

Aufbau eines Netzwerks zum ressourceneffizienten  
Phosphorrecycling und -management in der Region  
Harz und Heide (P-Net)



Was das Phosphorrecycling über  
eine Struvitausschleusung wirklich  
rentabel macht...

**Dipl. Ing. Oliver Hermanussen**

PFI Planungsgemeinschaft GmbH Hannover

P-Net-Abschlusstagung  
3.3.2026, Braunschweig



## Was das Phosphorrecycling über eine Struvitausschleusung wirklich rentabel macht...

- Abgrenzung und Ansatz der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung
- Annahmen für Kosten und Einsparungen
- Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung
- Identifikation kritischer Faktoren
- Kernergebnisse



## Remobilisierung, Fällung, Abtrennung



Rohstruvit



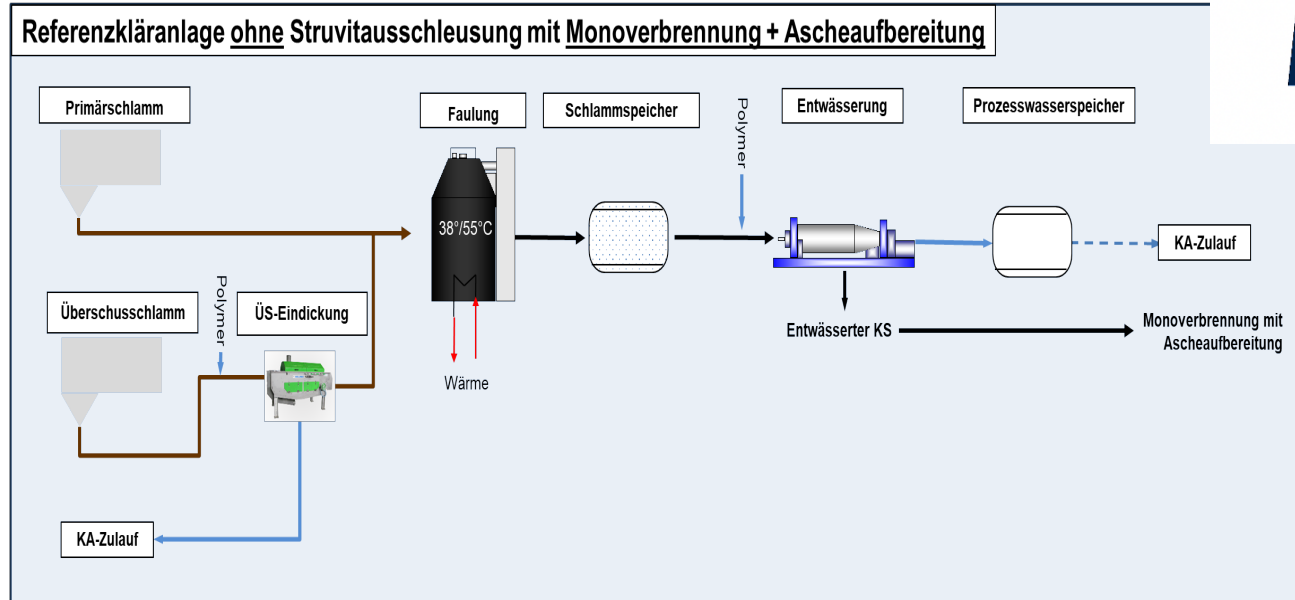
Transport, Homogenisierung,  
Trocknung, Granulierung, ...



Struvitdünger

Abgrenzung Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

# Verfahrenstechnische Einbindung Struvitausschleusung

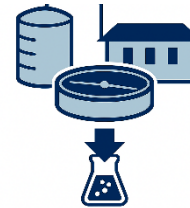




Vergleich von

Standardfall: Klärschlammensorgung in Monoverbrennung mit Zwischenlagerung und Ascherückgewinnung

Referenzkläranlage ohne Struvitausschleusung



Mit Struvitausschleusung: Klärschlammensorgung in Mitverbrennung

Referenzkläranlage mit Struvitausschleusung

Berechnung basierend auf:

- Standardstoffbilanzen auf Basis des DWA-Regelwerks (M 368 etc. ...)
- Modellkläranlagen für vier Größenklassen (20.000 / 50.000 / 100.000 / 1.000.000 E)
- Betrachtung von
  - ▶ Investitionskosten
  - ▶ Betriebskosten
  - ▶ Entsorgungskosten
  - ▶ Einsparungen

# Grundannahmen für Wirtschaftlichkeitsbetrachtung



## Prozesstechnik:

- Vorgabe der AbfKlärV wird eingehalten: < 20 gP/kgTM
- $P_{ges}$  im Zulauf zur Kläranlage 1,5 g/(E\*d)
- Remobilisierungsrate 65% (HRT ca. 7,5 d, 30°C)
- Verbesserung Entwässerbarkeit durch Struvitausschleusung + 1,5 %-Punkte

## Schlamm Entsorgung:

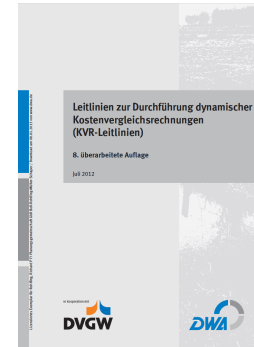
- Kosten Monoverbrennung + Rückgewinnung aus Asche\* 187,50 €/Mg OS Klärschlamm
- Alternativkosten Mitverbrennung\* 75 €/Mg (OS)

## Betrieb:

- Betriebschemikalien Polymer,  $MgCl_2$ -Lösung, Natronlauge
- Wartung/Instandhaltung 0,5% / 1,5% / 2,5% der Investkosten/a für B/M/E
- Personalaufwand i. A. der Größenklasse
- Wärmepreis / Strompreis 12 ct/kWh / 30 ct/kWh

## Investitionskosten und Kapitalisierung:

- Baunebenkosten 15%
- Kapitalisierungszinssatz (KVR) 3%
- Abschreibungszeiten 30/15/10 a B/M/E-Technik



\* Quelle: Korrespondenz Abwasser, Abfall 2024 (71), Nr. 10: Könemann, Lehrmann, Hochgürtel: „Aktuelle Preise sowie zukünftige Kosten der Klärschlamm Entsorgung“

# Einsparungen durch Struvitausschleusung auf der Kläranlage P-Net



## ▪ Einsparungen Schlammfad

- ▶ Verringerung Schlammmentsorgungsmenge  
+1,5%-Punkte TR Schlammmentwässerung durch Struvitausschleusung
- ▶ Verringerung Polymerbedarf  
10% Reduktion, bezogen auf zu entwässernde Schlammmenge ohne Struvitausschleusung
- ▶ **entfallende Kosten für Monoverbrennung + Ascherückgewinnung**  
Basis: Korrespondenz Abwasser 2024, Nr. 10

## ▪ Einsparungen Abwasserfad

- ▶ Einsparung Belüftungsenergie  
(N-Reduzierung, durch Entzug Ammonium mit dem Struvit,  
0,7 kWh/kg N)
- ▶ Einsparung Fe-Fällmittel  
(durch Reduzierung P-Rückbelastung)

	Preiskomponenten für die thermische Vorbehandlung in einer Monoverbrennungsanlage und P-Rückgewinnung aus der Asche (€/Mg OS Klärschlamm)	
Erwartete Kosten 2029 für thermische Vorbehandlung ab Kläranlage inkl. Transport	100-140	
Abzüglich eingesparter Kosten der heutigen Ascheentsorgung inkl. Transport	- 10	
Zuzüglich Kosten der Ascheaufbereitung und P-Rückgewinnung (Extraktionsverfahren) inkl. Transport und Entsorgung P-abgereicherte Asche	35-40	
<b>Summe: Erwartete Kosten 2029 ab Kläranlage inkl. P-Rückgewinnung</b>	<b>125-170</b>	
Falls notwendig bei nicht ausreichenden Kapazitäten zur P-Rückgewinnung: Zwischenlagerung von Klärschlammaschen für eine spätere Aufbereitung	20-50	
Gegebenenfalls Mehrkosten für Transport und erhöhten Aufwand bei der Ascheaufbereitung	0-10	
<b>Summe: Erwartete Kosten ab 2029 ab Kläranlage incl. P-Rückgewinnung und gegebenenfalls notwendige Aschezwischenlagerung</b>	<b>145-230</b>	<b>187,5 €/t</b>

Tabelle 2: Kostenabschätzung für 2029 für die thermischen Vorbehandlung und P-Rückgewinnung je Mg Klärschlamm Originalsubstanz (Kostenschätzung der Autoren für maschinell entwässerten Klärschlamm ab Kläranlage)

Ansatz Mittelwerte

\* Quelle. Korrespondenz Abwasser, Abfall 2024 (71), Nr. 10: Könemann, Lehrmann, Hochgürtel: „Aktuelle Preise sowie zukünftige Kosten der Klärschlammmentsorgung“

# Berücksichtigte Kostenkomponenten Investition

	Kostenbestandteile	ggf. durch vorhandene Bausubstanz ersetzbar
<b>Remobilisierung</b> 	Verdünnung	Filtratwasserbehälter
	Vorerwärmung	
	Remobilisierung	Reaktor mit GFK-Abdeckung
<b>Remobilisateindickung</b> 	Bandeindicker, Pumpen, Filtratbehälter, Polymeranlage	Filtratbehälter
<b>Prozesswasserspeicher</b>	Speicher mit GFK-Abdeckung	Speicher mit GFK-Abdeckung
<b>Struvitfällung</b> 	Prozesswasserfiltration (Trommelfilter), Struvitfällung	Fällungsreaktor mit Belüfter
	Fest/Flüssigtrennung Struvit + Abwurf in Container	
<b>Gebäude</b> 	Maschinengebäude	Gebäude komplett

# Investitionskosten nach Kostenblöcken und Anlagengrößen



Investkosten (netto, inkl. 15% Nebenkosten)	Anlagengröße			
	20.000 EW	50.000 EW	100.000 EW	1.000.000 EW
<b>Remobilisierung</b>				
Verdünnung (Rohrleitungen, Filtratpumpe + Filtratwasserbehälter, Messtechnik)	630.000 €	800.000 €	1.010.000 €	5.100.000 €
Vorerwärmung (Rohrleitungen, Wärmetauscher, Heizschlammumpen, Messtechnik)				
Remobilisierung (Rohrleitungen, Reaktor mit GFK-Abdeckung + Tauchmotorrührwerk, Messtechnik)				
<b>Remobilisateindickung</b>				
Rohrleitungen, Bändeindicker, Pumpen, Filtratbehälter, Polymeranlage, Messtechnik	410.000 €	410.000 €	440.000 €	990.000 €
<b>Prozesswasserspeicher</b>				
Speicher mit GFK-Abdeckung, Tauchmotorrührwerk, Beschickungspumpen Filtrat + Zentrat, Messtechnik	380.000 €	480.000 €	610.000 €	2.660.000 €
<b>Struvitfällung</b>				
Struvitfällung (Rohrleitungen, Fällungsreaktor mit Belüfter, MgCl-Annahmestation mit Abtankplatz, Gebläse, Pumpen, Sandwäscher, Messtechnik)	960.000 €	1.060.000 €	1.140.000 €	3.620.000 €
Fest/Flüssigtrennung (Rohrleitungen, Vakuumbandfilter, Container)				
<b>Gebäude</b>				
Maschinengebäude, Trink-/Schmutz-/Regenwasserleitungen, umgebende Oberflächen, elektrische Gebäudeinstallationen, Krananlage (2t / 2,5t)	540.000 €	540.000 €	540.000 €	1.550.000 €
<b>Nettosumme (inkl. rd. 15% NK)</b>	<b>2.920.000 €</b>	<b>3.290.000 €</b>	<b>3.740.000 €</b>	<b>13.920.000 €</b>

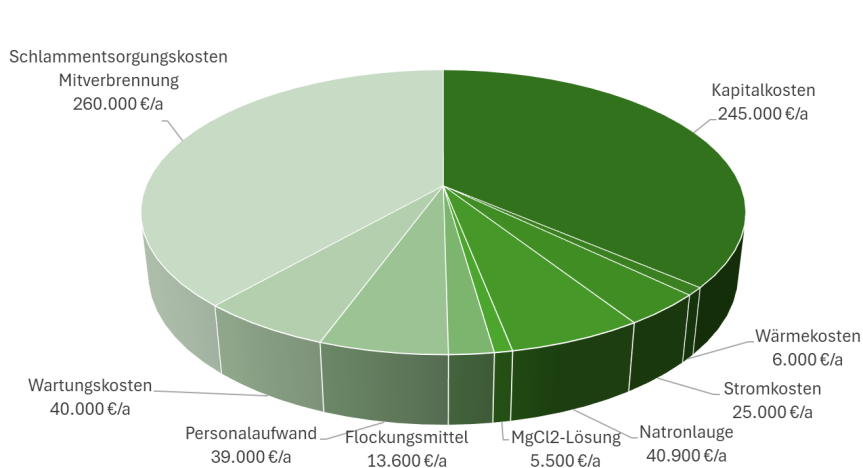
← Diskontinuierlicher Betrieb einiger Prozessstufen →

# Gesamtwirtschaftlichkeit Umsetzung Struvitausschleusung

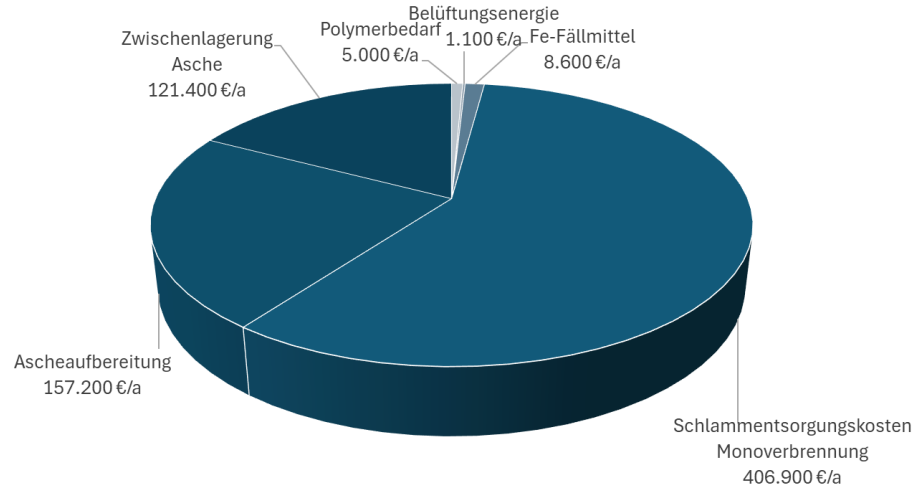


Jahreskosten - Zusammenfassung	Anlagengröße			
	20.000 EW	50.000 EW	100.000 EW	1.000.000 EW
<b>Kosten</b>				
Kapitalisierte Investkosten (nach KVR) (Bau, M- und EMSR-Technik)	220.000 €	245.000 €	276.000 €	925.000 €
Wärme	2.000 €	6.000 €	12.000 €	118.000 €
Strom	11.000 €	25.000 €	51.000 €	479.000 €
Betriebschemikalien (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 €
<b>Summe Kosten</b>	<b>428.000 €</b>	<b>675.000 €</b>	<b>1.071.000 €</b>	<b>8.146.000 €</b>
<b>Einsparungen</b>				
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 €
<b>Summe Einsparungen</b>	<b>5.800 €</b>	<b>14.700 €</b>	<b>29.400 €</b>	<b>294.500 €</b>
Ersparnis durch entfallende Monoverbrennung + Ascheaufbereitung + Zwischenlagerung (187.50 €/t)	274.000 €	685.000 €	1.371.000 €	13.708.000 €
<b>Wirtschaftlicher Vorteil (bei Entfall Monoverbrennung)</b>	<b>- 148.200 €</b>	<b>24.700 €</b>	<b>329.400 €</b>	<b>5.856.500 €</b>
<b>Struvitmenge (t Struvit trocken/a)</b>	<b>36 t Struvit/a</b>	<b>89 t Struvit/a</b>	<b>178 t Struvit/a</b>	<b>1.782 t Struvit/a</b>

## mittelgroße Kläranlage 50.000 EW (GK4)



Jahreskosten: 675.000 €/a



Einsparungen: 700.000 €/a

**Ein wirtschaftlicher Vorteil ergibt sich für Modell-KA ab ca. 50.000 EW**

## ▪ Ermittlung

- ▶ über Sensitivitätsanalyse
- ▶ für einen technisch sinnvoll abgeschätzten Kennwert und eine Variationsbreite von +/- 30% bzw. +/- 1 %-Punkt

## ▪ Am kritischsten für die Wirtschaftlichkeit sind (in absteigender Reihenfolge):

- ▶ Einsparungen durch entfallende Monoverbrennung
- ▶ Kosten durch Mitverbrennung
- ▶ Investitionskosten
- ▶ Zinssatz

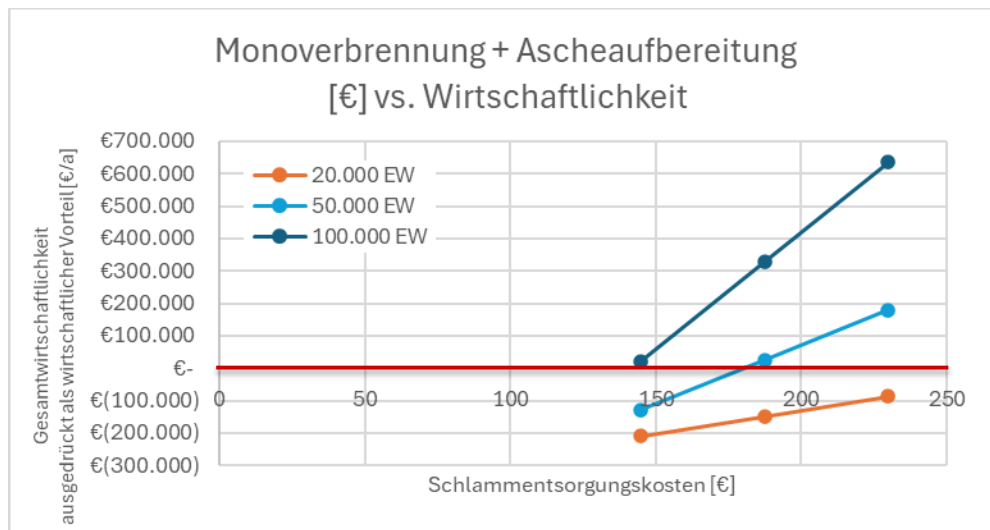
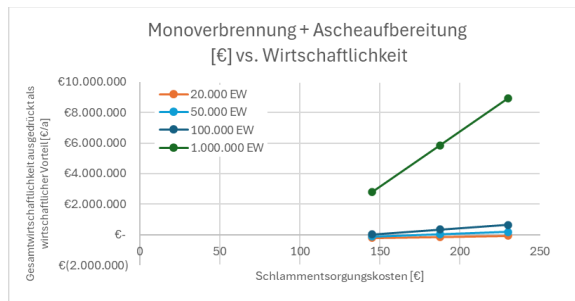


# Schlüsselfaktor - entfallende Monoverbrennung



Preiskomponenten für die thermische Vorbehandlung in einer Monoverbrennungsanlage und P-Rückgewinnung aus der Asche (€/Mg OS Klärschlamm)	
Erwartete Kosten 2029 für thermische Vorbehandlung ab Kläranlage inkl. Transport	100-140
Abzüglich eingesparter Kosten der heutigen Ascheentsorgung inkl. Transport	- 10
Zuzüglich Kosten der Ascheaufbereitung und P-Rückgewinnung (Extraktionsverfahren) inkl. Transport und Entsorgung P-abgereicherte Asche	35-40
<b>Summe: Erwartete Kosten 2029 ab Kläranlage inkl. P-Rückgewinnung</b>	<b>125-170</b>
Falls notwendig bei nicht ausreichenden Kapazitäten zur P-Rückgewinnung: Zwischenlagerung von Klärschlammaschen für eine spätere Aufbereitung	20-50
Gegebenenfalls Mehrkosten für Transport und erhöhten Aufwand bei der Ascheaufbereitung	0-10
<b>Summe: Erwartete Kosten ab 2029 ab Kläranlage incl. P-Rückgewinnung und gegebenenfalls notwendige Aschezwischenlagerung</b>	<b>145-230 Mittel = 187,5 €/t</b>

Tabelle 2: Kostenabschätzung für 2029 für die thermischen Vorbehandlung und P-Rückgewinnung je Mg Klärschlamm Originalsubstanz (Kostenschätzung der Autoren für maschinell entwässerten Klärschlamm ab Kläranlage)



**Die Monoverbrennungskosten (inkl. Ascheaufbereitung) sind der stärkste Treiber für die Wirtschaftlichkeit!**

# Schlüsselfaktor - Mitverbrennung + Ascheaufbereitung

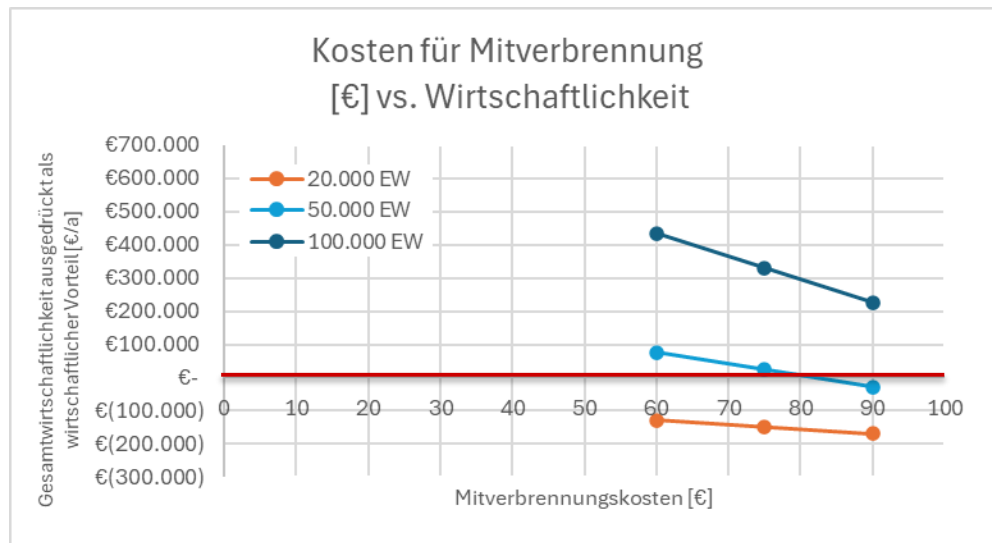
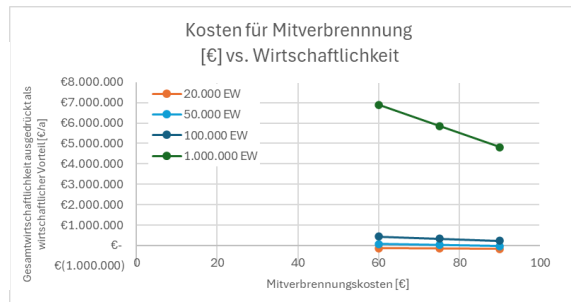


Einheit	Bodenbezogene Verwertung	Mitverbrennung	Thermische Behandlung in einer Monoverbrennungsanlage
Preise je Mg Originalsubstanz (maschinell entwässerte Klärschlamm (20–25 % TR))			
€/Mg (OS)	40–75	60–90 <b>Mittel = 75 €/t</b>	80–120
Preise je Mg Trockenmasse, bei 25 % TR des zu entsorgenden Klärschlammes			
€/Mg (TM) bei 25 % TR im KS	160–300	240–360	320–480

Tabelle 1: Durchschnittliche Preise der Klärschlamm Entsorgung ohne Phosphorrückgewinnung (Einschätzung der Autoren zu aktuellen Marktpreisen)



**Die Mitverbrennungskosten sind der zweitstärkste Treiber für die Wirtschaftlichkeit!**



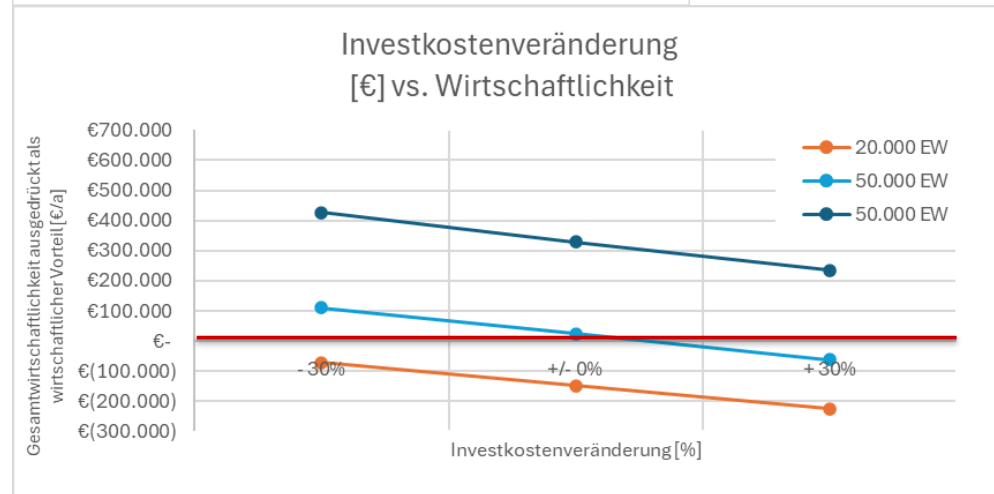
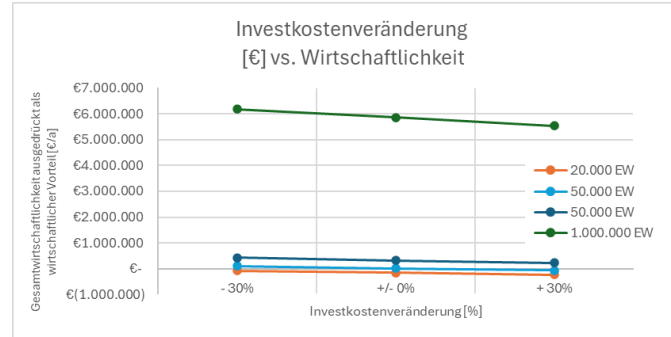
# Schlüsselfaktor – Investitionskosten



- ▶ Abschätzung Investitionskosten auf Basis langjähriger Erfahrung (+/- 30%)
- ▶ Reduktion Investitionskosten bildet die Nutzung vorhandener Komponenten / Bauwerke ab



**Die Investitionskosten sind der drittstärkste Treiber für die Wirtschaftlichkeit!**



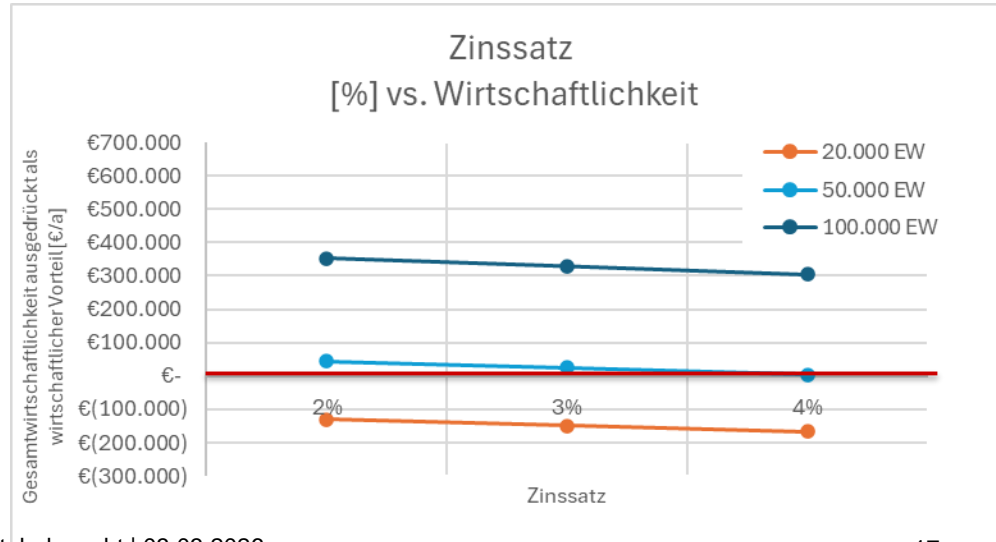
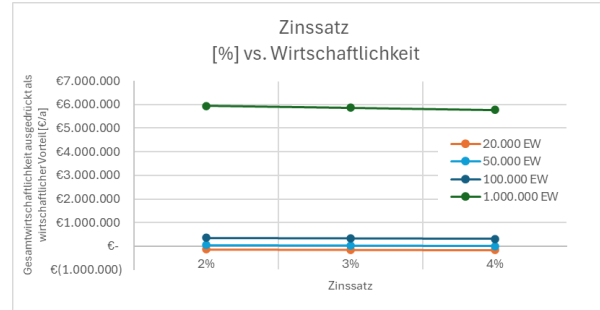
# Schlüsselfaktor - Zinssatz



- ▶ Standard-Kapitalisierungszinssatz (KVR) 3%
- ▶ Variationsbreite +/- 1 %-Punkt



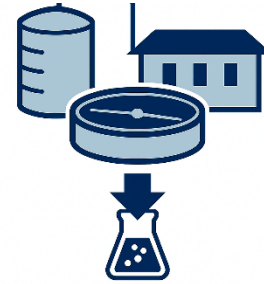
**Der Zinssatz hat nur einen sehr geringen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit!**



# Was macht das Phosphorrecycling über eine Struvitausschleusung denn nun wirklich rentabel?



- Die **Differenzkosten** der Schlamm Entsorgungswege (Monoverbrennung bzw. Alternative)
- Die **Anlagengröße** Struvitausschleusung lässt sich wirtschaftlich ab einer Anlagengröße von ca. 50.000 EW darstellen!
- **Anlagenspezifische Faktoren** Tatsächliche Anwendbarkeit, Nutzbarkeit vorhandener Bausubstanz & Wirtschaftlichkeit ist anlagenspezifisch zu bewerten!



**Struvitausschleusung auf der Kläranlage ist eine echte Alternative zur Monoverbrennung + Ascherückgewinnung!**

## Aufbau eines Netzwerks zum ressourceneffizienten Phosphorrecycling und -management in der Region Harz und Heide (P-Net)



### Projekt- und Praxispartner

---



### Förderung

---

Gefördert durch:

