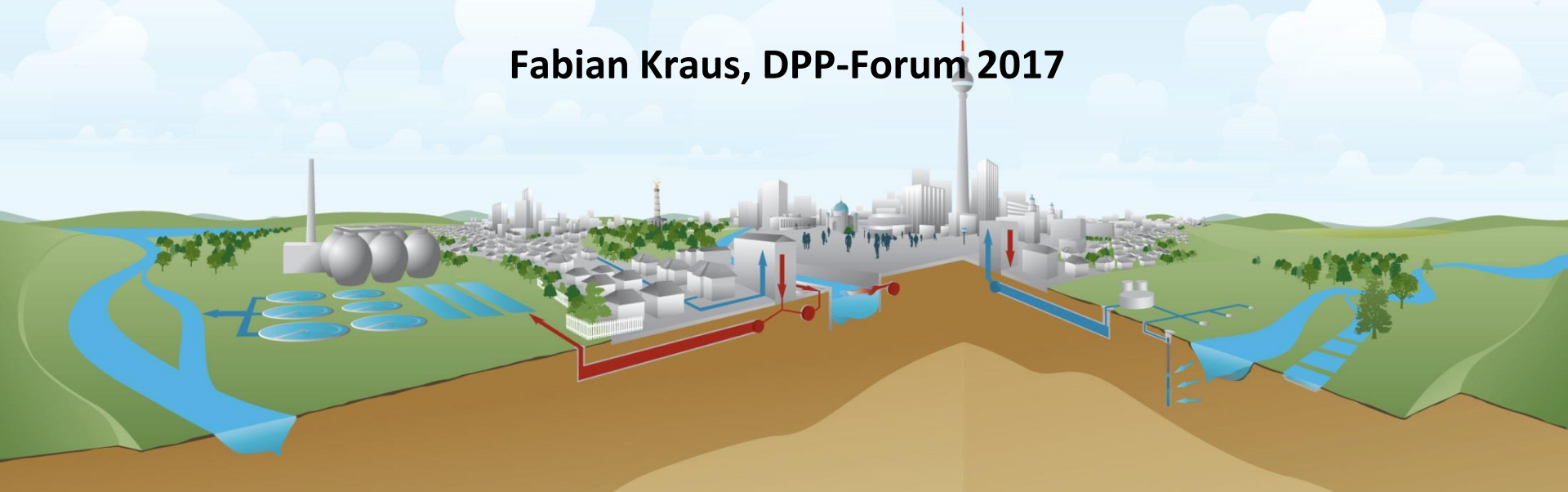


# KOMPETENZZENTRUM Wasser Berlin

## Klärschlämme und Phosphordünger - eine Risikobewertung für den Einsatz in der Landwirtschaft

Fabian Kraus, DPP-Forum 2017



# Gliederung

- **Risiko und Klärschlamm? – Eine Frage der Darstellung?**
- Die Methodik der quantitativen Risikobewertung
- Ergebnisse aus P-REX
- Ausblick

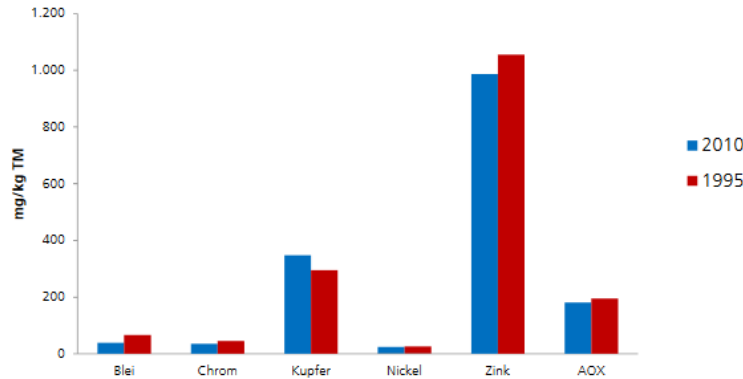
# Risiko und Klärschlamm? – Eine Frage der Darstellung?

***„Man sollte das Restrisiko nicht unterschätzen“***

***Umweltbundesamt, taz vom 10.05.12***

**Bild 2:**

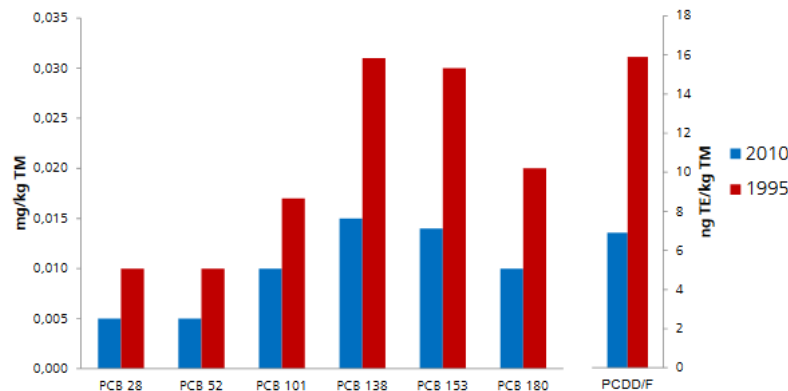
Schwermetallbelastung bayerischer Klärschlämme im Jahr 2010 und 1995 [LfU 2011a]



***„Klärschlamm enthält neben den Nährstoffen auch vergleichsweise hohe Schwermetallgehalte wie Blei, Kupfer oder Zink“***

**Bild 3:**

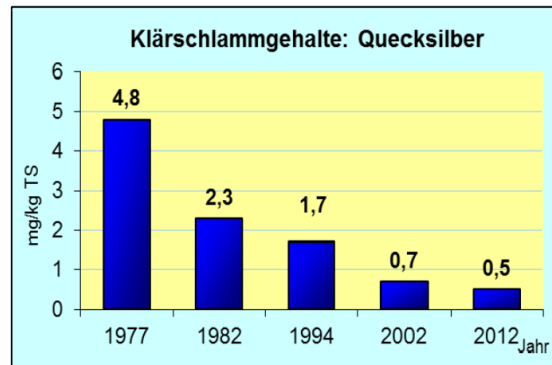
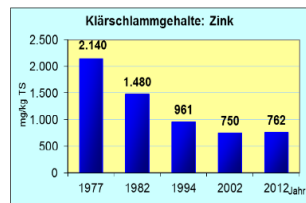
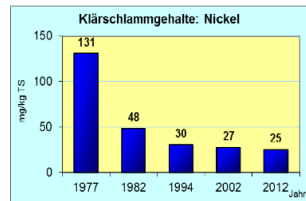
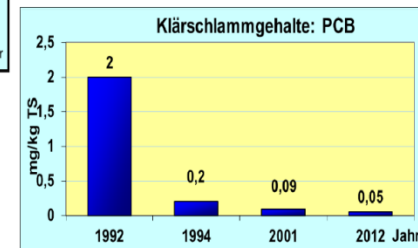
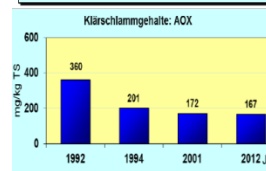
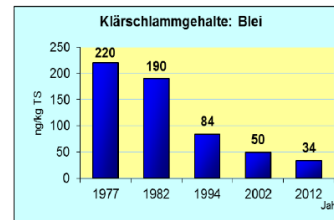
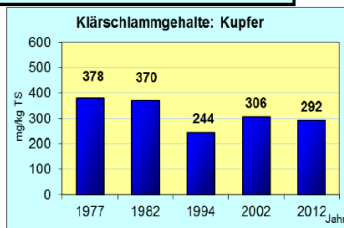
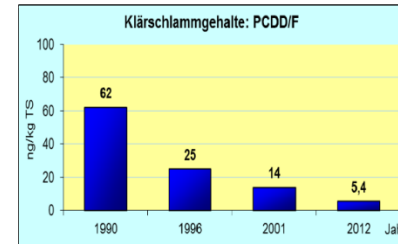
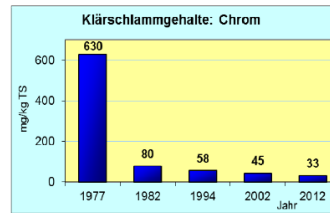
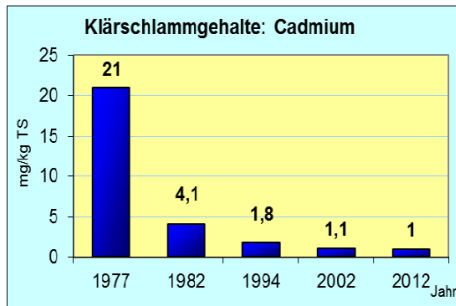
Organische Schadstoffbelastung bayerischer Klärschlämme im Jahr 2010 und 1995 [LfU 2011a]



***„Hinsichtlich der Bewertung der organischen Schadstoffe bestehen weiterhin große Unsicherheiten.“***

Phosphorstrategie für Bayern – Erarbeitung von Entscheidungsgrundlagen und Empfehlungen, Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT (2012)

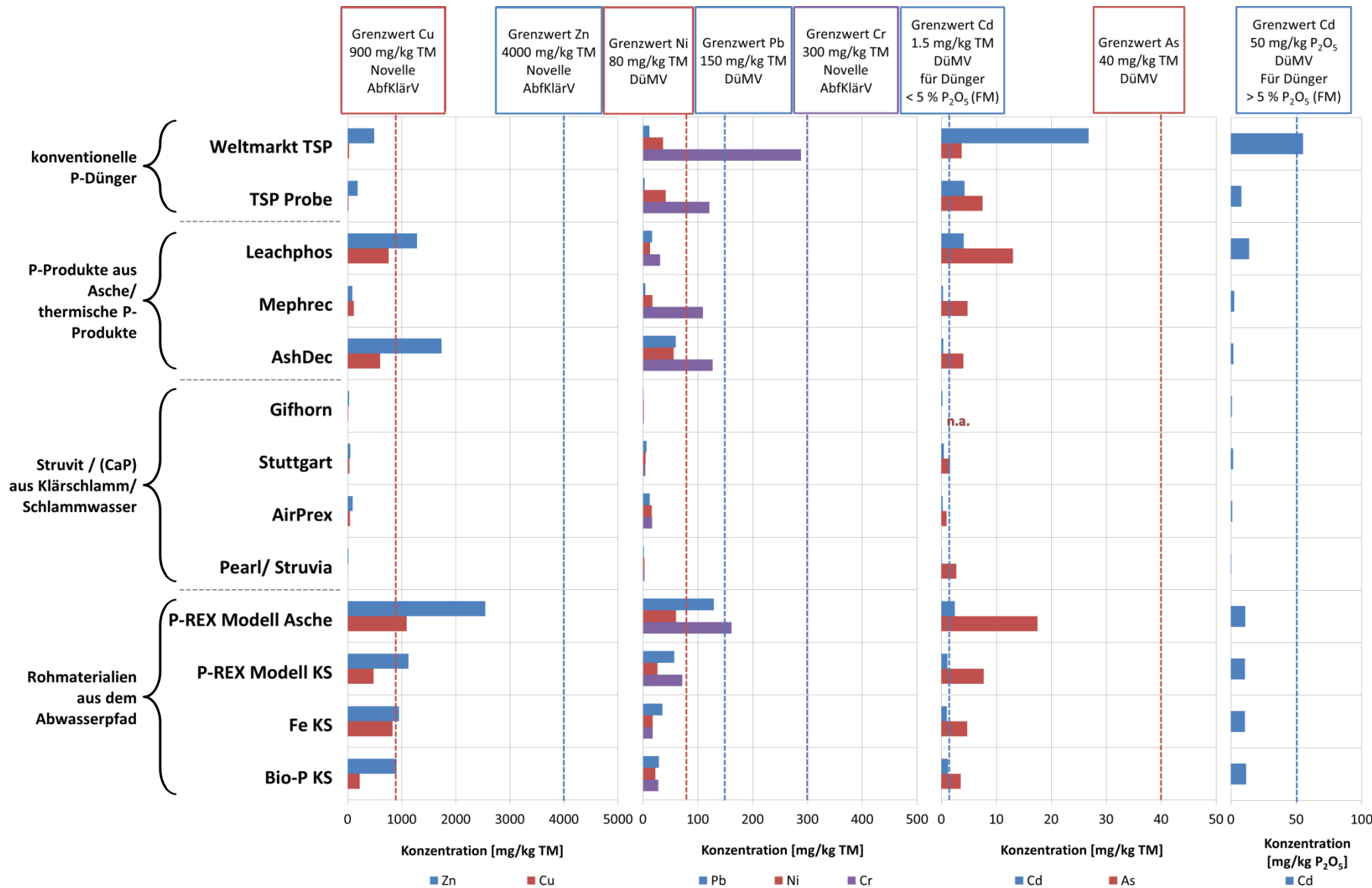
# Risiko und Klärschlamm? – Eine Frage der Darstellung?



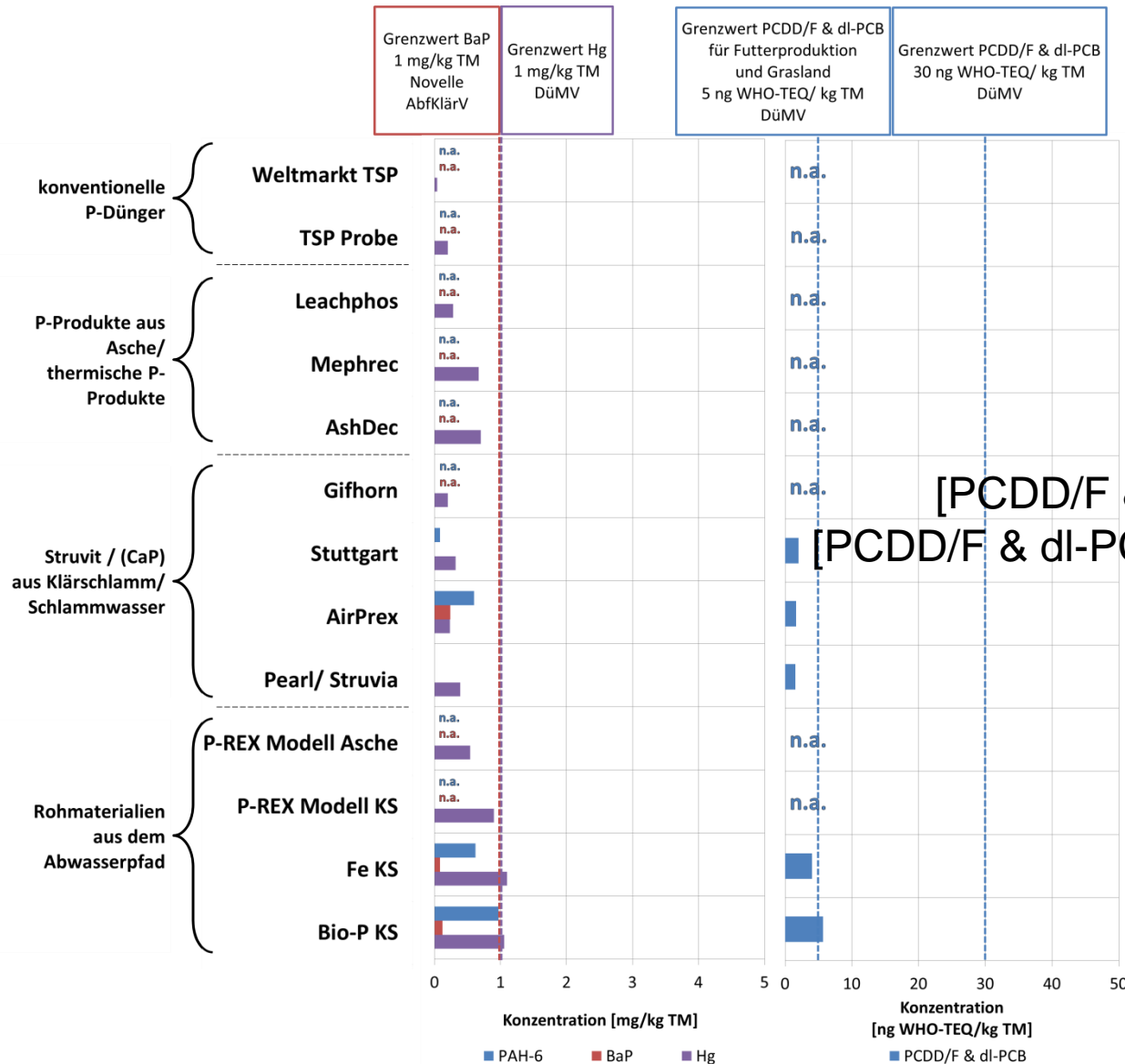
**→ Klärschlämme waren noch nie so sauber wie heute?**

Bergs, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2015)

# Kontaminationen der Rezyklate (Stichproben)



# Kontaminationen der Rezyklate (Stichproben)



[Zn, Cu]  $\approx 10^0$  g/kg

[Cr]  $\approx 10^{-1}$  g/kg

[As, Pb, Ni]  $\approx 10^{-2}$  g/kg

[Cd, Hg]  $\approx 10^{-3}$  g/kg

[PAK, BaP]  $\approx 10^{-4}$  g/kg

Pharmaka  $\approx 10^{-6}$  g/kg

[PCDD/F & dl-PCB]  $\approx 10^{-6}$ - $10^{-9}$  g/kg

[PCDD/F & dl-PCB]  $\approx 10^{-9}$  g WHO-TEQ/kg

***Nicht allein die Toxizität ist entscheidend!***

# Der Risikobegriff...

Im Rahmen der Risikobewertung für Chemikalien:

“Risiko” ist definiert als “die **Wahrscheinlichkeit** eines **nachteiligen Effektes** auf **Mensch oder Umwelt** als **Ergebnis der Exposition** durch eine **Chemikalie oder Mischung**” *(van Leeuwen & Vermeire 2007)*

ein Maß für bestehende  
Unsicherheiten?



Quantitative Darstellung der  
Unsicherheiten, Maßnahmen zur  
Reduzierung von Unsicherheiten  
(verstärkte Qualitätssicherung)

ein kausaler Zusammenhang aus  
Konzentration/ Dosis, Exposition und  
Toxizität besteht?



Maßnahmen zur Risikoreduzierung  
(striktere Grenzwerte? Verbot?)

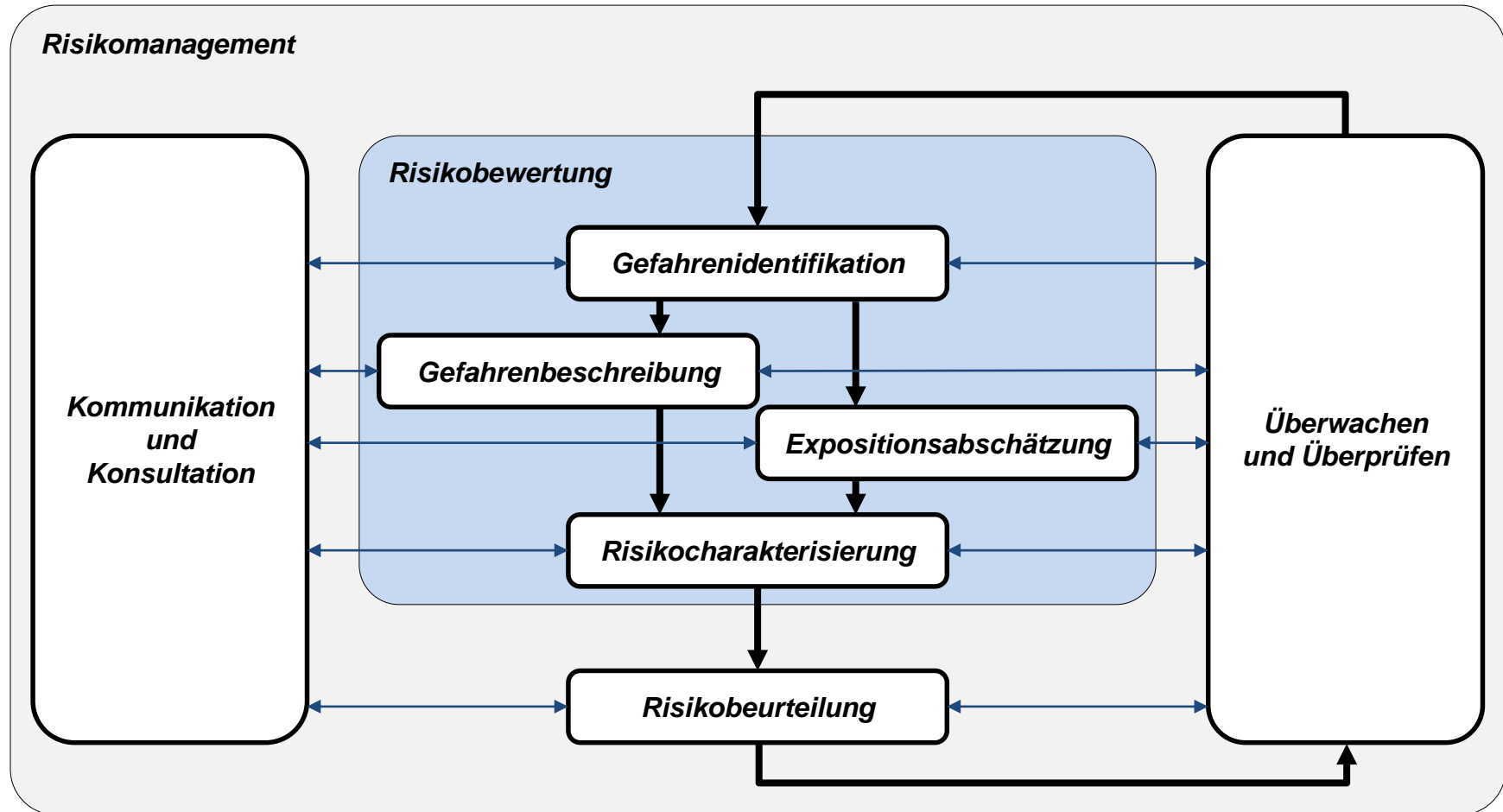
„nicht wissen wollen“  
**Gefühlt.es Risiko**  
+ Vorsorgeprinzip

# Gliederung

- Risiko und Klärschlamm? – Eine Frage der Darstellung?
- **Die Methodik der quantitativen Risikobewertung**
- Ergebnisse aus P-REX
- Ausblick



# Die Methodik der quantitativen Risikobewertung



# Die Methodik der quantitativen Risikobewertung: Gefahrenidentifikation

- Welche Stoffe?
  - *Schwermetalle, unpolare POP, (Arzneimittelrückstände)*
- Welche Produkte?
  - *Klärschlämme, Klärschlammmaschen, Struvit, andere Rezyklate, konventionelle P-Dünger, (Gülle)*
- Welche Schutzgüter?
  - *Mensch durch Nahrungsaufnahme, Bodenorganismen, Grundwasser, (aquatische Umwelt)*

# Die Methodik der quantitativen Risikobewertung: Gefahrenbeschreibung

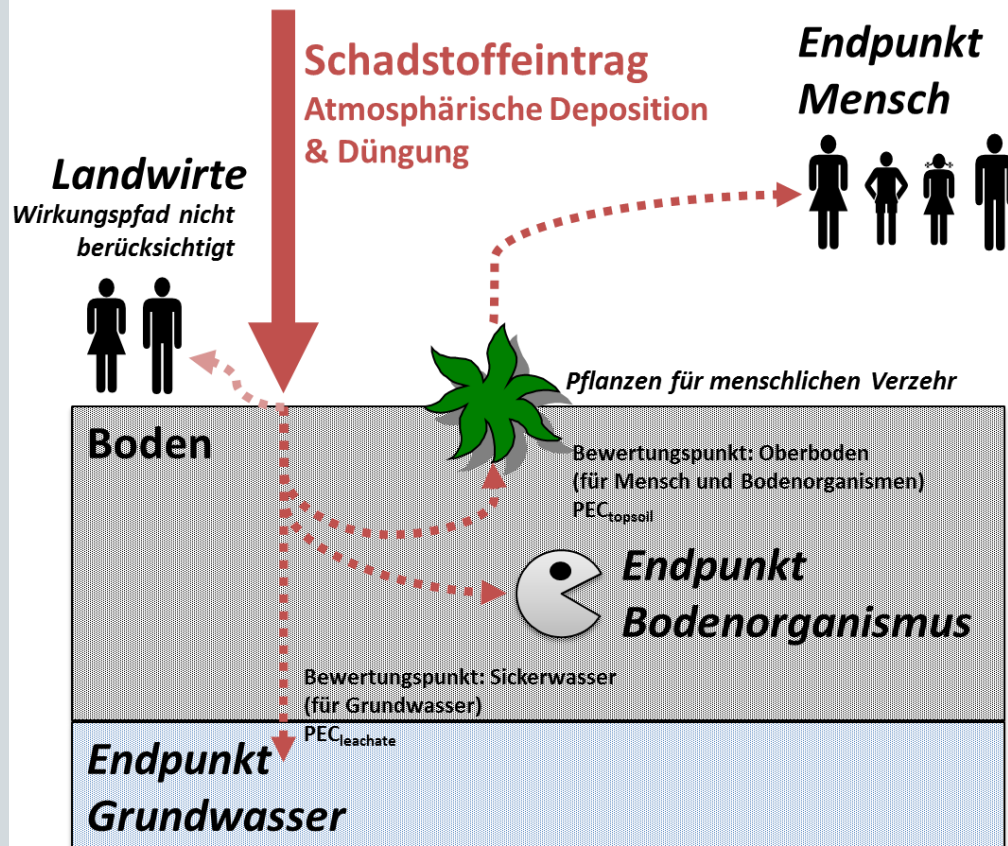
- Definition des PNEC (*Predicted No Effect Concentration*)

Substanz	Schutzgut Bodenorganismen Bewertungspunkt Oberboden		Schutzgut Mensch Bewertungspunkt Oberboden		Schutzgut Grundwasser Bewertungspunkt Sickerwasser	
	PNEC [mg/kg Oberboden]	Literatur	PNEC [mg/kg Oberboden]	Literatur Geschätzt aus Sicherheits- parameters (TDI...)	PNEC [µg/L Sickerwasser]	Literatur
PCDD/F & dl-PCB	2·10 <sup>-5</sup> WHO-TEQ	Aus NOEC geschätzt: ( <a href="#">Herter &amp; Külling 2001</a> ), ( <a href="#">LUBW 2003</a> )	5,44·10 <sup>-5</sup> WHO-TEQ			
PAK (BaP)	BaP: 0,053	( <a href="#">IHCP 2008a</a> )				
As		Aus M...			10	Geringfügigkeits- schwellenwerte ( <a href="#">LAWA 2004</a> )
Cr			327	( <a href="#">EFSA 2006</a> )	7	
Cu			107	( <a href="#">SCF 2003a</a> )	14	
Hg			17,1	( <a href="#">EFSA 2012</a> )	0,2	
Pb		( <a href="#">IHCP 2008b</a> )	20,1	( <a href="#">VKM 2009</a> )	7	
Cd	1,15	( <a href="#">IHCP 2007</a> )	0,42	( <a href="#">EFSA 2009a</a> )	0,5	
Ni	50	( <a href="#">IHCP 2008c</a> )	143	( <a href="#">WHO 2005</a> )	14	
Zn	26	( <a href="#">IHCP 2010</a> )	817	( <a href="#">SCF 2003b</a> )	58	

**PNECs enthalten zusätzliche Sicherheitsfaktoren**  
– sog. Assessment Factors zwischen 1-1000  
i.d.R. bei Schwermetallen AF = 2-3  
i.d.R. bei organischen POP AF > 10

# Die Methodik der quantitativen Risikobewertung: Expositionsabschätzung

- Berechnung des PEC (*Predicted Environmental Concentration*)



- Grundlegende Annahmen für Modellparameter (Organik-Gehalt im Oberboden, pH-Wert, Niederschlags-/Versickerungsmenge)
- Grundlegende Annahmen zum Schadstoffeintrag bzw. Austrag (Düngemengen, atmosphärische Deposition, Senken via Abbau, Verflüchtigung, Versickerung, sowie ggf. Austrag durch Ernte von Nutzpflanzen)
- Expositionszeitraum, z.B. 100 Jahre

# Die Methodik der quantitativen Risikobewertung: Expositionsabschätzung und Risikocharakterisierung

## ▪ Berechnung des PEC (*Predicted Environmental Concentration*)

$$\frac{dC_{soil}}{dt} = -k \cdot C_{soil} + D_{air} \quad \text{eq. 4.8}$$

Solution of eq. 4.8 for one year with  $C_0$  as initial concentration for each year and  $t = 0$  d as starting time for each year:

$$C_{soil} = \frac{D_{air}}{k} - \left( \frac{D_{air}}{k} - C_0 \right) \cdot e^{-k \cdot t} \quad \text{eq. 4.9}$$

$k$	pseudo-first order rate constant for removal from topsoil	$[d^{-1}]$	eq. 11.1
$C_{soil}$	concentration in soil	$[mg \cdot kg^{-1}]$	eq. 11.2
$D_{air}$	atmospheric deposition flux per kg of soil	$[mg \cdot kg^{-1} \cdot d^{-1}]$	eq. 11.12
$t$	time in days per year ( $0 < t \leq 365$ d)	$[d]$	
$C_0$	initial concentration for each year in soil	$[mg \cdot kg^{-1}]$	

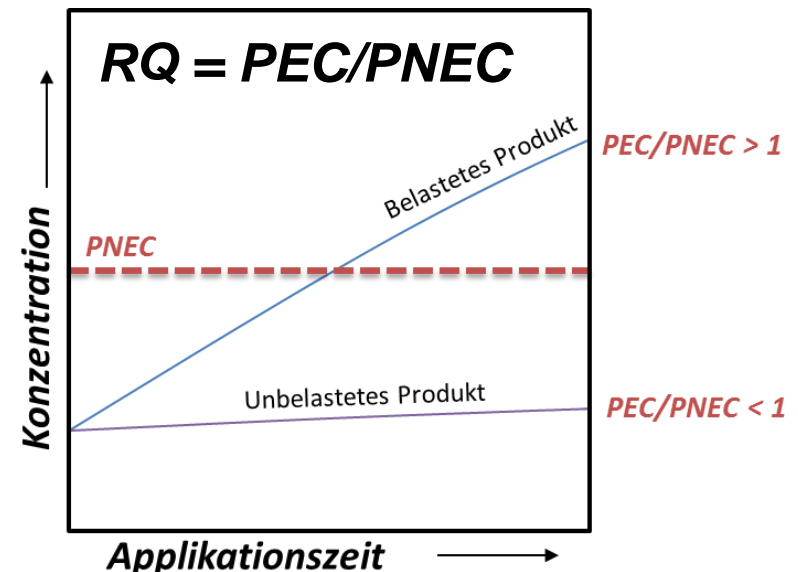
$$PEC_{soil} = \frac{1}{T} \int_0^T C_{soil} dt = \frac{1}{T} \int_0^T \left( \frac{D_{air}}{k} - \left( \frac{D_{air}}{k} - C_0 \right) \cdot e^{-k \cdot t} \right) dt \quad \text{eq. 4.11}$$

Solution of eq. 4.11:

$$PEC_{soil} = \frac{D_{air}}{k} + \frac{1}{k \cdot T} \cdot \left( C_0 - \frac{D_{air}}{k} \right) \cdot (1 - e^{-k \cdot T}) \quad \text{eq. 4.12}$$

$T$	averaging time	$[d]$	30, 180
$C_{soil}$	concentration in soil	$[mg \cdot kg^{-1}]$	
$D_{air}$	aerial deposition flux per kg of soil	$[mg \cdot kg^{-1} \cdot d^{-1}]$	
$C_0$	initial concentration for each year in soil	$[mg \cdot kg^{-1}]$	
$k$	pseudo-first order rate constant for removal from topsoil	$[d^{-1}]$	eq. 11.1
$PEC_{soil}$	Predicted environmental concentration in soil	$[mg \cdot kg^{-1}]$	eq. 11.2

**Technical Guidance Document  
on Risk Assessment (EU):**  
*Kinetik 1. Ordnung, Oberboden als  
ideal durchmischter Reaktor,  
Worste-Case Abschätzungen in alle  
Richtungen*



# Gliederung

- Risiko und Klärschlamm? – Eine Frage der Darstellung?
- Die Methodik der quantitativen Risikobewertung
- **Ergebnisse aus P-REX**
- Ausblick



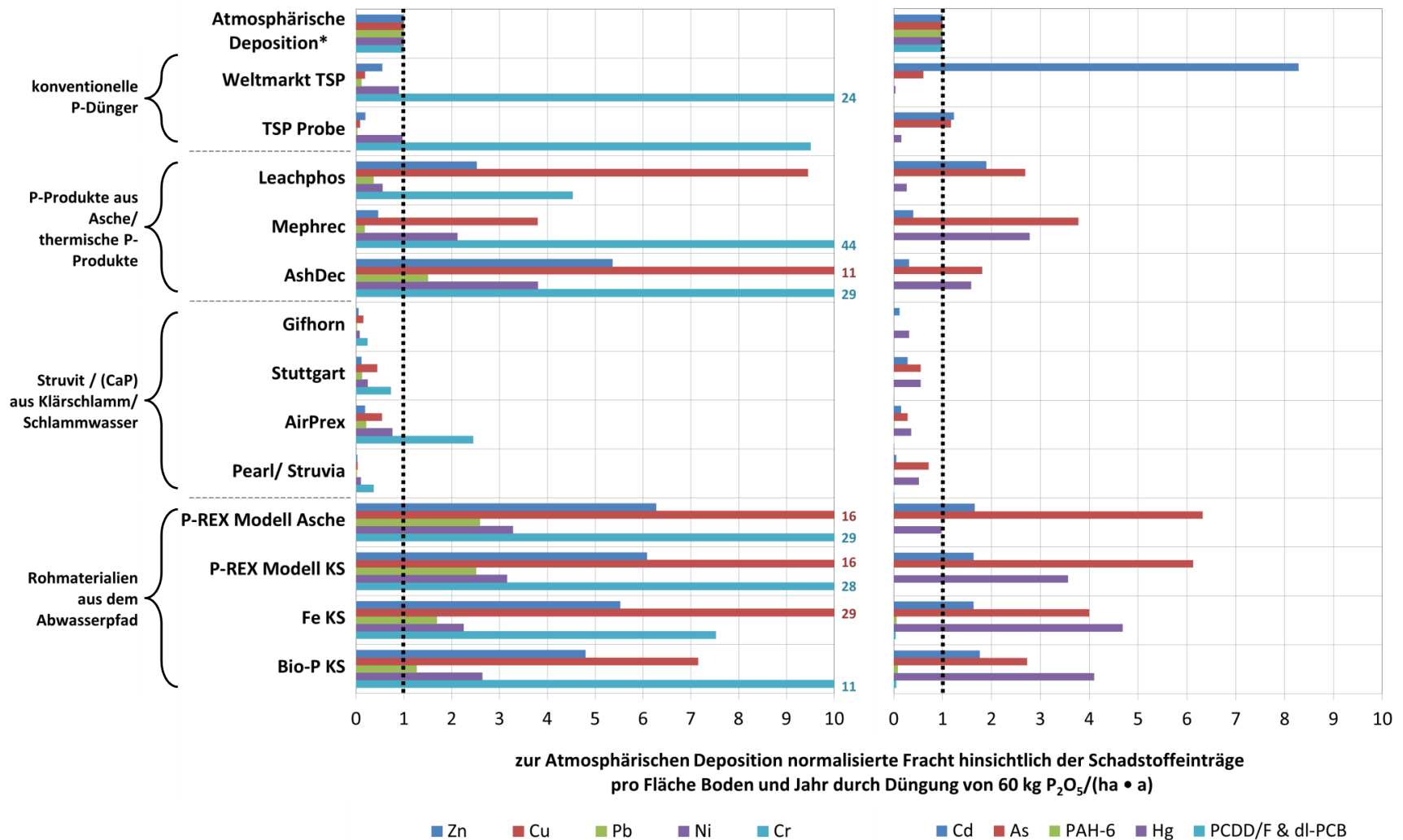
This project has received funding from the European Union's Seventh Programme for Research, Technological Development and Demonstration under Grant Agreement no. 308645.

KWB is co-financed by



# Ergebnisse aus P-REX

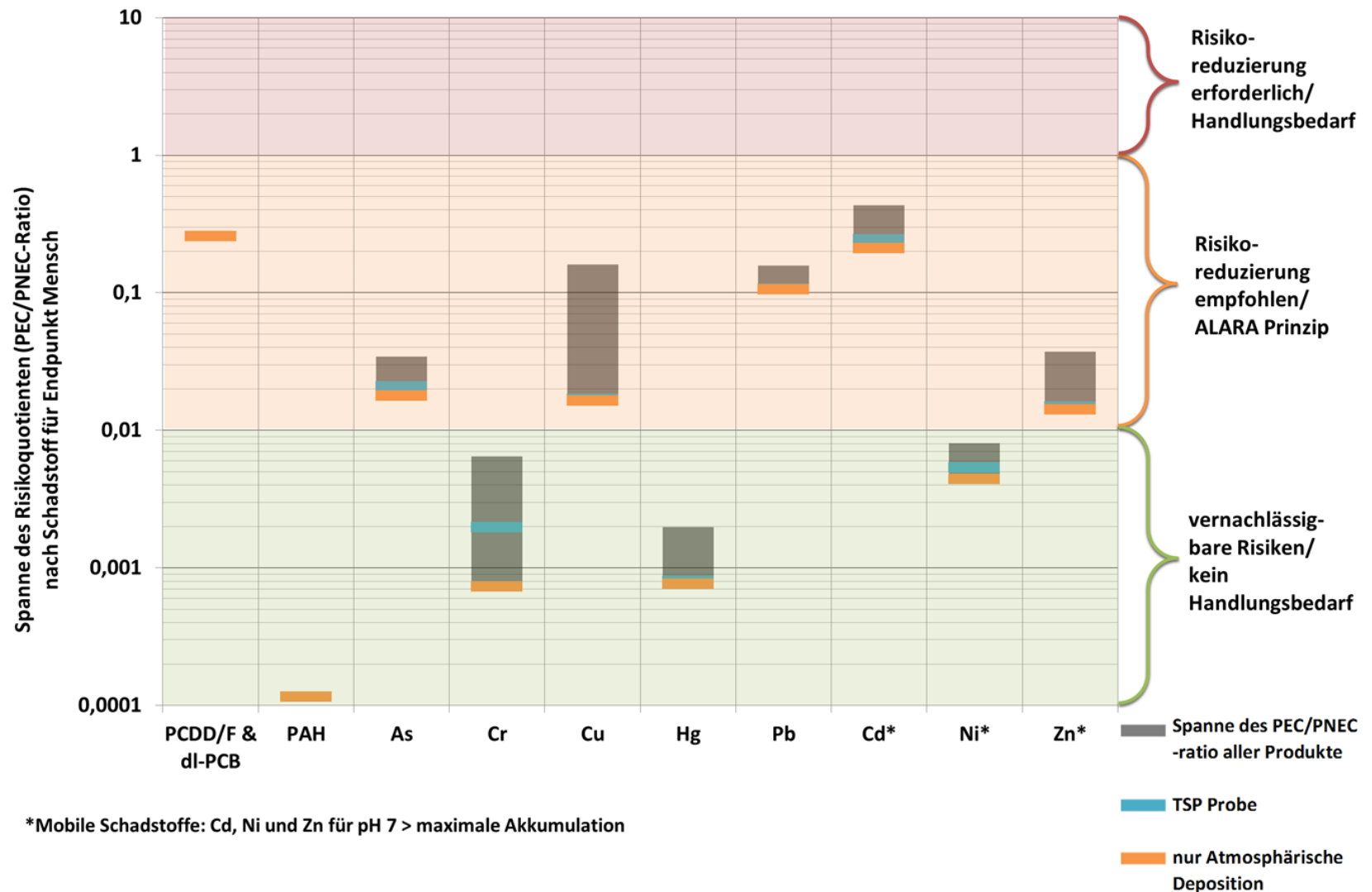
## Düngung und atmosphärische Deposition im Vergleich



\*Atmosphärische Deposition in Deutschland für Cr, Cu, Ni, Zn (2001-2003);  
PCDD/F & dl-PCB (2004); As (2007-2009), Cd, Hg, Pb (2008-2010); PAH (2010)

# Ergebnisse aus P-REX

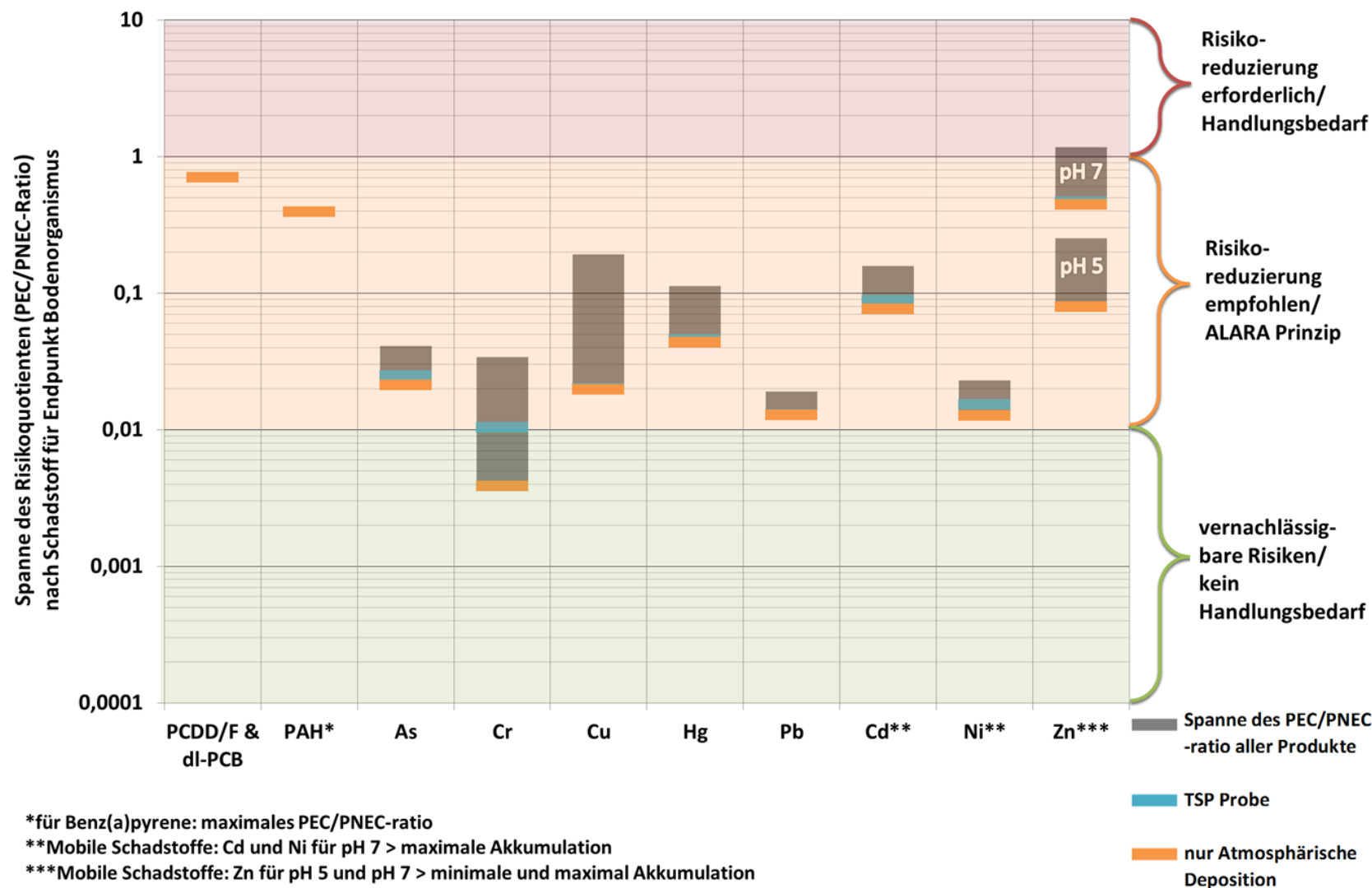
## Spannen der Risikoquotienten – Schutzgut Mensch





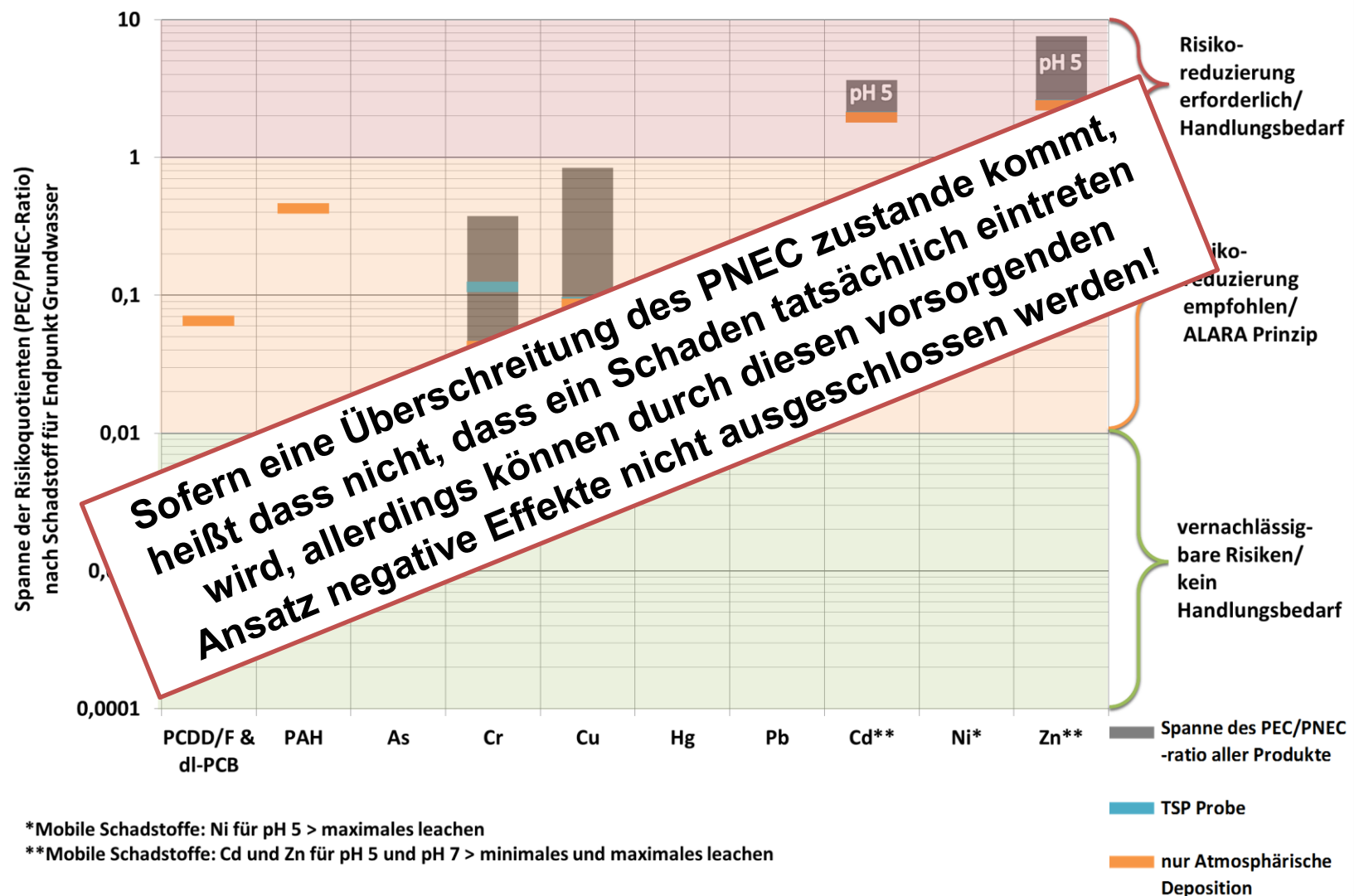
# Ergebnisse aus P-REX

## Risikoquotienten – Schutzgut Bodenorganismus



# Ergebnisse aus P-REX

## Risikoquotienten – Schutzgut Grundwasser



# Ergebnisse aus P-REX

- Risiken für die menschliche Gesundheit sind nicht zu erwarten
- Nachteilige Effekte in der Umwelt können hinsichtlich Cd für den Endpunkt Grundwasser und Zn für die Endpunkte Grundwasser und Bodenorganismus nicht ausgeschlossen werden

**Relatives Ranking:** geringe Kontaminationen reduzieren Risiken

- *Struvit ist geringer kontaminiert als Klärschlämme, Klärschlammmaschen und konventionelle P-Dünger!*

**Maßnahmen zur Risikoreduktion:**

- *Suffizienz in der Düngung & Striktere Grenzwerte (Cd & Zn)*

**Reduzierung von Unsicherheiten (Qualitätssicherung):**

- *Stärkeres Monitoring von (Primär- und Sekundär-)Düngern und Monitoring von Hintergrundbelastungen (Schadstoffgehalte im Boden und diffuse Quellen)*

### ***„Man sollte das Restrisiko nicht unterschätzen“***

- Ein Restrisiko besteht immer, egal zu was
- Ein Risiko kann aufgrund eines **kausalen Zusammenhangs** zwischen Konzentration, Exposition und Toxizität hoch sein (für die menschliche Gesundheit ist und bleibt Cadmium prioritäre Substanz!)
- Ein Risiko kann aber auch aufgrund von **bestehenden Unsicherheiten** in der Bewertung hoch sein (nicht-wissen = Risiko wird höher bewertet, worst-case Annahmen)
- Das Gefühl (z.B. zu organischen Schadstoffen, Arzneimittelrückstände) sollte durch quantitative Risikobewertungen mit quantitativen Sensitivitätsanalysen belegt oder ausgeräumt werden
- Das Gefühl als alleiniges Entscheidungskriterium ist argumentativ in Verbindung mit dem Vorsorgeprinzip unzureichend

# Gliederung

- Risiko und Klärschlamm? – Eine Frage der Darstellung?
- Die Methodik der quantitativen Risikobewertung
- Ergebnisse aus P-REX
- **Ausblick**

## Weiterführende Projekte am KWB...

- **PHORWÄRTS** - Ökobilanzieller Vergleich der Phosphor-Rückgewinnung aus dem Abwasserstrom mit der Düngemittelproduktion aus Rohphosphaten unter Einbeziehung von Umweltschäden und deren Vermeidung



- **nurec4org** - Einsatzmöglichkeiten von Nährstoff-Rezyklaten im Ökolandbau



- In beiden Projekten wird eine quantitative Risikobewertung durchgeführt und gegenüber P-REX erweitert...
  - Berücksichtigung weiterer Daten und derer Sensitivitäten
  - Berücksichtigung weiterer Stoffe (Uran, Arzneimittelrückstände)
  - Verstärkter Fokus bei Quantifizierung der Unsicherheiten

## Weiterführende Projekte am KWB...

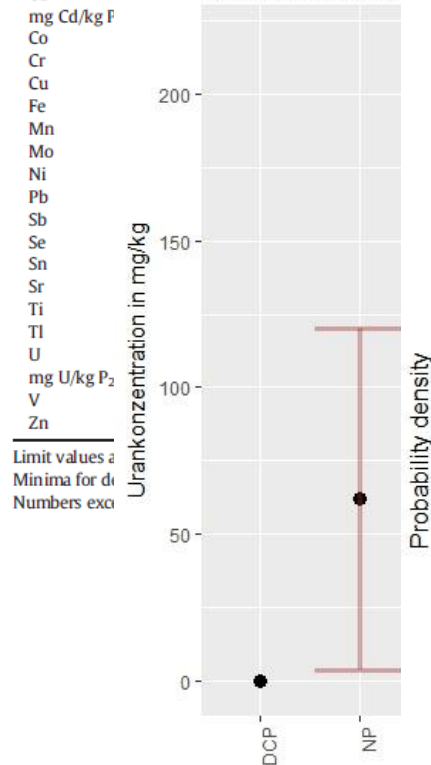
**Table 1**

Mean concentrations (and standard deviation) of trace elements in different types of P-containing mineral and organo-mineral fertilizers (all data in mg/kg if not specified otherwise, LOQ = limit of quantitation, n.a. = not analyzed).

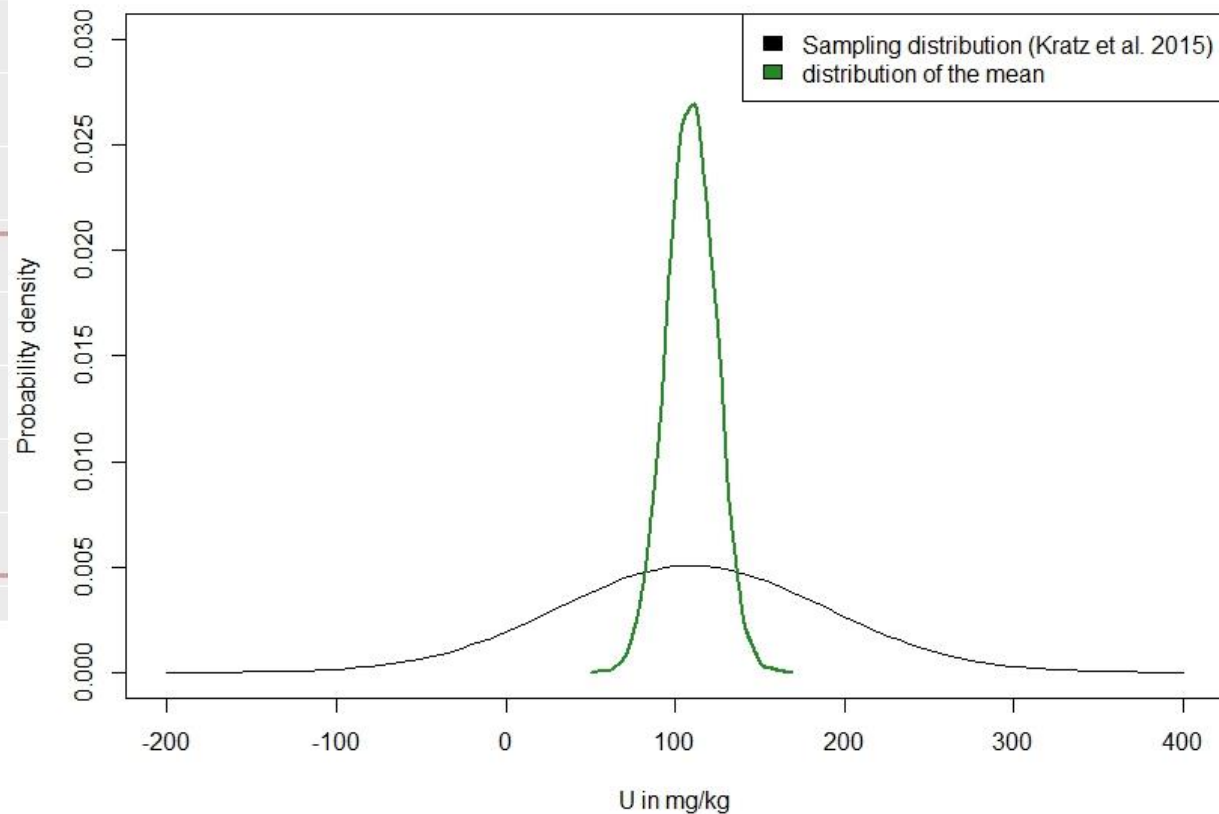
	Straight P (n = 30)	PK (n = 14)	NP (n = 19)	NPK (n = 67)	Org-min NP (n = 1)	Org-min NPK (n = 31)
Al	4034 (± 0.460)	3437 (± 0.001)	1531 (± 803)	1704 (± 734)	n.a.	1050 (± 4136)

### Gemessene Urankonzentration in P-Düngern

Nach Kratz et al. 2015



### Published sampling distribution (straight P)



# KOMPETENZZENTRUM Wasser Berlin

Ergebnisse folgen in 2018

[fabian.kraus@kompetenz-wasser.de](mailto:fabian.kraus@kompetenz-wasser.de)

