

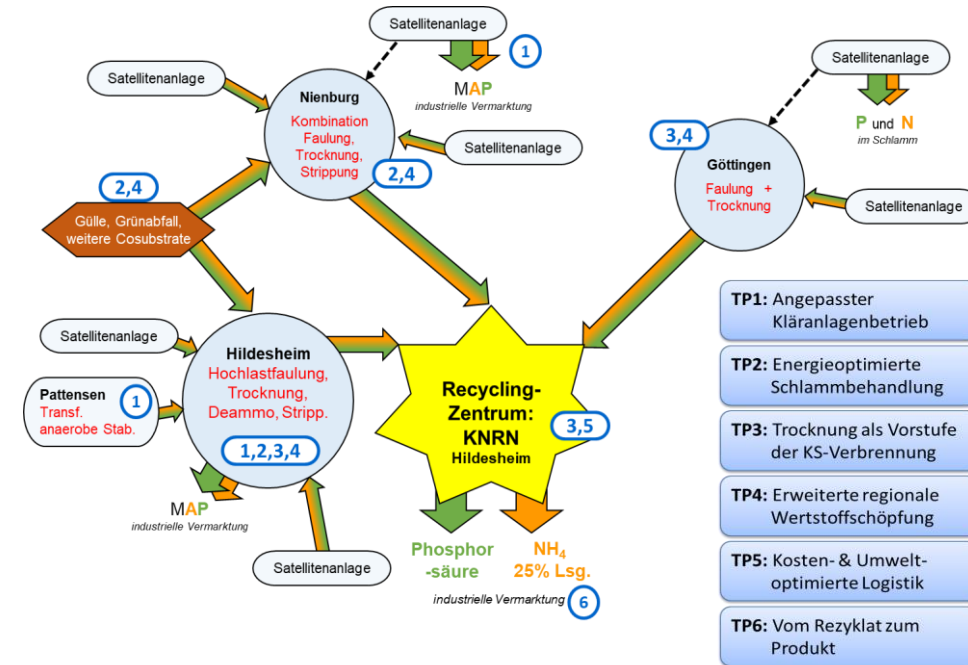
Modellgestützte Szenarioanalyse – ein starkes Werkzeug für ein optimiertes regionales Nährstoffrecycling

- Strategieentwicklung am Beispiel des Kläranlagen-Verbunds KNRN -



Dr.-Ing. Maike Beier | Inst. für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Leibniz Universität Hannover

Dr.-Ing. Erwin Voß | Stadtentwässerung Hildesheim AöR (SEHi) / KNRN GmbH



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt

FONA
Forschung für Nachhaltigkeit

RePhoR
REGIONALES PHOSPHOR-RECYCLING

Leibniz Universität Hannover

Kreisverband für
Wasserwirtschaft
WASSER

CEB

SOEPENBERG
since 1954

BIORESTEC

SEHi
Alles klar!

Stadt Pattensen
in der Region Hannover

Landwirtschaftskammer
Niedersachsen

INGENIEURBÜRO
DR. SABRINA BREITENKAMP

Fraunhofer
IML

KNRN
KOMMUNALES NÄHRSTOFFRECYCLING
NIEDERSACHSEN GMBH

Modellgestützte Szenarioanalyse – ein starkes Werkzeug für ein optimiertes regionales Nährstoffrecycling

- Strategieentwicklung am Beispiel des Kläranlagen-Verbunds KNRN -

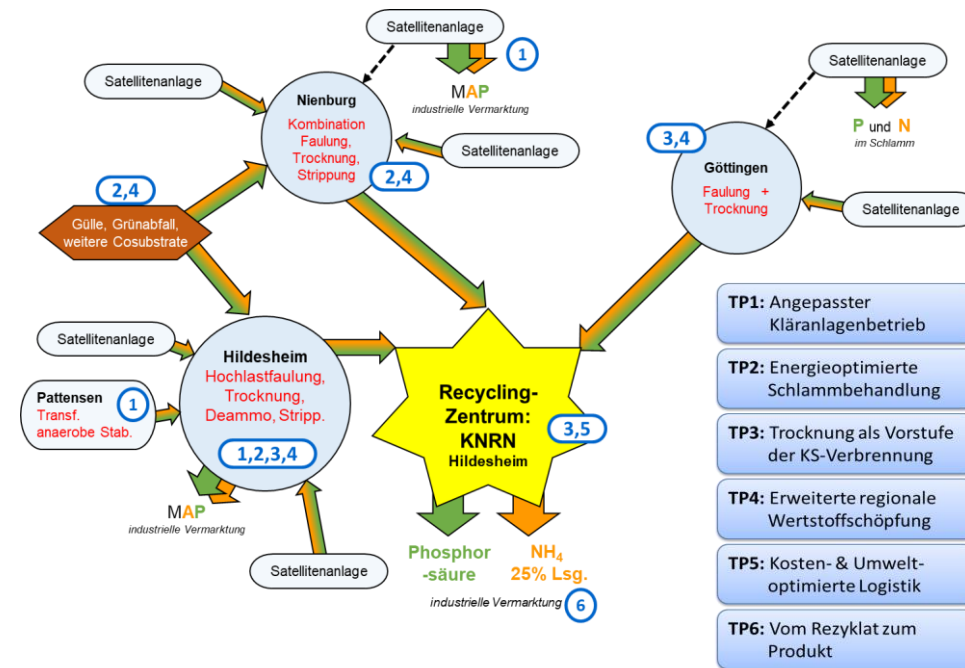
Dr.-Ing. Maike Beier | Inst. für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Leibniz Universität Hannover

Dr.-Ing. Erwin Voß | Stadtentwässerung Hildesheim AÖR (SEHi) / KNRN GmbH



Vortragsinhalt

- Kommunalen Verbund
- Entscheidungsunterstützung
- Digitaler Stoffstromzwilling
- Anwendung in der Praxis (Bsp. SEHi)
- Fazit – Transfer



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt

FONA
Forschung für Nachhaltigkeit

RePhoR
REGIONALES PHOSPHOR-RECYCLING

LSH
Leibniz
Universität
Hannover

Kreisverband für
Wasserwirtschaft
WASSER
Wasserwirtschaft - Abwasserreinigung - Gewässerschutz

CEB

SOEPENBERG
since 1954

BIORESTEC

SEHi
Alles klar!

**Stadt
Pattensen**
in der Region Hannover

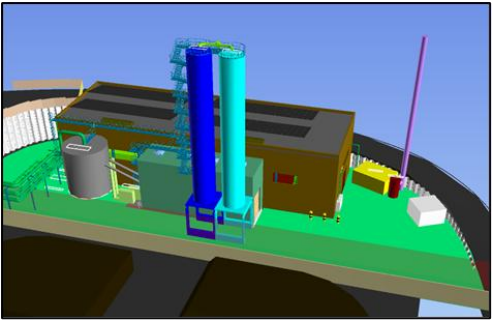
Landwirtschaftskammer
Niedersachsen

INGENIEURBÜRO
DR. SABRINA BREITENKAMP

Fraunhofer
IML

KNRN
KOMMUNALE NÄHRSTOFFRECYCLING
NIEDERSACHSEN GMBH

KNRN – kommunale Nährstoffrückgewinnung GmbH

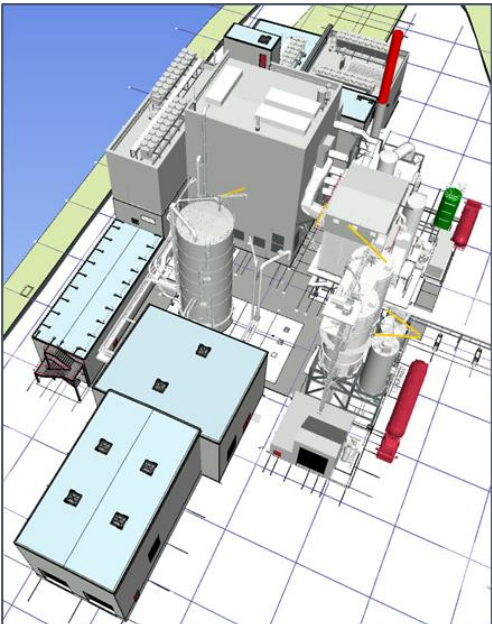


KTA (Klärschlamm-trocknungs-anlage)

Standort: Hameln

Einsatz: ~ 45.000 t(OS)/a (24% TS)

Produkt: ~ 10.800 t(OS)/a (85% TS)



MKVA (Mono-Klärschlammverbrennungsanlage)

Standort: Hildesheim

Einsatz: 33.500 t(TS)/a (24% TS)

~ 140.000 t(OS)/a

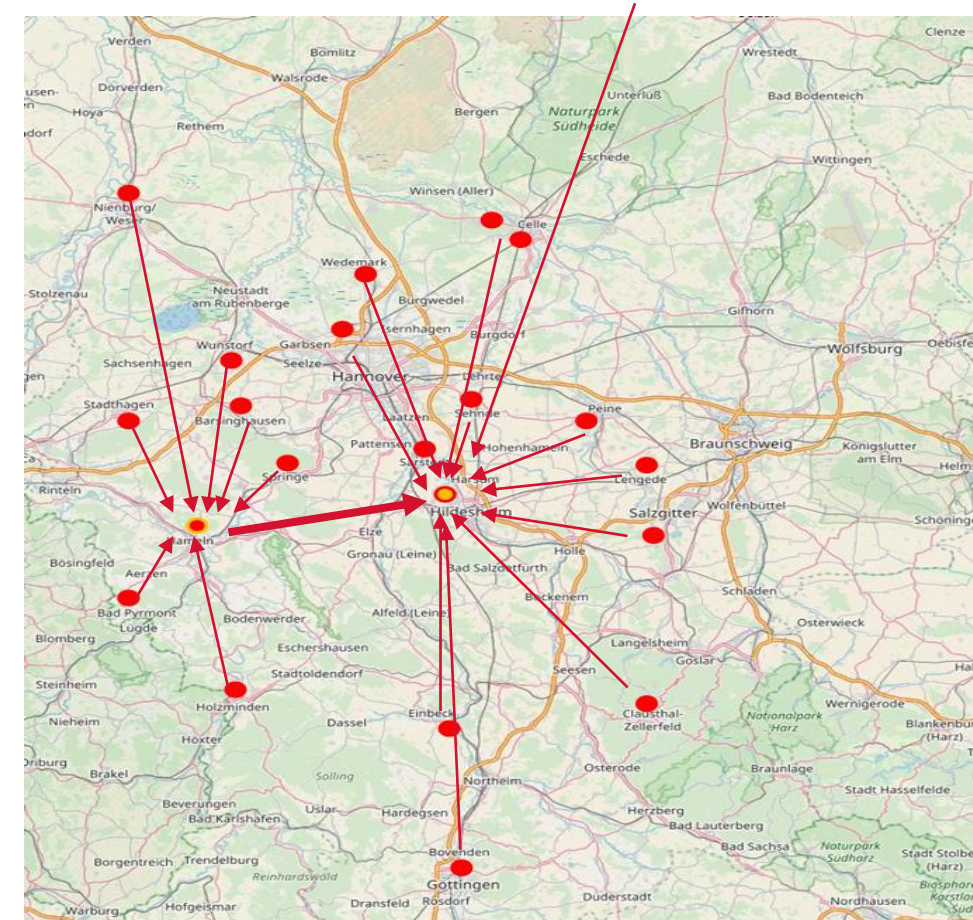
~ 22.800 t(TS)/a direkt HI

~ 10.800 t(TS)/a aus HM

Produkte:

~ 14.900 t/a P-Asche m. im Mittel 7,3% P

~ 44.000 MWh Wärme / Jahr



- 22 Gesellschafter
- 46 Kläranlagen (GK 2 bis 5)
- 2,7 Mio. Einwohnerwerte (EW)
(=Schmutzfracht von Abwasser)

Genehmigungsverfahren MKVA



- Antragskonferenz am 15.03.2022
- Einreichung Dezember 2022
- Erörterungstermin 19./20.12.2023
- Genehmigungsbescheid 11.2024



Phosphorrückgewinnung

- Machbarkeitsstudie beauftragt
- Zwischenlagerung geregelt



KNRN → ein im Verbund optimaler Anlagenbetrieb

Konzeptphase



- **Aufbau Recyclingnetzwerk (KNRN)**
- **Definition der Schlamm-mengen**
- **Anpassung KA- Betrieb und Verfahrensauswahl im Gesamtverbund**
- **Voruntersuchungen/ Studien + Festlegung der maßgeblichen weitergehenden Fragestellungen**

Umsetzungsphase



kosten- und umweltoptimierte Bewirtschaftung des Netzwerks

- ➔ Verfahrensauswahl zur optimierten Schlamm(vor)behandlung
- ➔ Energie + CO₂-Bilanzierung
- ➔ Zusatzpotenziale Energie + P + N: Wirtschaftssubstrate
- ➔ Reduzierung Überdüngung + Flächenkonkurrenz durch räuml. + zeitl. Entkopplung von Nährstoffanfall und Bedarf
- ➔ Bewirtschaftungssystem - Logistik
- ➔ regionale Düngervermarktung in kommunaler Hand

TP 1: Angepasster Kläranlagenbetrieb

TP2: Energieoptimierte Schlammbehandlung

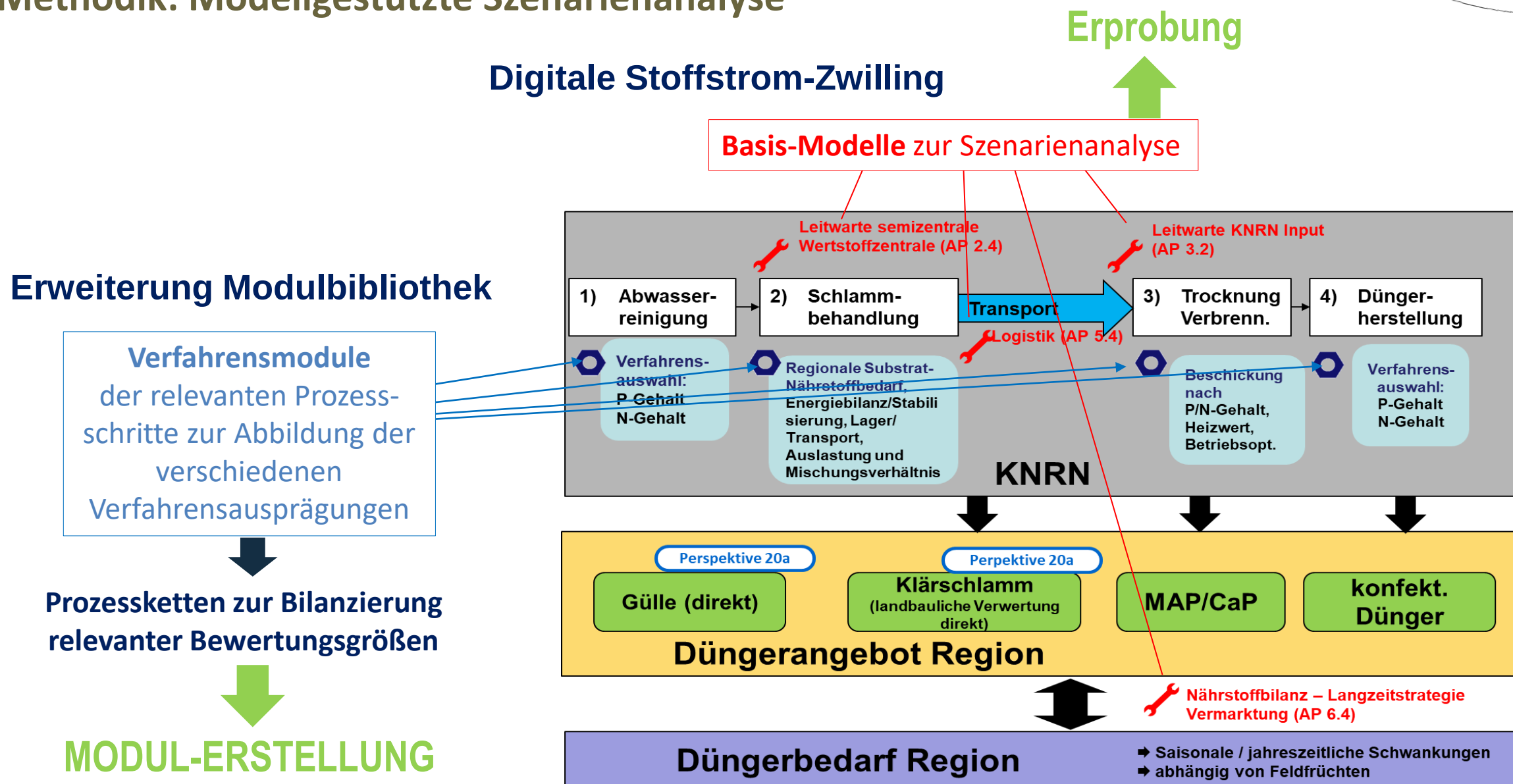
TP 3: Optimale KS-Qualitäten

TP 4: Erweiterte regionale Wertstoffschöpfung

TP 5: Kosten- und Umwelt-optimierte Logistik

TP 6: Vom Rezyklat zum Produkt

Methodik: Modellgestützte Szenarienanalyse



Modulbibliothek

Verfahrensspezifische Kennzahlen

→ Zusammenstellung + Hinterlegung in den Modulen

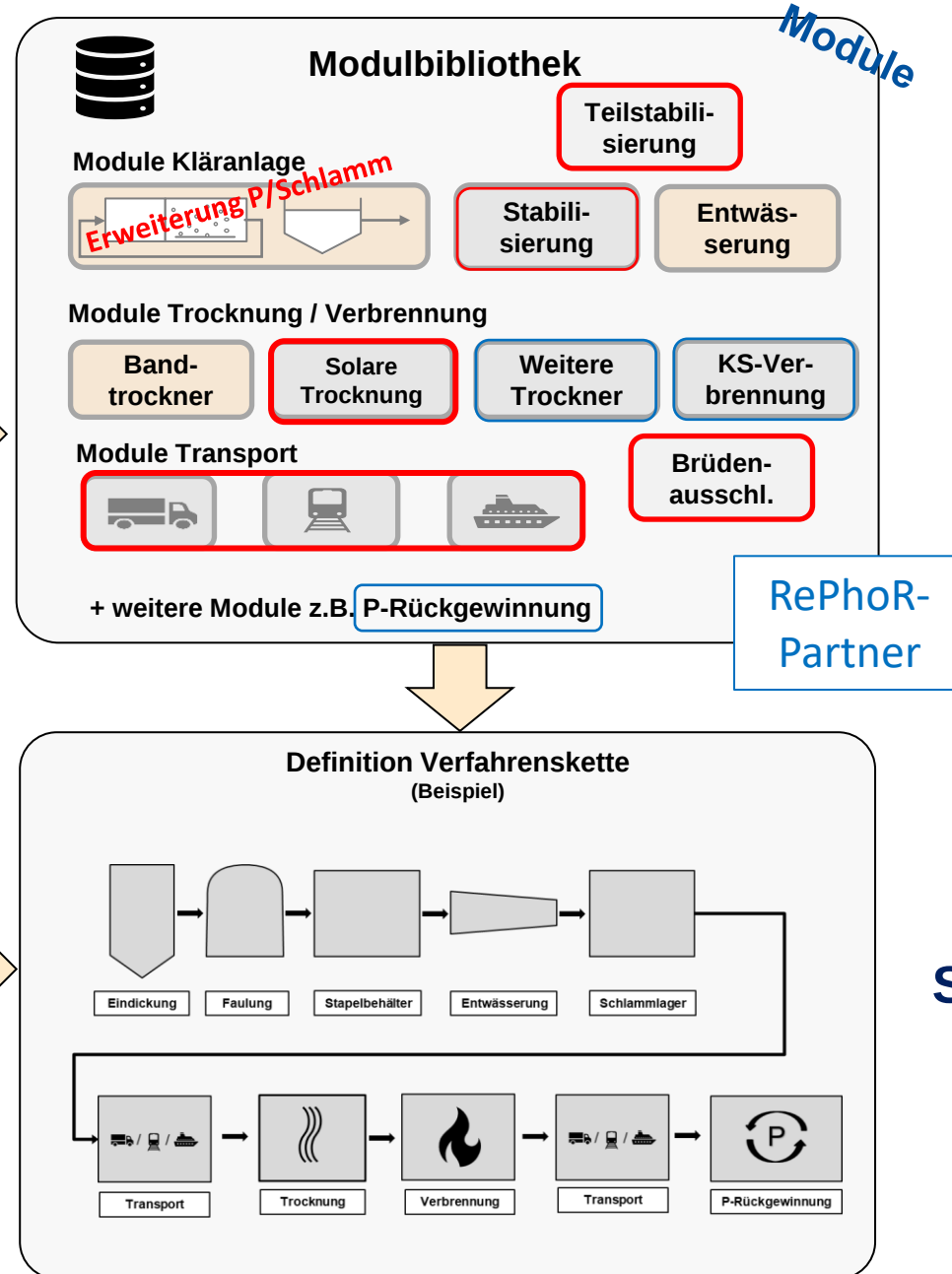
Zum Beispiel:

- Reinigungsleistung/Wirkungsgrade/ Abbaugrade
- P-Rückgewinnungsquote
- spez. Strombedarf [kWh/kg Durchsatz]
- spez. Wärmebedarf [kWh/kg Wasserverdampfung]
- spez. Betriebsmittelbedarf [kg/m³ Schlamm]
- ...

Standort- bzw. betriebsspezifische Kennzahlen und Informationen

Zum Beispiel:

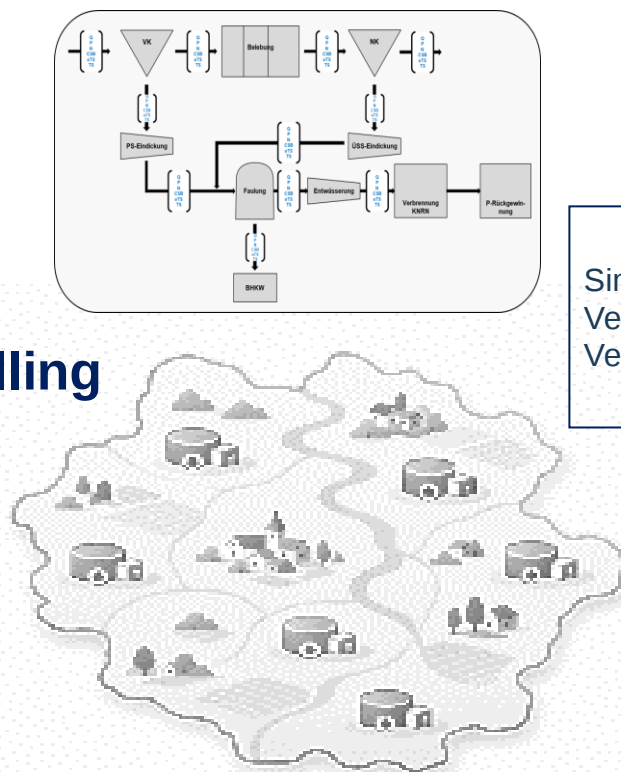
- P-Eliminationsverfahren
- Entwässerungsgrad
- Schlammengen und -qualitäten (TR, oTR, P-Gehalt, Heizwert, ...)
- spez. Kosten (Strom, Wärme, ...)
- CO₂e Strommix [g CO₂e/kWh]
- Invest, Abschreibungszeiträume
- Vorhandene Anlagentechnik
- Entfernungen, Verkehrsanschluss
- ...



**Digitale
Stoffstrom-Zwilling**

Modelleinsatz zur Investitionsentscheidung und Bewirtschaftung

Digitale Stoffstrom-Zwilling



Simulation von
Verfahrensketten/
Verbünden

Stoffströme

Ablaufwerte
Schlamm-mengen
CO2-äquivalente Emissionen

Anlagengrößen

Materialbedarf
Platzbedarf

Kosten

Betriebsmittelbedarf

Energiebedarf

Strom
Wärme

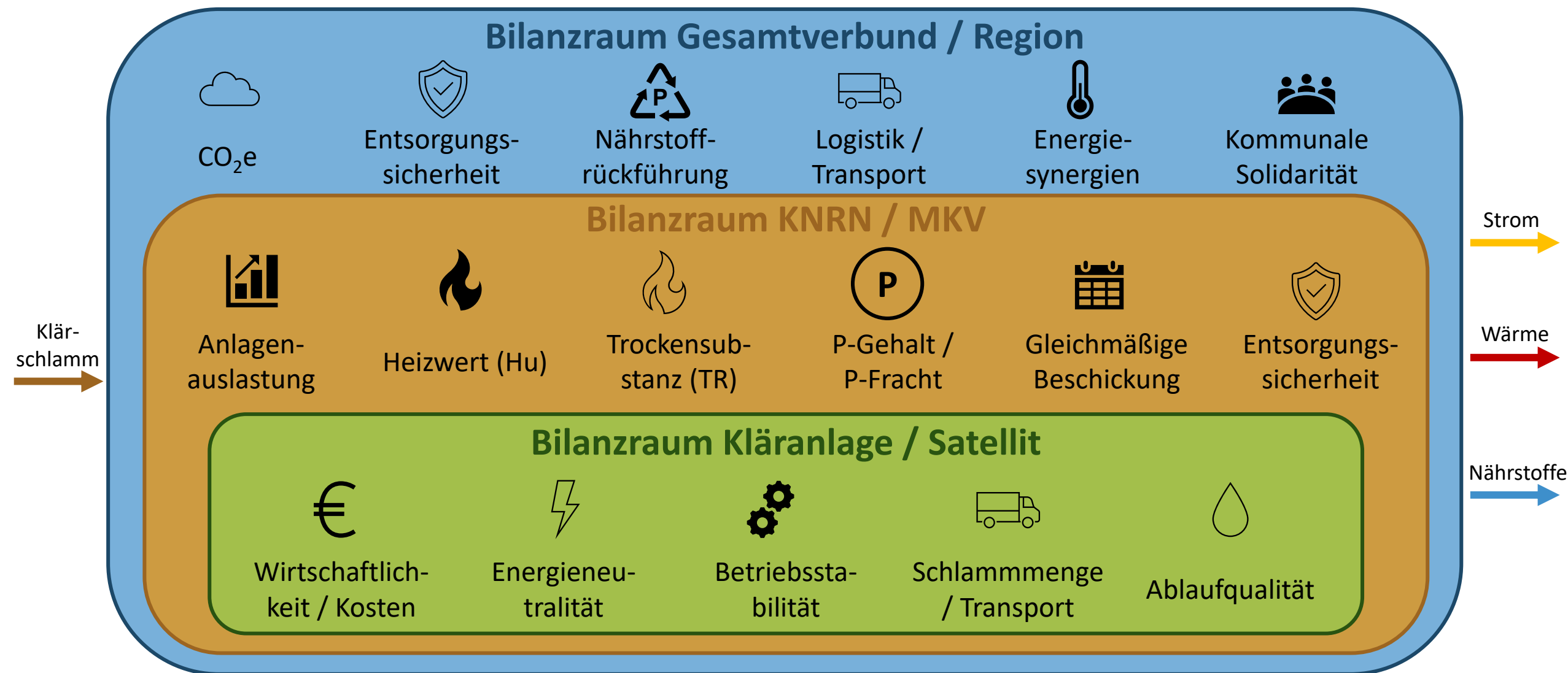
Bewertung

Individuelle
strategische Ziele
oder
Controlling-Fragen:

Investitionen
Betriebskosten
Energiebedarf
Personalaufwand
Robustheit
Kostenanteile
...

**fallspezifische Kennzahlberechnung
aktuell und automatisiert möglich
(variable Belastungen, Zukunftsszenarien ...)**

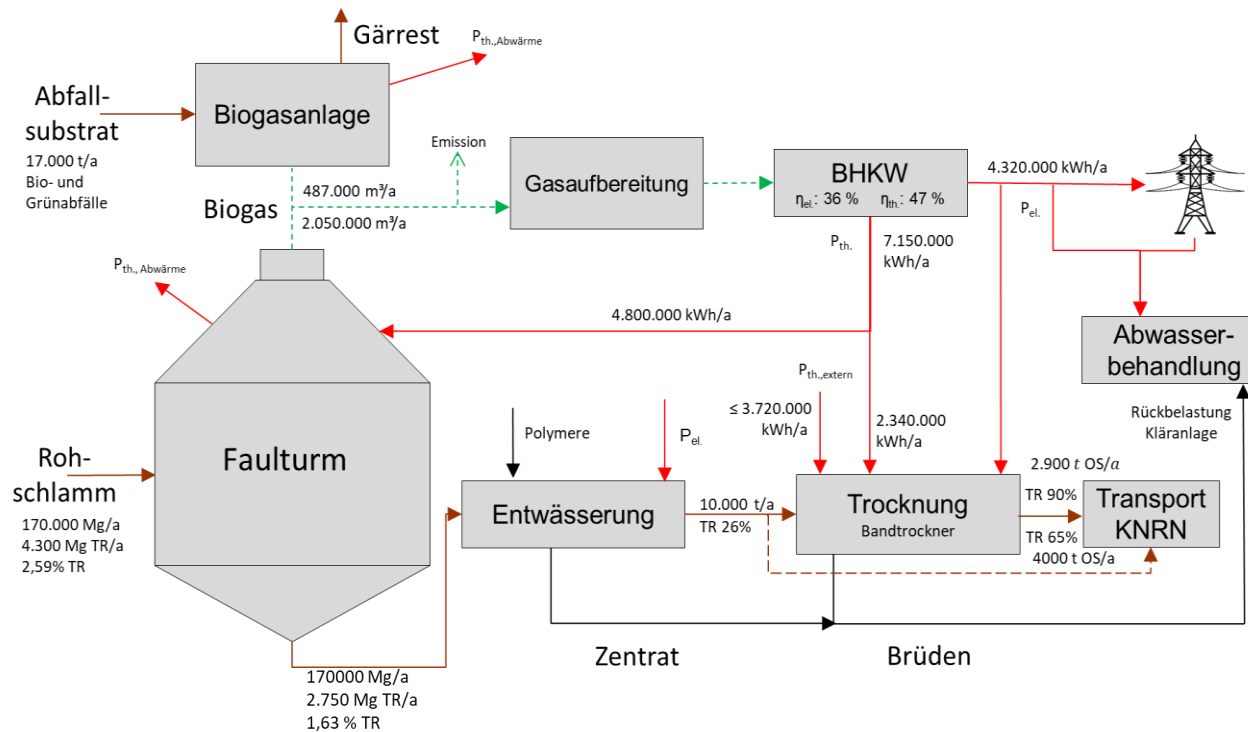
Projektziel SATELLITE: Entscheidungsunterstützung



Einfluss des Wassergehalts auf das Schlammhandling

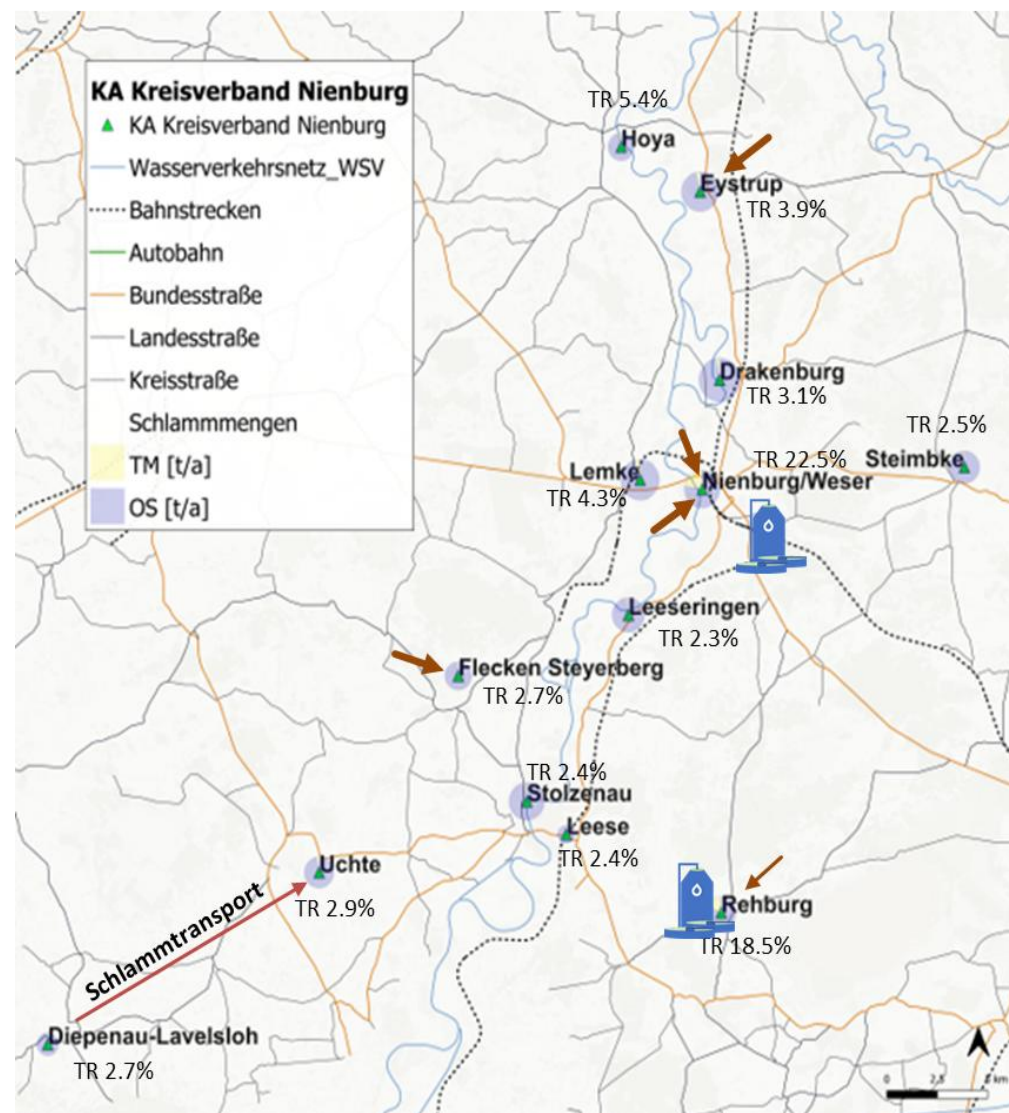
KNRN:

- Verringerung Transportvorgänge
- Flexibilität Abholintervall
- Zufeuerung vermeiden



1. **Bahntransport ohne Trocknung**
2. **Trocknung über Eigenwärme**
 - bis 36% TR möglich, ↑ ca. 10%
 - 1 LKW/d bzw. ca. 20 t OS/d
 - Lagerkapazität: 5 Tage, ↑ 3 Tage
 - Einsparung THG-Emissionen LKW-Transport ~ 25 Mg CO₂e/a
3. **Volltrocknung**
 - Ziel ca. 90% TR, ↑ ca. 65%
 - 0,4 LKW/d bzw. ca. 8 t OS/d
 - Lagerkapazität: 12 Tage, (↑ 10 Tage)
 - Einsparung THG-Emissionen LKW-Transport ~ 65 Mg CO₂e/a

Modellregion – Umstellung Stabilisierung / Bewirtschaftung ??

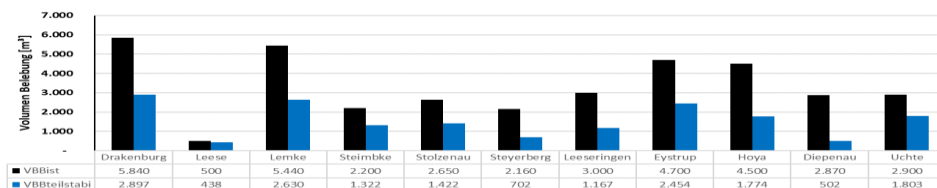


13 Kläranlagen in der Modellregion

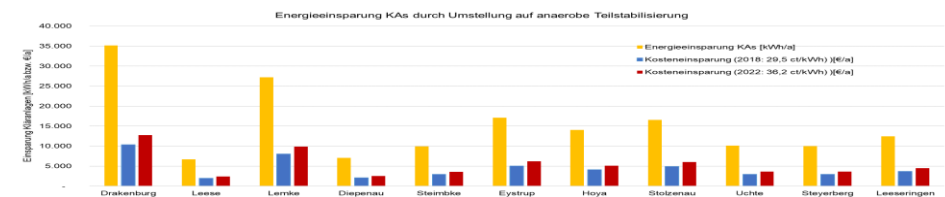
- 2 Regionale Zentren, Faulung & Entwässerung
- 11 Satelliten-Kläranlagen
- Satellitenanlagen stabilisieren aerob, keine Entwässerung



Umstellung Stabilisierung

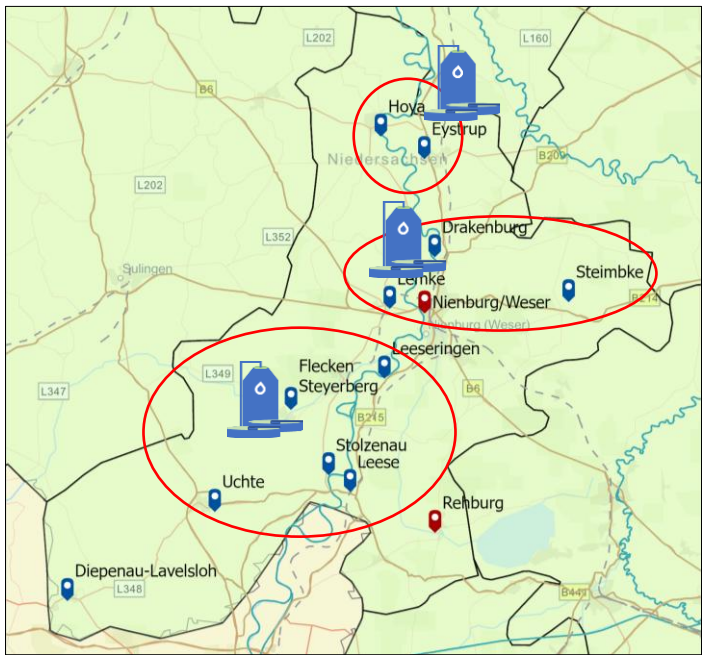
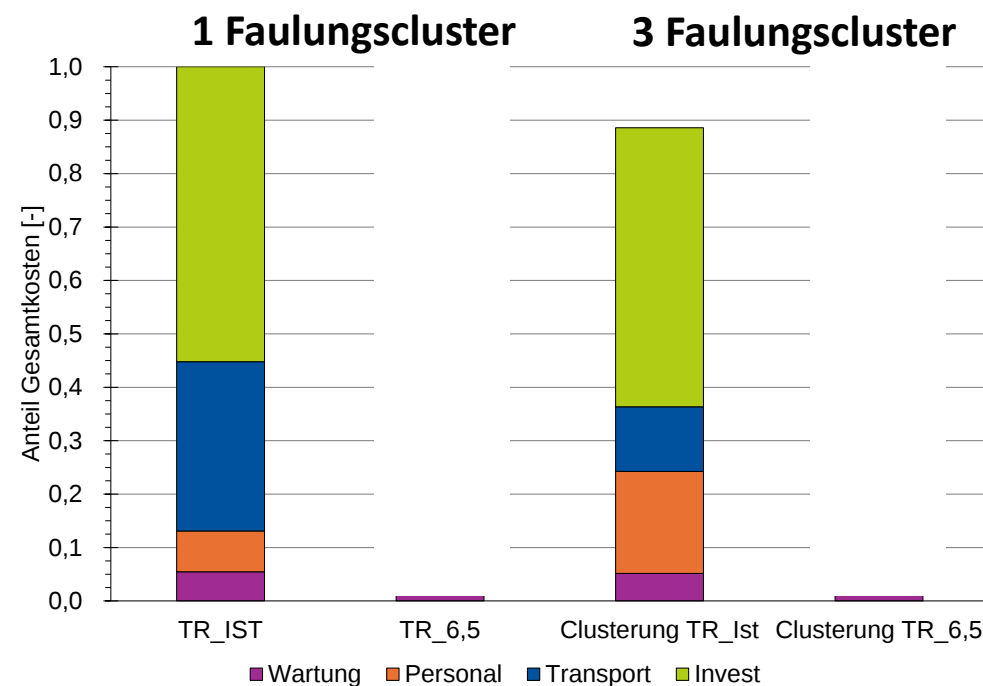


Volumeneinsparung Belüftung

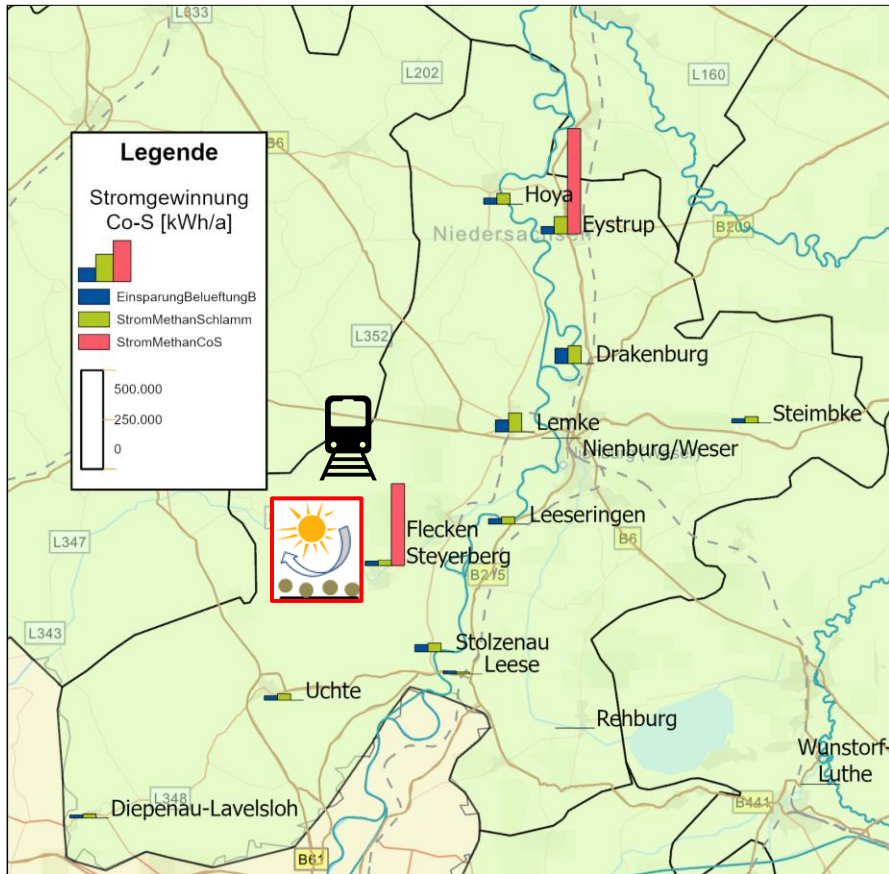


Energieeinsparung Belüftung

Szenario		Transportaufwand [tkm/a]
Faulungscluster	TR	
1	TR _{IST} = 3,1%	1.140.000
1	TR _{Soll,ø} = 6,5%	580.000
3	TR _{IST} = 3,1%	435.000
3	TR _{Soll,ø} = 6,5%	200.000



Modellregion Co-Substrate & Trocknung



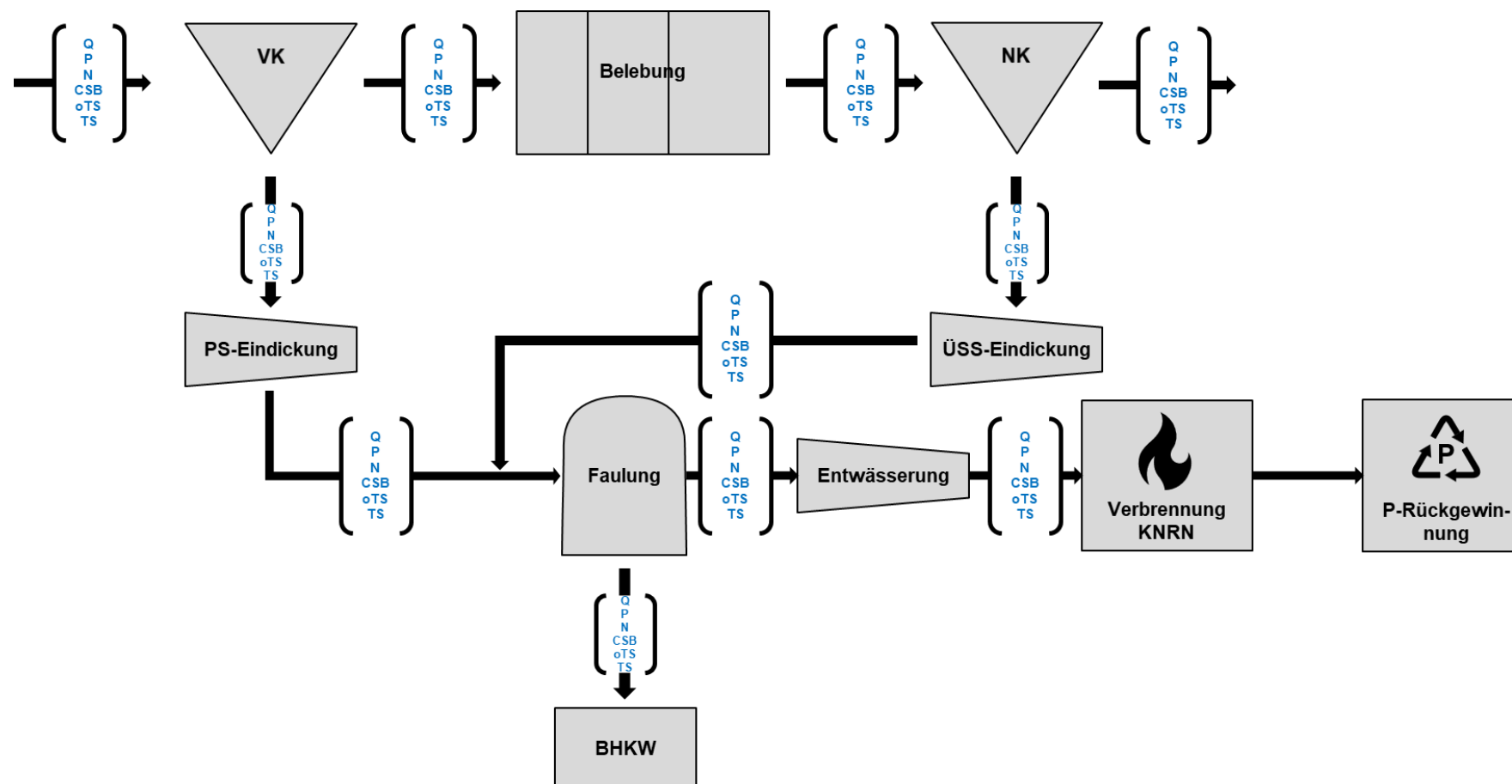
- Ersparnisse & Erträge: 900.000 kWh_{el}/a
- Zusätzl. Potential Co-S.: 6.350.000 kWh_{el}/a
- **Potential Co-S Bsp. Eystруп: 535.000 kWh_{el}/a**
- **Bsp. Flecken Steyerberg: 415.000 kWh_{el}/a**

Verringerung CO₂e-Emissionen:

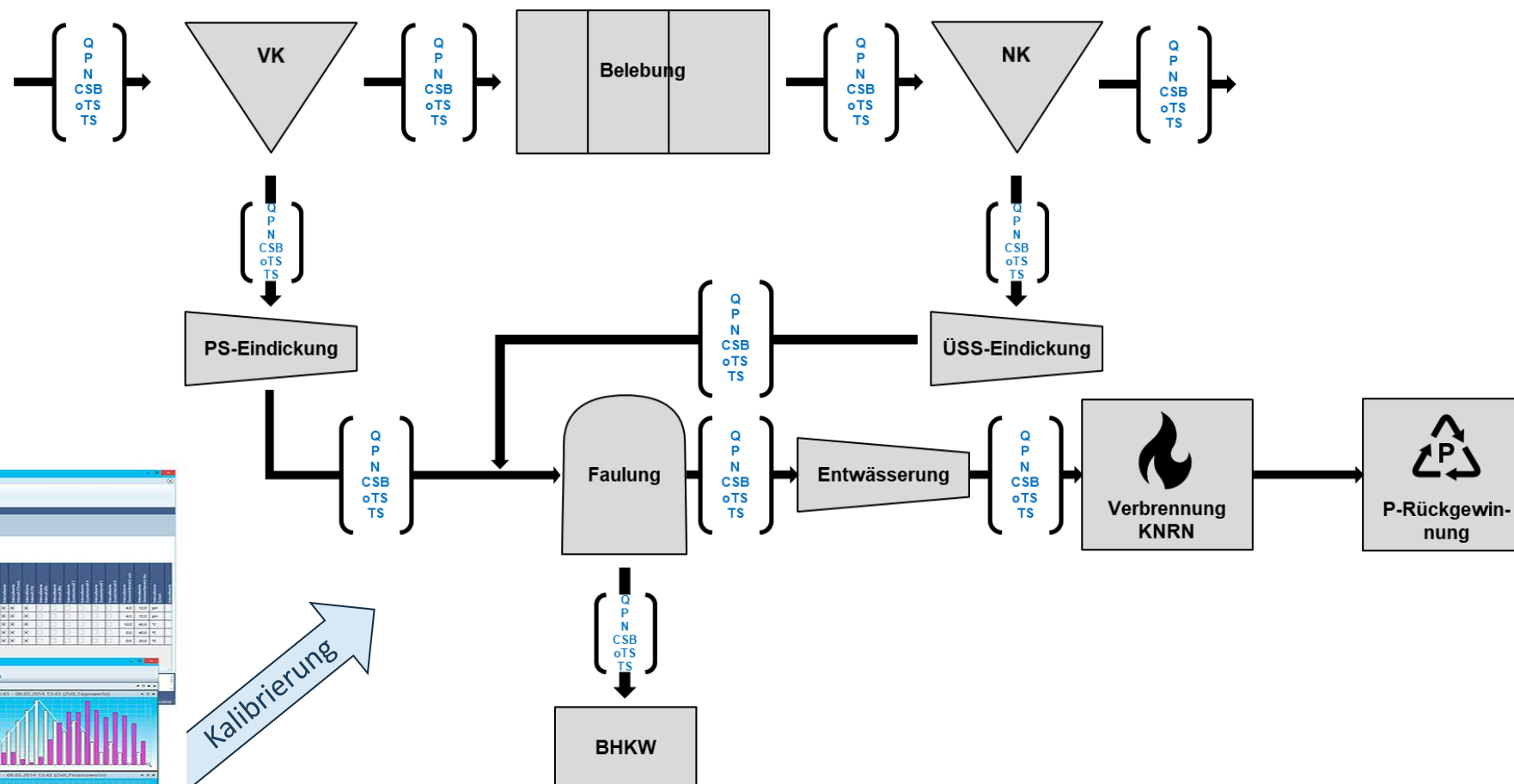
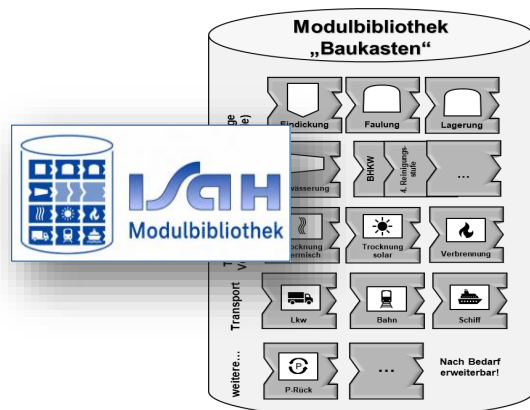
- Belüftungsenergie 125,9 Mg CO₂e/a
- Verstromung Methan 182,7 Mg CO₂e/a
- Verstromung Methan Co-S. 2.184,2 Mg CO₂e/a

Transport Faulung: wird zu **Erhöhung** CO₂e-Emissionen führen

Transport KNRN: **massive Reduzierung** bei weitgehender Volumenreduzierung durch solare Trocknung am Flecken Steyerberg



Anlagenspezifische Kalibrierung der Prozessmodule → Digitaler Zwilling



Betriebsdaten PLS



Kalibrierung

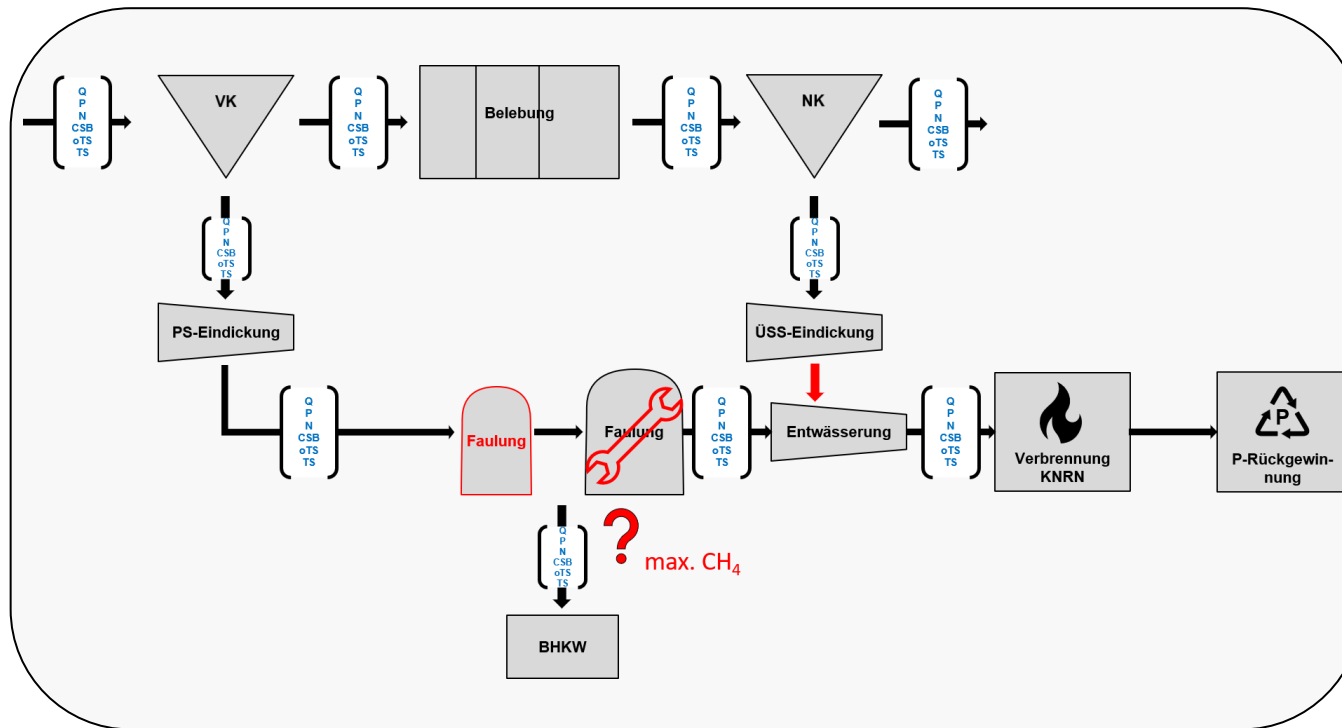
Faulungsbetrieb und Revision

PS-Stabilisierung anaerob

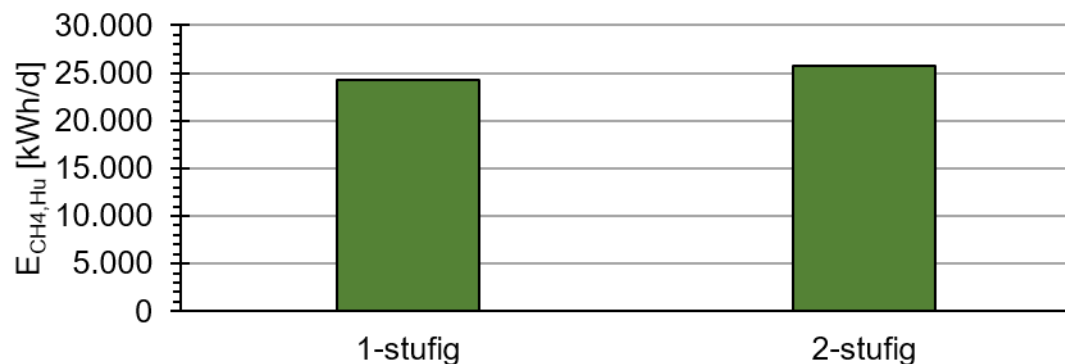
Szenarien	Einheit	nur PS _{MW,IST}	RoS _{ges,MW,IST}
Q	m ³ /d	125,5	204,4
t _{R,2}	d	15,9	9,8
t _{R,1}	d	-	-
t _{R,ges}	d	15,9	9,8
η _{CSBabb,2,Soll}	%	80,3%	71,5%
η _{CSBabb,1,Soll}	%	-	-
η _{CSBabb,Soll}	%	80,3%	71%
		hinreichend stabilisiert	bedingt stabilisiert
Kapazität für hinreichende Stabilisierung	m ³ /d	2,5	-76,5

ÜSS-Stabilisierung simultan aerob

- t_{TS} ≥ 25 d
- t_{TS,aerob} ≥ 20 d



Vergleich Betrieb Faulung 1-stufig vs. 2-stufig

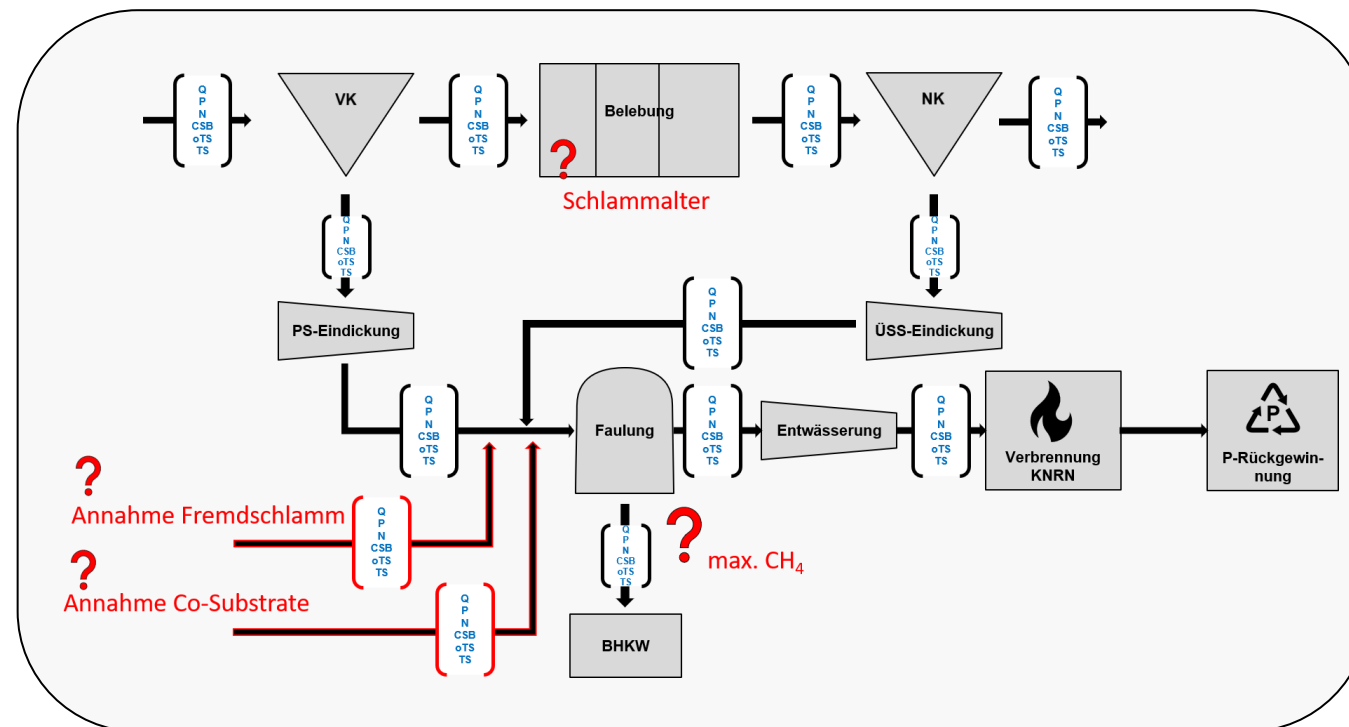
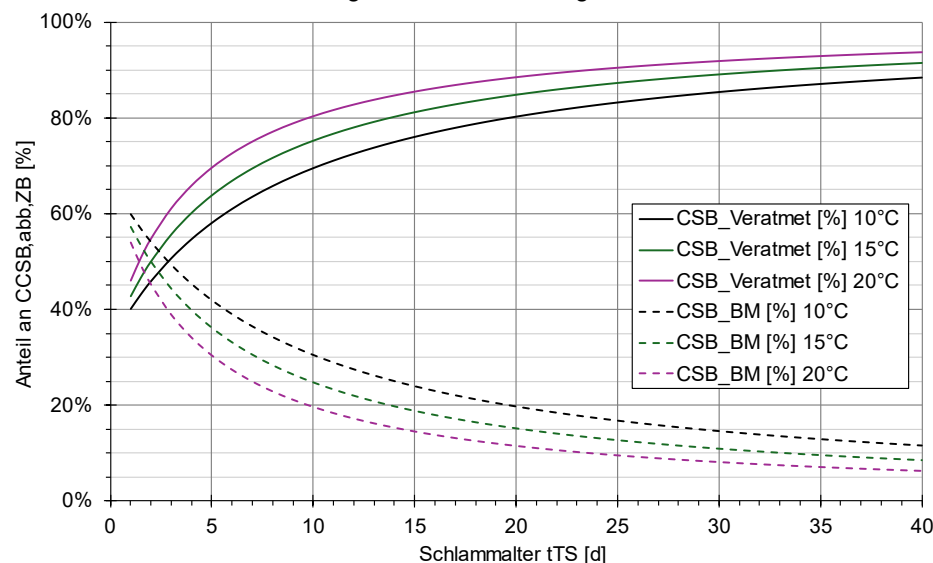


$$V_{FBH1}/V_{FBH2} = 0,44$$

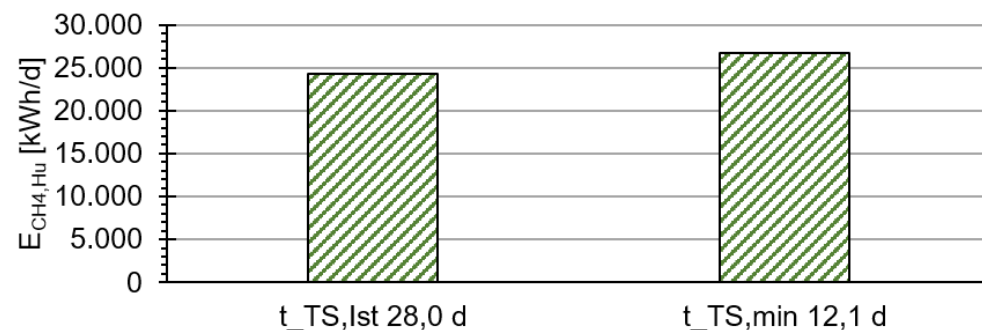
$$+ 1.400 \text{ kWh}_{CH4,Hu}/d$$

Optimierung Klärschlammströme

anteilige CSB-Umwandlung im BB



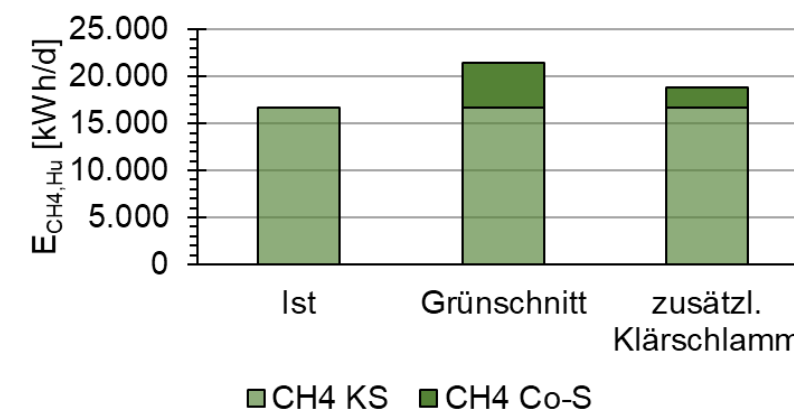
Vergleich Methanmenge - nach Schlammalter t_{TS}



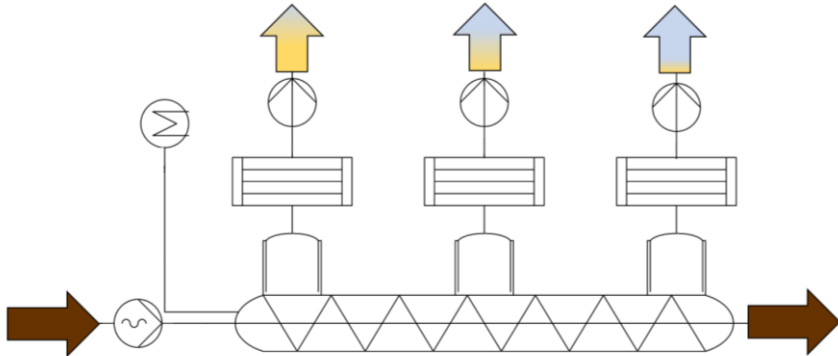
+ 2.350 kWh_{CH₄,Hu}/d

+ Einsparung Belüftung

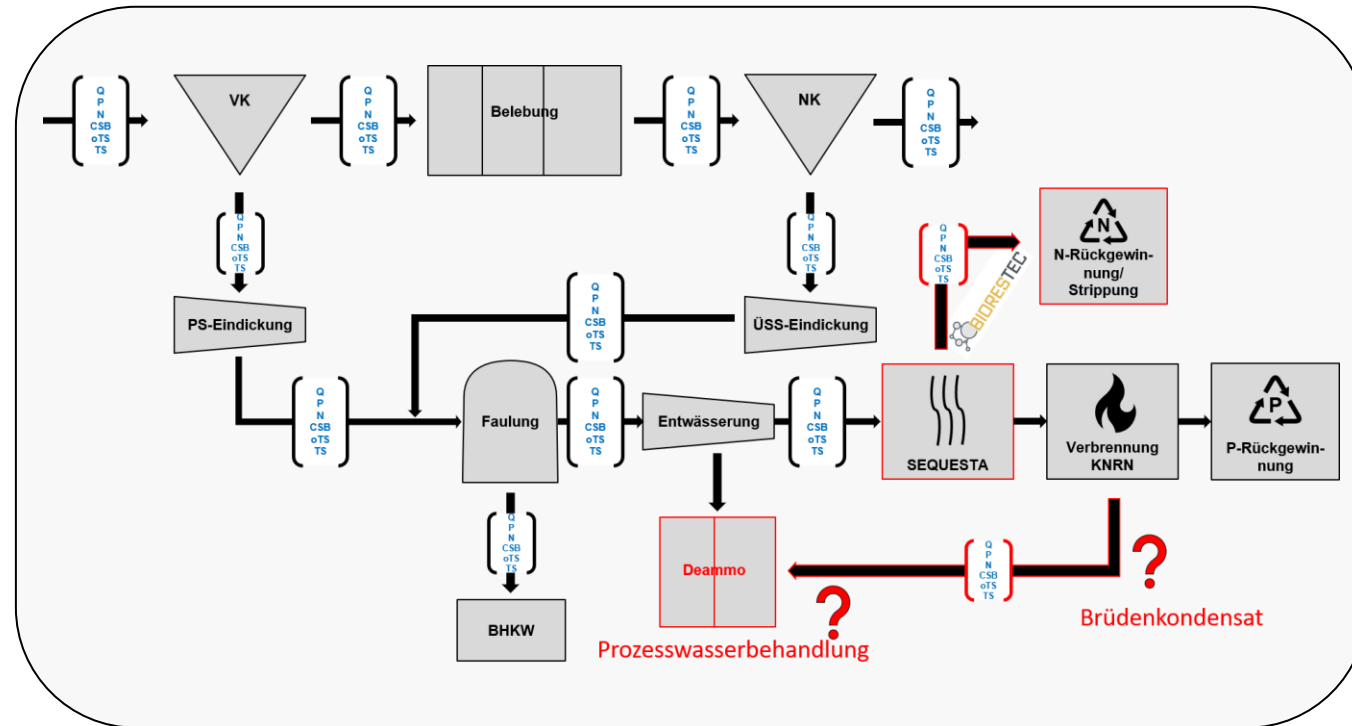
Methanertrag Co-S. für MEP 0,12



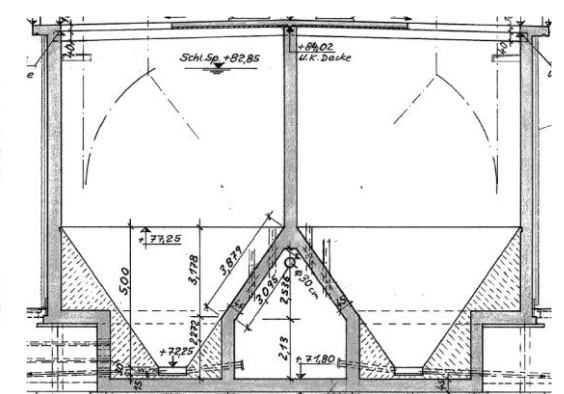
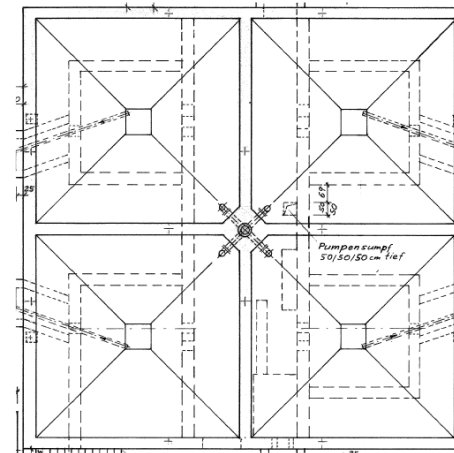
Stickstoffhaltige Teilströme



1	2	3	Kondensatfraktion
7,1 – 40	4,7 – 15,7	4,2 – 9,4	NH₄-N in g/l
50	17	6	% der Eingangsfracht (im Mittel)

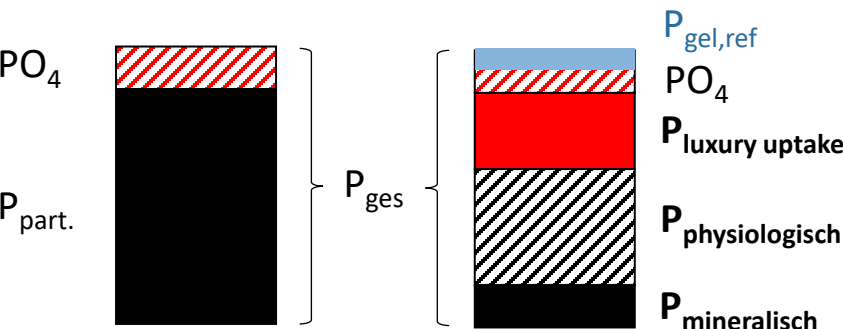


pen
ber

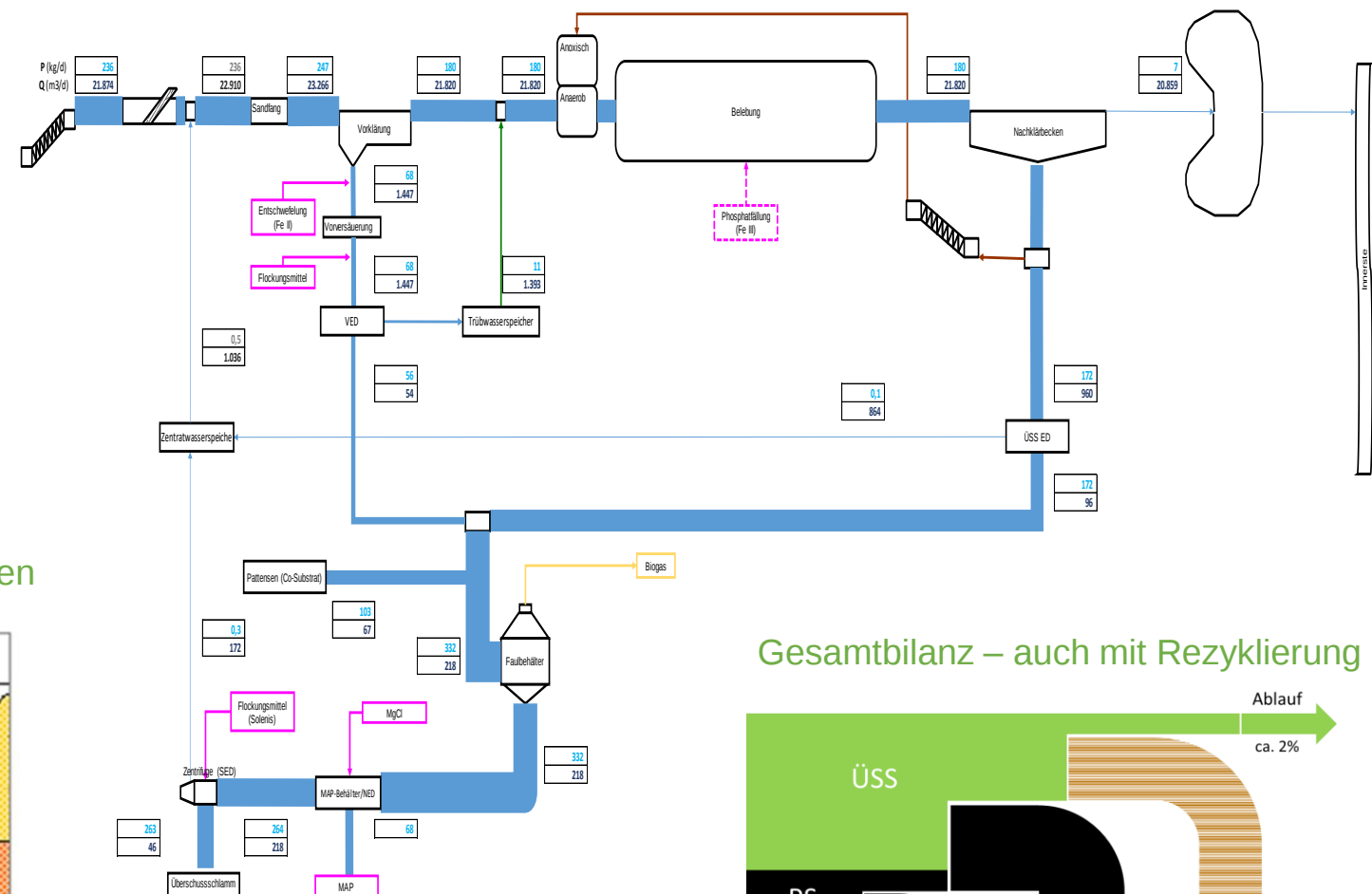


P-Bilanz – differenziert nach Bindungsform

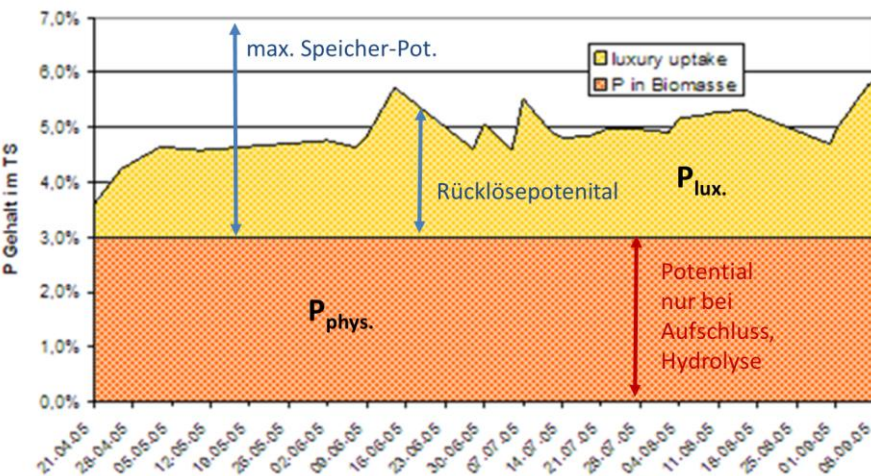
SATELLITE:
Erweiterung der P-Fractionen im Stoffstromvektor



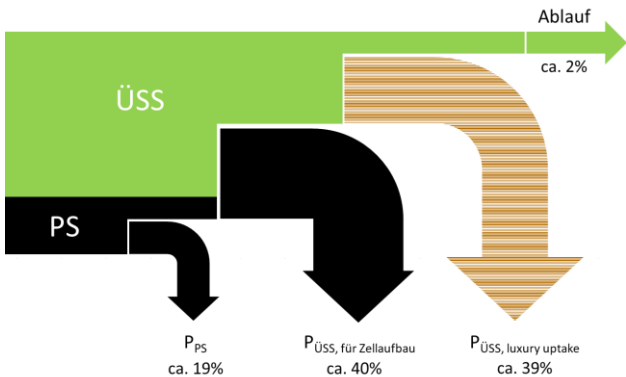
P-Fractionen an jeder Prozessstelle:



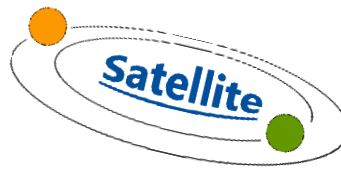
Aktueller P_{lux} -Anteil im Schlamm über die Jahreszeiten



Gesamtbilanz – auch mit Rezyklierung

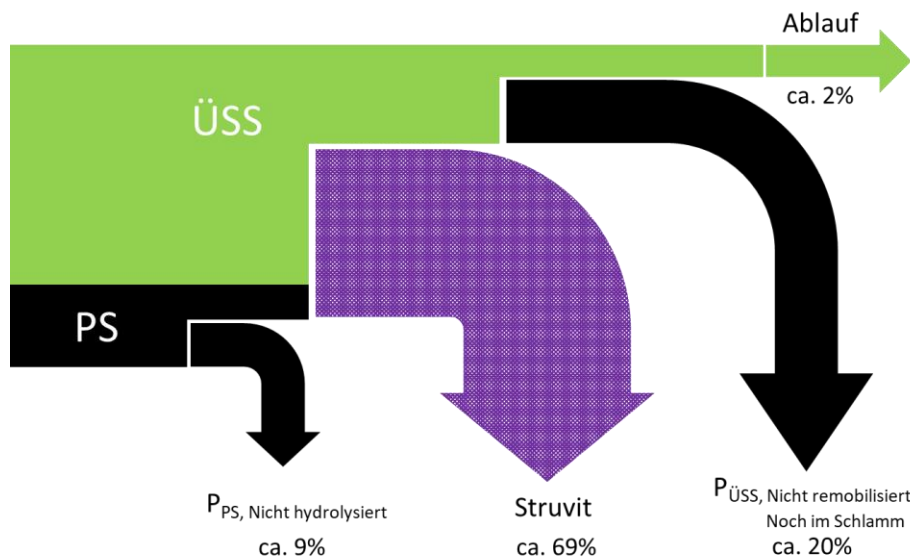


Fragestellung: P-Remobilisierung und Struv

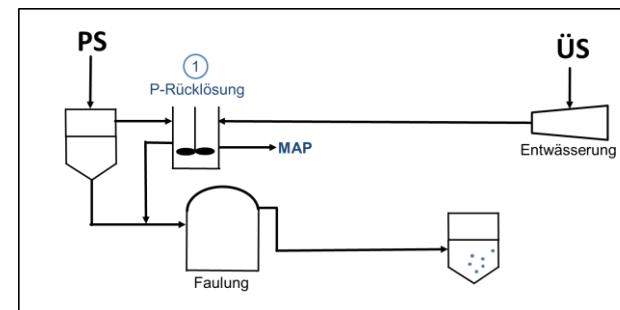
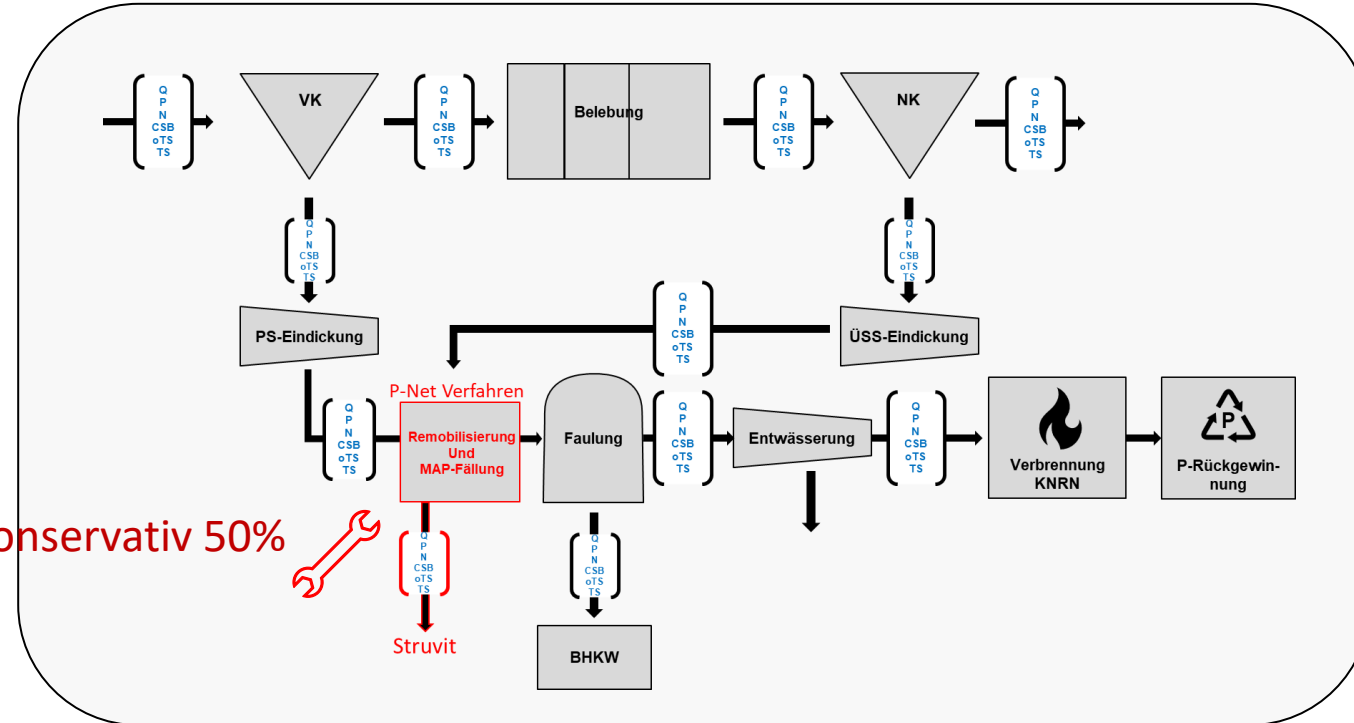


→ Potentialanalyse mit anlagenspez. P-Fractionen und Schlamm-mengen um die Konzentration im Klärschlamm als auch Rückgewinnungsformen zu bestimmen

- Rezyklatmengen
- Rest-P-Gehalt im Abgabeschlamm für die flexible Bewirtschaftung
- Dimensionierung Prozessstufen

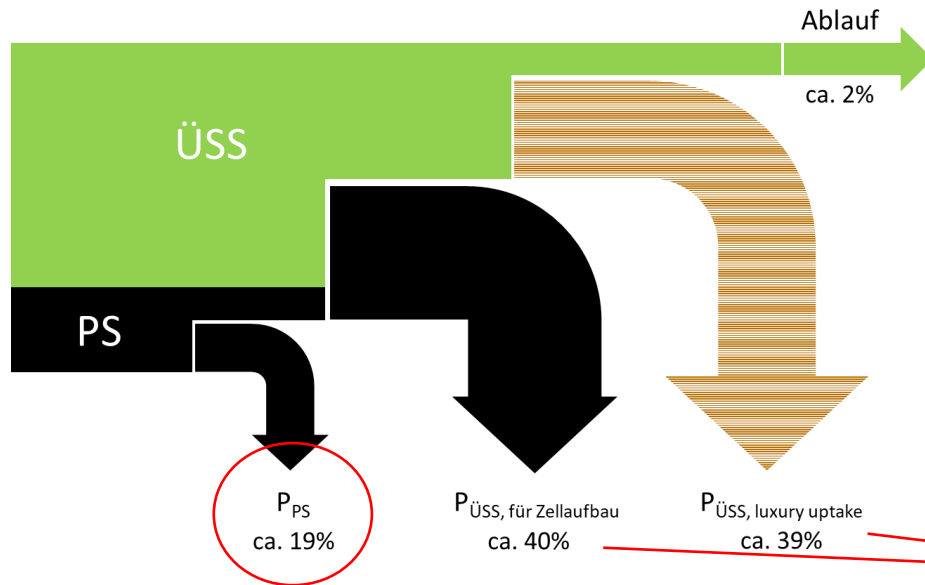
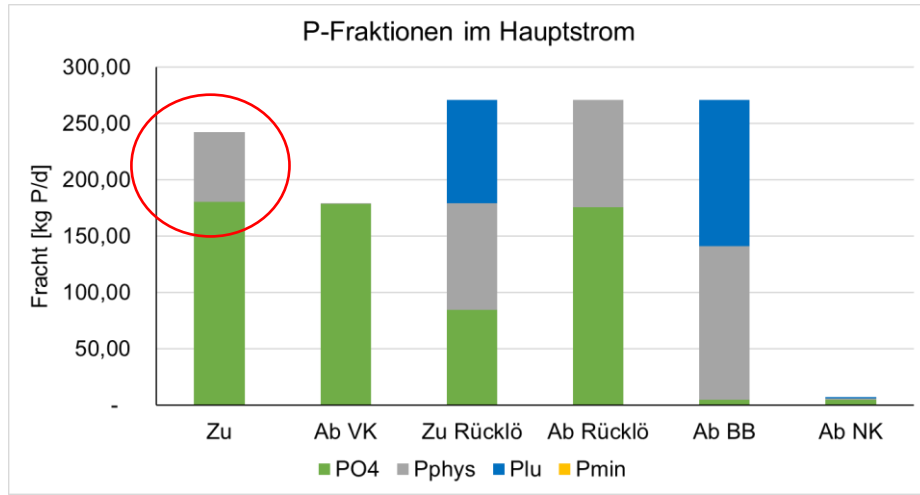


konservativ 50%

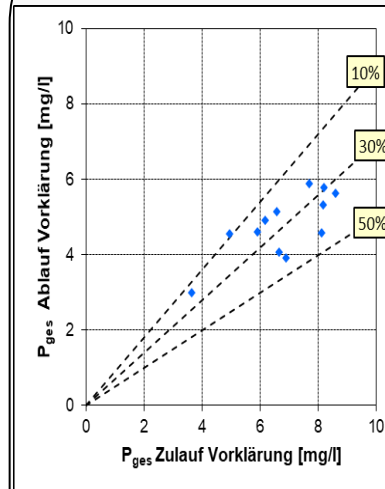


- Kennzahlen aus der Modulbibliothek: je detaillierter hinterlegt, umso umfangreichere Bewertungen möglich
- Mit anlagenspez. Kennzahlen für die Verbräuche, Investitionsbedarf, Platzbedarf usw. kann man komplexe Bewertungen durchführen

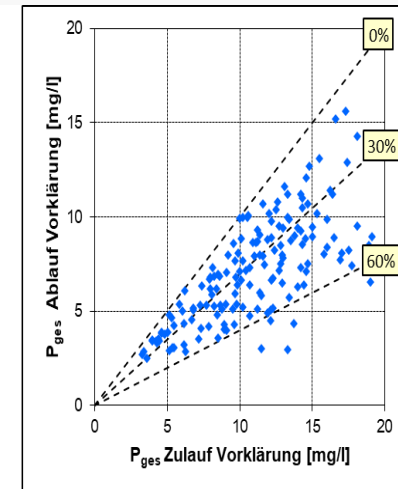
Einfluss der anlagenspezifischen Schlammcharakteristiken



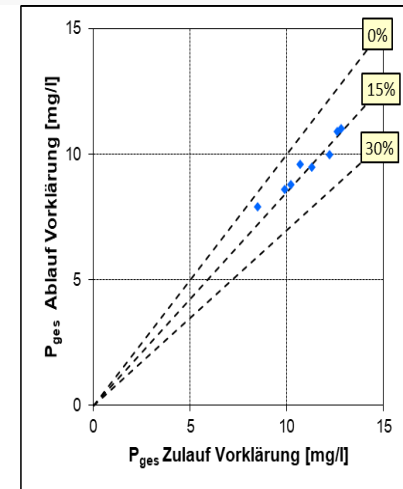
Beispiele P-Elimination VK → P-Gehalt PS



Kläranlage 1 - 70.000 EW_{CSB}



Kläranlage 2 - 200.000 EW_{CSB}



Kläranlage 3 - 7.500 EW_{CSB}

Analyse P-Gehalte und -bindung nach Betriebsweise
→ Anlagenspezifische P-Bilanz & Schlamm-Charakteristik der

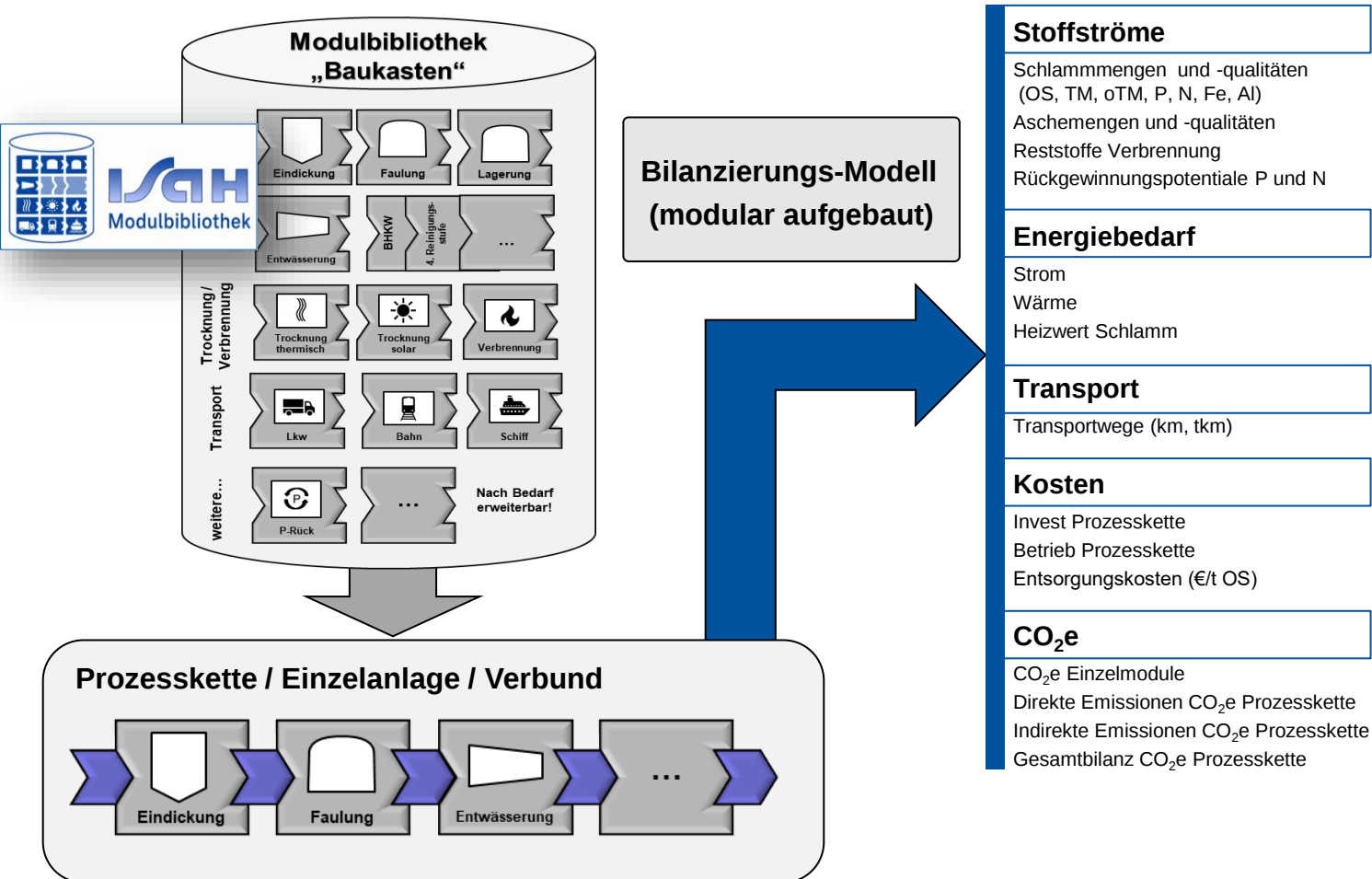
hohes C/P-Verhältnis im Zulauf → P_{lux} -Potential nicht ausgeschöpft

Modellgestützte Planung und Bewirtschaftung

Modellbildung

Bilanzierung

Bewertung und Auswahl



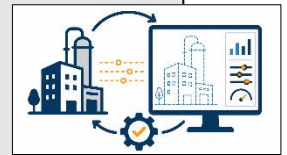
Einmalige Verfahrensauswahl:

⇒ Ranking anhand definierter Bewertungskriterien



Verstetigung / kontinuierlicher Prozess:

⇒ z.B. strategische Investitionsplanung

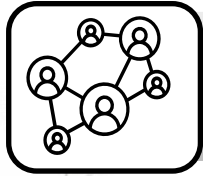


Automatisierte Anbindung / Digitaler Zwilling

⇒ Steuerung und Bewirtschaftung

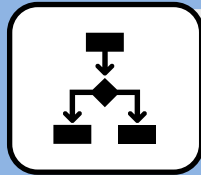


Klärschlammverwertung im Verbund



Findung

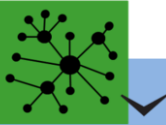
- ⇒ Finden von Netzwerkteilnehmern: „lockeres Netzwerk“
- ⇒ grobe Abklärung von Rahmenbedingungen



Konzeptauswahl

- ⇒ Monoverbrennung: Ja/Nein/Alternativen, Kapazität, Standort
- ⇒ Schlammtransport und Speicherbewirtschaftung
- ⇒ Dezentrales Entwässerungs- und ggf. Trocknungskonzept
- ⇒ P-Rückgewinnungsverfahren

OptiNETZ-Tool



#plan



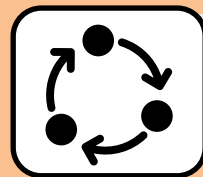
Netzwerkbildung

- ⇒ rechtlicher Rahmen
- ⇒ verbindlicher Zusammenschluss



Planung

- ⇒ Ausschreibungen, Detailplanung Anlagen
- ⇒ Anlagenbau und Inbetriebnahme



Betrieb

OptiNETZ-Tool



#live

- ⇒ Beginn der Klärschlammverwertung im Verbund
- ⇒ Optimierung der Bewirtschaftung des Netzwerks
- ⇒ Abpufferung von Störungen

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

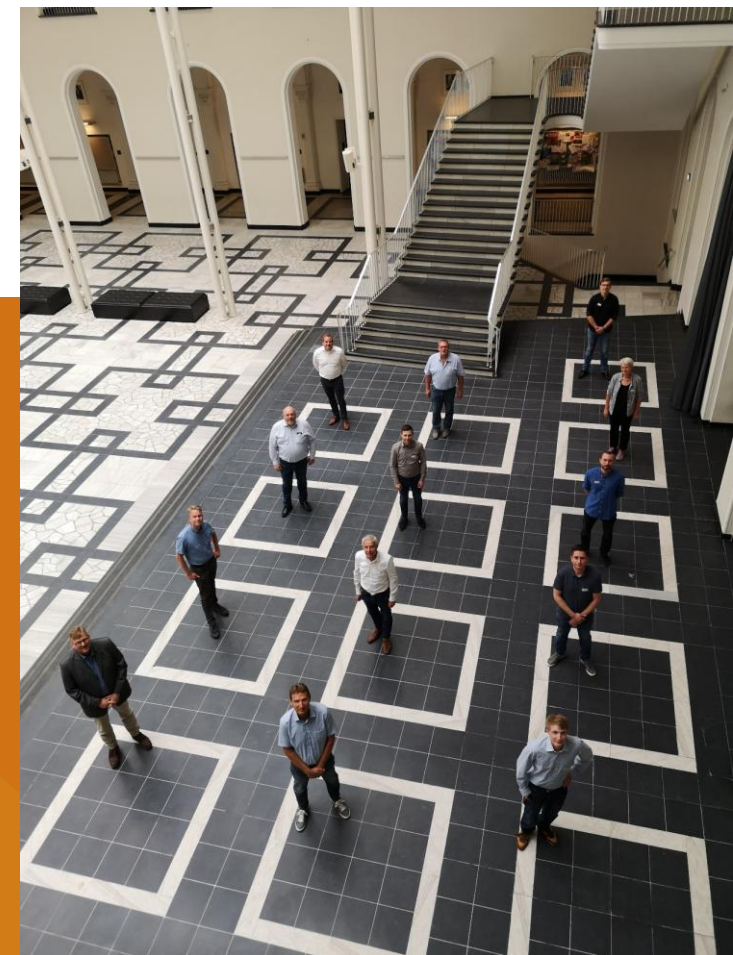
Wir freuen uns auf weiteren Austausch mit Ihnen in den Pausen am „SATELLITE-Tisch“



RePhoR - SATELLITE

Projektkoordination und wissenschaftliche Leitung
Dr.-Ing. Maike Beier

Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Leibniz Universität Hannover (ISAH)
Welfengarten 1, 30167 Hannover
E-Mail: beier@isah.uni-hannover.de
Tel.: 0511 762-2898



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt

