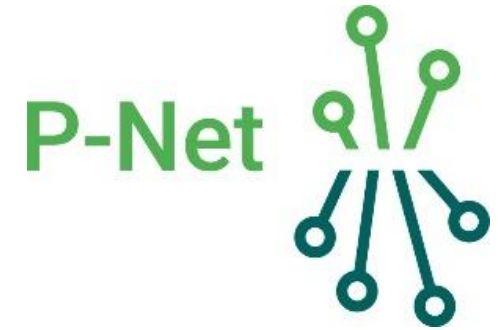


Ertüchtigung der Struvit-Schiene durch das PECO-Verfahren – Erfahrungen aus dem Projekt P-Net

Prof. Dr.-Ing. Thomas Dockhorn
Stefanie Meyer, M.Sc.

ISWW
SE|BS

Transferevent RePhoR am 16.06.2026, Hannover



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt

FONA
Forschung für Nachhaltigkeit

RePhoR
REGIONALES PHOSPHOR-RECYCLING


Technische
Universität
Braunschweig
ISL
Institut für Siedlungswasserwirtschaft

ISOE Institut für
sozial-ökologische
Forschung
 Abwasserverband
Braunschweig

ASG
SE|BS
BS|ENERGY Gruppe

JKI
Julius Kühn-Institut
Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen

PFI  **SOEPENBERG**
since 1954

Dank gilt allen Projektpartnern für sechs Jahre gute und erfolgreiche Zusammenarbeit!



Partner und APs in P-Net

Verbundpartner



Arbeitspakete

- AP 1 Stoffstrombehandlung → **PECO-Verfahren**
- AP 2 Produkte und Märkte
- AP 3 Institutionen und Akteure
- AP 4 Verallgemeinerung
- AP 5 Koordination und Projektmanagement

Der P-Net Ansatz zum P-Recycling

Treiber:

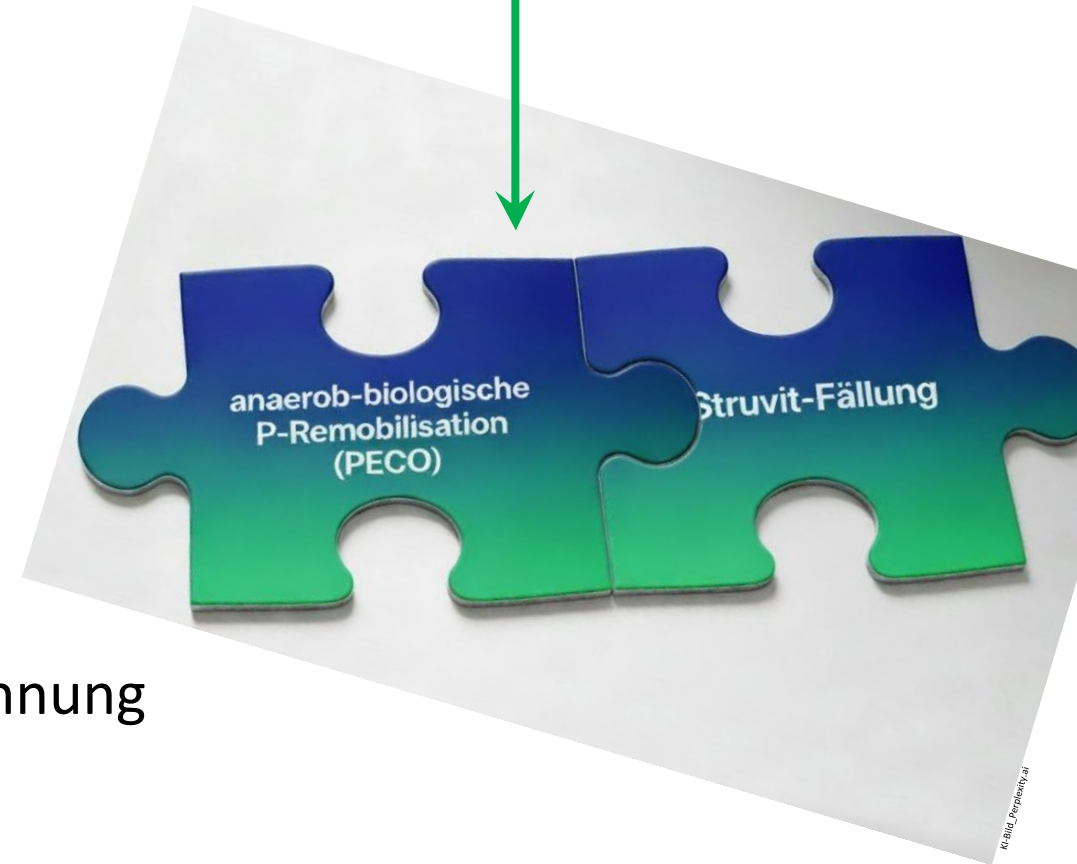
Novellierung
Klärschlammver-
ordnung 2017
(AbfKlärV)

Faulschlamm:

> 20 g P/ kg TM = Monoverbrennung

Faulschlamm:

< 20 g P/ kg TM = Mitverbrennung



**Biology
First!**



**Anaerob-
biologische P-
Remobilisierung**

*https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fd2j2rreg6sh3.cloudfront.net%2Fimage-handler%2Fpicture%2F2021%2F8%2Fshutterstock_1542887327.jpg&tbnid=s0loYFjy3vTxM&vet=12ahUKEwj6bPd_52EAXVezQIHHe2vD9wQMjgJegQIARBD..&imgrefurl=https%3A%2F%2Fwww.news-medical.net%2Flife-sciences%2FUsing-microorganisms-to-treat-cancer.aspx&docid=fZgkC44iMduM&w=673&h=504&q=microorganisms&ved=2ahUKEwj6bPd_52EAXVezQIHHe2vD9wQMjgJegQIARBD

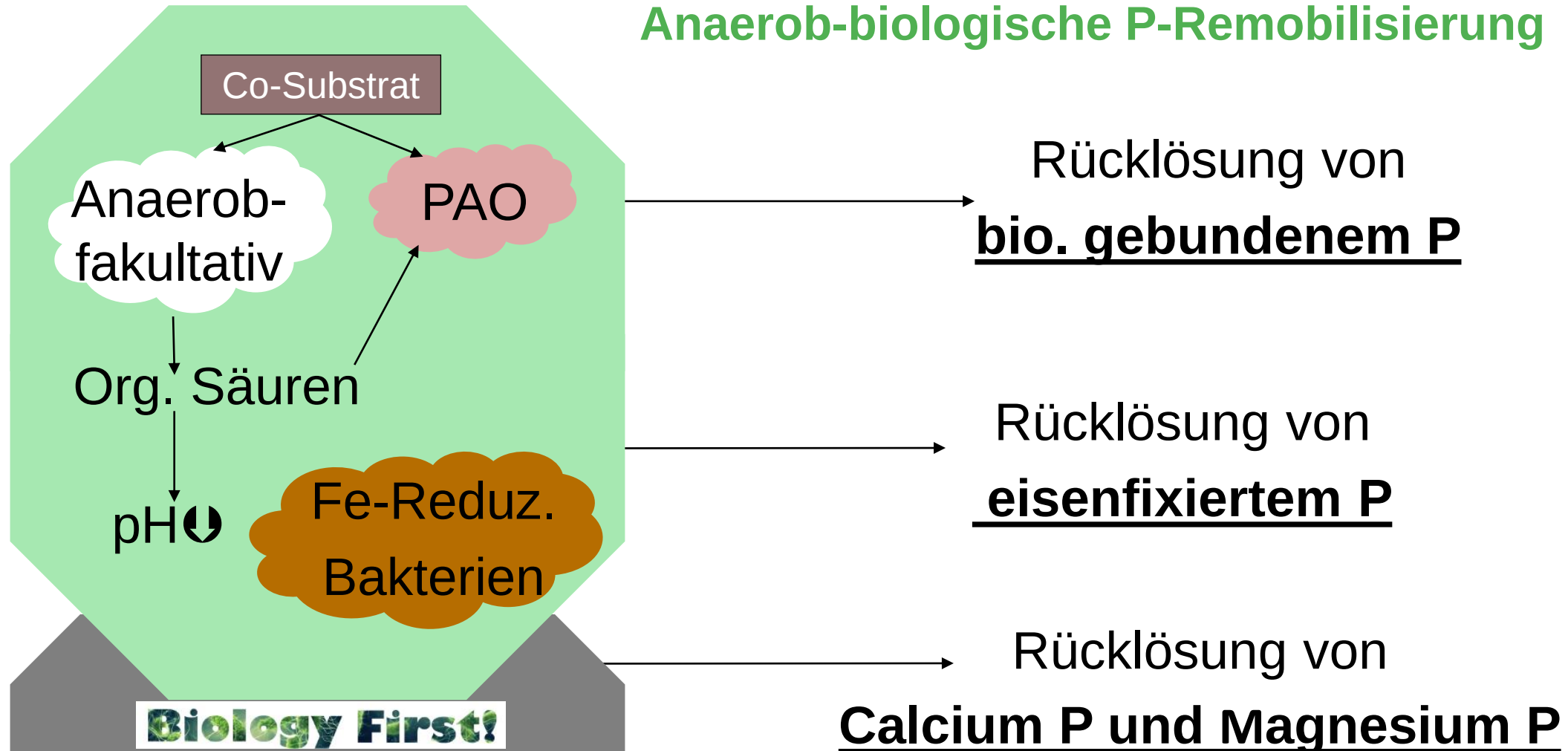
**Chemistry
Second!**

Struvit-Fällung

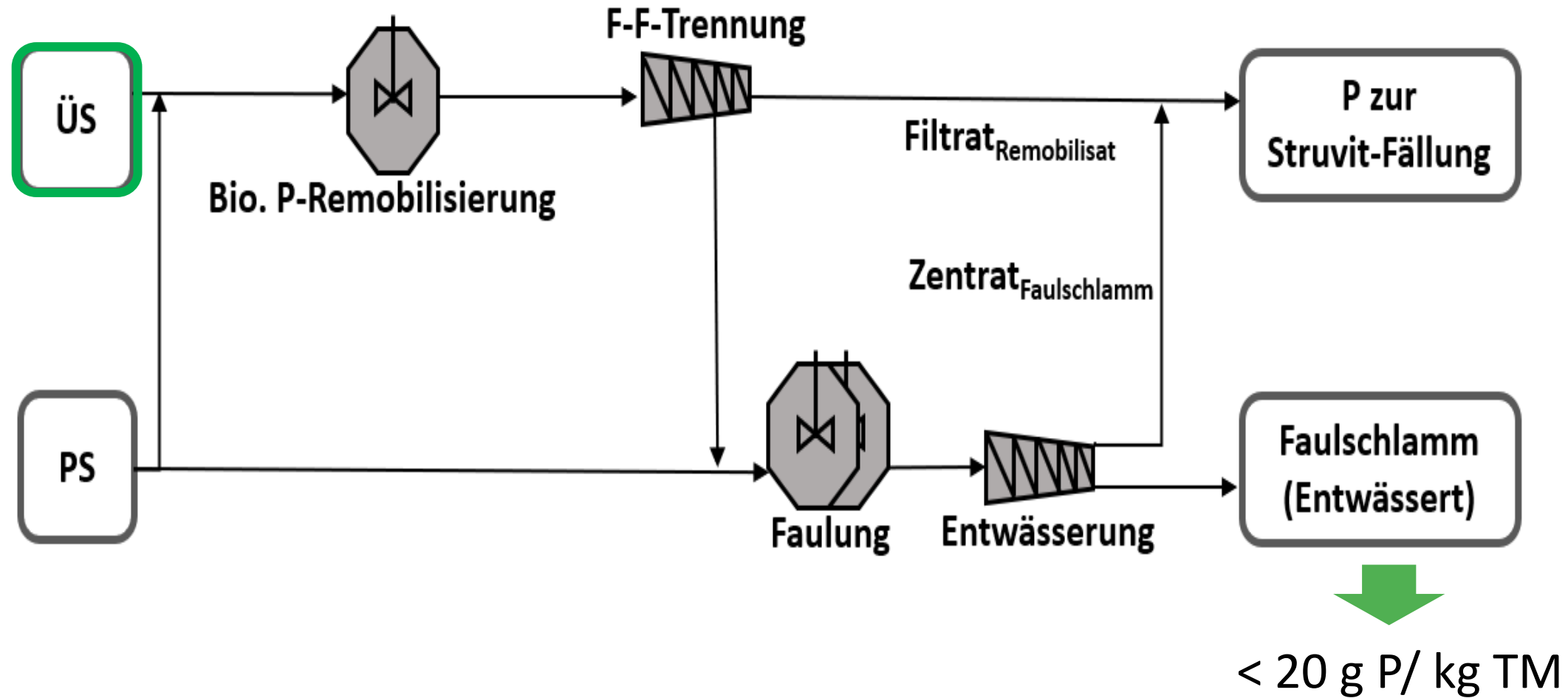


*<https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fwww.sciencefriday.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2023%2F11%2Felemental-feat-image.jpg&tbnid=NCuut8fcyGWM&vet=10CD8QMjgNamoXChMjYkV5YaeHAmVAAAAAAB0AAAAEALU..&imgrefurl=https%3A%2F%2Fwww.sciencefriday.com%2Fsegments%2Ffive-elements-of-life-elemental%2F&docid=8AZCnDBnGsyYYM&w=1800&h=1200&q=chemistry%20pic%20green&ved=0CD8QMjgNamoXChMjYkV5YaeHAmVAAAAAAB0AAAAEALU>

Die Funktionsweise des PECO-Verfahrens



Die Einbindung des PECO-Verfahrens auf der Kläranlage

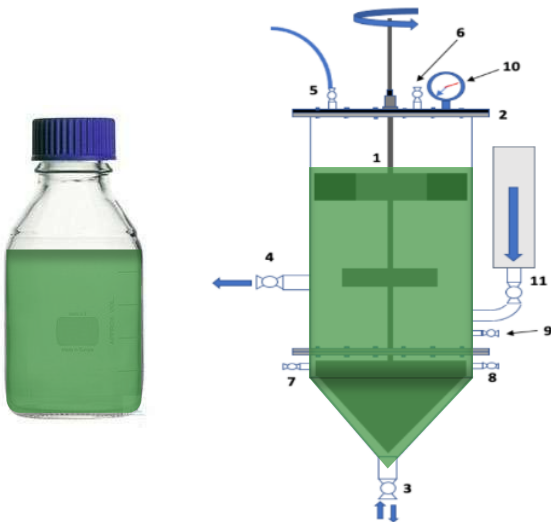


Die Historie des PECO-Verfahrens

2005 2012 2020 Nov. 2022 Nov. 2023 – April 2025

T.Dockhorn T. Esemén

...



Labor Technikum



Upscaling



Full-Scale

Die praktische Umsetzung des PECO-Verfahrens

Kläranlage Braunschweig



- 350.000 EGW
- **Biologische P-Elimination**
- Großtechnische Struvit-Fällung vorhanden
- Großtechnischer Betrieb in 2023/ 2024/ 2025

Kläranlage Gifhorn



- 65.000 EGW
- **Eisenfällung zur P-Elimination**
- Improvisierte Struvit-Fällung aufgebaut
- Großtechnischer Betrieb in 2024

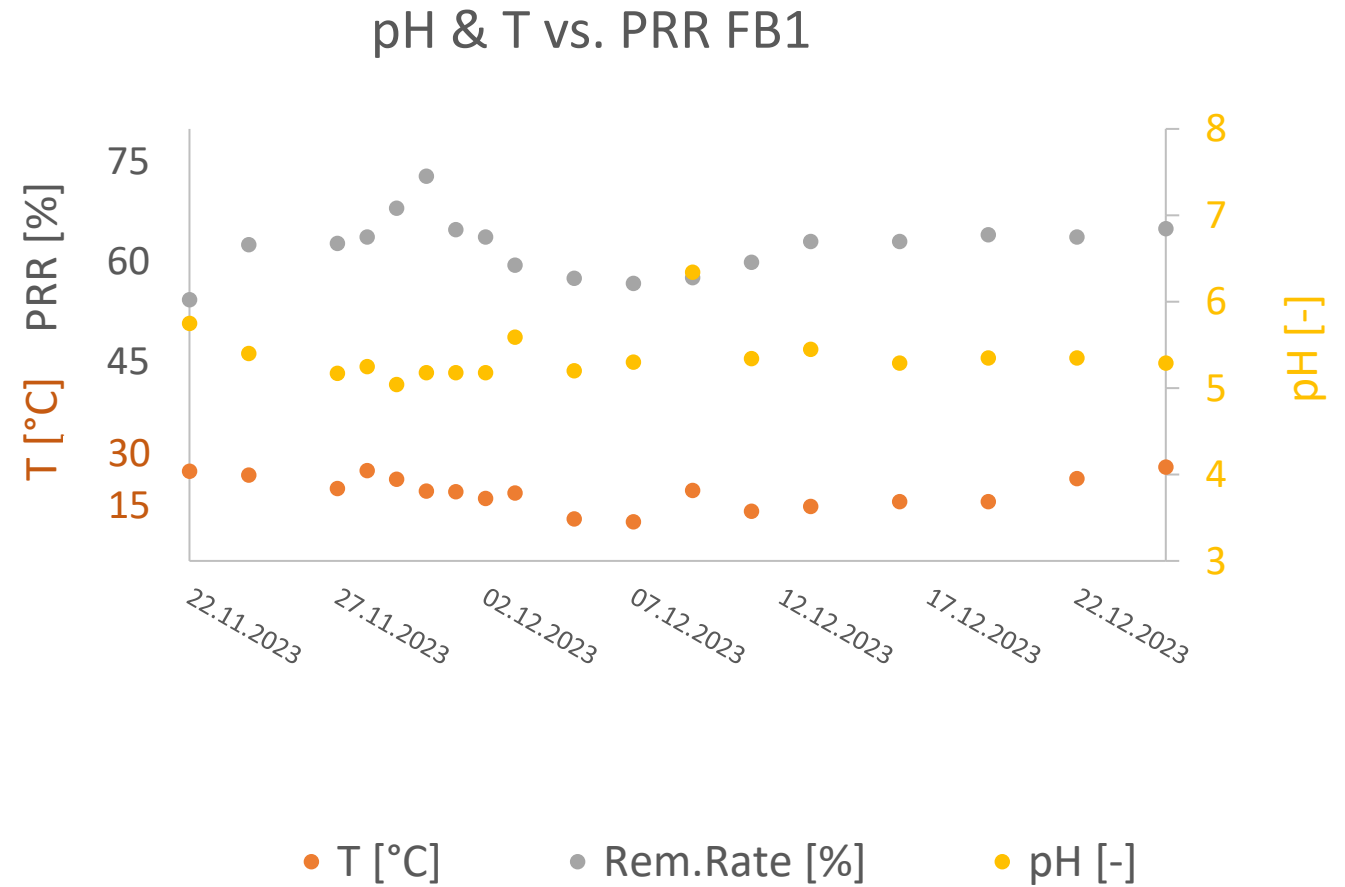
Das PECO-Verfahren in Braunschweig - Ergebnisse



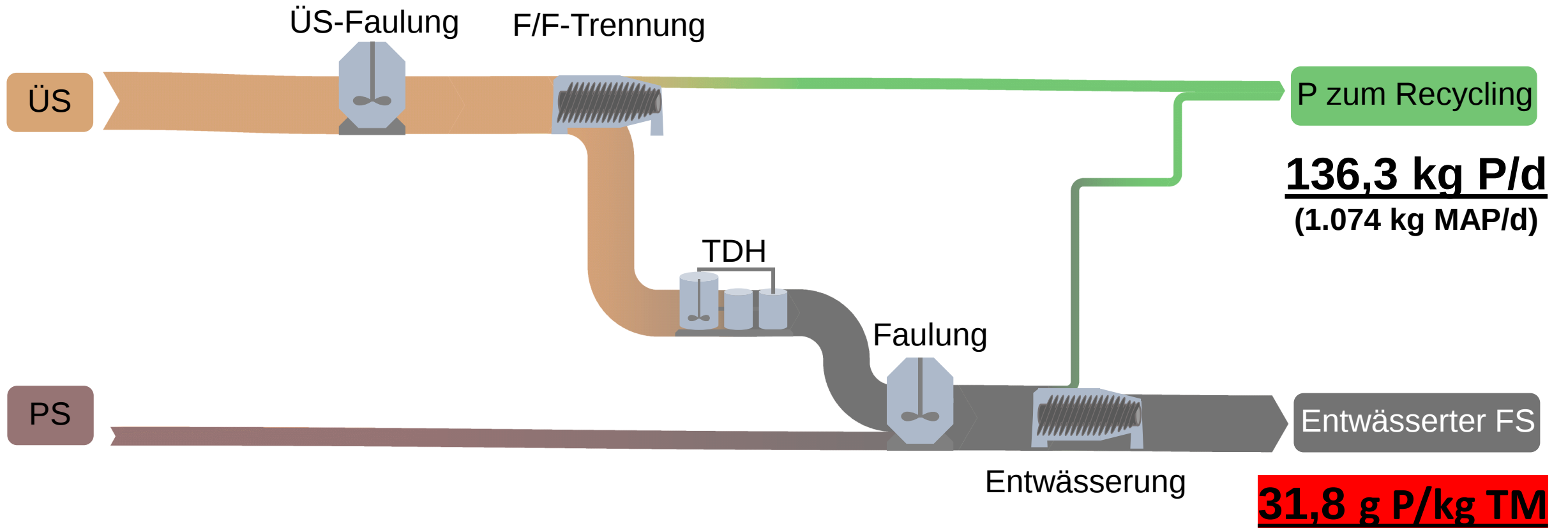
► $V = 2.100 \text{ m}^3$ ► $\text{HRT} \approx 4,5 \text{ d}$

► $T \approx 20\text{-}30 \text{ }^\circ\text{C}$ ► $\text{pH} \approx 5,3$

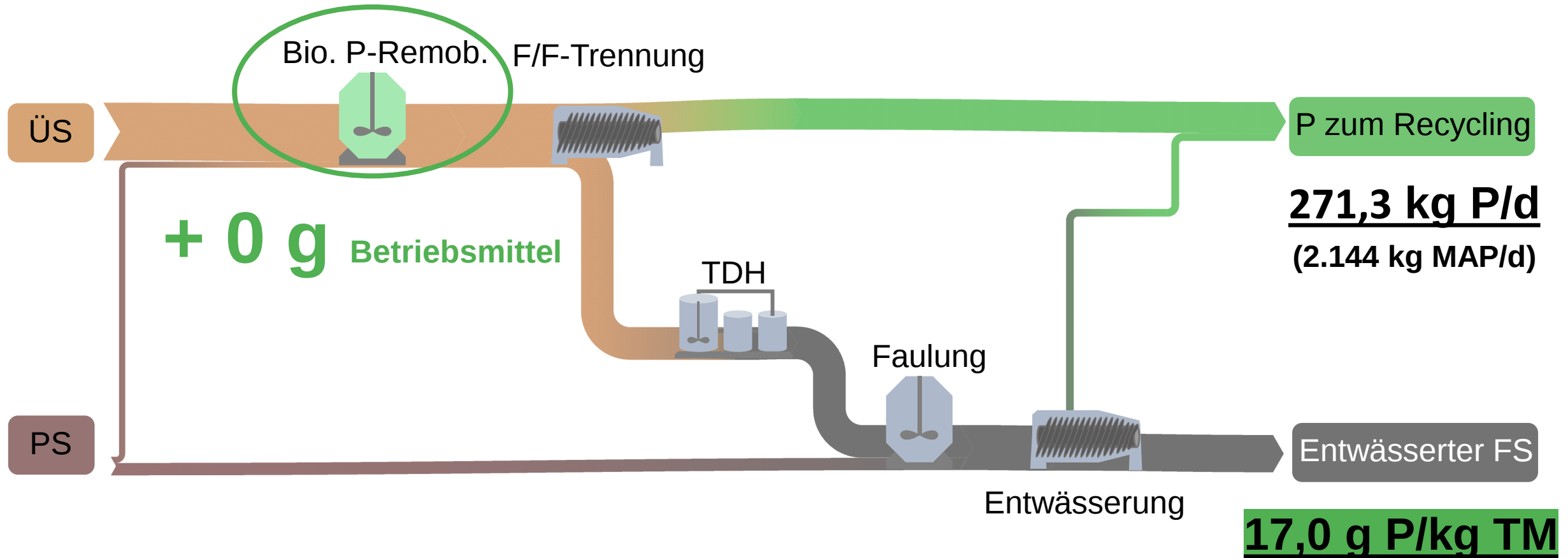
$\text{PO}_4\text{-P}/\text{P}_{\text{ges}} = 50 \text{ bis } 60\%$



Der Phosphor-Pfad in Braunschweig – ohne PECO



Der Phosphor-Pfad in Braunschweig – mit PECO



Das PECO-Verfahren in Gifhorn - Ergebnisse

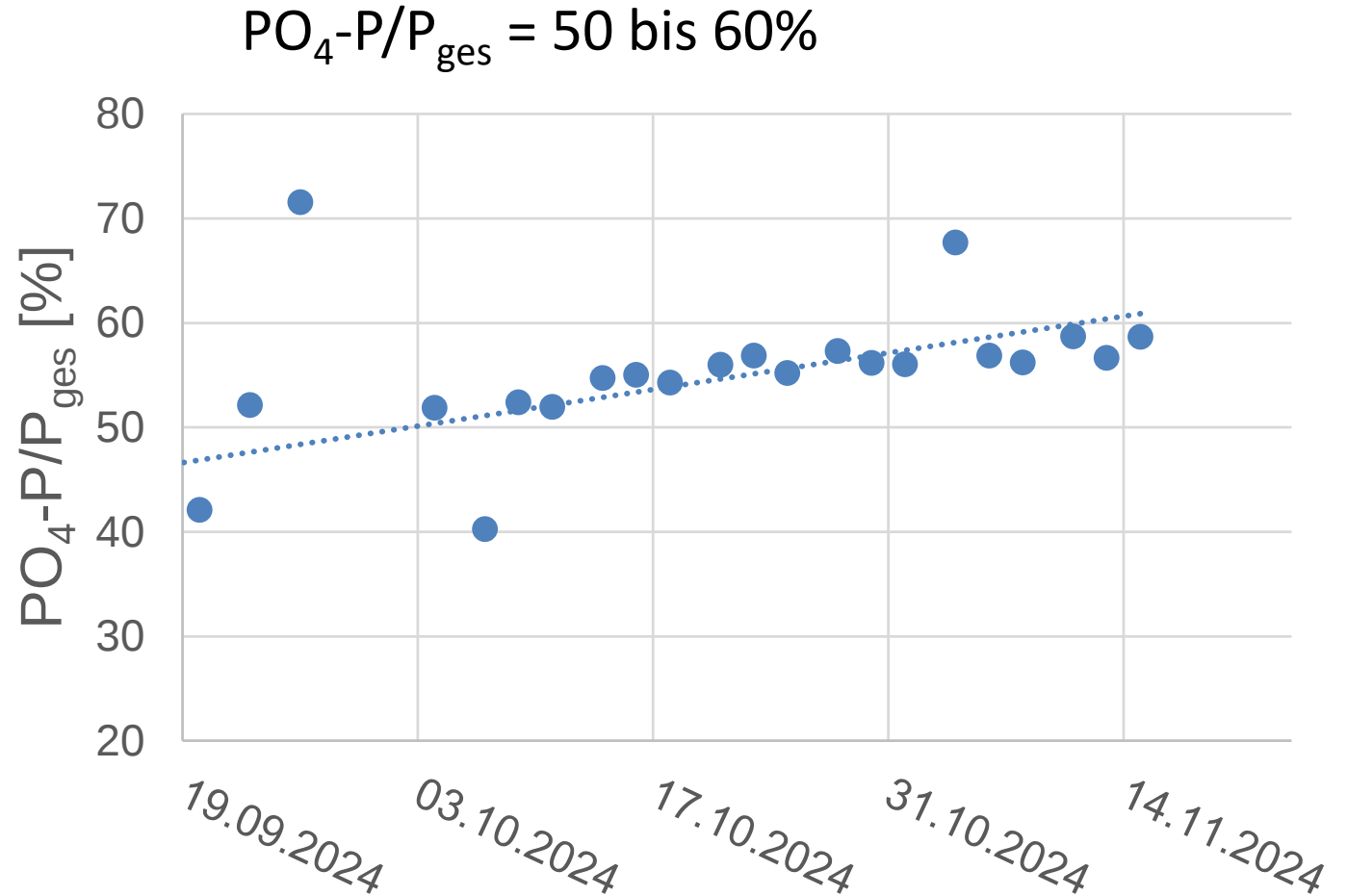


- ▶ $V = 2.000 \text{ m}^3$ ▶ $\text{HRT} = 5,5 \text{ d}$
- ▶ $T \approx 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ▶ $\text{pH} = 5,4$

ohne PECO = **35,7 g P/ kg TM FS**



mit PECO = **18,5 g P/ kg TM FS**



Optimierung der Struvit-Fällung – Betriebsmittel Magnesium

Produktionsnebenstrom bei der Kaligewinnung (K+S) = SL 22
entspricht 20 - 30% MgCl_2 -Lösung



Labor

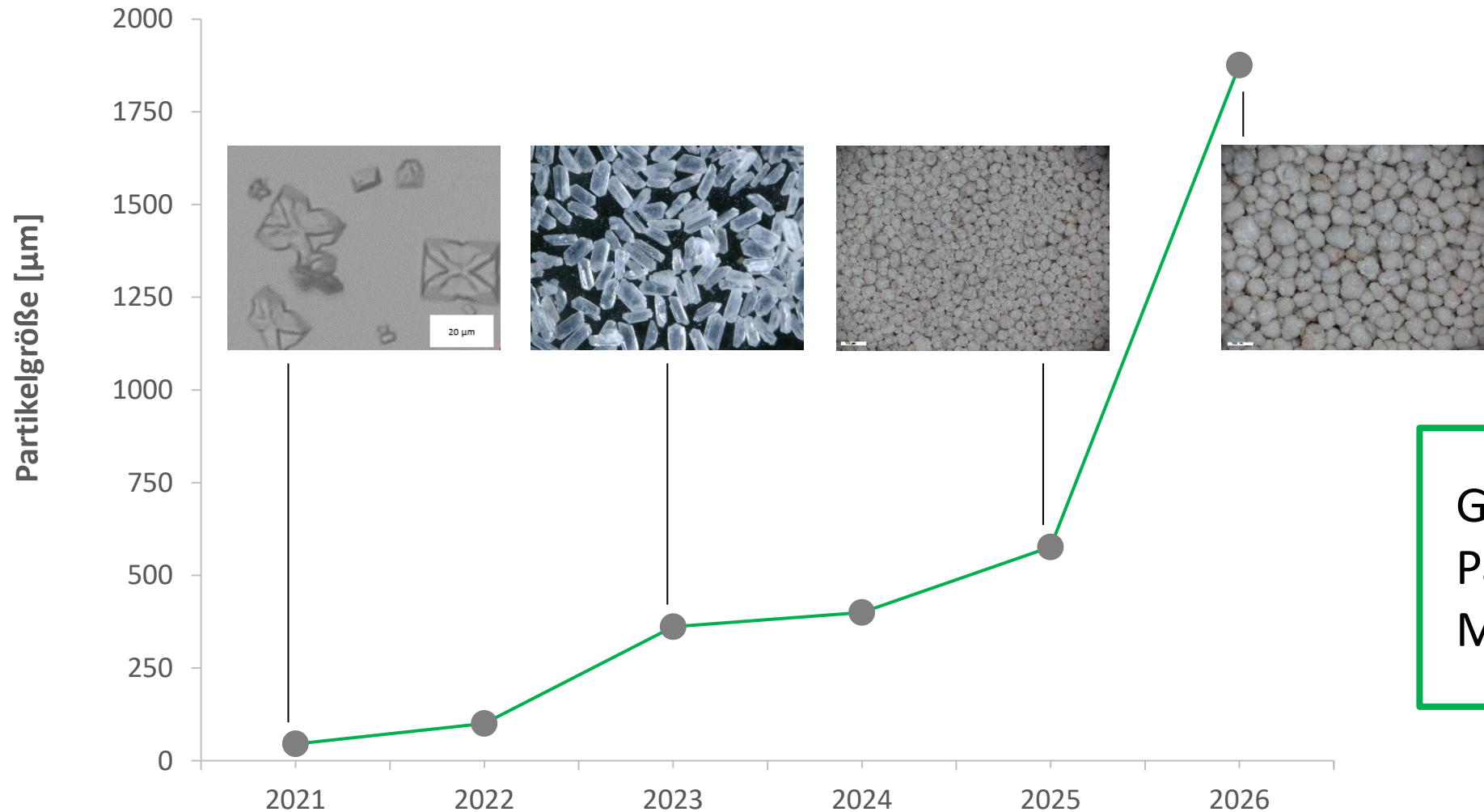


Großtechnischer
Einsatz in Gifhorn



Struvit-Fällung ohne Probleme
und mit gewohnter Qualität

Optimierung der Struvit-Fällung – Partikelgröße und Morphologie

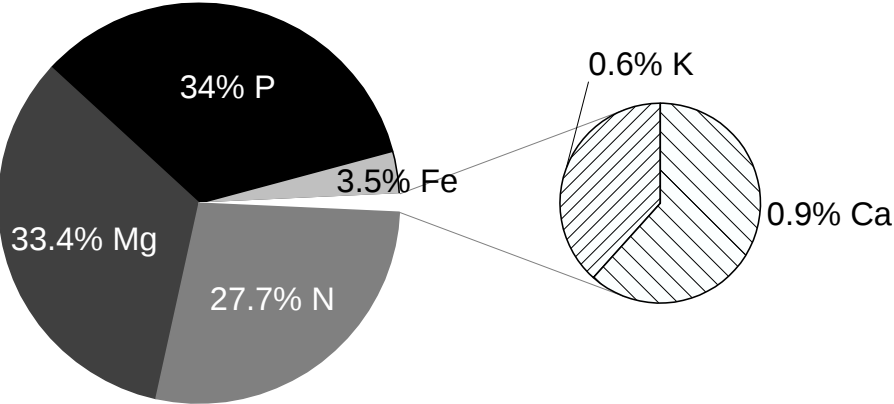


Gezielte Gestaltung von
Partikelgröße und
Morphologie möglich

Das PECO-Verfahren – Struvit-Qualität



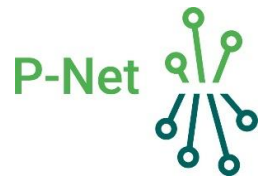
Molare Zusammensetzung PECO-Struvit (ICP-OES)



Schwer- metall	P-Net Struvit*	GW DüMV
As	<1	40
Pb	<0,5	150
Cd	<0,1	1,5
Co	1,93	-
Cr _{ges}	4	300
Cu	1,22	-
Ni	1,59	80
Tl	<0,2	1
Zn	2,23	-

Angaben in (mg/kg TM)
GW: Grenzwert d. Düngemittel-VO
*Mittelwert

Wirtschaftlichkeit in P-Net



Jahreskosten - Zusammenfassung	Anlagengröße			
	20.000 EW	50.000 EW	100.000 EW	1.000.000 EW
Kosten				
Kapitalisierte Investkosten (nach KVR) (Bau, M- und EMSR-Technik)	220.000 €	245.000 €	276.000 €	925.000 €
Wärme	2.000 €	6.000 €	12.000 €	118.000 €
Strom	11.000 €	25.000 €	51.000 €	479.000 €
Betriebschemikalien (Polymer, MgCl, NaOH)	24.000 €	60.000 €	120.000 €	1.200.000 €
Personalaufwand	31.000 €	39.000 €	47.000 €	88.000 €
Wartung	36.000 €	40.000 €	45.000 €	135.000 €
Schlamm Entsorgung Mitverbrennung (75 €/t)	104.000 €	260.000 €	520.000 €	5.201.000 €
Summe Kosten	428.000 €	675.000 €	1.071.000 €	8.146.000 €
Einsparungen				
Verringerung Polymerbedarf (-10%)	- 2.000 €	- 5.000 €	- 10.000 €	- 100.000 €
Einsparung Belüftungsenergie (N-Reduzierung)	- 400 €	- 1.100 €	- 2.200 €	- 22.000 €
Einsparung Fe-Fällmittel	- 3.400 €	- 8.600 €	- 17.200 €	- 172.500 €
Summe Einsparungen	- 5.800 €	- 14.700 €	- 29.400 €	- 294.500 €
Ersparnis durch entfallende Monoverbrennung + Ascheaufbereitung + Zwischenlagerung (187,50 €/t)	- 274.000 €	- 685.000 €	- 1.371.000 €	- 13.708.000 €
Wirtschaftlicher Vorteil (bei Entfall Monoverbrennung)	- 148.200 €	24.700 €	329.400 €	5.856.500 €
Struvitmenge (t Struvit_{trocken}/a)	36 t Struvit/a	89 t Struvit/a	178 t Struvit/a	1.782 t Struvit/a

(alle Kostenangaben sind Jahreskosten in €/a)

Untersuchung der agronomischen Effizienz von Struvit

Laboranalysen



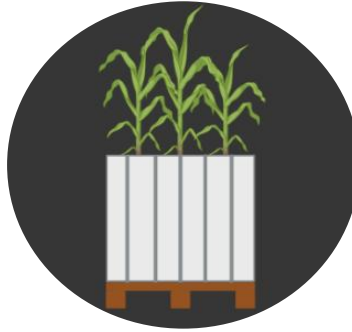
ab 2021

Gefäßversuch



2021

Mesokosmen-
Versuch



2023-2025

Exakt-
Feldversuch



2022-2025

On-Farm-
Versuche



2022/2023

kontrollierte Bedingungen

praxisnahe Bedingungen

erstellt mit <https://BioRender.com>

- Die Darbietungsform (zermahlen oder Pellets) hat Einfluss auf die Geschwindigkeit der P-Verfügbarkeit
- Mesokosmenversuche liefern belastbare Ergebnisse mit großem Praxisbezug durch großes Volumen und Einsatz von Pellets
- Struvit für Erhaltungsdüngung und Ökolandbau sehr gut geeignet!

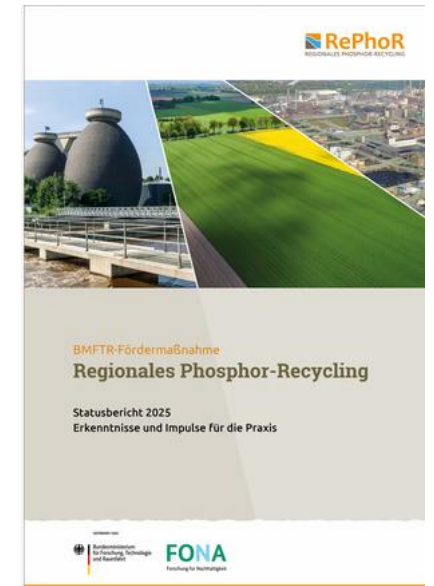


Zwischenfazit: Einige der Kernaussagen aus P-Net

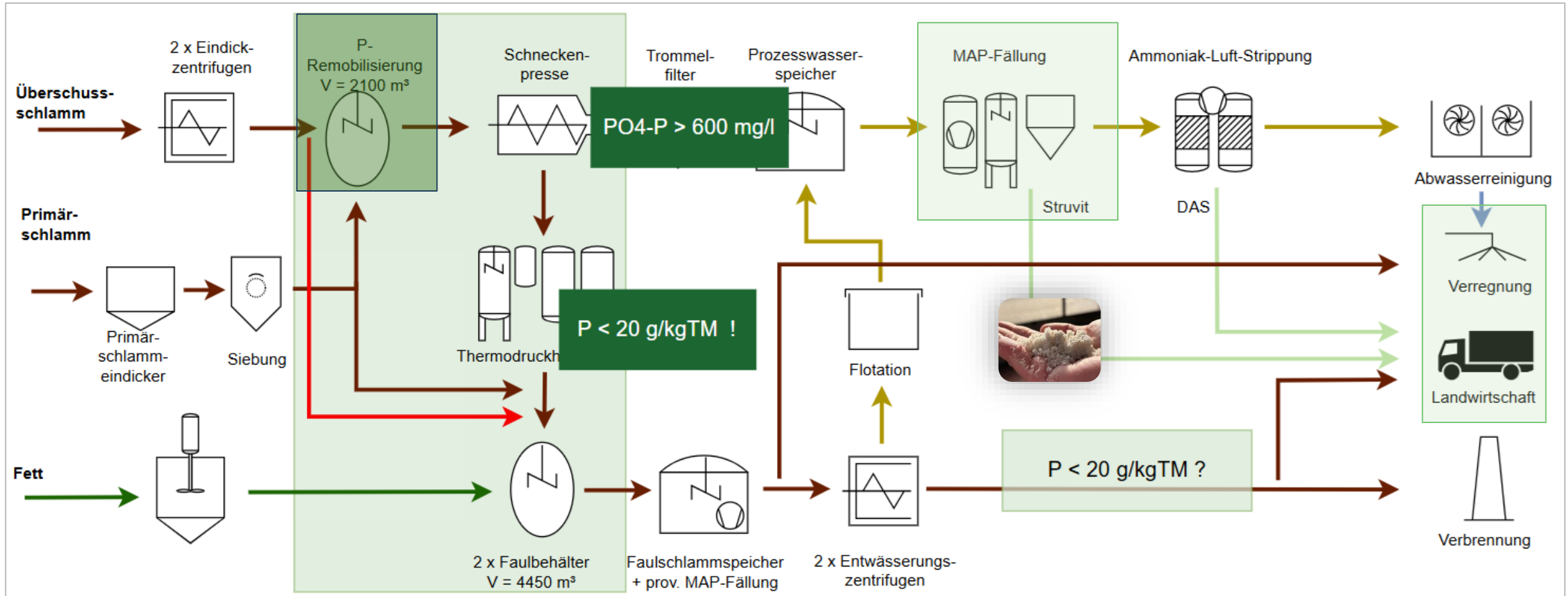
➔ P-Net war ein erfolgreiches inter- und transdisziplinäres Projekt mit komplexer Fragestellung und großem Praxisbezug!

1. Die **biologische P-Remobilisierung** und anschließende Fällung ist eine **Alternative zum P-Recycling aus der KS-Asche** und erfüllt die gesetzlichen Vorgaben der Klärschlammverordnung.
2. **P-Recycling ist auf Kläranlagen** (über Remobilisierung und Fällung) **möglich** und braucht keine zentralisierte Infrastruktur.
3. Die biologische P-Remobilisierung ist **sehr ressourceneffizient** im Vergleich zu chemischen/thermo-chemischen Verfahren.

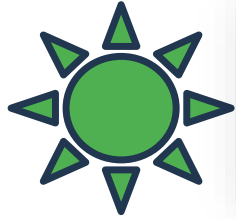
➔ Umfangreiche Kernaussagen hinsichtlich Düngewirkung und rechtlicher Rahmenbedingungen im **RePhoR Statusbericht 2025**.



Einbindung in die Großtechnik in Braunschweig – Versuchsphase Teilstrom



Erkenntnisse aus der Großtechnik in Braunschweig – Versuchsphase Teilstrom



- Remobilisierungsraten > 60 % im stabilen Prozess möglich
- P-Remobilisierung auch von FeP
- Remobilisierungsraten führen zu einer deutlichen Entfrachtung (Schlamm nach Remobilisierung und Entwässerung))
- Hohe Phosphatkonzentrationen im Prozesswasser > 600 mg/l
- Erzeugung eines reinen Struvitproduktes

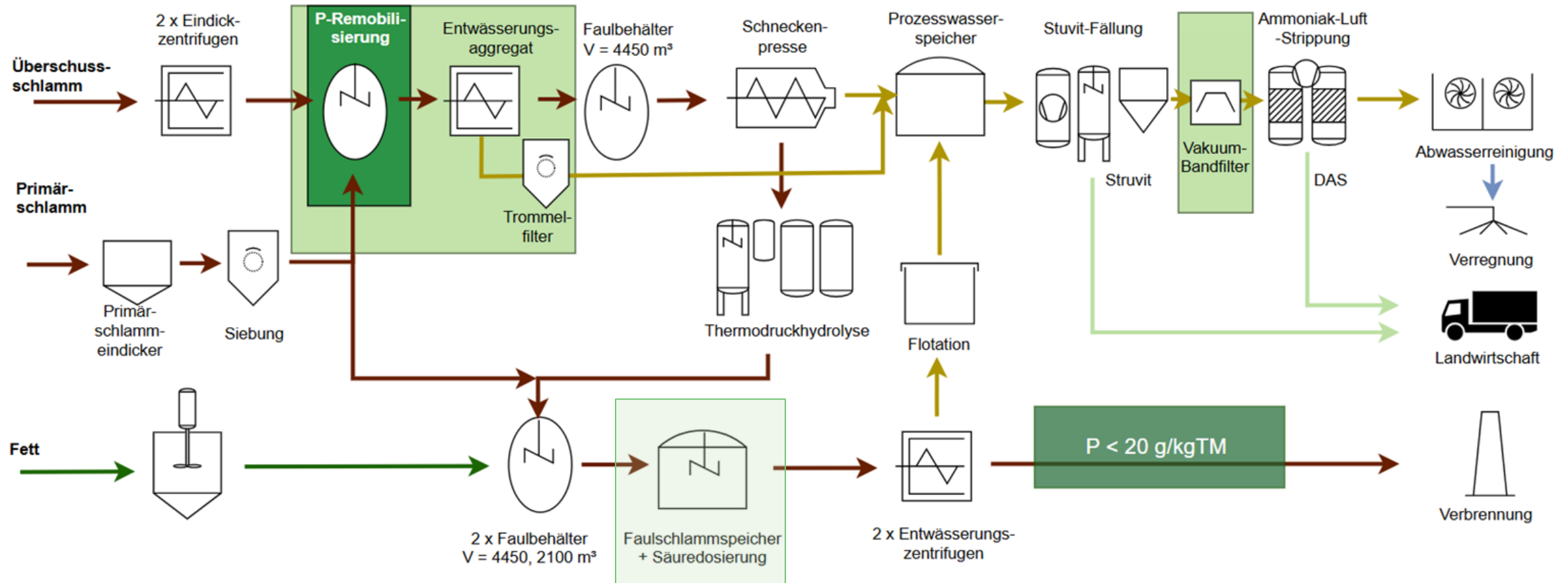
Intensivierte P-Kreislaufführung in der Region möglich

- Intensiver Geruch
- Erhöhte H₂S-Konzentrationen im Gas
- Vivianit-Ausfällungen möglich bei vorheriger Fe-Fällung
- Biologischer Prozess vergleichbar mit dem Faulungsprozess; reagiert sensibel auf Prozessschwankungen

Eine stabile und kontinuierliche Betriebsführung ist entscheidend!
Einflussgrößen sind die HRT und der TR ÜSS

Transfer in die Praxis – Realisierung des PECO-Verfahrens in Braunschweig – Umsetzung Vollstrom

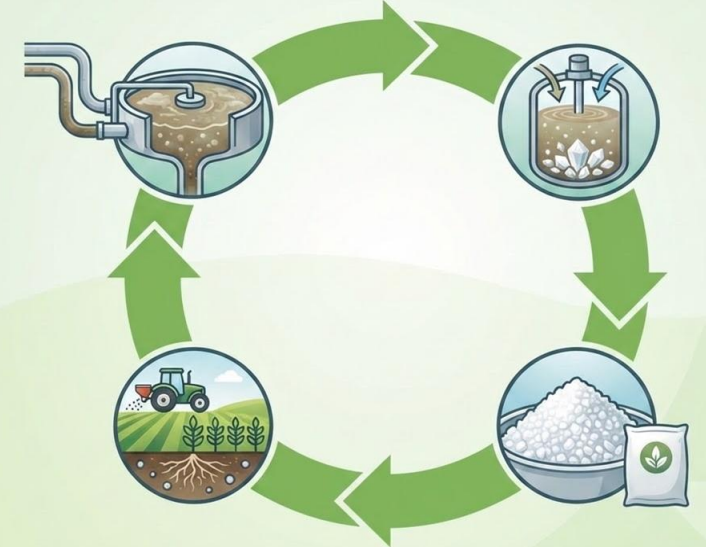
Schlammbehandlung mit PECO



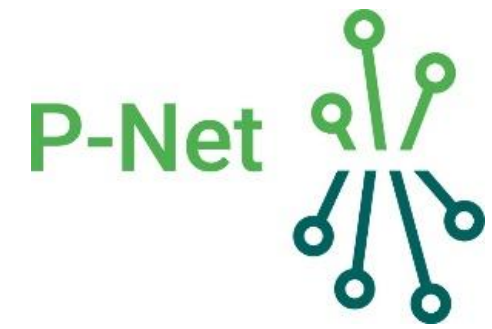
Transfer und Fazit aus Betreibersicht

- Das Peco-Verfahren stellt für die KA Braunschweig als Möglichkeit P-Recycling auf der KA aus dem Prozesswasser zu betreiben, eine gute Alternative zu den P-Recyclingverfahren aus der Klärschlammmasche dar.
- Die gewonnenen Erfahrungen in der 1,5 jährigen Versuchsphase bilden eine gute Planungsgrundlage für eine großtechnische Umsetzung.
- Die EU-weite Ausschreibung der Planungsleistung wurde am 08.06.2026 veröffentlicht.
- Planungsphase soll im Oktober 2026 starten, geplantes Ausführungsende Q 4, 2028.
- Wissenschaftliche Begleitung durch TU-Braunschweig (ISWW) geplant.

Sicherung des Braunschweiger Modells durch eine intensivierte Kreislaufführung von Phosphor



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



Das P-Net Projekt bedankt sich für die Förderung durch das BMFTR!

Prof. Dr.-Ing. Thomas Dockhorn
Institut für Siedlungswasserwirtschaft - ISWW
TU Braunschweig
Pockelsstr. 2a; 38106 Braunschweig
t.dockhorn@tu-braunschweig.de

Stefanie Meyer, M.Sc.
Stadtentwässerung Braunschweig - SE|BS
Taubenstr. 7; 38106 Braunschweig
stefanie.meyer@se-bs.de

Gefördert durch:

