Zwischenbericht

Mecklenburg Vorpommern

Landesforschungsanstalt
für Landwirtschaft und Fischerei

Grunddüngungstrategie zur Sicherung einer hohen Effizienz des Düngemitteleinsatzes und der Bodenfruchtbarkeit in MV

Forschungs-Nr.: **2/02**

Laufzeit: **jährlich**

verantw. Themenbearbeiter: **I. Bull**

Beteiligte Einrichtungen: **-**

30.11.2018

_____
Themenbearbeiter

_____
Institutsleiter

Institut für Pflanzenproduktion und Betriebswirtschaft

Dorfplatz 1/OT Gülzow
18276 Gülzow-Prüzen
www.lfamv.de

GLIEDERUNG Seite

1 Zielstellung 1
2 Material und Methoden 1
3 Ergebnisse und Diskussion 3
3.1 Probleme der Versuchsauswertung 3
3.1.1 Beobachtungen seit 2013 im Versuch 3
3.1.2 Unplausible Ergebnisse nach der Varianzanalyse 4
3.1.3 Theoretische Überlegungen zur Versuchsanlage 7
3.2 Abgesicherte Ergebnisse des Versuches 12
3.2.1 Einfluss der Düngung auf die Nährstoffgehalte im Boden 12
3.3 Einfluss der Düngung auf die Nährstoffgehalte in den Pflanzen 12
3.3.1 Einfluss der Düngung auf den Ertrag 14
3.4 Nutzung des Versuches durch andere Einrichtungen 16
3.4.1 Einfluss der P-Düngung auf den Uran-Gehalt im Boden - LUNG 16
3.4.2 Wirkungen der Kaliumdüngung auf Bodeneigenschaften – Universität Kiel 17
3.5 Wirkungen der Phosphordüngung auf den Ertrag 17
4 Fragen zur Fortführung des Versuches 18
4.1 Gründe für weitere Bearbeitung 18
4.2 Überarbeitung der Versuchskonzeption 18
4.2.1 Weitere Überlegungen zur Versuchskonzeption 18
5 Schlussfolgerungen 19

Tabellenverzeichnis **Seite**

Tabelle 1: P-/K-Düngungsvarianten im Versuch 2
Tabelle 2: Fachliche Bewertung der Varianzanalysenergebnisse 5
Tabelle 3: Einfluss der Lage einer Prüfparzelle 11

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lageplan des Versuches 2
Abbildung 2: Abhängigkeit der Jugendentwicklung bei Mais von der P-/K-Düngung 3
Abbildung 3: Sichtbare prüfvariantenabhängige Bestandesunterschiede in Wintergerste 3
Abbildung 4: Fiktive Erträge bei Beeinflussungsform A 8
Abbildung 5: Fiktive Erträge bei Beeinflussungsform B 9
Abbildung 6: Fiktive Erträge bei Beeinflussungsform C 9
Abbildung 7: Fiktive Erträge bei Beeinflussungsform D 10
Abbildung 8: Fiktive Erträge bei Beeinflussungsform E 10
Abbildung 9: Phosphorgehalt in Wintergerste (BBCH: 32) 13
Abbildung 10: Phosphorgehalt im Erntegut von Wintergerste (Korn) 13
Abbildung 11: Kaliumgehalt in Wintergerste (BBCH: 32) 14
Abbildung 12: Kaliumgehalt im Erntegut von Wintergerste (Korn) 14
Abbildung 13: Kaliummangel bei Wintergerste 15
Abbildung 14: Phosphormangel bei Mais 15
Abbildung 15: Abhängigkeit der Winterhärte von Wintergerste in Abhängigkeit von den P-/K-Gehalten im Boden 16
Abbildung 16: Abhängigkeit des Urangehaltes vom P-Düngungsniveau und dem Tongehalt im Boden 17

Abkürzungsverzeichnis

F	Frühjahr
H	Herbst
K	Kalium
P	Phosphor
PG	Prüfglied
SM	Silomais
SRa	Sommerraps
SW	Sommerweizen
WG	Wintergerste
WRa	Winterraps
WW	Winterweizen

1 Zielstellung

Die gesetzten Ziele des Forschungsthemas 2.02 im Forschungsschwerpunkt Nachhaltige Landwirtschaft sind die Entwicklung und Überprüfung von Empfehlungen zur Grunddüngungsstrategie auf dem Ackerland in MV bei optimalem und geringerem Versorgungszustand der Böden mit Phosphor und Kalium. Außerdem soll Datenmaterial zur Bewertung von Nährstoffbilanzen sowie Einschätzungen zur Bodenfruchtbarkeit erarbeitet werden. Eine zusätzliche Zielstellung ist die Demonstration von Düngungseffekten zur Diskussion auf Feldtagen.

Im vorliegenden Zwischenbericht erfolgt eine kritische Auseinandersetzung mit der 1997 gewählten Versuchsmethodik. Dabei soll die Notwendigkeit einer Veränderung der Versuchsanlage zur Erreichung der ursprünglich (oben genannten) Forschungsziele aufgezeigt werden.

2 Material und Methoden

Untersuchungen zu Grunddüngungsstrategien und deren langfristiger Effekte erfordern dauerhaft ortsstabile Versuchsanlagen. Deshalb wurde 1997 ein statischer Düngungsversuch auf vier Schlägen auf dem Versuchsfeld „Am Hechtsoll“ angelegt. Ursprünglich wurden dort in jedem Jahr alle vier Kulturarten einer Rotation angebaut. 2010 wurde ein Feld aus der Versuchsbewirtschaftung herausgenommen, so dass seitdem pro Jahr drei von vier Kulturen gleichzeitig angebaut werden.

Der Versuch läuft in der vierfeldrigen Fruchtfolge: Winterraps – Winterweizen – Kartoffeln – Wintergerste. Seit 2014 wurden die Kartoffeln durch Silomais ersetzt. Er ist als Langparzellenanlage mit wiederholten Standards konzipiert und umfasst elf Düngungsvarianten sowie zwölf Standards mit jeweils vier unechten Wiederholungen (Tabelle 1).

In allen Parzellen verbleibt das Stroh auf dem Feld. Die Bodenbearbeitung erfolgt jeweils angepasst an die Kultur. Mindestens einmal in der Rotation kommt der Pflug zum Einsatz, so dass eine Durchmischung der oberen Ackerkrume gewährleistet ist. Eine Einzelparzelle hat eine Größe von 9 m x 9 m. Die Ertragsermittlung erfolgt als Kerndrusch mit einer Breite von 1,50 m. Durch die Parzellenbreite von 9 m ist gewährleistet, dass das geplante Düngungsniveau in der Kernparzelle auch nach der Bodenbearbeitung erhalten bleibt.

Die Düngung bemisst sich an der Nährstoff-Abfuhr. Die Nährstoff-Abfuhr wird aus dem Zielertrag, welcher von den erzielten Erträgen der vergangenen Jahre abgeleitet wird, und den mittleren P-/K-Gehalten im Erntegut der vergangenen Jahre berechnet. Lagen noch nicht ausreichend Daten vor Beginn einer Rotation vor (Rotation 1 und für Silomais Rotation 5), wurden stattdessen Richtwerte verwendet. Die Berechnung erfolgt jeweils einheitlich für eine Rotation. Ergänzend dazu werden für die Prüfvariante „LUFA-Empfehlung“ die Nährstoffzufuhr durch das Stroh der Vorfrucht (ermittelter Strohertrag x Nährstoffgehalt nach Richtwertetabelle LUFA) sowie die Bodengehaltsklasse zu Beginn der Rotation berücksichtigt.

Bodenproben zur Analyse der pflanzenverfügbaren P- und K-Gehalte im Boden werden nach der Ernte parzellenweise jedes Jahr in der Bodentiefe 0 - 30 cm und jedes vierte Jahr zusätzlich in 30 - 60 cm aus den Wiederholungen a und b genommen. Zur Untersuchung der Nährstoffversorgung der Pflanzen werden Pflanzen im Jugendstadium Haupt- und Nebenernteprodukt der Parzellen 2, 3, 4, 13, 15, 16 beprobt.

Die statistische Auswertung der Einzeljahresergebnisse bezogen auf ein Feld erfolgt mit dem PIAFStat-Verfahren „Geostatistik Dauerdüngung“, welches eine Anpassung des Verfahrens „Geostatistik Langparzelle Grundverfahren“ an die spezielle Anlage des beschriebenen Versuches ist und die geostatistische Auswertung mit optimiertem Bodenausgleich ermöglichen soll (Michel et al. 2007, Zenk & Michel 2006).

Tabelle 1: P-/K-Düngungsvarianten im Versuch

Kurzbezeichnung	PG	Düngungsniveau in % der Abfuhr, Düngungstermin	
		Phosphor	Kalium
0 - 0 [1)]	1	0	0
LUFA	2	LUFA-Empfehlung, Herbst/ Frühjahr	LUFA-Empfehlung, Herbst/ Frühjahr
F 50 – F 50	3	50, Frühjahr	50, Frühjahr
H 100 – F 50	4	100, Herbst	50, Frühjahr
H 50 – H 100	5	50, Herbst	100, Herbst
H 100 – H 50	6	100, Herbst	50, Herbst
H 100 – H 100	7	100, Herbst	100, Herbst
F 100 – F 100	8	100, Frühjahr	100, Frühjahr
F 50 – H 100	9	50, Frühjahr	100, Herbst
0 – H 100	10	0	100, Herbst
H 100 – 0	11	100, Herbst	0

[1)] Standard

Wiederholung	d	0 - 0	H 100 – H 100	0 - 0	F 100 – F 100	0 - 0	F 50 – H 100	0 - 0	0 – H100	0 - 0	H100 – 0	0 - 0
	c											
	b											
	a											
Parzellennr.		12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
		Besichtigungsweg										
Wiederholung	d	0 - 0	LUFA	0 - 0	F 50 – F 50	0 - 0	H 100 – F 50	0 - 0	H 50 – H 100	0 - 0	H 100 – H 50	0 - 0
	c											
	b											
	a											
Parzellennr.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		0 - 0	Standard					Fahrspuren				

Abbildung 1: Lageplan des Versuches

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Probleme der Versuchsauswertung

3.1.1 Beobachtungen seit 2013 im Versuch

Auf allen drei Versuchsfeldern können offensichtlich durch die Prüfvarianten beeinflusste Wirkungen beobachtet werden (optisch wahrnehmbare, teils extreme Bestandesunterschiede; Unterschiede in der zeitlichen Pflanzenentwicklung; Ertragseffekte), (Abbildung 2, Abbildung 3).

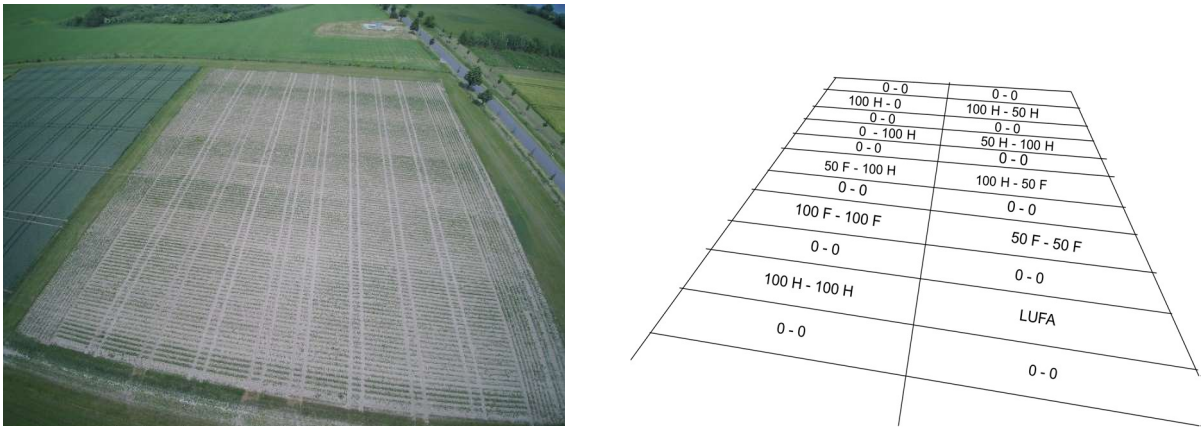


Abbildung 2: Abhängigkeit der Jugendentwicklung bei Mais von der P-/K-Düngung (Foto: Steffen, 2017), rechts: Lageplan der Prüfglieder im Feld



Abbildung 3: Sichtbare prüfvariantenabhängige Bestandesunterschiede in Wintergerste vor dem Ährenschieben (Foto: Feger, 2018)

Meistens erscheinen diese Unterschiede mit abnehmender Tendenz vom leichteren zum besseren Boden in den einzelnen Feldern. Augenfällig sind dabei vor allem die Unterschiede zwischen den Standardparzellen und den anderen Prüfvarianten. Am stärksten ausgeprägt sind diese Unterschiede bei Kartoffeln und Silomais, seit 2015/ 2016 auch deutlich in Wintergerste, seit 2016/ 2017 vorübergehend schwach im Winterweizen. Im Winterraps sind bisher optisch keine Prüfvarianten-Unterschiede sichtbar gewesen. Auf allen drei Feldern sind Bestandesunterschiede auf besserem Boden optisch nicht oder kaum wahrnehmbar.

Mit den Ertragsmessungen werden häufig parallel zu diesen Beobachtungen Mindererträge für die betroffenen Parzellen ermittelt. Außerdem fallen in den Einzeljahresauswertungen häufig extreme Streuungen zwischen den Erträgen der unechten Wiederholungen einzelner Langparzellen auf (ungedüngte Varianten nicht betrachtet). Die Unterschiede in den Ertragsmessungen betragen bis zu 29 dt/ha im Winterraps, 48 dt/ha im Winterweizen, 80 dt/ha Marktwareertrag bei Kartoffeln, 50 dt/ha Trockenmasseertrag bei Silomais und 50 dt/ha bei Wintergerste. Häufig liegen Unterschiede zwischen den unechten Wiederholungen bei ca. der Hälfte dieser Maximalwerte. Die Verteilung dieser Ertragsunterschiede im Feld ist für jedes der drei Versuchsfelder über die Jahre und Kulturen hinweg stabil.

Häufig werden mit der Varianzanalyse signifikante Unterschiede zwischen Prüfvarianten ermittelt, die fachlich unplausibel sind (siehe Abschnitt 3.1.2).

Aufgrund offensichtlich unplausibler Ergebnisse wurde schon 2010 das vierte Feld des Versuches aus der Bewirtschaftung und Auswertung genommen. Damals wurde als Fehlerursache eine zu hohe Bodenheterogenität in diesem Feld angenommen.

3.1.2 Unplausible Ergebnisse nach der Varianzanalyse

Für detailliertere Auswertungen, wie z. B. der Bewertung von Bodennährstoffgehalten, sind die Ertragsrelationen der Prüfvarianten untereinander von Bedeutung. Trotz inzwischen 20jähriger Ertragserfassung kann die Abgrenzung von Unterschieden nur zwischen Extremvarianten vorgenommen werden. Außerdem ist dabei die Quantifizierung der Ertragseffekte nur mit starker Einschränkung möglich. Ursachen für diese Schwierigkeiten finden sich in der zu Versuchsbeginn aus Arbeitskapazitätsgründen gewählten Form der Versuchsanlage.

Als sicher unplausible signifikante Unterschiede werden höhere Erträge bezeichnet, die bei gleichem Düngeniveau eines Nährstoffes und insgesamt gleichen Düngeterminen, mit einem niedrigeren Düngeniveau des anderen Nährstoffes korrelieren. Für diese Fehleranalyse können nur folgend aufgelistete Vergleiche als unplausibel eingeschätzt werden:

- 0 - 0 > alle anderen Prüfvarianten
- 0 – H 100 > H 50 – H 100, F 50 – H 100, H 100 – H 100, LUFA
- H 100 – 0 > H 100 – F 50, H 100 – H 50, H 100 – H 100, LUFA
- H 50 – H 100 > H 100 – H 100, LUFA
- H 100 – H 50 > H 100 – H 100, LUFA
- F 50 – F 50 > F 100 – F 100

Alle anderen Vergleiche können tatsächliche Düngungsmengen- oder -termineffekte beinhalten und sind Gegenstand der Versuchsfragen (Tabelle 2).

Zusätzlich treten Unplausibilitäten im kombinierten Vergleich mehrerer Prüfvarianten auf, wenn eine geringere Düngung eines Nährstoffes mit geringerem oder gleichem Ertrag korreliert, obwohl dieselbe Prüfvariante im Vergleich mit einer höheren Düngung gleich oder besser abschneidet (Bsp.: 0 – 0 = H 100 – H 100 und 0 – 0 < 0 – H 100; nicht dargestellt).

Tabelle 2: Fachliche Bewertung der Varianzanalysenergebnisse nach geostatistischer Bodenausgleichsrechnung

Feld	Jahr	Kultur	sicher unplausible signifikante Unterschiede zwischen zwei Prüfvarianten	
			[Anzahl]	Vergleiche (PG>PG)
E1	1998	WG	4	1>8, 19>8, 10>13, 10>2
E1	1999	WRa	13	1>2, 1>13, 19>8, 19>17, 19>13, 19>2, 21>10, 21>13, 21>2, 8>13, 8>2, 10>2, 4>15
E1	2000	WW	0	-
E1	2001	Ka	0	-
E1	2002	WG	0	-
E1	2003	WRa	1	19>17
E1	2004	WW	0	-
E1	2005	Ka	2	19>17, 10>13
E1	2006	WG	1	19>8
E1	2007	WRa	5	1>2, 1>13, 1>19, 10>13, 10>2
E1	2008	WW	3	21>10, 21>13, 1>19
E1	2009	Ka	0	-
E1	2010	WG	3	21>13, 10>13, 4>13
E1	2011	WRa	Auswinterung	-
E1	2012	WW	0	-
E1	2013	Ka	0	-
E1	2014	WG	1	10>13
E1	2015	WRa	0	-
E1	2016	SW	Auswertung offen[1)]	-
E1	2017	SM	0	-
E2	1998	Ka	8	1>2, 1>4, 1>8, 1>10, 1>13, 21>10, 21>13, 21>2
E2	1999	WG	Keine Auswertung, Fehler in der Ertragserfassung (Zeile)	-
E2	2000	WRa	2	1>6, 21>10
E2	2001	WW	0	-
E2	2002	Ka	1	4>15

Feld	Jahr	Kultur	sicher unplausible signifikante Unterschiede zwischen zwei Prüf-varianten	
			[Anzahl]	Vergleiche (PG>PG)
E2	2003	WG	0	-
E2	2004	WRa	4	1>4, 1>10, 19>8, 21>10
E2	2005	WW	1	1>10
E2	2006	Ka	2	8>13, 8>2
E2	2007	WG	2	1>8, 19>8
E2	2008	WRa	2	1>10, 1>21
E2	2009	WW	0	-
E2	2010	Ka	0	-
E2	2011	WG	0	-
E2	2012	WRa	1	19>8
E2	2013	WW	0	-
E2	2014	SM	0	-
E2	2015	WG	0	-
E2	2016	WRa	Auswertung offen[1)]	-
E2	2017	WW	0	-
E3	1998	WW	1	21>6
E3	1999	Ka	Keine Auswertung, Düngungs-fehler	-
E3	2000	WG	1	19>17
E3	2001	WRa	1	19>13
E3	2002	WW	2	1>6, 21>6
E3	2003	Ka	0	-
E3	2004	WG	0	-
E3	2005	WRa	7	1>4, 1>6, 1>8, 1>10, 1>17, 1>19, 1>21
E3	2006	WW	3	19>13, 21>6, 10>13
E3	2007	Ka	0	-
E3	2008	WG	1	19>17
E3	2009	WRa	0	-

Feld	Jahr	Kultur	sicher unplausible signifikante Unterschiede zwischen zwei Prüfvarianten	
			[Anzahl]	Vergleiche (PG>PG)
E3	2010	WW	0	-
E3	2011	Ka	0	-
E3	2012	WG	0	-
E3	2013	WRa	0	-
E3	2014	WW	2	0>17, 19>17
E3	2015	SM	0	-
E3	2016	WG	Auswertung offen[1)]	-
E3	2017	WRa	0	-

[1)] Aufgrund der Arbeitsbelastung im SG 23 und der dargestellten Probleme in der Versuchsauswertung wurde die Auswertung des Versuchsjahres 2016 zurückgestellt.

Es fällt auf, dass bestimmte Parzellen häufiger betroffen sind und es dabei einen Zusammenhang zum Feld (E1 – E3) gibt. Diese Beobachtung deutet auf einen bodengebundenen Störfaktor.

Eine Verbesserung der Ergebnisse durch Herausnahme einzelner regelmäßig auffallender Parzellen aus der Berechnung wurde versucht, aber aufgrund der nicht objektivierbaren Entscheidung wieder aufgegeben.

3.1.3 Theoretische Überlegungen zur Versuchsanlage

Im Versuch sollen Ertragseffekte in Abhängigkeit von den Prüffaktoren (P-/K-Düngung) ermittelt werden. Neben den P-K-Düngungseffekten wird der Ertrag der einzelnen Prüfparzellen auch durch Bodeneigenschaften (Tongehalt, Wasserspeicherung, Nährstoffgehalte) beeinflusst.

Trotz sorgfältiger Flächenauswahl bei der Versuchsanlage sind Bodenunterschiede innerhalb der Felder zwischen den Parzellen aufgrund ihrer geologischen Bildung (Grundmoräne) vorhanden. Mit Hilfe der geostatistischen Verrechnung der einzelnen Versuche je Jahr und Feld wird versucht, den Einfluss des Bodens auf die Untersuchungen auszugleichen. Die Bodenunterschiede in der Fläche werden anhand der Standard-Versuchsparzellen ermittelt und daraus eine Korrektur aller Parzellenmesswerte abgeleitet. Mit diesen korrigierten Werten erfolgt dann die Varianzanalyse. Im Idealfall bilden die so ermittelten Werte den Faktoreinfluss bezogen auf die mittleren Bodeneigenschaften des Feldes ab.

Die beschriebene Berechnung liefert jedoch nur unter der Voraussetzung sinnvolle Ergebnisse, dass keine Interaktion von Boden- und Prüfvarianteneinflüssen auf das untersuchte Merkmal auftreten. Andernfalls beeinflusst die Lage einer Prüfparzelle im Feld die korrigierten Werte (Tabelle 3). Ein Vergleich der Prüfvarianten miteinander führt dann je nach Lage der Prüfvarianten im Feld zu abweichenden Ergebnissen.

Es ist jedoch erwartbar, dass die Bodengüte die untersuchten Merkmale in Abhängigkeit von den Prüfvarianten beeinflussen kann. Dabei sind verschiedene Formen einer Beeinflussung möglich:

A) Es gibt keine Düngungseffekte. Die gemessenen Ertragsunterschiede sind nur auf Bodenunterschiede zurückzuführen (Bsp.: Die Nährstoffversorgung über die Boden-Nährstoffgehalte ist optimal, eine weitere Nährstoffzufuhr führt nicht zum Ertragszuwachs).

B) Mit einer Düngungsvariante wird auf allen Einzelparzellen unabhängig von der Bodengüte der gleiche Ertragszuwachs generiert (Bsp.: Die Nährstoffnachlieferung aus dem Boden ist gering. Die Nährstoffversorgung erfolgt nur über die jährliche Düngung).

C) Mit einer Düngungsvariante wird der maximal mögliche Ertrag des Standortes erreicht. Der Einfluss der Bodengüte wird überlagert und kommt nicht zur Wirkung (Bsp.: Der Nährstoff der Düngungsvariante ist der hauptsächlich limitierende Faktor für das Pflanzenwachstum. Die Bodengüte beeinflusst das Pflanzenwachstum nur über die unterschiedliche Nährstoffnachlieferung des geprüften Nährstoffes. Konkret: bei optimaler Niederschlagsverteilung und Erreichung des Ertragsmaximums mit der Nährstoffzufuhr aus der Düngung).

D) Mit zunehmender Bodengüte steigt der positive Ertragseffekt einer Düngungsvariante (Bsp.: Die bessere Nährstoffversorgung ermöglicht ein besseres Ausschöpfen des bodengebundenen Ertragspotenzials. Konkret.: Geringe Bodenwassergehalte in leichterem Boden hemmen die P-Aufnahme; Kaliummangel erhöht die Anfälligkeit für Trockenstress, der auf leichterem Boden eher auftritt; Ein besseres Wurzelwachstum aufgrund hoher Bodengüte ermöglicht eine erhöhte Nährstoffaufnahme).

E) Mit zunehmender Bodengüte sinkt der positive Ertragseffekt einer Düngungsvariante (Bsp.: Durch die höhere Nährstoffnachlieferung bei besserem Boden sinkt der zusätzliche Nährstoffbedarf).

F) Die Düngungseffekte ergeben sich aus unterschiedlichen Kombinationen der in A bis D genannten Möglichkeiten.

Nur bei den Formen A und B beeinflusst die Lage der Parzelle im Feld nicht den Wert der untersuchten Merkmale bei der geostatistischen Bodenausgleichsrechnung. Die Formen C bis E stören diese Merkmalsschätzung. Nicht auszuschließende Kombinationen (F) erschweren die Fehlerbewertung.

Folgende Beispiele sollen die aufgezeigten Probleme verdeutlichen. Die hierfür verwendeten Werte sind fiktiv. Die Wertehöhe und die Höhe der Wertedifferenzen sind an im Versuch ermittelte Silomaiserträge angelehnt. Die Korrektur der Bodeneinflüsse erfolgt hier mit einer vereinfachten Berechnung (der korrigierte Prüfvariantenwert wurde aus dem Mittelwert der vier unechten Wiederholungen einer Prüfparzelle (a, b, c, d) abzüglich der Differenz aus dem Mittelwert aller Standardparzellen und dem Mittelwert der acht direkt benachbarten Standardparzellen gebildet). Die ausreichende Vergleichbarkeit für die hier ausgeführten Überlegungen mit dem aufwändigen geostatistischen Verfahren wurde überprüft. Die Versuchsanlage entspricht der des realen Versuches, ebenso die Lage der Standards im Feld. Es werden die Auswirkungen verschiedener Formen (A – E) der Boden- und Düngungsbeeinflussung auf eine Prüfvariante gezeigt. Die Problembeschreibung gilt für alle Kulturen gleichermaßen. Für das Beispielfeld wird eine gleichmäßige Zunahme der Bodengüte von links nach rechts und von unten nach oben angenommen.

Wiederholung	d	**118**	**122**	**126**	**130**	**134**	**138**	**142**	**146**	**150**	**154**	**158**
	c	**114**	**118**	**122**	**126**	**130**	**134**	**138**	**142**	**146**	**150**	**154**
	b	**110**	**114**	**118**	**122**	**126**	**130**	**134**	**138**	**142**	**146**	**150**
	a	**106**	**110**	**114**	**118**	**122**	**126**	**130**	**134**	**138**	**142**	**146**
Parzellennr.		12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Wiederholung	d	**102**	**106**	**110**	**114**	**118**	**122**	**126**	**130**	**134**	**138**	**142**
	c	**98**	**102**	**106**	**110**	**114**	**118**	**122**	**126**	**130**	**134**	**138**
	b	**94**	**98**	**102**	**106**	**110**	**114**	**118**	**122**	**126**	**130**	**134**
	a	**90**	**94**	**98**	**102**	**106**	**110**	**114**	**118**	**122**	**126**	**130**
Parzellennr.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Standardparzellen: 1, 3, 5, 7, 9, 11, 12, 14, 16, 18, 20, 22

Parzellen der Prüfvariante: 2, 4, 6, 8, 10, 13, 15, 17, 19, 21

Abbildung 4: Fiktive Erträge bei Beeinflussungsform A

Wiederholung	d	**118**	**202**	**126**	**210**	**134**	**218**	**142**	**226**	**150**	**234**	**158**
	c	**114**	**198**	**122**	**206**	**130**	**214**	**138**	**222**	**146**	**230**	**154**
	b	**110**	**194**	**118**	**202**	**126**	**210**	**134**	**218**	**142**	**226**	**150**
	a	**106**	**190**	**114**	**198**	**122**	**206**	**130**	**214**	**138**	**222**	**146**
Parzellennr.		12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22

Wiederholung	d	**102**	**186**	**110**	**194**	**118**	**202**	**126**	**210**	**134**	**218**	**142**
	c	**98**	**182**	**106**	**190**	**114**	**198**	**122**	**206**	**130**	**214**	**138**
	b	**94**	**178**	**102**	**186**	**110**	**194**	**118**	**202**	**126**	**210**	**134**
	a	**90**	**174**	**98**	**182**	**106**	**190**	**114**	**198**	**122**	**206**	**130**
Parzellennr.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Standardparzellen: 1, 3, 5, 7, 9, 11, 12, 14, 16, 18, 20, 22

Parzellen der Prüfvariante: 2, 4, 6, 8, 10, 13, 15, 17, 19, 21

Abbildung 5: Fiktive Erträge bei Beeinflussungsform B

Wiederholung	d	**118**	**234**	**126**	**234**	**134**	**234**	**142**	**234**	**150**	**234**	**158**
	c	**114**	**234**	**122**	**234**	**130**	**234**	**138**	**234**	**146**	**234**	**154**
	b	**110**	**234**	**118**	**234**	**126**	**234**	**134**	**234**	**142**	**234**	**150**
	a	**106**	**234**	**114**	**234**	**122**	**234**	**130**	**234**	**138**	**234**	**146**
Parzellennr.		12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22

Wiederholung	d	**102**	**234**	**110**	**234**	**118**	**234**	**126**	**234**	**134**	**234**	**142**
	c	**98**	**234**	**106**	**234**	**114**	**234**	**122**	**234**	**130**	**234**	**138**
	b	**94**	**234**	**102**	**234**	**110**	**234**	**118**	**234**	**126**	**234**	**134**
	a	**90**	**234**	**98**	**234**	**106**	**234**	**114**	**234**	**122**	**234**	**130**
Parzellennr.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Standardparzellen: 1, 3, 5, 7, 9, 11, 12, 14, 16, 18, 20, 22

Parzellen der Prüfvariante: 2, 4, 6, 8, 10, 13, 15, 17, 19, 21

Abbildung 6: Fiktive Erträge bei Beeinflussungsform C

Wiederholung	d	**118**	**159**	**126**	**178**	**134**	**196**	**142**	**215**	**150**	**234**	**158**
	c	**114**	**150**	**122**	**168**	**130**	**187**	**138**	**206**	**146**	**224**	**154**
	b	**110**	**141**	**118**	**159**	**126**	**178**	**134**	**196**	**142**	**215**	**150**
	a	**106**	**131**	**114**	**150**	**122**	**168**	**130**	**187**	**138**	**206**	**146**
Parzellennr.		12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22

Wiederholung	d	**102**	**122**	**110**	**141**	**118**	**159**	**126**	**178**	**134**	**196**	**142**
	c	**98**	**113**	**106**	**131**	**114**	**150**	**122**	**168**	**130**	**187**	**138**
	b	**94**	**103**	**102**	**122**	**110**	**141**	**118**	**159**	**126**	**178**	**134**
	a	**90**	**94**	**98**	**113**	**106**	**131**	**114**	**150**	**122**	**168**	**130**
Parzellennr.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Standardparzellen: 1, 3, 5, 7, 9, 11, 12, 14, 16, 18, 20, 22

Parzellen der Prüfvariante: 2, 4, 6, 8, 10, 13, 15, 17, 19, 21

Abbildung 7: Fiktive Erträge bei Beeinflussungsform D

Wiederholung	d	**118**	**164**	**126**	**162**	**134**	**159**	**142**	**157**	**150**	**154**	**158**
	c	**114**	**166**	**122**	**163**	**130**	**161**	**138**	**158**	**146**	**155**	**154**
	b	**110**	**167**	**118**	**164**	**126**	**162**	**134**	**159**	**142**	**157**	**150**
	a	**106**	**168**	**114**	**166**	**122**	**163**	**130**	**161**	**138**	**158**	**146**
Parzellennr.		12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Wiederholung	d	**102**	**170**	**110**	**167**	**118**	**164**	**126**	**162**	**134**	**159**	**142**
	c	**98**	**171**	**106**	**168**	**114**	**166**	**122**	**163**	**130**	**161**	**138**
	b	**94**	**172**	**102**	**170**	**110**	**167**	**118**	**164**	**126**	**162**	**134**
	a	**90**	**174**	**98**	**171**	**106**	**168**	**114**	**166**	**122**	**163**	**130**
Parzellennr.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Standardparzellen: 1, 3, 5, 7, 9, 11, 12, 14, 16, 18, 20, 22

Parzellen der Prüfvariante: 2, 4, 6, 8, 10, 13, 15, 17, 19, 21

Abbildung 8: Fiktive Erträge bei Beeinflussungsform E

Wird jetzt anhand dieser fiktiven Ertragswerte die Korrektur zum Bodenausgleich vorgenommen, ergeben sich für die Beeinflussungsformen C bis E in Abhängigkeit von der Lage der Parzelle (Parzellennummer) unterschiedliche korrigierte Werte. Der „richtige“ Wert, der mit dieser Korrektur bestimmt werden sollte, entspricht dem Mittelwert aller Prüfparzellen (da im realen Versuch jede Prüfvariante nur auf einer Prüfparzelle vorhanden ist, ist dieser Wert in der Realität unbekannt (siehe Tabelle 3, in der letzten Zeile).

Die Abweichungen vom „richtigen“ Wert können bedeutend sein, liegen im Bereich erwartbarer Düngungseffekte und können als Ursache für die beobachteten unplausiblen signifikanten Unterschiede angesehen werden (Tabelle 3, grau hinterlegt). Eine Varianzanalyse auf der Grundlage dieser Werte kann keine sinnvollen Ergebnisse liefern.

Da alle drei Felder des Versuches nach einem identischen Versuchsplan angelegt wurden, ist ein Ausgleich des Fehlers über eine Serienverrechnung unter Einbeziehung aller drei Felder gering.

Tabelle 3: Einfluss der Lage einer Prüfparzelle auf das durch geostatistische Bodenausgleichsrechnung ermittelte Ertragsergebnis bei unterschiedlichen Formen der Merkmalsbeeinflussung

Parzellennummer	A	B	C	D	E
2	124	204	258	132	196
4	124	204	250	143	185
6	124	204	242	153	174
8	124	204	234	164	164
10	124	204	226	174	153
13	124	204	242	153	174
15	124	204	234	164	164
17	124	204	226	174	153
19	124	204	218	185	143
21	124	204	210	196	132
größte Differenz der geschätzten Werte	*0*	*0*	*48*	*64*	*64*
Mittelwert der Standardparzellen	*124*	*124*	*124*	*124*	*124*
Mittelwert aller Prüfparzellen	*124*	*204*	*234*	*164*	*164*

In Situationen, wenn die Düngungseffekte deutlich größer als die Bodeneinflüsse sind, kann dieser Fehler überdeckt werden (extreme Witterung, hohe Nährstoffgehaltsunterschiede im Boden, sehr hoher Nährstoffbedarf der Kultur, mit zunehmender Versuchsdauer). Der Fehler bleibt dann vorhanden aber unerkannt.

In der realen Versuchsanlage wurde die Prüfvariante „ohne Phosphor und ohne Kaliumdüngung“ für die Standardparzellen ausgewählt. Durch geringe Nährstoffversorgung bis zum Nährstoffmangel werden die bodenbürtigen Ertragseinflüsse verstärkt, da mit zunehmender Bodengüte die Nährstoffnachlieferung aus dem Bodenvorrat steigt. Dadurch tritt der Fehler der Versuchsplanung in den realen Versuchsergebnissen erfreulicherweise deutlich verstärkt auf und kann erkannt werden.

Die Beobachtung, dass die Versuchsergebnisse vierten Feldes nicht sinnvoll interpretierbar sind, führte 2010 zur Herausnahme dieses Feldes aus der Versuchsbewirtschaftung. Neben der damals als Ursache identifizierten größeren Bodenheterogenität spielt sicher der beschriebene Fehler eine Rolle.

Mit zunehmender Versuchsdauer ist zu erwarten, dass Nährstoffmangelsituationen auf allen Standardparzellen (auch denen mit höherer Bodengüte) zunehmen. Dadurch werden weniger unplausible signifikante Unterschiede in den Auswertungen auftreten. Der beschriebene Fehler bleibt jedoch für die anderen Prüfvarianten bestehen, so dass vor allem ein Vergleich zwischen diesen kaum sinnvolle Ergebnisse liefert.

Der Vergleich direkt benachbarter Parzellen ohne Bodenausgleichsrechnung erscheint zulässig, da hier geringere Bodenunterschiede zu erwarten sind. Durch die Wahl der Standardvariante (0 – 0) und die Kombination der Prüfung zweier Nährstoffe, sind diese Vergleiche jedoch wenig interessant.

3.2 Abgesicherte Ergebnisse des Versuches

Unabhängig von den oben beschriebenen Problemen konnte die Versuchsanlage für Auswertungen genutzt werden und lieferte wertvolle Aussagen zu Effekten der P- und K-Düngung für Boden und Pflanze. Diese werden in den folgenden Abschnitten kurz dargestellt.

3.2.1 Einfluss der Düngung auf die Nährstoffgehalte im Boden

Eine Düngung unter 100 % des Entzuges führt langfristig immer zu einer Abnahme der Nährstoffgehalte des Bodens, auch wenn optisch und im Ertragsergebnis noch keine Auswirkungen kenntlich werden.

Die jahresbedingten Schwankungen der Ergebnisse der Nährstoffgehaltsuntersuchung im Boden sind vergleichsweise hoch (bis zu einer Gehaltsklasse). Für eine sichere Bewertung sind deshalb wiederholte Bodenuntersuchungen notwendig.

Unausgeglichene Nährstoffbilanzen führen zur Änderung verfügbarer Nährstoffgehalte im Boden und zu Ertragsverlusten. Kalium reagiert dabei in mittelfristigen Zeiträumen (4 – 8 Jahre). Veränderungen des Phosphorgehaltes sind nur sehr langfristig zu erwarten. Bei hohen Phosphorgehalten in der Ackerkrume oder im Unterboden kann über Ernte-Wurzelreste zurückgeführter Phosphor im Boden langfristig zur Umverteilung von schwerlöslichen zu labilen P-Formen und damit zu einer Zunahme des pflanzenverfügbaren Phosphors führen (Schweitzer 2017). Dieses Phänomen kann die angestiegenen P-Gehalte im Boden im Gülzower Versuch erklären (siehe Zwischenbericht 2016).

3.3 Einfluss der Düngung auf die Nährstoffgehalte in den Pflanzen

Beispielhaft für die Kultur Wintergerste wird der Vergleich der gemessenen Nährstoffgehalte im Jugendstadium der Pflanzen sowie im Erntegut mit den Richtwerten aus aktuellen Nährstofftabellen dargestellt. Ähnliche Ergebnisse liefern die Untersuchungsergebnisse für die anderen Kulturen.

Die Nährstoffgehalte zeigen eine Abhängigkeit von den Düngungsvarianten. Dabei scheinen die Unterschiede zwischen den Düngungsvarianten im Jugendstadium der Pflanzen zuzunehmen. Beides sind erwartbare Beobachtungen. Im Jugendstadium werden die Richtwerte für ein optimales Pflanzenwachstum in den mit dem entsprechenden Nährstoff gedüngten Varianten häufig eingehalten. Die Analysenergebnisse vom Erntegut liegen jedoch regelmäßig unter dem Richtwert. Nährstoffmangel ist in diesen Situationen unwahrscheinlich. Vielmehr sollten diese Ergebnisse Anlass sein, die Richtwerte für die diluvialen Standorte Norddeutschlands zu überprüfen, um falschen Düngungsentscheidungen in der Praxis vorzubeugen (Abbildung 9, Abbildung 10, Abbildung 11, Abbildung 12).

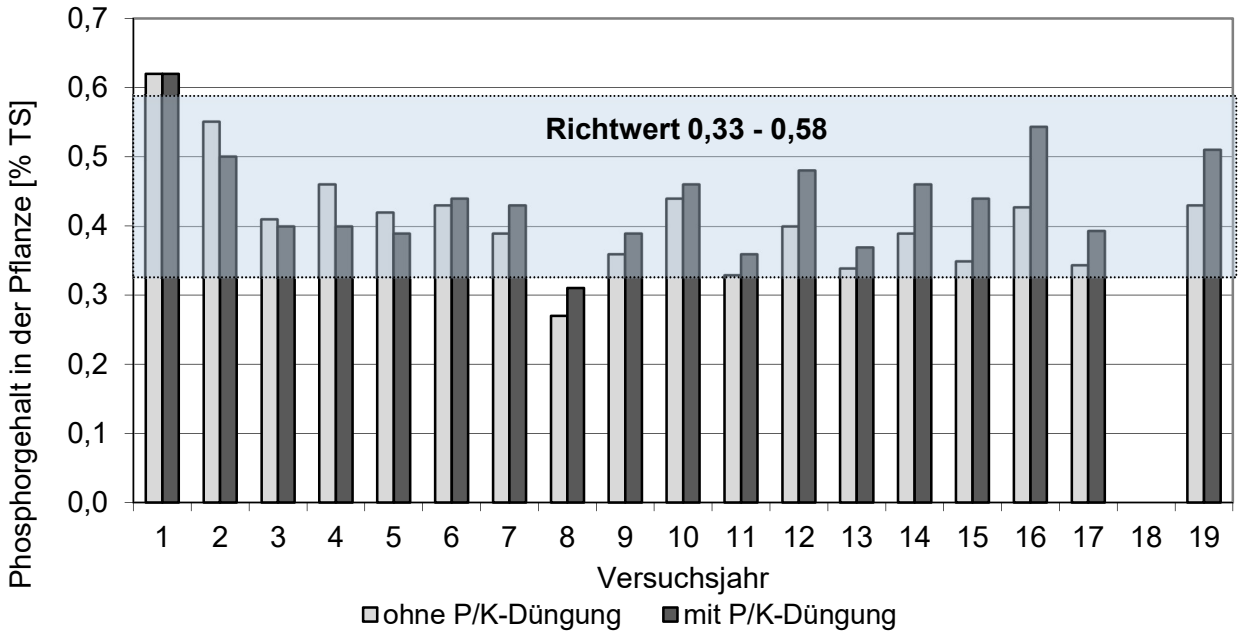


Abbildung 9: Phosphorgehalt in Wintergerste (BBCH: 32) Richtwert nach: Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern 2008

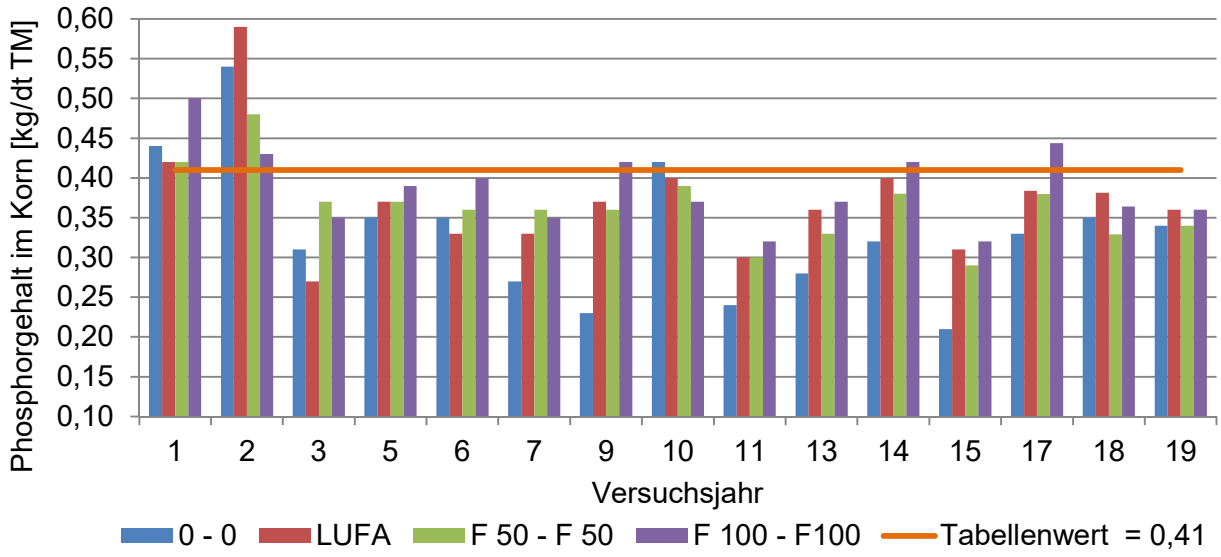


Abbildung 10: Phosphorgehalt im Erntegut von Wintergerste (Korn) Richtwert nach: Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern 2008

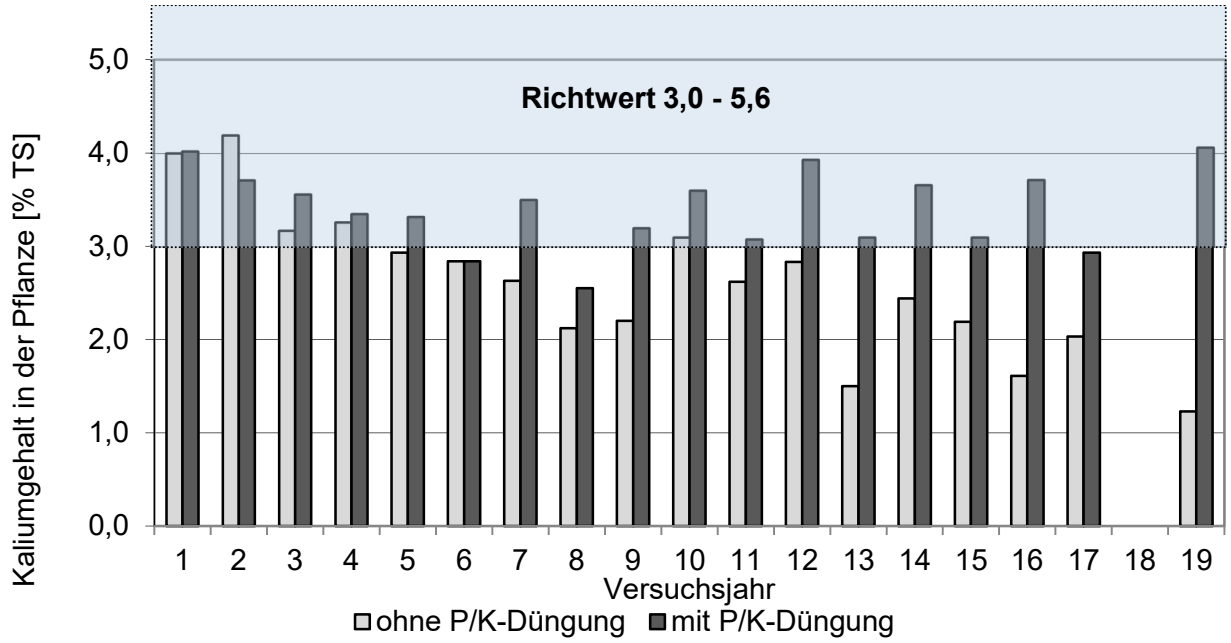


Abbildung 11: Kaliumgehalt in Wintergerste (BBCH: 32) Richtwert nach: Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern 2008

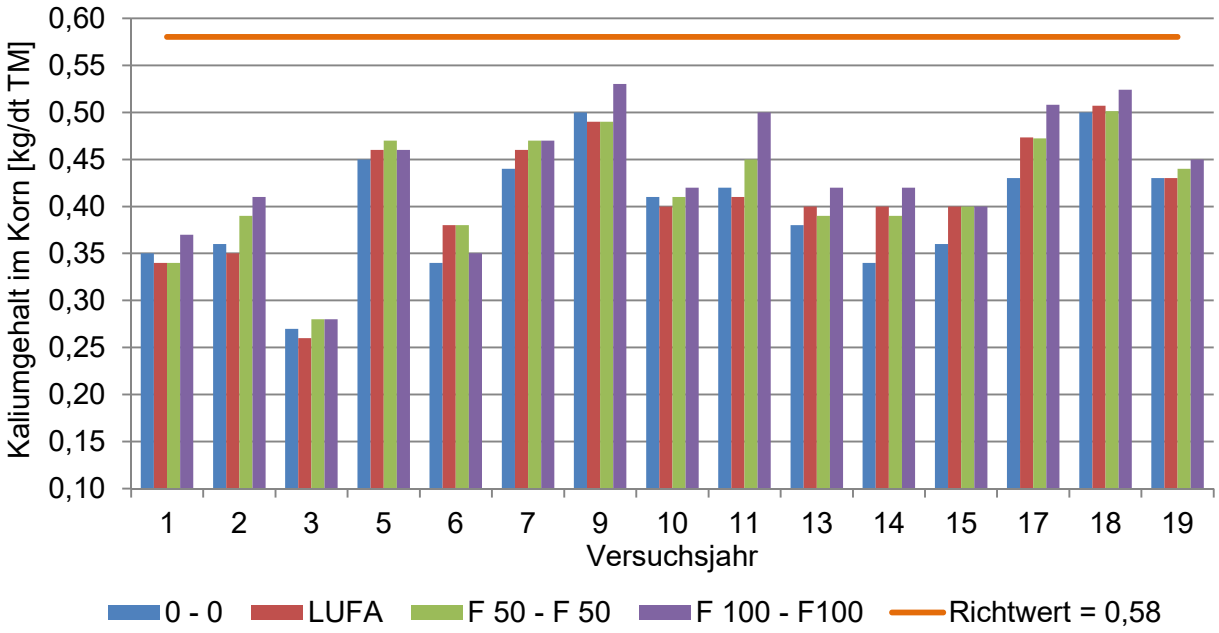


Abbildung 12: Kaliumgehalt im Erntegut von Wintergerste (Korn) Richtwert nach: Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern 2008

3.3.1 Einfluss der Düngung auf den Ertrag

Auswirkungen der Bodenart und der Witterung überlagern häufig die durch die Grunddüngung verursachten Effekte.

Die Kulturarten haben unterschiedliche Ansprüche an die Nährstoffversorgung. Am deutlichsten reagieren Kartoffeln und Silomais; danach folgen in absteigender Reihenfolge Wintergerste, Winterweizen und Winterraps.

Ertragseffekte durch unterlassene oder reduzierte P- oder K-Düngung stellen sich bei anfänglich hohen Bodengehalten je nach Standortbedingungen und Kulturart erst mittel- bis langfristig ein.

Die Düngung mit Phosphor oder Kalium wird nur dann positiv ertragswirksam, wenn die Versorgung mit dem jeweils anderen Nährstoff gesichert ist (ab Gehaltsklasse C, siehe Zwischenbericht 2016).

Inzwischen lassen sich Düngungseffekte nicht nur bei Kartoffeln und Mais sondern auch bei Wintergerste und punktuell bei Winterweizen beobachten (Abbildung 3). Diese optisch wahrnehmbaren Effekte sind meistens eindeutig als Kali-Mangelerscheinung einzuordnen (Abbildung 13). Winterraps scheint bisher ohne Wachstumsbeeinflussung. Phosphormangelerscheinungen sind bisher nur bei Mais aufgetreten. Für die aktuelle Diskussion um eine Absenkung der Richtwerte für die Phosphor-Gehaltsklassen im Boden ist bemerkenswert, dass dieser Mangel schon bei Gehaltsklasse B festgestellt wurde (Abbildung 14).



Abbildung 13: Kaliummangel bei Wintergerste (Foto: Feger, 2018)



Abbildung 14: Phosphormangel bei Mais (Foto: Thiel, 2015)

Es ist bekannt, dass Kalium die Winterhärte beeinflusst. Dies konnte im Winter 2015/16 eindrücklich in der Wintergerste beobachtet werden. Auf Parzellen mit Kaliumgehalten im Boden im unteren Bereich der Gehaltsklasse B bzw. A waren deutlich stärkere Auswinterungserscheinungen als in den gut versorgten Nachbarparzellen zu beobachten (weniger Pflanzen, geringere Regeneration, verzögerte Abreife, 30 – 100% Ertragsverlust), (Abbildung 15).

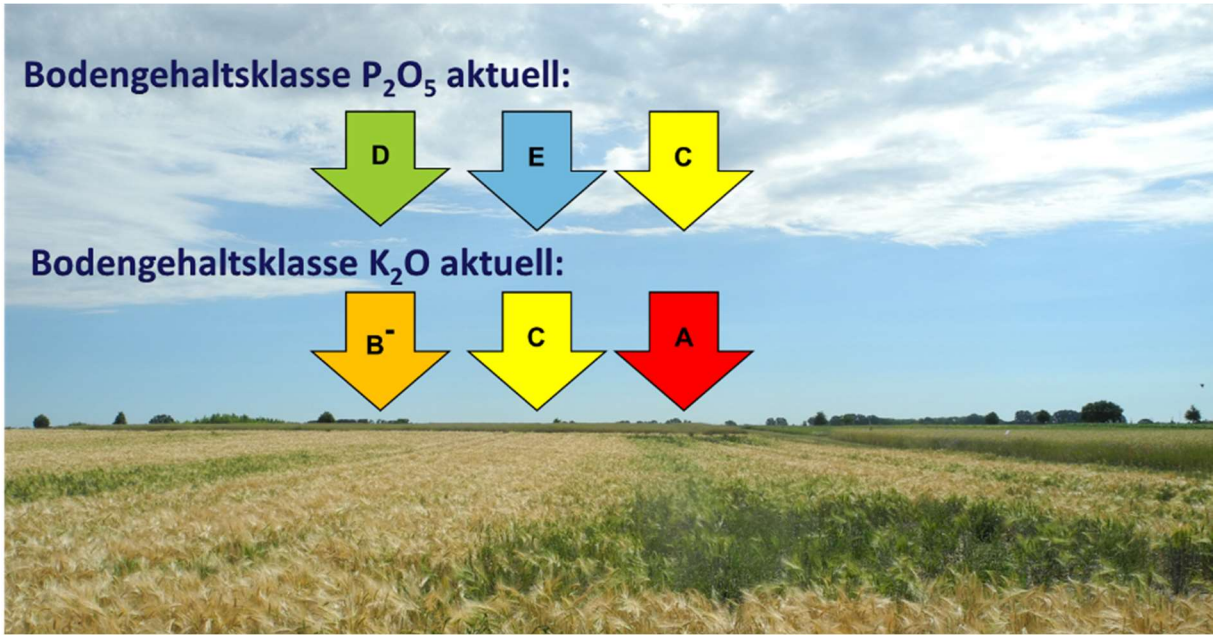


Abbildung 15: Abhängigkeit der Winterhärte von Wintergerste in Abhängigkeit von den P-/K-Gehalten im Boden (Foto: Thiel, 2016)

Weitere und vor allem quantifizierte Aussagen zu den Ertragswirkungen der Prüfvarianten lassen sich aufgrund der beschriebenen Auswertungsproblematik nicht ableiten.

3.4 Nutzung des Versuches durch andere Einrichtungen

3.4.1 Einfluss der P-Düngung auf den Uran-Gehalt im Boden - LUNG

Es besteht ein enger Zusammenhang zwischen dem Urangehalt und dem Anteil der Tonfraktion/ der Bodenart. Eine Abhängigkeit zum langjährigen Düngungsniveau ließ sich anhand von Bodenproben aus dem Gülzower Dauerdüngungsversuch nicht nachweisen.

Damit wurde die Hypothese bestätigt, dass die Urangehalte in den landwirtschaftlichen Düngemitteln – hier vor allem Phosphat – nicht oder nur unwesentlich zu den Urangehalten im Grundwasser beitragen (Schwerdtfeger, 2016), (Abbildung 16).

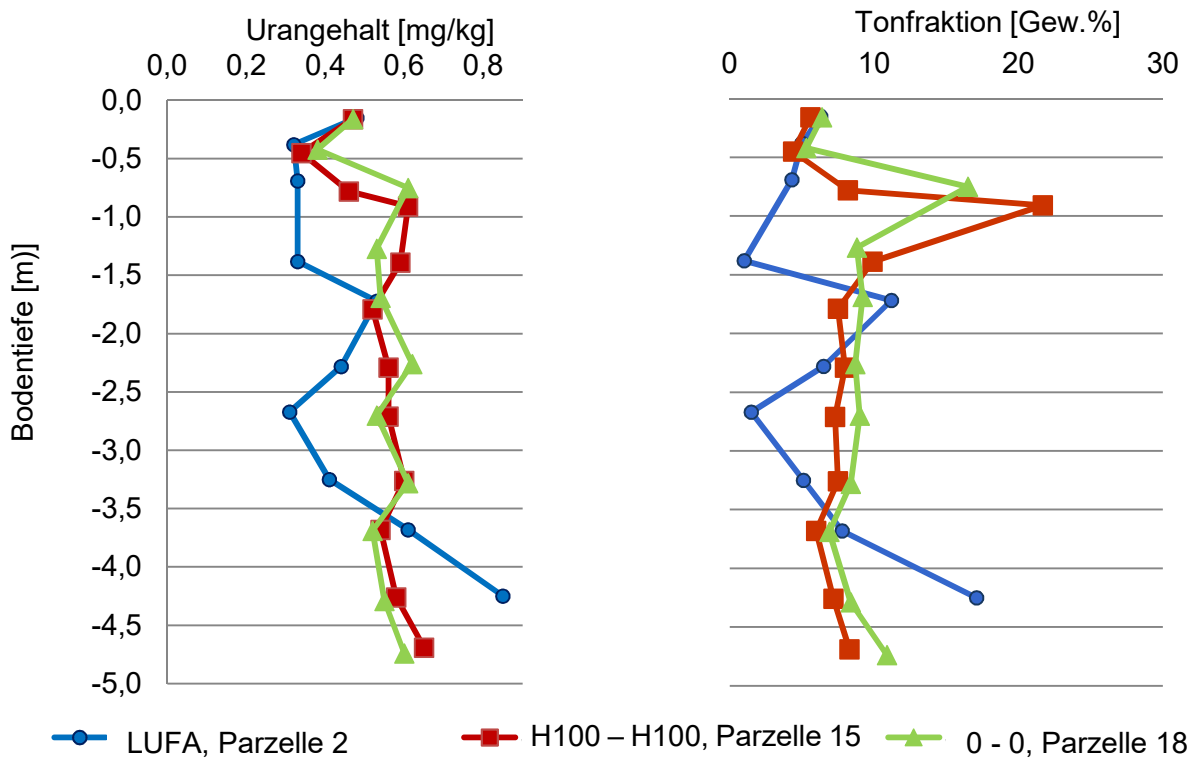


Abbildung 16: Abhängigkeit des Urangehaltes vom P-Düngungsniveau und dem Tongehalt im Boden, Feld E1 (Schwerdtfeger, 2015)

3.4.2 Wirkungen der Kaliumdüngung auf Bodeneigenschaften – Universität Kiel

Die Nährstoffgehalte im Boden haben neben den Effekten auf die Nährstoffversorgung der Pflanzen Auswirkungen im Boden. So wirkt Kalium auf schluffig-sandigen Standorten positiv auf die Bodenstruktur und die Wassernachlieferung zu den Pflanzen im Boden (Heibach et al. 2015). Diese Zusammenhänge sind Gegenstand einer überregionalen Untersuchung, in welche der Gülzower Versuch einbezogen wird.

3.5 Wirkungen der Phosphordüngung auf den Ertrag

Für Untersuchungen zur Präzisierung des Phosphordüngebedarfes wurden Daten aus dem Gülzower Versuch in jüngster Zeit mehrfach von anderen Einrichtungen (Koordinierungsgruppe Pflanzenproduktion der Landesanstalten; VLK; Universität Rostock) abgefragt. Allerdings muss die Gültigkeit der gelieferten Daten mit Blick auf die Zulässigkeit der bisherigen Auswertungen neu hinterfragt werden.

4 Fragen zur Fortführung des Versuches

4.1 Gründe für weitere Bearbeitung

Zur Bewertung der Ergebnisse von Bodenuntersuchungen und Ableitung von Düngungsempfehlungen werden unbedingt regionalspezifische Feldversuche benötigt.

Konkret sind folgende Versuchsziele zu benennen:

a) Bewertung von Bodenuntersuchungsergebnissen

b) Ermittlung des Düngebedarfes bei unterschiedlichen Nährstoffgehalten im Boden

c) Ermittlung des für das Pflanzenwachstum optimalen Nährstoffgehaltes im Boden

d) Überprüfung von Richtwerten für die Düngeplanung und Nährstoffbilanzierung (Nährstoffgehalte in Pflanzen und Erntegut)

e) Auswirkung langjährig unterschiedlicher Düngung auf den Nährstoffgehalt des Bodens (nach Wagner et al. 2007)

f) Weitere Auswirkungen langjährig unterschiedlicher Düngung auf die Bodenfruchtbarkeit (z. B. Strukturstabilität, Wasserführung, Bodenbiologie)

g) Überprüfung neuer Untersuchungsmethoden für diluviale Standorte Norddeutschlands (z. B. aktuell: P-Freisetzungsrate, Zorn 2018)

Dabei sind die Punkte a) – e) als Zielstellungen für regionalspezifische Validierungsversuche im Rahmen der Düngeverordnung §3 (1), die Punkte e) und f) im Rahmen des BundesBodenschutzgesetzes § 17 zu werten.

4.2 Überarbeitung der Versuchskonzeption

4.2.1 Weitere Überlegungen zur Versuchskonzeption

Eine wesentliche Interaktion der Düngewirkung von Phosphor und Kalium, die über das Liebigsche Gesetz vom Minimum bzw. der Realisierung eines optimalen Nährstoffverhältnisses für die Pflanze hinausgeht, ist nicht bekannt. An Stelle einer zweifaktoriellen Prüfung sollten zur Prüfung der Düngewirkung aus Gründen der besseren Versuchsauswertung einfaktorielle Versuchsanlagen gewählt werden.

Statische Versuche sind für die Prüfung langfristiger Effekte unabdingbar. Der Einfluss des Düngungstermins auf die Nährstoffaufnahme bzw. den Ertrag beruht jedoch auf kurzfristigen Wirkungen. Die Prüffrage nach dem optimalen Düngungstermin sollte deshalb getrennt vom Grundversuch untersucht werden. Entsprechendes gilt für die Prüfung verschiedener Düngerarten.

Sollen, wie in der Zielstellung genannt, Empfehlungen „bei optimalem und geringerem Versorgungszustand der Böden“ erarbeitet werden, müssen die Untersuchungen auf Böden mit unterschiedlichem Versorgungszustand durchgeführt werden, ohne dass dieser erst durch die direkte Prüfvariantenwirkung erzeugt wird.

Im Gülzower Versuch sind aktuell in einigen Prüfvarianten mit einer P-Düngung von 100% der Abfuhr und nach LUFA-Empfehlung Nährstoffgehalte im Boden erreicht worden, die im Bereich der P-Gehaltsklasse D liegen. Düngungsvarianten, die erwartbar zu einer weiteren Zunahme von pflanzenverfügbarem Phosphor im Boden führen, sind mit Blick auf die negativen Umweltwirkungen und die Praxisrelevanz zu hinterfragen.

Ein wertvolles Ergebnis der bisherigen Versuchsbewirtschaftung ist die im Blick auf die Untersuchungsfragen gleiche Behandlung vergleichsweise großer Parzellen auf je drei Niveaustufen in

unmittelbarer Nähe zueinander. Diese Flächen können die Grundlage für eine neue Versuchskonzeption bilden.

5 Schlussfolgerungen

Die Forschungsziele des Forschungsschwerpunktes 2.02 sind weiterhin aktuell und erfordern eine Fortführung der Bearbeitung für die regionalen Standortbedingungen. Auch mit Blick auf unvorhergesehene Anfragen wie 2014 die Auswirkungen der Phosphordüngung auf die Urangehalte im Sickerwasser sollten Dauerdüngungsversuche zur P- und K-Düngung erhalten bleiben.

Langparzellenanlagen sind für Feldversuche mit Prüfvarianten, bei denen Interaktionen mit Bodenvariablen wahrscheinlich sind, nicht geeignet. Auch eine geostatische Bodenausgleichsrechnung verbessert in diesen Fällen die Auswertbarkeit nicht. Für diese Versuche sind Versuchsanlagen mit echten Wiederholungen zwingend.

Die Versuchsanlage muss konzeptionell überarbeitet werden. Die Planungen werden im Rahmen eines IPB-Kolloquiums vorgestellt und diskutiert.

Literatur

Feger, G. (2018): Kaliummangel in Wintergerste, Bildaufnahmen im Gülzower P-/K-Dauerdüngungsversuch, Mai 2018, persönliche Mitteilung.

Heibach, P.; Holthusen, D.; Horn, R. (2015): Auswirkung der K-Düngungsintensität sowie des Matrixpotenzials auf die Mikrostabilität strukturierter Oberböden (Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft), 2015. Online verfügbar unter http://eprints.dbges.de/1113/1/Heibach_Bericht_DBG_Tagung_2015.pdf.

Michel, V., A. Zenk & J. Schmidtke, 2007: Gülzower PIAFStat-Verfahren. Standard der Versuchsauswertung in Deutschland. In: Mitteilungen der LFA, Heft 37, 61-71.

Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern (Hrsg.), 2008: Richtwerte für die Untersuchung und Beratung zur Umsetzung der Düngeverordnung in Mecklenburg-Vorpommern.

Schweitzer, K. (2017): Phosphor –Verfügbarkeit, Nachlieferung und Verlustrisiko in diluvialen Böden Brandenburgs. Paulinenauer Dünge-und Bodentag. Paulinenaue, 01.06.2017.

Schwerdtfeger, B. (2015): Zusammenhang von P-Düngung und Urangehalt im Boden. Persönliche Mitteilung.

Zenk, A.; Michel, V. (2006): Verfahren zur Auswertung von Feldversuchen mit Methoden der Geoinformatik und Geostatistik. Abschlussbericht 6/03. Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei MV.

Zorn, W.; Schröter, H.; Kießling, G. (2018): Präzisierung des P - Düngebedarfs auf Ackerland durch zusätzliche Bestimmung der P-Freisetzungsrate. TLL (Fachinformation).

Überleitung

Die Überleitung der im Rahmen dieses Forschungsthemas gewonnenen Ergebnisse erfolgte seit 2013 in Form nachfolgender Publikationen und Vorträge:

Veröffentlichungen

Lehmann, E. (2013): Empfehlungen zur PK-Düngung, Ergebnisse eines Dauerversuches. Boden- und Düngungstag. Güstrow. 21.02.2013. Vortrag.

Lehmann, E. (2013): Forschungsschwerpunkte im Acker- und Pflanzenbau aus Sicht der angewandten Agrarforschung. Fachausschuss Pflanzenproduktion Bauernverband. Neubrandenburg. 26.03.2013. Vortrag.

Lehmann, E. (2013): Empfehlungen zur Phosphor- und Kalium-Düngung bei Kartoffeln – Ergebnisse aus dem Gülzower Dauerversuch. 33. Kartoffeltag MV. Gülzow. 20.06.2013. Vortrag.

Lehmann, E. (2013): Erfolgreich Winterweizen anbauen – Stellschrauben in der Produktionstechnik. 38. Weizentag in Mecklenburg-Vorpommern. Köchelstorf. 19.06.2013. Vortrag.

Bull, I. (2013): Dauerdüngungsversuch (P/K) – Standort Gülzow. Landesarbeitskreis Düngung Nord. Lübeck. 06.12.2013. Vortrag

Bull, I. Lehmann, E. (2013): Neue Gedanken zur Düngestrategie – Ergebnisse aus Feldversuchen der Landesforschungsanstalt. Winterschulung Genossenschaftsverband. Güstrow. 16.12.2013. Vortrag.

Lehmann, E.; Bull, I. (2013): Neue Gedanken zur Düngestrategie – Ergebnisse aus Feldversuchen der Landesforschungsanstalt. Winterschulung Genossenschaftsverband. Glövzin. 18.12.2013. Vortrag.

Lehmann, E. ;Karsunke, P. (2014): Ergebnisse aus einem langjährig stationären Versuch zur Düngung mit Phosphor und Kali am Standort Gülzow. Mitteilungen der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern. Heft 53. S. 65-75.

Bull, I., Thiel, T. (2014): Dauerdüngungsversuch P/K, Standort Gülzow. Lübeck. Landesarbeitskreis Düngung Nord. 05.12.2014. Vortrag.

Bull, I.; Peters, J.; Ram, C.; Kureck, L.; Burmann, B.; Thiel, T. (2015): Düngung von Winterweizen – Ergebnisse aus Versuchen. 19. Brandenburger Düngungstag. Prenzlau. 29.01.2015. Vortrag.

Bull, I. (2015): Hohe Weizenqualität und geringe N-Salden – ein realistisches Ziel? Auswertung von Versuchen zur N-Spätdüngung im Winterweizen. Getreidemagazin 2 (2015) 55-58.

Bull, I.; Ramp, C.; Kureck, L.; Wegner, C.; Peters, J.; Ziesemer, A. (2016): Landwirtschaftliche Forschungsergebnisse zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie. Schulung der EPLR-Berater Wasserrahmenrichtlinie. 23.02.2016. Güstrow.

Bull, I.; Michel, V.; Thiel, T. (2016): Langjährige Reduzierung der P- und K-Düngung – Effekte nach 18 Jahren im statischen P-/K-Dauerdüngungsversuch in Gülzow. In: VDLUFA-Kongressband. Anforderungen an die Verwertung von Reststoffen in der Landwirtschaft. 128. VDLUFA-KONGRESS. Rostock, 13.-16-09.2016. Darmstadt. S. 312-318.

Bull, I.; Michel, V.; Thiel, T. (2016): Langjährige Reduzierung der P- und K-Düngung – Effekte nach 18 Jahren im statischen P-/K-Dauerdüngungsversuch in Gülzow. VDLUFA-Kongress. Rostock. 15.09.2016. Vortrag.

Bull, I. (2016): PK-Dauerdüngungsversuch – Versuchsauswertung nach 18 Jahren. Landesarbeitskreis Düngung Nord. 02.12.2016. Lübeck. Vortrag.

Bull, I. (2016): Langjährige Reduzierung der P- und K-Düngung Effekte nach 18 Jahren im statischen P-/K-Dauerdüngungsversuch in Gülzow. Poster.

Bull, I. (2017): Entwicklungen und Erkenntnisse des Gülzower Dauerdüngungsversuches. Boden- und Düngungstag. Linstow. 17.02.2017. Vortrag.

Bull, I. (2017): Grunddüngung mit Phosphor und Kalium. Was ändert die neue Düngeverordnung? Walkendorf. 25.04.2017. Vortrag.

Bull, I. (2017): Mögliche Düngestrategien im Betrieb nach neuer Düngeverordnung. 21.06.17. Rehna. Weizentag. Vortrag.

Thiel, T. (2017): Kalium- und Phosphordüngung - Effekte beim Mais in einem Dauerversuch. 05.09.2017. Gülzow. Feldtag Mais- und Sorghumhirse. Feldführung.

Bull, I. (2017): N/P-Düngung, Qualitätsweizen, Fruchtfolgen – alles im Griff? Mögliche Düngestrategien im Betrieb. Bauernverband Demmin. 07.11.2017. Demmin. Vortrag.

Bull, I. (2018): Beratung zur Grunddüngung (P/ K) in MV - Wie entstehen Düngungsempfehlungen? Ringvorlesung AgriCoast. 05.11.2018. Rostock. Vortrag.

Zuarbeiten

Bull, I. Thiel, T. (2013): Zuarbeit zur Untersuchung auf einen Zusammenhang zwischen P-Düngung und Urangehalten im Boden. An: LUNG.

Bull, I., Thiel, T. (2016): Zuarbeit zur erweiterten Datenauswertung von P-Düngungsversuchen im Rahmen des Forschungsprojektes „Innovative solutions to sustainable Soil Phosphorus management (InnoSoilPhos). WP 2.3 Metastudies on P fertilizer effects. An: Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät.

Bull, I., Thiel, T. (2017): Zuarbeit zur überregionalen Datenauswertung von Grunddüngungsversuchen zur Neuadjustierung von Richtwerten zur Düngung. Im Rahmen Kooperation Pflanzenproduktion der Landesämter und Landesanstalten, Arbeitsfeld Düngung sowie des Verbandes der Landwirtschaftskammern, Arbeitskreis Düngeberatung und Nährstoffhaushalt. An: TLL

Überregionale Arbeiten mit Einbeziehung von Ergebnissen aus dem P-/K-Dauerdüngungsversuch Gülzow

Buczko, Uwe; van Laak, Michael; Eichler-Löbermann, Bettina; Gans, Wolfgang; Merbach, Ines; Panten, Kerstin et al. (2018): Re-evaluation of the yield response to phosphorus fertilization based on meta-analyses of long-term field experiments. In: Ambio: a journal of the human environment 47 (1), S. 50–61. DOI: 10.1007/s13280-017-0971-1.

Heibach, Pia (2018): Potenziale zur Förderung der Wassernutzungseffizienz und der Trockenstresstoleranz landwirtschaftlicher Kulturpflanzen durch verbesserte Düngemanagementsysteme unter besonderer Berücksichtigung physiko-chemischer Prozesse im Boden. Dissertation. Universität Kiel

VDLUFA (2018): Phosphordüngung nach Bodenuntersuchung und Pflanzenbedarf. Unter Mitarbeit von F. Wiesler, T. Appel, K. Dittert, T. Ebertseder, T. Müller, L. Nätscher et al. (VDLUFA-Standpunkt).