Das PECO-Verfahren – Erfahrungen aus dem Verbundprojekt P-Net

DWA-RePhoR online-Seminar am 13.10.2026

Prof. Dr.-Ing. Thomas Dockhorn

P-Net



Gefördert durch:

Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt

FONA Forschung für Nachhaltigkeit

RePhoR REGIONALES PHOSPHOR-RECYCLING

Technische Universität Braunschweig

ISOE Institut für sozial-ökologische Forschung

ASG

JKI Julius Kühn-Institut

ISW Institut für Siedlungswasserwirtschaft

Abwasserverband Braunschweig

SE BS BS|ENERGY Gruppe

PFI

SOEPENBERG since 1954

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

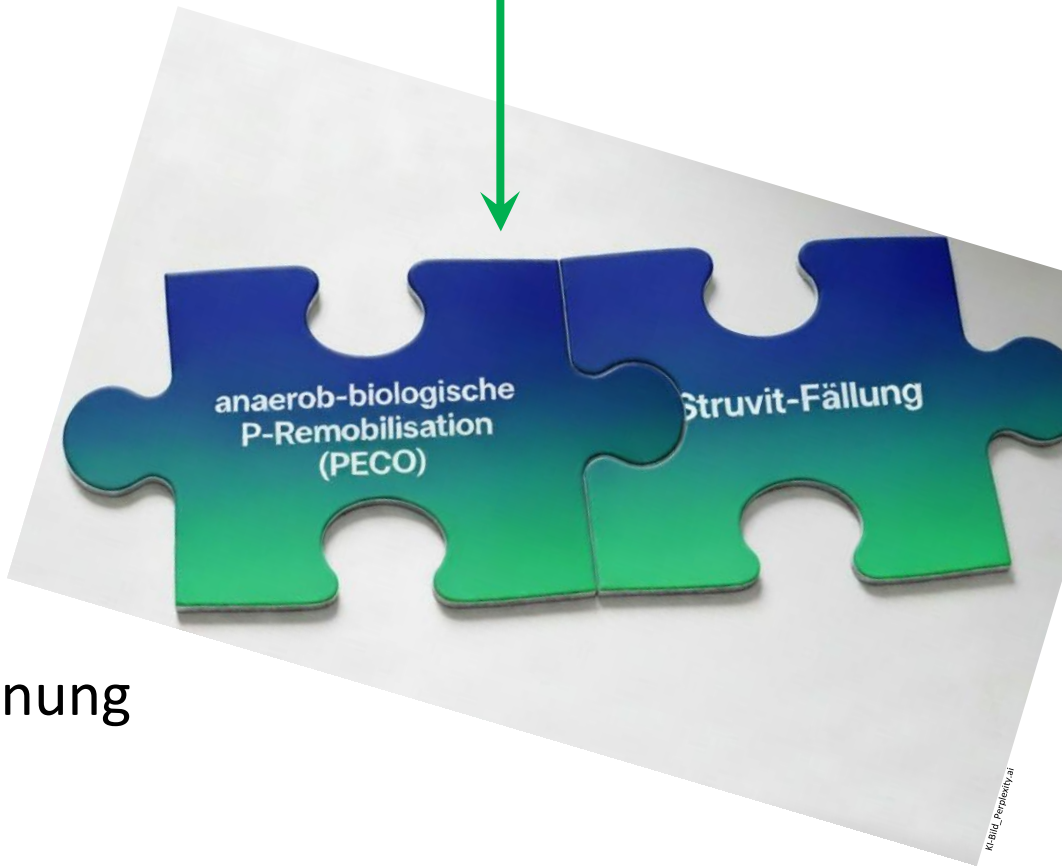
Der P-Net Ansatz zum P-Recycling

Treiber:

Novellierung Klärschlammver-ordnung 2017 (AbfKlärV)

Faulschlamm:
> 20 g P/ kg TM = Monoverbrennung

Faulschlamm:
< 20 g P/ kg TM = Mitverbrennung



Das PECO-Verfahren im P-Net



Anaerob-biologische P-Remobilisierung

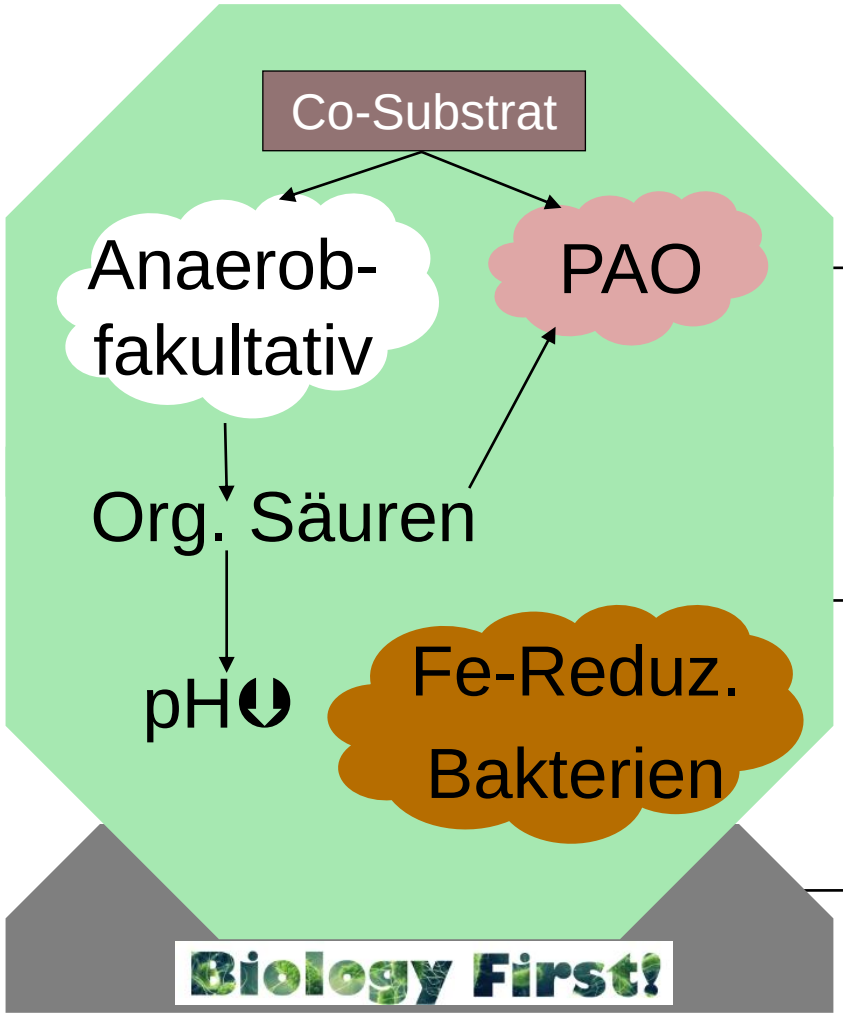
•https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fd2jx2rerrg6sh3.cloudfront.net%2Fimage-handler%2Fpicture%2F2021%2F8%2Fshutterstock_1542887327.jpg&tbnid=s0IofYFjyJvTxM&vet=12ahUKEwjl6bPd_52EAxVezQIHHe2vD9wQMygJegQIARBd..i&imgrefurl=https%3A%2F%2Fwww.news-medical.net%2Flife-sciences%2FUsing-microorganisms-to-treat-cancer.aspx&docid=fZgkC44iuMdudM&w=673&h=504&q=microorganisms&ved=2ahUKEwjl6bPd_52EAxVezQIHHe2vD9wQMygJegQIARBd



Struvit-Fällung

•https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fwww.sciencefriday.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2023%2F11%2Felemental-feat-image.jpg&tbnid=NCuut8fcynGWMM&vet=10CD8QMyjNAmoXChMIyLKv5YaehAMVAAAAAB0AAAAAEAU..i&imgrefurl=https%3A%2F%2Fwww.sciencefriday.com%2Fsegments%2Ffive-elements-of-life-elemental%2F&docid=8AZCnDBnG5yYYM&w=1800&h=1200&q=chemistry%20pic%20green&ved=0CD8QMyjNAmoXChMIyLKv5YaehAMVAAAAAB0AAAAAEAU

Die Funktionsweise des PECO-Verfahrens



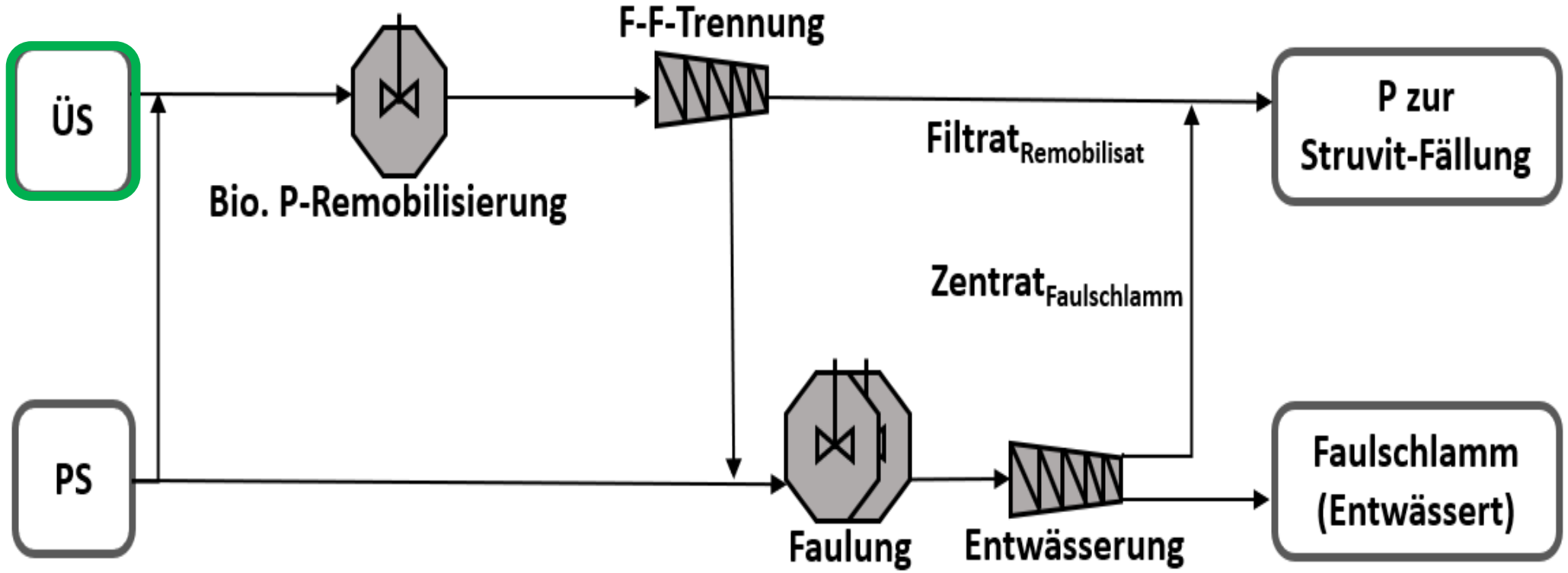
Anaerob-biologische P-Remobilisierung

Rücklösung von
bio. gebundenem P

Rücklösung von
eisenfixiertem P

Rücklösung von
Calcium P und Magnesium P

Die Einbindung des PECO-Verfahrens auf der Kläranlage



< 20 g P/ kg TM

Die Historie des PECO-Verfahrens

2005 T.Dockhorn

2012 T. Esemen

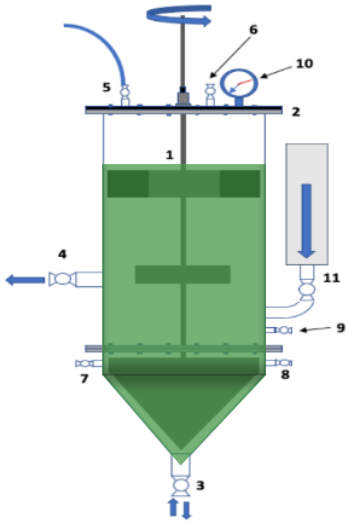
...

2020

Nov. 2022

Nov. 2023 – April 2025









Labor

Technikum

Upscaling

Full-Scale

Die praktische Umsetzung des PECO-Verfahrens

P-Net

Kläranlage Braunschweig

Abwasserverband Braunschweig

SE BS BS|ENERGY Gruppe

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

Kläranlage Gifhorn

ASG

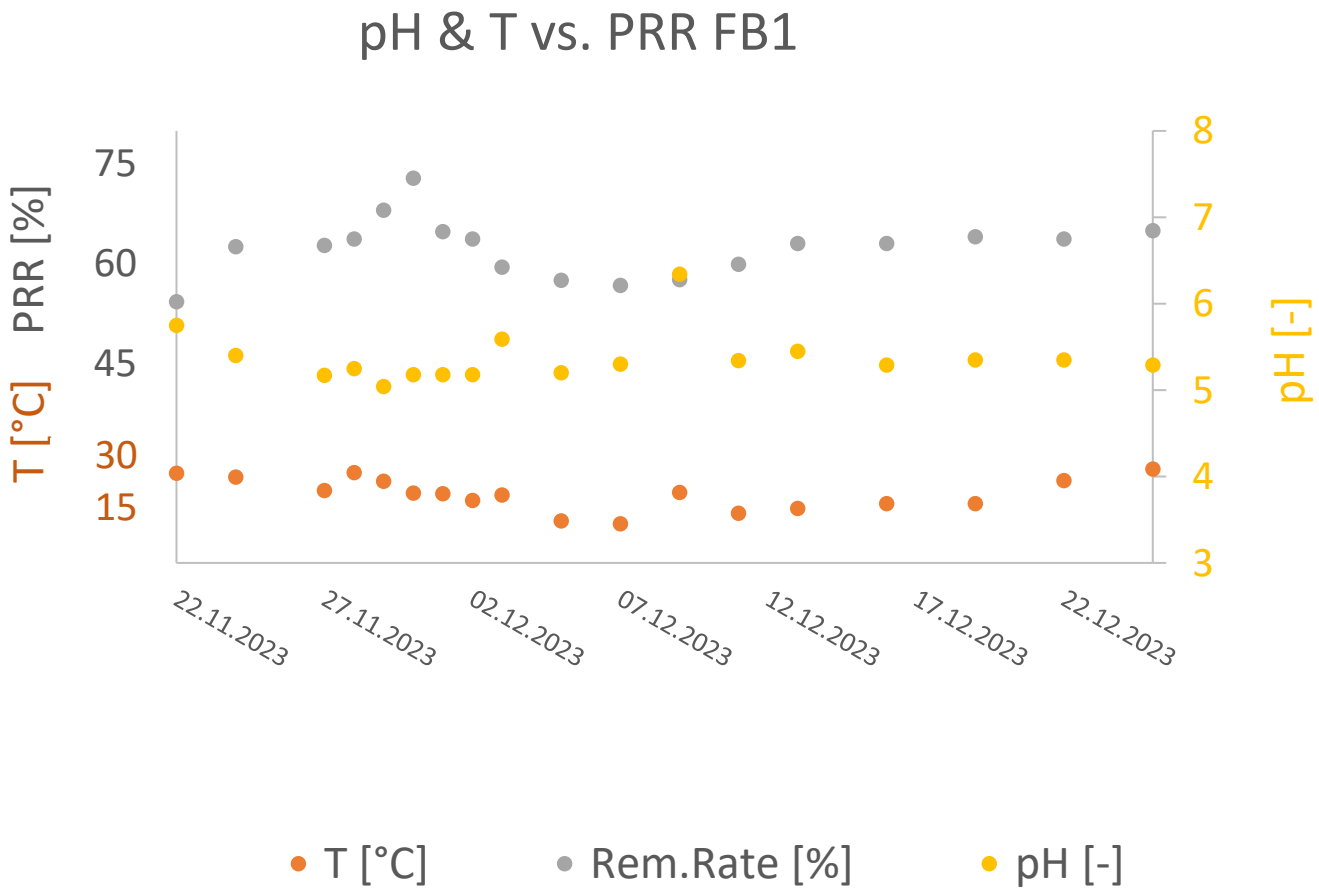
- 65.000 EGW
- Eisenfällung zur P-Elimination
- Improvisierte Struvit-Fällung aufgebaut
- Großtechnischer Testbetrieb in 2024

Das PECO-Verfahren in Braunschweig - Ergebnisse

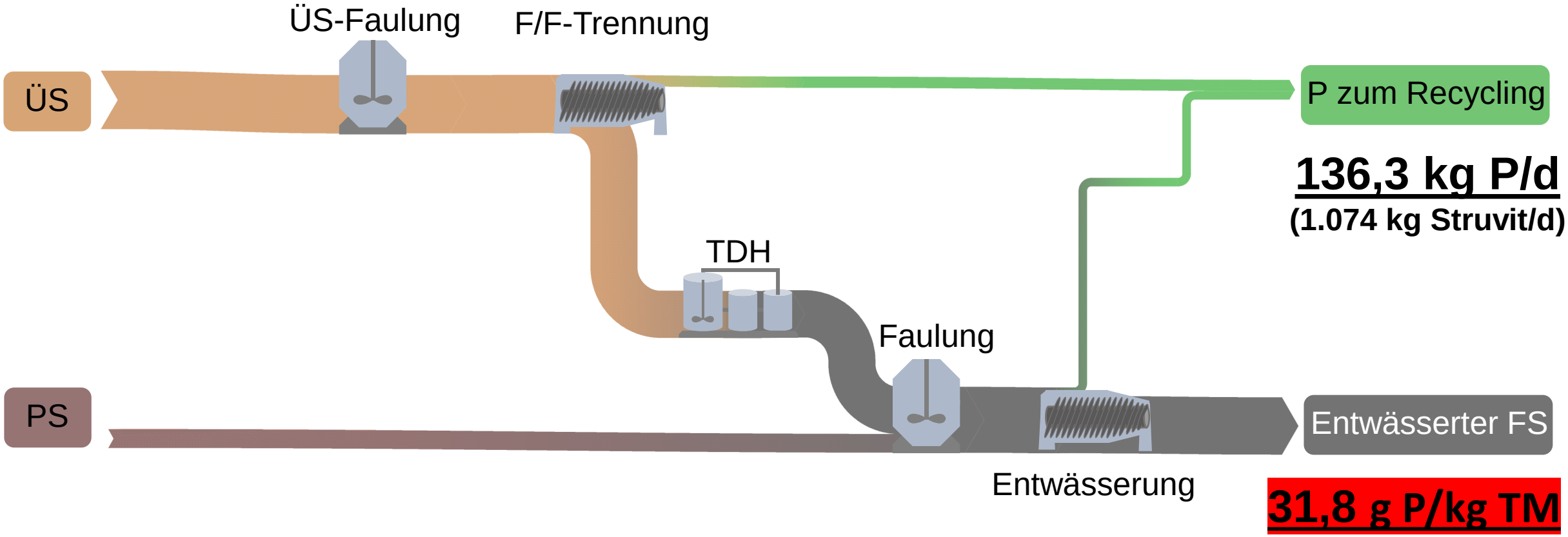


- V = 2.100 m^3
- HRT ≈ 4,5 d
- T ≈ 20-30 °C
- pH ≈ 5,3

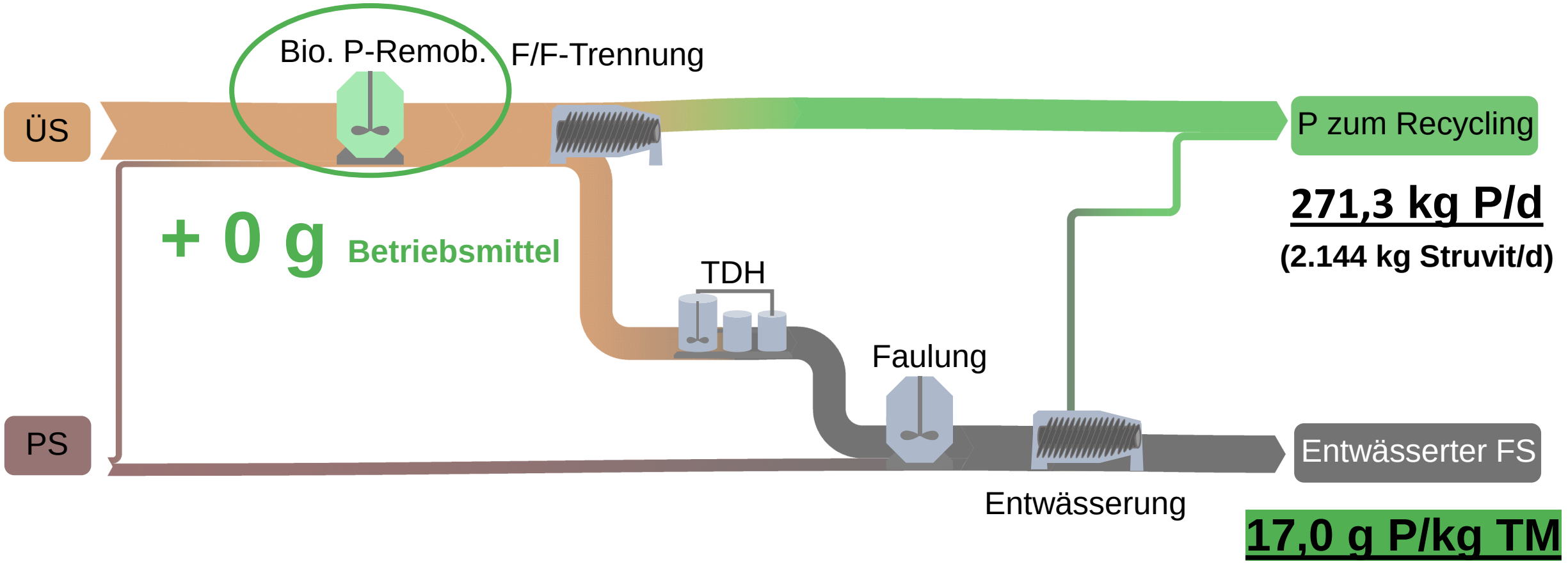
PO_4-P/P_{ges} = 50 bis 60%



Der Phosphor-Pfad in Braunschweig – ohne PECO



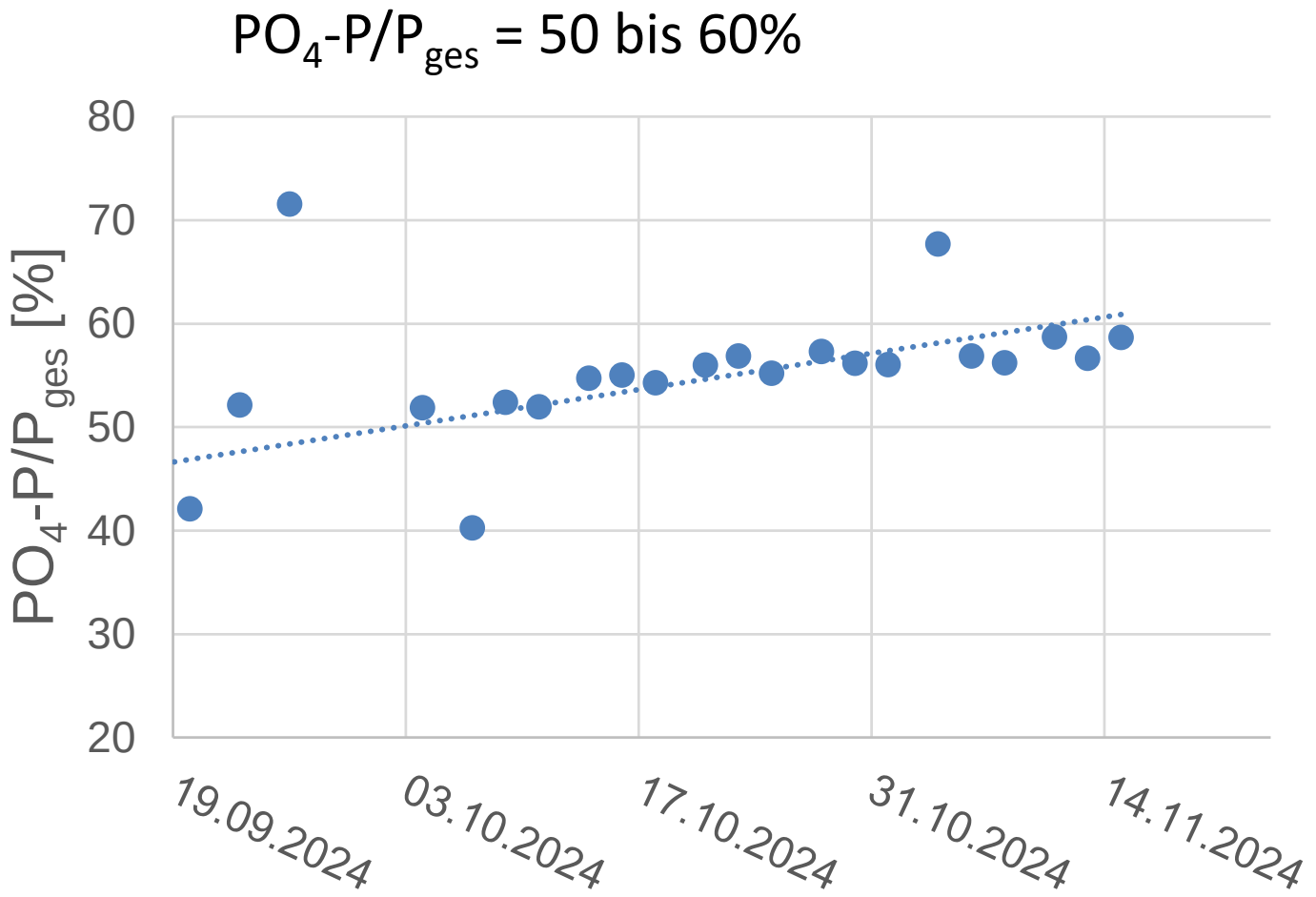
Der Phosphor-Pfad in Braunschweig – mit PECO



Das PECO-Verfahren in Gifhorn - Ergebnisse



- V = 2.000 m³
- HRT = 5,5 d
- T ≈ 20 °C
- 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

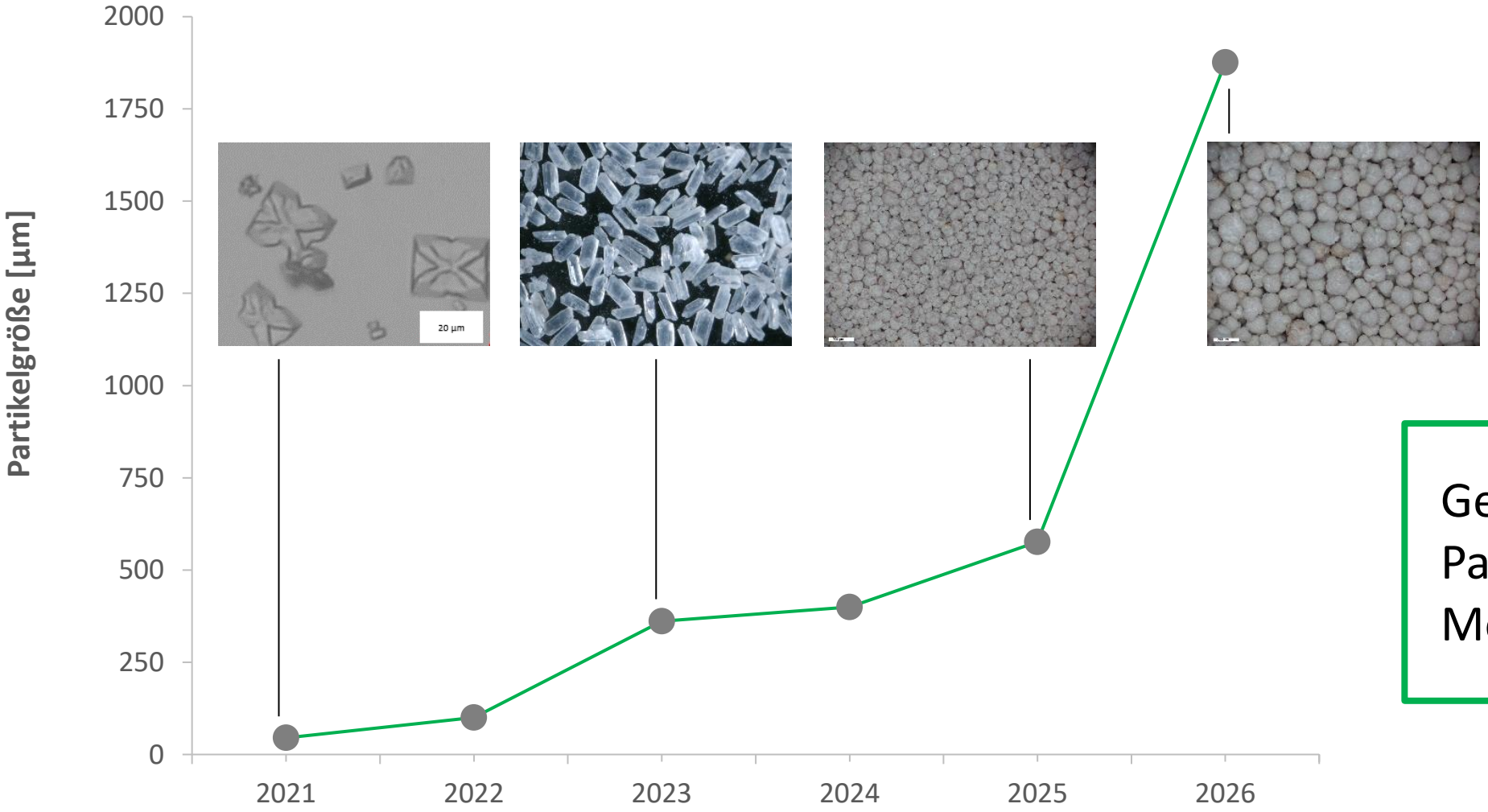


Großtechnischer
Einsatz in Gifhorn



Struvit-Fällung ohne Probleme
und mit gewohnter Qualität

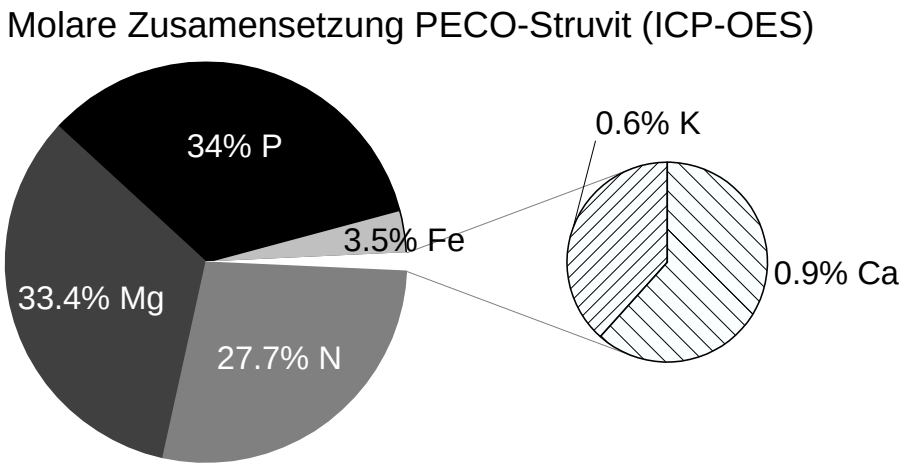
Optimierung der Struvit-Fällung – Partikelgröße und Morphologie



Gezielte Gestaltung von Partikelgröße und Morphologie möglich

Das PECO-Verfahren – Struvit-Qualität





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	-

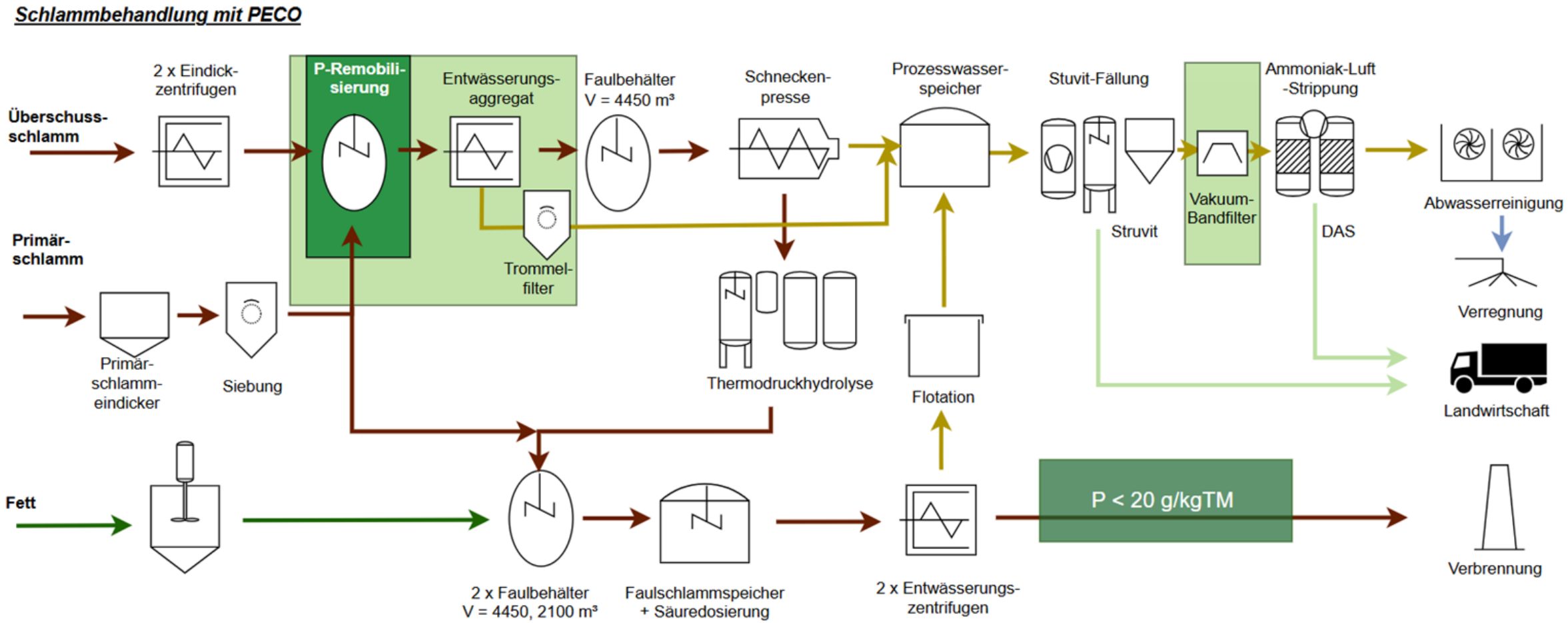
Angaben in (mg/kg TM)
GW: Grenzwert d. Düngemittel-VO
*Mittelwert

Wirtschaftlichkeit in P-Net (PFI Planungsgemeinschaft)

Jahreskosten - Zusammenfassung	Anlagengröße			
Kosten	**20.000 EW**	**50.000 EW**	**100.000 EW**	**1.000.000 EW**
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 €
Schlammentsorgung 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 Monoverbrennnung)	**- 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

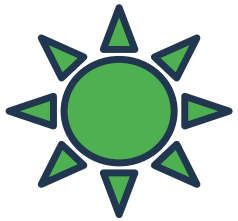
(alle Kostenangaben sind Jahreskosten in €/a)

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



Quelle: Stefanie Meyer (SEBS) & AVBS (2026)

Erkenntnisse des Betreibers aus der Großtechnik in Braunschweig – Versuchsphase Teilstrom



- Remobilisierungsraten > 60 % im stabilen Prozess möglich
- P-Remobilisierung auch von FeP
- Remobilisierungsraten führen zu einer deutlichen Entfrachtung (Hydrolysat)
- Hohe Phosphatkonzentrationen im Prozesswasser > 600 mg/l
- Erzeugung eines reinen Struvitproduktes
- Intensivierte P-Kreislaufführung in der Region möglich



- Intensiver Geruch
- Erhöhte H_2S-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

Quelle: Stefanie Meyer (SEBS) & AVBS (2026)

Fazit aus Betreibersicht

- In Braunschweig konnte gezeigt werden, dass die erf. P-Rücklöseraten erreicht werden können und dass das P-Recycling auf der KA aus dem Prozesswasser eine Alternative zu den P-Recyclingverfahren aus der Klärschlammasche darstellt.

- 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.

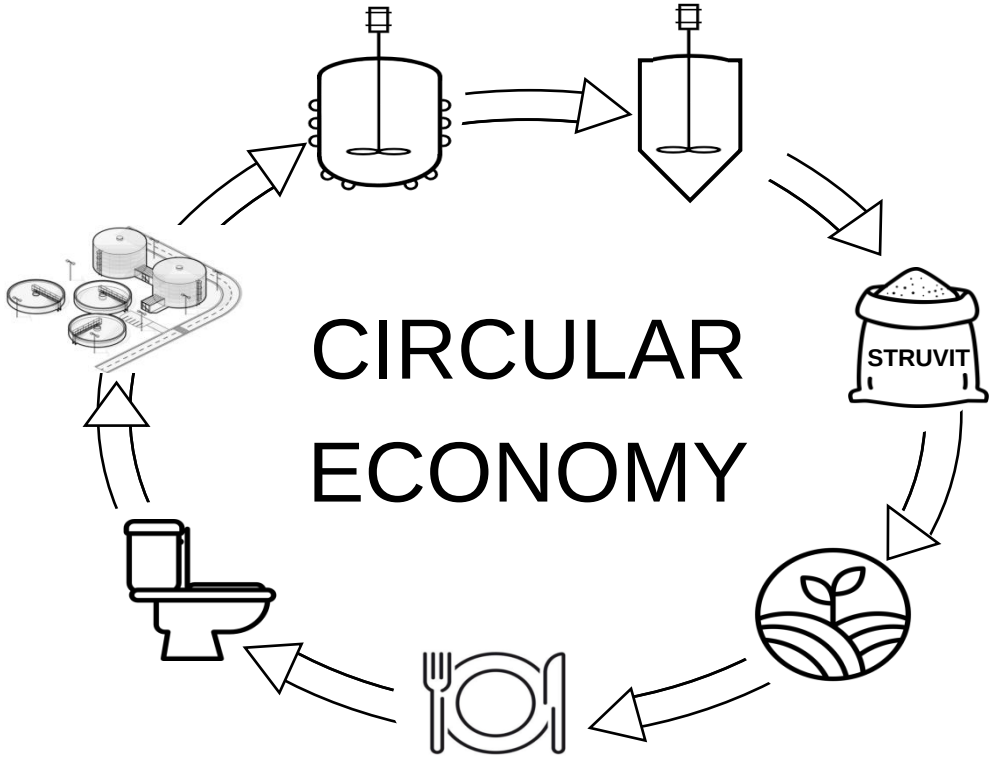
- Wissenschaftliche Begleitung durch TU-Braunschweig (ISWW) geplant.



Quelle: Stefanie Meyer (SEBS) & AVBS (2026)

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

P-Net



Kontakt:
Prof. Dr.-Ing. Thomas Dockhorn
Institut für Siedlungswasserwirtschaft
TU Braunschweig
Pockelsstr. 2a, 38106 Braunschweig
t.dockhorn@tu-bs.de

Das Verbundprojekt P-Net dankt dem BMFTR für die Förderung des Projektes.
FKZN.: O2WPR1542A-H

Gefördert durch:
Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt
FONA Forschung für Nachhaltigkeit
RePhoR REGIONALES PHOSPHOR-RECYCLING

Technische Universität Braunschweig · ISW Institut für Siedlungswasserwirtschaft · ISOE Institut für sozial-ökologische Forschung · Abwasserverband Braunschweig · SE|BS BS|ENERGY Gruppe · SOEPENBERG since 1954 · JKI Julius Kühn-Institut · ASG · PFI