Boden-P-Gehalte das Auftreten von Grünlandleguminosen erklären?
4. Gibt es Unterschiede zwischen dem Weißklee (*Trifolium repens*) und anderen Leguminosen des Dauergrünlandes hinsichtlich der Boden-Nährstoffgehalte ihrer direkten Umgebung?
5. Eignen sich Boden- oder Pflanzenparameter besser zur Abschätzung des P-Versorgungsstatus der Grünlandleguminosen?

5.2 Material und Methoden

5.2.1 Standorte und Datenerhebung

Während der Projektlaufzeit wurden auf fünf ökologisch bewirtschaftete Mähweiden in der von der Weichseleiszeit geprägten Moränenlandschaft in Mecklenburg-Vorpommern Erhebungen durchgeführt (Abbildung 1). Diese Mähweiden waren typisch für die Region und die Art ihrer Nutzung und wiesen unterschiedliche Bodenausgangsmaterialien auf: Ein Standort befand sich auf einem sandigen mineralischen Boden, ein Standort umfasste einen sandigen Bereich und einen Niedermoorbereich mit einer Übergangszone dazwischen, und drei Erhebungsstandorte befanden sich auf Niedermoorböden, von denen einer infolge Mineralisation z.T. stark degradiert war. Auf

Erhebungen

diesen Praxisflächen waren die jeweils vorkommenden Grünlandleguminosen nicht gleichmäßig verteilt, sondern waren in fleckiger Verteilung, als „patches“, mit einem Gesamtanteil an der Narbe von <15% vorzufinden, wie es meist auf Dauergrünlandflächen der Fall ist. Kein Standort wurde zusätzlich gedüngt.

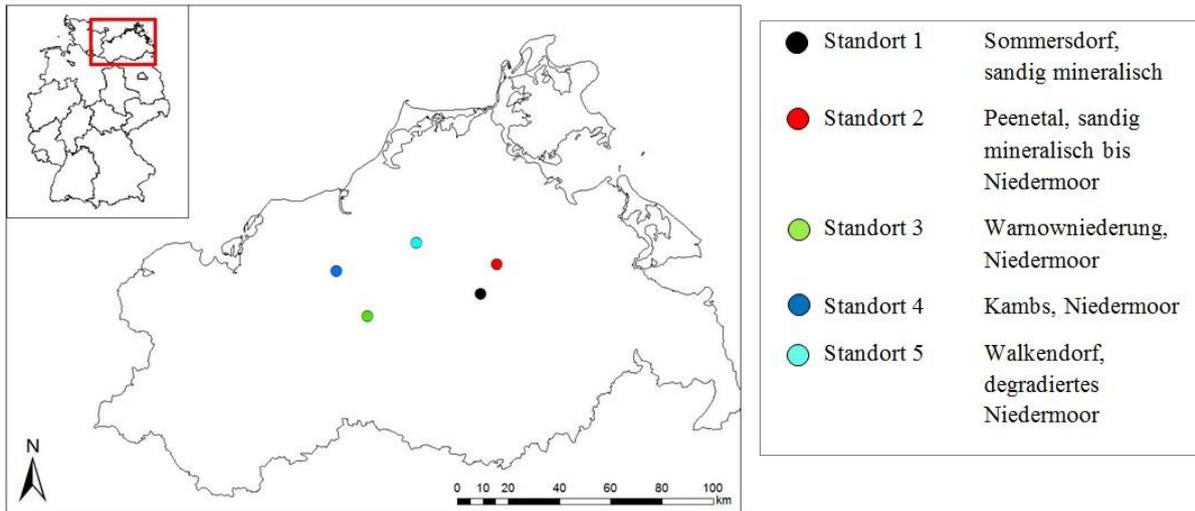


Abbildung 1: Lage der Erhebungsflächen

Im Sommer 2014 und Sommer 2015 wurden insgesamt 48 quadratische Plots mit einer Größe von 2 m x 2 m untersucht. Die Maße orientierten sich dabei an Beispielen aus der Literatur (Ceulemans et al. 2014). Die Anzahl der Plots je Mähweide orientierte sich an dessen Größe (Abbildung 2). Die Auswahl der Plots erfolgte nach einem eingeschränkten Zufallsprinzip: So sollte eine Hälfte des Plots jeweils deutlich einen Leguminosen-patch aufweisen, während die andere Hälfte frei von Leguminosen sein sollte (Abbildung 3). Die Grenze zwischen den beiden Hälften musste dabei nicht zwingend gerade verlaufen. Wenn mehrere Leguminosenarten innerhalb eines Plots auftraten, was nicht immer vermieden werden konnte, musste eine Leguminosenart in ihrer Deckung deutlich dominieren.

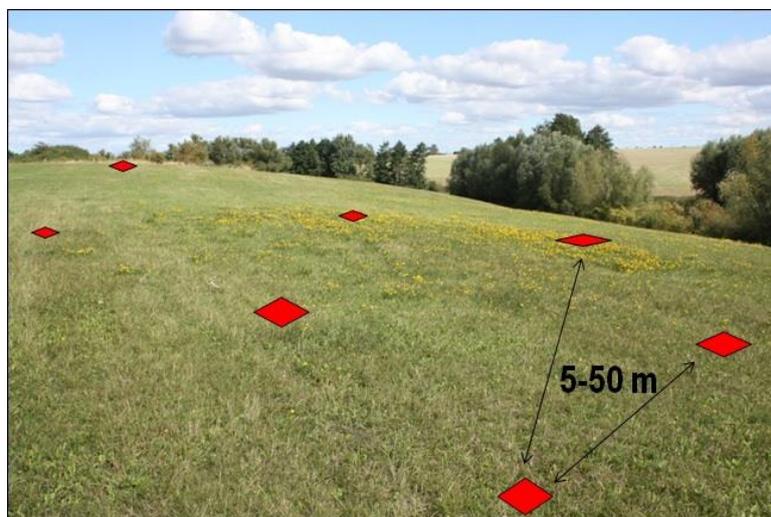


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Verteilung der Plots auf einem Standort.

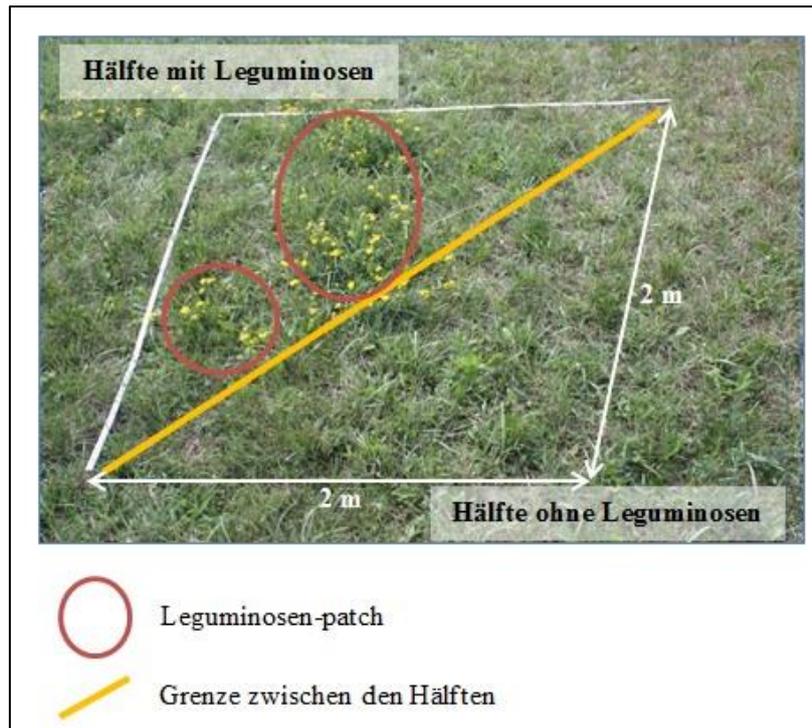


Abbildung 3: Schematische Darstellung eines Plots mit Leguminosen- und Begleitvegetationsbereich

Für jeden Plot wurde eine vollständige Bonitur vorgenommen, bei der die Deckungsgrade (%) aller vorgefundenen Gefäßpflanzen sowie der funktionellen Gruppen (Leguminosen, Kräuter, Gräser, ggf. Sauergräser) geschätzt wurden. Die Bezeichnung der Arten erfolgte nach Jäger (2011). Von der im Plot jeweils dominierenden Leguminosenart wurde eine Probe des oberirdischen Pflanzenmaterials entnommen. Eine weitere Pflanzenprobe wurde ebenso von den im Plot vorkommenden Gräsern gewonnen. Die Kräuter wurden bei der Beprobung vernachlässigt. Die Pflanzenproben wurden frisch gewogen, getrocknet, zurückgewogen und auf 1 mm vermahlen. Die C-, N- und S-Gehalte der Proben wurden mittels ICP-OES (Optima 8300, Perkin Elmer, USA) bestimmt. Für die Analyse der P-, K-, Ca- und Mg-Gehalte erfolgten vor der Bestimmung am ICP eine Reaktion mit HNO_3 und H_2O_2 sowie ein Mikrowellenaufschluss. Von beiden Plothälften wurden zudem mithilfe eines Bohrstocks (20 mm) Bodenproben der oberen 10 cm mächtigen Bodenschicht gezogen. Die P_{DL} , Mg- und K-Gehalte der getrockneten Bodenproben wurden gemäß der Doppel-Lactat (DL)-Methode nach Riehm (1948) extrahiert und anschließend am ICP-OES bestimmt. Für eine bessere Vergleichbarkeit mit internationaler Literatur wurde beispielhaft für die Bodenproben der Begleitvegetation der Olsen-P-Wert mittels 0.5 M Natriumhydrogencarbonat (NaHCO_3)-Lösung nach Olsen et al. (1954) am ICP-OES analysiert. Für den mineralischen Standort 1 (Sommersdorf) wurde zudem eine sequenzielle P-Fraktionierung nach der von Tiessen et al. (1983) modifizierten Hedley et al. (1982)-Methode vorgenommen. Bei dieser Fraktionierung erfolgt eine Extraktion des Phosphors mit zunehmender Extraktionsstärke der verwendeten Lösungen (H_2O , HCl , NaHCO_3 , NaOH , H_2SO_4). Mithilfe dieser Fraktionen lassen sich die Bindungsformen des Phosphats im Boden erklären. Der Boden-pH-Wert wurde in einer Boden-Wasser-Suspension (1:5) mittels Glaselektrode bestimmt. Die C-, N-, S-Gehalte der Bodenproben wurden an einem vario PYRO cube von Elementar (Langensfeld, Germany) im CN-Modus analysiert.

5.2.2 Datenauswertung

Die Artenzahl der Gefäßpflanzen in jedem Plot wurde als Alpha (α)-Diversität nach Whittaker (1972) erfasst. Die Beta (β)-Diversität jeder Aufnahmefläche wurde als Quotient aus der Gesamtartenzahl der jeweiligen Aufnahmefläche (Gamma (γ)-Diversität) und der zugehörigen mittleren α -Diversität nach Whittaker (1960) berechnet. Die statistischen Analysen und Abbildungen wurden mit R (Version 3.3.1, R Core Development Team, 2016) realisiert. Zum Vergleich der Boden-P-Gehalte, der pH-Werte und der Artenvielfalt wurden Mittelwerte und Standardabweichungen berechnet. Der Zusammenhang zwischen Boden-P-Werten und Artenvielfalt wurden mittels Pearson's Korrelationstest geprüft. Mithilfe einer Varianzanalyse (ANOVA), gefolgt von einem F-Test, wurde der Effekt von Boden-P und Bodenmaterial auf die Phytodiversität mit der Artenzahl als „response variable“ und der Wechselwirkung von P_{Olsen} -Gehalten und Bodenausgangsmaterial als Faktor untersucht. Alle Variablen wurden vorher mittels Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung geprüft und wenn nötig, log-transformiert. Da die untersuchten Plots innerhalb der fünf Standorte als Pseudo-Replikate angesehen werden können, wurde im ANOVA-Modell der genestete Effekt der P_{Olsen} -Gehalte auf der Standort-Ebene durch die Addition eines zusätzlichen Fehlerterms berücksichtigt (Formel 1).

$$\text{Model} : x_{ijk} = \mu + d_j + f_i + d_i * f_j k_k + e_{jk} + e \quad (1)$$

x_{ijk} = the observed phytodiversity mean values

μ = the general mean values

d_j = the effect of the j P content

f_i = the effect of the i parent material

$d_j * f_i$ = the interaction effect of the P content with the parent material

e_{jk} = the nested error of the j P content at the k site

e = residual error

5.3 Ergebnisse

5.3.1 Kartierungen

Auf den Erhebungsflächen wurden insgesamt 121 Gefäßpflanzen kartiert, wovon 25 Gräser, 12 Sauergräser, neun Leguminosen und 75 Kräuter waren (Tabelle 28 bis Tabelle 30, siehe Anhang). Die Erhebungsflächen konnten der Pflanzengesellschaft der Molinio-Arrhenatheretea (Schubert et al. 2001) zugeordnet werden. *Trifolium repens*, *Trifolium pratense*, *Lotus corniculatus*, *Lotus pedunculatus* and *Lathyrus pratensis* waren die dominierenden Leguminosenarten. Weitere

Erhebungen

Leguminosenarten kamen in nur sehr kleinen Anteilen vor (Tabelle 1). Der Anteil der Leguminosen in allen Plots lag bei $12,8 \pm 7,8\%$, der Anteil der Gräser lag bei $60,3 \pm 10,6$ und der der Kräuter bei $26,8 \pm 11,3\%$ (Mittelwert+Standardabweichung).

Erhebungen

Tabelle 1: Dominierende Leguminosenarten, weitere Leguminosenarten sowie häufigste Gräser, Kräuter und Sauergräser mit ihrer Häufigkeit und Deckung auf den ökologisch bewirtschafteten Erhebungsflächen.

	Häufigkeit	Deckung [%]
Dominierende Leguminosenarten		
<i>Trifolium repens</i>	14/48	4-28
<i>Trifolium pratense</i>	12/48	4-13
<i>Lotus pedunculatus</i>	9/48	3-13
<i>Lathyrus pratensis</i>	9/48	3-20
<i>Lotus corniculatus</i>	4/48	5-15
Weitere Leguminosenarten		
<i>Lathyrus palustris</i>	4/48	0.3-2
<i>Vicia cracca</i>	4/48	0.3
<i>Trifolium dubium</i>	3/48	0.3
<i>Trifolium medium</i>	1/48	0.3
Häufigste Gräser auf den mineralischen Standorten		
<i>Lolium perenne</i>	15/15	3-79
<i>Dactylis glomerata</i>	9/15	3-34
<i>Poa pratensis</i>	9/15	0.3-4
<i>Festuca rubra</i>	8/15	0.3-13
Häufigste Kräuter auf den mineralischen Standorten		
<i>Taraxacum officinale</i>	15/15	3-27
<i>Achillea millefolium</i>	13/15	0.6-17
<i>Plantago lanceolata</i>	12/15	1-18
Häufigste Gräser auf den organischen Standorten		
<i>Poa trivialis</i>	18/27	0.3-62
<i>Holcus lanatus</i>	14/27	1-37
<i>Festuca pratensis</i>	8/27	0.3-20
<i>Alopecurus pratensis</i>	8/27	0.3-11
Häufigste Kräuter auf den organischen Standorten		
<i>Filipendula ulmaria</i>	19/27	0.3-22
<i>Ranunculus acris</i>	19/27	0.3-10

Erhebungen

<i>Plantago lanceolata</i>	9/27	3-10
<i>Taraxacum officinale</i>	9/27	1-14
<hr/>		
Häufigste Sauergräser auf den organischen Standorten		
<i>Carex disticha</i>	11/27	4-70
<i>Juncus articulatus</i>	6/27	0.3-2
<i>Carex nigra</i>	6/27	5-30
<hr/>		

Erhebungen

Auf der mineralischen Mähweide 1 (Sommersdorf) wurden insgesamt 38 Pflanzenarten erfasst (5 Leguminosen, 22 Süßgräser, 1 Sauergras, 21 Kräuter). Auf fünf der 12 Plots war *Trifolium repens* dominierend, auf vier *Lotus corniculatus*, auf zwei *Trifolium pratense* und auf einem *Lathyrus pratensis*.

Auf dem Standort 2 (Peenetal), welcher sowohl organischen als auch mineralischen und einem Übergangsbereich dazwischen umfasst, wurden mit 78 Gefäßpflanzen (7 Leguminosen, 17 Süßgräser, 7 Sauergräser, 47 Kräuter) die meisten Arten kartiert. *Lotus pedunculatus* dominierte hier in vier von 12 Plots, *T. repens* und *T. pratense* in jeweils vier Plots und *L. pratensis* in zwei Plots.

Die Mähweide 3 (Warnowniederung), ein Niedermoorgebiet, wies 54 Pflanzenarten innerhalb ihrer untersuchten Plots auf (8 Leguminosen, 14 Süßgräser, 5 Sauergräser, 27 Kräuter). Hier war *L. pratensis* auf vier von 11, *L. pedunculatus* auf drei und *T. repens* sowie *T. pratense* auf jeweils zwei Plots vorherrschend.

Auf der organischen Mähweide 4 (Kambs) wurden insgesamt 47 Gefäßpflanzen erfasst (6 Leguminosen, 11 Süßgräser, 5 Sauergräser, 25 Kräuter). Auf den dortigen acht Plots war *T. pratense* auf vier und *L. pedunculatus* und *L. pratensis* auf jeweils zwei Plots die dominierende Leguminose.

Im degradierten Niedermoor, auf der Mähweide 5 (Walkendorf), wurden 29 Pflanzenarten kartiert (1 Leguminose, 13 Süßgräser, 15 Kräuter). Auf allen fünf Plots war *T. repens* die vorherrschende Leguminose.

Die größte γ -Diversität zeigten somit der Übergangsbereich der Mähweide 2, wo die mittlere Artenzahl am höchsten war, sowie die Mähweiden 4 und 5. Die größte β -Diversität konnte hingegen auf der Mähweide 4 festgestellt werden, gefolgt von dem mineralischen Standort (MW1). Die mittleren Artenzahlen waren auf dem mineralischen Standort (MW1) sowie dem mineralischen Bereich von MW2 und dem degradierten Niedermoorstandort (MW5) am niedrigsten (Tabelle 2).

Erhebungen

Tabelle 2: Bodenmaterial, pH-Wert und Diversitäts-Indizes der Erhebungsflächen auf fünf ökologisch bewirtschafteten Mähweiden in Nordostdeutschland.

	Alle Standorte	MW1	MW2			MW3	MW4	MW5
Bodenmaterial	divers	mineralisch	mineralisch	Übergangsbereich	Niedermoor	Niedermoor	Niedermoor	Degradiertes Niedermoor
pH	6.0±1.0	7.0±0.8	4.5±0.1	5.3±0.6	5.9±0.2	5.1±0.3	6.6±0.2	5.9±0.7
Artenanzahl	15.9±3.4	13.3±2.4	14.3±2.1	20.0±1.1	19.3±4.0	15.3±3.3	17.8±2.5	14.4±1.9
β-Diversität	7.61	2.86	1.61	2.65	1.76	3.53	2.64	2.01
γ-Diversität	121	38	23	53	34	54	47	29
n	48	12	3	6	3	11	8	5

Erhebungen

Zwischen Anzahl der Gefäßpflanzen in den Plots und den assoziierten leguminosen-Anteilen konnte kein deutlicher Zusammenhang festgestellt werden (Abbildung 4).

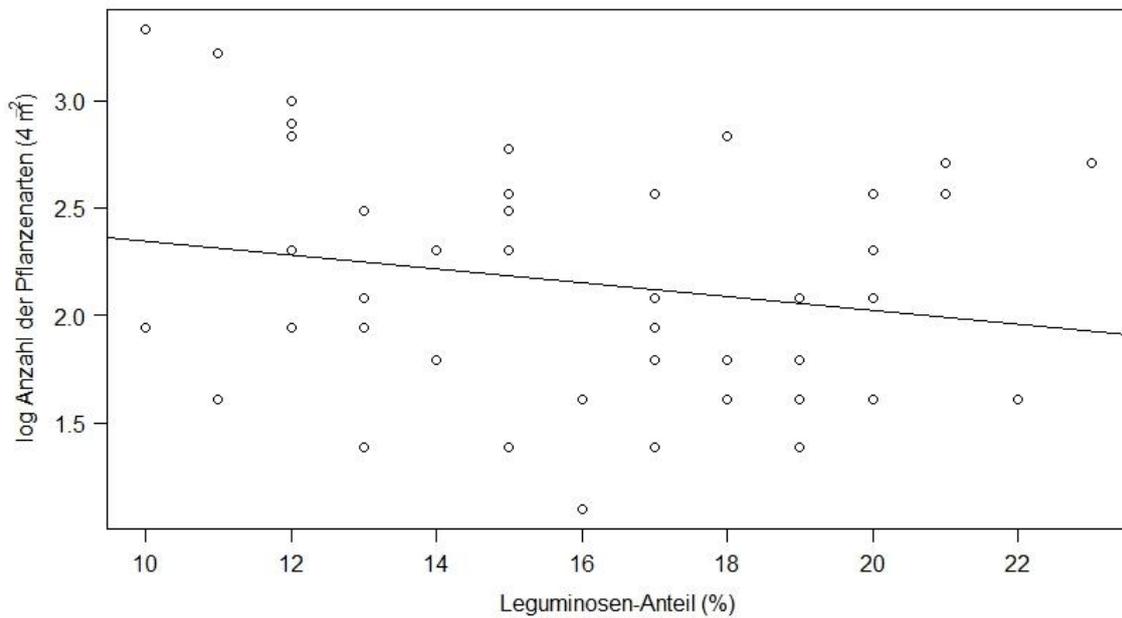


Abbildung 4: Anzahl der Pflanzenarten auf den Erhebungsflächen auf fünf ökologisch bewirtschafteten Mähweiden in Nordostdeutschland in Abhängigkeit vom Leguminosenanteil. Die Linie ist Ergebnis des linearen Modells, wobei die Anzahl der Pflanzenarten log-transformiert wurde. $r^2=0.04$.

5.3.2 Nährstoffgehalte im Boden

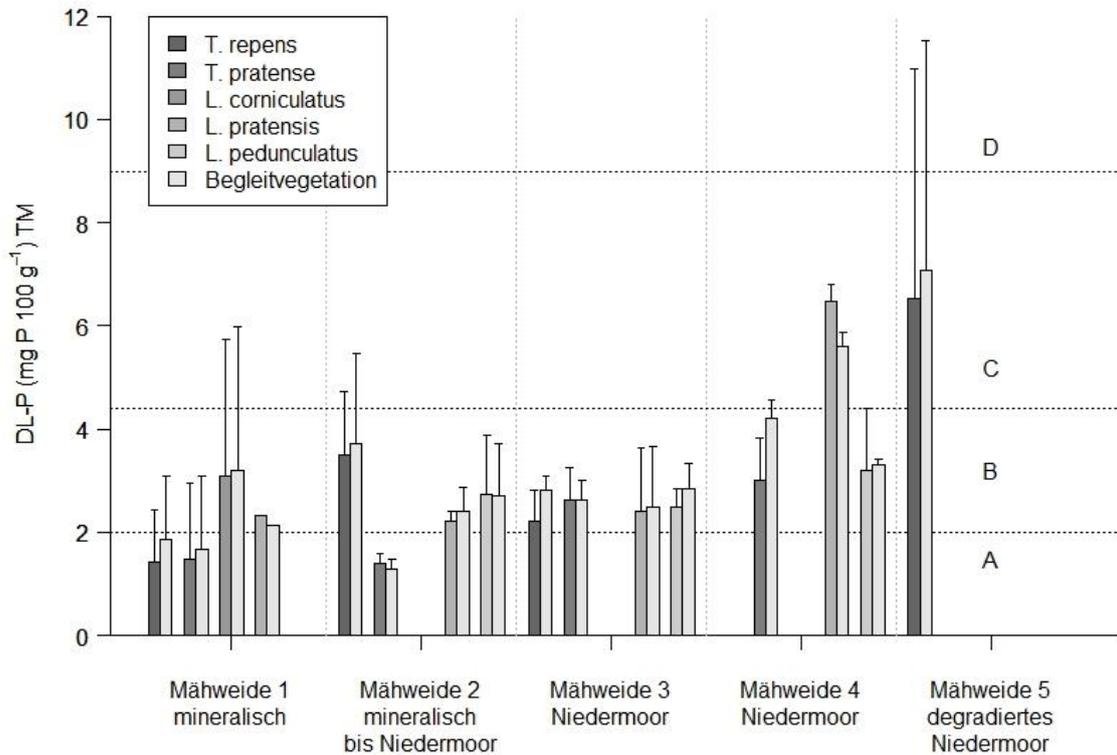


Abbildung 5: P_{DL} -Gehalte ($\text{mg P } 100 \text{ g}^{-1}$) innerhalb der Leguminosenbereiche und im Bereich ihrer assoziierten nicht-legum Begleitvegetation. Mittelwerte \pm Standardabweichung. MW=Mähweide.

Die Boden- P_{DL} -Gehalte der Leguminosengruppe und der Begleitvegetation unterschieden sich unter Einbeziehung aller fünf Standorte signifikant ($p=0.04$; Wilcoxon-Test). Die Leguminosen zeigten mit $3,0 \pm 2,3 \text{ mg P } 100 \text{ g}^{-1}$ im Mittel einen geringeren Wert als die Begleitvegetation mit $3,3 \pm 2,3 \text{ mg P } 100 \text{ g}^{-1}$. Beim Vergleich der P_{DL} -Werte der einzelnen Standorte konnte allerdings kein signifikanter Unterschied zwischen den Leguminosenbereichen und den Bereichen der Begleitvegetation festgestellt werden. Auch beim Vergleich der einzelnen dominierenden Leguminosenarten in den Plots und ihrer Begleitvegetation konnte bezüglich des P_{DL} -Wertes des Bodens kein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden (Abbildung 5, Tabelle 3). Der mineralische Standort, MW1, zeigte die niedrigsten mittleren Boden- P_{DL} -Gehalte und der degradierte Niedermoorstandort, MW5, die höchsten (Abbildung 5). Die Boden- P_{DL} -Gehalte der einzelnen Leguminosenarten unterschieden sich je Standort teilweise deutlich voneinander. Zwischen den Standorten unterschieden sich die Verhältnisse aber. Während die P_{DL} -Gehalte von *T. repens* auf der Mähweide 1 vergleichbar mit denen von *T. pratense* waren, überragten die P_{DL} -Gehalte von *T. repens* auf der Mähweide 2 die P_{DL} -Gehalte von *T. pratense* deutlich. Auf der Mähweide 3 hingegen waren die P_{DL} -Gehalte von *T. pratense* etwas höher als die von *T. repens*. *L. corniculatus* zeigte höhere P_{DL} -Gehalte als die anderen drei Leguminosenarten auf dem mineralischen Standort, allerdings mit großen Streuungen. *L. pratensis* zeigten mal höhere, mal geringere P_{DL} -Gehalte als *T. repens*. Die Werte von *L. pedunculatus* waren meist vergleichbar mit denen von *T. repens* (Abbildung 5, Tabelle 3).

Erhebungen

Tabelle 3: Boden-P-Gehalte innerhalb der Leguminosenbereiche und im Bereich ihrer assoziierten nicht-legumen Begleitvegetation. Mittelwerte \pm Standardabweichung. MW=Mähweide.

Standort	Boden-P_{DL} Leguminosen (mg 100 g⁻¹)	Boden-P_{DL}/P_{Olsen} Begleitvegetation (mg 100 g⁻¹)	p Wilcoxon-Test
Alle Standorte	3,04 \pm 2,26	3,27 \pm 2,30/ 2,45 \pm 1,47	0.04
MW1 (Sommersdorf)	2,07 \pm 1,79	2,28 \pm 1,83/ 2,18 \pm 0,59	0.20
MW1 <i>T. repens</i>	1,43 \pm 1,00	1,86 \pm 1,22	0.38
MW1 <i>T. pratense</i>	1,48 \pm 1,48	1,66 \pm 1,43	0.25
MW1 <i>L. corniculatus</i>	3,10 \pm 2,63	3,20 \pm 2,79	0.63
MW1 <i>L. pratensis</i>	2,33	2,12	1.00
MW2 (Peenetal)	2,51 \pm 1,13	2,55 \pm 1,30/ 2,54 \pm 1,14	0.82
MW2 <i>T. repens</i>	3,49 \pm 1,23	3,70 \pm 1,76	1.00
MW2 <i>T. pratense</i>	1,41 \pm 0,18	1,27 \pm 0,21	0.75
MW2 <i>L. pedunculatus</i>	2,75 \pm 1,14	2,71 \pm 1,01	0.63
MW2 <i>L. pratensis</i>	2,22 \pm 0,18	2,40 \pm 0,47	1.00
MW3 (Warnowniederung)	2,44 \pm 0,75	2,67 \pm 0,72/ 2,05 \pm 1,46	0.21
MW3 <i>T. repens</i>	2,23 \pm 0,59	2,82 \pm 0,28	0.50
MW3 <i>T. pratense</i>	2,62 \pm 0,64	2,63 \pm 0,38	1.00
MW3 <i>L. pedunculatus</i>	2,49 \pm 0,36	2,85 \pm 0,49	0.50
MW3 <i>L. pratensis</i>	2,42 \pm 1,21	2,48 \pm 1,18	0.88
MW4 (Kambs)	3,92 \pm 1,74	4,33 \pm 0,91/ 2,49 \pm 0,30	0,31
MW4 <i>T. pratense</i>	3,00 \pm 0,84	4,20 \pm 0,35	0.25
MW4 <i>L. pedunculatus</i>	3,21 \pm 1,20	3,31 \pm 0,11	1.00
MW4 <i>L. pratensis</i>	6,47 \pm 0,34	5,60 \pm 0,27	0.50
MW5 (Walkendorf)	6,53 \pm 4,44	7,08 \pm 4,44/ 4,70 \pm 1,88	0.06
MW5 <i>T. repens</i>	6,53 \pm 4,44	7,08 \pm 4,44	0.06

Hinsichtlich der P-Fractionen am Beispiel der Mähweide 1 konnte ebenfalls kein signifikanter Unterschied (Wilcoxon-Test) zwischen Leguminosen- und Begleitvegetation-Patches festgestellt werden (Abbildung 6). Die leicht löslichen Phosphate, nämlich Orthophosphate, labile und leicht nachlieferbare anorganische und organisch sowie mikrobiell gebundene Phosphate konnten in deutlich geringeren Mengen festgestellt werden als stabilere, an Fe- und Al-Oxide und Fulvo-

/Huminsäuren gebundene (NaOH-P) sowie stabile, schwer lösliche Ca-Phosphate (H_2SO_4 -P). Die Streuungen waren dabei aber sehr groß (Abbildung 6).

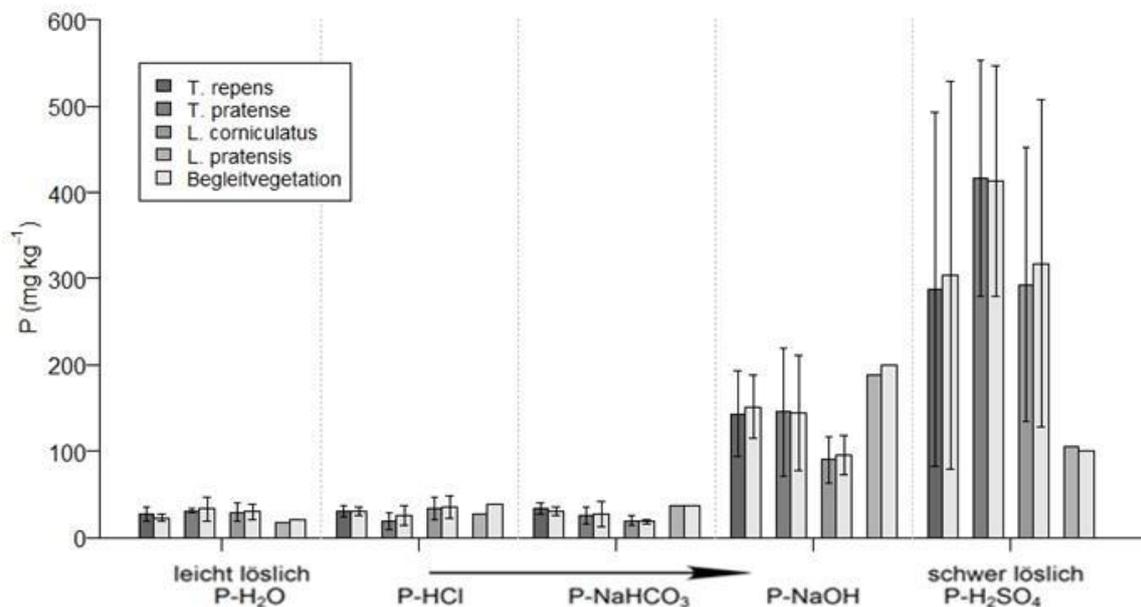


Abbildung 6: P-Boden-Gehalte ($mg\ kg^{-1}$) nach Fraktionierung von Patches verschiedener Leguminosenarten der sandig-mineralischen Mähweide (MW1) unter ökologischer Bewirtschaftung in Nordostdeutschland (Sommer 2015). Die Ergebnisse sind präsentiert als Mittelwerte \pm Standardabweichung. *Trifolium repens* (n=4), *Trifolium pratense* (n=3), *Lotus corniculatus* (n=4), *Lathyrus pratensis* (n=1).

Die mittleren Boden- K_{DL} -Werte lagen für die Leguminosen-Patches bei $4,70 \pm 3,04\ mg\ 100\ g^{-1}$, für die Begleitvegetation lagen sie bei $5,67 \pm 5,25\ mg\ 100\ g^{-1}$ in allen Plots. Beim Betrachten der einzelnen Standorte und Leguminosenarten sind die Werte der Begleitvegetation fast immer höher. Eine Ausnahme bildet u.a. MW5. MW3 zeigte im Mittel die geringsten Boden- K_{DL} -Werte, MW5 die höchsten (Tabelle 31, siehe Anhang). Die mittleren Boden- Mg_{DL} -Gehalte der Leguminosen-Patches betragen $23,99 \pm 17,40\ mg\ 100\ g^{-1}$, die der Begleitvegetation $25,47 \pm 19,34\ mg\ 100\ g^{-1}$. Bis auf den Standort MW2 waren die Mg_{DL} -Gehalte im Boden der Begleitvegetation höher als die im Boden der Leguminosen (Tabelle 32, siehe Anhang). Die Boden-N- und -C-Gehalte der Begleitvegetation waren meist geringer als die der Leguminosen. Bei MW4 und MW5 verhielt es sich andersherum (Tabelle 33 und Tabelle 34, siehe Anhang). Die mittleren Boden-N-Gehalte der Leguminosen-Patches aller Standorte lagen bei $1,16 \pm 0,91\%$, die der Begleitvegetation bei $1,13 \pm 0,92\%$ (Tabelle 33, siehe Anhang). Die Boden-C-Gehalte der Leguminosenbereiche aller Standorte betragen im Mittel $14,09 \pm 10,97\%$, die der Begleitvegetation $13,72 \pm 11,01\%$ (Tabelle 34, siehe Anhang). Die Boden-C/N-Verhältnisse der beiden Gruppen unterschieden sich kaum. Die Boden-C/N-Verhältnisse der Leguminosenbereiche aller Standorte lagen im Mittel bei $12,09 \pm 1,16$, die der Begleitvegetation $12,13 \pm 1,09$ (Tabelle 35, siehe Anhang). Die Boden-S-Gehalte der Leguminosen waren meist etwas höher als die der Begleitvegetation. Bei MW4 waren sie nahezu gleich und bei MW5 waren die der Begleitvegetation etwas höher als die der Leguminosen. Im Mittel aller Standorte lagen die Boden-S-Gehalte der Leguminosen-Patches bei $0,22 \pm 0,16\%$ und die der Begleitvegetation bei $0,21 \pm 0,16\%$ (Tabelle 36, siehe Anhang). Zwischen den Boden- K_{DL} - sowie - Mg_{DL} -Werten konnte auf keiner Betrachtungsebene ein signifikanter Unterschied zwischen den Leguminosenbereichen und den Bereichen der Begleitvegetation festgestellt werden (Tabelle 31 und Tabelle 32, siehe Anhang). Das

gleiche gilt für die Boden-C- und -N- sowie C/N-Werte (Tabelle 33 bis Tabelle 35, siehe Anhang). Bei der Mähweide 3 ist der Unterschied zwischen den C/N-Werten im Boden der Leguminosen und ihrer Begleitvegetation gemäß Wilcoxon-Test leicht signifikant, beim Vergleich der Mittelwerte wird dies aber nicht deutlich (Tabelle 35, siehe Anhang). Auch beim Vergleich der S-Werte des Bodens im Bereich der Leguminosen und ihrer Begleitvegetation ist kein signifikanter Unterschied zu verzeichnen, außer beim Vergleich dieser zwei Gruppen auf der Mähweide 1 (Tabelle 36, siehe Anhang).

Neben den P_{DL} -Gehalten konnte auch bezüglich der anderen Nährstoffe kein Unterschied zwischen *T. repens* und eine der anderen Leguminosenarten festgestellt werden (Tabelle 31 bis Tabelle 36, siehe Anhang).

5.3.3 Zusammenhang von Boden-P und Phytodiversität

Der Pearson's Korrelationstest ergab einen negativen, aber nicht signifikanten ($p=0.19$) Zusammenhang zwischen Artenzahl und mittlere P_{Olsen} -Gehalte aller Standorte (Korrelationskoeffizient=-0,56). Mithilfe der ANOVA konnte ein Effekt ($p=0.02$) der log-transformierten P_{Olsen} -Gehalte auf die Artenzahl nachgewiesen werden. Das Bodenausgangsmaterial (mineralisch, organisch, Übergangsbereich) zeigt einen leichten Effekt ($p=0.09$) auf die Artenzahl. Zwischen den log-transformierten P_{Olsen} -Gehalten und dem Bodenausgangsmaterial konnte aber keine Wechselwirkung festgestellt werden (Abbildung 7).

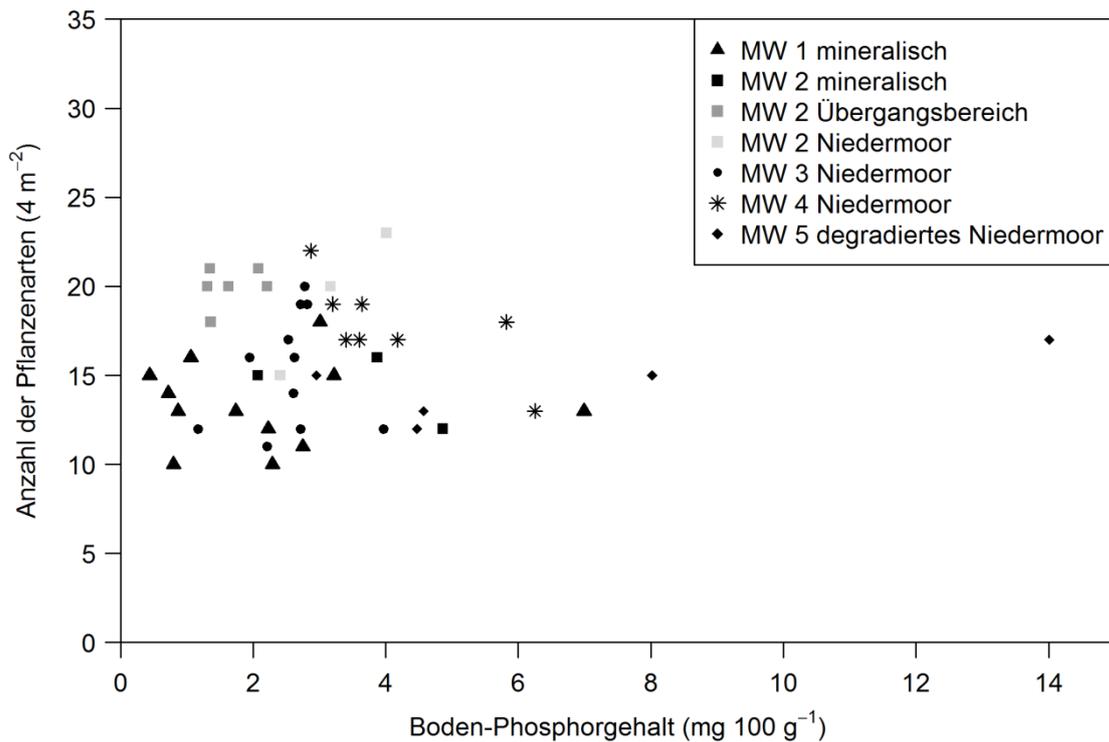


Abbildung 7: Anzahl der Pflanzenarten (4m^{-2}) je Plot in Abhängigkeit vom Boden- P_{DL} -Gehalt ($\text{mg } 100\text{ g}^{-1}$). Der Boden- P_{DL} -Gehalt ist als Mittelwert des Boden-P-Gehalts innerhalb des Leguminosenbereichs und des Boden-P-Gehalts des Bereichs der nicht-legumen Begleitvegetation angegeben. MW=Mähweide.

5.3.4 Nährstoffgehalte in den Pflanzen

Die P-Gehalte in der oberirdischen Biomasse der Leguminosen und der Begleitvegetation unterschieden sich signifikant bei den Standorten MW1, MW2 und MW4, aber in unterschiedlicher Weise. Während bei MW1 (mineralischer Standort), wie auch bei MW5 (degradiertes Niedermoorstandort) die P-Gehalte in der Begleitvegetation höher ausfielen, waren sie bei den anderen drei Standorten niedriger (Abbildung 8 und Tabelle 4). Über alle Standorte hinweg betragen die mittleren P-Gehalte der Leguminosen $2,47 \pm 0,84\text{ g kg}^{-1}$ und die der Begleitvegetation $2,59 \pm 1,10\text{ g kg}^{-1}$ (Abbildung 8).

Erhebungen

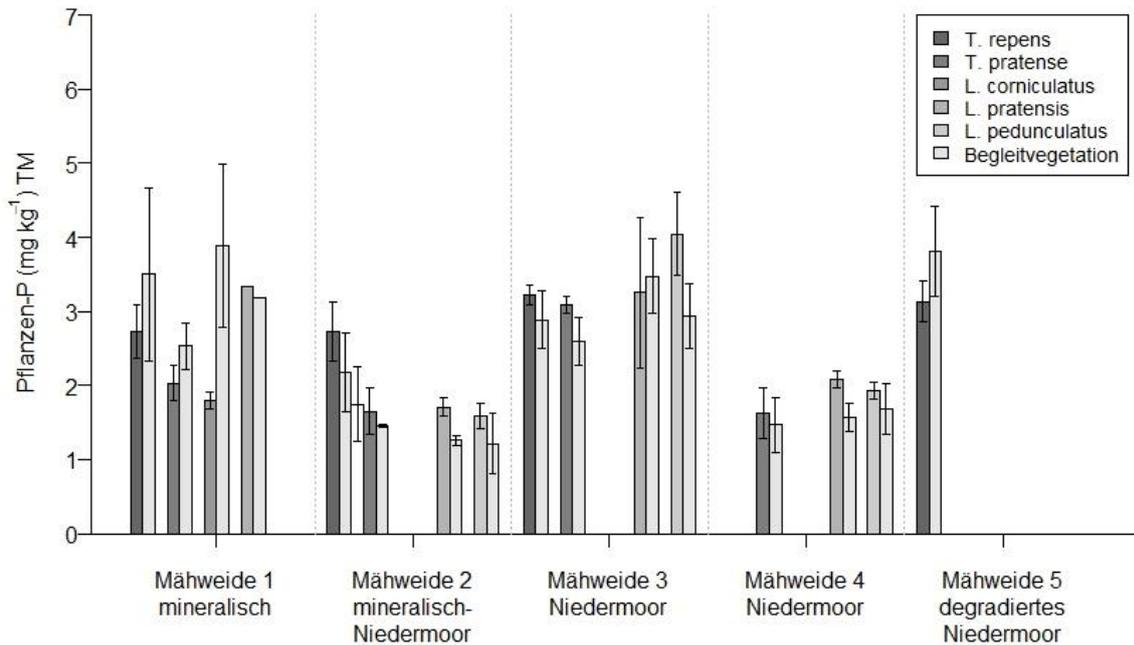


Abbildung 8: P-Gehalte in der oberirdischen Biomasse von Leguminosen und ihrer Begleitvegetation auf fünf ökologisch bewirtschafteten Mähweiden in Nordostdeutschland.

Tabelle 4: P-Gehalte in der oberirdischen Biomasse von Leguminosen und ihrer Begleitvegetation auf fünf ökologisch bewirtschafteten Mähweiden in Nordostdeutschland. Mithilfe des Wilcoxon-Tests wurde geprüft, ob es zwischen den beiden Gruppen einen signifikanten Unterschied gibt.

Standort	Pflanzen-P Leguminosen (g kg ⁻¹)	Pflanzen-P Begleitvegetation (g kg ⁻¹)	p Wilcoxon-Test
Alle Standorte	2,47±0,84	2,59±1,10	0.87
MW1 (Sommersdorf)	2,29±0,57	3,36±1,01	0.003
MW1 <i>T. repens</i>	2,73±0,36	3,50±1,17	0.25
MW1 <i>T. pratense</i>	2,03±0,24	2,53±0,31	0.25
MW1 <i>L. corniculatus</i>	1,79±0,12	3,89±1,10	0.13
MW1 <i>L. pratensis</i>	3,34	3,18	1
MW2 (Peenetal)	1,93±0,55	1,57±0,50	0.002
MW2 <i>T. repens</i>	2,73±0,40	2,17±0,53	0.25
MW2 <i>T. pratense</i>	1,80±0,37	1,57±0,30	0.25
MW2 <i>L. pedunculatus</i>	1,54±0,17	1,28±0,36	0.38
MW2 <i>L. pratensis</i>	1,71±0,12	1,26±0,06	0.50
MW3 (Warnowniederung)	3,43±0,73	3,06±0,51	0.21

Erhebungen

MW3 <i>T. repens</i>	3,22±0,13	2,89±0,39	0.50
MW3 <i>T. pratense</i>	3,09±0,11	2,60±0,32	0.50
MW3 <i>L. pedunculatus</i>	4,04±0,56	2,93±0,44	0.25
MW3 <i>L. pratensis</i>	3,25±1,01	3,48±0,50	0.88
<hr/>			
MW4 (Kambs)	1,82±0,31	1,55±0,30	0.04
MW4 <i>T. pratense</i>	1,62±0,34	1,47±0,37	0.38
MW4 <i>L. pedunculatus</i>	1,94±0,11	1,69±0,34	0.50
MW4 <i>L. pratensis</i>	2,08±0,12	1,57±0,19	0.50
<hr/>			
MW5 (Walkendorf)	3,13±0,28	3,81±0,61	0.13
MW5 <i>T. repens</i>	3,13±0,28	3,81±0,61	0.13

Die N-Gehalte der Leguminosen und der Begleitvegetation unterschieden sich bis auf den degradierten Niedermoorstandort (MW5) signifikant. Mit $33,16 \pm 6,23 \text{ g kg}^{-1}$ waren die N-Gehalte der Leguminosen höher als die der Begleitvegetation mit $24,79 \pm 7,80 \text{ g kg}^{-1}$ (Tabelle 37, siehe Anhang). Die N/P-Verhältnisse waren somit auch höher bei den Leguminosen ($14,17 \pm 2,75$) als bei der Begleitvegetation ($10,53 \pm 3,29$) und dies zumeist signifikant (Tabelle 38, siehe Anhang). Während sich die Leguminosen ($431,61 \pm 10,71 \text{ g kg}^{-1}$) und die Begleitvegetation hinsichtlich der C-Gehalte ($429,87 \pm 6,73 \text{ g kg}^{-1}$) nicht signifikant unterschieden (Tabelle 39, siehe Anhang), konnte bezüglich der C/N-Verhältnisse ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen festgestellt werden. Das mittlere C/N-Verhältnis der Begleitvegetation war mit $19,00 \pm 5,57$ höher als das der Leguminosen mit $13,47 \pm 2,52$ (Tabelle 40, siehe Anhang). Auch bezüglich der S-Gehalte gab es signifikante Unterschiede zwischen den beiden funktionellen Gruppen (bis auf MW3). Mit $4,38 \pm 1,14 \text{ g kg}^{-1}$ war der mittlere S-Gehalt der Begleitvegetation höher als der der Leguminosen mit $3,44 \pm 1,14 \text{ g kg}^{-1}$ (Tabelle 41, siehe Anhang). Auch in Bezug auf den Mg-Gehalt verhielt sich der Standort MW3, neben MW5, anders als die anderen Standorte, bei denen es signifikante Unterschiede zwischen den Mg-Gehalten der Leguminosen und der Begleitvegetation gab. Die Mg-Gehalte der Leguminosen waren mit $3,12 \pm 1,14 \text{ g kg}^{-1}$ im Mittel höher als die der Begleitvegetation mit $2,45 \pm 0,82 \text{ g kg}^{-1}$ (Tabelle 42, siehe Anhang). Die K-Gehalte der Begleitvegetation waren meist höher als die der Leguminosen. Über alle Standorte getestet sowie bei MW3 war der Unterschied signifikant. Im Mittel betragen die K-Gehalte der Begleitvegetation $13,92 \pm 6,71 \text{ g kg}^{-1}$ und die der Leguminosen $12,37 \pm 6,93 \text{ g kg}^{-1}$ (Tabelle 43, siehe Anhang).

5.4 Diskussion

5.4.1 Leguminosen und Phytodiversität

Leguminosen beeinflussen auf vielfältige Weise die Lebensgemeinschaft, in der sie vorkommen und spielen eine wichtige Rolle im Grünland und seiner Multifunktionalität. Vor allem ihre Eigenschaft, Luftstickstoff zu fixieren und auch ihrer Umgebung zur Verfügung zu stellen, ist dabei entscheidend (Mulder et al. 2002, Spehn et al. 2002). Neben den typischen, weit verbreiteten Grünlandleguminosen *T. repens* und *T. pratense* konnten auch weniger bekannte Leguminosen auf unseren Erhebungsflächen kartiert und in die Auswertung mit einbezogen werden.

Erhebungen

Durch das Vorkommen von Leguminosen wird direkt oder indirekt die Qualität und Quantität der Streuzersetzung sowie die Vitalität des ober- und unterirdischen Bodenlebens bewirkt. Damit im Zusammenhang stehen auch phytosanitäre Wirkungen. Pflanzengesellschaften mit einem hohen Leguminosenanteil zeigten bei Milcu et al. (2008) eine signifikant höhere Regenwurmbiomasse. Scherer-Lorenzen (2008) konnten eine höhere Regenwurmdichte und -Vielfalt bei Anwesenheit von Leguminosen feststellen. Auch auf weitere Streuzersetzer, den Springschwänzen (Collembola), wirkten Grünlandleguminosen (darunter *T. pratense*, *L. corniculatus* und *L. pratensis*) signifikant positiv, indem sie deren Dichte und Diversität erhöhten (Birkhofer et al. 2011, Sabais et al. 2011). Eine verbesserte Streuzersetzung hat zahlreiche positive Wirkungen auf das Bodenleben und beeinflusst somit auch das Wachstum und die Zusammensetzung der Pflanzengesellschaft (Salomon et al. 2004, Sabais et al. 2011). Regenwürmer vermindern Nematodenbefall und die Wirkung pathogener Bakterien, welche sonst einen negativen Einfluss auf die Phytodiversität haben (Wurst et al. 2008). Sie verbessern die Wasserleit- und Speicherfähigkeit sowie die Durchlüftung des Bodens und erhöhen die Gesamtwurzelmasse (Wurst et al. 2008, Eisenhauer et al. 2009, Birkhofer et al. 2011). Durch die stickstoffreiche oberirdische Streu, eine hohe Feinwurzelmasse sowie mit ihren Exsudaten wirken sich die Leguminosen außerdem positiv auf die Mikrofauna auf, die wiederum die Pflanzengesellschaft und ihren Artenreichtum beeinflusst (Spehn et al. 2000, Stephan et al. 2000, Salomon et al. 2004). Spehn et al. (2000) berichten von einem Rückgang der mikrobiellen Biomasse von 15% bei Abwesenheit von Leguminosen bei sonst gleicher Artenzahl. Durch das niedrige C/N-Verhältnis von Leguminosenstreu wird die Mineralisierung N-ärmerer organischer Substanz, wie Holz und Zellulose angeregt (Stephan et al. 2000, Scherer-Lorenzen 2008). Die Freisetzung von anorganischen Nährstoffen durch Mineralisierung kommt auch der Pflanzengemeinschaft zugute.

In vielen Studien wurde beobachtet, dass eine höhere Phytodiversität zu einer gesteigerten Biomassebildung führt. Es ist noch nicht vollständig geklärt, welche Faktoren für den Effekt gesteigerter Produktivität bei erhöhter Artenvielfalt verantwortlich sind (Wrage et al. 2011), einige Studien weisen jedoch darauf hin, dass Leguminosen dabei eine Schlüsselrolle einnehmen. Sie erhöhen die Produktivität der Grasnarbe (Spehn et al. 2002, Marquard et al. 2009, Küchenmeister et al. 2012), aber auch die der Wurzeln {Mueller 2013 #313}. Scherer-Lorenzen (2008), Sanderson (2010) und Küchenmeister et al. (2012) kamen zu der Schlussfolgerung, dass die sich die gesteigerte Primärproduktion bei erhöhter Phytodiversität nicht auf die Steigerung der allgemeinen Artenvielfalt als vielmehr auf die Vielfalt der funktionellen Gruppen zurückführen lässt. Auch Carlsson et al. 2009 leiteten aus ihrer Studie zum Effekt von Diversität und Zusammensetzung von Pflanzengesellschaften auf die N₂-Fixierung von Leguminosen ab, dass diese durch die Artenzusammensetzung und funktionalen Merkmale stärker beeinflusst würde als durch die Artenvielfalt des Bestandes. Eine erhöhte Biomasseproduktion infolge einer erhöhten Vielfalt könnte allerdings das Ergebnis eines sogenannten „sampling effects“ sein. Die Wahrscheinlichkeit der Anwesenheit von Leguminosen, die mit ihrer N₂-Fixierung zu einer N-Düngung des Grünlands beitragen, steigt mit der Erhöhung der funktionalen Diversität bzw. der gesamten Diversität (Huston 1997, Mulder et al. 2002). Daher ist es schwierig, den Effekt der Artenvielfalt auf Ökosystemeffekte vom Effekt der Leguminosenpräsenz auf eben diese zu trennen (Temperton et al. 2007). Pirhofer-Walzl et al. (2013) sprechen sogar von einem doppelten „sampling effect“, da sich in einer diverseren Pflanzengesellschaft nicht nur die Wahrscheinlichkeit des Vorkommens von Leguminosen erhöht, sondern auch die des Vorkommens von primären Nutznießern der N₂-Fixierung. Andererseits, so ergänzen Temperton et al. (2007), nähme der relative Leguminosenanteil, wenn denn welche vorkämen, mit steigender Phytodiversität

ab. Leguminosen seien außerdem empfindlicher gegenüber N-Düngung und verschwänden infolge dieser eher als Kräuter, die nicht in der Lage sind, N₂ zu fixieren (Suding et al. 2005).

Bei einer hohen Diversität steigt die Wahrscheinlichkeit der Anwesenheit von Leguminosen (Huston 1997, Mulder et al. 2002). Leguminosen wiederum sind in der Lage, N₂ zu fixieren und diesen Stickstoff ihrer Umgebung zur Verfügung zu stellen und den Bestand zu düngen (Temperton et al. 2007, Pirhofer-Walzl et al. 2013). Eine Düngung bzw. eine N-Anreicherung kann einen negativen Effekt auf die Phytodiversität haben (Suding et al. 2005), wobei Lichtkonkurrenz (Hautier et al. 2009) und eine generelle ober- und unterirdische Konkurrenz der Arten (Rajaniemi 2000, Rajaniemi et al. 2003) ausschlaggebend sind.

Wir konnten mithilfe unserer Erhebungen auf Praxisflächen keinen Zusammenhang zwischen Leguminosendeckung und Artenreichtum feststellen. Die untersuchten Plots waren allerdings relativ klein, was auf die grundlegende Fragestellung der Unterschiede hinsichtlich der Nährstoffgehalte von Leguminosen und Begleitvegetation zurückzuführen ist. Des Weiteren wurden gezielt nur solche Flächen ausgewählt, auf denen auf jeden Fall mindestens eine Leguminosenart deutlich vorkommt. Aufgrund dieser Vorauswahl konnte die Frage nach dem Zusammenhang zwischen Leguminosenpräsenz und -deckung und der Phytodiversität nicht beantwortet werden. Der Zusammenhang müsste auf einer größeren räumlichen Skalenebene, z.B. auf Ebene der Wirtschaftseinheit zusätzlich untersucht werden.

5.4.2 Boden-P- sowie weitere Nährstoffgehalte und Phytodiversität

Unter den Erhebungsstandorten waren sowohl Niedermoorböden als auch ein Mineralboden vertreten. Bei den Niedermoorböden war ein Standort bereits infolge Entwässerung und Mineralisierung degradiert. Ein Standort deckte einen Niedermoorbereich, einen mineralischen Bereich und eine Übergangszone dazwischen ab und kann teilweise dem Anmoor zugeordnet werden. Prinzipiell unterscheiden sich mineralische und organische Böden hinsichtlich ihrer Nährstoffverfügbarkeit. Niedermoorstandorte mit ihrem hohen Anteil organischer Bodensubstanz sind meist nährstoffarm. Der organisch gebundene Phosphor wird erst durch den mikrobiellen Abbau pflanzenverfügbar. Anmoore haben einen geringeren Anteil organischer und einen höheren Anteil mineralischer Bodensubstanz als intakte Niedermoore. Ihr Anteil leicht löslicher, mikrobiell abbaubarer Phosphorverbindungen ist somit geringer und der Anteil schwer löslicher Phosphorverbindungen höher. Degradierte Moorböden weisen infolge landwirtschaftlicher Nutzung und Nährstoffanreicherungen häufig hohe P-Gehalte auf. Der in Mineralböden vorrangig anorganisch gebundene Phosphor ist nur schwer löslich.

Dies spiegelte sich nur ansatzweise bei den Erhebungen wider. Mähweide 1 bis 4, darunter auch der mineralische und der Übergangstandort, wiesen P_{DL}-Werte in der Gehaltsklasse A und B auf. Der Mineralboden zeigte dabei nur geringfügig geringere Werte des pflanzenverfügbaren Phosphors. Die geringsten P-Werte der Mähweide 2 mit dem Übergang vom mineralischen zum organischen Boden zeigte dort der anmoorige Übergangsbereich. Einige Plots der Mähweiden 1, 2 und 4 zeigten erhöhte P-Gehalte und fielen somit in Gehaltsklasse C. Der degradierte Standort wies erhöhte P-Gehalte der Gehaltsklasse C bis teilweise D mit bis zu 12 mg P 100 g⁻¹ Boden auf.

Pflanzengemeinschaften werden von der Nährstoffverfügbarkeit bestimmt und bestimmen diese (Anderson 2004). Zwischen den Bodenproben der Leguminosen-Patches und denen der Begleitvegetation war über alle Standorte hinweg zwar ein signifikanter Unterschied festzustellen, allerdings zeigte sich dieser nicht beim Betrachten der einzelnen Standorte bzw. der einzelnen Leguminosenarten und ihrer Begleitvegetation. Die Boden-P-Gehalte konnten das Auftreten von Grünlandleguminosen also nicht zufriedenstellend erklären. Es entsprach aber unseren Erwartungen, dass die Boden-P-Gehalte der Leguminosenbereiche aufgrund der hohen P-Bedürftigkeit der Leguminosen (Davis 1991, Høgh-Jensen et al. 2002, Sanderson 2010, Divito & Sadras 2014) etwas niedriger waren als die der Begleitvegetation. Heuwinkel et al. (2004), die ihre Untersuchungen auf Ansaat-Klee gras auf fruchtbaren Ackerböden durchführten, erklärten die räumliche Variabilität von Leguminosenanteilen der Grasnarbe mit dem Stickstoffgehalt des Bodens statt mit P. Doch auch bezüglich der N-Gehalte konnten wir keine signifikanten Unterschiede nachweisen. Des Weiteren können auch pH-Wert und Konkurrenz eine große Rolle für das Vorkommen von Grünlandleguminosen spielen.

Die Boden-Nährstoffgehalte der einzelnen Leguminosenarten-Plots je Standort unterschieden sich teilweise deutlich voneinander, aber ohne eindeutigen Trend beim Vergleich aller Standorte. Es ist nicht möglich, aus den in diesem Projekt erhobenen Daten eine Leguminosenart zu nennen, die generell höhere oder niedrige P-Gehalte im Boden aufzuweisen scheint. Optimale Boden-P-Werte für Leguminosen oder generell Grünland sind in der Literatur schwer zu finden. Optimale P-Versorgungswerte beziehen sich vorzugsweise auf die P-Gehalte in der Biomasse der Leguminosen (siehe Kapitel 5.4.3). Jouany et al. (2002) kombinierten Boden-P- und Biomasse-P-Gehalte und schlussfolgerten, dass die Grenzen, unter welchen P limitierend für das Wachstum des Grünlandes ist, je nach Boden und dessen P-Fixierungskapazität unterschiedlich ist. Davis (1991) gibt neben optimalen P-Konzentrationen in der Biomasse der Leguminosen, einen P-Bedarf für optimale Erträge an. Für *T. repens* betragen diese 272 P kg ha⁻¹ (Dezember) bzw. 451 P kg ha⁻¹ (Mai) bei einem Feldversuch in Neuseeland, für *T. pratense* 338 P kg ha⁻¹ (Dez.) bzw. 508 P kg ha⁻¹ (Mai), für *L. pedunculatus* 178 P kg ha⁻¹ (Dez.) bzw. 284 P kg ha⁻¹ und für *L. corniculatus* 253 P kg ha⁻¹ (Dez.) bzw. 395 P kg ha⁻¹. Verglichen mit deutschen Düngeempfehlungen für Grünland, ist der von Davis (1991) berechnete Bedarf sehr hoch.

Für das Wachstum von *T. repens*, der bekanntesten und meist genutzten Leguminosenart im Dauergrünland der temperierten Breiten (Käding & Werner 2003), waren die Boden-P-Gehalte, die wir ermittelt haben, nicht optimal. Moir et al. (2012) ermittelten mithilfe eines Gefäßversuches in Neuseeland für *T. repens* optimale Düngergaben von 200 bis 250 mg P kg⁻¹ Boden, um 97% der maximalen Erträge zu erzielen, welche zu P_{Olsen}-Gehalten von 46-78 mg kg⁻¹ am Ende des Versuchs führten (Maxwell et al. 2013). Der mittlere P_{Olsen}-Gehalt auf unseren Erhebungsflächen betrug nur 24,5 mg kg⁻¹. Aufgrund dieses Ergebnisses wäre eine P-Düngung auf den Untersuchungsflächen empfehlenswert, um das Wachstum der Leguminosen mit ihren positiven Eigenschaften für die Futterproduktion zu verbessern. Auch wenn eine P-Düngung kostenintensiv ist, so ist doch die Frage, ob es sich nicht auf lange Sicht als eine einfachere und effektivere Methode als eine Leguminosen-Nachsaat ökonomisch rechnet.

Hinsichtlich der P-Fractionen am Beispiel der Mähweide 1 konnte ebenfalls kein signifikanter Unterschied zwischen Leguminosen- und Begleitvegetation-Patches festgestellt werden. Auch zwischen den Leguminosenarten gab es keine deutlichen Unterschiede, v.a. in den labileren Fraktionen. Bei der P-NaOH-Fraktion zeigte *L. corniculatus* geringere P-Gehalte als die anderen Leguminosenarten. Bei der

schwer löslichen $P\text{-H}_2\text{SO}_4$ -Fraktion wies *T. pratense* höhere Werte auf. Generell waren die P-Gehalte der leichter löslichen Fraktionen deutlich niedriger als die der schwer löslichen. Oelmann et al. (2011) erklären, dass Leguminosen den P-Gehalt in der oberirdischen Biomasse der Grasnarbe erhöhen und die Konzentration labiler P-Verbindungen im Boden verringern. Die Autoren erklären dies mit dem erhöhten P-Bedarf der Leguminosen aufgrund ihrer N_2 -Fixierung. Jouany et al. (2002) meinen, dass sich die labile, wasserlösliche P-Fraktion besser eigne, um die P-Verfügbarkeit für Pflanzen festzustellen als beispielsweise mit der Olsen-P-Methode (0.5 M NaHCO_3).

Entgegen anderer Studien, die einen deutlichen negativen Zusammenhang zwischen Artenreichtum und Boden-P-Gehalten festgestellt haben, konnten wir keinen signifikanten Zusammenhang feststellen. Ökologisch bewirtschaftetes Grünland ist oft nährstoffarm und bleibt gerade in Nordostdeutschland oft ungedüngt. Öko-Landwirte nutzen hier ihre knappen Wirtschaftsdünger vorzugsweise für ihr Ackerland als für ihr Grünland. Dies führt zu einer deutlich geringeren Breite an P-Gehalten als in den ökologischen Studien über mehrere Graslandtypen, wie sie beispielsweise Ceulemans et al. (2014) und Janssens et al. (1998) durchgeführt haben und könnte neben dem geringeren Datenumfang den fehlenden signifikanten Zusammenhang zwischen Artenanzahl und Diversität erklären. Ceulemans et al. (2014) untersuchten Grünlandflächen verschiedener Standorte Europas, die von nährstoffarmen Dünen bis zu infolge landwirtschaftlicher Einträge stark nährstoffangereicherten Flächen einen großen Boden-P-Gradienten aufwiesen, aber ohne direkt gedüngt worden zu sein. So war es den Autor_innen möglich, sowohl eine deutlich negative Beziehung zwischen Artenreichtum und P_{Olsen} -Gehalten zu zeigen, als auch Boden-P-Gehaltsgrenzen zu berechnen, nach deren Überschreitung, also einer weiteren P-Anreicherung im Boden, keine weitere Abnahme des Artenreichtums zu verzeichnen ist. Die Boden-P-Gehalte unserer Erhebungen sind vergleichbar mit denen, die Wachendorf & Taube (2001) und Ohm et al. (2015) auf anderen Grünlandstandorten in Norddeutschland ermittelt haben. Sie liegen sowohl im unteren Bereich der P-Gehalte von Ceulemans et al. (2014) als auch unterhalb deren Grenzwerte für Artenreichtum. In *Nardus* Grünland betrug die Grenze $127,6 \text{ mg } P_{\text{Olsen}} \text{ kg}^{-1}$ Boden mit im Mittel $12,5 \text{ Arten } 4 \text{ m}^{-2}$, auf Heuwiesen des Tieflands $124,3 \text{ mg } P_{\text{Olsen}} \text{ kg}^{-1}$ Boden mit im Mittel $9,8 \text{ Arten } 4 \text{ m}^{-2}$ und im kalkreichen Grünland $104,9 \text{ mg } P_{\text{Olsen}} \text{ kg}^{-1}$ Boden mit $17,2 \text{ Arten } 4 \text{ m}^{-2}$. Über $80 \text{ mg } P_{\text{Olsen}} \text{ kg}^{-1}$ Boden fanden sie nicht mehr als $20 \text{ Arten } 4 \text{ m}^{-2}$, unter $40 \text{ mg } P_{\text{Olsen}} \text{ kg}^{-1}$ Boden, aber mehr als $40 \text{ Arten } 4 \text{ m}^{-2}$. Janssens et al. (1998) fanden nicht mehr als $20 \text{ Arten } 100 \text{ m}^{-2}$ unter $50 \text{ mg } P_{\text{Ammoniumacetat}} \text{ kg}^{-1}$ in West- und Mitteleuropa. Gilbert et al. (2009) meinten, dass P_{Olsen} -Werte unter $10 \text{ mg } \text{kg}^{-1}$ am besten wären, um eine hohe Phytodiversität im mesotrophen Grünland zu erreichen. Die Besonderheit P-armer Böden, besonders artenarm zu sein, ließe sich auf die große Vielfalt chemischer P-Verbindungen im Boden (verschiedene Komplexe, verschiedene Löslichkeiten), die eine hohe Ressourcenausnutzung und eine Co-Existenz vieler Arten ermöglichte (Anderson et al. 2004, Ceulemans et al. 2014). Gemäß der „Resource balance hypothesis“ wären mittlere Werte von Umweltfaktoren und ausgeglichene Nährstoffverhältnisse für eine Phytodiversität förderlicher als geringe oder hohe Werte (Braakhekke & Hooftman 1999). Natürlich ist zu berücksichtigen, dass neben P auch andere Faktoren, wie z.B. Licht, Streu, die Größe des Artenpools, pH, Herbivoren und andere Nährstoffe Einfluss auf die Phytodiversität nehmen können.

Verglichen mit den Artenzahlen von Ceulemans et al. (2014) im Bereich unter $10 \text{ mg } P_{\text{Olsen}} \text{ kg}^{-1}$, hatten unsere Plots in diesem P-Bereich wenig Arten. Der Grund hierfür könnten die unterschiedlichen Strategien sein, mit denen die Plots bei Ceulemans et al. (2014) und bei uns ausgesucht wurden. Ceulemans et al. (2014) wählten Plots aus, die so viele Arten der Grünlandfläche enthielten wie

möglich. Auf unseren Erhebungsflächen würde dies Werten zwischen der erhobenen mittleren Artenzahl und der γ -Diversität liegen. Auch Wachendorf & Taube (2001) haben auf 102 repräsentativen, ökologisch bewirtschafteten Grünland-Plots in Nordwestdeutschland mit im Mittel 23,4 Arten 40m² mehr Arten gefunden als wir. Auf Mähweiden zählten sie mit im Mittel 21,1 Arten mehr Arten als wir mit im Mittel 15,9 Arten. Bohner (2005) gibt 25 mg P_{CAL/DL} kg⁻¹ mit 50 Arten 50 m² als Grenze zwischen hoher und mittlerer Artenzahl in Österreich an. Der mittlere P_{DL}-Gehalt unserer Erhebungen liegt mit 32,7±23,0 mg P_{DL} kg⁻¹ etwas höher und wir haben sehr viel weniger Arten finden können. Die Unterschiede zu den Ergebnissen der genannten Autoren sind möglicherweise auf die unterschiedlichen Plotgrößen zurückzuführen. Mit zunehmender Plotgröße steigt die Wahrscheinlichkeit, mehr Arten pro Plot zu finden (Meier und Hofer 2016). Gemäß der Gleichung von Preston (1962) hätten wir im Mittel wahrscheinlich 28,5 Arten bei einer Plotgröße von 40m² und 30 Arten bei einer Plotgröße von 50m² gefunden.

5.4.3 Eignen sich Boden- oder Pflanzenparameter besser zur Abschätzung des P-Versorgungsstatus der Grünlandleguminosen?

Für Grünlandleguminosen findet man nur wenige konkrete Angaben zu optimalen bzw. weniger geeigneten Boden-P-Gehalten. Hinsichtlich der optimalen P-Gehalte in der Biomasse sieht es besser aus. Optimale P-Gehalte in der Pflanze werden meist auf die Ertragspotenziale bezogen. Davis (1991) bezieht die für Grünlandleguminosen optimalen P-Konzentrationen auf 90% der maximalen Erträge (kritische P-Konzentration), die er mithilfe eines Feldversuches in Neuseeland erzielte (Tabelle 5).

Tabelle 5: Angaben aus der Literatur zu optimalen/kritischen P-Konzentrationen in Leguminosen

Leguminosenart	Krit. P-Konzentration (g kg ⁻¹)	Referenz
<i>Trifolium repens</i>	3,1 bzw. 3,4 (Mai, Dez.)	Davis (1991)
<i>T. pratense</i>	2,2 bzw. 2,8 (Mai, Dez.)	Davis (1991)
<i>L. pedunculatus</i>	2,7 bzw. 3,0 (Mai, Dez.)	Davis (1991)
<i>L. corniculatus</i>	2,1 bzw. 2,3 (Mai, Dez.)	Davis (1991)

Laut Davis (1991) waren auf unseren Erhebungsflächen *T. repens* bis auf Standort MW3 (Niedermoor) und MW5 (degradiertes Niedermoor) mit P unterversorgt. *T. pratense* war ebenfalls nur knapp auf MW1 (Mineralboden) und MW3 ausreichend mit P versorgt und *L. pedunculatus* nur auf MW3. *L. corniculatus* wurde nur auf dem Mineralboden beprobt und war dort nach Davis (1991) ebenfalls mit P unterversorgt. Für *L. pratensis* gab es keine Angaben für eine optimale P-Versorgung.

Finck (1969) und Neubert et al. (1970) geben in ihren Arbeiten P-Mangel-Werte für Gräser und Leguminosen von unter 0,2% an. Eine optimale Phosphorversorgung wäre bei Werten zwischen 0,35% und 0,80% gegeben. Bei unseren Erhebungen wurde der P-Mangel-Wert von 0,2% bei MW2 meist unterschritten. Die optimalen P-Konzentrationen konnten nur teilweise für die Begleitvegetation erreicht werden.

Güsewell (2004) und Liebisch (2011) schlagen N/P-Verhältnisse statt der Betrachtung einzelner Nährstoffgehalte in Pflanzen zur besseren Einschätzung der Nährstoff-Versorgung vor. Weite N/P-Verhältnisse (≥ 20) deuteten auf eine Limitierung der Biomasse-Produktion durch Phosphor und enge N/P-Verhältnisse (≤ 10) auf eine Limitierung durch Stickstoff hin (Güsewell 2004). Leguminosen in

Grünlandbeständen verwerteten P bei N-Mangel besser als bei einem hohen N-Angebot (Jouany et al. 2005). Liebisch (2011) ermittelte bei Leguminosen mit 11,0 bis 17,0 grundsätzlich höhere N/P-Verhältnisse als bei Gräsern mit 4,0 bis 11,0. Dies deckt sich mit den Ergebnissen unserer Erhebungen.

Dabei ist zu beachten, dass sich die Nährstoffkonzentrationen in den einzelnen Pflanzenkompartimenten und je nach Entwicklungsstadien der Pflanzen unterscheiden können (Sa & Israel 1991). Auch Variationen innerhalb einer Leguminosenart können zu verschiedenen Nährstoffkonzentrationen in der Biomasse führen. Dies kann die Beurteilung der tatsächlichen Versorgung der Leguminosen mit Nährstoffen erschweren.

Während die P-Gehalte der Erhebungsflächen meist der Bodengehaltsklasse B oder teilweise sogar C entsprechen und somit auf eine zumindest ausreichende P-Versorgung schließen lassen, weisen die P-Konzentrationen in den Leguminosen gemäß Davis (1991) meist auf einen P-Mangel hin. P-Gehalte in der pflanzlichen Biomasse spiegeln die tatsächliche P-Aufnahme der Pflanzen wider, während die gemessenen P-Gehalte nur P-Potenziale zur P-Verfügbarkeit aufzeigen können. Die P-Gehalte in der Pflanze lassen sich zudem nach Pflanzenart spezifisch interpretieren. Es ist davon auszugehen, dass die Pflanzengehalte die tatsächliche Versorgung der Pflanze besser wiedergeben als die Boden-Nährstoffgehalte. Allerdings ist die Analyse und Interpretation der Pflanzen-Nährstoffgehalte aufwendiger bzw. schwieriger. Es fehlen oft Vergleichs- oder Orientierungswerte. Gerade die Abhängigkeit der Nährstoffgehalte in der Pflanze von dessen Entwicklungsstadium erschwert eine zielgerichtete Probenahme und Interpretation der Ergebnisse.

6 Feldversuche

6.1 Versuchsfragen

Mithilfe von Feldversuchen wurde im Projekt untersucht, wie sich unterschiedliche P-Dünger und verschiedene Leguminosenarten des Grünlands im Gemenge mit Gräsern auf Ertrag und Futterqualität des Aufwuchses auswirken. Dabei wurden folgende Versuchsfragen bearbeitet:

1. Unterscheiden sich die eingesetzten P-Dünger hinsichtlich ihrer Düngewirkung? Sind P-Recyclingdünger in ihrer Ertragswirkung mit einem für den Ökolandbau zugelassenen P-Dünger vergleichbar?
2. Stellt der Gewöhnliche Hornklee (*Lotus corniculatus*) auf trockenen, sandigen Standorten eine Alternative zum Weißklee (*Trifolium repens*) dar?
3. Sind Unterschiede zwischen einer kleinblättrigen und großblättrigen Weißkleeart hinsichtlich ihrer Etablierung und Ertragswirkung feststellbar?
4. Kann die Applikation von Knochenkohle, einem P-Recyclingdünger, eine kurzfristig messbare Erhöhung des pflanzenverfügbaren Phosphors für die Grünlandleguminosen bewirken?

6.2 Material und Methoden

6.2.1 Versuchsstandort und Versuchsdesign

Die Feldversuche wurden im April 2014 etwa 10 km süd-östlich von Laage in Mecklenburg-Vorpommern angelegt (Abbildung 9).

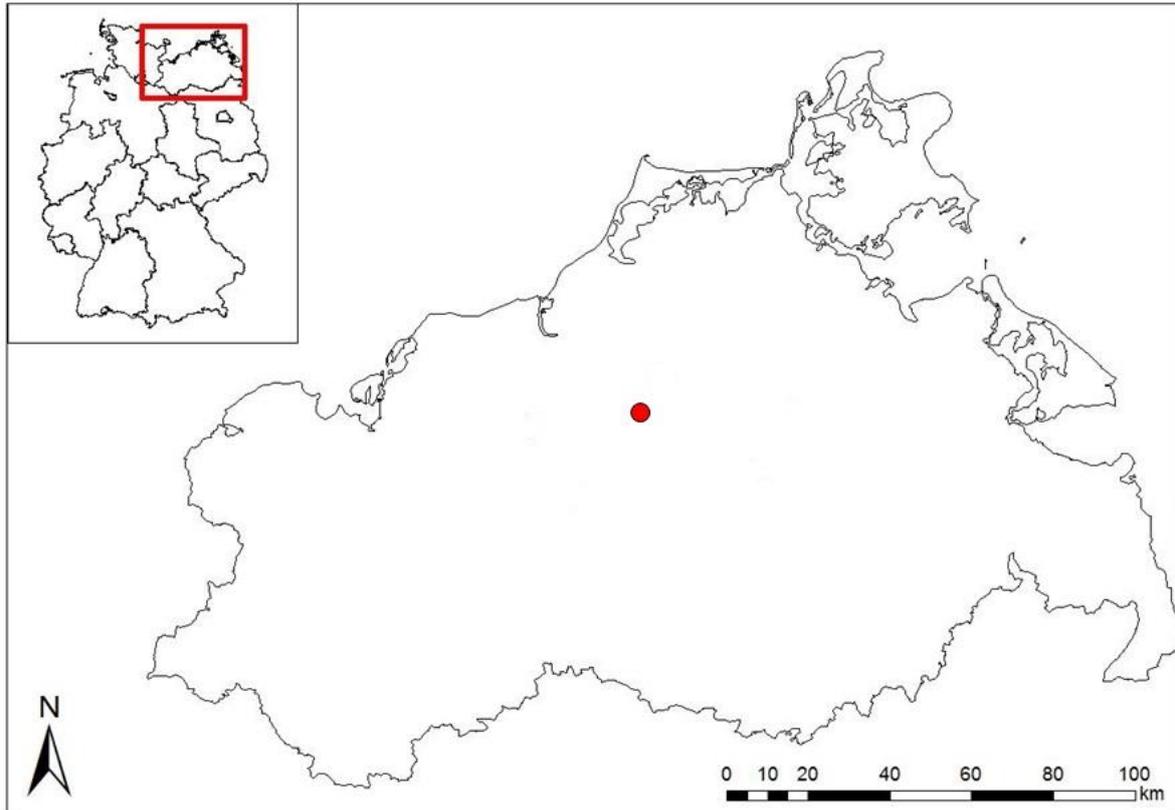


Abbildung 9: Lage der Versuchsfelder in Deutschland und Mecklenburg-Vorpommern.

Neben einer ökologisch bewirtschafteten Versuchsfläche auf einem seit Jahren ökologisch bewirtschafteten Ackerstandort wurde auch eine konventionelle Versuchsfläche etabliert, um auch Varianten mit bisher für den ökologischen Landbau nicht zugelassenen P-Recyclingdüngern in den Versuchsaufbau einbeziehen zu können. Die beiden Flächen befanden sich nur wenige hundert Meter voneinander entfernt, so dass von nahezu gleichen klimatischen Bedingungen ausgegangen werden konnte. Die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt $8,7^{\circ}\text{C}$, der mittlere jährliche Niederschlag 607mm (1981-2010, Deutscher Wetterdienst, Station Laage). Ein Überblick über die Versuchsstandorte mit Boden-Nährstoffgehalten zu Beginn des Versuchs gibt Tabelle 6. Beide Flächen wiesen einen P-Mangel auf.

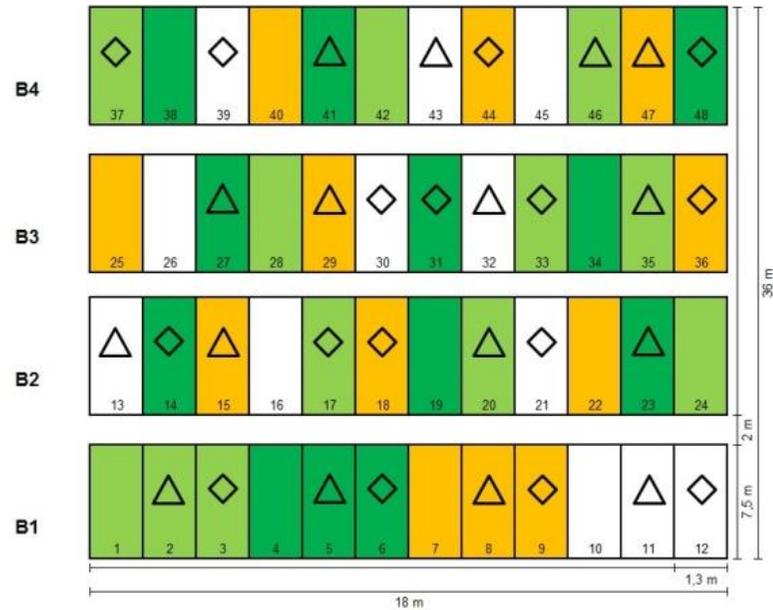
Feldversuche

Tabelle 6: Charakterisierung der Versuchsfelder zu Beginn des Grünland-Versuchs. Die Großbuchstaben in Klammern geben die Bodengehaltsklassen wider. Die Angaben stammen aus den Schlagkarteien der landwirtschaftlichen Betriebe.

	Ökologisch	Konventionell
Bodenart	IIS	IIS
Ackerzahl	39	38
Vorfrucht		
2013	Wintertriticale	Hafer
2012	Sommergerste	Wintergerste
2011	Winterroggen	Winterweizen
Dränung	Ja, eingeschränkt	Nein
P₂O₅-Gehalt (mg 100 g⁻¹ Boden)	5 (A)	1-2 (A)
K₂O-Gehalt (mg 100 g⁻¹ Boden)	8 (B)	5-6 (A-B)
Mg-Gehalt (mg 100 g⁻¹ Boden)	9 (C)	5-6 (B-C)
pH-Wert	6,6 (D)	5,8-6,2 (B-C)

Die beiden Versuchsfelder wurden als zweifaktorielle Blockanlage mit je 12 1,3 m x 7,5 m großen Parzellen (Varianten) in vier Wiederholungen angelegt. Es erfolgte eine volle Randomisierung der Varianten in den Blöcken 2 bis 4. Der erste Block wurde für Anschauungszwecke nach Varianten sortiert (Abbildung 10). Die zwei Faktoren waren Art der Leguminose und Art des P-Düngers.

Gut Prebberede ökologisch

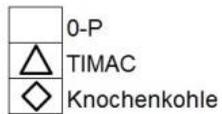


B1-B4 Wiederholungen

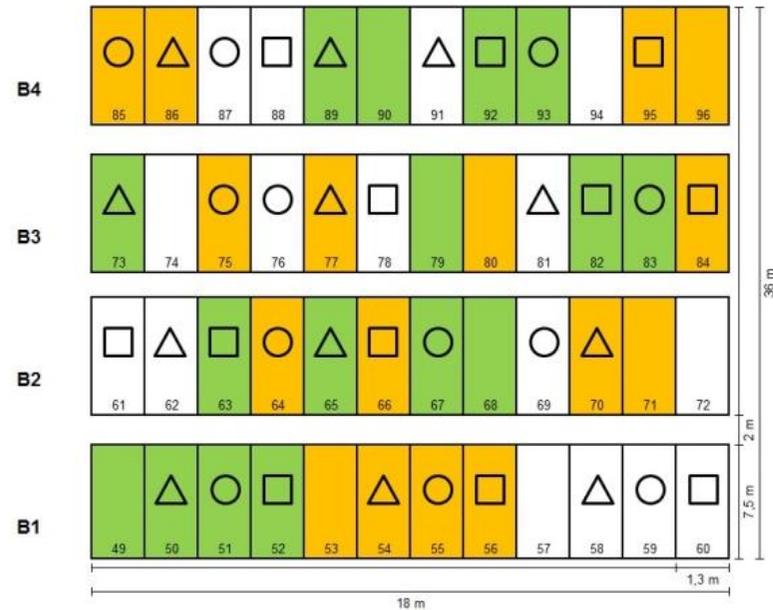
Art der Leguminose



Art des P-Düngers



Neu Heinde konventionell



B1-B4 Wiederholungen

Art der Leguminose



Art des P-Düngers

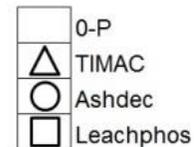


Abbildung 10: Versuchsplan der beiden Versuchsfelder

Feldversuche

Die auf den Parzellen gesäten Saatmischungen waren Klee-Gras-Gemenge, die sich je nach Art der Leguminose hinsichtlich des eingemischten Klees unterschieden. Die Gräser der Saatmischung waren *Lolium perenne*, *Festuca pratensis*, *Poa pratensis* und *Phleum pratense* (Standard GII ohne Klee, Deutsche Saatveredelung AG). Die Kleevarianten der Feldversuche waren ein kleinblättrige Weißklee, *Trifolium repens sylvestre* (Sorte Rivendel), ein großblättriger Weißklee, *Trifolium repens giganteum* (Sorte Apis), der gewöhnliche Hornklee, *Lotus corniculatus* (Sorte Rocco) und eine Variante ohne Klee. Bei den Varianten mit Klee wurde *Trifolium resupinatum* als Deckpflanze mit eingesät, so dass sich Aussaatstärken von 18+4+3 kg ha⁻¹ (Gräser+Leguminose+*T. resupinatum*) für *T. repens sylvestre*, 18+5+3 kg ha⁻¹ für *T. repens giganteum*, 18+6+3 kg ha⁻¹ für *L. corniculatus* und 20+0+0 kg ha⁻¹ für die Variante ohne Klee ergaben. Ende April 2015 erfolgte auf dem ökologischen Versuchsfeld an den Stellen eine Nachsaat, wo Mäuse Schäden angerichtet hatten. Auf dem konventionellen Feld war dies nicht notwendig. Für die P-Düngevarianten wurden der handelsübliche, für den ökologischen Landbau zugelassene Dünger Physalg G25 (Timac AGRO), eine mit Schwefel versetzte Knochenkohle (Professur Bodenkunde der Universität Rostock), die zwei P-Recyclingdünger aus Klärschlammaschen AshDec (Glühphosphat, Outotec) und Leachphos (Calciumphosphat, BSH Umweltservice AG) sowie eine Variante ohne P-Düngung verwendet. Eine Übersicht über die Varianten der beiden Versuchsfelder geben Tabelle 7 und Abbildung 10.

Tabelle 7: Faktoren und Faktorstufen der beiden Versuchsfelder

Versuchsfeld	Faktor	Stufe (mit Variantennamen)
Ökologisch	Art der Leguminose	<i>Trifolium repens sylvestre</i> (T. sylvestre)
		<i>Trifolium repens giganteum</i> (T. giganteum)
		<i>Lotus corniculatus</i> (Lotus)
	Art des P-Düngers	Ohne Klee (0-Klee)
		kein P-Dünger (0-P)
		Physalg 25 (Timac) Knochenkohle+S (KK+)
Konventionell	Art der Leguminose	<i>Trifolium repens sylvestre</i> (T. sylvestre)
		<i>Lotus corniculatus</i> (Lotus)
		Ohne Klee (0-Klee)
	Art des P-Düngers	kein P-Dünger (0-P)
		Physalg 25 (Timac)
		AshDec (AshDec) Leachphos (Leachphos)

Die P-Dünger wurden alle als 40 kg P ha⁻¹ im Frühjahr ausgebracht. Zeitgleich erfolgte ein Kalkausgleich, so dass alle Parzellen mit der P-Düngung gleich viel CaO erhielten. Im Frühjahr erfolgte zudem eine Kalidüngung in Form von Kainit mit einer Menge von 66 kg K₂O ha⁻¹ auf allen Parzellen, die nach dem 2. Schnitt im Sommer mit 34 kg K₂O ha⁻¹ wiederholt wurde.

6.2.2 Datenerhebung

Im Etablierungsjahr 2014 erfolgten ein Pflegeschnitt im Juli sowie eine erste Ernte im September. In den beiden Hauptnutzungsjahren 2015 und 2016 konnten drei Schnitte realisiert werden (Mai, Juli und Anfang Oktober). Vor jedem Schnitt wurde eine ausführliche Bonitur der Parzellen durchgeführt, wobei die Gesamtdeckung, die Ertragsanteile der funktionellen Gruppen (Gräser, Kräuter und Leguminosen) sowie die Deckung aller auftretenden Gefäßpflanzen erfasst wurden. Die Bezeichnung der Arten erfolgte nach Jäger (2011). Bei der Ernte mit einem Frontmäher wurden die Frischmasse-Erträge jeder einzelnen Zelle vor Ort erfasst sowie Proben des Aufwuchses entnommen. Die Pflanzenproben wurden frisch gewogen, getrocknet, zurückgewogen und anschließend auf 2 mm bis >1 mm vermahlen.

Vor der Düngung im Frühjahr 2015 und 2016 wurden mittels Bohrstock (15 mm) Bodenproben aller Parzellen gezogen (10 cm tief, 16 Einstiche entlang einer Diagonalen durch die Parzelle). 2016 erfolgte nach dem 1. Schnitt eine erneute Bodenprobenahme aller Parzellen des ökologisch bewirtschafteten Feldes im Juni. Die P-, Mg- und K-Gehalte der getrockneten Bodenproben wurden gemäß der Doppel-Lactat (DL)-Methode nach Riehm (1948) extrahiert und anschließend am ICP-OES bestimmt. Im April 2017 wurden zudem auf dem ökologischen Versuchsfeld in allen Parzellen, außer die der *T. repens giganteum*-Variante, mittels Pürckhauer Bohrstock (30 mm) Bodenproben aus 0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm Tiefe gezogen und deren P-Gehalte nach Trocknung gemäß der DL-Methode nach Riehm (1948) extrahiert und anschließend am ICP-OES bestimmt

Die Betreuung und Bearbeitung des konventionellen Versuchsfeldes endete mit dem letzten Schnitt 2016. Das ökologische Versuchsfeld wurde im Frühjahr 2017 weiter betreut und ein letzter Schnitt dieser Fläche Anfang Juni 2017 realisiert. Dieser wird in diesem Bericht allerdings nicht mehr mit berücksichtigt.

6.2.3 Datenauswertung

Die statistischen Analysen und Abbildungen wurden mit R (Version 3.3.1, R Core Development Team, 2016) realisiert. Zum Vergleich der Erträge, der Anteile der funktionellen Gruppen (Gräser, Kräuter,

Leguminosen) und der Boden-Nährstoffgehalte nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose wurden Mittelwerte und Standardabweichungen berechnet. Mithilfe von Varianzanalysen (ANOVA) wurde geprüft, ob die Faktoren Art des P-Düngers und Art der Leguminose, die Wechselwirkung zwischen diesen beiden Faktoren wie auch der Faktor Block einen Effekt auf den Ertrag, den Anteil der funktionellen Gruppen und die Boden-Nährstoffgehalte haben. Die Varianzanalysen wurden getrennt nach den Versuchsfeldern sowie nach Schnitten und Jahren durchgeführt. Die Faktoren, die keinen Effekt hatten, wurden aus dem Modell entfernt. Anschließend wurde ein post hoc Test (Tukey HSD) mit dem Befehl *glht* des packages *multcomp* (Hothorn et al. 2008) durchgeführt, um signifikante Unterschiede zwischen den Faktorstufen aufzudecken.

6.3 Ergebnisse

6.3.1 Erträge und Anteil der funktionellen Gruppen

2014

Der erste richtige Schnitt 2014, bei welchem auch der Ertrag erfasst wurde, wird im Folgenden als zweiter Schnitt 2014 bezeichnet. Der Ertrag war mit unter 20 dt TM ha⁻¹ noch sehr gering und auf der konventionellen Versuchsfläche mit niedrigeren Bodennährstoff-Ausgangsgehalten höher als auf der ökologischen Fläche (Abbildung 11 und Abbildung 12, Tabelle 44 und Tabelle 45 im Anhang). Auf dem ökologisch bewirtschafteten Feld hatte die Art der Leguminose einen signifikanten Einfluss auf den Ertrag ($p=0.023$) und die Leguminosenvarianten unterschieden sich hinsichtlich ihrer Ertragswirkung (Feldversuch

Tabelle 44 im Anhang).

Auf dem konventionellen Versuchsfeld hatte die Art des P-Düngers auch keinen signifikanten Einfluss auf die Anteile der funktionellen Gruppen, während die Art der Leguminose einen signifikanten Einfluss hatte: auf den Gräseranteil mit $p=0.000$, auf den Kräuteranteil mit $p=0.000$, auf den Leguminosenanteil mit $p=0.000$. Der Block hatte nur einen signifikanten Effekt auf den Kräuteranteil ($p=0.017$).

Auf dem Ökofeld war der Leguminosenanteil bei der 0-Klee-Variante signifikant kleiner und der Gräser- und Kräuteranteil signifikant höher als bei den anderen Leguminosen-Varianten. Der gleiche Trend zeigte sich auf dem konventionellen Feld. (Tabelle 46 und Tabelle 47 im Anhang).

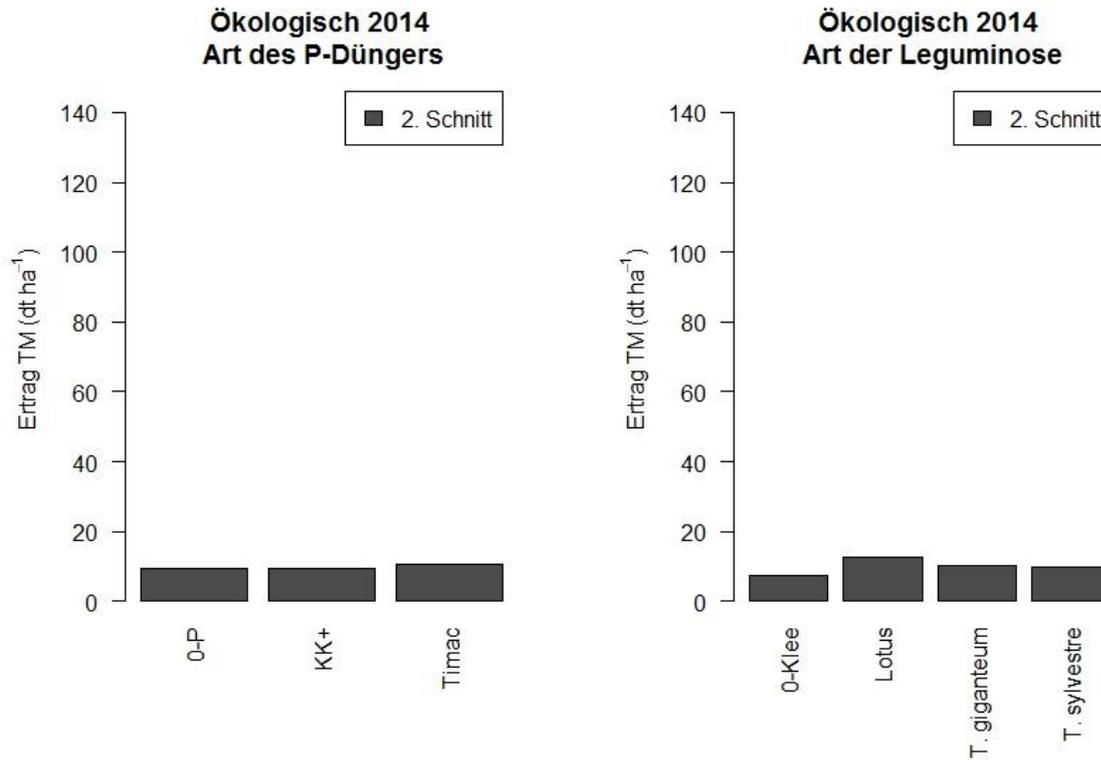


Abbildung 11: Mittlere Erträge des ökologisch bewirtschafteten Versuchsfeldes im Jahr 2014, nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose. Im Etablierungsjahr 2014 erfolgte nach einem Pflegeschnitt im Juli nur eine Ernte im September.

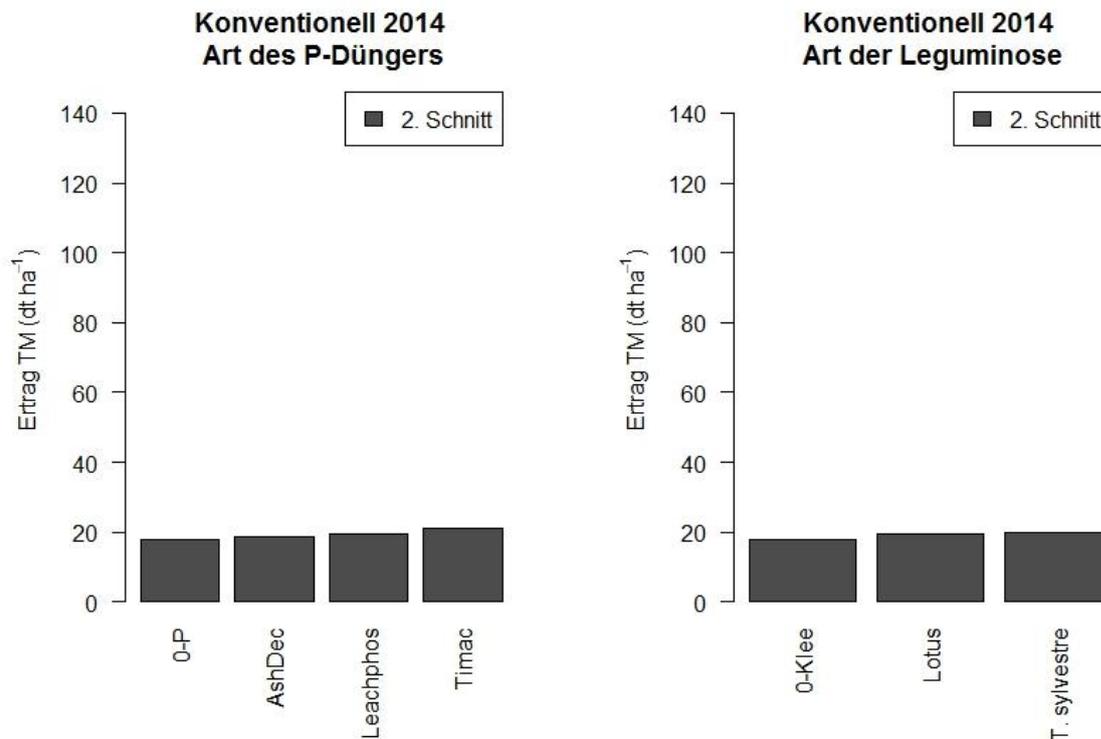


Abbildung 12: Mittlere Erträge des konventionell bewirtschafteten Versuchsfeldes im Jahr 2014, nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose. Im Etablierungsjahr 2014 erfolgte nach einem Pflegeschnitt im Juli nur eine Ernte im September.

Der Gräseranteil der konventionellen Fläche war 2014 mit im Mittel 60-62% höher als auf der Ökofläche mit im Mittel 40% beim Vergleich der Düngevarianten. Der Leguminosenanteil war hingegen auf der ökologisch bewirtschafteten Fläche mit im Mittel 33-35% höher als bei der

Feldversuche

konventionellen Fläche mit im Mittel 16-20% beim Vergleich der Düngevarianten (Abbildung 13 und Abbildung 14; Tabelle 46 und Tabelle 47 im Anhang). Der Anteil der Kräuter war bei beiden Versuchsfeldern mit 21-27% 2014 noch relativ hoch, wobei es vor allem typische Ackerbeikräuter (z.B. Ackerhundskamille, *Anthemis arvensis*, Ackerschachtelhalm, *Equisetum arvense*, und Weißer Gänsefuß, *Chenopodium album*) waren, welche sich durchsetzten. Die Art des P-Düngers hatte beim Ökofeld keinen signifikanten Einfluss auf die Anteile der funktionellen Gruppen. Die Art der Leguminose allerdings schon: auf den Gräseranteil mit $p=0.005$, auf den Kräuteranteil mit $p=0.014$, auf den Leguminosenanteil mit $p=0.000$. Der Block hatte einen signifikanten Effekt auf den Gräser- und Leguminosenanteil ($p=0.000$).

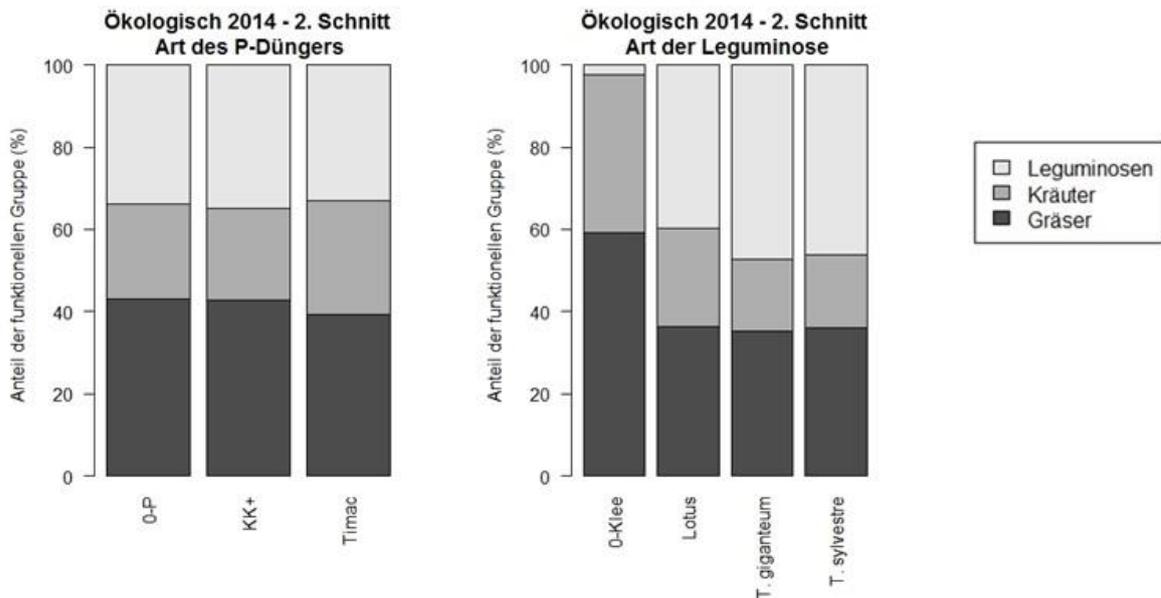


Abbildung 13: Mittlerer Anteil der funktionellen Gruppen (Gräser, Kräuter, Leguminosen) nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose beim 2. Schnitt 2014 auf dem ökologisch bewirtschafteten Versuchsfeld.

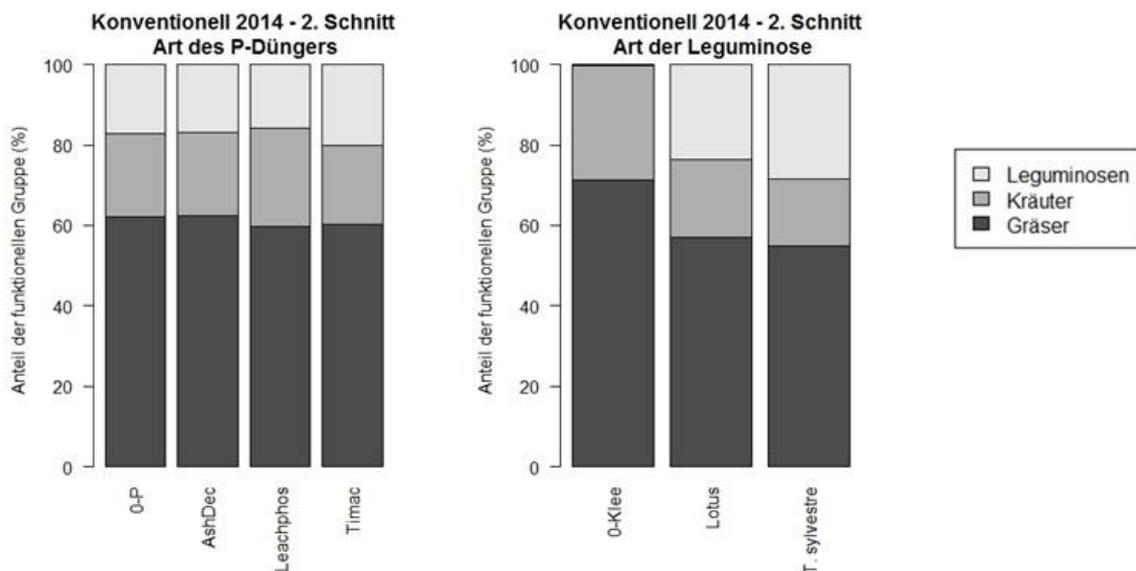


Abbildung 14: Mittlerer Anteil der funktionellen Gruppen (Gräser, Kräuter, Leguminosen) nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose beim 2. Schnitt 2014 auf dem konventionell bewirtschafteten Versuchsfeld.

2015



Abbildung 15: Ökologisches Versuchsfeld vor dem 2. Schnitt 2015.



Abbildung 16: Konventionelles Versuchsfeld vor dem 2. Schnitt 2015.

Die Jahreserträge 2015 betragen im Mittel 82 bis 96 dt TM ha⁻¹ beim ökologischen Versuchsfeld und 89 bis 100 dt TM ha⁻¹ beim konventionellen Versuchsfeld (beim Vergleich der Düngevarianten, Abbildung 17 und Abbildung 18; Feldversuch

Tabelle 44 und Tabelle 45 im Anhang). Die Erträge der mit P gedüngten Flächen fielen etwas höher aus als die der ungedüngten, waren aber nicht signifikant unterschiedlich. Die Erträge der Varianten mit Klee waren deutlich höher als die ohne Klee. Bei der ökologischen Fläche war der zweite Schnitt am ertragreichsten, bei der konventionellen Fläche der erste.

Die Art der Leguminose hatte auf dem ökologischen Feld einen signifikanten Einfluss auf die Erträge des ersten ($p=0.000$), zweiten ($p=0.001$) und dritten Schnittes ($p=0.000$) und die Leguminosenvarianten unterschieden sich voneinander (Tabelle 44). Beim ersten Schnitt auf diesem Feld führten die *T. repens*-Varianten noch zu den höheren Erträgen. Beim zweiten Schnitt 2015 waren die Erträge der Klee-Varianten des Öko-Feldes vergleichbar mit denen des ersten Schnittes, nur die Variante mit *Lotus* erzielte deutlich höhere Erträge: 54,86±13,42 dt TM ha⁻¹ (*Lotus*) gegenüber 27,59±10,00 dt TM ha⁻¹ (0-Klee), 35,57±8,30 dt TM ha⁻¹ (*T. giganteum*) und 38,32±7,79 dt TM ha⁻¹ (*T. sylvestre*) (Feldversuch

Tabelle 44 im Anhang). Beim dritten Schnitt 2015 waren die Erträge der Varianten mit Klee bei der Ökofläche wieder sehr ähnlich und etwa doppelt so hoch wie die 0-Klee-Variante (Abbildung 17; Feldversuch

Tabelle 44 im Anhang).

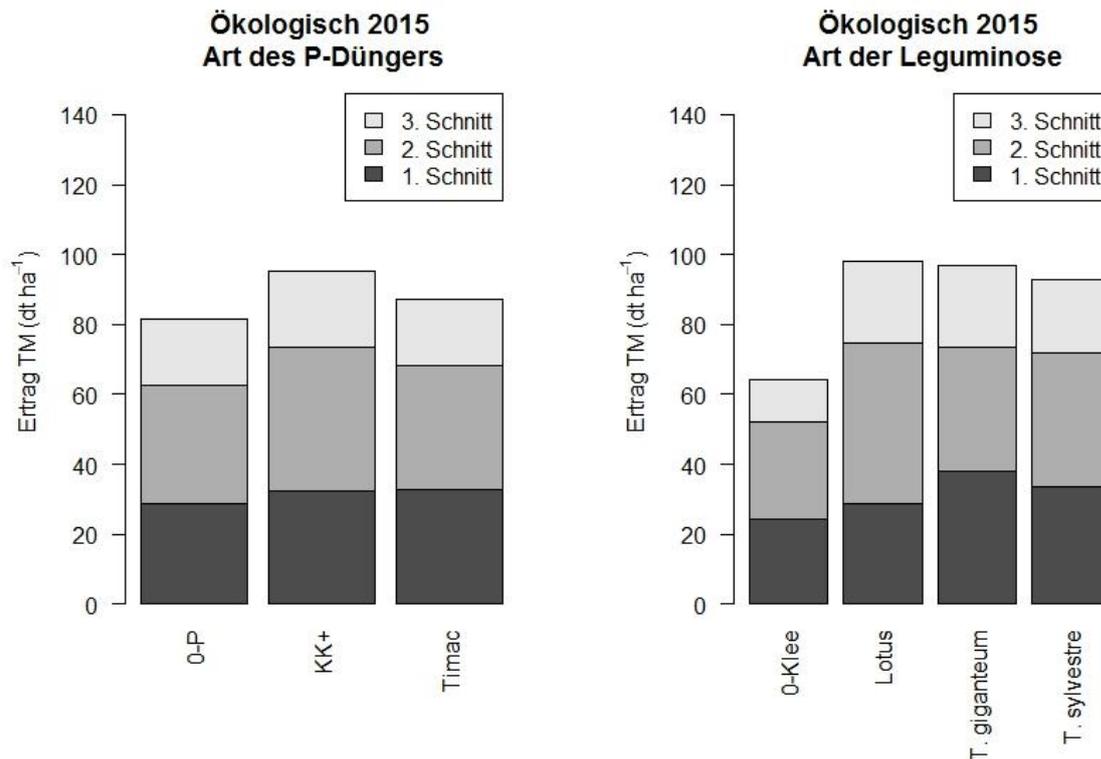


Abbildung 17: Mittlere Erträge des ökologisch bewirtschafteten Versuchsfeldes im Jahr 2015, nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose.

Bei dem konventionell bewirtschafteten Versuchsfeld waren die Erträge der mit P gedüngten Flächen waren kaum höher als die der ungedüngten. Die Art des P-Düngers zeigte keinen signifikanten Effekt. Die Wirkung der Leguminosen-Varianten zeigte sich hingegen deutlich bei allen drei Schnitten ($p=0.000$). Der Faktor Block hatte beim ersten Schnitt einen signifikanten Einfluss ($p=0.040$). Die Wechselwirkung von Art der Leguminose und Art des P-Düngers zeigte beim ersten Schnitt einen leichten Effekt ($p=0.098$), beim zweiten Schnitt einen signifikanten ($p=0.030$). Die Flächen mit Klee erzielten bei allen drei Schnitten deutlich höhere Erträge als die 0-Klee-Flächen. Die *Lotus*-Variante zeigte auf dem konventionellen Feld wie auch schon bei der Ökofläche beim zweiten Schnitt deutlich höhere Erträge als *T. repens sylvestre*: $37,35 \pm 7,13$ dt TM ha⁻¹ (*Lotus*) gegenüber $17,70 \pm 2,31$ dt TM ha⁻¹ (0-Klee) und $26,90 \pm 3,55$ dt TM ha⁻¹ (*T. sylvestre*) (Abbildung 18; Tabelle 45 im Anhang).

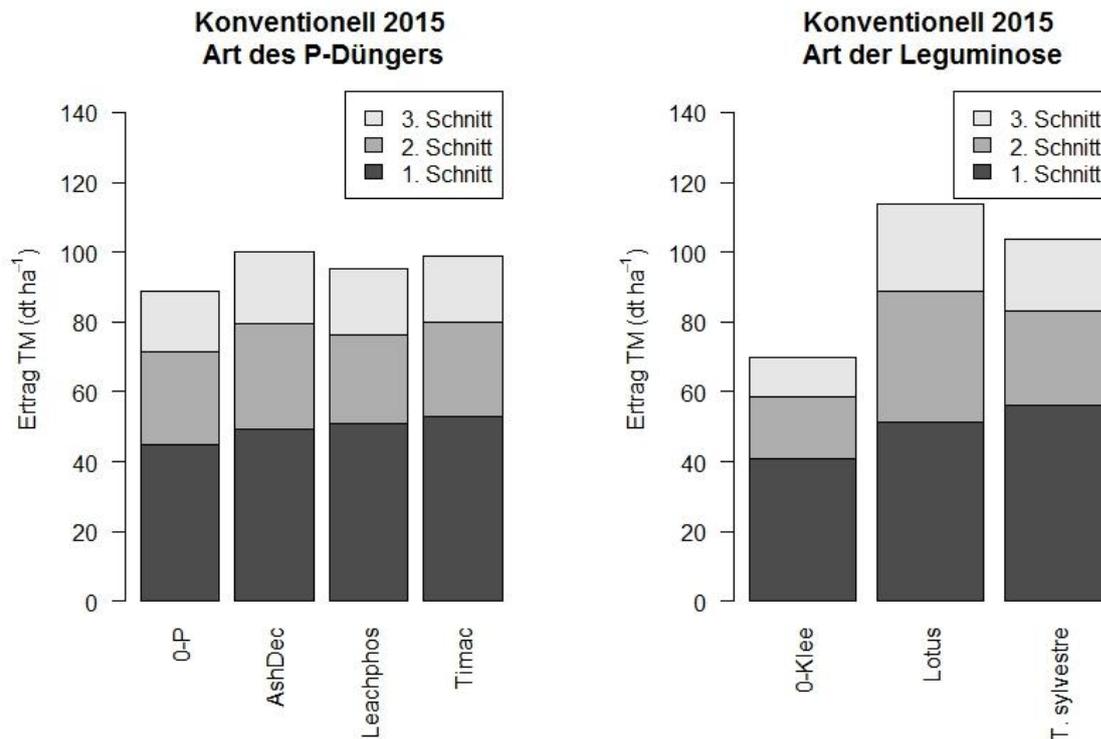


Abbildung 18: Mittlere Erträge des konventionell bewirtschafteten Versuchsfeldes im Jahr 2015, nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose.

Der Kräuteranteil war bei beiden Versuchsfeldern 2015 im Vergleich zum Etablierungsjahr 2014 stark zurückgegangen.

Bei der ökologisch bewirtschafteten Fläche hatte die Art des P-Düngers beim ersten Schnitt ($p=0.005$) und beim zweiten Schnitt ($p=0.062$) einen signifikanten Einfluss auf den Gräseranteil, aber nur beim ersten Schnitt auf den Leguminosenanteil ($p=0.005$). Auf den Kräuteranteil hatte sie keinen Einfluss. Beim dritten Schnitt hatte der Faktor Block einen signifikanten Effekt auf den Leguminosenanteil mit $p=0.020$. Die Art der Leguminose hatte bei allen drei Schnitten auf dem Öko-Feld einen signifikanten Effekt auf den Gräseranteil ($p=0.000$) und den Leguminosenanteil ($p=0.000$), auf den Kräuteranteil nur beim ersten und zweiten Schnitt ($p=0.000$). Der Gräseranteil war bei den mit Timac gedüngten Varianten am höchsten (beim 1. und 2. Schnitt signifikant) und bei den mit KK+ gedüngten Flächen am geringsten. Der Leguminosenanteil hingegen war bei der KK+-Variante am größten und dies beim ersten Schnitt signifikant. Die Streuungen hierbei waren allerdings sehr groß. Hinsichtlich des Faktors Art der Leguminose war der Gräseranteil wie zu erwarten bei der 0-Klee-Variante am größten, beim ersten und dritten Schnitt war der Effekt signifikant. Der Leguminosenanteil fiel bei *T. repens giganteum* beim ersten und zweiten Schnitt etwas höher aus als bei *T. repens sylvestre*. Beim zweiten (hier signifikant) und dritten Schnitt zeigte zudem die Lotus-Variante einen deutlich höheren Leguminosenanteil als die *T. repens*-Varianten. Die 0-Klee-Variante zeigte bei allen Schnitten den signifikant kleinsten Leguminosenanteil. Die Streuungen waren bei dem Faktor Art der Leguminose kleiner als bei Art des P-Düngers (Abbildung 19 bis Abbildung 21; Tabelle 46 im Anhang).

Feldversuche

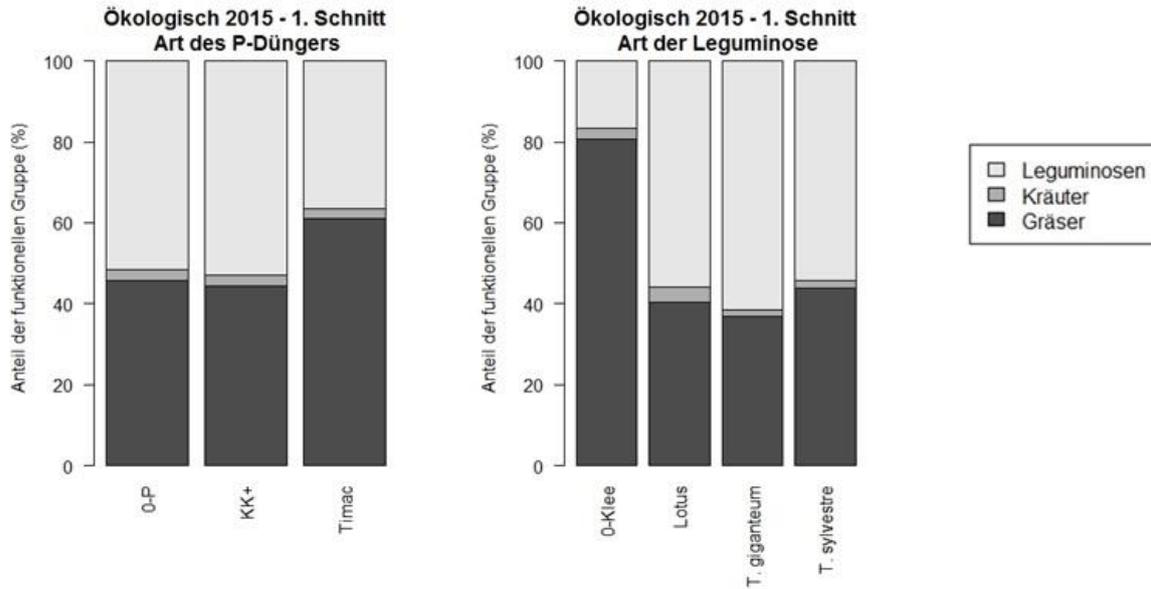


Abbildung 19: Mittlerer Anteil der funktionellen Gruppen (Gräser, Kräuter, Leguminosen) nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose beim 1. Schnitt 2015 auf dem ökologisch bewirtschafteten Versuchsfeld.

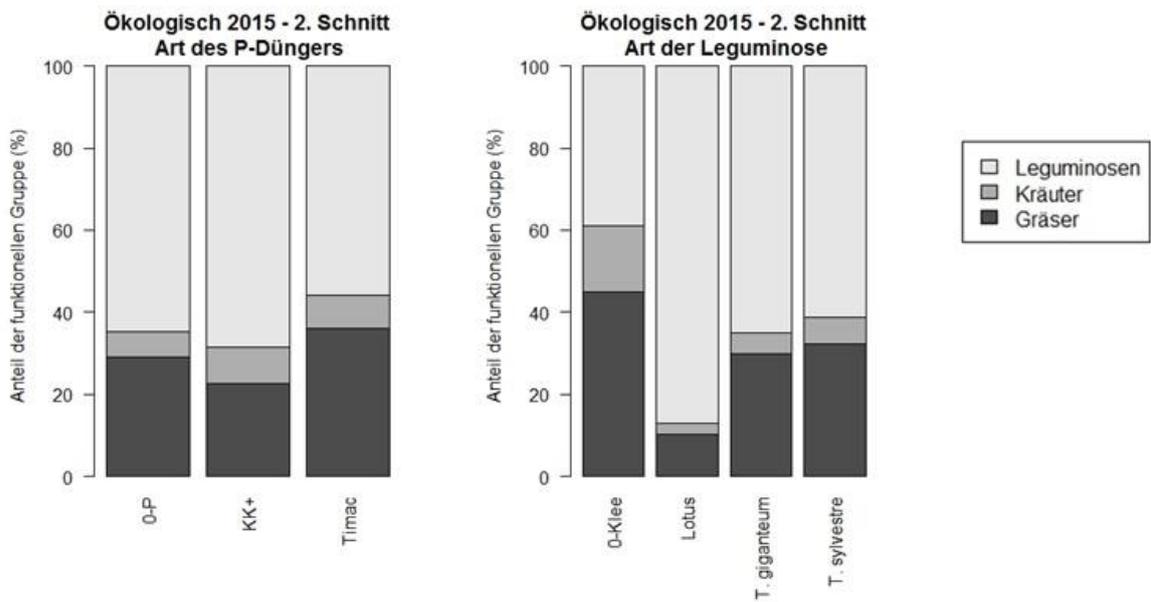


Abbildung 20: Mittlerer Anteil der funktionellen Gruppen (Gräser, Kräuter, Leguminosen) nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose beim 2. Schnitt 2015 auf dem ökologisch bewirtschafteten Versuchsfeld.

Feldversuche

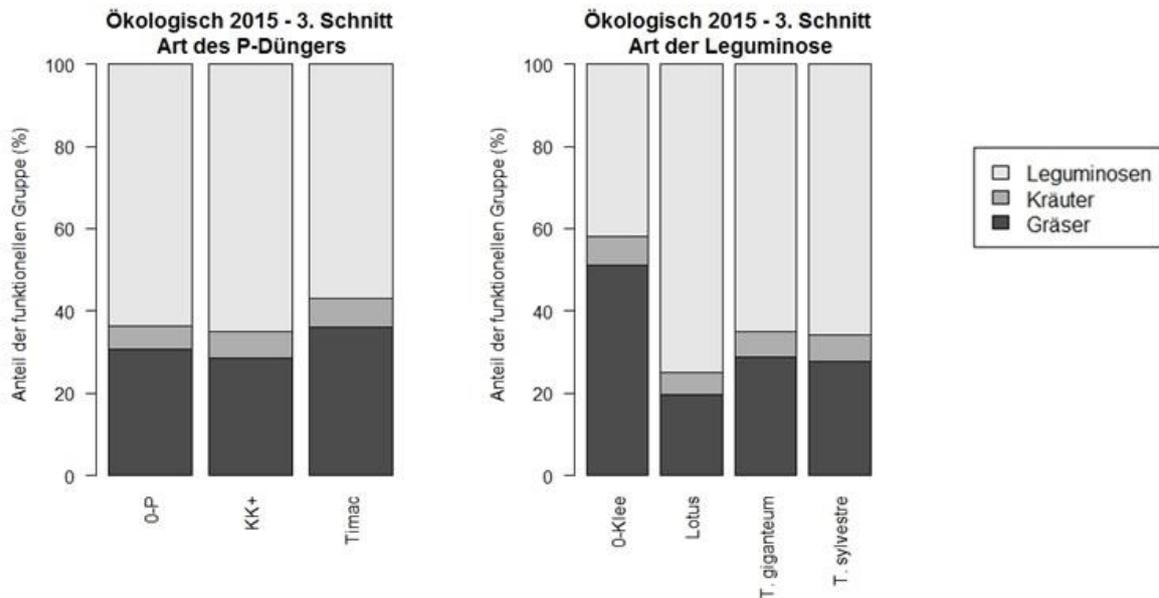


Abbildung 21: Mittlerer Anteil der funktionellen Gruppen (Gräser, Kräuter, Leguminosen) nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose beim 3. Schnitt 2015 auf ökologisch bewirtschafteten Versuchsfeld.

Bei dem konventionell bewirtschafteten Versuchsfeld zeigte die Art des P-Düngers keinen deutlichen Trend hinsichtlich der Anteile der funktionellen Gruppen. Beim zweiten Schnitt hatte sie einen leicht signifikanten Effekt auf den Gräser- ($p=0.064$) und Leguminosenanteil ($p=0.065$). Beim zweiten Schnitt zeigten die mit Leachphos und Timac gedüngten Flächen etwas höhere Gräseranteile und geringere Leguminosenanteile als die beiden anderen Varianten, ohne dass der Unterschied signifikant war. Die Art der Leguminose hatte bei allen drei Schnitten einen signifikanten Effekt auf den Gräser- ($p=0.000$), Leguminosen- ($p=0.000$) und Kräuteranteil ($p=0.008$ 1. Schnitt; $p=0.043$ 2. Schnitt; $p=0.000$ 3. Schnitt). Der Block-Faktor hatte beim ersten und zweiten Schnitt einen Effekt auf den Gräseranteil ($p=0.021$ und $p=0.007$) sowie auf den Leguminosenanteil ($p=0.014$ und $p=0.004$). Auf den Kräuteranteil hatte er bei allen drei Schnitten einen signifikanten Einfluss ($p=0.012$ 1. Schnitt; $p=0.000$ 2. Schnitt; $p=0.000$ 3. Schnitt).

Die 0-Klee-Variante erzielte wie erwartet bei allen drei Schnitten 2015 die höchsten Gräseranteile, beim zweiten und dritten Schnitt gefolgt von *T. sylvestre*. Beim ersten Schnitt zeigte die Variante mit *T. repens sylvestre* noch höhere Leguminosenanteile als die *Lotus*-Variante. Beim zweiten und dritten Schnitt war es umgekehrt: Die Leguminosenanteile waren bei *Lotus* jeweils etwa 20% höher als bei *T. repens sylvestre*. Die Streuungen der Anteile der funktionellen Gruppen waren beim Faktor Art des P-Düngers höher als bei Art der Leguminose (Abbildung 22 bis Abbildung 24; Tabelle 47 im Anhang).

Feldversuche

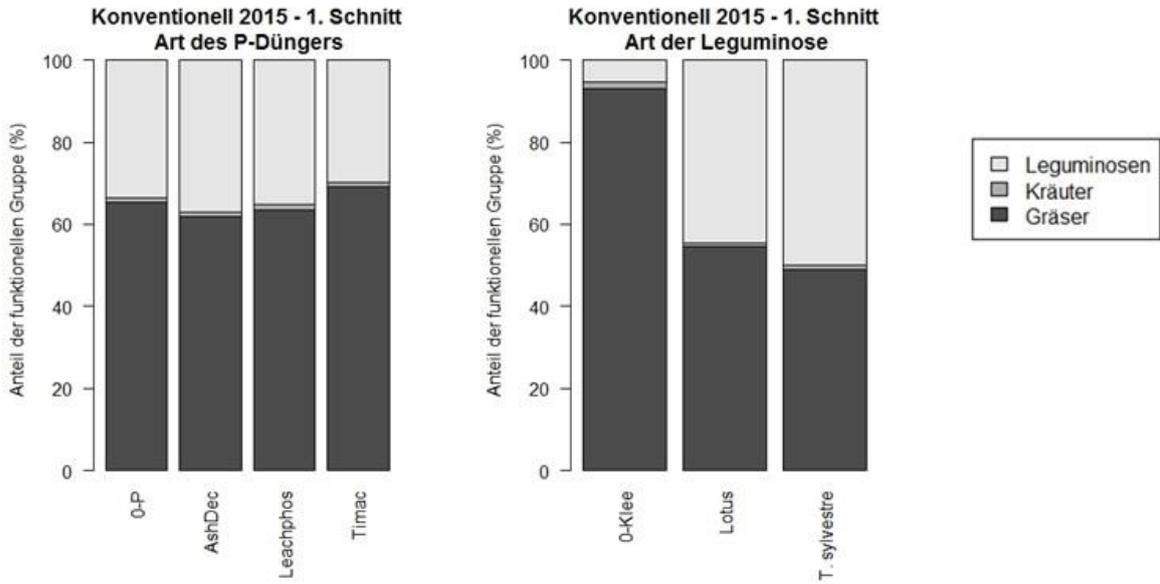


Abbildung 22: Mittlerer Anteil der funktionellen Gruppen (Gräser, Kräuter, Leguminosen) nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose beim 1. Schnitt 2015 auf dem konventionell bewirtschafteten Versuchsfeld.

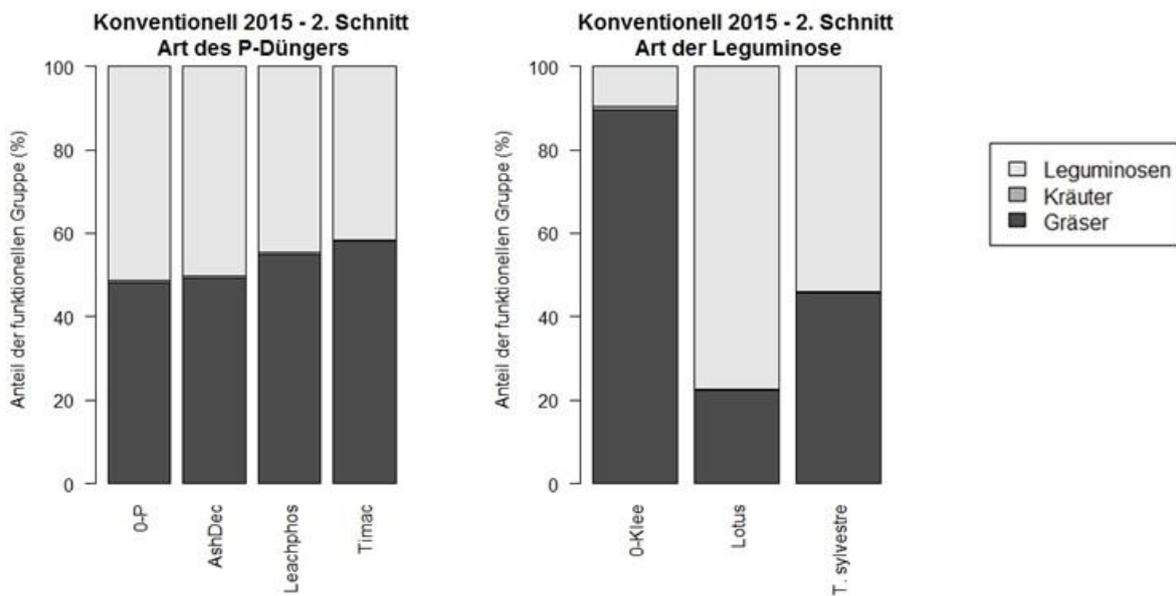


Abbildung 23: Mittlerer Anteil der funktionellen Gruppen (Gräser, Kräuter, Leguminosen) nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose beim 2. Schnitt 2015 auf dem konventionell bewirtschafteten Versuchsfeld.

Feldversuche

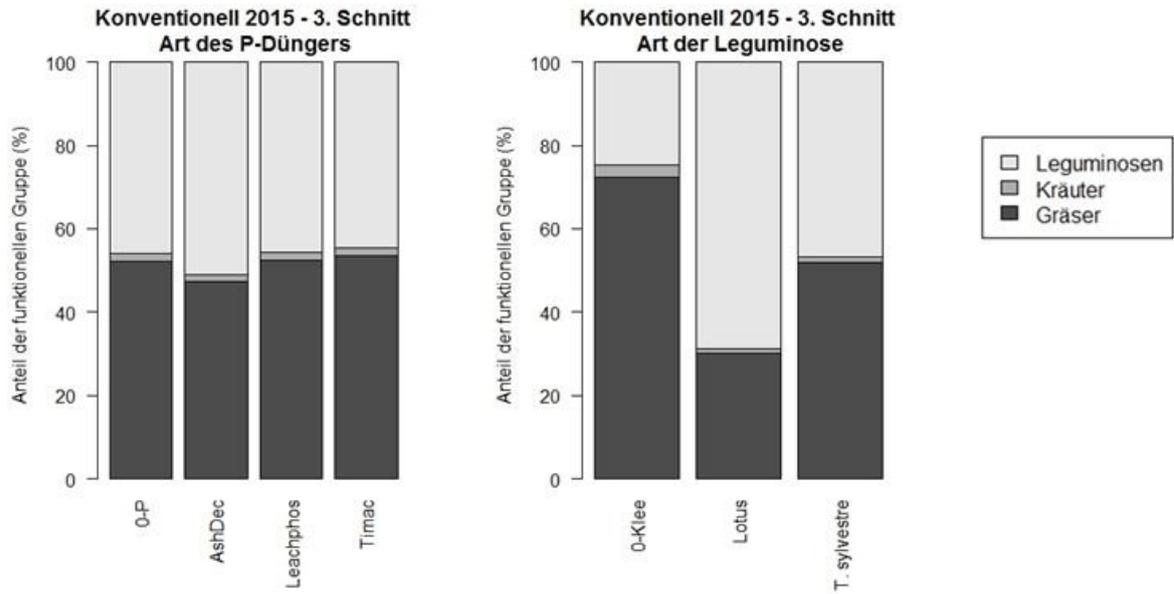


Abbildung 24: Mittlerer Anteil der funktionellen Gruppen (Gräser, Kräuter, Leguminosen) nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose beim 3. Schnitt 2015 auf dem konventionell bewirtschafteten Versuchsfeld.

2016



Abbildung 25: Ökologisches Versuchsfeld vor dem 2. Schnitt 2016.



Abbildung 26: KONventionelles Versuchsfeld beim 2. Schnitt 2016.

Die Jahreserträge der ökologisch bewirtschafteten Fläche lagen 2016 im Mittel zwischen 85 und 93 dt TM ha⁻¹ beim Vergleich der Düngevarianten, wobei die KK+-Variante insgesamt die höchsten Erträge erzielte, allerdings ohne dass die Art des P-Düngers einen signifikanten Einfluss auf die Erträge der einzelnen Schnitte hatte. Der erste Schnitt war 2016 am ertragreichsten. Während beim ersten Schnitt KK+ und Timac noch etwa gleich hohe Erträge erzielten und diese höher als bei 0-P waren, waren beim zweiten und dritten Schnitt 2016 die Erträge der mit KK+ gedüngten Flächen höher als die anderen beiden, die wiederum etwa vergleichbar hoch waren: 40,76±13,10 dt TM ha⁻¹ (KK+) gegenüber 34,09±8,41 dt TM ha⁻¹ (0-P) bzw. 35,66±12,99 dt TM ha⁻¹ (Timac) beim zweiten Schnitt sowie 21,88±7,53 dt TM ha⁻¹ (KK+) gegenüber 18,83±6,72 dt TM ha⁻¹ (0-P) bzw. 18,92±7,56 dt TM ha⁻¹ (Timac) beim dritten Schnitt 2016 (Tabelle 44 im Anhang).

Die Art der Leguminose hatte auf dem ökologisch bewirtschafteten Versuchsfeld bei allen drei Schnitten 2016 einen signifikanten Effekt auf den Ertrag ($p=0.006$ 1. Schnitt; $p=0.000$ 2. Schnitt; $p=0.001$ 3. Schnitt). Die Varianten mit gedrilltem Klee waren ertragreicher als die 0-Klee-Variante. Bei allen drei Schnitten verzeichnete die Lotus-Variante die signifikant höchsten Erträge (Abbildung 27; Feldversuch

Tabelle 44 im Anhang).

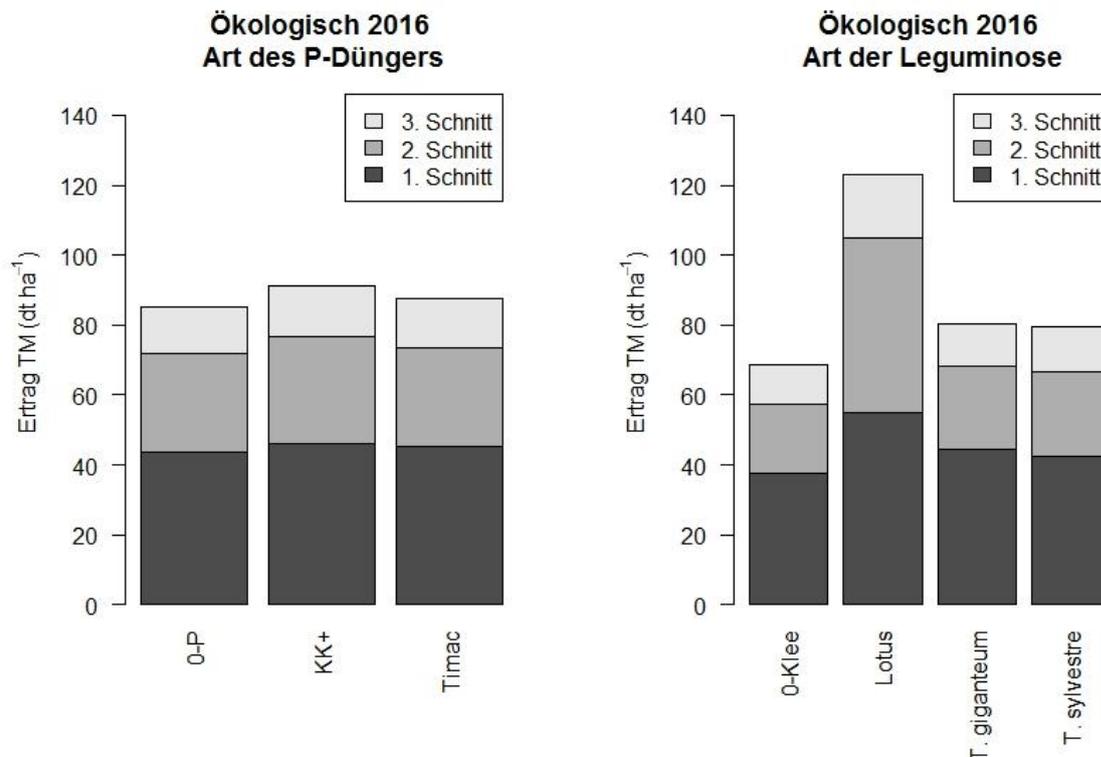


Abbildung 27: Mittlere Erträge des ökologisch bewirtschafteten Versuchsfeldes im Jahr 2016, nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose.

Die Jahreserträge der konventionell bewirtschafteten Fläche waren 2016 geringer als die der ökologisch bewirtschafteten. Sie betragen im Mittel 61 bis 72 dt TM ha⁻¹ und brachten große Streuungen mit sich (Tabelle 45 im Anhang). Der erste Schnitt war wie auch 2015 am ertragreichsten.

Die Art der Leguminose hatte auf dem konventionell bewirtschafteten Versuchsfeld bei allen drei Schnitten 2016 einen signifikanten Einfluss ($p=0.000$) auf die Erträge. Die Art des P-Düngers zeigte nur beim zweiten Schnitt 2016 einen leichten Einfluss auf den Ertrag ($p=0.071$). Bei diesem Schnitt war auch die Wechselwirkung von Art des P-Düngers und Art der Leguminose signifikant ($p=0.033$). Der Faktor Block hatte beim ersten Schnitt einen leichten Effekt auf den Ertrag ($p=0.098$). Die *Lotus*-Variante erzielte mehr als doppelt so hohe Jahreserträge wie die 0-Klee- und die *T. repens sylvestre*-Variante (beim zweiten Schnitt sogar 4x so hohe) und unterschied sich damit signifikant von den anderen Varianten. Die Erträge von *T. repens sylvestre* waren kaum höher als die der 0-Klee-Variante. Die Streuungen der Erträge nach Art der Leguminose waren kleiner als die der Erträge nach Art des P-Düngers (Abbildung 28; Tabelle 45 im Anhang).

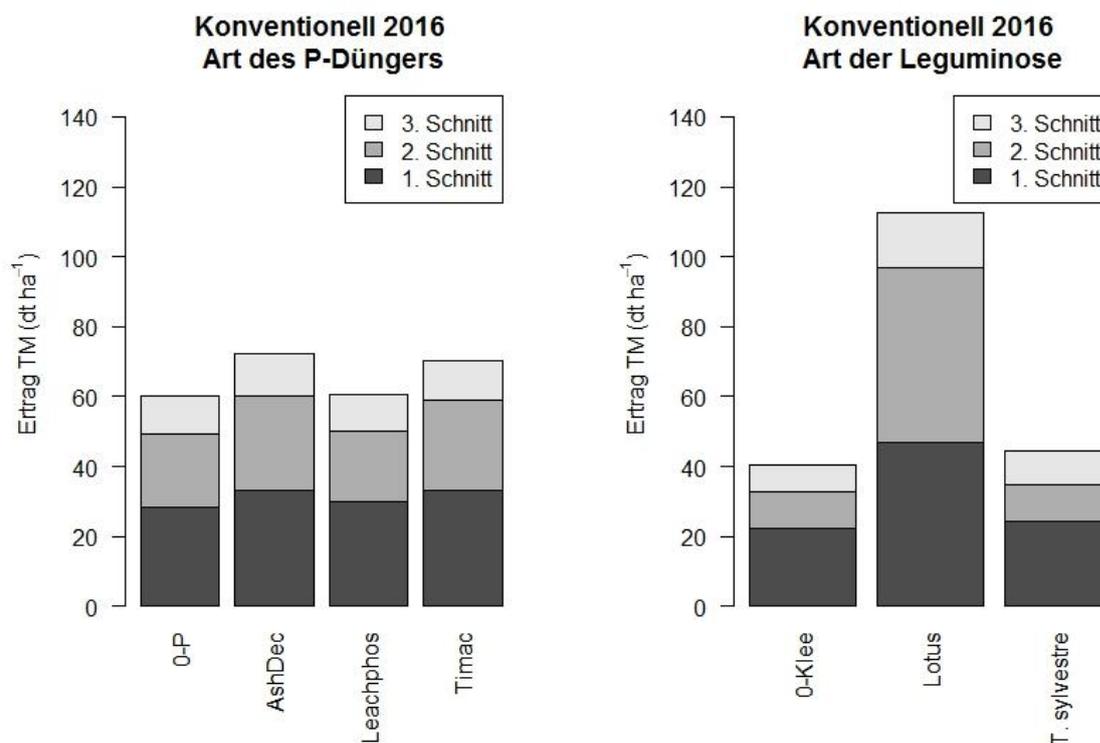


Abbildung 28: Mittlere Erträge des konventionell bewirtschafteten Versuchsfeldes im Jahr 2016, nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose.

Die Art der Leguminose hatte auf dem ökologischen Feld bei allen drei Schnitten 2016 einen signifikanten Einfluss auf den Gräser- und Leguminosenanteil ($p=0.000$), auf den Kräuteranteil nur beim zweiten Schnitt ($p=0.032$). Die *Lotus*-Variante hatte immer den signifikant höchsten Leguminosen- und geringsten Gräseranteil. Die 0-Klee und die beiden *T. repens*-Varianten zeigten 2016 ähnlich hohe Anteile der funktionellen Gruppen. Der Gräseranteil überwog dabei beim ersten und dritten Schnitt bei diesen Varianten, beim zweiten Schnitt der Leguminosenanteil. Der Leguminosenanteil machte beim zweiten Schnitt 2016 selbst bei der 0-Klee-Variante wie auch bei den *T. repens*-Varianten bis >50% aus (Abbildung 29 bis Abbildung 31; Tabelle 46 im Anhang).

Feldversuche

Die Art des P-Düngers hatte lediglich beim ersten Schnitt einen signifikanten Effekt auf den Gräseranteil ($p=0.087$). Beim zweiten und dritten Schnitt war der Leguminosenanteil bei der 0-P- und der KK+-Variante höher als der Gräseranteil, bei der Timac-Variante war es umgekehrt. Hinsichtlich der Kräuteranteile unterschieden sich die Dünge-Varianten nicht (Abbildung 29 bis Abbildung 31; Tabelle 46 im Anhang). Der Faktor Block hatte beim zweiten Schnitt einen signifikanten Einfluss auf den Gräseranteil ($p=0.001$) und beim dritten Schnitt einen leichten Effekt auf den Gräser- ($p=0.064$) und Leguminosenanteil ($p=0.074$) und einen signifikanten Effekt auf den Kräuteranteil ($p=0.009$).

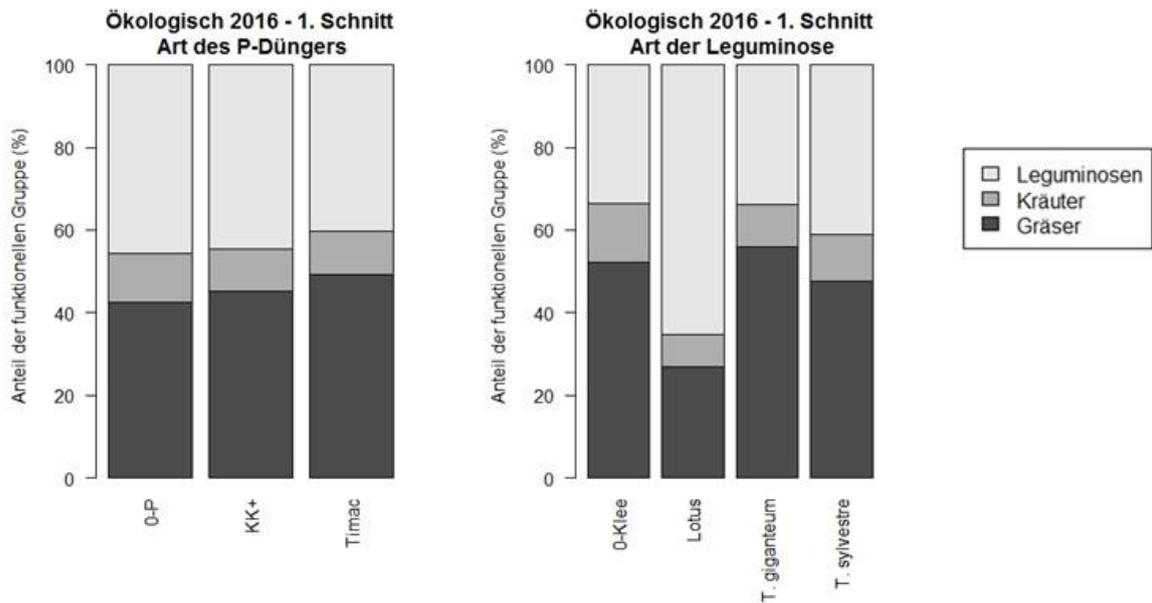


Abbildung 29: Mittlerer Anteil der funktionellen Gruppen (Gräser, Kräuter, Leguminosen) nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose beim 1. Schnitt 2016 auf dem ökologisch bewirtschafteten Versuchsfeld.

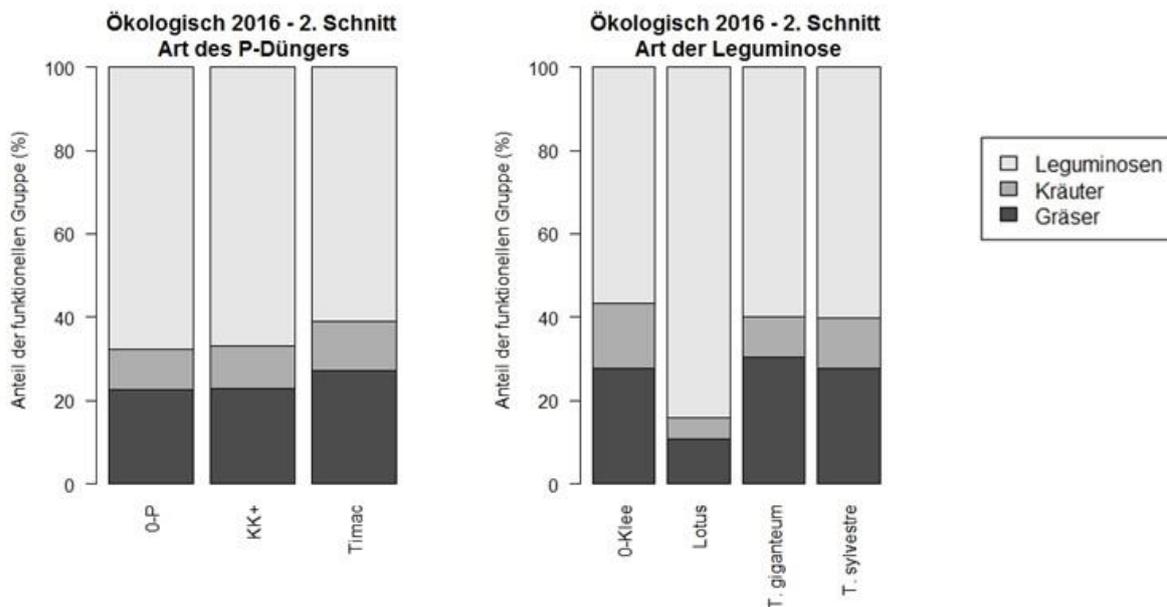


Abbildung 30: Mittlerer Anteil der funktionellen Gruppen (Gräser, Kräuter, Leguminosen) nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose beim 2. Schnitt 2016 auf dem ökologisch bewirtschafteten Versuchsfeld.

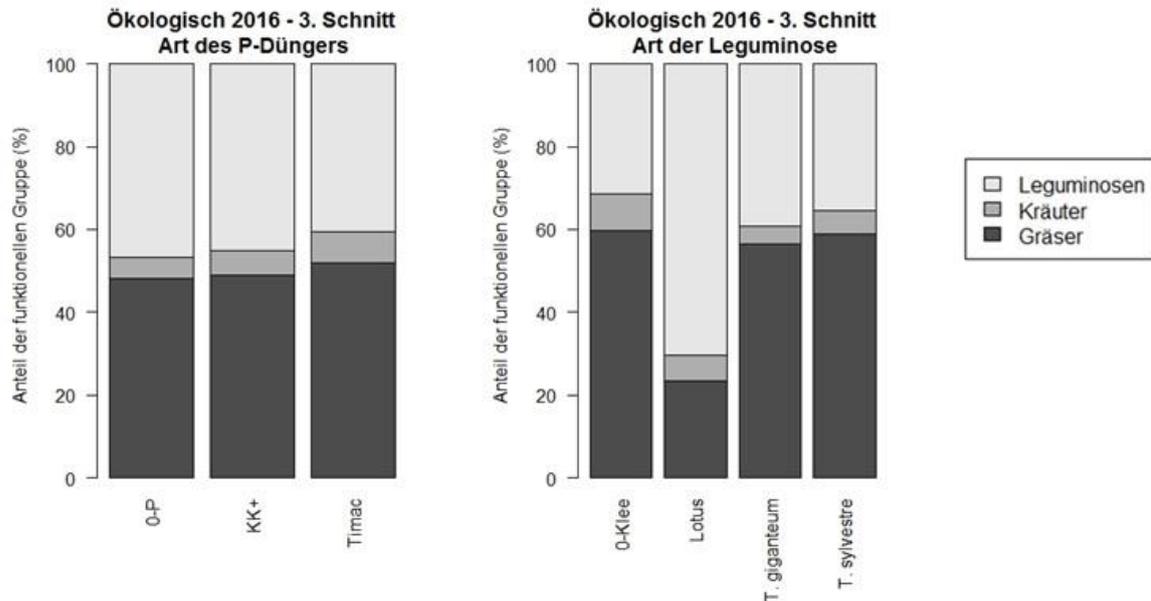


Abbildung 31: Mittlerer Anteil der funktionellen Gruppen (Gräser, Kräuter, Leguminosen) nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose beim 3. Schnitt 2016 auf dem ökologisch bewirtschafteten Versuchsfeld.

Beim konventionell bewirtschafteten Versuchsfeld war der Kräuteranteil 2016 geringer als auf dem ökologisch bewirtschafteten und insgesamt sehr klein. Bei allen drei Schnitten waren die Anteile der funktionellen Gruppen der vier P-Dünge-Varianten sehr ähnlich, wobei der Gräseranteil immer etwas höher als der Leguminosenanteil war. Die Art des P-Düngers hatte nur beim dritten Schnitt einen signifikanten Effekt auf den Kräuteranteil ($p=0.048$). Die Leguminosen-Varianten hatten bei allen drei Schnitten einen signifikanten Einfluss auf die Anteile der funktionellen Gruppen ($p=0.000$). Die Gräseranteile von 0-Klee und *T. repens sylvestre* waren miteinander vergleichbar. Beim ersten und dritten Schnitt betrug der Gräseranteil bei diesen beiden Varianten um die 80%, beim zweiten Schnitt etwa 70%. Bei der *Lotus*-Variante war es umgekehrt. Dort war der Leguminosenanteil bei allen drei Schnitten signifikant höher als der Gräseranteil und betrug 64% (3. Schnitt) bis 88% (2. Schnitt). Die 0-Klee-Variante hatte bei allen drei Schnitten den signifikant höchsten Kräuteranteil, gefolgt von *T. repens sylvestre* (Abbildung 32 bis Abbildung 34; Tabelle 47 im Anhang). Der Block-Faktor hatte bei allen drei Schnitten 2016 einen signifikanten Effekt auf den Kräuteranteil ($p=0.000$). Beim ersten Schnitt hatte auch die Wechselwirkung von Art der Leguminose und Art des P-Düngers einen leichten Effekt auf den Kräuteranteil ($p=0.075$).

Die Streuungen der Anteile der funktionellen Gruppen waren bei den P-Düngevarianten sowohl bei der ökologisch als auch der konventionell bewirtschafteten Versuchsfläche höher als bei den verschiedenen Leguminosen-Varianten (Tabelle 46 und Tabelle 47 im Anhang).

Feldversuche

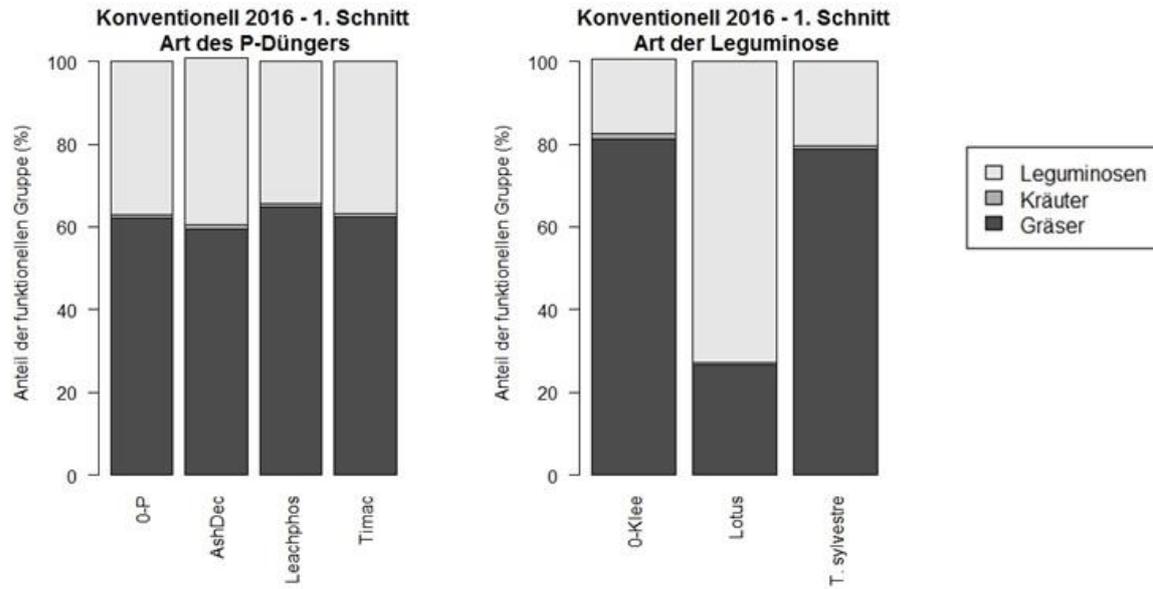


Abbildung 32: Mittlerer Anteil der funktionellen Gruppen (Gräser, Kräuter, Leguminosen) nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose beim 1. Schnitt 2016 auf dem konventionell bewirtschafteten Versuchsfeld.

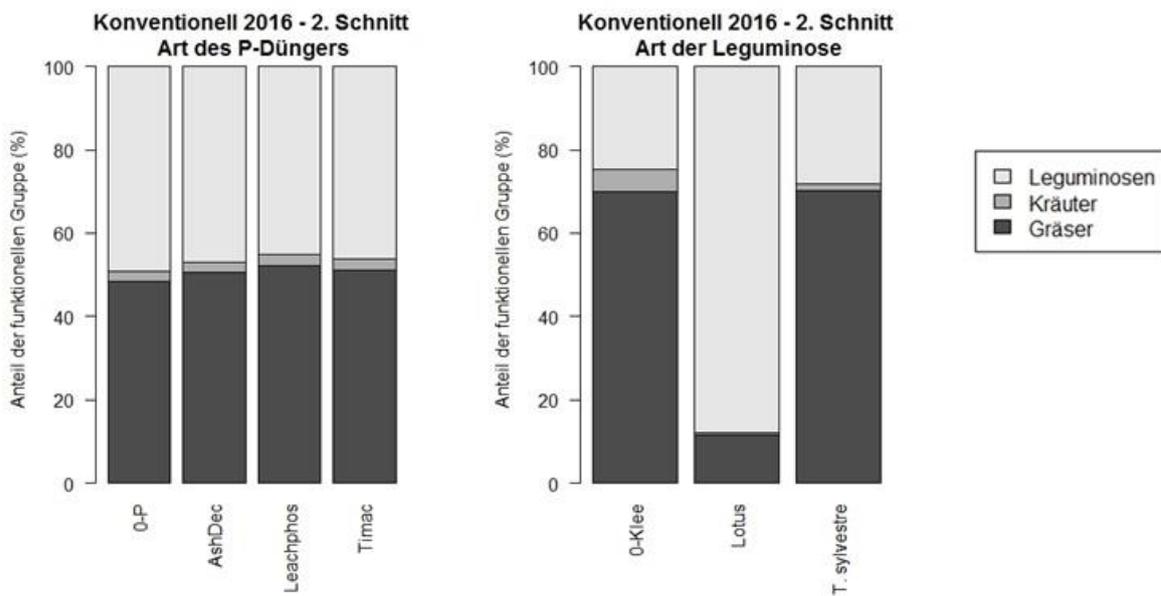


Abbildung 33: Mittlerer Anteil der funktionellen Gruppen (Gräser, Kräuter, Leguminosen) nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose beim 2. Schnitt 2016 auf dem konventionell bewirtschafteten Versuchsfeld.

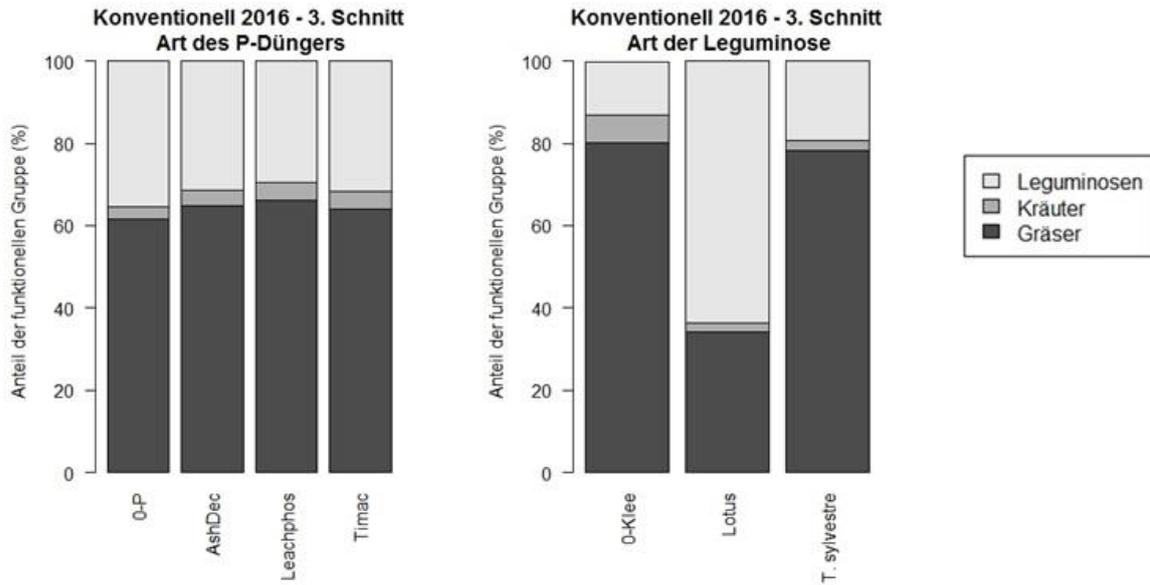


Abbildung 34: Mittlerer Anteil der funktionellen Gruppen (Gräser, Kräuter, Leguminosen) nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose beim 3. Schnitt 2016 auf dem konventionell bewirtschafteten Versuchsfeld.

6.3.2 Erträge 2014 bis 2016 innerhalb der Leguminosen-Varianten

Beim Betrachten der Ertragswerte innerhalb jeweils einer Leguminosenvariante sind die Streuungen der P-Dünge-Varianten z.T. etwas kleiner und die Effekte der Varianten werden deutlicher.

Bei *T. repens sylvestre* auf dem ökologischen Versuchsfeld hatte die Art des P-Düngers beim ersten Schnitt 2015 ($p=0.017$) und beim zweiten Schnitt 2016 ($p=0.007$) einen signifikanten Effekt auf den Ertrag. Die mit KK+ oder Timac gedüngten Flächen erzielten bei allen Schnitten höhere Erträge als die mit P ungedüngten Flächen (Tabelle 8).

Tabelle 8: Erträge in dt TM ha⁻¹ (Mittelwert±Standardabweichung) der verschiedenen P-Düngevarianten innerhalb der *T. repens sylvestre*-Variante auf dem ökologischen Versuchsfeld.

	Art des P-Düngers		
	O-P	KK+	Timac
2014 – 2. Schnitt	7,52±0,46 a	10,18±2,99 a	11,21±2,53 a
2015 – 1. Schnitt	27,83±5,71 a	35,07±3,62 ab	37,85±1,49 b
2015 – 2. Schnitt	33,59±9,72 a	40,91±7,23 a	40,48±5,54 a
2015 – 3. Schnitt	17,76±4,02 a	22,36±5,28 a	22,30±5,93 a
2016 – 1. Schnitt	40,99±18,24 a	44,46±8,60 a	42,18±14,62 a
2016 – 2. Schnitt	20,91±0,93 a	25,25±1,82 b	25,68±2,27 b
2016 – 3. Schnitt	11,02±2,29 a	14,35±3,21 a	14,18±3,63 a

Bei *T. repens giganteum* auf dem ökologischen Versuchsfeld konnte die KK+-Variante etwas höhere Erträge als die ungedüngte Variante verzeichnen (bis auf den 2. Schnitt 2014 und den 3. Schritt 2016). Beim zweiten Schnitt 2016 hatte die Art des P-Düngers einen leichten Effekt auf den Ertrag ($p=0.052$). Die Erträge der Timac-Flächen waren immer geringer als die der ungedüngten Flächen (Tabelle 9).

Tabelle 9: Erträge in dt TM ha⁻¹ (Mittelwert±Standardabweichung) der verschiedenen P-Düngevarianten innerhalb der *T. repens giganteum*-Variante auf dem ökologischen Versuchsfeld.

	Art des P-Düngers		
	0-P	KK+	Timac
2014 – 2. Schnitt	11,54±2,60 a	9,16±3,73 a	9,39±2,71 a
2015 – 1. Schnitt	37,61±5,04 a	39,59±10,60 a	36,81±4,57 a
2015 – 2. Schnitt	36,88±5,28 a	38,71±10,60 a	31,14±8,42 a
2015 – 3. Schnitt	23,81±5,93 a	24,70±8,41 a	20,86±7,53 a
2016 – 1. Schnitt	45,07±10,56 a	46,52±15,16 a	41,49±12,43 a
2016 – 2. Schnitt	22,82±2,21 ab	27,64±3,64 b	20,67±4,28 a
2016 – 3. Schnitt	14,03±6,00 a	11,83±5,54 a	10,84±5,82 a

Bei *Lotus corniculatus* verhielten sich die P-Dünger auf dem ökologisch bewirtschafteten Feld un stetig. Die Art des P-Düngers hatte keinen signifikanten Effekt auf den Ertrag. Beim zweiten Schnitt 2014 und ersten 2015 erzielten die Varianten mit KK+ und Timac etwas höhere Erträge und beim zweiten Schnitt 2015 deutlich höhere Erträge als die 0-P-Variante. Beim Schnitt im Herbst 2015 war die KK+-Variante ertragreicher, während die Timac-Variante etwas der 0-P-Variante unterlag. Beim ersten Schnitt 2016 wurden auf den Timac-Parzellen die höchsten mittleren Erträge erreicht und auf den KK+-Parzellen die niedrigsten. Beim zweiten Schnitt 2016 erreichten alle Flächen etwa das gleiche Ertragsniveau. Beim dritten Schnitt 2016 waren die Erträge der mit P gedüngten Flächen etwas höher als die der ungedüngten (Tabelle 10).

Tabelle 10: Erträge in dt TM ha⁻¹ (Mittelwert±Standardabweichung) der verschiedenen P-Düngevarianten innerhalb der *Lotus corniculatus*-Variante auf dem ökologischen Versuchsfeld.

	Art des P-Düngers		
	0-P	KK+	Timac
2014 – 2. Schnitt	10,11±5,38 a	12,65±3,70 a	14,91±8,16 a
2015 – 1. Schnitt	26,42±5,56 a	29,78±3,86 a	30,58±4,73 a
2015 – 2. Schnitt	39,35±7,68 a	53,20±15,93 a	45,02±14,77 a
2015 – 3. Schnitt	21,83±4,48 a	27,00±5,70 a	20,94±6,81 a
2016 – 1. Schnitt	54,62±8,48 a	51,63±6,80 a	58,70±10,26 a
2016 – 2. Schnitt	49,43±4,26 a	50,85±3,65 a	48,98±6,43 a
2016 – 3. Schnitt	16,90±2,93 a	19,56±0,21 a	18,67±4,07 a

Auch bei der 0-Klee-Variante ergab sich kein eindeutiges Bild hinsichtlich der Düngerwirkungen. Die Art des P-Düngers hatte keinen signifikanten Effekt auf den Ertrag. KK+ zeigte beim ersten Schnitt 2015 zusammen mit Timac höhere Erträge als die 0-P-Variante. Beim zweiten und dritten Schnitt 2015 war KK+ am ertragreichsten, während 0-P und Timac auf etwa gleichem Ertragsniveau waren. Beim ersten Schnitt 2016 erzielten die mit KK+ und Timac gedüngten Flächen deutlich höhere Erträge. Beim Schnitt 2014 und dem zweiten und dritten Schnitt 2016 konnte keine Düngewirkung festgestellt werden (Tabelle 11).

Feldversuche

Tabelle 11: Erträge in dt TM ha⁻¹ (Mittelwert±Standardabweichung) der verschiedenen P-Düngevarianten innerhalb der O-Klee-Variante auf dem ökologischen Versuchsfeld.

	Art des P-Düngers		
	O-P	KK+	Timac
2014 – 2. Schnitt	8,96±4,57 a	5,92±1,33 a	7,16±4,05 a
2015 – 1. Schnitt	22,77±6,30 a	25,69±8,21 a	25,01±10,47 a
2015 – 2. Schnitt	26,53±6,96 a	30,23±8,91 a	26,01±15,00 a
2015 – 3. Schnitt	11,92±6,62 a	13,45±3,39 a	11,59±8,09 a
2016 – 1. Schnitt	33,47±12,75 a	41,37±12,96 a	38,43±14,46 a
2016 – 2. Schnitt	20,67±4,53 a	19,55±5,05 a	18,41±6,83 a
2016 – 3. Schnitt	10,33±3,07 a	12,42±3,99 a	11,58±7,63 a

Innerhalb der *T. repens sylvestre*-Variante auf dem konventionellen Feld zeigten die Faktorstufen der Art des P-Düngers keinen signifikanten Effekt. Die Erträge lagen oft auf gleichem Niveau und die O-P-Variante zeigte teilweise höhere Erträge als mit P gedüngte Flächen (Tabelle 12).

Tabelle 12: Erträge in dt TM ha⁻¹ (Mittelwert±Standardabweichung) der verschiedenen P-Düngevarianten innerhalb der *T. repens sylvestre*-Variante auf dem konventionellen Versuchsfeld.

	Art des P-Düngers			
	O-P	AshDec	Leachphos	Timac
2014 – 2. Schnitt	20,26±5,61 a	17,16±5,09 a	19,52±6,61 a	22,43±3,57 a
2015 – 1. Schnitt	56,40±2,47 a	51,28±8,08 a	54,26±10,86 a	62,53±6,44 a
2015 – 2. Schnitt	29,11±2,86 a	26,91±3,96 a	24,31±1,32 a	27,29±4,66 a
2015 – 3. Schnitt	19,85±3,03 a	19,08±3,48 a	21,84±5,11 a	21,21±2,58 a
2016 – 1. Schnitt	25,67±3,33 a	21,46±5,40 a	23,46±7,90 a	27,13±4,49 a
2016 – 2. Schnitt	11,21±3,44 a	9,97±1,70 a	9,84±4,02 a	11,00±5,30 a
2016 – 3. Schnitt	9,33±3,54 a	9,08±2,99 a	8,69±3,44 a	10,34±4,03 a

Innerhalb der *L. corniculatus*-Variante auf dem konventionell bewirtschafteten Feld hatte die Art des P-Düngers beim zweiten Schnitt 2015 ($p=0.043$) und beim zweiten Schnitt 2016 ($p=0.028$) einen signifikanten Effekt auf den Ertrag. Die mit AshDec und Timac gedüngten Parzellen erzielten bei allen Schnitten höhere Erträge als die beiden anderen P-Dünger-Varianten. Die AshDec-Flächen waren meist (bis auf 2. Schnitt 2016) am ertragreichsten. Die mit Leachphos gedüngten Flächen zeigten meist ähnlich hohe Erträge wie die O-P-Flächen (Tabelle 13).

Tabelle 13: Erträge in dt TM ha⁻¹ (Mittelwert±Standardabweichung) der verschiedenen P-Düngevarianten innerhalb der *L. corniculatus*-Variante auf dem konventionellen Versuchsfeld.

	Art des P-Düngers			
	O-P	AshDec	Leachphos	Timac
2014 – 2. Schnitt	16,93±6,51 a	21,72±4,01 a	18,42±4,45 a	21,57±4,65 a
2015 – 1. Schnitt	42,22±2,99 a	59,76±8,70 a	49,44±17,59 a	54,04±7,07 a
2015 – 2. Schnitt	34,32±3,87 ab	45,15±3,02 b	32,72±7,99 a	37,21±6,64 ab
2015 – 3. Schnitt	21,35±4,58 a	30,35±4,43 a	22,66±6,38 a	25,38±4,92 a
2016 – 1. Schnitt	39,61±9,63 a	55,59±8,71 a	40,88±13,24 a	51,59±11,14 a
2016 – 2. Schnitt	40,43±6,02 a	55,78±9,26 ab	42,56±10,59 ab	60,22±10,77 b
2016 – 3. Schnitt	13,83±2,96 a	19,30±6,97 a	13,84±4,59 a	16,31±5,91 a

Innerhalb der 0-Klee-Parzellen des konventionellen Versuchsfeldes hatte die Art des P-Düngers keinen signifikanten Effekt auf den Ertrag. Die Leachphos- und Timac-Varianten erzielten beim Schnitt 2014 und beim ersten Schnitt 2015 noch höhere Erträge als die beiden anderen Düngerarten. Beim zweiten Schnitt 2015 unterschieden sich die Düngervarianten nicht. Beim dritten Schnitt 2015 und ersten Schnitt 2016 waren die Leachphos- und AshDec-Varianten etwas ertragsreicher. Die mit AshDec gedüngten Flächen erzielten beim zweiten Schnitt 2016 die höchsten Erträge, mit sehr großen Streuungen zwischen den Parzellen. Die Leachphos- und Timac-Parzellen waren hierbei ertragsärmer als die 0-P-Variante. Beim letzten Schnitt 2016 brachten AshDec und Timac geringere Erträge als 0-P und Leachphos (Tabelle 14).

Tabelle 14: Erträge in dt TM ha⁻¹ (Mittelwert±Standardabweichung) der verschiedenen P-Düngevarianten innerhalb der 0-Klee-Variante auf dem konventionellen Versuchsfeld.

	Art des P-Düngers			
	0-P	AshDec	Leachphos	Timac
2014 – 2. Schnitt	16,24±7,45 a	16,63±5,72 a	20,91±5,75 a	18,33±4,92 a
2015 – 1. Schnitt	35,55±9,17 a	37,31±8,09 a	52,11±16,35 a	41,89±4,99 a
2015 – 2. Schnitt	17,08±3,27 a	17,97±3,13 a	18,50±1,01 a	17,24±1,83 a
2015 – 3. Schnitt	10,05±5,29 a	12,21±4,59 a	12,84±2,31 a	9,81±2,02 a
2016 – 1. Schnitt	20,28±8,80 a	22,96±3,66 a	24,91±4,87 a	20,50±5,38 a
2016 – 2. Schnitt	10,81±9,05 a	15,09±12,73 a	8,94±1,71 a	7,00±2,19 a
2016 – 3. Schnitt	9,20±6,35 a	6,94±2,97 a	9,16±5,22 a	6,60±1,99 a

6.3.3 Boden-Nährstoffgehalte

6.3.3.1 Phosphor

Die Boden-P_{DL}-Gehalte der ökologisch bewirtschafteten Fläche nahmen im Mittel bei allen P-Düngevarianten über die drei Termine ab, wobei dies bei der ungedüngten Variante sehr viel stärker passierte. Die Düngung hatte an den drei Terminen einen signifikanten Einfluss auf den Boden-P_{DL}-Gehalt ($p=0.000$). Bei der Timac-Variante waren die P-Gehalte an allen drei Terminen signifikant höher und erreichten die Bodengehaltsklasse B. Gegenüber April 2015 war bei Timac im April 2016 auch eine P-Zunahme zu verzeichnen. Nach der P-Düngung und dem darauffolgenden ersten Schnitt war der P-Gehalt der Timac-Variante allerdings wieder etwas geringer als noch 2015. Die Streuungen der Werte waren sehr hoch (Abbildung 35).

Die Abnahme der Boden-P_{DL}-Gehalte über die drei Termine ist auch beim Vergleich der Leguminosen-Varianten zu erkennen, wobei die Art der Leguminose aber keinen signifikanten Einfluss auf den Boden-P_{DL}-Gehalt hatte. Während es bei der 0-Klee- und der *Lotus*-Variante eine minimale Erhöhung im April 2016 gegenüber April 2015 zu verzeichnen war, war es bei den beiden *T. repens*-Varianten eine Verringerung. Die Boden-P-Gehalte im Juni 2016 waren bei allen geringer als noch im April des gleichen Jahres. Bei *T. repens giganteum* war diese Abnahme besonders stark. Die P-Gehalte aller Termine können über alle Leguminosenvarianten im Mittel der Gehaltsklasse A zugeordnet werden. Bei *T. repens giganteum* lagen die P-Gehalte zu Beginn im unteren Bereich der Gehaltsklasse B. Zwischen den Leguminosen-Varianten konnte aber an allen drei Terminen hinsichtlich der Boden-P_{DL}-Gehalte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Die Streuungen der P-Gehalte waren auch bei allen Leguminosenvarianten sehr hoch (Abbildung 35).

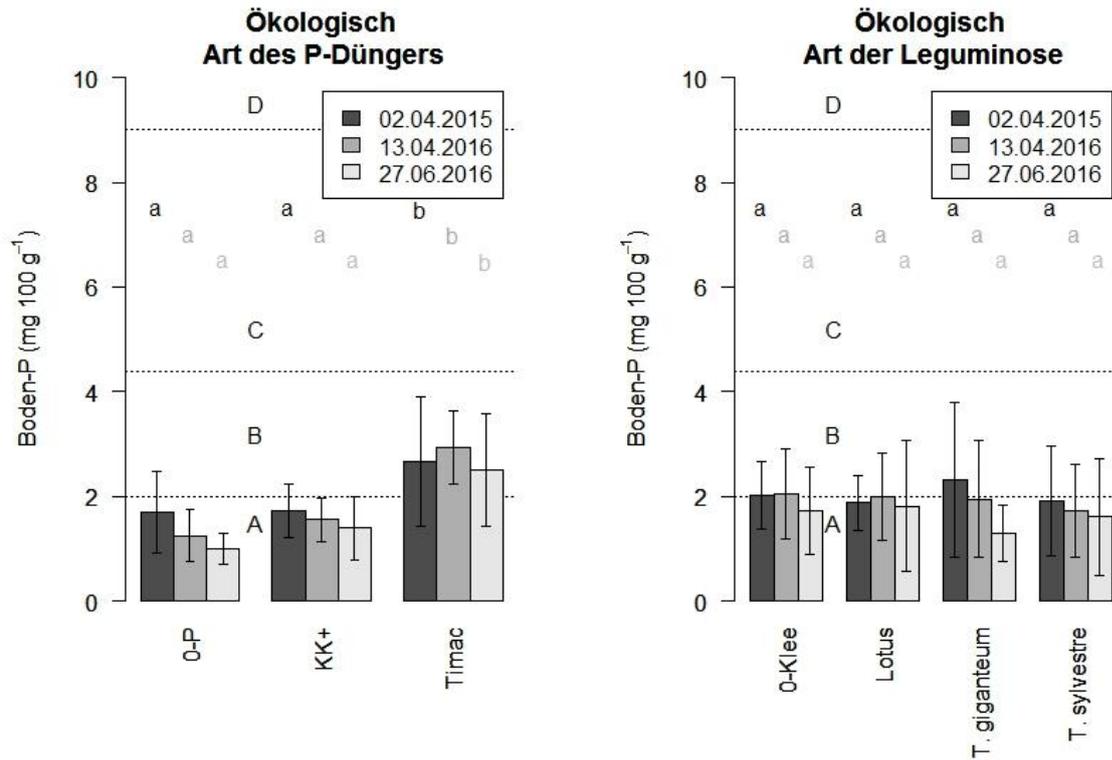


Abbildung 35: Boden-P_{DL}-Gehalte des ökologisch bewirtschafteten Versuchsfeldes nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose (Mittelwert mit Standardabweichung). Die gestrichelten waagerechten Linien zeigen die Grenzen der Boden-P-Gehaltsklassen mit den entsprechenden Bezeichnungen (Majuskeln). Die Kleinbuchstaben zeigen die Ergebnisse des post hoc Tukey (HSD) Tests an: unterschiedliche Buchstaben entsprechen signifikanten Unterschieden ($p < 0.05$).

Die Probenahme im April 2017 in den drei Tiefen (0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm) brachten weitere Informationen zu den unterschiedlichen P-Dünger-Varianten. Beim Vergleich der Varianten über alle Tiefen hatten sowohl die Art des P-Düngers ($p=0.04$) als auch die Art der Leguminose ($p=0.02$) einen signifikanten Einfluss auf die Boden-P_{DL}-Gehalte. Timac und 0-Klee erzielten die höchsten Gehalte (Abbildung 36).

Feldversuche

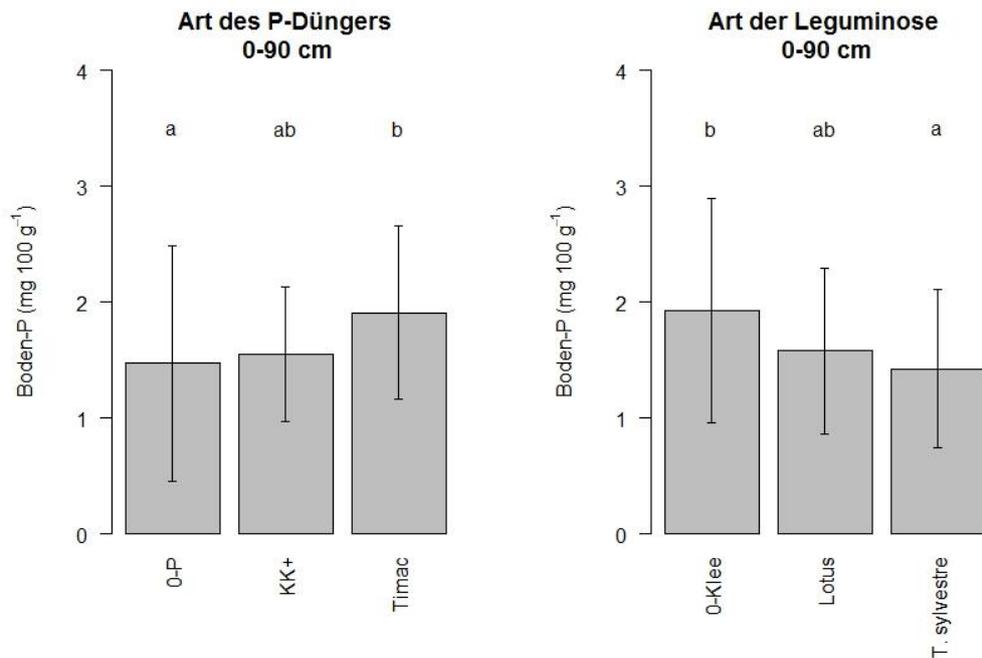


Abbildung 36: P_{DL} -Gehalte im April 2017 nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose (außer *T. repens giganteum*) über alle Tiefen (0-30, 30-60 und 60-90 cm). Die Kleinbuchstaben zeigen die Ergebnisse des post hoc Tukey (HSD) Tests an: unterschiedliche Buchstaben entsprechen signifikanten Unterschieden ($p < 0.05$).

Die Varianzanalyse zeigte, dass die P-Dünger einen signifikanten Einfluss ($p = 0.0002$) auf die P_{DL} -Gehalte in 0-30 cm Tiefe hatten. Die Art der Leguminose hatte darauf einen geringeren Effekt ($p = 0.02$). Timac zeigte in 0-30 cm Tiefe die höchsten P_{DL} -Gehalte und unterschied sich signifikant von O-P und KK+ (Abbildung 37). Beim Vergleich der Leguminosen-Arten zeigten *T. repens sylvestre* und O-Klee hinsichtlich der P_{DL} -Gehalte einen signifikanten Unterschied (Abbildung 37).

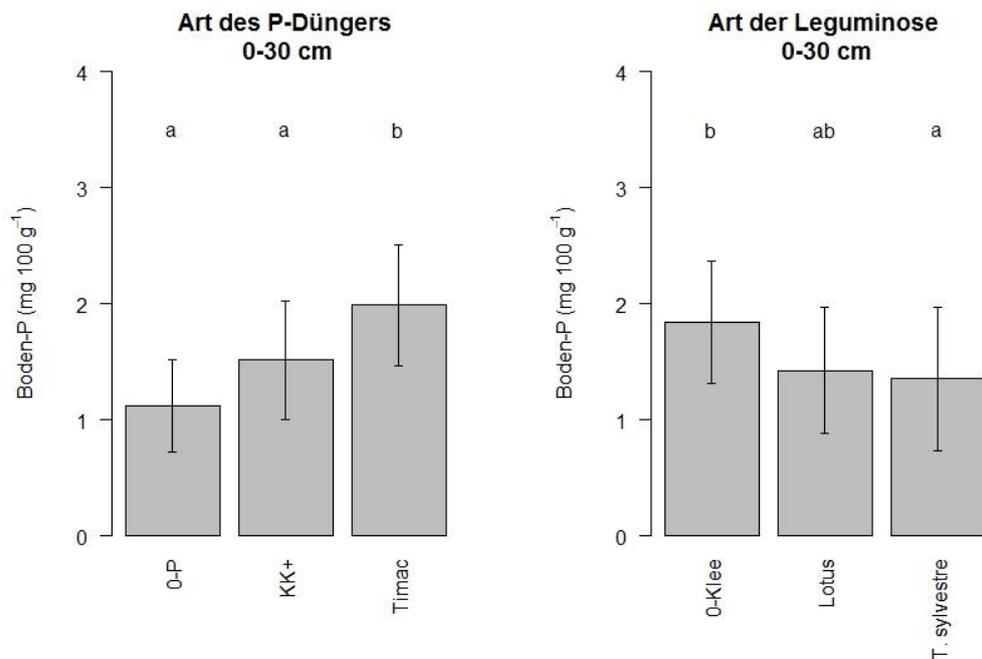


Abbildung 37: P_{DL} -Gehalte im April 2017 nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose (außer *T. repens giganteum*) in 0-30 cm Tiefe. Die Kleinbuchstaben zeigen die Ergebnisse des post hoc Tukey (HSD) Tests an: unterschiedliche Buchstaben entsprechen signifikanten Unterschieden ($p < 0.05$).

In der Tiefe 30-60 cm hatte weder die Art des P-Düngers noch die Art der Leguminose einen signifikanten Effekt auf den P_{DL} -Gehalt (Abbildung 38).

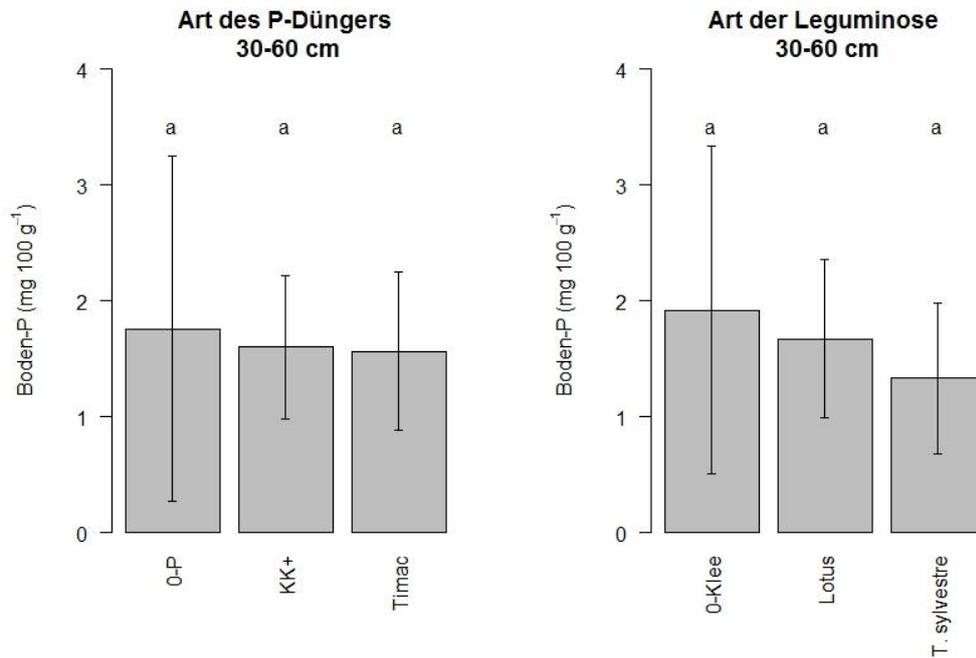


Abbildung 38: P_{DL} -Gehalte im April 2017 nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose (außer *T. repens giganteum*) in 30-60 cm Tiefe. Die Kleinbuchstaben zeigen die Ergebnisse des post hoc Tukey (HSD) Tests an: unterschiedliche Buchstaben entsprechen signifikanten Unterschieden ($p < 0.05$).

In der Tiefe 60-90 cm zeigte Timac die höchsten P_{DL} -Gehalte, während die von KK+ und 0-P ähnlich hoch waren (Abbildung 39). Die Art des P-Düngers hatte aber nur einen geringen Effekt auf den P_{DL} -Gehalt ($p = 0.09$). Die Art der Leguminose zeigte keinen signifikanten Effekt.

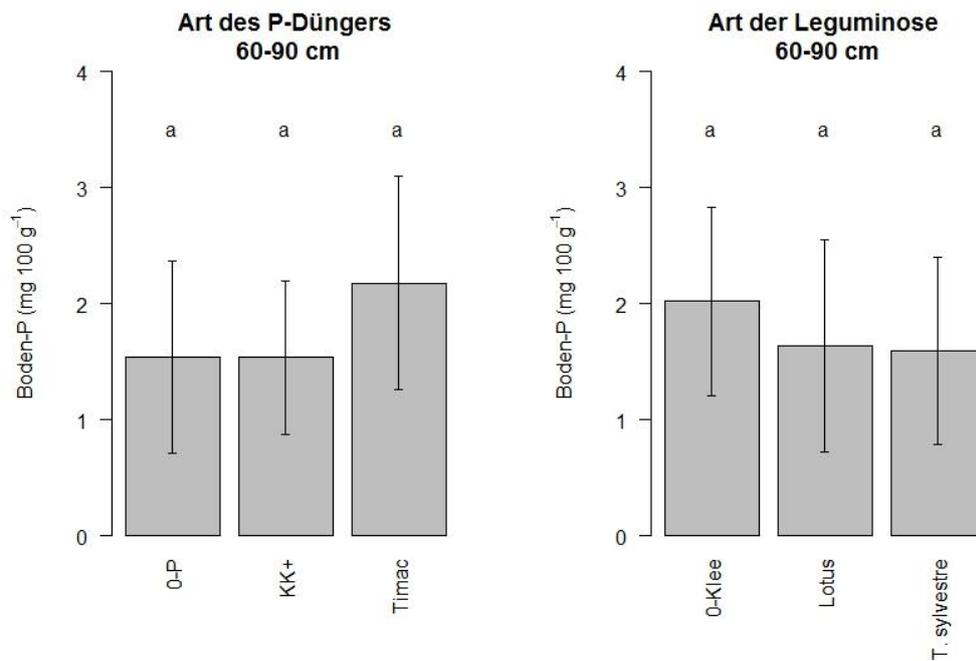


Abbildung 39: P_{DL} -Gehalte im April 2017 nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose (außer *T. repens giganteum*) in 60-90 cm Tiefe. Die Kleinbuchstaben zeigen die Ergebnisse des post hoc Tukey (HSD) Tests an: unterschiedliche Buchstaben entsprechen signifikanten Unterschieden ($p < 0.05$).

Die Boden- P_{DL} -Gehalte des konventionell bewirtschafteten Versuchsfeldes waren 2015 und 2016 höher als die des ökologisch bewirtschafteten Feldes in den gleichen Jahren. Sie waren im April 2016 höher als im April 2015. Dieser Trend war auch bei der mit P ungedüngten Variante zu beobachten, fiel hier aber deutlich schwächer aus als bei den mit P gedüngten Varianten. Die Art des P-Düngers ($p=0.000$) hatte an beiden Terminen einen signifikanten Einfluss auf die P-Gehalte, ebenfalls der Faktor Block ($p=0.000$). Am zweiten Termin erreichten alle bis auf die 0-P-Variante die Boden-P-Gehaltsklasse C. 0-P unterschied sich hinsichtlich der P_{DL} -Gehalte signifikant von den anderen Varianten. Die Leguminosen-Varianten zeigten keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Boden-P-Gehalte. Die Streuungen der P-Werte waren bei der konventionellen Fläche ebenfalls sehr hoch (Abbildung 40).

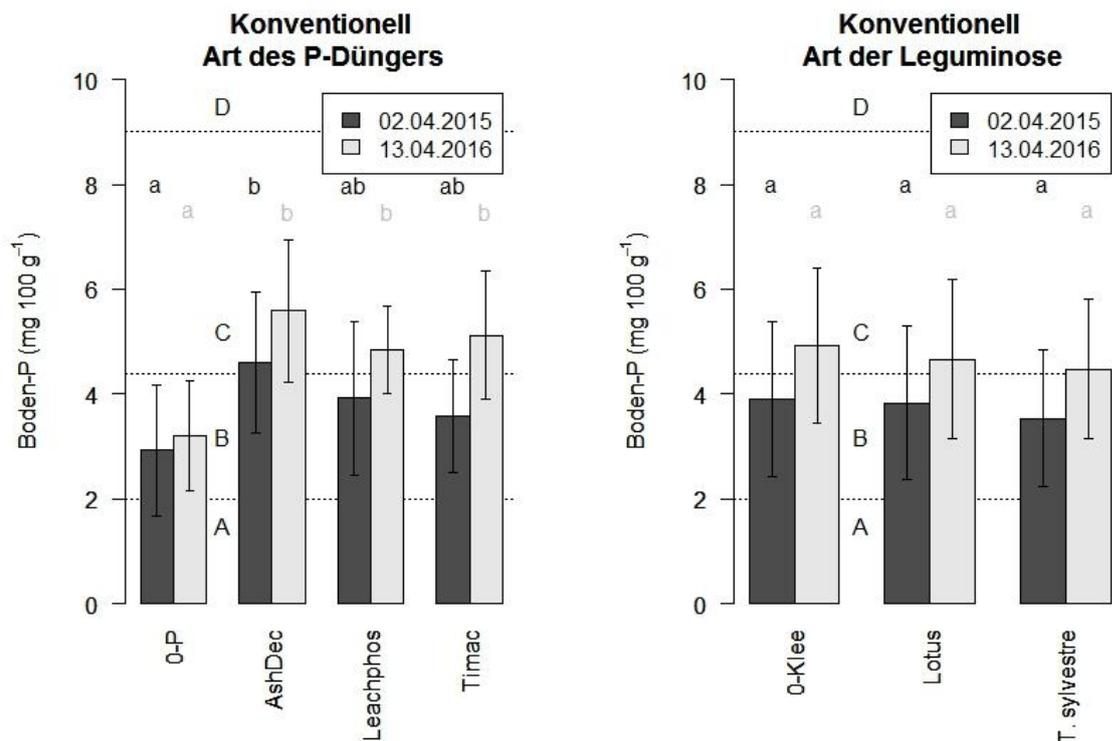


Abbildung 40: Boden- P_{DL} -Gehalte des konventionell bewirtschafteten Versuchsfeldes nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose (Mittelwert mit Standardabweichung). Die gestrichelten waagerechten Linien zeigen die Grenzen der Boden-P-Gehaltsklassen mit den entsprechenden Bezeichnungen (Majuskeln). Die Kleinbuchstaben zeigen die Ergebnisse des post hoc Tukey (HSD) Tests an: unterschiedliche Buchstaben entsprechen signifikanten Unterschieden ($p < 0.05$).

6.3.3.2 Magnesium

Der Magnesium-Gehalt im Boden des ökologischen Versuchsfeldes war von Termin zu Termin angestiegen und im Juni 2016 etwa doppelt so hoch wie noch im April des Jahres. Er erreicht die Gehaltsklasse D (Abbildung 41). Weder zwischen den P-Düngerarten, noch zwischen den Leguminosenarten gab es signifikante Unterschiede. Bei der 0-Klee-Variante war allerdings kein Anstieg von April 2015 zu April 2016 zu verzeichnen.

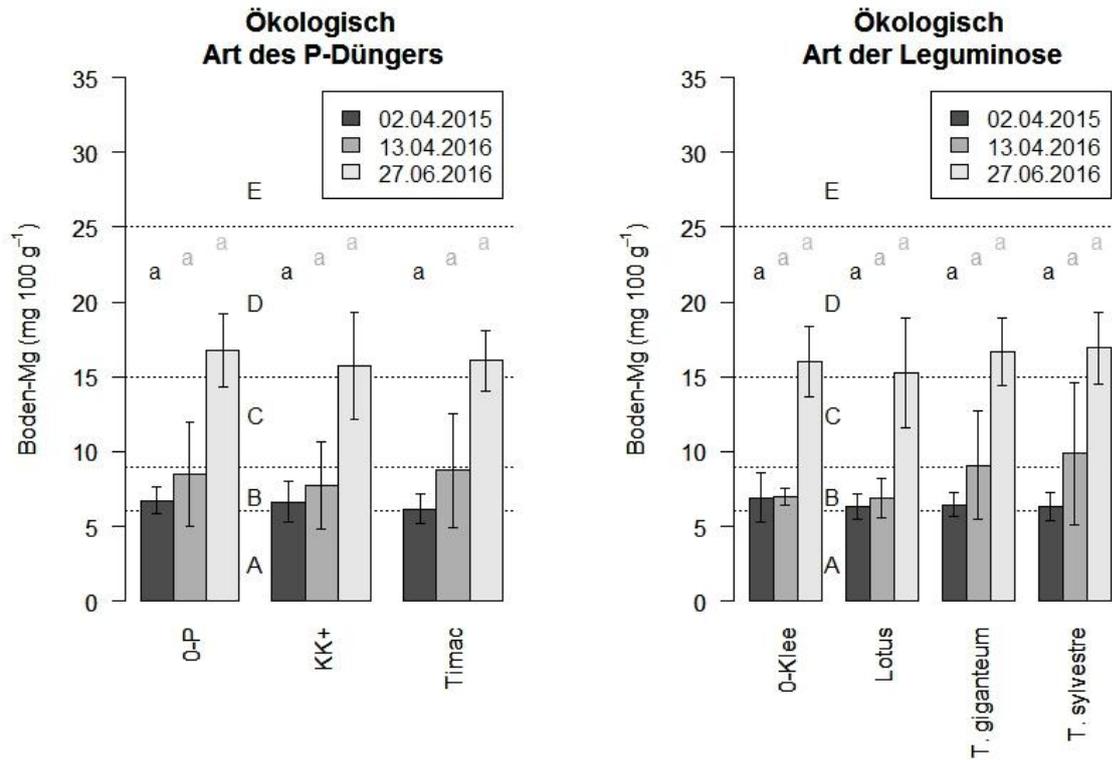


Abbildung 41: Boden-Mg_{DL}-Gehalte des ökologisch bewirtschafteten Versuchsfeldes nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose (Mittelwert mit Standardabweichung). Die gestrichelten waagerechten Linien zeigen die Grenzen der Boden-Mg-Gehaltsklassen mit den entsprechenden Bezeichnungen (Majuskeln). Die Kleinbuchstaben zeigen die Ergebnisse des post hoc Tukey (HSD) Tests an: unterschiedliche Buchstaben entsprechen signifikanten Unterschieden ($p < 0.05$).

Die Magnesium-Gehalte der konventionellen Versuchsfläche waren geringer als die der ökologischen Fläche. Sie lagen im April 2015 fast ausschließlich in der Gehaltsklasse A und erreichten im April 2016 nur knapp die Gehaltsklasse B (Abbildung 42). Weder die Art des P-Düngers noch die Art der Leguminose hatten einen signifikanten Effekt auf den Magnesium-Gehalt.

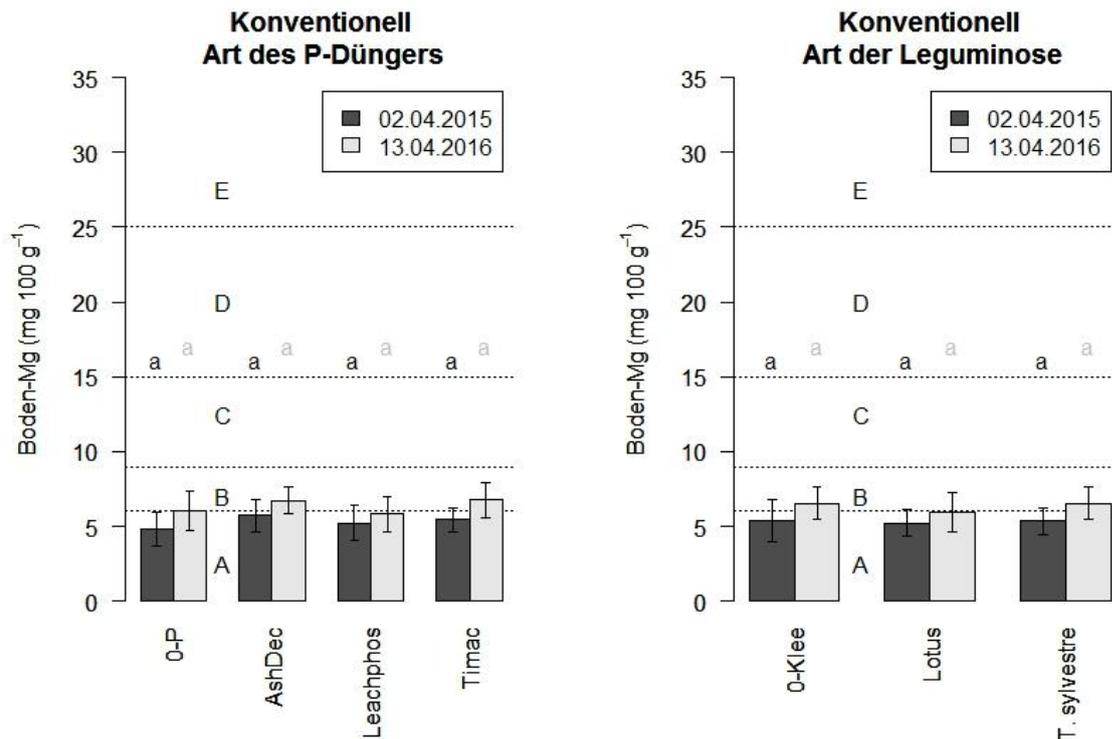


Abbildung 42: Boden-Mg_{DL}-Gehalte des konventionell bewirtschafteten Versuchsfeldes nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose (Mittelwert mit Standardabweichung). Die gestrichelten waagerechten Linien zeigen die Grenzen der Boden-Mg-Gehaltsklassen mit den entsprechenden Bezeichnungen (Majuskeln). Die Kleinbuchstaben zeigen die Ergebnisse des post hoc Tukey (HSD) Tests an: unterschiedliche Buchstaben entsprechen signifikanten Unterschieden ($p < 0.05$).

6.3.3.3 Kalium

Auch die Boden-Kalium-Gehalte auf dem ökologisch bewirtschafteten Versuchsfeld waren von Termin zu Termin angestiegen und lagen meist in der Gehaltsklasse B. Auf den mit Timac gedüngten Flächen waren sie etwas höher als auf den anderen P-Dünger-Varianten, wenn auch die Art des P-Düngers keinen Einfluss auf den K_{DL}-Gehalt hatte. Die Art der Leguminose hatte im April 2015 und im April 2016 keinen signifikanten Einfluss auf den K_{DL}-Gehalt, im Juni 2016 hingegen schon ($p=0.005$). Auf den 0-Klee-Flächen wurden an allen drei Terminen etwas höhere K-Gehalte als auf den anderen Flächen festgestellt. Im Juni 2016 war dieser Unterschied signifikant (Abbildung 43).

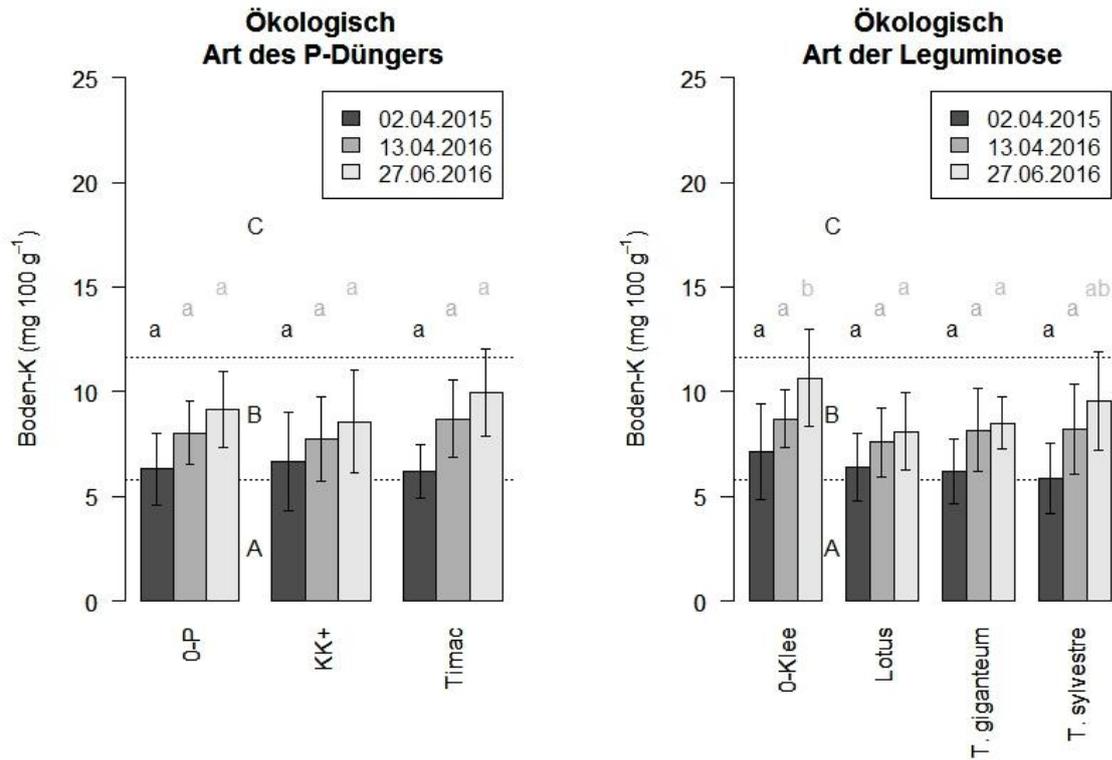


Abbildung 43: Boden-K_{DL}-Gehalte des ökologisch bewirtschafteten Versuchsfeldes nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose (Mittelwert mit Standardabweichung). Die gestrichelten waagerechten Linien zeigen die Grenzen der Boden-K-Gehaltsklassen mit den entsprechenden Bezeichnungen (Majuskeln). Die Kleinbuchstaben zeigen die Ergebnisse des post hoc Tukey (HSD) Tests an: unterschiedliche Buchstaben entsprechen signifikanten Unterschieden ($p < 0.05$).

Auf dem konventionellen Versuchsfeld waren die Kalium-Gehalte ähnlich hoch wie die auf dem ökologischen Feld (Abbildung 44). Sie waren im April 2016 auch deutlich höher als 2015. Während sich die P-Dünger-Varianten nicht signifikant unterschieden und keinen signifikanten Effekt auf den K-Gehalt hatten, zeigte die 0-Klee-Variante 2016 signifikant höhere K-Gehalte als *Lotus* und *T. giganteum*. Die Art der Leguminose hatte in dem Jahr einen signifikanten Einfluss auf den K-Gehalt ($p=0.03$).

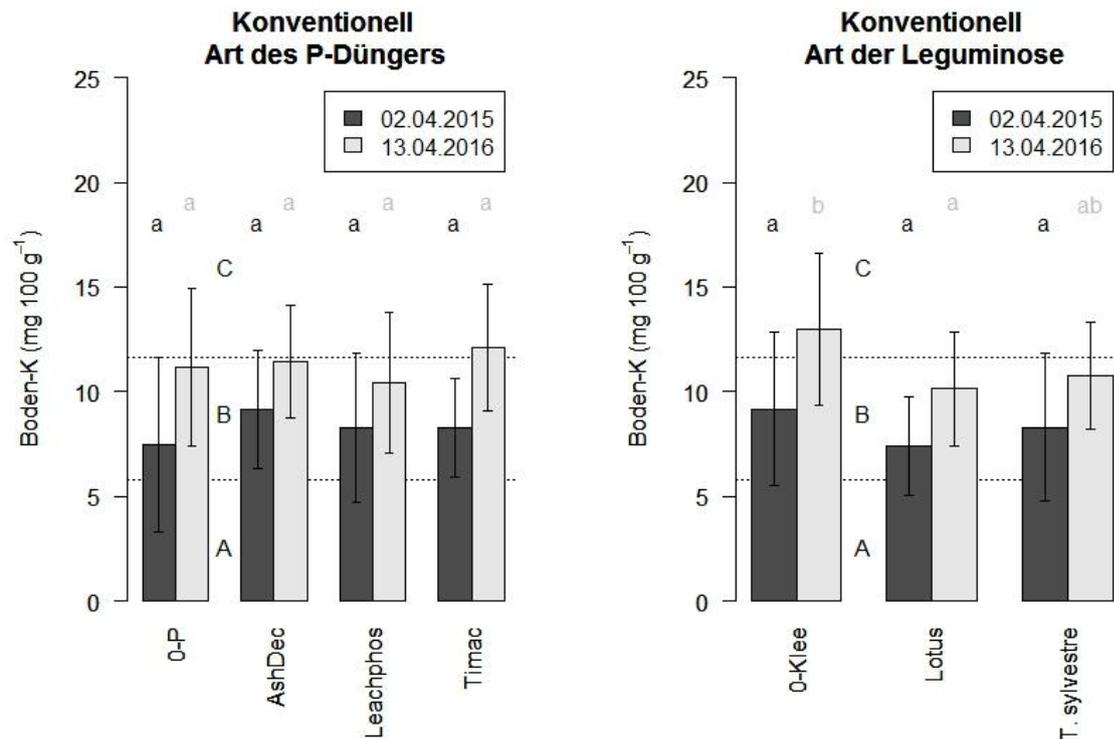


Abbildung 44: Boden-K_{Dt}-Gehalte des konventionell bewirtschafteten Versuchsfeldes nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose (Mittelwert mit Standardabweichung). Die gestrichelten waagerechten Linien zeigen die Grenzen der Boden-K-Gehaltsklassen mit den entsprechenden Bezeichnungen (Majuskeln). Die Kleinbuchstaben zeigen die Ergebnisse des post hoc Tukey (HSD) Tests an: unterschiedliche Buchstaben entsprechen signifikanten Unterschieden ($p < 0.05$).

6.4 Diskussion

6.4.1 Unterscheiden sich die eingesetzten P-Dünger hinsichtlich ihrer Düngewirkung? Sind P-Reyclingdünger in ihrer Ertragswirkung mit einem für den Ökolandbau zugelassenen P-Dünger vergleichbar?

In ihrer Ertragswirkung ($\text{dt ha}^{-1} \text{ TM}$) unterschieden sich die Dünger-Varianten weder auf dem ökologisch noch auf dem konventionell bewirtschafteten Versuchsfeld. Auf dem konventionellen Feld hatte lediglich die Wechselwirkung von Art des P-Düngers und Art der Leguminose einen leichten Effekt beim ersten Schnitt 2015 ($p=0.098$) und beim zweiten Schnitt 2015 einen signifikanten Effekt ($p=0.030$). Beim zweiten Schnitt 2016 gab es dort auch einen leichten Effekt des Faktors Art des P-Düngers ($p=0.071$) und auch der Wechselwirkung der Faktoren Art des P-Düngers und Art der Leguminose ($p=0.098$).

Beim Betrachten der Wirkung der P-Dünger innerhalb der Leguminosen-Varianten konnten zwar ein paar signifikante Unterschiede zwischen P-Dünger-Varianten festgestellt werden, doch waren diese nur bei einzelnen wenigen Schnitten zu beobachten und nicht zu verallgemeinern. Auffällig ist, dass in einigen Fällen selbst die ungedüngte Variante geringfügig höhere Erträge erzielte als die gedüngten Parzellen.

Offenbar wirkten am Versuchsstandort neben dem P weitere essentielle Faktoren wachstumslimitierend, was hier insbesondere die Wasserversorgung betraf. Dennoch sind

Tendenzen der P-Düngewirkung sichtbar. Zum Berichtszeitpunkt lagen noch nicht alle inhaltsstofflichen Labordaten vor. Wir gehen auf der Grundlage der vorliegenden Analysen davon aus, dass sich die Düngeeffekte auf das Prüfmerkmal Proteinertrag deutlicher ausprägen.

In einem Freiland-Topfversuch in Braunschweig, Deutschland, konnten Siebers et al. (2014) hingegen in einem mit P gut versorgten Boden (Gehaltsklasse E) höhere Erträge von Salat, Kartoffeln und Weizen in den mit Knochenkohle (KK) gedüngten Varianten nachweisen als in den mit Triple-Superphosphat (TSP) bzw. Diammonium-Phosphat gedüngten Varianten. Bei dem mit P unterversorgtem Boden (Gehaltsklasse B) schnitt die Knochenkohle bei dem Versuch allerdings schlechter ab als die beiden anderen Dünger. Auch für Wintergerste in einem Freilandversuch von Ragazzo (2014) wurden bei einem Boden der P-Gehaltsklasse B mit KK+ vergleichbar hohe Erträge wie mit TSP erzielt. Bei der Gehaltsklasse C überstiegen die Erträge der mit KK+ gedüngten Variante die der mit TSP gedüngten Variante sogar. Von der KK+ ist demnach bekannt, dass sie ihre Düngewirkung insbesondere bei höheren P-Boden-Reservoirs zu entfalten vermag, was im Gegensatz zu den Prüfbedingungen des Versuchsfelds stand.

Möller (2017) schlussfolgerte, dass die Eignung von P-Recyclingdüngern vor allem vom Boden-pH abhänge. Während auf sauren Böden (pH <5,5 bis 6,0) befriedigende bis sehr gute Ergebnisse erzielt würden, wären die Ansprüche von neutralen bis alkalischen Böden deutlich höher. Die untersuchten Ca-Phosphate und behandelte Aschen zeigten eine relativ hohe Düngewirkung. Die Biokohlen erzielten eine ähnlich hohe mittlere relative P-Dünger-effizienz wie Rohphosphat (Möller 2017). Die Versuchsfelder dieses Projektes hatten schwach saure Böden, so dass demnach eigentlich eine deutlichere Düngewirkung der untersuchten Recyclingdünger zu erwarten gewesen wäre.

Auf der Ökofläche hatte die Art des P-Düngers auf den Anteil der Leguminosen ($p=0.005$) und der Gräser ($p=0.005$) nur beim ersten Schnitt 2015 einen signifikanten Einfluss und nur auf den Gräseranteil beim zweiten Schnitt 2015 ($p=0.062$). Ansonsten zeigte sich auch hierbei kein deutlicher Effekt der P-Düngevarianten. Der Einfluss der Dünge-Varianten auf die Rohproteingehalte und weitere nutritiver Qualitätsparameter soll in einer geplanten Veröffentlichung in einem peer-reviewed journal intensiver beleuchtet werden. Zum Zeitpunkt der Bearbeitung dieses Berichtes waren die Daten dazu noch nicht vollständig.

Bei Fragen der Düngewirkung spielt auch die P-Verfügbarkeit im Boden eine bedeutende Rolle. Auch wenn die Varianzanalyse mit anschließendem post hoc-Test keine signifikanten Effekte der P-Dünge-Varianten hinsichtlich der Erträge zeigte, so erzielte die KK+-Variante auf dem Ökofeld beim zweiten und dritten Schnitt 2015 und 2016 höhere Erträge als die Timac-Variante. Dies könnte auf eine verzögerte Düngewirkung der Knochenkohle hinweisen. Die Timac-Parzellen zeigten auf der Ökofläche die signifikant höchsten P_{DL} -Gehalte in 0-10 cm (2015 und 2016) bzw. 0-30 cm (2017) vor bzw. auch nach dem ersten Schnitt. Der P_{DL} -Gehalt der Timac-Varianten war auch noch in 60-90 cm Tiefe höher, wenn auch nicht signifikant, als der P_{DL} -Gehalt der anderen Varianten auf dem Ökofeld. Dies könnte auf eine präferentielle Verlagerung von DL-löslichem Phosphor durch Makroporenfluss hinweisen. Auf dem konventionellen Feld konnten alle P-Dünger die P_{DL} -Gehalte von 2015 zu 2016 erhöhen, wobei AshDec die höchsten Gehalte aufwies. Hinsichtlich der Mg-oder K-Gehalte gab es auf beiden Feldern keine Unterschiede zwischen den Dünger-Varianten.

6.4.2 Stellt der Gewöhnliche Hornklee (*Lotus corniculatus*) auf trockenen, sandigen Standorten eine Alternative zum Weißklee (*Trifolium repens*) dar?

Die Art der Leguminose hatte 2015 und 2016 auf beiden Versuchsfeldern bei allen drei Schnitten einen signifikanten Effekt auf den Ertrag. Während die Erträge von *Lotus corniculatus* im ersten Hauptnutzungsjahr 2015 meist vergleichbar mit denen der *Trifolium*-Varianten waren, erzielte *L. corniculatus* im zweiten Hauptnutzungsjahr 2016 bei allen drei Schnitten auf beiden Feldern die höchsten Erträge aller Leguminosen-Varianten. Besonders hoch waren die Erträge der zweiten Ernte. Auch hinsichtlich der Leguminosenanteile gab es einen deutlichen Effekt der Leguminosen-Varianten. Die *Lotus*-Parzellen wiesen ab dem zweiten Schnitt 2015 sowohl auf der ökologischen als auch der konventionellen Versuchsfläche fast ausnahmslos die höchsten Leguminosenanteile (z.T. dreimal so hoch) auf. Der Gewöhnliche Hornklee erwies sich somit als eine sehr gute Alternative zum Weißklee auf den untersuchten sandigen, trockenen Standorten.

Auch bei einem Feldversuch von Davis (1991) in Neuseeland, bei dem die Ertragsreaktion von sieben Dauergrünland-Leguminosenarten auf verschiedene P-Düngermengen untersucht wurde, erzielte *L. corniculatus* bei der zweiten Ernte höhere Erträge als *T. repens* und benötigte weniger P (kg ha^{-1}), um 90% des maximalen Ertrags zu erreichen. Der dortige Boden wurde als leicht saurer, P-armer sandiger Lehm charakterisiert und ist somit mit unserem Versuchsstandort vergleichbar. In einem Topfversuch in Chile stellten Castillo et al. (2013) eine große P-Nutzungseffizienz von *L. corniculatus* bei kleinem P-Angebot fest, das heißt, dass relativ viel Biomasse pro Einheit absorbierten P gebildet werden kann.

6.4.3 Sind Unterschiede zwischen einer kleinblättrigen und großblättrigen Weißkleeart hinsichtlich ihrer Etablierung und Ertragswirkung feststellbar?

Zwischen *T. repens sylvestre* (kleinblättriger Weißklee) und *T. repens giganteum* (großblättriger Weißklee) war hinsichtlich der Ertragswirkung kein Unterschied feststellbar. Lediglich beim ersten Schnitt 2015 erzielte *T. giganteum* einen signifikant höheren Ertrag als *T. sylvestre*. Der Leguminosenanteil der beiden Weißklee-Varianten war auch über alle Schnitte nicht signifikant unterschiedlich, so dass auch hinsichtlich ihrer Etablierung kein Unterschied zu erkennen war. Acuña & Inostroza (2013) hingegen stellten bei ihrem Feldversuch in Chile durchaus Unterschiede zwischen Weißkleesorten und -populationen hinsichtlich ihrer Ertragsleistung in Abhängigkeit vom P-Angebot (niedrig bzw. hoch) fest.

6.4.4 Kann die Applikation von Knochenkohle, einem P-Recyclingdünger, eine kurzfristig messbare Erhöhung des pflanzenverfügbaren Phosphors für die Grünlandleguminosen bewirken?

Im April 2016 konnte bei der KK+-Variante keine Erhöhung der P-Gehalte im Boden (0-10 cm) gegenüber April 2015 festgestellt werden. Auch im Vergleich zur 0-P-Variante war hinsichtlich der P_{DL} -Gehalte in beiden Jahren kein signifikanter Unterschied feststellbar. Eine erneute Boden-Probenahme im Juni 2016 nach der P-Düngung und nach dem ersten Schnitt ergab eine weitere Abnahme des Boden- P_{DL} -Gehaltes. Es ist zu vermuten, dass die P-Entzüge des Aufwuchses so hoch

waren, dass es zu einer Abnahme des pflanzenverfügbaren Phosphors im Boden kam. Die erneute Boden-Analyse im Frühjahr 2017 (0-30 cm) ergab, dass die KK+-Variante zwar höhere P_{DL} -Gehalte als die 0-P-Variante aufwies, sich diese aber nicht signifikant voneinander unterschieden. Die Werte von 2017 liegen etwa auf dem gleichen Niveau wie 2016, wobei sie aufgrund der unterschiedlichen Probenahmen (unterschiedliche Tiefen) nicht direkt miteinander verglichen werden können. Da die Art des P-Düngers außerdem kaum Effekte hinsichtlich der Ertragswirkung zeigte, sind anhand der vorliegenden Daten keine eindeutigen Aussagen bezüglich der kurzfristigen Wirkung der Knochenkohle auf den pflanzenverfügbaren Phosphor zu treffen.

7 Gefäßversuch

7.1 Versuchsfragen

In dem im Projekt durchgeführten Gefäßversuch wurden einige der Versuchsfragen des Feldversuches unter kontrollierten Gewächshausbedingungen zusätzlich untersucht. Versuchsfragen des Gefäßversuchs waren folgende:

1. Kann die Knochenkohle den Etablierungserfolg von Weißklee (*Trifolium repens*) und Gewöhnlichem Hornklee (*Lotus corniculatus*) verbessern (z.B. bei einer Nachsaat)?
2. Sind Wechselwirkungen der P-Versorgung mit der Konkurrenzsituation (Lichtkonkurrenz) feststellbar?

7.2 Material und Methoden

7.2.1 Versuchsdesign

Der Gefäßversuch wurde als dreifaktorielle Blockanlage mit vier Wiederholungen in einem Gewächshaus der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät in Rostock realisiert und im April 2016 angelegt. Die verwendeten Töpfe hatten jeweils ein Volumen von 4 l und einen oberen Kreisdurchmesser von 20 cm und einer Höhe von 16,5 cm. Die Faktoren des Versuchs waren Bodensubstrat, Art und Lichtkonkurrenz sowie P-Versorgung (Tabelle 15).

Tabelle 15: Faktoren und Faktorstufen des Gefäßversuches

Faktor	Stufe (mit Variantennamen)
Bodensubstrat	Organisch (Org) Mineralisch (Min)
Art und Lichtkonkurrenz	<i>Trifolium repens</i> (TR) <i>Lotus corniculatus</i> (LC) <i>Festulolium braunii</i> (FL) <i>T. repens</i> + <i>F. braunii</i> (TR+FL) <i>L. corniculatus</i> + <i>F. braunii</i> (LC+FL)
P-Versorgung	Kein P-Dünger (0-P) Knochenkohle+S (KK+)

Das organische Bodenmaterial stammte vom Standort 5 der Erhebungsflächen (Walkendorf, degradiertes Niedermoor). Das mineralische Bodenmaterial stammte vom ökologischen Versuchsfeld.

Es wurden die zwei Leguminosenarten des Feldversuches, *Trifolium repens sylvestre* (Sorte Rivendel) und *Lotus corniculatus* (Sorte Rocco) sowie der Wiesenschweidel (*Festulolium braunii*) als starker Lichtkonkurrent für Leguminosen etabliert, jeweils in Reinsaat und in Kombination von Leguminosenart und Wiesenschweidel. Eine Hälfte der Töpfe wurden zu Beginn des Versuchs mit der auch im Feldversuch eingesetzten, mit Schwefel versetzten Knochenkohle der Professur Bodenkunde der Universität Rostock gedüngt. Dies geschah wie im „Zuge der Bodenbearbeitung“, also nicht als Kopfdüngung: Der Dünger wurde mit einem Teil des Bodensubstrats vermischt und anschließend als obere Bodenschicht (4-5 cm) in die Gefäße gefüllt. Die Ausbringungsmenge betrug dabei, ebenfalls wie im Feldversuch, 40 kg P ha^{-1} . Die andere Hälfte der Töpfe blieb während des Versuchs ungedüngt. Damit ergaben sich insgesamt 20 Varianten. Es erfolgte eine volle Randomisierung der Varianten in den Blöcken 2 bis 4. Der erste Block wurde für Anschauungszwecke nach Varianten sortiert (Abbildung 45). Nach dem ersten Schnitt wurden die Töpfe in allen Blöcken erneut randomisiert umgestellt, um standortspezifische Unterschiede (Schatten, Licht) im Gewächshaus möglichst vollständig auszuschließen (Abbildung 47 im Anhang).

Gefäßversuch

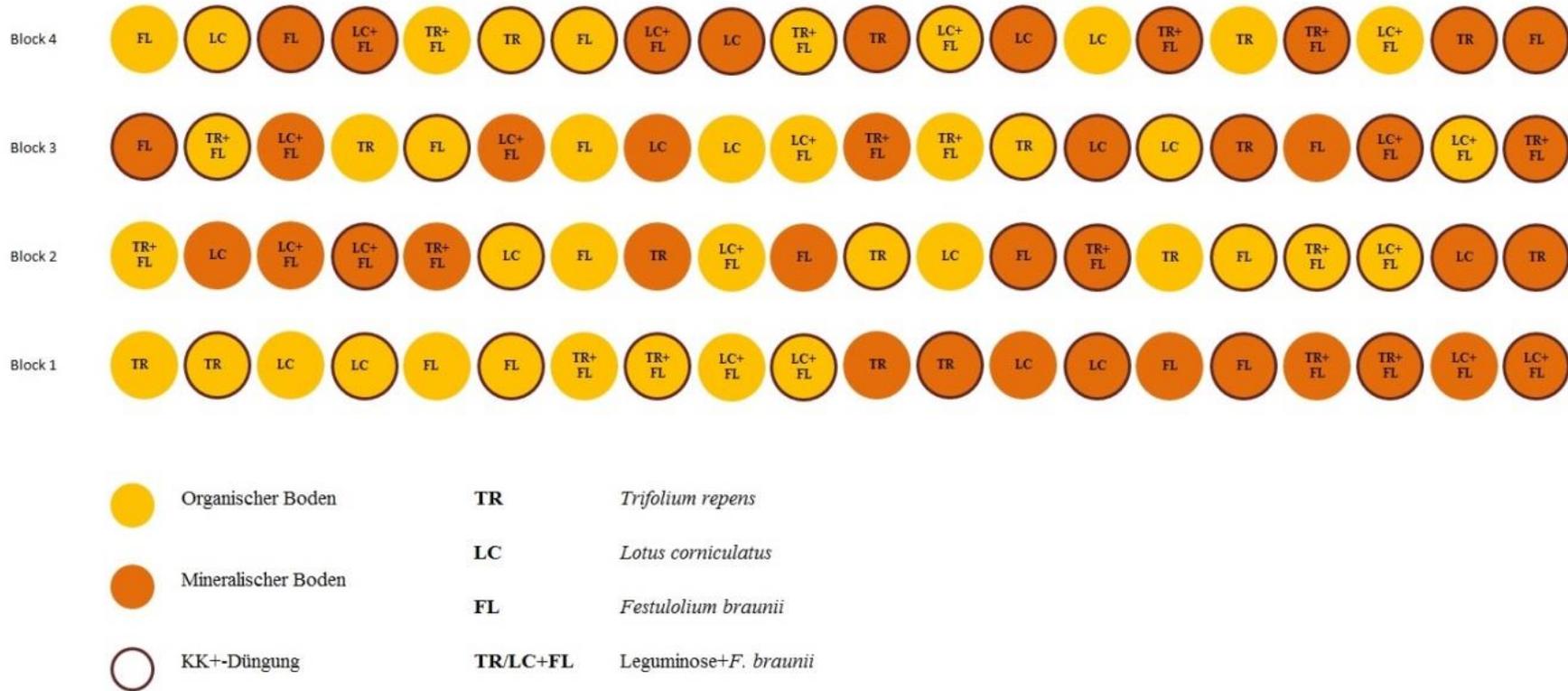


Abbildung 45: Versuchsplan des Gefäßversuches, 1. Randomisierung bis 1. Schnitt.

Die Pflanzen wurden in einem Raster von 5 Pflanzen x 5 Pflanzen am 14.04.2016 ausgesät (Abbildung 46). Dabei wurden in ein Saatloch drei Samen gegeben, um die Auflaufchance zu erhöhen. Später wurden die etablierten Jungpflanzen auf eine Pflanze pro Saatloch reduziert. Die Bewässerung erfolgte während der gesamten Versuchslaufzeit manuell und nach Bedarf.

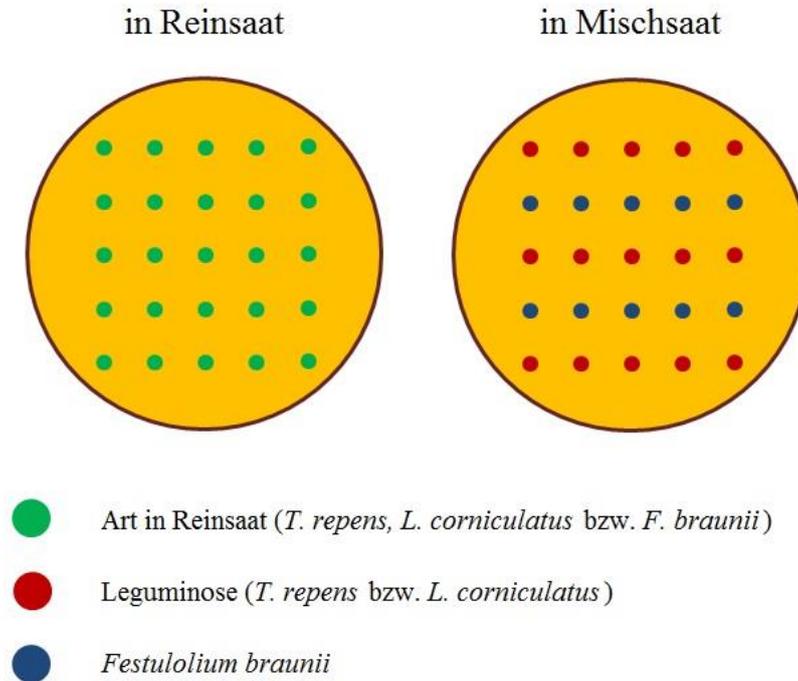


Abbildung 46: Aussaatraster des Gefäßversuches

7.2.2 Datenerhebung und -auswertung

Am 02.05.2016 und am 19.05.2016 erfolgten Bonituren des Gefäßversuches, bei welcher die aufgelaufenen Pflanzen je Topf erfasst wurden. Es konnten drei Schnitte realisiert werden, welche am 27.06.2016, 02.08.2016 und am 20.09.2016 durchgeführt wurden. Dabei wurden die Pflanzen auf 5 cm zurückgeschnitten und der komplette Aufwuchs als Probe gewonnen. Bei Töpfen mit Konkurrenzbedingungen durch Mischsaat wurden die jeweilige Leguminosenart und *Festulolium* in getrennte Probetüten sortiert und als zwei Proben behandelt. Die Proben wurden frisch gewogen, getrocknet und zurückgewogen.

Die statistischen Analysen und Abbildungen wurden mit R (Version 3.3.1, R Core Development Team, 2016) realisiert. Mithilfe einer Varianzanalyse (ANOVA) wurde geprüft, ob die Faktoren Bodensubstrat, Art und Lichtkonkurrenz sowie P-Versorgung, die Wechselwirkung zwischen diesen Faktoren wie auch der Faktor Block einen Effekt auf die Etablierung haben. Die Faktoren, die keinen Effekt hatten, wurden aus dem Modell entfernt. Anschließend wurde ein post hoc Test (Tukey HSD) durchgeführt, um signifikante Unterschiede zwischen den Faktorstufen aufzudecken, wo möglich mit dem Befehl *glht* des packages *multcomp* (Hothorn et al. 2008).

7.3 Ergebnisse

7.3.1 Unter Einbeziehung beider Bodensubstrate

Der Faktor P-Versorgung und der Faktor Block hatten keinen signifikanten Effekt auf die Etablierung der Pflanzen im Gefäßversuch. Die anderen Faktoren und die Wechselwirkungen aller drei Faktoren zeigten einen signifikanten Effekt (Tabelle 16).

Tabelle 16: Ergebnisse der ANOVA zur Untersuchung der Effekte der untersuchten Faktoren auf die Etablierung der Pflanzen im Gefäßversuch, Signifikanzniveaus: 0 „*“; 0.001 „**“; 0.01 „*“; 0.05 „.“; 0.1=“ “**

Faktor	p-Wert
Bodensubstrat	0.018 *
Art und Lichtkonkurrenz	0.000 ***
P-Versorgung	0.615
Bodensubstrat:Art und Lichtkonkurrenz	0.024 *
Bodensubstrat:P-Versorgung	0.000 ***
Art und Lichtkonkurrenz:P-Versorgung	0.011 *

Das organische und mineralische Bodensubstrat unterschieden sich signifikant hinsichtlich der Etablierung. Die Gefäße mit dem mineralischen Boden hatten mit im Mittel 45% einen höheren Etablierungseffekt als die mit dem organischen Boden mit im Mittel 39% etablierter Pflanzen. *Festulolium* allein (FL) etablierte sich signifikant am schlechtesten, die Leguminosenarten *T. repens* (TR) und *L. corniculatus* allein (LC) am besten, wobei es zwischen den beiden Arten keinen signifikanten Unterschied gab (Tabelle 17).

Tabelle 17: Etablierungserfolg der Pflanzen (%) im Gefäßversuch nach Bodensubstrat sowie Art und Lichtkonkurrenz. Angegeben sind Mittelwerte±Standardabweichungen. Signifikante Unterschiede zwischen den Faktorstufen von Art und Lichtkonkurrenz sind mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben markiert. Signifikante Unterschiede zwischen den Faktorstufen von Bodensubstrat sind mit unterschiedlichen Großbuchstaben markiert.

	FL	LC	LC+FL	TR	TR+FL
mineralisch	29±12 a B	50±9 b A	47±19 b A	48±28 b A	51±12 b A
organisch	12±8 a A	52±19 b A	36±8 b A	59±10 b A	43±14 b A

Die Etablierung aller Einzelpflanzen gelang bei *Festulolium* (FL), *L. corniculatus* (LC) und *T. repens* mit *Festulolium* (TR+FL) mit KK+ etwas, wenn auch nicht signifikant, besser. Bei *L. corniculatus* mit *Festulolium* (LC+FL) und *T. repens* allein war die Etablierung ohne P-Versorgung besser (Tabelle 18).

Tabelle 18: Etablierungserfolg der Pflanzen (%) im Gefäßversuch nach P-Versorgung sowie Art und Lichtkonkurrenz. Angegeben sind Mittelwerte±Standardabweichungen. Signifikante Unterschiede zwischen den Faktorstufen von Art und Lichtkonkurrenz sind mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben markiert. Signifikante Unterschiede zwischen den Faktorstufen der P-Versorgung sind mit unterschiedlichen Großbuchstaben markiert.

	FL	LC	LC+FL	TR	TR+FL
0-P	18±17 a A	46±12 b A	46±16 b A	60±16 b A	46±17 b A
KK+	23±9 a A	56±16 b A	37±14 b A	46±18 b A	48±10 b A

Die Etablierung der Pflanzen war ohne Düngung im mineralischen Boden besser, mit Düngung im organischen Boden (Tabelle 19).

Gefäßversuch

Tabelle 19: Etablierungserfolg der Pflanzen (%) im Gefäßversuch nach P-Versorgung sowie Bodensubstrat. Angegeben sind Mittelwerte±Standardabweichungen. Signifikante Unterschiede zwischen den Faktorstufen von Bodensubstrat sind mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben markiert. Signifikante Unterschiede zwischen den Faktorstufen der P-Versorgung sind mit unterschiedlichen Großbuchstaben markiert.

	Mineralisches Bodensubstrat	Organisches Bodensubstrat
0-P	54±17 b B	31±16 a A
KK+	36±13 a A	48±19 b B

Beim Prüfen der Effekte auf die Etablierung der Leguminosen-Einzelpflanzen im Gefäßversuch ergaben sich für Art und Lichtkonkurrenz sowie für die Wechselwirkungen Signifikanzen (Tabelle 20).

Tabelle 20: Ergebnisse der ANOVA zur Untersuchung der Effekte der untersuchten Faktoren auf die Etablierung der Leguminosen im Gefäßversuch, Signifikanzniveaus: 0 „*“; 0.001 „**“; 0.01“*“; 0.05 „.“; 0.1=“ “**

Faktor	p-Wert
Bodensubstrat	0.238
Art und Lichtkonkurrenz	0.000 ***
P-Versorgung	0.277
Bodensubstrat:Art und Lichtkonkurrenz	0.015 *
Bodensubstrat: P-Versorgung	0.000 ***
Art und Lichtkonkurrenz: P-Versorgung	0.003 **

Zwischen *T. repens* einzeln (TR) und *T. repens* zusammen mit *Festulolium* (TR+FL) sowie *L. corniculatus* einzeln (LC) und *L. corniculatus* zusammen mit *Festulolium* (LC+FL) gab es keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Etablierung der Leguminosen-Einzelpflanzen. Bei LC+FL auf organischem Boden war die Etablierung von *L. corniculatus* signifikant schlechter als auf dem mineralischen Boden (Tabelle 21).

Tabelle 21: Etablierungserfolg der Leguminosen (%) im Gefäßversuch nach Bodensubstrat sowie Art und Lichtkonkurrenz. Angegeben sind Mittelwerte±Standardabweichungen. Signifikante Unterschiede zwischen den Faktorstufen von Art und Lichtkonkurrenz sind mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben markiert. Signifikante Unterschiede zwischen den Faktorstufen von Bodensubstrat sind mit unterschiedlichen Großbuchstaben markiert.

	LC	LC+FL	TR	TR+FL
mineralisch	50±9 a A	64±27 a B	48±28 a A	64±17 a A
organisch	52±19 a A	39±21 a A	59±10 a A	58±25 a A

Die Etablierung von *L. corniculatus* allein war im Mittel bei der KK+-Variante besser. Zusammen mit *Festulolium* (LC+FL) etablierte sich *L. corniculatus* allerdings bei der 0-P-Variante besser. Bei *T. repens* war es umgekehrt der Fall. Die beste Etablierung der Leguminosen wurde mit der Kombination KK+ und TR+FL erreicht (Tabelle 22).

Tabelle 22: Etablierungserfolg der Leguminosen (%) im Gefäßversuch nach P-Versorgung sowie Art und Lichtkonkurrenz. Angegeben sind Mittelwerte±Standardabweichungen. Signifikante Unterschiede zwischen den Faktorstufen von Art und Lichtkonkurrenz sind mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben markiert. Signifikante Unterschiede zwischen den Faktorstufen der P-Versorgung sind mit unterschiedlichen Großbuchstaben markiert.

	LC	LC+FL	TR	TR+FL
0-P	46±12 a A	61±27 a A	60±16 a A	55±23 a A
KK+	56±16 a A	42±25 a A	46±18 a A	67±19 b A

Die Etablierung der Leguminosen war ebenfalls wie bei der Etablierung aller Einzelpflanzen ohne Düngung im mineralischen Boden besser, mit Düngung im organischen Boden (Tabelle 23).

Tabelle 23: Etablierungserfolg der Leguminosen (%) im Gefäßversuch nach P-Versorgung sowie Bodensubstrat. Angegeben sind Mittelwerte±Standardabweichungen. Signifikante Unterschiede zwischen den Faktorstufen von Bodensubstrat sind mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben markiert. Signifikante Unterschiede zwischen den Faktorstufen der P-Versorgung sind mit unterschiedlichen Großbuchstaben markiert.

	Mineralisches Bodensubstrat	Organisches Bodensubstrat
0-P	57±32 b B	34±21 a A
KK+	34±24 a A	50±32 b B

7.3.2 Innerhalb der einzelnen Bodensubstrate

Innerhalb der Variante mit organischem Bodensubstrat konnte die Etablierung aller Faktorstufen von Art und Lichtkonkurrenz mit der P-Düngung deutlich verbessert werden. Bei *L. corniculatus* und *T. repens* mit *Festulolium* war die Verbesserung signifikant (Tabelle 24 und Tabelle 25).

Tabelle 24: Etablierungserfolg der Pflanzen (%) im organischen Bodensubstrat nach P-Versorgung sowie Art und Lichtkonkurrenz. Angegeben sind Mittelwerte±Standardabweichungen. Signifikante Unterschiede zwischen den Faktorstufen von Art und Lichtkonkurrenz sind mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben markiert. Signifikante Unterschiede zwischen den Faktorstufen der P-Versorgung sind mit unterschiedlichen Großbuchstaben markiert.

	FL	LC	LC+FL	TR	TR+FL
0-P	7±9 a A	37±10 bc A	29±5 b A	58±9 12c A	32±7 b A
KK+	17±2a A	67±12 c B	42±2 b A	59±8 bc A	53±11 bc B

Tabelle 25: Etablierungserfolg der Leguminosen (%) im organischen Bodensubstrat nach P-Versorgung sowie Art und Lichtkonkurrenz. Angegeben sind Mittelwerte±Standardabweichungen. Signifikante Unterschiede zwischen den Faktorstufen von Art und Lichtkonkurrenz sind mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben markiert. Signifikante Unterschiede zwischen den Faktorstufen der P-Versorgung sind mit unterschiedlichen Großbuchstaben markiert.

	LC	LC+FL	TR	TR+FL
0-P	37±10 a A	37±16 a A	58±12 b A	37±4 a A
KK+	67±12 ab B	41±28 a A	59±8 ab A	80±14 b B

Innerhalb der Variante mit mineralischem Bodensubstrat war die Etablierung der Varianten mit Leguminosen mit der P-Düngung schlechter als ohne Düngung. Diese Verschlechterung der Etablierung aller Pflanzen und nur der Leguminosen war bei LC+FL und TR signifikant (Tabelle 26 und Tabelle 27).

Tabelle 26: Etablierungserfolg der Pflanzen (%) im mineralischen Bodensubstrat nach P-Versorgung sowie Art und Lichtkonkurrenz. Angegeben sind Mittelwerte±Standardabweichungen. Signifikante Unterschiede zwischen den Faktorstufen von Art und Lichtkonkurrenz sind mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben markiert. Signifikante Unterschiede zwischen den Faktorstufen der P-Versorgung sind mit unterschiedlichen Großbuchstaben markiert.

	FL	LC	LC+FL	TR	TR+FL
0-P	29±16 a A	55±5 b A	59±2 b B	72±16 b B	59±11 b A
KK+	29±9 a A	45±10 a A	31±19 a A	33±14 a A	42±5 a A

Tabelle 27: Etablierungserfolg der Leguminosen (%) im mineralischen Bodensubstrat nach P-Versorgung sowie Art und Lichtkonkurrenz. Angegeben sind Mittelwerte±Standardabweichungen. Signifikante Unterschiede zwischen den Faktorstufen von Art und Lichtkonkurrenz sind mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben markiert. Signifikante Unterschiede zwischen den Faktorstufen der P-Versorgung sind mit unterschiedlichen Großbuchstaben markiert.

	LC	LC+FL	TR	TR+FL
0-P	55±5 a A	81±11 b B	72±16 ab B	74±17 ab A
KK+	45±10 b A	42±26 b A	33±14 a A	54±12 b A

7.4 Diskussion

7.4.1 Kann die Knochenkohle den Etablierungserfolg von Weißklee (*Trifolium repens*) und Gewöhnlichem Hornklee (*Lotus corniculatus*) verbessern (z.B. bei einer Nachsaat)?

Wenngleich die P-Versorgung allein keinen Effekt auf die Etablierung aller Einzelpflanzen sowie auf die Etablierung der Leguminosen hatte, so zeigte aber die Wechselwirkung des Faktors P-Versorgung und des Faktors Art und Lichtkonkurrenz jeweils einen signifikanten Einfluss.

Die Etablierung von *L. corniculatus* war bei der KK+-Variante besser. Die Etablierung von *L. corniculatus* der Variante mit *Festulolium* gelang allerdings in den ungedüngten Töpfen besser. Bei *T. repens* war es andersherum.

Das Bodensubstrat hatte einen signifikanten Effekt auf die Etablierung, gerade in Kombination mit der P-Versorgung. Die Kombination aus Düngung mit KK+ und organischem Bodensubstrat war hinsichtlich der Etablierung erfolgreicher als die Kombination aus Düngung und mineralischem Bodensubstrat. Das Vermengen des Düngers mit dem mineralischen Boden war im Gefäßversuch nicht zufriedenstellend erfolgt. Der mineralische Boden verdichtete sich danach durch Verschlammung im Zuge des Bewässerns deutlich stärker als der mineralische Boden ohne die vorherige Vermengung mit der Knochenkohle. Es ist daher zu vermuten, dass dies der Grund für die schlechtere Etablierung der Pflanzen bei der Kombination aus mineralischem Boden und Düngung war und nicht das Bodensubstrat selbst. Eine Verbesserung der Etablierung, gerade auch die der Leguminosen, wäre unserer Meinung nach ohne den Düngungsfehler auch beim mineralischen Boden zu erwarten gewesen. Die Betrachtung der Etablierungserfolge innerhalb der beiden Bodensubstrat-Gruppen unterstrich diese Vermutung. Innerhalb der Gruppe des organischen Bodensubstrats war die Etablierung aller Faktorstufen von Art und Lichtkonkurrenz in Kombination mit KK+ durchweg besser als ohne Düngung. Die Verbesserung der Etablierung von *L. corniculatus* war dabei signifikant.

Der Etablierungserfolg vom Gewöhnlichen Hornklee kann entsprechend der vorliegenden Ergebnisse des Gefäßversuchs mit Knochenkohle verbessert werden. Bei Weißklee ist es vermutlich auch der Fall.

7.4.2 Sind Wechselwirkungen der P-Versorgung mit der Konkurrenzsituation (Lichtkonkurrenz) feststellbar?

Sowohl beim Betrachten der Etablierung aller Pflanzen bzw. nur der Leguminosen waren Wechselwirkungen der P-Versorgung mit der Konkurrenzsituation feststellbar. Bei LC+FL nahm die Etablierung der Leguminose und des Grases mit der P-Düngung ab, bei TR+FL zu. Der Unterschied war allerdings jeweils nicht signifikant. Beim alleinigen Betrachten der Wechselwirkungen innerhalb des organischen Bodensubstrates verbesserten sich sowohl LC+FL als auch TR+FL mit der KK+-Behandlung, letztere Variante signifikant. Neben der Nährstoffverfügbarkeit spielt Lichtkonkurrenz eine entscheidende Rolle beim Wachstum der Leguminosen. Beschattung habe einen negativen Effekt auf die N₂-Fixierung mit ihrem hohen Energiebedarf (Vitousek & Field 1999). Roscher et al. (2011b) zeigten mithilfe einer Studie im Rahmen des Jena-Experiments, dass sich größere Leguminosenarten vermutlich besser beim Wettbewerb um Nährstoffe mit nicht-legumer Vegetation durchsetzten als kleinere Leguminosenarten. Dies müsste dann für *L. corniculatus* gegenüber *T. repens* zutreffen. Phytodiversität beeinflusse sowohl die N₂-Fixierung als auch das Auftreten der Leguminosen in starker Abhängigkeit der Leguminosenarten und ihrer Fähigkeit, erfolgreich um Licht und Boden-Nährstoffe (v.a. auch P) zu kämpfen (Roscher et al. 2011b). Während die Etablierung von *L. corniculatus* in unserem Gefäßversuch mit dem Lichtkonkurrenten *Festulolium* bei organischem Bodensubstrat schlechter als in Monokultur war, etablierte sich *T. repens* zusammen mit *Festulolium* im Topf mit organischem Boden sogar besser. *T. repens* ist gerade zu Beginn einer Neuansaat auch im Gemenge konkurrenzstark. *L. corniculatus* hingegen wird erst im Laufe der Vegetationsentwicklung konkurrenzfähig. Dies zeigte sich auch in unserem Feldversuch.

8 Angaben zum voraussichtlichen Nutzen und zur Verwertbarkeit der Ergebnisse Möglichkeiten der Umsetzung oder Anwendung der Ergebnisse für die Praxis und Beratung

Mit dem Projekt konnte ein Erkenntnisgewinn in Bezug auf Grünlandleguminosen generiert werden, welcher mit noch weiteren geplanten Publikationen noch detaillierter veröffentlicht und der interessierten (Fach-) Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden soll. Wenn auch das oft typische Auftreten der Leguminosen in Patches (Flecken) im Dauergrünland (Mähweiden) mithilfe der durchgeführten Erhebungen nicht erklärt werden konnte, so wurde aber ein P-Mangel der untersuchten Leguminosen festgestellt, so dass eine P-Düngung in den meisten Fällen agronomisch zu empfehlen wäre. Mit weiterführenden Untersuchungen ließen sich genaue P-Düngeempfehlungen zur Unterstützung von Grünlandleguminosen ableiten.

Explizite Studien zur P-Versorgung von verschiedenen Leguminosenarten mit konkreten Angaben zu P-Konzentrationen in den Pflanzen und vor allem auch zu den assoziierten Boden-P-Gehalten sind selten, gerade für die temperierte Klimazone. Im Rahmen des Vorhabens konnten diesbezüglich Daten gewonnen und das Wissen über Grünlandleguminosen, darunter auch weniger beachtete Arten wie *Lotus pedunculatus*, *Lotus corniculatus* oder *Lathyrus pratensis*, vergrößert werden. Wünschenswert wären weitergehende Untersuchungen zu den in Bezug auf potenzielle Ertragsmaxima optimalen P-Gehalten von Grünlandleguminosen unter den klimatischen Bedingungen Deutschlands. Hierfür fehlen bisher Literaturangaben.

Mithilfe der Feldversuche sollten Grenzen und Potenziale von P-Recyclingdüngern für die Verwendung im Grünlandmanagement aufgezeigt werden, was die Diskussion um die Verwendung von P-Recyclingdüngern im Ökolandbau bereichern sollte. Leider zeigte sich bei dem Feldversuch kein Effekt der P-Düngung. *Lotus corniculatus* konnte sich aber als eine sehr gute Alternative zum zumeist verwendeten Weißklee auf einem trockenen, sandigen Standort präsentieren, was sehr relevant für Praxis und Beratung sein sollte.

9 Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen; Hinweise auf weiterführende Fragestellungen

Gesamtziel des Forschungsvorhabens war es, den Effekt der Phosphorversorgung auf die Zusammensetzung von Pflanzenbeständen des ökologisch bewirtschafteten Grünlandes unter besonderer Berücksichtigung der Grünlandleguminosen und deren Funktionalität zu bemessen. Die Möglichkeiten eines gezielten P-Managements ökologisch bewirtschafteten Dauergrünlandes, die auch dem Bestreben nach einer möglichst hohen Phytodiversität Rechnung tragen, sollten aufgezeigt werden und alternative Ansätze für eine verbesserte P-Ernährung der Grünlandleguminosen als Voraussetzung für eine angemessene Ertragsleistung entwickelt werden. Diese genannten Ziele wurden erreicht.

Das geplante Vorhaben mit seinen drei Themenkomplexen und Arbeitspaketen konnte weitgehend durchgeführt werden. Einschränkungen gab es zum einen bei der Auswertung der Felderhebungen: Es war nicht möglich, aus den gewonnenen Daten Grenzwerte des P-Bodengehaltes sowie der P-Gehalte im Pflanzenmaterial sowohl für das Vorkommen der Grünlandleguminosen als auch für die Phytodiversität abzuleiten.

Bei den Feldversuchen konnte der Faktor Kalkung infolge einer nur begrenzten Feldgröße nicht berücksichtigt werden. Bei dem Gefäßversuch wurde aus gleichen Gründen auf den Faktor starke Wurzelkonkurrenz (*Festuca rubra rubra*) verzichtet. Bei den Erhebungen sowie beim Gefäßversuch konnte das Salzgrünland nicht wie geplant berücksichtigt werden, da eine geeignete Untersuchungsfläche nicht gefunden wurde. Für die genannten fehlenden Arbeitspakete konnte also keine Auswertung im Rahmen des Vorhabens erfolgen.

Ein Anschlussvorhaben wäre wünschenswert, um auf Grundlage der Projektergebnisse weitere Untersuchungen zu den während des Vorhabens studierten Grünlandleguminosen durchzuführen. Zum Ermitteln einer optimalen P-Versorgung von Grünlandleguminosen unter den klimatischen Bedingungen Deutschlands wären Versuche mit gestaffelter P-Düngung und daraus resultierenden Erträgen und P-Gehalten zu empfehlen, ebenso die gleichzeitige Erfassung der fixierten N-Mengen mithilfe der Methode mit stabilen Isotopen. Hierbei könnten über die verschiedenen Grünlandleguminosen hinaus auch unterschiedliche Genotypen der Leguminosenarten untersucht werden, um Effekte bezüglich des P-Aneignungs- und Nutzungsvermögens ermitteln zu können. Daraus ließen sich noch gezieltere P-Managementmaßnahmen ableiten.

10 Literaturverzeichnis

- Acuña, H. u. Inostroza, L. (2013): Phosphorus efficiency of naturalized Chilean white clover in a grazed field trial. *Grass and Forage Science* 68 (1): 125–137.
- Amery, F. u. Schoumans, O. F. (2014): Agricultural phosphorus legislation in Europe. ILVO.
- Anderson, T. M.; McNaughton, S. J. u. Ritchie, M. E. (2004): Scale-dependent relationships between the spatial distribution of a limiting resource and plant species diversity in an African grassland ecosystem. *Oecologia* 139 (2): 277–287.
- Birkhofer, K.; Dietkötter, T.; Boch, S.; Fischer, M.; Müller, J.; Socher, S. u. Wolters, V. (2011): Soil fauna feeding activity in temperate grassland soils increases with legume and grass species richness. *Soil Biology and Biochemistry* 43 (10): 2200–2207.
- Bohner, A. (2005): Soil chemical properties as indicators of plant species richness in grassland communities. In: *EGF Integrating Efficient Grassland Farming and Biodiversity*: 48–51.
- Braakhekke, W. G. u. Hooftman, D. A. (1999): The resource balance hypothesis of plant species diversity in grassland. *Journal of Vegetation Science* 10 (2): 187–200.
- Carlsson, G.; Palmberg, C.; Jumpponen, A.; Scherer-Lorenzen, M.; Högberg, P. u. Huss-Danell, K. (2009): N₂ fixation in three perennial *Trifolium* species in experimental grasslands of varied plant species richness and composition. *Plant Ecology* 205 (1): 87–104.
- Castillo, C., Acuña, H.; Zagal, E. u. Inostroza, L. (2013): Phosphorus absorption and use efficiency by *Lotus* spp. under water stress conditions in two soils: A pot experiment. *Chilean Journal of Agricultural Research* 73: 31–40.
- Ceulemans, T.; Stevens, C. J.; Duchateau, L.; Jacquemyn, 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.; Dise, N. B.; Dupré, C.; Diekmann, M. u. Honnay, O. (2014): Soil phosphorus constrains biodiversity across European grasslands. *Global change biology* 20 (12): 3814–3822.
- Davis, M. R. (1991): The comparative phosphorus requirements of some temperate perennial legumes. *Plant and Soil* (133): 17–30.
- De Bolle, S.; Neve, S. de u. Hofman, G. (2013): Rapid redistribution of P to deeper soil layers in P saturated acid sandy soils. *Soil Use and Management* 29: 76–82.
- Divito, G. A. u. Sadras, V. O. (2014): How do phosphorus, potassium and sulphur affect plant growth and biological nitrogen fixation in crop and pasture legumes? A meta-analysis. *Field Crops Research* 156: 161–171.
- Eisenhauer, N.; Milcu, A.; Sabais, A. C.; Bessler, H.; Weigelt, A.; Engels, C. u. Scheu, S. (2009): Plant community impacts on the structure of earthworm communities depend on season and change with time. *Soil Biology and Biochemistry* 41 (12): 2430–2443.
- Finck, A. (1969): *Pflanzenernährung in Stichworten*. Ferdinand Hirt Verlag, Kiel.
- Gilbert, J.; Gowing, D. u. Wallace, H. (2009): Available soil phosphorus in semi-natural grasslands. Assessment methods and community tolerances. *Biological Conservation* 142 (5): 1074–1083.
- Graham, P. H. u. Vance, C. P. (2000): Nitrogen fixation in perspective: an overview of research and extension needs. *Field Crops Research* (65): 93–106.

- Güsewell, S. (2004): N:P ratios in terrestrial plants: variation and functional significance. *New Phytologist* 164 (2): 243–266.
- Hautier, Y.; Niklaus, P. A. u. Hector, A. (2009): Competition for Light Causes Plant Biodiversity Loss After Eutrophication. *Science* 324 (5927): 636–638.
- Haygarth, P. M.; Chapman, P. J.; Jarvis, S. C. u. Smith, R. V. (1998): Phosphorus budgets for two contrasting grassland farming systems in the UK. *Soil Use and Management* 14: 160–167.
- Hedley, M. J.; Stewart, J. W. B. u. Chauhan, B. S. (1982): Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and laboratory incubations. *Soil Science Society of America Journal* 46: 970–976.
- Hejcman, M.; Strnad, L.; Hejcmanová, P. u. Pavlů, V. (2012): Response of plant species composition, biomass production and biomass chemical properties to high N, P and K application rates in *Dactylis glomerata* - and *Festuca arundinacea* -dominated grassland. *Grass and Forage Science* 67 (4): 488–506.
- Heuwinkel, H.; Locher, F.; Gutser, R. u. Schmidhalter, U. (2004): How and why does legume content of multispecies legume-grass vary in the field. In: *Adaption and Management of Forage*. 262-265.
- Høgh-Jensen, H.; Schjoerring, J. K. u. Soussana, J.-F. (2002): The Influence of Phosphorus Deficiency on Growth and Nitrogen Fixation of White Clover Plants. *Annals of Botany* 90 (6): 745–753.
- Hopkins, A. u. Holz, B. (2006): Grassland for agriculture and nature conservation: production, quality and multi-functionality. *Agronomy Research* 1 (4): 3–20.
- Hothorn, T.; Bretz, F. u. Westfall, P. (2008). Simultaneous Inference in General Parametric Models. *Biometrical Journal* 50(3), 346--363.
- Huston, M. A. (1997): Hidden treatments in ecological experiments - re-evaluating the ecosystem function of biodiversity. *Oecologia* 110: 449–460.
- Jäger, W. (2011): Rothmaler, Exkursionsflora von Deutschland. Gefäßpflanzen: Grundband. 20. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg.
- Janssens, F.; Peeters, A.; Tallowin, J. R. B.; Bakker, J. P.; Bekker, R. M.; Fillat, F. u. Oomes, M. J. M. (1998): Relationship between soil chemical factors and grassland diversity. *Plant and Soil* 202: 69–78.
- Jouany, C.; Stroia, C.; Farruggia, A. u. Duru, M. (2002): Plant and soil indicators for P management in grassland. In: *Grassland Science in Europe, EGF at 50: the Future of European Grasslands*. 698-699.
- Käding, H., Werner, A. u. Schalitz, G. (2003): Auswirkungen langjähriger N-Düngung auf Standort-eigenschaften, Erträge, Stoffgehalte und Vegetations- zusammensetzung des Niedermoorgrünlandes. Consequences of Long Term Nitrogen Fertilization on Site-condition, Yield, Nutrients and Vegetation-Composition of the Peat Grassland. *Pflanzenbauwissenschaften* (7): 13–20.
- Koning, N. B. J.; van Ittersum, M. K.; Becx, G. A.; Van Boekel, M. A. J. S.; Brandenburg, W. A.; Van Den Broek, J. A.; Goudriaan, J.; van Hofwegen, G.; Jongeneel, R. A.; Schiere, J. B. u. Smies, M. (2008): Long-term global availability of food: continued abundance or new scarcity? *NJAS* 55 (3): 229–292.

- Kruse, M.; Stein-Bachinger, K.; Gottwald, F.; Schmidt, E. u. Heinken, T. (2016): Influence of grassland management on the diversity of plants and butterflies on organic suckler cow farms. Einfluss des Grünlandmanagements auf Phytodiversität und Tagfalter auf ökologisch bewirtschafteten Mutterkuhbetrieben. *Tuexenia* 36: 97–119.
- Küchenmeister, F.; Küchenmeister, K.; Wrage, N.; Kayser, M. u. Isselstein, J. (2012): Yield and yield stability in mixtures of productive grassland species. Does species number or functional group composition matter? *Grassland Science* 58 (2): 94–100.
- Liebisch, F. (2011): Plant and soil indicators to assess the phosphorus nutrition status of agricultural grasslands. Dissertation. Hannover. 154 S.
- Marquard, E.; Weigelt, A.; Temperton, V. M.; Roscher, C.; Schumacher, J.; Buchmann, N.; Fischer, M.; Weisser, W. W. u. Schmid, B. (2009): Plant species richness and functional composition drive overyielding in a six-year grassland experiment. *Ecology* 90 (12): 3290–3302.
- Maxwell, T. M.; Moir, J. L. u. Edwards, G. R. (2013): Phosphorus response and efficiency of four adventive annual clovers grown in a New Zealand high country soil under glasshouse conditions. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 56 (3): 203–214.
- Meier, E. S. u. Hofer, G. (2016): Effects of plot size and their spatial arrangement on estimates of alpha, beta and gamma diversity of plants in alpine grassland. *Alpine Botany* 126 (2): 167–176.
- Milcu, A.; Partsch, S.; Scherber, C.; Weisser, W. W. u. Scheu, S. (2008): Earthworms and legumes control litter decomposition in a plant diversity gradient. *Ecology* 7 (89): 1872–1882.
- Moir, J. L.; Moot, D. J.; Jordan, P. R. u. Lucas, R. J. (2012): Phosphorus response and efficiency of 12 novel dryland legume species on an acid high country soil.
- Möller, K. (2017): Phosphordüngewirkung von Recyclingdüngemitteln. In: Wolfrum, S.; Heuwinkel, H.; Reents, H. J.; Wiesinger, K.; Hülsbergen, K.-J. (Hrsg.): *Ökologischen Landbau weiterdenken*. 14. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Verlag Dr. Köster, Berlin, 1. Auflage, ISBN: 978-3-89574-925-4, 372-375.
- Mueller, K. E.; Tilman, D.; Fornara, D. A. u. Hobbie, S. E. (2013): Root depth distribution and the diversity–productivity relationship in a long-term grassland experiment. *Ecology* 4 (94): 787–793.
- Mulder, C. P. H.; Jumpponen, A.; Högberg, P. u. Huss-Danell, K. (2002): How plant diversity and legumes affect nitrogen dynamics in experimental grassland communities. *Oecologia* 133:412-421.
- Neubert, P.; Wrazidlo, W.; Vielemeyer, H. P.; Hundt, I.; Gollmick, F. u. Bergmann, W. (1970=: Tabellen zur Pflanzenanalyse – Erste orientierende „Übersicht“. Institut für Pflanzenernährung, Jena.
- Oelmann, Y.; Richter, A. K.; Roscher, C.; Rosenkranz, S.; Temperton, V. M.; Weisser, W. W. u. Wilcke, W. (2011): Does plant diversity influence phosphorus cycling in experimental grasslands? *Geoderma* 167-168: 178–187.
- Ohm, M.; Schüler, M.; Fyströ, G. u. Paulsen, H. M. (2015): Redistribution of soil phosphorus from grassland to cropland in an organic dairy farm. *Landbauforschung Applied Agricultural and Forestry Research* 3/4 (65): 193-204. doi: 10.3220/LBF1452867403000.

- Olsen, S. R.; Cole, C. V.; Watanabe, S.F. u. Dean, L. A. (1954): Estimation of Available Phosphorus in Soils by Extraction With Sodium Bicarbonate. United States Department of Agriculture Circular 939, Washington D.C.
- Phelan, P.; Moloney, A. P.; McGeough, E. J.; Humphreys, J.; Bertilsson, J.; O’Riordan, E. G. u. O’Kiely, P. (2014): Forage Legumes for Grazing and Conserving in Ruminant Production Systems. *Critical Reviews in Plant Sciences* 34 (1-3): 281–326.
- Pirhofer-Walzl, K.; Rasmussen, J.; Høgh-Jensen, H.; Eriksen, J.; Sjøgaard, K. u. Rasmussen, J. (2012): Nitrogen transfer from forage legumes to nine neighbouring plants in a multi-species grassland. *Plant and Soil* 350 (1-2): 71–84.
- Pirhofer-Walzl, K.; Eriksen, J.; Rasmussen, J.; Høgh-Jensen, H. u. SØEGAARD, K. (2013): Effect of four plant species on soil 15N-access and herbage yield in temporary agricultural grasslands. *Plant and Soil* 371 (1-2): 313–325.
- Preston, F. W. (1962): The canonical distribution of commonness and rarity: Part I. *Ecology* 43: 185–215.
- R Core Development Team. (2016): R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna.
- Ragazzo, O.M. (2014): Bone char effects on the P-dynamics in the soil-plant-system. Bachelorarbeit. Professur für Bodenkunde, Universität Rostock
- Rajaniemi, T. K. (2002): Why does fertilization reduce plant species diversity? Testing three competition-based hypotheses. *Journal of Ecology* 90: 316-324.
- Rajaniemi, T. K.; Allison, V. J. u. Goldberg, D.E. (2003): Root competition can cause a decline in diversity with increased productivity. *Journal of Ecology* 91: 407-416.
- Riehm, H. (1948): Arbeitsvorschrift zur Bestimmung der Phosphorsäure und des Kaliums nach Lactatverfahren. *Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde* 40: 152-156, 170-172.
- Römer, W. u. Lehne, P. (2004): Vernachlässigte Phosphor- und Kaliumdüngung im ökologischen Landbau senkt die biologische Stickstofffixierung bei Rotklee und den Kornertrag bei nachfolgendem Hafer. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 167 (1): 106–113.
- Roscher, C.; Schmid, B.; Buchmann, N.; Weigelt, A. u. Schulze, E.-D. (2011a): Legume species differ in the responses of their functional traits to plant diversity. *Oecologia* 165 (2): 437–452.
- Roscher, C.; Thein, S.; Weigelt, A.; Temperton, V.M.; Buchmann, N. u. Schulze, E.-D. (2011b): N₂ fixation and performance of 12 legume species in a 6-year grassland biodiversity experiment. *Plant Soil* 341: 333-348. DOI 10.1007/s11104-010-0647-0.
- Sa, T.-M. u. Israel, d. W. (1991): Energy Status and Functioning of Phosphorus-Deficient Soybean Nodules. *Plant Physiol.* (97): 928–935.
- Sabais, A. C.; Scheu, S. u. Eisenhauer, N. (2011): Plant species richness drives the density and diversity of Collembola in temperate grassland. *Acta Oecologica* 37 (3): 195–202.

- Salamon, J.-A.; Schaefer, M.; Alpehi, J.; Schmid, B. u. Scheu, S. (2004): Effects of plant diversity on Collembola in an experimental grassland ecosystem. *Oikos* 106 (1): 51–60.
- Sanderson, M. A. (2010): Stability of production and plant species diversity in managed grasslands. A retrospective study. *Basic and Applied Ecology* 11 (3): 216–224.
- Sattari, S. Z.; Bouwman, A. F.; Martínez Rodríguez, R.; Beusen, A. H. W. u. van Ittersum, M. K. (2016): Negative global phosphorus budgets challenge sustainable intensification of grasslands. *Nature Communications* 7: 10696.
- Scherer-Lorenzen, M. (2008): Functional diversity affects decomposition processes in experimental grasslands. *Functional Ecology* 22 (3): 547–555.
- Schoumans, O. F.; Chardon, W. J.; Bechmann, M. E.; Gascuel-Oudou, C.; Hofman, G.; Kronvang, B.; Rubæk, G. H.; Ulén, B. u. Dorioz, J.-M. (2013): Mitigation options to reduce phosphorus losses from the agricultural sector and improve surface water quality: a review. *The Science of the total environment* 468-469: 1255–1266.
- Schubert, R.; Hilbig, W. u. Klotz, S. (2001): *Bestimmungsbuch der Pflanzengesellschaften Deutschlands*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin.
- Siebers, N.; Godlinski, F. u. Leinweber, P. (2014): Bone char as phosphorus fertilizer involved in cadmium immobilization in lettuce, wheat, and potato cropping. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 177 (1), S. 75–83. DOI: 10.1002/jpln.201300113.
- Spehn, E. M.; Joshi, J.; Schmid, B.; Alpehi, J. u. Körner, C. (2000): Plant diversity effects on soil heterotrophic activity in experimental grassland ecosystems. *Plant and Soil* 224 (2): 217–230.
- Spehn, E. M., Scherer-Lorenzen, M.; Schmid, B.; Hector, A.; Caldeira, M. C.; Dimitrakopoulos, P. G. u. Finn, J. A. (2002): The role of legumes as a component of biodiversity in a cross-European study of grassland biomass nitrogen. *Oikos* 98: 205–218.
- Stephan, A.; Meyer, A. H. u. Schmid, H. B. (2000): Plant diversity affects culturable soil bacteria in experimental grassland communities. *Journal of Ecology* 88: 988–998.
- Suding, K. N.; Collins, S. L.; Gough, L.; Clark, C.; Cleland, E. E.; Gross, K. L.; Milchunas, D. G. u. Pennings, S. (2005): Functional- and abundance-based mechanisms explain diversity loss due to N fertilization. *PNAS* 102 (12): 4387–4392.
- Temperton, V. M.; Mwangi, P. N.; Scherer-Lorenzen, M.; Schmid, B. u. Buchmann, N. (2007): Positive interactions between nitrogen-fixing legumes and four different neighbouring species in a biodiversity experiment. *Oecologia* 151 (2): 190–205.
- Thomas, R. J. (1992): The role of the legume in the nitrogen cycle of productive and sustainable pastures. *Grass and Forage Science*, 47, 133–142.
- Tiessen, H.; Stewart, J. W. B. u. Moir, J. O. (1983): Changes in Organic and Inorganic Phosphorus Composition of Two Grassland Soils and Their Particle Size Fractions During 60–90 Years of Cultivation. *European Journal of Soil Science* 34, 815–823.
- Tregear, A.; Dent, J. B. u. McGregor, M. J. (1994): The Demand for Organically Grown Produce. *British Food Journal* 96: 21–25. doi: 10.1108/00070709410061032.

Übersicht über alle realisierten Veröffentlichungen im Projektzeitraum

van Elsen, T. (2000): Species diversity as a task for organic agriculture in Europe. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 77: 101–109. doi: 10.1016/S0167-8809(99)00096-1.

Vitousek, P.M. u. Field, C.B. (1999): Ecosystem constraints to symbiotic nitrogen fixers: a simple model and its implications. *Biogeochemistry* 46:179–202.

Wachendorf, M. u. Taube, F. (2001): Artenvielfalt, Leistungsmerkmale und bodenchemische Kennwerte des Dauergrünlands im konventionellen und ökologischen Landbau in Nordwestdeutschland. *Pflanzenbauwissenschaften* 5 (2): 75–86.

Wassen, M. J.; Venterink, H. O.; Lapshina, E. D. u. Tanneberger, F. (2005): Endangered plants persist under phosphorus limitation. *Nature* 437 (7058): 547–550.

Whittaker, R.H. (1960): Vegetation of the Sisiyou Mountains, Orgeon and California. *Ecological Monographs* 30: 279–338.

Whittaker, R.H. (1972): Evolution and measurement of species diversity. *Taxon* 21: 213–251.

Wrage, N.; Strodthoff, J.; Cuchillo, H. M.; Isselstein, J. u. Kayser, M. (2011): Phytodiversity of temperate permanent grasslands: ecosystem services for agriculture and livestock management for diversity conservation. *Biodiversity and Conservation* 20: 3317-3339. doi: 10.1007/s10531-011-0145-6

Wurst, S.; Allema, B.; Duyts, H. u. van der Putten, Wim H. (2008): Earthworms counterbalance the negative effect of microorganisms on plant diversity and enhance the tolerance of grasses to nematodes. *Oikos* (117): 711–718.

11 Übersicht über alle realisierten Veröffentlichungen im Projektzeitraum

11.1 Beiträge in Sammelbänden

Mahnke, B.; Wrage-Mönnig, N.; Leinweber, P.; Müller, J. (2017): *Phosphor im Grünland - Antrieb der Leguminosen, aber Bremse der Phytodiversität?* In: Wolfrum, S.; Heuwinkel, H.; Reents, H. J.; Wiesinger, K.; Hülsbergen, K.-J. (Hrsg.): *Ökologischen Landbau weiterdenken*. 14. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Verlag Dr. Köster, Berlin, 1. Auflage, ISBN: 978-3-89574-925-4, 372-375.
reviewed.

Mahnke, B.; Müller, J.; Wrage-Mönnig, N. (2016): *The effect of soil P on legume distribution and biodiversity on small spatial scales*. In: Höglind et al. (Hrsg.): *The multiple roles of grassland in the European bioeconomy*. Proceedings of the 26th General Meeting of the European Grassland federation Trondheim, Norway, 4-8 September 2016. ISBN: 978-82-17-01677-9, 690-692.
reviewed.

11.2 Vortrag mit veröffentlichtem Beitrag

Mahnke, B.; Müller, J. (2014): *Rolle des Phosphors als Steuerungsgröße des Stickstofftrages und der Phytodiversität ökologisch bewirtschafteter Dauergrünlandbestände*. In: Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau: Multifunktionalität des Dauergrünlandes erhalten und nutzen. - ISBN 0944-0348, 55-60.

11.3 Poster mit veröffentlichtem Beitrag

Mahnke, B.; Müller, J.; Wrage-Mönnig, N. (2016): *Effect of soil phosphorus availability on legume distribution and phytodiversity*. In: The Organizing Committee of the 8th International Phosphorus Workshop; Leibniz ScienceCampus Phosphorus Research Rostock (Hrsg.): *Phosphorus 2020 – Challenges for Synthesis, Agriculture, and Ecosystems: 8th International Phosphorus Workshop IPW8* / .Krämer, I. & Häberle, S. (Bearb.). Rostock, 119.

Mahnke, B.; Machner, M.-T.; Müller, J.; Wrage-Mönnig, N. (2016): *Was will der Klee, was braucht die Öko-Kuh und was ist eigentlich da? Zur Rolle des Klees im Nährstoffzyklus Boden-Klee/gras-Rind am Beispiel eines ökologisch bewirtschafteten Primäraufwuchses*. In: ASTA, LTA & CONFIS Luxembourg (Hrsg.): *Nachhaltige Milchproduktion: Forschung und Praxis im Dialog*. 60. Jahrestagung der AGGF, 25.-27.08.2016 in Luxemburg. ISBN: 978-99959-990-0-1, 123-126.

Baum, C.; Zacher, A.; Mahnke, B.; Müller, J.; Leinweber, P. (2015): *Einfluss von Vegetationszusammensetzung und P-Düngung auf Mykorrhizierung und P-Mobilisierung unter Grünland*. In: Ahl, C. Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft (Hrsg.): *Jahrestagung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft: Unsere Böden – Unser Leben*. München, 1-3.

11.4 Studentische Arbeiten

Freitag, F. (2017): *Untersuchungen zum Einfluss von Knochenkohle auf den P-Status eines Boden/Pflanzenkompartiments unter mehrschnittiger Futternutzung*.

Betreuer_in: Dr. J. Müller und Prof. Dr. P. Leinweber

Erlinghagen, R.L. (2016): *Der Einfluss des Phosphors und anderer Makronährstoffe auf die Leguminosenpräsenz und die Phytodiversität ökologisch bewirtschafteter Dauergrünlandbestände*

Betreuer_in: Dr. J. Müller und B. Mahnke

Machner, M.-T. (2016): *Untersuchungen zum Beitrag funktioneller Artengruppen auf ausgewählte Leistungsmerkmale einer ökologisch bewirtschafteten Grünlandnarbe*

Betreuer_in: Dr. J. Müller und B. Mahnke

Witt, T. (2015): *N- und P-Konzentrationen als nutritiver Marker in Grünlandaufwüchsen - Einfluss von Pflanzenkompartimenten*

Betreuer_in: Dr. J. Müller und B. Mahnke

Korpat, D. (2014): *Phosphor im ökologisch bewirtschafteten Grünland. P-Einfluss auf Vorkommen und Leistung kleinkörniger Leguminosen sowie auf korrespondierende Phytodiversität*

Betreuer_in: Dr. J. Müller

11.5 Geplante Aktivitäten zur Verbreitung der Ergebnisse

Es sind drei weitere Veröffentlichungen in internationalen Fachzeitschriften geplant, darunter eine Veröffentlichung zu den Felderhebungen, eine zu den Feldversuchen sowie eine Literaturrecherche in Form eines review. Des Weiteren sollen die Ergebnisse in Zusammenarbeit mit der Landesforschungsanstalt Mecklenburg-Vorpommern im Jahr 2018 bei einer Veranstaltung mit Landwirten und Berater_innen (Vortragsreihe oder Feldtag) in Form eines Vortrags vorgestellt werden. Geplant ist außerdem ein kurzer Artikel zu den Ergebnissen in einer deutschsprachigen Zeitung, welche Landwirte und Berater_innen als Leser_innenschaft hat.

12 Anhang

12.1 Erhebungen

Tabelle 28: Liste aller kartierten Kräuter auf den Erhebungsflächen von fünf ökologisch bewirtschafteten Mähweiden in Nordostdeutschland

Botanischer Name	Trivialname
<i>Achillea millefolium</i>	Gemeine Schafgarbe
<i>Ajuga reptans</i>	Kriechender Günsel
<i>Alchemilla vulgaris</i>	Frauenmantel
<i>Alnus glutinosa</i>	Schwarz-Erle
<i>Anthriscus sylvestris</i>	Wiesen-Kerbel
<i>Argentina anserina</i>	Gänsefingerkraut
<i>Atriplex</i>	Melde
<i>Barbarea vulgaris</i>	Barbarakraut
<i>Bellis perennis</i>	Gänseblümchen
<i>Centaureum</i>	Tausendgüldenkraut
<i>Cerastium</i>	Hornkraut
<i>Cerastium vulgare</i>	Gewöhnliches Hornkraut
<i>Chrysanthemum vulgare</i>	Rainfarn
<i>Cirsium arvense</i>	Acker-Kratzdistel
<i>Cirsium lanceolatum</i>	Gewöhnliche Kratzdistel
<i>Cirsium oleraceum</i>	Kohldistel
<i>Cirsium palustre</i>	Sumpf-Kratzdistel
<i>Convolvulus</i>	Winde
<i>Crepis biennis</i>	Wiesen-Pippau
<i>Daucus carota subsp. carota</i>	Wilde Möhre
<i>Epilobium parviflorum</i>	Kleinblütiges Weidenröschen
<i>Epipactis palustris</i>	Sumpf-Stendelwurz
<i>Equisetum arvense</i>	Sumpfschachtelhalm
<i>Eupatorium cannabinum</i>	Gewöhnlicher Wasserdost
<i>Filipendula ulmaria</i>	Echtes Mädesüß
<i>Galium mollugo</i>	Wiesen-Labkraut
<i>Galium palustre</i>	Sumpf-Labkraut
<i>Galium uliginosum</i>	Moor-Labkraut
<i>Geranium dissectum</i>	Bach-Nelkenwurz
<i>Geranium pusillum</i>	Kleiner Storchschnabel

Anhang

<i>Geum rivale</i>	Bach-Nelkenwurz
<i>Glechoma hederaceum</i>	Gundermann
<i>Hydrocotyle vulgaris</i>	Gewöhnlicher Wassernabel
<i>Hypericum perforatum</i>	Echtes Johanniskraut
<i>Hypochaeris radicata</i>	Gewöhnliches Ferkelkraut
<i>Inula britannica</i>	Wiesen-Alant
<i>Iris pseudacorus</i>	Sumpf-Schwertlilie
<i>Knautia arvensis</i>	Acker-Witwenblume
<i>Leontodon autumnalis</i>	Herbst-Löwenzahn
<i>Lychnis flos-cuculi</i>	Kuckucks-Lichtnelke
<i>Lysimachia vulgaris</i>	Gewöhnlicher Gilbweiderich
<i>Lythrum salicaria</i>	Blutweiderich
<i>Medicago lupulina</i>	Hopfenklee
<i>Mentha aquatica</i>	Wasserminze
<i>Meum athamanticum</i>	Bärwurz
<i>Myosotis palustris</i>	Sumpf-Vergissmeinnicht
<i>Persicaria amphibia</i>	Wasser-Knöterich
<i>Pimpinella major</i>	Große Bibernelle
<i>Pimpinella saxifraga</i>	Kleine Bibernelle
<i>Plantago lanceolata</i>	Spitzwegerich
<i>Plantago major</i>	Breitwegerich
<i>Potentilla anserina</i>	Gänsefingerkraut
<i>Ranunculus reptans</i>	Ufer-Hahnenfuß
<i>Ranunculus acris</i>	Scharfer Hahnenfuß
<i>Ranunculus bulbosus</i>	Knolliger Hahnenfuß
<i>Ranunculus repens</i>	Kriechender Hahnenfuß
<i>Rorippa palustris</i>	Gewöhnliche Sumpfkresse
<i>Rumex acetosa</i>	Wiesen-Sauerampfer
<i>Rumex acetosella</i>	Kleiner Sauerampfer
<i>Rumex crispus</i>	Krauser Ampfer
<i>Rumex hydrolapathum</i>	Fluss-Ampfer
<i>Rumex obtusifolius</i>	Stumpfbältriger Ampfer
<i>Salix cinerea</i>	Asch-Weide
<i>Sanguisorba minor</i>	Kleiner Wiesenknopf
<i>Silene dioica</i>	Rote Lichtnelke
<i>Stachys palustris</i>	Sumpf-Ziest
<i>Stellaria graminea</i>	Gras-Sternmiere
<i>Stellaria media</i>	Vogelmiere
<i>Stellaria palustris</i>	Sumpf-Sternmiere
<i>Taraxacum officinale</i>	Gewöhnlicher Löwenzahn
<i>Thalictrum aquilegifolium</i>	Akeleibältrige Wiesenraute
<i>Tragopogon pratensi</i>	Wiesen-Bocksbart
<i>Urtica dioica</i>	Große Brennnessel
<i>Veronica chamaedrys</i>	Gamander-Ehrenpreis
<i>Veronica sublobata</i>	Hain-Efeu-Ehrenpreis
<i>Vicia angustifolia</i>	Schmalbältrige Wicke
<i>Viola palustris</i>	Sumpfteilchen

Anhang

Tabelle 29: Liste aller kartierten Süßgräser auf den Erhebungsflächen von fünf ökologisch bewirtschafteten Mähweiden in Nordostdeutschland

Botanischer Name	Trivialname
<i>Agrostis alba</i>	Weißes Straußgras
<i>Agrostis canina</i>	Hunds-Straußgras
<i>Agrostis capillaris</i>	Rot-Straußgras
<i>Agrostis stolonifera</i>	Kriechendes Straußgras
<i>Alopecurus pratensis</i>	Wiesen-Fuchsschwanz
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	Gewöhnliches Ruchgras
<i>Arrhenatherum elatius</i>	Gewöhnlicher Glatthafer
<i>Bromus hordeaceus</i>	Weiche Tresse
<i>Calamagrostis epigejos</i>	Land-Reitgras
<i>Cynosurus cristatus</i>	Wiesen-Kammgras
<i>Dactylis glomerata</i>	Gewöhnliches Knäuelgras
<i>Deschampsia cespitosa</i>	Rasen-Schmiele
<i>Elymus repens</i>	Kriech-Quecke
<i>Festuca arundinacea</i>	Rohr-Schwingel
<i>Festuca pratensis</i>	Wiesen-Schwingel
<i>Festuca rubra</i>	Gewöhnlicher Rot-Schwingel
<i>Festulolium</i>	Wiesenschweidel
<i>Glyceria fluitans</i>	Flutender Schwaden
<i>Holcus lanatus</i>	Wolliges Honiggras
<i>Holcus mollis</i>	Weiches Honiggras
<i>Lolium perenne</i>	Deutsches Weidelgras
<i>Molinia caerulea</i>	Blaues Pfeifengras
<i>Phleum pratense</i>	Wiesen-Lieschgras
<i>Poa annua</i>	Einjährige Rispe
<i>Poa pratensis</i>	Wiesen-Rispengras
<i>Poa trivialis</i>	Gewöhnliches Rispengras

Tabelle 30: Liste aller kartierten Sauergräser auf den Erhebungsflächen von fünf ökologisch bewirtschafteten Mähweiden in Nordostdeutschland

Botanischer Name	Trivialname
<i>Carex acutiformis</i>	Sumpf-Segge
<i>Carex canescens</i>	Graue Segge
<i>Carex cespitosa</i>	Rasen-Segge
<i>Carex disticha</i>	Zweizeilige Segge
<i>Carex hirta</i>	Behaarte Segge
<i>Carex nigra</i>	Braun-Segge
<i>Carex riparia</i>	Ufer-Segge
<i>Equisetum palustre</i>	Sumpf-Schachtelhalm
<i>Juncus articulatus</i>	Glieder-Binse
<i>Juncus effusus</i>	Flatter-Binse
<i>Phragmites australis</i>	Schilfrohr
<i>Scirpus sylvaticus</i>	Wald-Simse

Anhang

Tabelle 31: K_{DL} -Gehalte (Mittelwert \pm Standardabweichung) im Boden der Leguminosen-Patches und der Begleitvegetation-Patches auf fünf ökologisch bewirtschafteten Mähweiden in Nordostdeutschland. Mithilfe des Wilcoxon-Tests wurde geprüft, ob es zwischen den beiden Gruppen einen signifikanten Unterschied gibt.

Standort	Boden- K_{DL} Leguminosen (mg 100 g ⁻¹)	Boden- K_{DL} Begleitvegetation (mg 100 g ⁻¹)	p Wilcoxon-Test
Alle Standorte	4,70 \pm 3,04	5,67 \pm 5,25	0.23
MW1 (Sommersdorf)	5,39 \pm 2,69	6,89 \pm 5,03	0.33
MW1 <i>T. repens</i>	3,36 \pm 1,91	3,86 \pm 1,90	0.38
MW1 <i>T. pratense</i>	4,48 \pm 1,11	4,86 \pm 2,97	0.75
MW1 <i>L. corniculatus</i>	8,46 \pm 1,59	10,79 \pm 6,65	1.00
MW1 <i>L. pratensis</i>	3,98	9,52	1.00
MW2 (Peenetal)	5,14 \pm 3,20	7,29 \pm 8,58	0.68
MW2 <i>T. repens</i>	3,64 \pm 2,19	3,38 \pm 2,34	0.25
MW2 <i>T. pratense</i>	2,37 \pm 0,87	2,42 \pm 1,66	1.00
MW2 <i>L. pedunculatus</i>	7,20 \pm 3,01	13,30 \pm 12,72	0.88
MW2 <i>L. pratensis</i>	7,76 \pm 4,15	8,45 \pm 6,63	1.00
MW3 (Warnowniederung)	3,18 \pm 1,59	3,81 \pm 1,76	0.17
MW3 <i>T. repens</i>	3,35 \pm 3,52	3,92 \pm 3,61	0.50
MW3 <i>T. pratense</i>	4,00 \pm 1,79	4,29 \pm 0,34	1.00
MW3 <i>L. pedunculatus</i>	3,84 \pm 0,91	4,95 \pm 1,29	0.50
MW3 <i>L. pratensis</i>	2,20 \pm 0,72	2,65 \pm 1,29	0.63
MW4 (Kambs)	3,42 \pm 1,66	3,08 \pm 1,22	0.46
MW4 <i>T. pratense</i>	2,28 \pm 1,05	3,49 \pm 1,13	0.13
MW4 <i>L. pedunculatus</i>	3,81 \pm 1,41	4,03 \pm 3,69	1.00
MW4 <i>L. pratensis</i>	3,96 \pm 0,17	2,67 \pm 0,01	0.50
MW5 (Walkendorf)	7,93 \pm 5,00	6,73 \pm 2,40	1.00
MW5 <i>T. repens</i>	7,93 \pm 5,00	6,73 \pm 2,40	1.00

Anhang

Tabelle 32: Mg_{DL}-Gehalte (Mittelwert±Standardabweichung) im Boden der Leguminosen-Patches und der Begleitvegetation-Patches auf fünf ökologisch bewirtschafteten Mähweiden in Nordostdeutschland. Mithilfe des Wilcoxon-Tests wurde geprüft, ob es zwischen den beiden Gruppen einen signifikanten Unterschied gibt.

Standort	Boden-Mg _{DL} Leguminosen (mg 100 g ⁻¹)	Boden-Mg _{DL} Begleitvegetation (mg 100 g ⁻¹)	p Wilcoxon-Test
Alle Standorte	23,99±17,40	25,47±19,34	0.41
MW1 (Sommersdorf)	23,69±18,27	25,80±21,88	0.11
MW1 <i>T. repens</i>	13,66±3,84	13,56±3,94	0.88
MW1 <i>T. pratense</i>	21,57±3,09	24,82±3,16	0.25
MW1 <i>L. corniculatus</i>	39,16±25,83	42,62±32,81	0.63
MW1 <i>L. pratensis</i>	8,35	10,4	1.00
MW2 (Peenetal)	15,33±15,82	14,13±14,44	0.09
MW2 <i>T. repens</i>	5,06±2,31	3,84±2,11	0.25
MW2 <i>T. pratense</i>	9,03±4,42	7,57±4,08	0.50
MW2 <i>L. pedunculatus</i>	23,57±24,77	21,82±21,19	0.63
MW2 <i>L. pratensis</i>	23,72±4,05	24,05±5,15	1.00
MW3 (Warnowniederung)	14,89±9,17	16,49±9,68	0.24
MW3 <i>T. repens</i>	22,38±13,24	23,59±6,00	1.00
MW3 <i>T. pratense</i>	15,49±1,15	19,85±3,39	0.50
MW3 <i>L. pedunculatus</i>	21,92±4,39	23,31±8,92	0.75
MW3 <i>L. pratensis</i>	5,59±2,50	6,14±3,61	0.63
MW4 (Kambs)	47,65±6,44	52,89±7,92	0.31
MW4 <i>T. pratense</i>	43,19±2,33	55,17±9,28	0.25
MW4 <i>L. pedunculatus</i>	47,23±2,57	48,67±11,17	1.00
MW4 <i>L. pratensis</i>	57,01±3,59	52,56±0,47	0.50
MW5 (Walkendorf)	27,65±8,72	27,75±6,61	1.00
MW5 <i>T. repens</i>	27,65±8,72	27,75±6,61	1.00

Anhang

Tabelle 33: N-Gehalte (Mittelwert±Standardabweichung) im Boden der Leguminosen-Patches und der Begleitvegetation-Patches auf fünf ökologisch bewirtschafteten Mähweiden in Nordostdeutschland. Mithilfe des Wilcoxon-Tests wurde geprüft, ob es zwischen den beiden Gruppen einen signifikanten Unterschied gibt.

Standort	Boden-N Leguminosen (%)	Boden-N Begleitvegetation (%)	p Wilcoxon-Test
Alle Standorte	1,16±0,91	1,13±0,92	0.55
MW1 (Sommersdorf)	0,40±0,19	0,38±0,17	0.40
MW1 <i>T. repens</i>	0,36±0,14	0,36±0,18	0.85
MW1 <i>T. pratense</i>	0,61±0,26	0,55±0,20	0.59
MW1 <i>L. corniculatus</i>	0,33±0,05	0,32±0,06	0.59
MW1 <i>L. pratensis</i>	0,20	0,22	1.00
MW2 (Peenetal)	1,10±1,17	1,06±1,18	0.55
MW2 <i>T. repens</i>	0,50±0,18	0,40±0,03	0.75
MW2 <i>T. pratense</i>	0,68±0,25	0,63±0,29	1.00
MW2 <i>L. pedunculatus</i>	1,92±1,73	1,94±1,71	0.37
MW2 <i>L. pratensis</i>	0,91	0,84	1.00
MW3 (Warnowiederung)	1,40±0,82	1,26±0,74	0.12
MW3 <i>T. repens</i>	1,43±0,92	1,52±1,00	0.50
MW3 <i>T. pratense</i>	1,94±0,15	1,51±0,43	0.50
MW3 <i>L. pedunculatus</i>	2,16±0,15	1,91±0,14	0.25
MW3 <i>L. pratensis</i>	0,54±0,42	0,51±0,41	0.63
MW4 (Kambs)	1,89±0,51	1,94±0,74	0.55
MW4 <i>T. pratense</i>	1,72±0,34	1,75±0,32	0.88
MW4 <i>L. pedunculatus</i>	2,30±1,01	2,45±1,64	1.00
MW4 <i>L. pratensis</i>	1,80±0,03	1,80±0,35	1.00
MW5 (Walkendorf)	1,45±0,87	1,49±0,75	0.63
MW5 <i>T. repens</i>	1,45±0,87	1,49±0,75	0.63

Anhang

Tabelle 34: C-Gehalte (Mittelwert±Standardabweichung) im Boden der Leguminosen-Patches und der Begleitvegetation-Patches auf fünf ökologisch bewirtschafteten Mähweiden in Nordostdeutschland. Mithilfe des Wilcoxon-Tests wurde geprüft, ob es zwischen den beiden Gruppen einen signifikanten Unterschied gibt.

Standort	Boden-C Leguminosen (%)	Boden-C Begleitvegetation (%)	P Wilcoxon-Test
Alle Standorte	14,09±10,97	13,72±11,01	0.59
MW1 (Sommersdorf)	4,84±2,43	4,76±2,27	0.88
MW1 <i>T. repens</i>	4,54±2,40	4,58±2,76	0.88
MW1 <i>T. pratense</i>	7,22±2,74	6,83±1,98	1.00
MW1 <i>L. corniculatus</i>	4,07±1,31	3,98±1,33	0.63
MW1 <i>L. pratensis</i>	2,02	2,44	1.00
MW2 (Peenetal)	13,21±13,87	12,73±14,09	0.27
MW2 <i>T. repens</i>	6,01±2,07	4,95±0,38	0.75
MW2 <i>T. pratense</i>	8,03±3,04	7,52±3,50	1.00
MW2 <i>L. pedunculatus</i>	23,14±20,50	23,22±20,41	1.00
MW2 <i>L. pratensis</i>	10,68	9,79	1.00
MW3 (Warnowiederung)	15,97±9,56	14,21±8,46	0.07
MW3 <i>T. repens</i>	16,31±10,85	17,07±11,47	0.50
MW3 <i>T. pratense</i>	22,11±1,94	17,05±4,89	0.50
MW3 <i>L. pedunculatus</i>	25,01±1,73	21,76±1,63	0.25
MW3 <i>L. pratensis</i>	25,01±1,73	21,76±1,63	0.25
MW4 (Kambs)	23,64±5,48	24,24±7,43	0.55
MW4 <i>T. pratense</i>	21,98±3,92	22,90±3,96	0.88
MW4 <i>L. pedunculatus</i>	27,26±11,26	27,91±16,81	1.00
MW4 <i>L. pratensis</i>	23,36±0,03	23,23±4,56	1.00
MW5 (Walkendorf)	18,76±11,47	19,45±10,03	0.63
MW5 <i>T. repens</i>	18,76±11,47	19,45±10,03	0.63

Anhang

Tabelle 35: C/N-Verhältnisse (Mittelwert±Standardabweichung) im Boden der Leguminosen-Patches und der Begleitvegetation-Patches auf fünf ökologisch bewirtschafteten Mähweiden in Nordostdeutschland. Mithilfe des Wilcoxon-Tests wurde geprüft, ob es zwischen den beiden Gruppen einen signifikanten Unterschied gibt.

Standort	C/N Leguminosen (-)	C/N Begleitvegetation (-)	p Wilcoxon-Test
Alle Standorte	12,09±1,16	12,13±1,09	0.72
MW1 (Sommersdorf)	12,07±1,94	12,30±1,71	0.06
MW1 <i>T. repens</i>	12,21±1,90	12,31±1,94	0.38
MW1 <i>T. pratense</i>	12,04±0,83	12,61±1,30	0.25
MW1 <i>L. corniculatus</i>	12,40±2,89	12,42±2,23	0.88
MW1 <i>L. pratensis</i>	10,21	10,85	1.00
MW2 (Peenetal)	12,15±0,54	12,05±0,38	0.55
MW2 <i>T. repens</i>	12,21±0,36	12,35±0,33	0.75
MW2 <i>T. pratense</i>	11,84±0,34	11,90±0,42	1.00
MW2 <i>L. pedunculatus</i>	12,43±0,76	12,01±0,38	0.37
MW2 <i>L. pratensis</i>	11,82	11,75	1.00
MW3 (Warnowiederung)	11,39±0,47	11,27±0,25	0.05
MW3 <i>T. repens</i>	11,35±0,32	11,16±0,17	0.50
MW3 <i>T. pratense</i>	11,93±0,12	11,28±0,01	0.50
MW3 <i>L. pedunculatus</i>	11,58±0,16	11,38±0,20	0.25
MW3 <i>L. pratensis</i>	11,26±0,78	11,23±0,38	0.88
MW4 (Kambs)	12,64±0,63	12,72±0,77	0.74
MW4 <i>T. pratense</i>	12,79±0,65	13,12±0,39	0.38
MW4 <i>L. pedunculatus</i>	11,96±0,37	11,71±0,96	1.00
MW4 <i>L. pratensis</i>	13,00±0,18	12,93±0,05	1.00
MW5 (Walkendorf)	12,72±0,77	12,83±0,76	1.00
MW5 <i>T. repens</i>	12,72±0,77	12,83±0,76	1.00

Anhang

Tabelle 36: S-Gehalte (Mittelwert±Standardabweichung) im Boden der Leguminosen-Patches und der Begleitvegetation-Patches auf fünf ökologisch bewirtschafteten Mähweiden in Nordostdeutschland. Mithilfe des Wilcoxon-Tests wurde geprüft, ob es zwischen den beiden Gruppen einen signifikanten Unterschied gibt.

Standort	S Leguminosen (%)	S Begleitvegetation (%)	p Wilcoxon-Test
Alle Standorte	0,22±0,16	0,21±0,16	0.26
MW1 (Sommersdorf)	0,11±0,06	0,09±0,06	0.01
MW1 <i>T. repens</i>	0,13±0,09	0,12±0,09	0.13
MW1 <i>T. pratense</i>	0,14±0,02	0,12±0,02	0.25
MW1 <i>L. corniculatus</i>	0,06±0,01	0,06±0,01	0.38
MW1 <i>L. pratensis</i>	0,06	0,04	1.00
MW2 (Peenetal)	0,23±0,24	0,22±0,24	0.45
MW2 <i>T. repens</i>	0,10±0,03	0,08±0,01	0.75
MW2 <i>T. pratense</i>	0,16±0,06	0,14±0,07	1.00
MW2 <i>L. pedunculatus</i>	0,39±0,35	0,39±0,35	1.00
MW2 <i>L. pratensis</i>	0,19	0,19	1.00
MW3 (Warnowniederung)	0,23±0,12	0,21±0,12	0.42
MW3 <i>T. repens</i>	0,22±0,15	0,26±0,17	0.50
MW3 <i>T. pratense</i>	0,33±0,04	0,25±0,08	1.00
MW3 <i>L. pedunculatus</i>	0,34±0,03	0,31±0,02	0.25
MW3 <i>L. pratensis</i>	0,11±0,06	0,10±0,06	1.00
MW4 (Kambs)	0,30±0,08	0,30±0,09	0.95
MW4 <i>T. pratense</i>	0,28±0,06	0,28±0,03	0.88
MW4 <i>L. pedunculatus</i>	0,36±0,15	0,35±0,21	1.00
MW4 <i>L. pratensis</i>	0,30±0,00	0,30±0,06	1.00
MW5 (Walkendorf)	0,31±0,19	0,32±0,16	0.63
MW5 <i>T. repens</i>	0,31±0,19	0,32±0,16	0.63

Anhang

Tabelle 37: N-Gehalte (Mittelwert±Standardabweichung) in der oberirdischen Biomasse von Leguminosen und ihrer Begleitvegetation auf fünf ökologisch bewirtschafteten Mähweiden in Nordostdeutschland. Mithilfe des Wilcoxon-Tests wurde geprüft, ob es zwischen den beiden Gruppen einen signifikanten Unterschied gibt.

Standort	Pflanzen-N Leguminosen (g kg ⁻¹)	Pflanzen-N Begleitvegetation (g kg ⁻¹)	P Wilcoxon-Test
Alle Standorte	33,16±6,23	24,79±7,80	0.000
MW1 (Sommersdorf)	32,24±5,04	24,67±5,59	0.000
MW1 <i>T. repens</i>	36,66±3,40	29,09±3,80	0.13
MW1 <i>T. pratense</i>	30,66±2,97	18,90±2,55	0.25
MW1 <i>L. corniculatus</i>	27,43±1,73	23,08±4,60	0.13
MW1 <i>L. pratensis</i>	38,59	30,67	1
MW2 (Peenetal)	28,40±5,29	17,59±2,44	0.000
MW2 <i>T. repens</i>	35,73±5,42	17,76±3,05	0.25
MW2 <i>T. pratense</i>	27,65±2,04	18,76±1,75	0.25
MW2 <i>L. pedunculatus</i>	25,17±2,02	18,21±2,04	0.13
MW2 <i>L. pratensis</i>	24,99±0,17	14,32±1,05	0.50
MW3 (Warnowniederung)	38,78±5,28	30,70±4,51	0.001
MW3 <i>T. repens</i>	39,72±0,64	35,05	0.50
MW3 <i>T. pratense</i>	37,31±1,93	31,14±0,52	0.50
MW3 <i>L. pedunculatus</i>	45,35±1,21	32,70±1,00	0.25
MW3 <i>L. pratensis</i>	34,12±4,04	26,82±4,47	0.13
MW4 (Kambs)	30,78±3,76	19,40±3,05	0.008
MW4 <i>T. pratense</i>	27,87±0,91	19,53±1,86	0.13
MW4 <i>L. pedunculatus</i>	36,291,31	21,515,84	0.50
MW4 <i>L. pratensis</i>	31,100,24	17,020,56	0.50
MW5 (Walkendorf)	38,20±3,84	37,94±4,30	0.81
MW5 <i>T. repens</i>	38,20±3,84	37,94±4,30	0.81

Anhang

Tabelle 38: N/P-Verhältnisse (Mittelwert±Standardabweichung) in der oberirdischen Biomasse von Leguminosen und ihrer Begleitvegetation auf fünf ökologisch bewirtschafteten Mähweiden in Nordostdeutschland. Mithilfe des Wilcoxon-Tests wurde geprüft, ob es zwischen den beiden Gruppen einen signifikanten Unterschied gibt.

Standort	Pflanzen-N/P Leguminosen (-)	Pflanzen-N/P Begleitvegetation (-)	P Wilcoxon-Test
Alle Standorte	14,17±2,75	10,53±3,29	0.000
MW1 (Sommersdorf)	14,37±1,72	7,77±2,34	0.000
MW1 <i>T. repens</i>	13,54±1,48	9,02±2,94	0.13
MW1 <i>T. pratense</i>	15,12±1,04	7,52±1,15	0.25
MW1 <i>L. corniculatus</i>	15,36±1,59	6,23±2,03	0.13
MW1 <i>L. pratensis</i>	11,56	9,64	1
MW2 (Peenetal)	15,17±2,45	12,14±4,02	0.01
MW2 <i>T. repens</i>	13,21±2,41	8,38±1,77	0.25
MW2 <i>T. pratense</i>	15,72±2,89	12,09±1,17	0.25
MW2 <i>L. pedunculatus</i>	16,47±2,38	15,37±5,22	0.63
MW2 <i>L. pratensis</i>	14,69±1,17	11,41±1,38	0.50
MW3 (Warnowniederung)	11,50±1,33	10,34±2,46	0.21
MW3 <i>T. repens</i>	12,33±0,31	12,12±0,24	1
MW3 <i>T. pratense</i>	12,11±1,07	12,08±1,70	1
MW3 <i>L. pedunculatus</i>	11,34±1,41	11,31±1,78	1
MW3 <i>L. pratensis</i>	10,89±1,70	7,86±1,94	0.25
MW4 (Kambs)	17,27±2,62	12,70±1,83	0.01
MW4 <i>T. pratense</i>	17,68±3,24	13,64±1,98	0.13
MW4 <i>L. pedunculatus</i>	18,74±0,41	12,64±0,88	0.50
MW4 <i>L. pratensis</i>	14,97±0,98	10,90±0,98	0.50
MW5 (Walkendorf)	12,23±1,05	10,25±2,47	0.13
MW5 <i>T. repens</i>	12,23±1,05	10,25±2,47	0.13

Anhang

Tabelle 39: C-Gehalte (Mittelwert±Standardabweichung) in der oberirdischen Biomasse von Leguminosen und ihrer Begleitvegetation auf fünf ökologisch bewirtschafteten Mähweiden in Nordostdeutschland. Mithilfe des Wilcoxon-Tests wurde geprüft, ob es zwischen den beiden Gruppen einen signifikanten Unterschied gibt.

Standort	Pflanzen-C Leguminosen (g kg ⁻¹)	Pflanzen-C Begleitvegetation (g kg ⁻¹)	P Wilcoxon-Test
Alle Standorte	431,61±10,71	429,87±6,73	0.34
MW1 (Sommersdorf)	432,49±8,47	429,21±4,84	0.27
MW1 <i>T. repens</i>	423,94±4,90	428,56±7,47	0.25
MW1 <i>T. pratense</i>	431,15±1,91	427,07±0,67	0.25
MW1 <i>L. corniculatus</i>	437,95±2,82	429,94±3,35	0.13
MW1 <i>L. pratensis</i>	448,89	435,36	1
MW2 (Peenetal)	423,35±8,57	421,84±3,57	0.57
MW2 <i>T. repens</i>	413,26±9,38	419,69±4,30	0.50
MW2 <i>T. pratense</i>	422,77±6,15	420,89±0,85	0.50
MW2 <i>L. pedunculatus</i>	429,81±3,51	421,55±3,14	0.13
MW2 <i>L. pratensis</i>	426,44±5,25	427,05±0,91	1.00
MW3 (Warnowniederung)	436,43±9,18	434,19±5,70	0.58
MW3 <i>T. repens</i>	424,35±3,44	425,04±5,17	1
MW3 <i>T. pratense</i>	432,33±2,94	439,16±2,21	0.50
MW3 <i>L. pedunculatus</i>	434,14±5,05	434,43±1,73	1
MW3 <i>L. pratensis</i>	446,25±3,83	436,09±4,33	0.13
MW4 (Kambs)	441,51±9,58	434,64±3,65	0.15
MW4 <i>T. pratense</i>	432,75±1,20	434,88±4,80	0.63
MW4 <i>L. pedunculatus</i>	452,43±2,49	436,00±1,54	0.50
MW4 <i>L. pratensis</i>	448,09±0,37	432,80±3,32	0.50
MW5 (Walkendorf)	422,83±3,57	433,57±4,35	0.06
MW5 <i>T. repens</i>	422,83±3,57	433,57±4,35	0.06

Anhang

Tabelle 40: C/N-Verhältnisse (Mittelwert±Standardabweichung) in der oberirdischen Biomasse von Leguminosen und ihrer Begleitvegetation auf fünf ökologisch bewirtschafteten Mähweiden in Nordostdeutschland. Mithilfe des Wilcoxon-Tests wurde geprüft, ob es zwischen den beiden Gruppen einen signifikanten Unterschied gibt.

Standort	Pflanzen-C/N Leguminosen (-)	Pflanzen-C/N Begleitvegetation (-)	P Wilcoxon-Test
Alle Standorte	13,47±2,52	19,00±5,57	0.000
MW1 (Sommersdorf)	13,73±2,21	18,26±4,22	0.000
MW1 <i>T. repens</i>	11,65±1,20	14,91±1,84	0.13
MW1 <i>T. pratense</i>	14,15±1,39	22,86±2,90	0.25
MW1 <i>L. corniculatus</i>	16,01±0,93	19,18±3,69	0.13
MW1 <i>L. pratensis</i>	11,63	14,20	1
MW2 (Peenetal)	15,33±2,56	24,45±3,69	0.000
MW2 <i>T. repens</i>	11,73±1,61	24,13±4,41	0.25
MW2 <i>T. pratense</i>	15,34±1,11	22,56±2,14	0.25
MW2 <i>L. pedunculatus</i>	17,16±1,41	23,37±2,67	0.13
MW2 <i>L. pratensis</i>	17,07±0,09	29,91±2,25	0.50
MW3 (Warnowniederung)	11,47±1,77	14,44±2,30	0.001
MW3 <i>T. repens</i>	10,68±0,09	12,29±2,07	0.50
MW3 <i>T. pratense</i>	11,60±0,52	14,10±0,16	0.50
MW3 <i>L. pedunculatus</i>	9,58±0,36	13,29±0,36	0.25
MW3 <i>L. pratensis</i>	13,21±1,49	16,56±2,37	0.13
MW4 (Kambs)	14,49±1,40	22,83±3,13	0.01
MW4 <i>T. pratense</i>	15,54±0,54	22,43±2,28	0.13
MW4 <i>L. pedunculatus</i>	12,48±0,52	21,04±5,64	0.50
MW4 <i>L. pratensis</i>	14,41±0,10	25,45±0,64	0.50
MW5 (Walkendorf)	11,16±1,10	11,54±1,31	0.31
MW5 <i>T. repens</i>	11,16±1,10	11,54±1,31	0.31

Anhang

Tabelle 41: S-Gehalte (Mittelwert±Standardabweichung) in der oberirdischen Biomasse von Leguminosen und ihrer Begleitvegetation auf fünf ökologisch bewirtschafteten Mähweiden in Nordostdeutschland. Mithilfe des Wilcoxon-Tests wurde geprüft, ob es zwischen den beiden Gruppen einen signifikanten Unterschied gibt.

Standort	Pflanzen-S Leguminosen (g kg⁻¹)	Pflanzen-S Begleitvegetation (g kg⁻¹)	P Wilcoxon-Test
Alle Standorte	3,44±1,14	4,38±1,14	0.000
MW1 (Sommersdorf)	3,34±0,80	4,79±1,47	0.000
MW1 <i>T. repens</i>	3,21±0,90	5,26±1,27	0.13
MW1 <i>T. pratense</i>	4,27±0,48	6,21±1,46	0.25
MW1 <i>L. corniculatus</i>	2,92±0,36	3,52±0,22	0.13
MW1 <i>L. pratensis</i>	2,75	3,68	1
MW2 (Peenetal)	2,87±0,63	3,81±1,14	0.001
MW2 <i>T. repens</i>	2,11±0,58	2,43±0,65	0.25
MW2 <i>T. pratense</i>	3,04±0,51	5,32±0,21	0.25
MW2 <i>L. pedunculatus</i>	3,27±0,40	3,73±0,47	0.25
MW2 <i>L. pratensis</i>	2,96±0,47	3,79±0,40	0.50
MW3 (Warnowniederung)	4,45±1,58	4,75±0,91	0.46
MW3 <i>T. repens</i>	3,75±0,32	5,01±1,08	0.50
MW3 <i>T. pratense</i>	3,74±0,04	5,13±0,66	0.50
MW3 <i>L. pedunculatus</i>	6,63±0,37	5,33±0,28	0.25
MW3 <i>L. pratensis</i>	3,52±1,26	3,99±0,97	0.13
MW4 (Kambs)	2,91±0,91	3,73±0,57	0.01
MW4 <i>T. pratense</i>	2,26±0,30	3,51±0,31	0.13
MW4 <i>L. pedunculatus</i>	4,05±1,00	4,46±0,76	0.50
MW4 <i>L. pratensis</i>	3,09±0,44	3,47±0,15	0.50
MW5 (Walkendorf)	3,62±0,59	5,01±0,08	0.06
MW5 <i>T. repens</i>	3,62±0,59	5,01±0,08	0.06

Anhang

Tabelle 42: Mg-Gehalte (Mittelwert±Standardabweichung) in der oberirdischen Biomasse von Leguminosen und ihrer Begleitvegetation auf fünf ökologisch bewirtschafteten Mähweiden in Nordostdeutschland. Mithilfe des Wilcoxon-Tests wurde geprüft, ob es zwischen den beiden Gruppen einen signifikanten Unterschied gibt.

Standort	Pflanzen-Mg Leguminosen (g kg⁻¹)	Pflanzen-Mg Begleitvegetation (g kg⁻¹)	P Wilcoxon-Test
Alle Standorte	3,12±1,14	2,45±0,82	0.000
MW1 (Sommersdorf)	2,63±0,61	1,80±0,34	0.001
MW1 <i>T. repens</i>	2,42±0,72	1,90±0,37	0.13
MW1 <i>T. pratense</i>	3,08±0,53	1,47±0,18	0.25
MW1 <i>L. corniculatus</i>	2,58±0,60	1,89±0,33	0.25
MW1 <i>L. pratensis</i>	2,36	2,03	1
MW2 (Peenetal)	3,09±1,42	2,26±0,61	0.03
MW2 <i>T. repens</i>	2,73±0,03	2,22±0,56	0.50
MW2 <i>T. pratense</i>	4,71±1,91	2,93±0,47	0.25
MW2 <i>L. pedunculatus</i>	2,74±1,62	1,98±0,50	0.63
MW2 <i>L. pratensis</i>	2,73±1,57	1,85±0,46	0.50
MW3 (Warnowniederung)	3,58±1,00	3,29±0,98	0.58
MW3 <i>T. repens</i>	3,75±0,20	4,35±1,29	1
MW3 <i>T. pratense</i>	5,08±0,87	2,99±0,14	0.50
MW3 <i>L. pedunculatus</i>	3,15±0,31	3,61±0,86	0.50
MW3 <i>L. pratensis</i>	3,08±0,98	2,67±0,83	0.63
MW4 (Kambs)	3,99±0,91	2,73±0,57	0.05
MW4 <i>T. pratense</i>	4,65±0,45	2,51±0,56	0,13
MW4 <i>L. pedunculatus</i>	2,78±0,56	2,99±0,89	1
MW4 <i>L. pratensis</i>	3,87±0,49	2,90±0,36	0.50
MW5 (Walkendorf)	1,95±0,37	2,20±0,33	0.31
MW5 <i>T. repens</i>	1,95±0,37	2,20±0,33	0.31

Anhang

Tabelle 43: K-Gehalte (Mittelwert±Standardabweichung) in der oberirdischen Biomasse von Leguminosen und ihrer Begleitvegetation auf fünf ökologisch bewirtschafteten Mähweiden in Nordostdeutschland. Mithilfe des Wilcoxon-Tests wurde geprüft, ob es zwischen den beiden Gruppen einen signifikanten Unterschied gibt.

Standort	Pflanzen-K Leguminosen (g kg ⁻¹)	Pflanzen-K Begleitvegetation (g kg ⁻¹)	P Wilcoxon-Test
Alle Standorte	12,37±6,93	13,92±6,71	0.02
MW1 (Sommersdorf)	17,44±3,85	18,20±5,31	0.79
MW1 <i>T. repens</i>	20,31±4,27	19,23±7,80	0.88
MW1 <i>T. pratense</i>	15,99±3,99	14,14±3,63	0.25
MW1 <i>L. corniculatus</i>	16,83±2,09	19,30±3,09	0.25
MW1 <i>L. pratensis</i>	12,69	21,93	1
MW2 (Peenetal)	12,65±8,93	11,57±4,94	0.68
MW2 <i>T. repens</i>	23,89±9,80	14,53±5,60	0.25
MW2 <i>T. pratense</i>	11,79±4,43	10,23±1,57	0.50
MW2 <i>L. pedunculatus</i>	6,89±5,14	10,55±6,29	0.25
MW2 <i>L. pratensis</i>	8,59±4,40	11,16±6,76	0.50
MW3 (Warnowniederung)	6,85±3,37	9,74±6,60	0.02
MW3 <i>T. repens</i>	6,04±0,97	10,17±4,71	0.50
MW3 <i>T. pratense</i>	5,80±0,66	5,08±1,71	1
MW3 <i>L. pedunculatus</i>	4,30±0,99	5,42±1,28	0.50
MW3 <i>L. pratensis</i>	9,70±4,27	15,11±8,01	0.13
MW4 (Kambs)	8,79±4,09	10,90±2,61	0.08
MW4 <i>T. pratense</i>	11,99±2,85	12,47±0,71	0.88
MW4 <i>L. pedunculatus</i>	4,15±1,00	7,38±3,26	0.50
MW4 <i>L. pratensis</i>	7,05±1,29	11,30±0,67	0.50
MW5 (Walkendorf)	17,41±5,39	23,30±3,90	0.13
MW5 <i>T. repens</i>	17,41±5,39	23,30±3,90	0.13

12.2 Feldversuch

Tabelle 44: Erträge in dt TM ha⁻¹ (Mittelwert±Standardabweichung) nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose auf dem ökologisch bewirtschafteten Versuchsfeld.

	Art des P-Düngers			Art der Leguminose			
	0-P	KK+	Timac	0-Klee	<i>Lotus</i>	<i>T. giganteum</i>	<i>T. sylvestre</i>
2014							
2. Schnitt	9,53 ± 3,70 a	9,48 ± 3,72 a	10,67 ± 5,28 a	7,35 ± 3,51 a	12,55 ± 5,83 b	10,03 ± 2,98 ab	9,64 ± 2,62 ab
2015							
1. Schnitt	28,65 ± 7,61 a	32,53 ± 8,43 a	32,56 ± 7,72 a	24,49 ± 7,80 a	28,92 ± 4,71 ab	38,01 ± 6,89 c	33,58 ± 5,70 bc
2. Schnitt	34,09 ± 8,41 a	40,76 ± 13,10 a	35,66 ± 12,99 a	27,59 ± 10,00 a	54,86 ± 13,42 b	35,57 ± 8,30 ab	38,32 ± 7,79 ab
3. Schnitt	18,83 ± 6,72 a	21,88 ± 7,53 a	18,92 ± 7,56 a	12,32 ± 5,80 a	23,26 ± 5,90 b	23,12 ± 6,88 b	20,81 ± 5,16 b
2016							
1. Schnitt	43,54 ± 14,07 a	45,99 ± 10,89 a	45,20 ± 14,26 a	37,75 ± 12,60 a	54,98 ± 8,37 b	44,36 ± 11,84 ab	42,54 ± 13,09 ab
2. Schnitt	28,45 ± 12,88 a	30,82 ± 12,76 a	28,44 ± 13,41 a	19,54 ± 5,12 a	49,75 ± 4,53 b	23,71 ± 4,38 a	23,95 ± 2,76 a
3. Schnitt	13,07 ± 4,38 a	14,54 ± 4,61 a	13,81 ± 5,86 a	11,44 ± 4,86 a	18,37 ± 2,86 b	12,23 ± 5,42 a	13,18 ± 3,22 a

Tabelle 45: Erträge in dt TM ha⁻¹ (Mittelwert±Standardabweichung) nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose auf dem konventionell bewirtschafteten Versuchsfeld.

	Art des P-Düngers			Art der Leguminose			
	0-P	AshDec	Leachphos	Timac	0-Klee	<i>Lotus</i>	<i>T. sylvestre</i>
2014							
2. Schnitt	17,81 ± 6,22 a	18,50 ± 5,11 a	19,62 ± 5,24 a	20,91 ± 4,46 a	18,03 ± 5,72 a	19,66 ± 4,95 a	19,94 ± 5,21 a
2015							
1. Schnitt	44,72 ± 10,46 a	49,45 ± 12,24 a	50,97 ± 13,42 a	52,82 ± 10,49 a	40,99 ± 10,34 a	51,36 ± 11,52 ab	56,12 ± 8,02 b
2. Schnitt	26,84 ± 8,13 a	30,01 ± 12,21 a	25,18 ± 7,44 a	27,25 ± 9,56 a	17,70 ± 2,31 a	37,35 ± 7,13 b	26,90 ± 3,55 b
3. Schnitt	17,08 ± 6,58 a	20,55 ± 8,68 a	19,11 ± 6,42 a	18,80 ± 7,54 a	11,23 ± 3,68 a	24,93 ± 5,81 c	20,50 ± 3,47 b
2016							
1. Schnitt	28,52 ± 11,04 a	33,34 ± 17,40 a	29,75 ± 11,80a	33,08 ± 15,56 a	22,16 ± 5,71 a	46,92 ± 11,98 b	24,43 ± 5,43 a
2. Schnitt	20,82 ± 15,66 a	26,95 ± 22,95 a	20,45 ± 17,40 a	26,08 ± 26,06 a	10,46 ± 7,74 a	49,75 ± 12,08 b	10,51 ± 3,49 a
3. Schnitt	10,79 ± 4,68 a	11,78 ± 7,06 a	10,57 ± 4,72 a	11,08 ± 5,70 a	7,97 ± 4,20 a	15,82 ± 5,30 b	9,36 ± 3,21 a

Anhang

Tabelle 46: Anteil der funktionellen Gruppen in % (Mittelwert±Standardabweichung) nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose auf dem ökologisch bewirtschafteten Versuchsfeld.

	Art des P-Düngers			Art der Leguminose			
	O-P	KK+	Timac	O-Klee	<i>Lotus</i>	<i>T. giganteum</i>	<i>T. sylvestre</i>
2014 – 2. Schnitt							
Gräser	42,99 ± 24,56 a	42,79 ± 23,31 a	39,36 ± 23,43 a	59,22 ± 28,30 b	36,34 ± 21,98 a	35,31 ± 18,47 a	35,99 ± 15,89 a
Kräuter	23,26 ± 19,84 a	22,37 ± 12,06 a	27,52 ± 20,65 a	38,46 ± 28,21 b	23,79 ± 9,76 ab	17,52 ± 8,52 a	17,77 ± 7,69 a
Leguminosen	33,74 ± 24,27 a	34,84 ± 24,99 a	33,13 ± 23,66 a	2,33 ± 2,47 a	39,87 ± 20,10 b	47,18 ± 16,84 b	46,24 ± 15,57 b
2015 – 1. Schnitt							
Gräser	45,81 ± 22,85 a	44,44 ± 25,17 a	61,00 ± 21,42 b	80,75 ± 14,69 b	40,25 ± 14,00 a	36,92 ± 16,48 a	43,75 ± 20,01 a
Kräuter	2,63 ± 2,68 a	2,56 ± 1,26 a	2,38 ± 1,50 a	2,75 ± 0,97 a	3,83 ± 3,13 b	1,50 ± 0,67 b	2,00 ± 0,74 b
Leguminosen	51,56 ± 23,43 b	53,00 ± 25,21 b	36,63 ± 21,23 a	16,50 ± 14,61 a	55,92 ± 14,37 b	61,58 ± 16,13 b	54,25 ± 19,96 b
2015 – 2. Schnitt							
Gräser	29,06 ± 20,57 ab	22,69 ± 16,97 a	36,19 ± 21,63 b	44,92 ± 24,76 b	10,25 ± 4,41 a	29,83 ± 16,77 b	32,25 ± 12,45 b
Kräuter	6,13 ± 7,72 a	8,88 ± 13,39 a	7,88 ± 90,84 a	16,08 ± 15,84 c	2,83 ± 2,82 a	5,17 ± 6,31 b	6,42 ± 7,30 b
Leguminosen	64,81 ± 25,42 a	68,44 ± 22,58 a	55,94 ± 22,78 a	39,00 ± 22,26 a	86,92 ± 6,13 c	65,00 ± 19,94 b	61,33 ± 14,64 b
2015 – 3. Schnitt							
Gräser	30,75 ± 19,85 a	28,59 ± 18,53 a	36,09 ± 21,17 a	51,00 ± 22,17 a	19,67 ± 9,88 b	28,96 ± 16,09 b	27,63 ± 14,87 b
Kräuter	5,5 ± 5,96 a	6,28 ± 6,16 a	7,09 ± 7,35 a	7,00 ± 5,98 a	5,42 ± 6,57 a	6,04 ± 6,58 a	6,71 ± 7,20 a
Leguminosen	63,75 ± 22,62 a	65,13 ± 21,99 a	56,81 ± 24,42 a	42,00 ± 22,90 a	74,92 ± 13,64 b	65,00 ± 20,45 b	65,67 ± 21,38 b
2016 – 1. Schnitt							
Gräser	42,52 ± 12,97 a	45,13 ± 12,89 a	49,26 ± 16,41 a	52,18 ± 11,25 b	26,88 ± 6,25 a	55,96 ± 10,11 b	47,53 ± 6,18 b
Kräuter	11,83 ± 10,04 a	10,42 ± 6,96 a	10,53 ± 7,84 a	14,23 ± 10,45 a	7,92 ± 5,89 a	10,13 ± 7,14 a	11,43 ± 8,44 a
Leguminosen	45,65 ± 16,75 a	44,46 ± 14,53 a	40,21 ± 18,37 a	33,59 ± 12,14 a	65,21 ± 7,43 b	33,91 ± 12,39 a	41,05 ± 8,39 a
2016 – 2. Schnitt							
Gräser	22,69 ± 10,18 a	22,79 ± 11,32 a	27,09 ± 11,23 a	27,72 ± 11,98 b	10,88 ± 1,57 a	30,33 ± 6,53 b	27,83 ± 7,43 b
Kräuter	9,68 ± 8,61 a	10,39 ± 9,02 a	11,88 ± 10,44 a	15,73 ± 8,66 b	5,04 ± 6,61 a	9,83 ± 9,34 ab	12,01 ± 9,65 ab
Leguminosen	67,63 ± 14,22 a	66,81 ± 14,42 a	61,03 ± 15,96 a	56,55 ± 13,23 a	84,08 ± 7,02 b	59,84 ± 9,49 a	60,16 ± 10,01 a
2016 – 3. Schnitt							
Gräser	48,08 ± 18,09 a	48,99 ± 20,43 a	52,01 ± 19,47 a	59,70 ± 12,75 b	23,51 ± 8,38 a	56,58 ± 15,43 b	58,98 ± 8,40 b
Kräuter	5,30 ± 4,02 a	5,86 ± 4,51 a	7,43 ± 7,83 a	8,76 ± 5,58 a	6,00 ± 6,62 a	4,34 ± 4,85 a	5,69 ± 5,21 a
Leguminosen	46,63 ± 19,98 a	45,15 ± 19,91 a	40,56 ± 19,83 a	31,54 ± 13,57 a	70,49 ± 9,99 b	39,08 ± 15,42 a	35,33 ± 9,21 a

Anhang

Tabelle 47: Anteil der funktionellen Gruppen in % (Mittelwert±Standardabweichung) nach Art des P-Düngers und Art der Leguminose auf dem konventionell bewirtschafteten Versuchsfeld.

	Art des P-Düngers				Art der Leguminose		
	0-P	AshDec	Leachphos	Timac	0-Klee	<i>Lotus</i>	<i>T. sylvestre</i>
2014 – 2. Schnitt							
Gräser	62,03 ± 12,02 a	62,32 ± 13,39 a	59,60 ± 7,49 a	60,34 ± 11,09 a	71,24 ± 10,64 b	57,04 ± 6,10 a	54,93 ± 7,40 a
Kräuter	20,91 ± 10,27 a	20,90 ± 10,16 a	24,67 ± 9,87 a	19,63 ± 9,15 a	28,58 ± 10,60 b	19,43 ± 7,55 a	16,57 ± 6,64 a
Leguminosen	17,06 ± 13,51 a	16,78 ± 13,58 a	15,74 ± 13,51 a	20,03 ± 15,26 a	0,18 ± 0,51 a	23,54 ± 7,53 b	28,50 ± 6,07 c
2015 – 1. Schnitt							
Gräser	65,50 ± 22,07 a	61,92 ± 24,50 a	63,36 ± 25,69 a	69,00 ± 18,77 a	93,13 ± 2,88 b	54,56 ± 11,99 a	49,00 ± 13,64 a
Kräuter	0,92 ± 0,79 a	1,08 ± 0,67 a	1,36 ± 0,50 a	1,17 ± 0,72 a	1,53 ± 0,52 b	0,88 ± 0,72 a	1,00 ± 0,63 a
Leguminosen	33,58 ± 22,61 a	37,00 ± 24,62 a	35,27 ± 25,74 a	29,83 ± 19,24 a	5,33 ± 2,74 a	44,56 ± 12,12 b	50,00 ± 13,67 b
2015 – 2. Schnitt							
Gräser	48,28 ± 32,14 a	49,18 ± 32,71 a	54,84 ± 29,40 a	58,03 ± 29,41 a	89,64 ± 8,87 c	22,42 ± 9,82 a	45,69 ± 14,20 b
Kräuter	0,48 ± 0,72 a	0,52 ± 0,61 a	0,63 ± 0,84 a	0,46 ± 0,42 a	0,80 ± 0,79 b	0,32 ± 0,37 a	0,44 ± 0,66 ab
Leguminosen	51,23 ± 32,38 a	50,31 ± 32,75 a	44,53 ± 29,89 a	41,51 ± 29,69 a	9,56 ± 9,10 a	77,26 ± 9,78 c	53,86 ± 14,44 b
2015 – 3. Schnitt							
Gräser	52,27 ± 20,25 a	47,33 ± 23,99 a	52,46 ± 17,87 a	53,60 ± 23,12 a	72,29 ± 15,51 c	30,14 ± 9,63 a	51,81 ± 9,29 b
Kräuter	1,73 ± 1,67 a	1,75 ± 2,03 a	1,88 ± 1,43 a	1,82 ± 1,54 a	2,96 ± 1,79 b	0,99 ± 0,62 a	1,44 ± 1,57 a
Leguminosen	46,00 ± 21,44 a	50,92 ± 24,73 a	45,67 ± 18,01 a	44,58 ± 23,83 a	24,75 ± 15,69 a	68,88 ± 9,65 c	46,75 ± 9,03 b
2016 – 1. Schnitt							
Gräser	62,11 ± 27,10 a	59,41 ± 29,26 a	64,92 ± 28,05 a	62,31 ± 27,64 a	81,30 ± 10,69 b	26,56 ± 8,51 a	78,69 ± 9,74 b
Kräuter	0,98 ± 0,45 a	0,99 ± 0,73 a	0,84 ± 0,64 a	0,85 ± 0,68 a	1,31 ± 0,53 a	0,56 ± 0,37 a	0,87 ± 0,69 a
Leguminosen	36,92 ± 27,31 a	40,33 ± 29,11 a	34,24 ± 28,28 a	36,84 ± 28,00 a	17,94 ± 11,06 a	72,88 ± 8,48 b	20,44 ± 9,86 a
2016 – 2. Schnitt							
Gräser	48,38 ± 30,06 a	50,50 ± 29,74 a	52,30 ± 31,54 a	51,12 ± 29,85 a	70,03 ± 10,93 b	11,64 ± 2,32 a	70,15 ± 11,73 b
Kräuter	2,41 ± 2,85 a	2,57 ± 2,63 a	2,63 ± 3,69 a	2,74 ± 4,02 a	5,38 ± 4,05 b	0,71 ± 0,51 a	1,66 ± 1,80 a
Leguminosen	49,22 ± 31,49 a	46,93 ± 31,15 a	44,99 ± 32,90 a	46,14 ± 31,58 a	24,53 ± 11,52 a	87,75 ± 2,58 b	28,19 ± 12,04 a
2016 – 3. Schnitt							
Gräser	61,70 ± 27,12 a	64,83 ± 29,49 a	66,09 ± 21,19 a	64,10 ± 23,86 a	80,09 ± 13,24 b	34,20 ± 14,55 a	78,26 ± 10,24 b
Kräuter	2,79 ± 1,74 a	3,73 ± 3,23 a	4,28 ± 3,18 a	4,15 ± 3,28 a	6,76 ± 2,84 b	2,02 ± 1,42 a	2,44 ± 1,23 ab
Leguminosen	35,51 ± 27,68 a	31,35 ± 30,99 a	29,63 ± 22,46 a	31,67 ± 25,93 a	13,03 ± 13,94 a	63,78 ± 14,70 b	19,30 ± 9,99 a

12.3 Gefäßversuch

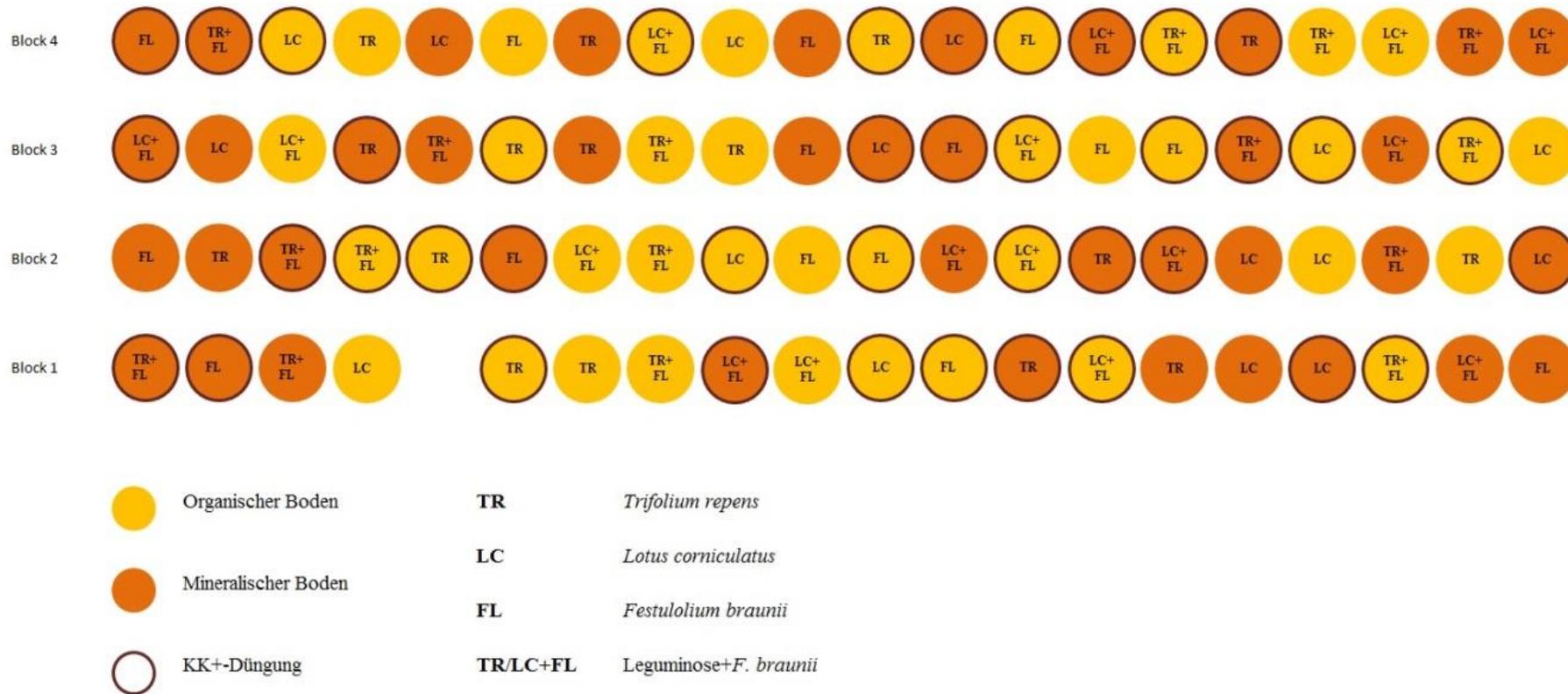


Abbildung 47: Versuchsplan des Gefäßversuches, 2. Randomisierung nach dem 1. Schnitt.

Anhang

Tabelle 48: Etablierung der Pflanzen im Gefäßversuch. Gesamt und einzeln nach Leguminose (Klee) und Gras. TR=*Trifolium repens*, LC=*Lotus corniculatus*, FL=*Festulolium braunii*.

Topf. Nr	Variante	Block	Faktor 1: Boden- substrat	Faktor 2: Art+Lichtk onkurrenz	Faktor 3: P-Versorg.	Etablie- rung Gesamt	Etab. Klee	Etab. Gras	Etab. Gesamt (%)	Etab. Klee (%)	Etab. Gras (%)
1	1	A	Org	TR	0 P	16	16		64	64	
2	2	A	Org	TR	KK+	13	13		52	52	
3	3	A	Org	LC	0 P	8		8	32	32	
4	4	A	Org	LC	KK+	14		14	56	56	
5	5	A	Org	FL	0 P	0		0	0		0
6	6	A	Org	FL	KK+	4		4	16		16
7	7	A	Org	TR+FL	0 P	8	6	2	32	40	20
8	8	A	Org	TR+FL	KK+	16	14	2	64	93	20
9	9	A	Org	LC+FL	0 P	7	4	3	28	27	30
10	10	A	Org	LC+FL	KK+	10	9	1	40	60	10
11	11	A	Min	TR	0 P	14	14		56	56	
12	12	A	Min	TR	KK+	9	9		36	36	
13	13	A	Min	LC	0 P	14	14		56	56	
14	14	A	Min	LC	KK+	11	11		44	44	

Anhang

15	15	A	Min	FL	0 P	6		6	24		24
16	16	A	Min	FL	KK+	9		9	36		36
17	17	A	Min	TR+FL	0 P	18	13	5	72	87	50
18	18	A	Min	TR+FL	KK+	12	10	2	48	67	20
19	19	A	Min	LC+FL	0 P	14	11	3	56	73	30
20	20	A	Min	LC+FL	KK+	10	8	2	40	53	20
21	7	B	Org	TR+FL	0 P	10	6	4	40	40	40
22	13	B	Min	LC	0 P	15	15		60	60	
23	19	B	Min	LC+FL	0 P	15	12	3	60	80	30
24	20	B	Min	LC+FL	KK+	13	10	3	52	67	30
25	17	B	Min	TR+FL	0 P	11	8	3	44	53	30
26	4	B	Org	LC	KK+	21	21		84	84	
27	5	B	Org	FL	0 P	5		5	20		20
28	11	B	Min	TR	0 P	22	22		88	88	
29	9	B	Org	LC+FL	0 P	7	5	2	28	33	20
30	15	B	Min	FL	0 P	10		10	40		40
31	2	B	Org	TR	KK+	17	17		68	68	

Anhang

32	3	B	Org	LC	0 P	8	8		32	32	
33	16	B	Min	FL	KK+	7		7	28		28
34	18	B	Min	TR+FL	KK+	11	9	2	44	60	20
35	1	B	Org	TR	0 P	11	11		44	73	
36	6	B	Org	FL	KK+	4		4	16		16
37	8	B	Org	TR+FL	KK+	10	9	1	40	60	10
38	10	B	Org	LC+FL	KK+	10	8	2	40	53	20
39	14	B	Min	LC	KK+	14	14		56	56	
40	12	B	Min	TR	KK+	11	11		44	44	
41	16	C	Min	FL	KK+	4		4	16		16
42	8	C	Org	TR+FL	KK+	12	12	0	48	80	
43	19	C	Min	LC+FL	0 P	15	11	4	60	73	40
44	1	C	Org	TR	0 P	12	12		48	48	
45	6	C	Org	FL	KK+	5		5	20		20
46	11	C	Min	LC+FL	0 P	15	15		60	100	0
47	5	C	Org	FL	0 P	1		1	4		4
48	13	C	Min	LC	0 P	14	14		56	56	

Anhang

49	3	C	Org	LC	0 P	8	8		32	32	
50	9	C	Org	LC+FL	0 P	9	9	0	36	60	0
51	17	C	Min	TR+FL	0 P	14	10	4	56	67	40
52	7	C	Org	TR+FL	0 P	6	5	1	24	33	10
53	2	C	Org	TR	KK+	13	13		52	52	
54	14	C	Min	LC	KK+	12	12		48	48	
55	4	C	Org	LC	KK+	15	15		60	60	
56	12	C	Min	TR	KK+	10	10		40	40	
57	15	C	Min	FL	0 P	11		11	44		44
58	20	C	Min	LC+FL	KK+	6	6	0	24	40	0
59	10	C	Org	LC+FL	KK+	11	8	3	44	53	30
60	18	C	Min	TR+FL	KK+	9	6	3	36	40	30
61	5	D	Org	FL	0 P	1		1	4		4
62	4	D	Org	LC	KK+	17	17		68	68	
63	16	D	Min	FL	KK+	9		9	36		36
64	19	D	Min	LC+FL	0 P	15	12	3	60	80	30
65	7	D	Org	TR+FL	0 P	8	5	3	32	33	30

Anhang

66	2	D	Org	TR	KK+	16	16		64	64	
67	6	D	Org	FL	KK+	4		4	16		16
68	20	D	Min	LC+FL	KK+	2	1	1	8	7	10
69	14	D	Min	LC	KK+	8	8		32	32	
70	8	D	Org	TR+FL	KK+	15	13	2	60	87	20
71	12	D	Min	TR	KK+	3	3		12		
72	10	D	Org	LC+FL	KK+	11	9	2	44		
73	13	D	Min	LC	0 P	12	12		48	48	
74	3	D	Org	LC	0 P	13	13		52	52	
75	18	D	Min	TR+FL	KK+	10	7	3	40	47	30
76	1	D	Org	TR	0 P	12	12		48	48	
77	17	D	Min	TR+FL	0 P	16	13	3	64	87	30
78	9	D	Org	LC+FL	0 P	6	4	2	24	27	20
79	11	D	Min	TR	0 P	18	18		72	72	
80	15	D	Min	FL	0 P	2		2	8		8