



# Phosphorrecycling: Situationsübersicht

Düngefachtagung für Berater  
Pflanzenernährung in der Zukunft – aktuelle Themen der Berater

**11.10.2023 in Speyer**

Tabea Knickel  
Deutsche Phosphor-Plattform DPP e.V.



## Themen

P-Rezyklate in der Landwirtschaft – Potenzial

Umsetzung der Klärschlammverordnung

Einordnung in die DüMV

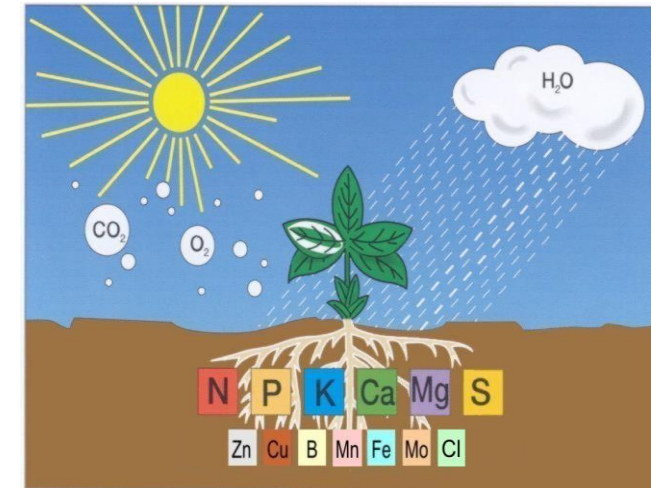
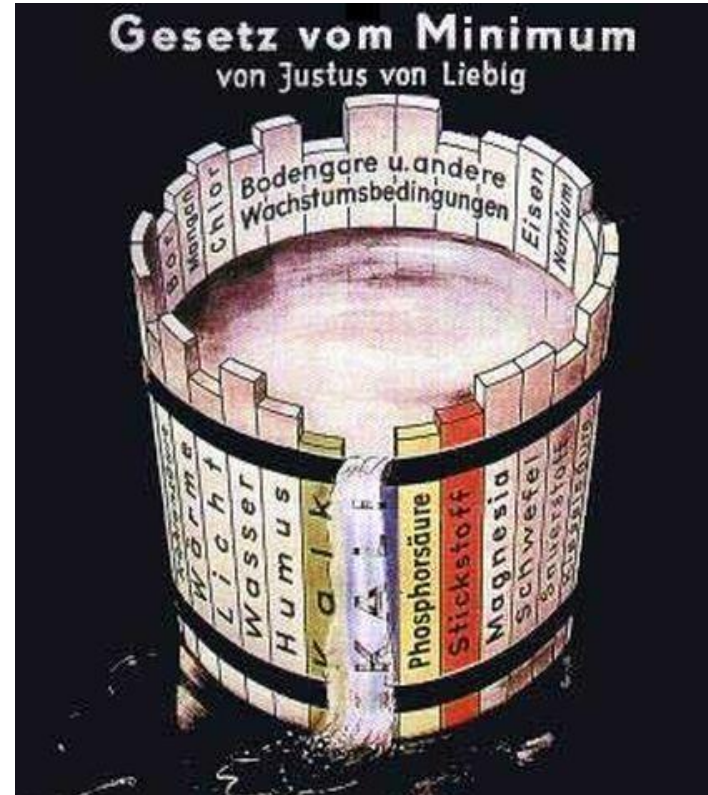
Pflanzenwirksamkeit

Was sind P-Rezyklate wert?

# Nährstoffbedarf in der Landwirtschaft

## Phosphor

- Nichtmetall aus der 5. Hauptgruppe im Periodensystem
- Essentiell für alle Lebewesen
  - Aufbau und Funktion in zentralen Bereichen der Organismen
  - Erbanlagen
  - Energieversorgung (ATP)



Pflanzenbedarf an Nährstoffen

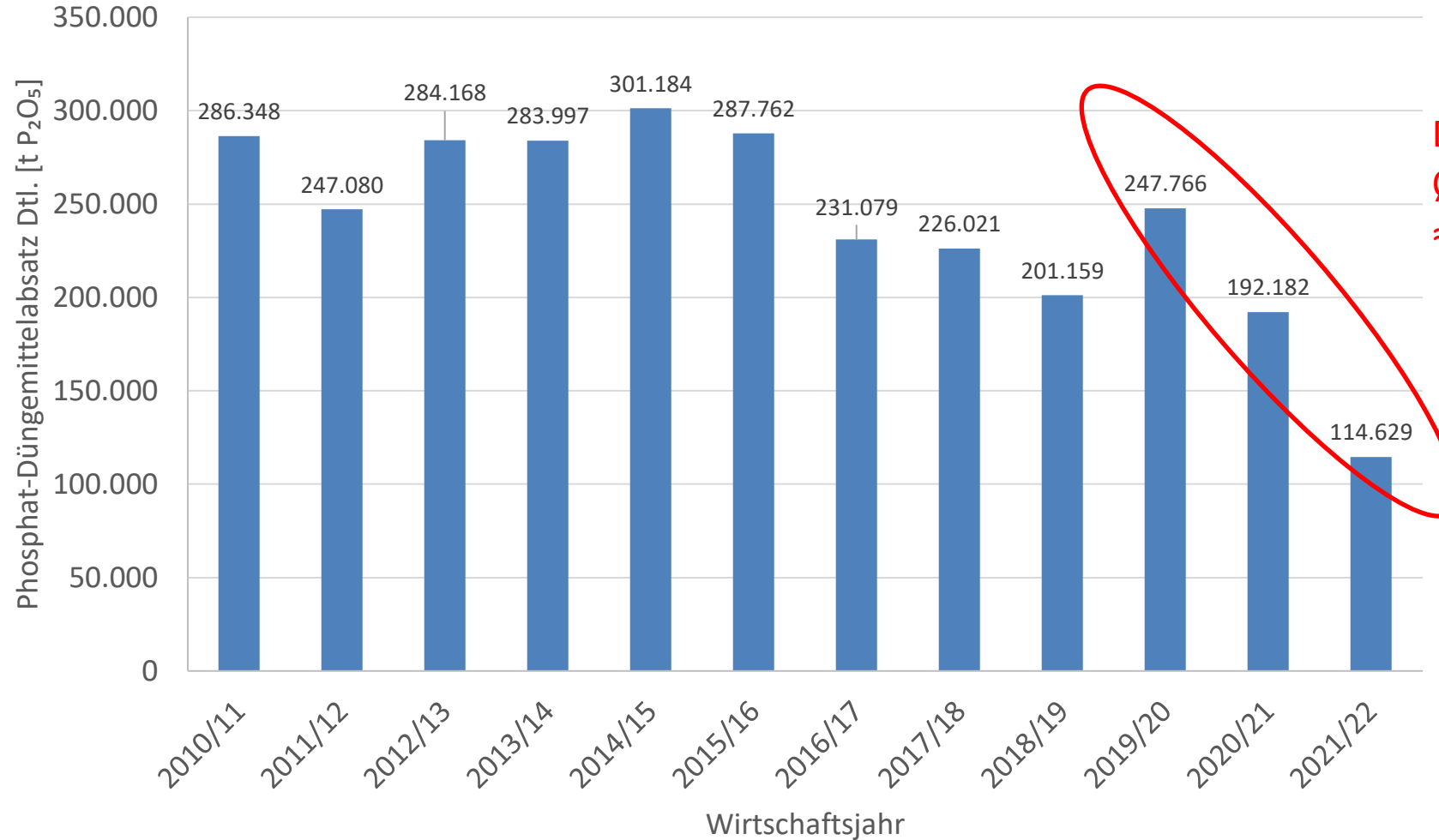
# Nährstoffbedarf in der Landwirtschaft

## Bedarf an Phosphor (P) in der dt. Pflanzenproduktion & Anfall dieser Stoffe mit organischen Stoffen

	P (1.000 t)	N (1.000 t)	K (1.000 t)
<b>Bedarf</b>	533	2.833	2.888
<b>Anfall</b>			
Wirtschaftsdünger	202	1.270	976
Gärreste (mit Gülle)	73	518	389
Kompost	6	24	18
Klärschlämme	16	22	1
Tierische Nebenprodukte	9	153	1
Pflanzliche Nebenprodukte	k.A.	k.A.	k.A.
Erntereste	74	374	812
Humusmehrende Früchte	-	191	-
Zwischenfrüchte zur Gründüngung	-	24	-
<b>Summe Anfall</b>	380	2.576	2.197
<b>Anfall – Bedarf</b>	-153	-257	-691
<b>Nährstofflieferung durch Mineraldünger</b>	131	1.823	381
<b>Saldo</b>	-22	+1.566	-310

# Potential der P-Rückgewinnung

## Inlands Mineraldüngerabsatz an Phosphatdünger (Angabe in Tonnen P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)



Düngemittelabsatz:  
 Ø 185.000 t P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/a  
 ≈ Ø 81.000 t P/a

# Potential der P-Rückgewinnung

## Mineraldüngereinsatz

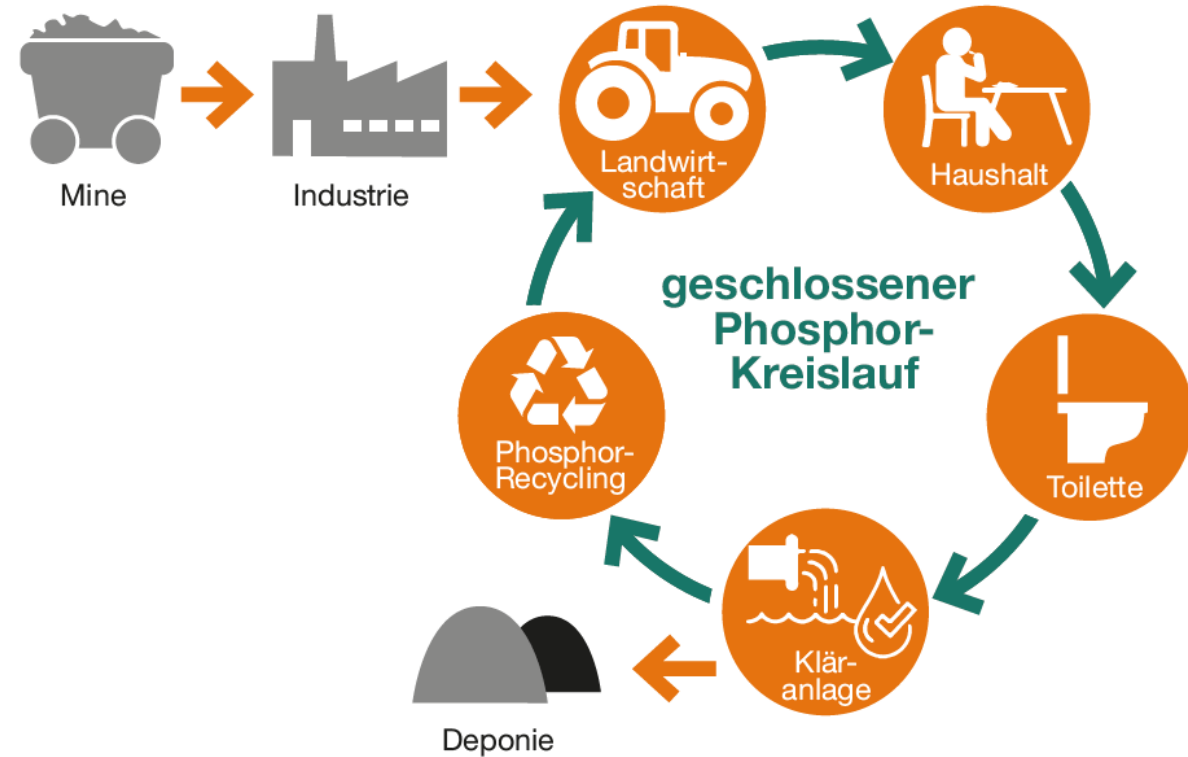
- Phosphor-Düngebedarfswert 533.000 t P/a
- Mineraldüngerabsatz Deutschland Ø 81.000 t P/a
- Kommunaler Klärschlammanfall: 1,85 Millionen t TM/a → 53.000 t P/a
  - Entspricht 10 % des P-Bedarfs
  - Entspricht 65 % des Ø Mineraldüngerabsatzes
  - Also kann diese Menge substituiert werden, wenn Phosphor nachhaltig aus kommunalem Klärschlamm gewonnen wird.
- Die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) & die RWTH Aachen haben im ReFoPlan-Vorhaben extraWERT festgestellt, dass sich unter Einbezug von Verlusten und den verschiedenen Verfahren durch Phosphorrückgewinnung 41 - 46 % des Mineraldüngerabsatzes decken ließe.

\*Daten von 2015

# Phosphorrückgewinnung

## Ziele

- Schließen von Stoffkreisläufen
- Importabhängigkeit Deutschlands verringern
- Rohstoffvorräte schonen
- Verringerung des Schadstoffeintrags in Böden
- Ernährungssicherheit
- Erlangen einer Autarkie



➔ Zur langfristigen Sicherung der Lebensmittelproduktion ist die Phosphorrückgewinnung essenziell!



# Klärschlammverordnung (AbfKlärV 2017)

## Zeitlicher Rahmen der Regelungen zur P-Rückgewinnung nach der novellierten Klärschlammverordnung

2023

heute:  
bodenbezogene Verwertung möglich

bis 31.12.2023:  
Berichtspflicht zu Maßnahmen der  
geplanten P-Rückgewinnung, zur  
bodenbezogenen Verwertung  
oder sonstigen Entsorgung  
+  
Pflicht zu Untersuchungen auf P-Gehalt  
(u. basisch wirksame Stoffe)

2029

ab 01.01.2029:  
P-Rückgewinnungspflicht für  
Kläranlagen mit  $\geq 20$  g P/kg  
Klärschlamm TM

bodenbezogene Verwertung  
möglich für Kläranlagen der  
Ausbaugröße  
 $\leq 100.000$  EW

2032

ab 01.01.2032:  
P-Rückgewinnungspflicht für  
Kläranlagen mit  $\geq 20$  g P/kg  
Klärschlamm TM

bodenbezogene Verwertung möglich  
für Kläranlagen der Ausbaugröße  
 $\leq 50.000$  EW

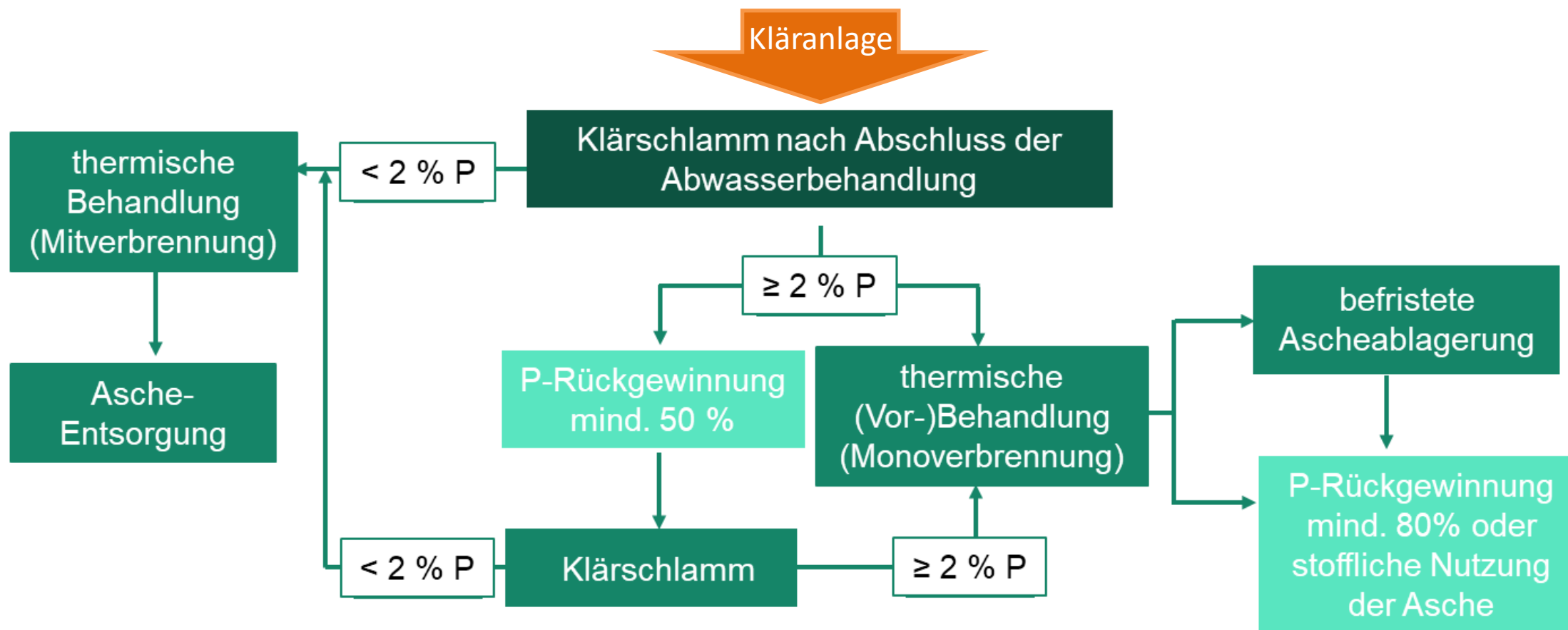
## Wesentliche Inhalte der neuen Regelungen

- Phosphorrückgewinnungspflicht für kommunale Klärschlämme
- gesetzliche zeitliche Vorgabe zur Umsetzung
- Verbot der bodenbezogenen Verwertung von Klärschlamm
- Grenzwertvorgaben

➔ **Auch 5 Jahre nach Inkrafttreten der Novelle ist die Konsequenz der Verordnung bei vielen Funktionsträgern noch nicht bekannt!**

# Klärschlammverordnung (AbfKlärV 2017)

## Regelungen zu Entsorgungs-/ Verwertungswegen bei nicht bodenbezogener Verwertung



# Status Quo der P-Rückgewinnung

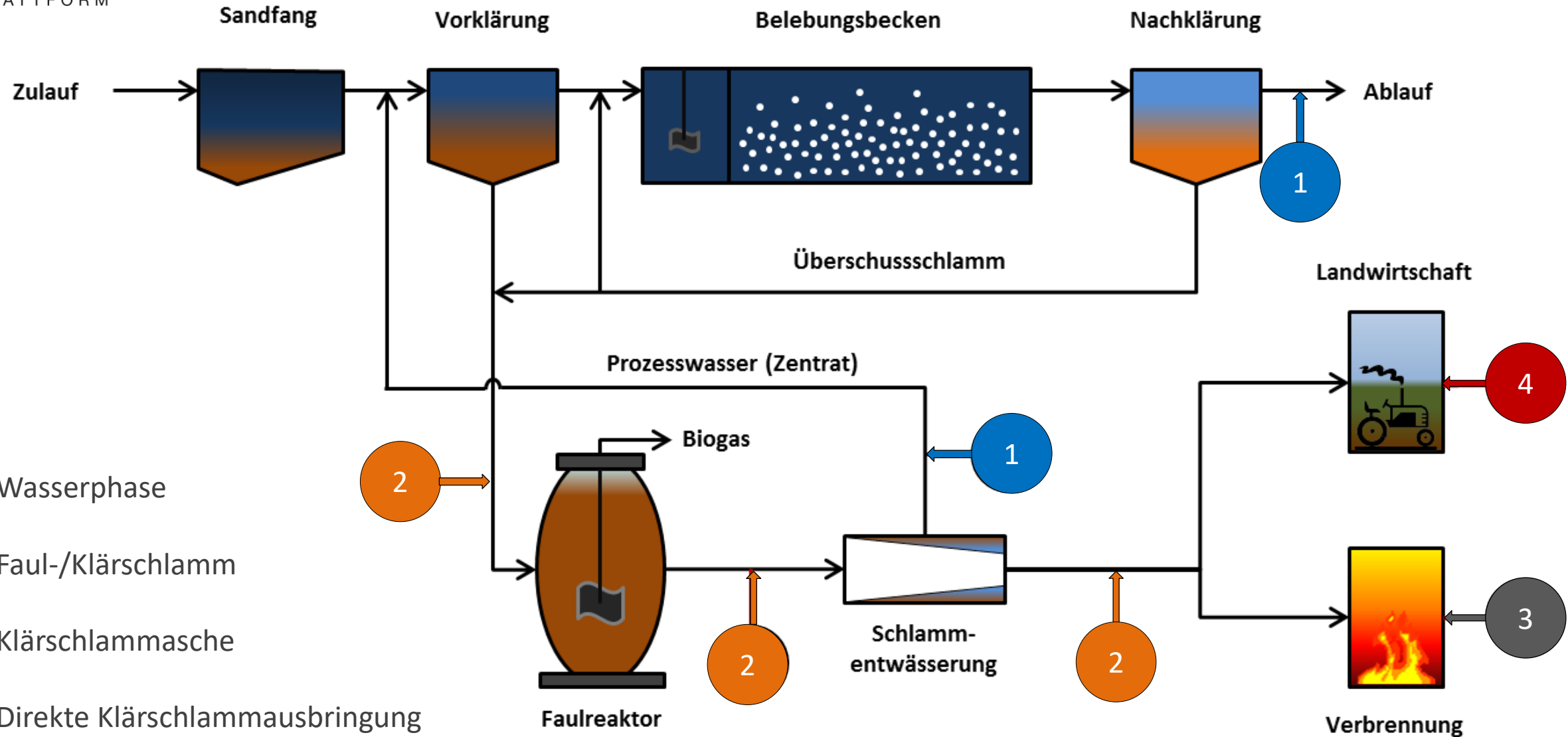
## Stand der Umsetzung

- Durch die **Novellierung der Abfallklärschlammverordnung (AbfKlärV)** hat sich in Deutschland in den letzten Jahren einiges im Bereich der Phosphorrückgewinnung getan.
- Für Kläranlagenbetreiber das primäres Ziel: **Entsorgungssicherheit ihres Klärschlamm**
  - Viele Initiativen und **Kooperationen** zur Monoverbrennung
- Wichtig ist, den **gesetzlichen Anforderungen** gerecht zu werden → [Vollzugshilfe](#) der LAGA zur AbfKlärV
- Vielfältige Fördermaßnahmen durch Bund und Länder
  - Aktuelle Fördermaßnahme Regionales Phosphor-Recycling ([RePhoR](#)) des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF)
- Es stehen viele vielversprechende **Verfahren zur Phosphor-Rückgewinnung** zur Verfügung
  - [Verfahrensübersicht Deutschland](#) auf der DPP-Homepage; [Verfahrensübersicht Europa](#) auf der ESPP-Homepage



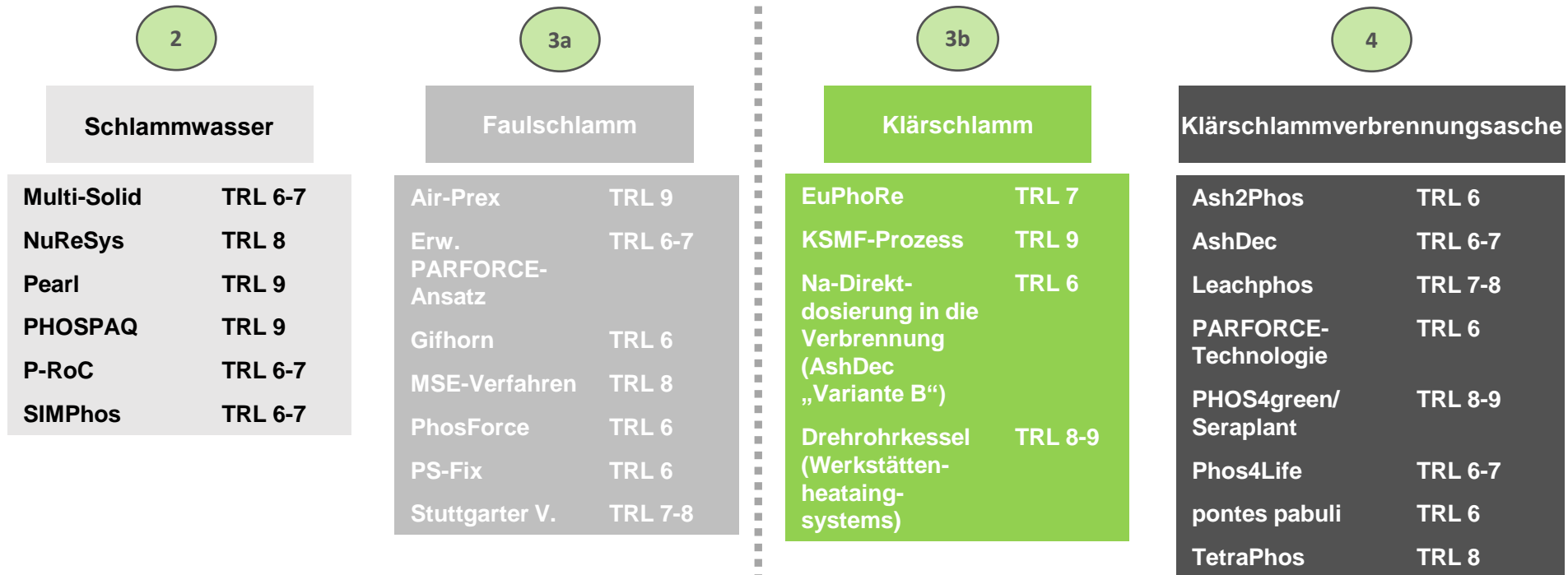
**Einige wenige Projekte sind nun in der Umsetzung vom Pilotmaßstab zur Großtechnik!**

# Verfahrensansatz



# Verfahrenstechnik

## Technologiereifegrade (TRL) der Phosphor-Rückgewinnungsverfahren ab TRL > 6\* (Stand Ende 2022) – Einschätzung der RWTH Aachen



2 + 3a Geltungsbereich Wasserrecht (vor AbfklärV; Ziel < 20 g P/kg TM)

3b + 4 Geltungsbereich Abfallrecht (Rückgewinnung von Phosphor nach AbfklärV)

- TRL beziehen sich ausschließlich auf die Technologie
- Nicht eingeschlossen sind z.B. genehmigungsrechtliche Aspekte, Rezyklat-Verwertbarkeit

# Verfahrenstechnik

- Aktuelle Informationen zu Anzahl & Standorte der verschiedenen Technologien finden Sie in der [Phosphor-Recycling-Technologien Tabelle](#) der Deutschen Phosphor-Plattform
- Informationen zum Ausbau der Phosphor-Rückgewinnung auf kommunalen Kläranlagen und aus Klärschlamm sind von der RWTH Aachen zu erhalten. Refoplan-Vorhaben EvKK – „[Evaluierung verfügbarer Kapazitäten thermischer Klärschlammbehandlung sowie zur Phosphorrückgewinnung](#)“

Anlageninput (z.B. Faulschlamm/ Klärschlamm/ KSA/Andere Abfälle/ Sonstiges)	Verfahren (Name des Verfahrens)	Technologiegeber, Kontakt, Telefonnummer, E-Mail, Webseitenlink	Prozess (Ausführung der einzelnen Prozessschritte)	Produkt	Status (Labor/ Technikum/ großtechnische Umsetzung)	Standort/e (auch ab wann), Größe (z.B. 10.000 t KSA/a)	Kommentar	Daten- aktualisi- erung
Überschussschlamm / Faulschlamm	LysoPhos <sup>®</sup>	CYCLES GmbH <a href="mailto:sales@cnp-cycles.de">sales@cnp-cycles.de</a> <a href="http://www.cnp-cycles.de">www.cnp-cycles.de</a>	Nach der Überschussschlamm- Hydrolyse und vor der Faulung wird der pH-Wert durch NaOH angehoben, durch Zugabe vom MgCl <sub>2</sub> erfolgt eine Fällung zu Struvit (MAP).	Struvit	Technikum	Wolfsburg 2023 190.000 EW , 280 m <sup>3</sup> FS/d	Betreiber baut von AirPrex <sup>®</sup> auf LysoPhos <sup>®</sup> um.  Erfüllt die neue AbfklärV	Stand 05/2023
Faulschlamm einer kommunalen Kläranlage mit Co- Vergärung z.B. Fette aus dem Lebensmittelbereich	Gifhorn Verfahren  (ursprünglich nach dem Verfahrensgeber als „Seaborne- Anlage“ bezeichnet. Später, nach mehrfacher Modifizierung umbenannt)	Firma Seaborne EPM AG Mooshörner Weg 24811 Owschlag Schleswig-Holstein	1. Extraktion der Phosphate aus dem Klärschlamm durch Ansäuerung mit Schwefelsäure 2. Fest- Flüssigtrennung des Schlamms auf einer Zentrifuge 3. Weiterverarbeitung der Flüssigphase durch Zugabe von Magnesium bis zum stöchiometrischen Gleichgewicht der vorhandenen Phosphate, Ammonium ist im Überstand 4. Anhebung des pH-Wertes bis zum Fällungsbereich (pH 8,7 bis 9,0) 5. Abtrennung des ausgefällten MAP aus der Flüssigphase	Amorphes Magnesium- Ammonium- Phosphat mit weiteren mineralischen Verbindungen (Kalziumphosphat, Hydrogenphosphate) und Spurenstoffen.	Großtechnische Umsetzung	38518 Gifhorn Bau der Anlage: 2004 Inbetriebnahme: 2005  Die Ausbaugröße der Kläranlage beträgt 95.000 EW, die derzeitige Belastung liegt bei 65.700 EW. Täglich werden ca. 110 m <sup>3</sup> ausgefauter Schlamm (Dünnschlamm) der Klärschlamm aufbereitungsanlage zugeführt.		Stand 04/2023
Faulschlamm	Stuttgarter Verfahren	iat Ingenieurberatung, Uni Stuttgart	Ansäuerung des Klärschlamm/ P-Rücklösung, Entwässerung, P-Fällung mit MgO in der Flüssigphase	Struvit	Pilotanlage	Offenburg-Griesheim		Stand 2020
Faulschlamm	Stuttgarter Verfahren -System MSE-	MSE Mobile Schlamm- entwässerungs GmbH,	sauerer Leaching, Ultrafiltration, Struvit-Fällung, Produktentwässerung	Struvit	Großtechnische Umsetzung	mobile Anlage, 5.000t Trockenmasse/Jahr	(Wirkungsgrad > 80%)	Stand 03/2023



# Produkte

Ca-Phosphate



Bilder aus DPP-Verfahrenskennblättern zu verschiedenen P-Recyclingtechnologien ([Link](#))



Phosphorsäure



Modifizierte Aschen



Konfektionierte Düngemittel











Struvite, Brushchite



Pyrolysate





<p><b>3 MSE GmbH</b> <i>Struvit</i></p>	<p><b>4 Infraseriv GmbH</b> <i>Doppelsuperphosph.</i></p>	<p><b>5 Sepura GmbH</b> <i>Rhenaniaphosphat</i></p>	<p><b>6 Sepura GmbH</b> <i>Klärschlammmasche</i></p>
			
<p><b>7 Pyreg GmbH</b> <i>KS-Carbonisat</i></p>	<p><b>8 Terranova Energy GmbH</b> <i>Ca-Phosphat</i></p>	<p><b>9 Kopf Syngas GmbH</b> <i>Klärschlammmasche</i></p>	<p><b>10 CNP Cycles GmbH</b> <i>Struvit</i></p>
			

# Phosphatgehalt je Produkt

## Analysenergebnisse von P-Rezyklaten

	MSE Struvit	Infraserve Doppelsupe rphosphat	Sepura1 Rhenania- phosphat	Sepura2 Klärschlamm- masche	Pyreg Karbonisat	Terranova Ca- Phosphat	KopfSyngas Klärschlamm- masche	CNP Cycles Struvit	Mindestwert nach DüMV
P (%)	13	19	8	6	6	7	4	12	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	29	42	19	13	15	15	10	27	10%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> citronensäure- löslich (%)	26,4	37,4	18,2	9,5	12,6	13,9	2,8	23,9	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> neutr.- ammon.löslich (%)	26,9	34,7	17,7	4	11,8	13,6	1,8	24,2	5% (inkl. wasserlöslich- keit)
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> wasserlösl. (%)	0,2	20,1	0	0	0,8	1,3	0	0,2	2,50%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ausschl. mineralsäurelsl. (%)	2,1	7,3	1,3	9	3,2	1,4	8,2	2,8	2%

# Anforderungen an recycelte Materialien

## Rohstoffe für die Düngemittelindustrie

- Die Anforderungen der deutschen DüMV oder der EU-DüPV müssen erfüllt werden
- Die **Wirksamkeit** der Rezyklate muss nachgewiesen werden
  - Mindestanforderungen an die Phosphatlöslichkeit
- Eine technische und/oder chemische **Formulierung** muss möglich und wirtschaftlich sein
- Grenzwerte für **Schadstoffe** müssen eingehalten werden (As, Pb, Cd, Cr, Ni, Hg, Tl, organische Schadstoffe)
- Mindestanforderungen an Nährstoffgehalte (P, N), Grenzwerte ( $C_{org}$ , Verunreinigungen) müssen eingehalten werden
- Die Anforderungen sind in der deutschen & europäischen Verordnung nicht deckungsgleich



Stellungnahme der  
DPP zur DüMV

➡ Bei beiden Verordnungen besteht aus unserer Sicht **Überarbeitungsbedarf!**

➡ DPP ist in Kommunikation mit BMEL & BMU

# P-Rezyklate – Einordnung in die DüMV

1.2.9	Phosphatdünger aus [Bezeichnung nach Anlage 2, Tabelle 6.2]	10 % P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Gesamtphosphat	Phosphat bewertet als Gesamtphosphat Siebdurchgang: 08 % bei 0,63 mm	Phosphathaltige Ausgangsstoffe nach Anlage 2 Tabelle 6.2; aus nur einem Stoff nach Anlage 2	In der Typenbezeichnung ist der Klammersausdruck durch die Bezeichnung nach
2.1	NP-Dünger	fest: 3 % N 5 % P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> als Lösung:	Stickstoff in den Stickstoffformen: fest: 3.1 bis 3.10	Für die Stickstoffformen 3.2 bis 3.10 müssen Gehalte	Auf chemischem Wege, durch Mischen (fest) oder Lösen	Bei Zugabe von Kohlensäurem Kalk aus Meeralgen: - Mindestgehalt nach
2.3	PK-Dünger	fest: 5 % P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 5 % K <sub>2</sub> O als	Phosphat in den Phosphatlöslichkeiten 4.2.1 bis 4.2.11 wasserlösliches	Für Phosphat Gehaltsangaben und weitere Erfordernisse nach	Auf chemischem Wege, durch Mischen (fest), Lösen (Lösung)	Bei Verwendung von Aschen - Mindestgehalt nach Spalte 2 für
2.4	NPK-Dünger	fest: 3 % N 5 % P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 5 % K <sub>2</sub> O	Stickstoff in den Stickstoffformen: fest: 3.1 bis 3.10 als Lösung: 3.1 bis 3.1	Bei den Stickstoffformen 3.2 bis 3.10 müssen Gehalte	Auf chemischem Wege oder durch Mischen (fest), Lösen (Lösung)	Bei Einschließen in Kapseln ist das Düngemittel als verkapselt zu

# P-Rezyklate – Hindernisse in der DüMV

## DPP-Standpunkt zur DüMV + Änderungsvorschläge

Themen (Auszug):

- **Zulässige Ausgangsstoffe in Bezug auf die Klärschlamm:**  
Problem: aktuell müssen Klärschlämme zur P-Rückgewinnung auch für die direkte Klärschlammausbringung zulässig sein.
- **Zulässige Ausgangsstoffe in Bezug auf Klärschlammasche:**  
Problem: Definition Ausgangsstoff unklar. Ausgangsstoffe müssen bereits die Schadstoffgrenzwerte einhalten  
-> viele Aschen können erst nach einer Behandlung die Grenzwerte einhalten
- **Phosphatlöslichkeit in Wasser**  
Problem: Ascheprodukte & Struvite sind ohne zusätzlichen Aufschluss nicht wasserlöslich, können aber trotzdem gute Düngewirkungen erzielen

# Anforderungen an recycelte Materialien

## Auf der Kläranlage gewonnene Produkte – Dünger für den Ökologischen Landbau

- Die AbfklärV greift ausschließlich im Abfallrecht. Diese schließt die Phosphorrückgewinnung auf der Kläranlage nicht ein.
- P-Rezyklate, die z.B. durch Fällungsreaktionen auf der Kläranlage gewonnen werden, haben ein großes Potenzial für den Einsatz im ökologischen Landbau.
  - „saubere“ Produkte → geringe Schadstoffgehalte
  - gute Düngewirkung
  - regionale Produktion
  - nachhaltig
- Der Anteil der ökologischen Anbaufläche soll bis 2030 auf 30 % der gesamten landwirtschaftlichen Fläche in Deutschland ausgeweitet werden.
- Aktuell ist der Versorgungsstatus ökologisch bewirtschafteter Flächen z.T. mangelhaft. (Aussage Bioland beim DPP-Forum 2020)

➡ **Rezyklate können einen Beitrag zur Versorgung ökologisch bewirtschafteter Flächen leisten!**

➡ **Struvit ist 2023 in der EU-Öko-Verordnung aufgenommen worden.**



# Fazit und Ausblick

- Paradigmenwechsel hin zu einer optimierten **Kreislaufführung** und **Ressourcenschonung** von Phosphor
    - Förderung durch den Bund (RePhoR) und Länder
    - Einige wenige P-Recyclingtechnologien sind nun in der Umsetzung vom Pilotmaßstab zur Großtechnik!
  - Gegenwärtig spielen vor allem **rechtliche, technische und ökonomische Faktoren** eine lenkende Rolle
  - Es stehen viele vielversprechende **Verfahren zur Phosphor-Rückgewinnung** zur Verfügung
    - Siehe dazu die [Tabelle auf der DPP-Homepage](#) & die [europäische Verfahrensübersicht](#) auf der ESPP Homepage  
→ beide Tabellen werden gerade aktualisiert
  - Übertragbarkeit der Verfahren im Sinne des **Nährstoffrecyclings** auf andere **Stoffströme**:
    - Gülle, Gärreste, tierische Nebenprodukte & weitere Biomassen
  - DPP setzt sich dafür ein, dass die **düngemittelrechtlichen Regelwerke** dem Kerngedanken der **Kreislaufwirtschaft** nicht entgegenstehen z.B. mit Ansprache durch das [Politikmemorandum](#)
- ➔ **Phosphorrückgewinnung und nachhaltige Phosphornutzung sind zukünftig noch in vielen Bereichen ausbaufähig, sei es die Anpassung bestehender Verordnungen oder die Erweiterung auf andere Bereiche!**

# Düngewirksamkeit

Aktuelle Ergebnisse von Gefäßversuchen des Hessischen Umweltministeriums im Abschlussbericht „P-Düngewirksamkeit von Klärschlamm-Rezyklaten“ (veröffentlicht Oktober 2022)

Link: <https://umwelt.hessen.de/nachhaltigkeit-und-ressourcenschutz/phosphorrueckgewinnung>



Fotodokumentation der Aufwüchse jeweils vor der Nutzung (8. Schnitt)

1 Kontrolle    2 TSP    3    4    5    6    7    8    9    10



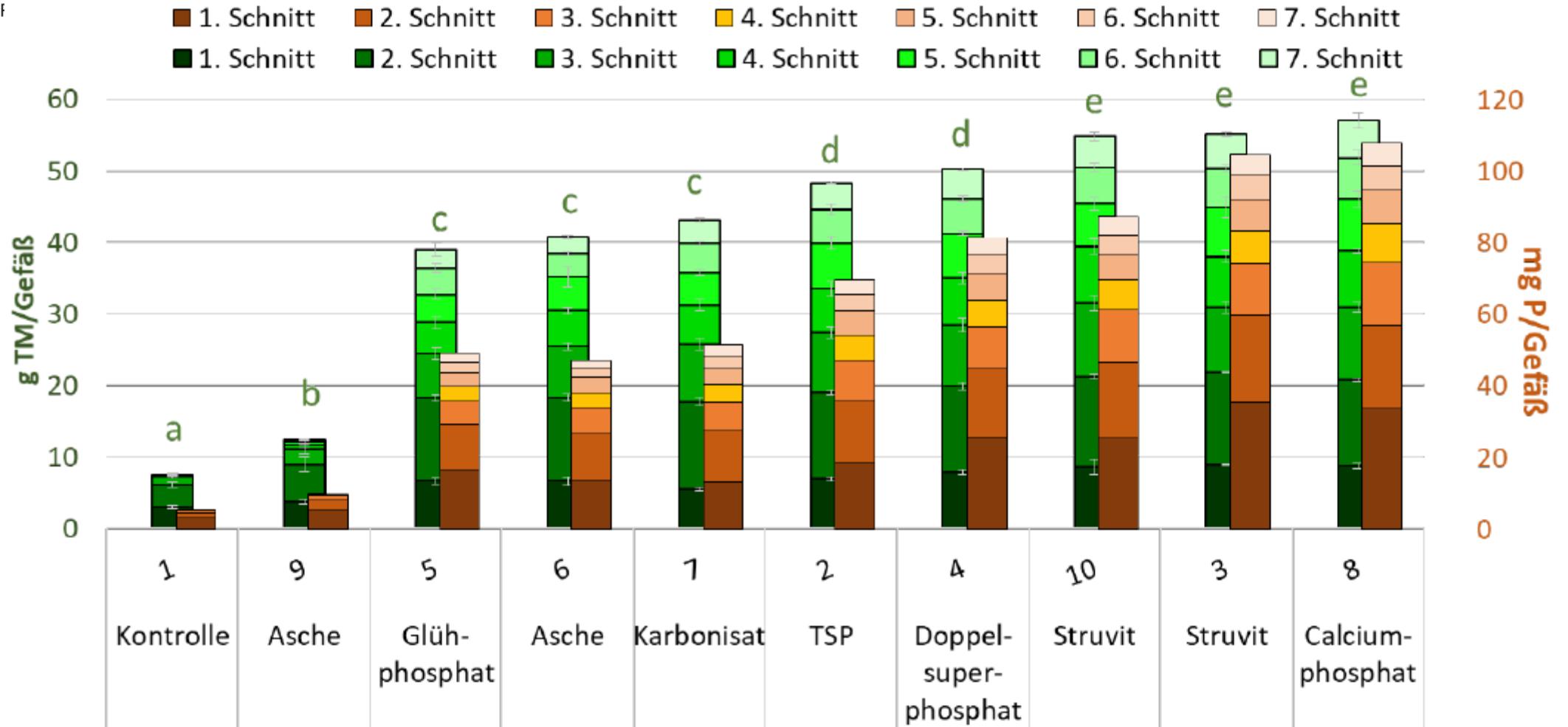
30.09.2021



**Gute Produkte, die gut pflanzenverfügbar sind! Produkte zeigen hohe Evidenz!**



# Düngewirksamkeit



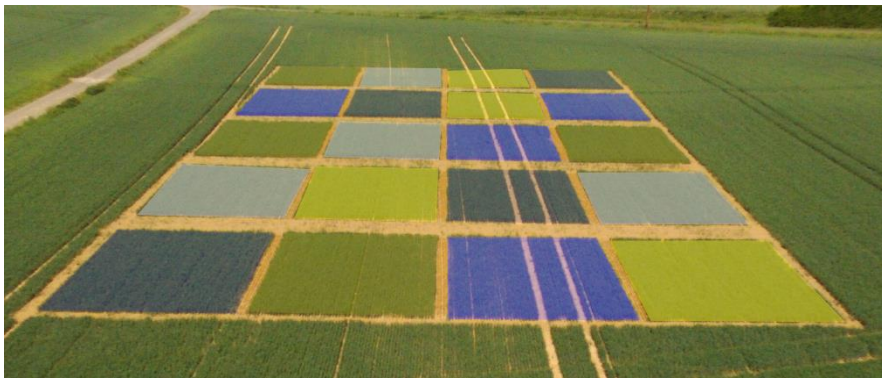
GRÜN: Kumulierte Trockenmasseproduktion (g/Gefäß) der einzelnen Schnitte  
 BRAUN: Phosphoraufnahme des Aufwuchses (mg/Gefäß) der einzelnen Schnitte.

# Düngewirksamkeit

## EiP-Projekt: KasPER

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

- Fragestellungen: Wie ist die Pflanzenverfügbarkeit von P-Rezyklaten? Wie ist die Umweltverträglichkeit?
- Feld- und Containerversuche



- Kontakt: Prof. Dr. Diedrich Steffens, Maximilian Adami | Uni Gießen



Deutsche Phosphor-Plattform

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Deutsche Phosphor-Plattform DPP e.V.  
Bornheimer Landwehr 46HH  
60385 Frankfurt am Main



+49 (0) 171 2269 953



info@deutsche-phosphor-plattform.de



<http://www.deutsche-phosphor-plattform.de>