



Gefäß- und Feldversuche zur agronomischen Bewertung von Halmgutaschen

Philipp Koal¹, Roland Bischof², Jan Schlegel², Thomas Hering² und Bettina Eichler-Löbermann¹

¹Professur für Pflanzenbau, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Universität Rostock, Rostock; ²Thüringer Landesamt für Landwirtschaft und ländlichen Raum, Jena





Einleitung

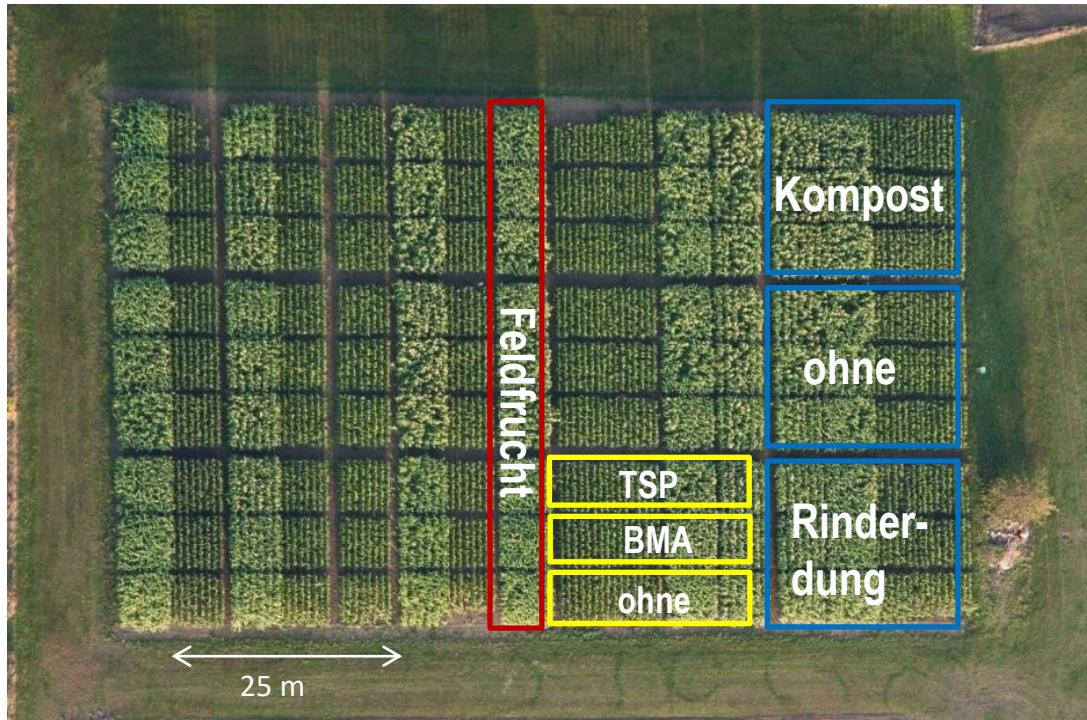


- Projekt Biomasse-Asche-Monitoring (BAM):
 - Mögliche Eingliederung der (Stroh-)Asche in natürliche Wachstumsprozesse im Bereich der landwirtschaftlichen Bodennutzung
 - Phosphorkreislauf (teilweise) schließen!?
 - Strohasche als Phosphor(P)-Dünger (agronomische Bewertung)
- Untersuchungsziele/Forschungsfragen:
 1. **Welche Auswirkungen hat die Aschedüngung auf agronomische Kennwerte/Kenngrößen? Fokus auf Ertrag/Biomasse, P-Aufnahme und pflanzenverfügbares P**
 2. **Vergleich mit handelsüblichem P-Dünger (TSP = Tripelsuperphosphat)**
 3. **Ob und welchen Einfluss haben Ausgangsmaterial/Herkunft und Aufbereitung?**
 4. **(Tiefergehende Untersuchungen (z.B. Phosphorfraktionen, Enzymaktivitäten, Schwermetalle...))**
- Vorgehen:
 - Analysen und Datenauswertung des Phosphor-Dauerfeldversuches (DFV) Rostock: Biomasse-Asche Düngung seit 2007
 - Zwei Gefäßversuche mit unterschiedlichen:
 - Stroh-Aschen (3)
 - Aufbereitungsformen (3)
 - Fruchtarten (3)
 - (Konzentrationsstufen (2))



- Beginn: 1998; P-Düngungsversuch,
Bodenbearbeitung/Düngung/Management nach GfP
- Standort: etwa 15 km südlich der Ostseeküste
 - Mittlere Jahrestemperatur: 8,1 °C
 - Mittlere Jahresniederschlagssumme: 601 mm
 - Bodentextur: lehmiger Sand
 - Bodentyp: Stagnic Cambisol (WRB), pseudovergleyte Braunerde über Moränensand/-lehm (KA5)
 - Boden pH-Wert (CaCl_2): ca. 5,9
- BMA-Düngung seit 2007: Ausgangsprodukte der applizierten Aschen:
Holz, Stroh, Landschaftspflegematerial, Getreidekörner
- Boden- und Pflanzenanalytik (1-2 x pro Jahr)

DFV Rostock „Stover Acker“



Luftbild, 2013

Split-Plot-Design in 4 Wiederholungen und 9 Düngevarianten:

- Kontrolle (ohne Düngung)
- Rinderdung
- Kompost
- Tripelsuperphosphat (TSP)
- Biomasse-Asche (BMA)
- TSP + Kompost
- TSP + Rinderdung
- BMA + Kompost
- BMA + Rinderdung

→ Seit 2007 viele unterschiedliche Fragestellungen bearbeitet → Einflüsse und Effekte auf P-Verfügbarkeit (Vorfrüchte, Zwischenfrüchte etc.)!



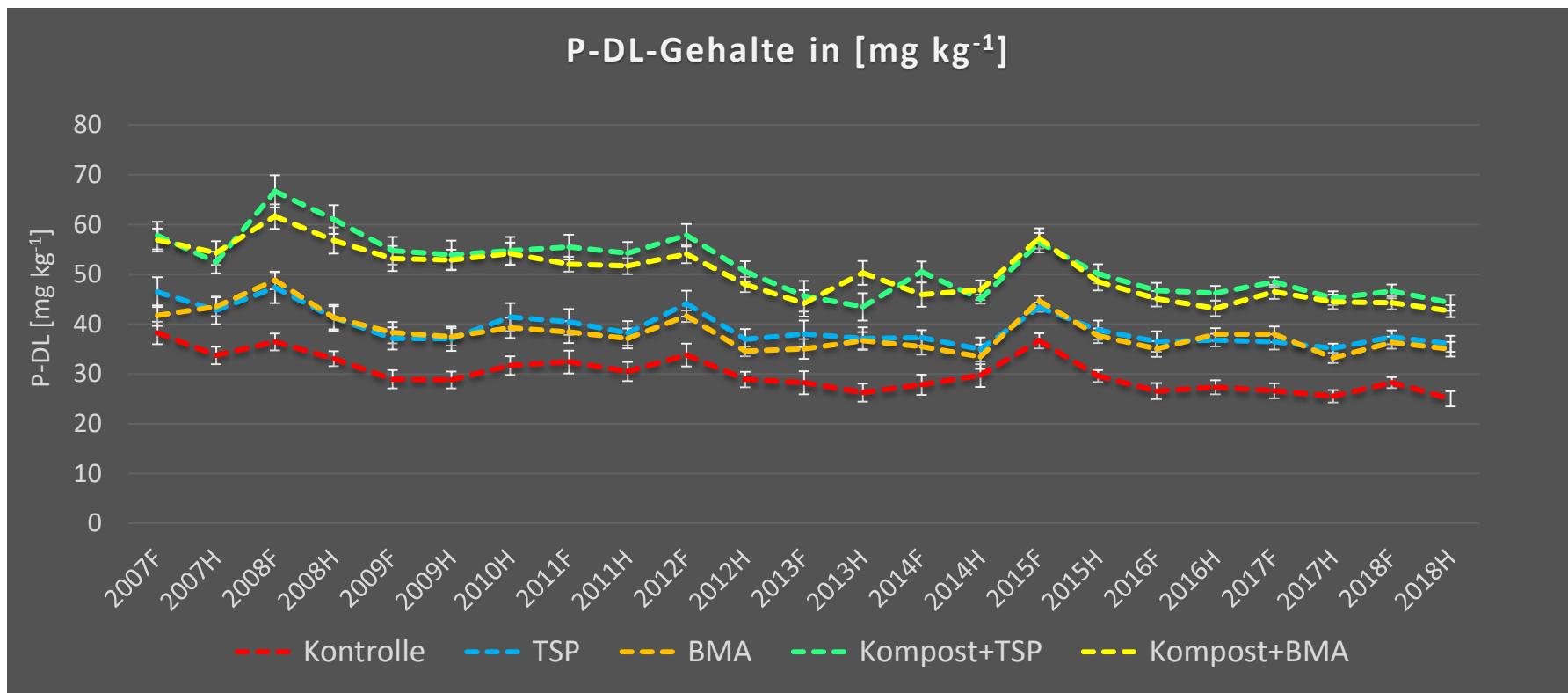
DFV - P-Bilanz (2007 bis 2018) und P-Doppel-Laktatlösliches P (P-DL), (Mittel 2007 bis 2018)

Variante	P-Zufuhr	P-Aufnahme	P-Bilanz	Jährliche P-Bilanz	P-DL
				kg ha ⁻¹ a ⁻¹	mg kg ⁻¹
Kontrolle	0	255	-255	-21,3	30,8
TSP	245	280	-35	-2,9	39,6
BMA	234	273	-52	-3,3	37,9
Dung + TSP	482	308	174	14,5	45,2
Dung + BMA	470	304	166	13,8	42,8
Kompost + TSP	464	307	147	13,1	51,5
Kompost + BMA	452	309	143	11,9	50,1

Initialer P-DL-Gehalt: 42,2 mg kg⁻¹; Doppel-Laktatlösliche, pflanzenverfügbare Phosphor: P-Test-Verfahren welches für die Düngedarfsermittlung herangezogen wird in M.-V.

TSP = Tripelsuperphosphat, BMA = Biomasse-Asche, Kompost = Biokompost, Dung = Rinderdung

P-DL (Zeitverlauf 2007 bis 2018) nach Düngevarianten



Initialer P-DL-Gehalt: 42,2 mg kg^{-1} ;

TSP = Tripelsuperphosphat, BMA = Biomasse-Asche, Kompost = Biokompost, Dung = Rinderdung



DFV - Prozentualer Mehrertrag der Düngevarianten zur Kontrolle (2007-2018) nach Fruchtarten

Variante	Mais (n=6)	Sorghum (n=3)	Sonnenblume (n=1)	Gesamt (n=12)	
				% (dt/ha)	
Kontrolle	0,0 (13,5) a	0,0 (11,2) a	0,0 (8,9) a	0	a
TSP	8,6 (14,9) b	6,3 (11,9) ab	6,6 (9,5) b	7,4	bc
BMA	7,8 (14,8) b	6,2 (11,9) ab	5,9 (9,4) b	6,6	b
Dung + TSP	12,6 (15,4) c	11,3 (12,4) c	8,7 (9,7) c	11,2	c
Dung + BMA	12,8 (15,5) c	10,7 (12,5) bc	5,0 (9,3) b	10,5	bc
Kompost + TSP	24,3 (17,0) d	20,8 (13,5) d	7,1 (9,5) bc	17,9	d
Kompost + BMA	24,9 (17,1) d	20,6 (13,5) d	6,5 (9,5) b	16,4	d

TSP = Tripelsuperphosphat, BMA = Biomasse-Asche, Kompost = Biokompost, Dung = Rinderdung; Buchstaben zeigen signifikant verschiedene Mittelwerte zwischen den Düngevarianten nach Fruchtart (Duncan-Test, $p \leq 0,05$); n = Anzahl der Jahre; in Klammer; durchschnittlicher Ertrag in dt/ha

DFV – Zwischenfazit

- Ertrag, leichtverfügbares P und P-Aufnahme der BMA-Varianten nicht signifikant geringer als bei den vergleichbaren TSP-Varianten
- Ausgangsmaterial und Herkunft: statistisch keine Auffälligkeiten *
- Mischung mit Kompost/Dung: Ausbringung erleichtert, keinen negativen Einfluss
- Schwermetallkonzentrationen (Pb, Ni, Cr und Cd): keine Auffälligkeiten (Pflanze, Boden) im Vergleich mit anderen Düngevarianten/Kontrolle
- Trend zur Verlagerung von labilen P-Fraktionen zu stabilen P-Fraktionen über die Jahre hinweg → Abnahme PDL und wasserlösliches P; Zunahme HCl-lösliches P

*Unterscheidung der Aschen und Rückschlüsse daraus werden auch durch andere Effekte/bearbeitete Fragestellungen überlagert



Gefäßversuch 1 – Experimentaufbau

- Versuch im Gewächshaus der Uni Rostock, Juni-August 2018, 69 Tage
- 6 kg Boden in Mitscherlichgefäß, je Variante 4 Wiederholungen, randomisierter Aufbau
- Fruchtarten: Mais (wichtige Futter- und Energiepflanze), Amaranth (hohe Nährstoffaufnahme), Lupine (einheimische Eiweißpflanze)
- Vor Aussaat: Düngung benötigter Nährstoffe (N, K, Mg, S); Rohaschen, Aufbereitungsformen und P-Dünger in die obersten 0-5 cm eingearbeitet
- Lehmig-sandiger, P-armer Boden (Düngung auf Gehaltsklasse C)

Verwendeter Boden	PDL	KDL mg kg ⁻¹	MgDL	N	C %	oTS	pH
Kennwerte (Gehaltsklassen)	30,1 (A)	83,6 (C)	103 (C)	0,09	0,84	2,52	5,39 (B)

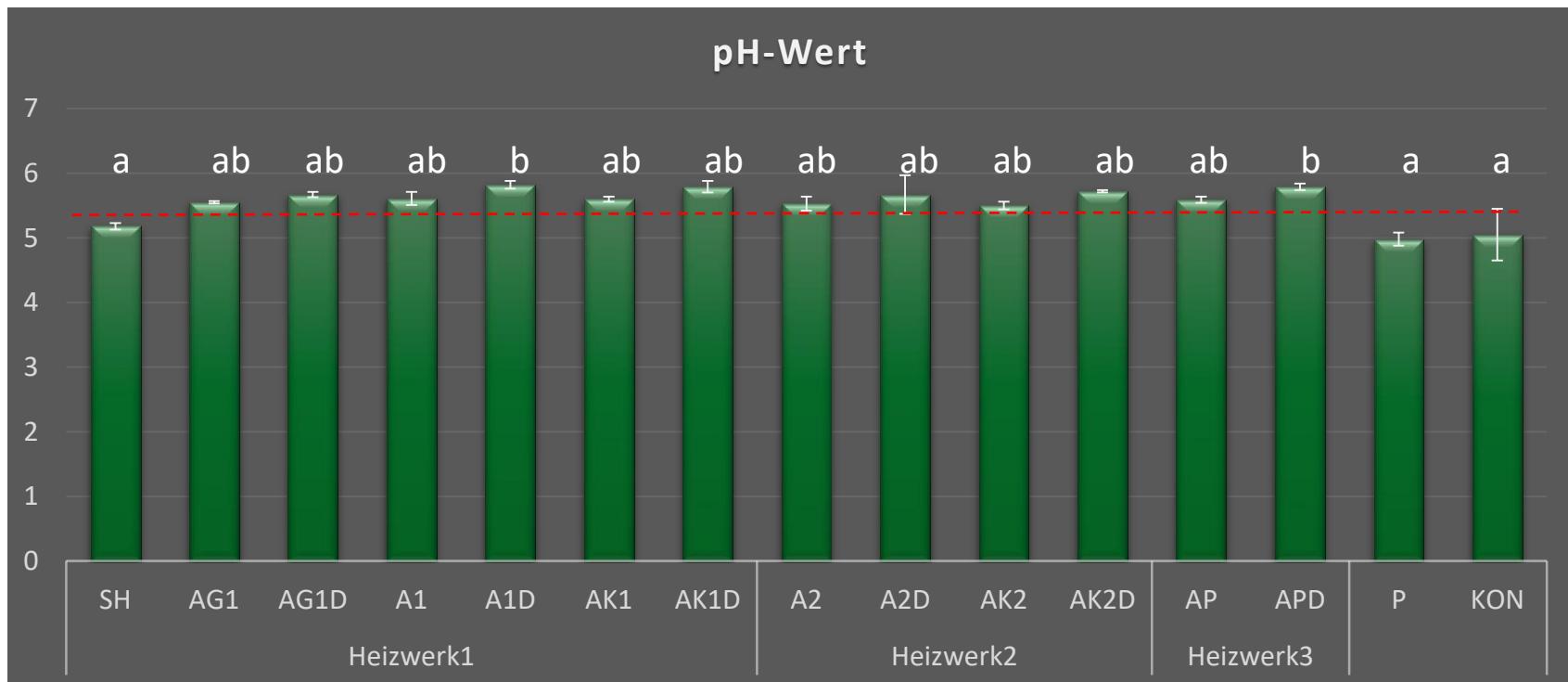


Gefäßversuch 1

- **Rohasche**: unverarbeitete Asche (gesiebt, zur Schlackenvermeidung)
- **Kompaktat**: mechanisch gepresste Asche zu 0,5-1 cm große Granulate
- **Stroh-Asche-Gemisch**: 90 % Asche 10 % gehäckseltes Stroh, gemischt
- Varianten:
 - Heizwerk1 (Gerste- und Weizenstroh): **Rohasche (A1), Kompaktat (AK1), Stroh-Asche-Gemisch (AG1), Stroh (SH)**
 - Heizwerk2 (Weizenstroh): **Rohasche (A2), Kompaktat (AK2)**
 - Heizwerk3 (Paludikultur-Stroh; = Schilf, Seggen): **Rohasche (AP)**
 - **TSP (P), Kontrolle (KON)**
- Für alle Düngearvarianten wurde entsprechende Menge für 0,21 g P pro Gefäß appliziert

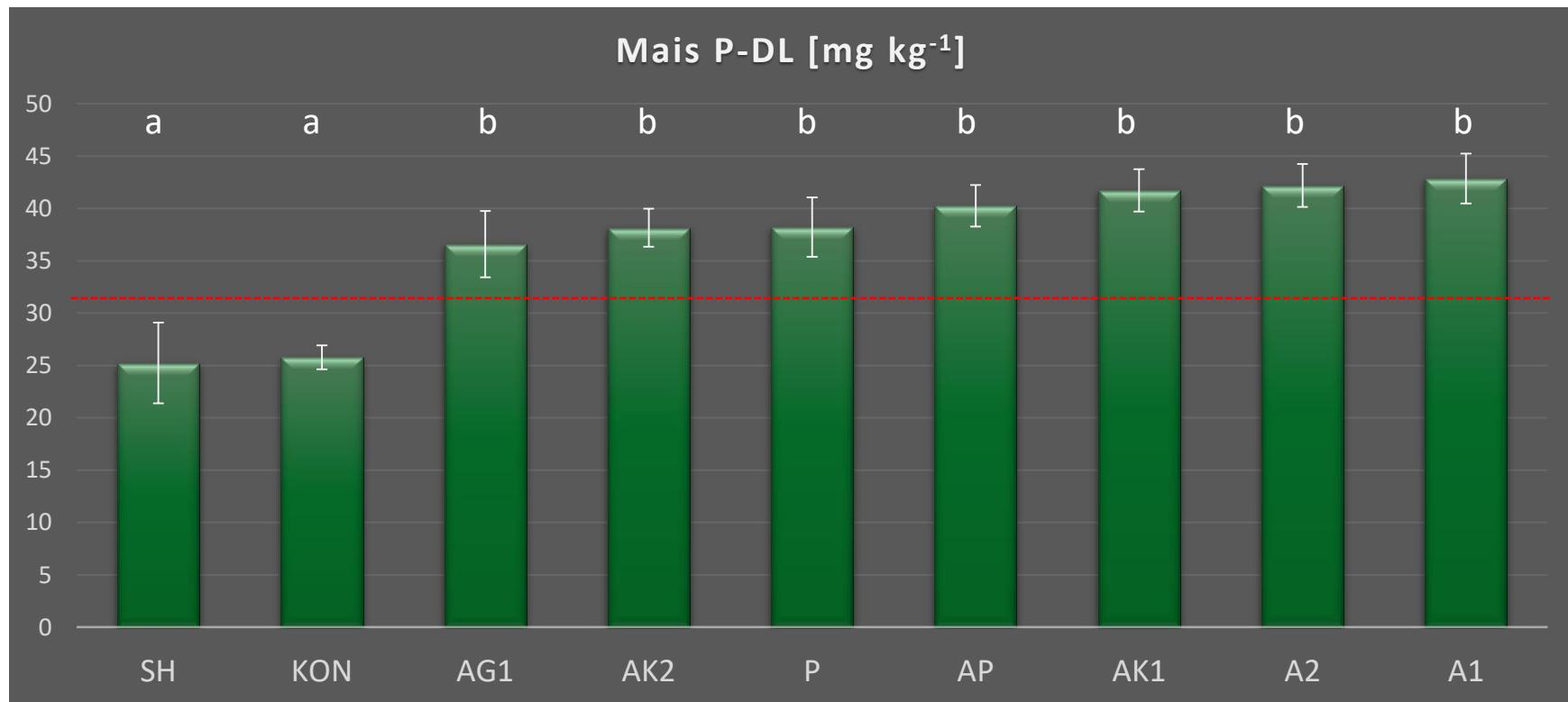
Kennwerte verwendeter Aschen/Granulate/Gemische				
Aschen/Granulate	pH	Ptot [%]	Ktot [%]	Mgtot [%]
SH (Ger.-Weiz.-Stroh)	7,4	0,14	1,35	0,22
A1 (Ger.-Weiz.-Stroh-Asche)	10,78	0,44	4,73	0,98
AK1 (Kompaktat)	10,64	0,44	4,73	0,98
AG1 (S.-A.-Gemisch)	10,25	0,42	4,31	0,89
A2 (Weizenstroh-Asche)	12,16	1,31	19,01	1,57
AK2 (Kompakat)	12,19	1,31	19,01	1,57
AP (Paludikulturstroh-Asche)	13,13	2,09	6,64	4,32

Gefäßversuch 1 – Veränderung pH-Wert des Bodens

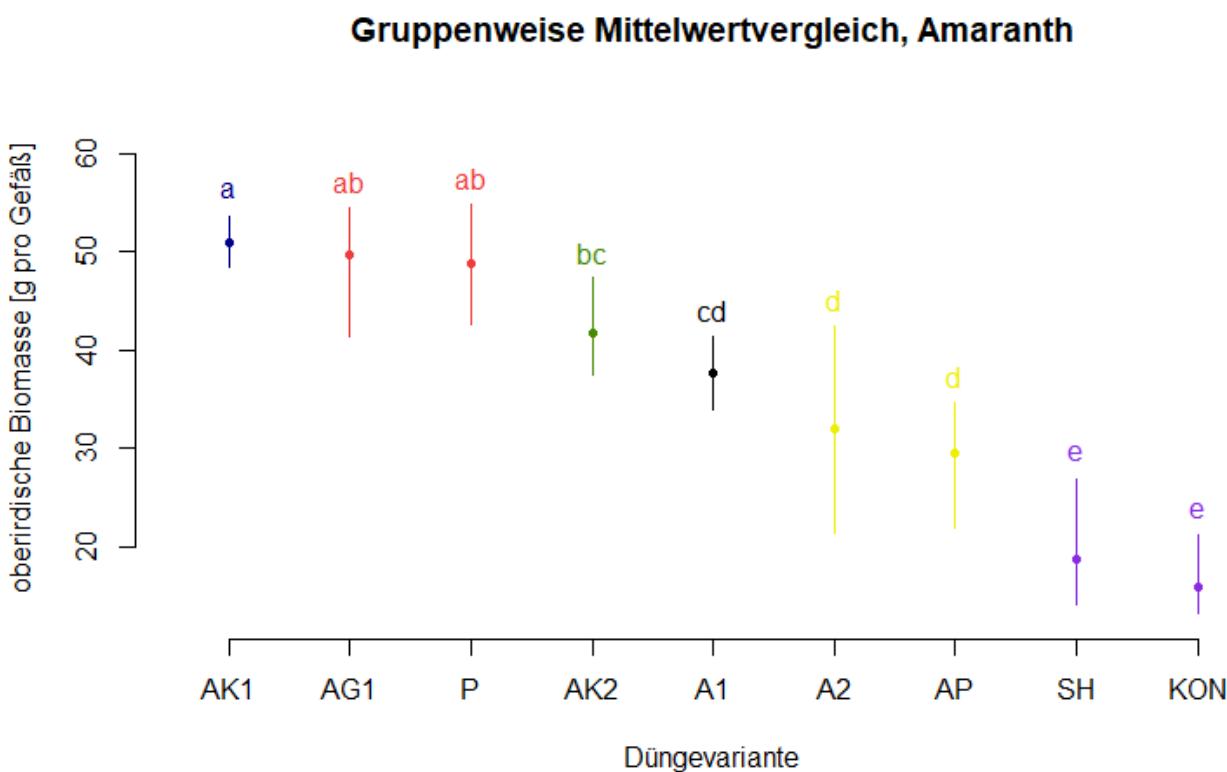


KON = Kontrolle, SH = Stroh, P = Tripelsuperphosphat, A1 = Rohasche1, AK1 = Kompaktat1, AG1 = Asche-Gemisch2, A2 = Rohasche2, AK2 = Kompaktat2, AP = Paludikultur-Asche; D = doppelte applizierte Menge, 0,42 g P pro Topf; Linien zeigen die Spanne, Punkte den Mittelwert, Buchstaben zeigen signifikant verschiedene Mittelwerte zwischen den Düngvarianten (Duncan-Test, $p \leq 0,05$); rot-gestrichelte Linie: Ausgangswert des Bodens (5,39)

Gefäßversuch 1 – pflanzenverfügbarer Phosphor P-DL

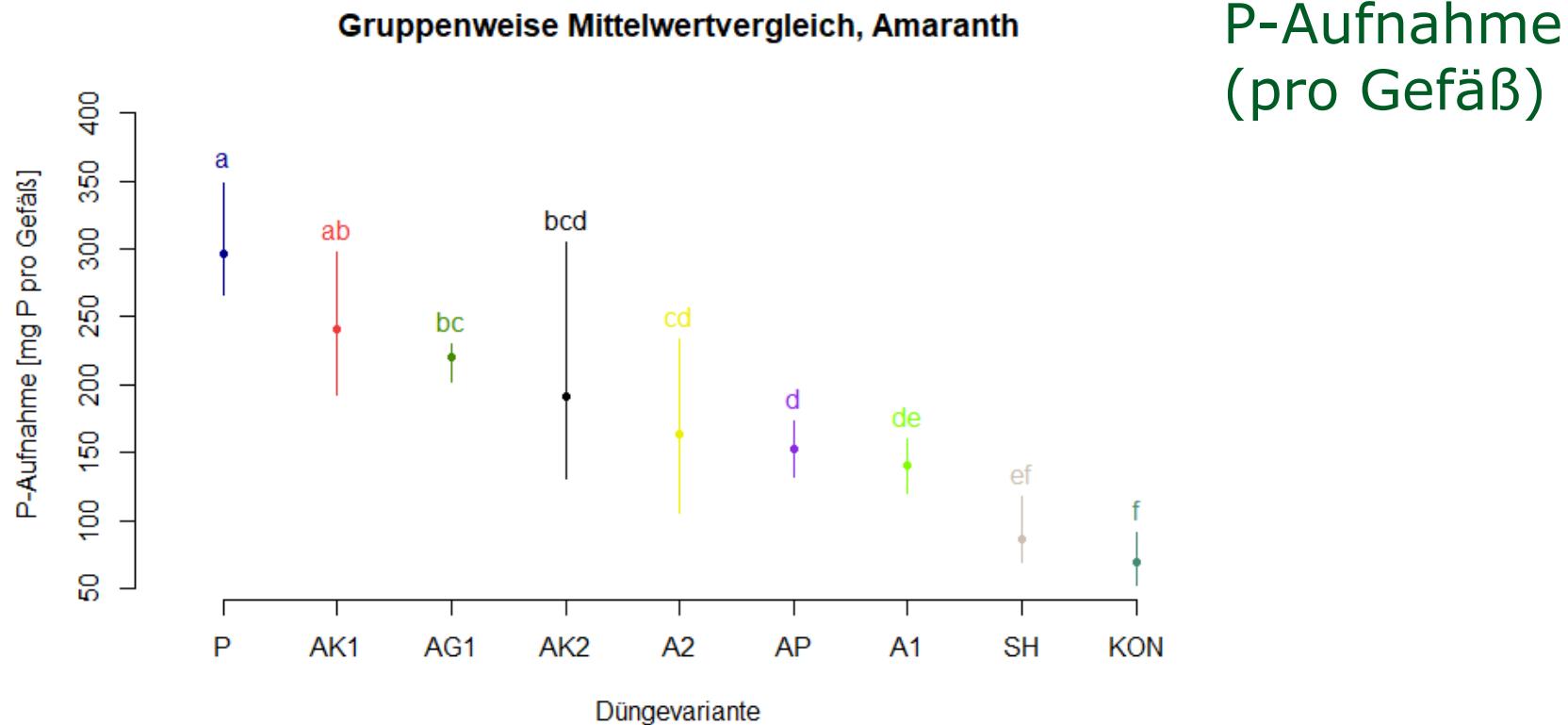


KON = Kontrolle, SH = Stroh, P = Tripelsuperphosphat, A1 = Rohasche1, AK1 = Kompaktat1, AG1 = Asche-Gemisch2, A2 = Rohasche2, AK2 = Kompaktat2, AP = Paludikultur-Asche; D = doppelte applizierte Menge, 0,42 g P pro Topf; Linien zeigen die Spanne, Punkte den Mittelwert, Buchstaben zeigen signifikant verschiedene Mittelwerte zwischen den Düngvarianten (Duncan-Test, $p \leq 0,05$); rot-gestrichelte Linie: Ausgangswert des Bodens ($30,09 \text{ mg kg}^{-1}$)



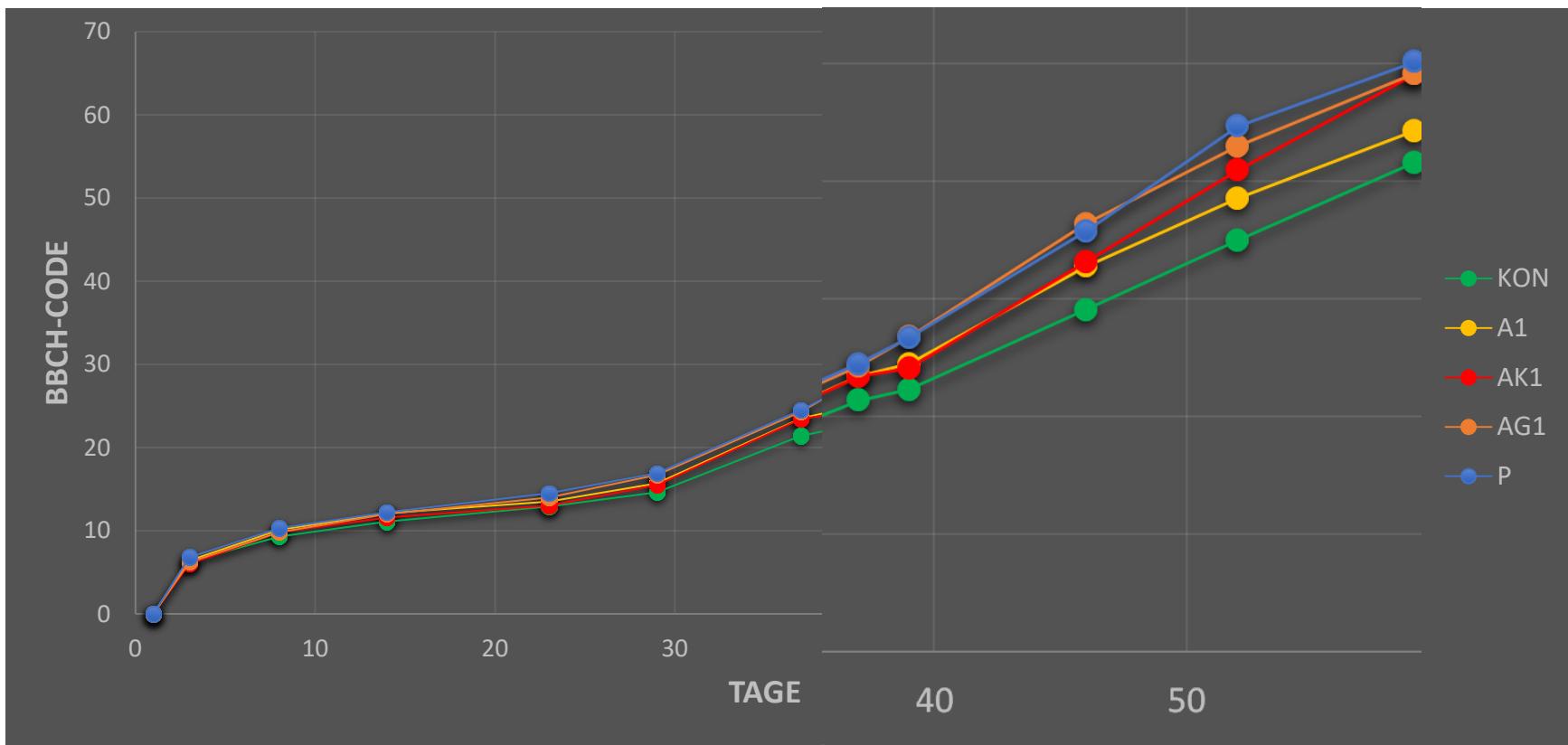
Ertrag
(oberirdische
Biomasse)

KON = Kontrolle, SH = Stroh, P = Tripelsuperphosphat, A1 = Rohasche1, AK1 = Kompaktat1, AG1 = Asche-Gemisch2, A2 = Rohasche2, AK2 = Kompaktat2, AP = Paludikultur-Asche; Linien zeigen die Spanne, Punkte den Mittelwert, Buchstaben zeigen signifikant verschiedene Mittelwerte zwischen den Düngearvarianten (Duncan-Test, $p \leq 0,05$)



KON = Kontrolle, SH = Stroh, P = Tripelsuperphosphat, A1 = Rohasche1, AK1 = Kompaktat1, AG1 = Asche-Gemisch2, A2 = Rohasche2, AK2 = Kompaktat2, AP = Paludikultur-Asche; Linien zeigen die Spanne, Punkte den Mittelwert, Buchstaben zeigen signifikant verschiedene Mittelwerte zwischen den Düngearten (Duncan-Test, $p \leq 0,05$)

Entwicklungsstadien der Pflanzen, Beispiel Mais



KON = Kontrolle, P = Tripelsuperphosphat, A1 = Rohasche1, AK1 = Kompaktat1, AG1 = Asche-Gemisch2; BBCH = Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Bundesortenamt und Chemische Industrie



Gefäßversuch 1 – Fazit und weitere Ergebnisse

- Schwermetalluntersuchung Boden: keine Unterschiede zur Kontrollvariante
- Schwermetalluntersuchung Pflanzenmaterial: Cadmium bei Amaranth signifikant erhöht bei einer Aschevariante (0,44 mg/kg TM) im Vergleich zur Kontrolle (0,17 mg/kg TM), sonst keine Auffälligkeiten
- Düngung mit doppelter P-Menge (0,42 g pro Topf) führte zu leichter Ertragserhöhung, ca. 5-15 %, keine negativen Effekte
- Biomasse unterirdisch (Wurzeln) spiegeln die Ergebnisse der oberirdischen Biomasse wider
- Leicht erhöhte mikrobielle Biomasse/Enzymaktivität bei A1, AK1 und den Stroh-Asche-Gemischen (→ Kohlenstoff-Anteil)



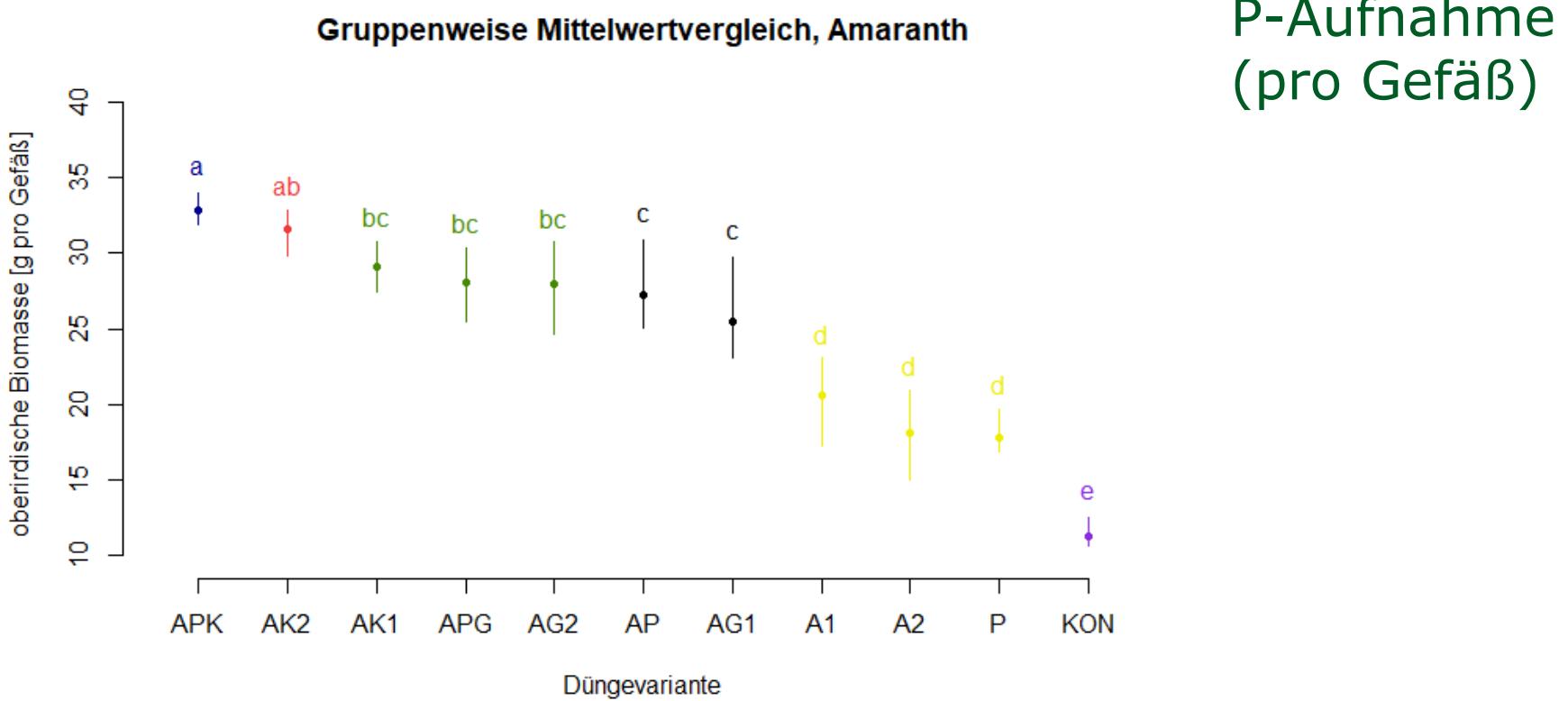
Gefäßversuch 1 – Fazit und weitere Ergebnisse

- Alle Aschevarianten mit signifikant erhöhter Düngewirkung gegenüber der Kontrolle
- Rohaschen mit Düngewirkung zwischen 45-70 %, Kompaktate und Stroh-Asche-Gemisch bei 80->100 %
- Fruchtarten zeigen Unterschiede in absoluten Werten (z.B. Biomasse), aber Werteverteilung bei den Düngevarianten mit ähnlicher Abfolge
- Verzögerte P-Verfügbarkeit durch Granulierung?! Blattzählungen und Größenmessungen der Pflanzen bestätigen Ergebnisse der BBCH-Code Schätzung
- → längerfristige Nährstoffverfügbarkeit im Vergleich zu TSP?

Gefäßversuch 2

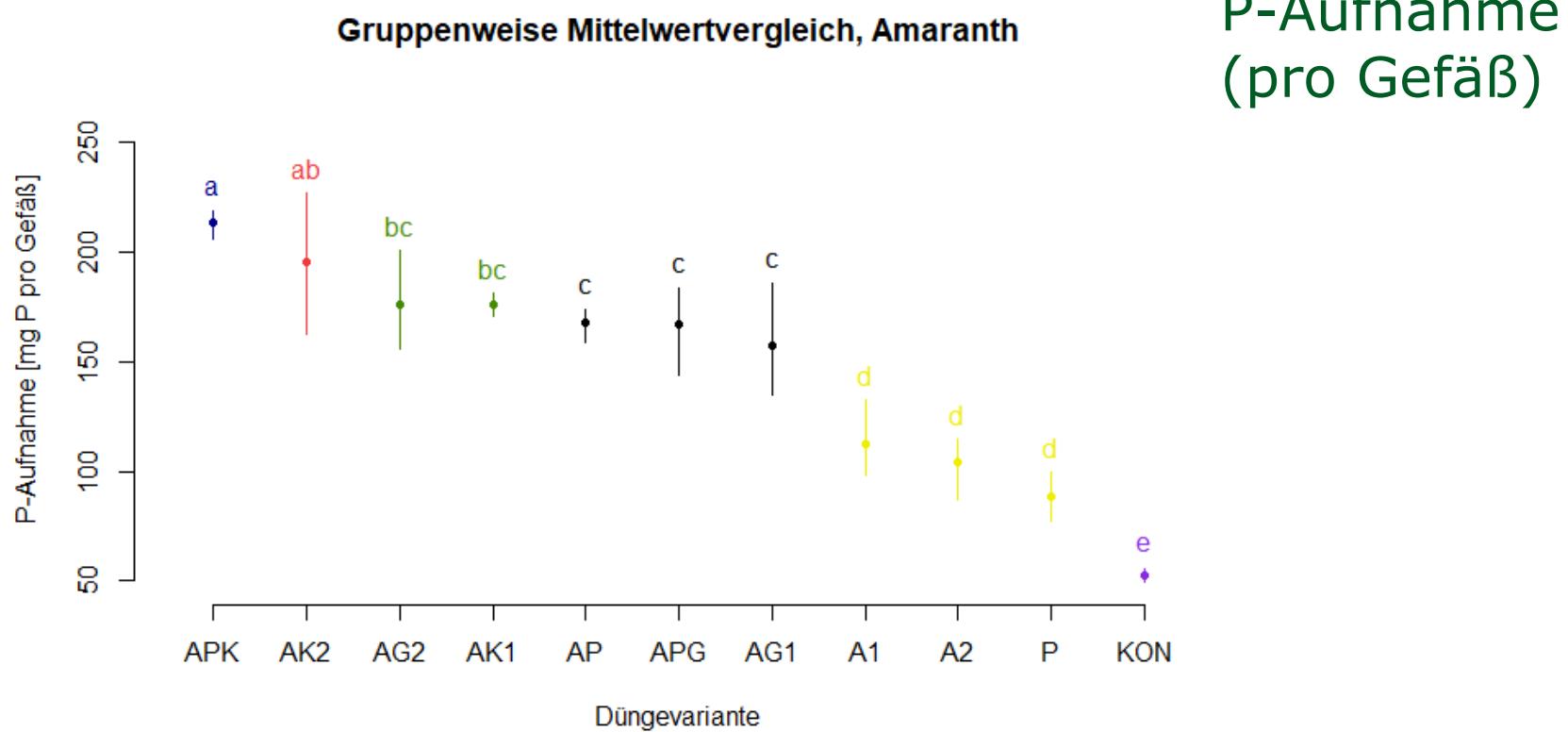
- Versuch im Gewächshaus der Uni Rostock, November 2018- Februar 2019, 3 x 60 Tage
- Gleicher Versuchsaufbau/Durchführung wie Gefäßversuch 1
- Lupine→Mais→Amaranth hintereinander ausgesät als Fruchfolge, Wurzeln wurden bei Ernte zerkleinert und in Boden eingearbeitet
- Düngung: benötigte Nährstoffe (N, K, Mg, S) bei jeder Aussaat ausreichend appliziert, P nur einmalig;
- Varianten/Prüfglieder:
 - Heizwerk1 (Gerste- und Weizenstroh): **Rohasche (A1), Kompaktat (AK1), Stroh-Asche-Gemisch (AG1)**
 - Heizwerk2 (Weizenstroh): **Rohasche (A2), Kompaktat (AK2), Stroh-Asche-Gemisch (AG2)**
 - Heizwerk3 (Paludikultur-Stroh; = Schilf, Seggen): **Rohasche (AP), Kompaktat (APK), Stroh-Asche-Gemisch (APG)**
 - **TSP (P), Kontrolle (KON)**
- Für alle Düngeartvarianten wurde entsprechende Menge für 0,21 g P pro Gefäß appliziert

Gefäßversuch 2



KON = Kontrolle, P = Tripelsuperphosphat, A1 = Rohasche1, AK1 = Kompaktat1, AG1 = Asche-Gemisch2, A2 = Rohasche2, AK2 = Kompaktat2, AG2 = Asche-Gemisch, AP = Paludikultur-Asche, APK = Paludi-Asche-Kompaktat. APG = Paludi-Asche-Gemisch; Linien zeigen die Spanne, Punkte den Mittelwert, Buchstaben zeigen signifikant verschiedene Mittelwerte zwischen den Düngearianten (Duncan-Test, $p \leq 0,05$)

Gefäßversuch 2



KON = Kontrolle, P = Tripelsuperphosphat, A1 = Rohasche1, AK1 = Kompaktat1, AG1 = Asche-Gemisch2, A2 = Rohasche2, AK2 = Kompaktat2, AG2 = Asche-Gemisch, AP = Paludikultur-Asche, APK = Paludi-Asche-Kompaktat. APG = Paludi-Asche-Gemisch; Linien zeigen die Spanne, Punkte den Mittelwert, Buchstaben zeigen signifikant verschiedene Mittelwerte zwischen den Düngesorten (Duncan-Test, $p \leq 0,05$)



Gefäßversuch 2 – P-Ausnutzung

$$P\text{-Ausnutzung}(\%) = \frac{(P\text{-Aufnahme}^D - P\text{-Aufnahme}^K)}{P\text{-Zufuhr}} \times 100$$

$P\text{-Aufnahme}^D$ Aufgenommene Nährstoffmenge der gedüngten Variante, in mg Gefäß $^{-1}$

$P\text{-Aufnahme}^K$ Aufgenommene Nährstoffmenge der ungedüngten Variante/Kontrolle, in mg Gefäß $^{-1}$

$P\text{-Zufuhr}$ Applizierte P-Menge, in mg Gefäß $^{-1}$

Nach Schnug und Haneklaus 2016

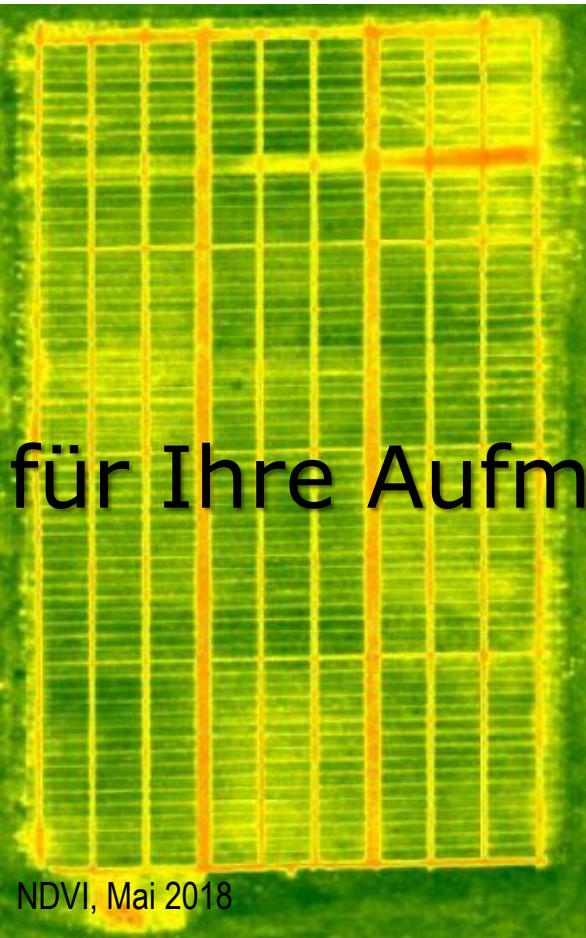
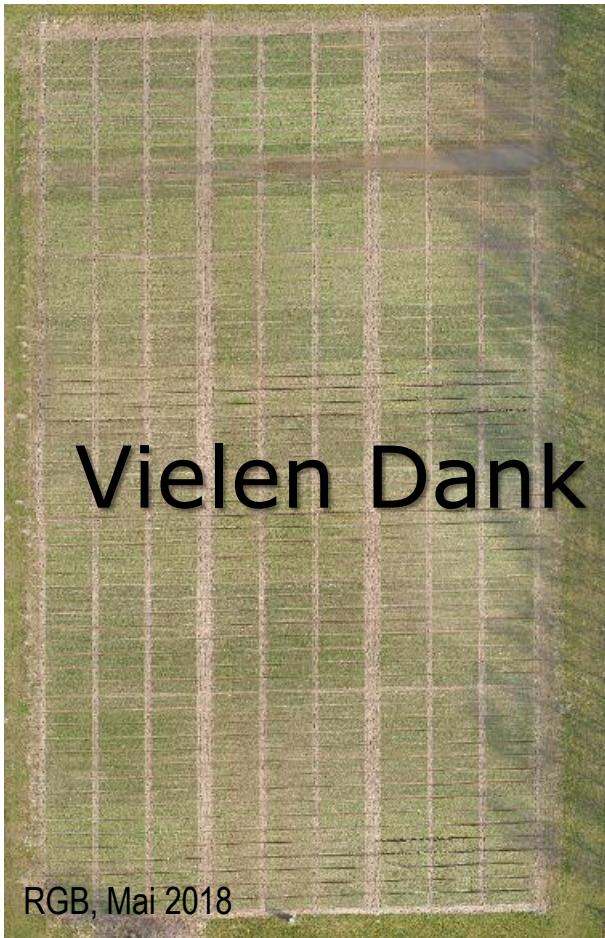
Düngeariante	P-Ausnutzung (%)
EA	23,33
EK	58,54
ED	49,92
GA	24,61
GK	68,10
GD	58,88
AP	34,80
APK	76,51
APG	54,46
P	36,96
KO	0,00

KON = Kontrolle, P = Tripelsuperphosphat, A1 = Rohasche1, AK1 = Kompaktat1, AG1 = Asche-Gemisch2, A2 = Rohasche2, AK2 = Kompaktat2, AG2 = Asche-Gemisch, AP = Paludikultur-Asche, APK = Paludi-Asche-Kompaktat. AGP = Paludi-Asche-Gemisch;



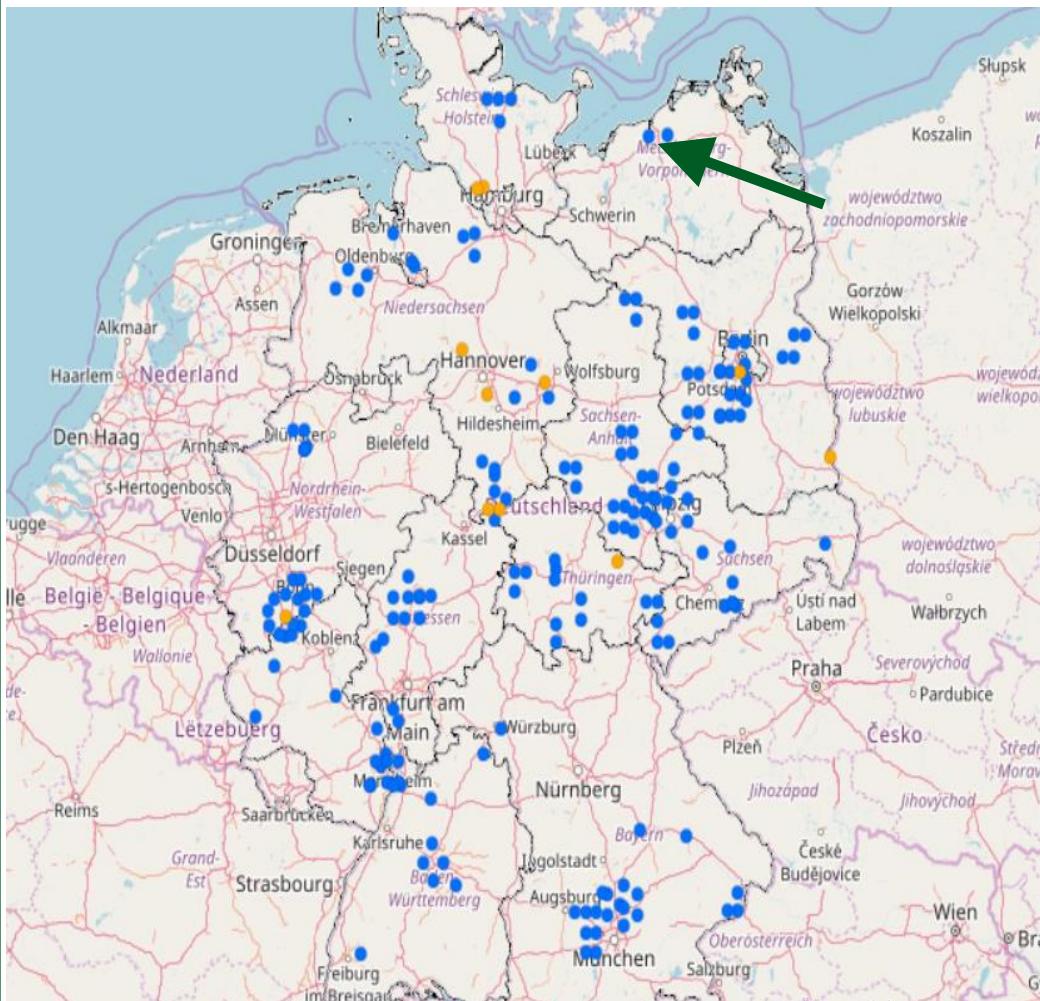
Gefäßversuch 2 – Fazit und Schlussfolgerungen

- Unterschiede innerhalb der getesteten Aschen sehr hoch → Qualitätsstandard notwendig?
- Alle Aschevarianten zeigen signifikanten Unterschied zur Kontrolle bei Biomasse-Ertrag, P-Aufnahme und pflanzenverfügbares P
- Kompaktate mit vergleichbaren Biomasse-Erträgen zu TSP → Ausbringung erleichtert, Langzeit-Effekt?!
- Stroh-Asche-Dünger im Vergleich mit teilweise höheren Erträgen → einfache Herstellung (nur mechanisch), mögliche Option für einen Dünger?
- Einfluss auf Dungewirkung: Herkunft/Ausgangsmaterial < Aufbereitung
- Weitere Vorteile der Aschen im Vergleich zu TSP: pH-Wert-Erhöhung, weitere Nährstoffe (Mg, K, Mikronährstoffe) zu beachten!
- Schadstoffe in der Untersuchung: keine negativen Auswirkungen
- Untersuchungen auf gegebene Parameter (pH-Wert, Bodenart, etc...) beschränkt und nur für diese aussagekräftig!



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Langzeit-Feldversuche in Deutschland



- Phosphorforschung:
<https://wissenschaftscampus-rostock.de/>
 - Langzeitfeldversuche:
 - Nachhaltige Nutzung der begrenzten Ressource Boden
 - Erweiterung des wissenschaftlichen Verständnisses
 - Verbesserung der Bodenproduktivität
- Langzeit-Feldversuche dringend benötigt
- <https://www.bonares.de>