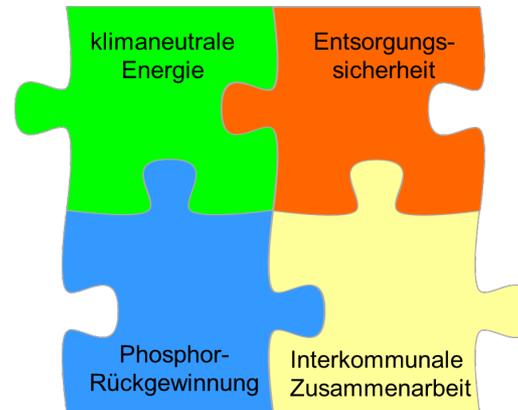




Klärschlammverwertung und Phosphorrecycling für die Region Nord-Ost-Hessen (RePhoNOH)

eine Machbarkeitsstudie



Prof. Dr. Ulf Theilen

Prof. Dr. Harald Weigand

Prof. Dr. Diedrich Steffens

KompetenzZentrum für nachhaltiges Engineering- und UmweltSysteme **ZEuUS**
Technische Hochschule Mittelhessen, Justus-Liebig-Universität, TransMIT GmbH

Gliederung der Studie

(Stand März 2021)

1. Veranlassung und Ziele
2. Rechtliche Rahmenbedingungen (aktuell, ab 31.12.2023, ab 01.01.2029/2032)
3. Zusammenstellung und Konkretisierung der notwendigen Basisdaten
4. Typisierung der Kläranlagen in NOH
5. Auswirkungen des Maßnahmenprogramms zur Umsetzung der EU-WRRL
6. Stand der Technik und Wissenschaft des Phosphor-Recyclings, Vorbehandlung, Vor- und Nachteile
7. Chemische Zusammensetzung der P-Rezyklate
8. Vermarktung der P-Rezyklate, Qualität, Pflanzenverfügbarkeit
9. Ausarbeitung verschiedener Szenarien zur Klärschlammverwertung und zum Phosphor-Recycling
10. Vorschläge für ein Gesamtkonzept und weitere Planungsschritte für NOH

Gliederung der Studie

1. Veranlassung und Ziele
2. Rechtliche Rahmenbedingungen (aktuell, ab 31.12.2023, ab 01.01.2029/2032)
- 3. Zusammenstellung und Konkretisierung der notwendigen Basisdaten**
4. Typisierung der Kläranlagen in NOH
5. Auswirkungen des Maßnahmenprogramms zur Umsetzung der EU-WRRL
6. Stand der Technik und Wissenschaft des Phosphor-Recyclings, Vorbehandlung, Vor- und Nachteile
7. Chemische Zusammensetzung der P-Rezyklate
8. Vermarktung der P-Rezyklate, Qualität, Pflanzenverfügbarkeit
9. Ausarbeitung verschiedener Szenarien zur Klärschlammverwertung und zum Phosphor-Recycling
10. Vorschläge für ein Gesamtkonzept und weitere Planungsschritte für NOH

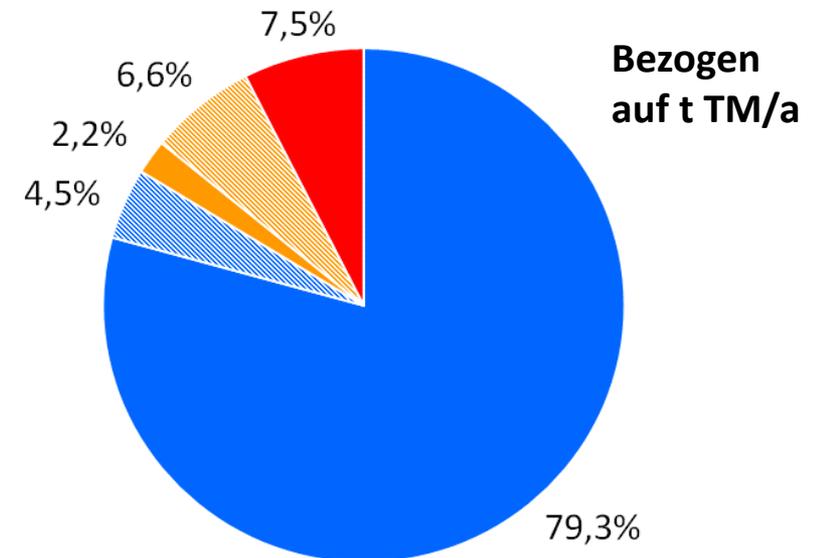
Abschluss Fragebögen Rücklauf / Abgleich FIS-HAA

- insgesamt 139 Kommunen angeschrieben 28.05. / 01.06.2020
297 Kläranlagen, Ausbaugröße 1.974.610 EW, Anschlussgröße ca. 1.815.000 EW
- bis 20.06. (erbetenes Rücksendedatum): 53 Rückläufe
- am 01.07. Erinnerungsmail mit erweiterten Kontaktdaten (insbesondere Bauamtsleiter, Abwasserverbände, Kläranlagen direkt), Mail-Adressen des RP nicht spezifisch
- FIS-HAA-Daten erhalten am 29.07.2020
(auf Basis Datennutzungsvereinbarung mit HLNUG)
- Letzte **Rückläufe** erhalten Mitte Dezember:
123 Rückläufe (entspr. 88,5 % aller Kommunen)
256 Kläranlagen (86 %), Anschlussgröße 1.680.224 EW (92,6 %)



Potenzielle Interessenten in NOH

Kooperationsinteresse	Anzahl	KS-Menge (t TM / a)
kurzfristig	189	15.123
davon EAM Netz GmbH	23	1.011
langfristig	52	3.833
Vererdung (langfr. Int.)	8	1.500 ¹
kein Interesse	7	489
keine Rückmeldung	41	1.695 ²
erfasste KA	297	22.641
KA mit Interesse	249	20.456
	83,8%	90,4%



Σ AG = 1.974.610 EW

- Interesse (ohne EAM)
- Interesse (EAM)
- kein Interesse
- Klärschlammvererdung
- keine Rückmeldung

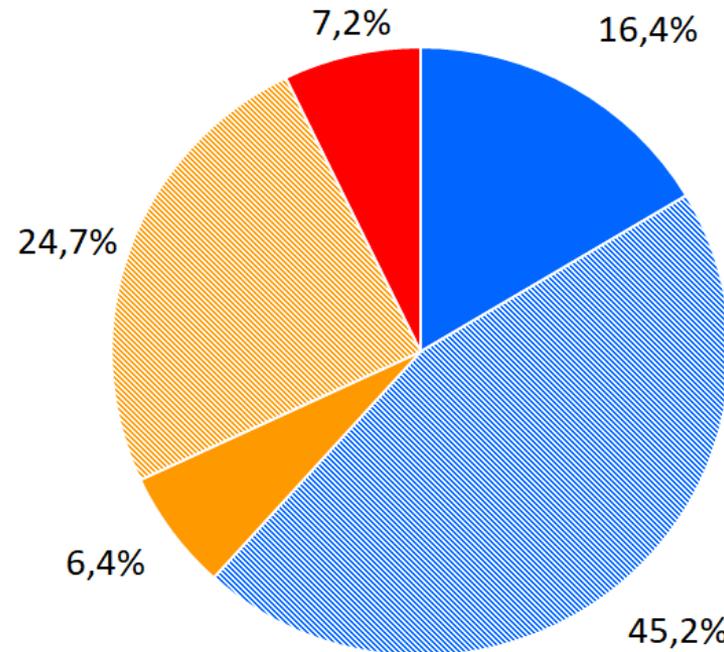
Abschluss Fragebögen Rücklauf / Abgleich FIS-HAA Interesse, angeschlossene Einwohnerwerte

Kreis- Nr.	Kreis	kurzfristiges Interesse				langfristiges Interesse				EAM Netz GmbH	
		Anzahl KA	%	Anschluss- größe	%	Anzahl KA	%	Anschluss- größe	%	Anzahl KA	Anschluss- größe
611	Stadt Kassel	1	100%	340.000	100%	0	0%	0	0%	0	0
631	Kreis Fulda	32	59%	255.879	71%	5	9%	12.518	3%	6	20.571
632	Kreis Hersfeld- Rotenburg	6	15%	73.215	34%	3	7%	7.800	4%	14	16.086
633	Kreis Kassel	18	49%	120.528	51%	16	43%	98.927	42%	0	0
634	Kreis Schwalm-Eder	30	43%	101.859	38%	18	26%	88.434	33%	0	0
635	Kreis Waldeck- Frankenberg	61	100%	259.776	100%	0	0%	0	0%	0	0
636	Kreis Werra-Meißner	18	53%	89.944	65%	10	29%	36.770	26%	3	2.871
Summe		166	56%	1.241.201	68%	52	18%	244.449	13%	23	39.528

Σ AG = 1.974.610 EW



Abschluss Fragebögen Rücklauf / Abgleich FIS-HAA aktuelle Klärschlammverwertung (20.456 t TM/a)



- Landwirtschaft, Nassschlamm
- Landschaftsbau
- Klärschlammvererdung
- Landwirtschaft, entw. Schlamm
- Verbrennung

Daten von 249 der 297 Kläranlagen

Konkretisierung der Basisdaten (Klärschlammzusammensetzung ca. 1000 Klärschlammanalysen ausgewertet)



		AbklärV 27.09.2017 gem. Anlage 1	DümV v. 26.05.2017 EU-DüMV v. 05.06.2019 Anlage 2 Tabelle 1.4 Spalte 4	Anzahl Analysen	Über- schreitungen
			Kennzeichnung Grenzwert		
Arsen	mg / kg TM		20 40	829	6 Werte über Kennz.
Blei	mg / kg TM		100 150	970	1 Wert über Kennz.
Cadmium	mg / kg TM		1 1,5	970	ca. 350 Werte über Kennz. 21 Werte über GW
Chrom	mg / kg TM		300	970	5 Werte über Kennz./ 3 Anlagen
Chrom (VI)	mg / kg TM		1,2 2,0	421	Keine Überschreitungen
Kupfer	mg / kg TM		900 / 300 / 600	970	ca. 430 Werte / 5 Werte
Nickel	mg / kg TM		40 80	970	Ca. 190 Werte über Kennz. 22 Werte über GW (bis 140)
Quecksilber	mg / kg TM		0,5 1,0	960	ca. 130 ü. Kennz / 4 ü. GW
Thallium	mg / kg TM		0,5 1,0	640	2 ü. Kennz./ keine ü. GW
Zink	mg / kg TM	4000	5.000 / 800 /1.500	970	keine / ca. 700 Werte/ ca. 36 Werte
PFT	mg / kg TM		0,05 0,1	260	1 Anlage / keine
AOX	mg / kg TM	400		950	12 Wert ü. GW / 2 Anlagen
PCB je Kong.	mg / kg TM	0,1			keine
Benzo(a)pyren	mg / kg TM	1			keine
Σ Dioxine dl-PCB	ng / kg TM		30	285	12 Werte ü. GW / 2 Anlagen



Phosphor-Potential in NOH

Gesamt-P-Fracht ca. 537 t P /a entspr. ca. 1.230 t P₂O₅/a

davon

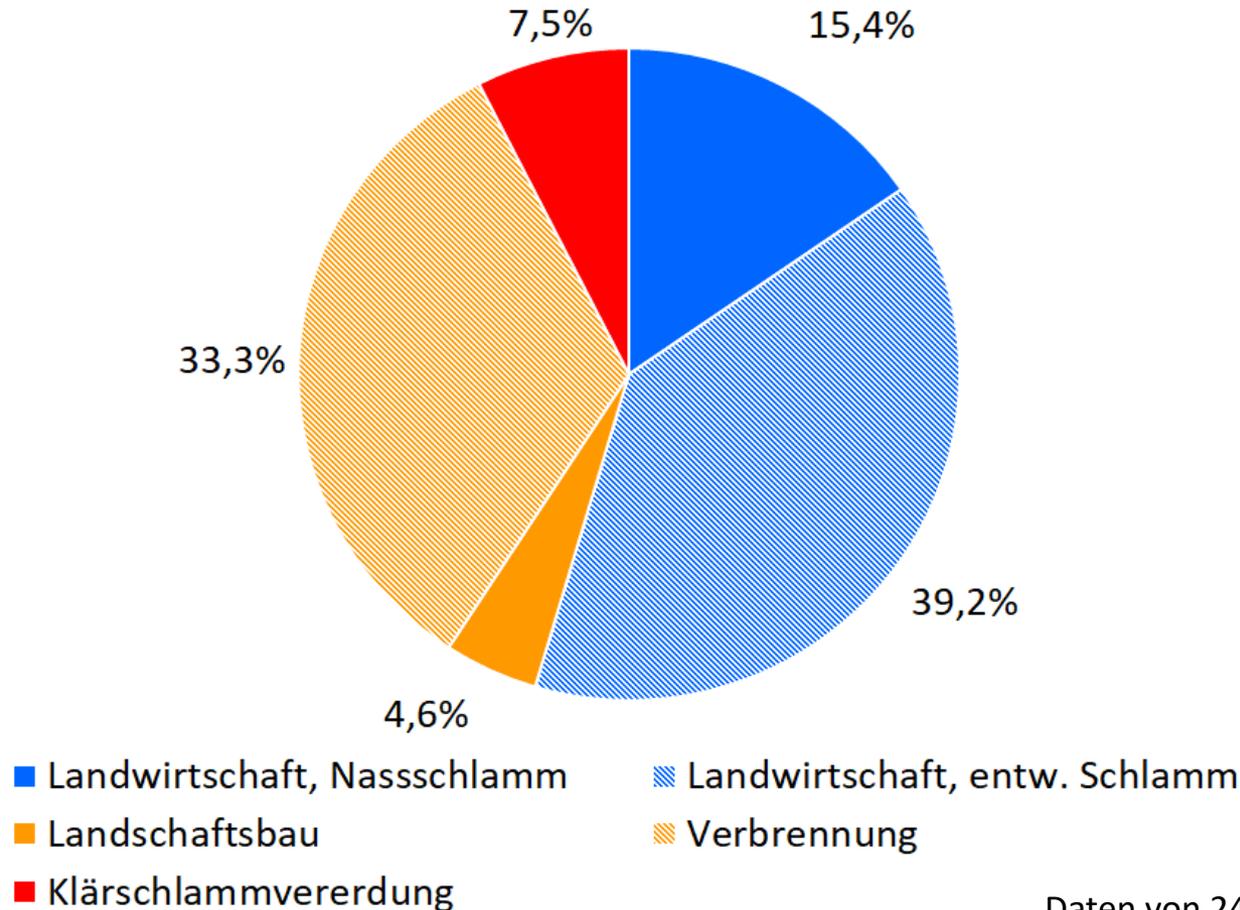
- langfristig in KS-Vererdungsanlagen:

ca. 41 t P /a entspr. ca. 94 t P₂O₅/a

- in Schlämmen mit < 2 % P: ca. 87 t P /a entspr. ca. 198 t P₂O₅/a



Phosphor-Potential in NOH, aktuelle Entsorgung

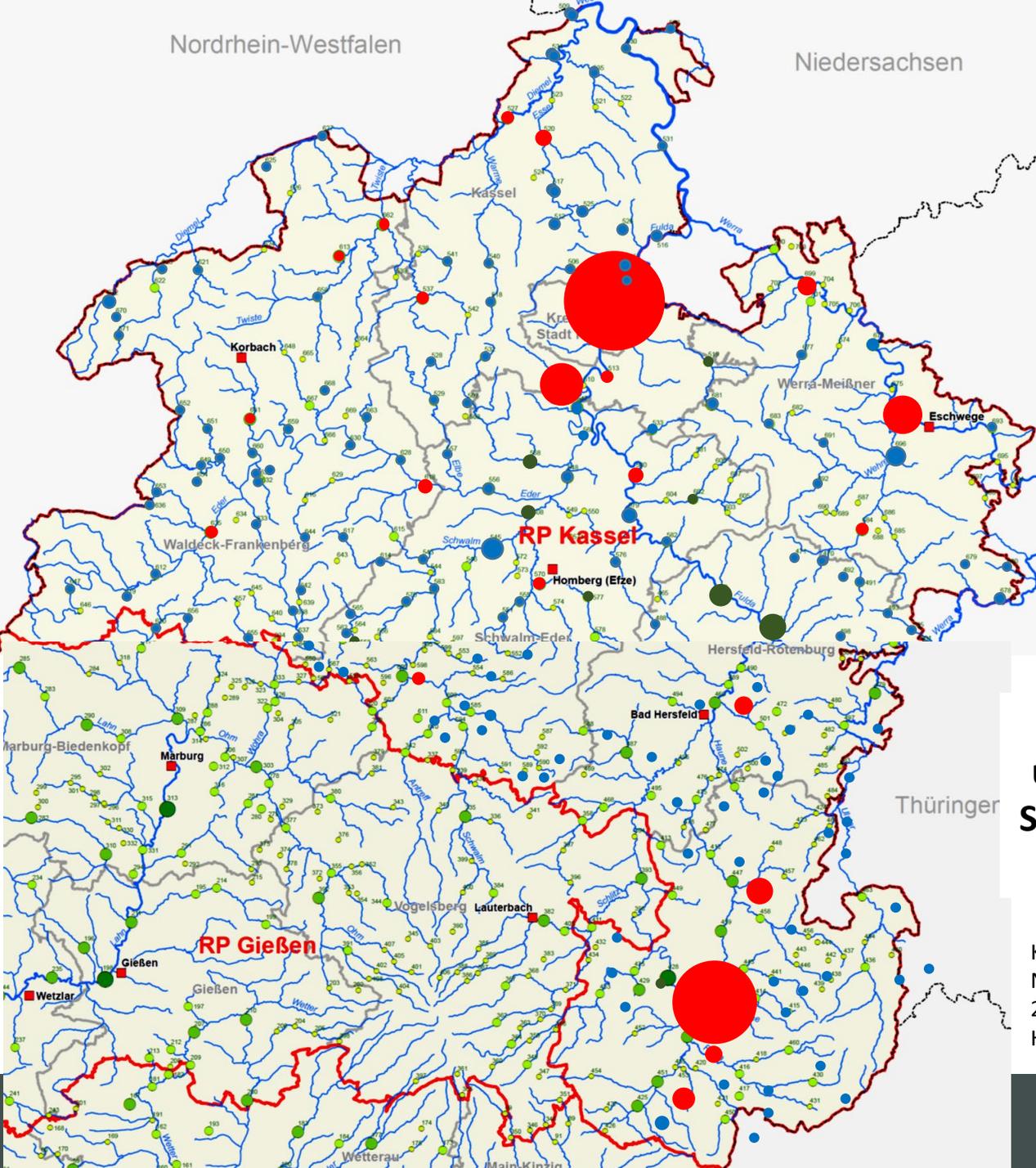


**Summe:
ca. 537 t P/a**

Daten von 249 der 297 Kläranlagen

Gliederung der Studie

1. Veranlassung und Ziele
2. Rechtliche Rahmenbedingungen (aktuell, ab 31.12.2023, ab 01.01.2029/2032)
3. Zusammenstellung und Konkretisierung der notwendigen Basisdaten
- 4. Typisierung der Kläranlagen in NOH**
5. Auswirkungen des Maßnahmenprogramms zur Umsetzung der EU-WRRL
6. Stand der Technik und Wissenschaft des Phosphor-Recyclings, Vorbehandlung, Vor- und Nachteile
7. Chemische Zusammensetzung der P-Rezyklate
8. Vermarktung der P-Rezyklate, Qualität, Pflanzenverfügbarkeit
9. Ausarbeitung verschiedener Szenarien zur Klärschlammverwertung und zum Phosphor-Recycling
10. Vorschläge für ein Gesamtkonzept und weitere Planungsschritte für NOH



Klärschlamm-mengen / Schwerpunkte

- KA mit Faulung
- KA mit aerober Stabilisierung
- KA mit Klärschlamm-vererdung

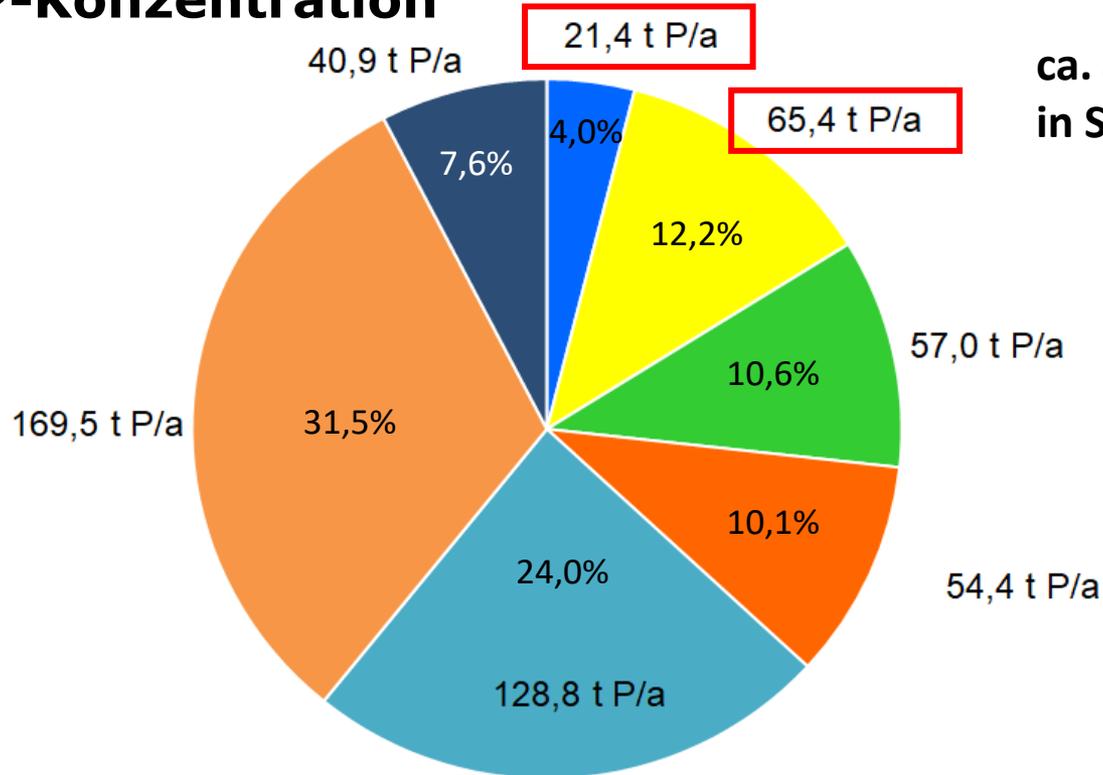
Fast alle Faulungsanlagen sind unterbelastet, können zusätzlich Schlämme zur Faulgasproduktion annehmen

Karte Ausschnitt © Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie, Wiesbaden 2023 Kommunale Abwasserbehandlungsanlagen in Hessen, Lagebericht 2022, Karte



Clusterung P-Konzentration

Summe:
ca. 537 t P/a



ca. 87 t P/a (16,2%)
in Schlämmen < 2 % P

- < 1,5 % P
- 1,5 - 2,0 % P
- 2,0 - 2,5 % P
- 2,5 - 3,0 % P
- 3,0 - 3,5 % P
- > 3,5 % P
- P in KS.-Vererdung

Gliederung der Studie

1. Veranlassung und Ziele
2. Rechtliche Rahmenbedingungen (aktuell, ab 31.12.2023, ab 01.01.2029/2032)
3. Zusammenstellung und Konkretisierung der notwendigen Basisdaten
4. Typisierung der Kläranlagen in NOH
5. Auswirkungen des Maßnahmenprogramms zur Umsetzung der EU-WRRL
6. Stand der Technik und Wissenschaft des Phosphor-Recyclings, Vorbehandlung, Vor- und Nachteile
7. Chemische Zusammensetzung der P-Rezyklate
8. Vermarktung der P-Rezyklate, Qualität, Pflanzenverfügbarkeit
9. **Ausarbeitung verschiedener Szenarien zur Klärschlammverwertung und zum Phosphor-Recycling**
10. Vorschläge für ein Gesamtkonzept und weitere Planungsschritte für NOH

in 2021 diskutierte Aktivitäten im Bereich RP Kassel

1. Städtische Werke Kassel

Umstellung des Fernwärmekraftwerk auf regenerative Brennstoffe

2. EAM Natur GmbH:

Planung dezentrale Trocknung Sontra, ca. 17.000 t/a entw. KS

3. KRV / Maschinenring Waldeck-Frankenberg:

Konzeption dezentrale Trocknung LK Waldeck-Frankenberg ca. 6.000 t/a entw. KS

4. Dietz Automation & Umwelttechnik GmbH / Dietz Bioenergie GmbH:

Betrieb dezentrale Trocknung Bad Wildungen, Planung Fritzlar-Lohne
je ca. 3.600 t/a entw. KS

5. Stadtwerke Schlitz: Dezentrale Klärschlammverwertung unter Einbeziehung von Schlämmen aus dem Bereich RP Kassel, ca. 5.500 t/a entw. KS

6. Landkreis Fulda: RhönEnergie Effizienz und Service GmbH

keine detaillierten Informationen

Machbarkeitsstudie RePhoNOH: Szenarien

- Szenario 1:** Bodenbezogene Verwertung
- Szenario 2:** Dezentrale P-Abreicherung aus dem Klärschlamm, Entwässerung und thermische Verwertung in der Mit-Verbrennung (Zementwerk)
- Szenario 3:** Entwässerung, **dezentrale Trocknung und Monoverbrennung** (Drehrohofen), **direkte Verwertung der Asche in der Düngemittelindustrie**
- Szenario 4:** Entwässerung, **dezentrale Trocknung**, zentrale thermische Verwertung in der **Monoverbrennung Kassel**, **P-Rückgewinnung aus der Asche**
- Szenario 5:** Entwässerung, Transport zur **Monoverbrennung Kassel**, **P-Rückgewinnung aus der Asche**



Szenario 1 Bodenbezogene Verwertung

- **Zukünftig möglich für alle Schlämme, wenn**
 - Größenklasse 1 – 4a (< 50.000 EW)
 - Inhaltsstoffe unterhalb der Grenzwerte der DüMV, AbklärV
 - Flächenverfügbarkeit
(Einschränkung aufgrund Flächenkonkurrenzen, Anforderungen der DüV)
- **KRV-GmbH (Maschinenring Waldeck-Frankenberg) sowie Maschinenring Schwalm-Eder** prognostizierten in 2021:
 - ca. 40 – 50 % der Klärschlämme werden weiter in die Landwirtschaft gehen
 - ca. 50 – 60 % der Klärschlämme werden zukünftig getrocknet und thermisch behandelt

Szenario 1 Bodenbezogene Verwertung

Angebener Kostenbereich lt. Fragebögen:

- | | | |
|------------------------|--------------------------|------------------------|
| • Nassschlamm | 11 – 30 €/m ³ | 27,50 €/m ³ |
| • entwässerter Schlamm | 27 – 130 €/t | 90,00 €/t |

Gesamtkosten Szenario 1:

Szenario 1.1: Nassschlamm: ca. 27,5 €/m³ (3-5 %)

ca. 550 - 920 €/t TM

Szenario 1.2: entwässerter Schlamm: ca. 90 €/t (25 - 27 %)

ca. 340 - 360 €/t TM

zzgl. Entwässerungskosten

stationäre Entw. 4 – 8 €/m³ entspr. 100 – 200 €/t TM

P-Rückführung 100 %

Szenario 2 Dezentrale P-Abreicherung aus dem Klärschlamm, Entwässerung und **Mit-Verbrennung (Zementwerk)**

Verfahren zur P-Rückgewinnung aus Klärschlamm (§ 3a Abs.1 AbfKlärV n.F.)

Reduzierung des P-Gehaltes des behandelten Klärschlammes entweder

- um mindestens 50 Prozent oder
- auf weniger als 20 g P / kg Trockenmasse (< 2 % P)

Vermischung der Klärschlämme nur zulässig, sofern der zugemischte Klärschlamm einen P-Gehalt von **mehr als 20 g P / kg TM** aufweist.

➔ Beim Aufschluss des Schlammes zur Lösung des Phosphats wird auch Trockenmasse „aufgelöst“.

Ziel < 2 % P sicher nur erreichbar

bei Ausgangs-P-Konzentration < 2,4 – 2,7 % P



Szenario 2 Dezentrale P-Abreicherung aus dem Klärschlamm, Entwässerung und Mit-Verbrennung (Zementwerk)

Gesamtkosten Szenario 2:

Szenario 2.1: Mobile P-Abreicherung: ca. 272 €/t KS (25 %)
ca. 1.100 €/t TM

Szenario 2.2: Stationäre CalPrex-Anlage: ca. 131 €/t KS (25 %)
ca. 525 €/t TM

Kosten zzgl. Entwässerungskosten

stationäre Entw. 4 – 8 €/m³ entspr. 100 – 200 €/t TM

P-Rückgewinnung ca. 30 – 35 %

Szenario 3 Dezentrale Trocknung, Verbrennung im Drehrohr-Ofen, Bereitstellung der Asche für die Düngemittelproduktion



6.000 t/a KS
Paddeltrockner
Drehrohröfen
Rauchgasreinigung



Fotos: Fa. Werkstätten Heating Systems
GmbH, Nordhorn



Beispielanlage
Fa. WERKSTÄTTEN
Heating Systems,
Schüttorf

Szenario 3 Dezentrale Trocknung, Verbrennung im Drehrohr-Ofen, Bereitstellung der Asche für die Düngemittelproduktion

Szenario 3.1: Standortbeispiele LK Waldeck-Frankenberg,
LK Werra-Meißner

ca. 6.000 t/a KS (25 %)

ca. 129 €/t KS (25 %)

ca. 1.500 t/a TM

ca. 515 €/t TR

Szenario 3.2: Standortbeispiel LK Fulda

ca. 12.000 t/a KS (25 %)

ca. 123 €/t KS (25 %)

ca. 3.000 t/a TM

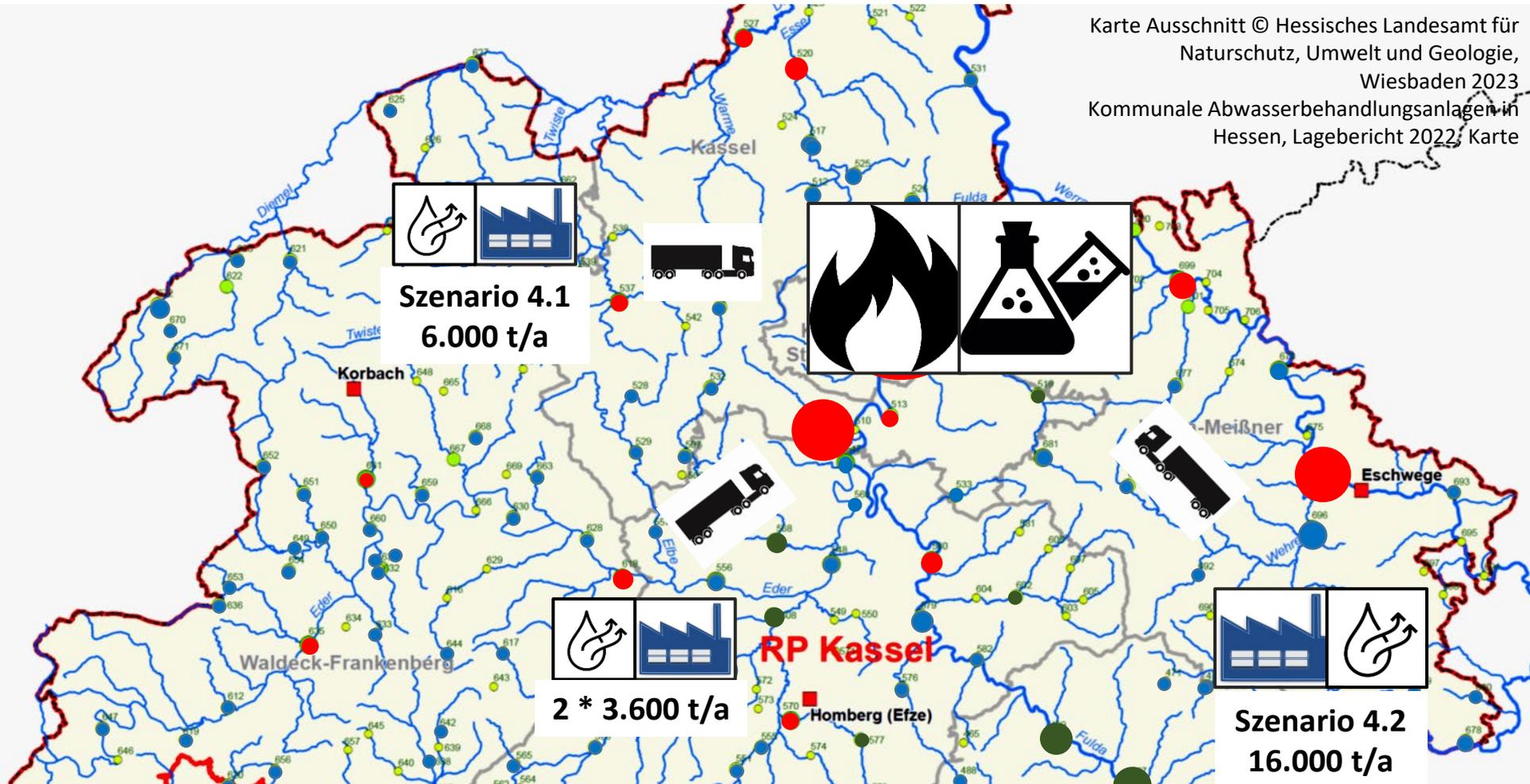
ca. 495 €/t TM

Kosten zzgl. Entwässerungskosten (Stand 2021)

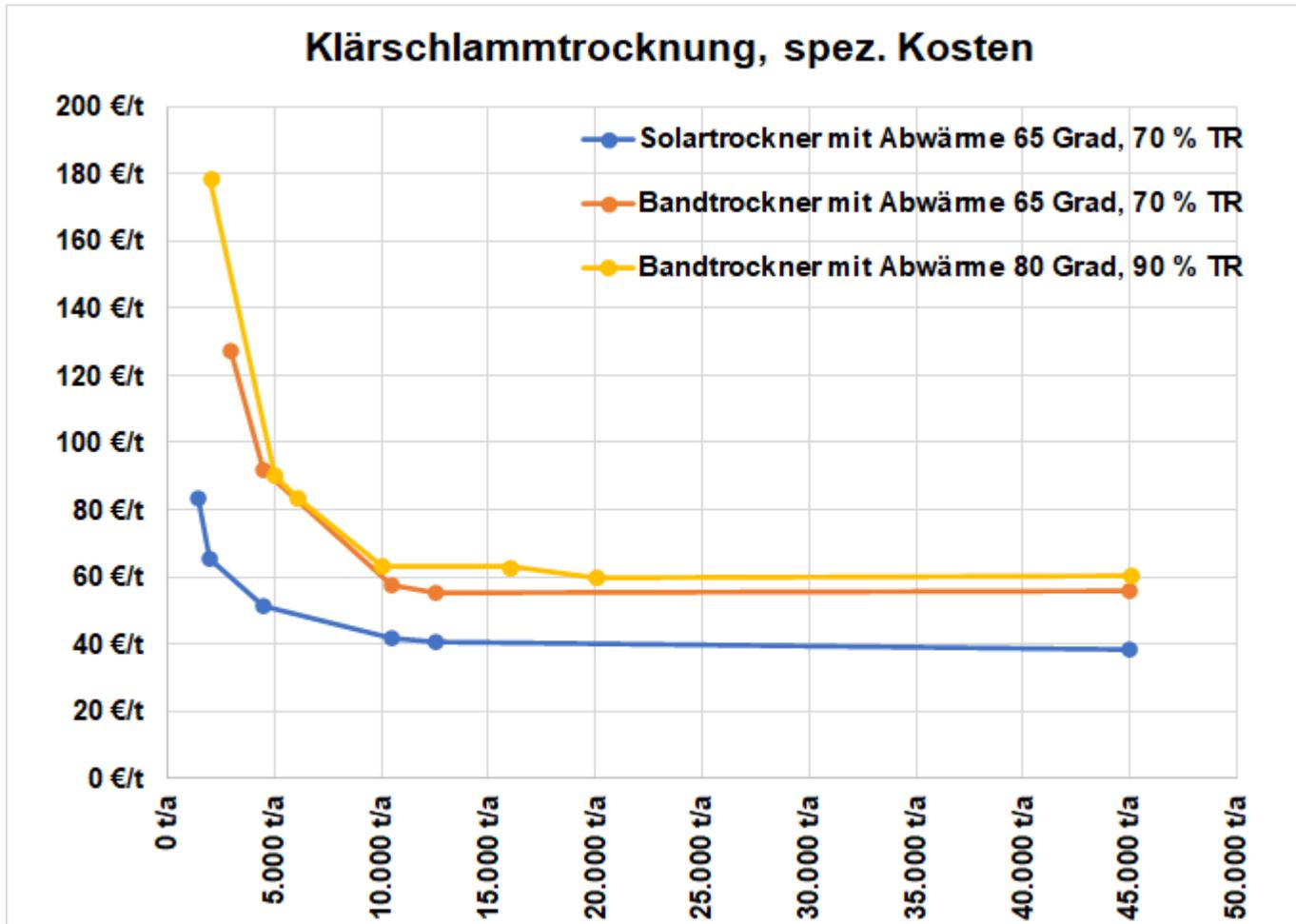
stationäre Entw. 4 – 8 €/m³ entspr. 100 – 200 €/t TM

P-Rückgewinnung ca. 90 %

Szenario 4 Dezentrale Trocknung, Zentrale Verbrennung Städtische Werke Kassel, Aufbereitung der Asche (Phosphorsäure-Produktion)



Szenario 4 Dezentrale Trocknung, Zentrale Verbrennung Städtische Werke Kassel, Aufbereitung der Asche (Phosphorsäure-Produktion)



Szenario 4 Dezentrale Trocknung, Zentrale Verbrennung Städtische Werke Kassel, Aufbereitung der Asche (Phosphorsäure-Produktion)

Szenario 4.1: Standortbeispiel LK Waldeck-Frankenberg

ca. 6.000 t/a KS (25 %)

ca. 155 €/t KS (25 %)

ca. 1.500 t/a TM

ca. 622 €/t TM

Szenario 4.2: Standortbeispiel LK Werra-Meissner

ca. 16.000 t/a KS (25 %)

ca. 130 €/t KS (25 %)

ca. 4.000 t/a TM

ca. 523 €/t TM

Kosten zzgl. Entwässerungskosten

stationäre Entw. 4 – 8 €/m³ entspr. 100 – 200 €/t TM

P-Rückgewinnung ca. 90 %



Szenario 5 Zentrale Trocknung, Zentrale Verbrennung SW Kassel, Aufbereitung der Asche (Phosphorsäure-Produktion)

Städtische Werke Energie + Wärme GmbH, Kassel Fernwärmekraftwerk

- **Zukünftige Klärschlamm-mengen in die Verbrennung**
 - Annahme insgesamt ca. 220.000 t/a
 - davon ca. 70.000 t/a (25-30 % TS) in die eigene Trocknung,
entspr. ca. 19.000 t/a (90 % TS)
- Zusätzlich Annahme / Verbrennung von **Altholz** (Kat. A1 und A11)
Konsequenz bzgl. der P-Rückgewinnung ?
- **Verfahren zur P-Rückgewinnung ??**
- **Siehe Szenario 4**



Szenario 5 Zentrale Trocknung, Zentrale Verbrennung SW Kassel, Aufbereitung der Asche (Phosphorsäure-Produktion)

Zentrale Verbrennung und P-Rückgewinnung (50.000 t/a Asche):

1. Klärschlammverbrennung Städtische Werke Energie + Wärme, Kassel:

Annahmepreise (keine konkreten Aussagen):

- entwässerter Schlamm: ca. 85 €/t
- getrockneter Schlamm: ca. 25 €/t

2. P-Rückgewinnung: Produktion von Phosphorsäure

Remondis Aqua GmbH: TetraPhos®-Verfahren

„Beim umgesetzten Verfahren entstehen hochwertige Produkte u.a. für die Metall- und Düngemittelindustrie. Die damit generierten Erlöse finanzieren die TPHH-Anlage (TetraPhos®-Hamburg), ohne den Gebührenhaushalt zu belasten.“



PARFORCE GmbH:

- Spezifische Kosten: ca. 300 €/t Asche
ca. 35 €/t KS (25 %)

Szenario 5 Zentrale Trocknung, Zentrale Verbrennung SW Kassel, Aufbereitung der Asche (Phosphorsäure-Produktion)

Szenario 5.1: Schlämme KASSELWASSER

ca. 17.500 t/a KS (26 %)

ca. 97 €/t KS

ca. 4.570 t/a TM

ca. 370 €/t TM

Szenario 5.2: Schlämme AV Fulda

ca. 8.000 t/a KS (23 %)

ca. 110 €/t KS

ca. 1.840 t/a TM

ca. 470 €/t TM

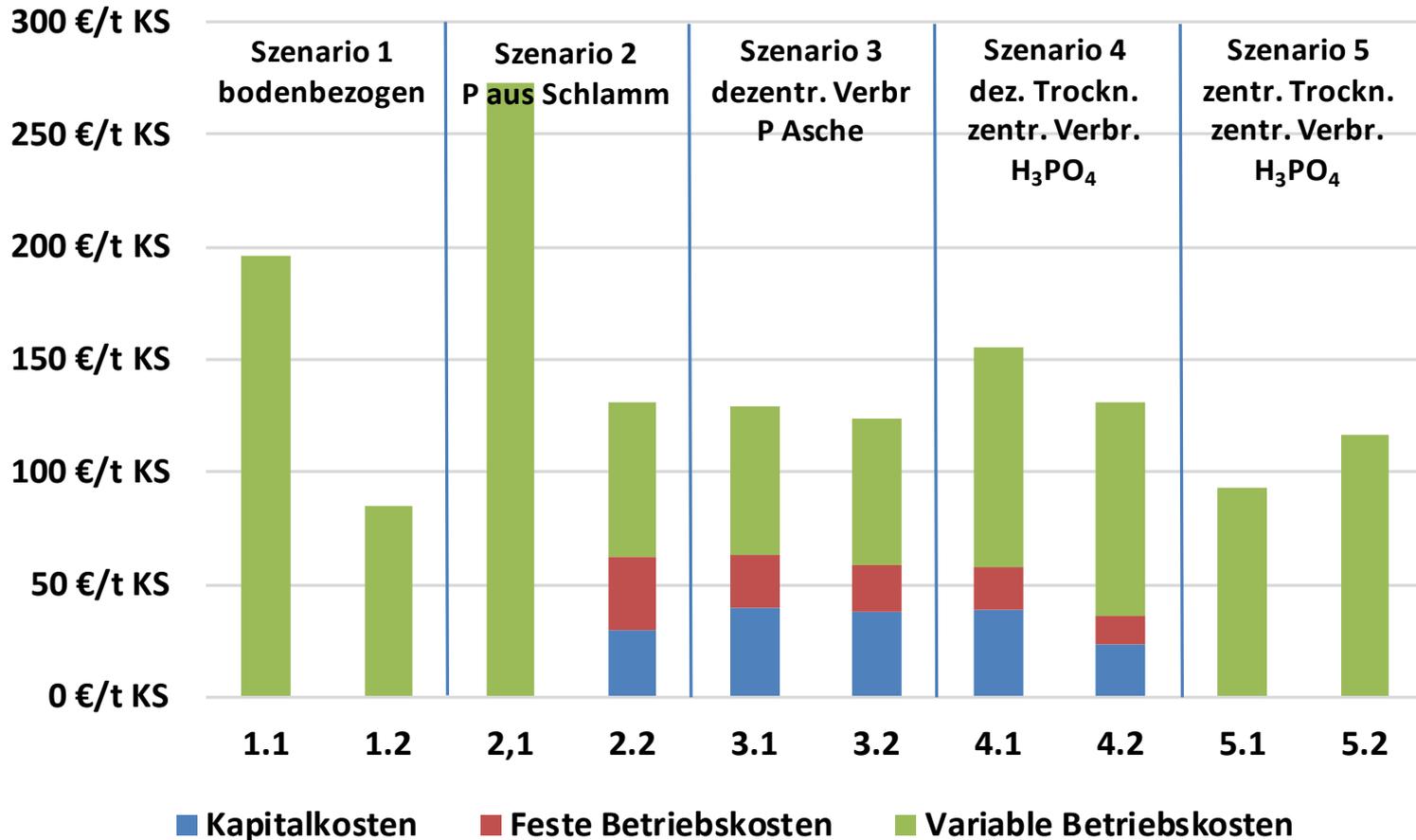
Kosten zzgl. Entwässerungskosten

stationäre Entw. 4 – 8 €/m³ entspr. 100 – 200 €/t TM

P-Rückgewinnung ca. 90 %



spezifische Kosten €/t KS (25 %)



Kosten Szenario 1.2 – 5.2

zzgl. Entwässerung stationäre Entw. ca. 4 – 8 €/m³ entspr. 25 – 50 €/t KS (25%)



Nicht-unmittelbar monetäre Entscheidungskriterien

- **Einhaltung der Grenz- und Höchstwerte der DüMV**
- **Pflanzenverfügbarkeit des P im Rezyklat**
- **Entlassung aus dem Abfallrecht**
- **Flächenbedarf für (semi)dezentrale Lösungen**
- **Genehmigungsumfang**
- **Ausfallrisiko**
- **Erfordernis des Aufbaus von Vertriebsstrukturen**
- **Regionalitätsanspruch der P-Rückgewinnung**

in 2021 bekannte Aktivitäten im Bereich RP Kassel

2023

1. Städtische Werke Kassel

Vortrag Fr. Dr. Stieglitz

Umstellung des Fernwärmekraftwerk auf regenerative Brennstoffe

2. EAM Natur GmbH:

Planung eingestellt

Planung dezentrale Trocknung Sontra, ca. 17.000 t/a entw. KS

3. KRV / Maschinenring Waldeck-Frankenberg:

Planung eingestellt

Konzeption dezentrale Trocknung LK Waldeck-Frankenberg ca. 6.000 t/a entw. KS

4. Dietz Automation & Umwelttechnik GmbH / Dietz Bioenergie GmbH:

Betrieb dezentrale Trocknung Bad Wildungen,

Planung Fritzlar-Lohne, je ca. 3.600 t/a entw. KS

Anlagen in Betrieb

5. Stadtwerke Schlitz: Dezentrale Klärschlammverwertung unter Einbeziehung von Schlämmen aus dem Bereich RP Kassel, ca. 5.500 t/a entw. KS

Auftrag erteilt

6. Landkreis Fulda: RhönEnergie Effizienz und Service GmbH

keine detaillierten Informationen

Vortrag H. Hilfenhaus



Gesamtkonzept

- Diversität der Szenarien
- Verschiedene Akteure in der Region
- Unterschiedliche Interessen in der Region



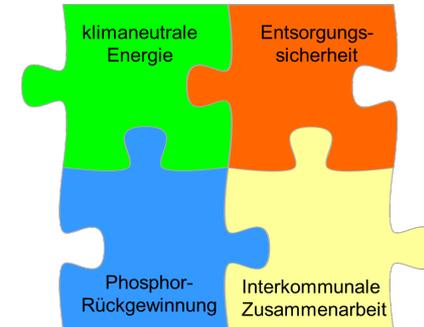
Es gibt nicht die eine Lösung, und es gibt auch nicht das eine für die Region umzusetzende Konzept



Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

„Wir sollten uns um die Zukunft sorgen,
denn wir werden den Rest unseres Lebens darin verbringen“

nach Charles Kettering
amerikanischer Wissenschaftler,
Ingenieur und Philosoph
(1879 – 1958)



Seine Überzeugung war:

Innovationen entstehen am ehesten durch interdisziplinäre Zusammenarbeit.

Prof. Dr. Ulf Theilen

Prof. Dr. Harald Weigand

Prof. Dr. Diedrich Steffens

KompetenzZentrum für nachhaltiges Engineering und UmweltSysteme | ZEuUS

Technische Hochschule Mittelhessen