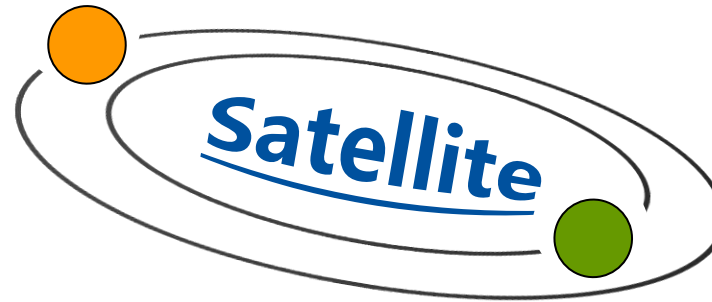


GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



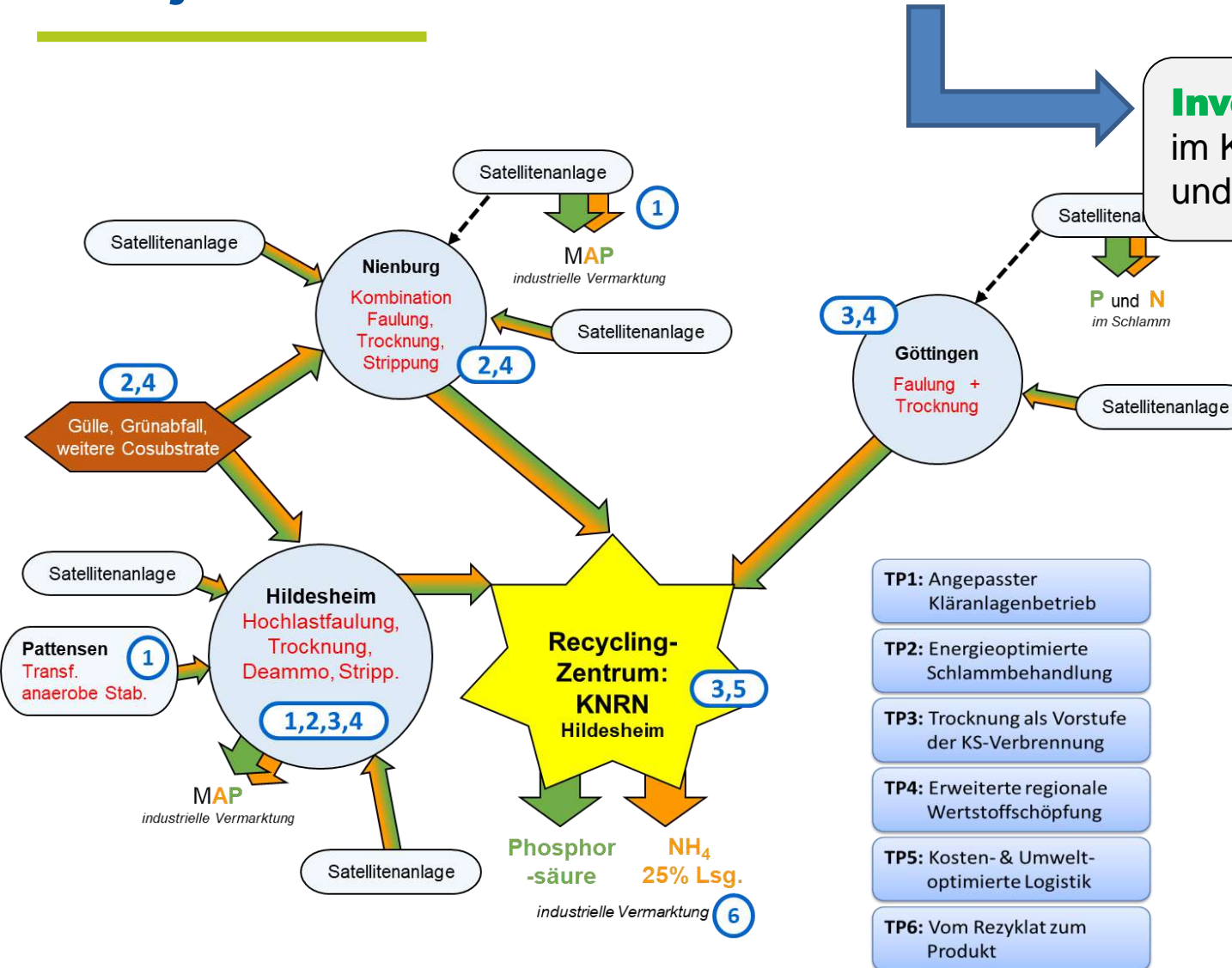
# Ganzheitliche Regionalkonzepte

## Entscheidungsunterstützung für einen KS-Verbund

### Workshop Ökobilanzierung 18.05.2022, Köln

Dr.-Ing. Maike Beier & Dr. Ing. Sabrina Breitenkamp





**Investitionsentscheidungen**  
im Kontext Neuauflistung **P-Rückgewinnungsgebot**  
und **Schlammensorgung**

## Ausgangssituation KNRN-Verbund

- 56 Kläranlagen (10.000 EW bis > 100.000 EW)
- IST-Zustand Schlamm
  - ⇒ ca. 220.00 t OS/a
  - ⇒ ca. 29.000 t TS/a
  - ⇒ TR im Durchschnitt 13-18%
  - ⇒ Schwankungsbreite von 0,7 bis 85% TR
- Ländliche Struktur → Nährstoffbedarf, Entfernungen, Entscheidungsstrukturen...
- Transportentfernungen (Straße) bis ca. 130 km maximal

**Bau KS-Monoverbrennung am Standort Hildesheim ausgelegt auf 33.500 t TS/a**

- TP1: Angepasster Kläranlagenbetrieb
- TP2: Energieoptimierte Schlammbehandlung
- TP3: Trocknung als Vorstufe der KS-Verbrennung
- TP4: Erweiterte regionale Wertstoffschöpfung
- TP5: Kosten- & Umwelt-optimierte Logistik
- TP6: Vom Rezyklat zum Produkt

# Ebenen der strategischen Investitionsplanung



## a) Gesamt-Schlammmanagement KNRN

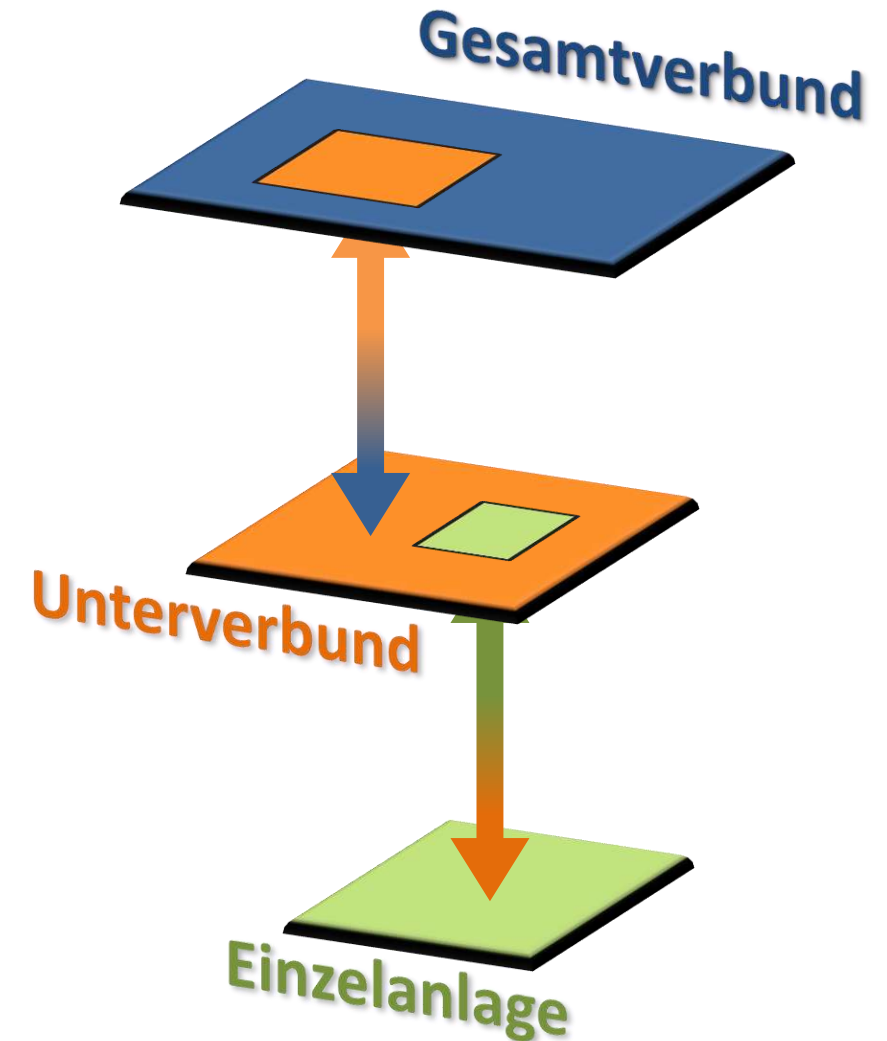
- ↻ Auswirkungen vorgelagerter Entscheidungen auf Schlamm-mengen, -struktur und Transport (Flexibilisierung/Stabilisierung durch übergeordnete Planung und dann Bewirtschaftung)
- ↻ Planung und Implementierung eines nachhaltigen Logistikkonzeptes

## b) Unterverbund / Modellregion

- ↻ Semizentrale Schlammbehandlung
- ↻ Maschinenring, Logistik (Lagern/Transport)
- ↻ Einbeziehung von Wirtschaftsdüngern (Co-Substrat, regionale Nährstoff-Rückführung)

## c) Anpassung Kläranlagenbetrieb

- ↻ Verfahrensauswahl und Transformation der regionalen Kläranlagen



# Modellbasierte Verfahrensauswahl - Smarte Bewirtschaftung



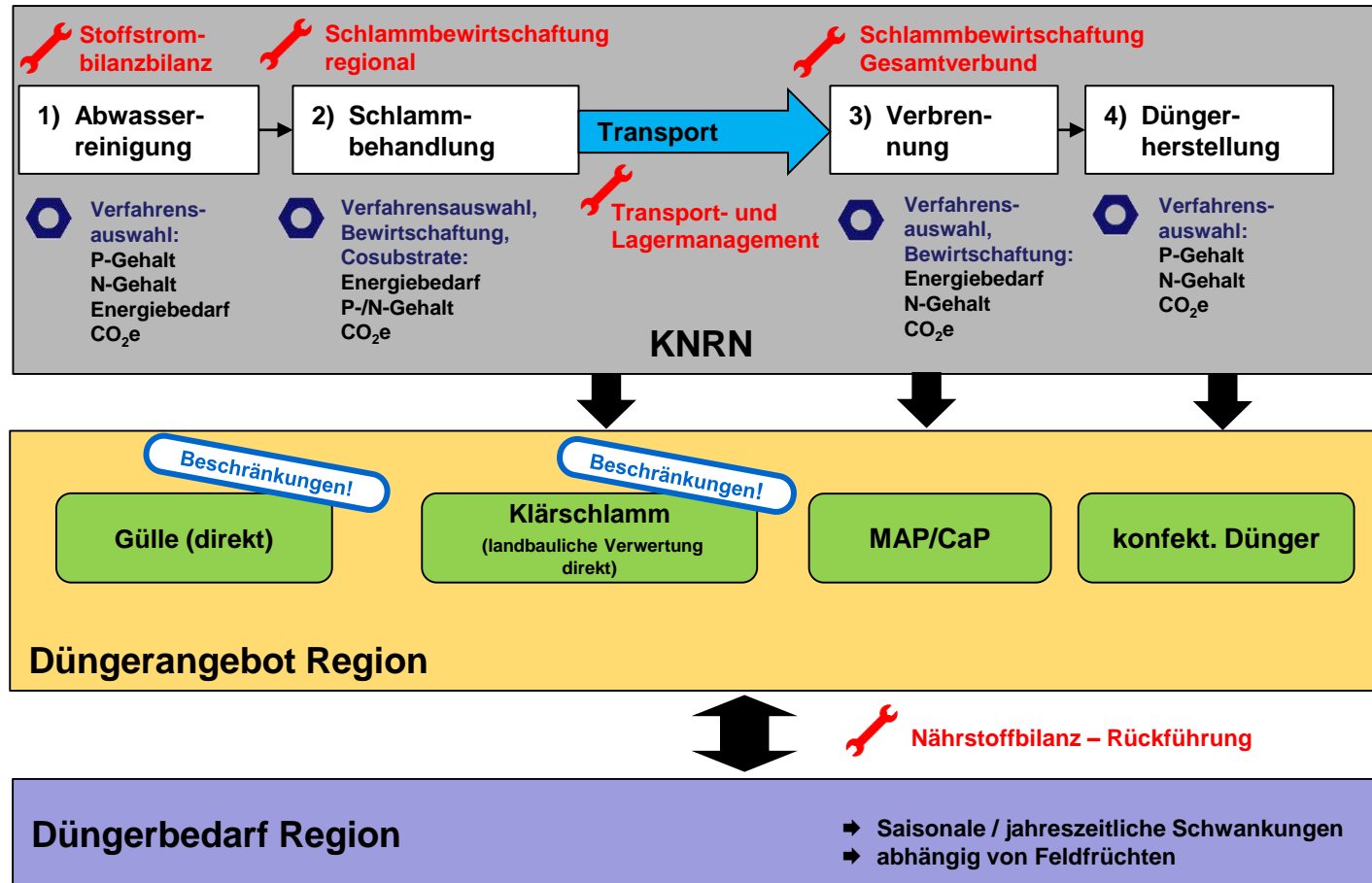
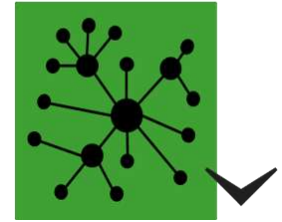
Modell- und Methodik-  
entwicklung

Tools  
 Stellschrauben

Toolentwicklung

INGENIEURBÜRO  
DR. SABRINA BREITENKAMP

OptiNETZ-Tool



➤ **Verfahrensbewertung** und Konzeptentwicklung auf Basis von **modellgestützten** Szenarienanalysen für die einzelne Anlage und im Verbund

➤ Werkzeug zur **Sensitivitätsuntersuchung** des Systems auf zukünftige Entwicklungen oder veränderte Rahmenbedingungen  
Ziel: **Robustheit und Stufenausbau**

➤ Weiterentwicklung der Modelle zu angepassten **Bewirtschaftungstools**

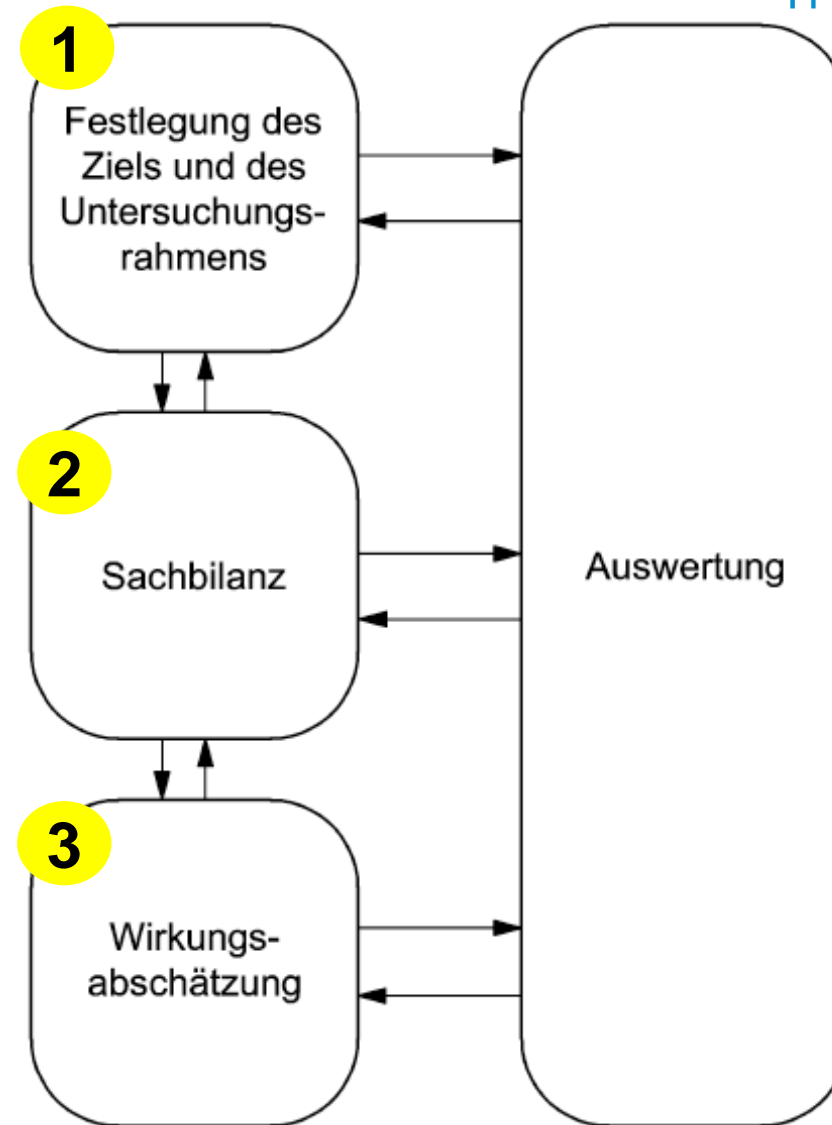
➤ Schnittstelle **Nährstoffbereitstellung** zur regionalen und saisonalen Bedarfsplanung der Landwirtschaft



# Ökobilanz – Grundlagen (1)

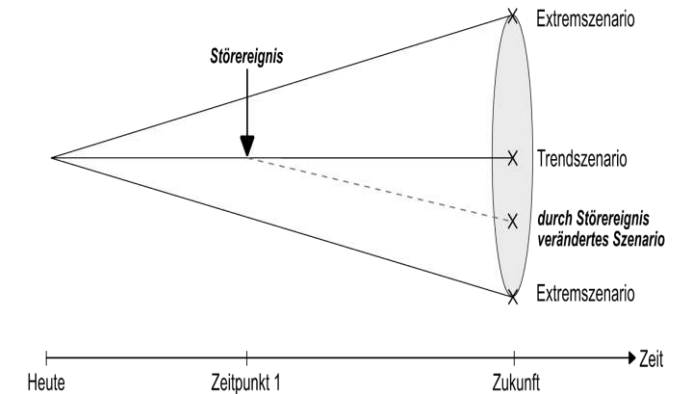
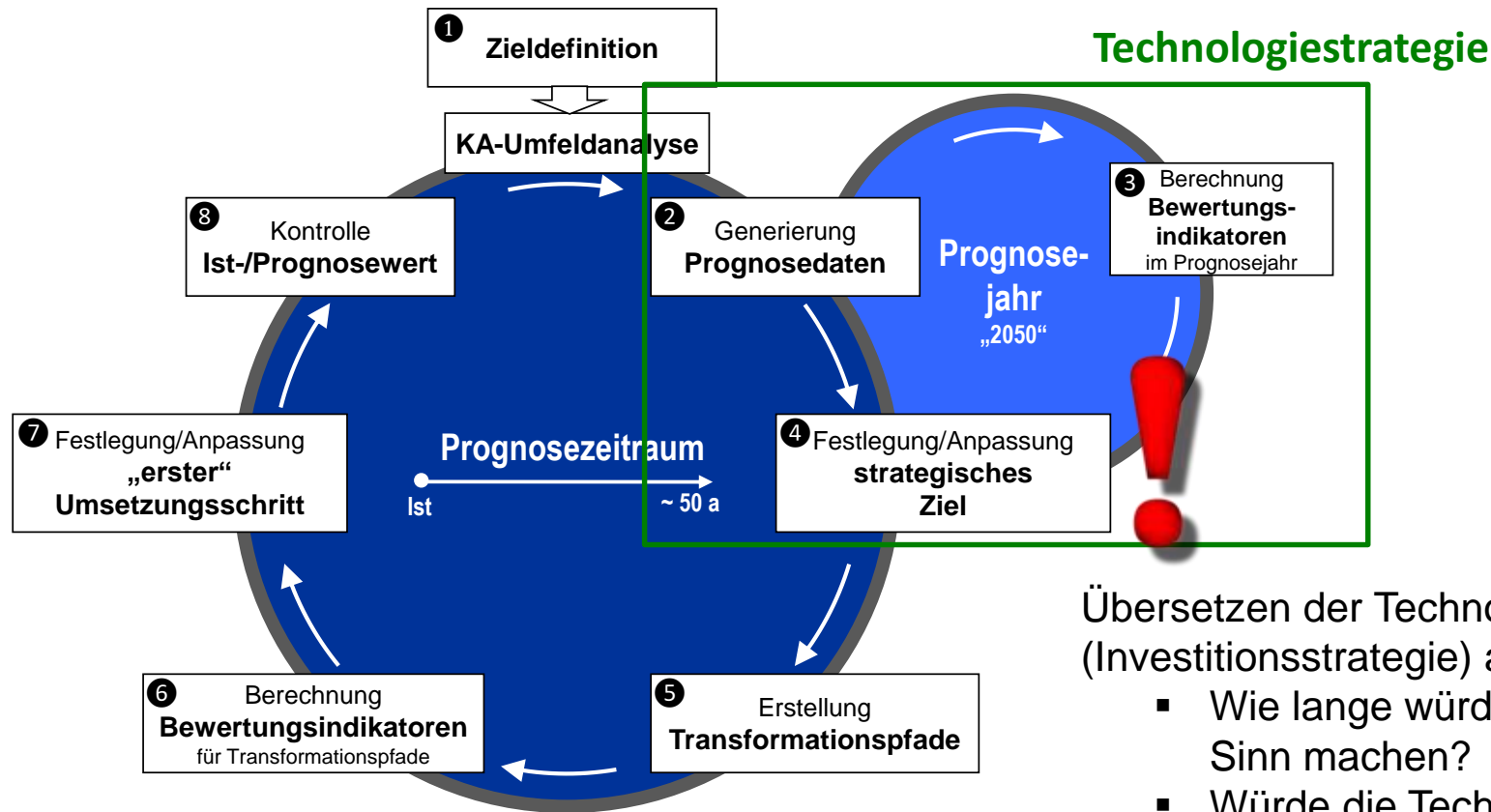
Zusammenstellung und Beurteilung der Input- und Outputflüsse und der potentiellen Umweltwirkungen eines Produktsystems im Verlauf seines Lebensweges. [ISO 14040]

**Entscheidung**  
 → Transformationsziel  
 → Transformationsweg  
 → 1. Umsetzungsschritt



**4** **Kontrolle** der Rahmenbdg.  
Zielkorrektur

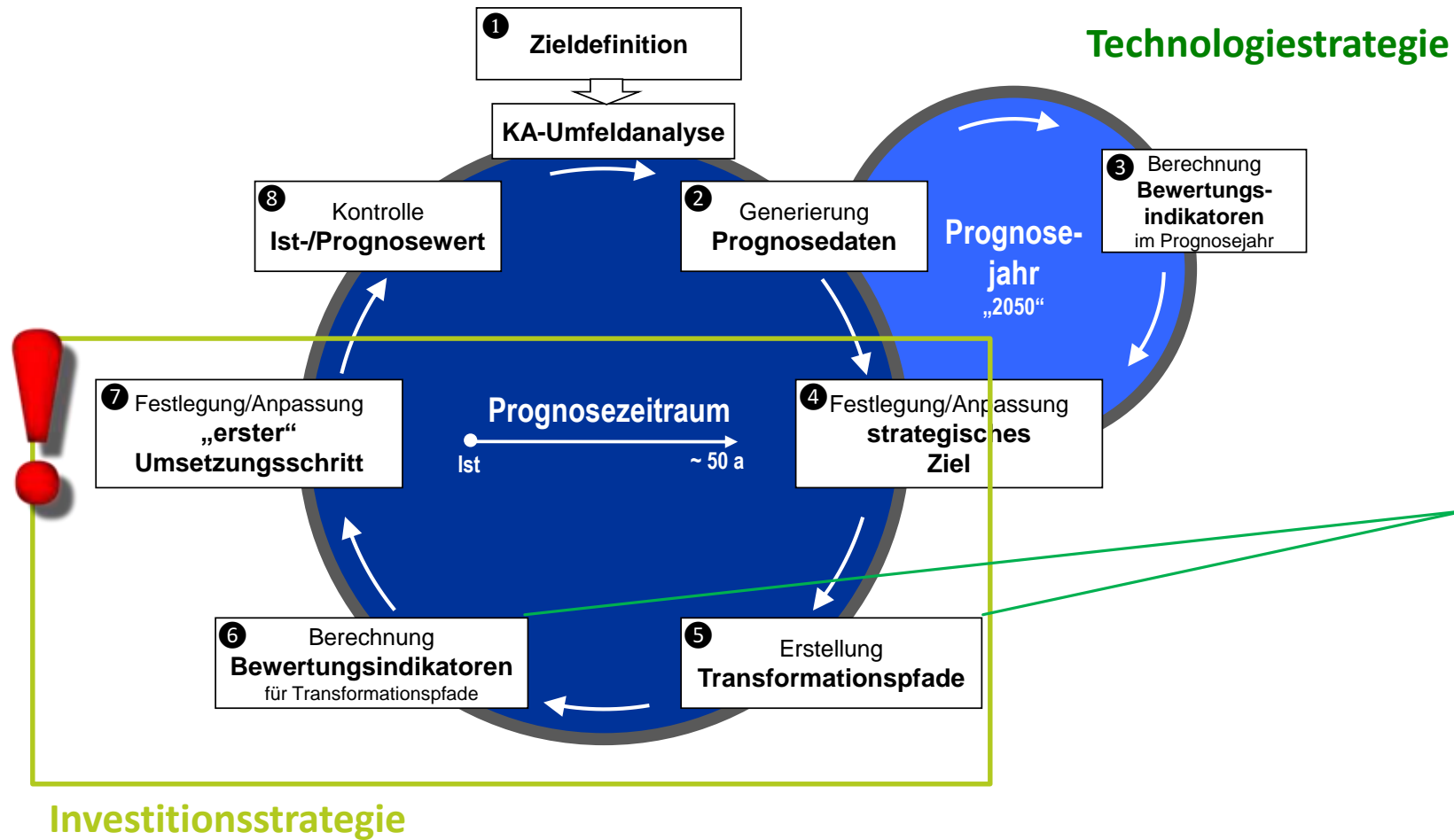




Übersetzen der Technologiestrategie in **Entscheidungsfolge** (Investitionsstrategie) ausgehend von **Ist-Anlage**:

- Wie lange würde eine Überbrückung ökonomisch Sinn machen?
- Würde die Technologiestrategie noch passen, auch wenn Randbedingungen sich ändern?  
z.B. bei Änderungen der Transportkosten  
z.B. Änderung der Abnahmesituation
- etc.

# Strategisches Ziel + Transformationsweg



## Vorauswahl und Simulation von Investitionsstrategien:

- Mögliche Entscheidungsabfolge/ zeitliche Umsetzung der Technologiestrategie
- Einbindung Ist-Anlagevermögen
- Berechnung Bewertungsindikatoren (hier: €/a und kWh<sub>Fremd</sub>/a) mit vereinfachten ganzheitlichen KA-Bilanzmodell

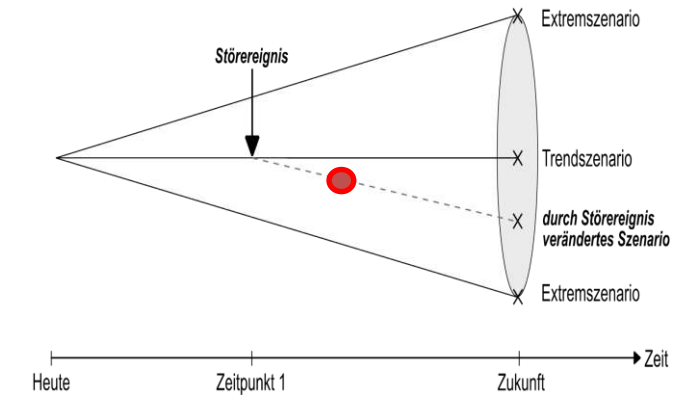
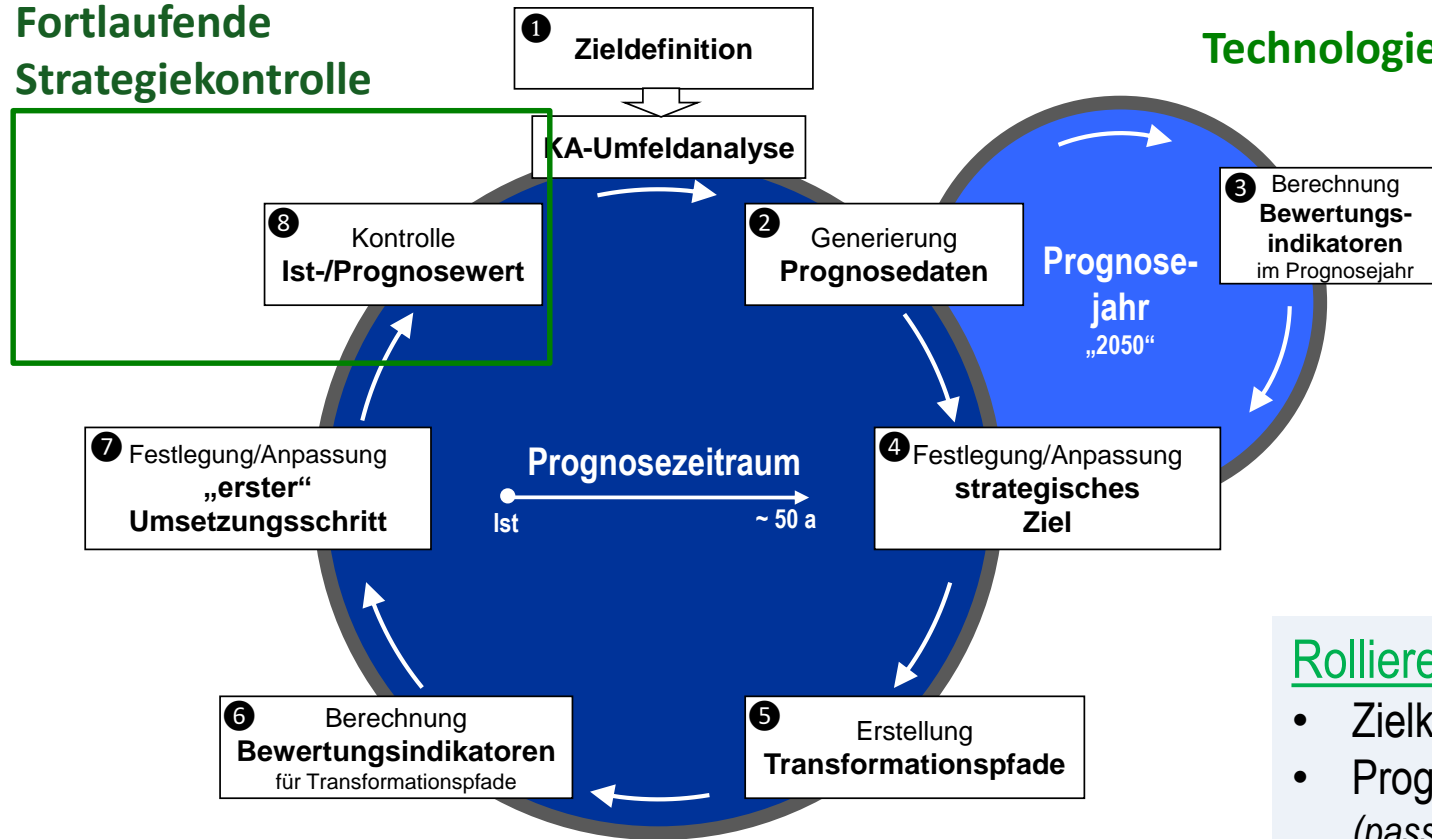
*Betreiber kann Einfluss auf Ausprägung der Bewertungskriterien nehmen*

# Rollierende Kontrolle an relevanten Kipppunkten



Fortlaufende  
Strategiekontrolle

Technologiestrategie



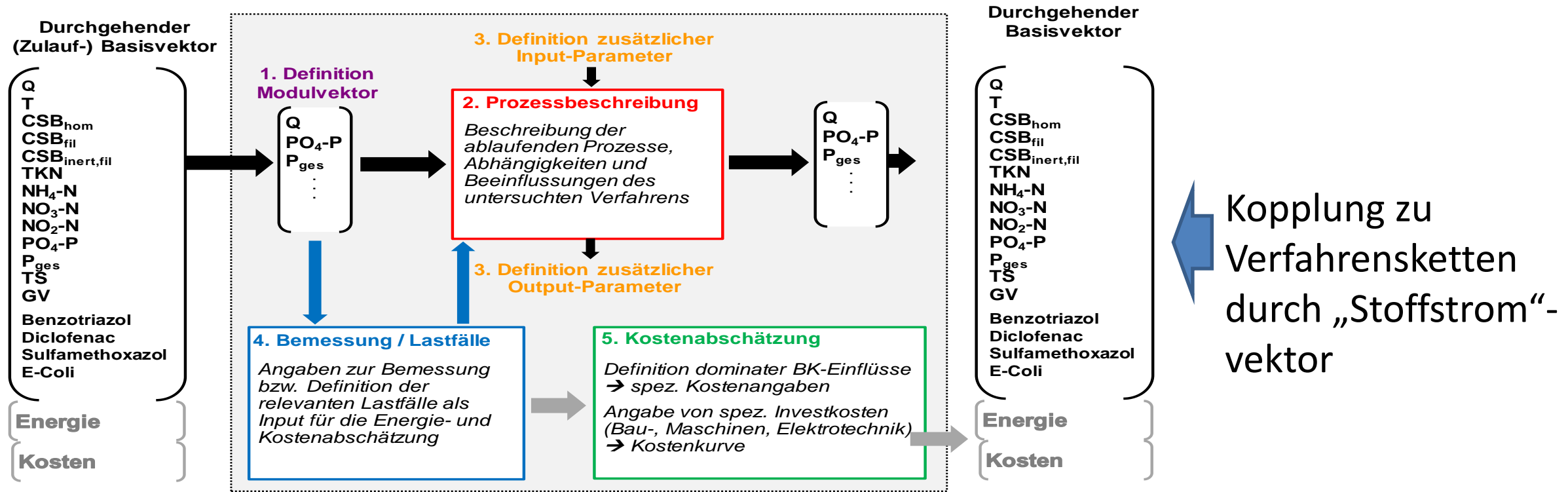
Investitionsstrategie

## Rollierende Ansatz – Fortlaufende Kontrolle

- Zielkontrolle (*passt Strategie noch zum Ziel?*)
- Prognosekontrolle (*passen Prognosen noch; gab es Änderungen und damit eine erforderliche Anpassung der Strategie?*)
- Konsistenzprüfung (*passen Technologie-Infos, Modellansätze noch?*)



# Methodik: Stoffstrommodell → Modellmodule + Vektor



## Verfahrensmodule

- Leistungsbezogene Prozessschritte wie Stabilisierung, Eindickung, ...
- Auswahl bewertungsrelevanter Größen und Definition der Leistungsgröße
- Definition der Berechnung der Größen

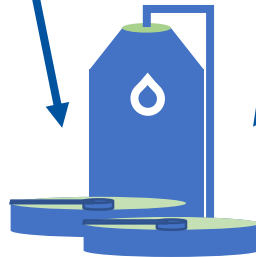
# Modellunterstützte Szenarienanalyse



flexible Verknüpfung der Module zu  
Verfahrensketten oder Gesamtkonzepten

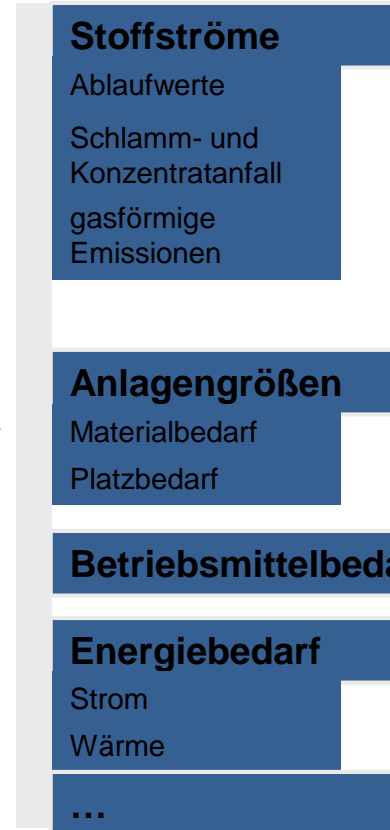
externe Ressourcen  
(Wärme, Co-Substrate,  
Fremdschlämme)

geplante Verfahrensketten/  
vorhandene Anlagen



vorhandene Infrastruktur,  
räumliche Gegebenheiten,  
Organisationsstruktur,  
Preise ...

Eingangsdaten  
Bewertung



Bewertung

strategische Ziele:

- Investitionen
- Betriebskosten
- Energiebedarf
- Personalaufwand
- Robustheit
- Flexibilität
- Transportaufwand
- ...

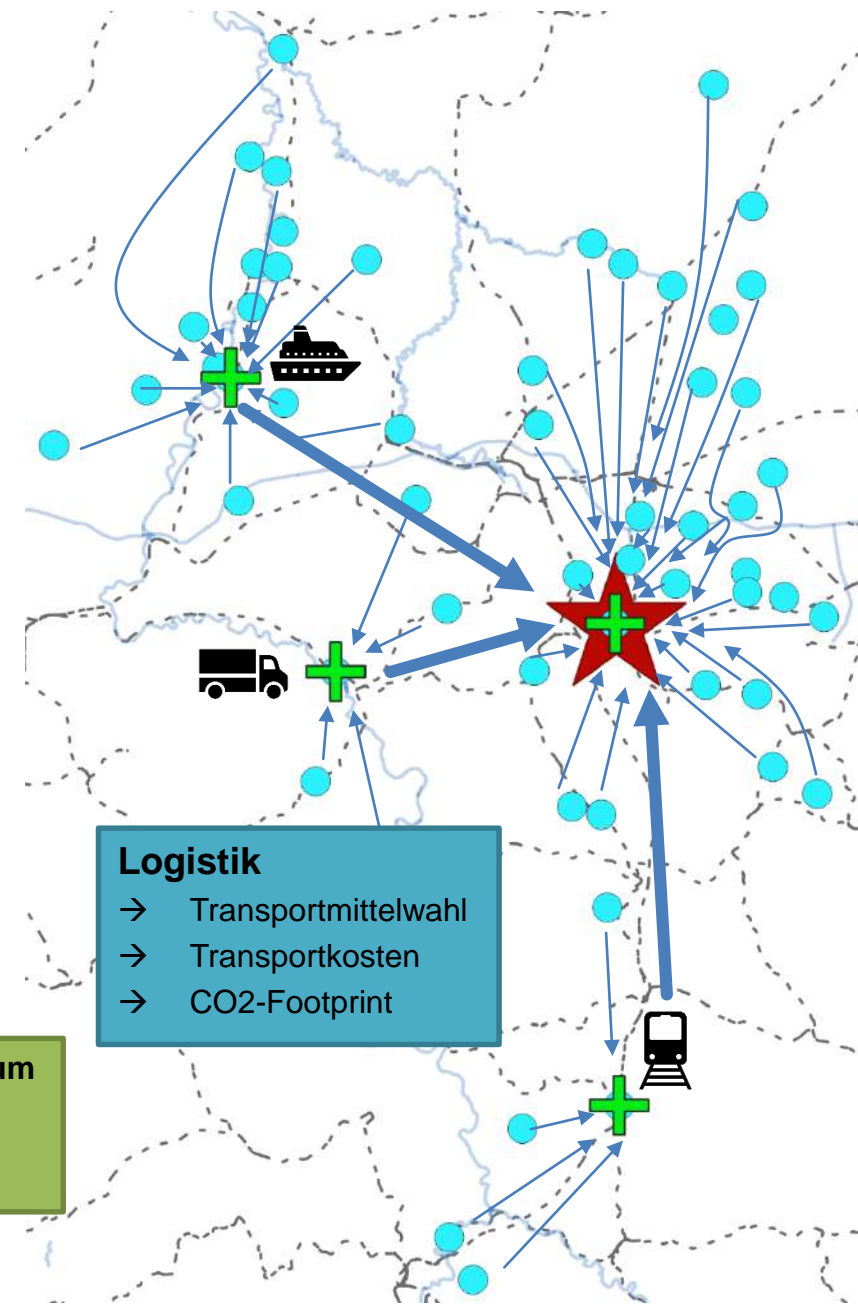
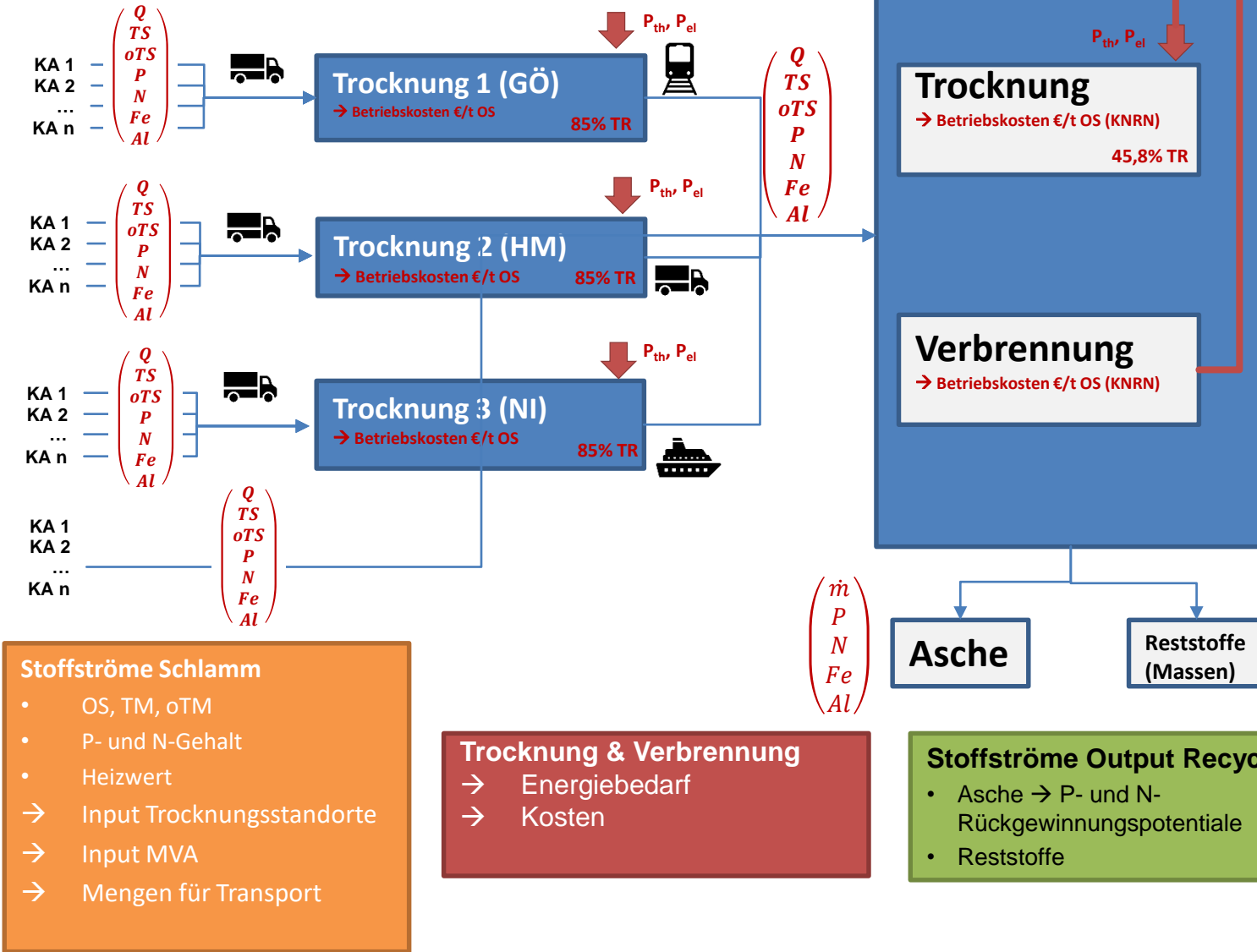
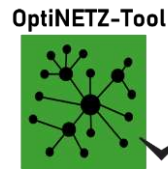
Verfahrensauswahl  
Betriebsvarianten  
....

**1** Modellaufbau der Betrachtungsebene

**2** Stoffbilanzen  
verschiedener Szenarien

**3**

# Gesamtmodell



# Fragestellung dezentraler Verbund

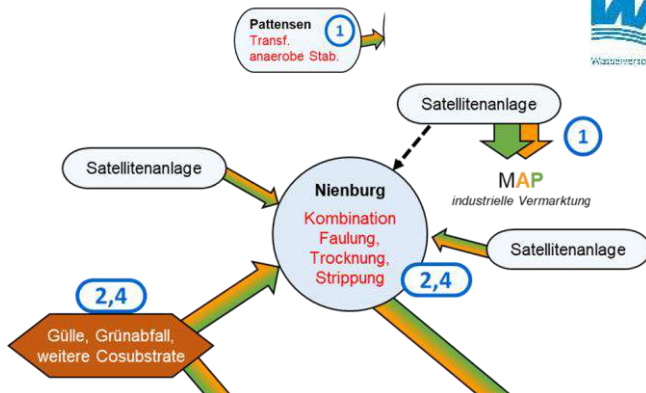


Ziel:

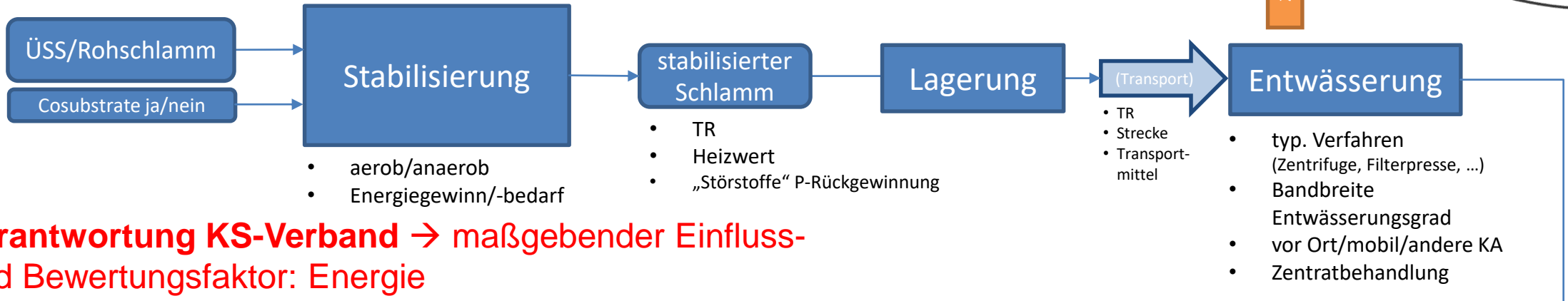
**Abstimmung der Anlageninvestitionen** der Schlammbehandlung unter Einbeziehung lokaler Spezifika die thermische Klärschlammentsorgung wirtschaftlich und energetisch optimiert

**Strategische Investitionsplanung im regionalen Verbund** mit Blick auf KA-Betrieb, Schlammstabilisierung, -entwässerung und -transport

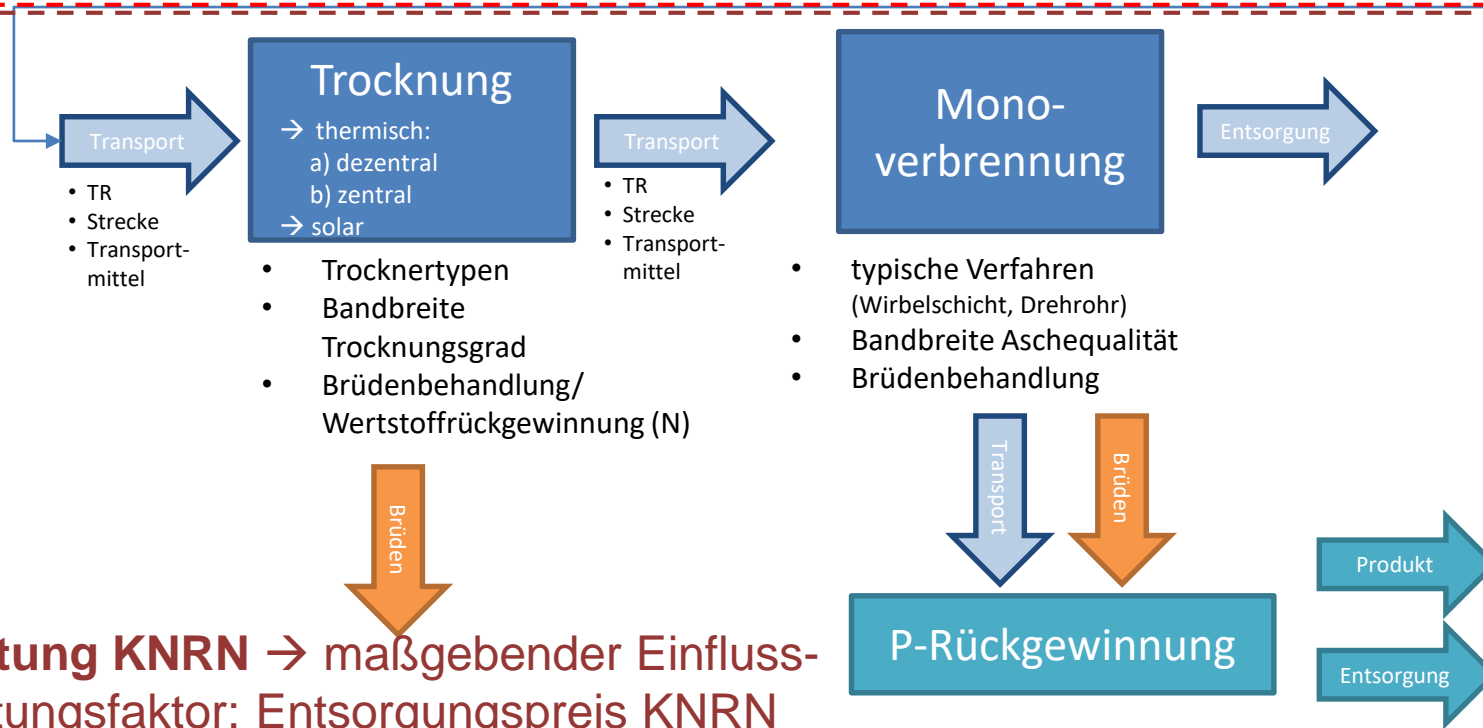
- Maschinenring „Entwässerung“ Planung und Management
- Semi-zentrale Schlammbehandlung
- Teiltrocknung (solar)
- Einbeziehen von Wirtschaftssubstraten
- Regionaler Nährstoffbedarf und Stickstoffausschleusung



# Prozessketten



**Verantwortung KS-Verband → maßgebender Einfluss- und Bewertungsfaktor: Energie**



**Verantwortung KNRN → maßgebender Einfluss- und Bewertungsfaktor: Entsorgungspreis KNRN**



# Semizentrale Faulung

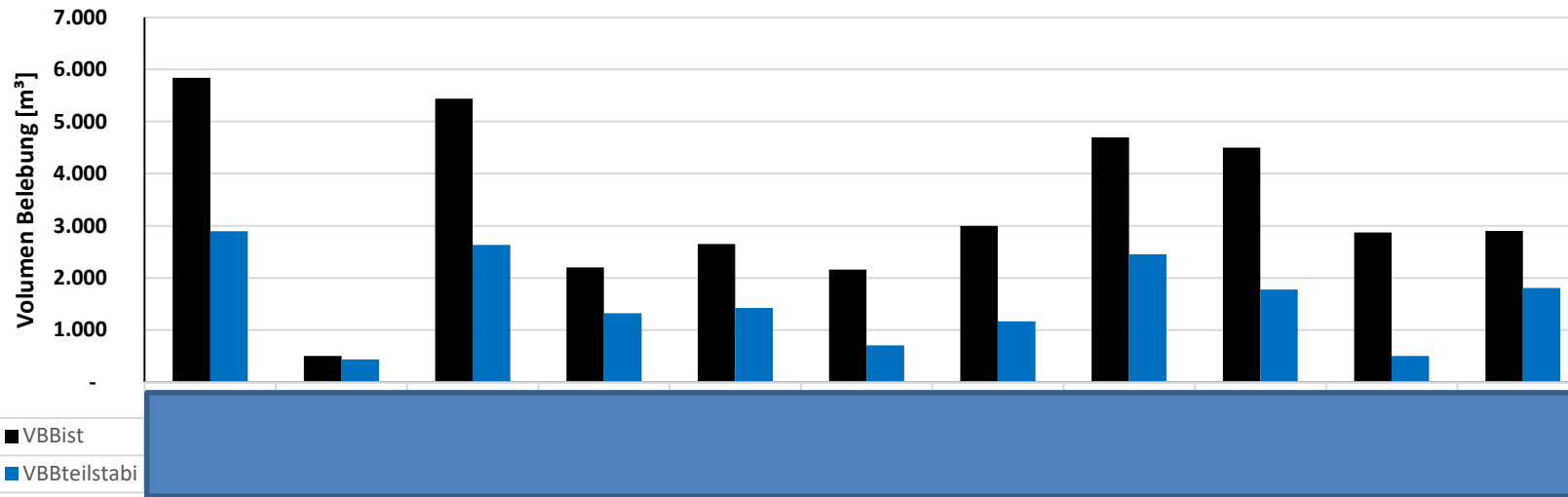


Kleine Kläranlagen (Satelliten) stabilisieren ihren Klärschlamm **aerob**

- Umstellung auf Faulung (**anaerobe** Stabilisierung)
  - **Einsparung Belüftungsenergie** für aerobe Stabilisierung
  - Produktion von **Biogas**
  - Reduzierte **Schlammmenge**
  
- Zusätzliche Biogasgewinn durch Behandlung kohlenstoffhaltiger Industrieabwässer
  - Anfall von **zusätzlichem Abwasser** (Behandlung in KA oder gesondert?)



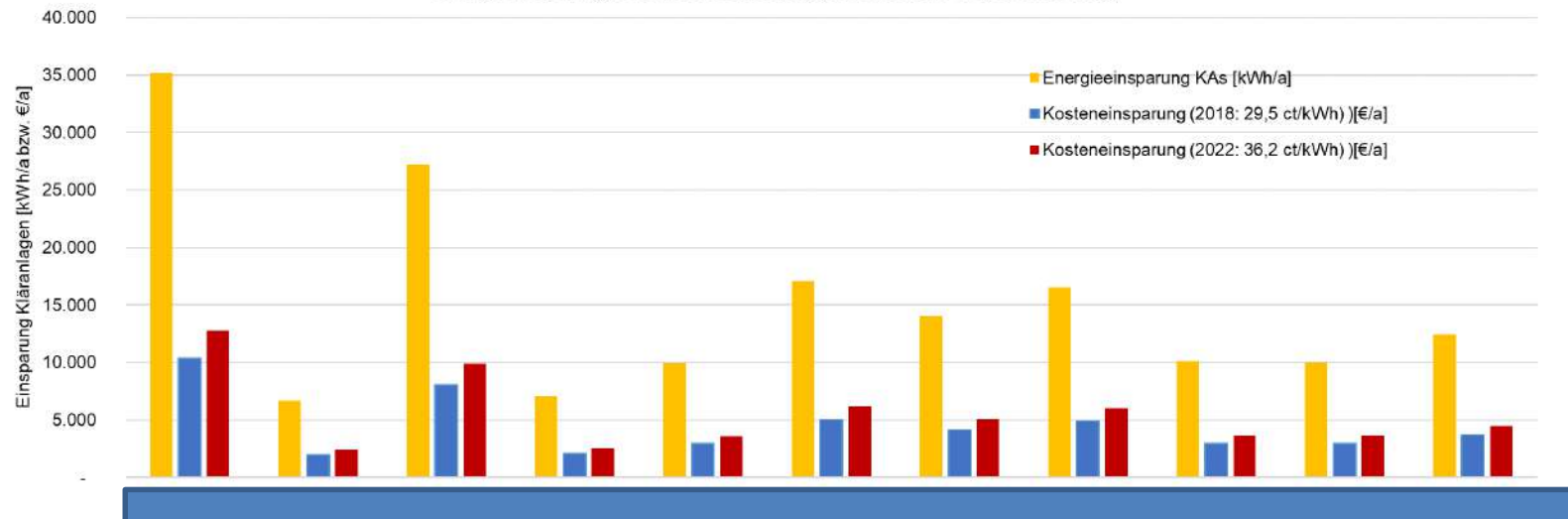
# Potential Umstellung aerobe Teilstabilisierung (I)



Einsparpotential  
 - Beckenvolumen  
 (zusätzliche Kapazität,  
 mittelfristig reduzierte  
 Anlagentechnikkosten)

\*TS<sub>BB</sub>=3,5 g/l

Energieeinsparung KAs durch Umstellung auf anaerobe Teilstabilisierung



Einsparpotential  
 - Belüftungsenergie  
 Hauptstrombiologie

# Potential Umstellung aerobe Teilstabilisierung (II)



Klärschlamm Modellregion		t OS/a	TR	t TS/a
<b>Regionale Zentren</b>		16000	19.4%	3110
<b>Satelliten</b>	aerobe Vollstabilisierung	42812	3.2%	1380
	aerobe Vollstabilisierung entwässert	6571	21.0%	1380
	anaerobe Stabilisierung entwässert	4886	26.0%	1270

- 25% ↑

- 8% ↑

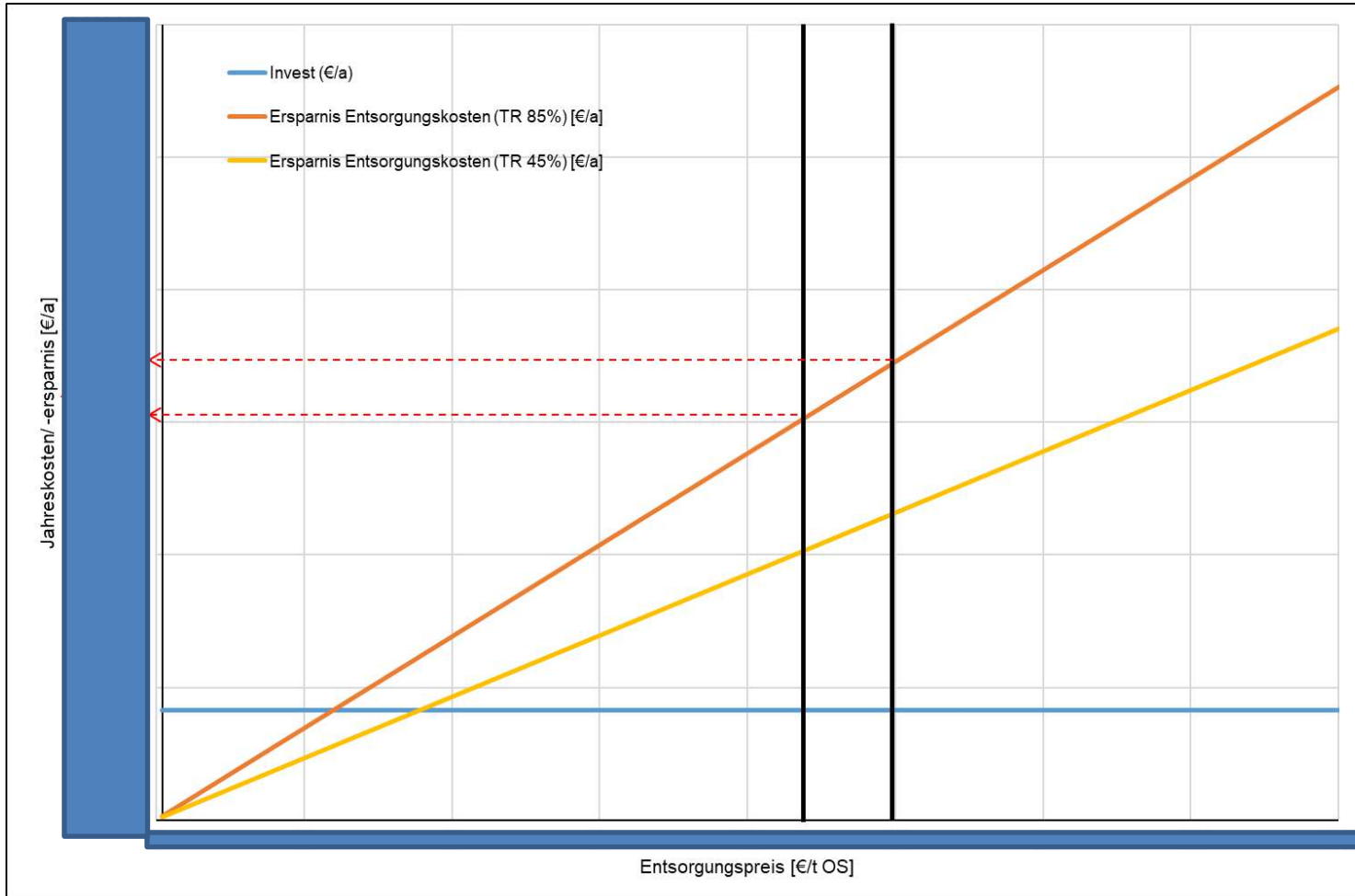
## Aerobe Teilstabilisierung Satelliten KA:

- Einsparung Belüftungsenergie: 154.253 kWh/a ca. 5% der Gesamtenergie der Satelliten
- Zusätzlicher Gasertrag durch Faulung: 2.296.983 kWh/a Energiepotential
- Verstromung BHKW  $\eta = 35\%$ : 803.944 kWh<sub>el.</sub>/a

# Einsparpotential: Solare Trocknung



Treiber: Entsorgungspreis €/t OS



- Reduzierte Schlammmenge
  - Möglich ohne externe Wärme,
    - Nutzung von vorh. Abwärme reduziert Flächenbedarf
  - Große Flächenbedarf
  - Investition
  - Betrieb
  - Saisonale Unregelmäßigkeiten
- 
- Fläche Solare KS-Trocknung:
    - 5950 m<sup>2</sup> ohne Abwärme
    - 3800 m<sup>2</sup> mit Abwärme

# Modellbasierte Verfahrensauswahl - Smarte Bewirtschaftung



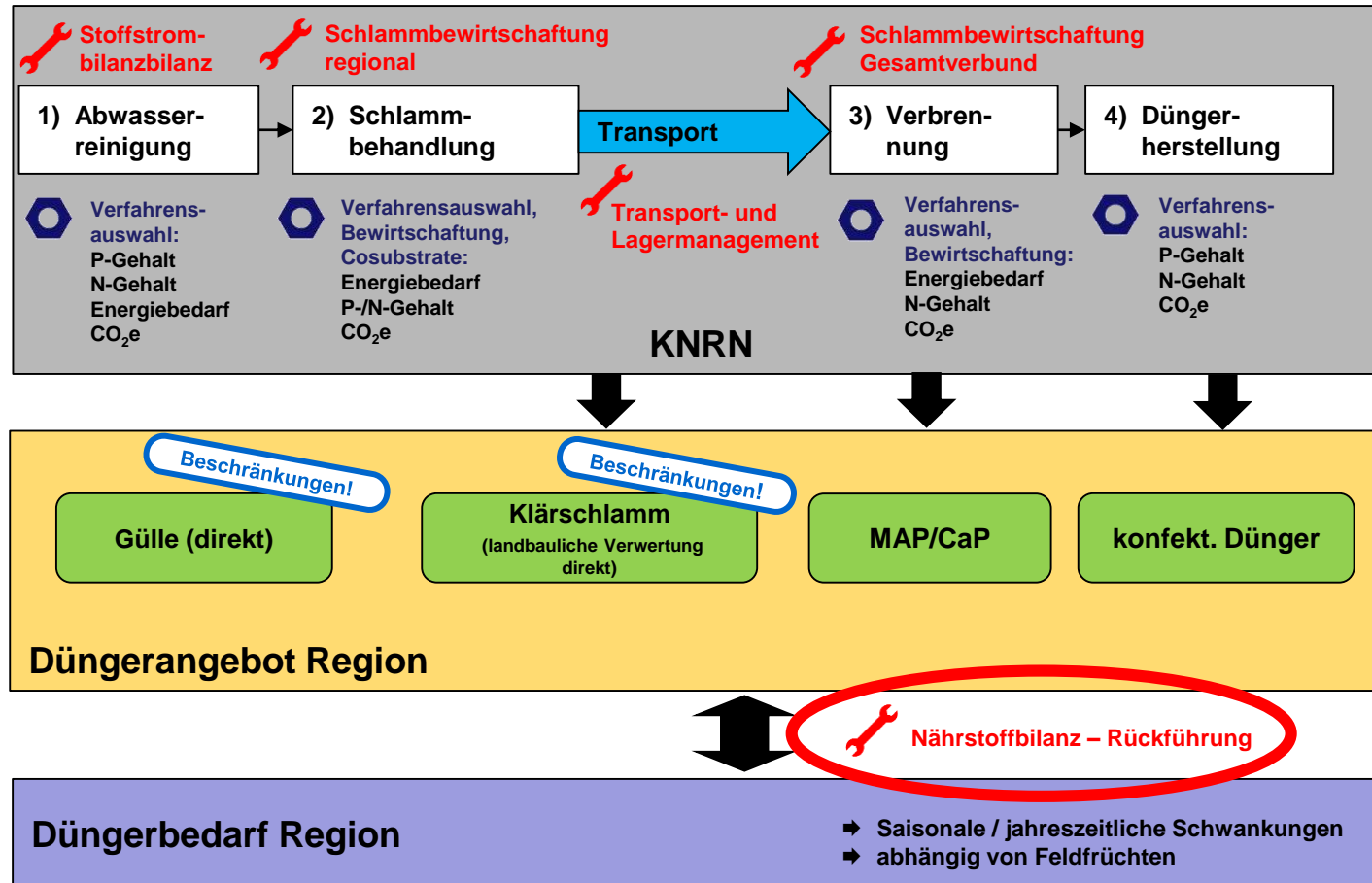
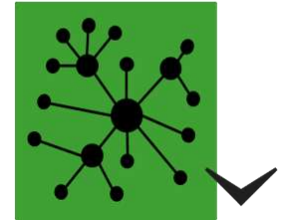
Modell- und Methodik-entwicklung

Tools  
Stellschrauben

Toolentwicklung

INGENIEURBÜRO  
DR. SABRINA BREITENKAMP

OptiNETZ-Tool



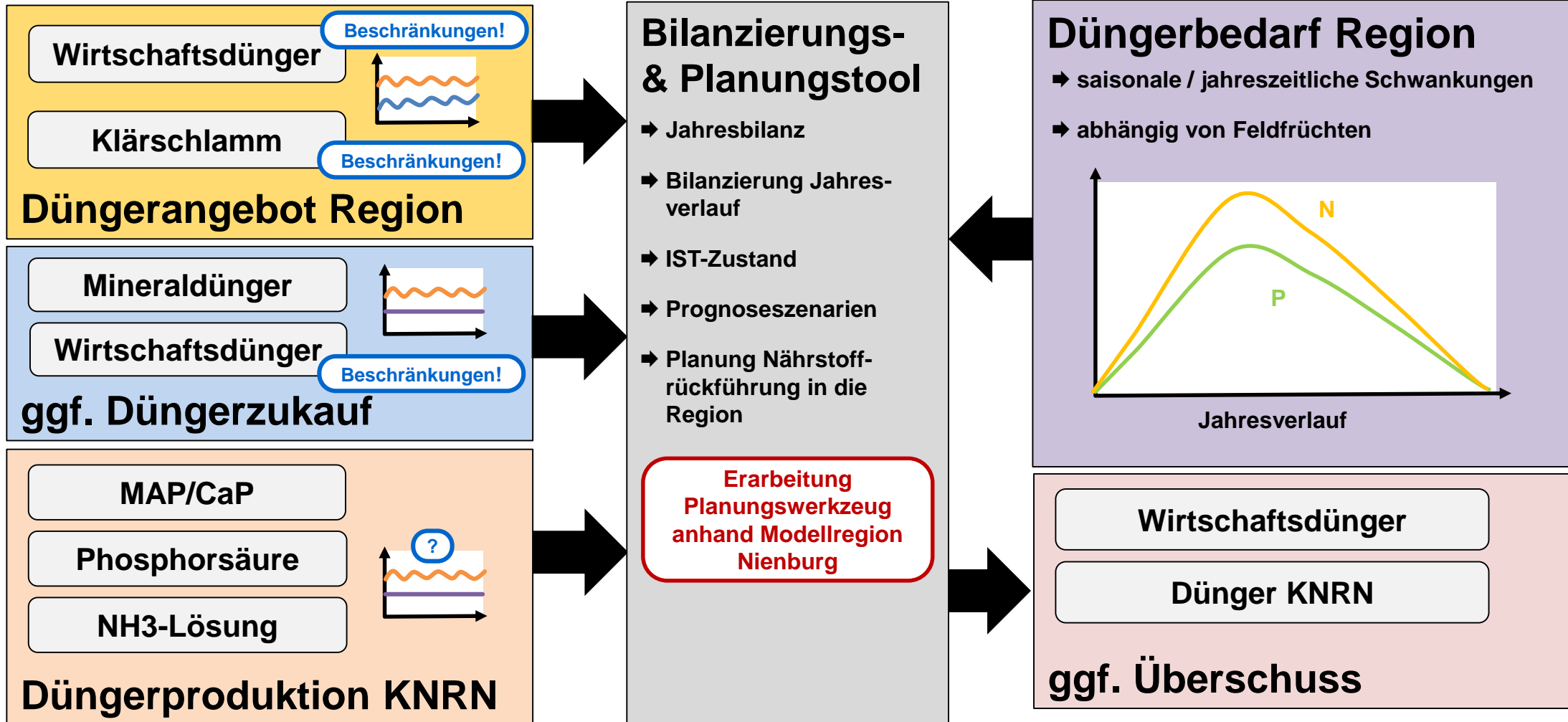
➤ **Verfahrensbewertung** und Konzeptentwicklung auf Basis von **modellgestützten** Szenarienanalysen für die einzelne Anlage und im Verbund

➤ Werkzeug zur **Sensitivitätsuntersuchung** des Systems auf zukünftige Entwicklungen oder veränderte Rahmenbedingungen  
Ziel: **Robustheit und Stufenausbau**

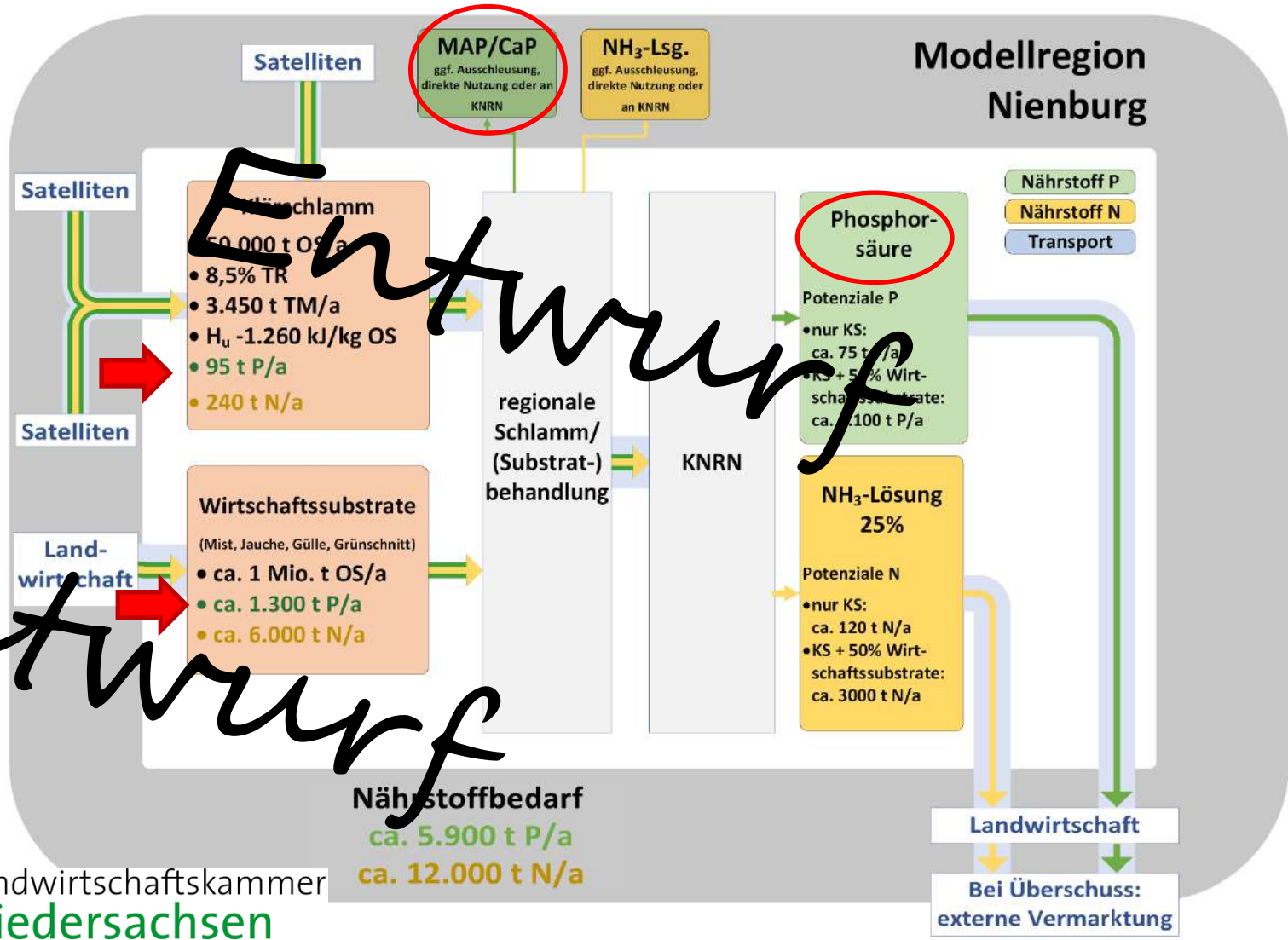
➤ Weiterentwicklung der Modelle zu angepassten **Bewirtschaftungstools**

➤ Schnittstelle **Nährstoffbereitstellung** zur regionalen und saisonalen Bedarfsplanung der Landwirtschaft

# Nährstoffrückführung – Bilanzierung und Planung



# Modellregion: Nährstoffbilanz P



## IST-Zustand Nährstoffpotentiale

➤ aus Klärschlamm

		Gesamtverbund	Region Nienburg
Anteil P (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , Mittelwert)	kg/t TM	ca. 25	ca. 3
<b>Masse P (Potential)</b>	t P/a	ca. 700	ca. 95
Anteil N (Nges, Mittelwert)	kg/t TM	ca. 50	ca. 71
Masse N (Potential)	t N/a	ca. 1.200	ca. 240

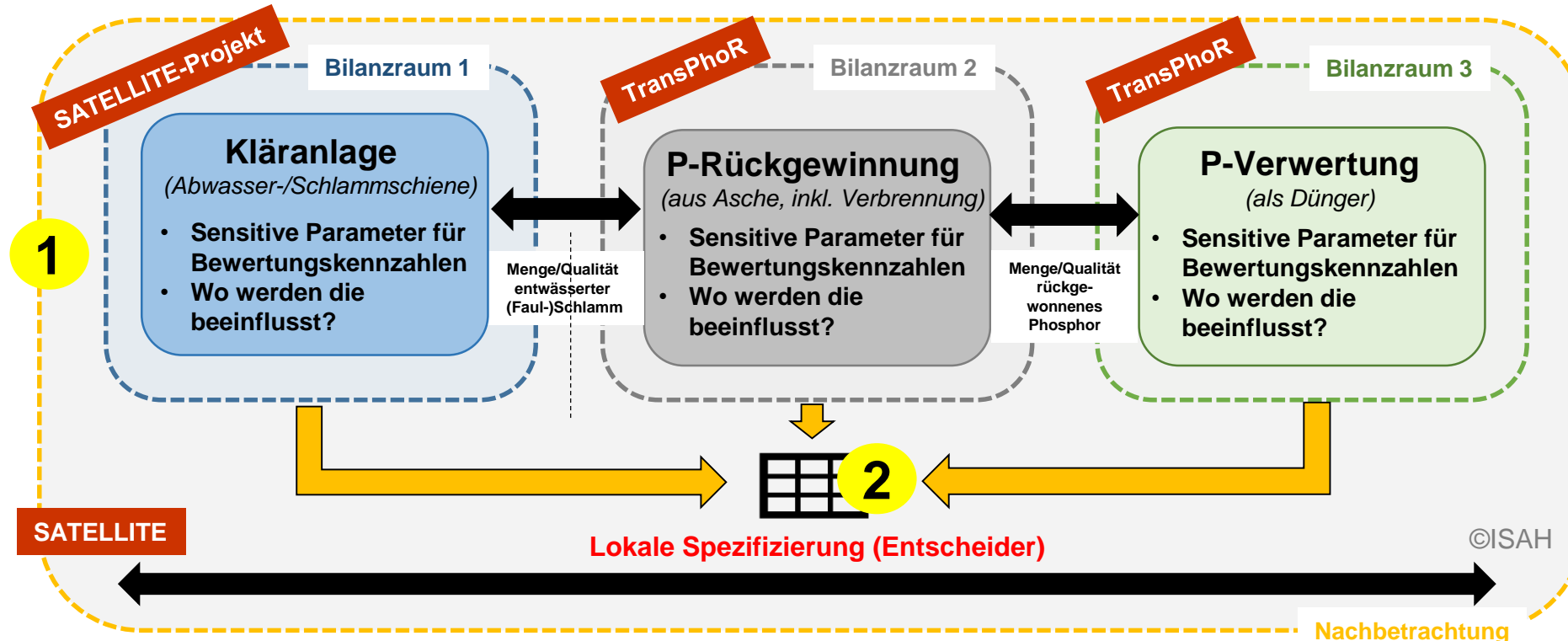
➤ **Wirtschaftssubstrat,**

**+ 6.000 t/a N + 3.000 t/a P**

Landwirtschaftskammer  
**Niedersachsen**



# Einbindung in Verfahrensbewertung RePhoR



Systemspez. Zusammenhänge

Fallspez. Ausprägung (Stoffbilanz...)

Kennzahl nach Fragestellung „Optimierungsziel“

$$\begin{array}{l}
 \downarrow \\
 \boxed{\begin{array}{l} \text{CO}_2, \text{Kläranlage} \\ \text{kWh}_{\text{Kläranlage}} \\ \text{Fläche}_{\text{Kläranlage}} \end{array}} \quad ? \quad + \quad \boxed{\begin{array}{l} \text{CO}_2, \text{P-Rück-Verfahren} \\ \text{kWh}_{\text{P-Rück-Verfahren}} \\ \text{Fläche}_{\text{P-Rück-Verfahren}} \end{array}} \quad ? \quad + \quad \boxed{\begin{array}{l} \text{CO}_2, \text{Dünger} \\ \text{kWh}_{\text{Dünger}} \\ \text{Fläche}_{\text{Dünger}} \end{array}} \quad ? \quad = \quad \Sigma
 \end{array}$$

# Was kann mit der Methodik bewertet werden....



- alle Bereiche der Siedlungswasserwirtschaft
  - Verfahrensketten, -systeme
  - Plant-Wide-Modelling
  - verschiedene Detaillierungsgrade (grobes Stoffstrommodell → Minutenauflösung)
- modellgestützte Entscheidungsunterstützung zum Aufdecken von Risiken und Potentialen
    - verschiedene Methoden zur Unterstützung des Entscheidungsfindungsprozesses sind vorhanden (dyn./stat. Simulation, Benchmarking, etc.)
  - Betrachtung von techn., ökon. und ökol. Faktoren zusammen notwendig
  - Fülle an Daten ist die Ursache der Komplexität und der Lösungsansatz
    - systematisiertes Datenmanagement notwendig
    - Vereinfachung der Modelle hinsichtlich Dimension und Betrachtungszeitraum
- ... wir arbeiten daran!**

# ....Danke für ihre Aufmerksamkeit



**Dr.-Ing. Maike Beier**

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



**M.Sc. Torben Martens**



**M.Sc. Kai Schumüller**



**M.Sc. Kasra Saadlou**



**M.Sc. Johannes Reiter**



**INGENIEURBÜRO**  
DR. SABRINA BREITENKAMP

**Dr.-Ing. Sabrina Breitenkamp**

Ingenieurbüro Dr. Breitenkamp  
Hansastr. 45  
32257 Bünde  
Tel: 05223 6547053  
Mail: breitenkamp@ressourcen-effizienz.pro

Landwirtschaftskammer  
**Niedersachsen**

 **Fraunhofer**  
IML