

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



Auf der Struvit-Schiene in die Mitverbrennung – Wirtschaftlichkeitsbetrachtung im Projekt P-Net

online, 20.11.2025

Dipl. Ing. Oliver Hermanussen

PFI Planungsgemeinschaft GmbH Hannover



1. Abgrenzung und Ansatz Wirtschaftlichkeitsbetrachtung
2. Annahmen für Kosten und Einsparungen
3. Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung
4. Sensitivitätsbetrachtungen
5. Fazit

Remobilisierung, Abtrennung, Fällung

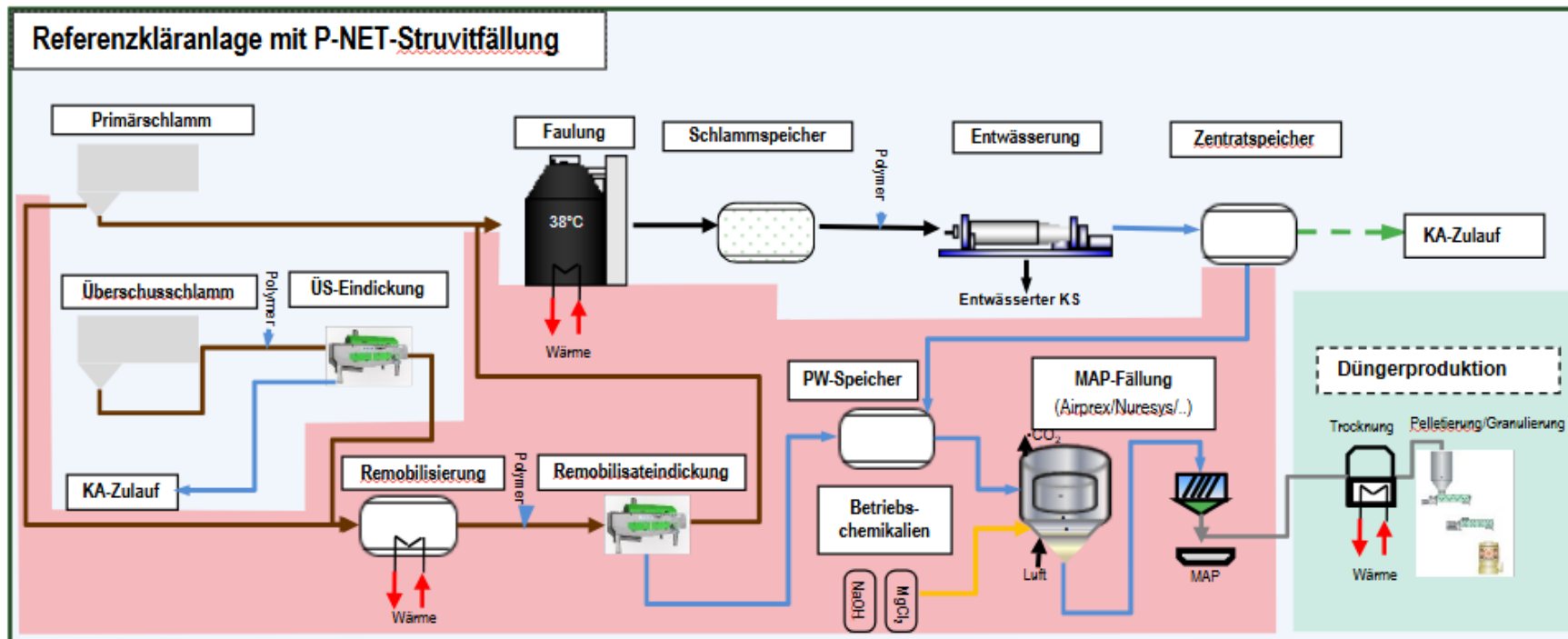


Rohstruvit

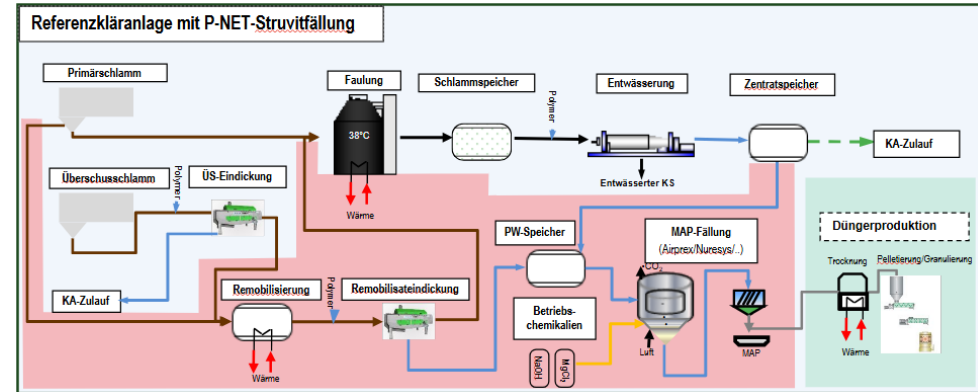
Transport, Homogenisierung, Trocknung, Granulierung, ...



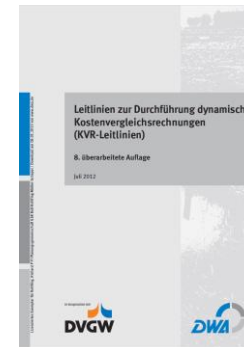
Struvitdünger



- Vergleich von
 - ▶ Referenzkläranlage mit P-Rückgewinnung
 - Klärschlamm entsorgung in Mitverbrennung
 - ▶ Referenzkläranlage ohne P-Rückgewinnung
 - Klärschlamm entsorgung in Monoverbrennung mit Zwischenlagerung und Ascherückgewinnung
 - ▶ Standardstoffbilanzen auf Basis des DWA-Regelwerks (M368, etc. ...)
- Modellkläranlagen für vier Größenklassen (20.000 / 50.000 / 100.000 / 1.000.000 E)
- Betrachtung von
 - ▶ Investitionskosten
 - ▶ Betriebskosten
 - ▶ Entsorgungskosten
 - ▶ Einsparungen



▪ Vorgabe der AbfKlärV wird eingehalten:	< 20 gP/kgTM
▪ P_{ges} im Zulauf zur KA	1,5 g/(E*d)
▪ Remobilisierungsrate	65% (HRT ca. 7,5 d, 30°C)
▪ Wärmepreis / Strompreis	12 ct/kWh /30 ct/kWh
▪ Verbesserung Entwässerbarkeit durch P-Rückgewinnung	+ 1,5 %-Punkte
▪ Kosten Monoverbrennung + Rückgewinnung aus Asche*	187,50 €/Mg OS Klärschlamm
▪ Alternativkosten Mitverbrennung*	75 €/Mg (OS)
▪ Kapitalisierungszinssatz (KVR)	3%
▪ Abschreibungszeiten	30/15/10 a B/M/E-Technik
▪ Baunebenkosten	15%
▪ 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



* Quelle: Korrespondenz Abwasser, Abfall 2024 (71), Nr. 10: Könnemann, Lehmann, Hochgürtel: „Aktuelle Preise sowie zukünftige Kosten der Klärschlammentsorgung“

Einsparungen durch Struvitgewinnung auf der Kläranlage



- Verringerung Schlamm entsorgungsmenge (+1,5%-Punkte Schlamm entwässerung bei P-Rückgewinnung)
- Verringerung Polymerbedarf
 - ▶ 10% Reduktion, bezogen auf zu entwässernde Schlamm menge ohne P-Rückgewinnung
- Einsparung Belüftungsenergie
(N-Reduzierung, durch Entzug Ammonium mit dem Struvit, 0,7 kWh/kg N)
- Einsparung Fe-Fällmittel
(durch Reduzierung P-Rückbelastung)
- **entfallende Kosten für Monoverbrennung + Ascherückgewinnung**
 - ▶ Basis: Korrespondenz Abwasser 2024, Nr. 10

Ansatz Mittelwerte

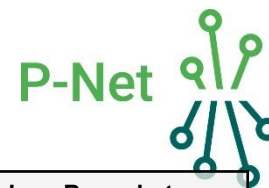


Preiskomponenten für die thermische Vorbehandlung in einer Monoverbrennungsanlage und P-Rückgewinnung aus der Asche (€/Mg OS Klärschlamm)	
Erwartete Kosten 2029 für thermische Vorbehandlung ab Kläranlage inkl. Transport	100–140
Abzüglich eingesparter Kosten der heutigen Asche-entsorgung inkl. Transport	– 10
Zuzüglich Kosten der Ascheaufbereitung und P-Rückgewinnung (Extraktionsverfahren) inkl. Transport und Entsorgung P-abereicherte Asche	35–40
Summe: Erwartete Kosten 2029 ab Kläranlage inkl. P-Rückgewinnung	125–170
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
Summe: Erwartete Kosten ab 2029 ab Kläranlage incl. P-Rückgewinnung und gegebenenfalls notwendige Aschezwischenlagerung	145–230

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)

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

Berücksichtigte Kostenkomponenten Investition



	Kostenbestandteile	ggf. durch vorhandene Bausubstanz ersetzbar (abgebildet durch Sensitivitätsanalyse – Investkosten)
Remobilisierung	Verdünnung (Rohrleitungen, Filtratpumpe + Filtratwasserbehälter, Messtechnik)	Filtratwasserbehälter
	Vorerwärmung (Rohrleitungen, Wärmetauscher, Heizschlammumpen, Messtechnik)	
	Remobilisierung (Rohrleitungen, Reaktor mit GFK-Abdeckung + Tauchmotorrührwerk, Messtechnik)	Reaktor mit GFK-Abdeckung
Remobilisateindickung	Rohrleitungen, Bandeindicker, Pumpen, Filtratbehälter, Polymeranlage, Messtechnik	Filtratbehälter
Prozesswasserspeicher	Speicher mit GFK-Abdeckung, Tauchmotorrührwerk, Beschickungspumpen Filtrat + Zentrat, Messtechnik	Speicher mit GFK-Abdeckung
Struvitfällung	Prozesswasserfiltration (Trommelfilter), Struvitfällung (Rohrleitungen, Fällungsreaktor mit Belüfter, MgCl-Annahmestation mit Abtankplatz, Gebläse, Pumpen, Sandwäscher, Messtechnik)	Fällungsreaktor mit Belüfter
	Fest/Flüssigtrennung Struvit (Rohrleitungen, Vakuumbandfilter, Abwurf in Container)	
Gebäude	Maschinengebäude, Trink-/Schmutz-/Regenwasserleitungen, umgebende Oberflächen, elektrische Gebäudeinstallationen, Krananlage	Gebäude komplett

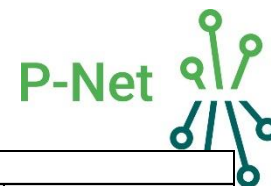
Investitionskosten nach Kostenblöcken und Anlagengrößen



	Anlagengröße			
Investkosten (netto, inkl. 15% Nebenkosten)	20.000 EW	50.000 EW	100.000 EW	1.000.000 EW
Remobilisierung				
Verdünnung (Rohrleitungen, Filtratpumpe + Filtratwasserbehälter, Messtechnik)	630.000,00 €	800.000,00 €	1.010.000,00 €	5.100.000,00 €
Vorerwärmung (Rohrleitungen, Wärmetauscher, Heizschlammumpen, Messtechnik)				
Remobilisierung (Rohrleitungen, Reaktor mit GFK-Abdeckung + Tauchmotorrührwerk, Messtechnik)				
Remobilisateindickung				
Rohrleitungen, Bandeindicker, Pumpen, Filtratbehälter, Polymeranlage, Messtechnik	410.000,00 €	410.000,00 €	440.000,00 €	990.000,00 €
Prozesswasserspeicher				
Speicher mit GFK-Abdeckung, Tauchmotorrührwerk, Beschickungspumpen Filtrat + Zentrat, Messtechnik	380.000,00 €	480.000,00 €	610.000,00 €	2.660.000,00 €
Struvitfällung				
Struvitfällung (Rohrleitungen, Fällungsreaktor mit Belüfter, MgCl-Annahmestation mit Abtankplatz, Gebläse, Pumpen, Sandwäscher, Messtechnik)	960.000,00 €	1.060.000,00 €	1.140.000,00 €	3.620.000,00 €
Fest/Flüssigtrennung (Rohrleitungen, Vakuumbandfilter, Container)				
Gebäude				
Maschinengebäude, Trink-/Schmutz-/Regenwasserleitungen, umgebende Oberflächen, elektrische Gebäudeinstallationen, Krananlage (2t / 2,5t)	540.000,00 €	540.000,00 €	540.000,00 €	1.550.000,00 €
Nettosumme (inkl. rd. 15% NK)	2.920.000,00 €	3.290.000,00 €	3.740.000,00 €	13.920.000,00 €

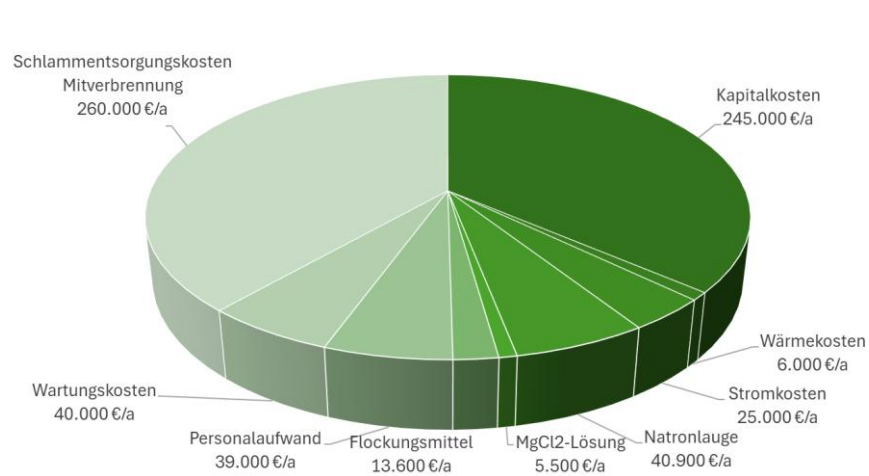
Kein kontinuierlicher Betrieb aller
Prozessstufen

Gesamtwirtschaftlichkeit Umsetzung P-Rückgewinnung

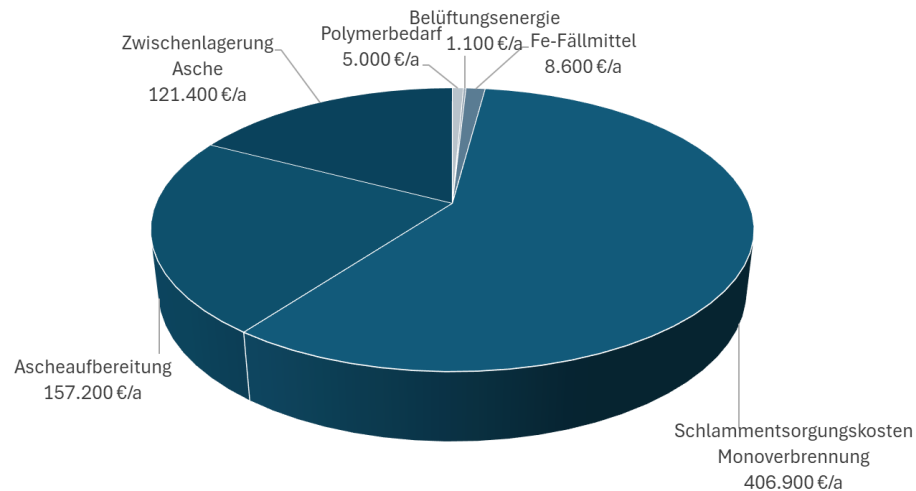


Jahreskosten - Zusammenfassung	Anlagengröße			
	20.000 EW	50.000 EW	100.000 EW	1.000.000 EW
Kosten				
Kapitalkosten, Kapitalisierung nach KVR-Leitlinien (Bau, M- und EMSR-Technik)	220.000,00 €	245.000,00 €	276.000,00 €	925.000,00 €
Wärmekosten	2.000,00 €	6.000,00 €	12.000,00 €	118.000,00 €
Stromkosten	11.000,00 €	25.000,00 €	51.000,00 €	479.000,00 €
Betriebschemikalien (Polymer, MgCl, NaOH)	24.000,00 €	60.000,00 €	120.000,00 €	1.200.000,00 €
Personalaufwand	31.000,00 €	39.000,00 €	47.000,00 €	88.000,00 €
Wartungskosten	36.000,00 €	40.000,00 €	45.000,00 €	135.000,00 €
Schlammentsorgungskosten Mitverbrennung (75 €/t)	104.000,00 €	260.000,00 €	520.000,00 €	5.201.000,00 €
Summe Kosten	428.000,00 €	675.000,00 €	1.071.000,00 €	8.146.000,00 €
Einsparungen				
Verringerung Polymerbedarf (-10%)	2.000,00 €	5.000,00 €	10.000,00 €	100.000,00 €
Einsparung Belüftungsenergie (N-Reduzierung)	400,00 €	1.100,00 €	2.200,00 €	22.000,00 €
Einsparung Fe-Fällmittel	3.400,00 €	8.600,00 €	17.200,00 €	172.500,00 €
Verringerung Betriebsaufwendungen	-	-	-	-
Summe Einsparungen	5.800,00 €	14.700,00 €	29.400,00 €	294.500,00 €
Ersparnis durch entfallende Monoverbrennung + Ascheaufbereitung + Zwischenlagerung (187,50 €/t)	274.000,00 €	685.000,00 €	1.371.000,00 €	13.708.000,00 €
Wirtschaftlicher Vorteil (bei Entfall Monoverbrennung)	- 148.200,00 €	24.700,00 €	329.400,00 €	5.856.500,00 €
Struvitmenge (t Struvit_{trocken}/a)	36 t Struvit/a	89 t Struvit/a	178 t Struvit/a	1.782 t Struvit/a

Beispiel: 50.000 EW



Jahreskosten: 675.000 €/a



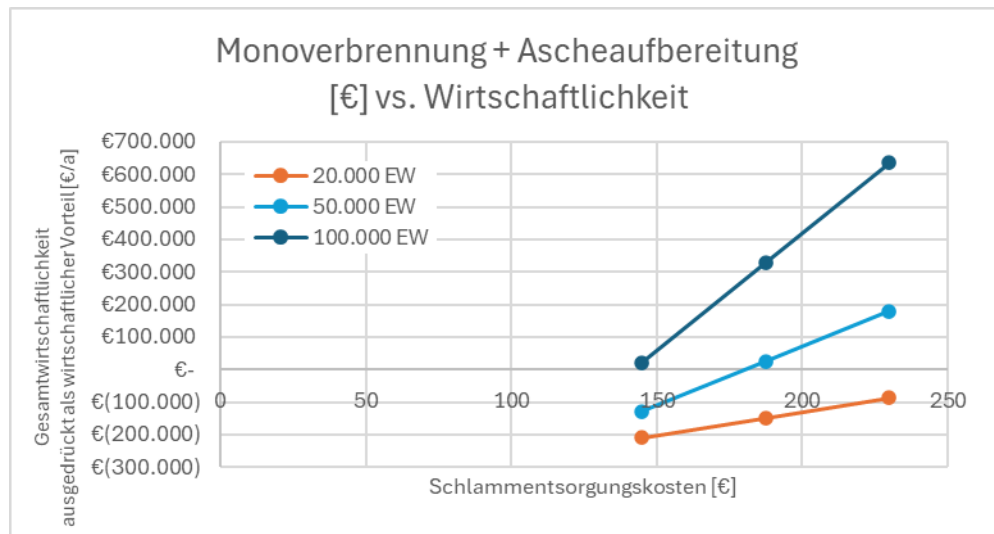
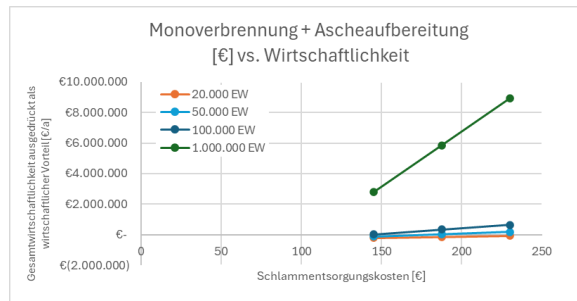
Einsparungen: 700.000 €/a

Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse - Einsparungen durch entfallende Monoverbrennung etc.



	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
Summe: Erwartete Kosten 2029 ab Kläranlage inkl. P-Rückgewinnung	125–170
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
Summe: Erwartete Kosten ab 2029 ab Kläranlage incl. P-Rückgewinnung und gegebenenfalls notwendige Aschezwischenlagerung	145–230 187,5 €/t

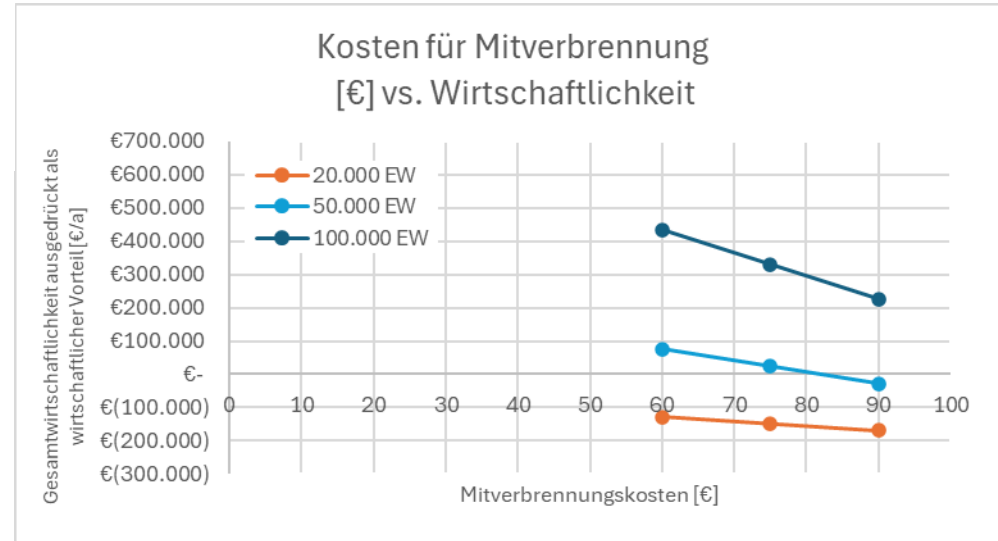
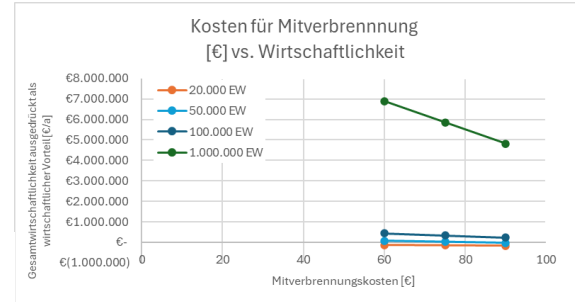
Tabelle 2: Kostenabschätzung für 2029 für die thermischen Vorbehandlung und P-Rückgewinnung je Mg Klärschlamm Originalsubstanz (Kostenschätzung der Autoren für maschinell entwässerten Klärschlamm ab Kläranlage)



Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse - Kosten durch Mitverbrennung

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 75 €/t	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

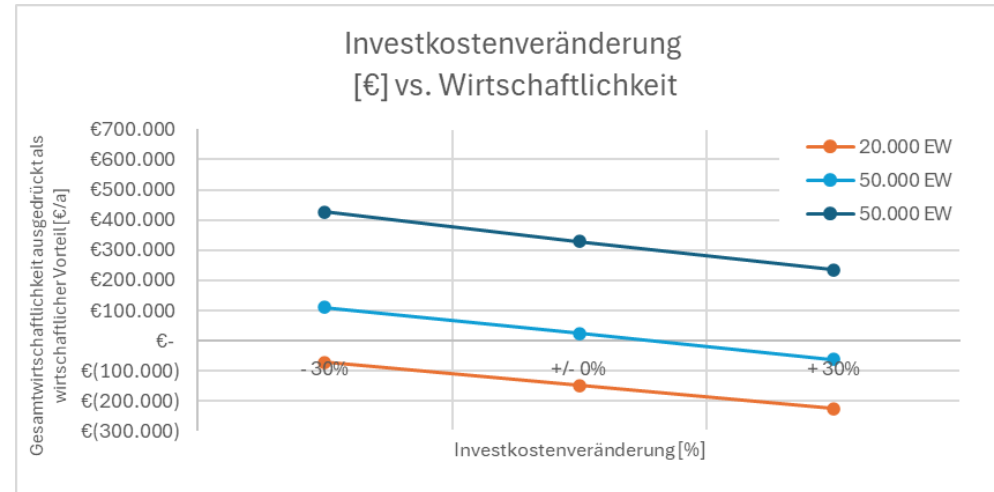
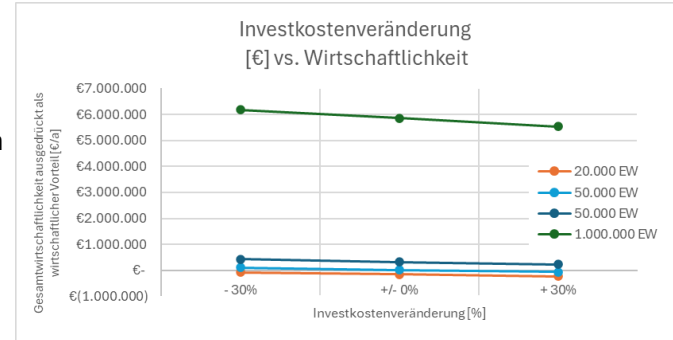
Tabelle 1: Durchschnittliche Preise der Klärschlamm Entsorgung ohne Phosphorrückgewinnung (Einschätzung der Autoren zu aktuellen Marktpreisen)



Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse - Investitionskosten



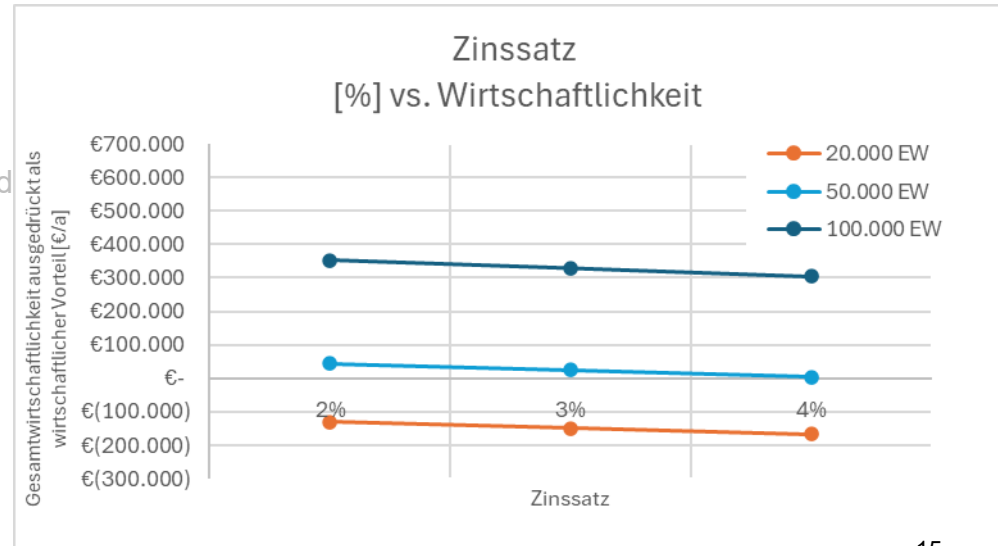
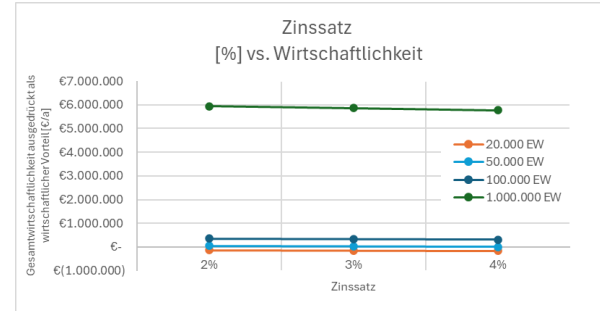
- ▶ **Investitionskosten +/- 30%**
 - Abschätzung nach unten auf Basis geschätzter Kostenanteile nutzbarer vorhandener Komponenten
- ▶ Auslegung für 20.000 / 50.000 / 100.000 / 1.000.000 E Referenzanlage
- ▶ Zinsen 3%
- ▶ Abschreibungszeiten: Bau 30 Jahre / VMA 15 Jahre / EMSR 10 Jahre
- ▶ Kapitalisierung nach KVR-Leitlinien (Bau, M- und EMSR-Technik)



Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse - Zinssatz



- ▶ Kapitalkosten basierend auf bürointernen Erfahrungen
- ▶ Auslegung für 20.000 / 50.000 / 100.000 / 1.000.000 E Referenzanlage
- ▶ **Zinsen 3% (+/- 1 %-Punkt)**
- ▶ Abschreibungszeiten: Bau 30 Jahre / VMA 15 Jahre / EMSR 10 Jahre
- ▶ Kapitalisierung nach KVR-Leitlinien (Bau, M- und EMSR-Technik)



- P-Rückgewinnung lässt sich wirtschaftlich ab einer Anlagengröße von ca. 50.000 EW darstellen!
- P-Rückgewinnung auf der Kläranlage ist eine echte Alternative zur Monoverbrennung + Ascherückgewinnung!
- Die Differenzkosten der Schlammentsorgungswege (Monoverbrennung + Alternative) sind entscheidend!
- Tatsächliche Anwendbarkeit & Wirtschaftlichkeit ist anlagenspezifisch zu bewerten!

Fragen?



Projekt- und Praxispartner



Förderung

GEFÖRDERT VOM

