
Energieeffizienz/Modellprojekt zur Abwasserbeseitigung auf der zentralen Kläranlage in Niederfrohna: „Errichtung einer Pyrolyse zur Klärschlammverwertung“

Europa fördert Sachsen.
EFRE
Europäischer Fonds für
regionale Entwicklung



Europäische Union

Dezentrale Phosphorrückgewinnung in Kläranlagen

- 1.) Problem
- 2.) Lösungsvorschlag
- 3.) Anlagenkonzept
- 4.) Versuchsergebnisse
- 5.) Zusammenfassung und Ausblick
- 6.) Quellen und Hinweise

Energieeffizienz/Modellprojekt zur Abwasserbeseitigung auf der zentralen Kläranlage in Niederfrohna: „Errichtung einer Pyrolyse zur Klärschlammverwertung“

Europa fördert Sachsen.
EFRE
Europäischer Fonds für
regionale Entwicklung



Europäische Union

Dezentrale Phosphorrückgewinnung in Kläranlagen

- 1.) **Problem**
- 2.) Lösungsvorschlag
- 3.) Anlagenkonzept
- 4.) Versuchsergebnisse
- 5.) Zusammenfassung und Ausblick
- 6.) Quellen und Hinweise

phosphorhaltige
tierische Produkte
(Fleisch, Milch, ...)

Landwirtschaft

Gewässer

phosphorreiche
Exkrememente

Viehfutter

phosphorhaltige
pflanzliche Produkte
(Getreide, Gemüse, ...)

Klärwerk

phosphorarme
Einleitung

phosphorreicher
Klärschlamm

Siedlungen

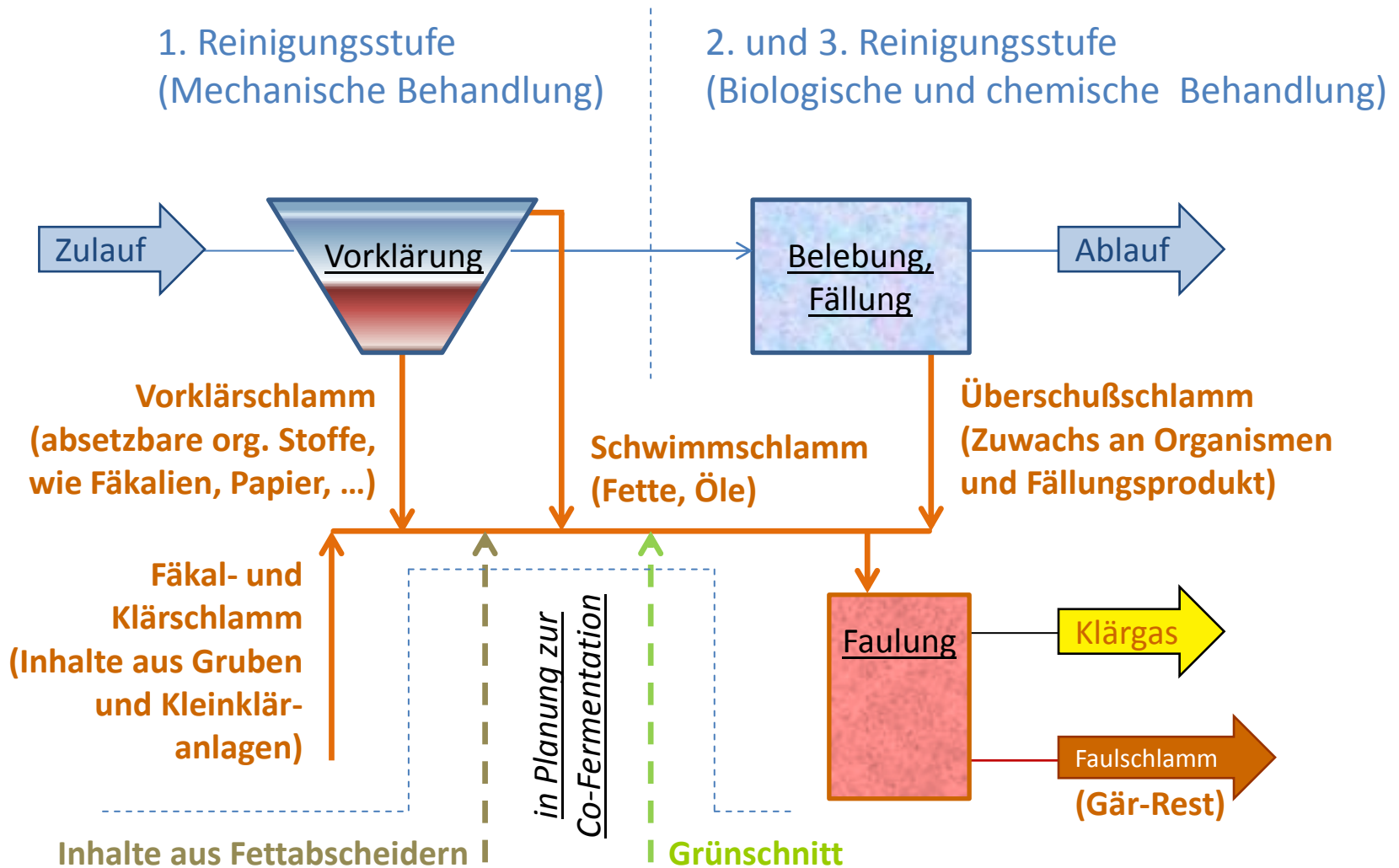
Kanalisation

ZKA Niederfrohna:
jährlich ca. 1.400
Tonnen (TS = 25%)

Einleitungen von phosphorhaltigem Schmutzwasser
Insbesondere aus WC

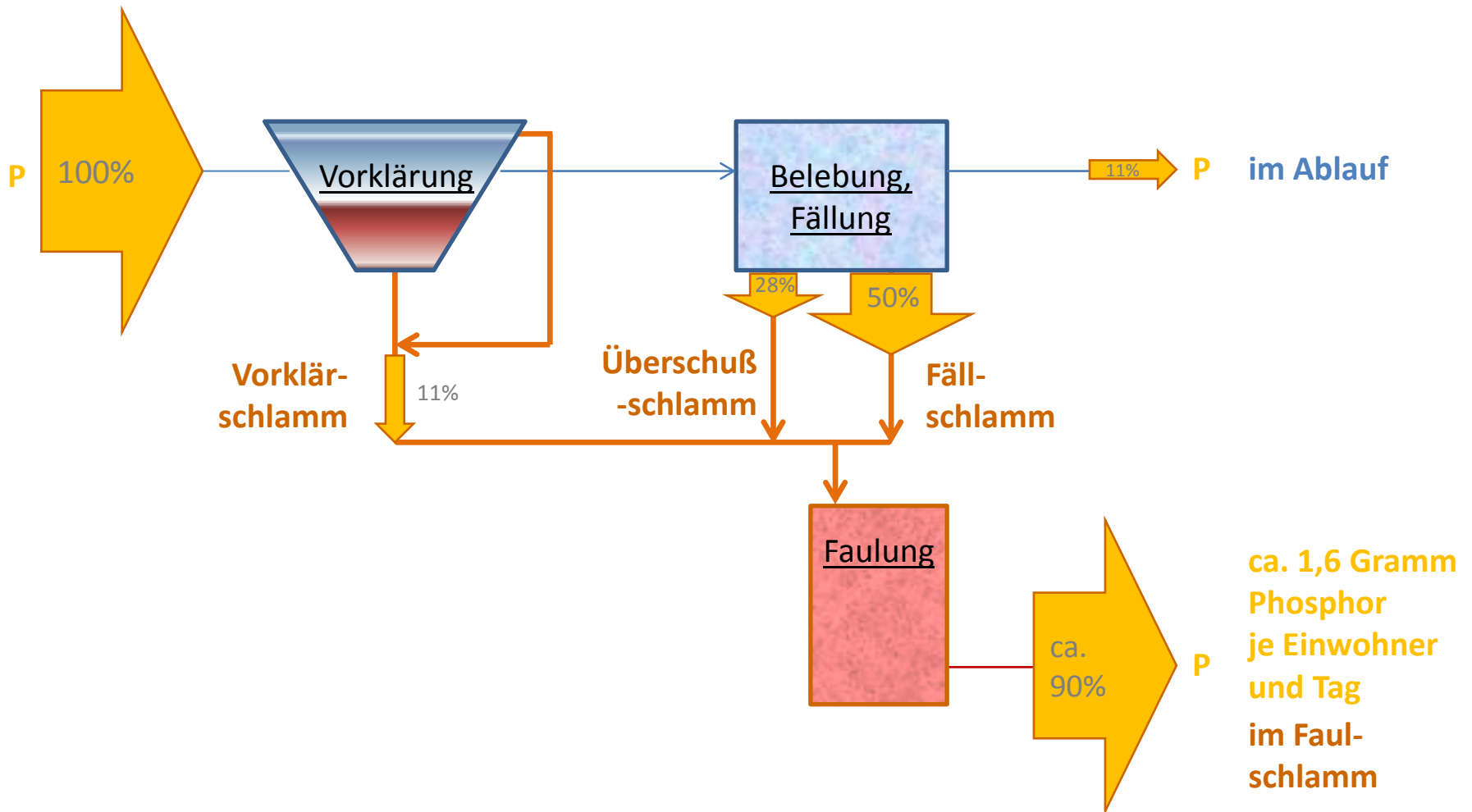
- Vereinfachte Darstellung des „kleinen“ Phosphorkreislaufes [1]
→ Literaturempfehlung zu Phosphor, seiner essentiellen Bedeutung für das Leben, Vorkommen, Reserven usw.

- Prinzipieller Verlauf der Stoffströme auf der ZKA Niederfrohna (Klärwerk)

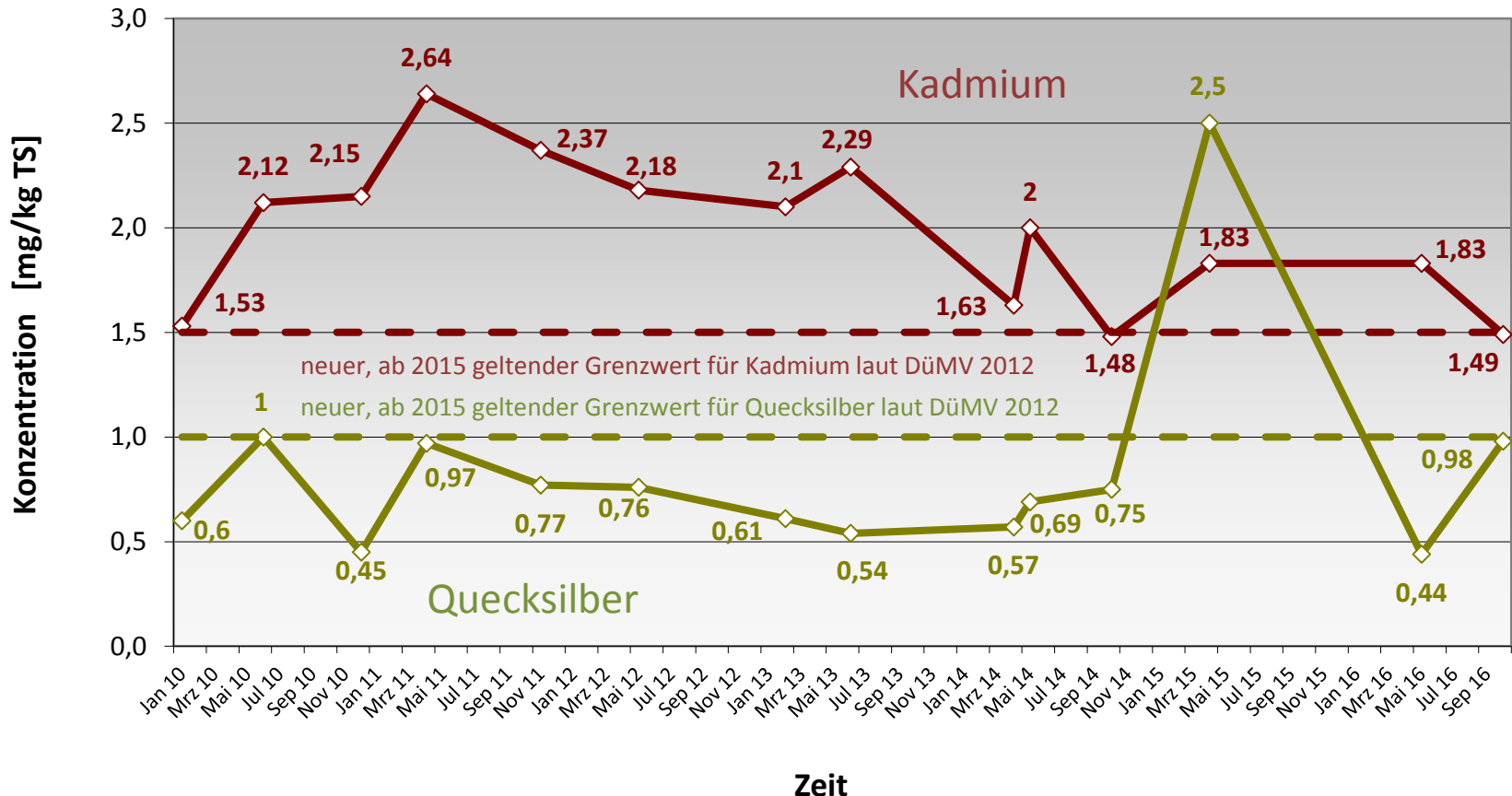


ca. 1,8 Gramm
Phosphor
je Einwohner
und Tag
im Zulauf

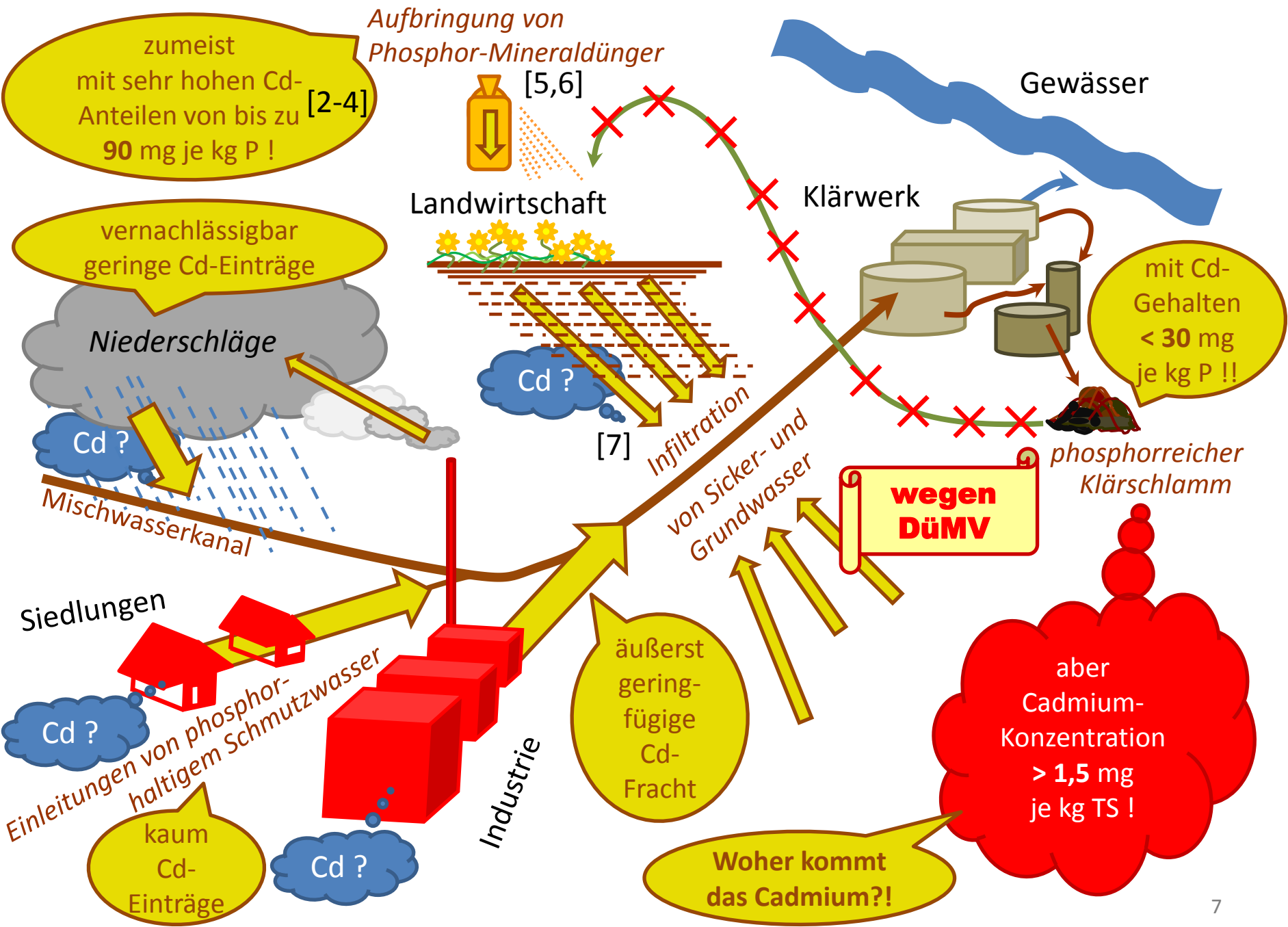
- Phosphorbilanz auf der ZKA Niederfrohna



- Entwicklung der für die Nutzung der Klärschlamme aus der ZKA Niederfrohna in der Landwirtschaft oder im Landbau problematischen Schadstoffgehalte



- Der Grenzwert für Kadmium wird fast durchweg erheblich überschritten!
- Der Parameter Quecksilber ist als kritisch anzusehen, denn der Grenzwert wird hin und wieder erreicht bzw. überschritten.



- weitere rechtliche Hinderungsgründe für die Verwertung wie früher:
 1. Der Klärschlamm muß keimfrei sein!
 - z.B. durch thermische Desinfektion wie etwa von Bioabfällen tierischer Herkunft zur Futtermittelherstellung. Vollständige Hygienisierung ist aber extrem aufwendig.
 2. Bei der Schlammentwässerung dürfen nur Flockungshilfsmittel (FHM) eingesetzt worden sein, die sich im Boden gut zersetzen.
 - einzige natürliche Alternative (Chitosan) wäre aus China zu beziehen, ist nicht in ausreichendem Maße verfügbar und kostet ein Vielfaches der üblichen synthetischen Polymere
 - es gibt nach wie vor kein einheitliches Analyseverfahren zur Bestimmung von FHM in Böden. Dadurch sind auch keine Aussagen zu deren Beständigkeit in Böden möglich.
- außerdem: generell entgegenstehendes Interesse der Bundesregierung. Zitat aus dem Koalitionsvertrag der „großen Koalition“:

„Wir werden die Klärschlammausbringung zu Düngezwecken beenden.“

Energieeffizienz/Modellprojekt zur Abwasserbeseitigung auf der zentralen Kläranlage in Niederfrohna: „Errichtung einer Pyrolyse zur Klärschlammverwertung“

Europa fördert Sachsen.
EFRE
Europäischer Fonds für
regionale Entwicklung

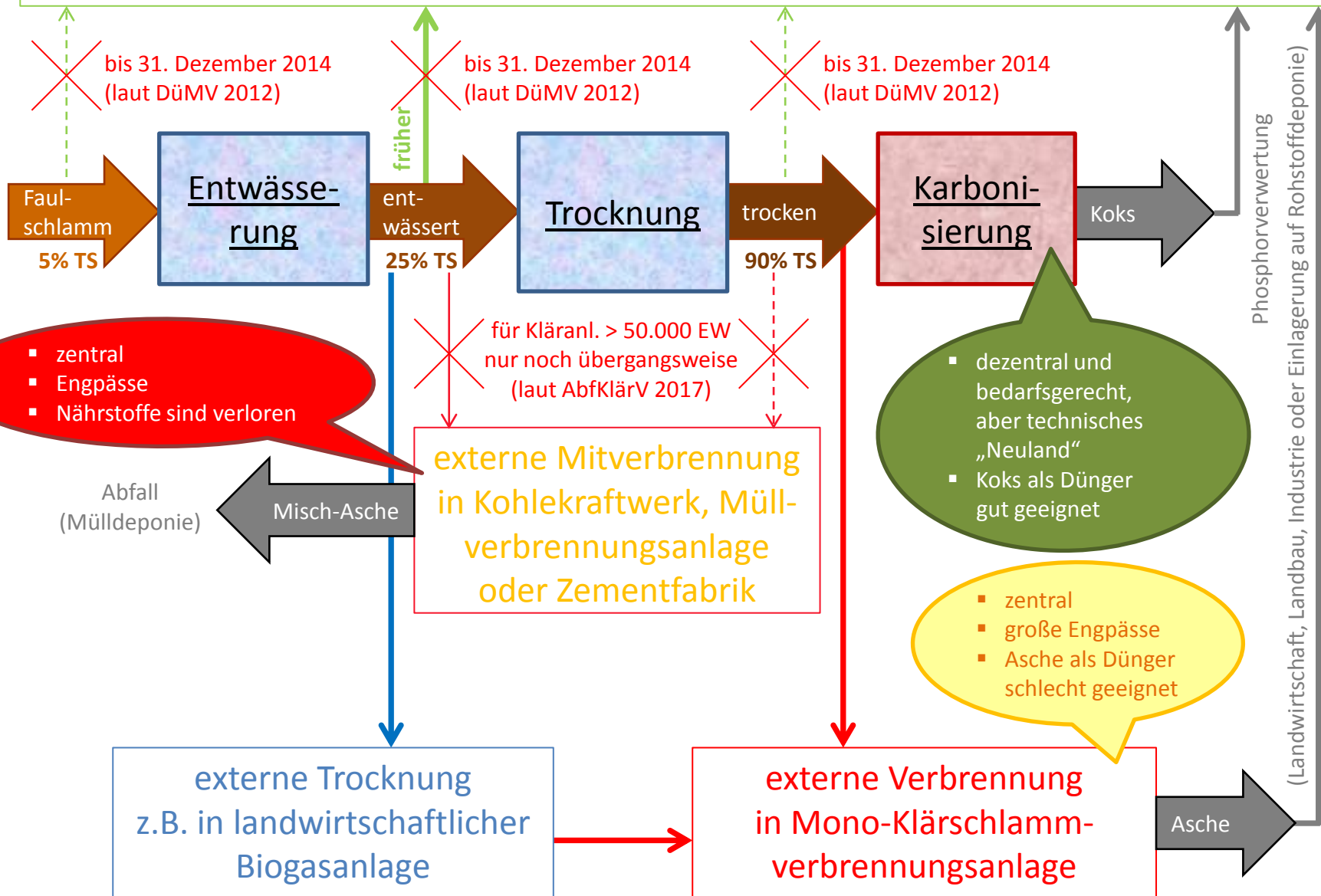


Europäische Union

Dezentrale Phosphorrückgewinnung in Kläranlagen

- 1.) Problem
- 2.) Lösungsvorschlag**
- 3.) Anlagenkonzept
- 4.) Versuchsergebnisse
- 5.) Zusammenfassung und Ausblick
- 6.) Quellen und Hinweise

landwirtschaftliche oder landbauliche Verwertung



Energieeffizienz/Modellprojekt zur Abwasserbeseitigung auf der zentralen Kläranlage in Niederfrohna: „Errichtung einer Pyrolyse zur Klärschlammverwertung“

Europa fördert Sachsen.
EFRE
Europäischer Fonds für
regionale Entwicklung

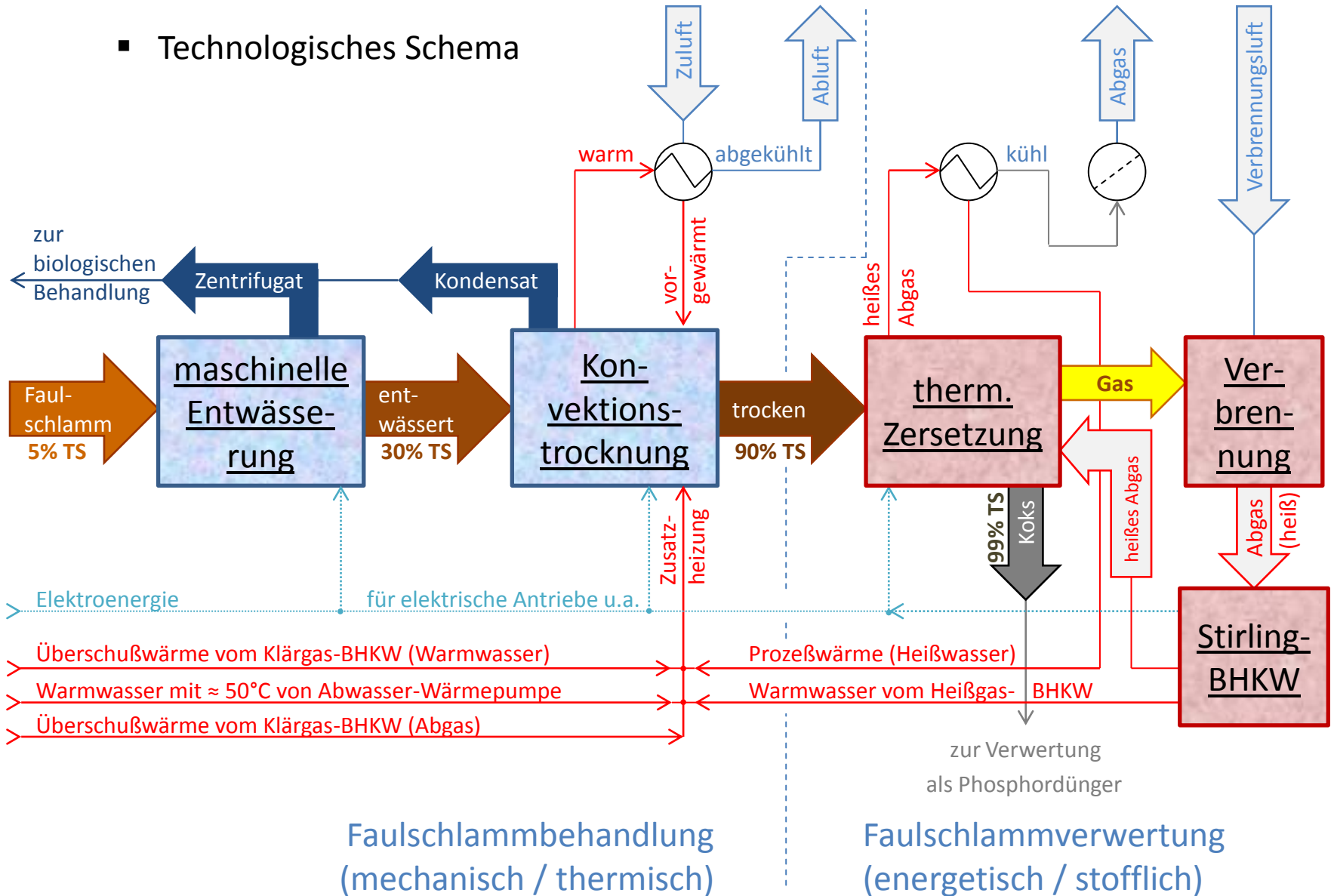


Europäische Union

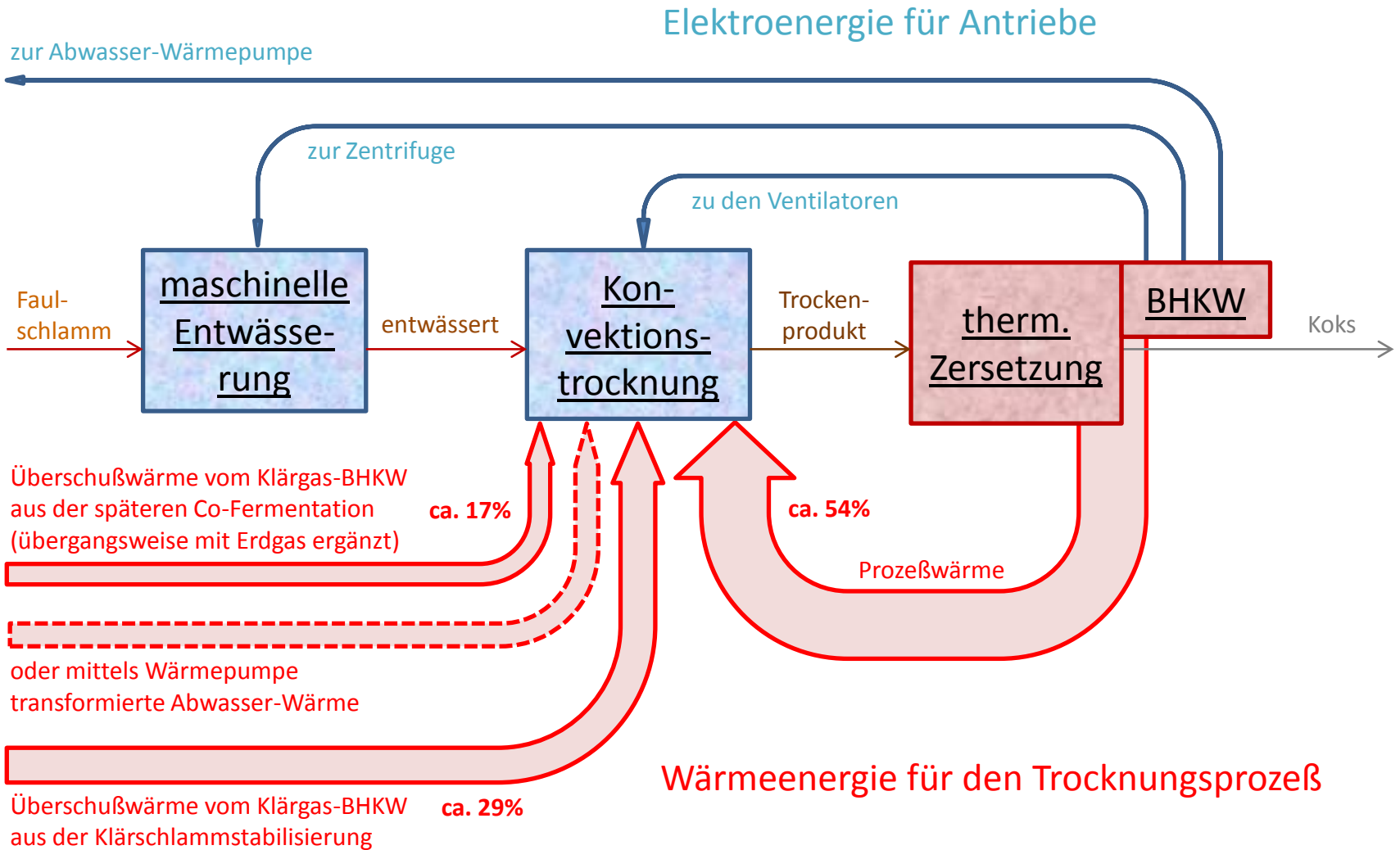
Dezentrale Phosphorrückgewinnung in Kläranlagen

- 1.) Problem
- 2.) Lösungsvorschlag
- 3.) Anlagenkonzept**
- 4.) Versuchsergebnisse
- 5.) Zusammenfassung und Ausblick
- 6.) Quellen und Hinweise

▪ Technologisches Schema



▪ Energiefluß-Diagramm



- Hauptkomponenten

1. Moderne Fest-Flüssig-Polymer-Dosierstation

- Optimierung der Wirksamkeit der Flockungshilfsmittel
- Verbesserung der Entwässerbarkeit des Faulschlammes
- Verringerung des spezifischen Verbrauches an synthetischen Flockungshilfsmitteln für die mechanische Faulschlammmentwässerung

2. Hochleistungszentrifuge

- Verbesserung des erreichbaren mechanischen Entwässerungsgrades von bisher $\leq 25\%$ TS auf künftig $\geq 30\%$ TS
- Senkung des spezifischen Strombedarfes für die mechanische Faulschlammmentwässerung

3. Mikro-Gasturbine

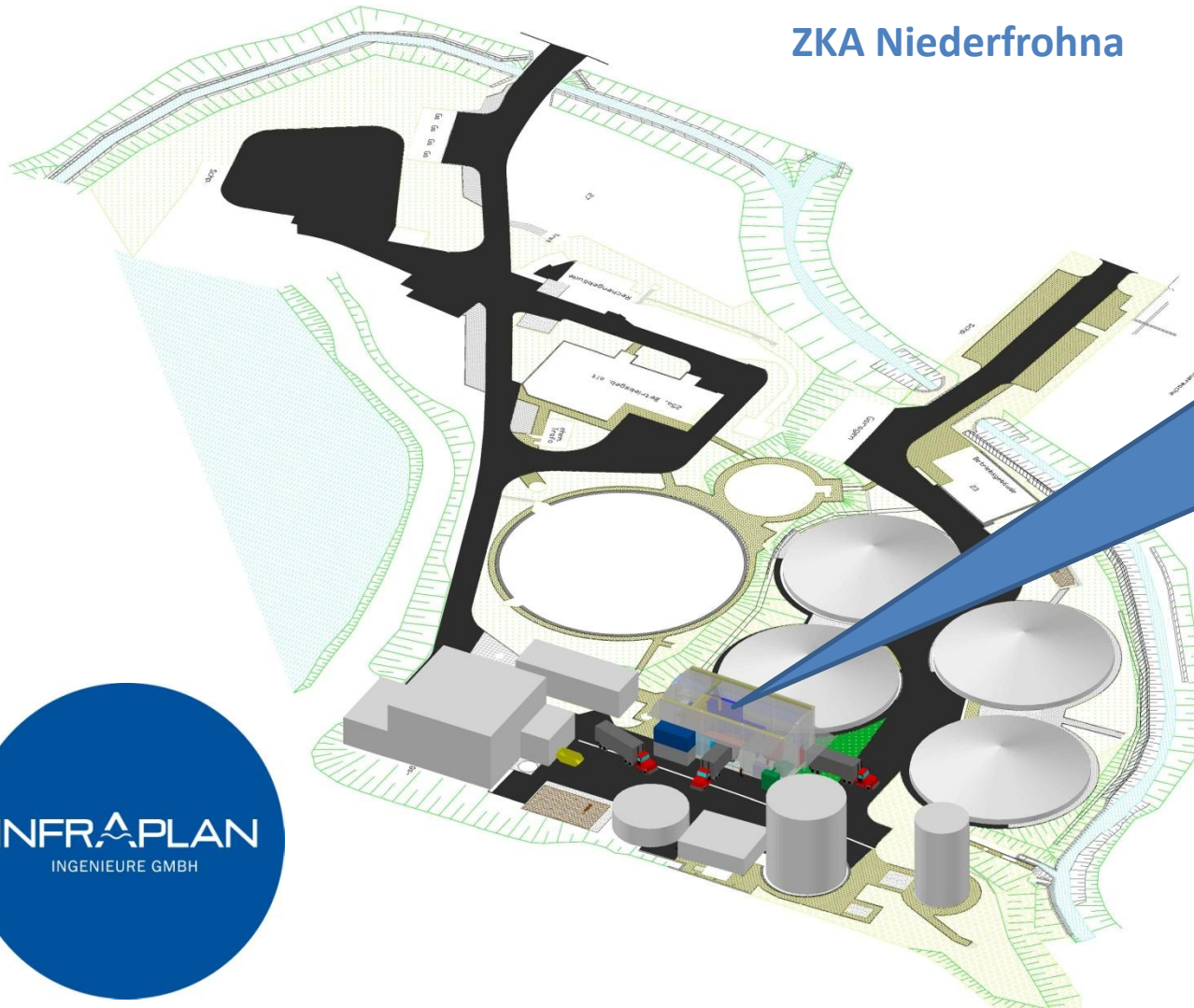
- wartungsarmer Dauerläufer für die Klärgas-Verstromung
- optimierte Kraft-Wärme-Kopplung (bedarfsgerecht modulierbar)
- Einsatz des heißen Abgases für die effektive Klärschlamm-trocknung (Direkttrocknung, weitestgehende Abwärmenutzung)

- ... 4. Konvektionstrockner mit Abluftbehandlung
- relativ wirtschaftliche Volumenreduktion des Faulschlammes
 - Erhöhung des Trockenstoffgehaltes auf $\geq 85\%$ TS und Anhebung des Heizwertes als Voraussetzung für die Pyrolyse
5. Pyrolyse-Einheit mit Abgasverwertung und -behandlung
- Steigerung des Trockenstoffgehaltes auf $\geq 99\%$ TS und weitergehende Volumenverminderung
 - Schadstoffreduktion (thermische Zersetzung)
 - Nutzung der entstehenden Reaktionswärme für die vorgeschaltete Trocknung und für Heizzwecke (Abwärmennutzung) sowie ggf. Stromerzeugung mit einem Stirling-Motor-BHKW
 - Desinfektion
 - Karbonisierung, d.h., Erzeugung von *black carbon* = langzeitstabiler Hilfsstoff für die Bodenverbesserung und entsprechende Vermeidung von klimaschädlichem Kohlendioxid
 - Wandlung des Faulschlammes vom Abfall zum Wertstoff
 - kostenfreie Abgabe als Phosphat-Dünger an die regionale Landwirtschaft
 - Schließung des natürlichen regionalen Phosphorkreislaufes
 - Einsparung bzw. Vermeidung teurer Transport- und Entsorgungskosten

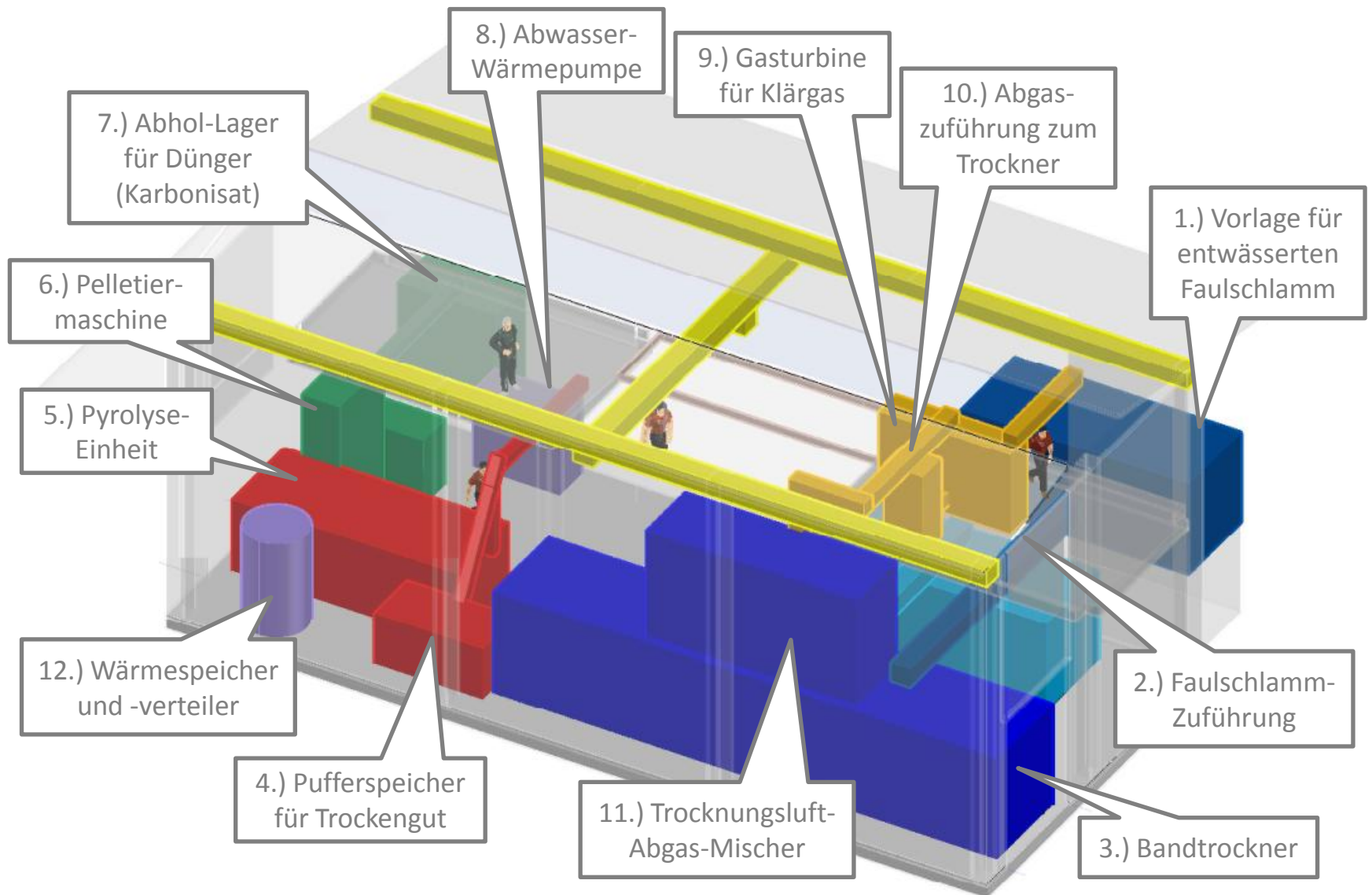
- Übersichtslageplan

ZKA Niederfrohna

räumliche Einordnung einer Industriehalle (10 m x 20 m) mit thermischer Faulschlammbehandlungsanlage



▪ Aufstellungsplan



Energieeffizienz/Modellprojekt zur Abwasserbeseitigung auf der zentralen Kläranlage in Niederfrohna: „Errichtung einer Pyrolyse zur Klärschlammverwertung“

Europa fördert Sachsen.
EFRE
Europäischer Fonds für
regionale Entwicklung

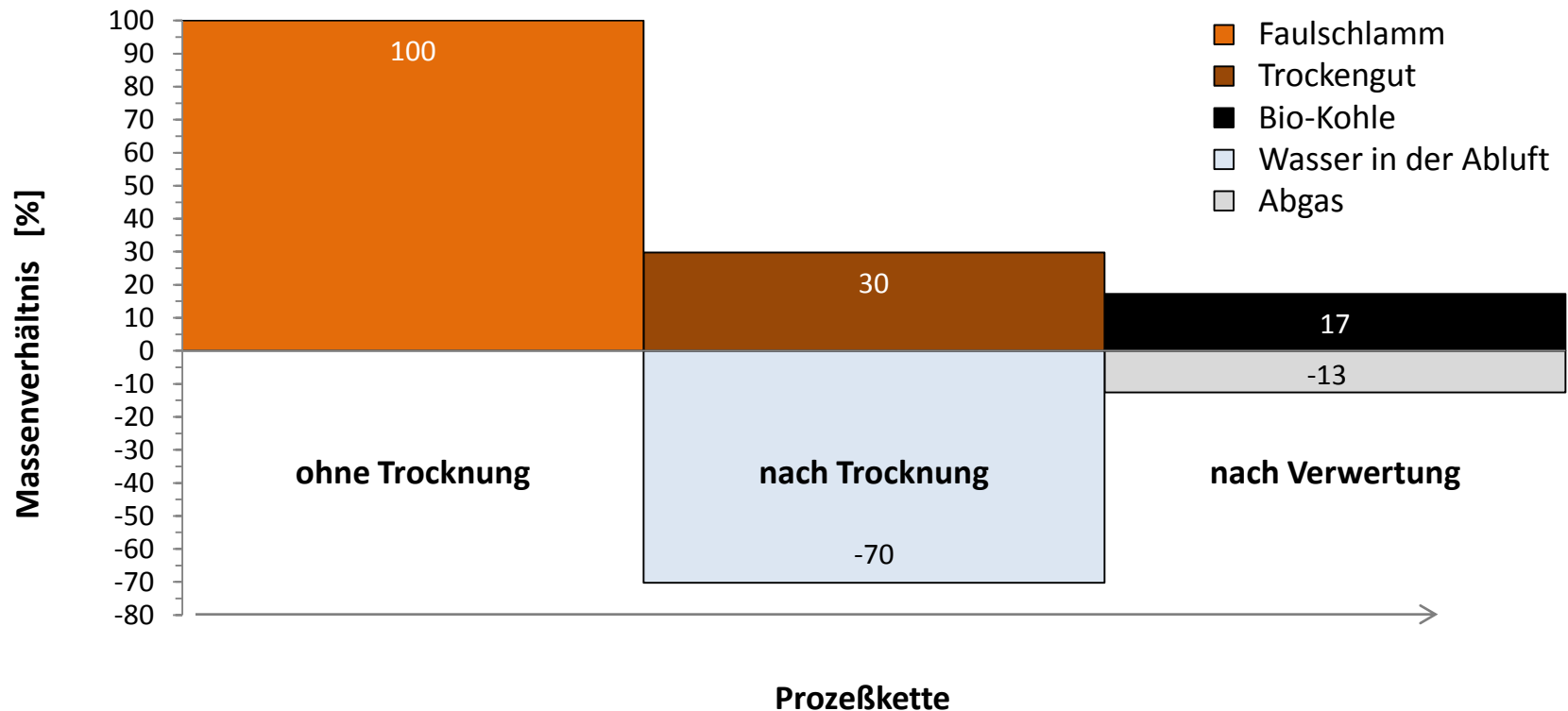


Europäische Union

Dezentrale Phosphorrückgewinnung in Kläranlagen

- 1.) Problem
- 2.) Lösungsvorschlag
- 3.) Anlagenkonzept
- 4.) Versuchsergebnisse**
- 5.) Zusammenfassung und Ausblick
- 6.) Quellen und Hinweise

- Massenreduktion bei der thermischen Klärschlammbehandlung auf der ZKA Niederfrohna (Vorversuche im großtechnischen Maßstab)



- Die Menge verringert sich um mehr als 80 Prozent.
- Durch die thermische Zersetzung (Karbonisierung) wird der Hauptteil der im ausgefaulten Schlamm noch enthaltenen Energie verwertet.

- Bio-Kohle aus kommunalem Klärschlamm von der ZKA Niederfrohna (Karbonisat)
je nach Anwendung ...



... als körniges Granulat
→ gut mischbar mit
anderen Düngern



... oder pelletiert
($\varnothing \approx 5$ mm und Länge 10 bis 20 mm)
→ gut lager- und handhabbar,
weil staubfrei

- Zusammensetzung von ausgefaultem Klärschlamm (Trockenprodukt-TP) und dem daraus erzeugten Karbonisat (Pyrolysekoks-PK) im Vergleich [8]:

| Allgemeine Parameter | TP | PK | Δ | Einheit |
|----------------------|--------|-------|----------|-------------|
| TS | 91,5 | 99,8 | 9,1% | % in der OS |
| oTS (Glühverlust) | 57,6 | 24,3 | -57,8% | % in der TS |
| pH | 7,0 | 10,0 | 42,9% | in der OS |
| Heizwert | 11.030 | 8.702 | -21,1% | kJ/kg OS |

= Kohle

| Nährstoffe | | | | |
|--|-------|---------|----------|-------------------------------------|
| Gesamtstickstoff (N) | 4,0 | 1,2 | -70,0% | % in der OS |
| Ammoniumstickstoff (NH ₄ -N) | 0,41 | < 0,050 | > -87,8% | % in der OS |
| Phosphat ges. (als P ₂ O ₅) | 7,34 | 12,6 | 71,7% | % in der TS |
| davon leicht pflanzenverfügbar | 88,6 | 76,3 | -13,9% | % des P ₂ O ₅ |
| Kalium ges. (als K ₂ O) | 0,254 | 0,538 | 111,8% | % in der TS |
| Magnesium ges. (als MgO) | 0,774 | 1,38 | 78,3% | % in der TS |
| Calcium ges. (als CaO) | 3,29 | 5,49 | 66,9% | % in der TS |
| Basisch wirksame Stoffe | 2,45 | 2,81 | 14,7% | % in der TS |

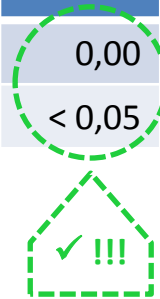
✓ !!!

| Schwermetalle | TP | PK | Δ | Grenzwert | Einheit |
|---|-------------|--------------|----------|------------|-------------------------------------|
| Blei | 48,9 | 64,3 | 31,5% | 150 | mg/kg TS |
| Cadmium | 1,77 | 0,507 | -71,4% | 1,5 | mg/kg TS |
| spezifisch (bezogen auf P ₂ O ₅) | 24,1 | ≤ 4,0 | ≥ -83,3% | 50 | mg/kg P ₂ O ₅ |
| Chrom | 91 | 110 | 20,9% | 300 | mg/kg TS |
| Kupfer | 290 | 380 | 31,0% | 800 | mg/kg TS |
| Nickel | 40 | 43 | 7,5% | 80 | mg/kg TS |
| Quecksilber | 0,81 | < 0,05 | > -93% | 1 | mg/kg TS |
| Zink | 1.350 | 2.090 | 54,8% | 2.500 | mg/kg TS |
| Organische Inhaltsstoffe | | | | | |
| AOX | 171 | 153 | -10,5% | 400 | mg/kg TS |
| PCB (180) | 0,003 | < 0,001 | > -66,7% | 0,1 | mg/kg TS |
| Polychlorierte Dibenzo-p-dioxine und -furane | | | | | |
| PCDD (2,3,7,8-Tetra CDD) | < 1,0 | < 1,0 | 0,0% | | ng/kg TS |
| TCDD-Toxizitätsäquivalente | 5 | 0 | -100% | 100 | TE |



< Nachweisgrenze

| Perfluorierte Tenside (PFT) | TP | PK | Δ | Grenzwert | Einheit |
|--|-------|--------|----------|-----------|----------------------------|
| PFT (gPFOS) | < 10 | < 10 | 0,0% | 100 | $\mu\text{g}/\text{kg TS}$ |
| Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) | | | | | |
| PAK nach EPA | 5,16 | 0,00 | -100% | | $\text{mg}/\text{kg TS}$ |
| Benzo(a)pyren [B(a)P] | 0,228 | < 0,05 | > -78,1% | 1 | $\text{mg}/\text{kg TS}$ |



Energieeffizienz/Modellprojekt zur Abwasserbeseitigung auf der zentralen Kläranlage in Niederfrohna: „Errichtung einer Pyrolyse zur Klärschlammverwertung“

Europa fördert Sachsen.
EFRE
Europäischer Fonds für
regionale Entwicklung

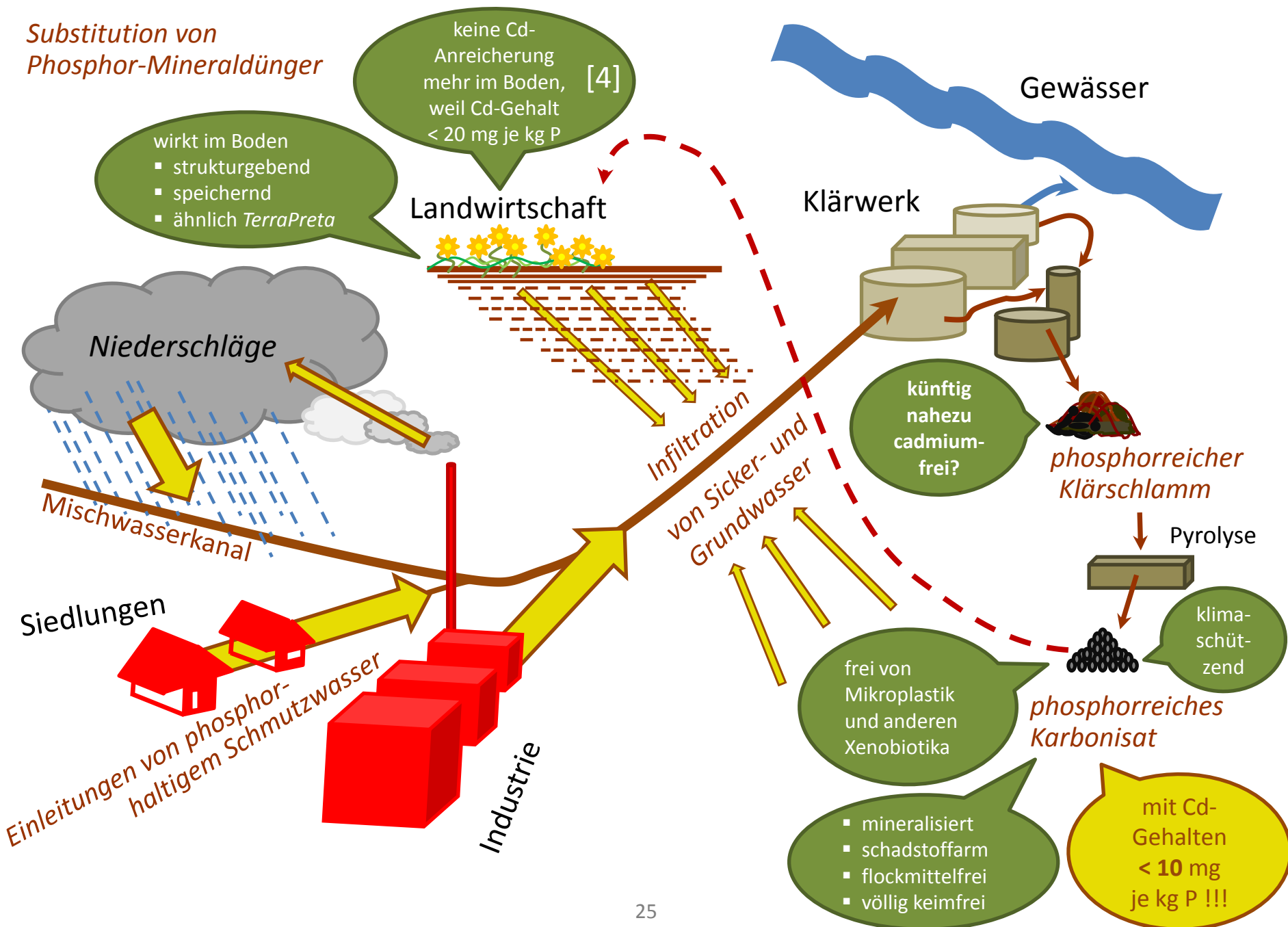


Europäische Union

Dezentrale Phosphorrückgewinnung in Kläranlagen

- 1.) Problem
- 2.) Lösungsvorschlag
- 3.) Anlagenkonzept
- 4.) Versuchsergebnisse
- 5.) Zusammenfassung und Ausblick**
- 6.) Quellen und Hinweise

Substitution von Phosphor-Mineraldünger



wirkt im Boden

- strukturgebend
- speichernd
- ähnlich TerraPreta

keine Cd-Anreicherung mehr im Boden, weil Cd-Gehalt < 20 mg je kg P [4]

Landwirtschaft

Niederschläge

Mischwasserkanal

Siedlungen

Einleitungen von phosphorhaltigem Schmutzwasser

Industrie

Klärwerk

Gewässer

künftig nahezu cadmium-frei?

phosphorreicher Klärschlamm

Pyrolyse

klima-schützend

phosphorreiches Karbonisat

frei von Mikroplastik und anderen Xenobiotika

- mineralisiert
- schadstoffarm
- flockmittelfrei
- völlig keimfrei

mit Cd-Gehalten < 10 mg je kg P !!!

- Zusammenfassung und Ausblick:

1. Ist die naheliegende Anwendung von Klärschlammkarbonisat als Substitut für herkömmlichen P-Mineraldünger als einfachste Lösung für unmittelbares Phosphor-Recycling tatsächlich möglich?

- binnen dreier Jahre wurden vier Großversuche mit unterschiedlichen Pyrolyse-Apparaten unter umfangreicher analysetechnischer Begleitung absolviert
- Klärschlamm-Karbonisat erscheint hinsichtlich seiner Zusammensetzung als ein wertvoller, wirksamer, schadstoffarmer und umweltfreundlicher P-Dünger
- entspricht den neuesten gesetzlichen Anforderungen an Düngemittel
- Interesse und Nachfrage seitens der Landwirtschaft sowie der Düngemittelindustrie ist gegeben
- Vorschlag auf Zulassung als Düngemittel dem BMEL unterbreitet
 - näheres insbesondere zur positiven Wirkung der Bio-Kohle wird sich aus wissenschaftlichen Pflanzenversuchen ergeben (Beuth Hochschule für Technik Berlin)
 - Aufnahme in die Tabelle der DüMV ist bei nächster Gelegenheit zu erwarten

2. Läßt sich eine in bedarfsgerecht erweiterbarer Container-Modulbauweise konzipierte dezentrale Karbonisierungsanlage für phosphorreichen Klärschlamm platzsparend in eine übliche kommunale Kläranlage einbinden, mit dem Klärwerkspersonal im Dauerbetrieb technisch beherrschen sowie grundsätzlich energieautark, umweltschonend und wirtschaftlich betreiben?

- Vorhaben des Zweckverbandes Frohnbach der Errichtung und des Betriebes einer Versuchsanlage als Demonstrations- und Modellvorhaben auf dem Standort seiner ZKA in Niederfrohna
- verfahrenstechnische Berechnungen sind erledigt
- Entwurfsplanung ist fertig
- Genehmigung liegt vor
- Finanzierung gesichert
- Ausführungsplanung im Gange



→ **Staatliche Fördermittel aus dem Klimaschutzprogramm des Freistaates Sachsen bewilligt (EFRE)**

→ geplanter Baubeginn: Mitte 2018

→ vorgesehene Aufnahme des Versuchsbetriebes: Ende 2019

Energieeffizienz/Modellprojekt zur Abwasserbeseitigung auf der zentralen Kläranlage in Niederfrohna: „Errichtung einer Pyrolyse zur Klärschlammverwertung“

Europa fördert Sachsen.
EFRE
Europäischer Fonds für
regionale Entwicklung



Europäische Union

Dezentrale Phosphorrückgewinnung in Kläranlagen

- 1.) Problem
- 2.) Lösungsvorschlag
- 3.) Anlagenkonzept
- 4.) Versuchsergebnisse
- 5.) Zusammenfassung und Ausblick
- 6.) Quellen und Hinweise**

- Quellen und Hinweise:

[1] Eichler, A. (2017): „Technik + Poesie | Innokonservatives Jahrbuch 1“, S. 23-35, ISBN 978-3-96063-008-1

[2] Dittrich, B.; Klose, R. (2008): „Schwermetalle in Düngemitteln“, Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 3/2008, unter Verwendung der Ergebnisse der amtlichen Düngemittelverkehrskontrolle des Freistaates Sachsen in den Jahren 2007 und 2008

[3] Zwar sind nach der (deutschen) DüMV hier nur Mineraldünger zulässig, die einen Cadmiumgehalt von 50 mg je kg P_2O_5 nicht überschreiten. Gleichwohl kennt das höherstehende europäische Düngemittelrecht für Mineraldünger überhaupt keine Grenzwerte. Somit können ungeachtet der Bestimmungen der DüMV auch in Deutschland sogenannte „EU-Dünger“ mit beliebig hohen Schwermetallgehalten gehandelt und als Dünger verwendet werden, denn es gilt das Gebot der grundsätzlich uneingeschränkten Handelsfreiheit.

- [4] Der wissenschaftliche Ausschuß für Toxikologie, Ökotoxikologie und Umwelt der Europäischen Union (SCTEE) geht davon aus, daß geringe Cadmiumgehalte in Düngemitteln von nicht mehr als 20 mg je kg P_2O_5 tendenziell nur eine relativ langsame Anreicherung im Boden oder günstigstenfalls über einen Zeitraum von hundert Jahren gesehen sogar eine Verringerung erwarten lassen. Demgegenüber ist bei hohen Cadmiumgehalten ab 60 mg je kg P_2O_5 über denselben Zeitraum mit einer relativ hohen Anreicherung in Ackerböden zu rechnen. Dittrich, B. (2009): „Cadmiumaustrag über Düngemittel“, BfR-Statusseminar „Cadmium – Neue Herausforderungen für die Lebensmittelsicherheit“, 7. Juli 2009, S. 7
- [5] Laut Umweltbundesamt (UBA) werden in Deutschland mit mineralischen Phosphatdüngemitteln jedes Jahr rund 167 Tonnen Uran auf landwirtschaftliche Flächen verbracht. Allein von 1951 bis 2009 sind so bis zu 13.000 Tonnen Uran auf bundesdeutsche Felder verteilt worden. www.foodwatch.org/de/informieren/uran-im-wasser/mehr-zum-thema/fragen-antworten/, aufgerufen am 15. März 2017, 16.04 Uhr

- [6] Hijri, M. (2013): Lediglich rund 15% der Phosphorgaben werden von den Pflanzen aufgenommen und etwa 80% einer jeden dem Boden zugeführten Phosphordosis bleiben nutzlos und gehen verloren, werden ausgewaschen, belasten also das Grund- und Oberflächenwasser.
www.ted.com/talks/mohamed_hijri_a_simple_solution_to_the_coming_phosphorus_crisis/transcript?language=de, aufgerufen am 15. März 2017, 15.53 Uhr
- [7] Seit Jahren mehren sich in Deutschland Fälle von Grenzwertüberschreitungen bezüglich der Konzentration von Uran im Grundwasser im Zusammenhang mit der Gewinnung von Trinkwasser.
www.foodwatch.org/presse/pressemitteilungen/uran-im-trinkwasser-bedenklich-hohe-belastung-in-13-bundesländern-bundesregierung-nimmt-unnoetige-gesundheitsrisiken-fuer-kinder-in-kauf/, aufgerufen am 15. März 2017, 17.42 Uhr
- [8] Auszug aus den Prüfberichten 1094032-409282/409283, 1094032-409284 und 1804602-161064 des AGROLAB-Untersuchungslabors AWV-Dr. Busse GmbH, Plauen, zum vierten kontinuierlichen groß-technischen Pyrolyse-Versuch mit Klärschlamm von der zentralen Kläranlage in Niederfrohna im Maßstab 1:1 am 17. August 2016