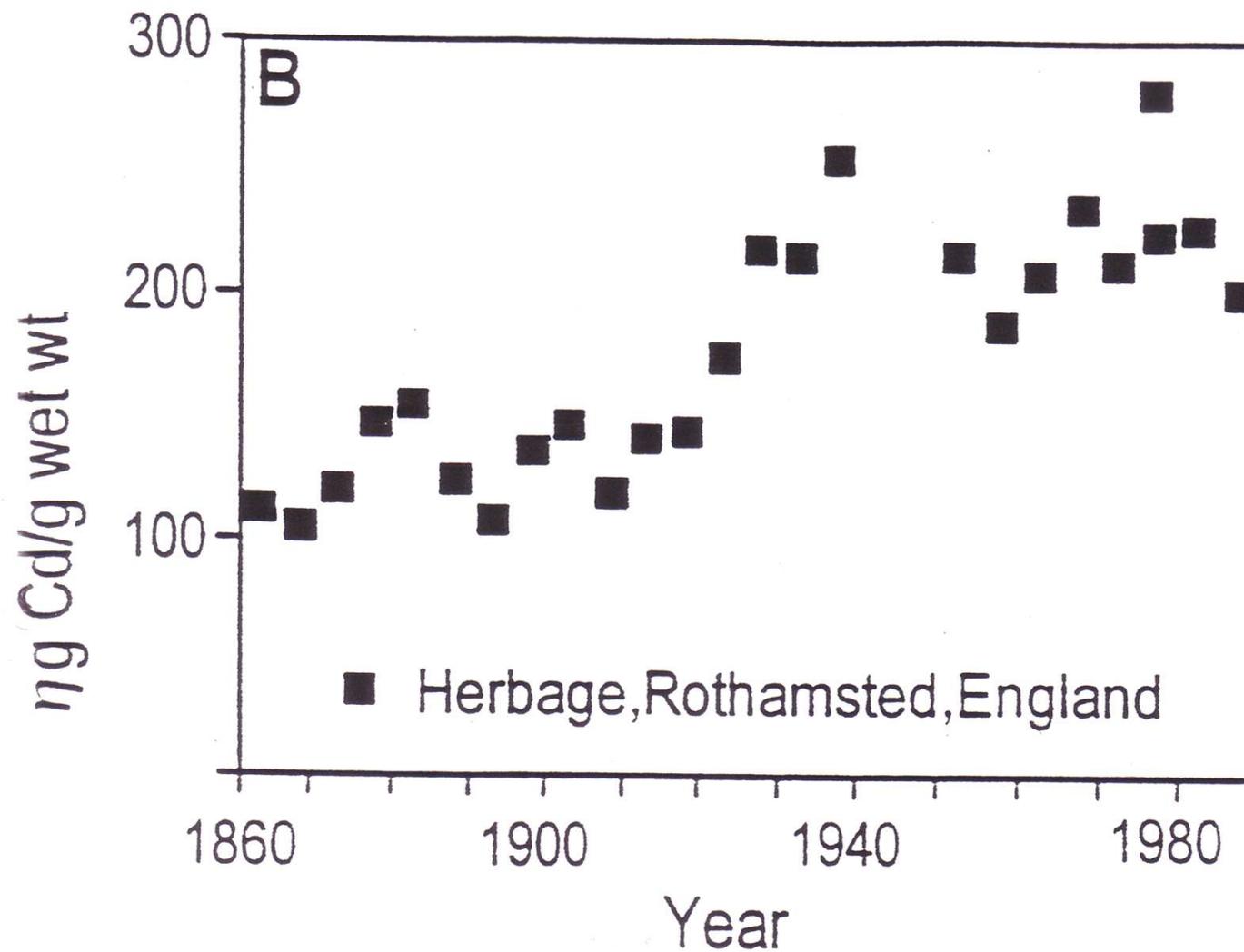


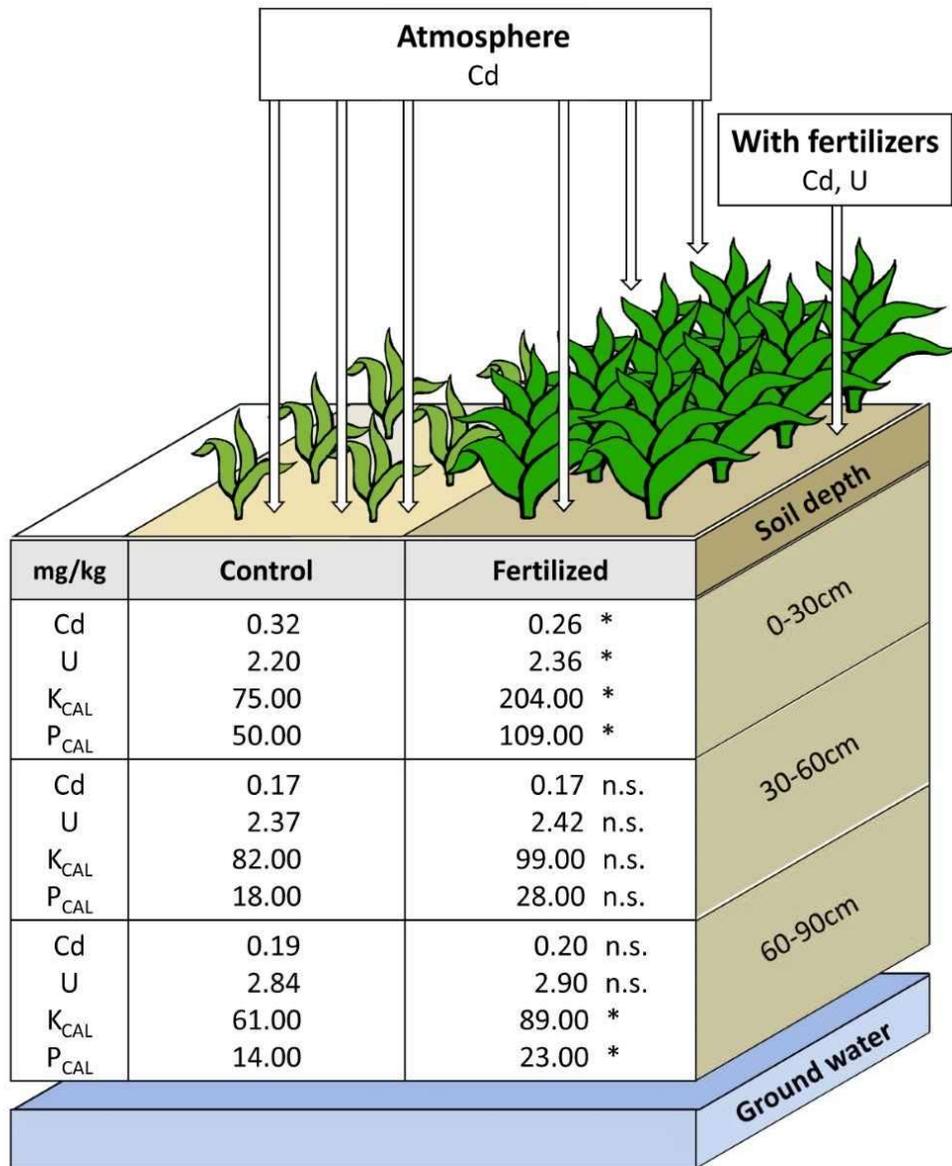


Belastet eine Phosphor-Düngung mit Rezyklaten aus Klärschlamm unsere Nahrungsmittel mit Schwermetallen?

Diedrich Steffens
Justus-Liebig-Universität
Institut für Pflanzenernährung, IFZ
Research Center for BioSystems, Land Use and Nutrition
Heinrich-Buff-Ring 26-32, 35392 Gießen



Cadmium-Konzentration im Wiesenaufwuchs von 1860 – 1980, Rothamsted. (Jones et.al. 1992)

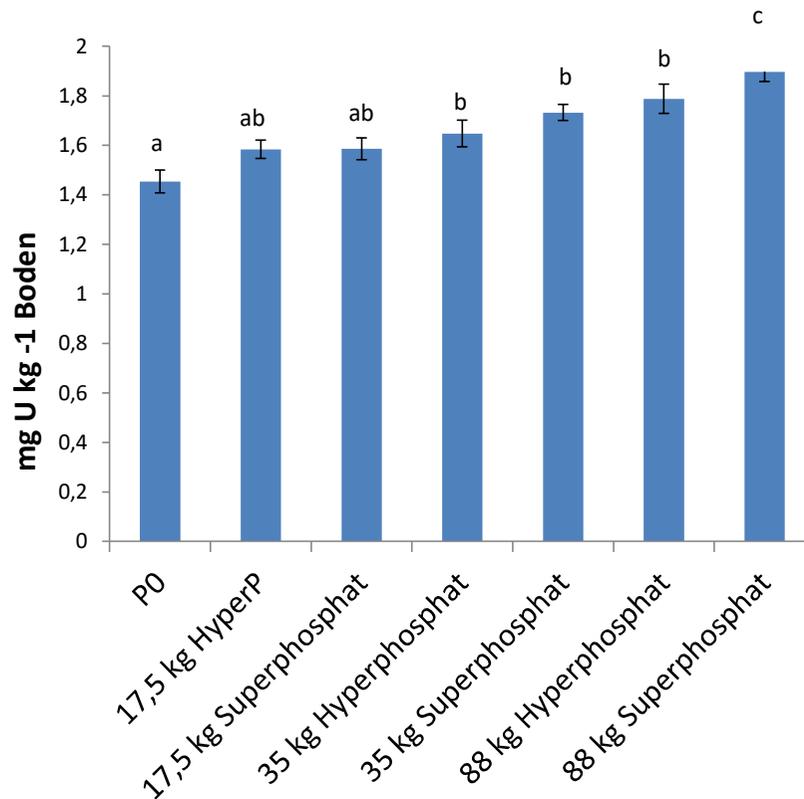


Einfluss von langjähriger NPK-Düngung (fertilized) auf die KW-löslichen Cadmium- und Uran Konzentrationen sowie CAL-extrahierbares Kalium und Phosphat im Ober- und Unterboden. Standort: Gießener-Erschöpfungsversuch, Beginn: 1954

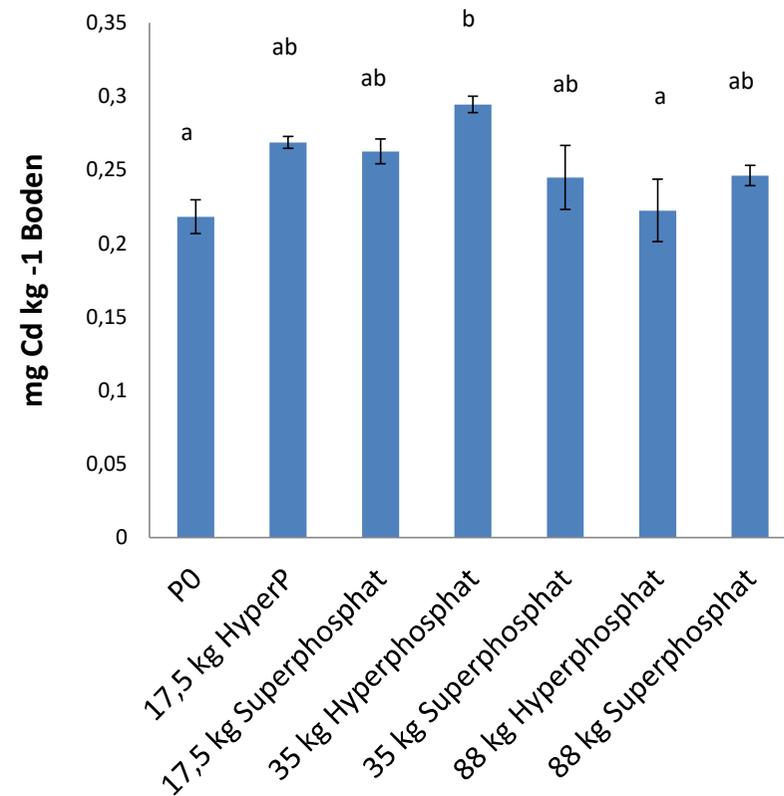
Untersuchungstermin: 2015

(Heßler, Steffens und Yan, 2016)

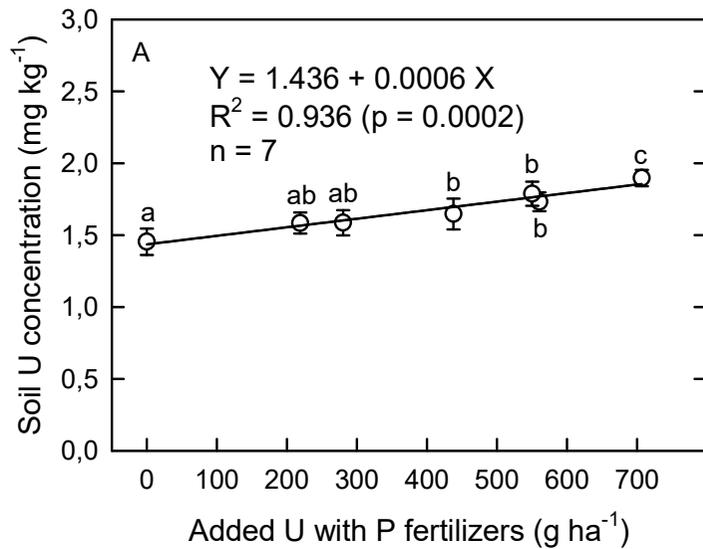
Einfluss einer 10-jährigen Phosphat-Düngung mit Hyperphosphat (Rohphosphat) und Superphosphat auf die königswasserextrahierbaren **Uran- und Cadmiumkonzentrationen** im Oberboden des Feldversuchs „Gießen“ (Heßler 2016, Bachelorarbeit)



Uran

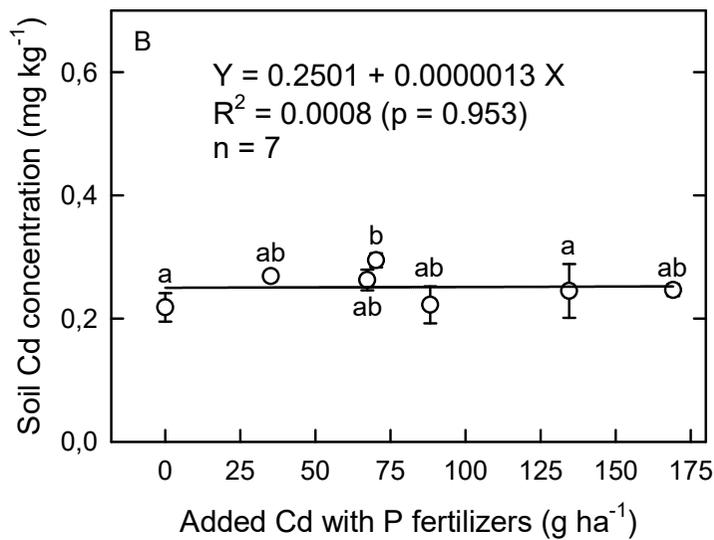


Cadmium



Beziehung zwischen der durch die mineralische P-Düngung erfolgten U- und Cd-Einträge und den KW-löslichen U- und Cd-Konzentrationen im Oberboden des 10-jährigen Feldversuches Gießen

(Yan, pers. Mitteilung)



Belastet eine Phosphor-Düngung mit Rezyklaten aus Klärschlamm unsere Nahrungsmittel mit Schwermetallen?

Ergebnisse stammen aus dem Projekt:

KasPEr

**Wirkung von Phosphor-Recyclingprodukten aus der
Kaskadennutzung von Klärschlamm in Mittelhessen**

**Gefördert mit EIP-Mitteln, Hessen, RP-Gießen sowie
vom Hess. Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft
und Verbraucherschutz**

Welche Rezyklate aus Klärschlamm haben wir untersucht?

Doppelsuperphosphat aus Klärschlammasche, Recphos

Dabei wurde Asche aus einer Mono-Klärschlammverbrennungsanlage mit Phosphorsäure in einer Sprüh-Granulationsanlage zu einem Doppelsuperphosphat aufgeschlossen.

Euphore-Produkt

Hierbei wurde ein Klärschlamm aus Mittelhessen in einem Modelversuch mittels Drehrohrofen nach dem Euphore-Verfahren bei ca. 900°C unter Zugabe von MgCl_2 und HCl zur Elimination von Schwermetallen thermokatalytisch behandelt.

Schwermetallkonzentrationen in den P-Rezyklaten Recphos und Euphore im Vergleich zu Rohphosphat (Hyperphosphat) und Tripelsuperphosphat (TSP) -1

-	Hyperphosphat	TSP	Recphos	Euphore	Kennzeichnung, DüMV	Grenzwert, DüMV	Grenzwert, EU-DüngeproduktV.
Phosphor, %	13,7	18,8	15,4	5,7			
Mangan, mg/kg TM	15,0	33,6	599,0	690,0			
Zinn mg/kg TM	0,3	2,2	70,8	1,1			
Zink mg/kg TM	399,0	558,0	1570,0	904,0			1500,0
Kupfer mg/kg TM	17,8	34,1	673,0	618,0			600,0
Arsen mg/kg TM	6,2	5,1	21,4	2,4	20,0	40,0	40,0
Blei mg/kg TM	3,6	8,6	68,2	1,8	100,0	150,0	120,0

-2	Hyperphosphat	TSP	Recphos	Euphore	Kennzeich DüMV	Grenzwert DüMV	Grenzwert EU-Produkt-V.
Chrom mg/kg TM	152,0	121,0	69,0	170,0	300		Cr VI: 2
Cadmium mg/kg TM	16,6 52,9 mg Cd/kg P2O5	24,1 55,9 mg Cd/kg P2O5	1,5 4,2 mg Cd/kg P2O5	0,025	1,0	1,5 50 mg Cd kg/P2O5	60 mg Cd kg/ P2O5
Quecksilber mg/kg TM	0,03	0,02	0,14	0,01	0,5	1,0	1,0
Nickel mg/kg TM	15,9	38,5	55,3	93,2 (84,1)	40,0	80,0	50,0
Thallium mg/kg TM	0,81	0,57	0,28	0,025	0,5	1,0	
Uran mg/kg TM	105,0	170,0	6,34	4,86			

Varianten der 3-jährigen Containerversuche zur Prüfung der P-Rezyklate aus Klärschlamm sowie die ausgebrachte Produktmenge pro Jahr

V 1: Kontrolle, keine Phosphordüngung

V 2: 20 kg P/ha in Form Recphos (130 kg/ha)

V 3: 20 kg P/ha in Form von Tripelsuperphosphat (106,4 kg/ha)

V 4: 20 kg P/ha in Form von weicherdigem Rohphosphat, Hyperphosphat (146 kg/ha)

V 5: 20 kg P/ha in Form von Euphore-Produkt (351 kg/ha)

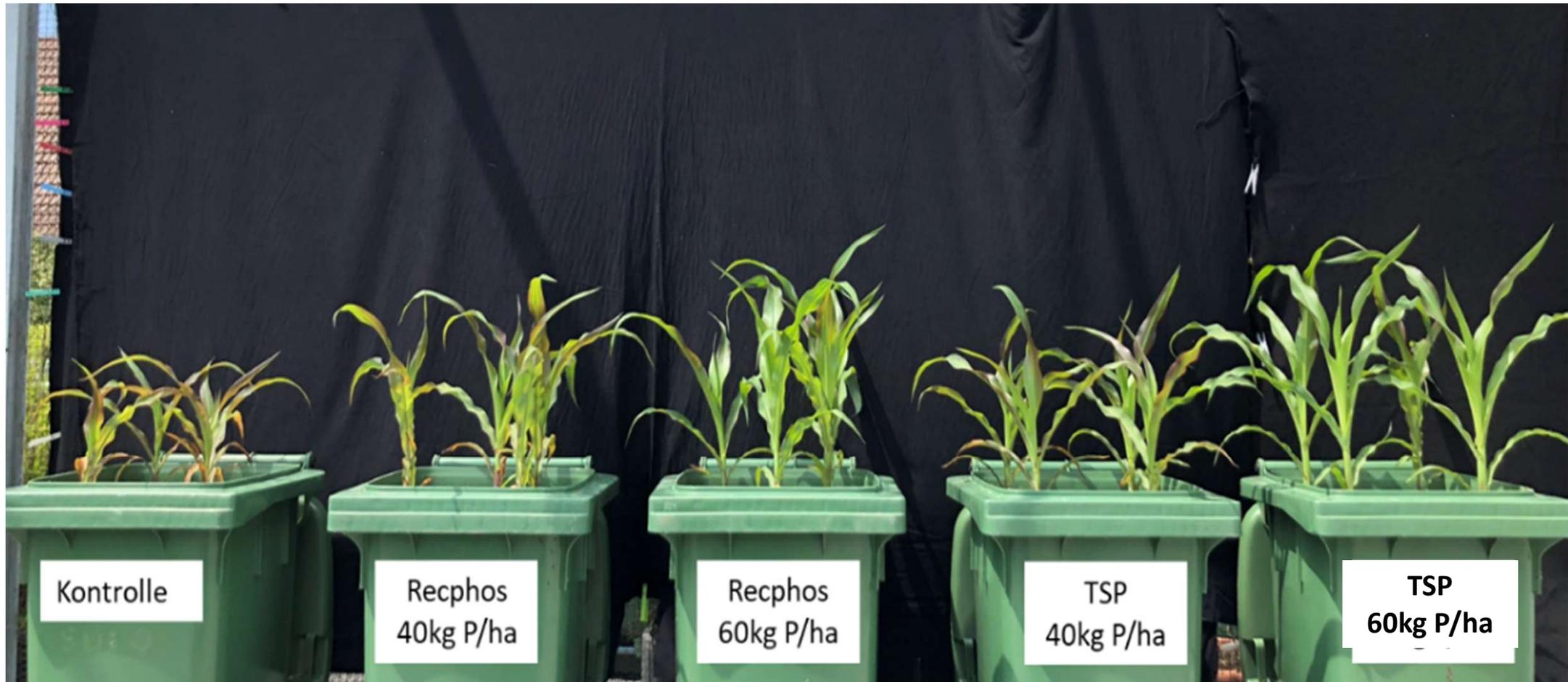
V 6: 40 kg P/ha in Form von Recphos (260 kg/ha)

V 7: 40 kg P/ha in Form von Tripelsuperphosphat (212,8 kg/ha)

V 8: 40 kg P/ha in Form von weicherdigem Rohphosphat, Hyperphosphat (292 kg/ha)

V 9: 40 kg P/ha in Form von Euphore-Produkt (702 kg/ha)

Wirkung von TSP (Tripelsuperphosphat) und Recphos (P-Recyclingdünger) auf das Wachstum von Mais auf einem P-armen Boden/Quarzsand Gemisch in einem Containerversuch (Foto: M. Adami, 2020)



Einfluss einer Phosphordüngung in Form verschiedener Produkte auf die Kornerträge von Mais, Winterweizen und Sommergerste

Trockenmasseertrag Korn Containerversuch g*Container ⁻¹ ±Standardfehler						
	2020 Silomais		2021 Winterweizen		2022 Sommergerste	
Kontrolle P0	179,8±9,12 ^a		93,7±1,78 ^a		108,4±3,12 ^a	
Hyperphos 20kgP	180,2±15,86 ^{ab}		100,7±0,50 ^a		110,3±4,1 ^a	
Hyperphos 40kgP	243,2±15,82 ^{bc}		101,9±0,29 ^a		117,1±1,30 ^a	
Recphos 20kgP	262,2±14,13 ^c		100,9±0,52 ^a		112,0±3,08 ^a	
Recphos 40kgP	307,6±21,79 ^{cd}		104,3±2,86 ^a		115,9±0,95 ^a	
TSP 20kgP	288,3±19,17 ^{cd}		104,1±0,63 ^a		111,5±0,70 ^a	
TSP 40kgP	348,2±12,69 ^d		102,3±1,15 ^a		118,5±1,05 ^a	
Euphore 20kgP	224,9±15,08 ^{abc}		104,7±2,03 ^a		109,8±1,64 ^a	
Euphore 40kgP	250,9±12,92 ^{bc}		100,1±1,40 ^a		114,9±3,54 ^a	

Einfluss einer Phosphordüngung in Form verschiedener Produkte auf Frachten von Phosphor, Zink, Kupfer, Nickel und Cadmium in einem 3-jährigen Containerversuch (2020-2022).

Element	kg P/ha	Hyperph. g/ha	TSP	Recphos	Euphore	Düngung kg/ha
Zink	80	232	236	816	1268	schwere Bd.10 - 15 leichte Bd. 5 - 8
	140	406	413	1428	2219	
Kupfer	80	12	16	348	868	5 – 10
	140	21	28	669	1519	
Nickel	80	8	16	28	132	
	140	14	28	49	231	
Cadmium	80	10	10	0,8	3,2	
	140	17	18	1,4	5,6	

Einfluss einer Phosphordüngung in Form verschiedener Produkte auf
die Uran-Konzentration im Stroh von Mais

U-Konzentration Stroh Containerversuch mg*kg-1 ±Standardfehler		
	2020	Silomais
Kontrolle P0	0,0081	±0,0021 ^a
Hyperphos 20kgP	0,0096	±0,0014 ^a
Hyperphos 40kgP	0,0074	±0,0011 ^a
Recphos 20kgP	0,0061	±0,0014 ^a
Recphos 40kgP	0,0083	±0,0013 ^a
TSP 20kgP	0,0062	±0,0005 ^a
TSP 40kgP	0,0131	±0,0034 ^a
Euphore 20kgP	0,0108	±0,0015 ^a
Euphore 40kgP	0,0131	±0,0027 ^a

Einfluss einer Phosphordüngung in Form verschiedener Produkte auf die Cadmium-Konzentrationen im Stroh von Mais, Winterweizen und Sommergerste. EU-Grenzwert: 0,10 mg Cd/kg TM im Getreidekorn.

Cd-Konzentration Stroh Containerversuch mg*kg ⁻¹ ±Standardfehler						
	2020 Silomais		2021 Winterweizen		2022 Sommergerste	
Kontrolle P0	0,047	±0,003 ^{ab}	0,028	±0,002 ^a	0,021	±0,002 ^a
Hyperphos 20kgP	0,045	±0,005 ^{ab}	0,032	±0,002 ^a	0,038	±0,012 ^a
Hyperphos 40kgP	0,052	±0,002 ^a	0,037	±0,007 ^a	0,035	±0,007 ^a
Recphos 20kgP	0,040	±0,001 ^{ab}	0,030	±0,002 ^a	0,029	±0,009 ^a
Recphos 40kgP	0,045	±0,007 ^{ab}	0,027	±0,001 ^a	0,021	±0,001 ^a
TSP 20kgP	0,044	±0,002 ^{ab}	0,032	±0,001 ^a	0,023	±0,001 ^a
TSP 40kgP	0,035	±0,002 ^b	0,036	±0,001 ^a	0,035	±0,006 ^a
Euphore 20kgP	0,043	±0,002 ^{ab}	0,036	±0,008 ^a	0,024	±0,006 ^a
Euphore 40kgP	0,033	±0,001 ^b	0,029	±0,002 ^a	0,017	±0,002 ^a

Einfluss einer Phosphordüngung in Form verschiedener Produkte auf die Zink-Konzentrationen im Korn von Mais, Winterweizen und Sommergerste.

Zn-Konzentration Korn Containerversuch mg*kg-1 ±Standardfehler						
	2020 Silomais		2021 Winterweizen		2022 Sommergerste	
Kontrolle P0	14,40	±0,63 ^a	30,49	±0,68 ^{bc}	54,05	±3,24 ^a
Hyperphos 20kgP	13,75	±0,39 ^a	26,19	±0,36 ^a	56,87	±1,62 ^a
Hyperphos 40kgP	14,24	±0,58 ^a	26,98	±0,43 ^a	51,92	±1,70 ^a
Recphos 20kgP	14,79	±0,06 ^a	29,21	±1,10 ^{abc}	53,56	±0,61 ^a
Recphos 40kgP	14,80	±0,48 ^a	28,33	±0,34 ^{ab}	58,34	±3,01 ^a
TSP 20kgP	15,25	±0,28 ^a	30,43	±0,35 ^{bc}	53,93	±0,40 ^a
TSP 40kgP	14,77	±0,31 ^a	31,87	±0,75 ^c	52,09	±0,57 ^a
Euphore 20kgP	14,35	±0,24 ^a	27,75	±0,82 ^{ab}	52,86	±1,09 ^a
Euphore 40kgP	14,88	±0,53 ^a	28,54	±0,61 ^{abc}	54,05	±2,36 ^a

Einfluss einer Phosphordüngung in Form verschiedener Produkte auf die Kupfer-Konzentrationen im Korn von Mais, Winterweizen und Sommergerste.

Cu-Konzentration Korn Containerversuch mg*kg-1 ±Standardfehler					
	2020	Silomais	2021	Winterweizen	2022 Sommergerste
Kontrolle P0	2,17±0,10 ^a		3,80±0,35 ^a		5,87±0,29 ^a
Hyperphos 20kgP	1,68±0,11 ^a		3,02±0,07 ^a		5,81±0,15 ^a
Hyperphos 40kgP	1,99±0,18		3,22±0,14 ^a		5,48±0,15 ^a
Recphos 20kgP	2,58±0,27 ^a		3,26±0,24 ^a		5,88±0,30 ^a
Recphos 40kgP	1,57±0,10 ^a		3,10±0,06 ^a		5,97±0,26 ^a
TSP 20kgP	1,66±0,15 ^a		3,19±0,02 ^a		5,59±0,10 ^a
TSP 40kgP	1,73±0,27 ^a		3,45±0,01 ^a		6,44±0,63 ^a
Euphore 20kgP	1,32±0,06 ^a		3,27±0,20 ^a		5,62±0,08 ^a
Euphore 40kgP	1,50±0,15 ^a		3,17±0,07 ^a		5,64±0,20 ^a

Einfluss einer Phosphordüngung in Form verschiedener Produkte auf die Nickel-Konzentrationen im Korn von Mais, Winterweizen und Sommergerste.

Ni-Konzentration Korn Containerversuch mg*kg ⁻¹ ±Standardfehler						
	2020 Silomais		2021 Winterweizen		2022 Sommergerste	
Kontrolle P0	0,02	±0,02 ^a	0,61	±0,05 ^a	1,43	±0,19 ^a
Hyperphos 20kgP	0,09	±0,02 ^a	0,66	±0,17 ^a	0,87	±0,03 ^a
Hyperphos 40kgP	0,05	±0,02 ^a	0,49	±0,04 ^a	0,94	±0,06 ^a
Recphos 20kgP	0,04	±0,03 ^a	0,74	±0,14 ^a	1,07	±0,03 ^a
Recphos 40kgP	0,11	±0,03 ^a	0,67	±0,06 ^a	1,28	±0,04 ^a
TSP 20kgP	1,18	±0,22 ^b	0,59	±0,01 ^a	0,97	±0,06 ^a
TSP 40kgP	0,74	±0,11 ^b	0,77	±0,08 ^a	1,47	±0,22 ^a
Euphore 20kgP	1,11	±0,20 ^b	0,71	±0,09 ^a	1,42	±0,08 ^a
Euphore 40kgP	1,23	±0,38 ^b	0,70	±0,10 ^a	1,22	±0,12 ^a

Asche (1997) analysierte in seinen Getreidekorn-Proben auf neun hessischen Ackerstandorten: 0,25 - 1,69 mg Ni/kg TM

Einfluss einer Phosphordüngung in Form verschiedener Produkte auf die Nickel-Konzentrationen im Stroh von Mais, Winterweizen und Sommergerste.

Ni-Konzentration Stroh Containerversuch mg*kg ⁻¹ ±Standardfehler						
	2020 Silomais		2021 Winterweizen	2022 Sommergerste		
Kontrolle P0	3,12	±0,46 ^a	3,15	±0,17 ^a	1,58	±0,14 ^{ab}
Hyperphos 20kgP	3,52	±0,33 ^a	3,54	±0,14 ^a	1,14	±0,18 ^{ab}
Hyperphos 40kgP	3,38	±0,29 ^a	3,20	±0,13 ^a	1,08	±0,12 ^{ab}
Recphos 20kgP	3,49	±0,30 ^a	3,13	±0,12 ^a	1,00	±0,07 ^a
Recphos 40kgP	4,30	±0,34 ^a	3,37	±0,22 ^a	1,03	±0,07 ^{ab}
TSP 20kgP	3,89	±0,43 ^a	3,35	±0,19 ^a	0,85	±0,03 ^a
TSP 40kgP	3,38	±0,34 ^a	3,67	±0,11 ^a	0,88	±0,23 ^{ab}
Euphore 20kgP	4,01	±0,64 ^a	3,82	±0,04 ^a	1,55	±0,14 ^b
Euphore 40kgP	4,37	±0,45 ^a	3,46	±0,14 ^a	0,67	±0,16 ^{ab}

Asche (1997) analysierte in seinen Getreidestroh-Proben auf neun hessischen Ackerstandorten: 0,25 - 5,93 mg Ni/kg TM

Nickelbilanz im 3-jährigen Containerversuch bei Verwendung verschiedener P-Düngemittel

P-Düngung		Ni-input	Mais	Winterweizen	Sommergerste	Su.-Ni-Export
kg P/ha			g Ni/ha			
P0		0	27	26	23	76
Hy	80	8	34	32	15	81
	140	14	37	29	16	82
TSP	80	16	77	30	14	121
	140	28	86	32	19	137
Rec	80	28	46	29	16	91
	160	49	78	31	18	127
Euph	80	132	57	35	23	115
	160	231	80	31	15	126

Fazit:

Obwohl die Ni-Grenzwerte der EU-Düngemittelverordnung in den geprüften P-Rezyklaten überschritten wurden, konnten keine signifikant höheren Ni-Konzentrationen im Korn von Mais, Winterweizen und Sommergerste beobachtet werden.

Die Berechnung der Ni-Frachten ergab, dass durch die Applikation eines Euphore-Produktes mehr Ni appliziert wurde als von den geernteten Pflanzenteilen (Korn und Stroh) exportiert wurde. Demzufolge sollte Nickel bei der P-Rezyklierung aus mittelhessischen Klärschlämmen besondere Beachtung finden.

Auch die „hohen“ Cu- und Zn-Konzentrationen in den geprüften Rezyklaten spiegeln sich nicht in erhöhten Cu- und Zn-Konzentrationen im Stroh und Korn von Mais, Winterweizen und Sommergerste wider, da die mit den P-Rezyklaten eingetragenen Cu- und Zn-Mengen unter der empfohlenen Cu- und Zn-Düngung lagen.

Danke:

Maximilian Adami

Ann-Kathrin Nimführ

Lutz Wilming

Corinna Becker-Alles

Prof. Dr. Jakob Santner

Kolleginnen/en von der BOKU-Wien

... unseren finanziellen Unterstützern !!

Herzlichen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit



Foto: Stephan Brandt, LLH

Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln (Düngemittelverordnung - DüMV), Stand: Zuletzt geändert durch Art. 1 V v. 2.10.2019 I 1414

§ 3 Zulassung von Düngemitteltypen

(1) Düngemittel dürfen vorbehaltlich des § 5 Absatz 1 des Düngegesetzes nur in den Verkehr gebracht werden, wenn sie einem durch diese Verordnung zugelassenen Düngemitteltyp entsprechen.

Die in Anlage 1 festgelegten

Düngemitteltypen werden mit der Maßgabe zugelassen, dass

1. sie auch hinsichtlich ihrer nicht typbestimmenden Bestandteile bei sachgerechter Anwendung die Fruchtbarkeit des Bodens, die Gesundheit von Menschen, Tieren und Nutzpflanzen nicht schädigen und den Naturhaushalt nicht gefährden,

2. für die Herstellung

a) als Ausgangsstoffe nur Stoffe verwendet worden sind, die die Fruchtbarkeit des Bodens, die Gesundheit von Menschen und Tieren und Nutzpflanzen nicht schädigen und den Naturhaushalt nicht gefährden und

aa) einen pflanzenbaulichen, produktions- oder anwendungstechnischen Nutzen haben oder

bb) dem Bodenschutz sowie der Erhaltung und Förderung der Fruchtbarkeit des Bodens dienen.

b) mineralische Stoffe, außer Nebenbestandteile nach Anlage 2 Tabelle 8, nur nach Maßgabe der Vorgaben für Düngemitteltypen nach Anlage 1 oder der Anlage 2 Tabellen 6 und 7.3 verwendet worden sind,

c) organische Stoffe, außer Nebenbestandteile nach Anlage 2 Tabelle 8, nur nach Maßgabe der Anlage 2

Tabelle 7.1, 7.2 und 7.4 verwendet worden sind,

d) keine anderen Phosphate als die in Anlage 2 Tabelle 4 genannten verwendet worden sind

Einfluss einer Phosphordüngung in Form verschiedener Produkte auf die Arsen-Konzentrationen im Stroh von Mais, Winterweizen und Sommergerste.
 EU-Grenzwert: 0,15 mg As/kg TM im geschliffenen Reiskorn.

As-Konzentration Stroh Containerversuch mg*kg-1 ±Standardfehler						
	2020	Silomais	2021 Winterweizen	2022 Sommergerste		
Kontrolle P0	0,094	±0,017 ^a	0,038	±0,002 ^a	0,069	±0,003 ^a
Hyperphos 20kgP	0,118	±0,008 ^a	0,054	±0,002 ^c	0,062	±0,006 ^a
Hyperphos 40kgP	0,107	±0,011 ^a	0,045	±0,002 ^b	0,074	±0,006 ^a
Recphos 20kgP	0,103	±0,012 ^a	0,055	±0,001 ^c	0,070	±0,002 ^a
Recphos 40kgP	0,103	±0,014 ^a	0,048	±0,001 ^{bc}	0,074	±0,003 ^a
TSP 20kgP	0,097	±0,008 ^a	0,067	±0,007 ^{cd}	0,076	±0,007 ^a
TSP 40kgP	0,123	±0,020 ^a	0,063	±0,004 ^{cd}	0,101	±0,012 ^a
Euphore 20kgP	0,121	±0,018 ^a	0,072	0,005 ^d	0,062	±0,005 ^a
Euphore 40kgP	0,113	±0,021 ^a	0,079	±0,008 ^d	0,067	±0,006 ^a

Einfluss einer Phosphordüngung in Form verschiedener Produkte auf die Blei-Konzentrationen im Korn von Mais, Winterweizen und Sommergerste.
 EU-Grenzwert: 0,2 mg Pb/kg TM im Getreidekorn.

Pb-Konzentration Korn Containerversuch mg*kg-1 ±Standardfehler						
	2020 Silomais		2021 Winterweizen		2022 Sommergerste	
Kontrolle P0	0,082	±0,029 ^a	0,041	±0,012 ^a	0,076	±0,013 ^a
Hyperphos 20kgP	0,020	±0,021 ^a	0,020	±0,016 ^a	0,060	±0,004 ^a
Hyperphos 40kgP	0,065	±0,022 ^a	0,031	±0,013 ^a	0,068	±0,003 ^a
Recphos 20kgP	0,085	±0,029 ^a	0,013	±0,005 ^a	0,100	±0,024 ^a
Recphos 40kgP	0,011	±0,013 ^a	0,039	±0,009 ^a	0,069	±0,006 ^a
TSP 20kgP	0,079	±0,006 ^a	0,012	±0,005 ^a	0,061	±0,009 ^a
TSP 40kgP	0,013	±0,016 ^a	0,033	±0,011 ^a	0,141	±0,038 ^a
Euphore 20kgP	-0,021	±0,014 ^a	0,022	±0,007 ^a	0,096	±0,024 ^a
Euphore 40kgP	-0,014	±0,014 ^a	0,023	±0,008 ^a	0,057	±0,007 ^a