



# Water-Reuse in Industrieparks



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

**Wave-Statusseminar,  
DECHEMA, Frankfurt am Main  
17./18.04.2018**

**Prof. Dr.-Ing. Hans Joachim Linke  
TU Darmstadt, Fachgebiet Landmanagement**

# Projektziele

---

Konzeptioneller Ansatz: In einem **Industriepark anfallende Abwässer** über **kaskadenartig** geschaltete Behandlungsstufen **bedarfsorientiert** und unter Berücksichtigung technischer, ökologischer und ökonomischer Aspekte **aufbereiten und** für verschiedene Zwecke im Park **wiederverwenden**

- Entwicklung einer **multikriterielle Entscheidungsunterstützung** im Bereich der Verfahrensauswahl
- Entwicklung eines **dynamischen Leitungsnetzes** sowie eines **Messkonzepts** für einen Industriepark mit Reuse-Konzept
- Entwicklung von Ansätzen, um die **Belastung der Mitarbeiter** bei komplexer werdender Prozesssteuerung angemessen zu halten
- Entwicklung **neuer Aufbereitungstechniken** für Problembereiche der Industrieabwasserreinigung

→ Zusammenführen der Ergebnisse zu einer **übertragbaren Planungshilfe für Industrieparkplaner/-betreiber**

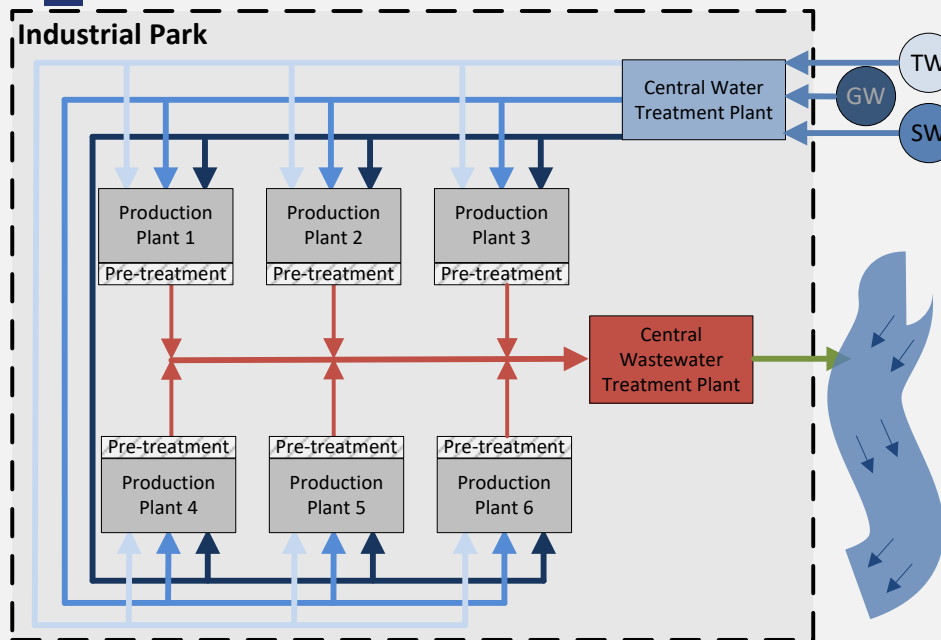
# ZWISCHENERGEBNISSE

## BESTANDSAUFNAHME INDUSTRIEPARKS DEUTSCHLAND, CHINA, VIETNAM

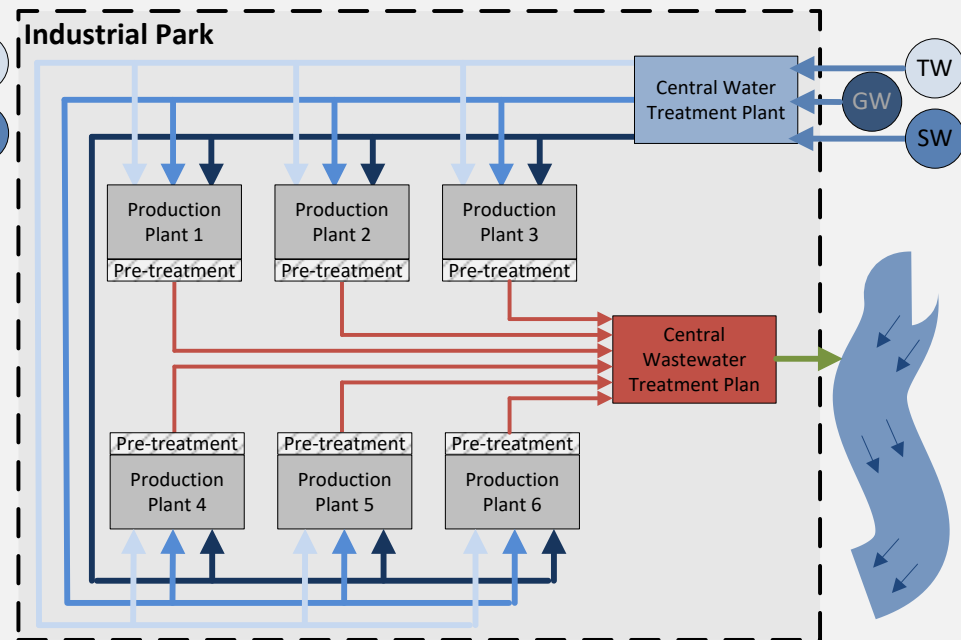
# Industrieparks im 3-Ländervergleich

	Deutschland	China	Vietnam
<b>Stichprobe</b>	30 Parks	7 Parks	23 Parks
<b>Parkgröße</b>	Ø 340 ha	Ø 4.500 ha	Ø 330 ha
<b>Parkarten</b>	i.d.R. historisch gewachsene Chemieparks	Trend hin zu „themenorientierten Parks“ z.B. Chemieparks	Mischparks (Leichtindustrie)
<b>Wasser- versorgung</b>	unterschiedlich, i.d.R. von 3 bis zu 9 verschiedenen Qualitäten	i.d.R. drei Qualitäten (Trink-, Industrie- und VE- Wasser)	nur eine Qualität (Domestic Water ≠ Trinkwasser)
<b>Zentrale Kläranlagen</b>	Aufbereitungstechniken i.d.R. stark individualisiert (historisch gewachsen), üblich auch kommunales Abwasser mitzubehandeln	unterschiedlich – auffällig SCIP mit getrennten Behandlungslinien für unterschiedliche Abwasserqualitäten	sehr ähnlich – vorgegebener Standard: Abwasserqualitäten A und B
<b>Rohr- leitungen</b>	sowohl überirdische Druckrohrleitungen als auch unterirdische	i.d.R. überirdische Druckrohrleitungen	Rohrleitungen überwiegend unterirdisch
<b>Regen- wasser</b>	i.d.R. mit wenig verschmutztem Kühlwasser/ Brauchwasser geführt	separate Regenwasserführung	separate Regenwasserführung
<b>Reuse</b>	Kein umfassender Reuse-Standard – betriebsinterne Wasserkreisläufe nahe am Prozess i.d.R. vorhanden, unternehmens-übergreifend noch ausbaufähig	Reuse-Standard vorhanden, im Industriebereich jedoch bisher wenig Interesse/Umsetzung	Kein Reuse-Standard, Interesse vorhanden, Maßnahmen in kleinem Umfang umgesetzt

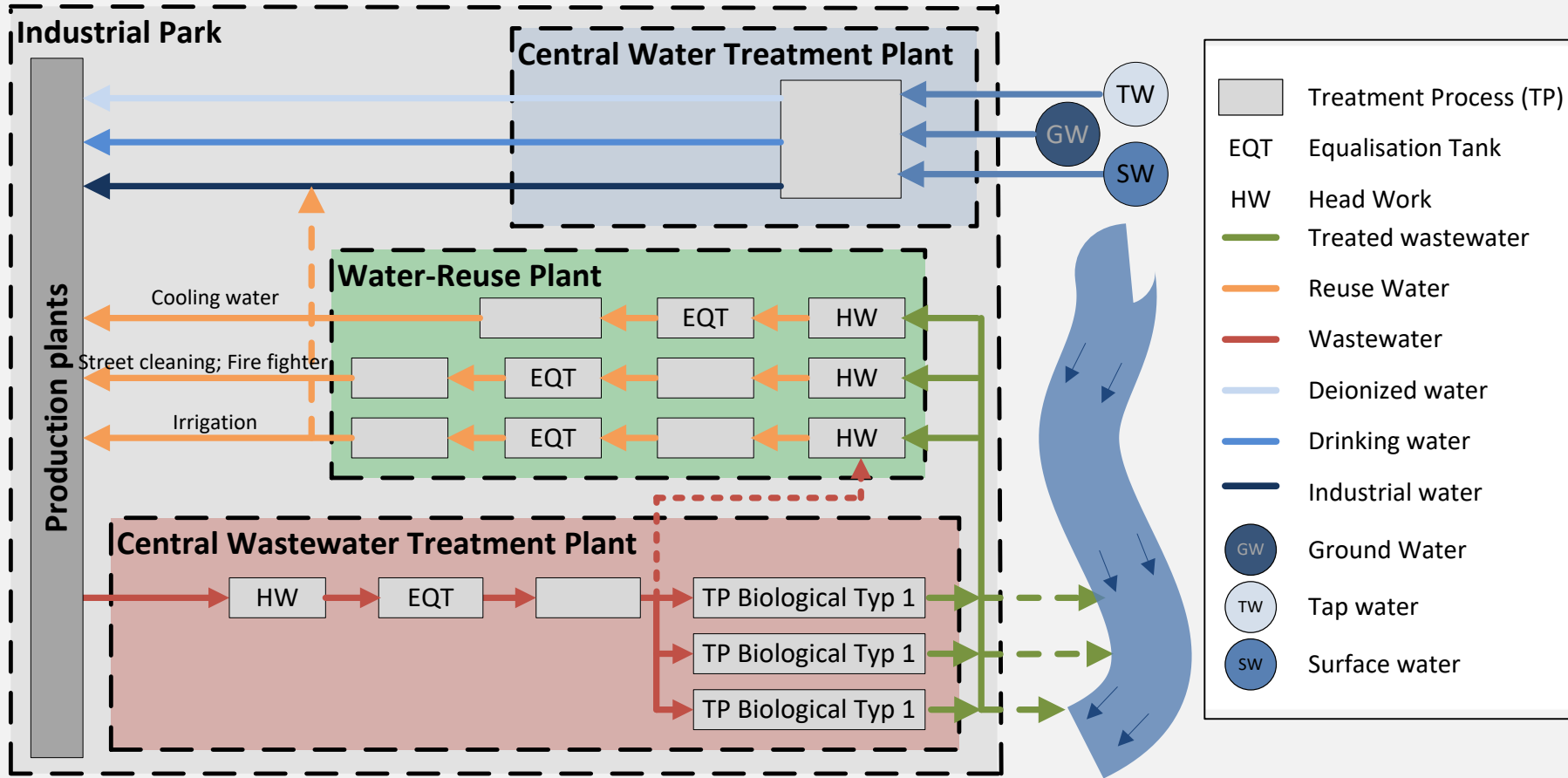
## Ausgangssituation 1

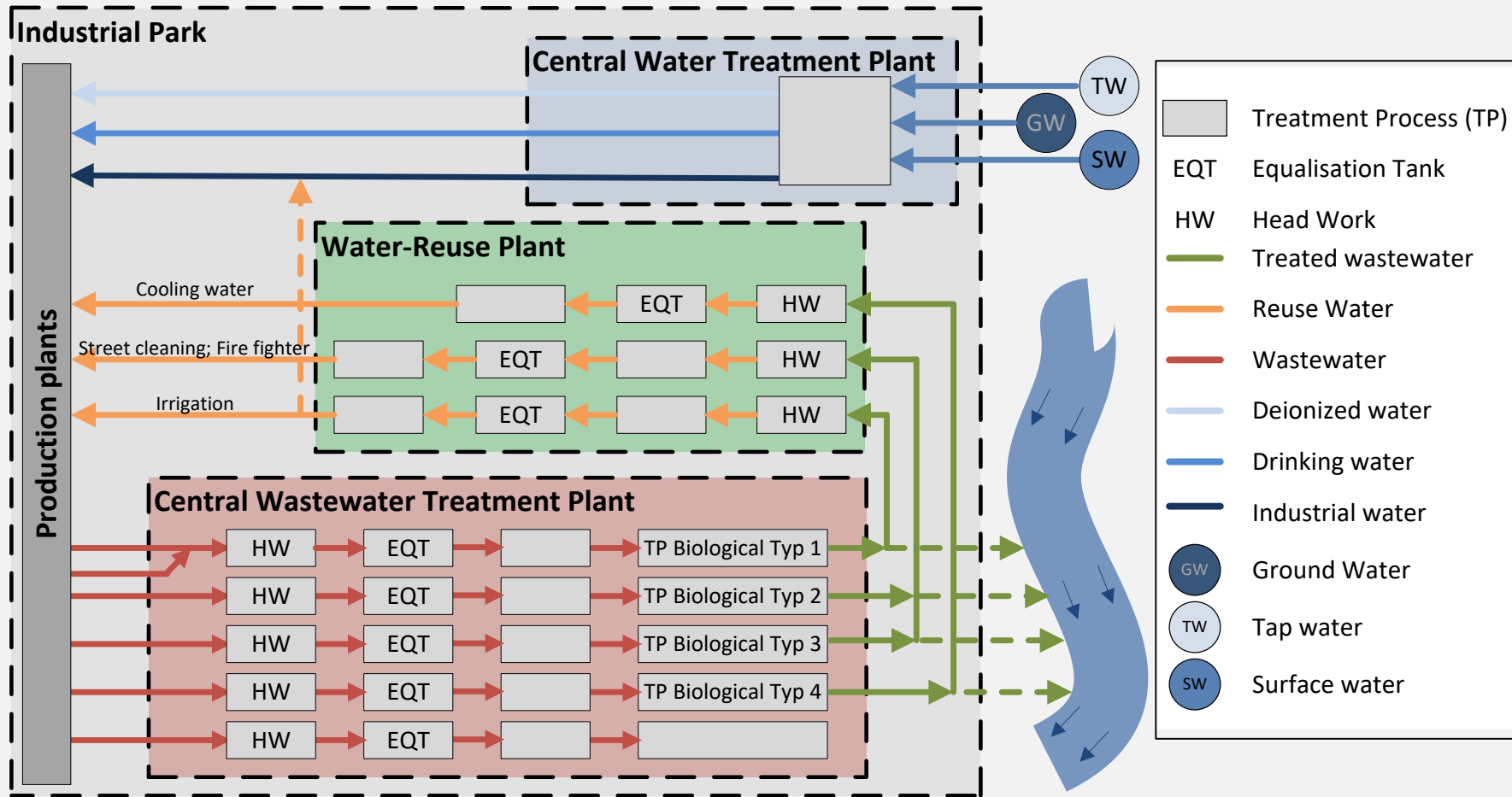


## Ausgangssituation 2



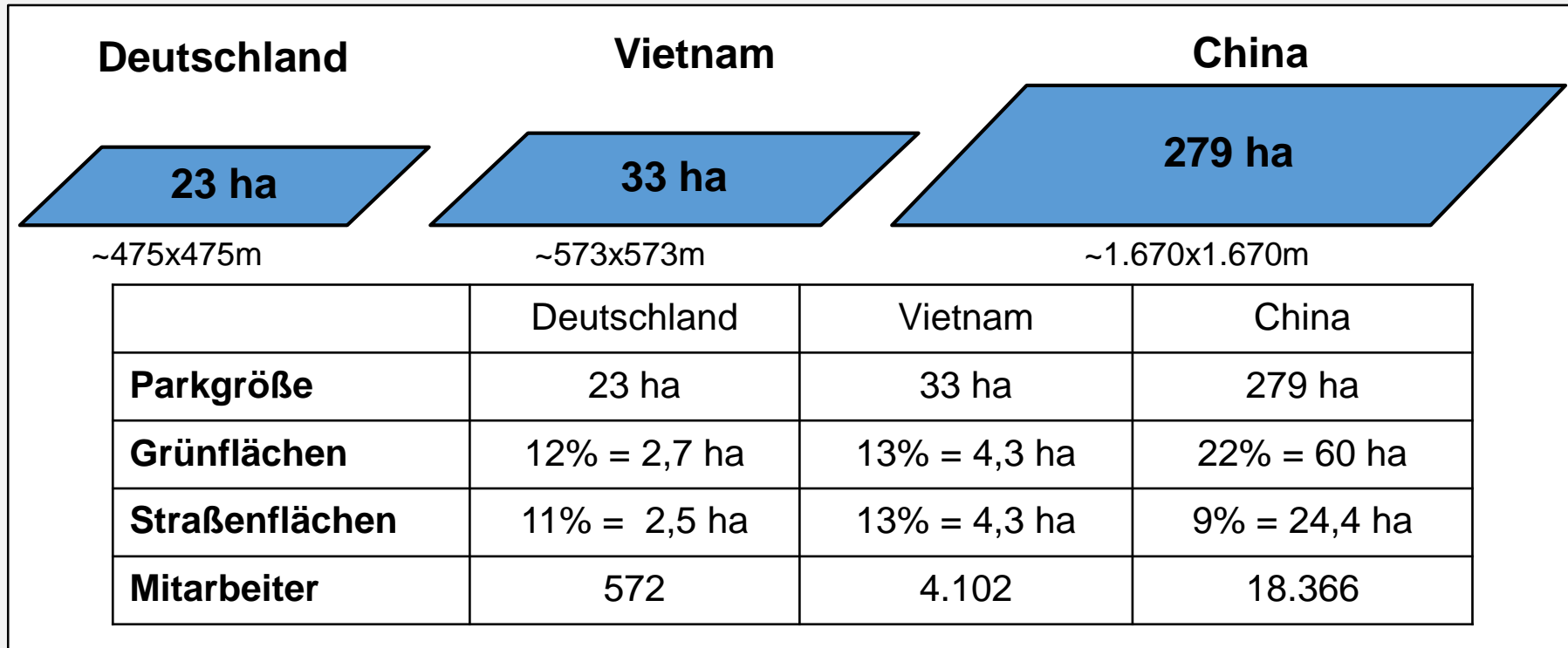
- Treated wastewater
- Wastewater
- Deionized water
- Drinking water
- Industrial water
- GW Ground Water
- TW Tap water
- SW Surface water





# Modellindustriepark (MIP) mit 6 Produktionsanlagen

Umrechnung von **Durchschnittswerten aller untersuchten Parks** auf die Größe von 6 Produktionsanlagen bzw. Unternehmen



Reine Mengenbetrachtung für MIP China ergab allein für:

- Grünflächenbewässerung
- Straßenreinigung
- Toilettenspülung

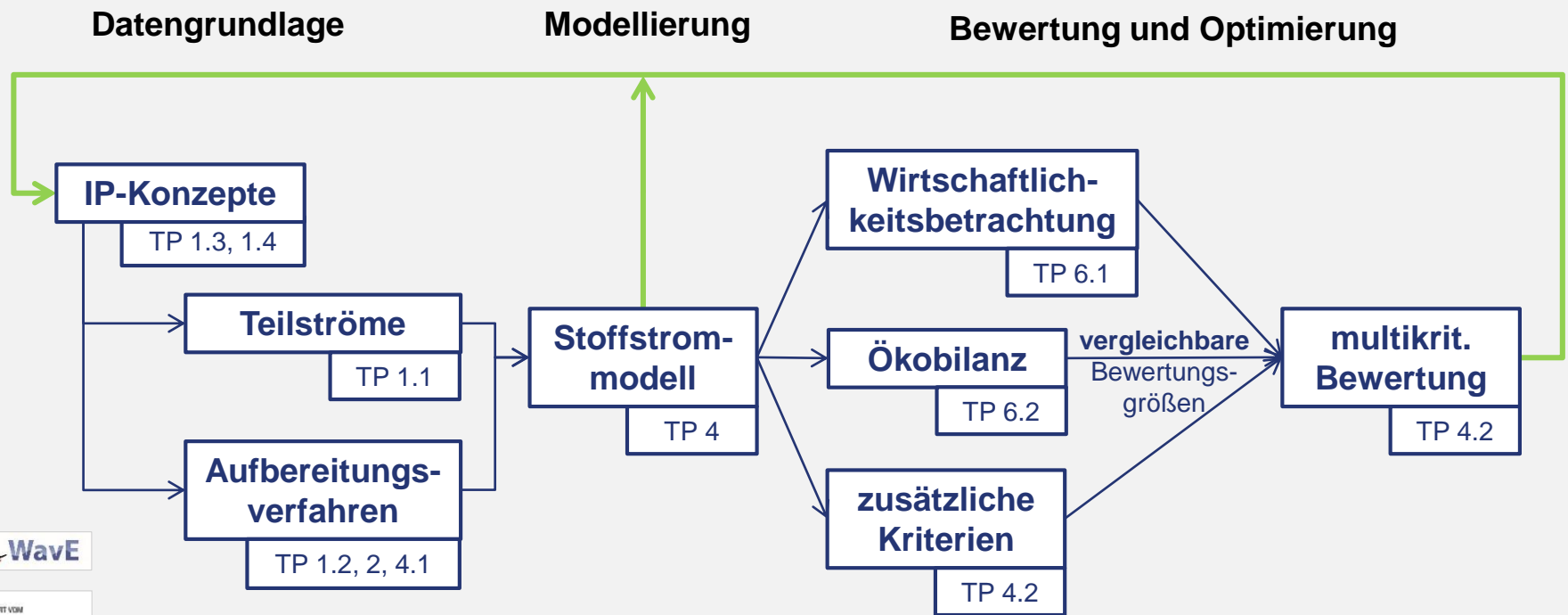
**Reuse-Faktor:**  
**24 %**

# MODELLBASIERTE INDUSTRIEPARKPLANUNG UND -BEWERTUNG

# Modellbasierte Industrieparkplanung und -bewertung

**Ziel: Entwicklung eines Planungs- und Bewertungsinstrumentes für Industriepark (IP)-Konzepte**

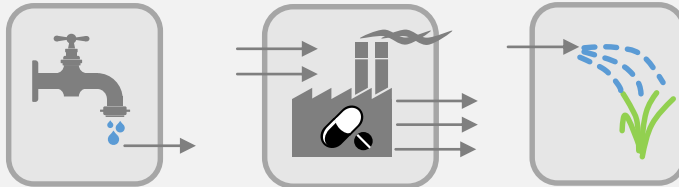
- mit dem Fokus Wasserwiederverwendung
- in der frühen Planung einsetzbar
- modular aufgebaut und flexibel anpassbar



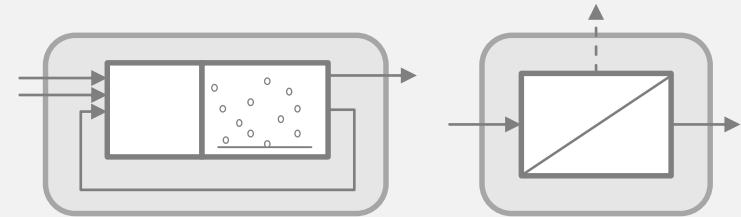
# Stoffstrommodell I: Modularer Aufbau

## Modulbibliothek für ...

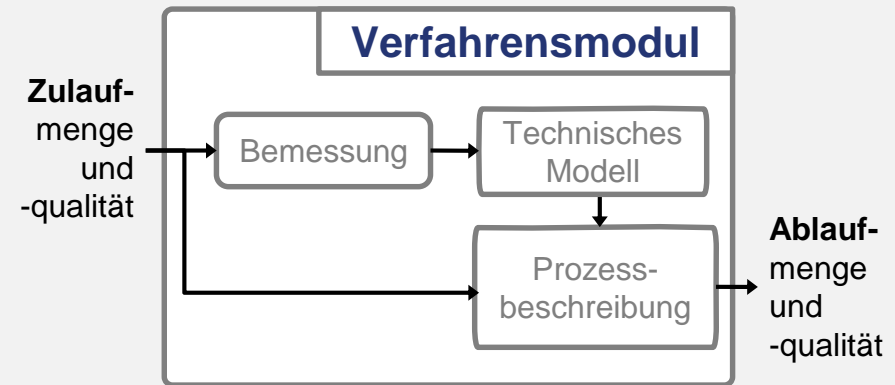
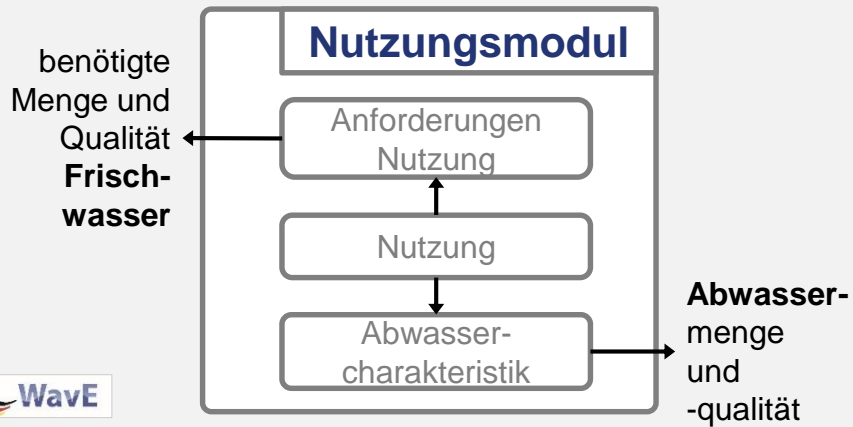
### Wassernutzer



### Aufbereitungsverfahren

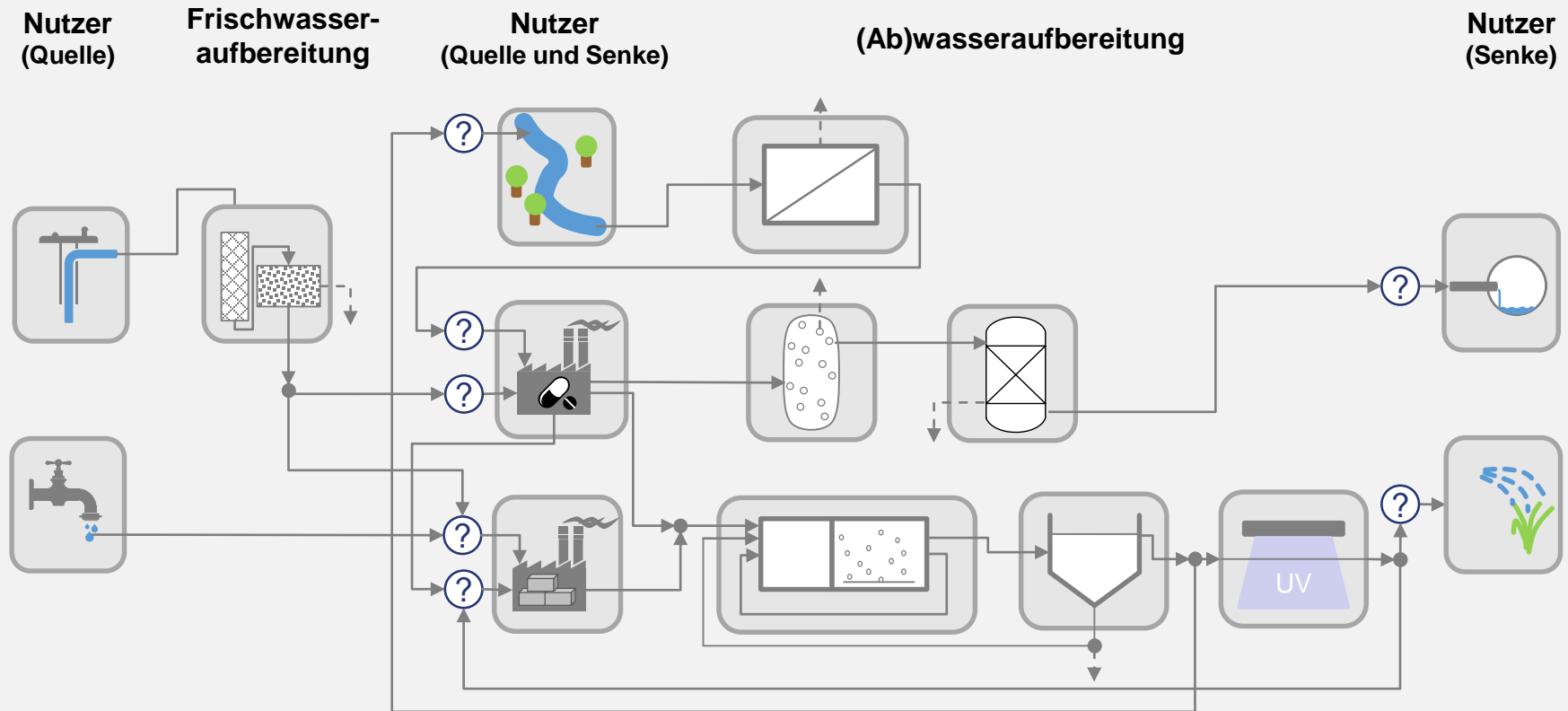


## Struktur der Module



# Stoffstrommodell II: Verknüpfung zum Gesamtmodell

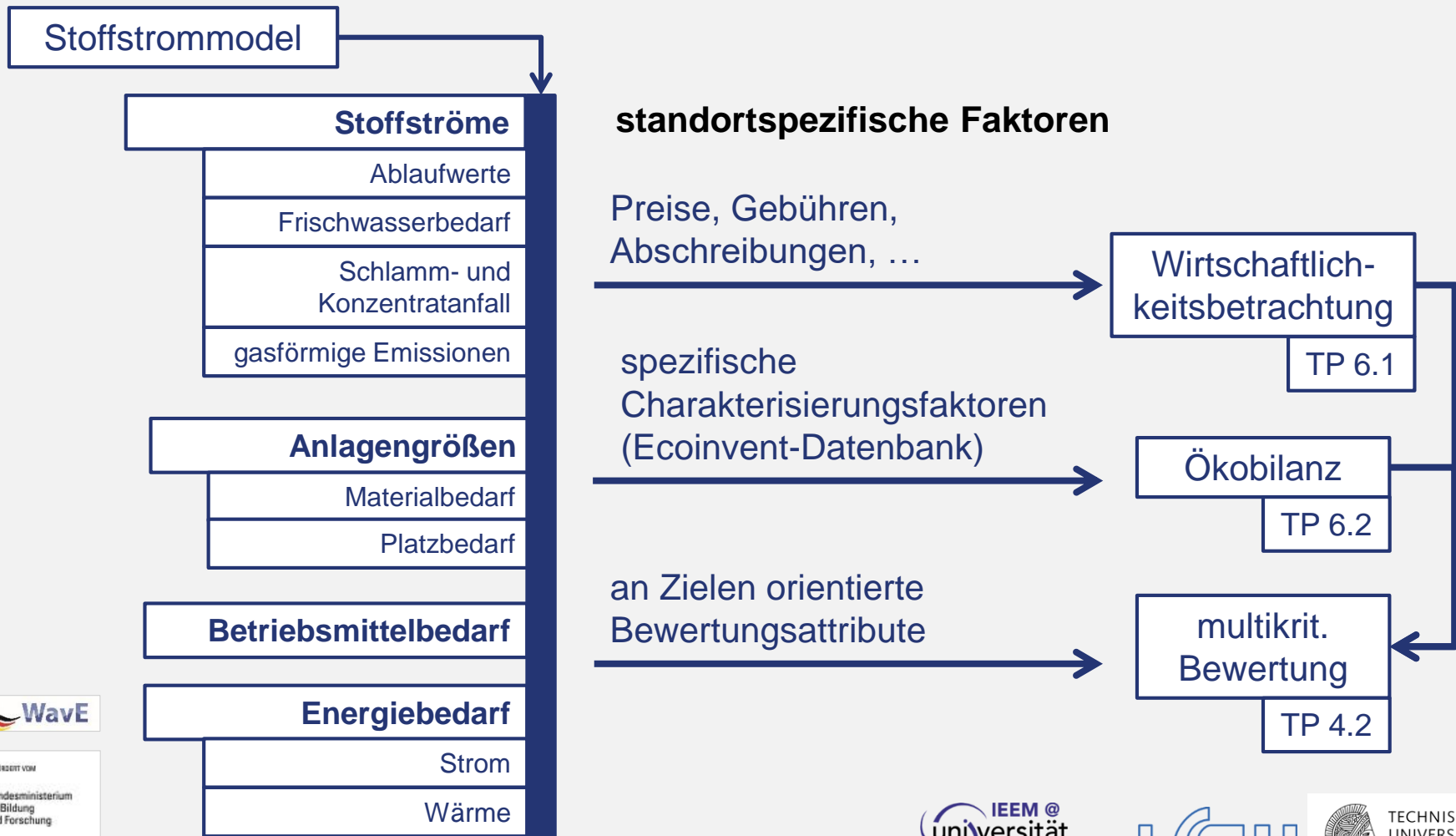
flexible Verknüpfung der Nutzer und Aufbereitungsverfahren zu verschiedenen IP-Konzepten



direkte Ermittlung von Kennzahlen aus dem Gesamtmodell

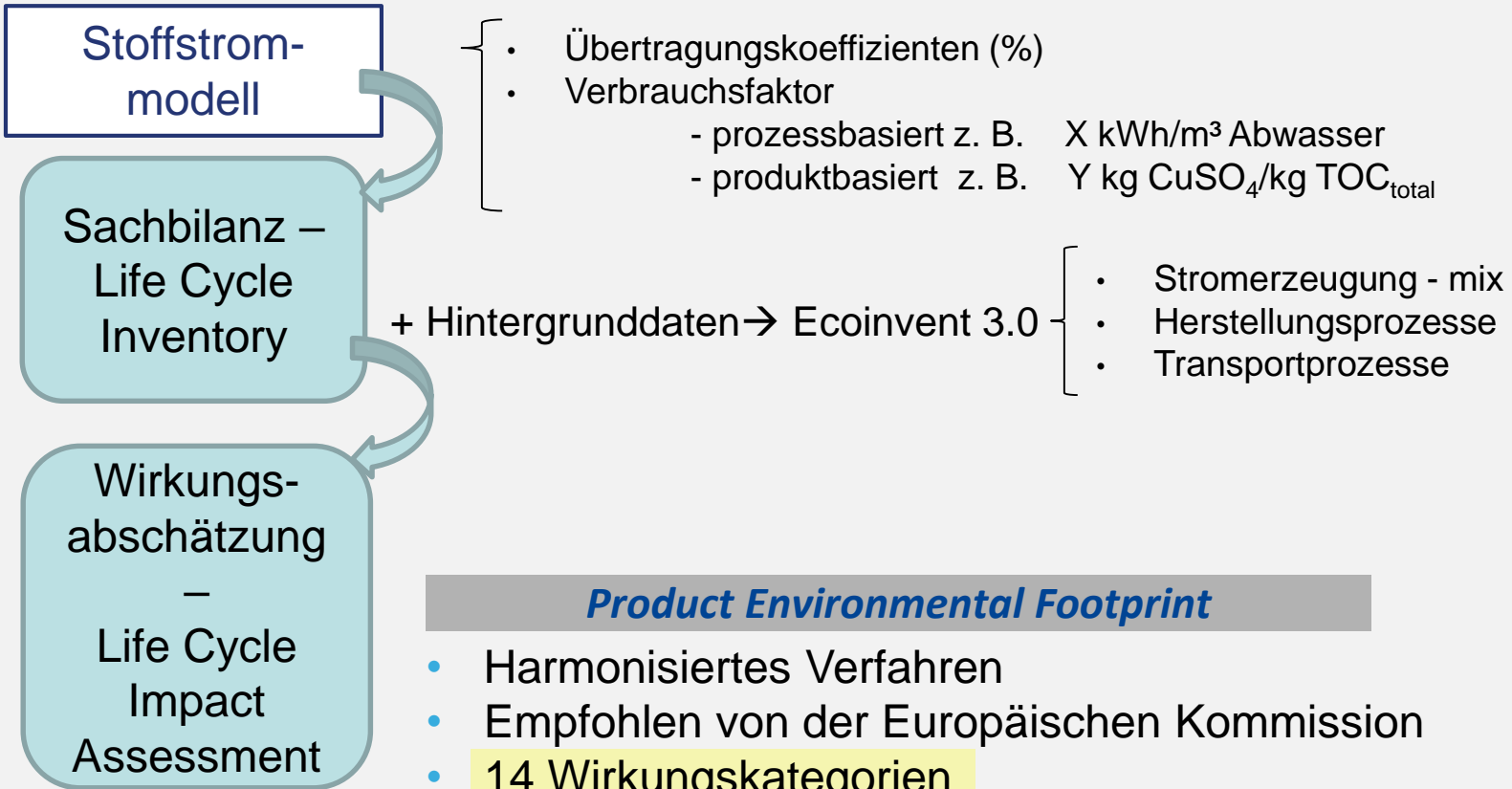
# Stoffstrommodell III: Schnittstelle zur Bewertung

Modellgestützte **Berechnung von Stoffströmen und Anlagendaten** (statisch) als Eingangsdaten für die Bewertung



**Funktionale Einheit**  
1m<sup>3</sup> behandelt mit einer bestimmten Qualität

LCA ist die gewählte Methode zur Quantifizierung der Auswirkungen entlang des Lebenszyklus



**Product Environmental Footprint**

- Harmonisiertes Verfahren
- Empfohlen von der Europäischen Kommission
- 14 Wirkungskategorien



# Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

---

Erweiterte **Kosten:Nutzen-Analyse** unter Berücksichtigung betriebswirtschaftlicher Parameter und volkswirtschaftlicher/externer Effekte

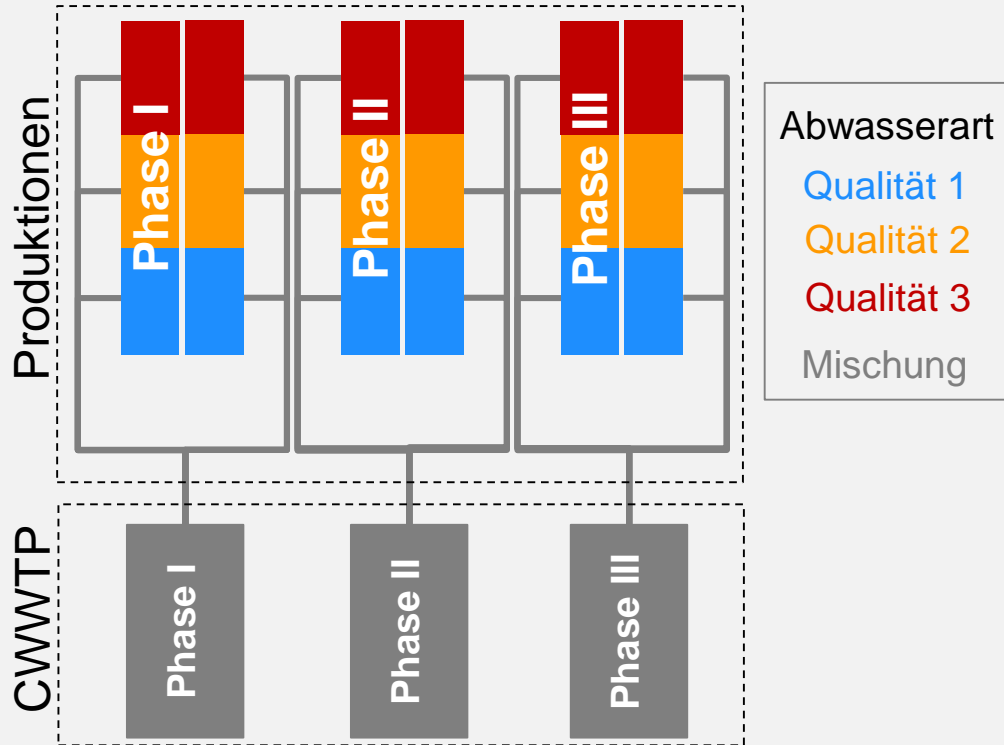
## Zwischenergebnisse

- Im „normalen“ Produktionsablauf (in wasserreichen Regionen) spielt Wasserwiederverwertung für Industriebetriebe bisher nur eine marginale Rolle, wesentlich sind Produktions- und Prozesssicherheit. Wasserwiederverwertung ist i.d.R. nur dann relevant, wenn
  - a) Auflagen oder Gesetze es erfordern (→ **externer Rahmen**), oder
  - b) z.B. Wasserknappheit limitierende Auswirkungen auf Erhalt/Ausweitung der Produktion hat (→ **Sicherstellung der Wasserversorgung**).
- Unter **betriebswirtschaftlichen Aspekten** muss reuse water (RW) preislich mit Frisch-/Trinkwasser konkurrieren, um Anreiz zur Wiederverwertung zu bieten, d.h. die Zusatzkosten der Aufbereitung des Abwassers (WW) auf RW-Qualität müssen kleiner/gleich sein, als die Kosten für Frisch-/Trinkwasser
- „Wasserbörse“ als potentielle Plattform, um Angebot und Nachfrage von reuse water im IP nach **ökonomischen Kriterien** auszugleichen und Abwasserbehandlung sicherzustellen (RW-Aufbereitung oder WW-Behandlung)

# ANSÄTZE FÜR DIE PRAKTISCHE UMSETZUNG

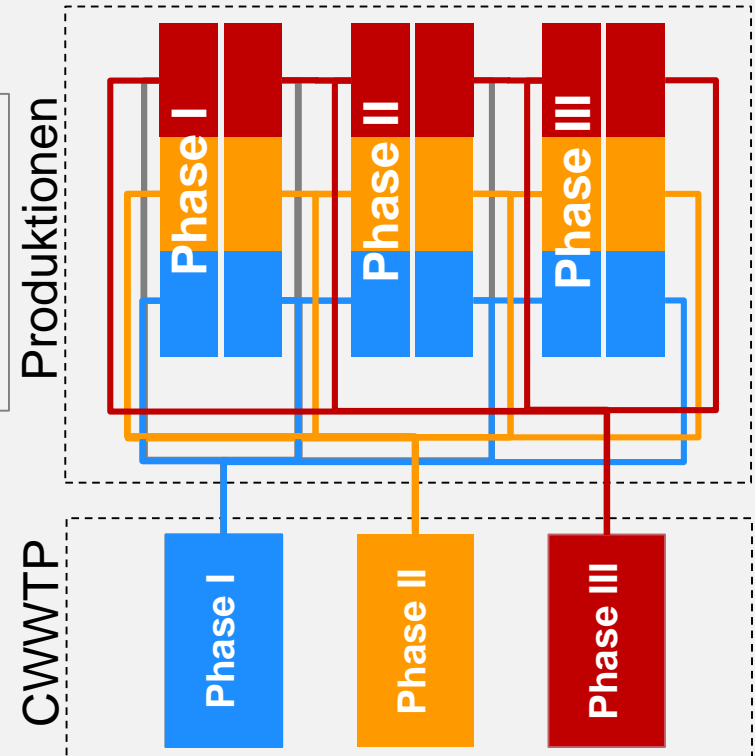
# Entwicklung eines nutzungsoptimierten, dynamischen Leitungsnetzes

konventionell



- Phasenweiser Ausbau des Industrieparks
- keine Trennung unterschiedlicher Abwasserqualitäten bei Kanalnetzerweiterung
- Verfahrenstechnik aller Ausbaustufen der CWWTP nahezu gleich

dynamisch



- Phasenweiser Ausbau des Industrieparks
- Trennung von Abwasserqualitäten bei Kanalnetzerweiterung zur Optimierung der Abwasserbehandlung
- Verfahrenstechnik der CWWTP verschiedener Ausbaustufen unterschiedlich/ angepasst, je nach Abwassertyp

# Erarbeitung eines Messkonzeptes für das (Ab)Wassermanagement

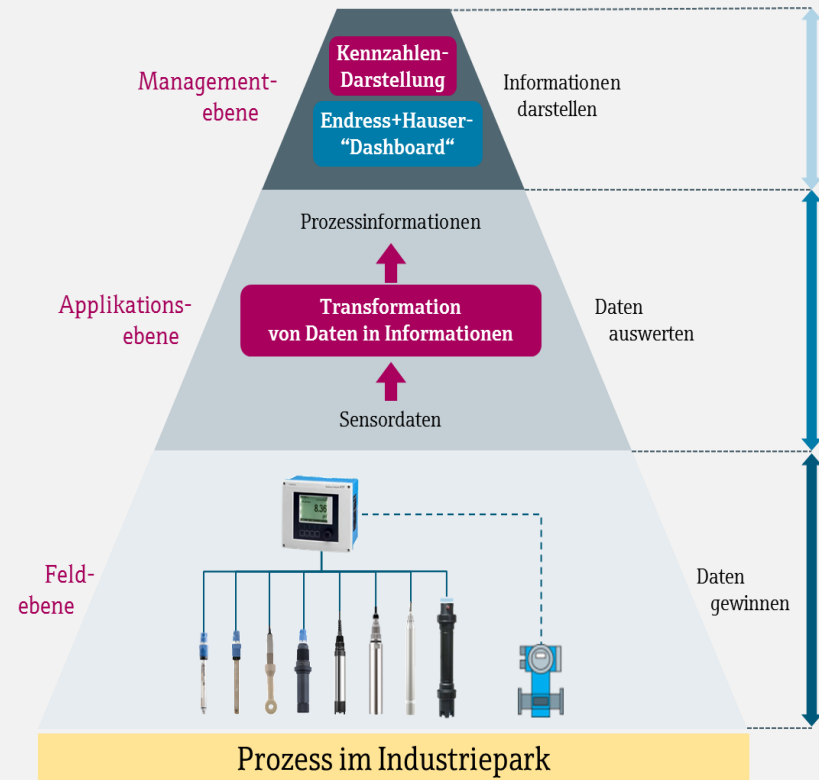
Ermittlung der prozess- und betriebsrelevanten Anforderungen

- Was wird gemessen?
- Wozu wird gemessen?

Bewertung von Industrieapplikationen zur bedarfsgerechten Auswahl von online-Messtechnik

- Wie wird gemessen?
- Womit wird gemessen?

Ableitung von Methoden und Werkzeugen zur Auswertung und Visualisierung von Daten

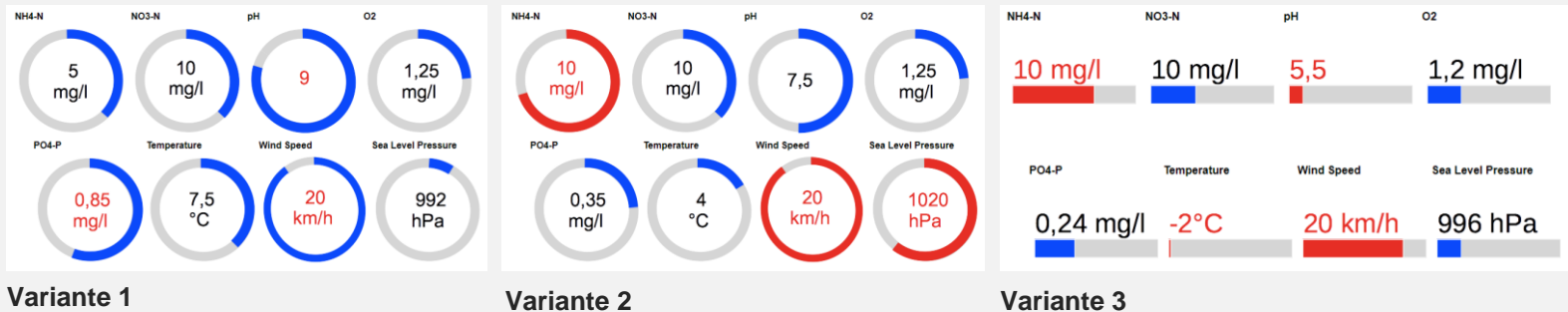


# Belastung – Beanspruchung Mitarbeiter

- Ausgangspunkt ist der sichere Umgang mit technischen Hilfsmitteln bei der täglichen Arbeit
  - Dazu gehört auch das Treffen von richtigen Entscheidungen in komplexen Situationen und in Belastungsspitzen
- In Kooperation mit E+H wurden zwei Untersuchungen zur Usability eines Dashboards gemacht
  - Dient der Überwachung von Kennwerten der Kreislaufführung von Abwasserströmen eines Industrieparks
  - Im Vordergrund stand die Visualisierung von Warnsignalen
- Beurteilt nach den Grundsätzen der Informationsdarstellung (ISO 9241-112)
  - Entdeckbarkeit, Ablenkungsfreiheit, Unterscheidbarkeit, Eindeutigkeit, Kompaktheit, Konsistenz

# Belastung – Beanspruchung eines Dashboards

- Ausschnitt eines Teils des Dashboards:  
unterschiedliche Visualisierungsvarianten der Kennwerte



- Durchführung einer formativen Evaluation mit zwei Nutzergruppen (Naive Nutzer\*innen & Usability Expert\*innen)
- Ergebnisse für diesen Abschnitt
  - Variante 2 wird präferiert
  - Begründet durch die schnell und deutlich zu erkennende Farbe sowohl für den Kennwert als auch den Füllgrad als kritischen Wert

# NEUE AUFBEREITUNGSTECHNIKEN

# Entwicklung neuer Aufbereitungstechniken

**Zielsetzung:** Untersuchung technischer Problemstellungen, welche für die Zielsetzung des Water-Reuse in Industrieparks als besonders relevant identifiziert wurden.

## Verfahrenskopplung



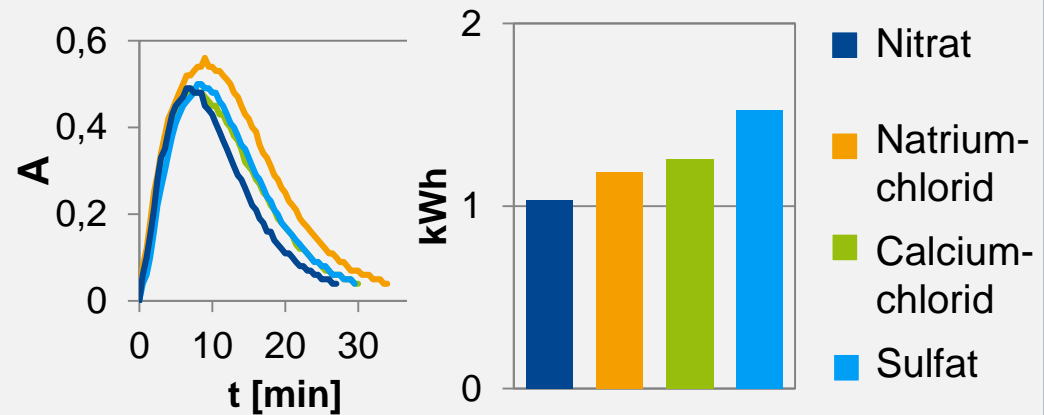
# Elektrisch getriebene Membranverfahren

## Reinsalzversuche

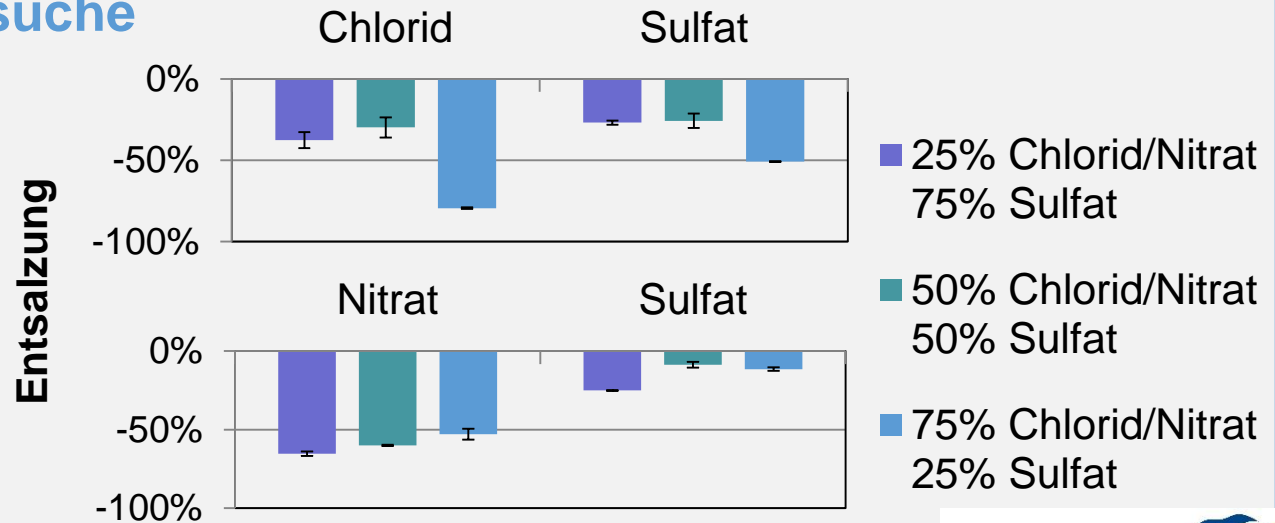


Laborversuche mit Reinsalzen:

4,4 → 0,15 mS/cm



## Mischsalzversuche



## Sauerstoffeintragsversuche:

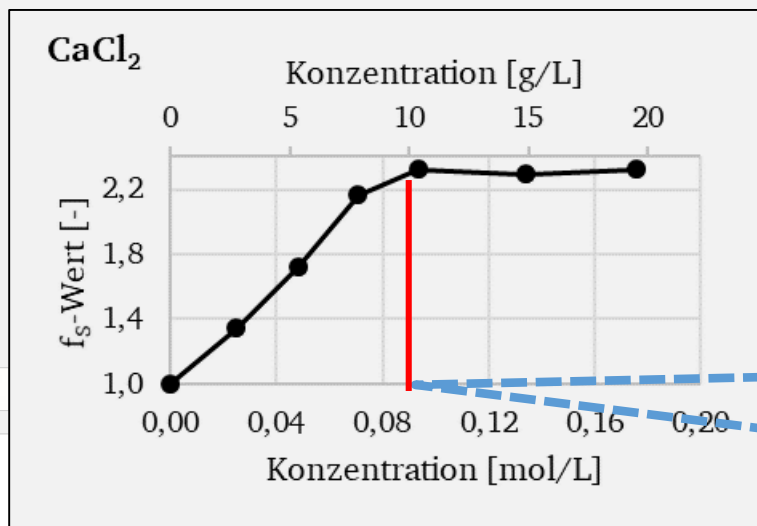
- Für verschiedene Salze konnte Grenzkonzentration ermittelt werden
- Ermittelte Werte unterscheiden sich teilweise stark von Literaturwerten
- Weitere Versuche geplant

Salz	Grenzkonzentration	
	[mol/L]	[g/L]
MgCl <sub>2</sub>	kA*	kA*
NaCl	0,17	10
KCl	0,2	15
CaCl <sub>2</sub>	0,09	10
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,1	15
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	kA*	kA*
NaAcetat	kA*	kA*

kA\*: keine Angabe, Messung nicht aussagekräftig



Abbildung: Sauerstoffeintragsversuch



$$f_s = \frac{k_L a_{20, \text{Salzwasser}}}{k_L a_{20, \text{Reinwasser}}} (-)$$

**Grenzkonzentration:** Salzkonzentration ab der die Koaleszenz in einem System durch Salz vollständig gehemmt ist und  $f_s$  sein Maximum erreicht.

Abbildung: Ergebnis Sauerstoffeintragsversuch mit CaCl<sub>2</sub>

## Vorstudie und Anpassung der Analytik für refraktären\* CSB

Tabelle 1: Literaturstudie zu schwer abbaubaren Verbindungen (Auszug)

Industrie	Stoff(gruppe)
Papierindustrie	Bisphenol A (BPA)
	Lignine, Ligninsulfonate
	Harzsäuren, Abietinsäure
Chemische Industrie	Silane/ Siloxane
	Phenol
	(Carboxy)Methylcellulose (CMC)
Gerberei	Tannine
Kohleind	
Textilind	
Lebensmittelindustrie	(Melasse-)Schlempen, Melanoidin
	Xylitol

Abbautests mit TOC/CSB-Messung

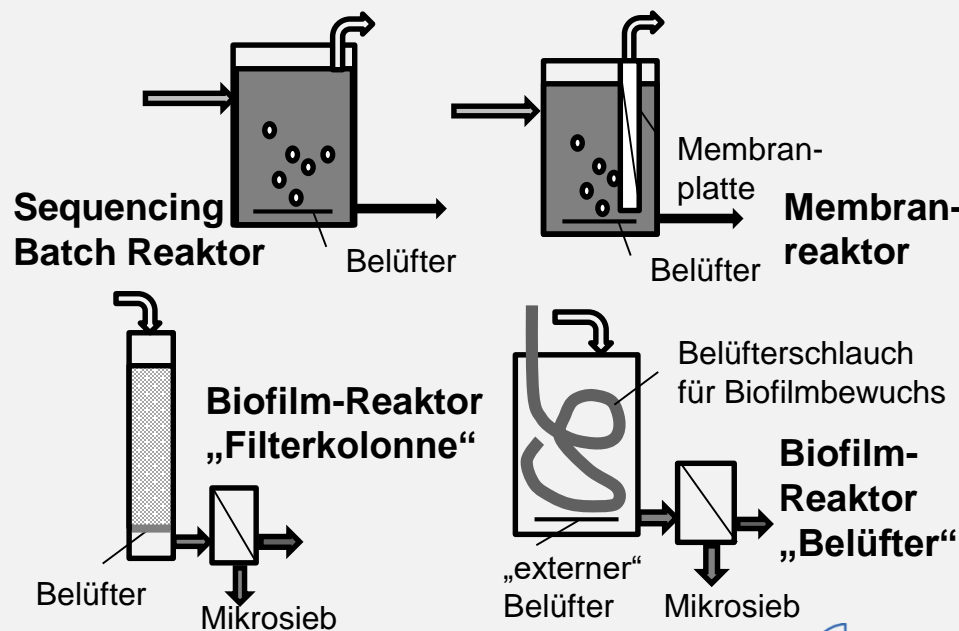
### Ergebnisse:

- Abbaubarkeit von CMC: 35-61% (CSB) in Abhängigkeit v. d. Gesamtkonz.
- Korrelation CSB/TOC für spezifische Abwässer

## Laborversuche zur Identifizierung maßgeblicher Parameter für den CSB-Abbau/-Reduktion in der Deckschicht

Tabelle 2: Mögliche Parameter

O <sub>2</sub> in der Deckschicht	Adsorption
Schlammalter	Spezifische Adaption
Schlammbelastung	Sessile Organismen



# Aussichten & weiteres Vorgehen

---

- Ausgestaltung und Variation des Modellindustrieparks
- Anwendung der multikriteriellen Bewertung mit Ökobilanzierung und Kosten-Nutzen-Analyse zur Optimierung von IP-Konzepten
- Ausarbeitung Leitungsnetz und Messkonzept
- Evaluation der Ergebnisse
- Belastungs-Beanspruchungs-Analysen bei Mitarbeitern einer Leitwarte
- Übertragung der technischen Versuchsergebnisse aus dem Labor in Pilotanlagen

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.



## Kontakt

Prof. Dr.-Ing. H. J. Linke

TU Darmstadt · Institut für Geodäsie · Fachgebiet Landmanagement

Franziska Braun Str. 7 · 64287 Darmstadt

Tel: +49 (0) 6151 16 21964

Email: [linke@geod.tu-darmstadt.de](mailto:linke@geod.tu-darmstadt.de)