

P-Düngepotential von Recyclingprodukten

Sylvia Kratz und Kerstin Panten

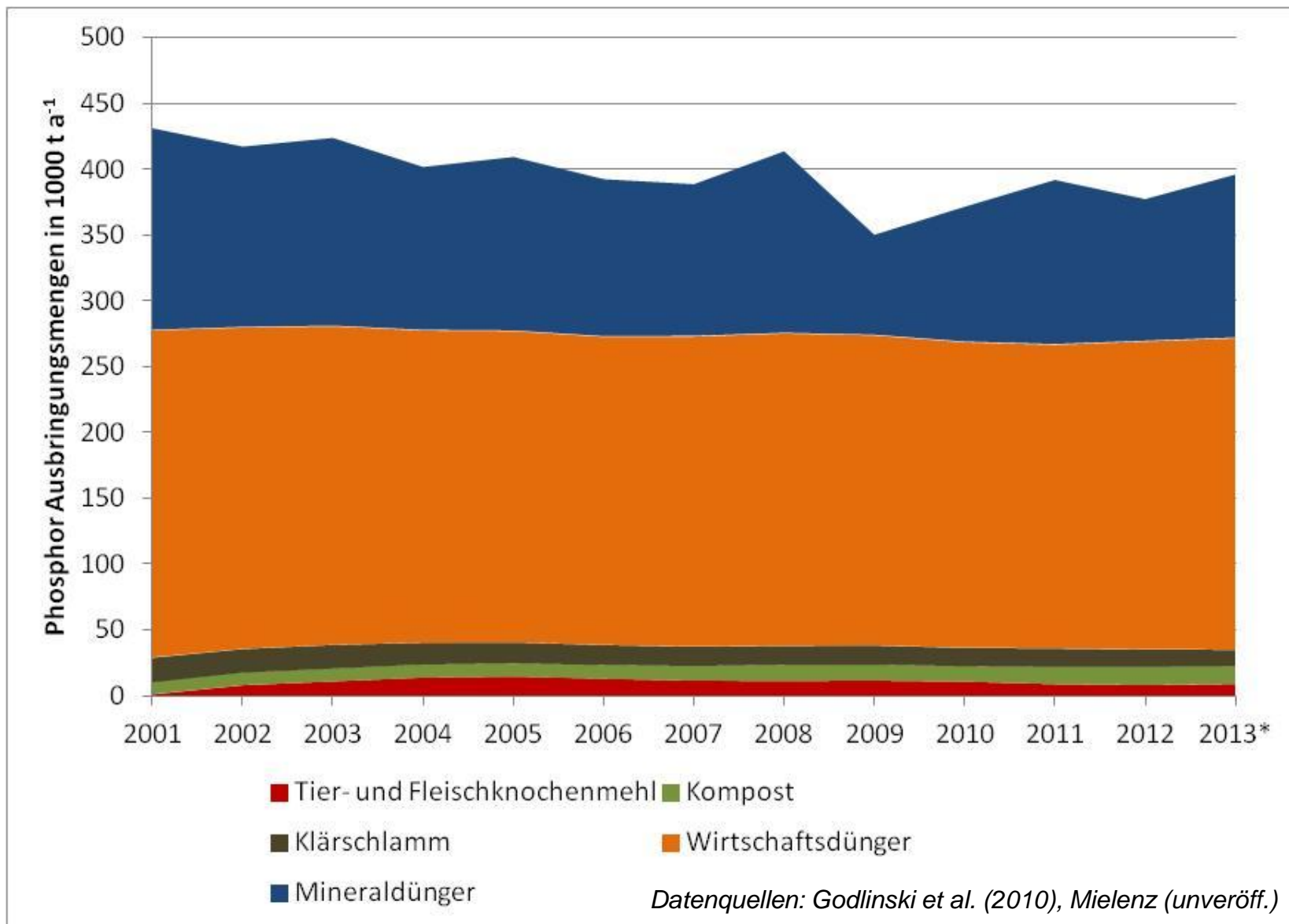
JKI – Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Braunschweig, www.jki.bund.de

P-Düngepotential von Recyclingprodukten

Gliederung

- Einführung: P-Recyclingprodukte in der aktuellen Düngemittelverordnung
- Möglichkeiten der Abschätzung des (P-)-Düngepotentials
 - Bestimmung der P-Löslichkeit mittels chemischer Extraktion
 - Untersuchung der agronomischen Effizienz im Vegetationsversuch
- Ergebnisse aus verschiedenen Untersuchungen zum P-Potential von Recyclingprodukten
- Zusammenfassung

P-Ausbringungsmengen in Deutschland 2001-2013

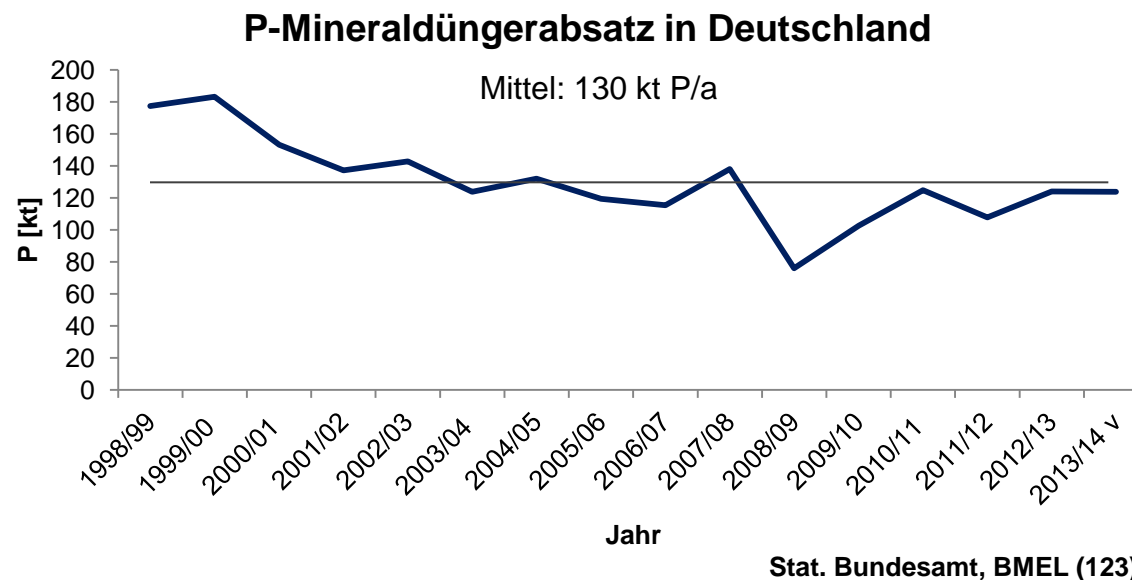


Der Phosphorbedarf der (deutschen) Landwirtschaft wird überwiegend aus Wirtschaftsdüngern (Stallmist, Gülle) sowie aus Mineraldüngern gedeckt.

P-Düngungspotenzial durch die Rückgewinnung von Phosphor aus P-haltigen Rohstoffen

P-Quelle	P -Potenzial (kt P/a)	Verwendete Menge 2010 (kt P/a)	Ungenutzte P-Reserve (kt P/a)
Fleischknochenmehle (Kat. 1, 2 und 3)	129	33	96
Klärschlamm	41	12	29
Kompost	8	5	3
Gesamt	178	50	128

Kratz et al. 2014, mod.



P-Recyclingdünger in der aktuellen Düngemittelverordnung (DüMV) vom 05.12.2012 (zuletzt geändert am 27.05.2015)

6.2 Phosphatdünger aus der [Bezeichnung nach Spalte 1] nach Anlage 1 Nr. 1.2.9

	<u>Herstellungsprozess</u>	<u>Produkt</u>
6.2.1	Verkohlung von Knochen tierischer Herkunft	z.B. Knochenkohle (KK, KK+)
6.2.2	Verbrennung von Stoffen tierischer Herkunft	Fleisch-/Knochenmehlaschen
6.2.3	Verbrennung von Klärschlämmen	z.B. thermochemisch behandelte Klärschlammaschen von AshDec/BAM/Outotec
6.2.4	Phosphatfällung (d.h. Fällern mineralischer Phosphate mit CaCl_2 , Kalkmilch, MgCl_2 , MgO oder MgOH)	z.B. Struvite (Gifhorn, Berlin/Waßmannsdorf)
6.2.5	Schmelzvergasung	z.B. Mephrec (Kupolofenschlacke)

Chemische Extraktionsverfahren zur Beschreibung der P-Löslichkeit

Methode (VDLUFA-Methodenbuch II / EU-VO 2003/2003)	Anwendungsbereich
wasserlösliches P	Düngemittel jeder Art
alkalisch-ammoncitratlösliches P nach <i>Petermann</i> (65°C)	Dicalciumphosphat-Dihydrat ($\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
alkalisch-ammoncitratlösliches P nach <i>Petermann</i> (20°C)	Glühphosphat (VDLUFA: auch mineralische Mehrnährstoffdünger, Al-Ca-Phosphat, spezielle Mehrnährstoffdüngersuspensionen)
alkalisch-ammoncitratlösliches P nach <i>Joulie</i> (20°C)	Al-Ca-Phosphat
neutral-ammoncitratlösliches P	Superphosphat (SSP), Triple-Superphosphat (TSP)
wasser- und neutral-ammoncitratlösliches P nach <i>Fresenius-Neubauer</i>	Superphosphat, mineralische Mehrnährstoffdünger
in 2%iger Zitronensäure lösliches P	Thomasphosphat bzw. damit hergestellte Mehrnährstoffdünger
in 2%iger Zitronensäure und in alkalischem Ammoncitrat (<i>Petermann</i>) lösliches P	Mischungen aus phosphathaltigen Stahlwerksschlacken und DCP und/oder MCP
in 2%iger Ameisensäure lösliches P	Teilaufgeschlossene und weicherde Rohphosphate (RP) sowie deren Gemische
<i>mineralsäurelösliches P:</i>	
• H_2SO_4	Dünger mit keinen oder nur sehr geringen Anteilen von organischem Material
•Gemisch aus HNO_3 und H_2SO_4 (VDLUFA: mit Cu-Sulfat)	Einheitsmethode nach EU-VO
• H_2SO_4 und Cu-Sulfat	VDLUFA: für Dünger mit größeren Anteilen von organischem Material
•trockene Veraschung mit Calciumcarbonat, Lösen mit HNO_3	Dünger mit größeren Anteilen von organischem Material, aber ohne Nitrate


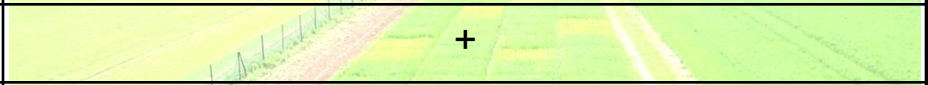
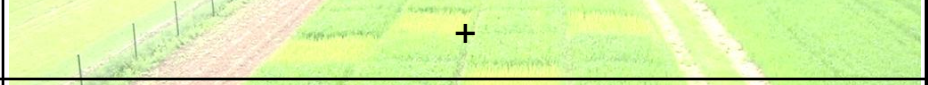

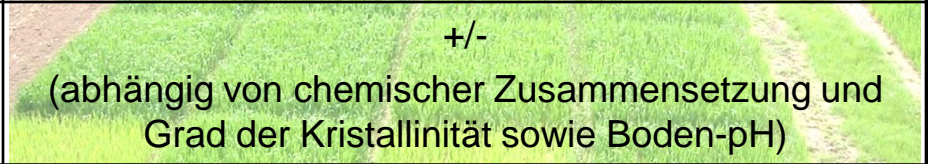
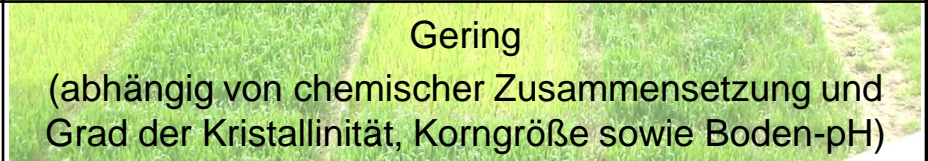
Mit verschiedenen Verfahren extrahierte P-Formen

Referenzen siehe Kratz & Schnug (2009, Journal für Kulturpflanzen)

Extraktionsmittel	Extrahierte P- Fraktion / -Bindungsform
Wasser (W)	Monocalciumphosphat (MCP) $[\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}]$, Ammoniumphosphat
Alkalisches Ammoncitrat (AAC)	Dicalciumphosphat (DCP) $[\text{CaHPO}_4]$, bzw. „nicht wasserlösliche, aber pflanzenverfügbare P-Fraktion“, d.h. auch pflanzenverfügbare Fe-Al-Phosphate
Neutrales Ammoncitrat (NAC) bzw. sequentielle Extraktion (W+NAC)	MCP, DCP, ca. 80% der Al-/Fe-Phosphate, basisches Ca-Phosphat (Hydroxylapatit / Tricalciumphosphat) bzw. ungelöster oder bei der Ammonisierung rückgebildeter RP-Rückstand, Apatit in Abhängigkeit von der Carbonat-Substitution im Apatitkristall bzw. dem Anteil an freiem Carbonat im RP
Zitronensäure (CA)	MCP, DCP, ca. 20% der Al-/Fe-Phosphate, ca. 20% der ungelösten RP-Rückstände in teilaufgeschlossenem RP, kieselsäurehaltige P-Verbindungen, z.B. Kalk-Siliko-Phosphat (Silicocarnotit, $5\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5 \cdot \text{SiO}_2$ Mischkristall)
Ameisensäure (FA)	Apatit in Abhängigkeit von der Carbonatsubstitution im Apatitkristall bzw. dem Anteil an freiem Carbonat im RP
Mineralsäure	Gesamtphosphat

Pflanzenverfügbarkeit der P-Formen nach Literaturangaben

Referenzen siehe Kratz & Schnug (2009, Journal für Kulturpflanzen)

P-Form	Pflanzenverfügbarkeit
Monocalciumphosphat (MCP)	+ 
Dicalciumphosphat (DCP)	+ 
Ammoniumphosphat (MAP, DAP)	+ 
Kieselsäurehaltiges Phosphat (Silikocarnotit, Ca-Na-Silikophosphat)	+ 
Al-/Fe-Phosphat	+/- (abhängig von chemischer Zusammensetzung und Grad der Kristallinität sowie Boden-pH) 
Basisches Ca-Phosphat / Apatit	Gering (abhängig von chemischer Zusammensetzung und Grad der Kristallinität, Korngröße sowie Boden-pH) 

Bildquelle: Funder, FV9-2002

Einfluss unterschiedlicher Parameter auf die Löslichkeit in diversen Extraktionsmitteln

- P-Gehalt des Düngemittels bzw. Verhältnis Einwaage / Extraktionsmittelmenge
- Anteil des Düngemittels an freiem Carbonat (z.B. Calcit, Dolomit) aufgrund des gemeinsamen Ionen-Effektes
- Für teilaufgeschlossene Dünger bzw. Verpressungen wasserlöslicher Dünger mit Rohphosphaten: Gehalt an MCP und CaSO_4 (gemeinsamer Ioneneffekt)
- Gehalt des Düngemittels an Kieselsäure bzw. Silicophosphaten (Thomasschlacken, Glühphosphate, thermisch behandelte Klärschlammaschen)
- Gehalt des Düngemittels an Fe- und Al-Ionen

Bei apatithaltigen Düngern:

- Isomorphe Substitution von PO_4 durch CO_3 im Apatitkristall
- Zementierung von Apatitmineralen mit silikathaltigen Mineralen
- Grad der Kristallinität des Apatites
- Korngröße des Rohphosphates



Gebräuchliche Parameter zur Bewertung der agronomischen Effizienz von Düngemitteln im Vegetationsversuch

- **Nährstoffaufnahme / Ausnutzungsgrad** (berechnet als von den Pflanzen aufgenommener Nährstoffanteil des Düngers, angegeben in % der Nährstoffzufuhr, üblicherweise bezogen auf die Wachstumsperiode der gedüngten Pflanze)

- **Ertragswirkung**, z.B. Berechnung relativer Erträge oder Ertragszuwächse im Vergleich zu einem Standarddünger mit der Formel:

RAE (relative agronomische Effizienz) in %

$= 100 \times \text{Ertrag(szuwachs) des Testdüngers} / \text{Ertrag(szuwachs) des Standarddüngers}$

- Für organische Düngemittel: **Mineraldüngeräquivalente (MDÄ)**
d.h. Vergleich der Wirksamkeit des organischen Düngers mit der eines in optimaler Weise eingesetzten Mineraldüngers:

MDÄ = Menge an P in kg/ha als Mineraldünger, welche bei Ausbringung zum optimalen Zeitpunkt die gleiche Düngewirkung bringt wie 100 kg Nährelement des organischen Düngers, d.h.

$P \text{ (kg/ha) im Mineraldünger} \times 100 / P \text{ (kg/ha) im organischen Dünger}$

Beispiel 1: BMELV-Projekt

„Vereinheitlichung von Phosphatanalytik und –kennzeichnung bei Düngemitteln“

(Laufzeit: 11/2007-10/2009)

Zielsetzung

- **Reduzierung** der Vielzahl chemischer **Extraktionsverfahren** zur Charakterisierung der P-Löslichkeit und klare, für Anwender nachvollziehbare **Definition der Verfahren** anhand von **160 mineralischen und organischen Düngemittelproben** (bereit gestellt v.a. von DMVK und KTBL)
(hier nicht gezeigt)
- Überprüfung des **Zusammenhanges** zwischen **chemischer Extraktion** und **agronomischer Effizienz** von **P-haltigen Düngemitteln** unter Einbeziehung **organischer Dünger** (Wirtschaftsdünger, Klärschlamm, Kompost, tierische Reststoffe) und „neuartiger“ **Recyclingprodukte** (z.B. Dünger aus Klärschlammaschen)

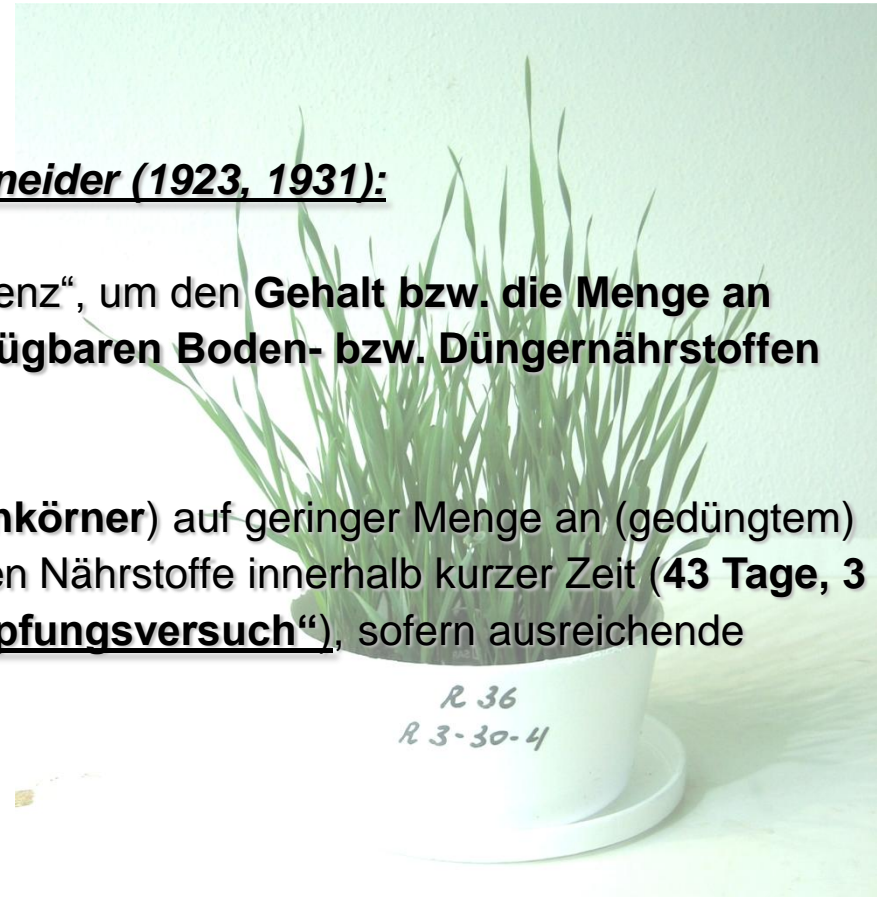
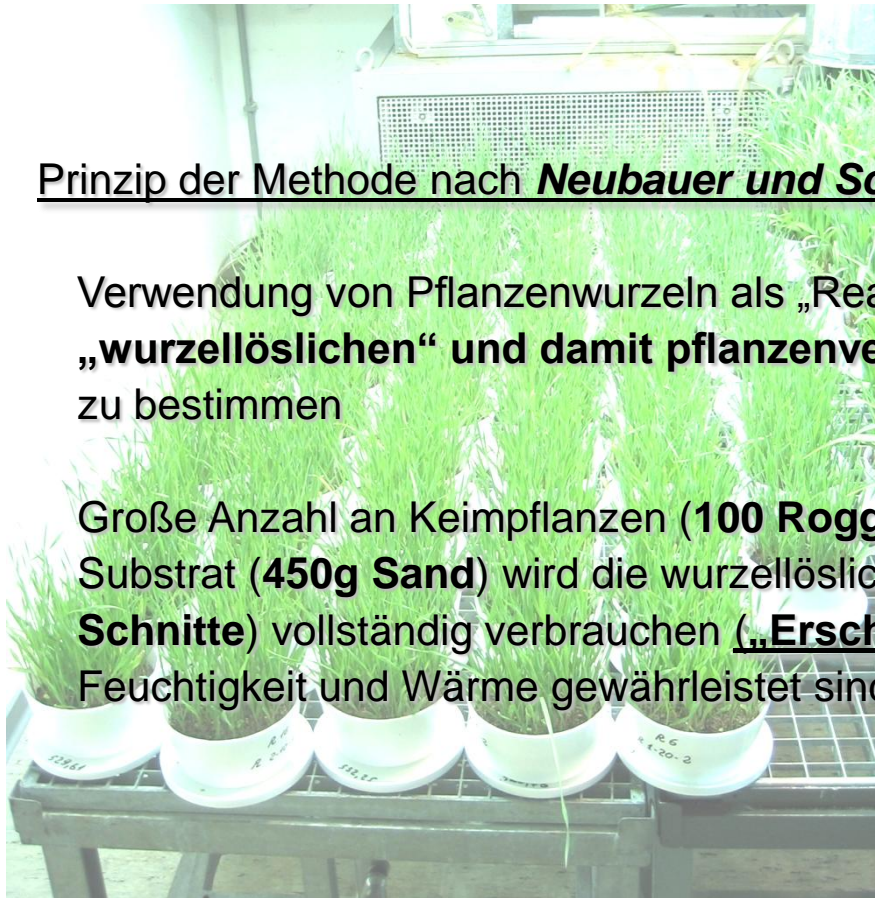
Ziel: Untersuchung des Zusammenhanges zwischen chemischer Extraktion und Ausnutzungsgrad / Ertragswirkung im

modifizierten „Neubauer“-Versuch

Prinzip der Methode nach Neubauer und Schneider (1923, 1931):

Verwendung von Pflanzenwurzeln als „Reagenz“, um den **Gehalt bzw. die Menge an „wurzellöslichen“ und damit pflanzenverfügbaren Boden- bzw. Düngernährstoffen** zu bestimmen

Große Anzahl an Keimpflanzen (**100 Roggenkörner**) auf geringer Menge an (gedüngtem) Substrat (**450g Sand**) wird die wurzellöslichen Nährstoffe innerhalb kurzer Zeit (**43 Tage, 3 Schnitte**) vollständig verbrauchen (**„Erschöpfungsversuch“**), sofern ausreichende Feuchtigkeit und Wärme gewährleistet sind



Testdünger im Neubauer-Versuch

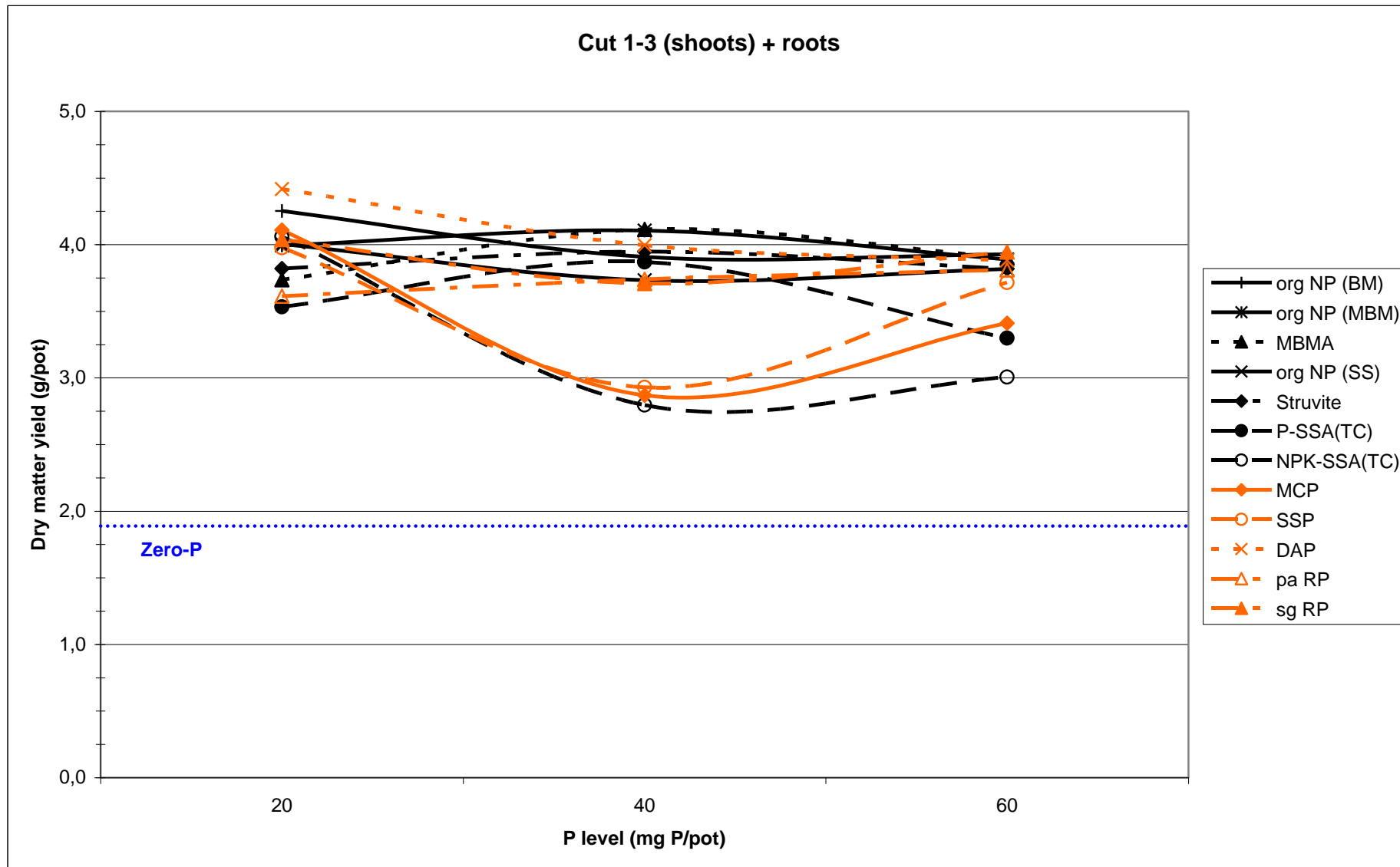
Variante Nr.	Probenname	Beschreibung
1	Org NP _{BM}	Org NP aus Knochenmehl
2	Org NP _{MBM}	Org NP aus Fleischknochenmehl
3	MBMA	Asche aus Fleischknochenmehl
4	Org NP _{SS}	Org NP aus Klärschlamm (modifiziertes Seaborne-Verfahren)
5	Struvite	MAP aus der Abwasserfällung (Berliner Wasserbetriebe)
6	P-SSA _{TC}	P-Dünger aus thermochemisch behandelter Klärschlammasche
7	NPK-SSA _{TC}	NPK aus thermochemisch behandelter Klärschlammasche
	<u>Kontrollen</u>	
8	MCP	Monocalciumphosphat laborrein (p.a.)
9	SSP	Single-Superphosphat
10	DAP	Mineralischer NP (Diammoniumphosphat)
11	pa RP	Teilaufgeschlossenes Rohphosphat
12	„sg RP“	„Weicherdiges gemahlenes Rohphosphat“ (falsch deklariert, tatsächlich teilaufgeschlossen)
		Null P

4 Wiederholungen je Variante

P-Gehalte und relative P-Löslichkeiten der im Neubauer-Versuch getesteten Dünger

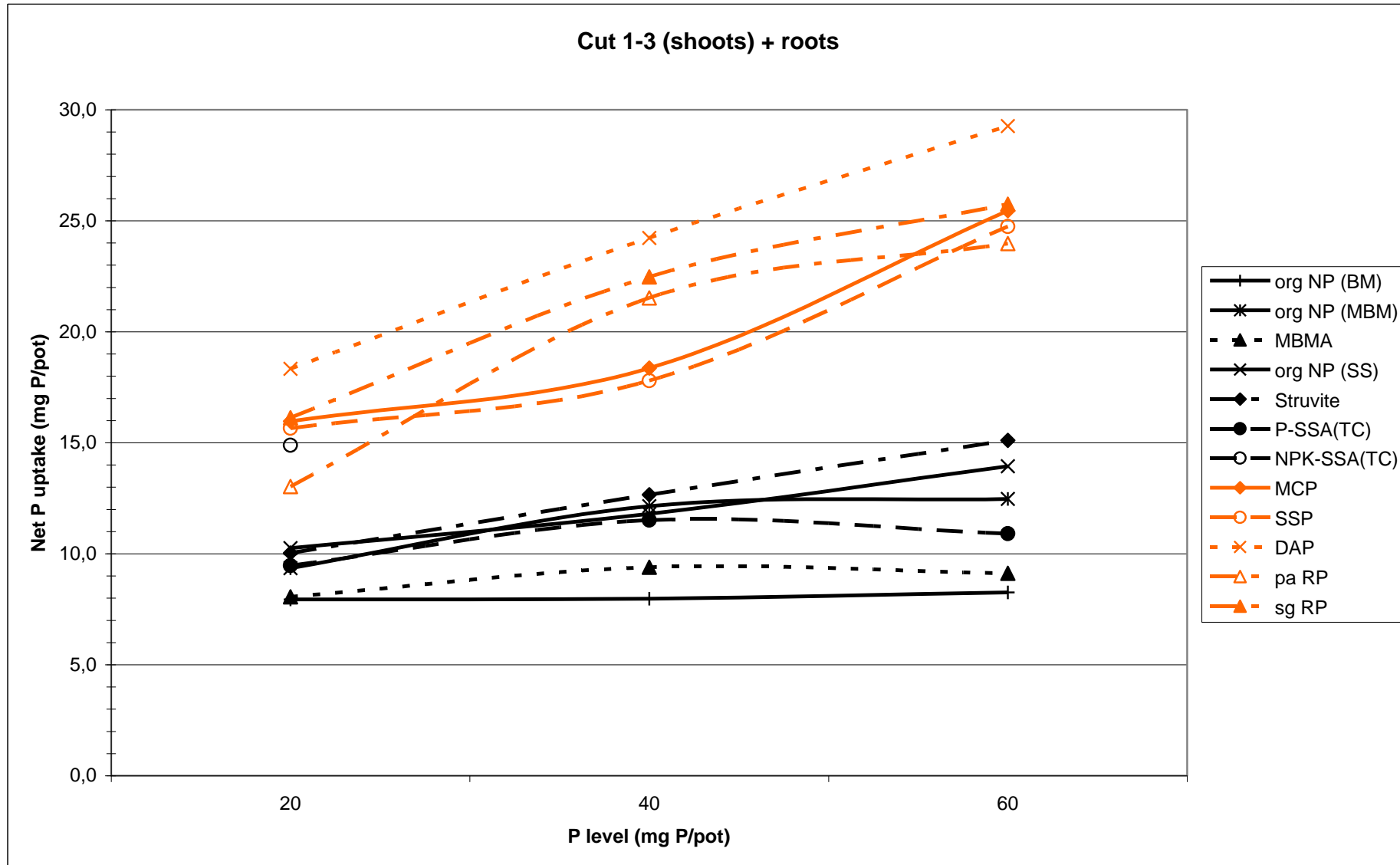
Var.	Typ	MinS-P ₂ O ₅ (%)	Relative P-Löslichkeit (in % des MinS-P ₂ O ₅) in ...					
			AS	ZS	NAC _{EU}	W+NAC _{FN}	AAC	W
1	org NP _{BM}	15,0	76	34	27	33	8,5	0,93
2	Org NP _{MBM}	17,4	91	74	48	65	16	0,99
3	MBMA	25,9	48	50	15	15	7,0	0,01
4	org NP _{SS}	8,9	57	84	88	86	80	0,40
5	Struvite	27,6	97	100	92	51	6,3	0,73
6	P-SSA _{TC}	21,4	75	65	21	21	4,8	0,13
7	NPK-SSA _{TC}	7,4	101	103	92	92	70	73
8	MCP	57,4	97	98	97	98	95	96
9	SSP	20,9	101	88	84	87	83	76
10	DAP	45,8	115	101	102	103	107	87
11	pa RP	41,6	76	69	65	71	66	53
12	„sg RP“	40,6	87	71	78	82	74	64

Trockenmasseerträge im Neubauer-Versuch (Schnitte 1-3 + Wurzeln)



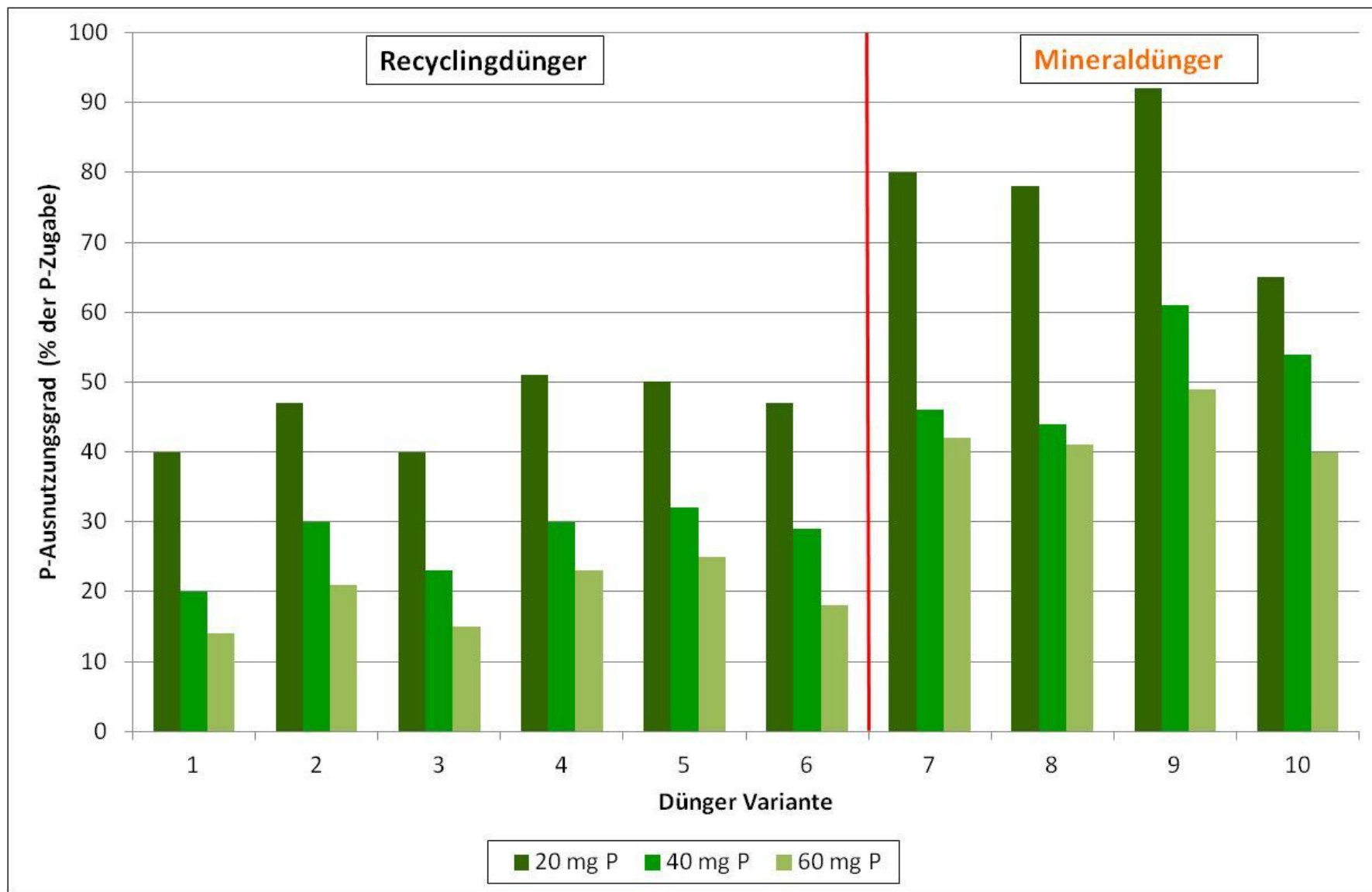
TM-Erträge (Summe aus 3 Schnitten + Wurzeln) zeigten keine klare Differenzierung zwischen **Recyclingprodukten** und konventionellen **Mineraldüngern**.

Netto-P-Aufnahmen im Neubauer-Versuch (Schnitte 1-3 + Wurzeln)



Die Netto-P-Aufnahme (alle Schnitte inkl. Wurzeln) bei den **Recyclingprodukten** ist signifikant niedriger als jene bei den konventionellen **Mineraldüngern** (ANOVA mit Tukey post hoc test, $p < 0.05$).

P-Ausnutzungsgrad der verschiedenen Düngevarianten im Neubauer-Versuch (Schnitte 1-3 + Wurzeln)



Recyclingdünger zeigen einen deutlich niedrigeren P-Ausnutzungsgrad als **Mineraldünger**.

Schlussfolgerungen des BMELV-Projektes zur Phosphatanalytik

- Zwischen den derzeit praktizierten Extraktionsmethoden nach **DüMV / EU-VO 2003/2003** bestehen **starke Korrelationen** (*hier nicht gezeigt*), eine Reduzierung auf 3 Standardverfahren wäre **unproblematisch** möglich.
- Unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus Neubauer-Versuch zur P-Aufnahme von **Recyclingdüngern** folgende Extraktionsmittel geeignet:

Wasser => **Anfangswirkung** des Düngers

neutrales Ammoniumcitrat (EU: ohne vorherige Wasserextraktion)
=> innerhalb der ersten **Vegetationsperiode** verfügbares P

Mineralsäure / Königswasser

=> Optionen für **sog. Gesamt-P** (handelbares P)



Niederschlag der Ergebnisse in der derzeit gültigen Fassung der DüMV vom 05.12.2012, zuletzt geändert am 27.05.2015

Bei der düngemitterrechtlichen **Kennzeichnung** ist die Angabe des **Gesamtgehaltes** an Phosphat künftig durch die Angabe des **neutral-ammoncitratlöslichen** und des **wasserlöslichen Phosphates** zu ergänzen, **wenn jeweils 1 %** (in der Frischmasse) **erreicht** wird (siehe Anlage 2, Tabelle 10.1.8).

Der Phosphatbestandteil mineralischer Mehrnährstoffdünger nach Anlage 1 Abschnitt 1 Tabelle 1.2 Zeile 1.2.9 [**Phosphatdünger aus** (Bezeichnung nach Anlage 2, Tabelle 6.2), d.h. aus **Tiermehlasche, Klärschlammasche, Fällungsprodukten aus Abwasser, oder Schmelzvergasung**] muss die in Anlage 2 Tabelle 5 Zeile 5.7 Spalte 3 festgelegten Anforderungen an die Phosphatlöslichkeit (**Mindestlöslichkeiten in Wasser, Neutralammoncitrat und Mineralsäure**) ab dem **1. Juni 2020** erfüllen (Alternative: Zuordnung zum Auffangtyp 5.1 a) weniger als 2% wasserlösliches P_2O_5).

Beispiel 2: Untersuchungen zur P-Verfügbarkeit von Düngeprodukten aus deponierter Klärschlammasche

Laufzeit: 18.05. – 08.07.2015

Partner: TU Braunschweig, Dr. Harborth

Testprodukte aus mehrjährig deponierter Klärschlammasche

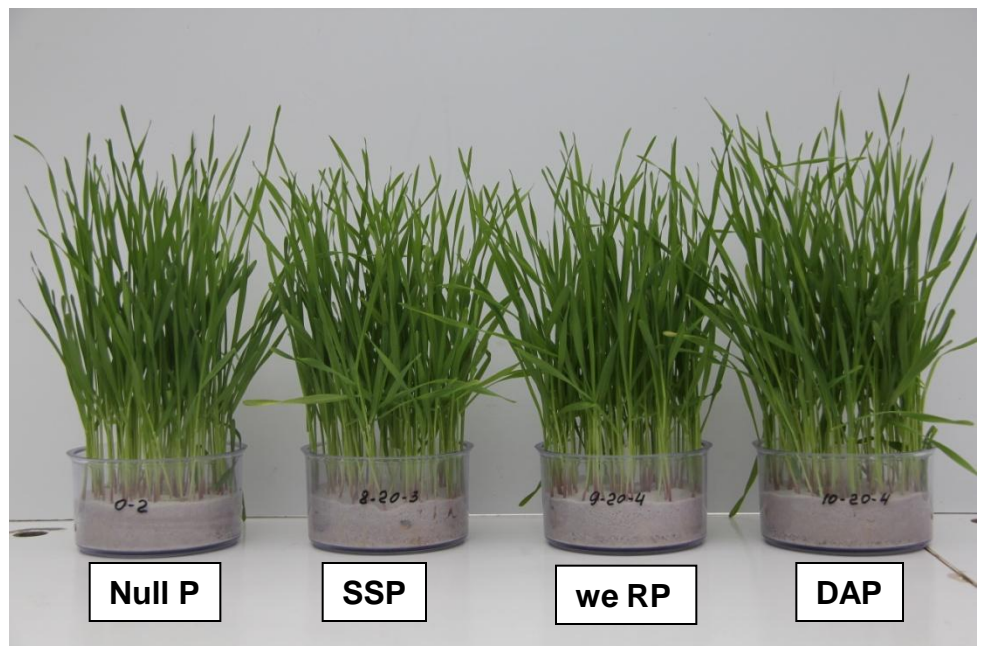
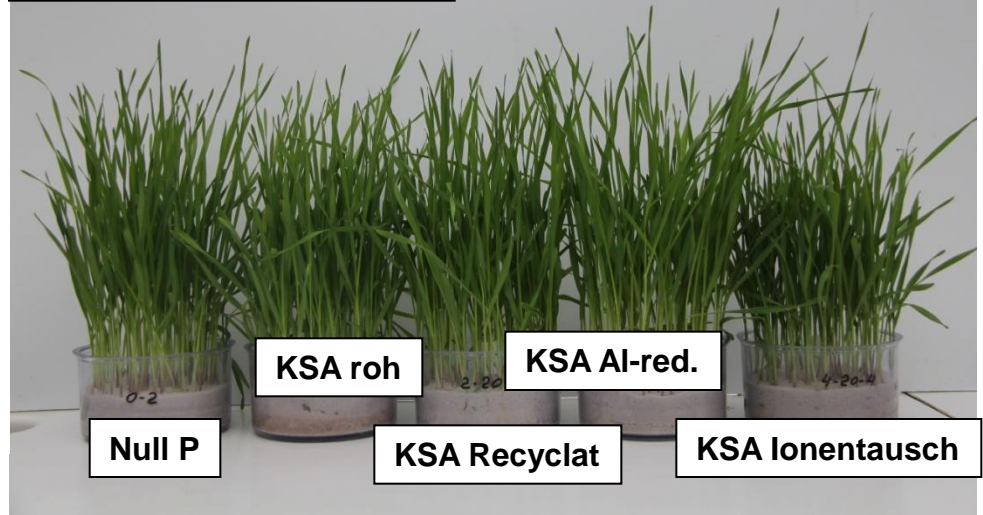
Testpflanze: Roggen

3 Schnitte (03.06., 17.06. und 08.07.2015)

Auswertung noch nicht abgeschlossen



Vor Ernte 1 (03.06.2015)

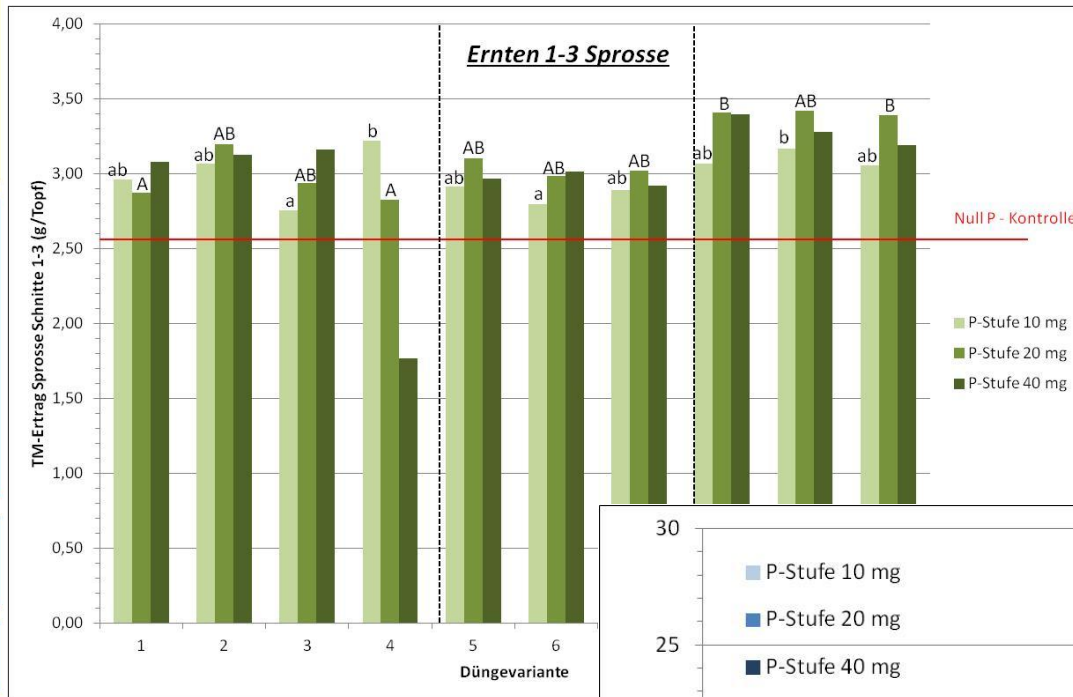


Phosphatgehalte und relative P-Löslichkeiten der eingesetzten Testdünger

Lfd. Nr.	Düngevariante	Gesamt-P₂O₅ (%)	P-NAC (EU) (% P-gesamt)	P-Wasser (% P-gesamt)
1	KSA roh	8,2	36,5	0,06
2	KSA Recyclat	32,6	86,9	1,90
3	KSA Al-reduziert	10,4	91,8	0,07
4	KSA Ionengetauscht	6,6	88,2	76,9
5	Struvit 1	23,1	107	2,22
6	Struvit 2	24,0	102	1,46
7	AshDec (CaNaPO ₄)	17,0	62,7	0,47
8	SSP	21,5	83,3	93,3
9	Teilaufg. RP	37,0	85,4	91,6
10	DAP	46,1	97,4	106

KSA = Klärschlammasche, SSP = Singlesuperphosphat, RP = Rohphosphat, DAP = Diammoniumphosphat

Erste Ergebnisse des Neubauversuches 2015



a) TM-Erträge

(Sprosse Summe Ernten 1-3):

keine deutliche Differenzierung zwischen Recycling- und Mineraldüngern

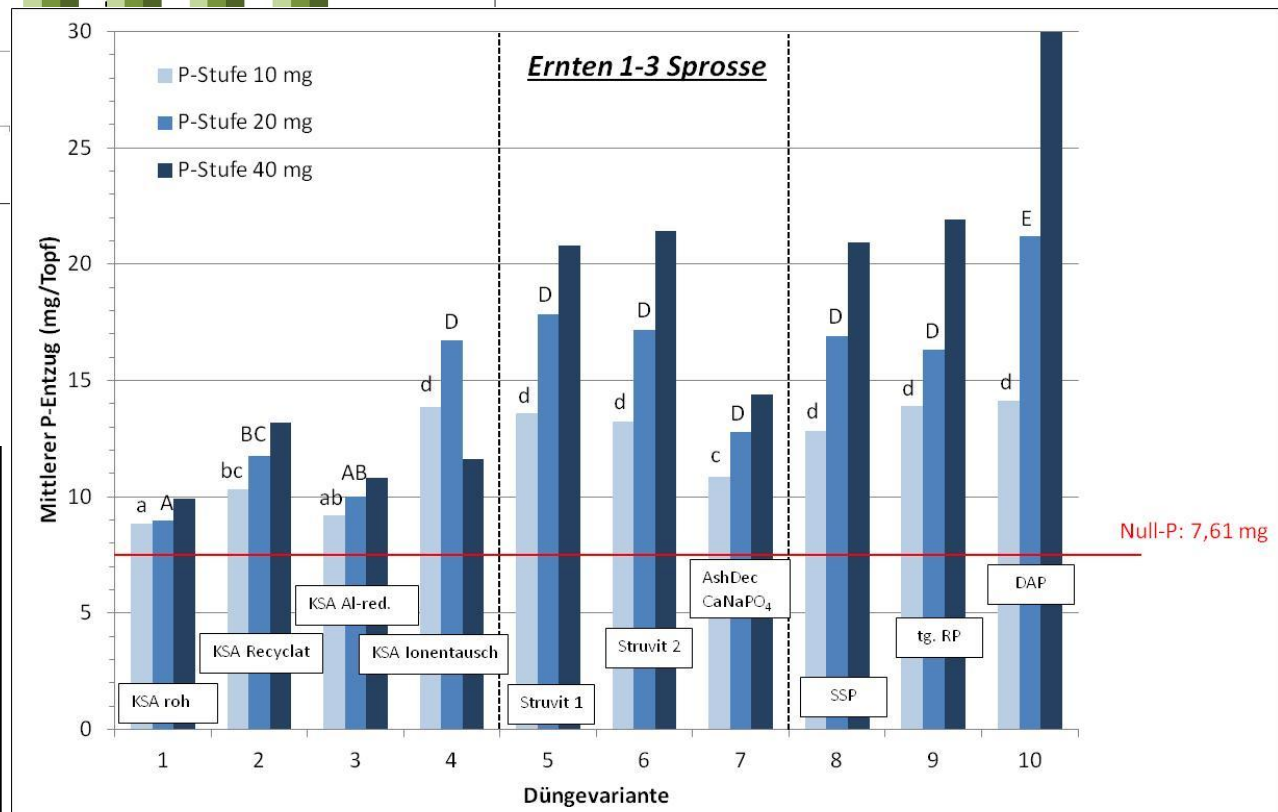
(ANOVA mit Tukey post hoc Test, $p < 0,05$)

b) P-Entzüge

(Sprosse Summe Ernten 1-3):

KSA-Recyclat 2+4 > KSA roh,

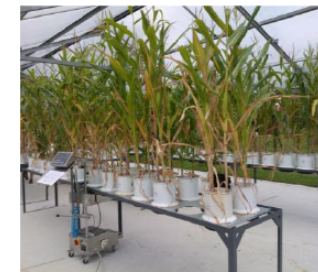
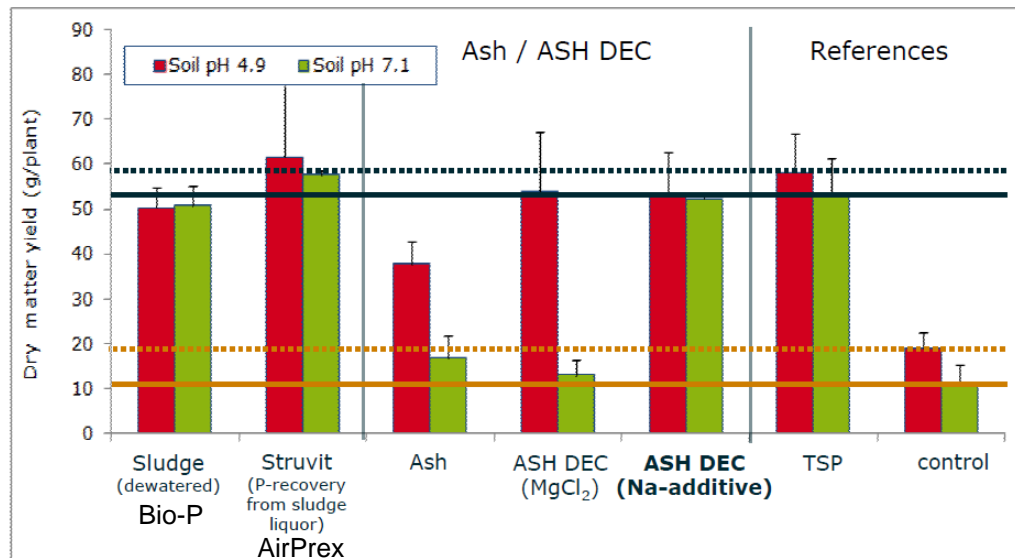
KSA Rec. 4 und Struvit (5, 6) auf vergleichbarem Niveau wie Mineraldünger



Beispiel 3: Vergleich der agronomischen Effizienz verschiedener P-Recyclingprodukte

(EU-Projekt P-REX, Versuchsanstellerin: Verena Wilken et al., IASP, 2013-2014)

ASH DEC process (BAM/Outotec)



Results of pot test (Maize) (IASP / p-rer.eu)

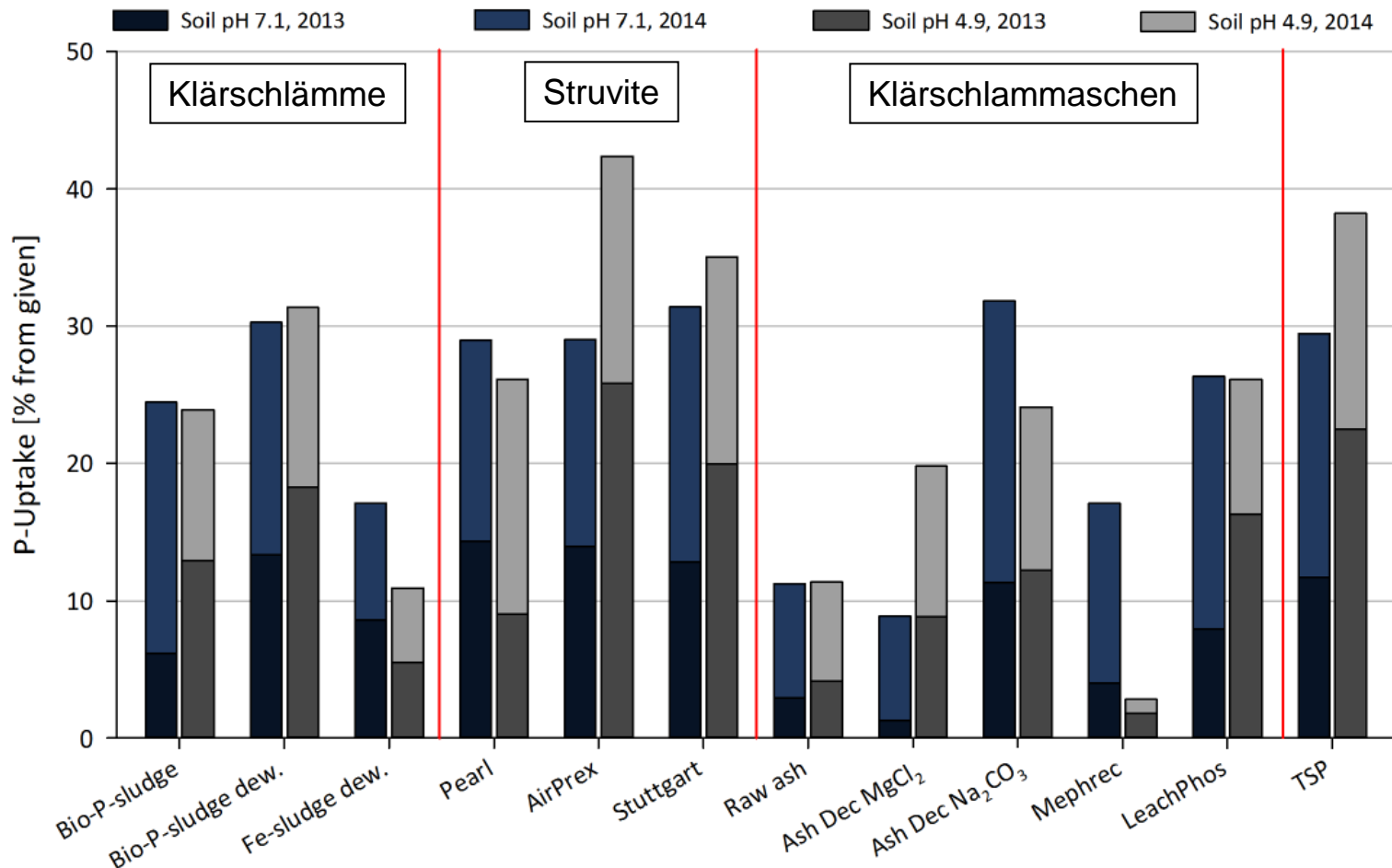
09.09.2015

Phosphorus Fertilizer from Sewage Sludge Ashes by thermochemical treatment - Benefits and Challenges

Quelle: Herzel et al., 2015

- zweijähriger Gefäßversuch mit Mais: Produkt zeigt sowohl auf **saurem** als auch auf **neutralem Boden** Erträge in selber Größenordnung wie TSP-Kontrolle
- As, Cd und Hg im Verbrennungsprozess um 60-80% reduziert, Pb nur um rund 40%
- Energiebilanz und Life Cycle Assessment (Ökobilanz) positiv
- Weitere Herausforderung: Reduktion der Gehalte an Cu, Cr, Ni, Zn

Beispiel 3 (fortgesetzt): P-Entzüge der verschiedenen Düngevarianten



P-Entzüge von Bio-P-sludge, Struviten, AshDec Na₂CO₃ und LeachPhos auf vergleichbarem Niveau wie TSP-Kontrolle

Beispiel 3 (fortgesetzt): Korrelationskoeffizienten für Trockenmasseerträge und chemische Löslichkeiten



DM-yield (g/plant)		Citric acid soluble P	Neutral ammonium citric acid + water soluble P	Water soluble P
		[% P _{total}]		
Soil pH 7.1	2013	0.72	0.85	0.30
	2014	0.70	0.83	0.29
	2013 + 2014	0.76	0.90	0.32
Soil pH 4.9	2013	0.64	0.49	0.35
	2014	0.77	0.71	0.37
	2013 + 2014	0.77	0.68	0.39

Correlation coefficient (Fahrmeier *et al.* 1999):

< 0.5 = weak correlation ; 0.5 – 0.8 = middle correlation; > 0.8 = strong correlation

- **Zitronensäure** kann in **sauren Böden** als Indikator für die Pflanzenverfügbarkeit von P aus **Recyclingdüngern** verwendet werden, **neutrales Ammoniumcitrat** (+Wasser) in **neutralen Böden**
- **Wasserlöslichkeit** ist nicht als Indikator für die Pflanzenverfügbarkeit von P aus **Recyclingdüngern** geeignet

Beispiel 4: InnoSoilPhos

*Innovative Lösungen für ein nachhaltiges Boden-P-Management
2015-2018 (-2024)*

InnoSoil**P**hos



Teilprojekt G (JKI & Uni-Rostock)

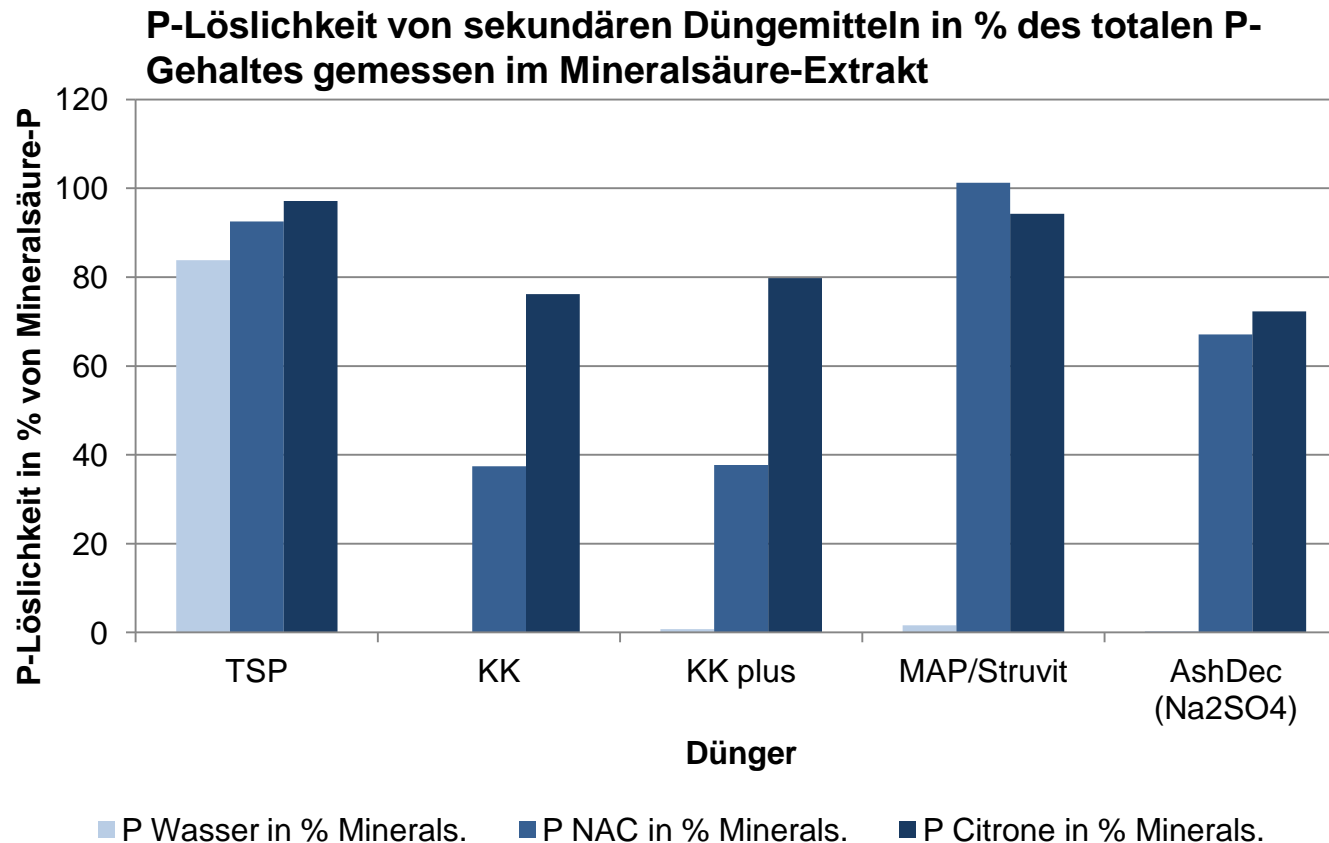
*Prüfung und Bewertung der Düngungswirkung von Tierknochenkohlen
und weiteren sekundären P-Ressourcen wie z.B. aus der
Klärschlammrückgewinnung*

Labor-, Gefäß- und Feldversuche

*Ziele: Effektive P-Düngung durch sekundäre P-Dünger, Stoffkreisläufe
schließen, Düngungsempfehlungen für sekundäre P-Dünger*



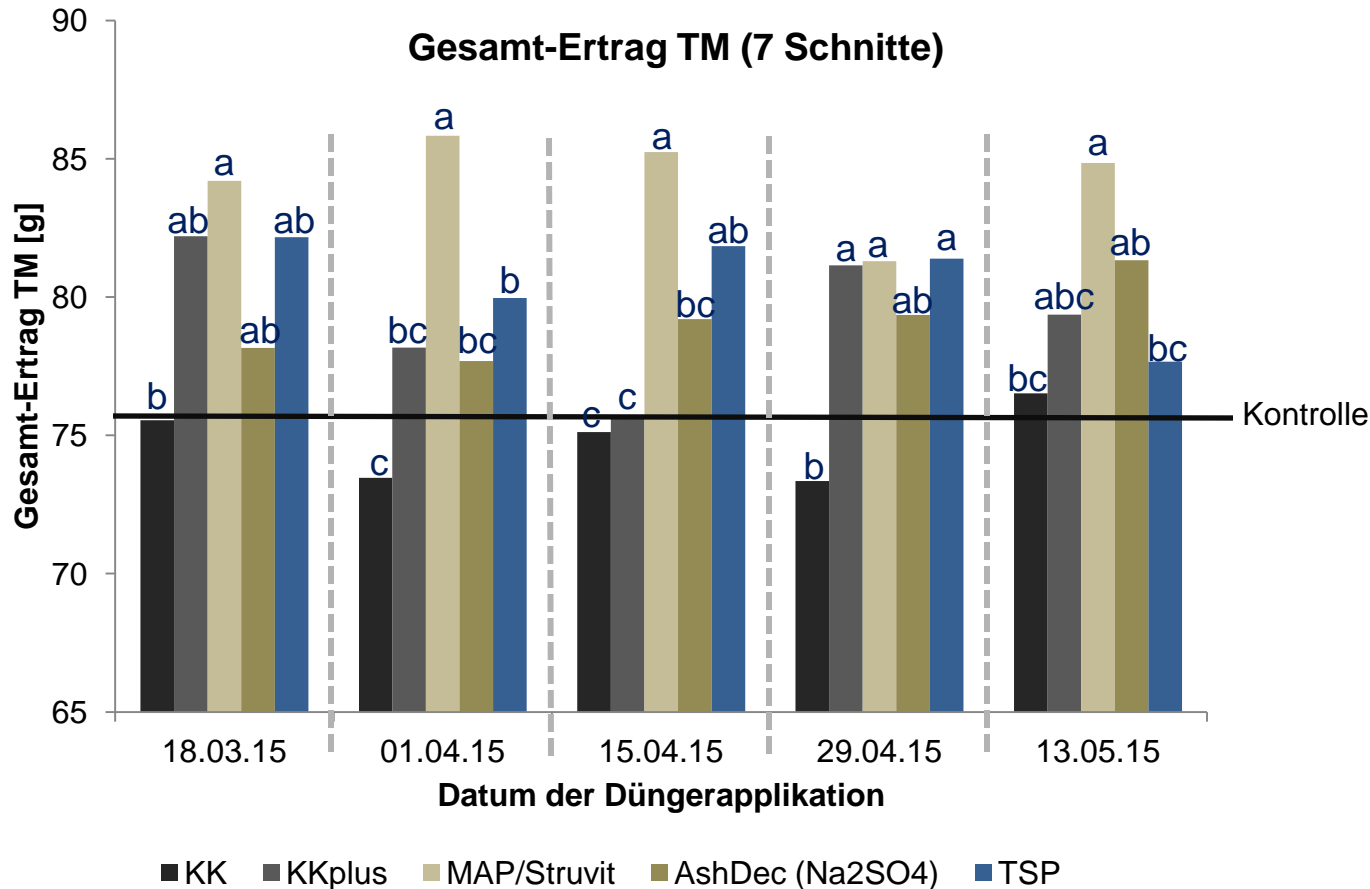
GV 2015, einjähriges Weidelgras: Ertragswirkung und P-Aufnahmen aus sekundären P-Düngern in Abhängigkeit von der Applikationszeit



Fazit:

- TSP höchste Wasser-Löslichkeit (Kontrolldünger)
- MAP/Struvit hohe NAC- und Zitronensäure-Löslichkeit
- Keine Unterschiede in P-Löslichkeit von KK und KKplus

GV 2015, einjähriges Weidelgras: Ertragswirkung und P-Aufnahmen aus sekundären P-Düngern in Abhängigkeit von der Applikationszeit

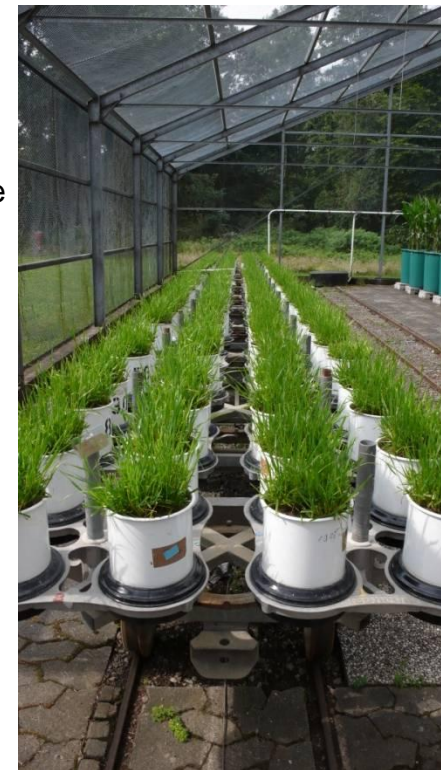


Tukey-Kramer *t*-test

Vorläufiges Fazit:

- MAP/Struvit-Düngung erzielte höchste Erträge
- Kaum signifikante Ertragsunterschiede zwischen den Düngern
- Keine signifikante Ertragsunterschiede zwischen Düngungszeitpunkten (Statistik nicht gezeigt)

Aber: P-Aufnahme noch nicht geklärt, Analytik läuft.



Zusammenfassung

- Der ganz überwiegende Anteil des P-Bedarfs der deutschen Landwirtschaft wird derzeit aus Wirtschafts- und Mineraldüngern gedeckt.
- Das bislang noch ungenutzte Potential aus P-Recyclingdüngern wie insbesondere Produkten aus Fleisch(knochen)mehl, Klärschlamm bzw. aus deren Aschen entspricht ungefähr der heute in Form von Mineraldünger ausgebrachten Phosphatmenge.
- Die Forschung hat sich bisher vor allem auf Produkte aus Klärschlamm bzw. aus dem Abwasserstrom (Struvite) und aus Klärschlammaschen konzentriert.
- Die derzeit bekannten P-Recyclingprodukte sind durchweg NICHT wasserlöslich.
- Vegetationsversuche haben aber gezeigt, dass sich für die Abschätzung des pflanzenverfügbaren Anteils eines P-Recyclingproduktes durch chemische Extraktion auch neutrales Ammoniumcitrat als Extraktionsmittel eignet.
- Struvite zeichnen sich durch eine deutlich höhere Löslichkeit in neutralem Ammoniumcitrat aus als Produkte aus Klärschlammasche. Eine Ausnahme sind unter Zugabe von Natriumcarbonat thermochemisch behandelte Klärschlammaschen.
- Entsprechend zeigen auch Vegetationsversuche mit P-Recyclingdüngern für Struvite eine agronomische Effizienz (TM-Erträge, P-Entzüge), die an jene von herkömmlichen Mineraldüngern (SSP, TSP, DAP) heranreicht.

Zusammenfassung (Fortsetzung)

- Produkte aus Klärschlammasche erzielen meist eine geringere agronomische Effizienz, es sei denn, sie werden so weiterbehandelt, dass im Endprodukt Ca-Silicophosphate vorliegen, die sich durch eine gute Pflanzenverfügbarkeit auszeichnen.
- Bisherige Untersuchungen mit Knochenkohlen zeigen, dass diese nicht nur wasserunlöslich sind, sondern auch eine vergleichsweise geringe Löslichkeit in NAC aufweisen.
- Die gute Zitronensäurelöslichkeit der Knochenkohlen deutet darauf hin, dass das enthaltene P auf sauren Böden pflanzenverfügbar sein könnte.
- Erste Ergebnisse aus Vegetationsversuchen mit Knochenkohlen zeigen allerdings Erträge, die sich von den mit herkömmlichen Mineraldüngern (TSP) erzielten Erträgen statistisch nicht signifikant unterscheiden (P-Gehalte liegen noch nicht vor).

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!