



Water-Reuse in Industrieparks

NaWaM



WavE

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**

Water-Reuse in Industrieparks

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**

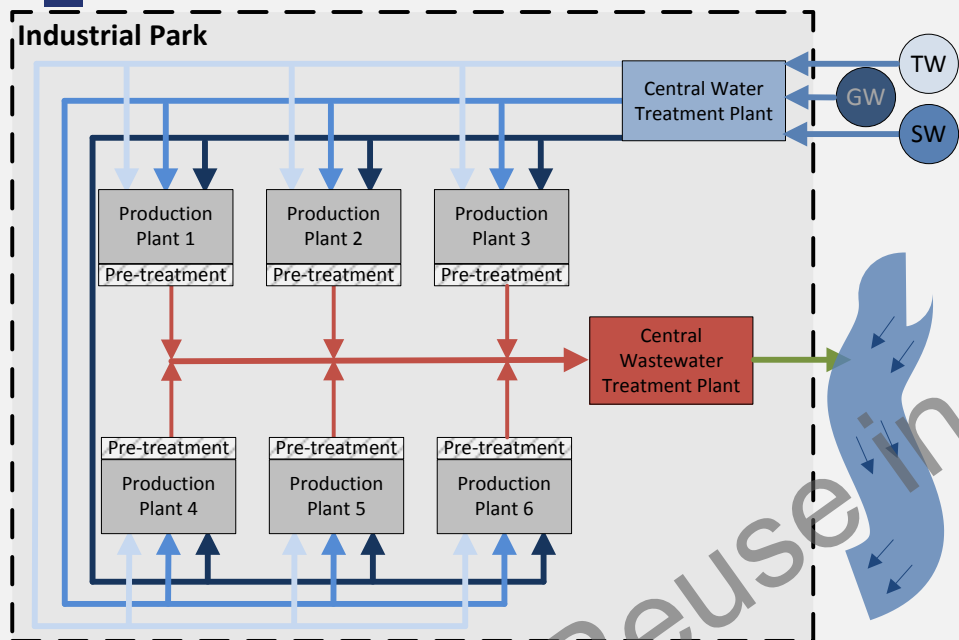
ZWISCHENERGEBNISSE

BESTANDSAUFNAHME INDUSTRIEPARKS DEUTSCHLAND, CHINA, VIETNAM

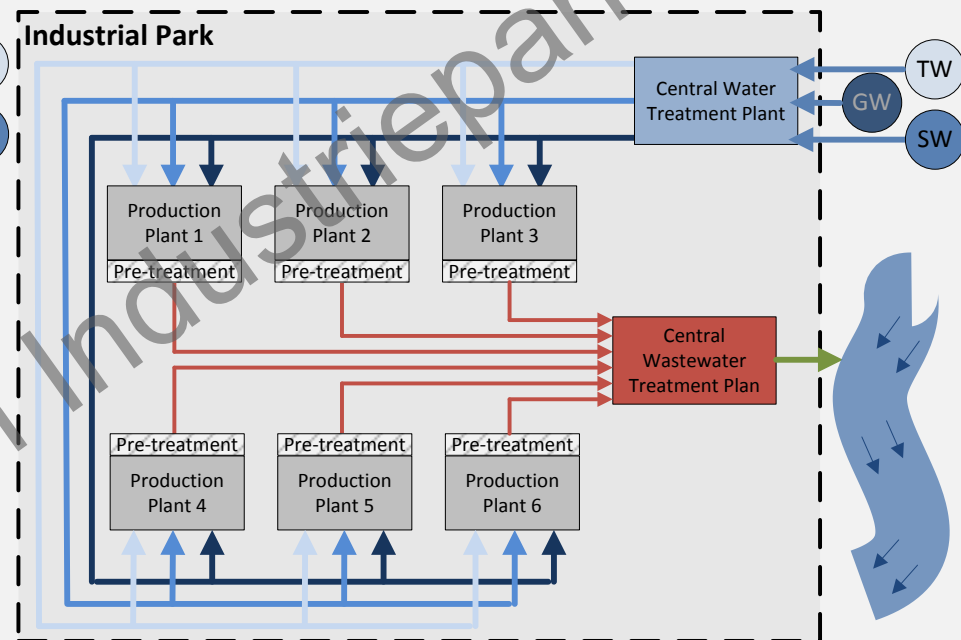
Industrieparks im 3-Ländervergleich

	Deutschland	China	Vietnam
Stichprobe	30 Parks	7 Parks	23 Parks
Parkgröße	Ø 340 ha	Ø 4.500 ha	Ø 330 ha
Parkarten	i.d.R. historisch gewachsene Chemieparks	Trend hin zu „themenorientierten Parks“ z.B. Chemieparks	Mischparks (Leichtindustrie)
Wasser-versorgung	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)
Zentrale Kläranlagen	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
Rohr-leitungen	sowohl überirdische Druckrohrleitungen als auch unterirdische	i.d.R. überirdische Druckrohrleitungen	Rohrleitungen überwiegend unterirdisch
Regen-wasser	i.d.R. mit wenig verschmutztem Kühlwasser/ Brauchwasser geführt	separate Regenwasserführung	separate Regenwasserführung
Reuse	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

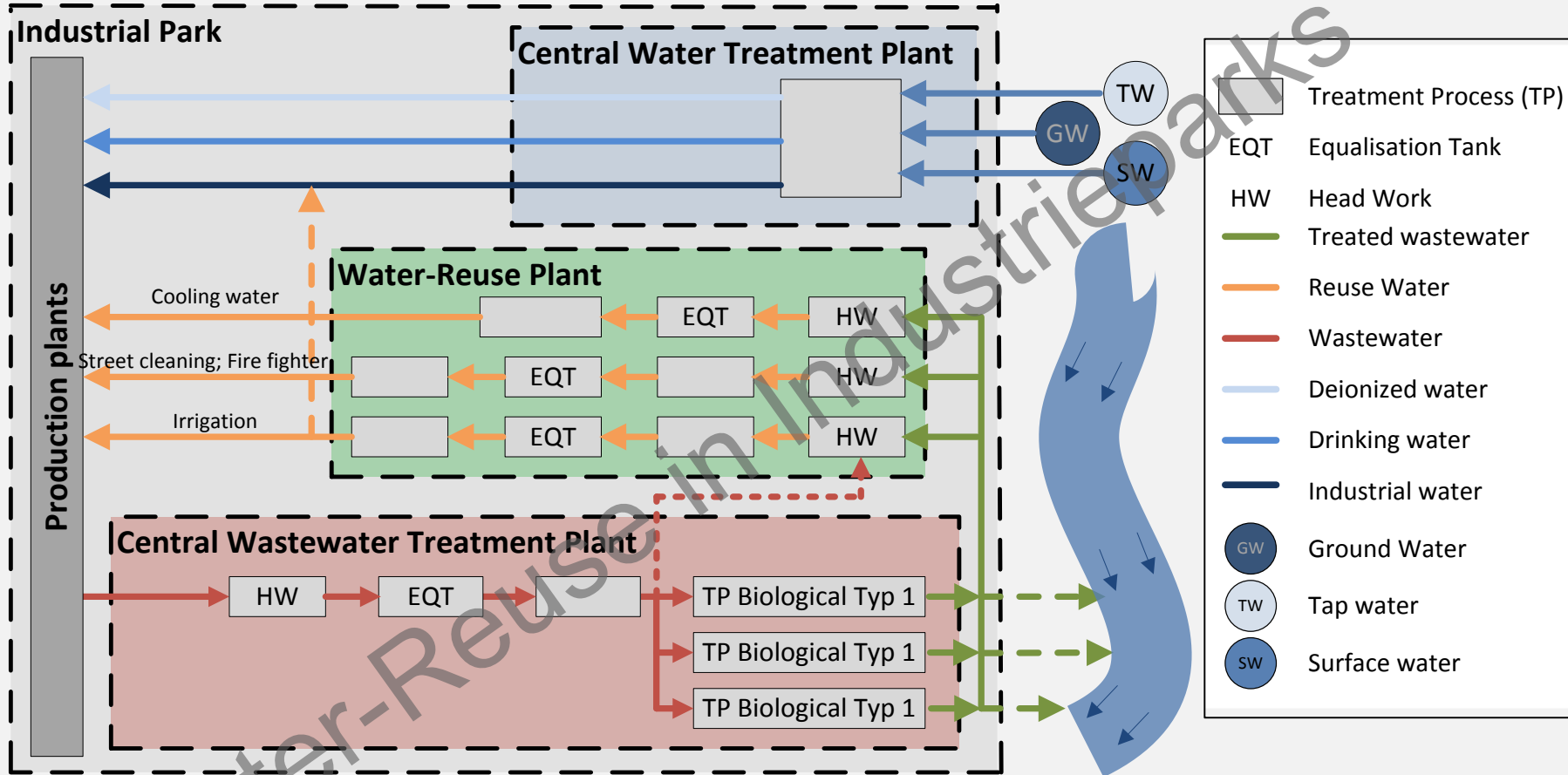
— Drinking water

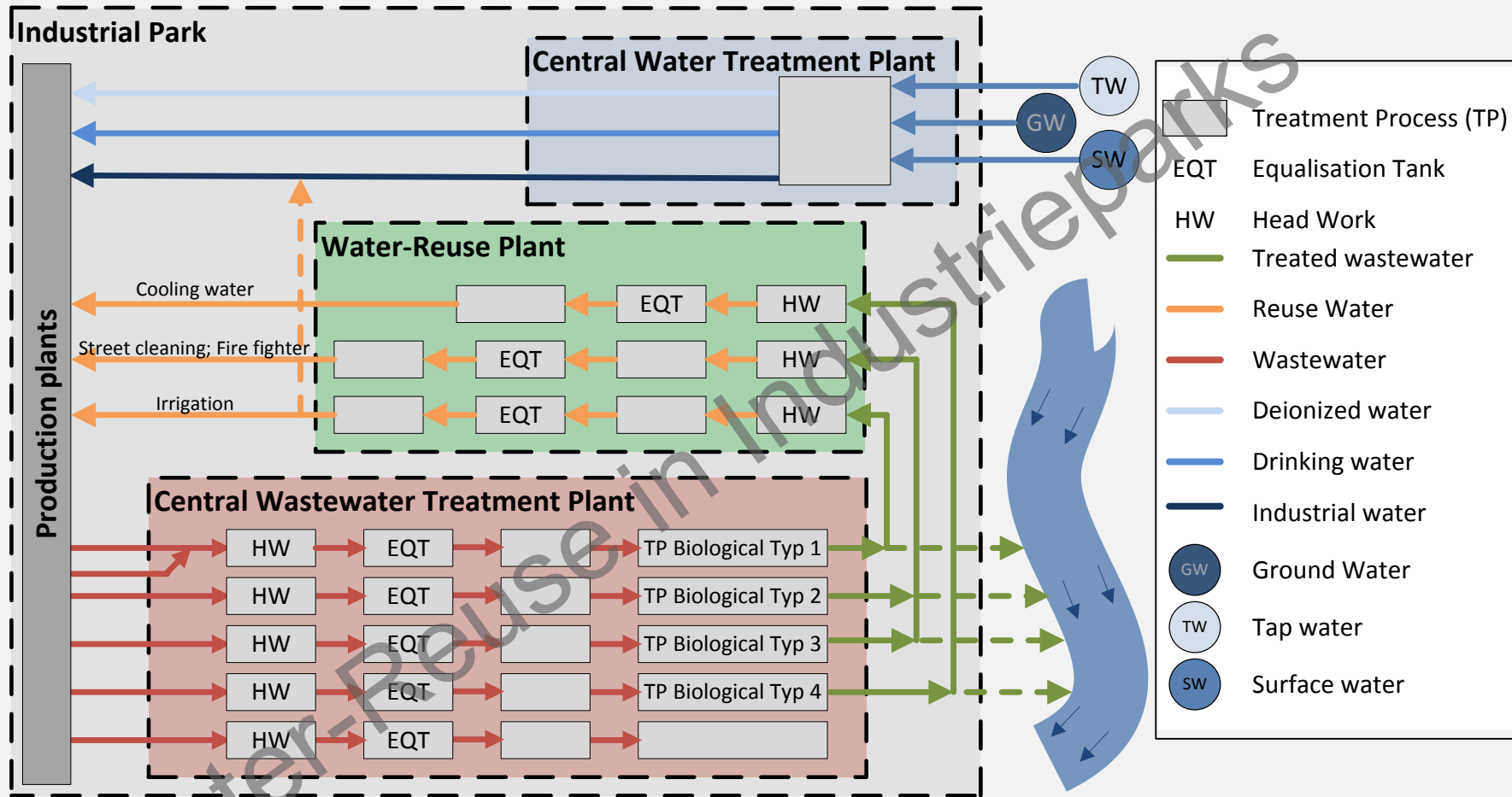
— Industrial water

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

Deutschland



23 ha

~475x475m

Vietnam



33 ha

~573x573m

China



279 ha

~1.670x1.670m

	Deutschland	Vietnam	China
Parkgröße	23 ha	33 ha	279 ha
Grünflächen	12% = 2,7 ha	13% = 4,3 ha	22% = 60 ha
Straßenflächen	11% = 2,5 ha	13% = 4,3 ha	9% = 24,4 ha
Mitarbeiter	572	4.102	18.366

Reine Mengenbetrachtung für MIP China ergab allein für:

- Grünflächenbewässerung
- Straßenreinigung
- Toilettenspülung

Reuse-Faktor:
24 %

MODELLBASIERTE INDUSTRIEPARKPLANUNG UND -BEWERTUNG

Modellbasierte Industrieparkplanung und -bewertung

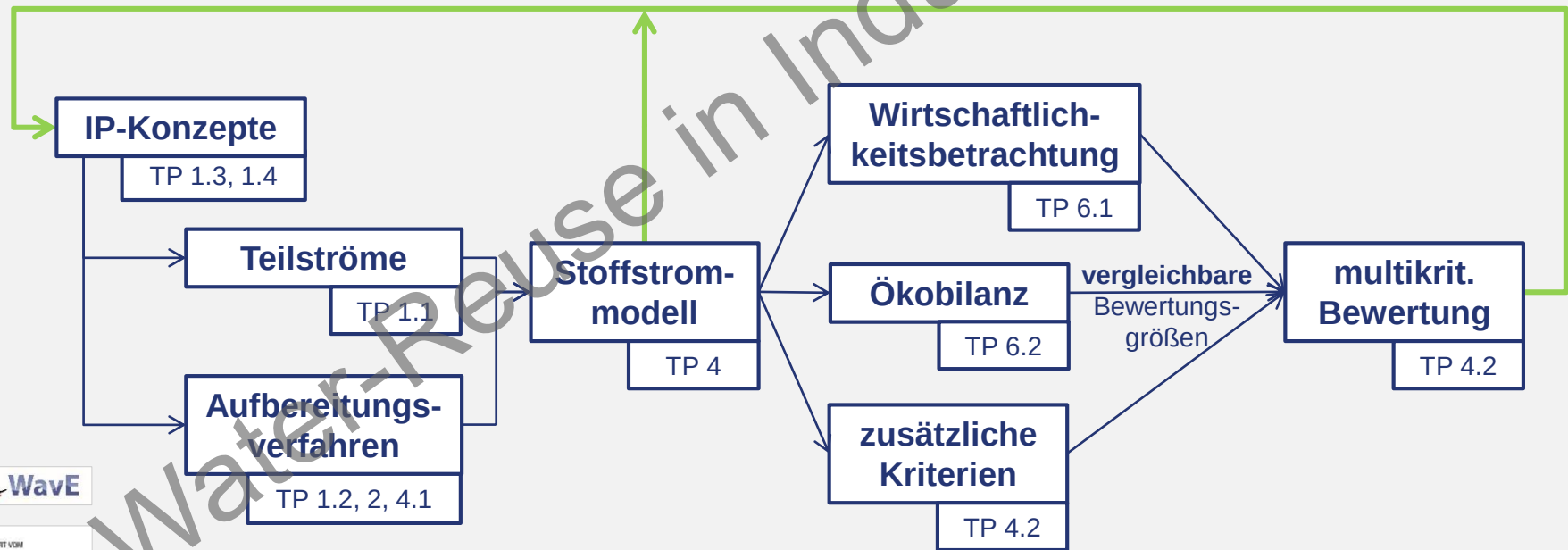
Ziel: Entwicklung eines Planungs- und Bewertungsinstrumentes für Industriepark (IP)-Konzepte

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

Datengrundlage

Modellierung

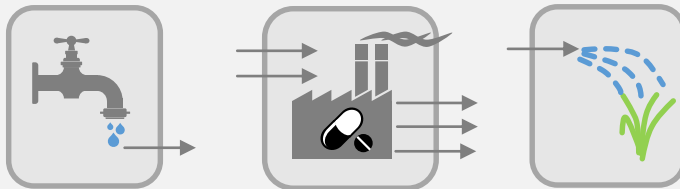
Bewertung und Optimierung



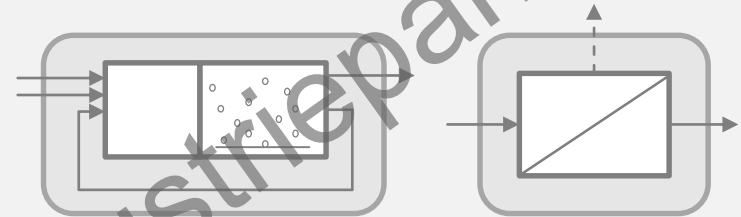
Stoffstrommodell I: Modularer Aufbau

Modulbibliothek für ...

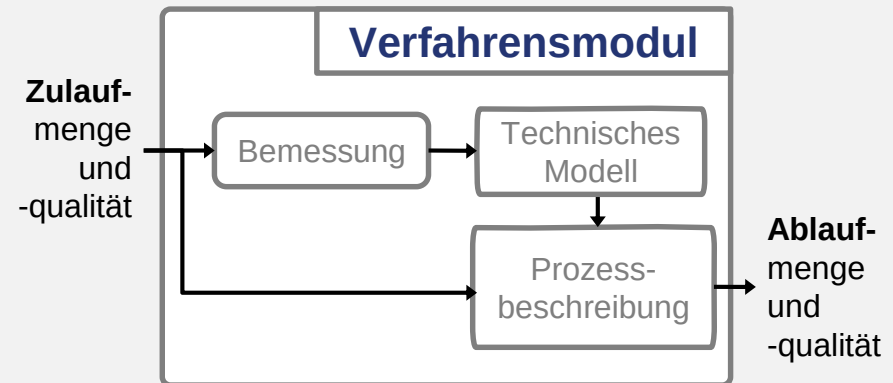
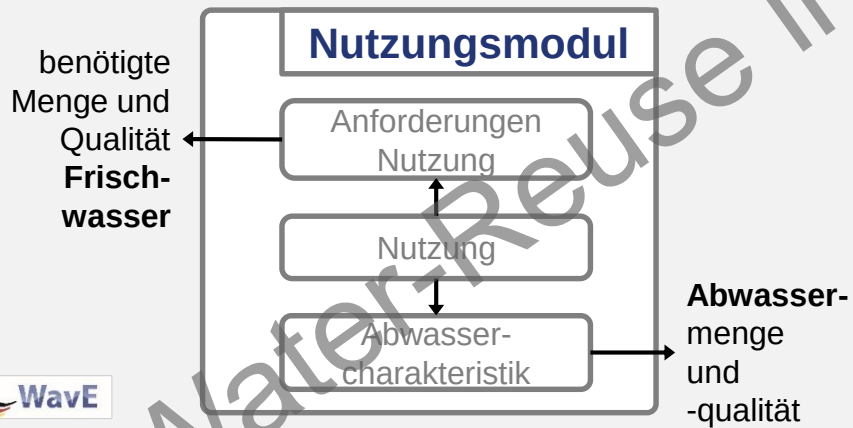
Wassernutzer



Aufbereitungsverfahren

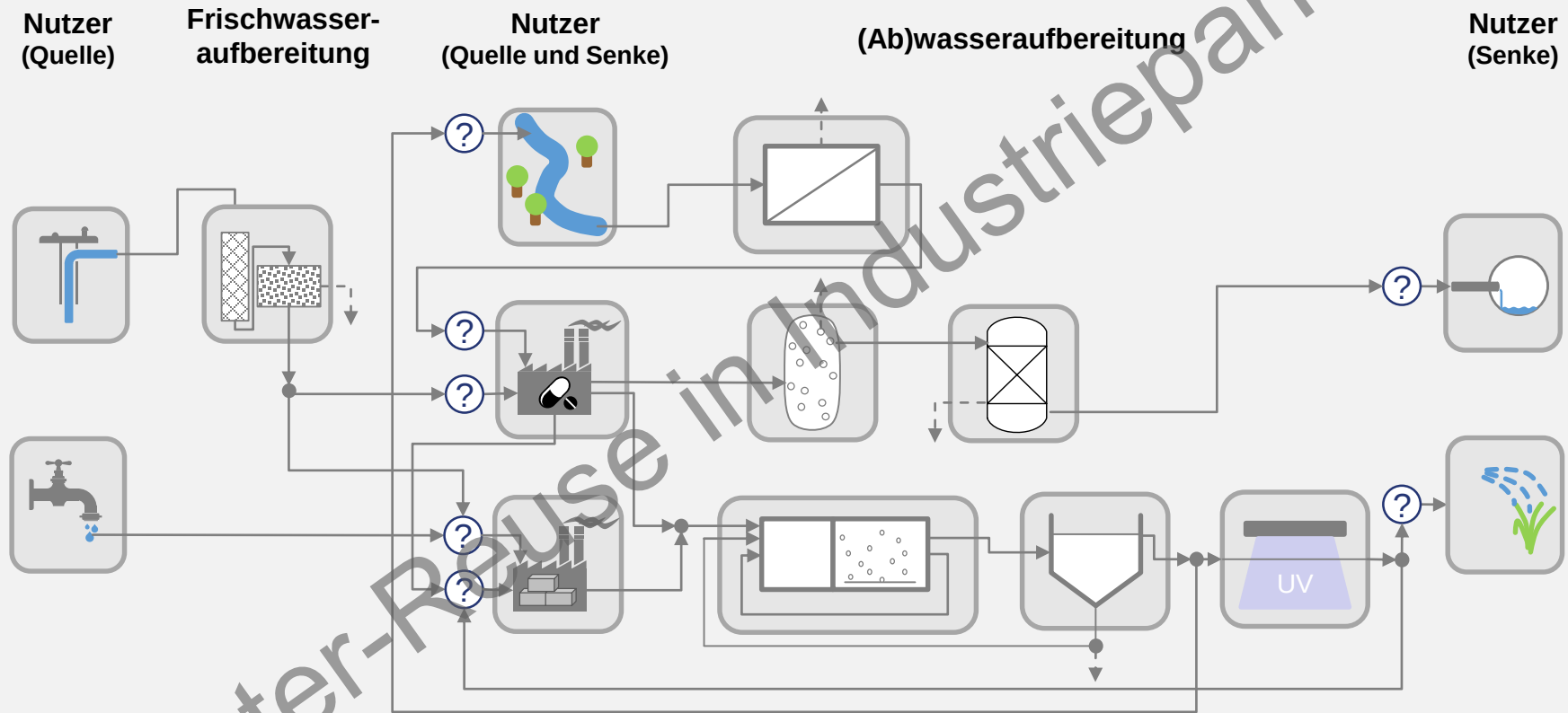


Struktur der Module



Stoffstrommodell II: Verknüpfung zum Gesamtmodell

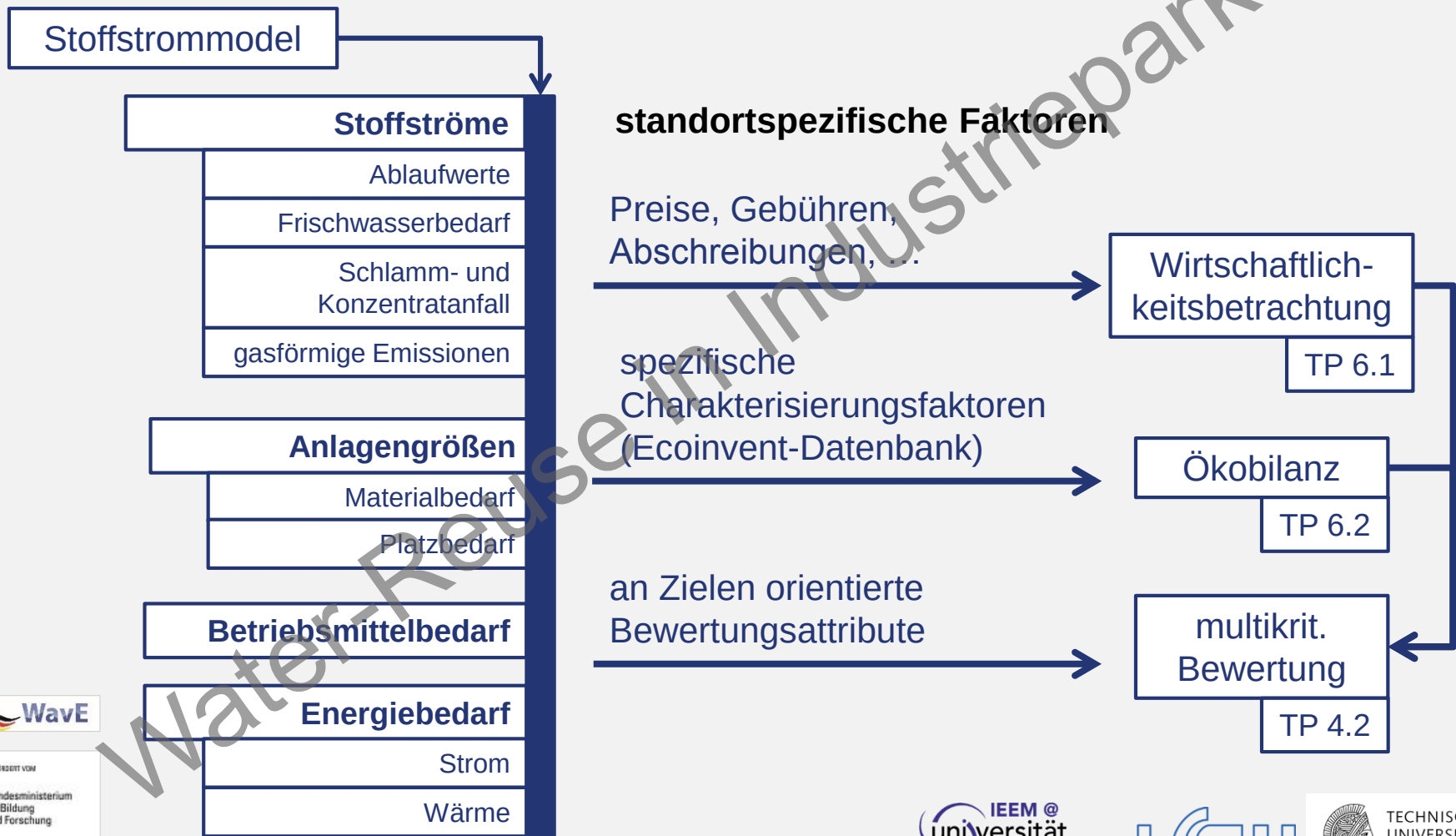
flexible Verknüpfung der Nutzer und Aufbereitungsverfahren zu verschiedenen IP-Konzepten



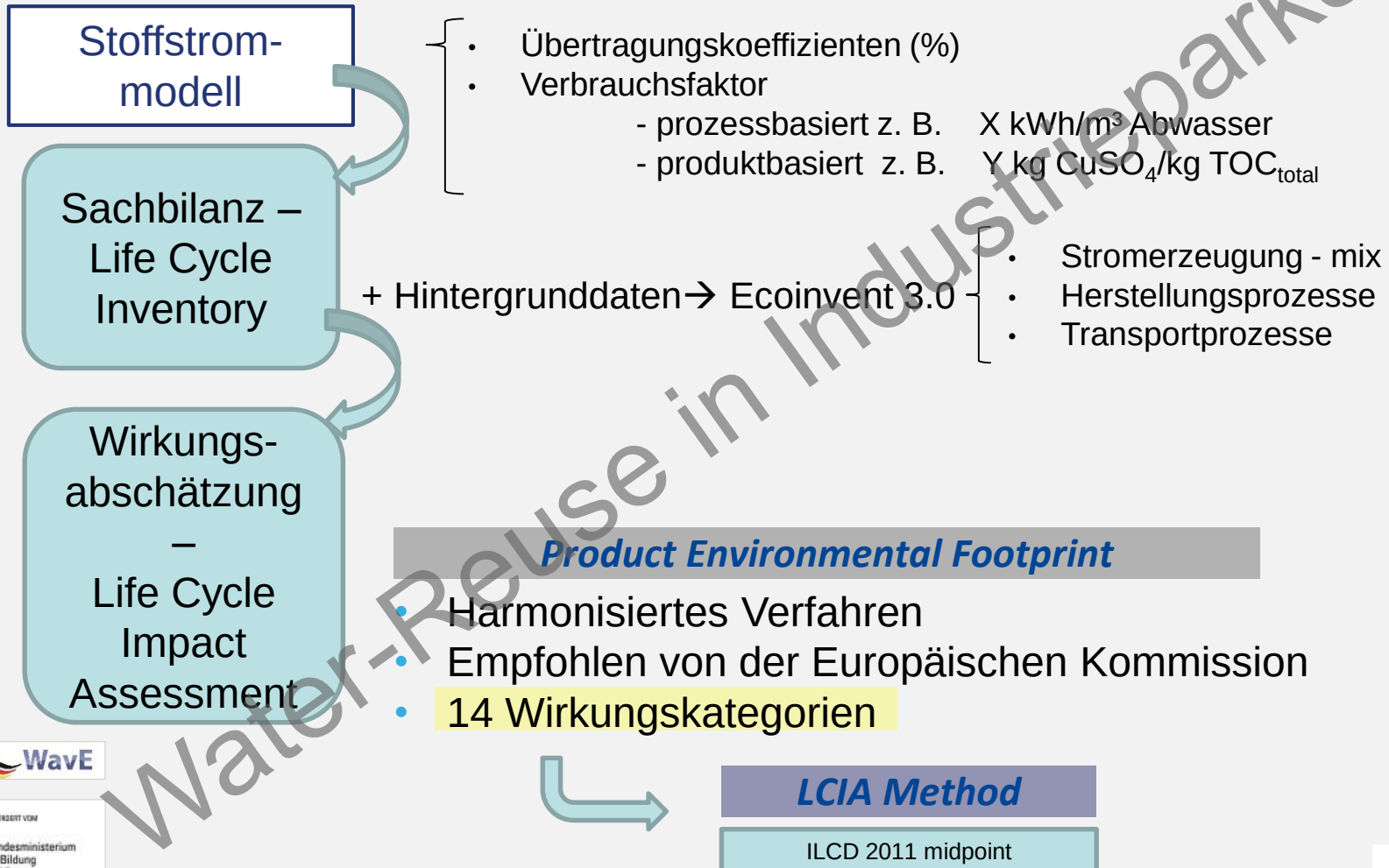
direkte Ermittlung von Kennzahlen aus dem Gesamtmodell

Stoffstrommodell III: Schnittstelle zur Bewertung

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



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



Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

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

Zwischenergebnisse

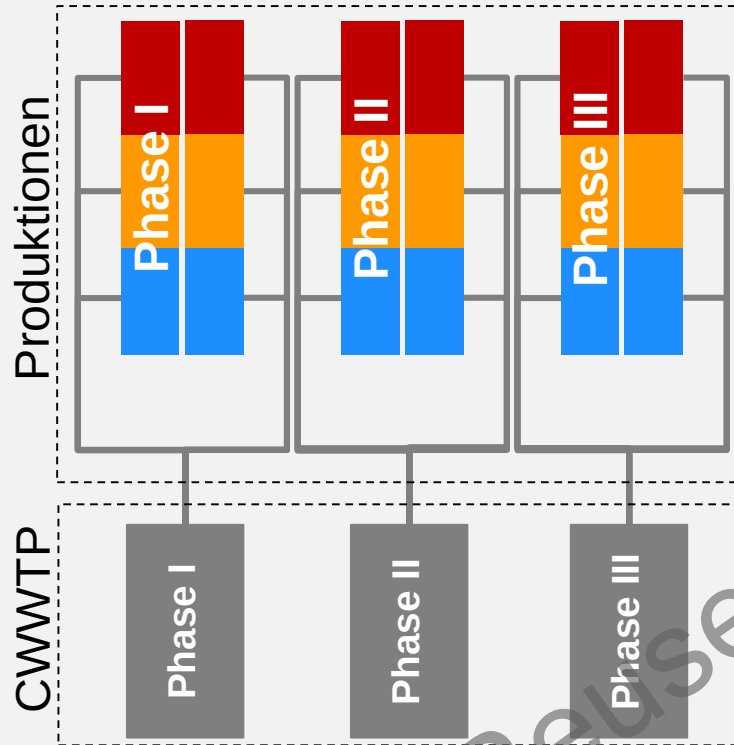
- Im „normalen“ Produktionsablauf (in wasserreichen Regionen) spielt Wasserwiederverwertung für Industriebetriebe bisher nur eine marginale Rolle, wesentlich sind Produktions- und Prozesssicherheit. Wasserwiederverwertung ist i.d.R. nur dann relevant, wenn
 - a) Auflagen oder Gesetze es erfordern (→ **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

Water-Reuse in Industrieparks

Entwicklung eines nutzungsoptimierten, dynamischen Leitungsnetzes

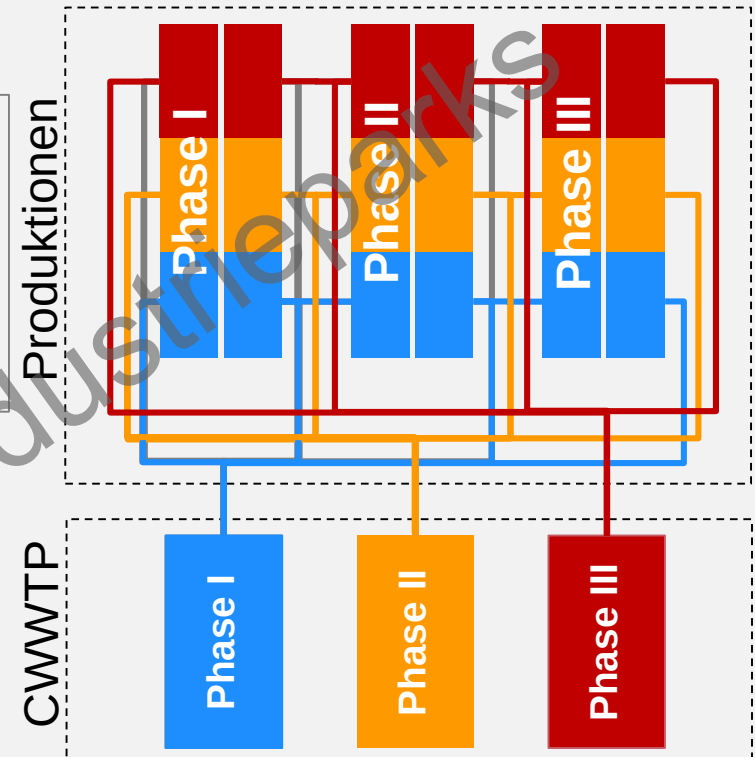
konventionell



Abwasserart
 Qualität 1
 Qualität 2
 Qualität 3
 Mischung

- 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

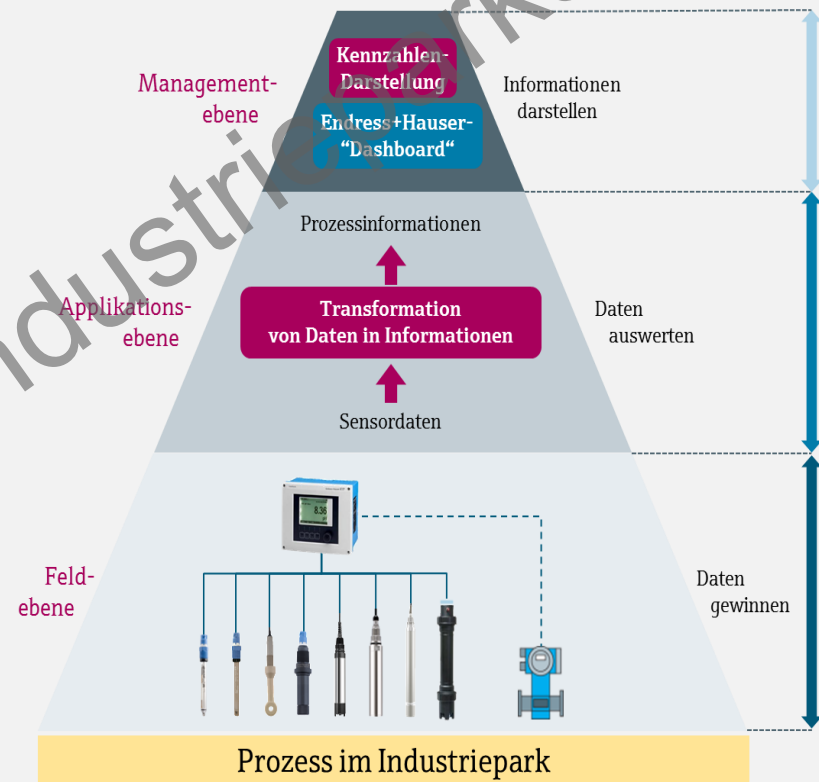
Ermittlung der prozess- und betriebsrelevanten Anforderungen

- 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

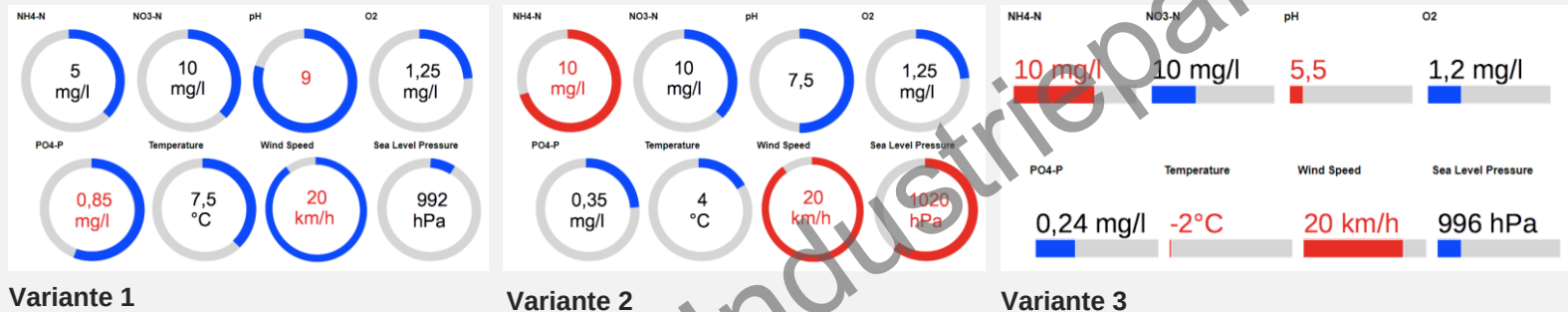


Belastung – Beanspruchung Mitarbeiter

- 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

Water-Reuse in Industrieparks

Entwicklung neuer Aufbereitungstechniken

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

Verfahrenskopplung

Entsalzung mit elektrisch getriebenen Membranverfahren

Abbaupotential von CSB_{Refr} in der Membrandeckschicht



Biologische Behandlung salzhaltiger Abwässer:
Einfluss auf Biologie und Sauerstoffeintrag

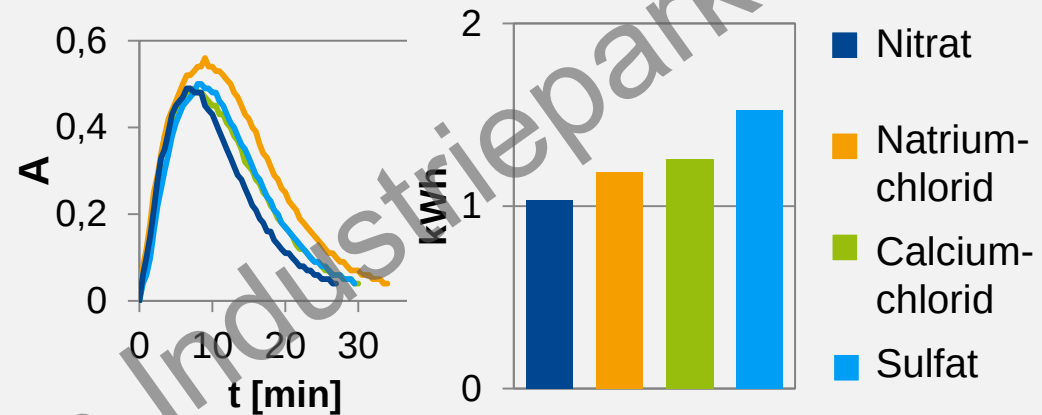
Elektrisch getriebene Membranverfahren

Reinsalzversuche



Laborversuche mit Reinsalzen:

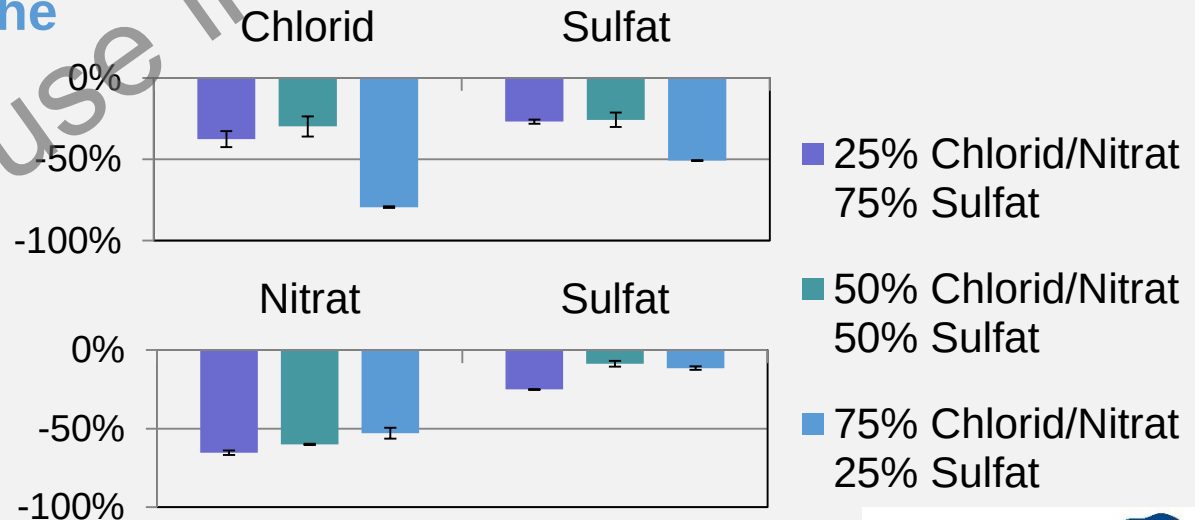
4,4 → 0,15 mS/cm



Mischsalzversuche



Entsalzung



Sauerstoffeintragsversuche:

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

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

kA*: keine Angabe, Messung nicht aussagekräftig



Abbildung: Sauerstoffeintragsversuch

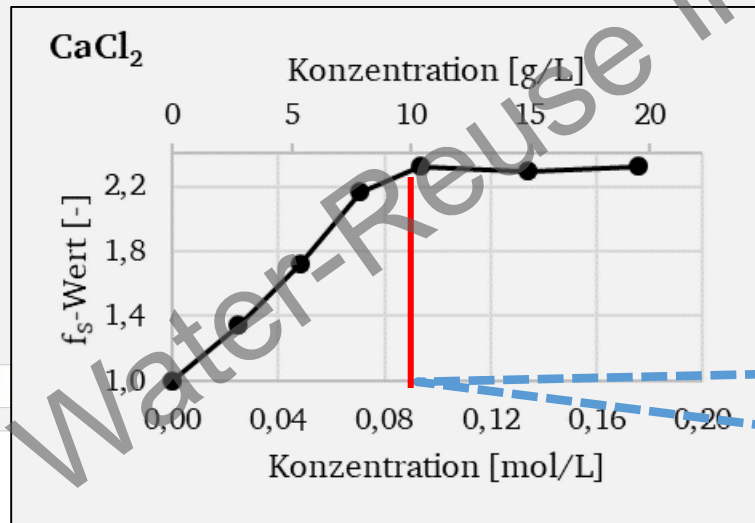


Abbildung: Ergebnis Sauerstoffeintragsversuch mit CaCl₂

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

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

Reduzierung von CSB_{Refr*} (Membrantechnik)

*hier für CSB, der mit üblichen Verfahren nicht eliminiert wird

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
Kohlele...	
Textilind...	
Lebensmittelindustrie	(Melasse-)Schlempen, Melanoidin
	Xylitol

Abbautests mit TOC/CSB-Messung

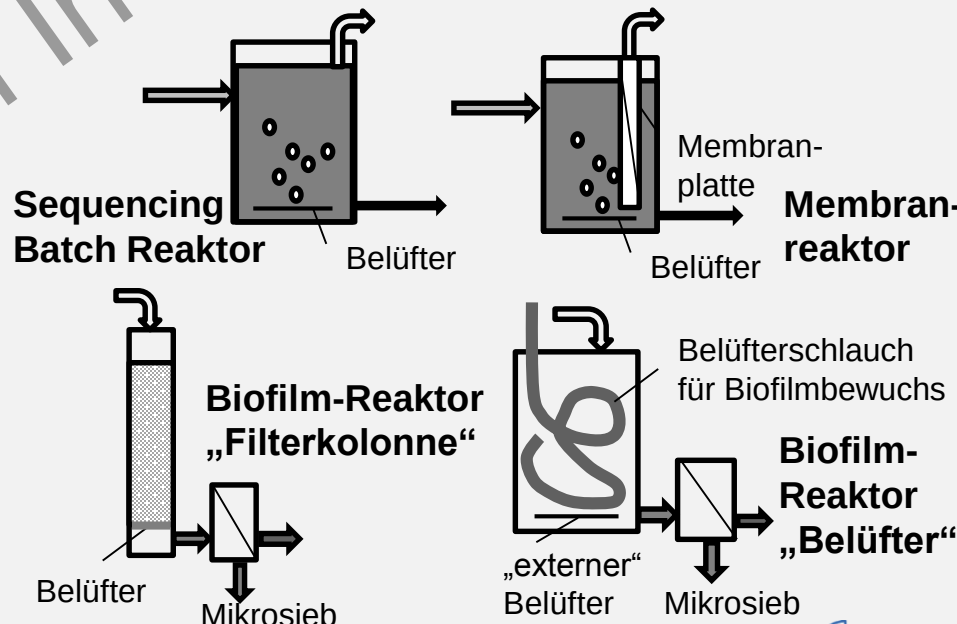
Ergebnisse:

- 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 ₂ 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 Pilotanlagenlagen

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