Institut für Siedlungswasserwirtschaft
und Abfalltechnik

Leibniz
Universität
Hannover

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

VOR-ORT WORKSHOP
CO_2e-BILANZIERUNG AUF KLÄRANLAGEN

Agenda Workshop – Teil 1 (Start 10:00 Uhr)

- Anforderungen an und Vorgehen bei der Aufstellung einer anlagenspezifischen CO_2e-Bilanz

Definition der anlagenspezifischen Prozessschritte, Auswahl der Bilanzräume für gewünschte oder vorhandene Bilanzierungen (Flipchart-Arbeit)

- Diskussion und Hinweise zu den einzelnen Verfahrensstufen
  – Potentielle Schnittstelle Leitsystem

- Aktuelle Werkzeuge zur CO_2e-Analyse
  – Einblick in Anwendung und Ergebnisbewertung für die eigene Anlage

12:30 Uhr – 13:00 Uhr

Agenda Workshop – Teil 2 (Start 13:00 Uhr)

Der Digitale Stoffstromzwilling
– Aufbau, Implementierung und Anwendung der Stoffstrombilanz

Relevante Datenpunkte für die *a) Energiebilanz*
b) CO_2e-Bilanz *Flipchart-Arbeit, Beispiele*

Vertiefung Ausarbeitung einzelner Module, Emissionsgruppen
i) Modulaufbau/Steckbrief ii) Beispiel Modul Faulung
iii) Scope 3 iv) Einbindung THG-Messungen

Fazit und nächste Schritte

Digitalisierung der Prozesskette und
Bilanzvergleich im Netzwerk/Teilnehmer

15:30 Uhr

Hintergrund und Anforderungen an die Bilanzierung

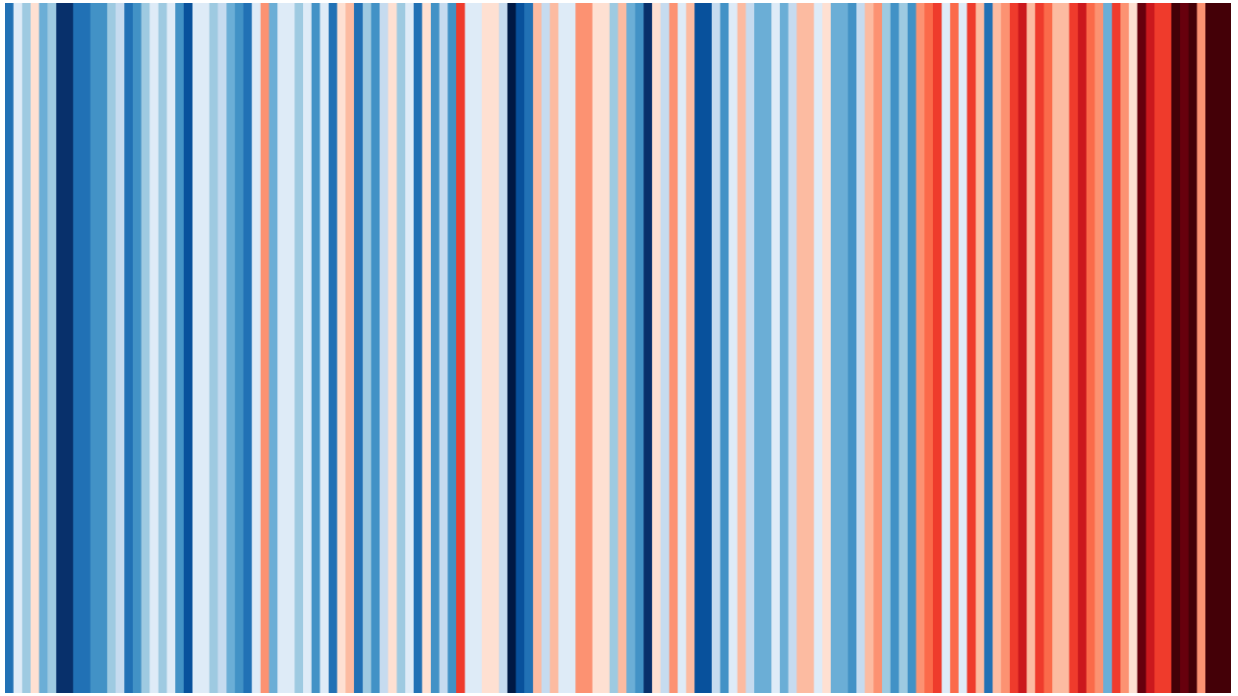
Motivation - Klimawandel

Steigende Treibhausgasemissionen führen zur Erhöhung der globalen Durchschnittstemperaturen mit drastischen Folgen.

Quelle – Pixaby.com – Hochwasser Rhein

Quelle – Pixaby.com – Dürre

Anstieg der globalen Durchschnittstemperaturen von 1881 - 2024



Die Climate stripes oder Klimastreifen für Deutschland @showyourstripes.info

Ausgangslage & Motivation

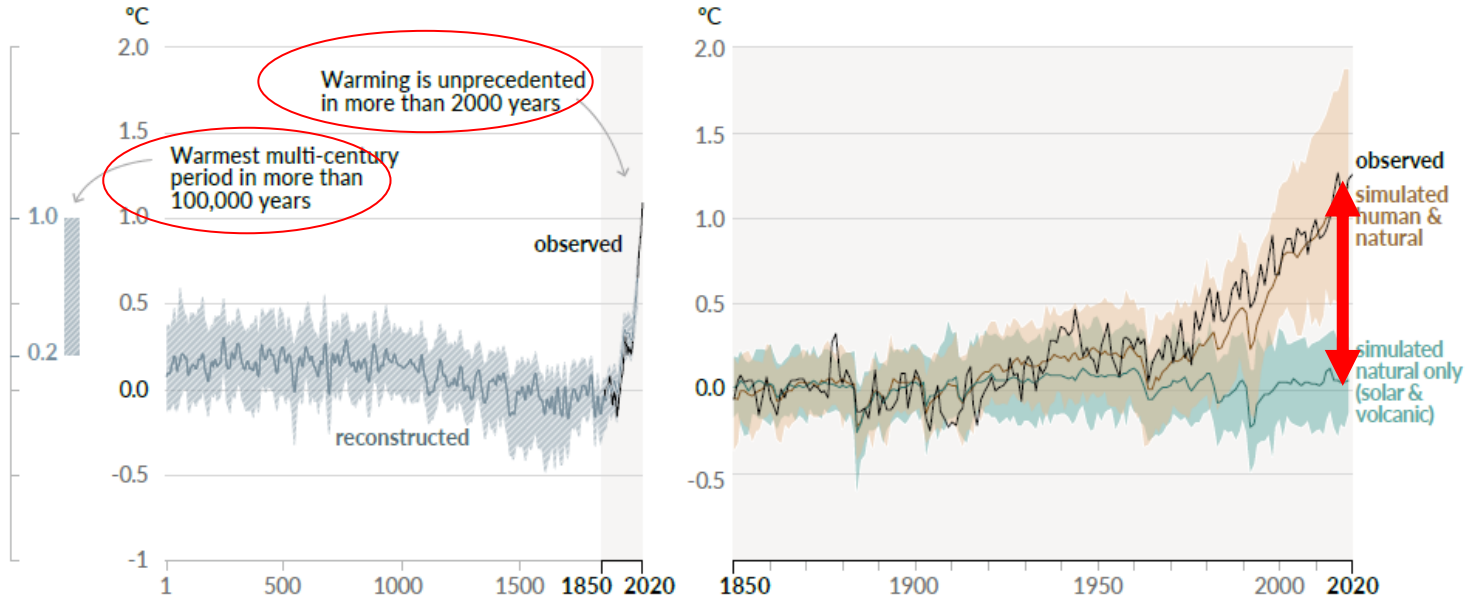
Schlagworte: De-Carbonierung, CO_2-Emissionsreduzierung / Klimaziele…

Bei der Abwasserreinigung

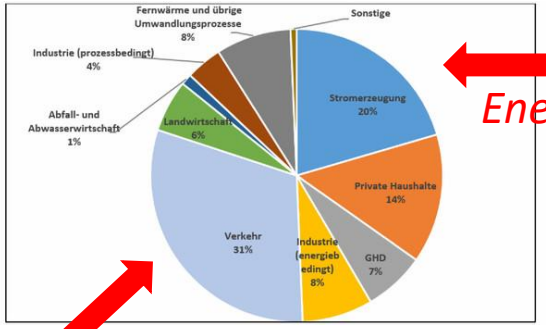
- Als direkte Prozessgase sind CH_4, N_2O relevant
- Indirekte CO_2-Emissionen: Energie, Betriebsstoffe, vor- und nachgelagerte Prozesse
  - → Ganzheitliche Betrachtung entlang Lebenszyklus
  - → Entscheidungen im Spannungsfeld BVT/Pareto-Optimum

Bilanzierung schafft Transparenz, Vergleichbarkeit und erlaubt Priorisierung von Maßnahmen

Quelle: 6. IPCC-Sachstandsbericht, 2021



CO_2e-Emissionen auf Kläranlagen



Energie

Transport

Bilanzraum

direkte THG

N_2O

CH_4

CO_2e-Emissionen

Zuleitung

CO_2e-Emissionen

Ableitung

Entsorgung, Verwertung

Strom, Kraftstoffe

Betriebs-mittel

Baustoffe

CO_2e-Emissionen

©ISAH

Operationalisierung der Klimaschutzbemühungen

- Berichterstattung auf nationaler Ebene im Rahmen des jährlichen „Nationalen Inventarbericht Deutschland“ IPCC, Greenhouse Gas Protocol, DIN 14064-1

- Vorgaben zur THG-Bilanz abhängig von Stakeholdern und Zielsetzung Unternehmen
  - Kommunen - BISKO
  - Produktevaluierung - DIN EN ISO 14067, Corporate Value Chain Accounting and Reporting Standard
  - **Kommunale Abwasserbehandlung - KARL**

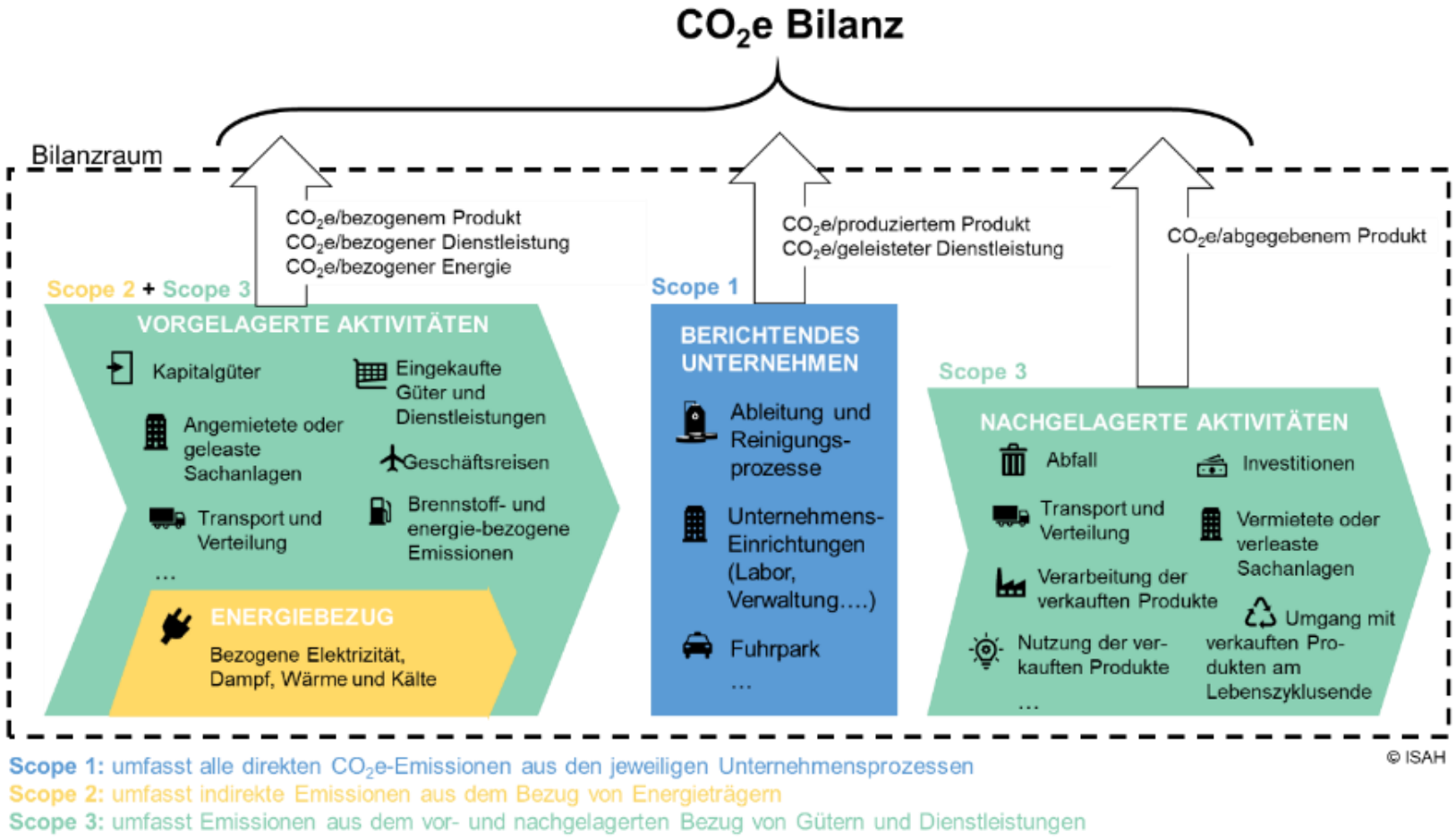
- Managementsysteme mit Verbindung zum Klimaschutz
  - Energiemanagment - DIN EN ISO 50001
  - Klimamanagement - PAS 2060 (Britischer Standard), DIN 14068 (in Vorbereitung)
  - Umweltmanagment - EMAS („EMAS Klimabaustein“)

Anpassung und Spezifizierung für Kläranlagen zwecks Anwendbarkeit und Vergleichbarkeit

→ DWA-Merkblatt 230-2: Motivation und Vorgehen zur Erstellung von CO_2e-Bilanzen

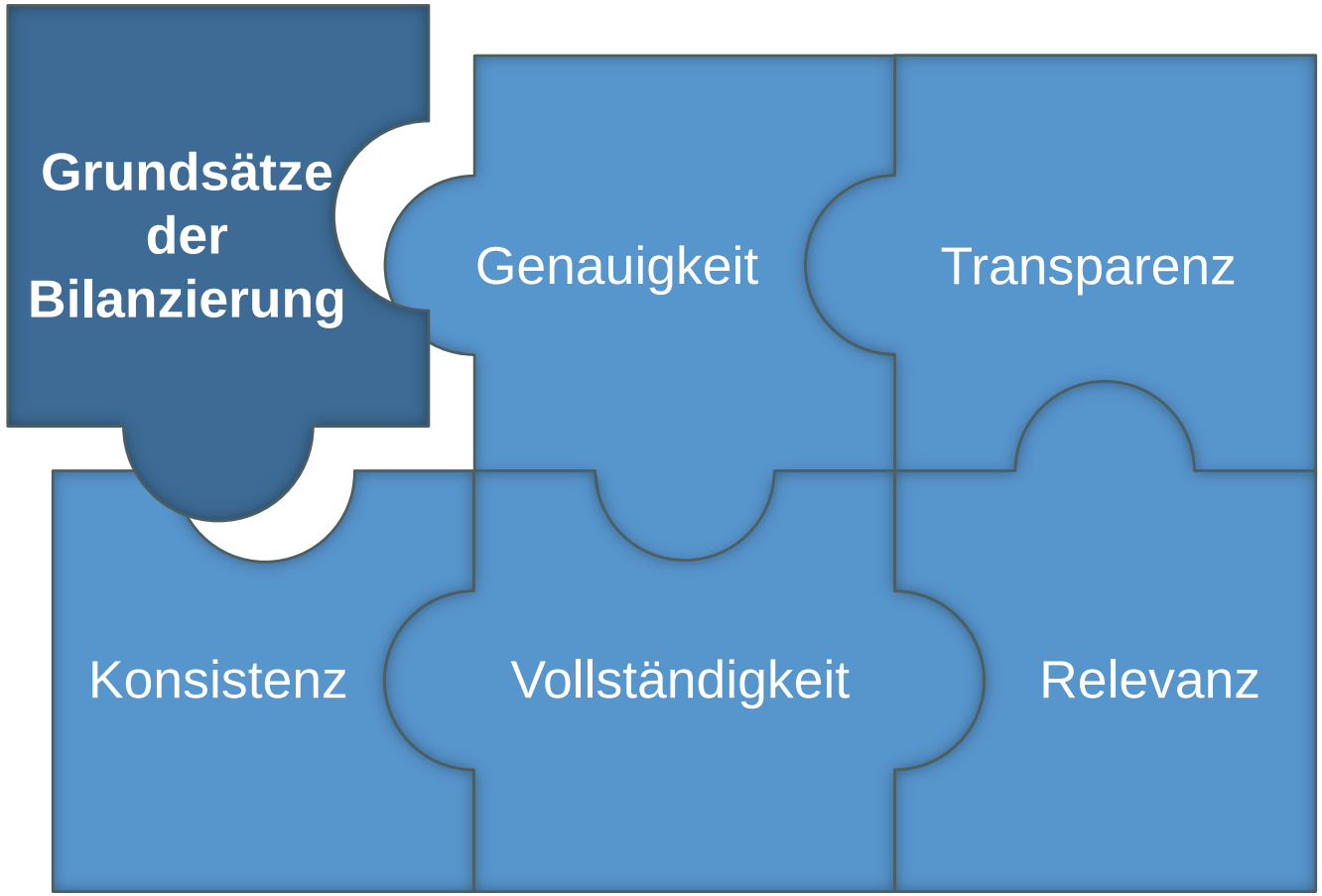
Unternehmensbilanzierung und Berichtswesen (IPPC)

Direkte + Indirekte Emissionen
prozessstufen- und verfahrensspezifisch Bilanzieren und Berichten



Scope 1: umfasst alle direkten CO_2e-Emissionen aus den jeweiligen Unternehmensprozessen
Scope 2: umfasst indirekte Emissionen aus dem Bezug von Energieträgern
Scope 3: umfasst Emissionen aus dem vor- und nachgelagerten Bezug von Gütern und Dienstleistungen

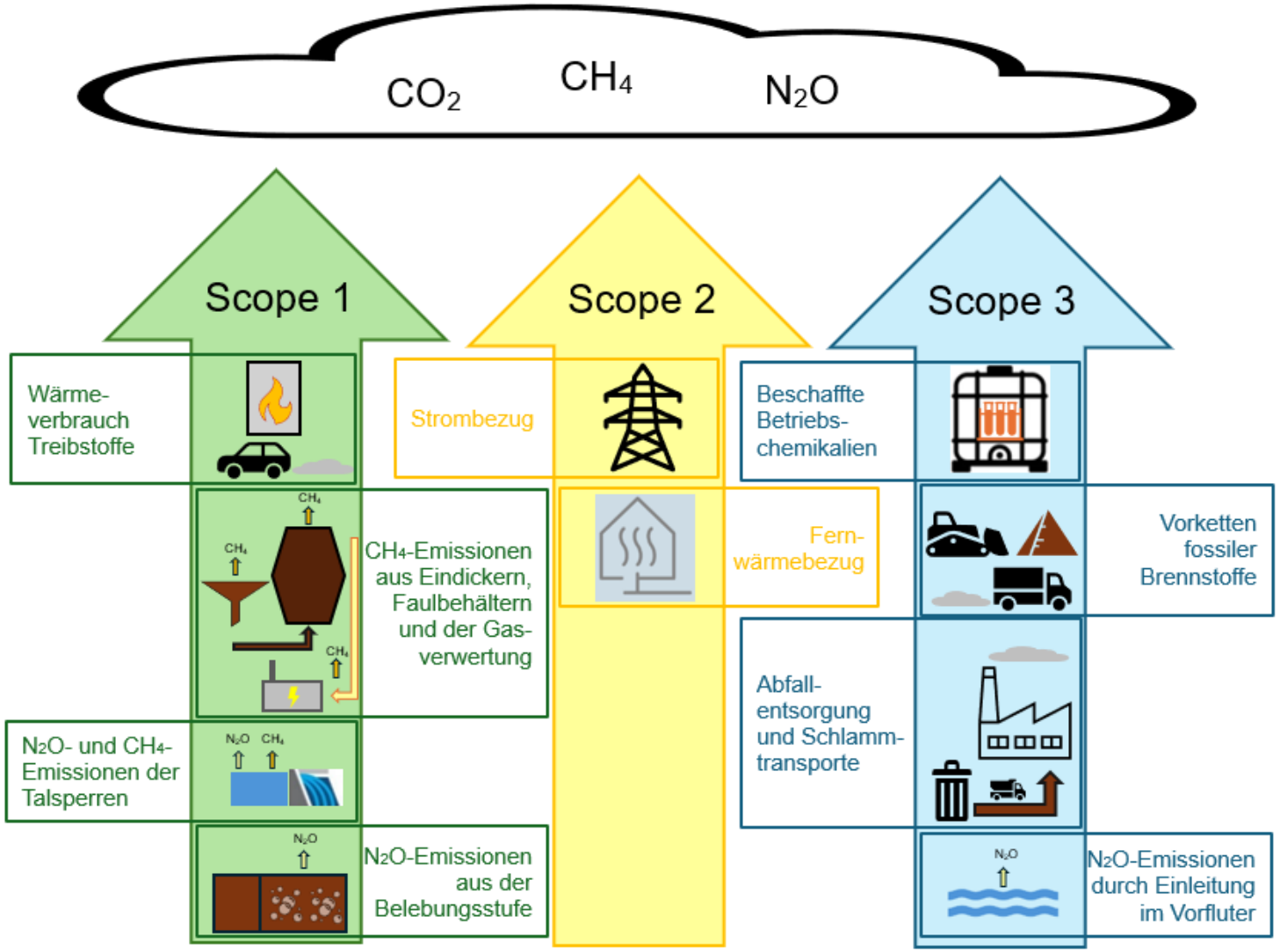
THG-Bilanz – Grundsätze und erfasste Gase (GHG-Protocol)



Vollständigkeit bedingt Lebenszyklusbetrachtung. Relevanz und Genauigkeit hängen vom Zweck der THG-Bilanz (bspw. Bilanz für Berichtspflicht vs. Verfahrensvergleich).

Emissionskategorien des RV

Einteilung nach Greenhouse Gas Protocol



Anlagenspezifische CO_2e-Emissionen

CO_2e –Emissionen

(hier ohne Herstellung und Rückbau)

Indirekte Emissionen

Direkte Emissionen

Energieverbrauch

Betriebsmittel-verbrauch

Entsorgung

Umrechnungs-faktoren

„unbekannt“

Kennzahlen

vorhanden
z.B. Datenbanken (ecoinvent), Firmenangaben
GWP→ GHG-Protokoll

vorhanden
Betriebsprotokolle
Rechnungswesen…

Massen-Ermittlung

Abgasvolumenstrom
• Konzentration
= emittierte Fracht

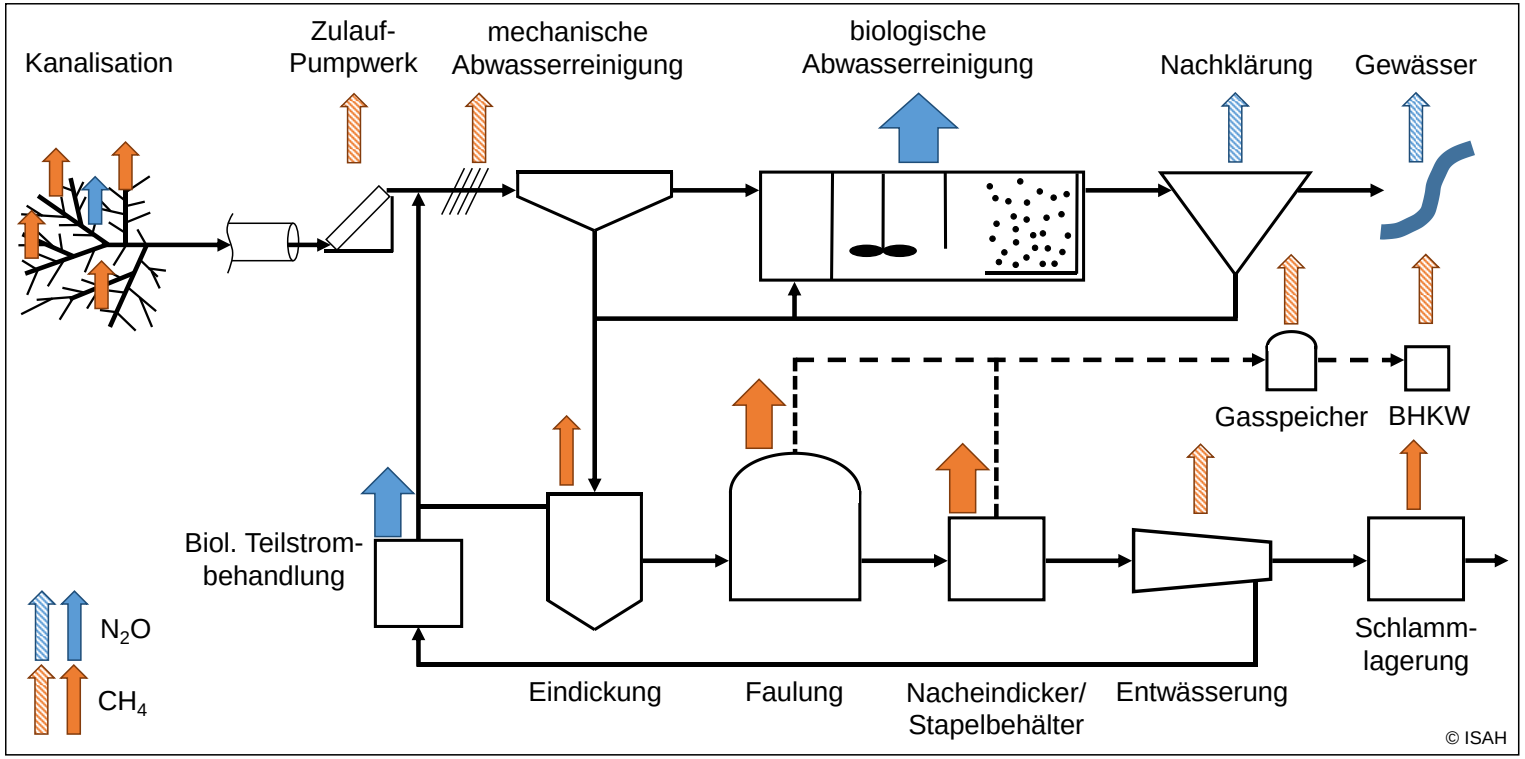
„unbekannt“

GWP

in CO_2-Äquivalenten

Direkte Emissionen – Überblick

- Biologische Prozesse generieren CH_4/N_2O
- CH_4: anaerobe Zonen/ Leckagen oder Schlupf, ungezielte Bildung
- N_2O: Nitrifikation/Denitrifikation, O_2-Regime, Bewirtschaftung
- CO_2 aus Veratmung biogener C-Verbindungen i. d. R. exkludiert
- Betriebsweise beeinflusst Emissionsraten stark
- Messung/Schätzung/Model-lierung – Unsicherheiten beachten

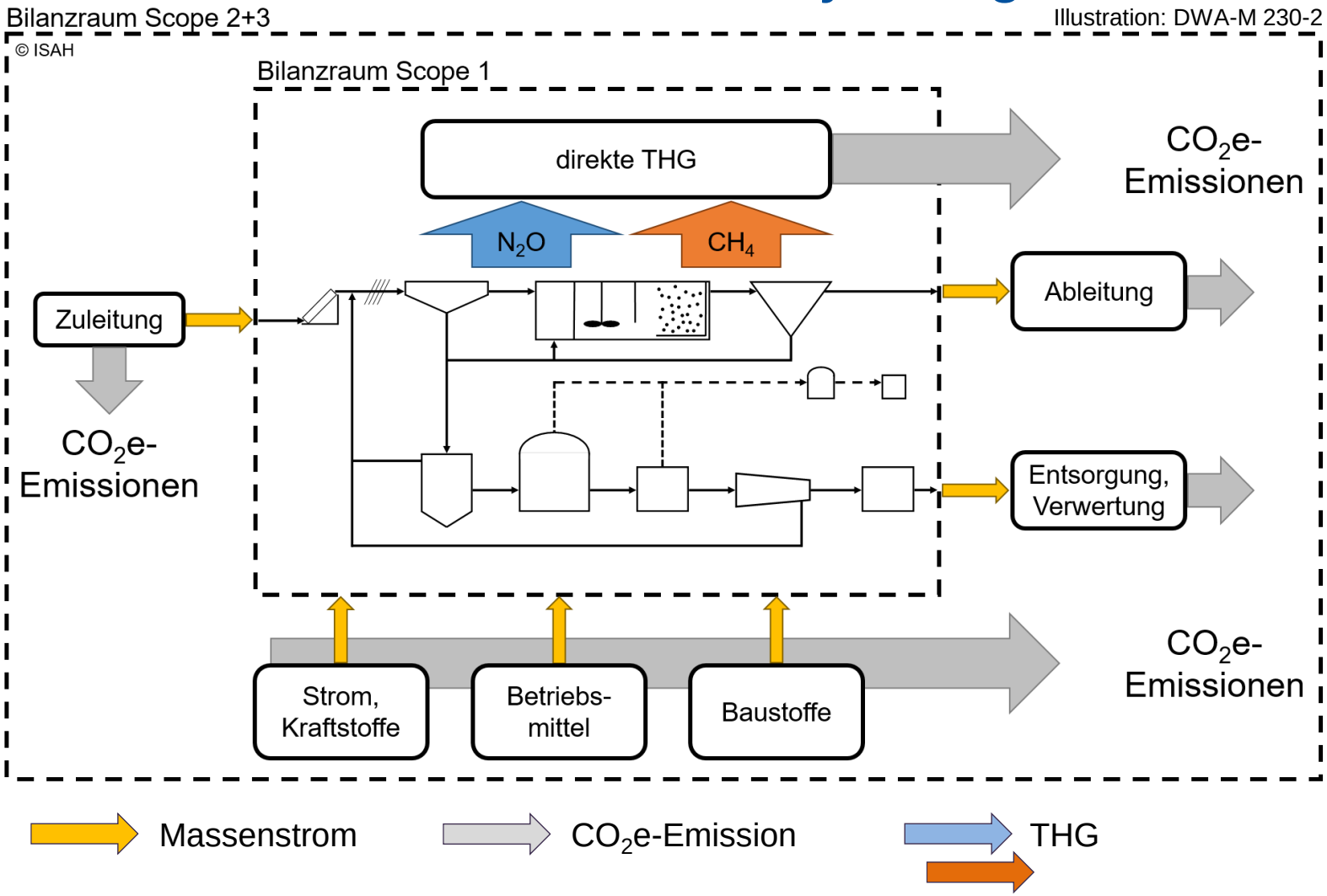


THG-Bilanz einer Kläranlage – Direkte Emissionen

		Behandlungsstufe			
		Abwasserbehandlung			Schlammbehandlung
	Emissions-quelle	mechanisch	biologisch	chemisch	
direkte Emissionen	**Lachgas**	Sandfang, Vorklärung, Nachklärung	**Nitrifikation, Denitrifikation**	-	Faulbehälter, Schlammspeicher
	Methan	Vorklärung	anaerober Abbau org. C-Verbindungen, Denitrifikation	-	**Faulbehälter, Nacheindicker / Stapelbehälter, Entwässerung, Schlammlagerung, Gasspeicher, Gasverwertung (BHKW), Notfalleinrichtung (Gasfackel)**
	Kohlendioxid	-	-	-	**Wärmeerzeugung aus fossilen Energieträgern, Klärschlammverbrennung**

Entstehungs- und Emissionsort von Treibhausgasen müssen nicht identisch sein.

THG-Bilanz einer Kläranlage – Indirekte Emissionen und Systemgrenzen



Umrechnungsfaktoren (DWA-M 230-2)

Nr.	CO_2e-Emittent	Angabe	Einheit
1	Strom (Deutscher Strommix)[6]	0,38	kg CO_2e/kWh
2	Heizöl[3] (extra leichtflüssig, für kleine Heizanlagen)	3,04	kg CO_2e/l Öl
3	Fällmittel, Eisenchlorid[7]	1,15	kg CO_2e/kg $FeCl_3$
4	Fällmittel, Eisensulfat[2]	1,298	kg CO_2e/kg $FeSO_4$
5	Flockungsmittel, Kalkmilch „Chem-AnorgSoda-DE-2020“[1]	1,13	kg CO_2e/kg Soda
6	Kalk (gelöscht)[8]	0,573	kg CO_2e/kg Kalk
7	Essigsäure (techn., 70 %)“[8]	1,07	kg CO_2e/kg Säure
8	Entsorgung Rechengut ([4] Tab. 2.2.24)	0,161	kg CO_2e/kg Gut
9	Entsorgung Sand[2]	0,00962	kg CO_2e/kg Sand
10	Klärschlamm, Verbrennung[2]	0,024	kg CO_2e/kg TS
11	Klärschlamm, ungefault ([4] Tab. 2.2.12)	0,512	kg CO_2e/kg TS
12	Aktivkohle (Herstellung)[9]	8,6	kg CO_2e/kg Aktivkohle
13	Aktivkohle (Regenerierung)[9]	3,9	kg CO_2e/kg Aktivkohle
14	Flüssigsauerstoff[5]	0,37	kg CO_2e/kg O_2
15	Schmierstoffe auf Propylenbasis[1]	1,93	kg CO_2e/kg
16	Logistik: Lkw[5]	0,0672	kg CO_2e/(t·km)
17	Motorisierter Individualverkehr[7]	0,142	kg CO_2e/(Personen·km)
18	Trinkwasser: „Xtra-TrinkwasserDE-2000“[1]	0,000402	kg CO_2e/kg Wasser

THG-Bilanz einer Kläranlage – Indirekte Emissionen

		Behandlungsstufe			
		Abwasserbehandlung			Schlammbehandlung
	Emissions-quelle	mechanisch	biologisch	chemisch	
indirekte Emissionen	**Energiebezug**	Strom (Belüftung, Betrieb)	Strom (Belüftung, Umwälzung, Betrieb), Aufheizung (mesophile Bedingungen bei anaeroben Prozessen)	Strom (automatisierte Dosierung …), Erhitzung (Thermische Verfahren, Reaktivierung der Aktivkohle)	Strom
	Betriebsmittel-verbräuche	Schmiermittel	externe C-Quellen	Fällmittel, Flockungsmittel, Aktivkohle (Herstellung, Regenerierung), Flüssigsauerstoff …	Konditionierungsmittel (Polymere, Braunkohle, Eisen, Kalk)
	Reststoffanfall und -entsorgung	Rechengut, Sand, Klärschlamm	Klärschlamm	Klärschlamm, beladene Aktivkohle	entwässerter Klärschlamm, Klärschlammverbrennungs-asche

Lebenszyklusbetrachtung für indirekte Emissionen: Relevanz Bau und Rückbau prüfen!

Aktivierungsgrößen und Emissionfaktoren der THG-Bilanz

Kategorie	Aktivierungsgröße		Emissionsfaktor		Bemerkung
Treibstoffe KS-Entsorgung	Klärschlammm zur Verbrennung	t/a	2.200	g_{CO2eq}/t entw.	
Stützfeuerung KS-Entsorgung	Klärschlammm zur Verbrennung	t/a	204.860	g_{CO2eq}/t entw.	
Sonstige Betriebschemikalien	Verbrauch Natronlauge, Harnstoff etc.	kg/a	290-3.086	g_{CO2eq}/kg	EF differenziert nach Chemikalien
C-Quelle	C-Quellenverbrauch	kg/a	696-2.134	g_{CO2eq}/kg	EF differenziert nach C-Quelle
Fällmittel	Fällmittelverbrauch	kg/a	1.130-1.150	g_{CO2eq}/kg	EF differenziert nach Fällmittel
Emission aus importierter Energie	Fernwärmebezug	kWh/a	197	g_{CO2eq}/$kWh_{therm.}$	
Emission aus importierter Elektrizität	Strombezug von EVU	kWh/a	427	g_{CO2eq}/$kWh_{elek.}$	
Methan/Lachgas (Talsperren)	Oberfläche der Talsperren	km^2	46,2	t_{CO2eq}/(km^2*a)	Talsperre mittlerer Breite, Alter > 20a
Lachgas (Gewässer)	Stickstoffablauffracht der KA	kg/d	0,5	%	N-Elimination kläranlagenspezifisch
Lachgas (Belebungsanlage)	Stickstoffzulauffracht KA	kg/d	0,14 - 1,37	%	EF abhängig von kläranlagenspezifischer N-Elimination
Methan (Schlupf in BHWK)	Faulgaseinsatz in BHKW	m^3/a	1 bis 1,5	%	1 % mit Oxikat, 1,5% & ohne Oxikat
Methan (Undichtigkeit Gasverwertung)	Faulgasanfall	m^3/a	0,04	%	
Methan (FB-Ablauf)	Faulschlammmenge	m^3/a	0,026	kg $_{CH4}$/m^3	Übersättigungsfaktor 1,3
Methan (Eindicker)	Schlammanfall (oTM)	kg/a	38,4-48	l/kg $_{oTR}$	Methananteil 60%, Freisetzung 40-50% des Potenzials von 96 l/kg_{oTR}
Treibstoffe	Dienstfahrten	km/a	3.157-3.570	g_{CO2eq} / l	Treibstoffaufteilung wie in D, Verbrauch geschätzt 6 bzw. 9 l/100 km
Wärmeverbrauch	Heizöl, Erdgas,Flüssiggas	kWh/a	197-549	g_{CO2eq}/$kWh_{therm.}$	EF abhängig vom Energieträger

Kategorie Produktionsmittel, Anlagegüter (Scope 3)

z.B. Neubau von Anlagen, Beschaffung von Maschinentechnik,….

- Ermittlung der THG-Emission ggf. sehr aufwändig
- (z.B. Footprint für neu beschafftes BHKW, verwendete Baumaterialien etc.)

- THG-Emission wird im Jahr der Anschaffung bilanziert

➢ ggf. Überprägung der betrieblich induzierten THG-Emissionsbetrachtung besonders bei steigenden Neuinvestitionen

- THG-Emission wird über die Abschreibungszeit verteilt ➔ nicht empfohlen

➢ Investitionen aus der Vergangenheit, die noch nicht abgeschrieben sind, sind abzuschätzen

➢ Klarheit über THG-Emissionen der vergangenen Investitionsentscheidungen ohne Wirkung

Empfehlung:

➢ Betrieblich induzierte THG-Emissionsbetrachtung unabhängig vom Investitionsgeschehen aufstellen

➢ Einzelfallbetrachtung verschiedener Varianten bei Neubau/Neuanschaffung unter Einbeziehung der damit einhergehenden betrieblichen THG-Emissionen mit dem Ziel Klimaschutz

Identifizierung wesentlicher THG-Emissionen (Scope 3)

Kriterien im Bereich der Scope 3 – Emissionen

- **Größenordnung** (quantitativ relevant)
- **Einflussgrad**
  Fähigkeit Emissionen zu überwachen und zu reduzieren
- **Risiko** der Möglichkeiten: Risiken für das Ansehen, Risiken in Bezug auf gesetzliche Regelungen, Lieferketten, Produkte und Kunden, Rechtsstreite
- **Mitarbeitermotivation** (interne Stakeholder): Bereiche, in denen Mitarbeiter sich direkt engagieren können, Emissionen zu verringern, oder die den Teamgeist in Bezug auf den Klimawandel fördern
- **Daten**
  Zugang zu Informationen und ggf. Unsicherheiten in der Genauigkeit

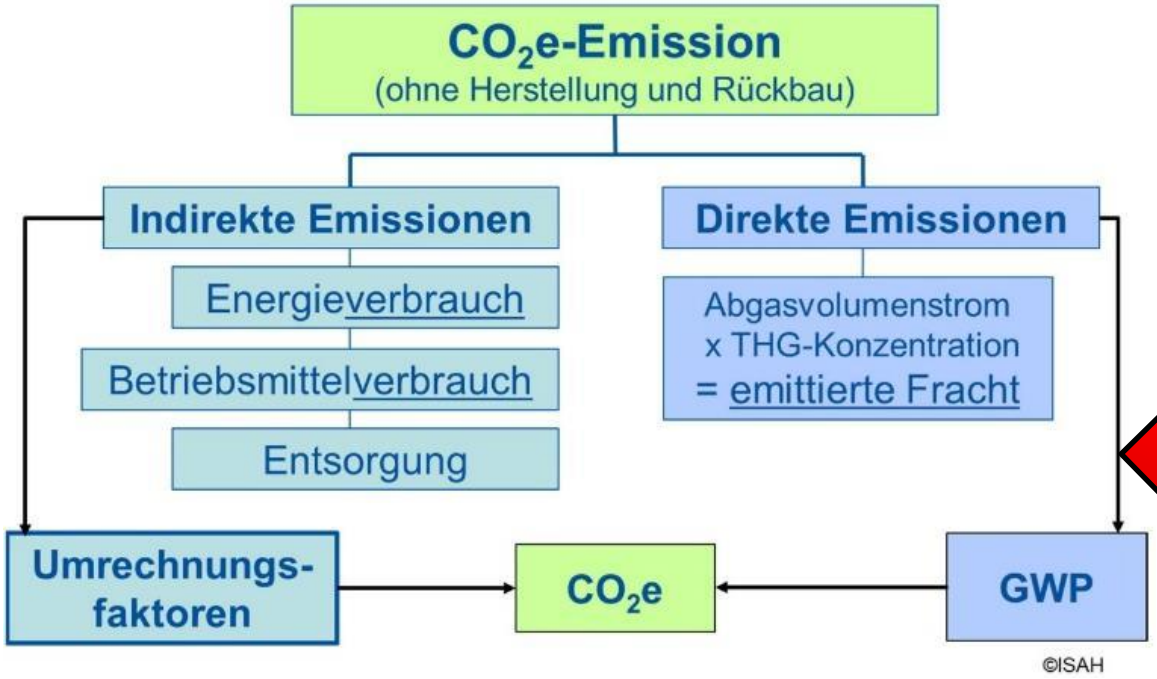
Verschiedene Unternehmen sind hinsichtlich
ihrer THG-Emissionen (Scope 3) nicht unbedingt vergleichbar !!

Vorgehen bei der CO_2e-Bilanzierung

1. Ziel/Scope definieren (S1–S3)
2. Bilanzrahmen/Systemgrenzen festlegen
3. Funktionelle Einheit wählen
4. Datenerhebung (Primär/ Sekundär)
5. Faktoren (GWP, EF) auswählen & versionieren
6. Berechnung, Plausibilisierung, Iteration
7. Dokumentation & Review
8. Bericht & Visualisierung

THG-Bilanz einer Kläranlage - Rohdaten, Umrechnung und funktionale Einheiten

- Rohdaten und Umrechnung



Quelle: DWA-M 230-2

- Funktionale Einheiten zwecks Vergleichbarkeit

- **m³** behandelte Abw.menge [g CO_2e/m³]
- **t** Trockensubstanz [g CO_2e/t TS]
- **EW** Trockensubstanz [g CO_2e/EW/d]
- **kg** Zulauffracht [g CO_2e/kg]

Für genaue Aussagen Messungen erforderlich!

Definition der anlagenspezifischen Prozessschritte, Auswahl der Bilanzräume für gewünschte oder vorhandene Bilanzierungen

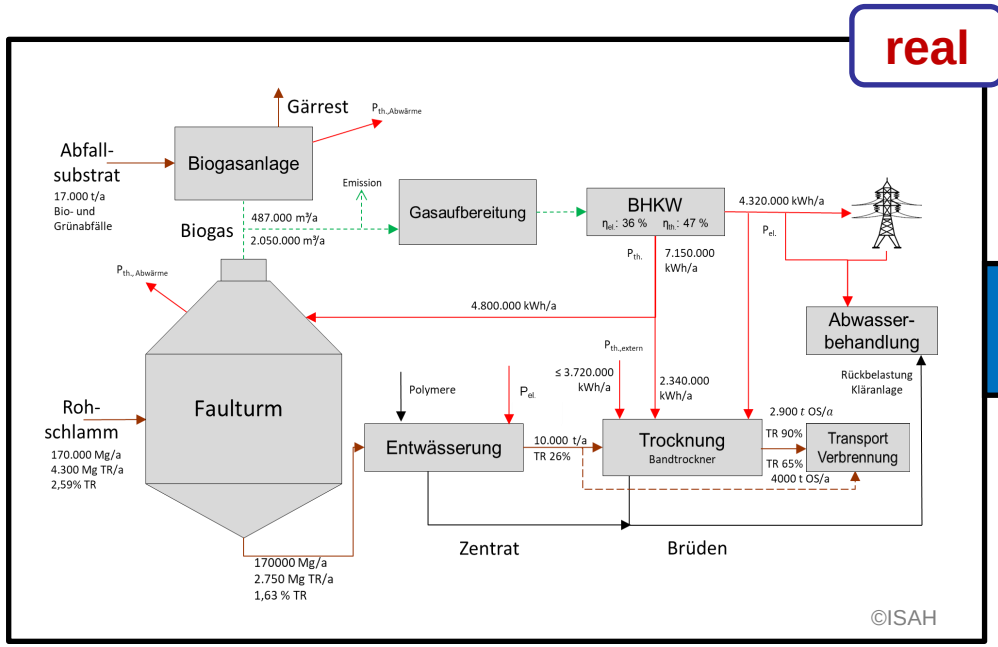
Definition der anlagenspezifischen Prozessschritte, Auswahl der Bilanzräume für gewünschte oder vorhandene Bilanzierungen (Flipchart-Arbeit)

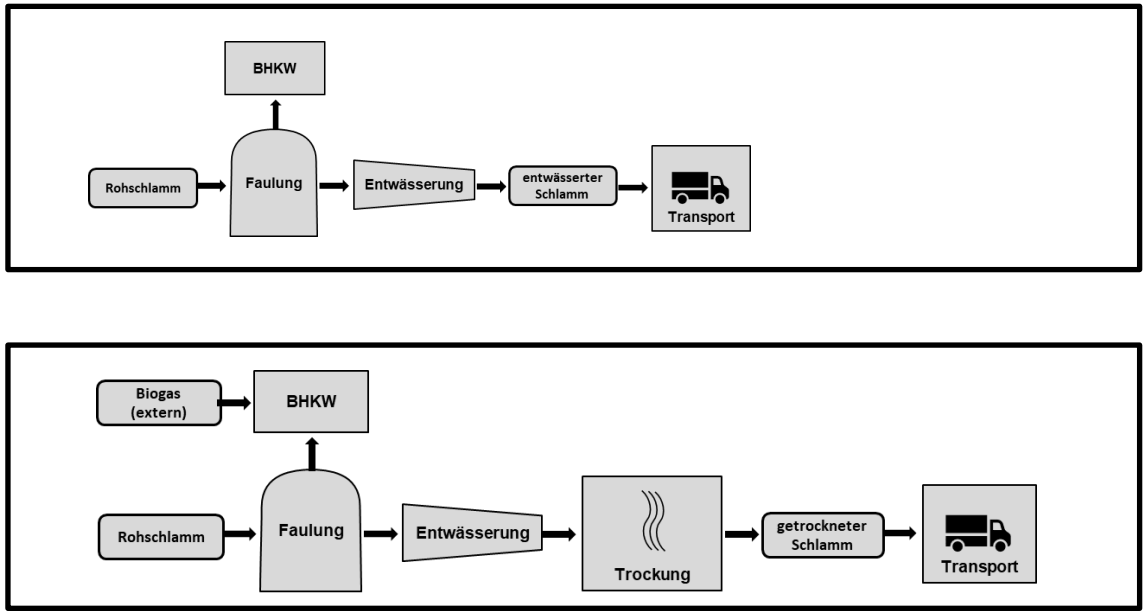
Ziel
Scope 1-3

Bilanzraum

relevante Größen

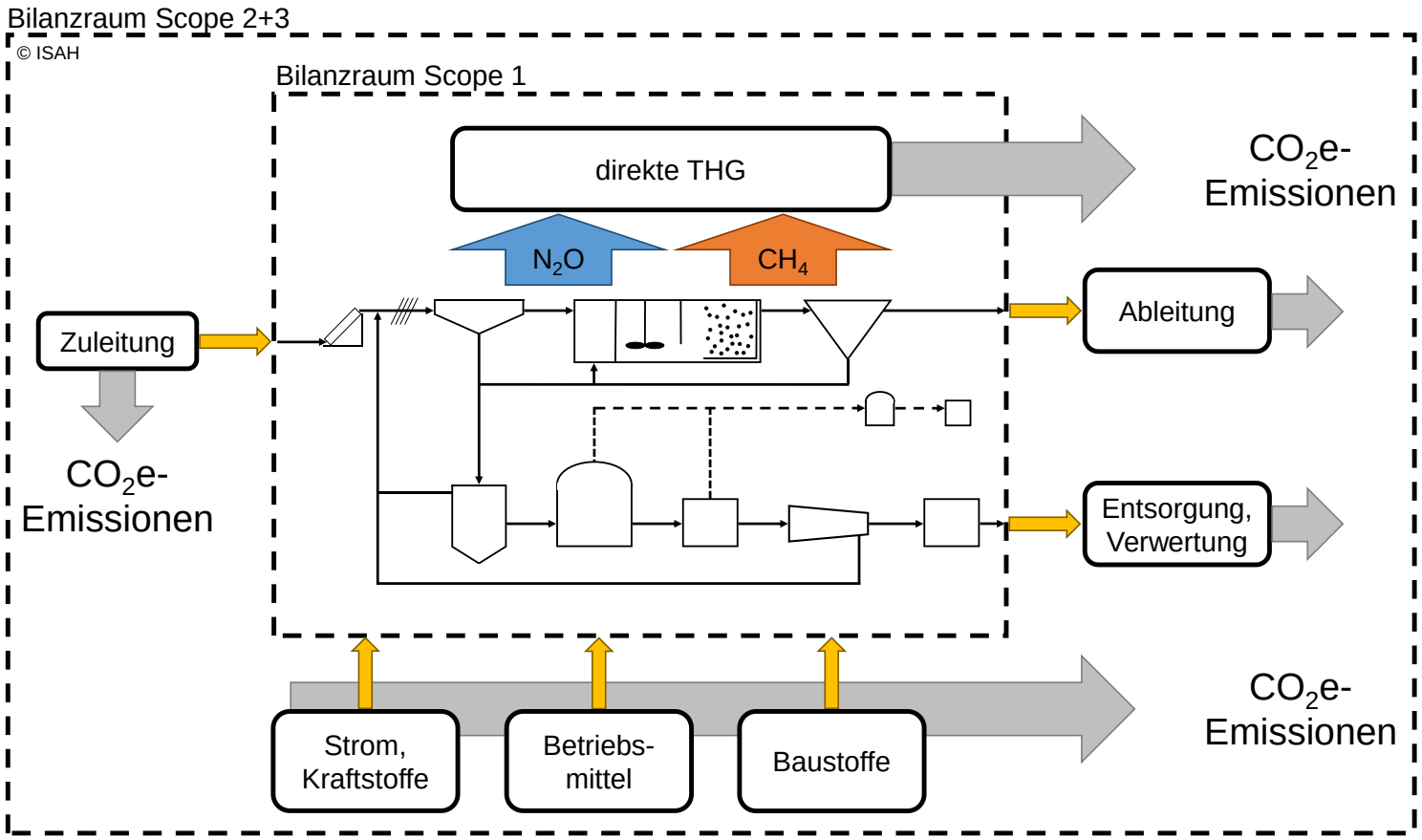
real





Definition der anlagenspezifischen Prozessschritte, Auswahl der Bilanzräume für gewünschte oder vorhandene Bilanzierungen (Flipchart-Arbeit)

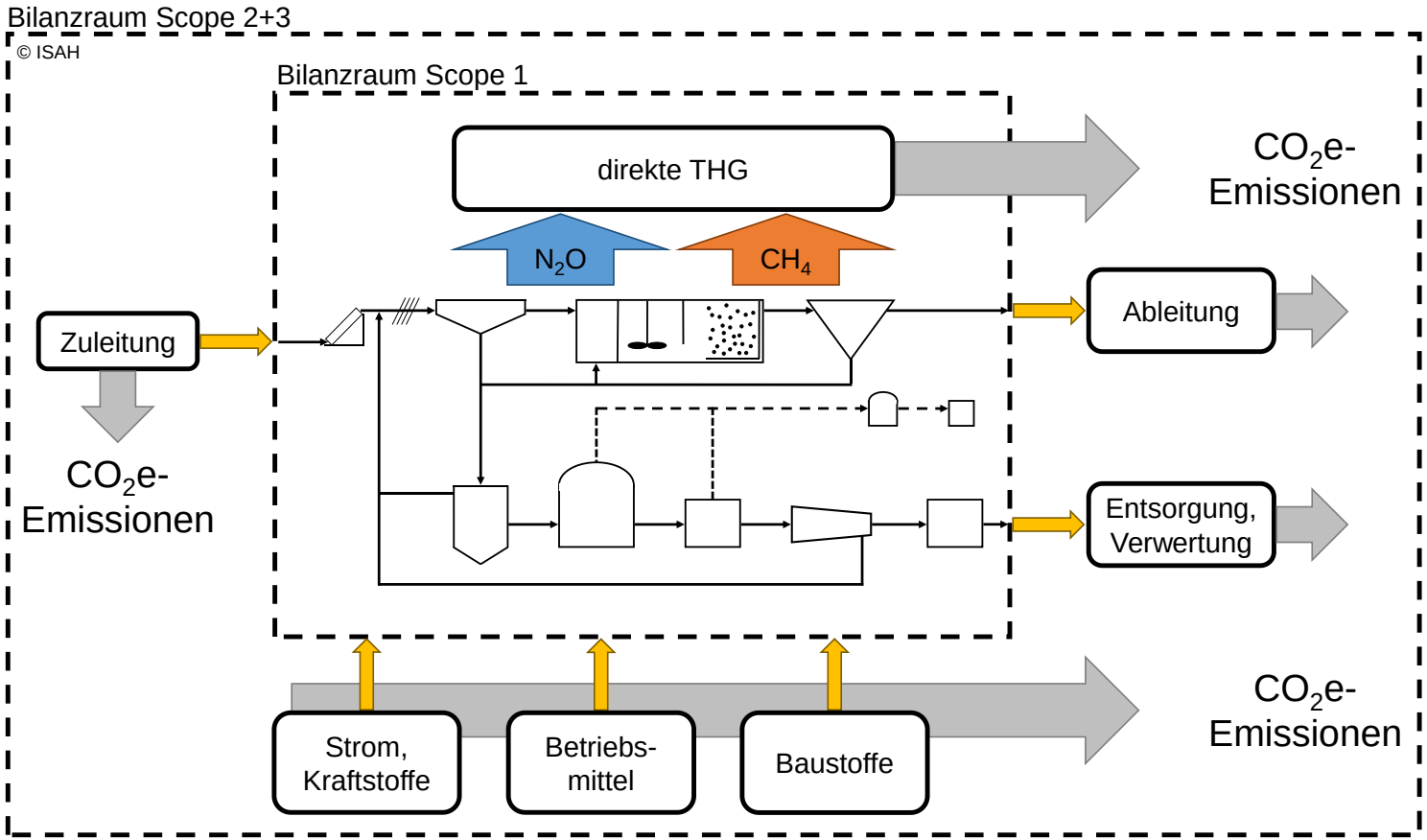
1. **Ziel/Scope definieren (S1–S3)**
2. **Bilanzrahmen/ System-grenzen festlegen**
3. **Funktionelle Einheit wählen**



→ Startpunkt Massen- und Energiebilanzierung

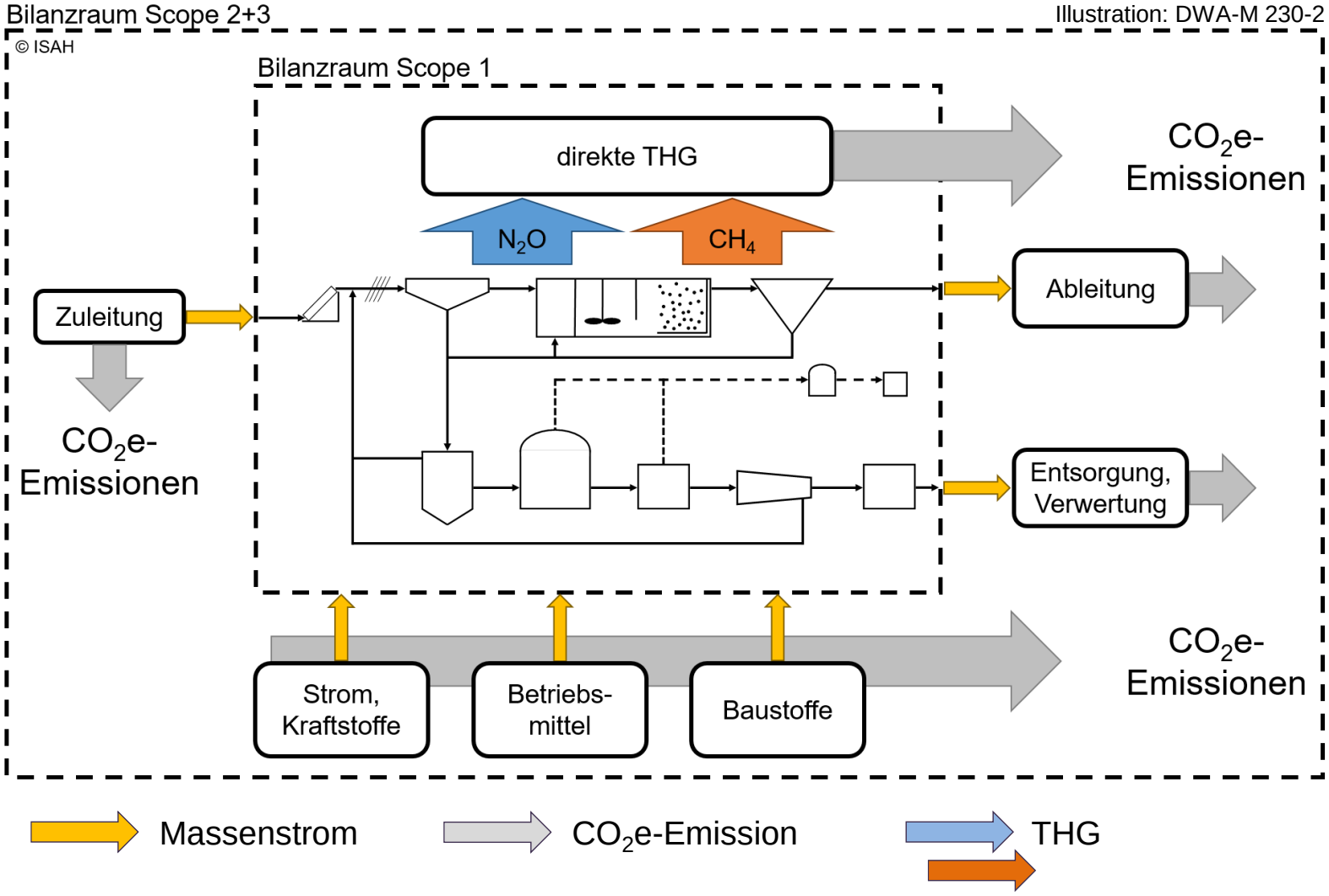
Definition der anlagenspezifischen Prozessschritte, Auswahl der Bilanzräume für gewünschte oder vorhandene Bilanzierungen (Flipchart-Arbeit)

- Bezug: Bauwerk/Anlage/Unternehmen
- Kontextabhängige Grenzen, z. B. Abwasserreinigung + Schlammbehandlung
- Explizite Dokumentation der Grenzen
- Abhängigkeit der Ergebnisse von der Abgrenzung
- Vergleichbarkeit nur bei konsistenten Systemgrenzen



<u>Gutschriften</u>: „In der eigenen Bilanz wird nach Definition des GHGP keine Gutschrift angesetzt, sondern immer die verbleibende Emission. […] Die separate Ausweisung einer möglichen Gutschrift außerhalb der Bilanz ist zulässig.“ (AB Treibhausgasbilanzierung in der Wasserwirtschaft auf Unternehmensebene, FA KA-2, KA 06/25)

THG-Bilanz einer Kläranlage – Indirekte Emissionen und Systemgrenzen



Umrechnungsfaktoren (DWA-M 230-2)

Nr.	CO_2e-Emittent	Angabe	Einheit
1	Strom (Deutscher Strommix)[6]	0,38	kg CO_2e/kWh
2	Heizöl[3] (extra leichtflüssig, für kleine Heizanlagen)	3,04	kg CO_2e/l Öl
3	Fällmittel, Eisenchlorid[7]	1,15	kg CO_2e/kg $FeCl_3$
4	Fällmittel, Eisensulfat[2]	1,298	kg CO_2e/kg $FeSO_4$
5	Flockungsmittel, Kalkmilch „Chem-AnorgSoda-DE-2020“[1]	1,13	kg CO_2e/kg Soda
6	Kalk (gelöscht)[8]	0,573	kg CO_2e/kg Kalk
7	Essigsäure (techn., 70 %)“[8]	1,07	kg CO_2e/kg Säure
8	Entsorgung Rechengut ([4] Tab. 2.2.24)	0,161	kg CO_2e/kg Gut
9	Entsorgung Sand[2]	0,00962	kg CO_2e/kg Sand
10	Klärschlamm, Verbrennung[2]	0,024	kg CO_2e/kg TS
11	Klärschlamm, ungefault ([4] Tab. 2.2.12)	0,512	kg CO_2e/kg TS
12	Aktivkohle (Herstellung)[9]	8,6	kg CO_2e/kg Aktivkohle
13	Aktivkohle (Regenerierung)[9]	3,9	kg CO_2e/kg Aktivkohle
14	Flüssigsauerstoff[5]	0,37	kg CO_2e/kg O_2
15	Schmierstoffe auf Propylenbasis[1]	1,93	kg CO_2e/kg
16	Logistik: Lkw[5]	0,0672	kg CO_2e/(t·km)
17	Motorisierter Individualverkehr[7]	0,142	kg CO_2e/(Personen·km)
18	Trinkwasser: „Xtra-TrinkwasserDE-2000“[1]	0,000402	kg CO_2e/kg Wasser

Umgang mit Gutschriften, „Handabdruck vs. Fußabdruck“

THG-Bilanz – Fußabdruck vs. Handabdruck

CO_2e-Fußabdruck

- CO_2e-Fußabdruck berücksichtigt die negativen Auswirkungen unseres Handelns
- Summe der Emissionen aller erfassten Treibhausgase, d.h. CO_2e-Fußabdruck entspricht THG-Bilanz

CO_2e-Handabdruck

- CO_2e-Handabdruck berücksichtigt die positiven Auswirkungen unseres Handelns
- Summe der verminderten Emissionen durch gezielte Maßnahmen oder als unbeabsichtigte Folge anderer Handlungen (z.B. Strom aus Faulgas)
- Keine Bilanz, sondern Vergleichsrechnung
- Eignet sich als Ziel und positives Marketing für Unternehmen

Bildquelle: www.umweltdialog.de

Der Handabdruck wird in der THG-Bilanz nicht berücksichtigt, sondern ergänzend aufgeführt.

Die CO_2e-Bilanz und Gutschriften

Nach den Standards ist die Anrechnung von Gutschriften (vermiedene Emissionen oder Kompensation) in der Bilanz **nicht** möglich und wird auch nicht auf die Erfüllung von Zielen direkt angerechnet → **Fußabdruck = CO_2e-Sachbilanz**

Es kann aber separat zur Bilanz (Scope 1/2/3) auf diese Bereiche hingewiesen werden, um die positiven Effekte dieser „Wirkung bei Dritten“ auch abbilden zu können.

- **Handabdruck** summiert die Erfolge in der THG-Reduktion - keine Bilanz, sondern eine Vergleichs- oder Differenzenrechnung. Der Handabdruck ist geeignet, ein Unternehmensziel „Netto-Null“ zu illustrieren und die Zielerreichung zu belegen, das heißt den Ausgleich verbleibender Emissionen durch Minderungen an anderer Stelle (Minderung im Vergleich zum Unterlass von Maßnahmen)
- Das Konzept ist noch neu und nicht standardisiert, wird aber schon vermarktet (z.B. https://handprint.tech/)

⇨ „Footprint reduzieren und Handprint maximieren“

KARL: Neutralität ?!?
Ein Zukauf von erneuerbaren Energien aus externen Quellen von bis zu 40 %....

Gutschriften:

= negative Größen in der CO_2e-Bilanz

- Vermiedene Emissionen („avoided emissions“)
- Reduktion von CO_2 aus der Atmosphäre („neutralisation“)
- Kompensation („beyond value chain mitigation“)

BEISPIELE:

- Abgabe von Biomethan → Endverbraucher vermeidet Erdgasnutzung
- Abgabe von Recycling-P → Endverbraucher vermeidet Mineraldünger

  - Direct Air Capture
  - CO_2-Abscheidung aus Verbrennungsanlagen für biogene Abfälle (BECCS)

    - Aufforsten von Wäldern durch Dritte
    - Förderung von Klimaschutzprojekten von Dritten

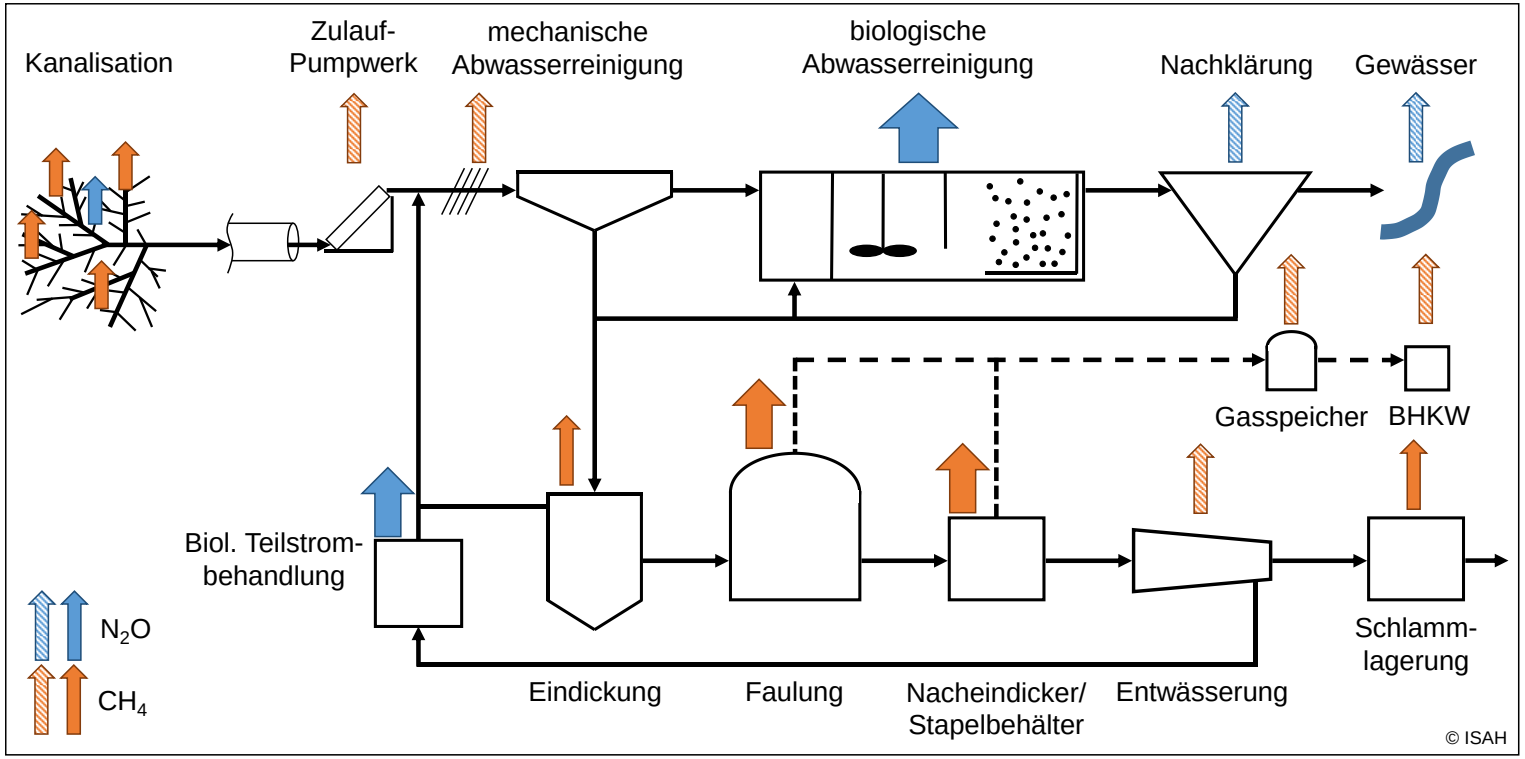
Was bedeutet Netto-Null?

Hinweise zu einzelnen Verfahrensstufen

- Methanemissionen

Direkte Emissionen – Überblick

- Biologische Prozesse generieren CH_4/N_2O
- CH_4: anaerobe Zonen/ Leckagen oder Schlupf, ungezielte Bildung
- N_2O: Nitrifikation/Denitrifikation, O_2-Regime, Bewirtschaftung
- CO_2 aus Veratmung biogener C-Verbindungen i. d. R. exkludiert
- Betriebsweise beeinflusst Emissionsraten stark
- Messung/Schätzung/Model-lierung – Unsicherheiten beachten



→ Lachgas: siehe letzer Workshop April 2025

Voraussetzungen für Methanemissionen

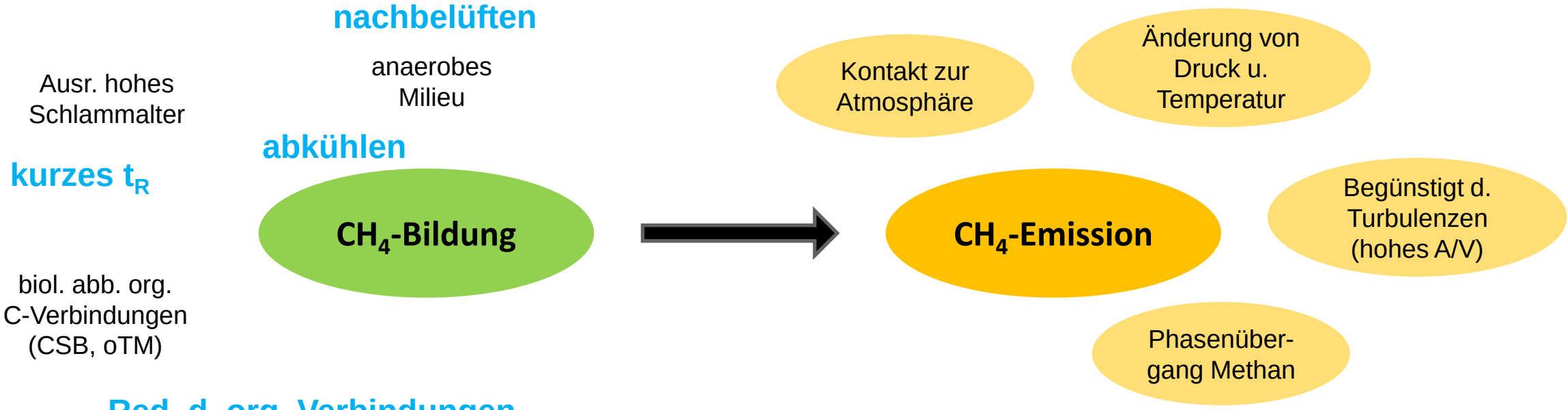
biologisch gebundenes Potential:
im Schlamm gebundener, umsetzbarer CSB
Angabe meist in [kg/E/a]

physikalisch gebundenes Restgas:
Fraktion, die z.B. bei der Vakuumentgasung gestrippt wird
Angabe meist in l/m³

Vermeidung:

1. Weitgehende Stabilisierung!

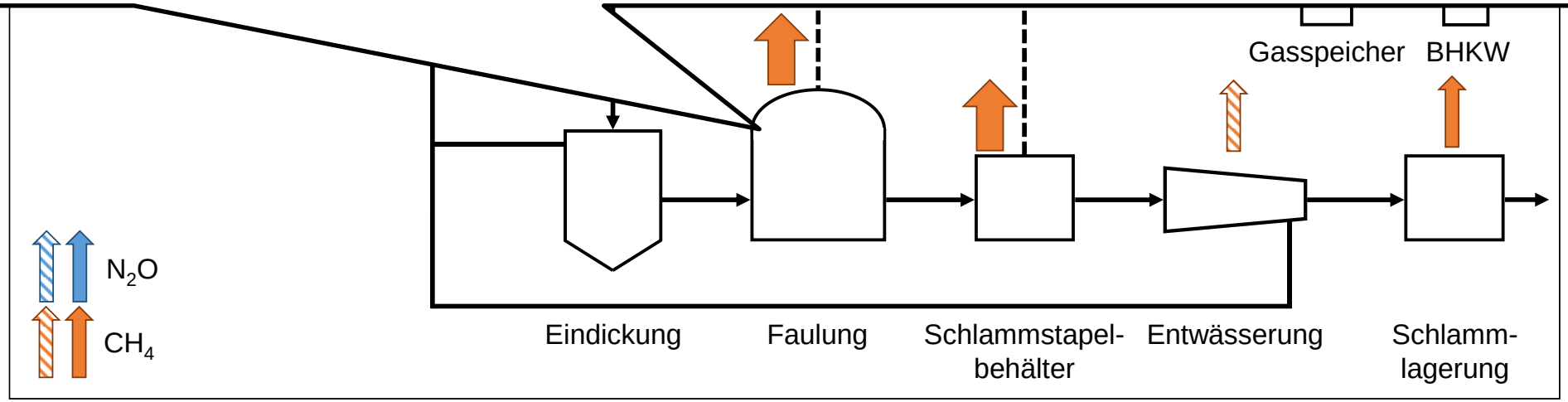
2. ungünstige Bedingungen für CH_4-Bildung



Faulung

Faulung:

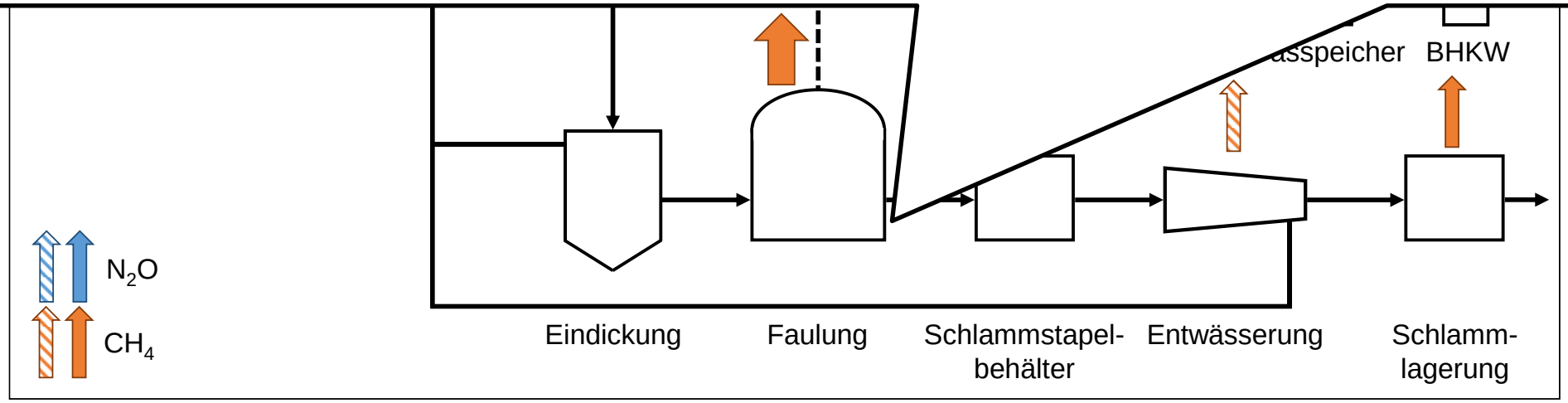
- CH_4-Emissionen beim Überlauf des Schlamms aus dem Faulbehälter in die Atmosphäre, insbesondere bei einen großen Druckabfall
- CH_4-Emissionen durch Undichtigkeiten im Gassystem
- unvermeidbare Permeation durch die Gasspeichermembran
- beim Ablassen von Schwimmschlamm



Ablauf Faulung:

Ablauf Faulung:

- Verschleppung des CH_4 mit der Wasser-/ Schlammphase in nachgelagerte Verfahrensstufen
- rechnerisches CH_4-Emissionspotential im Ablauf der Faulung abhängig von der Löslichkeit bei Atmosphärendruck, dem CH_4-Gehalt des Faulgases und dem Druck am Ablauf
- In den Schlamm eingeschlossene Gasblasen können in der Praxis zu höheren CH_4-Emissionen führen

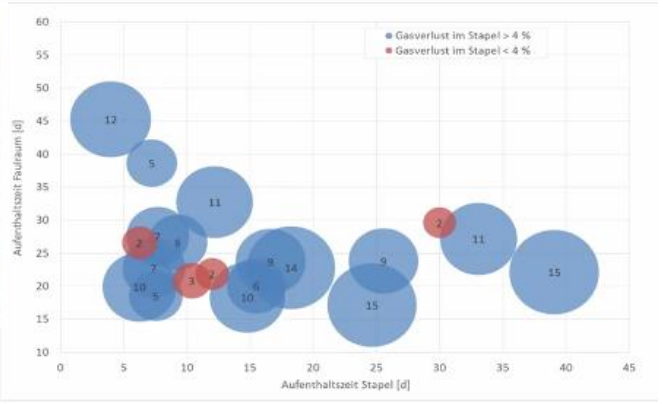


Schlammstapelbehälter

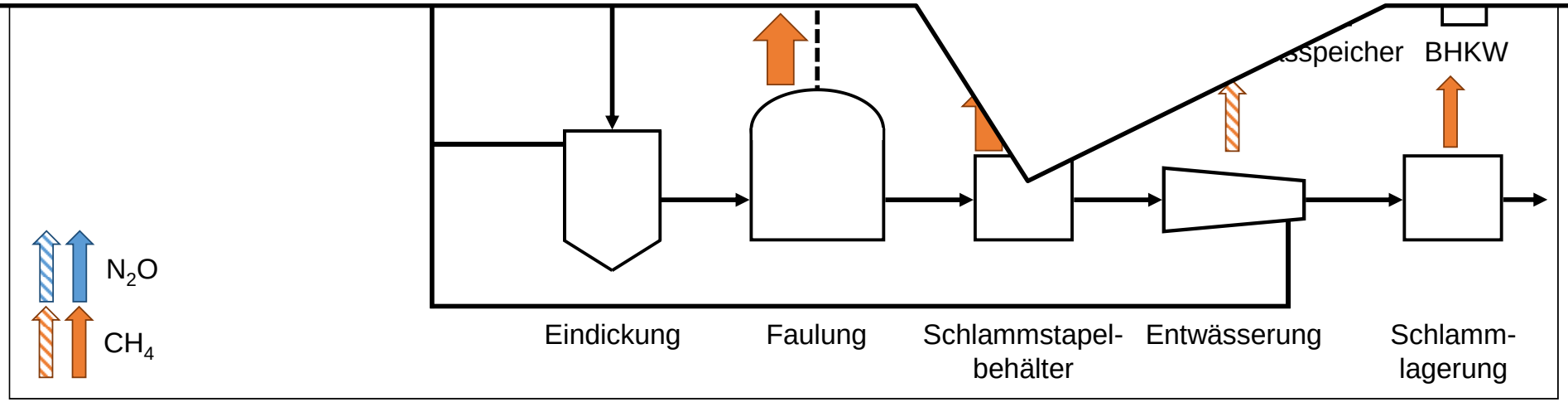
Schlammstapelbehälter

- ungezielte CH_4-Bildung beeinflusst durch
  - Stabilisierungsart (aerob/ anaerob)
  - Verweilzeit
  - Temperatur
  - Gehalt an leicht abbaubarem CSB
- Maßnahmen: Belüftung (→ aerobes Milieu), Kalkung

Foto: ARA Aarburg



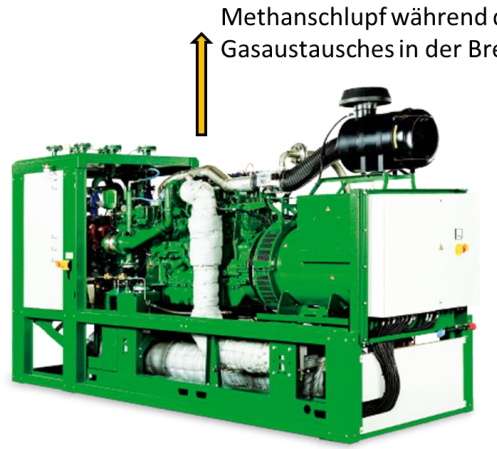
Keine direkte Korrelation zur Aufenthaltszeit erkennbar



BHKW

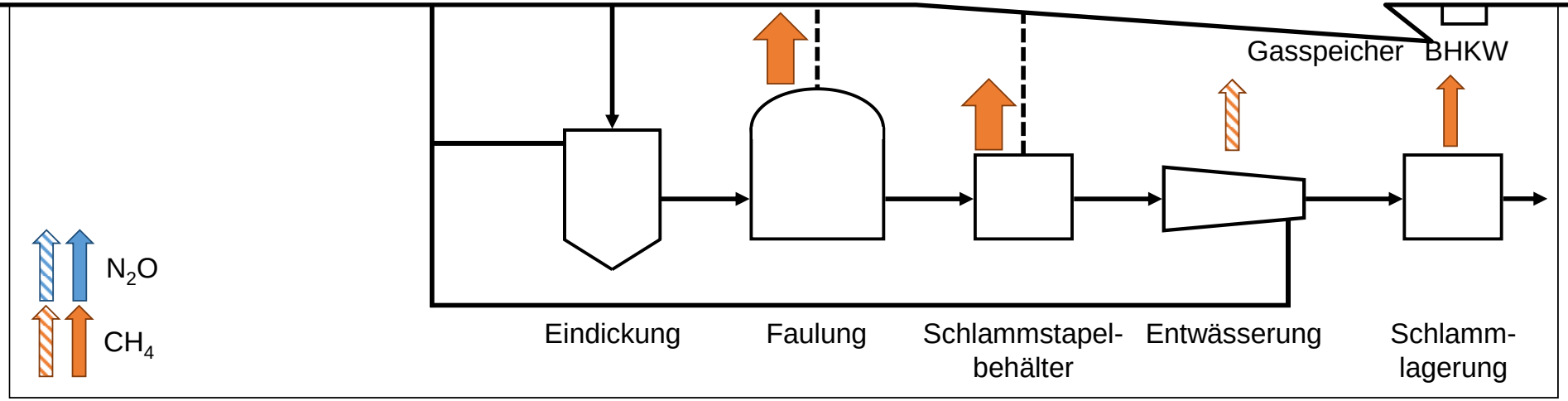
BHKW:

- Methanschlupf:
  - Verluste durch Undichtigkeiten im Gassystem
  - unvermeidbare Permeation durch Gasspeichermembran
- Ottomotoren: 1 – 2 %
- Zündstrahlmotoren (für Faulgas nicht relevant): 2 – 3 %
- Mikrogasturbinen (typische Leistungsklasse von 30 kW bis 65 kW): < 1 %



BHKW

Quelle: © 2G Energy AG



Aktuelle Werkzeuge zur CO_2e-Analyse – Einblick in Anwendung und Ergebnisbewertung für die eigene Anlage

Werkzeugauswahl am Beispiel

KlicK-Tool

- „One fits all“
- **erste Abschätzung** von THG-Emissionspotential auf Basis von Literatur- bzw. Default-Werten und wenigen Eingangsdaten
- z. B. keine Berücksichtigung von Methanbildungspotential

Was passt zu meiner Zielsetzung?

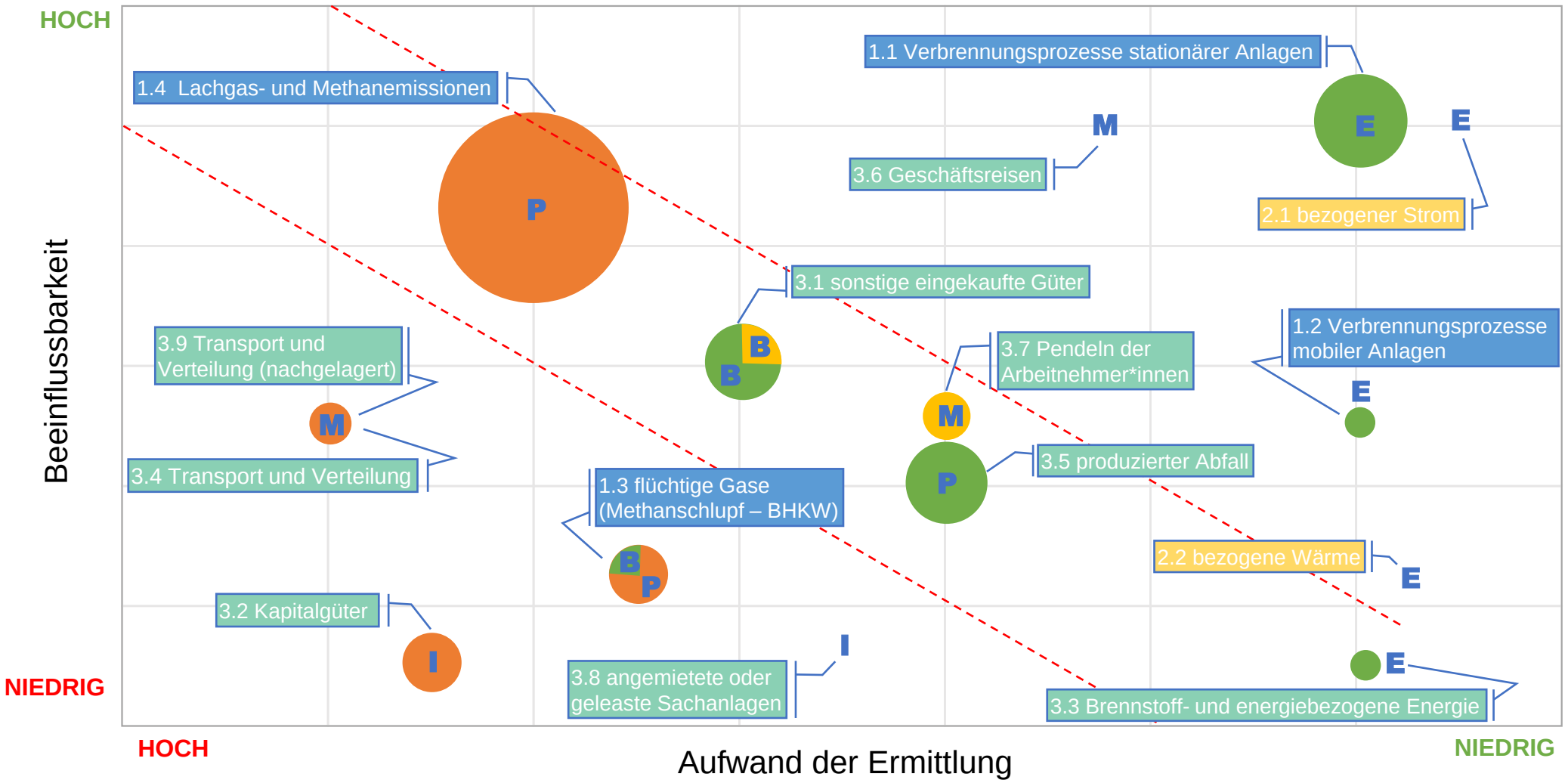
Wovon habe ich am meisten?

Anlagenspezifischer digitaler Stoffstromzwilling

- individuell zugeschnitten auf die Anlage
- reduzierter Aufwand durch schrittweisen Aufbau
- **verstetigte Analyse**, einfache Aktualisierung durch z.B. Anbindung an PLS, Messungen, Datenmanagement
- nutzbar für Bilanzierung, **Berichtswesen**, **Verfahrensvergleiche/ strategische Investitionsplanung, Betriebsunterstützung**

niedrig **Aufwand / Detailgrad / Nutzungsmöglichkeiten** **hoch**

THG-Bilanz – Möglichkeit der Einflussnahme



Genaue Erfassung

Abschätzung mit befriedigender Genauigkeit

Abschätzung

Mobilität
Energie
Prozesse
Betriebsmittel + Einkauf
Investition

Scope 1
Scope 2
Scope 3

Quelle: Jörn Kleimann, StEB Köln

Ausblick – Was sind die nächsten Schritte ?

- Absicherung der direkten Lachgasemissionen in Belebungsbecken in Abhängigkeit eingestellter Betriebsparameter durch Messungen
- Absicherung der direkten Methanemissionen durch Messungen
- Ausweitung der regenerativen Energieerzeugung (PV-Anlagen, Laufwasserkraftwerke, Windkraft)
- Bau einer solaren Klärschlammtrocknung bzw. Substitution eingesetzter Kohle
- Optimierung der Stickstoffelimination zur Reduzierung der Lachgasemissionen
- Reduktion eingesetzter Betriebsmittel (Strom, Fällmittel, C-Quelle)
- Aufforstung der geschädigten Waldflächen Aufforstung der geschädigten Waldflächen
- Evaluierung baulicher Maßnahmen

Der Digitale Stoffstromzwilling

– Aufbau, Implementierung und Anwendung der Stoffstrombilanz

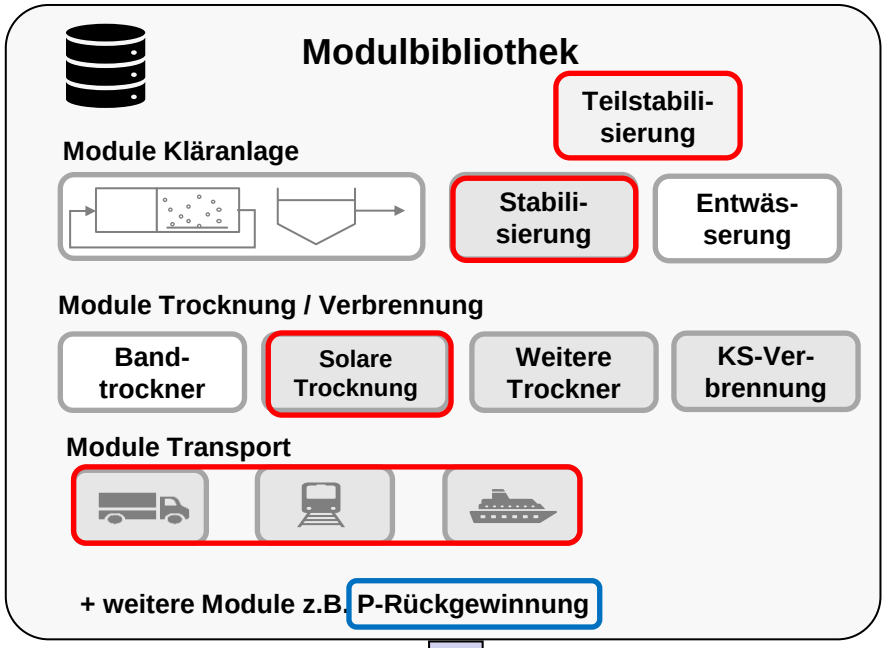
Modularer Aufbau

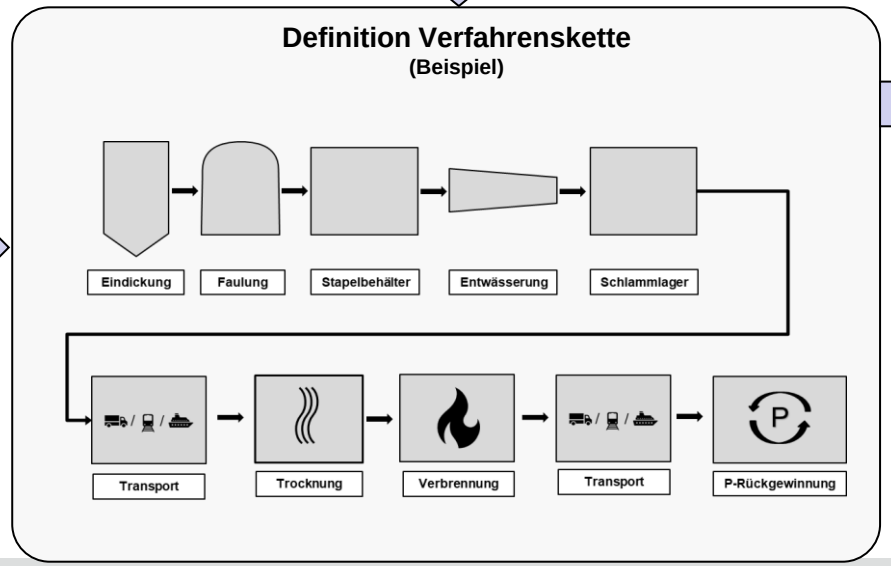
Verfahrensspezifische Kennzahlen
→ Zusammenstellung + Hinterlegung in den Modulen

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
- Schlammmengen und –qualitäten (TR, oTR, P-Gehalt, Heizwert, …)
- spez. Kosten (Strom, Wärme,…)
- CO_2e Strommix [g CO_2e/kWh]
- Invest, Abschreibungszeiträume
- Vorhandene Anlagentechnik
- Entfernungen, Verkehrsanschluss
- …





Anlagenspez. Bilanzmodell

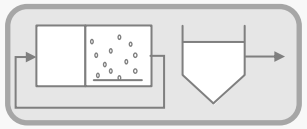
Digitaler Stoffstromzwilling

Konzept modellgestützte Bewertung

1) Bilanzierungs-Modell für die Verfahrenskette
- ⇨ Darstellung IST-Zustand
- ⇨ Szenarienberechnung
- ⇨ Prognosemodelle

2) Bewertung
- ⇨ Konzeptauswahl
- ⇨ strategische Investitionsplanung

Modul Kläranlage



Ent-wässerung

. . .

Module Trocknung / Verbrennung

Band-trockner

Solare Trocknung

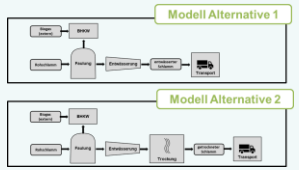
Weitere Trockner-typen

KS-Ver-brennung

Module Transport

+ weitere Module z.B. P-Rückgewinnung

Simulation Verfahrenskette(n)



Stoffströme
- Schlammmengen und -qualitäten (OS, TM, oTM, P, N, Fe, Al)
- Aschemengen und -qualitäten
- Reststoffe Verbrennung
- Rückgewinnungspotentiale P und N

Energiebedarf
- Strom
- Wärme
- Heizwert Schlamm

Transport
- Transportwege (km, tkm)

Kosten
- Invest Prozesskette
- Betrieb Prozesskette
- Entsorgungskosten (€/t OS)

CO_2e
- CO_2e Einzelmodule
- Direkte Emissionen CO_2e Prozesskette
- Indirekte Emissionen CO_2e Prozesskette
- Gesamtbilanz CO_2e Prozesskette

Bewertung Verfahrens kette

Strategische Ziele:

Minimierung CO_2e Verfahrenskette
Minimierung Entsorgungskosten
Maximierung Nährstoffrückgewinnung
Minimierung Transportkosten
…

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

ISAH Leibniz Universität Hannover

Satellite

DWA Klare Konzepte. Saubere Umwelt.

KEK 7.7

E-Klär

WaReIp

OptiNETZ-Tool

EXPLAN

Stufenweise Umsetzung digitaler Stoffstromzwilling

Bestandsaufnahme + Zieldefinition

1

- Wo wollen wir hin? → „Meilensteine“, strategische Ziele (Wirtschaftlichkeit, Umweltziele, …)
- Was soll alles betrachtet werden? → Bilanzräume, Bilanzgrößen, Bewertungsgrößen, …
- Was gibt es schon? Modelle, Messdaten, Datenbanken, Schnittstellen…
- Welche Plattform, welche Detailtiefe wird gebraucht? Erweiterungen offen halten?

Gesamtmodell IST-Zustand

2

- Schrittweise Modellaufbau
- Datenquellen
- Nutzung für Berichtswesen

Gesamtmodell Prognose / Szenarien

3

- Szenarienbetrachtungen / Verfahrensvergleiche → Entscheidungsunterstützung bei Investitionen
- Generierung, Einbindung Prognosedaten
- Ergänzung Modulbaukasten: z.B. Zukunftstechnologien

Tool für strategische Investitionsplanung

4

- Verstetigung
- Automatisierte Dateneingabe
- Bewertung Transformationspfade, Priorisierung

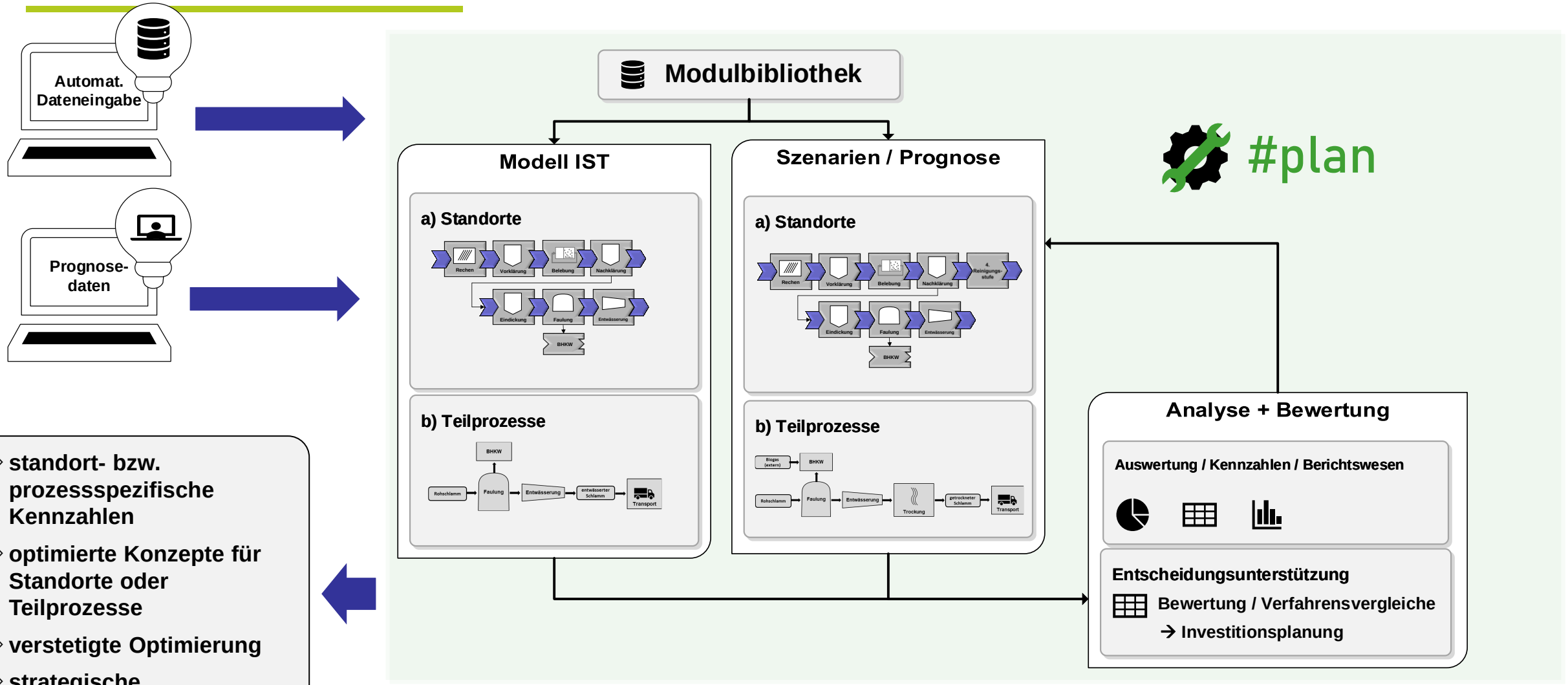
Digitaler Stoffstromzwilling

5

- Anbindung an PLZ
- Betriebsunterstützung
- Steuerung / Bewirtschaftung

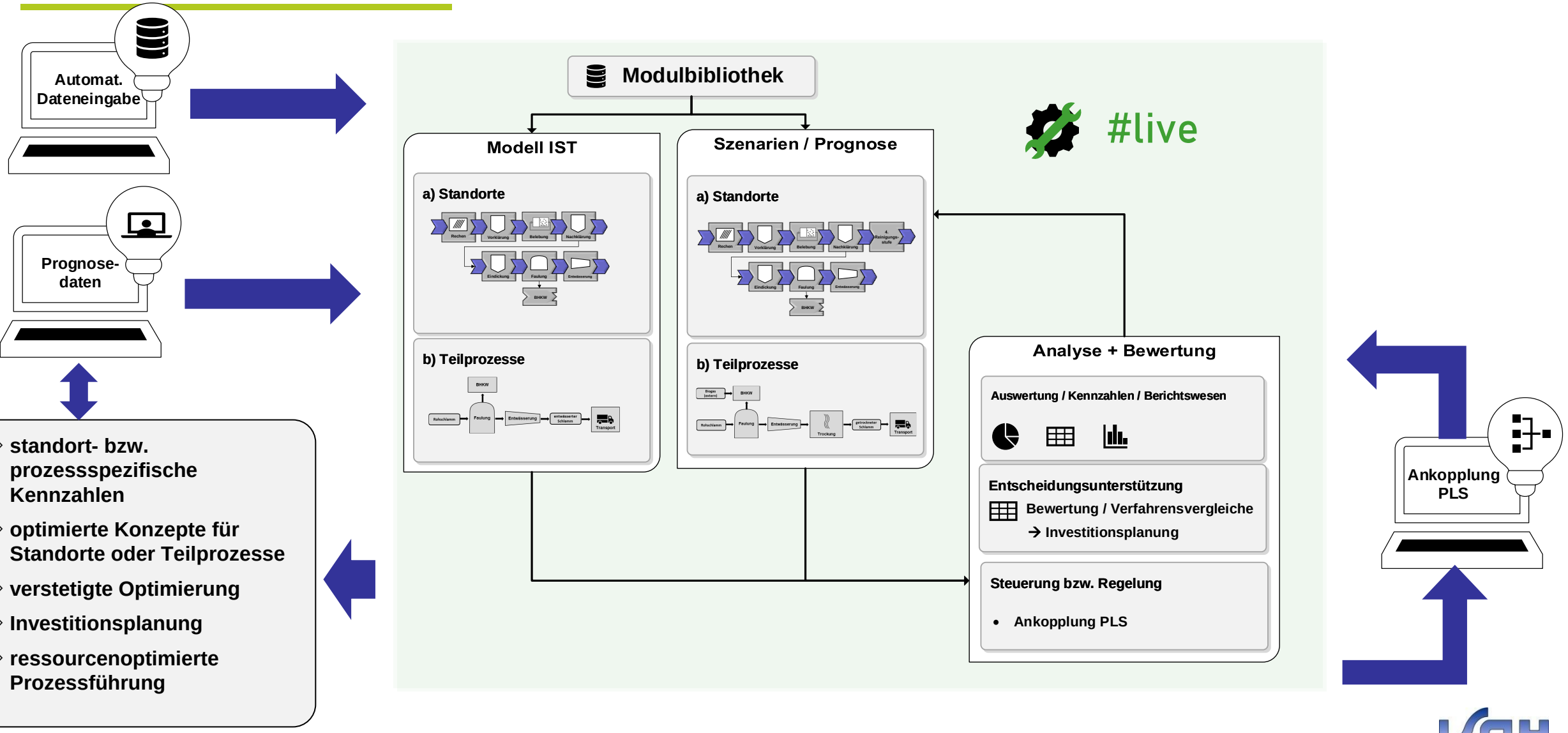
© Ingenieurbüro Dr. Breitenkamp

Verfahrensvergleich



- ⇨ **standort- bzw. prozessspezifische Kennzahlen**
- ⇨ **optimierte Konzepte für Standorte oder Teilprozesse**
- ⇨ **verstetigte Optimierung**
- ⇨ **strategische Investitionsplanung**

Einbindung Prozesssteuerung



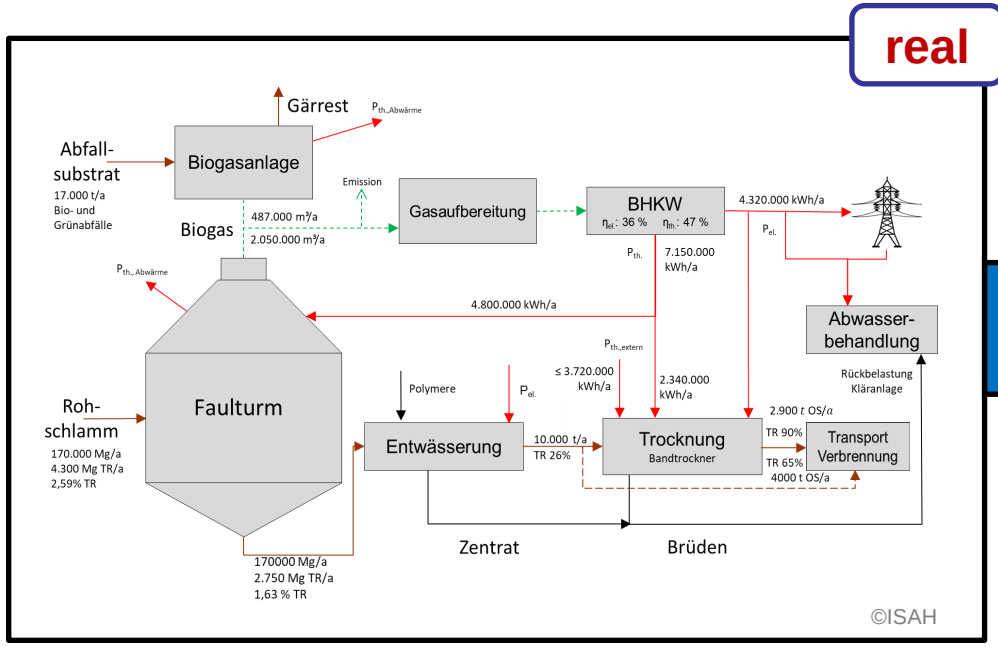
Konzept modellgestützte Bewertung

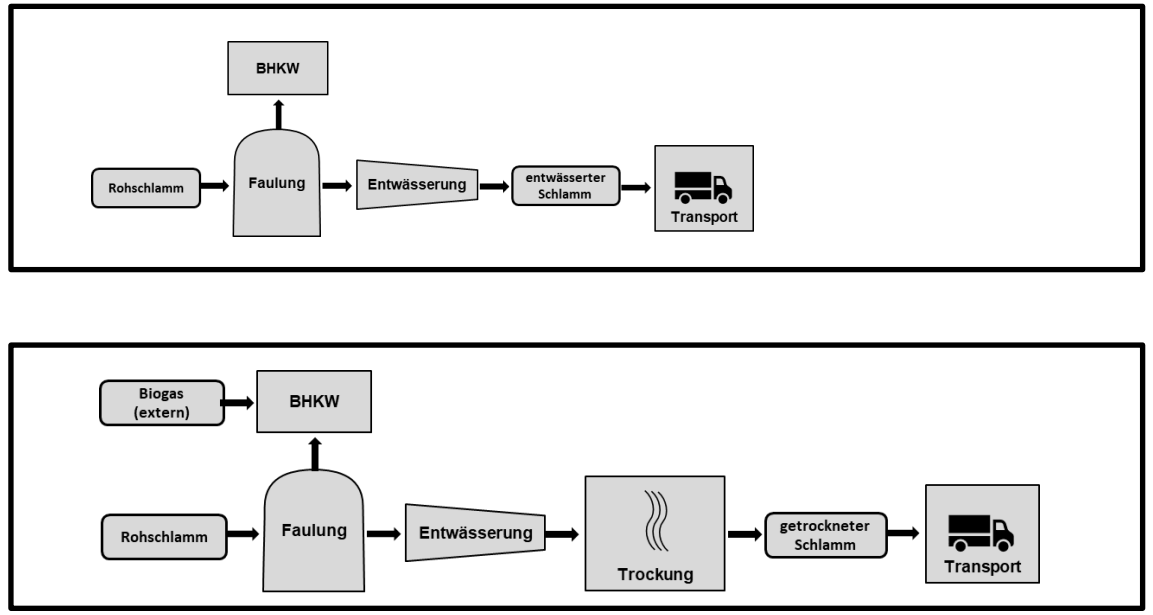
Modell-bildung → Bilanzierung → Bewertung und Auswahl

durch Modulbibliothek:

- Vollständige Abbildung der Verfahrensketten erleichtert → Identifizierung von „Nebeneffekten“
- Berücksichtigung von „unbekannten“ innovativen Verfahren (Übersicht Verfahrensalternativen)

real



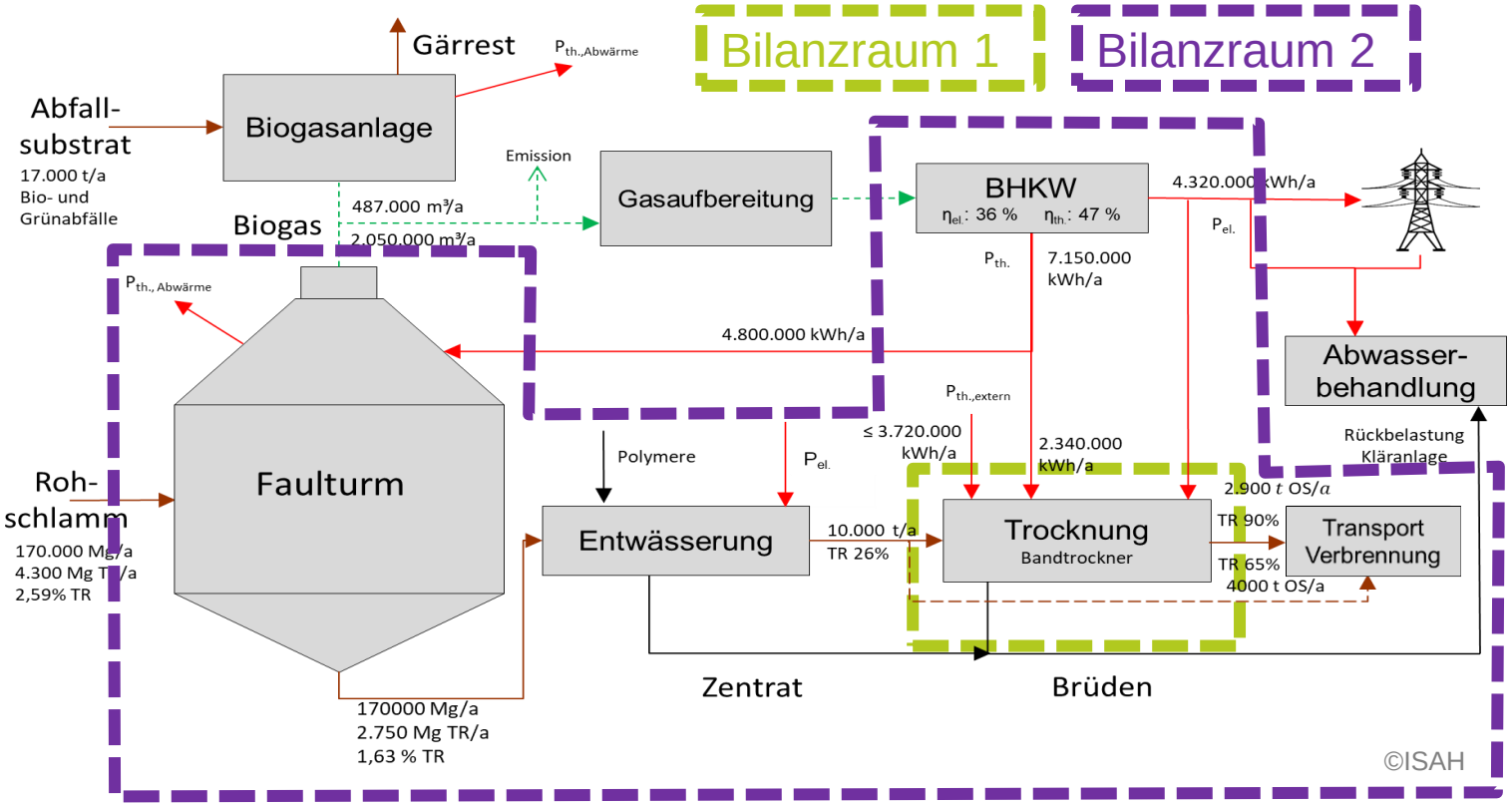


durch Modellansatz:

- Strategie-Kontrolle einfach möglich (Veränderung Rahmenbdg., neue Techniken...) agiler Prozess

Bilanzraum

Prozessketten und Szenarien



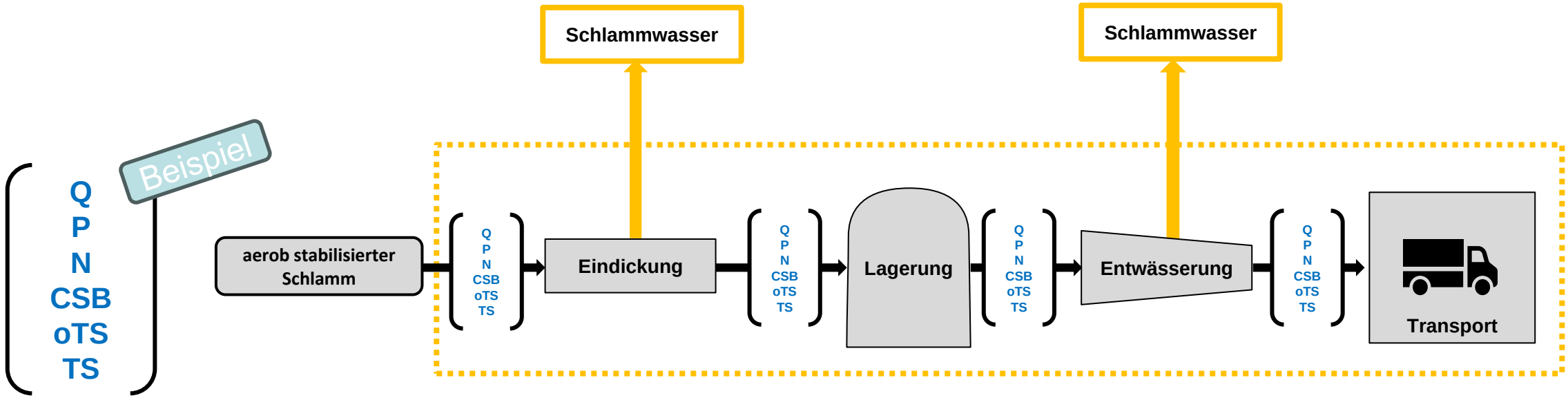
Wahl des Bilanzraums

Ergebnis abhängig von der Wahl der Bilanzgrenzen!

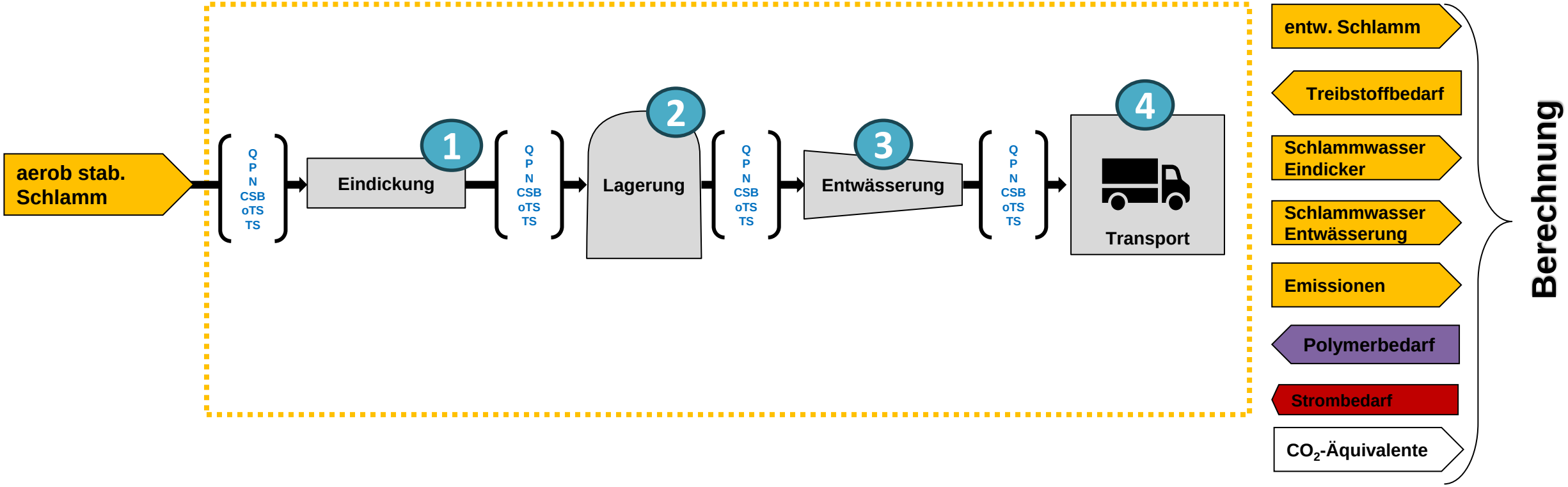
Rückkopplung zur Zielsetzung:
→ Wahl des Bilanzraums zugeschnitten auf Fragestellung!

Modellbildung

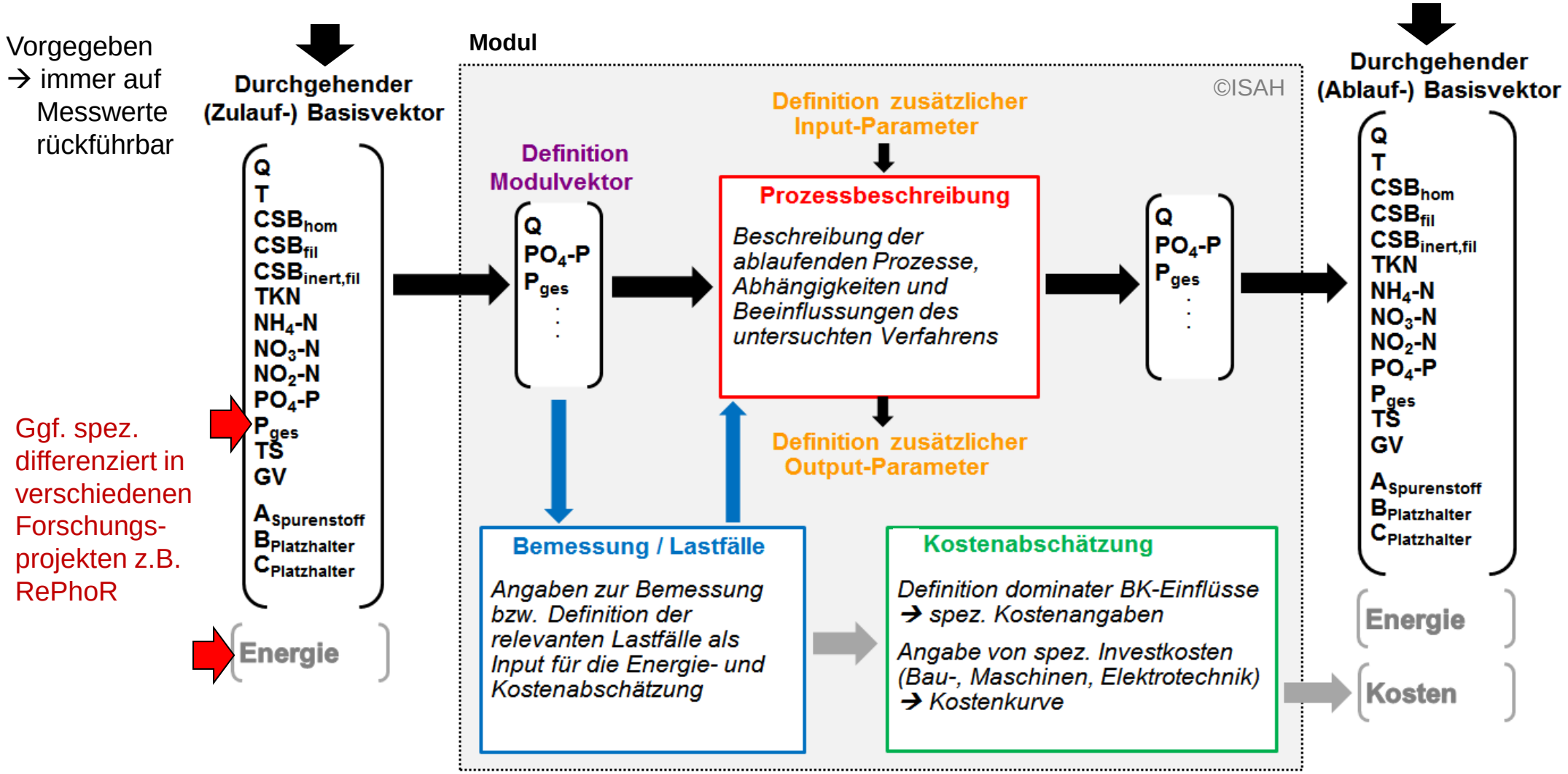
→ Kopplung der Verfahrensschritte über einheitlichen Basisvektor



Modellbildung



Modellkonzept = über Basisvektor gekoppelte Module



Modulbeschreibung
Beispiel Entwässerung

DWA AG KEK 7.7

Lagerung

→ Q_{in} [Mg/a], P_{in} [g/Mg], PO_4-P [g/Mg], N_{in} [g/Mg], NH_4-N [g/Mg], CSB_{in} [g/Mg], oTS_{in} [g/Mg], TS_{in} [g/Mg], $CH_{4,in}$ [g/Mg]

eingedickter Schlamm

Modul Entwässerung

Verfahrensspezifische Inputparameter / Kennzahlen
- TR am Ende der Entwässerung [% TR]
- Kennzahlen zur Ermittlung der Zusammensetzung des Schlammwassers: TS, P, N, oTS
  → Messwerte oder Funktionen: f(Verfahrenstechnik)
- Dichte des Schlamms: Defaultwerte Input (1000 kg/m³) + entwässerter Schlamm (1150 kg/m³) vorgeben
- **Temperatur**
- Betriebsmittel: z.B. spez. Flockungshilfsmittelbedarf: Eingabe KA-spezifisch (Messwerte) [kg/Mg TM] oder Tabellenwerte f(TS, oTS) (Polymere, Kalkmilch), ggf. Entschäumer
- spez. el. Energiebedarf [kWh/m³ Schlamminput]
- Personalaufwand [h/a]
- Invest für Bau, EMSR, Maschinentechnik

Standortspezifische Inputparameter
- spez. Kosten Strom [€/kWh$_{el}$] am Standort
- Abschreibungszeitraum, Zinssatz
- Personalkosten [€/h]
- spez. Kosten für Polymer [€/kg]

Transferfaktoren CO_2e
- spez. CO_2e Flockungshilfsmittel [kg CO_2e/kg]
- spez. CO_2e Strommix [kg CO_2e/kWh]
- spez. CO_2e Methan [kg CO_2e/kg]

Massenbilanz
- Schlammwassermenge und -zusammensetzung aus Q_{in} und Kennzahlen
- Rest aus Massenbilanz

Energiebilanz
- Bedarf elektrisch [kW]

Kostenberechnung
- Invest: Bau, Elektro, Maschinen [€/a]
- Betrieb: Personal, Polymer, Wartung, Energie el. [€/a]

CO_2e
- direkt: CH4: Abschätzung aus Methanlöslichkeit möglich, NH3, CO2,
  bei späterer Verbrennung: fossiles CO_2e aus Betriebsmitteln berücksichtigen (Berechnung über Anteil CSB)
- *indirekt: aus Betriebsmittelbedarf (Herstellung)*
- *indirekt: aus Energiebedarf elektrisch*

Bilanzgrößen für Bewertung
- Energie: Bedarf Strom
- Jahreskosten Invest
- Jahreskosten Betrieb
- CO_2e Modul (Betrieb)
- P-Rückgewinnungspotential

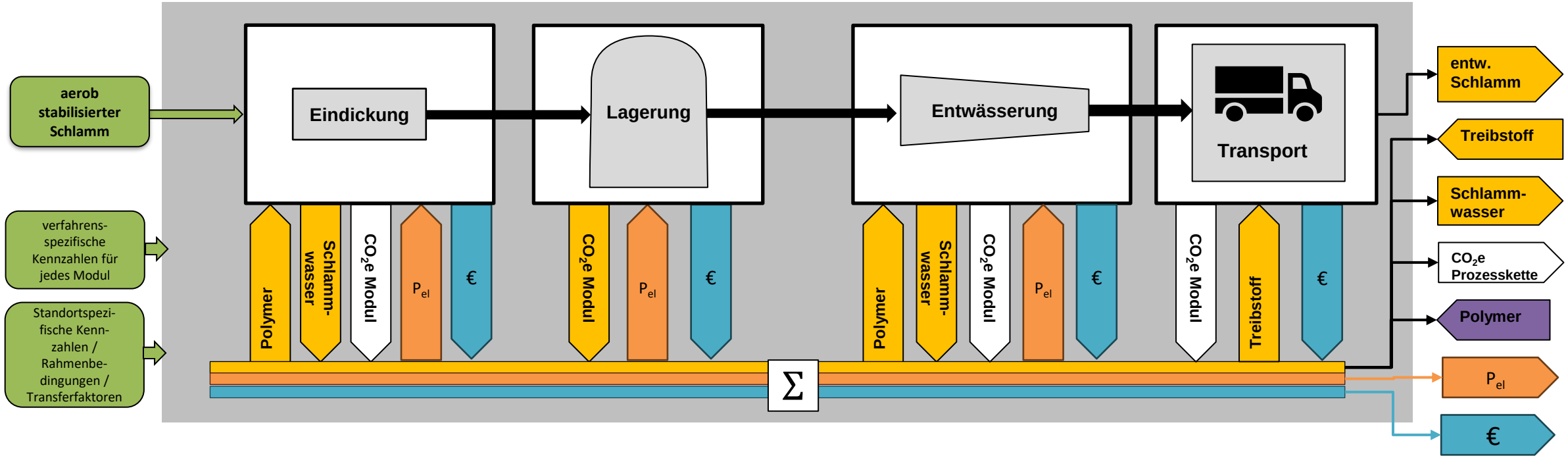
Zusätzliche Bilanzgrößen
- Polymerbedarf
- direkte Emissionen CO_2e
- indirekte Emissionen CO_2e

→ $CH_{4,out}$ [Mg/a], NH_3, CO_2 — **direkte Emissionen**

→ Q_{ab} [Mg/a], P_{ab} [g/Mg], N_{ab} [g/Mg], CSB_{ab} [g/Mg], oTS_{ab} [g/Mg], TS_{ab} [g/Mg] — **entwässerter Schlamm**

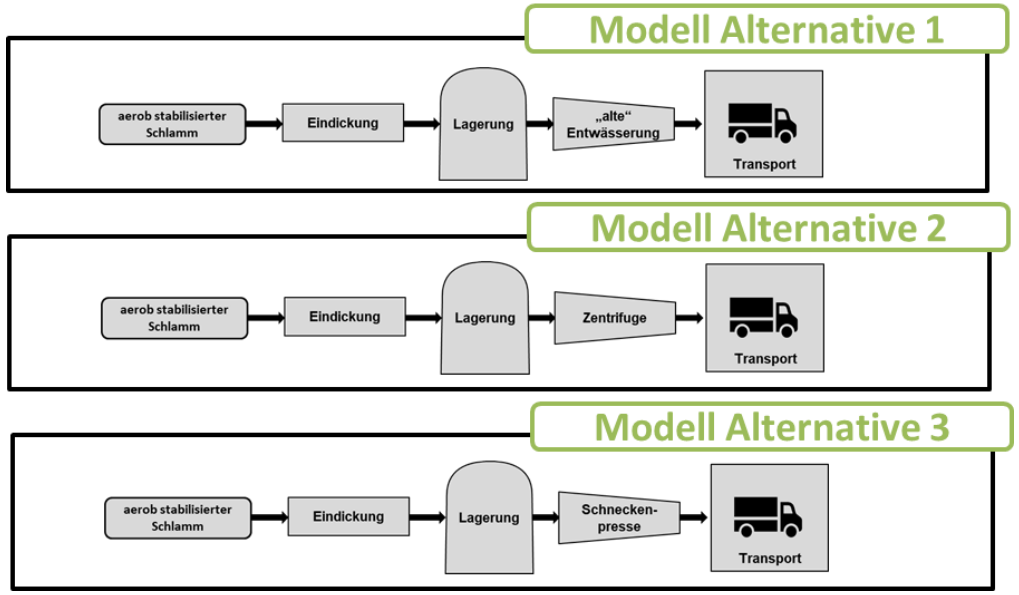
→ Q_{SW} [Mg/a], P_{SW} [g/Mg], PO_4-P [g/Mg], N_{SW} [g/Mg], NH_4-N [g/Mg], CSB_{SW} [g/Mg], oTS_{SW} [g/Mg], TS_{SW} [g/Mg] — **Schlamm-wasser**

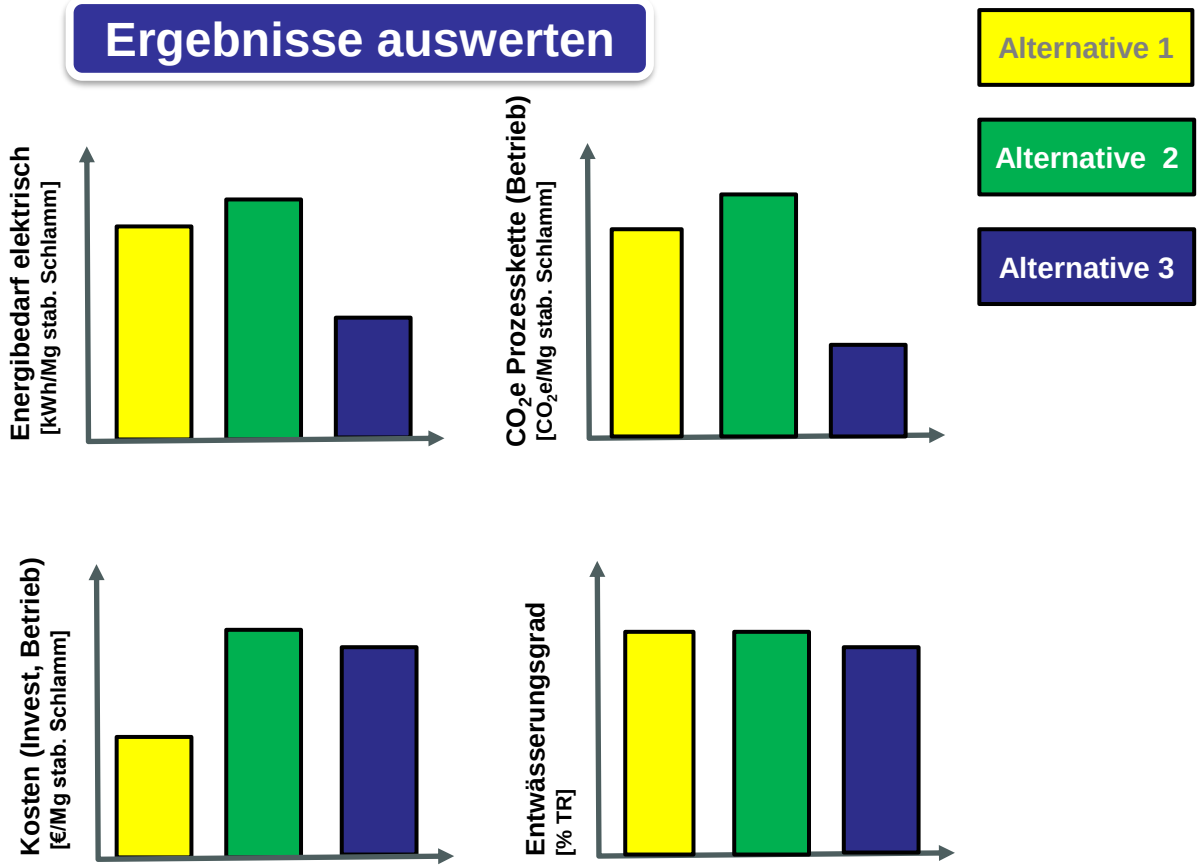
Modellkopplung



! Kalibrierung der einzelnen Prozessstufen bzw. des Gesamtmodells !

Nutzungsbeispiel Verfahrensauswahl





ISAH-Modulbibliothek

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

Funktionen

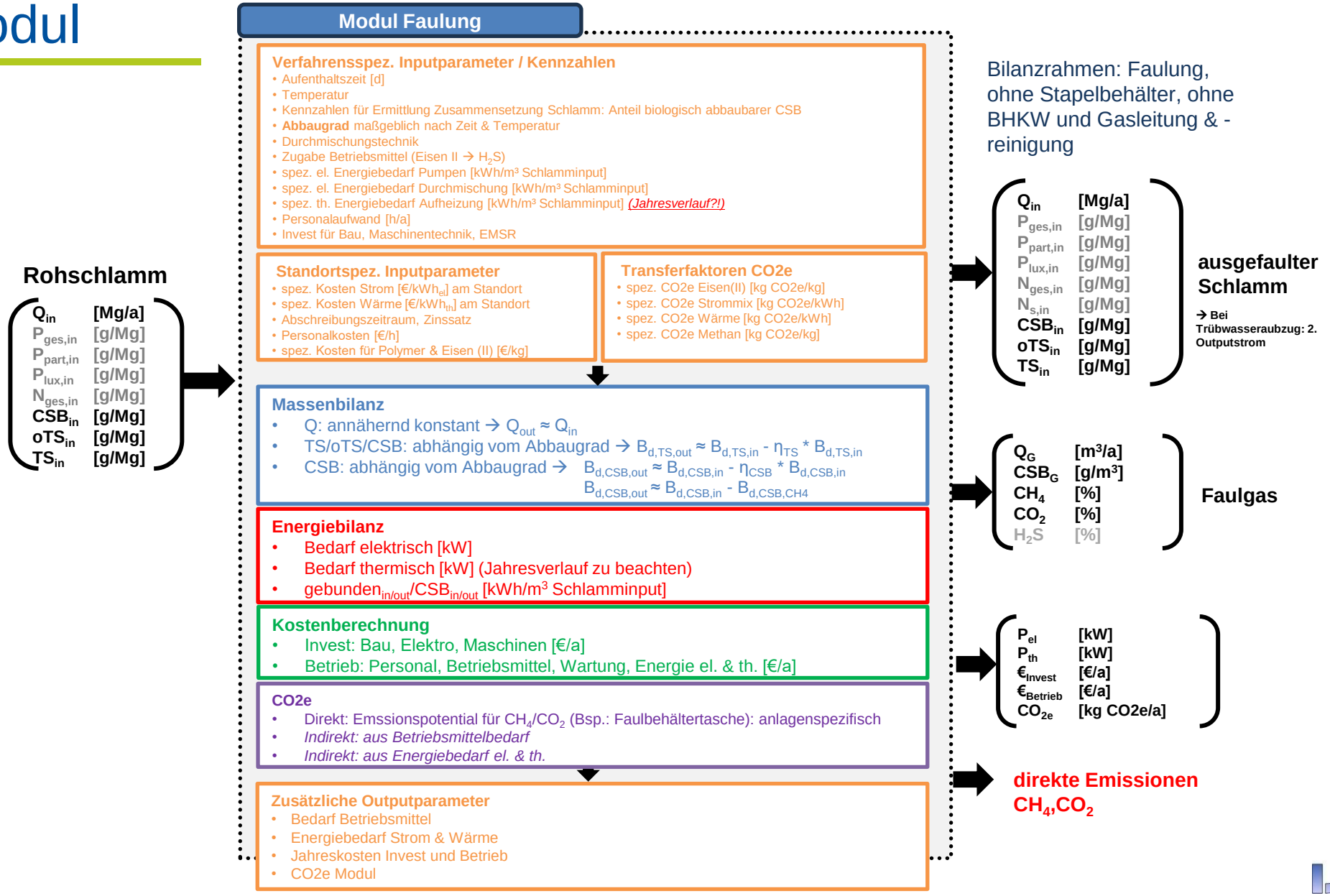
- Anwendung zur Abbildung von Verfahrensketten oder Einzelanwendung eines Moduls
  - statisch oder Zeitreihen
- Ergebnisdarstellung (Bilanzen, Zeitreihen, Sankey-Diagramme)
- Modelle und Ergebnisse können lokal gespeichert werden (Excel)

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

Modulvertiefung - Beispiele

Beispiel Modul Faulung

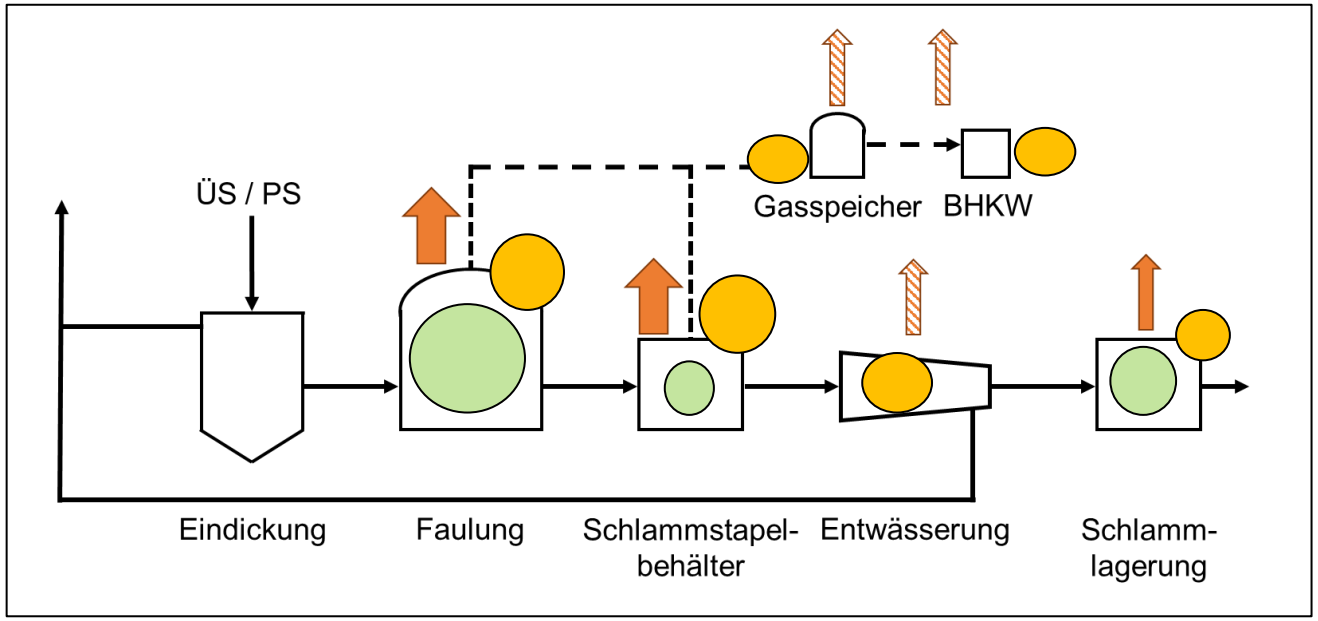


Methan (CH_4)

GWP = 28

Emissions-Potentiale

- **biologisch gebundenes Potential**, d.h. was an umsetzbaren CSB im Schlamm gebunden ist Angabe meist in kg/(E*a)
- **physikalisch gebundenes Restgas**, d.h. die Fraktion, die z.B. bei der Vakuumentgasung strippt, Angabe meist in L/m³



Abwesenheit von O_2 (anaerobes Milieu)

Ausreichend langes Schlammalter

CH_4-Bildung

Organische Kohlenstoffverbindungen (biol. Abbaubar) (CSB, oTM)

Kontakt zur Atmosphäre

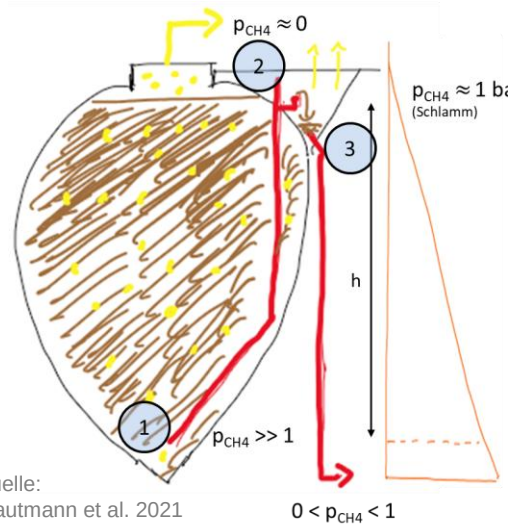
CH_4-Emission

Änderung von Druck/Temperatur

Phasenübergang Methan

Begünstigt durch Turbulenzen (hohes A/V)

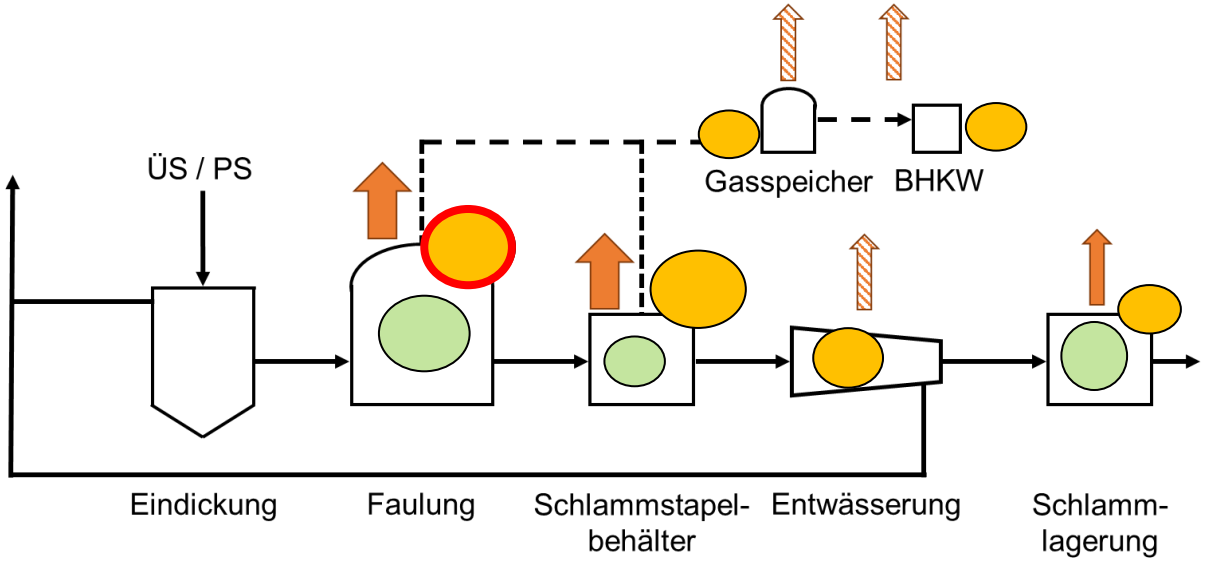
CH_4-Emissions-Potentiale und Vermeidung



Quelle:
Trautmann et al. 2021

CH_4-Konzentration:

1 > 2 > 3



Kalibrierung der Prozesstufen-Module

Änderung von Druck/Temp

Kontakt zur Atmosphäre

CH_4-Emission

Phasenübergang Methan

Transportverluste Schlupf

Begünstigt durch Turbulenzen (hohes A/V)

gezielt einsetzen

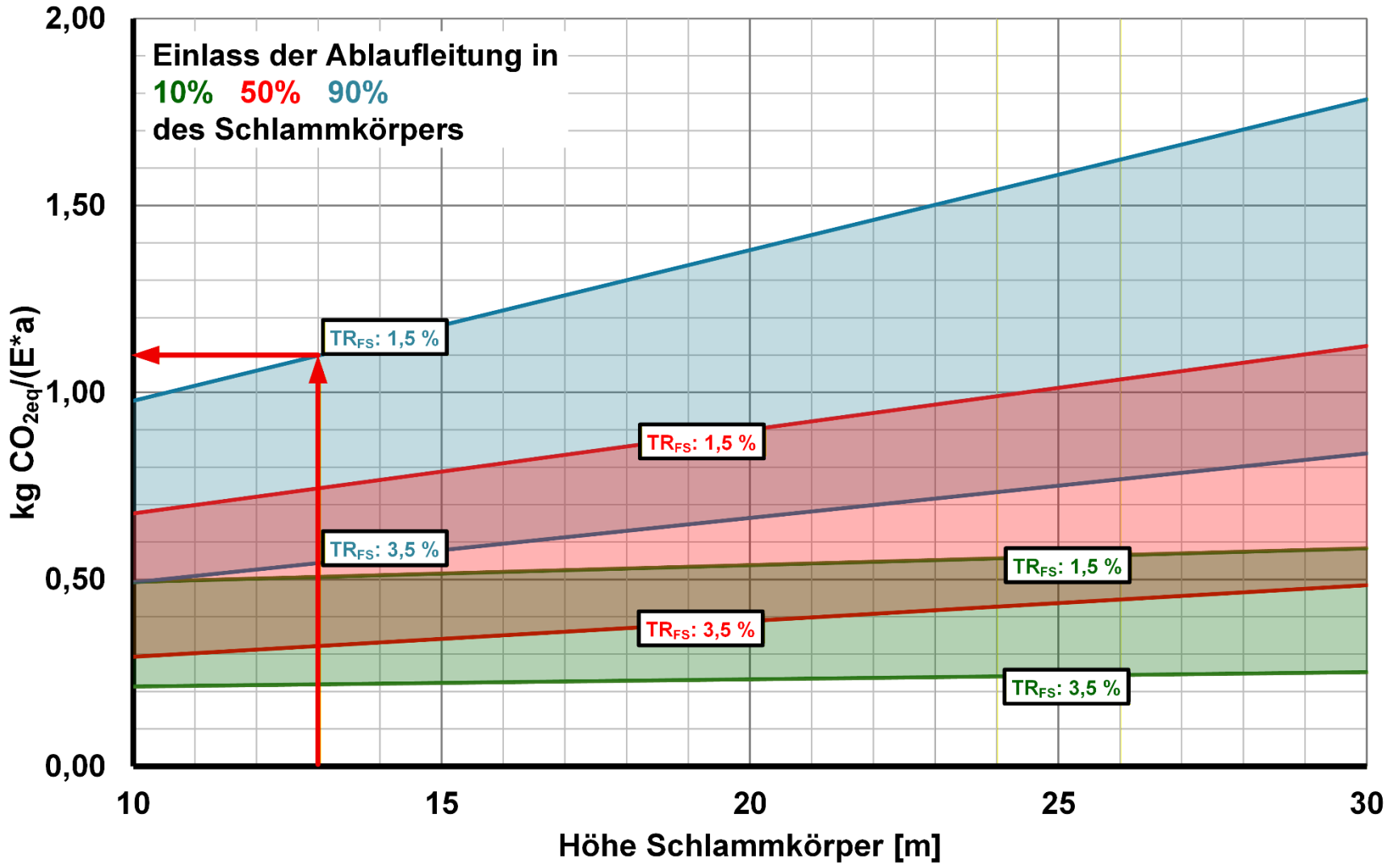
Rechnerisch: **0,01 kg bis 0,03 k**
mit jedem **m³** Schlam

→ ≙ Emissionspotenz im Ablauf der Faulung
~0,25 kg bis 0,76 kg CO_2/E*a

→ + zusätzlich anhaftende Gasblasen/Übersättigung

→ + zusätzliche Bildung (Nachgasungspotential)

Bsp. Kalibrierung der Prozesstufen-Module



I. Urban und N. Trautmann – THG-Check, DBU-Projekt (2024 – 2026)

Zusatzinformationen zu Scope III

Datenerhebung

Hersteller-/ Lieferanten-spezifische Daten	Daten sind spezifisch für das Produkt des Lieferanten
Durchschnittsdaten	Sekundäre Daten, die nicht durch eigene Messungen gewonnen wurden, sondern aus vorhandenen Quellen stammen (Datenbanken, Studien, Statistiken,...)
Kostenbasierte Daten	

Vorgehen: Top-down vs. Bottom-up

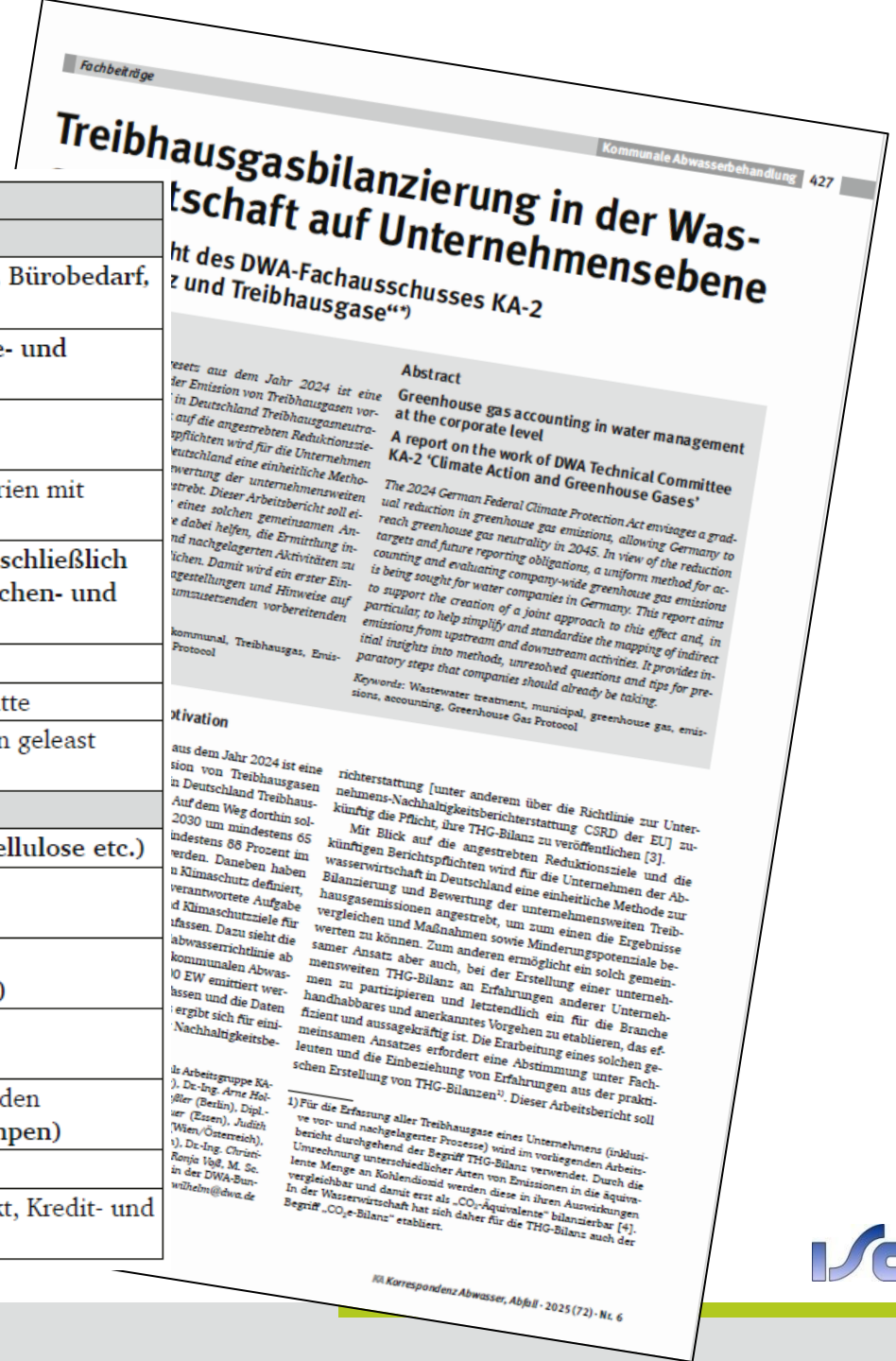
- Top-down: Aggregatdaten (Energie, Mengen) → Faktoren
- Bottom-up: Prozessnah (Stufen/Anlagenbereiche)
- Kombination oft zweckmäßig
- Detaillierungsgrad nach Ziel/Motivation staffeln
- Plausibilisierung mit Kennzahlen/Benchmarks
- Iterative Verfeinerung je nach Datenlage

Ansatz	kostenbasiert	Durchschnittsdaten	Hersteller/Lieferanten
Betriebsdaten	Einkaufswerte	Mengen oder ähnlich	Einzelmengen oder ähnlich
Auflösung	Warengruppen, Dienstleistungs-bereiche	einzelne Güter und Dienstleistungen	Einzelposten
THG-Faktoren	CO_2e/€	CO_2e/kg oder ähnlich	CO_2e/Stück
Quellen	Schätzwerte	Datenbanken mit Industriedurchschnitt	Zulieferer
Aufwand	gering	mittel	hoch*)
Aussagekraft	gering	mittel	hoch

*) momentan hoch durch schlechte Datenverfügbarkeit, zukünftig geringer durch Automatisierung

Aktuelle Arbeitshilfen

Nr.	Name	Beschreibung
Vorgelagerte Bereiche zur Erzeugung des Produkts		
3.1	Eingekaufte Waren und Dienstleistungen	Waren und Dienstleistungen, unter anderem **Fällmittel, Chemikalien, IT, Bürobedarf, Forschung, Kommunikation, Gutachten**
3.2	Kapitalgüter	Externe Bauleistungen, unter anderem **Kanalbau und -sanierung, Werke- und Anlagenbau, Verwaltungsgebäude**
3.3	Brennstoff-/energiebezogene Emissionen	Vorketten von Energieträgern (wenn nicht in Scope 1 oder 2 erfasst)
3.4	Transport und Verteilung	Externe Transportleistungen durch Dritte, sofern nicht in anderen Kategorien mit erfasst
3.5	Produzierter Abfall	Behandlung und Entsorgung oder Verwertung von Abfall durch Dritte **einschließlich Transport, unter anderem Klärschlamm, Bauabfälle, Fällschlamm, Rechen- und Sandfanggut**
3.6	Geschäftsreisen	Geschäftsreisen der Mitarbeiter*innen, (außer eigene Fahrzeuge)
3.7	Pendeln der Arbeitnehmer	Pendeln der Mitarbeiter*innen zwischen dem Wohnort und der Arbeitsstätte
3.8	Angemietete oder geleaste Sachanlagen	Betrieb von Gebäuden und Maschinen, die durch das eigene Unternehmen geleast wurden
Nachgelagert im Lebensweg des Produkts		
3.9	Transport und Verteilung	Externe Transporte von Produkten durch Dritte **(zum Beispiel Struvit, Cellulose etc.)**
3.10	Verarbeitung der verkauften Güter	Weiterverarbeitung von Produkten durch andere Unternehmen **(zum Beispiel Granulation von Struvit, Aufbereitung von Cellulose)**
3.11	Nutzung der verkauften Güter	Nutzung der verkauften Produkte **(unter anderem Phosphor, Strom, Wärme, Wasserwiederverwendung)**
3.12	Umgang mit verkauften Gütern am Lebenszyklusende	Entsorgung und Behandlung der Produkte am Ende ihres Lebenszyklus
3.13	Vermietete oder verleaste Sachanlagen	Betrieb von eigenen Gebäuden und Maschinen, die an Dritte verleast wurden **(zum Beispiel Wasserspender, Versickerungsanlagen, Hochwasserpumpen)**
3.14	Franchise	Betrieb von Franchise-Geschäftstätigkeiten als Franchisegeber
3.15	Investitionen in andere Unternehmen oder Projekte	Geschäftstätigkeiten von Investitionen in Dritte, zum Beispiel Kapitalmarkt, Kredit- und Projektfinanzierung


Fachbeiträge

Kommunale Abwasserbehandlung 427

Treibhausgasbilanzierung in der Was-
tschaft auf Unternehmensebene
ht des DWA-Fachausschusses KA-2
z und Treibhausgase“*)

Abstract

Greenhouse gas accounting in water management at the corporate level

A report on the work of DWA Technical Committee KA-2 ‘Climate Action and Greenhouse Gases’

Keywords: Wastewater treatment, municipal, greenhouse gas, emissions, accounting, Greenhouse Gas Protocol

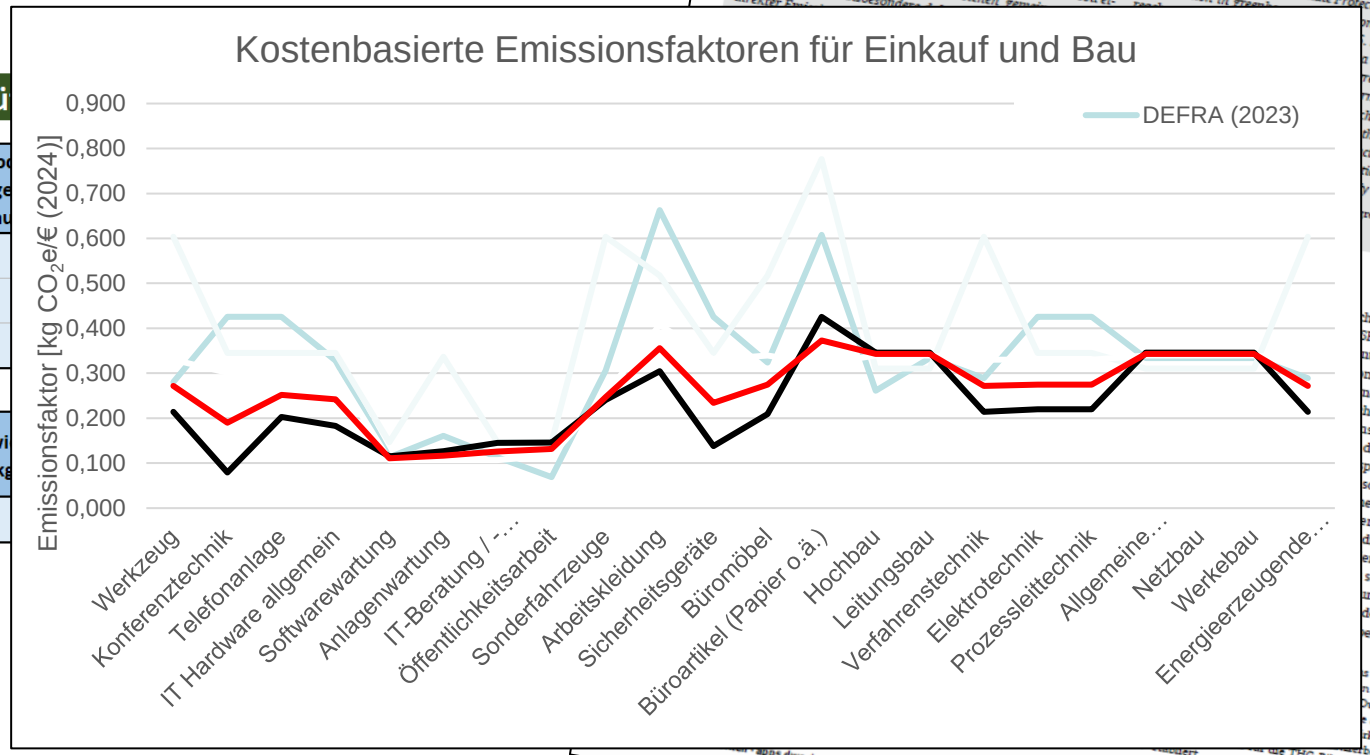
Aktuelle Arbeitshilfen

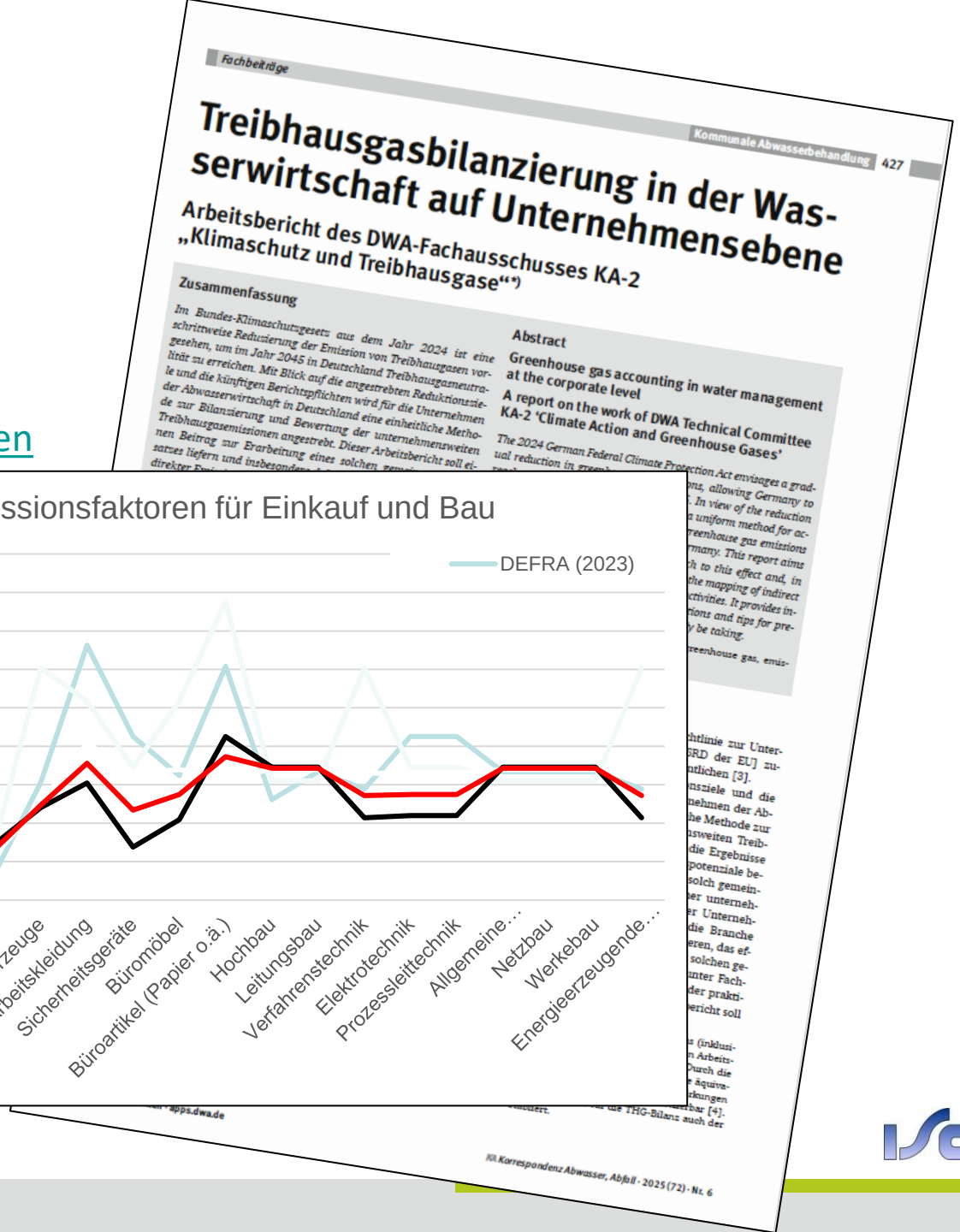
AG Scope 3, *Bilanzierung von Scope 3-Emissionen: Leitfaden zur Berechnung und Berichterstattung für die Wasserwirtschaft*. 2024: Online unter: https://www.hansewasser.de/unternehmen/scope-3-leitfaden

Berechnung THG-Emissionen aus Investitionsgü

Produktkategorie	Produktgruppe	Investitions-kosten [Mio. €]	Prognose: proc der Anlage Lebensdau
Energieerzeugende Anlagen	Photovoltaik		
	Windenergie (onshore)		
	Windenergie (offshore)		

Produktkategorie	Produktgruppe	Leistung [KW]	Prognose: Gewi [kg
Energieerzeugende Anlagen	BHKW	235	




Fachbeiträge

Kommunale Abwasserbehandlung 427

Treibhausgasbilanzierung in der Wasserwirtschaft auf Unternehmensebene

Arbeitsbericht des DWA-Fachausschusses KA-2 „Klimaschutz und Treibhausgase"*)

Zusammenfassung

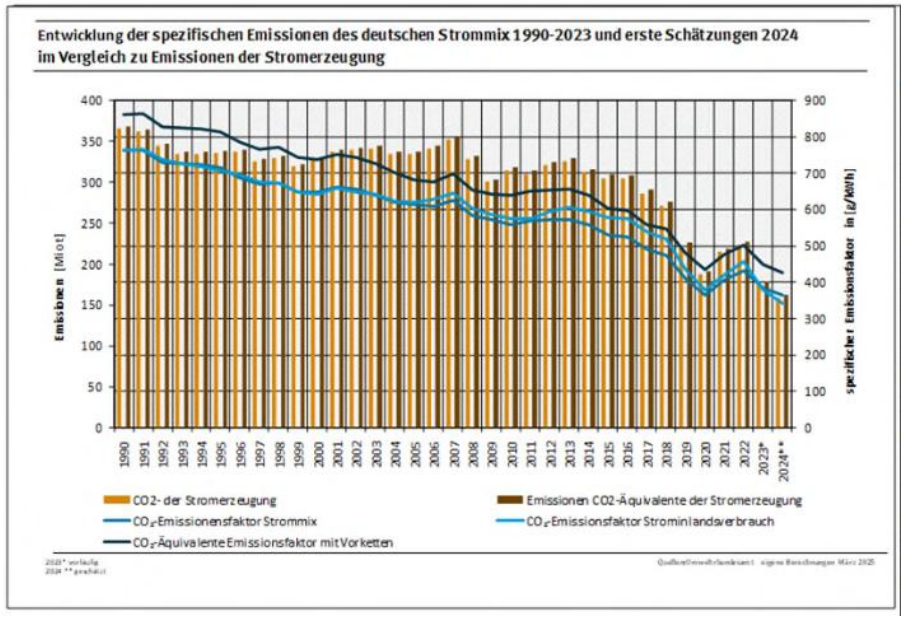
Abstract

Greenhouse gas accounting in water management at the corporate level

A report on the work of DWA Technical Committee KA-2 'Climate Action and Greenhouse Gases'

Datenquellen & Emissionsfaktoren

- UBA/GEMIS/ProBas für Energieträger & Prozesse
- Strommix (bundesweit/regional/lieferantenspezifisch)
- Prozessspezifische Faktoren für Chemikalien
- Transport/Entsorgung: Distanz & Nutzlast berücksichtigen
- Aktualisierung & Versionierung der Datenbanken
- Qualität: Primärdaten bevorzugen, Sekundärdaten kennzeichnen



Wichtige Aspekte bei Emissionsfaktoren

- Ziel: möglichst repräsentativ für das Unternehmen

- Wichtig:
  - Repräsentativität: Produkt oder Prozess, lokaler Markt, …
  - Qualität: anerkannte und geprüfte Methodik (z.B. ISO, EN)
  - Transparenz: nachvollziehbar, öffentlich zugänglich
  - Aktualität: regelmäßige Updates

- ABER AUCH:
  - Verfügbarkeit (!)
  - Konsistenz mit Aktivitätsdaten (u.a. Detailtiefe, Auflösung)
  - Aufwand der Erhebung verhältnismäßig

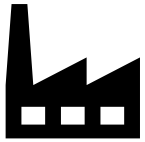
Kostenbasierte Emissionsfaktoren

- Basieren auf makroökonomischen Daten
- Mehrheitlich internationale Quellen verfügbar (u.a. UK, FR)
- Hohe Unsicherheiten
- Geringe Detailtiefe (Sektoren)
- Schwierige Aktualisierung (Inflation, Marktentwicklung, Wechselkurse, …)
- Keine Steuerungsgröße

Beispiel: kostenbasierte Emissionsfaktoren DEFRA (UK)

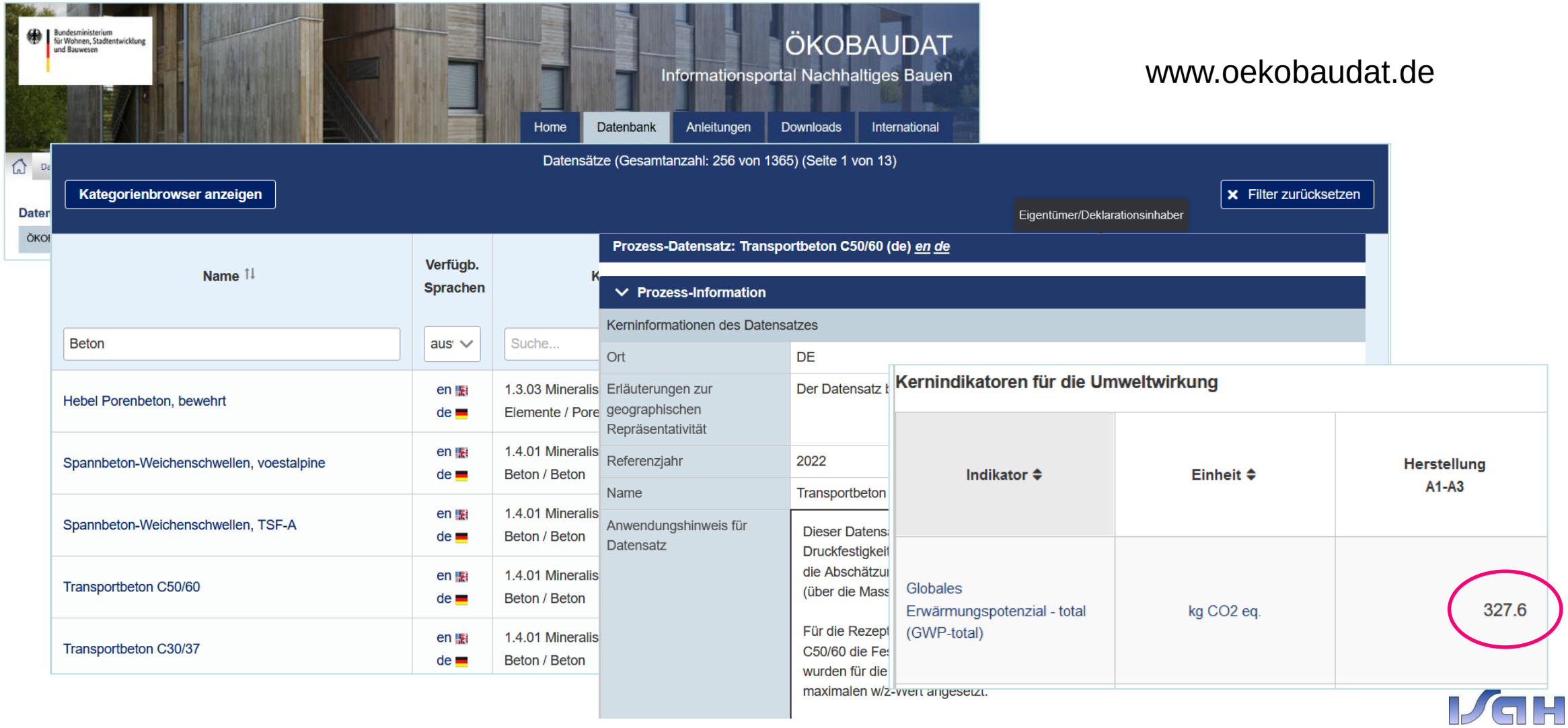
https://carbonsaver.org

Durchschnitt: mengenbasierte Emissionsfaktoren



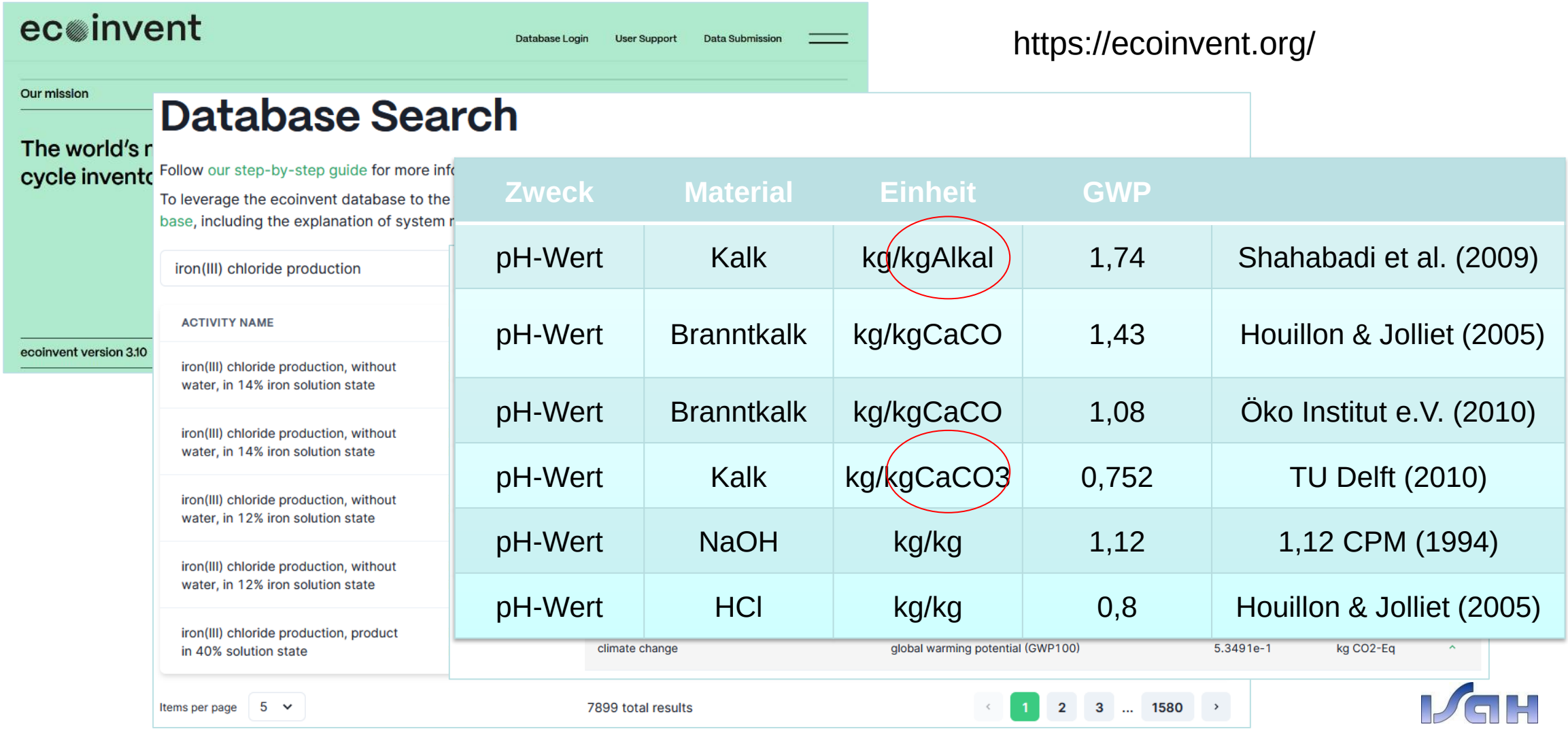
- Basieren auf Durchschnittsdaten der Industrie
- Öffentliche und kommerzielle Datenbanken (kostenpflichtig)
- Höhere Detailtiefe (u.a. Energie, Material, Chemikalien, Abfälle, Transporte)
- Zugänglichkeit schwieriger → mehr Erfahrung notwendig
- Aktualität nicht immer gegeben
- Einheiten beachten

Beispiel 1: mengenbasierte Emissionsfaktoren Bau



www.oekobaudat.de

Beispiel 2: mengenbasierte Emissionsfaktoren Chemikalien



https://ecoinvent.org/

Zweck	Material	Einheit	GWP	
pH-Wert	Kalk	kg/kgAlkal	1,74	Shahabadi et al. (2009)
pH-Wert	Branntkalk	kg/kgCaCO	1,43	Houillon & Jolliet (2005)
pH-Wert	Branntkalk	kg/kgCaCO	1,08	Öko Institut e.V. (2010)
pH-Wert	Kalk	kg/kgCaCO3	0,752	TU Delft (2010)
pH-Wert	NaOH	kg/kg	1,12	1,12 CPM (1994)
pH-Wert	HCl	kg/kg	0,8	Houillon & Jolliet (2005)

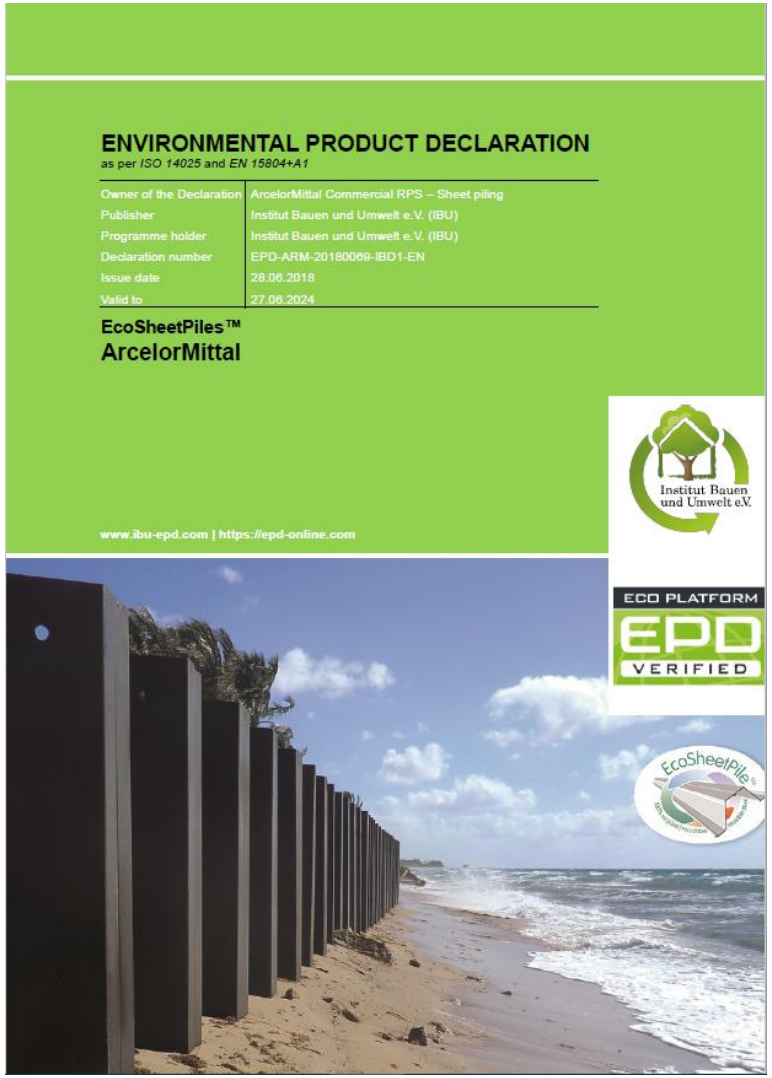
Lieferantenbasierte Emissionsfaktoren

- Basieren auf Herstellerdaten
- Wichtig:
  - extern geprüfte Methodik (z.B. ISO 14025, EN 15804)
  - Beispiel: Environmental Product Declaration (EPD)
  - Transparenz = Einblick in die Methode
- Größte Präzision und Detailtiefe
- Oft noch nicht verfügbar

Mehr Anfragen = mehr Daten in der Zukunft!

Ausschreibungen entsprechend gestalten

Beispiel: lieferantenbasierte Emissionsfaktoren Spundwände



Product stage			Construction process stage		Use stage							End of life stage				Benefits and loads beyond the system boundaries
Raw material supply	Transport	Manufacturing	Transport from the gate to the site	Assembly	Use	Maintenance	Repair	Replacement	Refurbishment	Operational energy use	Operational water use	De-construction demolition	Transport	Waste processing	Disposal	Reuse-Recovery-Recycling-potential
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
X	X	X	MND	MND	MND	MND	MNR	MNR	MNR	MND	MND	MND	MND	X	MND	X

RESULTS OF THE LCA - ENVIRONMENTAL IMPACT according to EN 15804+A1: 1 metric ton of EcoSheetPiles™

Parameter	Unit	A1-A3	C3	D
Global warming potential (GWP)	kg CO_2 eq	5.2E+02	2.03E+00	-3.23E+00
Depletion potential of the stratospheric ozone layer (ODP)	kg CFC11 eq	6.37E-07	1.22E-09	-1.6E-07
Acidification potential of land and water (AP)	kg SO_2 eq	1.94E+00	6.3E-03	9.79E-04
Eutrophication potential (EP)	kg PO_4^3 eq	1.51E-01	6.96E-04	5.59E-04
Formation potential of tropospheric ozone photochemical oxidants (POCP)	kg Ethen eq	1.7E-01	4.89E-04	2.82E-02

Stahl (neu, Industriedurchschnitt): 2530 kg CO_2e pro t
Stahl (neu, EcoSheetPiles): 520 kg CO_2e pro t

- 100% Recyclinganteil
- Elektrostahl-Route mit 100% erneuerbarem Strom

https://sheetpiling.arcelormittal.com/download-center/epd-lca-download/

Nächste Schritte

Digitalisierung der Prozesskette und

Bilanzvergleich im Netzwerk/Teilnehmer

Nächster Termin:

→ Online-Sprechstunde zur Aufstellung der Bilanzen: im Juni

→ anlagenspezifisch Betrachtung + gemeinsame Diskussion

→ Überführung in ein einfaches Bilanzmodell in Excel

Vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit

Dr.-Ing. Maike Beier
ISAH, Welfengarten 1, 30167 Hannover
Tel.: +49 511 762-2898,
E-Mail: beier@isah.uni-hannover.de

Obfrau DWA FA KA 2
Klimaschutz und THG-Emissionen

Dr.-Ing. Sabrina Breitenkamp
ISAH, Welfengarten 1, 30167 Hannover
Tel.: +49 511 762-2899,
E-Mail: reitenkamp@isah.uni-hannover.de

Sprecherin DWA AG KEK 7.7
Energie- und Ressourceneffizienz der Klärschlammverwertung

Leibniz Universität Hannover

ISAH