

Gutachten zur Umsetzung einer Phosphorrückgewinnung in Hessen aus dem Abwasser, dem Klärschlamm bzw. der Klärschlammmasche – UmPhos



15. Juni 2016

Univ.-Prof. Dr.-Ing. J. Pinnekamp

Dr.-Ing. David Montag

Dipl.-Ing. Daniel Bastian

Institut für Siedlungswasserwirtschaft
RWTH Aachen

- ▶ Klärschlammanfall und Phosphorfracht der hessischen Kläranlagen
 - Klärschlammströme
 - Phosphorelimination
 - Phosphorfrachten im Klärschlamm
- ▶ Konsequenzen der AbfKlärV für die Techniken der P-Rückgewinnung
- ▶ Identifikation der relevanten Kläranlagen für die Phosphorrückgewinnung in Hessen
- ▶ Szenarienbetrachtung
 - Szenario 1: Weitgehende Rückgewinnung auf Kläranlagenstandorten
 - Szenario 2: Maximierung der Phosphor-Rückgewinnung
 - Szenario 3: Rückgewinnung nach Minimalanforderungen der Novelle AbfKlärV
- ▶ Vergleich der Szenarien und Empfehlungen

- ▶ Kläranlagenstandorte und vertiefende Daten (GK, Ausbaugröße, Technologie, Zusatzstoffe etc.)
- ▶ Maßgebliche mittlere P-Gehalte im Klärschlamm - Hierarchie:
 1. Messwerte zu P-Gehalten aus den Jahren 2012 bis 2014 (Mittelwert), sonst
 2. Messwerte zu P-Gehalten aus den Jahren 2004 bis 2009 (Mittelwert), sonst
 3. Zulauf-/Ablauf-Frachtbetrachtung der Kläranlage und Bestimmung der rechnerischen P-Fracht und P-Konzentration im Klärschlamm für die Jahre 2012 bis 2014
- ▶ Maßgeblicher Klärschlammstrom
 - Jahresreihen 2012 bis 2014
- ▶ Entsorgungswege des Klärschlammes (Bezugsjahr 2014)

Daten bereitgestellt durch das Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie und das Hessische Statistisches Landesamt

► Direkt-/Indirektentsorger

- Direkt entsorgende Kläranlagen: Kläranlagen bei denen Klärschlamm direkt einem Entsorgungsweg angedient wird
- Indirekt entsorgende Kläranlagen: Kläranlagen, die ihren Klärschlamm über eine andere Kläranlage entsorgen

► Größenklassen (GK) nach Abwasserverordnung:

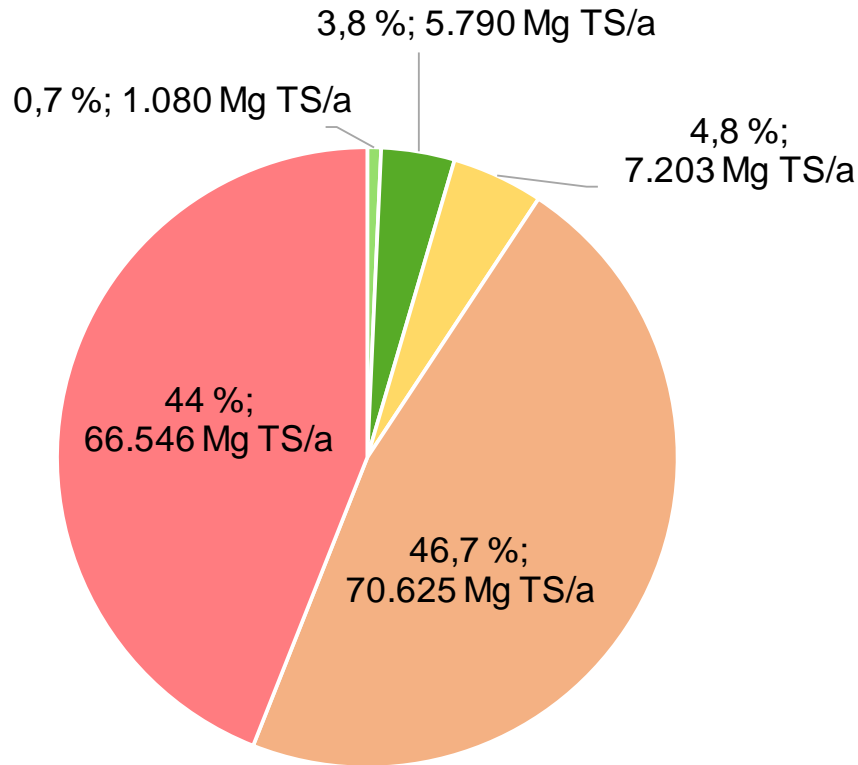
Größenklasse	BSB-Fracht im Zulauf [kg BSB ₅ /d]	Ausbaugröße/ Einwohnerwert [E]
1	< 60	0 bis 999
2	60 bis 300	1.000 bis 5.000
3	> 300 bis 600	5.001 bis 10.000
4	> 600 bis 6.000	10.001 bis 100.000
5	> 6.000	größer 100.000

Direkt-/indirekt entsorgende Kläranlagen

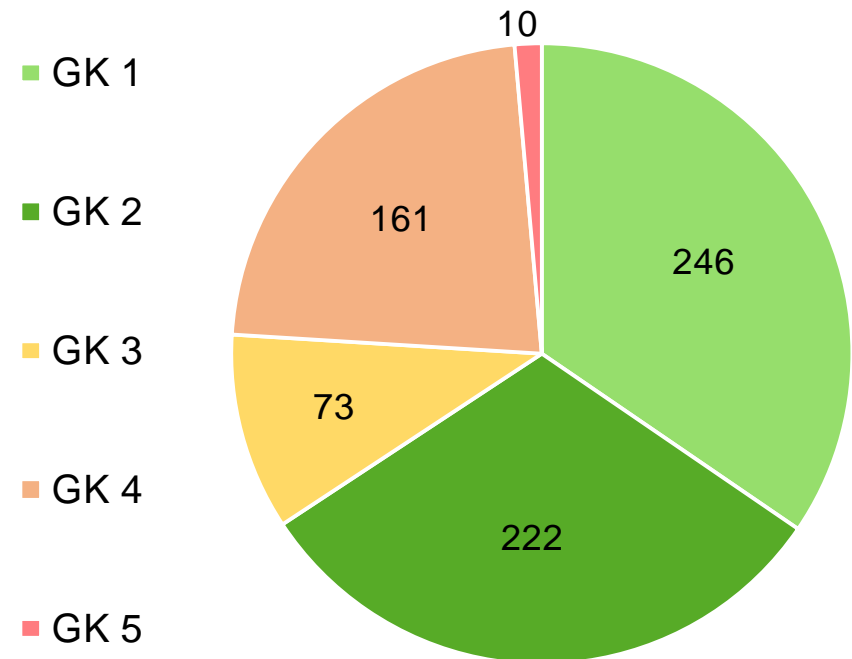
GK	Alle Kläranlagen		Direktentsorger		Indirektentsorger	
	Ausbaugröße [E]	Anzahl Anlagen	Ausbaugröße [E]	Anzahl Anlagen	Ausbaugröße [E]	Anzahl Anlagen
1	127.023	246	59.751	99	67.272	147
2	586.384	222	445.304	159	141.080	63
3	566.540	73	473.990	60	92.550	13
4	5.358.743	161	5.290.743	157	68.000	4
5	3.735.000	10	3.735.000	10	0	0
Σ	10.373.690 (100 %)	712 (100 %)	10.004.788 (96,4 %)	485 (68,1 %)	368.902 (3,6%)	227 (31,9 %)

Klärschlammstrom und Anzahl Kläranlagen nach GK

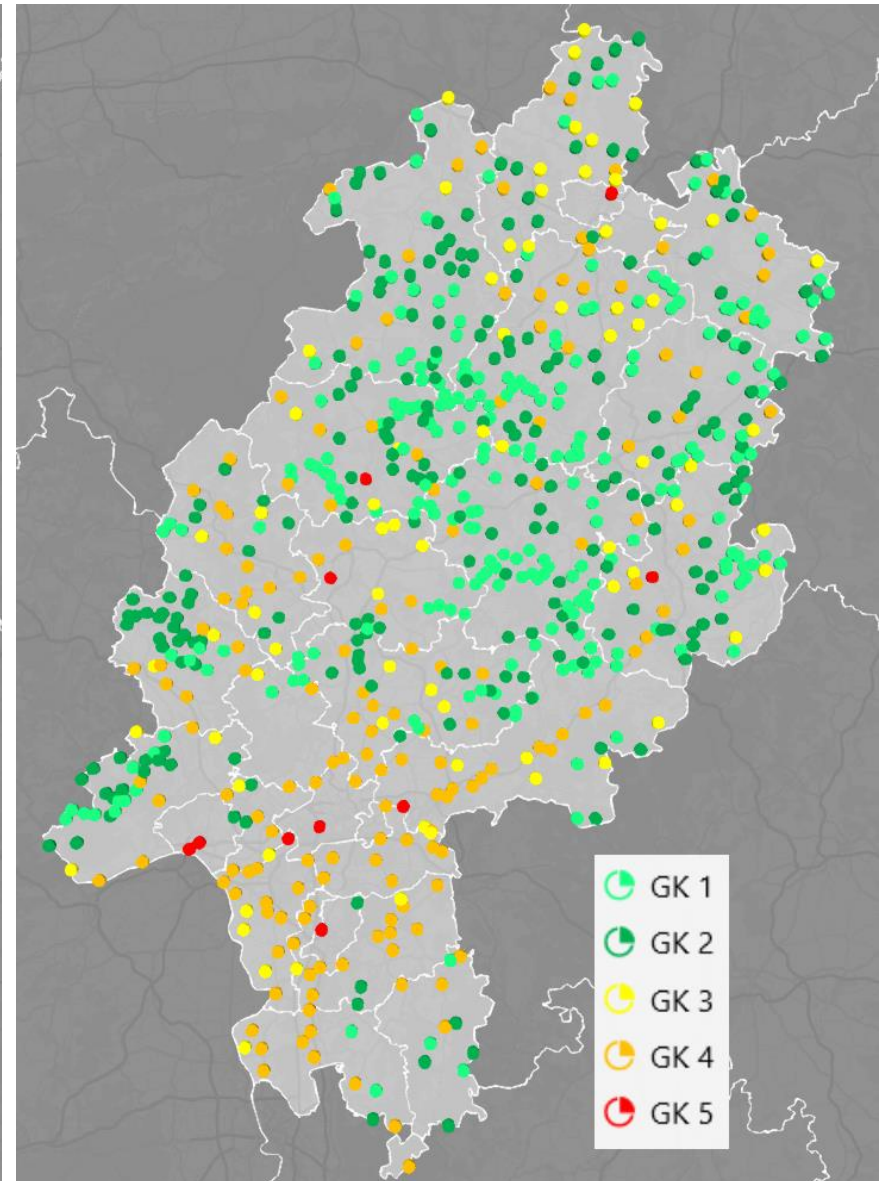
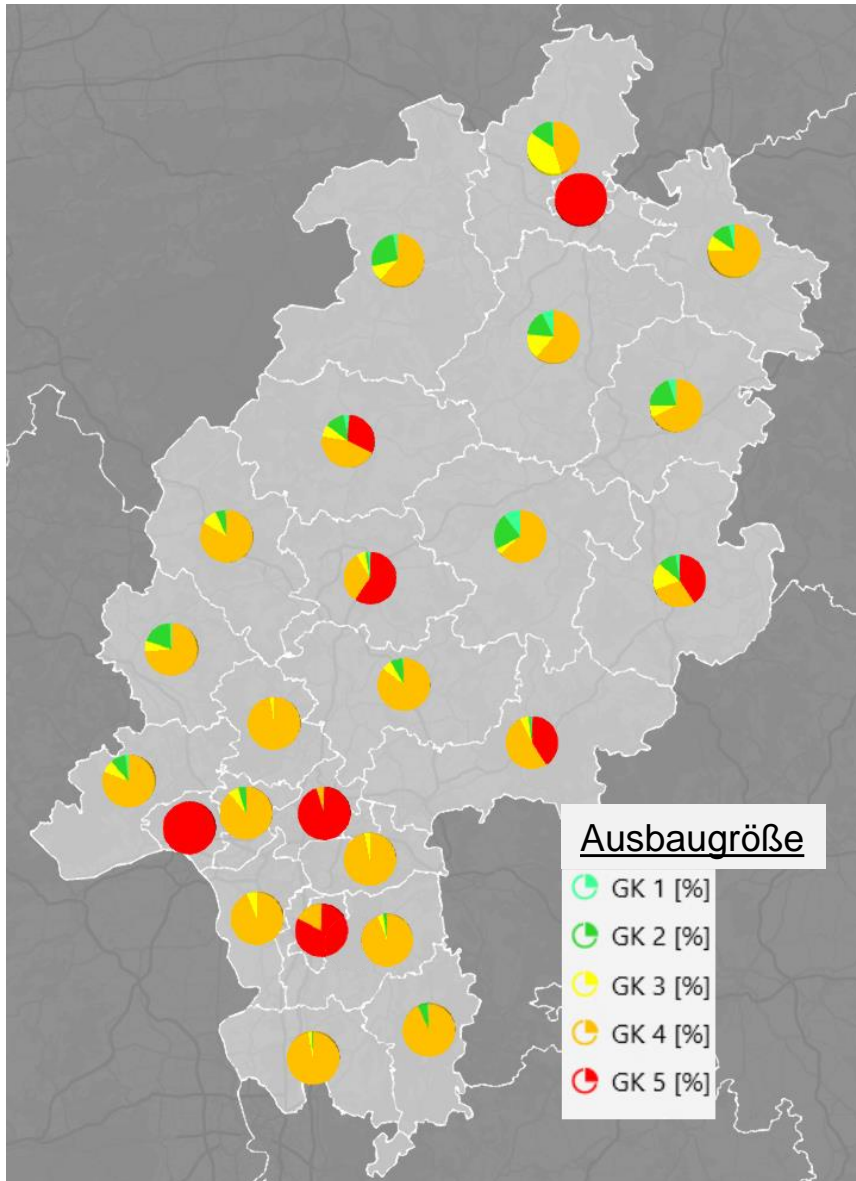
Klärschlammstrom



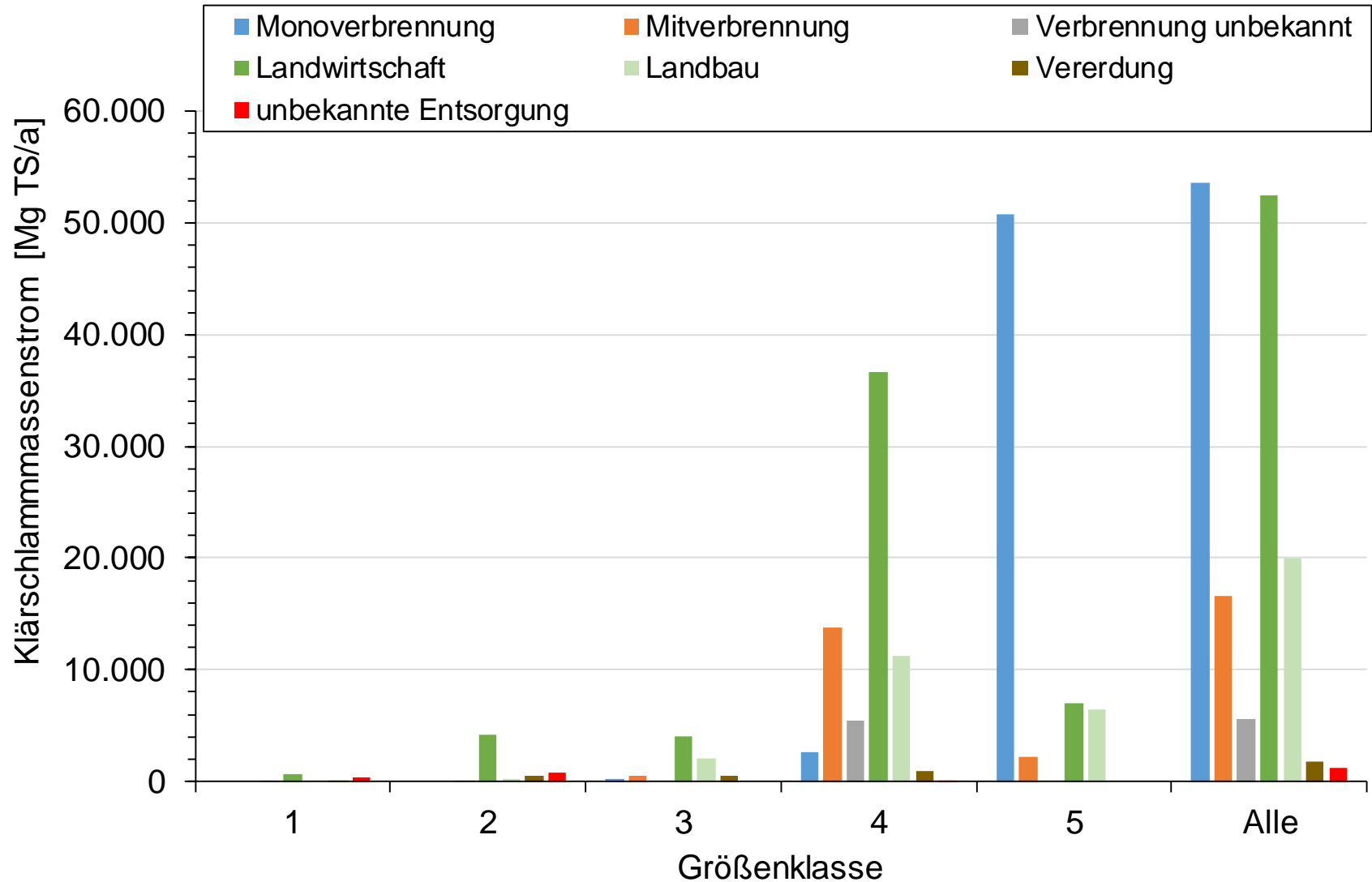
Anzahl Kläranlagen



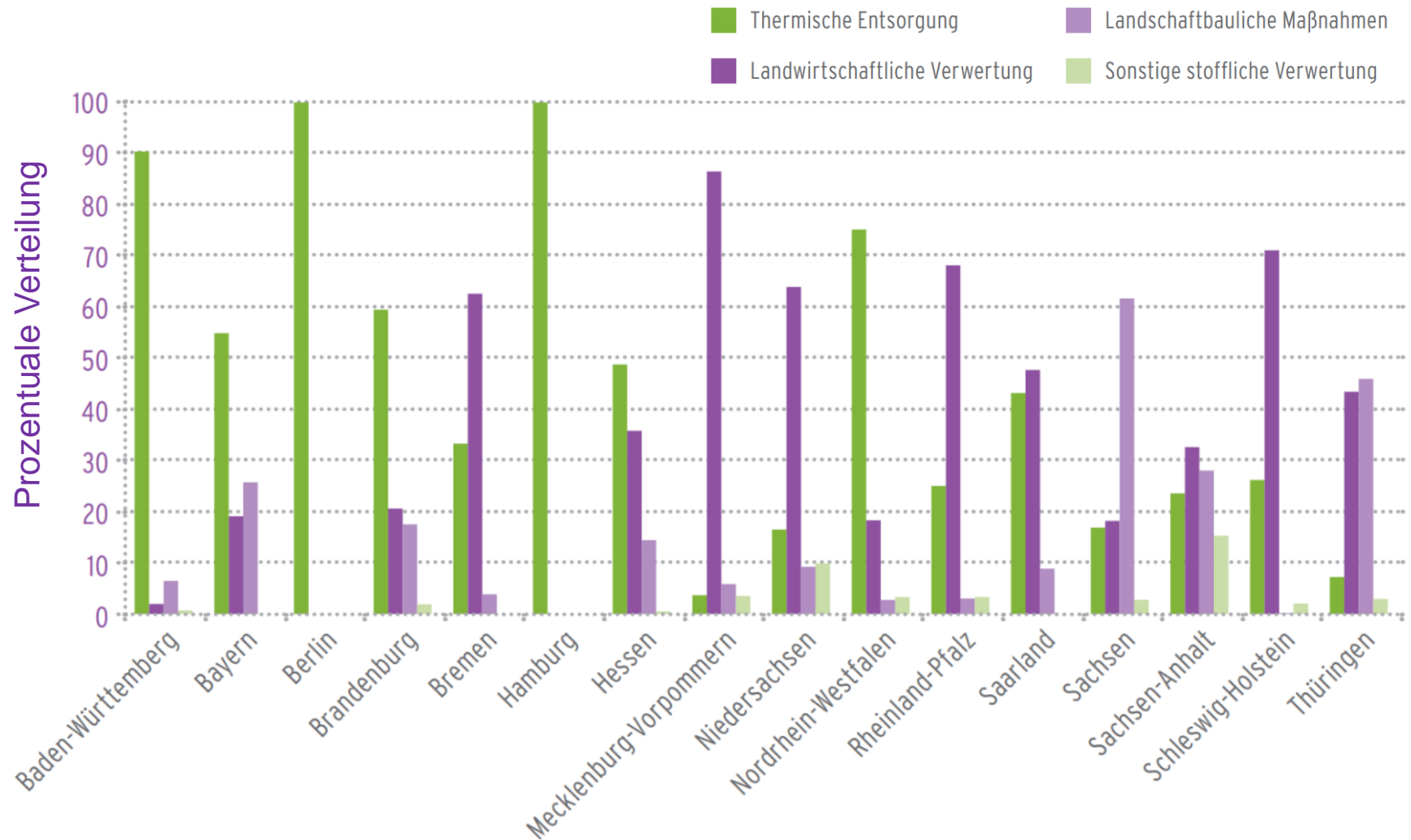
Geographische Verteilung der Kläranlagen nach GK



Entsorgungswege des Klärschlammes nach GK (Mittelwert 2012 bis 2014)



Verteilung der KS-Entsorgungswege in den Bundesländern 2011



Quelle: UBA (2012): Klärschlamm Entsorgung in der Bundesrepublik Deutschland (nach DeStatis 2011)

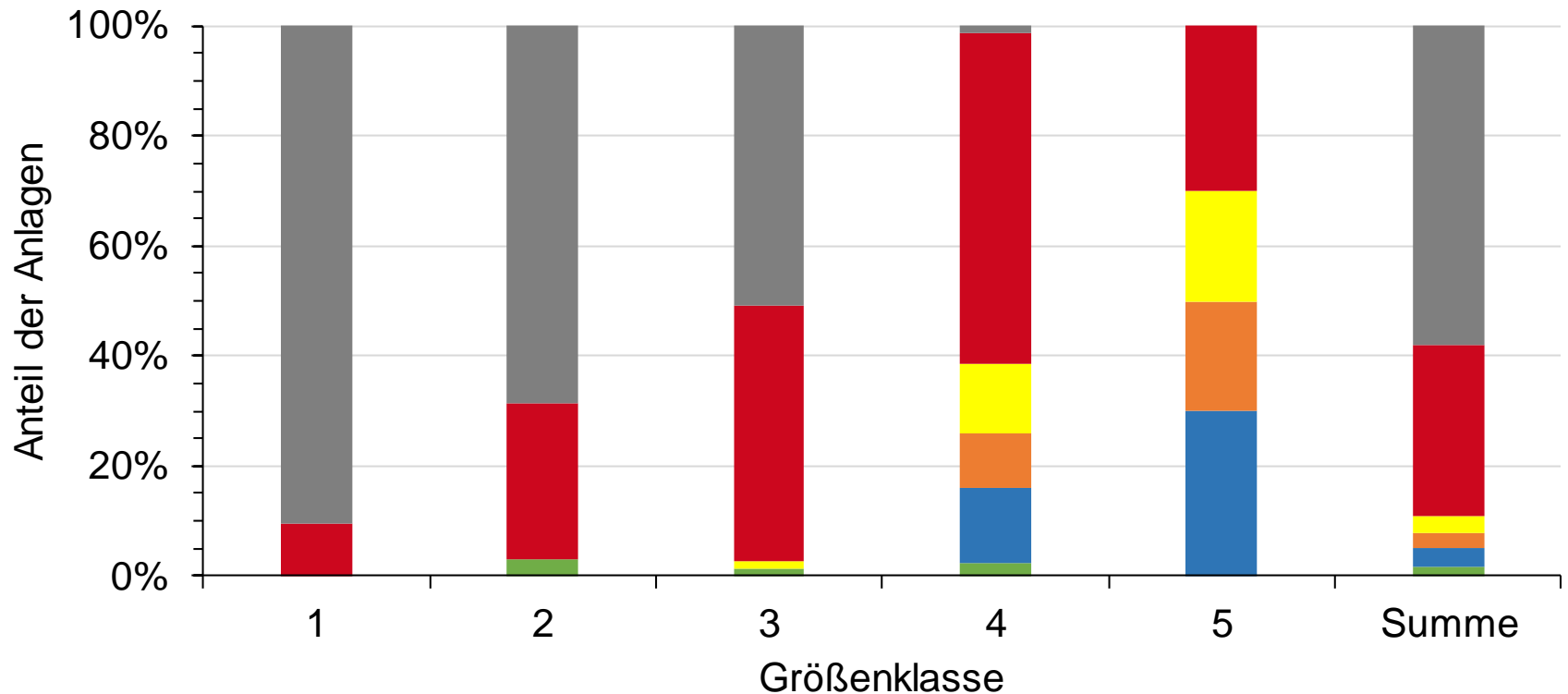
Unterscheidung nach

- ▶ Keine (gezielte) P-Elimination
- ▶ Vermehrte biologische P-Elimination (Bio-P)
- ▶ Fällung (Eisensalze, Aluminiumsalze, Sonstige/unbekannt)

Einhaltung der Anforderungen an P-Gehalt im Kläranlagenablauf

- ▶ Abwasserverordnung
 - GK 1 bis 3: keine Anforderungen
 - GK 4: 2 mg P/l
 - GK 5: 1 mg P/l
- ▶ Verschärfte Anforderungen je nach Einleitsituation
- ▶ Zusätzlicher Handlungsbedarf aufgrund geplanter Maßnahmen zur Umsetzung der WRRL in Hessen

Art der P-Elimination nach Größenklasse



■ vermehrte Bio-P

■ Fällung mit Aluminium

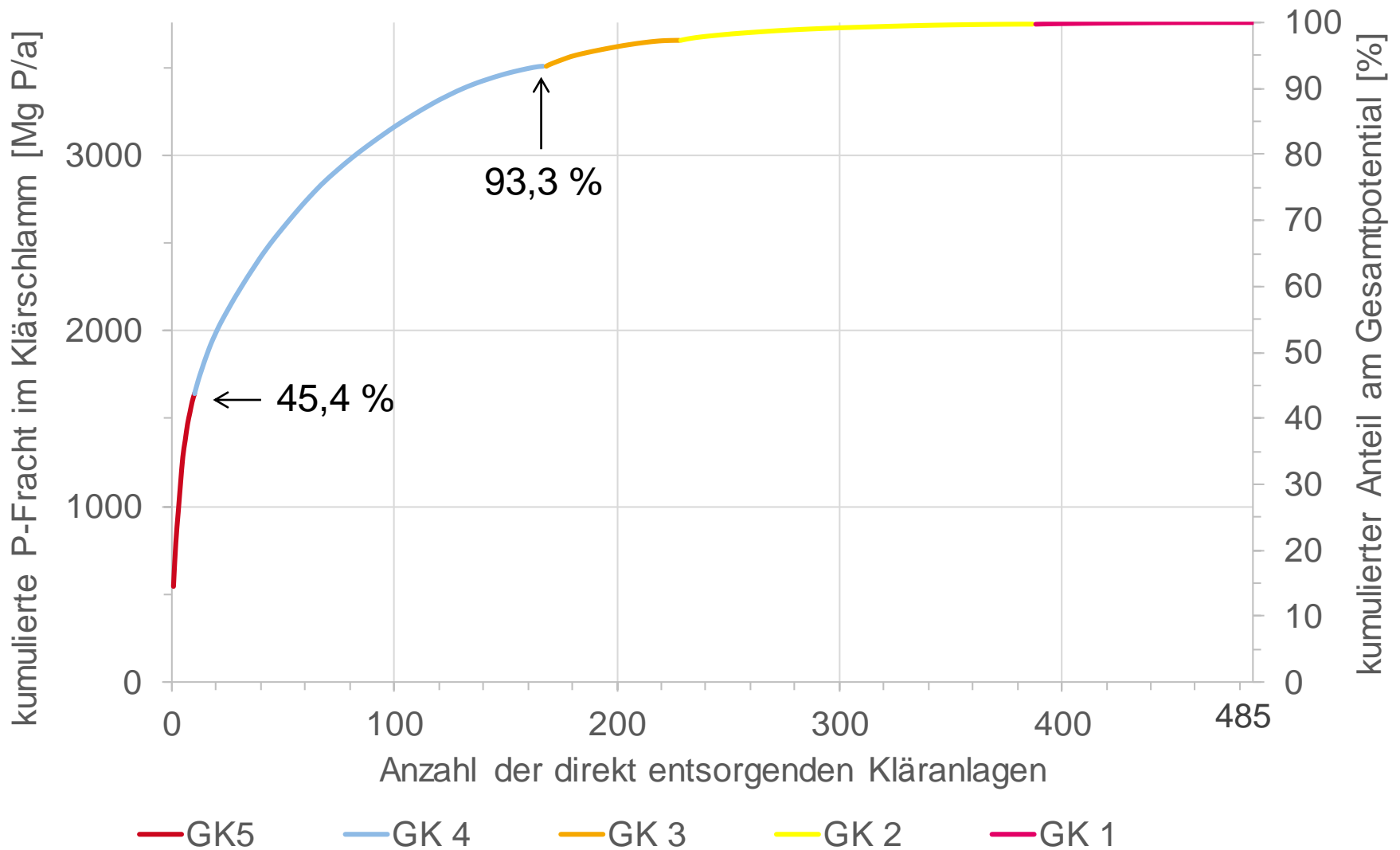
■ Fällmittel unbekannt

■ Fällung mit Eisen und Aluminium

■ Fällung mit Eisen

■ keine P-Elimination

Kumulierte P-Frachten im Klärschlamm

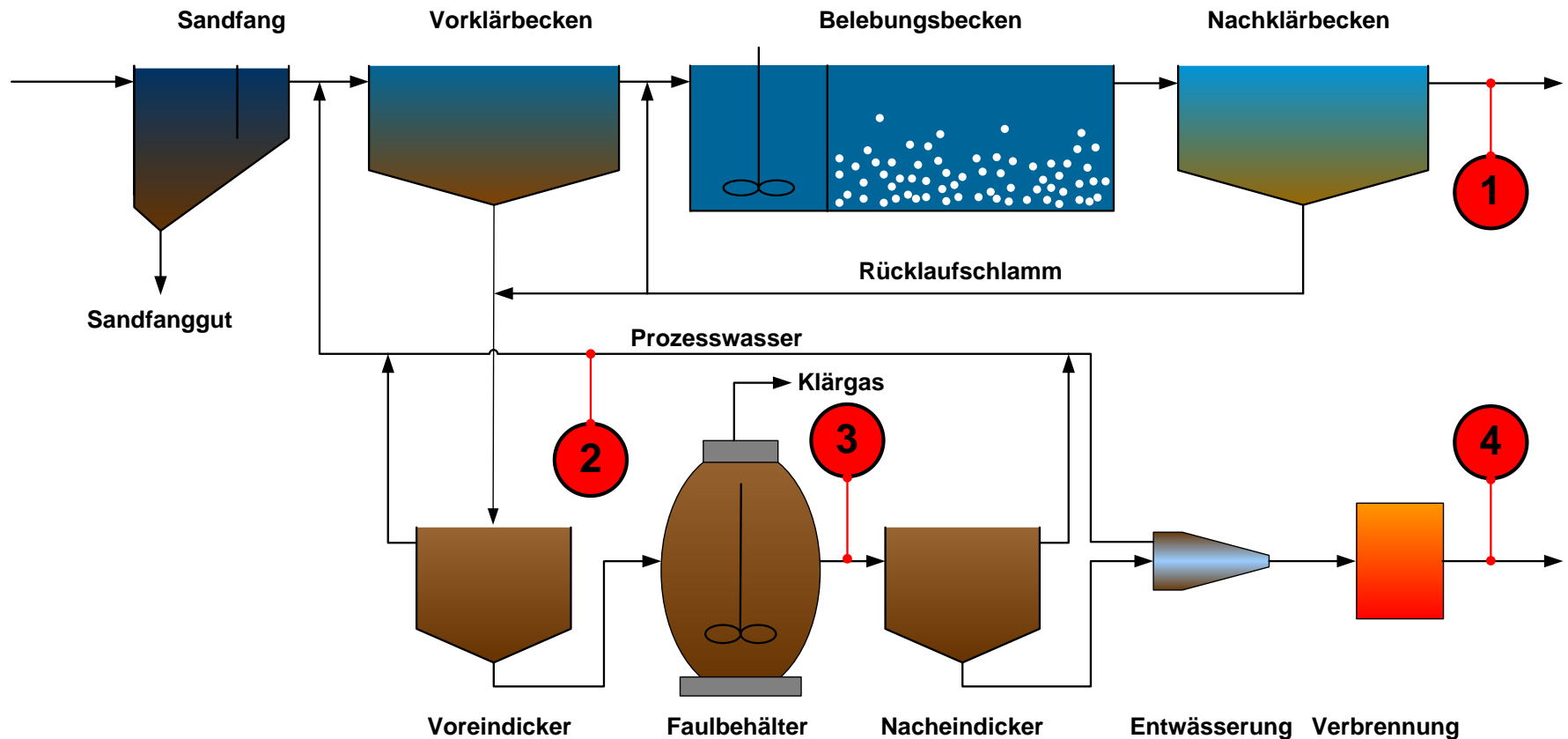


- ▶ Klärschlammanfall und Phosphorfracht der hessischen Kläranlagen
 - Klärschlammströme
 - Phosphorelimination
 - Phosphorfrachten im Klärschlamm
- ▶ Konsequenzen der AbfKlärV für die Techniken der P-Rückgewinnung
- ▶ Identifikation der relevanten Kläranlagen für die Phosphorrückgewinnung in Hessen
- ▶ Szenarienbetrachtung
 - Szenario 1: Weitgehende Rückgewinnung auf Kläranlagenstandorten
 - Szenario 2: Maximierung der Phosphor-Rückgewinnung
 - Szenario 3: Rückgewinnung nach Minimalanforderungen der Novelle AbfKlärV
- ▶ Vergleich der Szenarien und Empfehlungen

Ab 01.01.2025 größtenteils Ausstieg aus landwirtsch. Verwertung

- ▶ Klärschlammherzeuger muss Phosphorrückgewinnung durchführen oder durchführen lassen, wenn
 - Ausbau-Größenklasse (GK) 4 oder 5 und
 - P-Gehalt im Klärschlamm von mindestens **20 g P/kg TR** (einmalige Überschreitung ausreichend!)
- ▶ **Rückgewinnung aus Klärschlamm** bis
 - P-Gehalt im Klärschlamm unterhalb 20 g P/kg TR oder
 - mindestens **50 % P-Rückgewinnung** (bei zu geringem Wirkungsgrad, bzw. zu hoher P-Konzentration im Schlamm)
- ▶ **alternativ:** Verpflichtung zur Mono- oder Mitverbrennung und **Rückgewinnung aus der Asche**
 - mindestens **80 % P-Rückgewinnung** oder
 - stoffliche Verwertung unter Nutzung des P-Gehalts der Asche
- ▶ Sonderregelung: Monoverbrennung und getrennte Deponierung von Klärschlammaschen ist gemäß § 23 DepV bis 31.12.2035 zulässig

Stoffströme zur P-Rückgewinnung in kommunalen Kläranlagen



① Ablauf der Nachklärung

③ Faulschlamm

② Schlammwasser

④ Klärschlammmasche

- ▶ Phosphor wird vor der **Mitverbrennung** aus dem Klärschlamm rückgewonnen (integrativer Ansatz auf der Kläranlage)
 - Verzicht auf (simultane) P-Elimination bei der Abwasserreinigung
 - P-Elimination bzw. P-Rückgewinnung im Kläranlagenablauf
 - kostenintensiv und Mindestanforderungen (Einleitgrenzwerte für das Abwasser) können ggf. nicht eingehalten werden
 - → Keine realistische Maßnahme für kommunale Kläranlagen
 - Vermehrte biologische Phosphorelimination (Bio-P)
 - Phosphorrückgewinnung aus dem Schlammwasser
 - Chemische Phosphorfällung
 - Phosphorrückgewinnung aus dem Klärschlamm (ggf. „semizentral“)
- ▶ **Monoverbrennung** des Klärschlammes
 - Phosphor wird aus Asche rückgewonnen (konsekutiver Ansatz)

Technologien zur Phosphorrückgewinnung

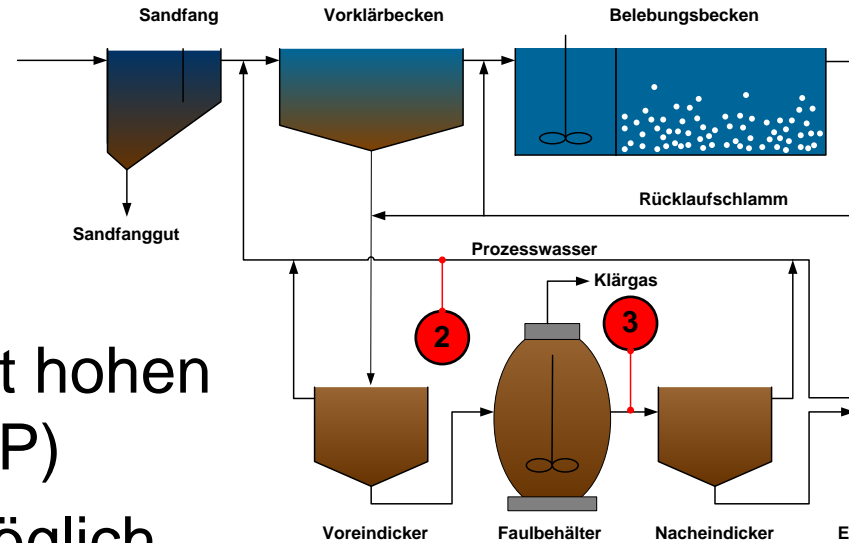
Ausgangsstoff Abwasser und Prozesswässer	Ausgangsstoff Klärschlamm	Ausgangsstoff Klärschlammasche
<p>Kristallisations- und Fällungsverfahren</p> <ul style="list-style-type: none"> Phostrip DHV Crystalactor® Ostara PEARL® Unitika Phosnix® Nishihara NuReBas NuReSys Kurita Festbettreaktor Ebara MAP Kristallisation Treviso CSIR Wirbelschichtreaktor REPHOS® P-RoC Sydney Waterboard Reaktor <p>Ionentauschverfahren</p> <ul style="list-style-type: none"> REM NUT® PHOSIEDI <p>Kombinations- und Sonderverfahren</p> <ul style="list-style-type: none"> RECYPHOS Magnetseparator 	<p>Kristallisationsverfahren</p> <ul style="list-style-type: none"> AirPrex-MAP-Verfahren PECO-Verfahren (mikrobielle Oxid.) PRISA-Verfahren <p>Adsorptionsverfahren</p> <ul style="list-style-type: none"> FIX Phos <p>Säureaufschluss</p> <ul style="list-style-type: none"> Budenheim Verfahren Stuttgarter Verfahren Gifhorner Verfahren (Seaborne) Terra Nova Ultra/ AVA cleanphos (nach HTC) <p>Hydrothormaler Aufschluss/ Oxidation</p> <ul style="list-style-type: none"> Cambi-Prozess (mit MAP) Kemira KREPRO® LOPROX-Verfahren (mit NF) Aqua-Reci <p>Thermochemischer Aufschluss/ metallurgische Prozesse</p> <ul style="list-style-type: none"> Mephrec ATZ-Eisenbadreaktor RecoPhos (thermo-chemisch) 	<p>Nasschemischer Aufschluss</p> <ul style="list-style-type: none"> ecophos TETRA-PHOS PASCH-Verfahren (erweitertes) SEPHOS-Verfahren SESAL-PHOS BioCon LEACHPHOS Eberhard Verfahren <p>Thermochemischer Aufschluss/ metallurgische Prozesse</p> <ul style="list-style-type: none"> AshDec-Verfahren Mephrec ATZ-Eisenbadreaktor RecoPhos (thermo-chemische fraktionierte Extraktion) <p>Elektrokinese</p> <ul style="list-style-type: none"> EPHOS <p>Bioleaching</p> <ul style="list-style-type: none"> Inocre

Kategorisierung von Phosphorrückgewinnungsverfahren

Stoffstrom	Abwasser/ Prozesswasser	Faulschlamm		Klärschlamm/ Asche	Asche	
		Adsorption/ Fällung	Nass- chemischer Aufschluss		Nass- chemischer Aufschluss	Thermo- chemischer Aufschluss
Verfahren	Kristallisations-/ Fällungs- verfahren	Adsorption/ Fällung	Nass- chemischer Aufschluss	Metallurgie	Nass- chemischer Aufschluss	Thermo- chemischer Aufschluss
Techno- logie- beispiele	Ostara PEARL- Prozess, P-RoC	FixPhos, Air Prex/ Berliner Verfahren	Budenheim- Verfahren, Stuttgarter Verfahren, Gifhorner Verfahren, TerraNovaUltra	Mephrec, ATZ-Eisenbad- reaktor	LEACH-Phos, PASCH, SESAL-Phos	AshDec, RecoPhos, ThermPhos

Quelle: nach DWA KEK-1.1 (2013)

Einsatzstelle 2 zur P-Rückgewinnung

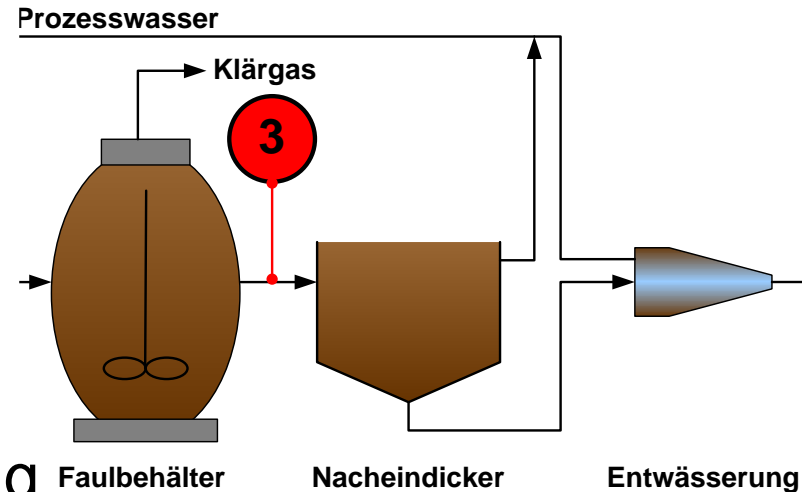


- ▶ Stoffstrom: **Schlammwasser** mit hohen Phosphatkonzentrationen (Bio-P)
- ▶ Erhöhung der Konzentration möglich
- ▶ Phosphor in **gelöster** Form
- ▶ Verfahrenstechnische Einbindung
 - einfach integrierbare Anlagentechnik: Fällung/Kristallisation
- ▶ Direkte Umsetzung „dezentral“ in Kläranlagen
- ▶ Realisierungszeitraum: **kurzfristig**

- ▶ Voraussetzungen: Bio-P, Faulung, gezielte P-Rücklösung aus dem Klärschlamm z.B. durch Klärschlamm-Desintegration
- ▶ Rückgewinnung von **bis zu ca. 30 % des Phosphors** bezogen auf den Kläranlagenzulauf
- ▶ Zielvorgaben der AbfKlärV-Novelle können bei Kläranlagen mit **üblichen/ hohen P-Gehalten nicht eingehalten** werden; keine 50 %ige Phosphorrückgewinnung bezogen auf Klärschlamm
- ▶ Minderung des P-Gehalts **unter 20 g/kg TR** (Mitverbrennung ohne weitere Auflagen an die Ascheverwertung)
 - **anlagenspezifisch zu überprüfen**
 - durch die **Kombination** von biologischen Rücklöseverfahren bzw. Verfahren zum Schlammaufschluss sowie Kristallisations-/ Fällungsprozessen möglich

Einsatzstelle 3 zur P-Rückgewinnung

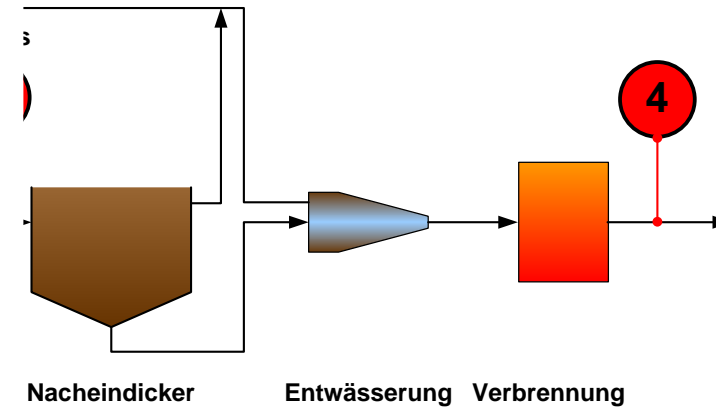
- ▶ Stoffstrom: **Klärschlamm**
- ▶ Phosphor-Konzentration: relativ hoch (3-4 % P)
- ▶ Phosphor in **gebundener** Form
- ▶ Verfahrenstechnische Einbindung
 - sehr unterschiedliche Verfahren mit relativ einfacher bis sehr aufwendiger Technik
 - semizentrale Anlagen auf mittleren bis großen Kläranlagen (Neubau)
- ▶ Realisierungszeitraum: **kurz- bis mittelfristig**
- ▶ Rückgewinnungsgrad stark abhängig von der Verfahrenstechnik: Nasschemischer Aufschluss, HTC, ...



- ▶ Phosphorrückgewinnung bezogen auf den Klärschlamm von ca. 50 %, d.h. Forderungen der AbfKlärV-Novelle werden für durchschnittliche P-Gehalte von ca. 35 g/kg TR i.d.R. erfüllt
- ▶ für P-Gehalte von über 40 g/kg TR Einhaltung der Vorgaben (je nach Verfahren) nur punktgenau durch Erreichen des geforderten Wirkungsgrades von 50 %
- ▶ durch **weitere Optimierungen** bzw. höheren Chemikalieneinsatz (ca. pH 3) sind höhere Rückgewinnungsgrade möglich
- ▶ Klärschlamm kann **nach der P-Rückgewinnung einer Mitverbrennung** (ohne weitere Auflagen an die Ascheverwertung) angedient werden

Einsatzstelle 4 zur P-Rückgewinnung

- ▶ Stoffstrom: **Klärschlammmasche** (keine Organik)
 - Voraussetzung: i.d.R. Monoverbrennungsanlagen
- ▶ Phosphor-Konzentration: hoch (>6% P für kommunale KSA)
- ▶ Phosphor in **gebundener** Form
- ▶ Verfahrenstechnische Einbindung
 - aufwendige Technik
 - große zentrale Anlagen (Neubau)
- ▶ Realisierungszeitraum: **mittelfristig**
- ▶ sehr hohe Rückgewinnungsgrade möglich



- ▶ Rückgewinnungsgrade der „Asche-Verfahren“ betragen ca. 80 - 90 % (Anforderungen der AbfKlärV-Novelle: 80 %!)
- ▶ Gemeinsame Verbrennung von kommunalen und industriellen Klärschlämmen in der Regel nicht mehr möglich; ebenso Mitverbrennung von Sandfang- und Rechengut
- ▶ Umstellungen bei Klärschlammverbrennungsanlagen, die derzeit diese Schlämme bzw. kläranlageneigenen Abfälle gemeinsam verbrennen

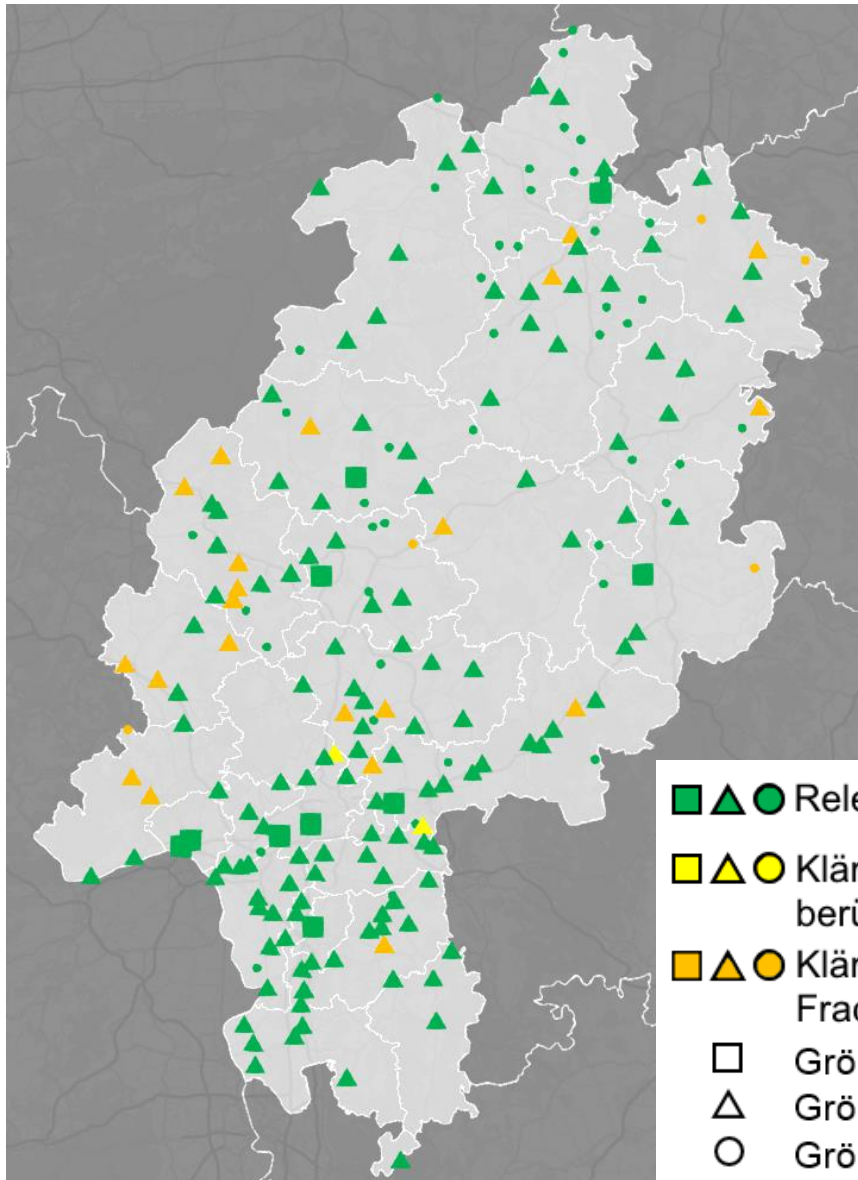
- ▶ Klärschlammanfall und Phosphorfracht der hessischen Kläranlagen
 - Klärschlammströme
 - Phosphorelimination
 - Phosphorfrachten im Klärschlamm
- ▶ Konsequenzen der AbfKlärV für die Techniken der P-Rückgewinnung
- ▶ **Identifikation der relevanten Kläranlagen für die Phosphorrückgewinnung in Hessen**
- ▶ Szenarienbetrachtung
 - Szenario 1: Weitgehende Rückgewinnung auf Kläranlagenstandorten
 - Szenario 2: Maximierung der Phosphor-Rückgewinnung
 - Szenario 3: Rückgewinnung nach Minimalanforderungen der Novelle AbfKlärV
- ▶ Vergleich der Szenarien und Empfehlungen

Definition: Für die P-Rückgewinnung „relevante Kläranlagen“

- ▶ Nach dem Referentenentwurf der Novelle AbfKlärV relevant sind
 - Kläranlagen der **GK 4 und 5**, wenn der
 - P-Gehalt im Klärschlamm **20 g P/kg TM** überschreitet.
Eine einmalige Überschreitung ist laut Begründung des Referentenentwurfs ausreichend.
- ▶ Hessische Ressourcenschutzstrategie
 - Zusätzliche Betrachtung von **GK 3** aus Gründen des Ressourcenschutzes
- ▶ Relevante Kläranlagen:

	P-Fracht [Mg P/a]		Anzahl Kläranlagen	
	relevant	alle	relevant	alle
GK 3	122	149	46	73
GK 4	1.642	1.865	128	161
GK 5	1.639	1.639	10	10
Summe	3.403	3.653	184	244

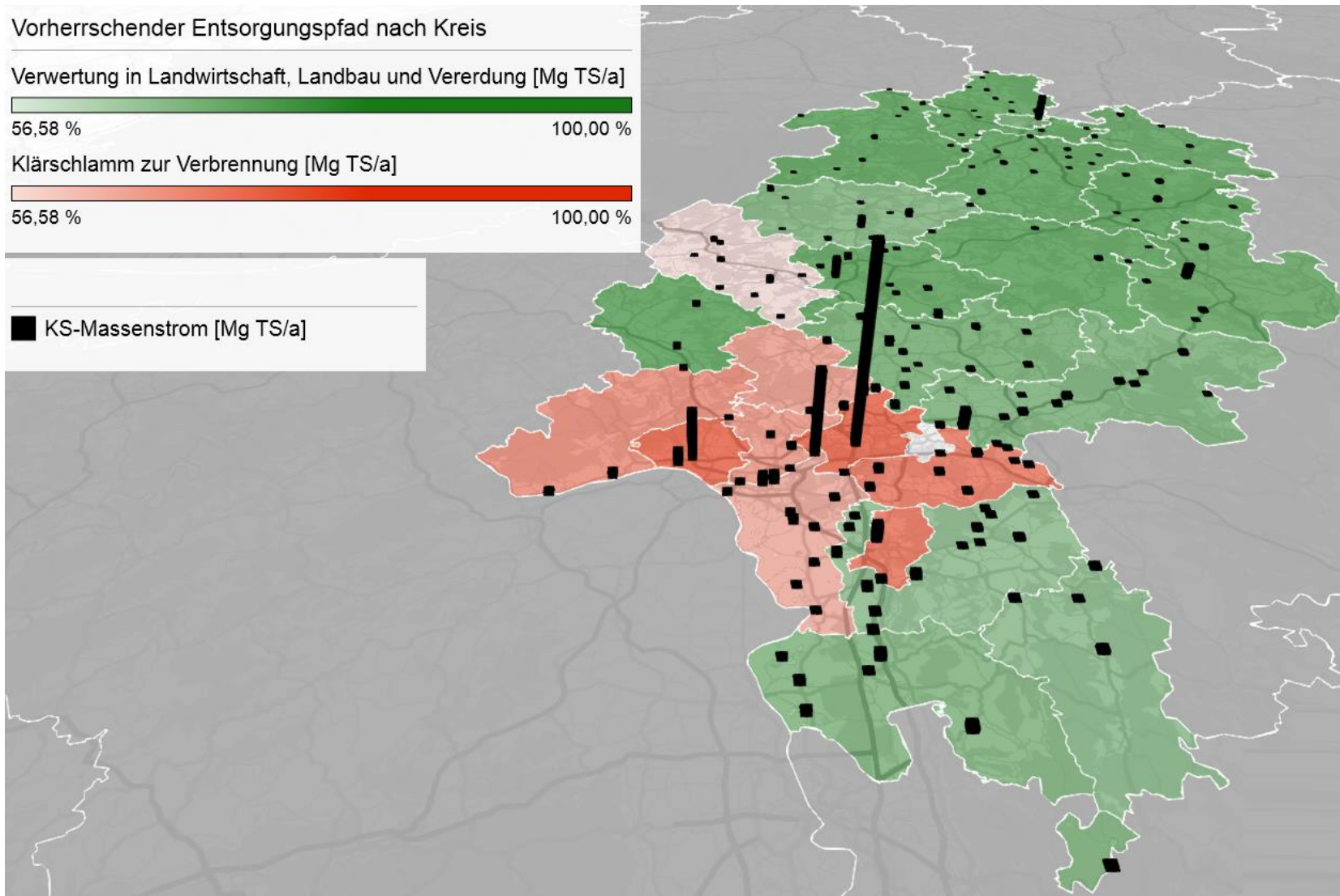
Relevante direkt entsorgende Kläranlagen der GK 3 bis 5



	relevante P-Fracht [Mg P/a]	Anzahl Kläranlagen (relevant)
GK 3	122	46
GK 4	1.642	128
GK 5	1.639	10
Summe	3.403	184

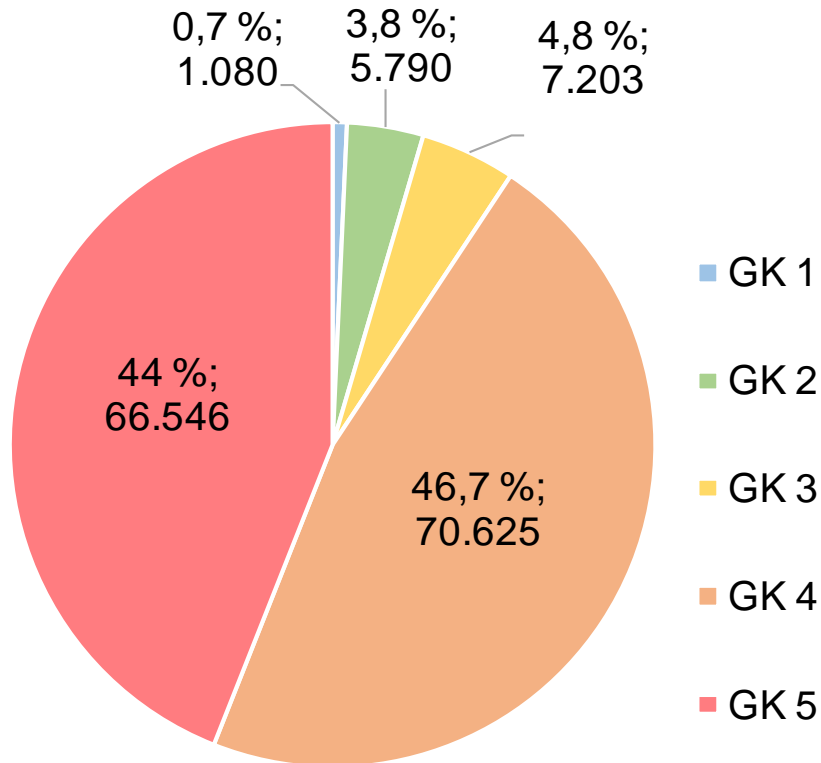
- ▲ ● Relevante Kläranlagen
- ▲ ● Kläranlagen die aufgrund der Frachtbetrachtung berücksichtigt wurden
- ▲ ● Kläranlagen nicht berücksichtigt, aber aufgrund Frachtbetrachtung wird eine Prüfung empfohlen
- Größenklasse 5
- △ Größenklasse 4
- Größenklasse 3

Relevante direkt entsorgende Kläranlagen der GK 3 bis 5

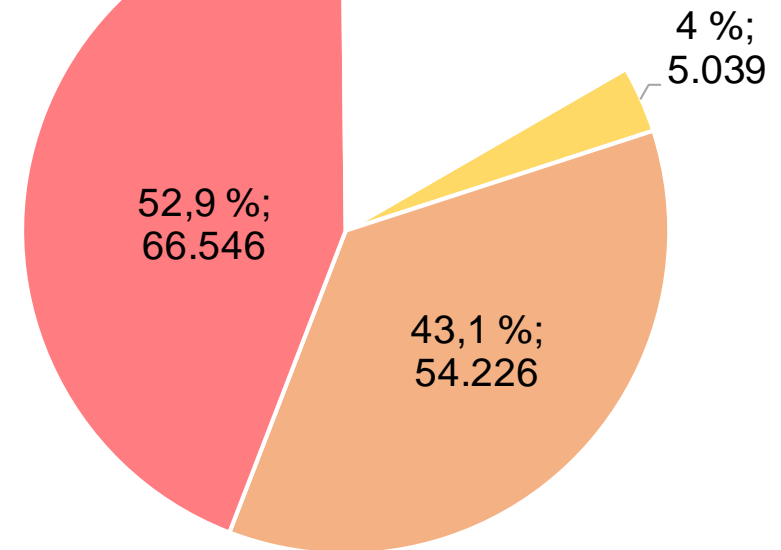


Klärschlammstrom [Mg TS/a]

Alle Kläranlagen

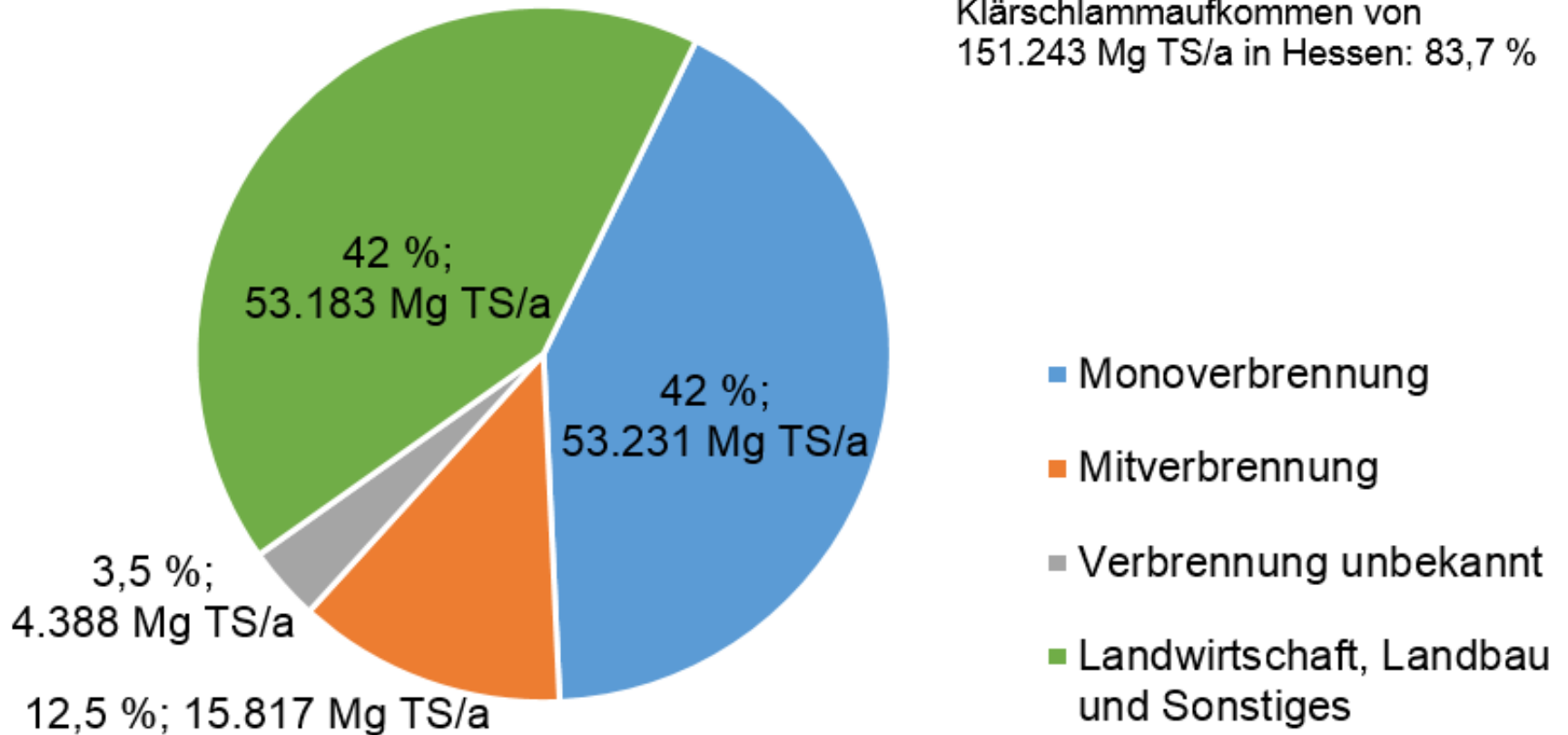


Relevante Kläranlagen



Entsorgungswege der Klärschlämme aus relevanten Kläranlagen

Anteil am gesamten
Klärschlammaufkommen von
151.243 Mg TS/a in Hessen: 83,7 %



- ▶ Klärschlammanfall und Phosphorfracht der hessischen Kläranlagen
 - Klärschlammströme
 - Phosphorelimination
 - Phosphorfrachten im Klärschlamm
- ▶ Konsequenzen der AbfKlärV für die Techniken der P-Rückgewinnung
- ▶ Identifikation der relevanten Kläranlagen für die Phosphorrückgewinnung in Hessen
- ▶ **Szenarienbetrachtung**
 - Szenario 1: Weitgehende Rückgewinnung auf Kläranlagenstandorten
 - Szenario 2: Maximierung der Phosphor-Rückgewinnung
 - Szenario 3: Rückgewinnung nach Minimalanforderungen der Novelle AbfKlärV
- ▶ Vergleich der Szenarien und Empfehlungen

- ▶ Prognose 2025: keine Änderungen am Schlammanfall, Ausnahme: F
- ▶ Betrachtete Klärschlämme
 - In 2025 nicht mehr zur landwirtschaftlichen Verwertung zugelassene Klärschlämme der GK 4 und 5
 - Klärschlämme der GK 3 ab $> 100 \text{ Mg TS/a}$
 - wenn diese Schlämme $> 20 \text{ g P/kg TM}$ aufweisen
- ▶ Entwicklung von Szenarien
 - Szenario 1: Weitgehende Rückgewinnung auf Kläranlagenstandorten
 - Szenario 2: Maximierung der Phosphor-Rückgewinnung
 - Szenario 3: Rückgewinnung nach Minimalanforderungen der Novelle AbfKlärV
- ▶ Einsatzstellen für Phosphorrückgewinnung
 - Schlammwasser (Kläranlagenstandort)
 - Klärschlamm (Kläranlagenstandort)
 - Klärschlammmasche (Standort der Monoverbrennungsanlagen)

Kapazitäten KSMV (○: vorhandene, ✕: potenzielle, ☆: geplante Kapazitäten)

✕ ● > 40.000 MgTR/a

✕ ●★ 20.000-40.000 MgTR/a

✕ ● < 20.000 MgTR/a



stepmap.de 

Vorhandene, geplante und potenzielle kommunale Monoverbrennungsanlagen in Deutschland

Pinnekamp, J. et al. (2014): „ZWIPHOS - Entwicklung eines Zwischenlagerungskonzepts für Klärschlammmonoverbrennungsaschen für Deutschland mit dem Ziel einer späteren Phosphorrückgewinnung“. Abschlussbericht zum BMBF-Projekt, FKZ 033R101.

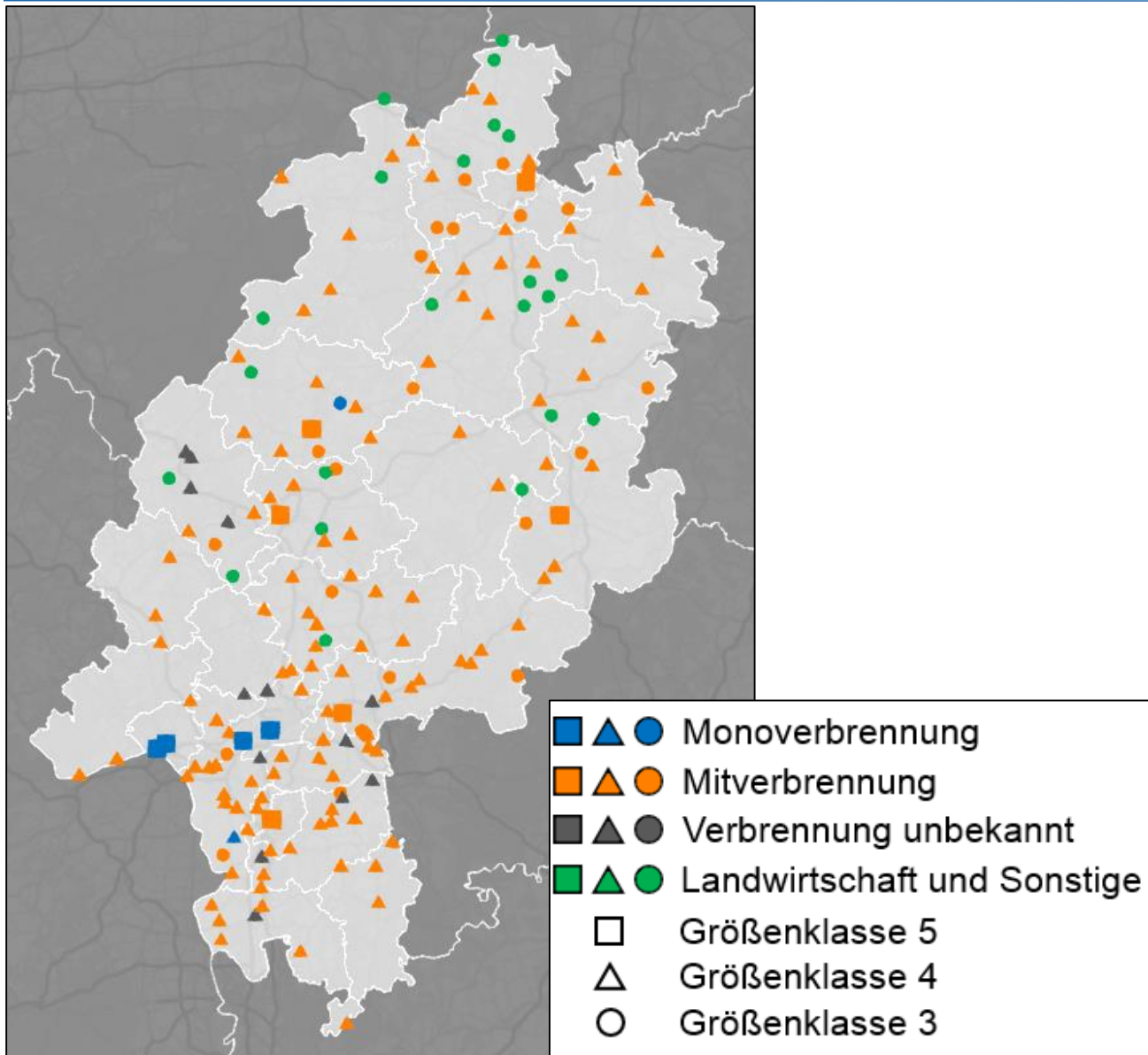
- ▶ Klärschlammanfall und Phosphorfracht der hessischen Kläranlagen
 - Klärschlammströme
 - Phosphorelimination
 - Phosphorfrachten im Klärschlamm
- ▶ Konsequenzen der AbfKlärV für die Techniken der P-Rückgewinnung
- ▶ Identifikation der relevanten Kläranlagen für die Phosphorrückgewinnung in Hessen
- ▶ Szenarienbetrachtung
 - **Szenario 1: Weitgehende Rückgewinnung auf Kläranlagenstandorten**
 - Szenario 2: Maximierung der Phosphor-Rückgewinnung
 - Szenario 3: Rückgewinnung nach Minimalanforderungen der Novelle AbfKlärV
- ▶ Vergleich der Szenarien und Empfehlungen

Ziel: Weitgehende Wahlfreiheit beim Entsorgungsweg des Klärschlammes.

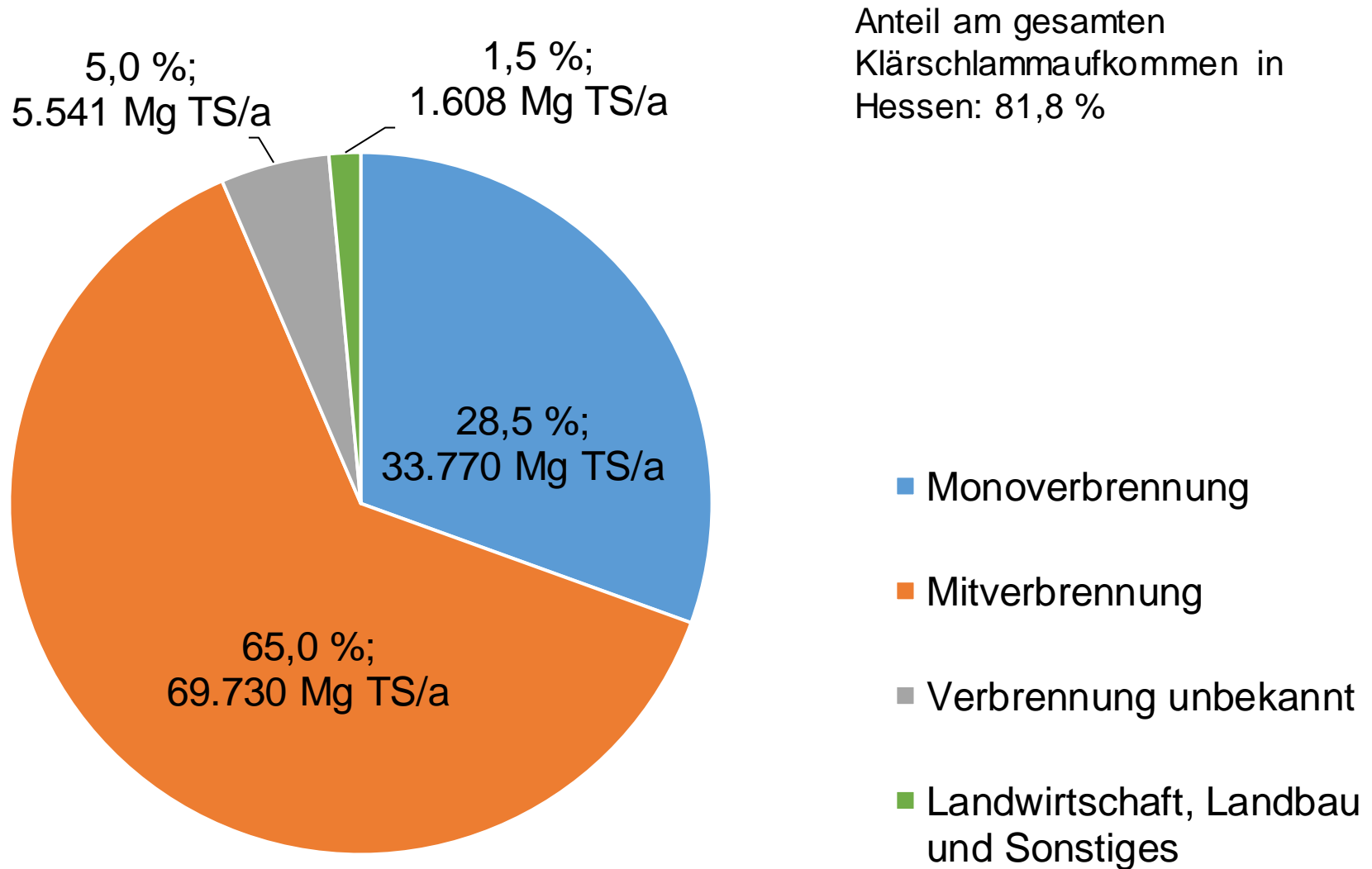
- ▶ Rückgewinnung am **Kläranlagenstandort** vor der Verbrennung, wenn
 - bislang z. T. oder vollständige Mitverbrennung des Klärschlammes
 - Verbrennungsweg unbekannt
 - bislang landwirtschaftliche Verwertung
 - bislang mehrere Entsorgungswege

- ▶ Rückgewinnung nach **Klärschlammmonoverbrennung**, wenn
 - in 2014 zu 100 % Monoverbrennung

Szenario 1: Übersicht der Kläranlagen



Szenario 1: Massenbilanz



Szenario 1: Anzahl Kläranlagen je Verbrennungsweg nach GK

Regierungs- bezirk	GK	Anzahl Kläranlagen		
		Monoverbrennung	Mitverbrennung	Verbrennung unbekannt
Darmstadt	3	0	8	0
	4	1	66	9
	5	4	2	0
Gießen	3	1	4	0
	4	0	18	4
	5	0	2	0
Kassel	3	0	11	0
	4	0	30	0
	5	0	2	0
Hessen		6	143	13
Anlagen zur P- Rückgewinnung		1 bis 2	max. 143	bis zu 13 (Sicherheit)

Szenario 1: Resümee

▶ Vorteile:

- Ausnutzung vorhandener Mitverbrennungskapazitäten
- Vielfalt der Entsorgungswege bleibt erhalten

▶ Nachteile:

- Hohe Anzahl an Kläranlagen mit einzelnen Rückgewinnungsanlagen
 - P-Rückgewinnungsverfahren arbeiten zumeist mit Nassschlamm
 - Zentrale Rückgewinnung aus Klärschlamm kaum möglich
- Wahrscheinlich Mitverbrennungskapazität nicht ausreichend
 - Eignung der MHKW zur KS-Verbrennung, Aufnahmekapazität u. ä. wären im Nachgang an das Gutachten zu klären
- Großteil der Verbrennungskapazität im Süden Hessens

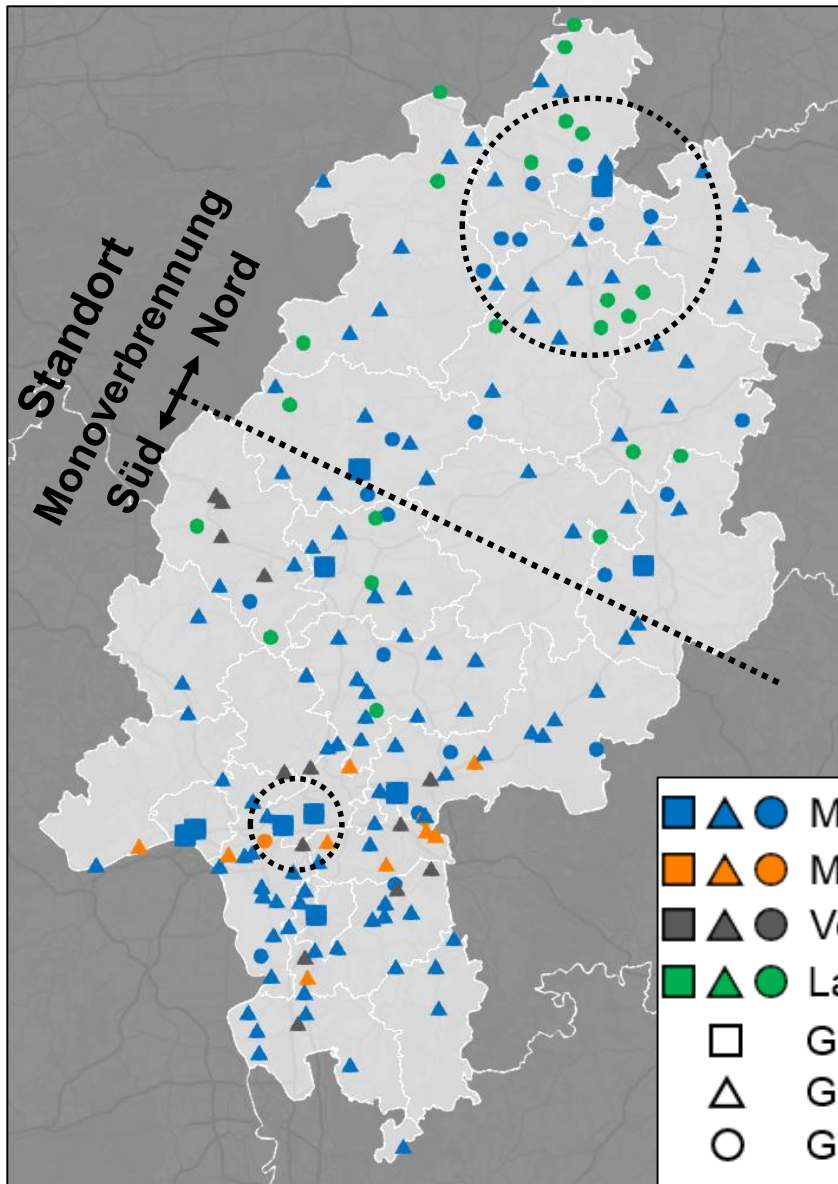
- ▶ Klärschlammanfall und Phosphorfracht der hessischen Kläranlagen
 - Klärschlammströme
 - Phosphorelimination
 - Phosphorfrachten im Klärschlamm
- ▶ Konsequenzen der AbfKlärV für die Techniken der P-Rückgewinnung
- ▶ Identifikation der relevanten Kläranlagen für die Phosphorrückgewinnung in Hessen
- ▶ Szenarienbetrachtung
 - Szenario 1: Weitgehende Rückgewinnung auf Kläranlagenstandorten
 - **Szenario 2: Maximierung der Phosphor-Rückgewinnung**
 - Szenario 3: Rückgewinnung nach Minimalanforderungen der Novelle AbfKlärV
- ▶ Vergleich der Szenarien und Empfehlungen

Ziel: Rückgewinnungspotential von Phosphor aus Klärschlamm ausschöpfen.

- ▶ Rückgewinnung am **Kläranlagenstandort** vor der Verbrennung, wenn
 - bislang 100 % Mitverbrennung des Klärschlammes
 - Verbrennungsweg unbekannt

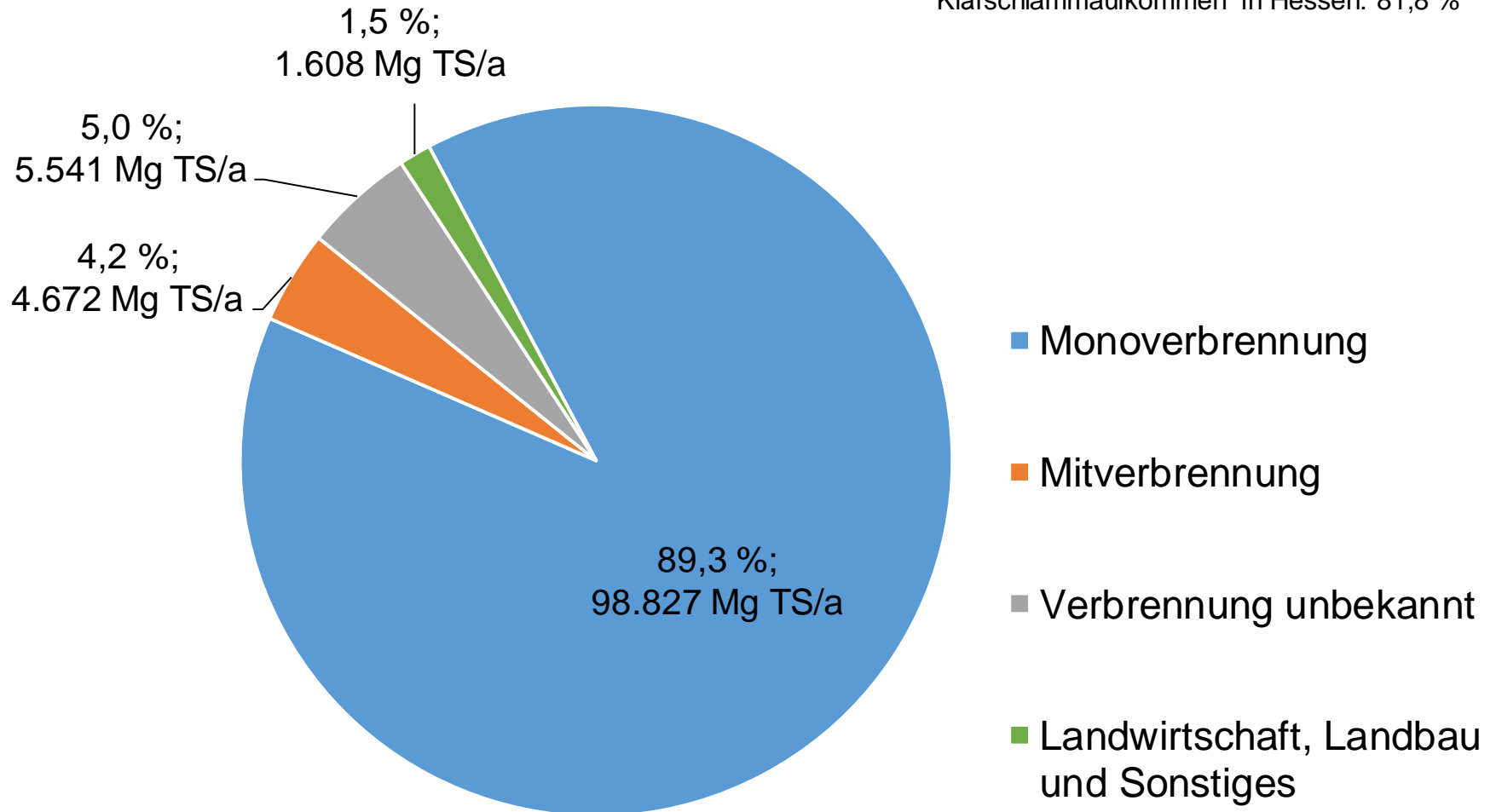
- ▶ Rückgewinnung nach **Klärschlammmonoverbrennung**, wenn bislang
 - z. T. oder vollständige Monoverbrennung des Klärschlammes
 - landwirtschaftliche Verwertung
 - mehrere Entsorgungswege

Szenario 2: Übersicht der Kläranlagen



Szenario 2: Massenbilanz

Anteil am gesamten
Klärschlammaufkommen in Hessen: 81,8 %



Szenario 2: Anzahl Kläranlagen je Verbrennungsweg nach GK

Regierungsbezirk	GK	Anzahl Kläranlagen		
		Monoverbrennung	Mitverbrennung	Verbrennung unbekannt
Darmstadt	3	6	2	
	4	58	9	9
	5	6		
Gießen	3	5		
	4	18		4
	5	2		
Kassel	3	11		
	4	30		
	5	2		
Hessen		138	11	13
Anlagen zur P-Rückgewinnung		2 bis 3	max. 11	bis zu 13 (Sicherheit)

► Vorteile:

- Hohe P-Rückgewinnungsmenge
- Klärschlämme müssen verbrannt oder anderweitig stofflich/energetisch genutzt werden, so dass eine Zentralisierung der Klärschlammentsorgung in den nächsten Jahren/Jahrzehnten anzunehmen ist
- Zentrale Rückgewinnungsanlagen ermöglichen in der Investition teure, aber im Betrieb günstige (thermische) Verfahren
- Rezyklat zur weiteren Nutzung/Verkauf fällt zentral, in großer Menge und konstanterer Qualität an: tendenziell höhere Akzeptanz bei Abnehmern (z. B. Düngemittelindustrie)
- Geringere Abhängigkeit von Mitverbrennung

► Nachteile:

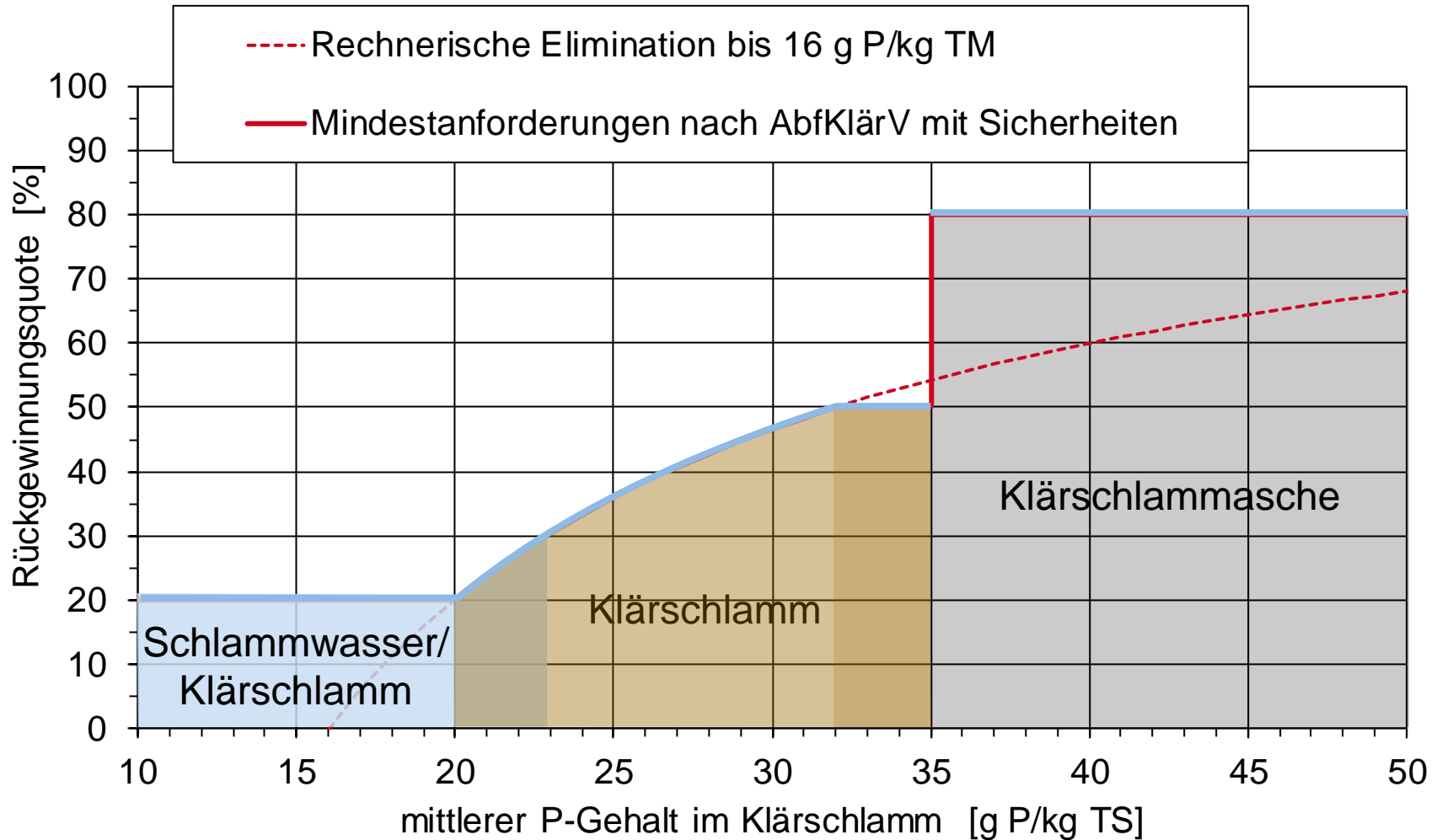
- größere Transportwege möglich (unabhängig von P-Rückgewinnung aufgrund zentralisierter Verbrennung)
- Klärschlämme zur Mitverbrennung müssen einzeln einer Phosphor-Rückgewinnung am Kläranlagenstandort zugeführt werden

- ▶ Klärschlammanfall und Phosphorfracht der hessischen Kläranlagen
 - Klärschlammströme
 - Phosphorelimination
 - Phosphorfrachten im Klärschlamm
- ▶ Konsequenzen der AbfKlärV für die Techniken der P-Rückgewinnung
- ▶ Identifikation der relevanten Kläranlagen für die Phosphorrückgewinnung in Hessen
- ▶ Szenarienbetrachtung
 - Szenario 1: Weitgehende Rückgewinnung auf Kläranlagenstandorten
 - Szenario 2: Maximierung der Phosphor-Rückgewinnung
 - Szenario 3: Rückgewinnung nach Minimalanforderungen der Novelle AbfKlärV
- ▶ Vergleich der Szenarien und Empfehlungen

Ziel: Zuordnung aufgrund der P-Gehalte im Klärschlamm unabhängig von bisheriger Entsorgungsstruktur.

- ▶ Erfüllung der Mindestanforderung des Referentenentwurfs der Novelle der AbfKlärV
- ▶ unter Einhaltung von Sicherheiten zur Erreichung der Grenzwerte

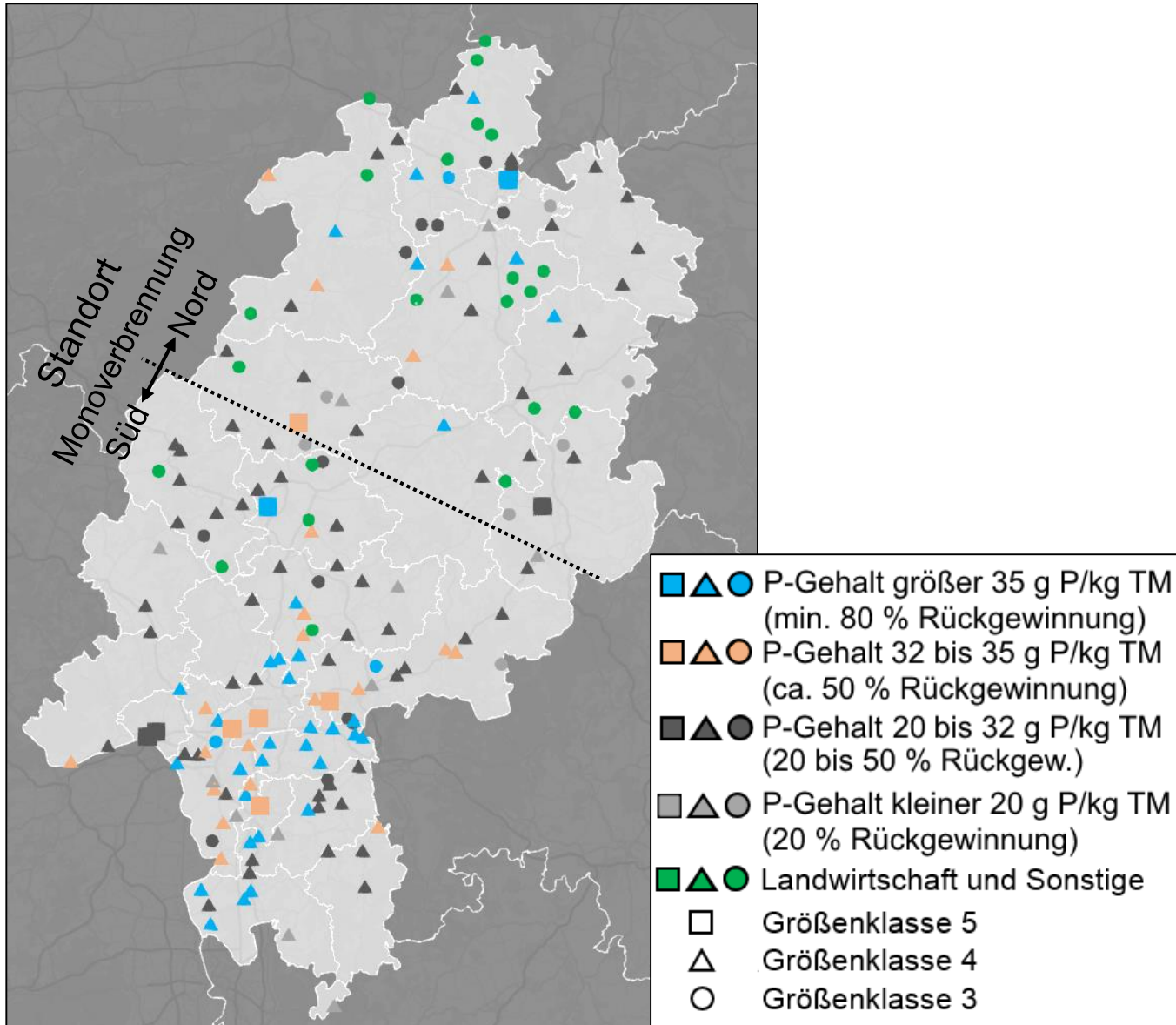
Phosphorrückgewinnungsquote: Mindestanforderungen



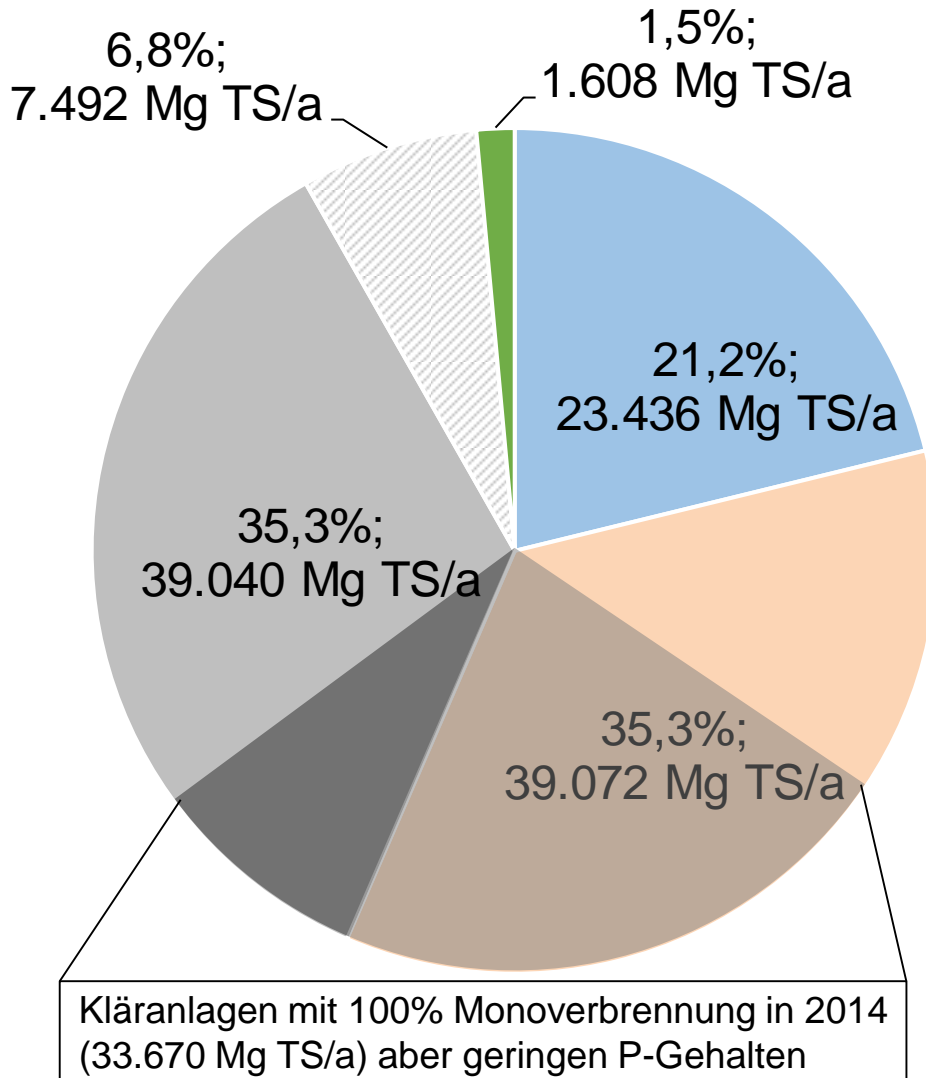
Anlagen:



Szenario 3: Übersicht der Kläranlagen



Szenario 3: Massenbilanz



Anteil am gesamten Klärschlammaufkommen in Hessen: 81,8 %

- P-Gehalt größer 35 g P/kg TM (min. 80 % Rückgewinnung)
- P-Gehalt 32 bis 35 g P/kg TM (ca. 50 % Rückgewinnung)
- P-Gehalt 20 bis 32 g P/kg TM (20 - 50 % Rückgewinnung)
- ▨ P-Gehalt kleiner 20 g P/kg TM (20 % Rückgewinnung)
- Landwirtschaft, Landbau und Sonstiges

Szenario 3: Anzahl Kläranlagen je Rückgewinnungsart nach GK

Regierungsbezirk	GK	Asche	Klärschlamm		Schlammwasser
		größer 35 g P/kg TM (min. 80 % RGW)	32 bis 35 g P/kg TM (ca. 50 % RGW)	20 bis 32 g P/kg TM (20 - 50 % RGW)	kleiner 20 g P/kg TM (20 % RGW)
Darmstadt	3	2	0	5	1
	4	26	15	28	7
	5	0	4	2	0
Gießen	3	0	0	3	2
	4	1	1	18	2
	5	1	1	0	0
Kassel	3	1	0	6	4
	4	6	4	17	3
	5	1	0	1	0
Hessen		38	25	80	19
Anlagen zur P-Rückgewinnung		2 bis 3	max. 25	max. 80	max. 19

▶ Vorteile:

- Zuordnung der bestgeeigneten Technik zur Erreichung der Rückgewinnungsziele nach AbfKlärV für die jeweilige Kläranlage

▶ Nachteile:

- Viele Einzellösungen
- Hohe Anzahl an P-Rückgewinnungsanlagen
- Nicht in Deckung mit vorhandenen Monoverbrennungsstandorten

- ▶ Klärschlammanfall und Phosphorfracht der hessischen Kläranlagen
 - Klärschlammströme
 - Phosphorelimination
 - Phosphorfrachten im Klärschlamm
- ▶ Konsequenzen der AbfKlärV für die Techniken der P-Rückgewinnung
- ▶ Identifikation der relevanten Kläranlagen für die Phosphorrückgewinnung in Hessen
- ▶ Szenarienbetrachtung
 - Szenario 1: Weitgehende Rückgewinnung auf Kläranlagenstandorten
 - Szenario 2: Maximierung der Phosphor-Rückgewinnung
 - Szenario 3: Rückgewinnung nach Minimalanforderungen der Novelle AbfKlärV
- ▶ Vergleich der Szenarien und Empfehlungen

Rückgewinnungspotentiale

Szenario 1 - "Weitgehende Rückgewinnung auf Kläranlagenstandorten"					
Stoffstrom	MonoV	MitV	V. unbek.	Sonstiges	Summen
P-Fracht im KS [Mg P/a]	810	2.394	164	36	3.403
P-Rückgewinnung [Mg P/a]	648	1.144	71	-	1.863
Rückgewinnungsquote [%]	80,0	47,8	43,4	-	55,3
Szenario 2 - "Maximierung der Phosphor-Rückgewinnung"					
Stoffstrom	MonoV	MitV	V. unbek.	Sonstiges	Summen
P-Fracht im KS [Mg P/a]	3.045	158	164	36	3.403
P-Rückgewinnung [Mg P/a]	2.432	74	71	-	2.578
Rückgewinnungsquote [%]	80	46,9	43,4	-	76,5
Szenario 3 - "Rückgewinnung nach Mindestanforderungen der Novelle AbfKlärV" – Status quo					
Stoffstrom	MonoV	Mitverbrennung			Summen (inkl. Sonstiges)
	> 35 g P/ kg TM	32 bis 35 g P/kg TM	20 bis 32 g P/kg TM	< 20 g P/ kg TM	
P-Fracht im KS [Mg P/a]	949	1.305	980	133	3.403
P-Rückgewinnung [Mg P/a]	759	653	356	26,6	1.794
Rückgewinnungsquote [%]	80	50	36,3	20	53,3

Rückgewinnungspotentiale

Szenario 3 - "Rückgewinnung nach Mindestanforderungen der Novelle AbfKlärV"					
Stoffstrom	MonoV	Mitverbrennung			Summen (inkl. Sonstiges)
	> 35 g P/kg TM	32 bis 35 g P/kg TM	20 bis 32 g P/kg TM	< 20 g P/ kg TM	
P-Fracht im KS [Mg P/a]	949	1.305	980	133	3.403
P-Rückgewinnung [Mg P/a]	759	653	356	26,6	1.794
Rückgewinnungsquote [%]	80	50	36,3	20	53,3

Szenario 3b - "Rückgewinnung nach Mindestanforderungen der Novelle AbfKlärV"					
Anteil der Anlagen mit 100 % Monoverbrennung aus Szenario 1 bleibt erhalten					
Stoffstrom	MonoV	Mitverbrennung			Summen (inkl. Sonstiges)
	> 35 g P/kg TM	32 bis 35 g P/kg TM	20 bis 32 g P/kg TM	< 20 g P/ kg TM	
P-Fracht im KS [Mg P/a]	1956,5	497,8	782,0	130,9	3403,4
P-Rückgewinnung [Mg P/a]	1.565	249	307	26	2147,4
Rückgewinnungsquote [%]	80,0	50,0	39,3	20,0	63,8

Gegenüberstellung der Szenarien

Dezentrale Rückgewinnung am KA-Standort (Szenario 1 und 3)

- ▶ Verbrennungs-/Entsorgungsweg steht offen
- ▶ Heute in Mitverbrennung geringere Verbrennungskosten
- ▶ Viele Einzellösungen (Kosten, Betriebsaufwand, Organisation)
- ▶ Geringeres Rückgewinnungspotential

Rückgewinnung an KS-Monoverbrennungsanlagen (Szenario 2)

- ▶ Gleichbleibende Rezyklatqualität aufgrund weniger Anlagen und Homogenisierung der Klärschlämme
- ▶ Höhere Entsorgungssicherheit, da höherer Anteil Monoverbrennungsanlagen
- ▶ Skalierungseffekte
- ▶ Je nach Verfahren geringere Aschemenge zur Entsorgung
- ▶ Fehlende Kapazitäten in Monoverbrennung

▶ Kurzfristig

- Vertiefende Datenerfassung (P-Gehalte, Fällmittel-Anwendung, etc.)
- Schaffen von Dialogplattformen und Austauschmöglichkeiten für Kläranlagenbetreiber

▶ Mittelfristig

- Förderung von Demonstrationsvorhaben, einschließlich wissenschaftlicher Begleitung
- Begleitung der Kläranlagen bei der Umsetzung der Maßnahmen nach WRRL auch hinsichtlich der P-Rückgewinnung

▶ Langfristig

- Bau von mehreren Großanlagen
- Rückgewinnung von > 1.000 Mg P/a

VIELEN DANK FÜR IHRE
AUFMERKSAMKEIT