

Transfer-Workshop „ISAH-Modul-Bibliothek“

04.März 2024, 9:00 – 11:00, Online

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Begrüßung + Vorstellung



Block 1:

- 09:20 Erläuterung der Methodik
- 09:35 Einsatz der Modulbibliothek und Zugriff
- 09:50 Diskussion zur Methodik

Block 2: Wie werden Steckbriefe erstellt

- 10:00 Modulaufbau, Steckbrieferstellung + Beispiele
- 10:20 Zitation und Lizenzierung
- 10:30 Diskussion Verfahrensgeber
(Fragen zum Vorgehen, weiteres Vorgehen)



Projektziel: Entscheidungsunterstützung Strategieentwicklung

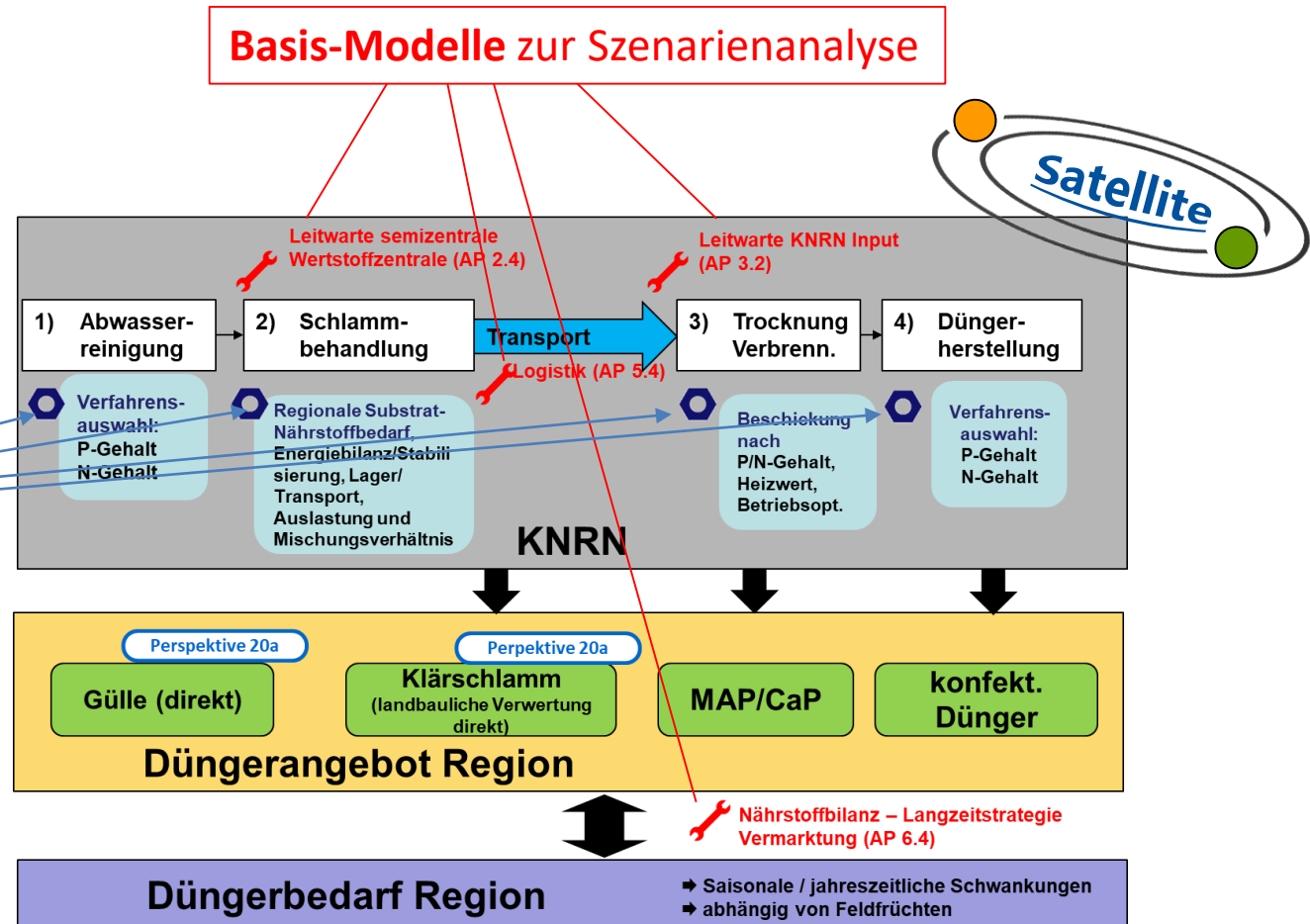
Methodik: modellgestützte Szenarienanalyse



Erweiterung Modulbibliothek

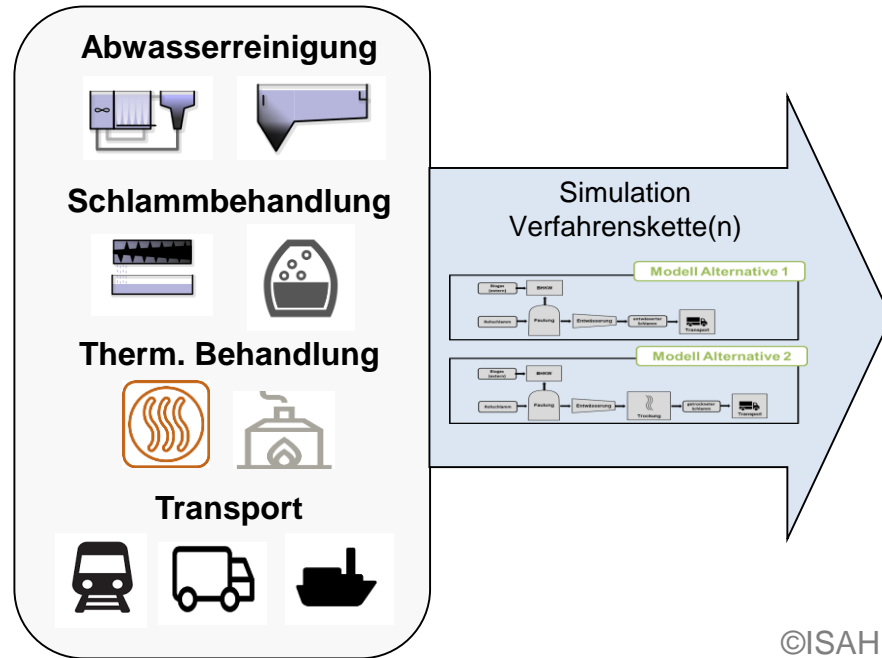
Verfahrensmodule
der relevanten Prozess-
schritte zur Abbildung der
verschiedenen
Verfahrensausprägungen

Prozessketten zur Bilanzierung
relevanter Bewertungsgrößen



Konzept modellgestützte Bewertung

Modulbibliothek mit hinterlegten
Daten & Zusammenhängen,
Einbindung fallspez. Information



Stoffströme

Ablaufwerte (Frachten)
Schlamm-mengen
CO₂e-Emissionen
Energiegehalt
....

Anlagengrößen

Materialbedarf
Platzbedarf

Betriebsmittelbedarf

Strom
Wärme
Chemikalien
Persoal
...

Umrechnung in
Bewertungs-
größen

Bewertungskennzahlen

entspr. individueller strategischer
Ziele und Berücksichtigung
lokaler Faktoren

Investitionen
Betriebskosten
Energiebedarf
CO₂e-Footprint
Robustheit
Flexibilität
...



**strukturierte Datenbereitstellung
durch Verfahrensgeber**

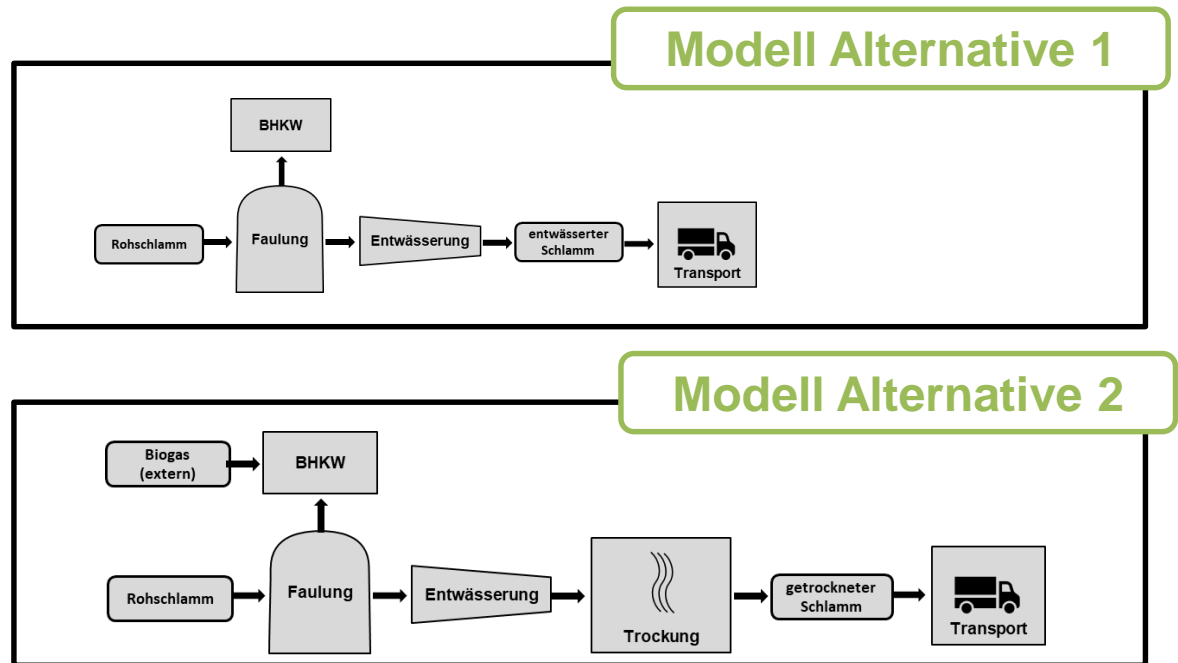
**fallspezifische Kennzahlberechnung
unter variabler Belastungen und für alternativen Szenarien
durch „lokalen“ Entscheider**

durch Modulbibliothek:

-
- ```

graph LR
 A[Modellbildung] --> B[Bilanzierung]
 B --> C[Bewertung und Auswahl]

```
- The diagram illustrates the three steps of the model-building process as a sequence of three blue chevron-shaped boxes pointing from left to right. The first box is labeled 'Modellbildung', the second 'Bilanzierung', and the third 'Bewertung und Auswahl'.



durch Modellansatz:

- 

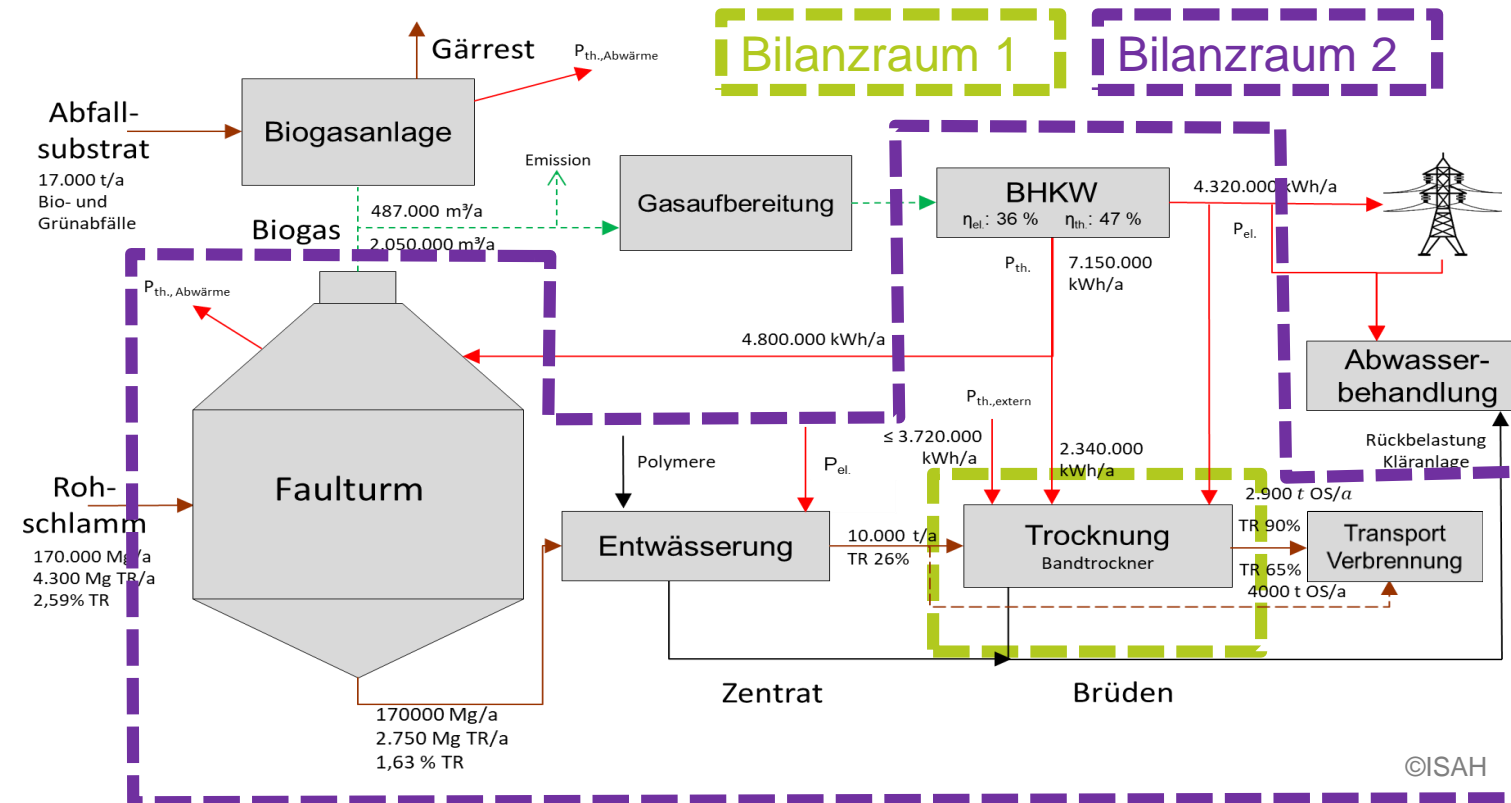
# Ablauf

Modell-  
bildung

Bilanzierung

Bewertung  
und  
Auswahl

Prozessketten und Szenarien



Wahl des Bilanzraums

Ergebnis abhängig von der Wahl der Bilanzgrenzen!

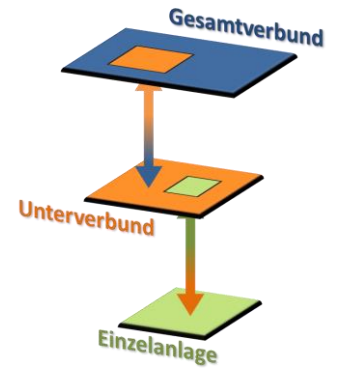
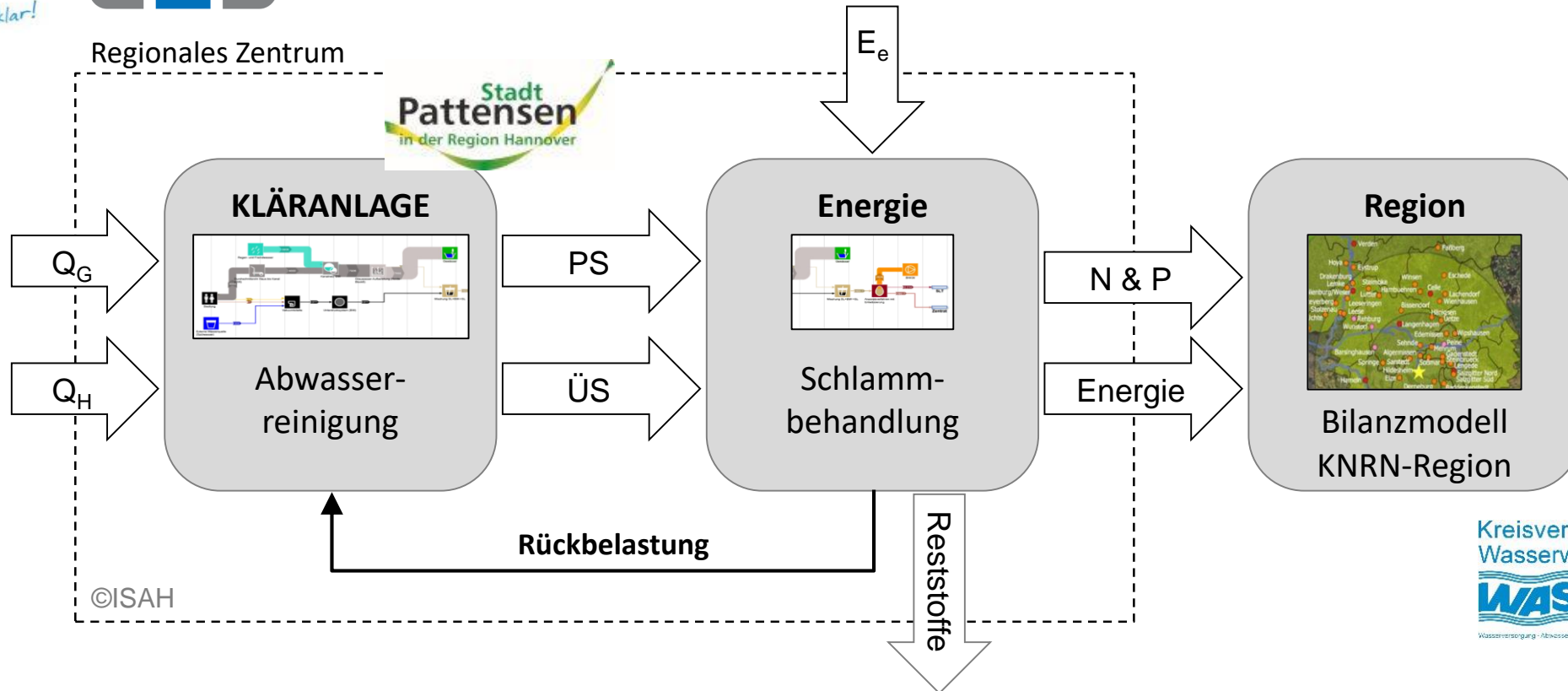
Rückkopplung zur Zielsetzung:  
→ Wahl des Bilanzraums zugeschnitten auf Fragestellung!



# Teilschritte des Bilanzmodells



Regionales Zentrum



$Q_G$ : gewerbliches Abwasser,  $Q_H$ : häusliches Abwasser,  $E_e$ : externe Energiequellen

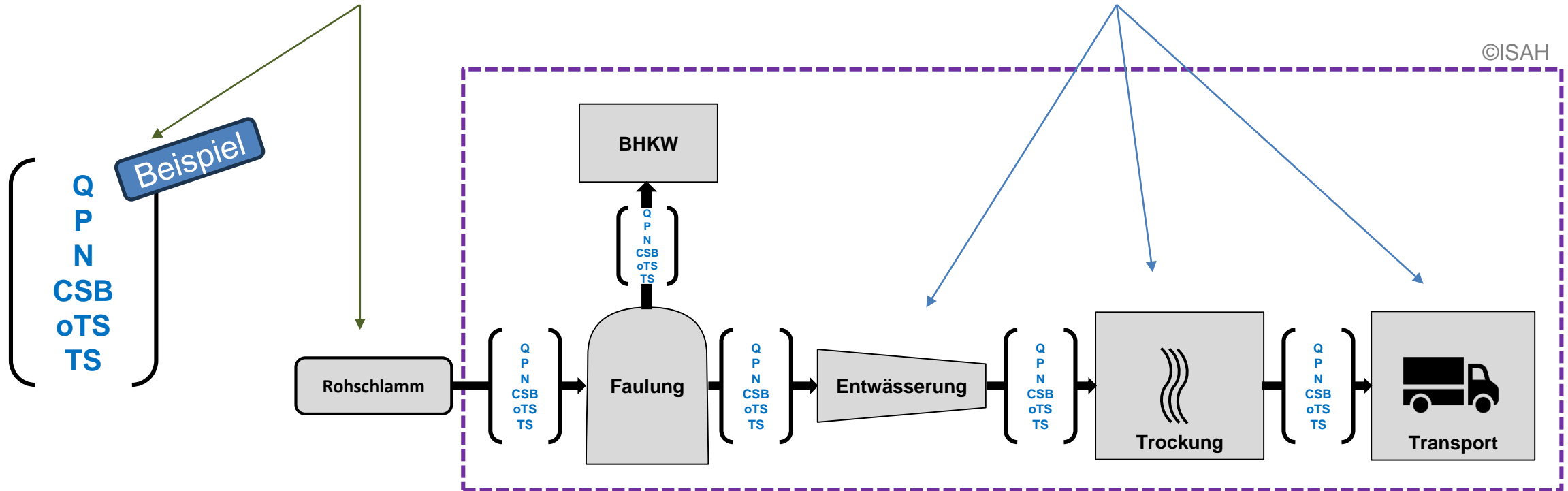


# Aufstellen der Prozessketten

→ Kopplung der Verfahrensschritte (Module) über einheitlichen Basisvektor

auch der Vorketten

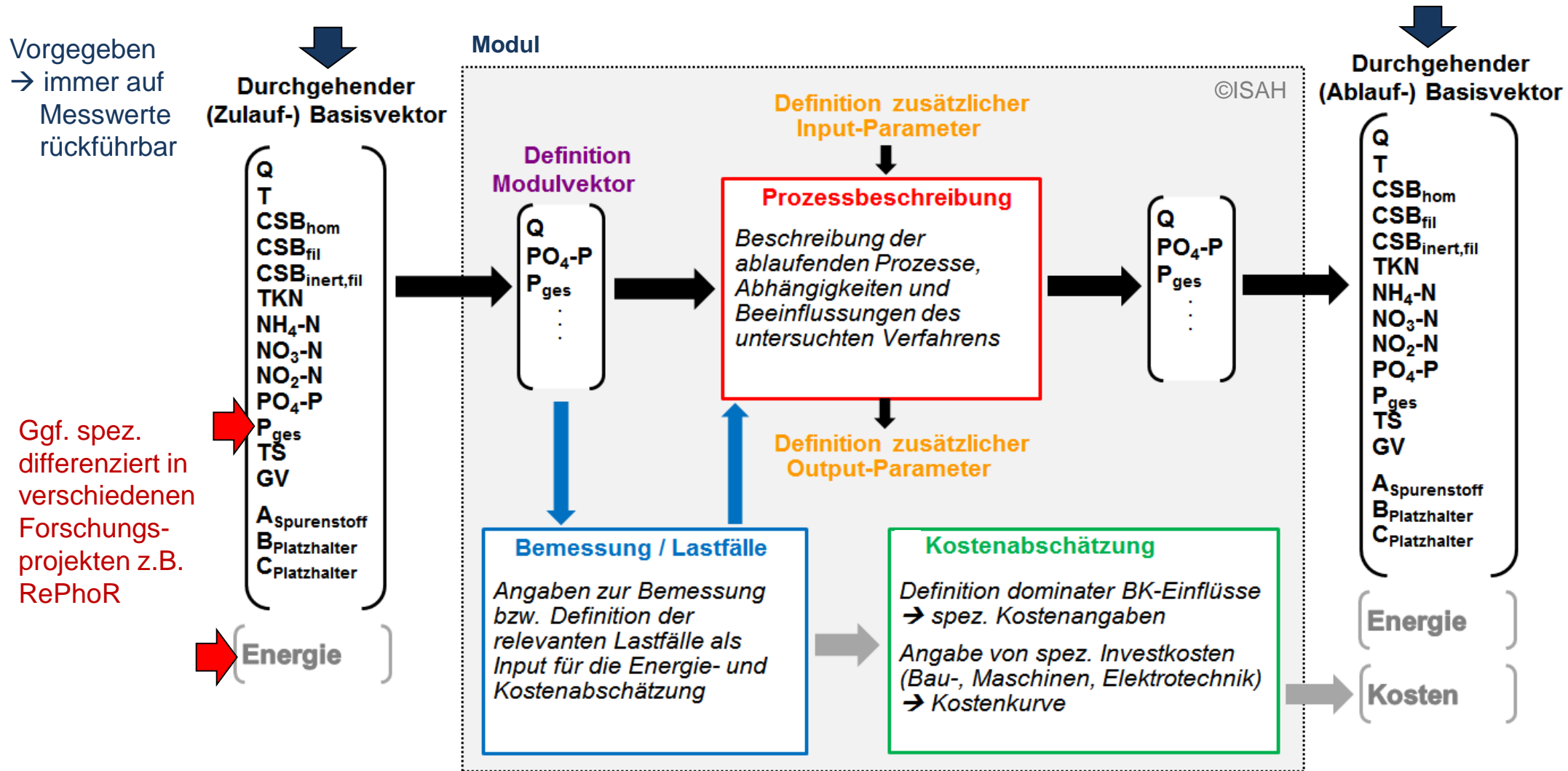
Alternative Verfahrensausprägungen möglich



...ein **Modul** beschreibt dabei die Veränderung der Stoffgrößen unter Bereitstellung einer spez. Aggregatkonfiguration mit den zugehörigen Verbräuchen und Emissionen



# Modellkonzept = über Basisvektor gekoppelte Module



# Modellkonzept = über Basisvektor gekoppelte Module

Funktionale Zusammenhänge (Bemessung/Betrieb)

Modul

Durchgehender  
(Zulauf-) Basisvektor

Q  
T  
CSB<sub>hom</sub>  
CSB<sub>fil</sub>  
CSB<sub>inert,fil</sub>  
TKN  
NH<sub>4</sub>-N  
NO<sub>3</sub>-N  
NO<sub>2</sub>-N  
PO<sub>4</sub>-P  
P<sub>ges</sub>  
TS  
GV  
A<sub>Spurenstoff</sub>  
B<sub>Platzhalter</sub>  
C<sub>Platzhalter</sub>

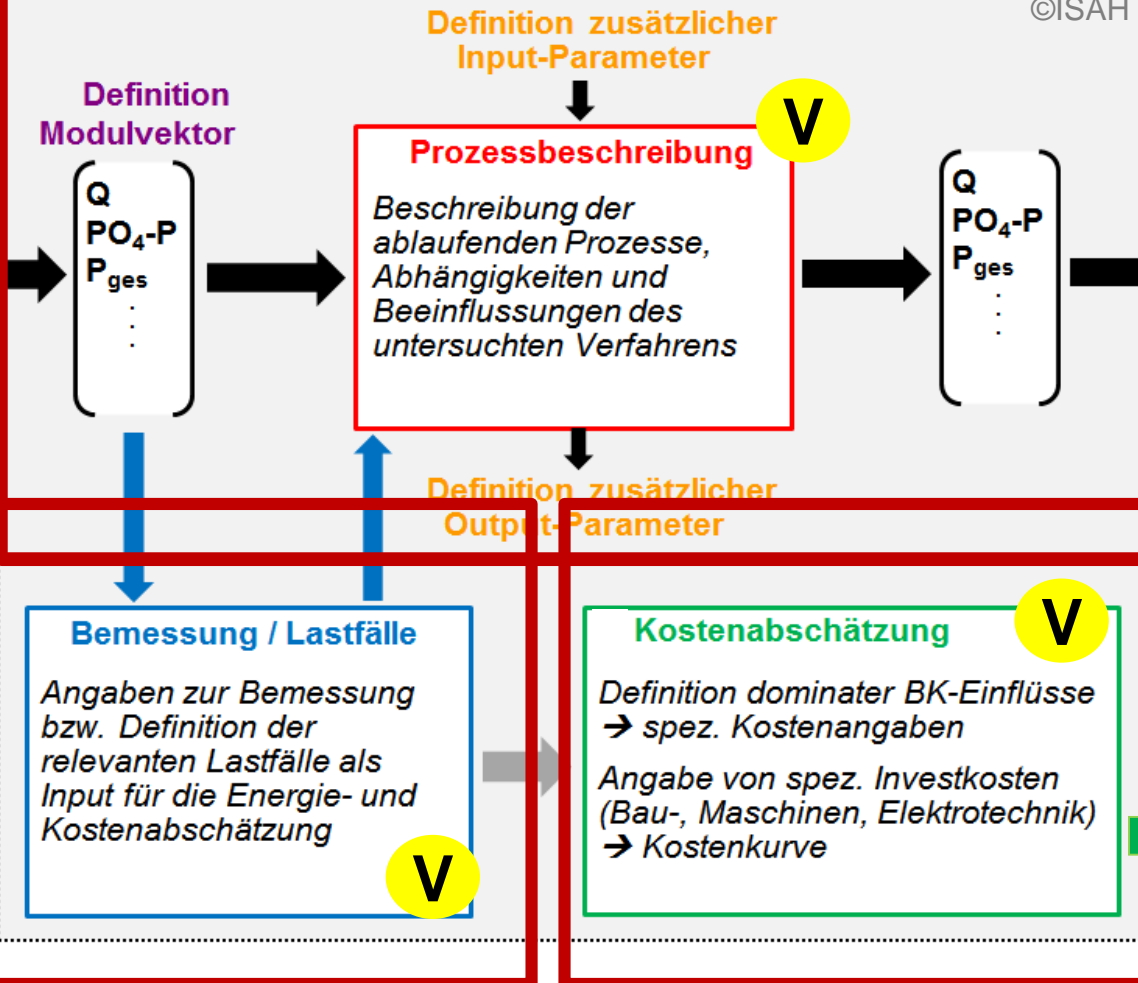
2

Berechnung der  
Stoffströme im  
Betrieb

- Zulaufbelastung nachfolgender Stufen
- Verbräuche und Emissionen

Bemessung der  
Verfahrensstufe  
→ Investition  
→ Konfiguration für Betrieb

1



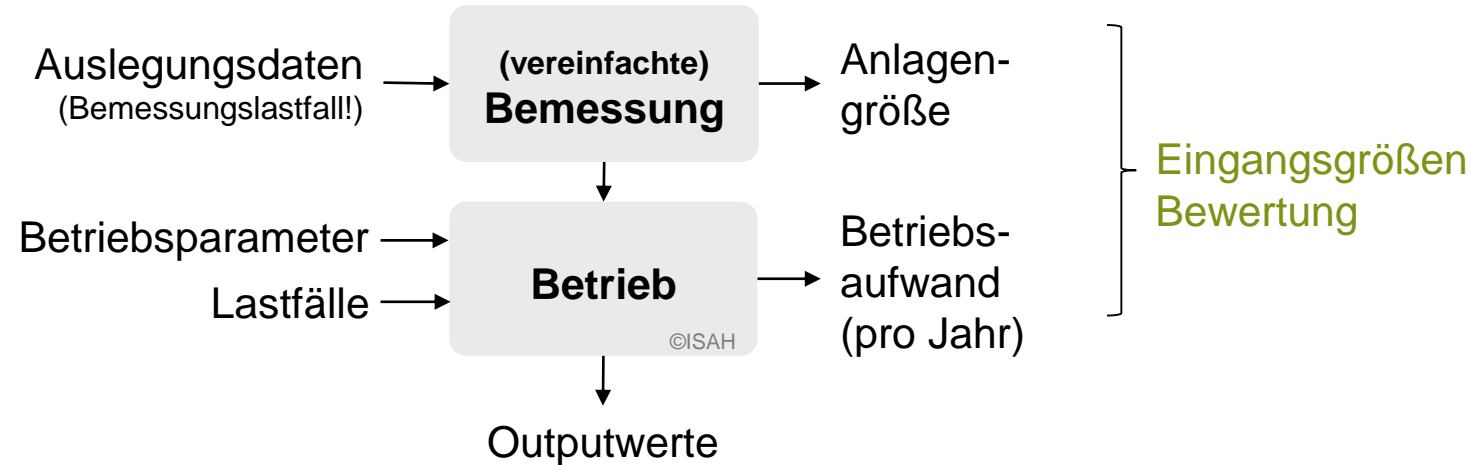
3

Berechnung der  
Bewertungs-  
kennzahlen mit  
spez. Ansätzen

- Aggregation zu Variantenvergleichswerten
- z.B. kWh/kg  
P<sub>rez</sub> JK, CO<sub>2</sub>e

©ISAH

# Aufbau Verfahrensmodule



## verfahrensspezifisch

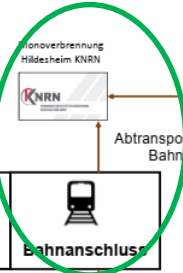
- vereinfachtes Bemessungsschema
- typische Auslegungswerte
- Berechnungsschema für Outputströme
- zulauf- und abbauspezifische Verbräuche und Reststoffanfall

## fallspezifisch

- Inputdaten (als Lastfälle)
- spez. Aufwand/ Auswirkungen/... für Betriebsmittel, Reststoffentsorgung etc.

# Energiebilanzmodell - Dezentrale Schlammbehandlung

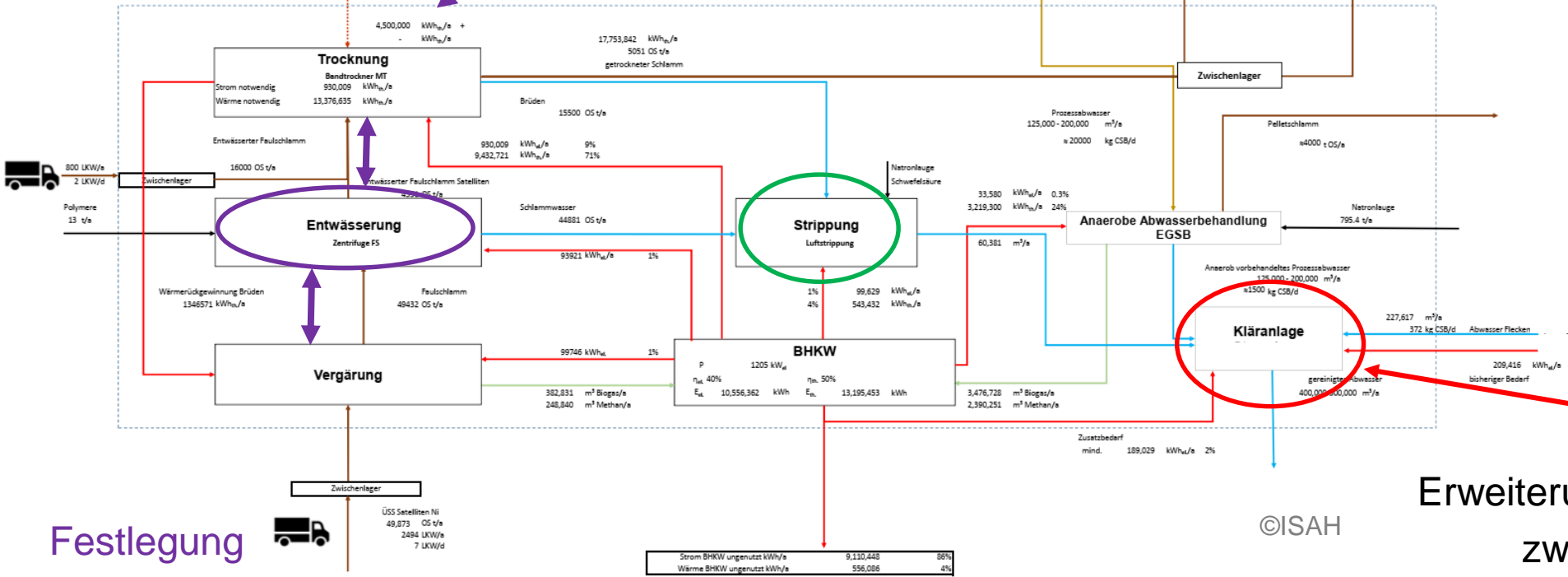
Ziel: Einbindung Trocknung



Gesamtbilanz

Ca. 9.000 MWh<sub>el.</sub>  
Überschuss pro Jahr

Rund 200.000 MWh<sub>th.</sub>  
Überschuss pro Jahr

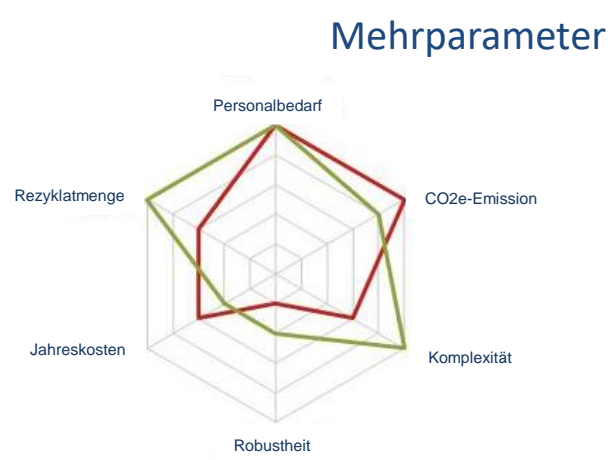
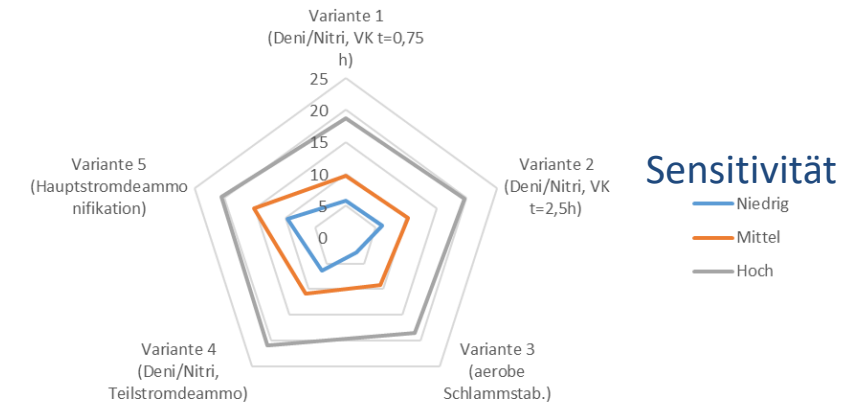
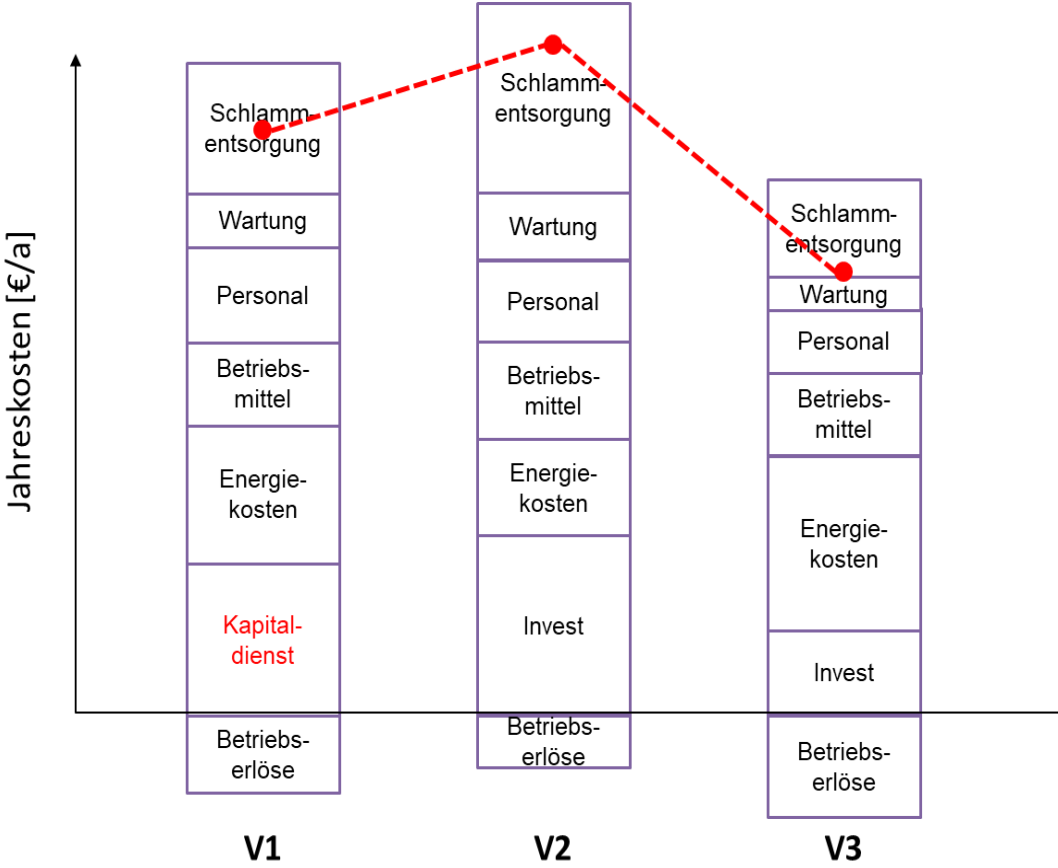


Festlegung  
Entwässerungsgrad

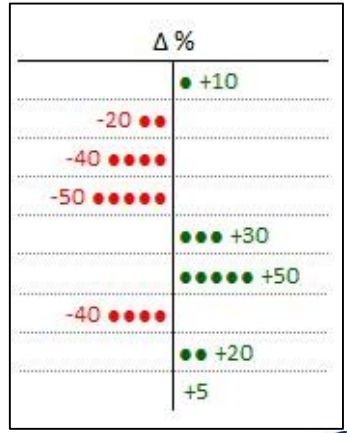
Erweiterung der Kapazität der KA  
zwingend erforderlich



# Bewertungsergebnis Jahreskosten



## Dashboard



- Derzeit lokale Anwendung,  
nach Fertigstellung und Erprobung Überführung in Online-Anwendung zur freien Nutzung

## Funktionen

- Anwendung zur Abbildung von Verfahrensketten oder Einzelanwendung eines Moduls
  - statisch oder Zeitreihen
- Ergebnisdarstellung (Bilanzen, Zeitreihen, Sankey-Diagramme)
- Modelle und Ergebnisse können lokal gespeichert werden (Excel)

## Vorteile

- Untersuchungsergebnisse zur Leistungsfähigkeit von Verfahren werden der Fachöffentlichkeit, insbesondere potentiellen Anwendern, zugänglich gemacht → weitere Nutzung der Ergebnisse
  - Zugehörige Publikationen, Abschlussberichte, Unternehmenswebseite etc. werden entsprechend verlinkt
- Einfache Variantenvergleiche → Entscheidungsunterstützung bei Planung und Betrieb durch einfach zu handhabende Werkzeuge
- Verfahrensmodule werden gebündelt an einem Ort in einem Format gesammelt  
→ zunehmende Auswahl an Verfahrensmodulen ermöglicht die Abbildung immer komplexerer Prozessketten



# Transfer-Workshop „ISAH-Modul-Bibliothek“

04.März 2024, 9:00 – 11:00, Online

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



## Begrüßung + Vorstellung

### Block 1:

- 09:20 Erläuterung der Methodik
- 09:35 Einsatz der Modulbibliothek und Zugriff
- 09:50 Diskussion zur Methodik

### Block 2: Wie werden Steckbriefe erstellt

- 10:00 Modulaufbau, Steckbrieferstellung + Beispiele
- 10:20 Zitation und Lizenzierung
- 10:30 Diskussion Verfahrensgeber  
(Fragen zum Vorgehen, weiteres Vorgehen)



# Grundidee der Modulbibliothek und Definitionen

- Zusammenfassen und Veröffentlichen von entwickelten Verfahren der Siedlungswasserwirtschaft in Form eines Moduls mit zugehörigem Steckbrief
  - **Steckbrief:** schriftliche Zusammenfassung der Grundinformationen, der Ein- und Ausgangsparameter, sowie der stattfindenden Prozesse zur Transformation der Eingangsparameter in die Ausgangsparameter
  - **Modul:** Recheneinheit, die ein spezifisches Verfahren auslegt und Eingangsparameter in Ausgangsparameter transformiert
  - **Modell:** Beliebige Kombination mehrerer Module zur Abbildung von Verfahrensketten



# ISAH-Modellbibliothek: aktueller Stand

- Grafische Benutzeroberfläche erleichtert Bedienung  
→ keine Programmierkenntnisse erforderlich
- Algorithmus für automatische Kalibrierung auf Basis gemessener Werte → erleichterte Bedienung
- Beliebige Modulkombinationen



Parametrisierung

Bemessung + Berechnung

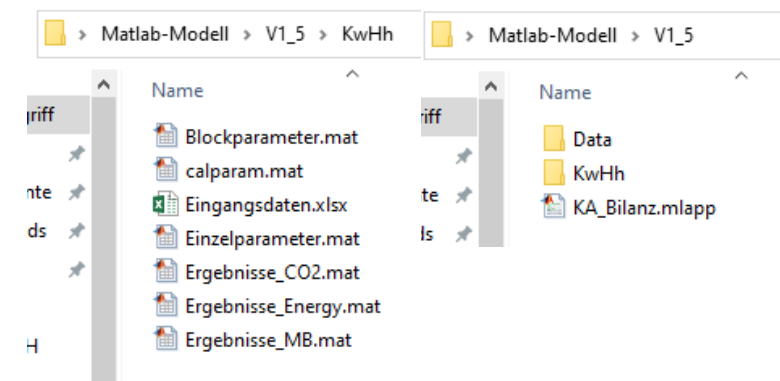
Ergebnisse

## verfügbare Module

- Zulauf
- Rechen/ Sandfang
- Vorklärung
- Belebung
- Belüftung Luft/ Reinsauerstoff
- Nachklärung
- Eindickung/ Entwässerung
- Faulung
- BHKW
- Mischung/ Aufteilung von Modellvektoren

## Module im Aufbau

- Ozonung (in Kooperation mit der RPTU)
- GAK (in Kooperation mit der RPTU)
- Teilstrombehandlung
- Elektrolyse (in Kooperation mit dem IfES der LUH)



# ISAH-Modellbibliothek – Impressionen

Modellaufbau

Wählen Sie die Module aus, die Sie verwenden möchten

Z

Modul\_Zulauf\_KA

X

VK

Modul\_Vorklaerung

X

BB

Modul\_Belebung

X

NK

Modul\_Nachklaerung

X

Modul1

Modul\_Zulauf\_KA

Modul\_Zulauf\_KA

Modul\_Rechen\_und\_Sandfang

Modul\_Vorklaerung

Modul\_Belebung

Modul\_Nachklaerung

Modul\_Entwaesserung

Modul\_Faulung

ok

weiter

©ISAH

Modellaufbau

Parametrisieren Sie die einzelnen Module

Z

Modul\_Zulauf\_KA

Q\_m3\_d\_Z

manuelle Eingabe

6200

TS\_kg\_m3\_Z

manuelle Eingabe

0.35

GV\_Prozent\_Z

manuelle Eingabe

80

P\_mg\_l\_Z

manuelle Eingabe

12

N\_mg\_l\_Z

manuelle Eingabe

52

VK

Modul\_Vorklaerung

Modellvektor\_zu\_VK

Modellvektor\_Z

Anschlussgroesse\_EW\_VK

Anschlussgroes...

Volumen\_VK\_m3\_VK

def

eta\_Q\_Prozent\_VK

manuelle Eingabe

1

eta\_TS\_Prozent\_VK

manuelle Eingabe

54

BB

Modul\_Belebung

Modellvektor\_zu\_BB

Modellvektor\_Abl\_VK

Anschlussgroesse\_EW\_BB

Anschlussgroes...

aerobe\_Stab\_beruecksichtigen\_BB

manuelle Eingabe

nein

TSBB\_kg\_m3\_BB

manuelle Eingabe

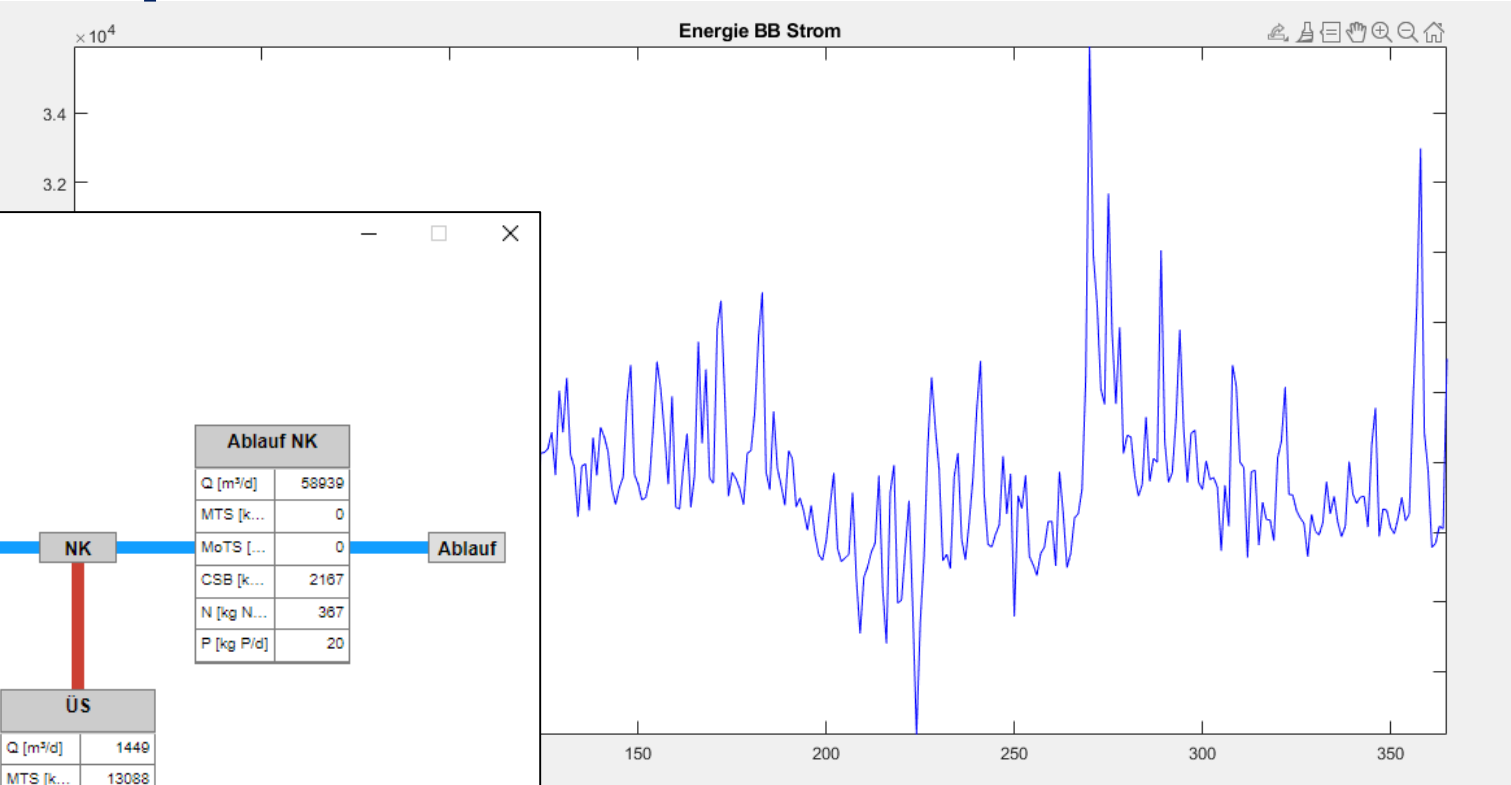
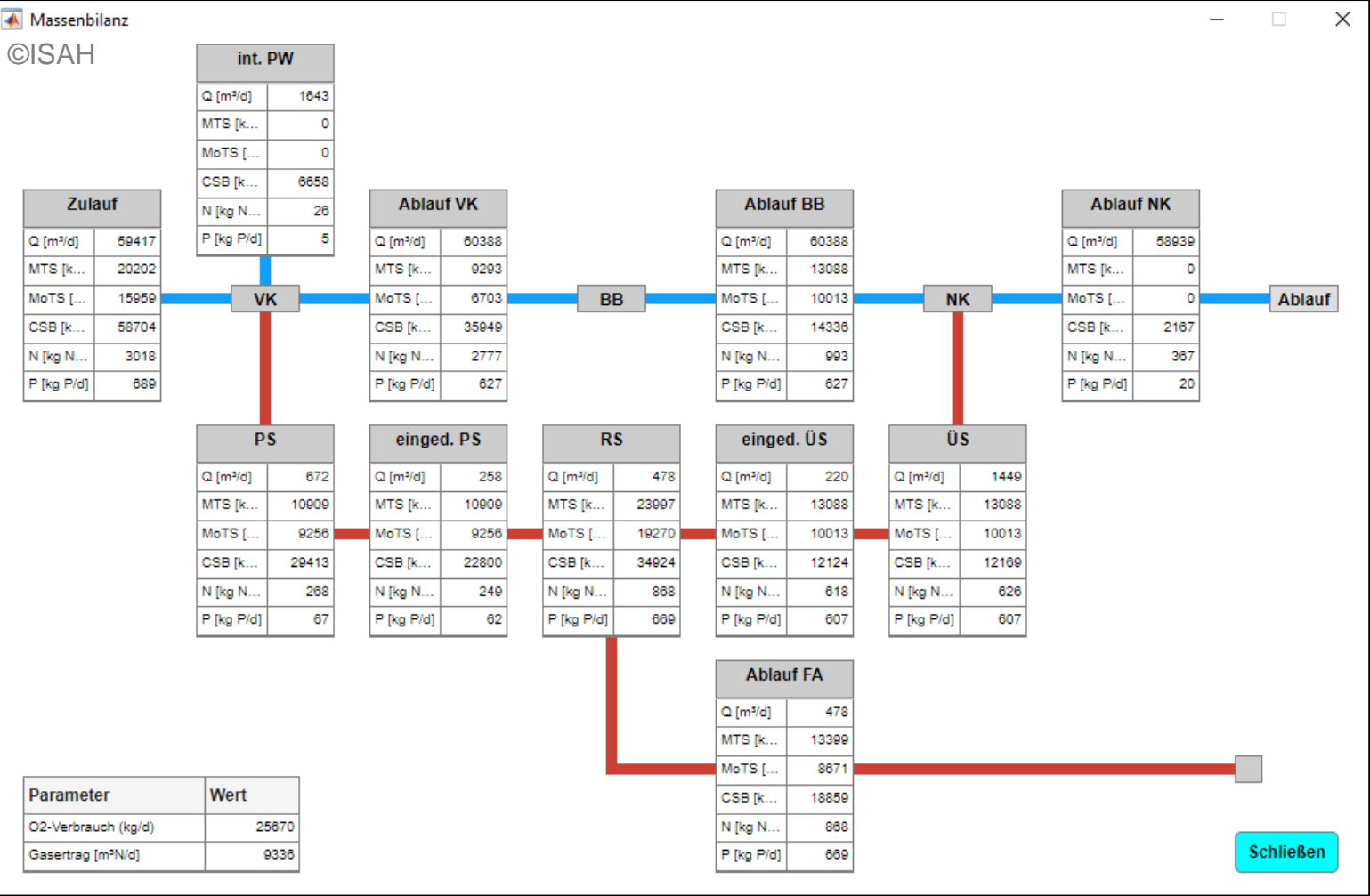
4

VBB\_m3\_BB

manuelle Eingabe

48750

# ISAH-Modellbibliothek – Impressionen



# Ausblick Online-Anwendung

←

→

↺

🔒

https://isah-modulbibliothek.de

©ISAH

☆

📧

⬇

☰

Projektname:

Projekt FC1948

Modell laden

Modell speichern

Parametrisierung

Automatische Kalibrierung

Berechnung

Ergebnisse anzeigen

Modultyp: Zulauf

Urheber: ISAH

CC-Lizenz: CC-BY

Datenbasis: DWA-M 368

Anwendbarkeit: a.R.d.T.

[weitere Informationen](#)

Z

Modul\_Zulauf\_KA

Q\_m3\_d\_Z

manuelle Eingabe

6200

TS\_kg\_m3\_Z

manuelle Eingabe

0.35

GV\_Prozent\_Z

manuelle Eingabe

80

P\_mg\_l\_Z

manuelle Eingabe

12

N\_mg\_l\_Z

manuelle Eingabe

52

Modultyp: Vorklärung

Urheber: ISAH

CC-Lizenz: CC-BY

Datenbasis: DWA-A 131

Anwendbarkeit: a.R.d.T.

[weitere Informationen](#)

VK

Modul\_Vorklaerung

Modellvektor\_zu\_VK

Modellvektor\_Z

Anschlussgroesse\_EW\_VK

Anschlussgroes...

Volumen\_VK\_m3\_VK

def

eta\_Q\_Prozent\_VK

manuelle Eingabe

1

eta\_TS\_Prozent\_VK

manuelle Eingabe

54

Modultyp: Belebung

Urheber: ISAH

CC-Lizenz: CC-BY

Datenbasis: DWA-A 131

Anwendbarkeit: a.R.d.T.

[weitere Informationen](#)

BB

Modul\_Belebung

Modellvektor\_zu\_BB

Modellvektor\_Abl\_VK

Anschlussgroesse\_EW\_BB

Anschlussgroes...

aerobe\_Stab\_beruecksichtigen\_BB

manuelle Eingabe

nein

TSBB\_kg\_m3\_BB

manuelle Eingabe

4

VBB\_m3\_BB

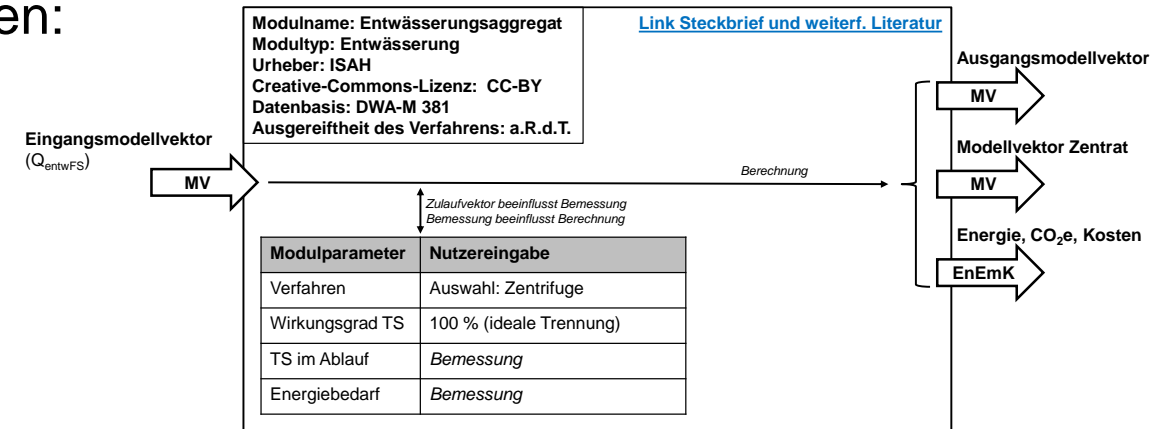
manuelle Eingabe

10750

# Online-Anwendung

Jedes Modul enthält gut sichtbar die folgenden Angaben:

- Urheber: Person, Einrichtung, Firma
- Kennzeichnung Creative-Commons-Lizenz
- Verlinkung zum FIS der LUH  
(<https://www.fis.uni-hannover.de/portal/>)
  - Ablage zugehöriger Dateien
    - Modulsteckbrief
    - Projektberichte
    - Veröffentlichungen
    - ...
  - Für jedes Modul wird ein eigener Ordner mit eigenem DOI erstellt
- Bei Bedarf: Verlinkung zur Webseite des Modulerstellers



Durchsuchen Sie das Forschungsportal

Die disziplinübergreifende Bündelung herausragender Einzelleistungen beschreibt den Weg der Leibniz Universität Hannover, exzellente Forschung international sichtbar zu machen. Erfahren Sie mehr in unserem Forschungsportal "Research@Leibniz University".

- Presseanfragen
- Support (intern)
- Login (intern)



# Transfer-Workshop „ISAH-Modul-Bibliothek“

04.März 2024, 9:00 – 11:00, Online

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



## Begrüßung + Vorstellung

### Block 1:

- 09:20 Erläuterung der Methodik
- 09:35 Einsatz der Modulbibliothek und Zugriff
- 09:50 Diskussion zur Methodik



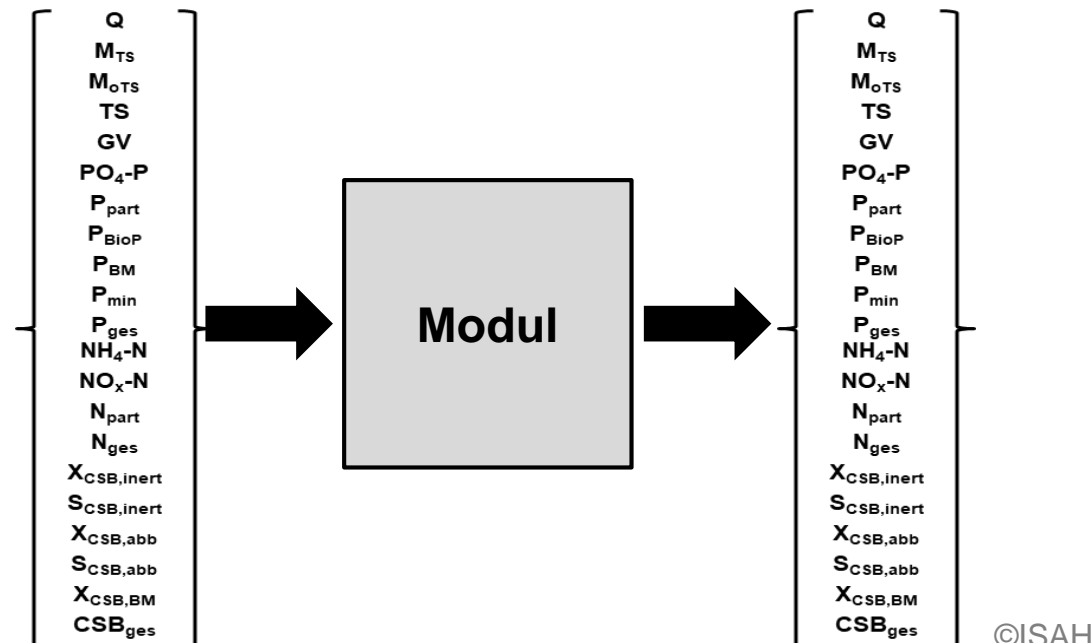
### Block 2: Wie werden Steckbriefe erstellt

- 10:00 Modulaufbau, Steckbrieferstellung + Beispiele
- 10:20 Zitation und Lizenzierung
- 10:30 Diskussion Verfahrensgeber  
(Fragen zum Vorgehen, weiteres Vorgehen)



# Informationsweitergabe

- Bei der Modellerstellung einer Prozesskette müssen Informationen zwischen den einzelnen Modulen ausgetauscht werden
- Informationen müssen von allen Modulen verarbeitet werden können  
→ einheitliches Format
- vordefiniertes Datenformat: Zusammenfassung der wesentlichen Parameter zur Charakterisierung von Abwasser und Klärschlämmen (siehe nächste Folie)



# Modellvektorformat

| Parameter                    | Beschreibung                                                             | Einheit    | Form       |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|------------|------------|
| <b>Q</b>                     | Abwasservolumenstrom                                                     | [m³/d]     | -          |
| <b>M<sub>TS</sub></b>        | Feststofffracht                                                          | [kg TS/d]  | partikulär |
| <b>M<sub>oTS</sub></b>       | Organische Feststofffracht                                               | [kg oTS/d] | partikulär |
| <b>TS</b>                    | $M_{TS}/Q$                                                               | [kg TS/m³] | -          |
| <b>GV</b>                    | $M_{oTS}/M_{TS} \cdot 100$                                               | [%]        | -          |
| <b>PO<sub>4</sub>-P</b>      | Orthophosphat-Phosphor                                                   | [kg P/d]   | gelöst     |
| <b>P<sub>part</sub></b>      | partikulär gebundener Phosphor                                           | [kg P/d]   | partikulär |
| <b>P<sub>BioP</sub></b>      | bei der BioP zusätzlich aufgenommener P                                  | [kg P/d]   | partikulär |
| <b>P<sub>BM</sub></b>        | in die Biomasse integrierter Phosphor                                    | [kg P/d]   | partikulär |
| <b>P<sub>min</sub></b>       | mineralisch gebundener Phosphor                                          | [kg P/d]   | partikulär |
| <b>P<sub>ges</sub></b>       | $(PO_4 - P) + P_{part} + P_{BioP} + P_{BM} + P_{min}$                    | [kg P/d]   | -          |
| <b>NH<sub>4</sub>-N</b>      | Ammoniumstickstoff                                                       | [kg N/d]   | gelöst     |
| <b>NO<sub>x</sub>-N</b>      | Nitrat- und Nitritstickstoff                                             | [kg N/d]   | gelöst     |
| <b>N<sub>part</sub></b>      | partikulär gebundener Stickstoff                                         | [kg N/d]   | partikulär |
| <b>N<sub>ges</sub></b>       | $(NH_4 - N) + (NO_x - N) + N_{part}$                                     | [kg N/d]   | -          |
| <b>X<sub>CSB,inert</sub></b> | partikulärer, inerter CSB                                                | [kg CSB/d] | partikulär |
| <b>S<sub>CSB,inert</sub></b> | gelöster, inerter CSB                                                    | [kg CSB/d] | gelöst     |
| <b>X<sub>CSB,abb</sub></b>   | partikulärer, abbaubarer CSB                                             | [kg CSB/d] | partikulär |
| <b>S<sub>CSB,abb</sub></b>   | gelöster, abbaubarer CSB                                                 | [kg CSB/d] | gelöst     |
| <b>X<sub>CSB,BM</sub></b>    | in die Biomasse integrierter CSB                                         | [kg CSB/d] | partikulär |
| <b>CSB<sub>hom</sub></b>     | $X_{CSB,inert} + S_{CSB,inert} + X_{CSB,abb} + S_{CSB,abb} + X_{CSB,BM}$ | [kg CSB/d] | -          |
| <b>CSB<sub>fil</sub></b>     | $S_{CSB,inert} + S_{CSB,abb}$                                            | [kg CSB/d] | gelöst     |

Vektor enthält nicht nur Summenparameter, sondern auch diverse Einzelfractionen

→ breite Anwendbarkeit für verschiedene Verfahren

ggf. spez.  
differenziert in  
verschiedenen  
Forschungs-  
projekten z.B.  
RePhoR

vorgegeben  
→ immer auf  
Messwerte  
rückführbar

*Parameter in grüner Schrift:  
Mitführung für vereinfachte  
Handhabung und Kalibrierung, mit  
Messwerten*



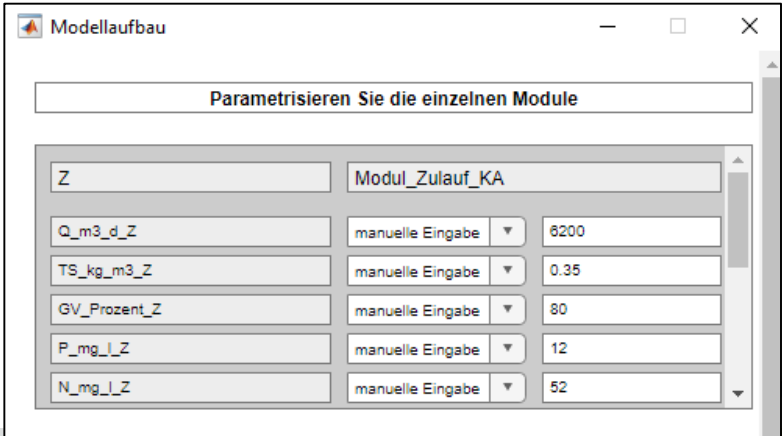
# Modellvektorformat

| Parameter                    | Beschreibung                                                             | Einheit    | Form       |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|------------|------------|
| <b>Q</b>                     | Abwasservolumenstrom                                                     | [m³/d]     | -          |
| <b>M<sub>TS</sub></b>        | Feststofffracht                                                          | [kg TS/d]  | partikulär |
| <b>M<sub>oTS</sub></b>       | Organische Feststofffracht                                               | [kg oTS/d] | partikulär |
| <b>TS</b>                    | $M_{TS}/Q$                                                               | [kg TS/m³] | -          |
| <b>GV</b>                    | $M_{oTS}/M_{TS} \cdot 100$                                               | [%]        | -          |
| <b>PO<sub>4</sub>-P</b>      | Orthophosphat-Phosphor                                                   | [kg P/d]   | gelöst     |
| <b>P<sub>part</sub></b>      | partikulär gebundener Phosphor                                           | [kg P/d]   | partikulär |
| <b>P<sub>BioP</sub></b>      | bei der BioP zusätzlich aufgenommener P                                  | [kg P/d]   | partikulär |
| <b>P<sub>BM</sub></b>        | in die Biomasse integrierter Phosphor                                    | [kg P/d]   | partikulär |
| <b>P<sub>min</sub></b>       | mineralisch gebundener Phosphor                                          | [kg P/d]   | partikulär |
| <b>P<sub>ges</sub></b>       | $(PO_4 - P) + P_{part} + P_{BioP} + P_{BM} + P_{min}$                    | [kg P/d]   | -          |
| <b>NH<sub>4</sub>-N</b>      | Ammoniumstickstoff                                                       | [kg N/d]   | gelöst     |
| <b>NO<sub>x</sub>-N</b>      | Nitrat- und Nitritstickstoff                                             | [kg N/d]   | gelöst     |
| <b>N<sub>part</sub></b>      | partikulär gebundener Stickstoff                                         | [kg N/d]   | partikulär |
| <b>N<sub>ges</sub></b>       | $(NH_4 - N) + (NO_x - N) + N_{part}$                                     | [kg N/d]   | -          |
| <b>X<sub>CSB,inert</sub></b> | partikulärer, inerter CSB                                                | [kg CSB/d] | partikulär |
| <b>S<sub>CSB,inert</sub></b> | gelöster, inerter CSB                                                    | [kg CSB/d] | gelöst     |
| <b>X<sub>CSB,abb</sub></b>   | partikulärer, abbaubarer CSB                                             | [kg CSB/d] | partikulär |
| <b>S<sub>CSB,abb</sub></b>   | gelöster, abbaubarer CSB                                                 | [kg CSB/d] | gelöst     |
| <b>X<sub>CSB,BM</sub></b>    | in die Biomasse integrierter CSB                                         | [kg CSB/d] | partikulär |
| <b>CSB<sub>hom</sub></b>     | $X_{CSB,inert} + S_{CSB,inert} + X_{CSB,abb} + S_{CSB,abb} + X_{CSB,BM}$ | [kg CSB/d] | -          |
| <b>CSB<sub>filt</sub></b>    | $S_{CSB,inert} + S_{CSB,abb}$                                            | [kg CSB/d] | gelöst     |

Vektor enthält nicht nur Summenparameter, sondern auch diverse Einzelfractionen

→ breite Anwendbarkeit für verschiedene Verfahren

- Fraktionierung erfolgt im Zulaufmodul → Rechengrößen
- Für die Erstellung weiterer Module muss angegeben werden, wie sich die einzelnen Fraktionen verhalten.



# Modellvektorformat

| Parameter          | Beschreibung                                                             | Einheit    | Form       |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------|------------|------------|
| Q                  | Abwasservolumenstrom                                                     | [m³/d]     | -          |
| M <sub>TS</sub>    | Feststofffracht                                                          | [kg TS/d]  | partikulär |
| M <sub>oTS</sub>   | Organische Feststofffracht                                               | [kg oTS/d] | partikulär |
| P <sub>ges</sub>   | $(PO_4 - P) + P_{part} + P_{BioP} + P_{BM} + P_{min}$                    | [kg P/d]   | -          |
| N <sub>ges</sub>   | $(NH_4 - N) + (NO_x - N) + N_{part}$                                     | [kg N/d]   | -          |
| CSB <sub>ges</sub> | $X_{CSB,inert} + S_{CSB,inert} + X_{CSB,abb} + S_{CSB,abb} + X_{CSB,BM}$ | [kg CSB/d] | -          |

| Parameter      | Beschreibung         | Einheit | Form       |
|----------------|----------------------|---------|------------|
| Q              | Abwasservolumenstrom | [m³/d]  | -          |
| X <sub>i</sub> | partikuläre Stoffe   | [kg/d]  | partikulär |
| S <sub>i</sub> | gelöste Stoffe       | [kg/d]  | gelöst     |

CSB<sub>hom</sub>, CSB<sub>fil</sub>

Vektor enthält nicht nur Summenparameter, sondern auch diverse Einzelfractionen

- breite Anwendbarkeit für verschiedene Verfahren
- Fraktionierung erfolgt im Zulaufmodul → Rechengrößen
  - Für die Erstellung weiterer Module muss angegeben werden, wie sich die einzelnen Fraktionen verhalten.

*Bei Bedarf können für die Modulbeschreibung (Steckbriefe) einfachere Formate verwendet werden → reduzierter Aufwand*

Jedes Modul besteht aus folgenden Elementen:

- Grundinformation zur Beurteilung der spez. Anwendbarkeit und Verlässlichkeit der Ergebnisse
  - Urheber (Institution oder Person)
  - Creative-Commons-Lizenz (insbesondere Veränderbarkeit und wirtschaftliche Nutzung des Moduls)
  - Angabe zur Quelle der hinterlegten Daten (Freitext, z. B. Labordaten, großtechnische Erprobung...)
  - Angabe zur Ausgereiftheit des Verfahrens (Auswahl: S.d.W, S.d.T, a.R.d.T.)
- Dateneingänge (werden aus anderen Modulen übernommen)
  - Modellvektoren und/ oder zusätzliche Einzelparameter
- Datenausgänge (können von anderen Modulen weitergenutzt werden)
  - Modellvektoren und/ oder zusätzliche Einzelparameter
  - Energie, CO<sub>2</sub>e, Kosten

Jedes Modul besteht aus folgenden Elementen:

- Modulparameter (nur für das Modul benötigt, z. B. Volumina, Wirkungsgrade, Energiebedarf...)
  - werden im Berechnungsteil verwendet
    - Auswirkung auf Verfahrensleistung (Massenbilanz, Energie, CO<sub>2</sub>e, Kosten)  
→ z. B. Volumen Vorklärung → Aufenthaltszeit → Wirkungsgrade
  - werden **durch den Nutzer vorgegeben** oder im Rahmen eines modulinternen **Bemessungsvorgangs** festgelegt (→ für alle Modulparameter muss ein Bemessungsschema oder ein Defaultwert hinterlegt sein)
- Bemessung: Festlegung der nicht definierten Modulparameter
  - Zwei Wege:
    1. Bemessung über Bemessungsschema (auf Basis von Mittelwerten oder 85-%-Perzentilwerten)
      - sollte in Abhängigkeit mindestens einer Fraktion eines Eingangsmodellvektors erfolgen, um so eine Abhängigkeit von der lokalen Abwasser-/ Schlammzusammensetzung bzw. -menge zu schaffen
      - z. B. Belebungsbeckenvolumen in Abhängigkeit der CSB-Fracht im Zulauf zum Modul Belebung
    2. vordefinierte Betriebsvarianten/ Verfahren
      - Für verschiedene Betriebsvarianten/ Verfahren werden Modulparametersets vordefiniert und bei Auswahl einer Betriebsvariante/ eines Verfahrens automatisch geladen
      - z. B. Art der Trocknung = Bandtrockner → Energieverbrauch, Entwässerungsgrad...
  - Bemessungswerte werden bei der anschließenden Berechnung nicht mehr verändert

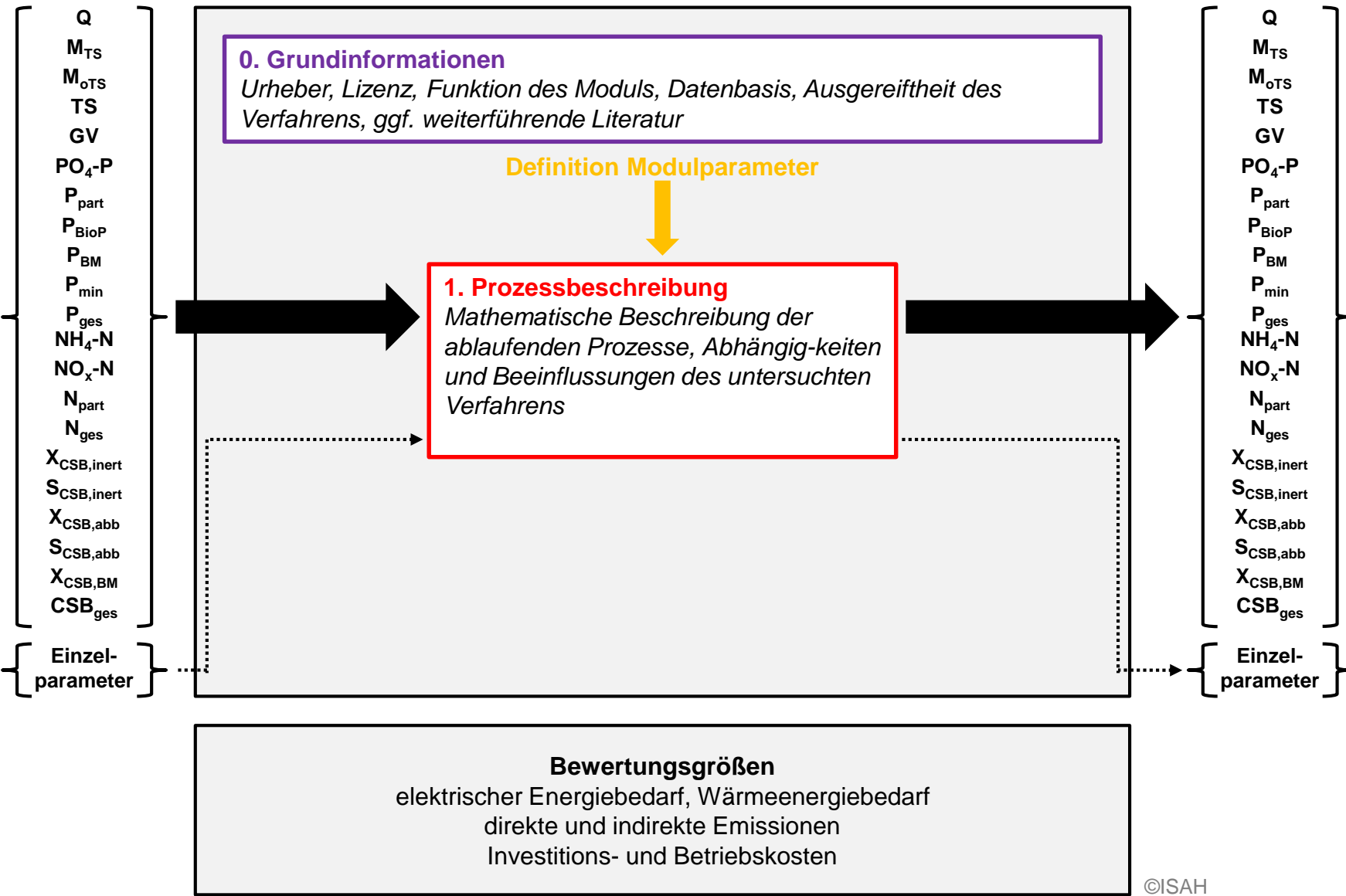
# Modulaufbau

---

Jedes Modul besteht aus folgenden Elementen:

- Berechnung: Berechnung sämtlicher Ausgänge
  - Modellvektoren, Einzelparameter, Energiebedarf, CO<sub>2</sub>e-Emission, Kosten
  - Ergebnisse hängen vom Eingangsmodellvektor und von globalen Anlagenparametern (z. B. Kostenkennzahlen) ab
  - Verwendung von Einzelwerten (z. B. Jahresbilanz) und Zeitreihen (z. b. tagesscharf, stundenscharf...)

# Vorgehen Steckbrieferstellung



- Grundinformation und Aufgabe:**
- Urheber (Institution oder Person)
  - Creative-Commons-Lizenz (insbesondere Veränderbarkeit und wirtschaftliche Nutzung des Moduls)
  - Funktion (1 – 3 Sätze)
  - Datenbasis (Stichpunkte, z. B. Messdaten, Literatur...)
  - Ausgereiftheit des Verfahrens (Auswahl: S.d.W, S.d.T, a.R.d.T.)
  - ggf. weiterführende Literatur
- Prozessbeschreibung:**
- Angabe aller benötigten Formeln zur Berechnung sämtlicher Ausgänge /Modellvektoren + Einzelparameter)
- Definition Modulparameter:**
- Definition zusätzlicher modulinterner Parameter
    - Parametername
    - Formelzeichen
    - Einheit
    - Defaultwert

# Steckbriefaufbau

## Prozessbeschreibung:

- Nutzung des unten dargestellten Tabellenformats (für Modellvektor kann ein vereinfachtes Format genutzt werden, z. B. nur Unterscheidung gelöst/ partikulär)
- alternativ direkte Angabe über Formeln
- auch angeben, wenn ein sich eine Modellvektorfraktion nicht verändert

| Energie-CO <sub>2</sub> e-Kosten-Vektor |            |
|-----------------------------------------|------------|
| ECKV ab                                 | Berechnung |
| E <sub>S</sub>                          |            |
| E <sub>H</sub>                          |            |
| CO <sub>2</sub> e <sub>indir</sub>      |            |
| CO <sub>2</sub> e <sub>dir</sub>        |            |
| K <sub>Invest</sub>                     |            |
| K <sub>Betrieb</sub>                    |            |

| Einzelparameter |            |
|-----------------|------------|
| EP ab           | Berechnung |
| EP1             |            |
| EP2             |            |
| ...             | ...        |

| Modellvektor         |                |                    |
|----------------------|----------------|--------------------|
| MV ab                | Transformation | MV zu              |
| Q =                  |                | Q                  |
| M <sub>TS</sub> =    |                | M <sub>TS</sub>    |
| M <sub>oTS</sub> =   |                | M <sub>oTS</sub>   |
| TS =                 |                | TS                 |
| GV =                 |                | GV                 |
| PO <sub>4</sub> -P = |                | PO <sub>4</sub> -P |
| P <sub>part</sub> =  |                | P <sub>part</sub>  |
| P <sub>BioP</sub> =  |                | P <sub>BioP</sub>  |
| P <sub>BM</sub> =    |                | P <sub>BM</sub>    |
| P <sub>min</sub> =   |                | P <sub>min</sub>   |
| P <sub>ges</sub> =   |                | P <sub>ges</sub>   |
| ...                  | ...            | ...                |

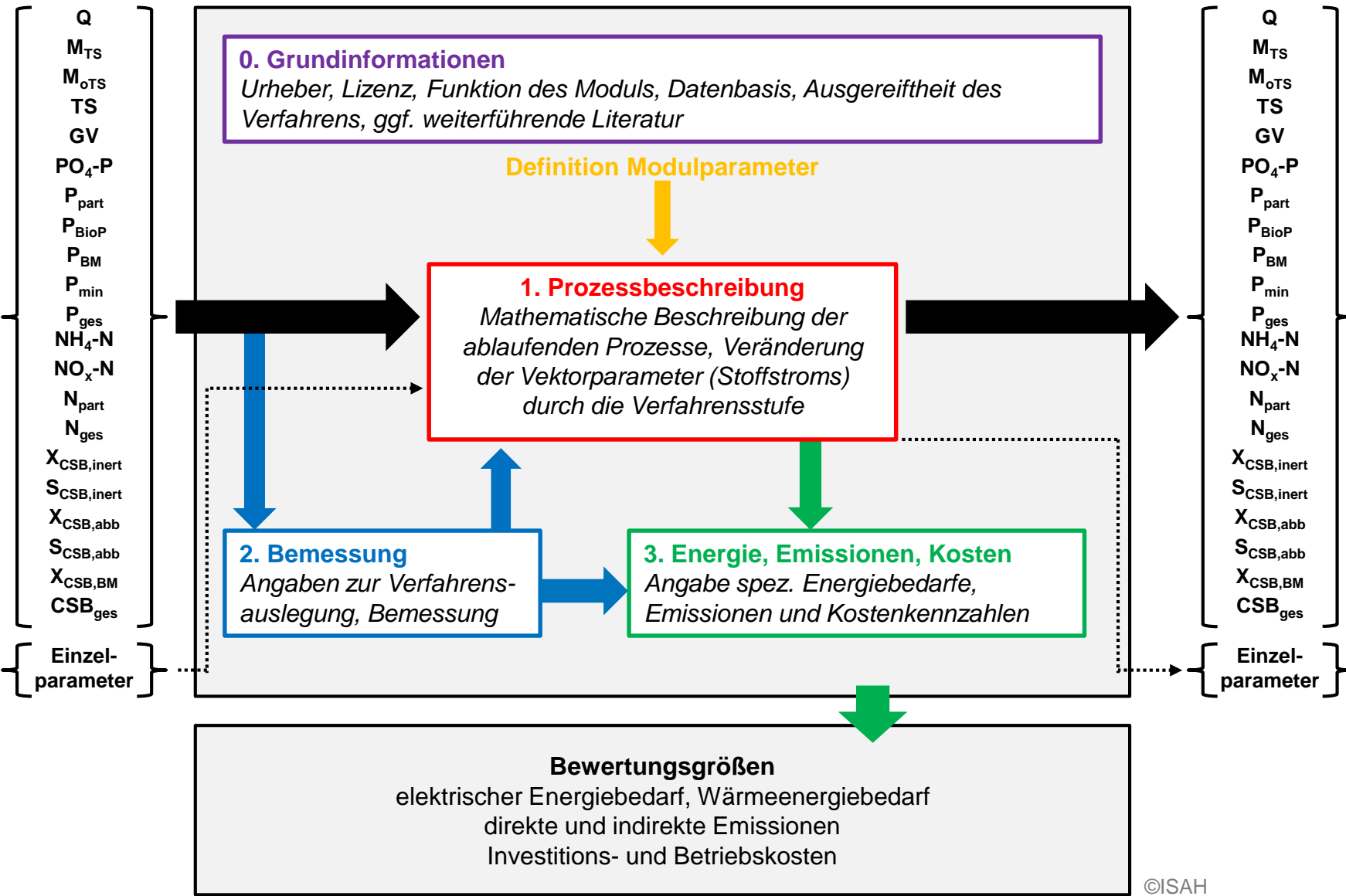
| Modellvektor (nur gelöst/ partikulär) |                |                   |
|---------------------------------------|----------------|-------------------|
| MV ab                                 | Transformation | MV zu             |
| Q =                                   |                | Q                 |
| S <sub>i,zu</sub> =                   |                | S <sub>i,ab</sub> |
| X <sub>i,zu</sub> =                   |                | X <sub>i,ab</sub> |

Zulässige Operatoren und Funktionen

- Standardoperatoren: +, -, \*, /, (, ), ...
- WENN-DANN-Beziehungen
- MIN-/ MAX-Beziehungen
- Iterationen/ Schleifen



# Vorgehen Steckbrieferstellung



- Bemessung:**
- Für die Berücksichtigung der unterschiedlichen Belastungssituationen der Szenarienalternativen müssen die technischen Basismodule einen Bemessungsschritt beinhalten!
  - Auslegung der dominanten Einflussgrößen auf die Bau- und Betriebskosten, den Energieverbrauch, die Emissionen sowie die Modulleistung
  - 2 Wege zur Auslegung von Modulparametern
    1. Bemessungsschema
    2. vordefinierte Betriebsvarianten/ Verfahren



# Bsp. Faulung – Übersicht

Grün: durch den Steckbriefersteller anzugeben

Modulname: Faulbehälter  
Modultyp: Faulung  
Urheber: **ISAH**  
Creative-Commons-Lizenz: **CC-BY**  
Datenbasis: **DWA-M 368**  
Ausgereiftheit des Verfahrens

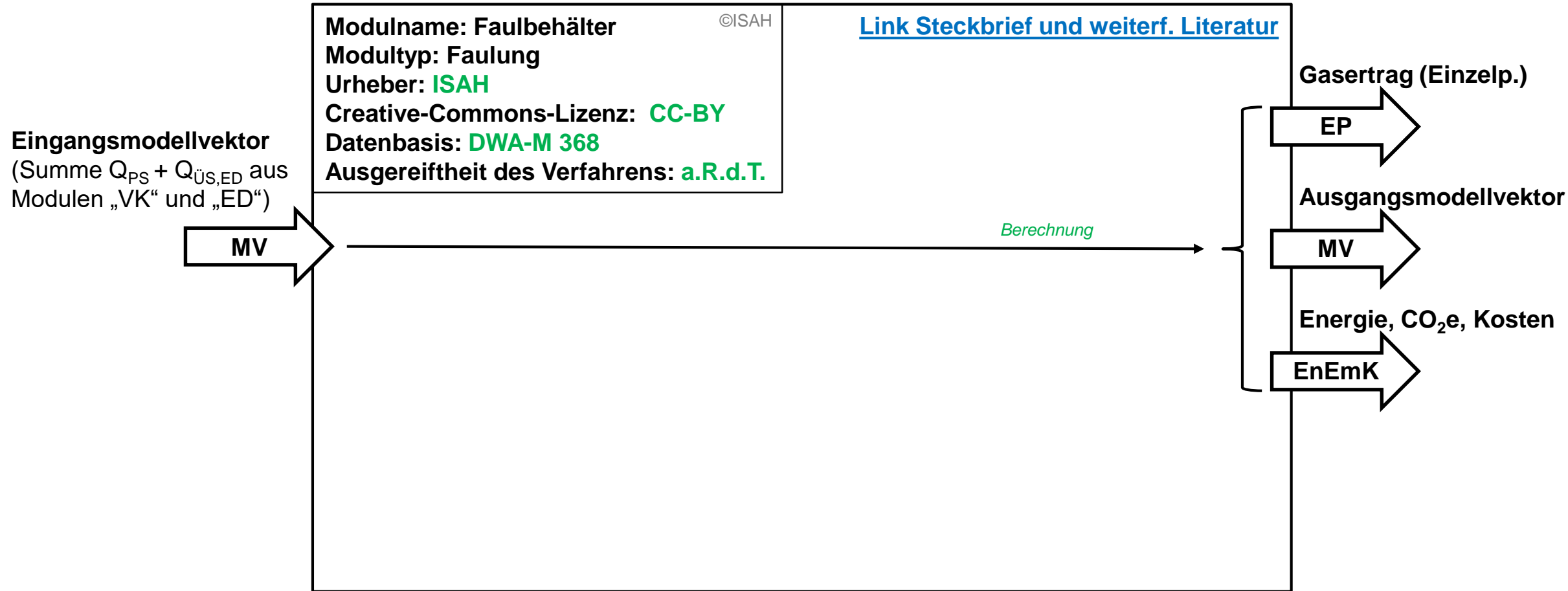
[Link Steckbrief und weiterf. Literatur](#)

The screenshot shows the 'Pure' repository interface of Leibniz Universität Hannover. The left sidebar contains navigation links: Eigene Übersicht, Publikationen, Aktivitäten, Preise, Presse/Medien, Fördermittelanträge, Bewilligungen, Projekte, Ausgründungen, Datasets (highlighted), Eigene Datasets (2), Ausstattung/Einrichtung, and CVs. The main content area shows search results for 'Suche nach Datasets'. The first result is 'Modellmodul Faulung (ISAH, 2024)' by Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik (Urheber\*in), Forschungsdaten-Repositorium der LUH (2024). The DOI is 10.25835/xvfb8rb, and the URL is https://data.uni-hannover.de/dataset/91366fee-889c-4f0d-92f3-dc98bd902529. Below the title, a table lists the dataset files:

| Name                         | Änderungsdatum   |
|------------------------------|------------------|
| Steckbrief_Modul_Faulung.pdf | 15.02.2024 12:16 |

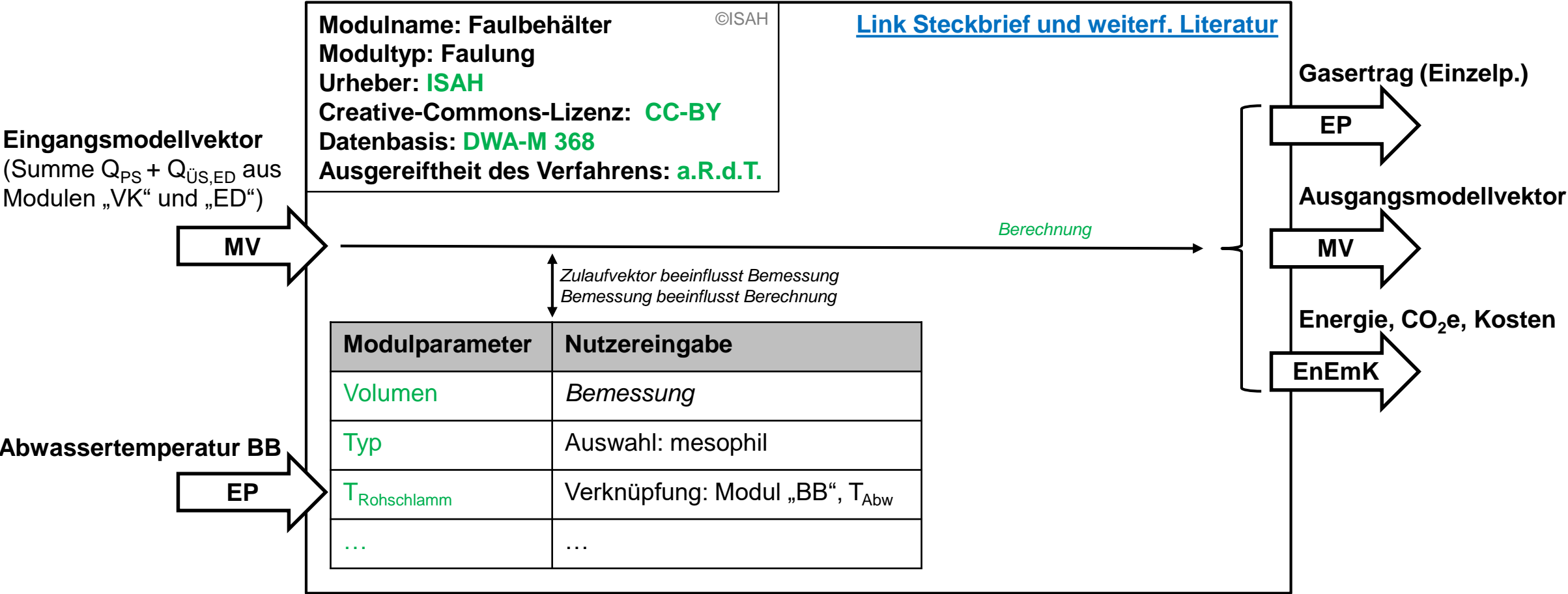
# Bsp. Faulung – Übersicht

Grün: durch den Steckbriefersteller anzugeben



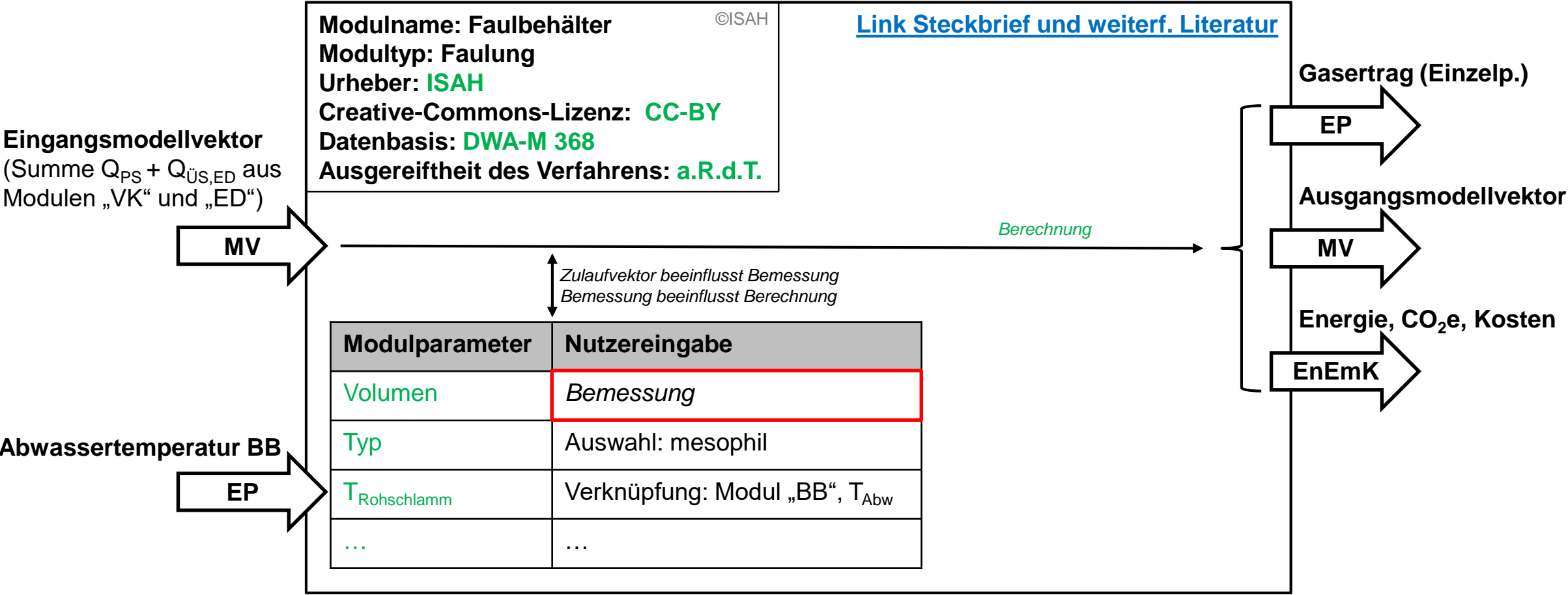
# Bsp. Faulung – Übersicht

Grün: durch den Steckbriefersteller anzugeben



# Bsp. Faulung – Übersicht

Grün: durch den Steckbriefersteller anzugeben

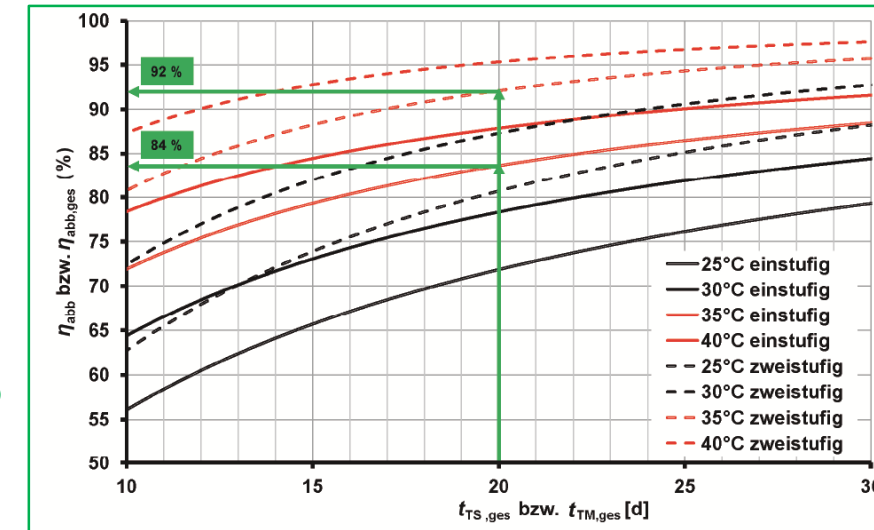


- Im vorliegenden Beispiel wurde ausgewählt, dass das Volumen der Faulbehälter bemessen werden soll.
  - Im Algorithmus werden zwei Bemessungskriterien definiert:
    - Stabilisierungszeit  $t_{St} > 20 \text{ d}$   $\rightarrow V_{FB,1} > Q_{FS} \times 20$
    - Raumbelastung  $B_{R,oTS} < 1,5 \text{ kg oTS/m}^3/\text{d}$   $\rightarrow V_{FB,2} > M_{oTS,zu} / 1,5$
  - gewähltes Volumen:  $V_{FB} = \max(V_{FB,1}; V_{FB,2})$
- Aus dem Volumen ergeben sich schließlich die Abbauraten für CSB und oTS:  
 $V_{FB} \rightarrow t_{\text{Aufenthaltszeit}} \rightarrow \eta_{CSB,abb} + \eta_{oTS,abb}$

# Bsp. Faulung – Berechnung

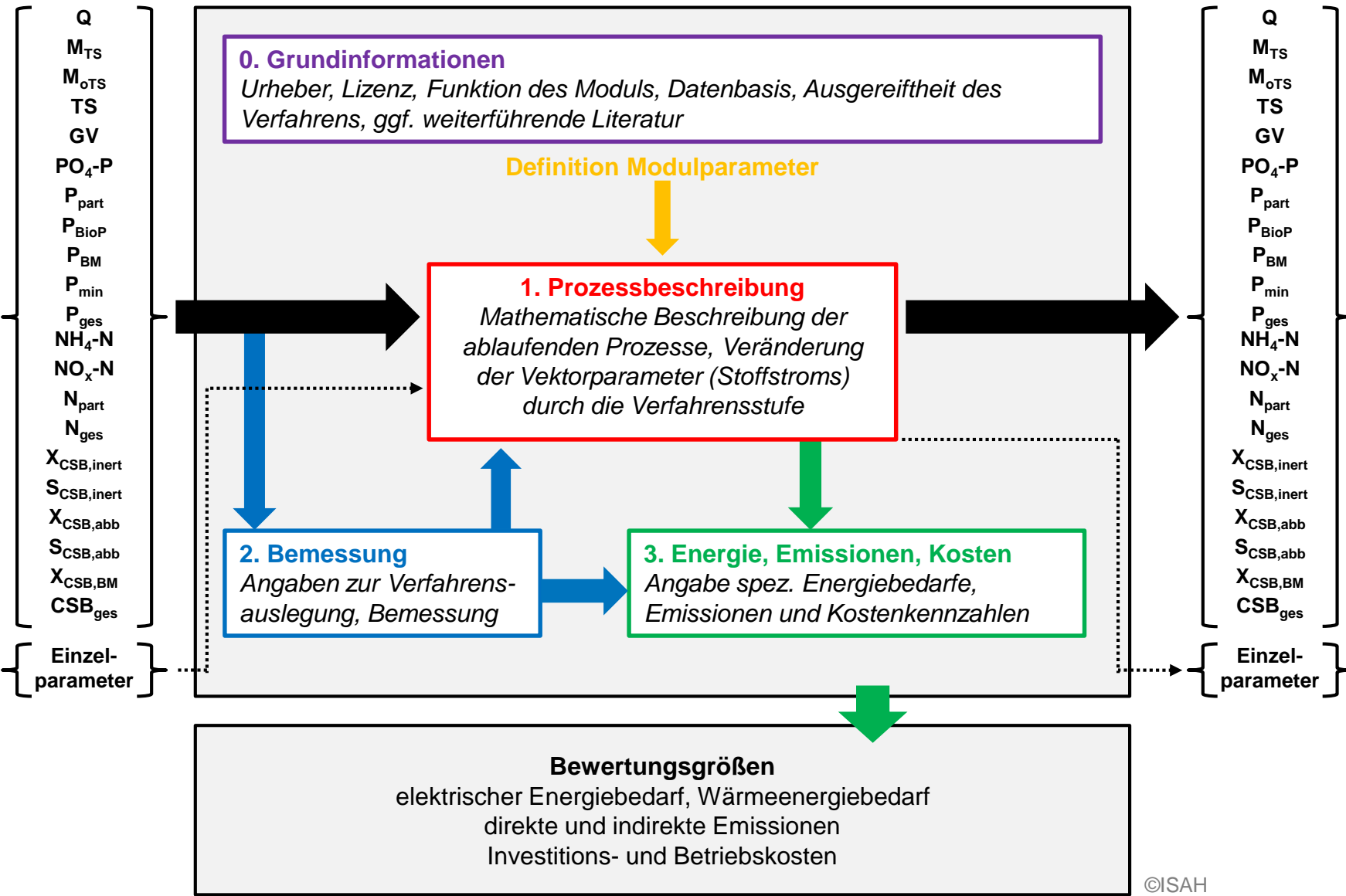
- Es werden folgende Prozesse berücksichtigt:
  - Abbau oTS → Abbaugrad in Abhängigkeit der Aufenthaltszeit
  - Abbau  $CSB_{abb}$  → Abbaugrad in Abhängigkeit der Aufenthaltszeit
  - Rücklösung von in die Biomasse eingebautem Stickstoff →  $NH_4-N$
  - Rücklösung von in die Biomasse eingebautem Phosphor →  $PO_4-P$
  - Faulgasertrag in Abhängigkeit des umgesetzten CS
- Energie:
  - Berücksichtigung Strombedarf
  - Berücksichtigung Wärmebedarf (Schlammaufheizung + Abstrahlungsverluste)
- Emissionen:
  - Indirekte Emissionen z.B. durch Strombedarf und Betriebsmittel (Fe-Dosierung...)
  - Direkte Methanemissionen (Undichtigkeiten, Druckabnahme im Ablauf der Faulung)
- Kosten:
  - Invest aus Bemessung
  - Betriebskosten aus Verbrauch

Grün: durch den Steckbriefersteller anzugeben



Quelle: DWA-M 368

# Vorgehen Steckbrieferstellung



- Bemessung:**
- Für die Berücksichtigung der unterschiedlichen Belastungssituationen der Szenarienalternativen müssen die technischen Basismodule einen Bemessungsschritt beinhalten!
  - Auslegung der dominanten Einflussgrößen auf die Bau- und Betriebskosten, den Energieverbrauch, die Emissionen sowie die Modulleistung
  - 2 Wege zur Auslegung von Modulparametern
    1. Bemessungsschema
    2. vordefinierte Betriebsvarianten/ Verfahren
- Energie, Emissionen, Kosten:**
- Spezifische Energieverbräuche (el. Energie + Wärme)
  - Emissionsmodelle direkte Emissionen ( $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$ ) + Emissionsfaktoren für indirekte Emissionen
  - spezifische Kostenkennwerte für die Betriebskosten und (falls vorhanden) Kostenkurven für die Abschätzung der Investitionskosten

# Aktuell berücksichtigte Größen



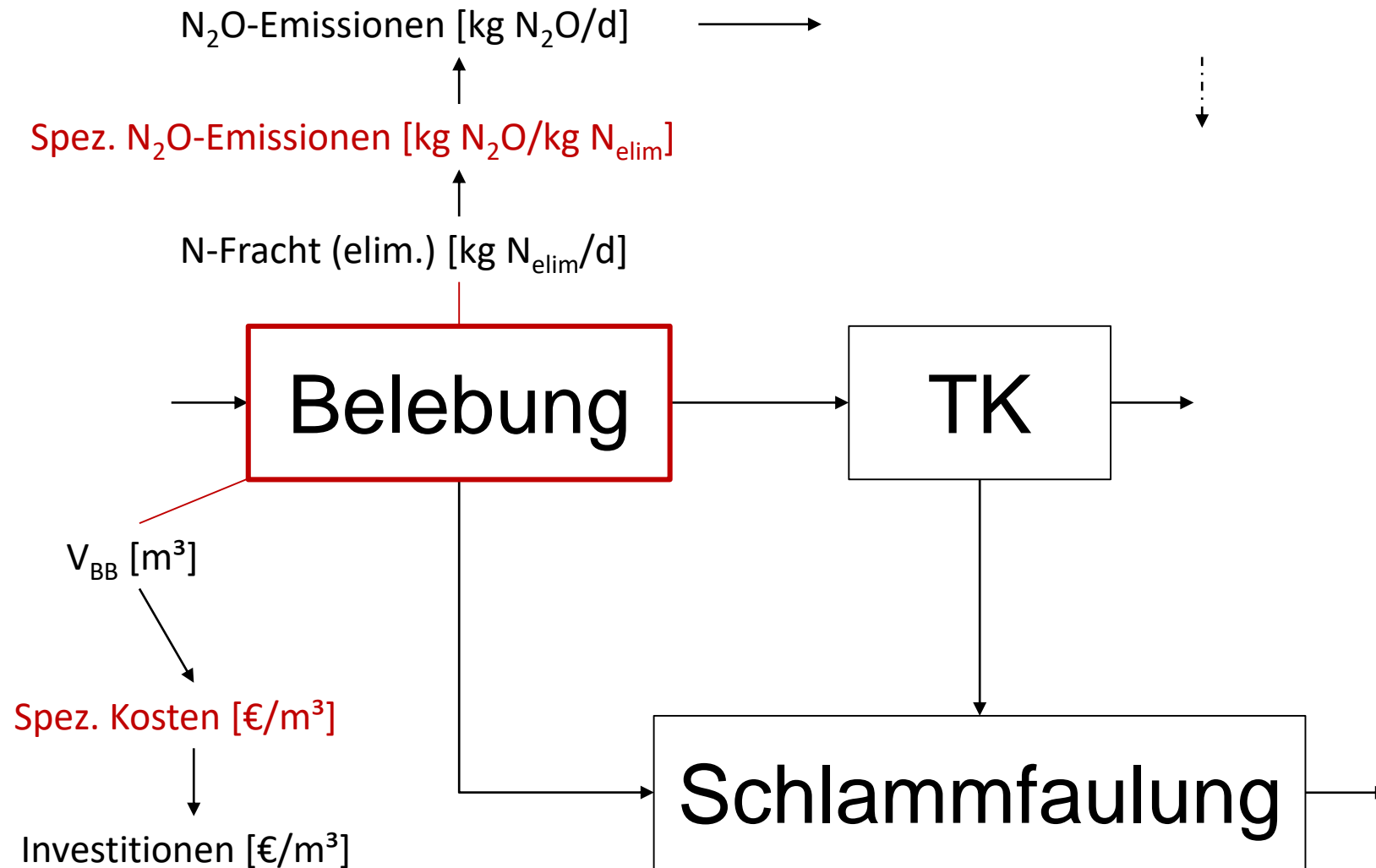
**anpassbar**  
durch Verfahrensgeber  
und Methodiknutzer

| Ökonomisch                   | Ökologisch (CO <sub>2</sub> -Footprint) |
|------------------------------|-----------------------------------------|
| <u>Investitionen</u>         | <u>Direkte Emissionen</u>               |
| Bautechnik                   | Methan (CH <sub>4</sub> )               |
| Maschinentechnik             | Lachgas (N <sub>2</sub> O)              |
| Elektrotechnik               |                                         |
| <u>Betriebskosten</u>        | <u>Indirekte Emissionen</u>             |
| Energie                      | Energieerzeugung                        |
| Personal                     | Betriebsmittelproduktion                |
| Wartung                      | Schlammentsorgung                       |
| Betriebsmittel               | Nicht berücksichtigt: Infrastruktur     |
| Reststoffentsorgung          |                                         |
| <u>Betriebserträge</u>       |                                         |
| Energieerzeugung aus Faulgas |                                         |

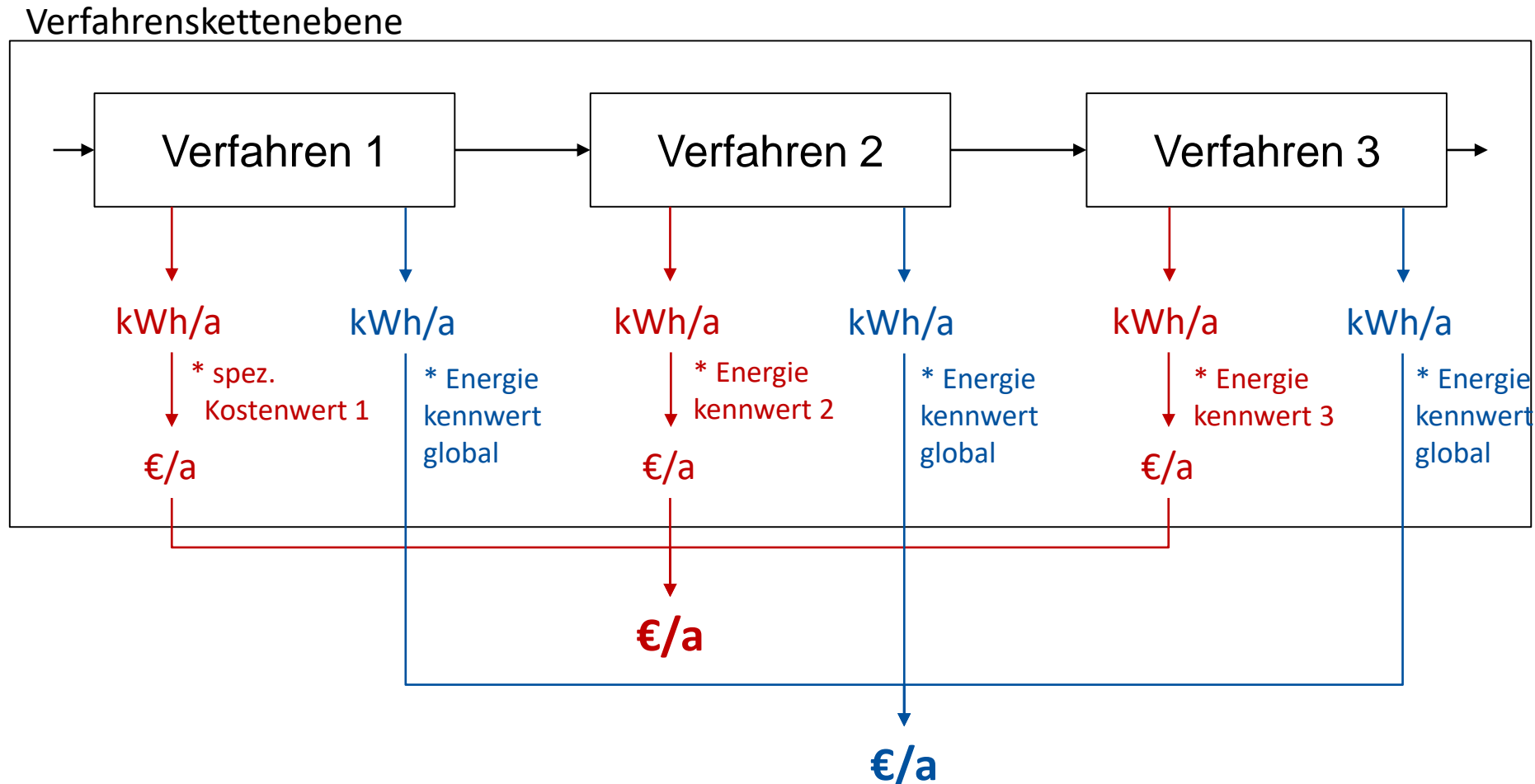
Siehe auch Beier/Kabisch – Expoplan TP 3  
BMBF 02WA1450C



# Konzept: lokale Differenzierung über spezifische Kennwerte



# Definitionsebene der spez. Kennwerte

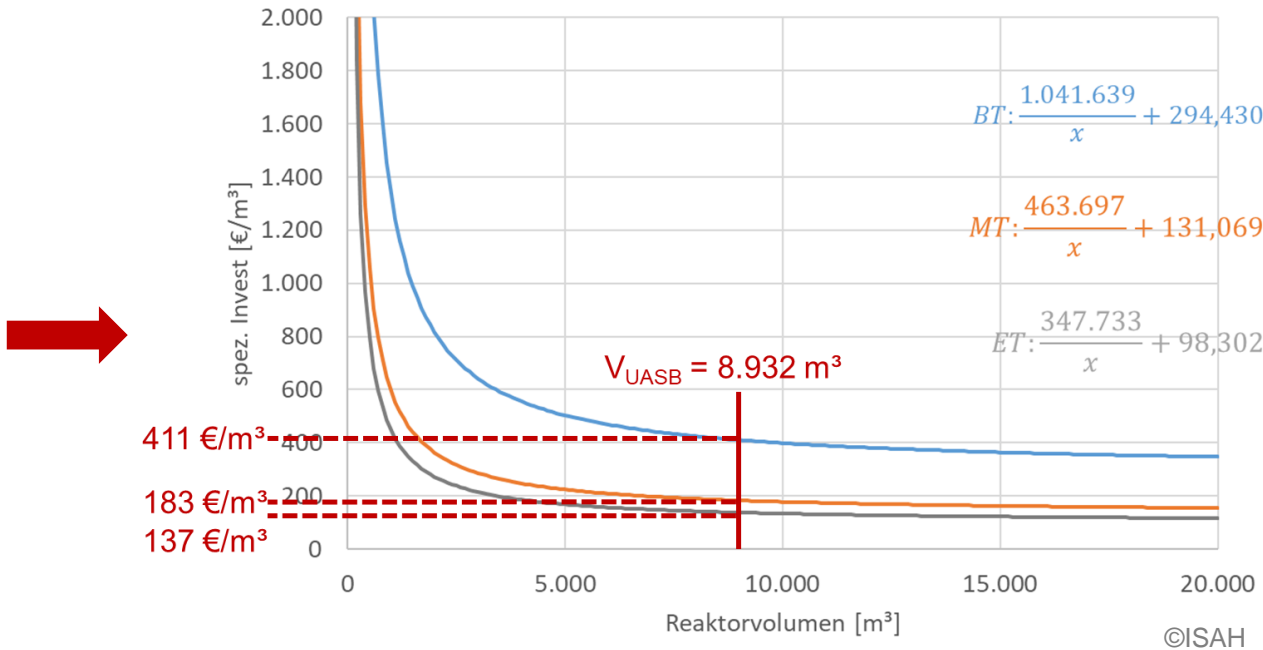


- Muss der spez. Kostenkennwert **lokal** oder **global** definiert werden?
- Werden für unterschiedliche Verfahren unterschiedliche spez. Kennwerte benötigt?

# Berechnung der Investitionen

|                     |                                                                                                                                          |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                     | Investitionen                                                                                                                            |
| Was wird bewertet?  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Bautechnik</li> <li>Maschinentechnik</li> <li>Elektrotechnik</li> </ul> <p>Verfahrens-bezogen</p> |
| Sachbilanz-Ergebnis | Bemessungsgröße [Kostentreiber]                                                                                                          |
| Bewertungs kennwert | €/Kostentreiber lokal                                                                                                                    |
| Bewertungs größe    | €/a                                                                                                                                      |

Beispiel UASB:



# Vorgehen: Jahreskostenberechnung

## Investitionen

„Investitionsrelevante  
Bemessungsgröße“  
z.B.  $V \text{ [m}^3\text{]}$

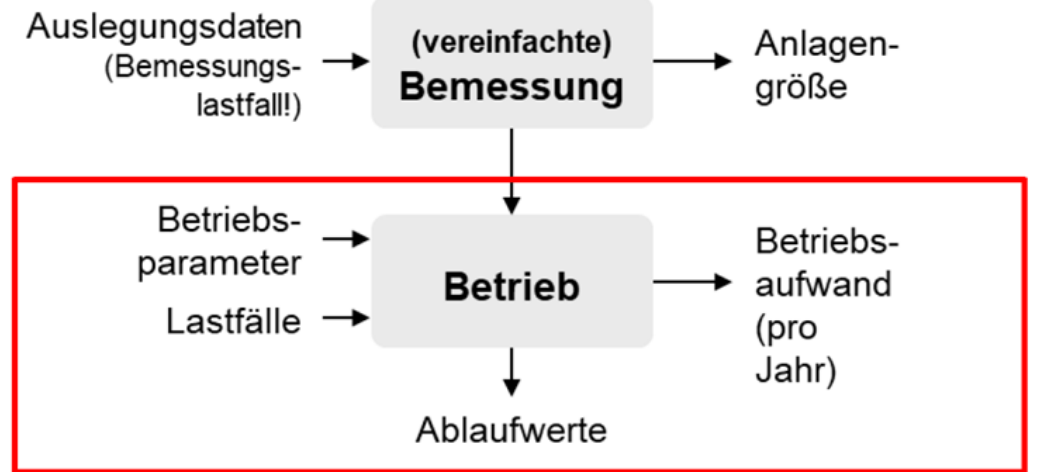
Spezifischer Kostenwert  
z.B. in  $\text{€}/\text{m}^3$

Gesamtinvestitionen  
BT, MT & ET [€]

KVR-Leitlinien

Nutzungsdauern, Zinsen

**Jahreskosten [€/a]**

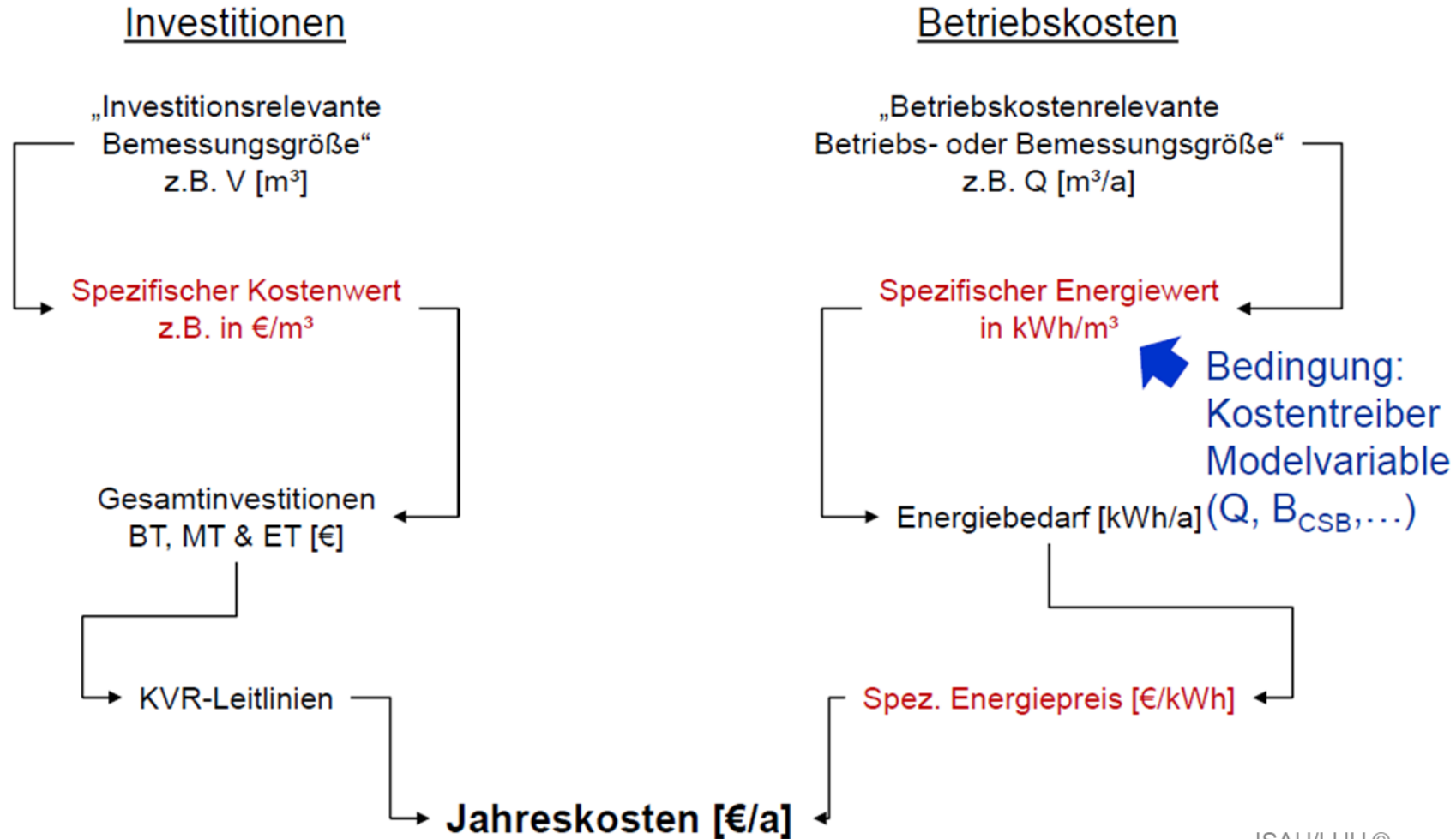


ISAH/LUH ©

Siehe auch Beier/Kabisch – Expoplan TP 3  
BMBF 02WA1450C

# Vorgehen: Jahreskostenberechnung

Siehe auch Beier/Kabisch – Expoplan TP 3  
BMBF 02WA1450C



ISAH/LUH ©

# Berechnung der Betriebskosten

**Energiebedarf:** Berechnung erfolgt über das DWA-Arbeitsblatt 216

- Rührwerke
- Pumpen
- Räumer
- Belüftung Belebung
- Schlammwindickung und -entwässerung
- Schlammwärmehung/Transmissionswärmeverluste
- Biogasverwertung

**Betriebsmittelbedarf:** Berechnung erfolgt über DWA-Merkblätter

- Fällmittelbedarf (DWA-A 202)
- Polymerbedarf (DWA-M 366)

**Personalbedarf:**

- Abschätzung durch den Anwender in h/a pro Verfahren

**Wartungskosten:**

- Abschätzung auf Basis der Investitionen in %/a

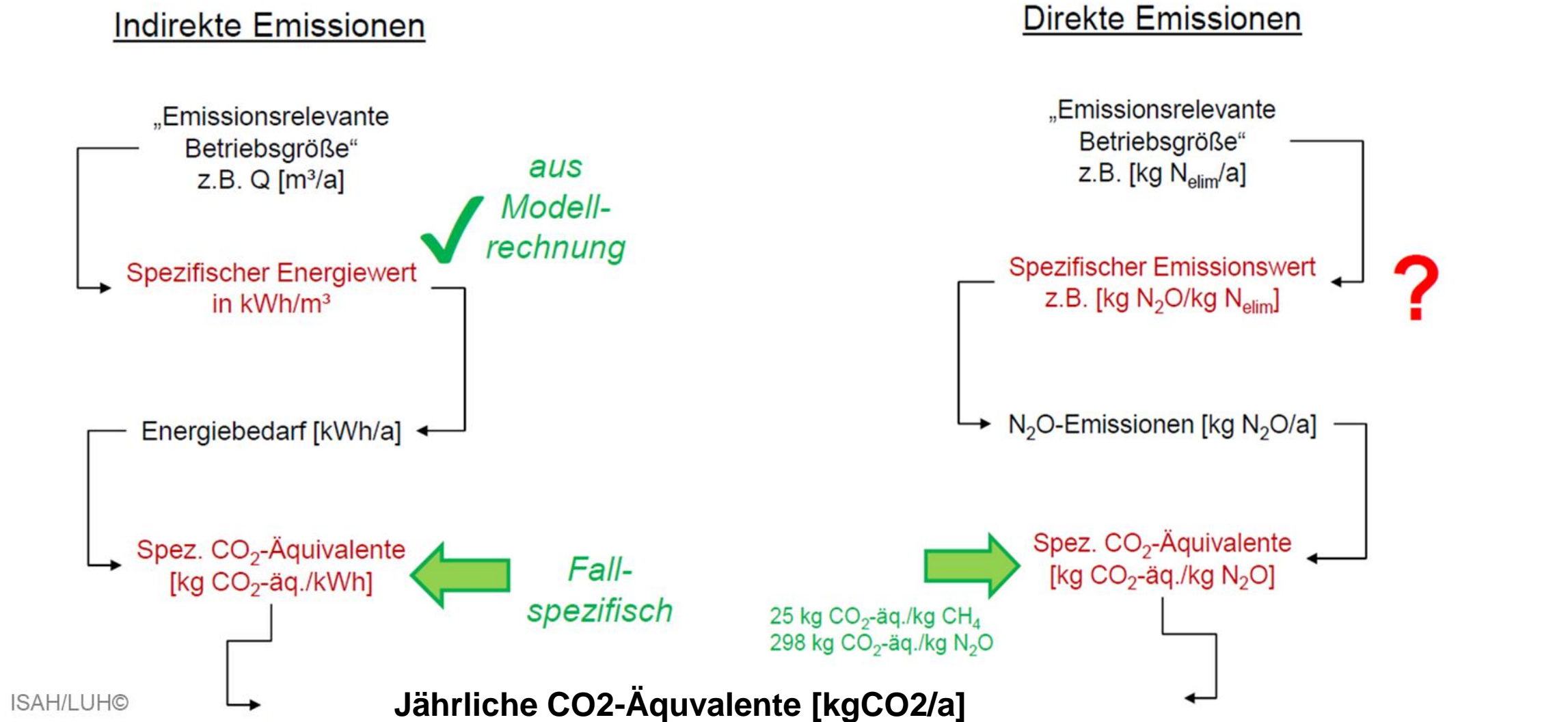
**Schlammwärmehungskosten:**

- Festlegung im Entsorgungsmodul in €/t OS, ergibt €/a

Siehe auch Beier/Kabisch – Expoplan TP 3  
BMBF 02WA1450C

# CO<sub>2</sub>e-Modell: Aggregation auf Jahreswerte

Siehe auch Beier/Kabisch – Expoplan TP 3  
BMBF 02WA1450C



# Dokumentation der Bewertungsgrößen

Beispiel

| VK                   | UASB                | TK                    | Belebung           | Teiche                 | Entwässerung            | Faulung             | Schlamm-trocknung      | Ent                         |
|----------------------|---------------------|-----------------------|--------------------|------------------------|-------------------------|---------------------|------------------------|-----------------------------|
| Investitionen        | Investitionen       | Investitionen         | Investitionen      | Investitionen          | Investitionen           | Investitionen       | Investitionen          | -                           |
| Wartung              | Wartung             | Wartung               | Wartung            | Wartung                | Wartung                 | Wartung             | Wartung                | -                           |
| Personal             | Personal            | Personal              | Personal           | Personal               | Personal                | Personal            | Personal               | -                           |
| Energie Räumer       | Energie Zulaufpumpe | Energie Zulaufpumpe   | Energie Rührwerk   | Energie Belüftung      | Energie Entwässerung    | Energie Zulaufpumpe | Energie Pauschal       | Kosten Schlamm-tersorgung   |
| Energie Schlammpumpe | Energie Gutschrift  | Energie Rezi-Pumpe    | Energie Rezi-Pumpe | Lachgas Nitrifikation  | Polymerbedarf           | Wärmenergie         | Methan anaerober Abbau | Lachgas Schlamm-verbrennung |
|                      | Methan Ablauf       | Lachgas Nitrifikation | Energie RS-Pumpe   | Methan anaerober Abbau | Methan Schlupf (bei FS) | Energie Gutschrift  |                        |                             |
|                      | Methan Schlupf      |                       | Energie Belüftung  |                        |                         | Methan Schlupf      |                        |                             |
|                      |                     |                       | Lachgas Deni/Nitri |                        |                         |                     |                        |                             |
|                      |                     |                       | Fällmittelbedarf   |                        |                         |                     |                        |                             |

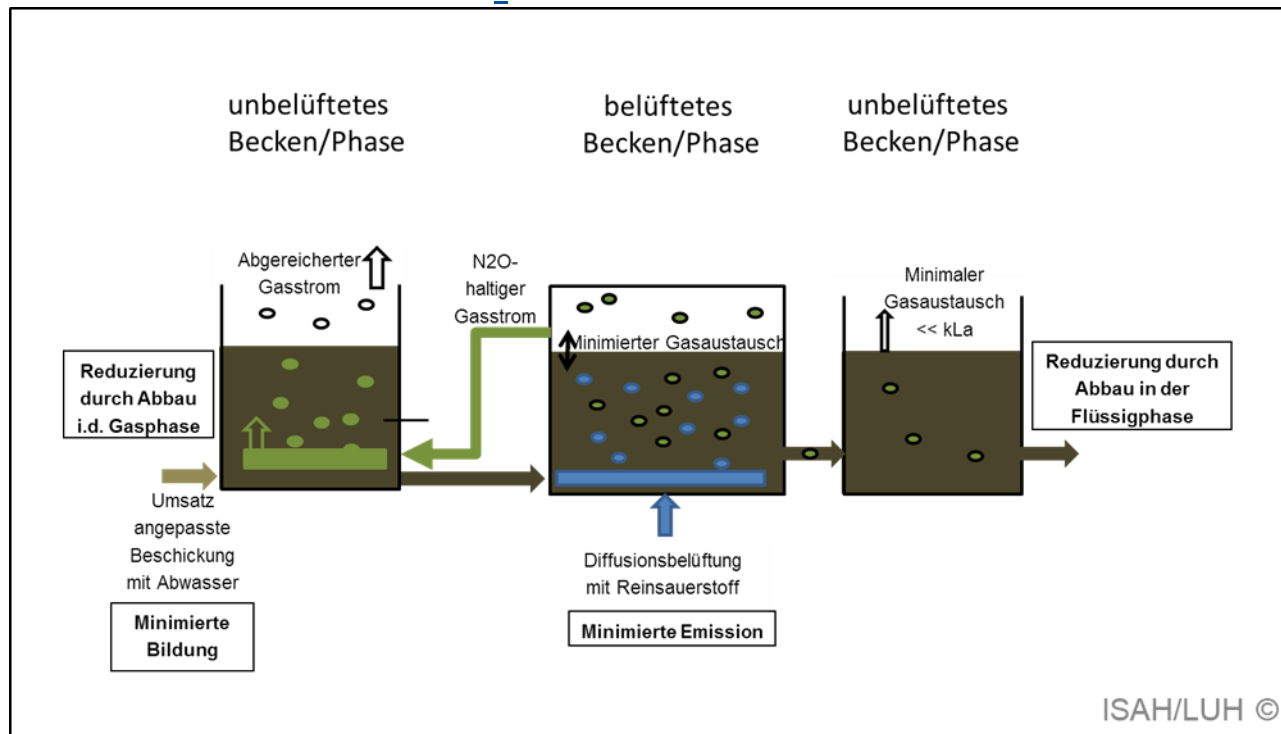
|        |         |  |                |                    |
|--------|---------|--|----------------|--------------------|
| Kosten | Energie |  | Betriebsmittel | Direkte Emissionen |
|--------|---------|--|----------------|--------------------|

- modularer Aufbau
- schnell anpassbar + sehr flexibel
- auf viele Anwendungen übertragbar
- erprobte Methodik



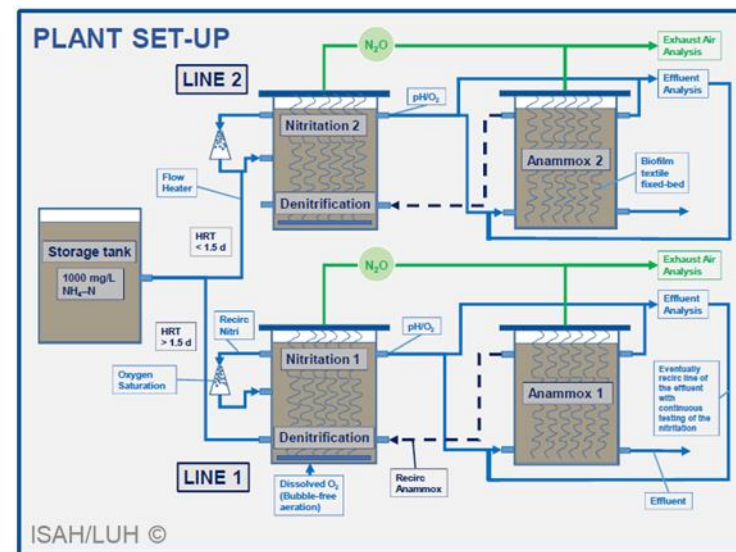


## Minimierung $N_{\text{zwei}}$ -Emission im Teilstrom



DFG (RO 1221/13-2): Grundlagenermittlung zur Lachgas-Emission als Nebenprodukt der Deammonifikation & Fortsetzungsprojekt

## MiNzE II - Biofilm (BMBF<sub>innovativ</sub> 2019-21)



Projektpartner:



GEFÖRDERT VOM



BMBF/KMU-innovativ  
(02WQ1482B):

Minimierung des CO<sub>2</sub>-Footprint durch angepasste Verfahrensentwicklung in der Prozesswasserbehandlung Erprobung des MiNzE-Verfahrens im getauchten Festbett



# Veröffentlichung eigener Ergebnisse über ein Modellmodul

## Vorgehen

- Steckbrief wird erstellt
- Steckbrief und Lizenz werden an das ISAH übermittelt
- Das ISAH prüft den Steckbrief, bei Rückfragen wird der Steckbriefersteller kontaktiert
- Wenn es keine weiteren Rückfragen gibt, überführt das ISAH den Steckbrief in ein Modul
- Das Modul wird durch den Steckbriefersteller geprüft, das ISAH setzt eventuelle Änderungen um
- Wenn der Steckbriefersteller das Modul freigegeben hat, wird das Modul veröffentlicht
- Der Steckbrief sowie ggf. weiterführende Unterlagen werden über die Datenbank der LUH veröffentlicht (Verlinkung im Modul)

*Grün: durch den Steckbriefersteller zu erledigen*

# Vorgehen RePhoR

## Modulbibliothek

### Verfahrensspezifische Kennzahlen

→ Zusammenstellung + Hinterlegung in den Modulen

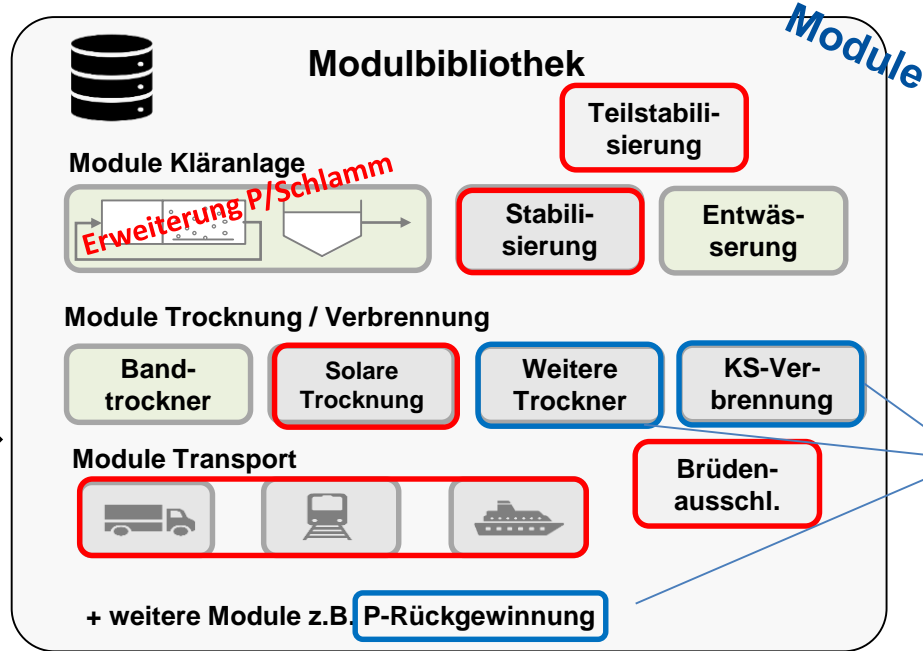
#### Zum Beispiel:

- 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

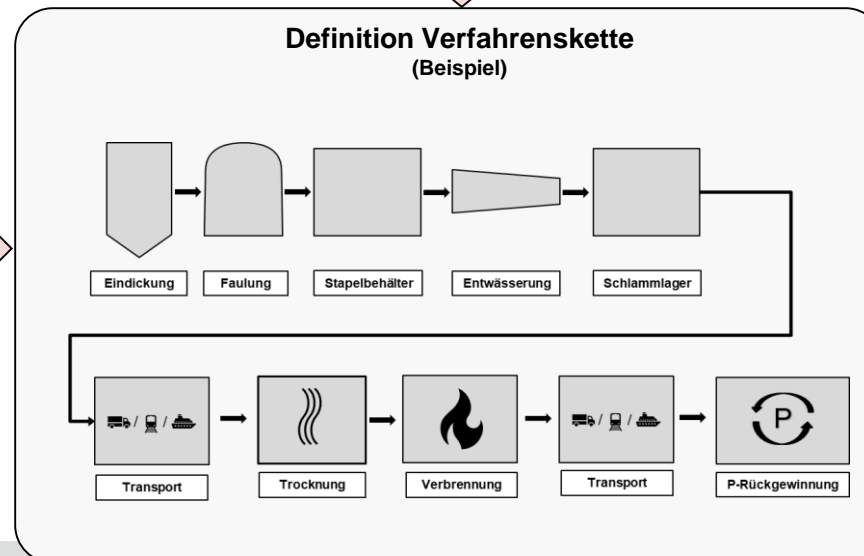
#### Zum Beispiel:

- P-Eliminationsverfahren
- Entwässerungsgrad
- Schlammengen und -qualitäten (TR, oTR, P-Gehalt, Heizwert, ...)
- spez. Kosten (Strom, Wärme, ...)
- CO<sub>2</sub>e Strommix [g CO<sub>2</sub>e/kWh]
- Invest, Abschreibungszeiträume
- Vorhandene Anlagentechnik
- Entfernungen, Verkehrsanschluss
- ...



RePhoR-  
Partner

Bilaterale Kontaktaufnahme  
mit Verfahrensgeber durch  
ISAH März/April '24  
→ WS 2  
„Sichtung der Module“



Modellunterstützte  
Szenarienanalyse

# Transfer-Workshop „ISAH-Modul-Bibliothek“

04.März 2024, 9:00 – 11:00, Online



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



Dr.-Ing. Maike Beier  
Projektleitung  
[beier@isah.uni-hannover.de](mailto:beier@isah.uni-hannover.de)  
Tel.: 0511 762 2898



Arne Freyschmidt  
Modellierung  
[freyschmidt@isah.uni-hannover.de](mailto:freyschmidt@isah.uni-hannover.de)  
Tel.: 0511 762 2898



Torben Martens  
Energiemodell  
[martens@isah.uni-hannover.de](mailto:martens@isah.uni-hannover.de)  
Tel.: 0511 762 12291



Johannes Reiter  
Nährstoffe  
[reiter@isah.uni-hannover.de](mailto:reiter@isah.uni-hannover.de)  
Tel.: 0511 762 2898



Kasra Saadlou  
KA-Betrieb, Modellierung  
[saadlou@isah.uni-hannover.de](mailto:saadlou@isah.uni-hannover.de)  
Tel.: 0511 762 2898



Dr.-Ing. Sabrina Breitenkamp  
Bewirtschaftungstool  
[breitenkamp@ressourcen-effizienz.pro](mailto:breitenkamp@ressourcen-effizienz.pro)  
<http://www.ressourcen-effizienz.pro>  
Tel.: 05223 6547053



...auf gute Zusammenarbeit

