

Abschlussbericht

Anschubprojekt: „Die neuen Phosphor-Bodenfertilitätsklassen und ihre Beziehungen zu Phytodiversität und Vegetationstypen“

Zuwendungsempfänger:

Universität Rostock, LS Landschaftsökologie, LS Grünland

Kooperationspartner:

Vorhabensbezeichnung:

Die neuen Phosphor-Bodenfertilitätsklassen und ihre Beziehungen zu
Phytodiversität und Vegetationstypen

Laufzeit des Vorhabens:

1. Oktober 2022 – 31. Juli 2023

Autoren: Uwe Buczko, Florian Jansen, Nicole Wrage-Mönnig, Jürgen Müller

Inhaltsverzeichnis

Kapitel	Seite
1 Zusammenfassung und Schlussfolgerung (ggf. offene Forschungsfragen)	
2 Einleitung und Ziele des Projektes	
3 Material und Methoden	
4 Ergebnisse	
5 Diskussion	
6 weitere Leistungen und Ziele aus dem Projekt*	
7 Literaturverzeichnis	
Danksagung	
Anhang	

* z.B. Beiträge auf Konferenzen, Publikationen (mit Status), Drittmittelanträge (mit Status), auch Ziele (wie Publikationen), welche im (Verlängerungs-) Antrag angegeben wurden!

1. Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Hohe pflanzenverfügbare Phosphorgehalte im Boden können die pflanzliche Artenvielfalt (Phytodiversität) auf bewirtschaftetem und natürlichem Grünland beeinträchtigen. Dies wurde bisher jedoch nur im großen räumlichen Maßstab und für hohe Phosphorgehalte demonstriert. Die Fragestellung in diesem Projekt war, ob sich auch auf einer kleinräumigen, lokalen Skala und bei niedrigen pflanzenverfügbaren P-Gehalten ein Zusammenhang zwischen P-Gehalt und Phytodiversität ergibt. Darauf aufbauend sollte zudem untersucht werden, ob die Phosphorgehaltsklassen, die für Ackerböden und Wirtschafts-Grünland aufgestellt wurden, auch für die Charakterisierung von naturbelassenen Grünlandstandorten Anwendung finden können.

Als Untersuchungsgebiet diente das kleine NSG Kösterbeck nahe Rostock. Hier konnte auf einen reichen Datensatz von Vegetationsaufnahmen aus dem Jahre 2015 zurückgegriffen werden. Es wurden zusätzlich an ausgewählten Punkten Bodenproben entnommen und mit Hilfe der Doppellaktat-Extraktion pflanzenverfügbare P-Gehalte (P(DL)) ermittelt.

Es ergaben sich durchweg geringe P(DL)-Gehalte, die fast alle in den Gehaltsklassen „A“ und „B“ liegen. Es konnte kein Zusammenhang zwischen P(DL)-Gehalten und der Artenzahl je m² festgestellt werden. Ähnliches gilt für die P(DL)-Gehalte und der Biomasse je m². Als Gründe für die fehlenden Zusammenhänge kann die geringe räumliche Skala der Untersuchung und die geringe Bandbreite der P(DL)-Gehalte vermutet werden. Eine Schlussfolgerung der Studie ist, dass die P(DL) Gehalte und die darauf basierenden Gehaltsklassen alleine nicht ausreichend sind, um kleinräumige naturbelassene Grünlandstandorte im Hinblick auf Phytodiversität und Biomasse zu charakterisieren. Anscheinend ist der Nährstoff Phosphor, trotz der vordergründig niedrigen P(DL)-Gehalte, auf diesem Standort nicht limitierend. Die auf Maximalertrag ausgerichteten Gehaltsklassen haben offenbar wenig Bezug zu den für den Zusammenhalt von Lebensgemeinschaften entscheidenden Phosphorgehaltsbereich. Eine echte P-Mangelgrenze befindet sich weit unterhalb der Grenze zwischen der P-Gehaltsklasse A („stark unterversorgt“) und B („unterversorgt“). Die Untersuchung weiterer Makronährstoffe (K, Mg, Ca, S) und auch der Mikronährstoffe wäre sinnvoll, um der Frage nachgehen zu können, welcher Nährstoff für die Pflanzen am jeweiligen Standort de facto limitierend ist.

2. Einleitung und Ziele des Projektes

Die Beziehungen zwischen pflanzenverfügbaren Boden-Phosphorgehalten und der Phytodiversität (Artenvielfalt der Pflanzen) sind durch zahlreiche Studien im regionalen Maßstab gut belegt (Ceulemans et al., 2014; Janssens et al., 1998; Mahnke et al., 2019; Wachendorf & Taube, 2001; Wassen et al., 2021; Wrage et al., 2011). Dabei zeigt sich im Allgemeinen, dass die Artenvielfalt mit zunehmenden P Gehalten zurückgeht.

Dabei ist jedoch zu beachten, dass vorliegende Studien sich immer auf große räumliche Maßstäbe von mindestens 100 km beziehen; es werden also z.T. sehr unterschiedliche Standorte verglichen, die sich nicht nur in den Gehalten an pflanzenverfügbarem P unterscheiden. Zudem wird meist ein deutlicher Rückgang der Artenvielfalt erst bei sehr hohen P Gehalten beobachtet. Beispielsweise fanden Ceulemans et al. (2014) einen deutlichen Rückgang der Phytodiversität erst oberhalb von P(Olsen)-Gehalten von 50 mg P kg⁻¹. Dies entspricht in etwa 10 mg P(DL) je 100 g Boden und damit Gehaltsklasse „D“ (für pH < 7). Darüberhinaus ist der Korrelationskoeffizient dieser Beziehung bei allen P-Gehalten meist gering (hohe Streuung).

Neben den pflanzenverfügbaren P-Gehalten beeinflussen zahlreiche andere Bodenfaktoren die Phytodiversität, z.B. die Bodenfeuchte, der pH-Wert, die Mykorrhizierung, Stickstoff- und Kaliumgehalte, etc. (Wassen et al., 2021; Band et al., 2022).

Gleichzeitig sind sowohl für den Landwirt als auch im Naturschutz (z.B. für den Erhalt von Grünland FFH Lebensraumtypen) einfache Analysen und einfache Klassifizierungen gefragt. Die Grenzen der fünf P-Fertilitätsstufen des Verbandes Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten e.V. (VDLUFA), die den wichtigsten Maßstab für die gute landwirtschaftliche Praxis darstellen, wurden vor einigen Jahren deutlich verringert (VDLUFA 2018). Es galt zu untersuchen, ob die neuen Grenzen für Einschätzungen zum potenziellen Pflanzenartenreichtum und die Zusammensetzung der Vegetation verwendet werden können, oder ob ihre Anwendung durch die Hinzunahme weiterer Parameter ergänzt werden sollte.

In dem Vorhaben wurden vorhandene Daten zu Phytodiversität, Biomasse, N-Gehalten und weiteren Bodenparametern genutzt (aus dem NSG Kösterbeck [unveröffentlicht]); zudem wurden neue Daten an frisch entnommenen Bodenproben erhoben, um die Gehalte an pflanzenverfügbarem P zu messen. Dabei war die Fragestellung vor allem, inwieweit die Boden-P-Fertilitätsstufen geeignet sind, die Beziehungen zwischen Produktivität und Phytodiversität zu beschreiben, und ob auf dieser Basis Entscheidungen zur Bewirtschaftung und zum Erhalt schützenswerter Grasländer getroffen werden können. Ausserdem sollte untersucht werden, ob weitere Boden-Parameter wie N-Gehalt und pH-Wert einen Einfluss auf die Phytodiversität ausüben.

3. Material und Methoden

Die Untersuchungen konzentrierten sich auf das etwa 220 ha große NSG „Kösterbeck“ östlich von Rostock (Schröder et al., 2017). Dort wurden in den vergangenen Jahren zahlreiche Vegetationsaufnahmen durchgeführt, die für die vorliegende Studie genutzt werden konnten. Wir wählten hierfür die räumlich hochaufgelösten, systematischen

Vegetationsaufnahmen, die im Jahre 2015 im Rahmen des HerbDivNet-Projektverbundes durchgeführt wurden.

Im Jahre 2015 wurden dafür 6 quadratische Flächen von 8 * 8 m (=64 m²) ausgewählt und mit einem Hochpräzisions-GPS-Gerät eingemessen (Abb. 1). Die Flächen lassen sich drei unterschiedlichen Habitattypen zuordnen, was sich auch in den Kurzbezeichnungen der Aufnahme- und Beprobungsflächen widerspiegelt: (1) feuchte Niedermoorflächen, als „rich“ bezeichnet, da sie augenscheinlich eine hohe Produktivität aufweisen – Flächen R1 und R2, im Westen des Untersuchungsgebietes gelegen; (2) nährstoffarme, trockene Magerrasen („poor“), Flächen P1 und P2, an den Oberhängen im Osten des Gebietes gelegen; (3) M2 und M3 („mittel“ oder „medium“): Habitattypen, die am Hangfuß liegen, im mittleren Bereich des Untersuchungsgebietes.

Diese 6 Flächen wurden im Jahr 2015 in Form von 8 * 8 m messenden Schachbrettmustern untersucht. Auch die Bezeichnungsweise der einzelnen Teilflächen wird analog zu derjenigen eines Schachbretts vorgenommen: A1,...,H8 (Abb. 2). Die räumliche Orientierung dieser Schachbrettmuster variiert jedoch, je nach Probenahme fläche (Abb. 1). Auf jeder der jeweils 1 m² großen Teilflächen wurde 2015 in einer Vegetationsaufnahme das Auftreten von sämtlichen Pflanzenarten erfasst. Danach wurden die lebende Pflanzenmasse und die Streu vollständig beprobt, bei 45 ° C getrocknet und die Pflanzentrockenmasse pro m² durch Wägung ermittelt – getrennt nach lebendem Pflanzenmaterial und Streumaterial. Im selben Jahr wurden je 64 m²-Untersuchungsfläche 8 Stechzylinder-Bodenproben entnommen und deren Lagerungsdichten, pH-Werte, Gehalte an N und C sowie organische Substanz ermittelt. Informationen zu pflanzenverfügbaren Gehalten an Nährstoffen wie Phosphor lagen bis 2022 für dieses Gebiet nicht vor.



Abb. 1: Lage der 6 Probenahme­flächen im NSG Kösterbeck. Jede der Flächen ist 8 * 8 m groß und besteht aus 64 Teilflächen von 1 m² Größe.

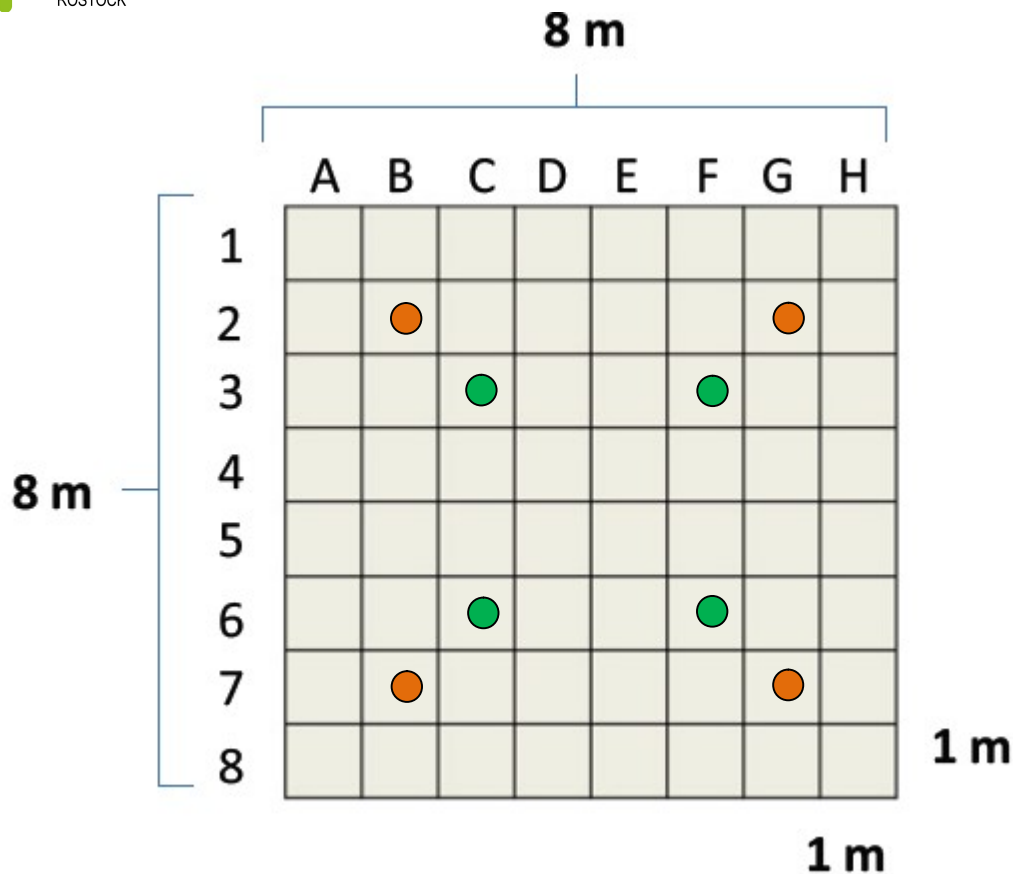


Abb. 2: Schachbrettartiges Schema der Vegetationsaufnahme und Probenahme. Teilflächen der Bodenprobenahme im November 2022: braune Punkte; im März 2023: grüne Punkte.

Daher wurden im November 2022 und März 2023 von jeder der sechs Flächen jeweils 4 Bodenproben (0 – 10 cm Tiefe) entnommen. Die Lage der Probenahmepunkte innerhalb des Schachbrettmusters ist in Abb. 2 dargestellt.

Diese Proben wurden 3 Tage im Trockenschrank bei 60° C getrocknet und daraufhin der pflanzenverfügbare Phosphorgehalt mit der Doppel-Laktat (DL) Extraktion nach VDLUFA (1991) ermittelt. Die Einstufung in Gehaltsklassen erfolgte gemäß der Umsetzung der Düngeverordnung von 2017 nach Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern (2021) (Tabelle 1).

Tab. 1: Wertebereiche der P(DL)-Gehaltsklassen für MV (Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern 2021).

Gehaltsklasse	P(DL) (mg P / 100 g) Wertebereich bei pH < 7	P(DL) (mg P / 100 g) Wertebereich bei pH > 7
A	< 3,1	< 2
B	3,1 – 5,5	2 – 3,9

C	5,6 – 8,0	4,0 – 5,9
D	8,1 – 10,9	6,0 – 8,5
E	> 10,9	> 8,5

4. Ergebnisse

Die auf den 6 Flächen ermittelten Werte der gesamten oberirdischen Biomasse je m² liegen im Mittel bei 515,7 g / m² und werden ganz überwiegend durch die lebende Biomasse ausgemacht (492,6 g / m²), sowie zu einem sehr geringen Teil (19,0 g / m²) durch Streu (Tabelle 2). Nach Standorttypen aufgegliedert, wurden für die Biomasse die höchsten Werte im Mittel für die „M“-Standorte ermittelt (663,2 g / m²), deutlich mehr als für die „R“-Plots und mehr als doppelt so viel wie für die „P“-Plots. Obwohl diese Werte für einzelne Teilflächen (sub-plots) von 1 m² stark schwanken – mit entsprechend hohen Standardabweichungen – ist in Abb. 3 sehr gut zu erkennen, dass die oberirdischen Biomassen je m² der drei Standorttypen drei deutlich unterscheidbare Gruppen bilden, wobei die M-Standorte eine mittlere (zw. P und R liegend) und eine Fläche mit sehr hohen Erträgen beinhalten.

Im Gegensatz zu den oberirdischen Biomassen ist die Pflanzen-Artenzahl je m² auf den „P“-Plots mit durchschnittlich 16,6 am höchsten, und auf den „M“-Plots mit 11,7 am niedrigsten (Tabelle 2). Dementsprechend zeigt die Beziehung zwischen gesamter oberirdischer Biomasse je m² und der Anzahl der Pflanzenarten je m² für die sub-plots aller sechs Standorte (6 * 64 = 384) eine deutliche inverse Korrelation (Abb. 3).

Die pH-Werte des Bodens lagen im Mittel aller Standorte bei 5,94. Am niedrigsten waren sie auf den P-Standorten (5,26) und am höchsten auf den R-Standorten (6,95). Auf den P- und M-Standorten waren die pH Werte aller Subplots kleiner als 7. Auf den R-Standorten waren die pH Werte auf 6 der 16 gemessenen Subplots > 7. Für diese 6 Subplots kommt somit bei der Klassifizierung der pflanzenverfügbaren P(DL)-Gehalte die rechte Spalte in Tab. 1 zur Anwendung, während für alle übrigen Subplots die Einteilung in der linken Spalte maßgeblich ist.

Tab. 2: Zusammenfassung der ermittelten Daten zu Biomasse und Artenzahl pro m² (2015), Bodenparametern (2015), und pflanzenverfügbaren Boden-Phosphorgehalten (2022, 2023); Angaben der Mittelwerte und Standardabweichungen (in Klammern).

	P („poor“)	M („medium“)	R („rich“)	Alle
oberirdische lebende Biomasse (g / m ²)	293,6 (125,2)	634,7 (149,9)	549,6 (86,6)	492,6 (190,3)
Streu (g / m ²)	26,3 (24,5)	28,4 (17,4)	14,5 (8,7)	23,1 (19,0)
gesamte oberirdische Biomasse (g / m ²)	320,0 (145,2)	663,2 (155,0)	564,1 (88,3)	515,7 (195,9)

Artenzahl pro m ²	16,6 (5,8)	11,7 (2,9)	13,4 (3,7)	13,9 (4,8)
Lagerungsdichte des Bodens (g / cm ³)	1,18 (0,09)	1,08 (0,21)	0,32 (0,14)	0,86 (0,42)
Boden-pH	5,26 (0,26)	5,61 (0,22)	6,95 (0,47)	5,94 (0,81)
gesamt-Stickstoff des Bodens (%)	0,21 (0,05)	0,24 (0,09)	2,15 (0,65)	0,86 (0,99)
gesamt-Kohlenstoff des Bodens (%)	2,5 (0,7)	2,9 (1,3)	19,9 (4,1)	8,5 (8,5)
C/N-Verhältnis des Bodens	12,2 (0,6)	12,1 (0,9)	9,6 (1,5)	11,3 (1,6)
SOM (%) des Bodens	5,4 (1,5)	7,0 (3,2)	49,1 (16,1)	20,5 (22,5)
P(DL) (mg / 100 g Boden)	3,24 (1,23)	1,90 (0,36)	1,57 (0,62)	2,24 (1,09)

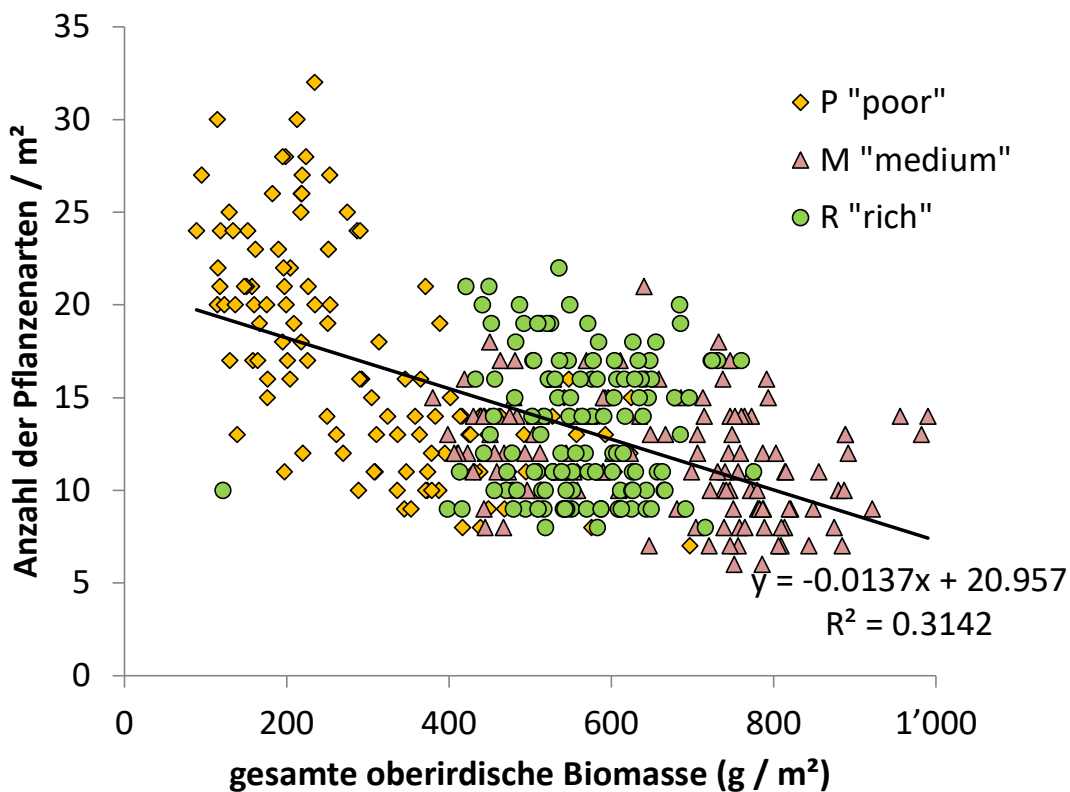


Abb. 3: Gesamte oberirdische Biomasse (g / m²) (lebende Biomasse und Streu) pro Sub-Plot (1 m² Fläche) vs der entsprechend dort ermittelten Anzahl der Pflanzenarten; aufgegliedert nach Standort-Typ.

Die mit der DL-Extraktion ermittelten pflanzenverfügbaren Boden-Phosphorgehalte liegen für alle Standorte im Mittel bei 2,24 mg P / 100 g Boden (Tab. 2). Dies entspricht der GK „A“

(bei pH Werten < 7), also „stark unterversorgt“. Die höchsten mittleren P(DL)-Gehalte finden sich auf den „P“-Standorten (3,24 mg P / 100 g Boden), während die niedrigsten Gehalte im Mittel auf den „R“-Plots (1,57 mg P / 100 g Boden) gemessen wurden. Alle Sub-Plots auf den R- und M-Standorten fallen in GK A, während für die P-Standorte die Hälfte der P(DL)-Gehalte in GK A einzuordnen ist.

Die Beziehung zwischen P(DL)-Werten und oberirdischer Biomasse (Abb. 4) zeigt eine sehr schwache inverse Korrelation ($R^2 = 0,064$) wenn alle Standorte zusammen betrachtet werden. Dies steht im Einklang mit den jeweiligen Mittelwerten für die oberirdische Biomasse und den mittleren P(DL)-Gehalten der drei Standortgruppen (Tab. 2), bei denen die P-Standorte die niedrigste Biomasse (293,6 g / m²), aber die höchsten P(DL)-Gehalte aufweisen, während die R- und M-Standorte deutlich höhere Biomassen bei gleichzeitig viel niedrigeren P(DL) Gehalten aufweisen.

Bei Auswertung dieser Beziehung innerhalb der einzelnen Standortgruppen ergibt sich für die P-Standorte eine positive Korrelation ($R^2 = 0,47$), während für die R- und M-Standorte keinerlei Korrelation feststellbar ist.

Die Beziehung zwischen P(DL) und Anzahl der Pflanzenarten je m² (Abb. 5) ergibt für alle Daten eine schwache positive Korrelation ($R^2 = 0,075$) (in Abb. 5 nicht graphisch dargestellt). Dies steht im Einklang mit den mittleren Werten für die Artenanzahl je m², die für die P-Standorte (die ja die höchsten P(DL)-Gehalte aufweisen) mit 16,6 deutlich größer ist als die mittleren Werte für die R- und M-Standorte (Tab. 2).

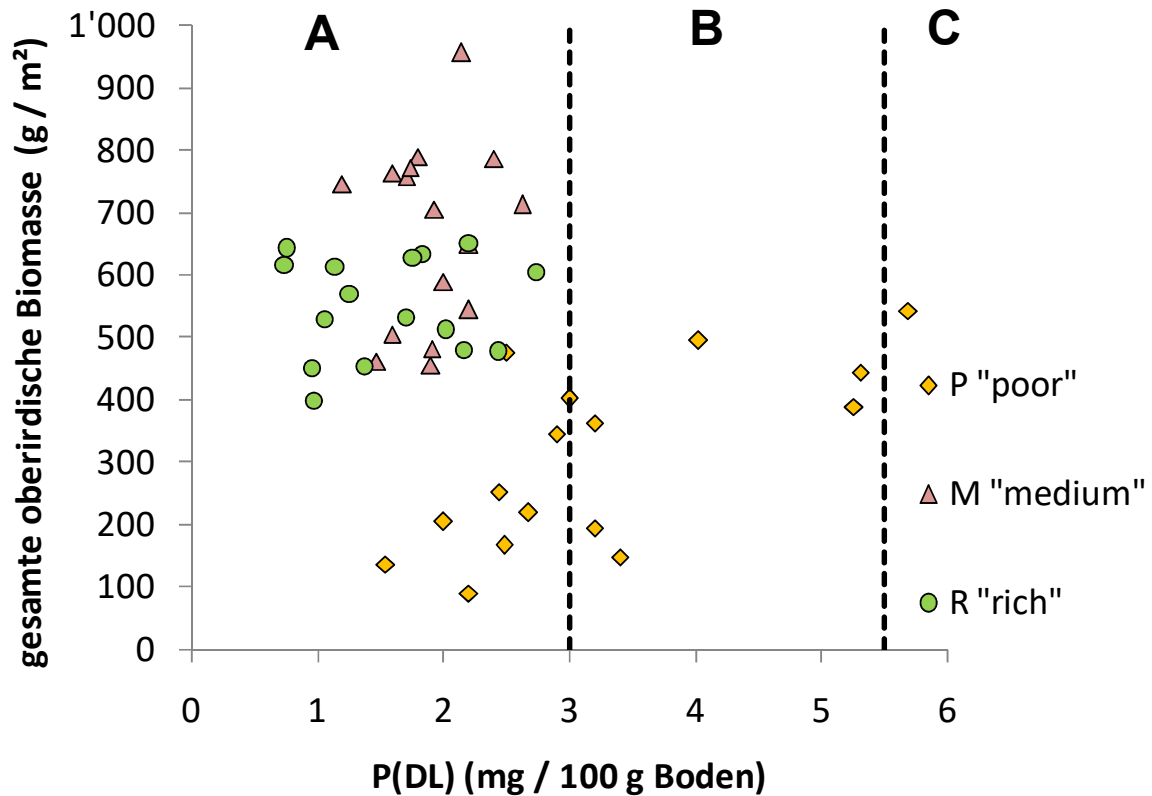


Abb. 4: P(DL)-Gehalte des Bodens (pflanzenverfügbares P) vs gesamte oberirdische Biomasse (g / m²) (lebende Biomasse und Streu) der entsprechenden Sub-Plots (1 m² Fläche); vertikale gestrichelte Linien kennzeichnen die Einteilung der P(DL)-Gehalte in Phosphor-Fertilitätsklassen (Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern 2021) für pH Werte < 7; alle gemessenen Subplots mit pH Werten > 7 (ausschließlich R-Standorte) weisen P(DL)-Gehalte < 2 mg auf und fallen somit bei Anwendung der Klassifikation für pH > 7 (Tab. 1) in die GK A.

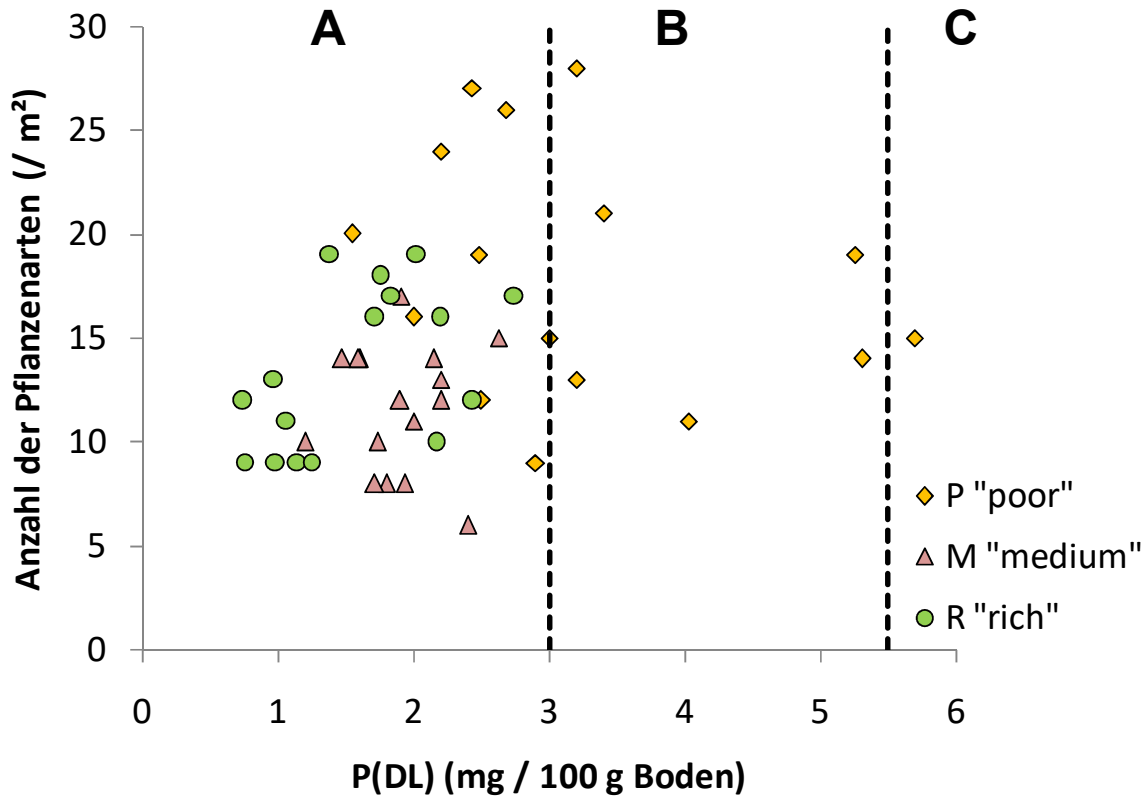


Abb. 5: P(DL)-Gehalte des Bodens (pflanzenverfügbares P) vs im entsprechenden Sub-Plot (1 m² Fläche) ermittelte Anzahl von Pflanzenarten.

Die Gesamt-Stickstoffgehalte sind im Mittel für die R-Standorte etwa 10 mal so groß (2,15 %) wie für die M und P Standorte, da an den R-Standorten organische Böden vorliegen und der Stickstoffgehalt eng an den organischen Kohlenstoffgehalt gebunden ist, wie an den für alle Standortgruppen sehr ähnlichen C/N-Verhältnissen, meist im Bereich zwischen 9 und 13 (Tab. 2), zu sehen ist.

Aus den Daten ist keine Korrelation zwischen N-Gehalten und gesamter oberirdischer Biomasse je m² (Abb. 6) oder Anzahl der Pflanzenarten je m² (Abb. 7) zu erkennen.

Ähnliches gilt für die Beziehungen jeweils zwischen Boden-pH, gesamt-Kohlenstoff des Bodens (%), C/N-Verhältnis des Bodens und SOM (%) des Bodens einerseits gegenüber gesamter oberirdischer Biomasse je m² und Anzahl der Pflanzenarten je m² andererseits (hier nicht dargestellt).

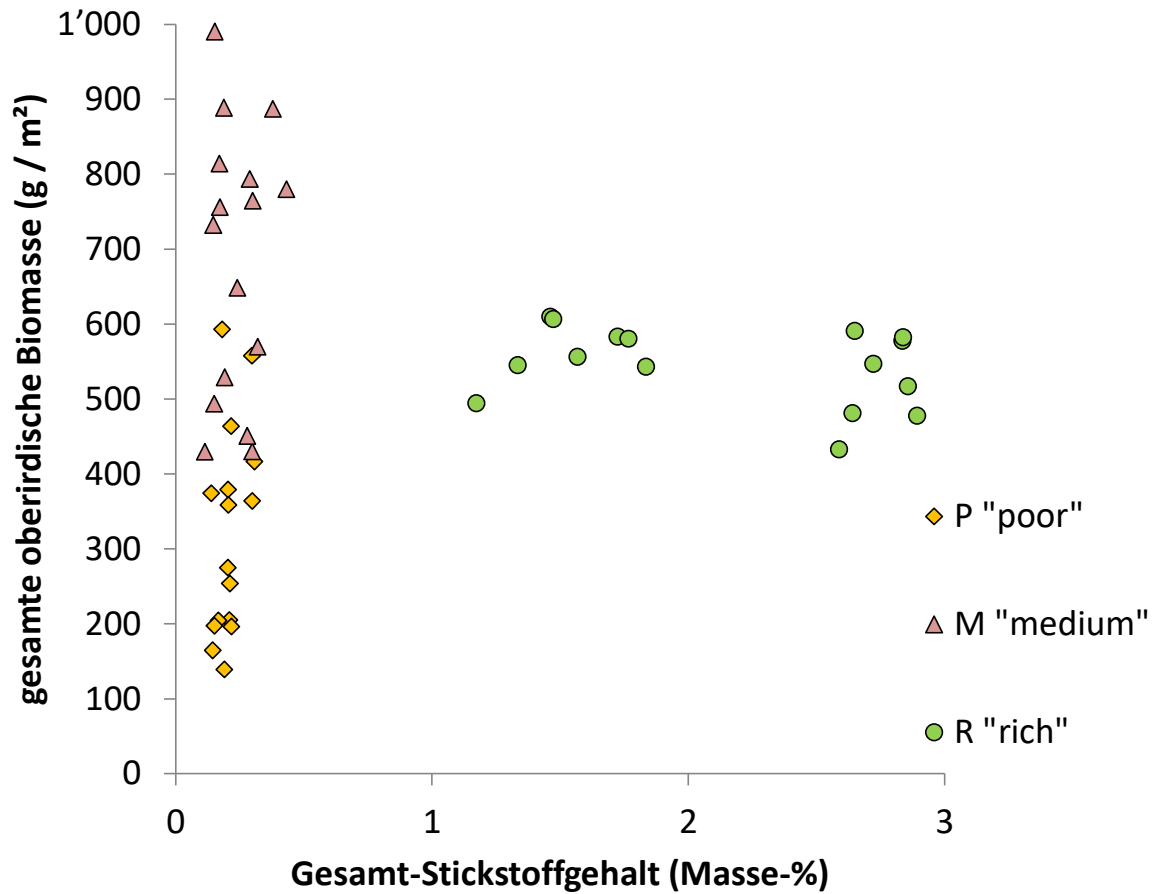


Abb. 6: Gesamt-N-Gehalte des Bodens vs. gesamte oberirdische Biomasse (g / m²) (lebende Biomasse und Streu) der entsprechenden Sub-Plots (1 m² Fläche).

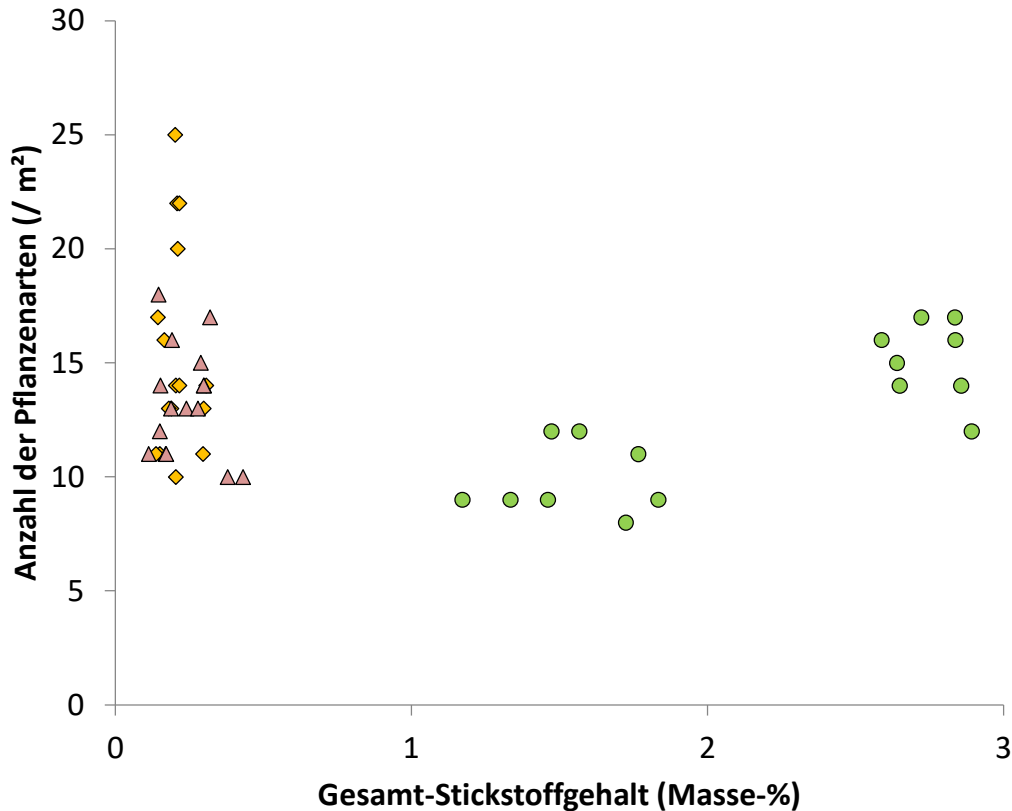


Abb. 7: Gesamt-N-Gehalte des Bodens vs. der im entsprechenden Sub-Plot (1 m² Fläche) ermittelten Anzahl von Pflanzenarten.

5. Diskussion

Die im NSG Kösterbeck ermittelten Werte für die oberirdische Biomasse (mehrheitlich zwischen 200 – 800 g / m² variierend) liegen in einem Bereich, der für zahlreiche andere Grünlandstandorte beschrieben wurde (z.B. Fraser et al., 2015). Auffällig ist jedoch die sehr starke Streuung, sowohl zwischen den 6 Plots, als auch innerhalb der Plots zwischen den 1 m² großen Sub-Plots. Dies spiegelt die große Heterogenität der Geomorphologie und der Pflanzenhabitate innerhalb dieses kleinen Gebietes wider (vgl., Koch et al., 2016; Schröder et al., 2017).

Die Phytodiversität liegt mit einer Artenzahl zumeist zwischen 10 und 20 je m² und mit einem Mittelwert von 14 Arten je m² in einem Bereich, der für zahlreiche andere, unterschiedlich genutzte Grünlandstandorte beschrieben wurde (z.B., Gilbert et al., 2009; Ceulemans et al., 2014; Fraser et al., 2015).

Die lineare inverse Beziehung zwischen Biomasse und Artenzahl / m², die in diesem Gebiet gefunden wurde, scheint der in Fraser et al. (2015) oder auch Band et al. (2022) beschriebenen unimodalen (Maximum-) Funktion zu widersprechen. Wenn man jedoch in Fraser et al. (2015) nur die Standorte mit Biomassen zwischen 200 und 800 g / m² in Bezug

zur Phytodiversität analysiert, erhält man eine ähnliche lineare inverse Beziehung zwischen Biomasse und Artenanzahl wie in dieser Studie für Kösterbeck.

Die hier gemessenen pflanzenverfügbaren P-Gehalte (mit einem Mittelwert von 2,24 mg P(DL) / 100 g Boden bei einer Spannbreite von 0,8 – 5,5) sind geringer als die meisten der für Grünlandstandorte in der Literatur beschriebenen Werte (z.B. Janssens et al., 1998; Wachendorf & Taube, 2001; Ceulemans et al., 2014; Mahnke et al., 2019 ; siehe jedoch Klapp 1965). Das lässt sich mit der hier langjährig fehlenden Düngung erklären. Ähnlich niedrige P(DL)-Gehalte wie hier im NSG Kösterbeck vorgefunden fanden Jansen und Buczko (2023) auf unterschiedlichen Naturschutz-Grünlandstandorten in Brandenburg.

Bemerkenswert ist die fehlende Beziehung zwischen P(DL)-Gehalten und Biomasse; die höchsten Werte für die Biomasse je m² werden sogar in der niedrigsten P-GK A beobachtet (Abb. 4). Das zeigt, dass Phosphor sogar in dieser niedrigsten GK, die auf Ackerstandorten und bewirtschafteten Grünlandstandorten eine starke Unterversorgung mit P anzeigt, wahrscheinlich nicht das Pflanzenwachstum limitiert. Das deutet darauf hin, dass die Phosphor-Gehaltsklassen in dieser Form nicht für relativ naturbelassene, artenreiche Grünlandstandorte anwendbar sind. Die Extraktionsverfahren für pflanzenverfügbaren P und die darauf aufbauenden Klassen wurden ja im Hinblick auf den Anbau von hochproduktiven, meist züchterisch stark modifizierten Pflanzenarten entwickelt. Diese Arten sind hochproduktiv bei hohen verfügbaren P Gehalten, zeigen aber einen deutlichen Rückgang des Wachstums bei niedrigeren P Gehalten. Pflanzen, die an extensivere natürliche Habitate angepasst sind, können jedoch bereits bei weitaus geringeren P Gehalten eine hohe Biomasseproduktion leisten, aufgrund eines ausgedehnten und dichten Wurzelwerks, Mykorrhizierung, Wurzelexsudaten, u.ä. (Olf & Pegtel, 1994; Gilbert et al., 2009). Darüberhinaus sind die Extraktionsverfahren und die darauf basierenden GK dahingehend ausgelegt, die Verfügbarkeit von P bei Anbau von nur einer (in Ackerkulturen) oder einigen wenigen (im modernen Grünland) Pflanzenarten einzuschätzen. Jedoch ist die Ausnutzung von P im Boden bei Anwesenheit von mehreren Pflanzenarten oft besser ist als bei nur einer Art (Gilbert et al., 2009; Hinsinger et al., 2011).

Dabei muss bedacht werden, dass alle gebräuchlichen chemischen Extraktionsverfahren einen statischen Zustand bezüglich der chemischen Bindung von Phosphor im Boden charakterisieren. Es ist fraglich, inwieweit dies die tatsächliche Verfügbarkeit von P für die Pflanzen im Verlaufe der Vegetationsperiode widerspiegelt, da der pflanzenverfügbare P-Pool in ständiger Wechselwirkung steht sowohl mit den schwerer verfügbaren P-Fractionen im Boden, als auch mit Pflanzenwurzeln, Mikroben und Pilzen und dem daraus resultierenden Entzug oder auch (Re-)Mobilisierung von P. Es ist auch denkbar, dass niedrige P(DL)-Gehalte nicht nur eine Ursache für niedrige P Aufnahmen durch die Pflanzen und daraus resultierende niedrige Biomassen sein könnten, sondern evtl. auch die Folge von

hohem P Entzug durch die Pflanzen (mit daraus resultierender hoher Biomasse - es müssten allerdings recht große Mengen an P durch die Pflanze entzogen werden, um den P(DL)-Gehalt merklich zu senken). Ob dies zutrifft, lässt sich mit den vorhandenen Daten nicht entscheiden. Dazu wären u.a. mehr Informationen über das Wurzelsystem am jeweiligen Punkt nötig, also die Länge, Dichte und Oberfläche des Wurzelwerkes, aber auch die Beschaffenheit der Wurzeln (Mykorrhizierung, Wurzelhaare, Wurzelexsudate) (z.B. Gilbert et al., 2009).

Die in dieser Studie fehlende Beziehung zwischen P-Gehalten und Phytodiversität hängt vermutlich damit zusammen, dass es sich hier um ein sehr kleines Gebiet handelt und nur eine geringe Spannbreite von P(DL)-Gehalten vorliegt, die fast ausschließlich in GK A und B fallen. Zwar untersuchten Mahnke et al. (2019) diesen Zusammenhang auf einer etwas größeren Skala (mehrere Standorte über MV verteilt), fanden aber nur eine geringe Spannbreite von P(DL)-Gehalten ohne hohe Gehalte, und dementsprechend ebenfalls keine Beziehung zwischen P(DL) und Phytodiversität. In Übereinstimmung damit beschreiben Janssens et al. (1998) für mehrere Grünland-Standorte zwar hohe Phytodiversitäten für P-Gehaltsklassen A und B, aber eine geringere Artenzahl ab GK C; jedoch ergibt sich dort keine Beziehung zwischen P-Gehalten und Artenzahlen, wenn nur der Bereich mit den GK A und B betrachtet wird.

In ähnlicher Weise ergibt sich zwar in der Analyse von zahlreichen unterschiedlichen Grünlandstandorten von Ceulemans et al. (2014) eine Abnahme der Artenzahl bei hohen pflanzenverfügbaren P Gehalten, wenn allerdings nur die Standorte mit geringen P-Gehalten betrachtet werden (entsprechend den GK A und B), dann ergibt sich auch dort keine Beziehung zwischen pflanzenverfügbaren P-Gehalten und Phytodiversität.

Die völlig fehlende Korrelation zwischen Boden-Stickstoffgehalten und sowohl oberirdischer Biomasse (Abb. 6) als auch Artenzahl (Abb. 7) scheint den Ergebnissen von Studien zu widersprechen, die eine deutliche und signifikante positive Korrelation zwischen Stickstoff-Düngergaben und Biomasse und eine inverse Korrelation zur Anzahl von Pflanzenarten belegen (Suding et al., 2005; Clark et al., 2007; De Schrijver et al., 2011; Soons et al., 2017). Oftmals wird sogar beschrieben, dass die Effekte von Stickstoff auf Artenzahl und Biomasse größer sind als für Phosphor, insbesondere in der nördlichen Hälfte Europas, die einerseits durch eine geringe Geschwindigkeit von Stickstoff-Umsetzungsprozessen gekennzeichnet ist, in der andererseits durch die pleistozänen Vereisungen frische und phosphorreiche Sedimente als Substrate der Bodenbildung freigelegt wurden (Bobbink et al., 2010; Soons et al., 2017; Wassen et al., 2021; Band et al., 2022).

Für das NSG Kösterbeck jedoch ist die Wirkung von P auf Biomasse und Artenzahl etwas stärker als diejenige des Stickstoffs, obgleich auch beim Phosphor die Effekte klein zu sein scheinen. Hierbei muss jedoch bedacht werden, dass uns für dieses Gebiet lediglich Daten zu

Gesamtgehalten an Stickstoff zur Verfügung standen, also keine Messungen der pflanzenverfügbaren mineralischen Stickstoff(Nmin)-Gehalte; auch wurden in dem Gebiet keine N-haltigen Düngemittel appliziert. Dagegen wurden in den oben genannten Studien die Gehalte (oder Gaben) an pflanzenverfügbarem Stickstoff ausgewertet. Pflanzenverfügbare N-Gehalte machen in der Regel nur einen kleinen Bruchteil (1 – 5 %) der gesamten N-Gehalte aus; dabei steht der Gehalt an pflanzenverfügbarem N nicht zwangsläufig immer in gleicher Weise in Beziehung zu den Gesamtgehalten. Studien, in denen ebenfalls N-Gesamtgehalten ausgewertet wurden, fanden ähnlich wie in unserem Fall keinen deutlichen Zusammenhang zwischen N-Gehalten und Anzahl der Pflanzenarten (z.B., Janssens et al., 1998).

6. Weitere Leistungen und Ziele aus dem Projekt

Bachelorarbeit Niklas Möller 2023 („Beziehungen zwischen pflanzenverfügbaren Boden-Phosphorgehalten und Vegetationstypen/Phytodiversität im NSG Kösterbeck bei Rostock“).

7. Literaturverzeichnis

- Band, N., Kadmon, R., Mandel, M. & DeMalach, N. (2022): Assessing the roles of nitrogen, biomass, and nichedimensionality as drivers of species loss in grassland communities.- PNAS, 119: e2112010119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2112010119>
- Bobbink, R. B. et al. (2010): Global assessment of nitrogen deposition effects on terrestrial plant diversity: a synthesis.- Ecol. Appl., 20: 30–59.
- Ceulemans, T., Stevens, C.J., Duchateau, L., et al. (2014): Soil phosphorus constrains biodiversity across European grasslands.- Glob. Chang. Biol., 20: 3814–3822.
- Clark, C.M., Cleland, E.E., Collins, S.L., et al. (2007): Environmental and plant community determinants of species loss following nitrogen enrichment.- Ecol. Lett., 10: 596–607.
- De Schrijver, A., De Frenne, P., Ampoorter, E., et al. (2011): Cumulative nitrogen input drives species loss in terrestrial ecosystems.- Glob. Ecol. Biogeogr., 20: 803–816.
- Gilbert, J., Gowing, D. & Wallace, H. (2009): Available soil phosphorus in semi-natural grasslands: Assessment methods and community tolerances.- Biological Conservation, 142: 1074–1083.
- Harpole, W.S. et al. (2016): Addition of multiple limiting resources reduces grassland diversity.- Nature, 537: 93–96.
- Hinsinger, P., Betencourt, E., Bernard, L., Brauman, A., Plassard, C., Shen, J., Tang, X. & Zhang, F. (2011): P for Two, Sharing a Scarce Resource: Soil Phosphorus Acquisition in the Rhizosphere of Intercropped Species.- Plant Physiology, 156: 1078–1086.

- Jansen, F. & Buczko, U.(2023): Ergebnisse des Feldversuches zur Prüfung der Anwendbarkeit der Nährstoff-Gehaltssklassen für Managementmaßnahmen auf FFH Grünland Lebensraumtypen.- Projektbericht Universität Rostock, 53 S.
- Fraser, L.H. et al. (2015): Worldwide evidence of a unimodal relationship between productivity and plant species richness.- Science, 349: 302 – 305.
- Janssens, F., Peeters, A., Tallowin, J.R.B., Bakker, J.P., Bekker, R.M., Fillat, F. & Oomes, M.J.M. (1998): Relationship between soil chemical factors and grassland diversity.- Plant and Soil, 202: 69-78.
- Klapp, E. (1965): Grünlandvegetation und Standort. Parey.
- Koch, M., Schröder, B., Günther, A., Albrecht, K., Pivarci, R. & Jurasinski, G. (2017): Taxonomic and functional vegetation changes after shifting management from traditional herding to fenced grazing in temperate grassland communities.- Applied Vegetation Science, 20: 259–270.
- Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern (2021): Richtwerte für die Untersuchung und Beratung zur Umsetzung der Düngeverordnung 2020 in Mecklenburg-Vorpommern.
- Mahnke, B., Wrage-Mönning, N., Leinweber, P. & Müller, J. (2019): The phosphorus dilemma in organically farmed grasslands – are legume presence and phytodiversity incompatible?- Ecosystems and People, 15: 61-73, DOI:10.1080/26395908.2018.1556227
- Olf, H. & Pegtel, D.M. (1994): Characterisation of the type and extent of nutrientlimitation in grassland vegetation using a bioassay with intact sods.- Plant and Soil, 163: 217–224.
- Schröder, B., Koch, M., Günther, A. & Jurasinski G. (2017): Vegetationsveränderungen im NSG Kösterbeck zwischen 1991 und 2014.- Naturschutzarbeit in Mecklenburg-Vorpommern JG 60 H1/2 S. 38-45.
- Soons, M.B., Hefting, M.M., Dorland, E., Lamers, L.P.M., Versteeg, C. & Bobbink, R. (2017): Nitrogen effects on plant species richness in herbaceous communities are more widespread and stronger than those of phosphorus.- Biol. Conserv. 212, 390–397.
- Suding, K.N., Collins, S.L., Gough, L., et al. (2005): Functional- and abundance-based mechanisms explain diversity loss due to N fertilization.-Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A., 102: 4387–4392.
- VDLUFA (1991): Die Untersuchung der Böden. 4. ed., 7. Teillieferung, VDLUFA.
- VDLUFA (2018): Phosphordüngung nach Bodenuntersuchung und Pflanzenbedarf.
- Wachendorf, M. & Taube, F. (2001): Plant species diversity, features of productivity and soil characteristics in grassland from conventional and organic agriculture in northwest Germany (Artenvielfalt, Leistungsmerkmale und bodenchemische Kennwerte des

Dauergrünlands im konventionellen und ökologischen Landbau in Nordwestdeutschland). Pflanzenbauwissenschaften, 5(2):75–86. German. English summary.

Wassen, M.J., Schrader, J., van Dijk, J. & Epping, M.B. (2021): Phosphorus fertilization is eradicating the niche of northern Eurasia’s threatened plant species.- Nature Ecology & Evolution, 5: 67–73.

Wrage, N., Strodthoff, J., Cuchillo, H.M., Isselstein, J. & Kayser, M. (2011): Phytodiversity of temperate permanent grasslands: ecosystem services for agriculture and livestock management for diversity conservation.- Biodivers. Conserv., 20: 3317–3339.

Danksagung

Vegetationsaufnahme (2015): Sebastian Gapikowski, Anke Günther, Gerald Jurasinski, Marian Koch, Birgit Schröder,

Bodenprobenahme und Laboranalysen (2022, 2023): Frederik Harrs, Stefan Köhler, Niklas Möller, Rene Naujoks, Birgit Schröder

Literaturrecherche (2023): Gina Valentinelli

Anhang

Tabellen mit allen verwendeten Daten

Tab. A1: Biomasse und Artenanzahl aller Flächen

Plot	Sub-Plot	Oberirdische lebende Biomasse (Trockensubstanz) (g / m ²)	Streu, Trockensubstanz (g / m ²)	gesamte oberirdische Biomasse (Trockensubstanz) (g / m ²)	Anzahl Pflanzenarten pro m ²
P1	A1	271.8	15.2	287.0	24
P1	A2	190.9	8.3	199.2	20
P1	A3	244.7	8.7	253.4	20
P1	A4	149.0	8.0	157.0	21
P1	A5	211.1	8.7	219.8	12
P1	A6	252.5	8.7	261.2	13
P1	A7	284.7	7.9	292.6	16
P1	A8	296.7	8.2	304.9	15
P1	B1	90.8	24.5	115.3	22
P1	B2	242.4	10.7	253.1	27
P1	B3	222.2	12.6	234.8	20

P1	B4	196.3	8.6	204.9	22
P1	B5	215.0	10.6	225.6	17
P1	B6	260.2	9.4	269.6	12
P1	B7	157.8	8.7	166.5	19
P1	B8	281.9	8.2	290.1	16
P1	C1	184.8	12.5	197.3	21
P1	C2	225.5	8.9	234.4	32
P1	C3	80.9	8.1	89.0	24
P1	C4	142.3	8.2	150.5	21
P1	C5	107.0	7.9	114.9	20
P1	C6	196.6	7.6	204.2	16
P1	C7	193.0	8.0	201.0	17
P1	C8	150.3	8.0	158.3	17
P1	D1	331.3	39.8	371.1	21
P1	D2	274.9	0.0	274.9	25
P1	D3	243.6	7.9	251.5	23
P1	D4	198.7	0.0	198.7	28
P1	D5	95.3	0.0	95.3	27
P1	D6	200.8	7.9	208.7	19
P1	D7	168.1	8.1	176.2	15
P1	D8	187.2	7.9	195.1	18
P1	E1	282.2	8.6	290.8	24
P1	E2	209.2	8.9	218.1	26
P1	E3	208.9	8.6	217.5	25
P1	E4	117.9	0.0	117.9	21
P1	E5	152.1	7.9	160.0	20
P1	E6	122.7	7.4	130.1	17
P1	E7	149.3	15.3	164.6	17
P1	E8	210.0	8.1	218.1	18
P1	F1	212.1	14.6	226.7	21
P1	F2	213.5	10.1	223.6	28
P1	F3	186.7	8.2	194.9	28
P1	F4	250.9	0.0	250.9	19
P1	F5	131.4	7.6	139.0	13
P1	F6	139.9	8.0	147.9	21
P1	F7	168.5	8.0	176.5	16
P1	F8	241.8	7.8	249.6	14
P1	G1	207.8	11.5	219.3	27
P1	G2	208.7	10.0	218.7	26
P1	G3	203.2	9.7	212.9	30
P1	G4	173.3	9.1	182.4	26
P1	G5	115.1	8.1	123.2	20
P1	G6	153.5	7.9	161.4	23
P1	G7	129.0	7.9	136.9	20
P1	G8	189.3	8.1	197.4	11

P1	H1	186.5	9.7	196.2	22
P1	H2	109.4	9.0	118.4	24
P1	H3	180.4	9.6	190.0	23
P1	H4	107.1	7.6	114.7	30
P1	H5	144.1	8.0	152.1	24
P1	H6	125.4	8.5	133.9	24
P1	H7	121.2	8.0	129.2	25
P1	H8	166.4	8.8	175.2	20
P2	A1	334.0	12.2	346.2	16
P2	A2	474.5	17.9	492.4	13
P2	A3	413.4	25.2	438.6	14
P2	A4	520.0	76.0	596.0	15
P2	A5	379.6	36.8	416.4	14
P2	A6	481.7	66.0	547.7	16
P2	A7	356.6	26.8	383.4	14
P2	A8	485.0	72.1	557.1	13
P2	B1	297.1	16.7	313.8	18
P2	B2	373.6	15.2	388.8	19
P2	B3	337.0	28.0	365.0	16
P2	B4	468.5	59.1	527.6	14
P2	B5	472.8	37.9	510.7	11
P2	B6	498.8	94.0	592.8	13
P2	B7	444.6	97.4	542.0	15
P2	B8	509.5	113.8	623.3	12
P2	C1	327.0	31.4	358.4	14
P2	C2	386.6	38.2	424.8	13
P2	C3	367.3	34.5	401.8	15
P2	C4	371.3	45.6	416.9	8
P2	C5	346.6	48.3	394.9	12
P2	C6	425.8	49.4	475.2	12
P2	C7	410.8	62.9	473.7	11
P2	C8	512.0	91.9	603.9	11
P2	D1	294.7	29.7	324.4	14
P2	D2	423.6	40.1	463.7	14
P2	D3	271.7	38.8	310.5	13
P2	D4	392.8	75.5	468.3	9
P2	D5	389.5	24.4	413.9	14
P2	D6	374.2	64.0	438.2	11
P2	D7	402.3	55.9	458.2	10
P2	D8	598.6	98.5	697.1	7
P2	E1	259.5	29.3	288.8	10
P2	E2	398.6	32.7	431.3	11
P2	E3	386.0	40.6	426.6	13
P2	E4	343.5	30.5	374.0	11
P2	E5	313.5	23.3	336.8	13

P2	E6	370.8	67.6	438.4	14
P2	E7	399.5	48.5	448.0	13
P2	E8	548.3	76.4	624.7	15
P2	F1	416.3	32.4	448.7	9
P2	F2	552.1	23.9	576.0	8
P2	F3	342.2	21.5	363.7	13
P2	F4	301.2	35.3	336.5	10
P2	F5	295.1	13.9	309.0	11
P2	F6	326.7	18.4	345.1	9
P2	F7	388.3	62.2	450.5	14
P2	F8	540.6	44.9	585.5	14
P2	G1	289.8	18.2	308.0	11
P2	G2	476.7	18.0	494.7	11
P2	G3	322.1	25.3	347.4	11
P2	G4	325.6	27.5	353.1	9
P2	G5	358.9	29.0	387.9	10
P2	G6	387.0	25.8	412.8	11
P2	G7	398.6	45.1	443.7	14
P2	G8	512.1	45.7	557.8	11
P2	H1	352.0	21.3	373.3	10
P2	H2	455.5	14.5	470.0	10
P2	H3	335.7	35.7	371.4	10
P2	H4	429.7	79.3	509.0	9
P2	H5	393.7	45.2	438.9	8
P2	H6	344.9	33.8	378.7	12
P2	H7	334.3	44.8	379.1	10
P2	H8	480.8	55.8	536.6	15
M2	A1	822.4	62.1	884.5	7
M2	A2	856.4	18.0	874.4	8
M2	A3	735.3	85.9	821.2	9
M2	A4	869.7	18.9	888.6	13
M2	A5	668.2	72.2	740.4	11
M2	A6	716.8	14.4	731.2	11
M2	A7	705.3	43.3	748.6	13
M2	A8	646.5	34.6	681.1	9
M2	B1	745.2	35.4	780.6	9
M2	B2	731.1	26.9	758.0	8
M2	B3	762.6	20.4	783.0	9
M2	B4	760.2	26.5	786.7	12
M2	B5	763.0	50.6	813.6	8
M2	B6	860.3	19.6	879.9	10
M2	B7	760.4	11.3	771.7	10
M2	B8	807.6	79.4	887.0	10
M2	C1	696.1	76.6	772.7	11
M2	C2	783.4	60.1	843.5	7

M2	C3	748.2	37.8	786.0	6
M2	C4	789.0	20.2	809.2	7
M2	C5	695.8	60.7	756.5	7
M2	C6	775.0	13.7	788.7	8
M2	C7	746.3	33.6	779.9	10
M2	C8	726.2	24.1	750.3	9
M2	D1	700.1	46.3	746.4	7
M2	D2	767.1	42.6	809.7	8
M2	D3	592.4	54.3	646.7	7
M2	D4	791.8	27.6	819.4	9
M2	D5	774.1	39.9	814.0	11
M2	D6	908.9	12.7	921.6	9
M2	D7	705.9	14.6	720.5	7
M2	D8	753.2	29.3	782.5	9
M2	E1	731.0	33.7	764.7	8
M2	E2	769.7	36.7	806.4	7
M2	E3	721.6	17.3	738.9	8
M2	E4	732.4	19.0	751.4	6
M2	E5	638.0	68.5	706.5	12
M2	E6	770.0	23.5	793.5	15
M2	E7	719.0	19.3	738.3	10
M2	E8	816.7	32.3	849.0	9
M2	F1	741.4	31.2	772.6	14
M2	F2	866.1	22.5	888.6	13
M2	F3	714.6	49.6	764.2	14
M2	F4	696.3	41.2	737.5	16
M2	F5	744.7	42.8	787.5	9
M2	F6	709.5	36.6	746.1	10
M2	F7	721.8	22.6	744.4	12
M2	F8	742.6	17.5	760.1	14
M2	G1	731.6	24.6	756.2	11
M2	G2	931.7	24.4	956.1	14
M2	G3	745.9	56.9	802.8	12
M2	G4	953.5	28.7	982.2	13
M2	G5	788.7	26.4	815.1	11
M2	G6	814.6	41.1	855.7	11
M2	G7	678.9	25.5	704.4	8
M2	G8	680.6	41.3	721.9	10
M2	H1	855.4	36.9	892.3	12
M2	H2	969.3	20.8	990.1	14
M2	H3	719.4	72.1	791.5	16
M2	H4	769.0	17.6	786.6	9
M2	H5	696.4	45.1	741.5	10
M2	H6	703.7	55.5	759.2	12
M2	H7	684.2	30.2	714.4	14

M2	H8	666.9	32.1	699.0	11
M3	A1	555.7	46.4	602.1	12
M3	A2	458.6	8.7	467.3	8
M3	A3	498.1	14.9	513.0	10
M3	A4	399.4	10.9	410.3	12
M3	A5	421.4	23.7	445.1	12
M3	A6	387.8	35.0	422.8	12
M3	A7	407.4	22.2	429.6	11
M3	A8	447.3	20.7	468.0	12
M3	B1	694.3	52.1	746.4	14
M3	B2	496.2	9.3	505.5	14
M3	B3	409.2	10.0	419.2	16
M3	B4	502.8	11.3	514.1	14
M3	B5	463.2	0.0	463.2	17
M3	B6	353.6	26.3	379.9	15
M3	B7	439.6	22.0	461.6	14
M3	B8	502.1	26.8	528.9	16
M3	C1	452.2	41.6	493.8	12
M3	C2	447.4	11.6	459.0	11
M3	C3	434.3	21.7	456.0	12
M3	C4	423.3	16.1	439.4	14
M3	C5	408.0	35.4	443.4	9
M3	C6	556.9	32.7	589.6	11
M3	C7	420.0	24.6	444.6	8
M3	C8	476.9	19.3	496.2	10
M3	D1	373.1	25.6	398.7	13
M3	D2	417.1	13.1	430.2	14
M3	D3	391.2	20.2	411.4	12
M3	D4	527.8	30.3	558.1	14
M3	D5	492.8	11.7	504.5	13
M3	D6	685.7	0.0	685.7	15
M3	D7	414.2	28.8	443.0	14
M3	D8	510.3	28.3	538.6	11
M3	E1	441.7	42.1	483.8	14
M3	E2	515.6	20.1	535.7	11
M3	E3	575.0	34.5	609.5	10
M3	E4	539.0	30.4	569.4	17
M3	E5	734.7	11.7	746.4	17
M3	E6	658.4	0.0	658.4	16
M3	E7	425.9	24.4	450.3	18
M3	E8	459.6	13.6	473.2	11
M3	F1	444.8	34.9	479.7	15
M3	F2	551.2	22.2	573.4	14
M3	F3	514.4	30.3	544.7	12
M3	F4	535.5	18.3	553.8	10

M3	F5	557.4	1.0	558.4	10
M3	F6	642.0	6.3	648.3	13
M3	F7	651.1	15.9	667.0	13
M3	F8	540.3	14.0	554.3	11
M3	G1	559.6	30.1	589.7	11
M3	G2	469.1	12.3	481.4	17
M3	G3	403.4	47.2	450.6	13
M3	G4	678.0	28.1	706.1	13
M3	G5	588.3	4.1	592.4	15
M3	G6	622.2	1.3	623.5	12
M3	G7	693.6	19.4	713.0	15
M3	G8	395.8	10.7	406.5	12
M3	H1	449.7	24.9	474.6	14
M3	H2	608.9	26.1	635.0	14
M3	H3	566.9	44.2	611.1	17
M3	H4	728.3	24.0	752.3	14
M3	H5	712.9	19.2	732.1	18
M3	H6	638.2	2.2	640.4	21
M3	H7	575.5	14.7	590.2	15
M3	H8	512.2	0.0	512.2	12
R1	A1	511.0	12.1	523.1	16
R1	A2	504.7	8.1	512.8	13
R1	A3	712.4	10.9	723.3	17
R1	A4	665.0	13.0	678.0	15
R1	A5	470.1	10.9	481.0	15
R1	A6	636.8	10.8	647.6	17
R1	A7	509.8	12.6	522.4	16
R1	A8	566.4	10.0	576.4	14
R1	B1	635.9	9.6	645.5	15
R1	B2	625.5	7.7	633.2	17
R1	B3	749.2	11.0	760.2	17
R1	B4	563.2	13.0	576.2	16
R1	B5	475.4	11.4	486.8	20
R1	B6	472.1	9.9	482.0	18
R1	B7	469.0	8.9	477.9	12
R1	B8	527.5	10.7	538.2	12
R1	C1	539.2	9.0	548.2	14
R1	C2	508.3	9.0	517.3	14
R1	C3	503.5	8.8	512.3	19
R1	C4	644.1	11.0	655.1	18
R1	C5	514.0	11.0	525.0	19
R1	C6	441.0	11.5	452.5	19
R1	C7	482.1	10.2	492.3	19
R1	C8	631.6	9.9	641.5	16
R1	D1	597.3	9.7	607.0	16

R1	D2	631.1	8.0	639.1	14
R1	D3	445.2	9.8	455.0	14
R1	D4	420.8	0.0	420.8	21
R1	D5	449.2	0.0	449.2	21
R1	D6	422.6	10.0	432.6	16
R1	D7	447.1	9.4	456.5	16
R1	D8	523.8	10.3	534.1	15
R1	E1	538.5	8.7	547.2	17
R1	E2	562.5	8.6	571.1	19
R1	E3	510.5	10.5	521.0	19
R1	E4	441.1	0.0	441.1	20
R1	E5	535.6	0.0	535.6	22
R1	E6	492.1	11.2	503.3	17
R1	E7	491.9	10.6	502.5	14
R1	E8	552.6	9.5	562.1	16
R1	F1	607.1	9.1	616.2	16
R1	F2	676.5	7.6	684.1	20
R1	F3	589.8	14.0	603.8	17
R1	F4	535.7	13.1	548.8	20
R1	F5	592.7	10.5	603.2	15
R1	F6	637.9	11.7	649.6	16
R1	F7	543.2	9.3	552.5	10
R1	F8	574.5	16.4	590.9	14
R1	G1	674.3	11.3	685.6	19
R1	G2	617.7	8.9	626.6	18
R1	G3	500.5	9.0	509.5	19
R1	G4	567.5	10.2	577.7	17
R1	G5	494.7	9.8	504.5	17
R1	G6	526.4	10.0	536.4	17
R1	G7	519.8	10.9	530.7	16
R1	G8	622.6	11.9	634.5	15
R1	H1	718.9	12.2	731.1	17
R1	H2	712.6	11.9	724.5	17
R1	H3	562.3	20.3	582.6	16
R1	H4	574.9	9.3	584.2	18
R1	H5	625.6	11.1	636.7	16
R1	H6	615.8	13.2	629.0	16
R1	H7	529.4	20.5	549.9	15
R1	H8	608.8	8.4	617.2	14
R2	A1	596.4	15.1	611.5	10
R2	A2	518.7	33.6	552.3	11
R2	A3	595.2	14.9	610.1	9
R2	A4	592.7	9.0	601.7	11
R2	A5	576.4	10.9	587.3	9
R2	A6	528.5	22.3	550.8	9

R2	A7	429.5	13.4	442.9	12
R2	A8	742.4	33.1	775.5	11
R2	B1	508.7	8.4	517.1	9
R2	B2	562.7	6.9	569.6	9
R2	B3	514.7	4.4	519.1	8
R2	B4	500.7	8.3	509.0	11
R2	B5	474.8	19.6	494.4	9
R2	B6	550.4	14.0	564.4	14
R2	B7	462.8	15.5	478.3	10
R2	B8	602.2	22.6	624.8	9
R2	C1	109.2	12.2	121.4	10
R2	C2	620.5	44.5	665.0	10
R2	C3	392.8	5.5	398.3	9
R2	C4	509.1	32.6	541.7	9
R2	C5	517.5	23.4	540.9	9
R2	C6	626.0	17.3	643.3	9
R2	C7	450.0	20.8	470.8	10
R2	C8	546.4	36.7	583.1	8
R2	D1	559.1	12.7	571.8	11
R2	D2	495.1	14.9	510.0	9
R2	D3	640.2	9.1	649.3	9
R2	D4	539.8	5.3	545.1	9
R2	D5	444.3	11.5	455.8	10
R2	D6	587.9	20.9	608.8	9
R2	D7	400.5	15.7	416.2	9
R2	D8	670.5	21.0	691.5	9
R2	E1	588.0	14.4	602.4	12
R2	E2	600.6	24.6	625.2	10
R2	E3	599.6	7.2	606.8	12
R2	E4	496.7	17.8	514.5	10
R2	E5	515.7	28.8	544.5	10
R2	E6	609.6	47.1	656.7	11
R2	E7	446.7	24.9	471.6	11
R2	E8	588.9	37.4	626.3	11
R2	F1	570.6	9.9	580.5	11
R2	F2	574.7	12.7	587.4	9
R2	F3	606.9	7.9	614.8	12
R2	F4	468.2	15.5	483.7	10
R2	F5	491.4	13.9	505.3	11
R2	F6	594.7	17.7	612.4	9
R2	F7	454.3	25.1	479.4	9
R2	F8	501.6	26.7	528.3	11
R2	G1	407.7	5.3	413.0	11
R2	G2	422.9	27.9	450.8	13
R2	G3	652.9	10.0	662.9	11

R2	G4	629.7	36.4	666.1	10
R2	G5	532.0	35.8	567.8	12
R2	G6	543.5	12.9	556.4	12
R2	G7	513.7	14.4	528.1	11
R2	G8	611.4	31.7	643.1	10
R2	H1	610.3	19.7	630.0	11
R2	H2	658.9	26.3	685.2	13
R2	H3	682.9	13.1	696.0	15
R2	H4	528.4	10.6	539.0	11
R2	H5	507.7	10.9	518.6	10
R2	H6	604.7	21.9	626.6	10
R2	H7	521.8	21.1	542.9	9
R2	H8	691.5	24.4	715.9	8

Tab. A2: Bodenparameter der beprobten Sub-Plots (Probenahme 2015).

Plot	Sub-Plot	Lagerungsdichte (g / cm ³)	pH-Wert	Nt (gesamt-Stickstoffgehalt, Masse-%)	Ct (gesamt-Kohlenstoffgehalt, Masse-%)	C/N-Verhältnis	Humusgehalt (Masse-%)
P1	A3	1.06	5.35	0.21	2.62	12.4	3.2
P1	B4	1.21	5.34	0.21	2.47	11.8	5.4
P1	C6	1.25	5.08	0.17	1.87	11.3	4.1
P1	D2	1.16	5.18	0.20	2.47	12.2	5.7
P1	E7	1.30	5.23	0.14	1.73	12.1	4.5
P1	F5	1.09	5.36	0.19	2.35	12.4	5.7
P1	G8	1.32	5.33	0.15	1.98	13.1	4.3
P1	H1	1.02	5.53	0.22	3.00	13.8	6.5
P2	A5	1.10	5.42	0.31	3.80	12.4	8.9
P2	B6	1.25	5.34	0.18	2.20	12.2	4.8
P2	C1	1.25	4.85	0.21	2.36	11.5	5.1
P2	D2	1.22	5.00	0.22	2.55	11.8	5.5
P2	E4	1.25	5.44	0.14	1.61	11.7	3.7
P2	F3	1.15	4.86	0.30	3.73	12.5	7.0
P2	G8	1.12	5.85	0.30	3.53	11.9	7.3
P2	H7	1.21	5.00	0.20	2.43	11.9	5.0
M2	A4	1.19	5.63	0.19	2.26	12.0	5.3
M2	B8	0.83	5.56	0.38	4.67	12.3	11.0
M2	C7	0.78	5.10	0.43	5.91	13.7	15.0
M2	D5	1.29	5.54	0.17	1.88	11.1	4.1
M2	E6	1.04	5.55	0.29	3.41	11.8	8.1
M2	F3	0.77	5.56	0.30	3.65	12.2	9.2
M2	G1	1.11	5.43	0.17	1.95	11.3	4.7
M2	H2	1.21	5.60	0.15	1.66	10.9	4.3
M3	A7	1.33	5.63	0.11	1.38	12.3	3.4
M3	B8	1.25	5.48	0.19	2.47	12.9	5.7

M3	C1	1.38	5.52	0.15	1.69	11.3	4.3
M3	D2	0.88	5.79	0.30	3.97	13.3	8.9
M3	E4	0.93	5.80	0.32	4.34	13.6	9.1
M3	F6	0.98	5.59	0.24	3.04	12.7	7.2
M3	G3	1.01	6.16	0.28	3.25	11.7	7.6
M3	H5	1.37	5.77	0.15	1.55	10.6	3.6
R1	A5	0.26	6.46	2.64	21.95	8.3	61.7
R1	B7	0.21	6.50	2.89	23.57	8.1	65.4
R1	C2	0.20	6.87	2.86	24.33	8.5	68.7
R1	D6	0.25	6.73	2.59	22.14	8.6	62.4
R1	E1	0.18	7.37	2.72	24.55	9.0	69.4
R1	F8	0.18	6.54	2.65	23.08	8.7	67.4
R1	G4	0.21	6.57	2.84	24.61	8.7	66.4
R1	H3	0.20	6.70	2.84	24.68	8.7	25.4
R2	A3	0.45	7.39	1.46	14.76	10.1	35.4
R2	B5	0.63	6.87	1.17	16.83	14.4	29.8
R2	C8	0.24	6.79	1.72	17.84	10.4	42.0
R2	D4	0.50	7.64	1.33	14.27	10.7	32.9
R2	E3	0.43	7.73	1.47	15.66	10.6	35.7
R2	F1	0.36	7.42	1.77	17.49	9.9	43.0
R2	G6	0.46	7.43	1.57	14.78	9.4	36.0
R2	H7	0.34	6.23	1.83	17.49	9.5	44.2

Tab. A3: Gehalte an P(DL) der beprobten Sub-Plots (Probenahmen 2022, 2023).

Plot	Sub-Plot	Phosphat-P (mg / 100 g Boden), DL-Extraktion
P1	B2	2.43
P1	B7	2.48
P1	C3	2.20
P1	C6	2.00
P1	F3	3.20
P1	F6	3.40
P1	G2	2.68
P1	G7	1.54
P2	B2	5.25
P2	B7	5.69
P2	G2	4.02
P2	G7	5.30
P2	C3	3.00
P2	C6	2.50
P2	F3	3.20
P2	F6	2.90
M2	C3	2.40
M2	C6	1.80

M2	F3	1.60
M2	F6	1.20
M2	B2	1.71
M2	B7	1.74
M2	G2	2.14
M2	G7	1.93
M3	C3	1.90
M3	C6	2.00
M3	F3	2.20
M3	F6	2.20
M3	B2	1.59
M3	B7	1.47
M3	G2	1.90
M3	G7	2.63
R1	C3	2.02
R1	C6	1.38
R1	F3	2.74
R1	F6	2.20
R1	B2	1.83
R1	B7	2.43
R1	G2	1.76
R1	G7	1.71
R2	C3	0.98
R2	C6	0.76
R2	F3	0.74
R2	F6	1.14
R2	B2	1.25
R2	B7	2.17
R2	G2	0.96
R2	G7	1.06