

Zum Aufbau des Spurenstoff-Zentrums Schleswig-Holstein



In Kooperation mit:



Technische Hochschule Lübeck, Kompetenzzentrum Angewandte Wasserforschung, Labor für Siedlungswasserwirtschaft
Kai Wellbrock, Philipp Zantout-Wilfert, Anna-Kathrin Retschko, Jascha Hödl, Thjorben Wehnke

Ministerium für Energiewende, Klimaschutz, Umwelt und Natur des Landes Schleswig-Holstein (MEKUN SH)
Annette Steffens

Landesamt für Umwelt (LfU) des Landes Schleswig-Holstein
Sabrina Schwarz



36. Norddeutsches Abwasserkolloquium
Hamburg, 15./16.09.2026

Verabschiedet durch den EU-Ministerrat am
05.11.2024; gültig seit dem 01.01.2025 – ist bis
06/2027 in nationales Recht umzusetzen

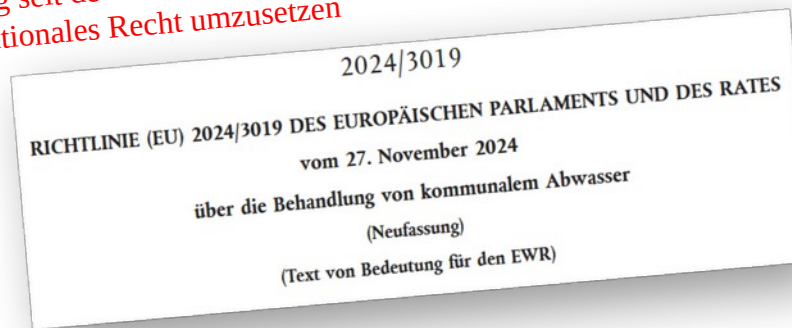
Ziele der KARL

(EU-KommunalAbwasserRichtLinie)

- Anpassung der **Regenwasser-Bewirtschaftung** an die veränderten Randbedingungen des Klimawandels (Starkregen, Dürren, Mikroklima)

- **Rückhalt von Spurenstoffen** (Arzneistoffe, Industrie- und Haushaltschemikalien, uvm.) aus dem Schmutzwasser (und ggf. auch aus den Niederschlagsabflüssen)

- Rückhalt von **Mikroplastiken**
- **Reduzierung der Emission von Pathogenen** über die Entwässerungssysteme (Schmutzwasser, Klärschlamm)
- **Schließen von Stoff-Kreisläufen** im Sinne einer zirkulären Kreislaufwirtschaft
- **Wasserwiederverwendung** (z.B. für die Bewässerung)
- **Klimaneutrale Konversion** der Abwasserwirtschaft (Energienutralität, Treibhausgas-Emissionen)



➔ „Grün-blaue“ Infrastruktur (Art. 5)

➔ Vierte Reinigungsstufe (Art. 8)

➔ Erweiterte Herstellerverantwortung (Art. 9 und 10)

➔ Überwachung (Art. 21)

➔ Abwassersurveillance (Art. 17)

➔ Ressourcen-Rückgewinnung (Art. 20)

➔ Wiederverwendung von Abwasser (Art. 15)

➔ Energie- und Klimaneutralität (Art. 11 und 15)

Kläranlagen in Schleswig-Holstein

Anzahl der Kläranlagen in SH mit Angabe der summierten Anschlussgrößen

GK	Ausbaugröße [EW]	Anzahl KA	Anteil KA [%]	Summe Anschlussgröße [EW]	Anteil an Gesamt- Anschlussgröße [%]
1	50 bis 1.000	509	65,7	160.952	4,0
2	1.000 bis 5.000	169	21,8	284.287	7,0
3	5.000 bis 10.000	30	3,9	145.421	3,6
4	10.000 bis 100.000	60	7,7	1.447.123	35,7
5	> 100.000	7	0,9	2.014.296	49,7
SUMME:		775	100,0	4.052.079	100,0

Ausbau nach
Risikobewertung

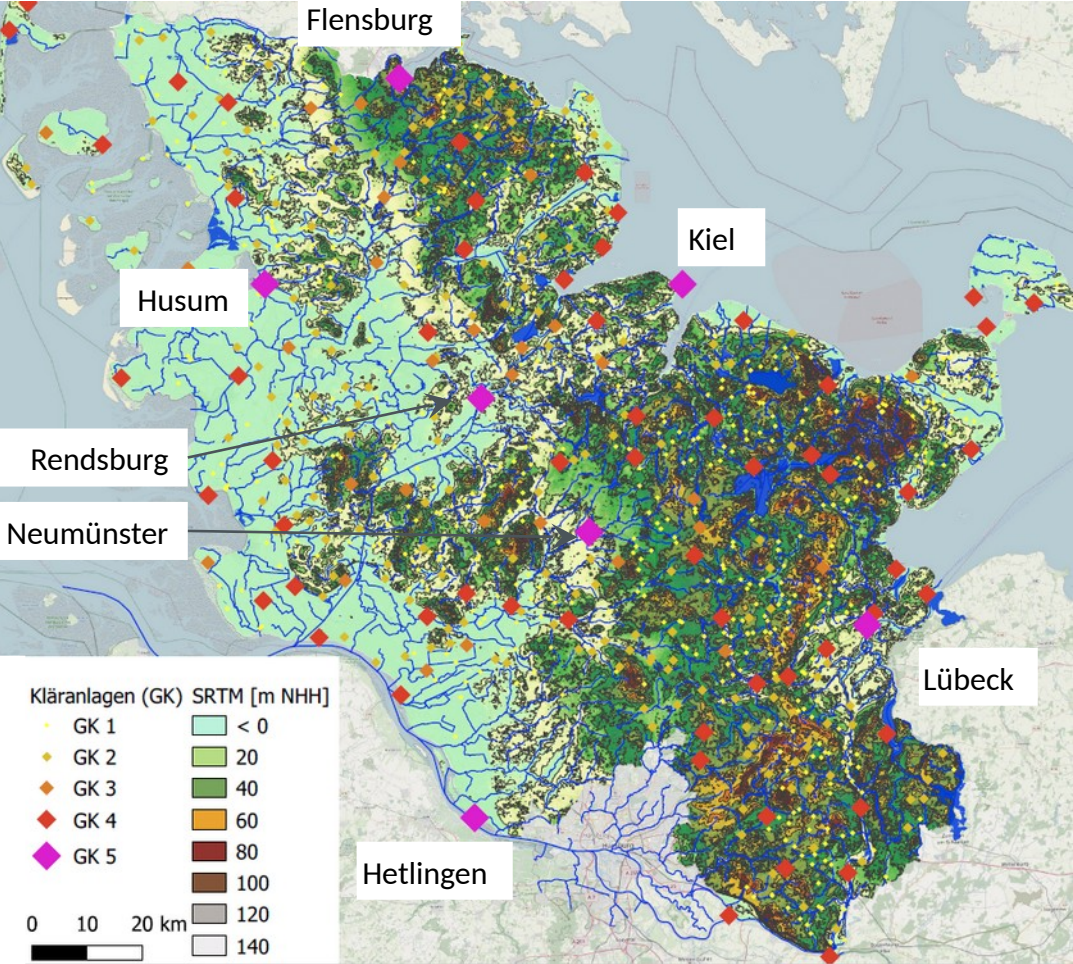
Obligatorischer Ausbau
gem. KARL Art. 8

Kläranlagen der GK 5

Kläranlage	Ausbau- größe [EW]	Anschluss- größe [EW]
1 Hetlingen	860.000	891.000
2 Kiel	475.000	364.000
3 Lübeck	427.500	286.000
4 Neumünster	380.000	140.000
5 Flensburg	220.000	146.000
6 Rendsburg	220.000	76.100
7 Husum	110.000	94.000

(Daten: Generalplan Abwasser SH, 2020)

Topogr. Karte mit Lage der Kläranlagen GK 1 bis 5

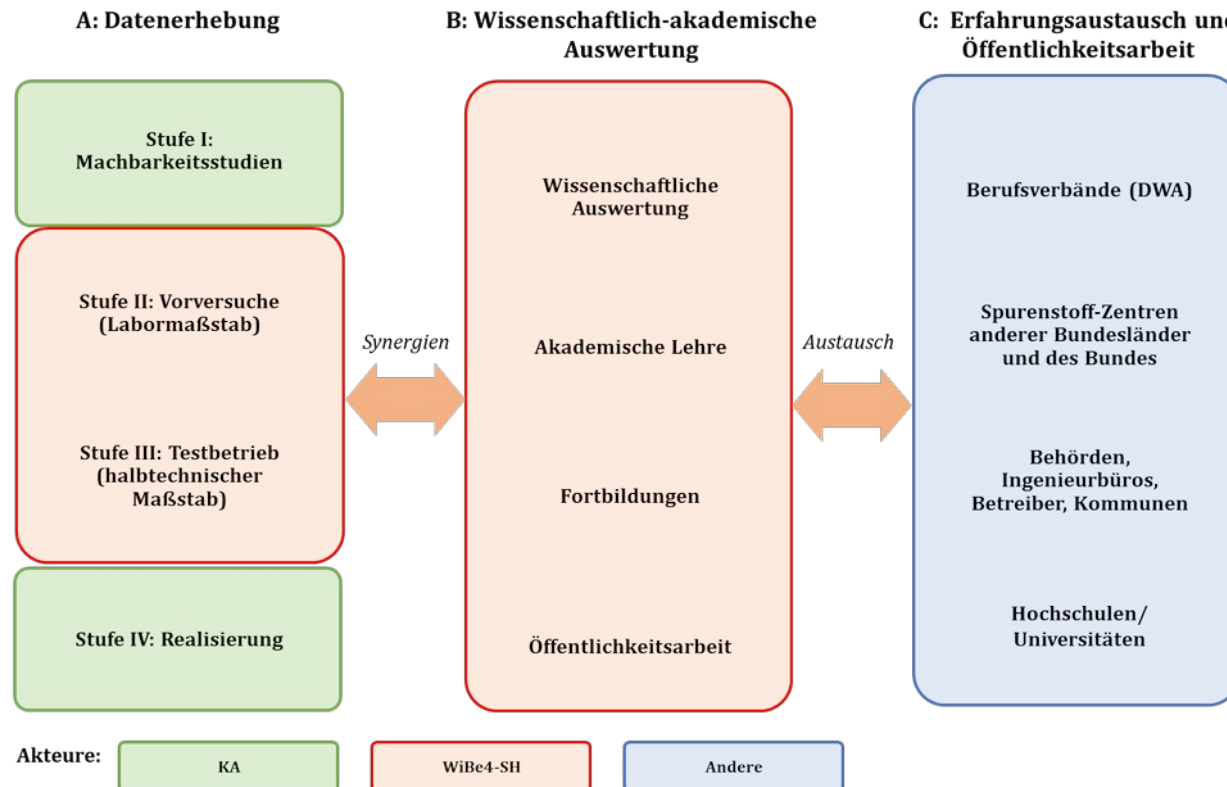


Vorgänger-/ Schwesterprojekte

- **WiBe4-SH:** Wissenschaftliche Begleitung zur Einführung der 4. Reinigungsstufe in Schleswig-Holstein (2026-2028)
- **EKlä-SH:** Emission von Spurenstoff-Frachten und multiresistenten Keimen über den Klärschlammfad in Schleswig-Holstein (2023-2026)
- **4RS-VAK:** Erweiterung der Versuchs- und Ausbildungskläranlage (VAK) Reinfeld mit Modulen einer 4. Reinigungsstufe (2022-2025)
- **MaReT-SH:** Leistungsfähigkeit von Maßnahmen zur Regenwasserbewirtschaftung im Trennsystem in Schleswig-Holstein (2022-2024)
- **SpuGe-SH:** Etablierung einer vereinfachten Bilanzierungsmethode zur Abschätzung des Anteils von Kläranlagen-Abläufen an der Spurenstoff-Belastung in den Oberflächengewässern Schleswig-Holsteins - Ableitung von Kennwerten zur Quantifizierung des Einflusses von Kläranlagen auf die Gewässerqualität (2021-2022)
- **Prio-SH:** Spurenstoffe (prioritäre Stoffe) und Multiresistente Bakterien in den Entwässerungssystemen Schleswig-Holsteins - Ableitung von Kennwerten zur Quantifizierung der Herkunft, der Ausbreitung und des Rückhaltes (2017-2020)

Aufbau des Spurenstoff-Zentrum Schleswig-Holstein

Derzeit: Wissenschaftliche Begleitung zur Einführung der 4. Reinigungsstufe in SH (Projekt: WiBe4-SH bis Ende 2028)



➔ Aufbau von Kompetenzen vor Ort im Land

➔ Spurenstoff-Zentrum wird zentrale Anlaufstelle für alle Fragen hinsichtlich der 4. Reinigungsstufe

Projektpartner



Labor für Siedlungswasserwirtschaft

- Prof. Dr.-Ing. Kai Wellbrock (Gesamtleitung)
- Prof. Dr. Philipp Zantout-Wilfert (Projektmanagement)
- Anna-Kathrin Retschko, M.Sc. (Leitung Abwasserlabor, Vorbereitung Analytik, Datenauswertung)
- Jascha Hödl, M.Sc. (Verfahrenstechnik [GAK+PAK], Betrieb Pilotanlagen, MSR-Technik)
- Thjorben Wehnke, M.Sc. (Verfahrenstechnik [Ozonung], Betrieb Pilotanlagen, MSR-Technik)
- Dr. Laura Kirchhoff (Koordination Labor, Datenauswertung)
- Frank Blöcker (Abwassermeister)
- Karin Thienemann (Labor)

Centrum Industrielle Biotechnologie

- Prof. Dr. Veronika Hellwig (Leitung Teilprojekt Spurenstoff-Analytik)
- Dr. Danilo Springstubbe (Spurenstoff-Analytik)



Referat Schutz der Binnengewässer, Anlagenbezogener Gewässerschutz

Annette Steffens

(administrative Vorbereitung und
wasserrechtliche Bewertung)



Dezernat 40 – Technischer Gewässerschutz

Sabrina Schwarz

(Koordination, Machbarkeitsstudien)

A: Datenerhebung

Stufe I: Machbarkeitsstudien (MBS)

- Erfolgen gem. Leitfaden „Machbarkeitsstudien zur Elimination von Spurenstoffen in SH“ (2025)
 - Beschreibung der vorhandenen Kläranlage
 - Handlungsrahmen und **Ausarbeitung technischer Varianten**
 - Durchführung eines **Messprogramms (u.a. Vorflut; Zu- und Ablauf der Kläranlage)**
 - **Kostenbetrachtung**
 - Mitbetrachtung **weiterer Reinigungsziele/** Verrechnung mit der Abwasserabgabe
 - **Empfehlung**

Erfolgt durch Planungsbüros im Auftrag der KA-Betreibenden

Stufe II: Vorversuche (Labor)

- Werden ggf. **ergänzend zu Machbarkeitsstudien** durchgeführt
- Bewertung der **Eignung** bestimmter Verfahren
- Abschätzung der **erreichbaren Eliminationsleistung**
- Grundlage für die **Auslegung der 4RS** im Vollmaßstab
- Durchgeführt werden Vorversuche
 - an **Pulveraktivkohlen (PAK)**
 - zur **Ozonung**
- (vorerst) nicht durchgeführt werden Vorversuche an **granulierter Aktivkohle (GAK)**

Erfolgt durch das Spurenstoff-Zentrum SH

Stufe IIa: Vorversuche an Pulveraktivkohle (PAK)

- Nach DWA M 285-2 (2021) und nach Vorgaben des Verbandes Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA)
- Ziele:
 - Vergleichende Feststellung der **Adsorptionsleistung bestimmter Kohlen** für spezifisches Abwasser (Grundlage für die Auswahl einer PAK)
 - Ermittlung der **notwendigen PAK-Dosis** [mg PAK / mg DOC] für die notwendige Eliminationsrate (Dosis-Wirkungsbeziehung)
 - Abschätzung der **voraussichtlichen Dosierung** [mg PAK/ L]
 - **Grundlage für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit**
 - (Qualitätskontrolle und Überwachung Produktqualität)
- Durchführung erfolgt in **Schüttelversuchen**
- **Keine direkte Übertragbarkeit** auf großtechnische Umsetzung
- **Kein Testen von Granulierten Aktivkohlen** (GAK) möglich

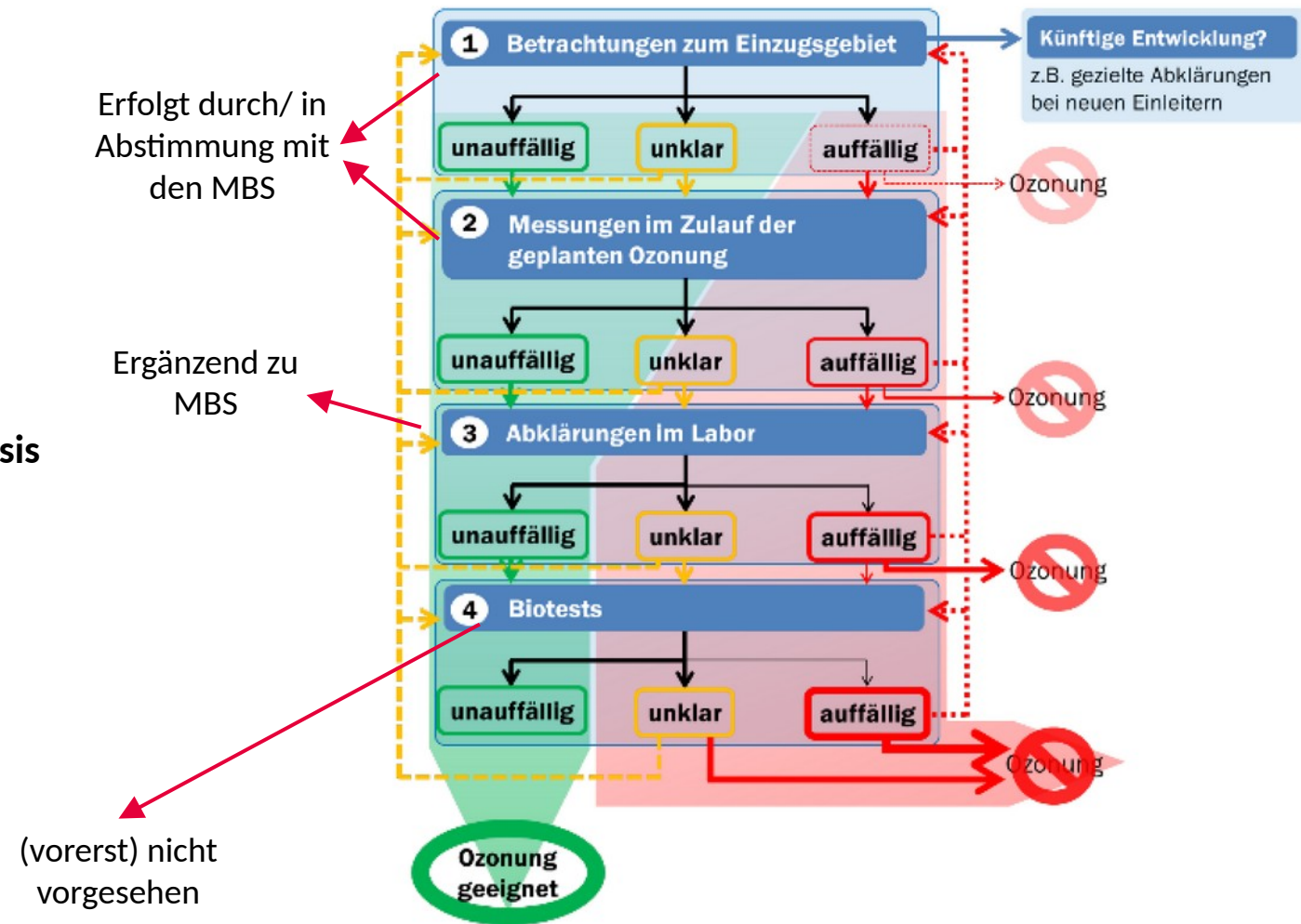
KA-Betreibende
stellen PAK-
Produkte bereit
(100 g)

Schüttelversuche:

- 24h-Mischproben bei Trockenwetter (mind. 10 L pro PAK-Produkt)
- Rasche Filtration; Lagerung (kühl und dunkel bis 4 d)
- Analyse (DOC, SAK₂₅₄, Spurenstoffe etc.)
- Ansetzen einer Stammsuspension
- PAK-Dosierung (0,5 bis 1,0 mg PAK/mg DOC)
- 24 h Überkopfschüttler
- Filtration
- Analyse (DOC, SAK₂₅₄, Spurenstoffe etc.)

Stufe IIb: Vorversuche zur Ozonung

- Nach DWA M 285-3 (2026) und nach Vorgaben des Verbandes Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA)
- Ziele:
 - Feststellung der **Eignung des Verfahrens**
 - Ermittlung der **notwendigen spezifischen Ozondosis** [mg O₃ / mg DOC] - (Dosis-Wirkungsbeziehung)
 - Abschätzung des notwendigen **Reaktorvolumens**
 - (Bildung von Oxidationsnebenprodukten)
 - (Grundlage für Ökotoxikologische Tests)
- Untersuchung in mehreren Ebenen (s. Abbildung)



Schematische Darstellung der Vorversuche zur Abklärung der Eignung von Ozonungsverfahren.

(Quelle: VSA 2020)

Stufe IIb: Vorversuche zur Ozonung

- **Stufe 1:** Betrachtung des EZG zur Feststellung „kritischer“ Indirekteinleiter → Erfolgt im Rahmen der MBS
- **Stufe 2:** Messungen im Zulauf zur geplanten Ozonung
 - (langfristiges) Monitoring von **DOC, Nitrit und Bromid** → Erfolgt idealerweise frühzeitig durch KA-Betreiber
ggf. ergänzt durch Tagesganglinien (unter Berücksichtigung einer täglichen oder saisonalen Variabilität)
 - Abschätzung des **Bromatbildungspotenzials** → Kann zum Ausschluss der Ozonung führen
(problemlos: wenn Bromid < 0,15 mg/L und spez. O₃-Dosis < 0,7 mg O₃/mg DOC – andernfalls: Einzelfallbetrachtung)
 - ggf. **Chrom** und weitere **Schwermetalle** - wenn Klärschlamm oder EZG auffällig
 - ggf. **Nitrosamine (NDMA)** - falls relevante Indirekteinleiter oder z.B. aminbasierter Flockungshilfsmittel vorhanden → Erfordert biolog. Nachbehandlung, ggf. Ausschluss
- **Stufe 3:** Abklärung im Labor
 - Einfluss von Matrixeffekten (Ozon-Dosis im Referenzbereich?)
 - Eliminationsgrade relevanter Spurenstoffe für spez. Ozondosen in → Aufwändige Laborversuche

Stufenversuchen

Aufbau einer Spurenstoff-Analytik

- Ziel:
 - flexible und schnelle Analytik
 - Erweiterung landeseigener Ressourcen
- Flüssigchromatographie mit Massenspektrometrie - LC-MS/MS
- Zunächst: 12 Spurenstoffe nach KARL + 7 weitere Spurenstoff gem. Leitfaden zur Durchführung Machbarkeitsstudien in SH
- Routine-Betrieb ab 2027
- Ansiedlung am Centrum Industrielle Biotechnologie (CIB) der TH Lüneburg im Bereich „Analytische Chemie und Instrumentelle Analytik“ (Prof. Dr. V. Hellwig)

**Zusammenstellung der (zunächst)
berücksichtigten Spurenstoffe.**

Nr.	Stoffname	CAS-Nr.	KA Ablauf BG [µg/ l]	Gewässer BG [µg/ L]	Bevorzugtes Analyseverfahren	berücksichtigt in KARL (KARL-12)	Kategorie nach KARL ¹
1	Σ4- und 5-Methyl- benzotriazol		0,01-0,05	0,01	LC-MS/ MS Direktmessung	J	2
2	Amisulprid	71675-85-9	0,01-0,025	0,01	LC-MS/ MS Direktmessung	J	1
3	Azithromycin	83905-01-5	0,01	0,01	LC-MS/ MS Direktmessung	N	
4	Benzotriazol	95-14-7	0,01-0,05	0,01	LC-MS/ MS Direktmessung	J	2
5	Bisphenol A	80-05-7	0,025-0,05	0,025	LC-MS/ MS Direktmessung od. GC-MS/ MS nach Anreicherung	N	
6	Candesartan	139481-59-7	0,01-0,02	0,01	LC-MS/ MS Direktmessung	J	2
7	Carbamazepin	298-46-4	0,01-0,025	0,01	LC-MS/ MS Direktmessung	J	1
8	Citalopram		0,01-0,025	0,01	LC-MS/ MS Direktmessung	J	1
9	Clarithromycin	81103-11-9	0,01-0,02	0,01	LC-MS/ MS Direktmessung	J	1
10	Diclofenac	15307-86-5	0,01-0,025	0,01	LC-MS/ MS Direktmessung	J	1
11	Erythromycin	114-07-8	0,01	0,01	LC-MS/ MS Direktmessung	N	
12	Hydrochlorthiazid	58-93-5	0,01-0,025	0,01	LC-MS/ MS Direktmessung	J	1
13	Ibuprofen	15687-27-1	0,01	0,01	LC-MS/ MS Direktmessung	N	
14	Imidacloprid	138261-41-3	0,002-0,005	0,002	LC-MS/ MS Direktmessung	N	
15	Irbesartan	138402-11-6	0,01-0,025	0,01	LC-MS/ MS Direktmessung	J	2
16	Metoprolol	51384-51-1	0,01-0,025	0,01	LC-MS/ MS Direktmessung	J	1
17	Perfluorooctan- sulfonsäure (PFOS)	1763-23-1	0,0002-0,001	0,0002-0,0005	LC-MS/ MS Direktmessung	N	
18	Triclosan	3380-34-5	0,01-0,02	0,01	LC-MS/ MS Direktmessung	N	
19	Venlafaxin	93413-69-5	0,01-0,02	0,01	LC-MS/ MS Direktmessung	J	1

¹ Kategorie 1: Stoffe die sehr leicht zu behandeln sind. Kategorie 2: Stoffe die leicht zu entfernen sind.

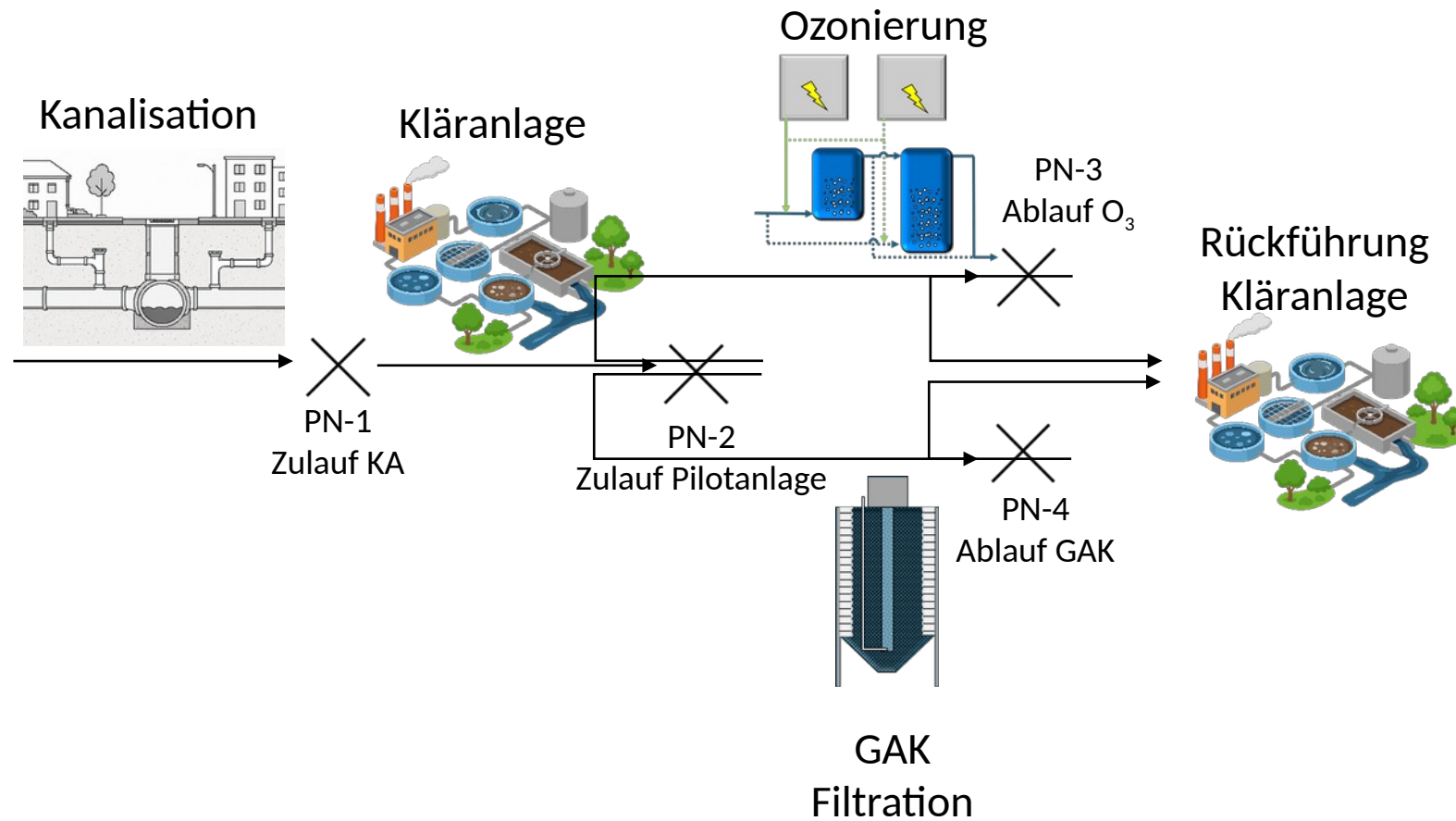
Stufe III: Betrieb der Pilotanlagen

- Regelbetrieb: 1,0 m³/h (0,5 bis 2,0 m³/h)
- Modular aufgebaut → div. Verfahrenskombinationen möglich
- Container-Bauweise → transportabel
- Integrierte MSR-Technik und übergeordnete Steuerung
- Vorhandene Pilotanlagen:
 - **Ozonungsanlage**
 - **GAK-Behandlung** (horizontal durchströmt)
 - **PAK-Behandlung** (simultan oder nachgeschaltet)
 - Separator für PAK-Abtrennung: **Lamellenabscheider**
 - **Tuchfiltration** (als Mikrofiltration) zur Abtrennung PAK oder als Vorbehandlung vor Ozonung/ GAK
 - **Membran-Bioreaktor**, die auch als eigenständige **Ultrafiltration** betrieben werden kann



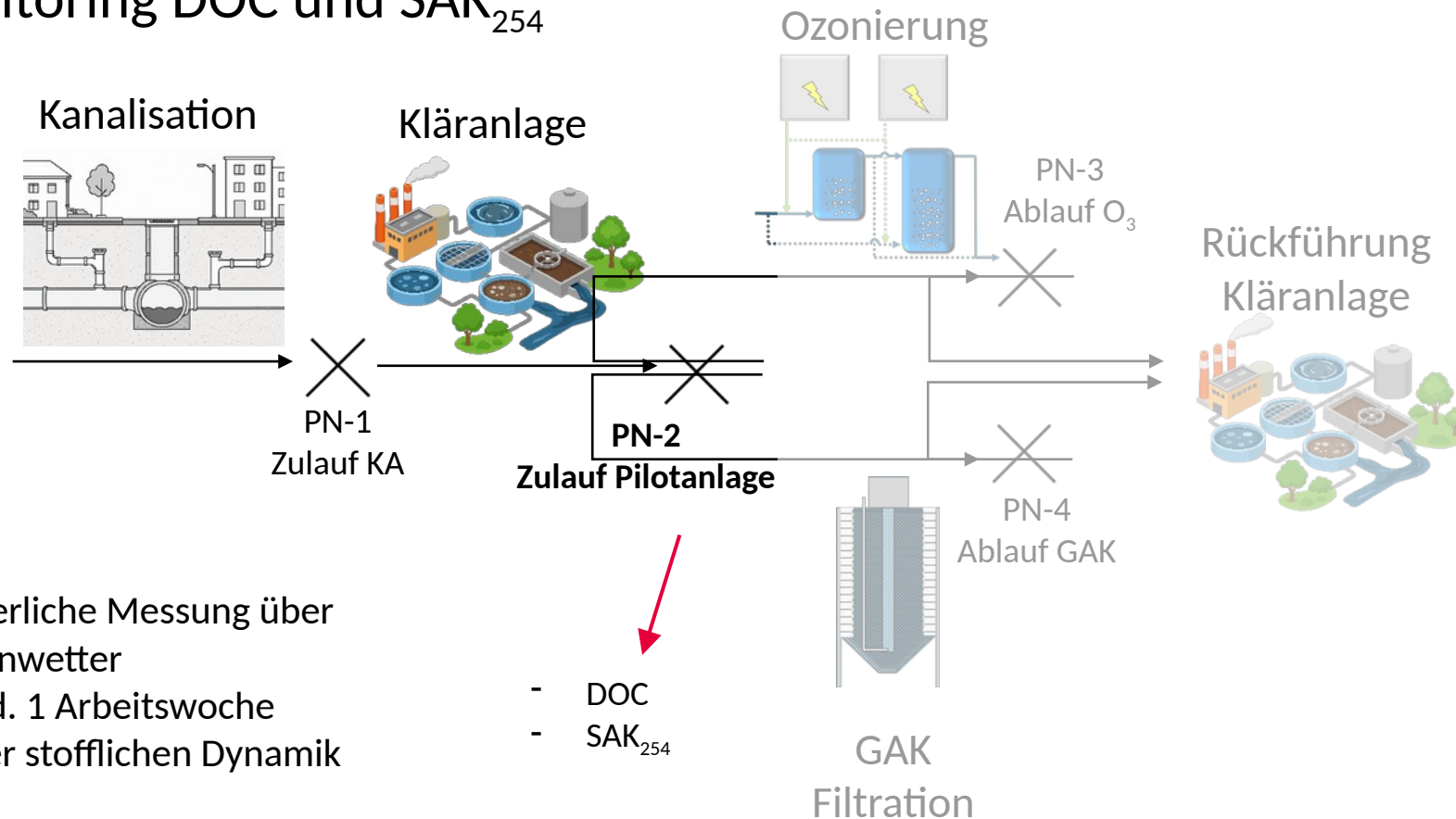
Betrieb der Pilotanlagen auf dem Gelände KA Ahrensburg
(Foto: T. Wehnke, THL, Projekt WieBe4-SH, 09.09.2026)

Stufe III: Betrieb der Pilotanlagen



Stufe III: Betrieb der Pilotanlagen

Phase 1: Monitoring DOC und SAK₂₅₄



Methode: Kontinuierliche Messung über mind. 7d bei Trockenwetter

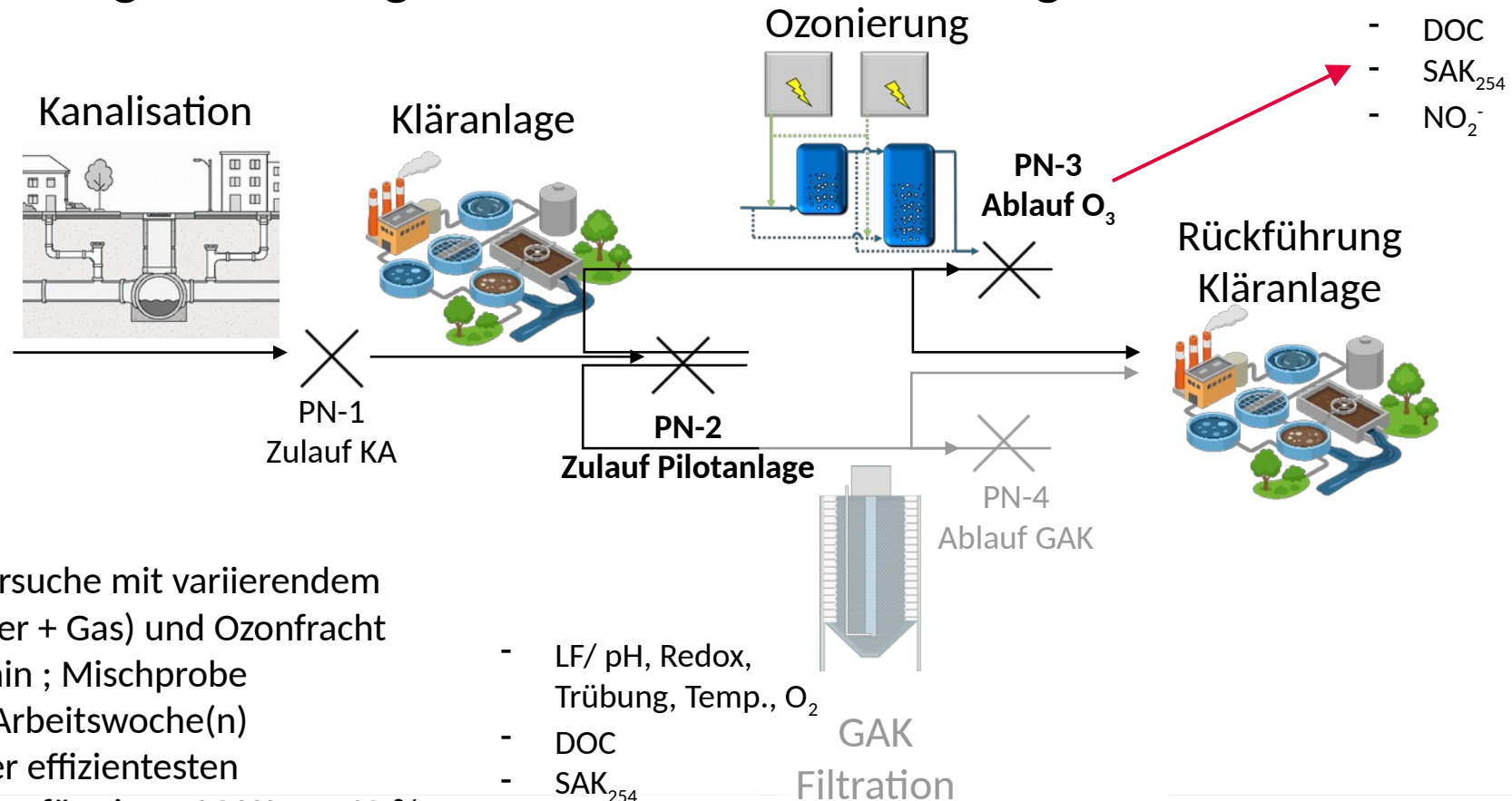
Gesamtdauer: mind. 1 Arbeitswoche

Ziel: Feststellung der stofflichen Dynamik

- DOC
- SAK₂₅₄

Stufe III: Betrieb der Pilotanlagen

Phase 2: Ermittlung der Eintragseffizienz in der Ozonierung



Methode: Stufenversuche mit variierendem Durchfluss (Abwasser + Gas) und Ozonfracht
Stufendauer: 120 min ; Mischprobe

Gesamtdauer: 1-2 Arbeitswoche(n)

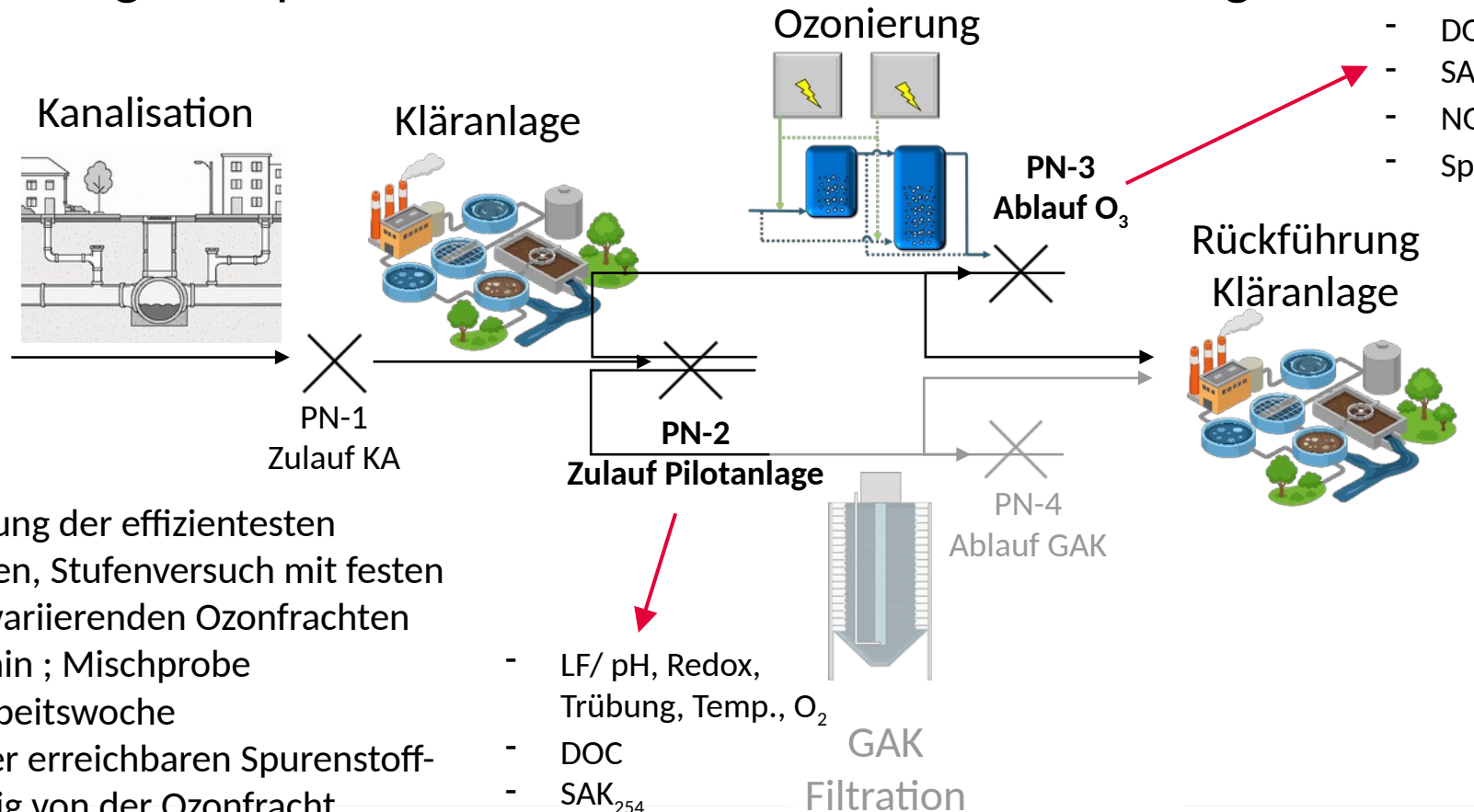
Ziel: Feststellung der effizientesten

Anlageneinstellungen für einen $\Delta\text{SAK}_{254} \geq 40 \%$

Labor für Siedlungswasserwirtschaft

Stufe III: Betrieb der Pilotanlagen

Phase 3: Ermittlung der Spurenstoff-Elimination in der Ozonierung



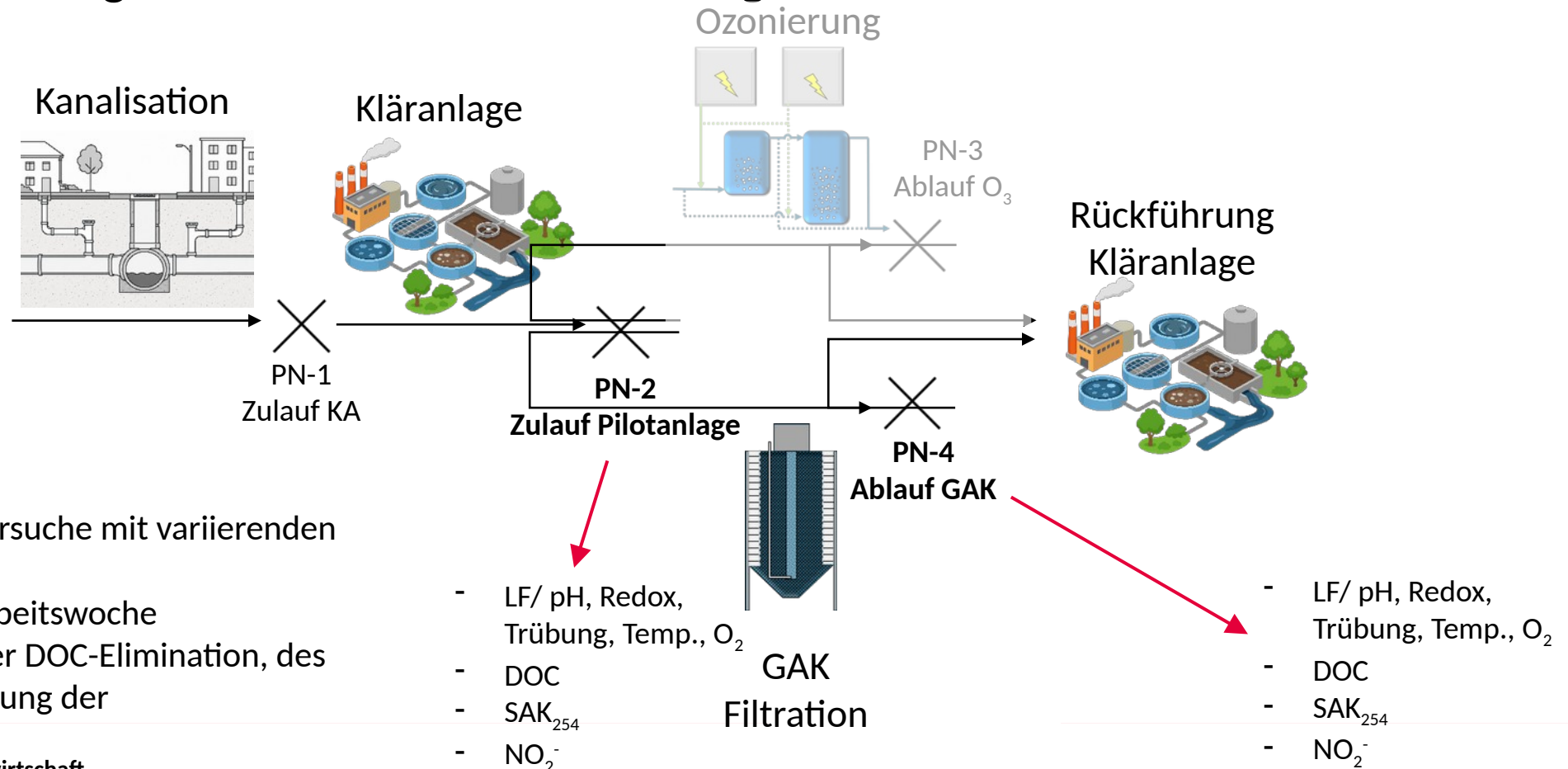
Methode: Anwendung der effizientesten Anlageneinstellungen, Stufenversuch mit festen Durchflüssen aber variierenden Ozonfrachten
Stufendauer: 120 min ; Mischprobe

Gesamtdauer: 1 Arbeitswoche

Ziel: Feststellung der erreichbaren Spurenstoff-Elimination abhängig von der Ozonfracht

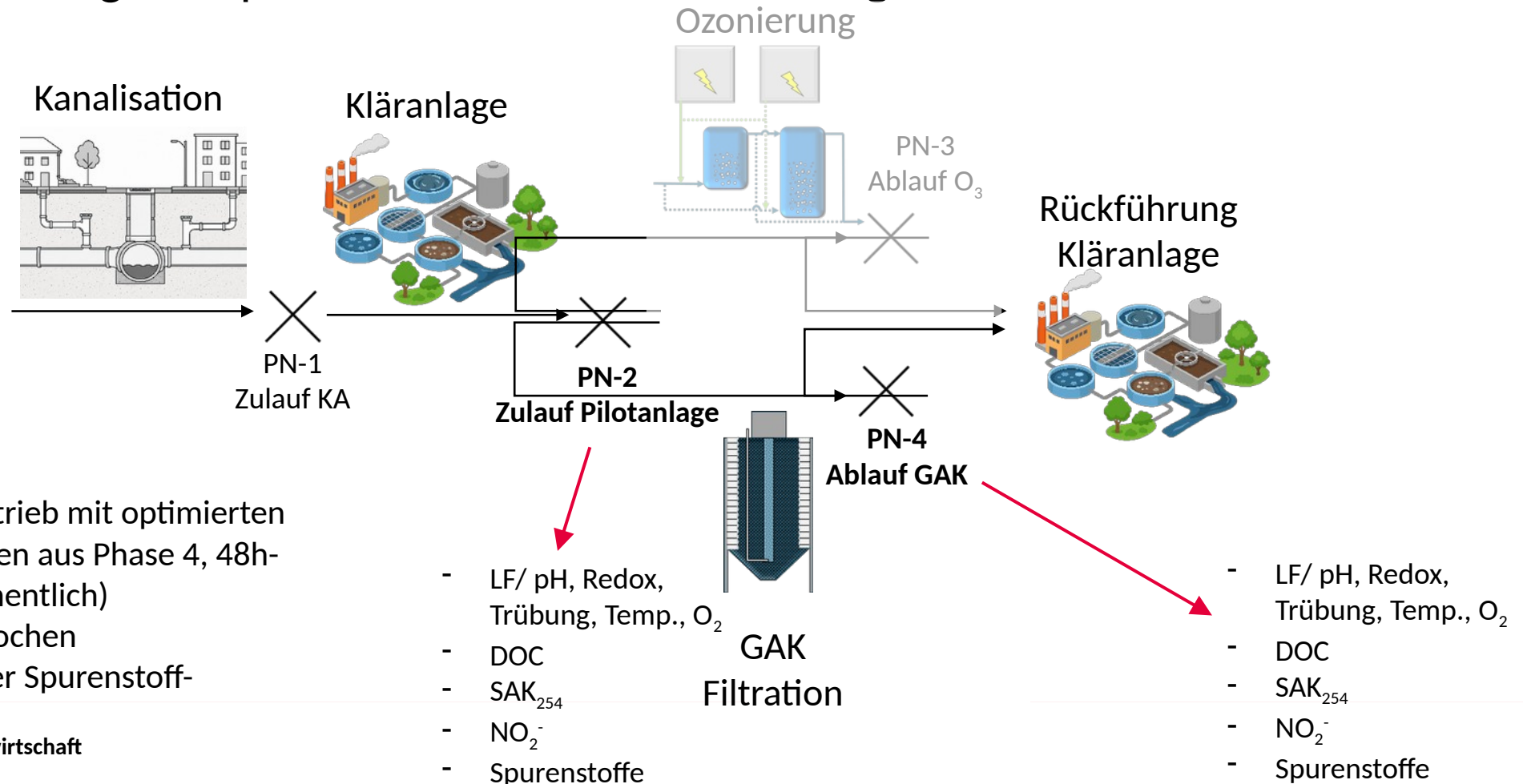
Stufe III: Betrieb der Pilotanlagen

Phase 4: Ermittlung der DOC-Eliminationsleistung GAK



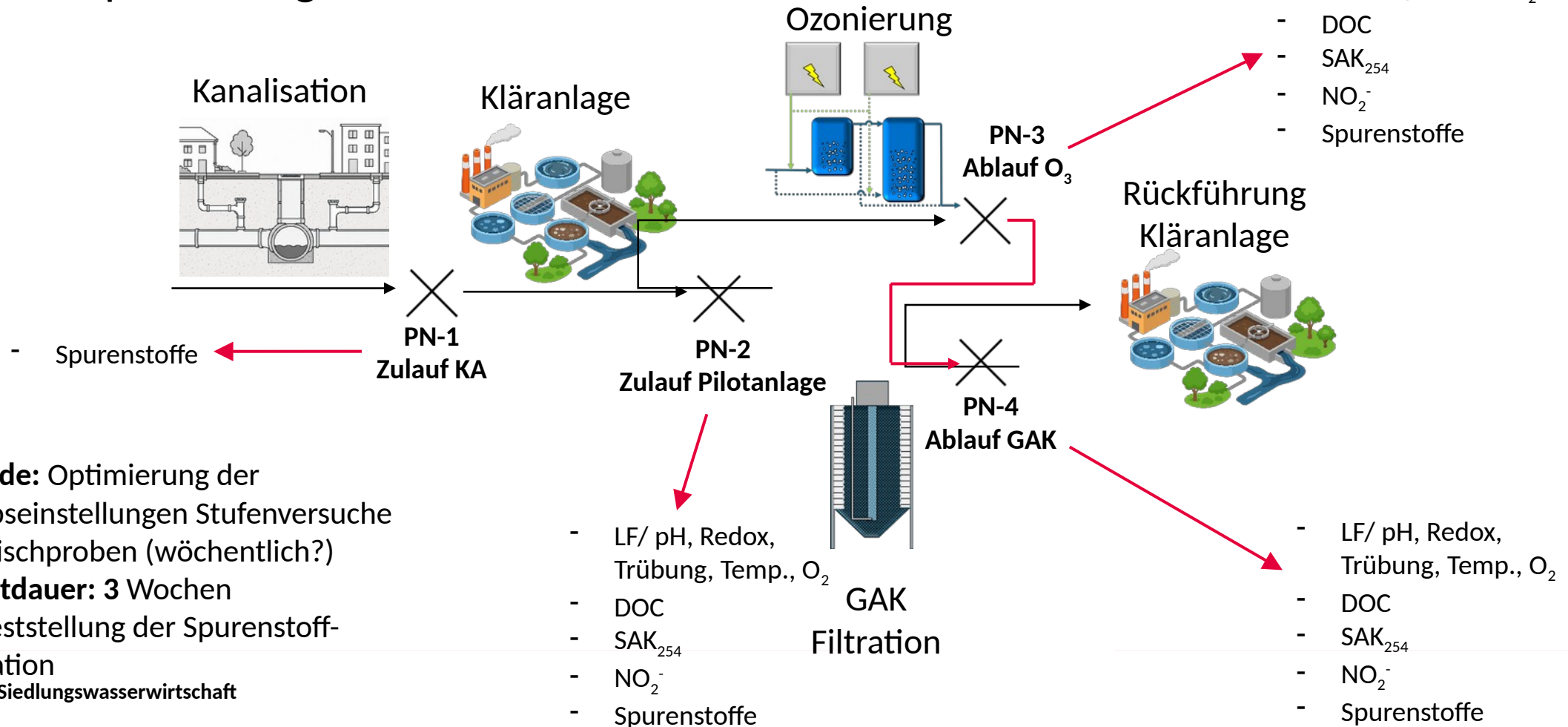
Stufe III: Betrieb der Pilotanlagen

Phase 5: Ermittlung der Spurenstoff-Eliminationsleistung GAK



Stufe III: Betrieb der Pilotanlagen

Phase 6: Optimierung der Verfahrenskombination



Methode: Optimierung der Betriebseinstellungen Stufenversuche 48h-Mischproben (wöchentlich?)

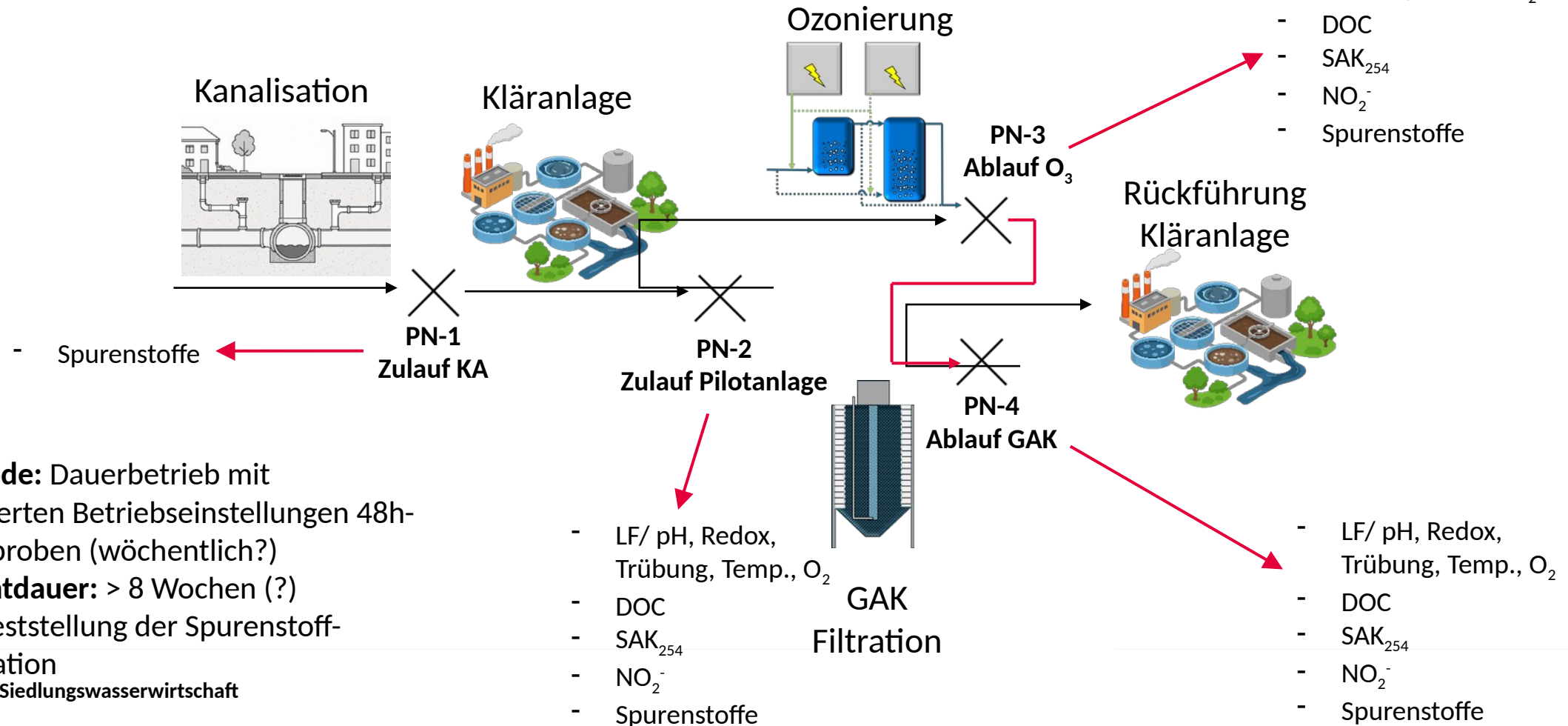
Gesamtdauer: 3 Wochen

Ziel: Feststellung der Spurenstoff-Elimination

Labor für Siedlungswasserwirtschaft

Stufe III: Betrieb der Pilotanlagen

Phase 7: Dauerbetrieb in Verfahrenskombination



Methode: Dauerbetrieb mit optimierten Betriebseinstellungen 48h-Mischproben (wöchentlich?)

Gesamtdauer: > 8 Wochen (?)

Ziel: Feststellung der Spurenstoff-Elimination

Labor für Siedlungswasserwirtschaft

Stufe III: Betrieb der Pilotanlagen

Phase	PN 1	PN 2	PN 3	PN 4	Methode	Art der Probennahme	Parameter	Ziel	Dauer [Wochen]
	Zulauf KA	Zulauf Pilotanlage	Ablauf Ozonung	Ablauf GAK					
1		X			Kont. Messung über mind. 7d (TW)	online	DOC, SAK ₂₅₄ , (NO ₂ ⁻)	Feststellgung der stofflichen Dynamik	> 1
2		X	X		Stufenversuche mit variierenden Durchfluss (Abwasser + Gas) und Ozonfracht Stufendauer: 120 min	online + Mischprobe (60 min)	LF, pH, Redox, Trübung, Temp., O ₂ , DOC, SAK ₂₅₄ , (NO ₂ ⁻)	Feststellung der effizientesten Anlageneinstellungen zur Erreichung eines $\Delta\text{SAK}_{254} \geq 40\%$	1 - 2
3		X	X		Stufenversuch mit festen Durchflüssen, aber variierenden Ozonfrachten Stufendauer: 120 min ; Mischprobe	online + Mischprobe (60 min)	LF, pH, Redox, Trübung, Temp., O ₂ , DOC, SAK ₂₅₄ , (NO ₂ ⁻) Spurenstoffe	Feststellung der erreichbaren Spurenstoff-Elimination abhängig von der Ozondosis	1
4		X		X	Stufenversuch mit variierenden Durchfluss	online + Mischprobe (60 min)	LF, pH, Redox, Trübung, Temp., O ₂ , DOC, SAK ₂₅₄ , (NO ₂ ⁻)	Feststellung der DOC-Elimination und ΔSAK_{254}	1
5		X		X	Kont. Betrieb mit optimierten Betriebseinstellungen	online + 48h-Mischproben	LF, pH, Redox, Trübung, Temp., O ₂ , DOC, SAK ₂₅₄ , (NO ₂ ⁻) Spurenstoffe	Feststellung der Spurenstoff-Elimination	2
6		X	X	X	LF, pH, Redox, Trübung, Temp., O ₂ , DOC, SAK ₂₅₄ , (NO ₂ ⁻) Spurenstoffe	online + 48h-Mischproben	LF, pH, Redox, Trübung, Temp., O ₂ , DOC, SAK ₂₅₄ , (NO ₂ ⁻) Spurenstoffe	Abstimmung der Anlagenparameter aufeinander für eine effiziente Spurenstoff-Elimination	3
7	X	X	X	X	Dauerbetrieb	online + 48h-Mischproben	LF, pH, Redox, Trübung, Temp., O ₂ , DOC, SAK ₂₅₄ , (NO ₂ ⁻) Spurenstoffe	KARL-konforme Feststellung der Spurenstoff-Elimination unter realen Bedingungen	> 8

Stufe III: Betrieb der Pilotanlagen

Möglichkeiten

- Überprüfung der **generellen Eignung** einzelnen Verfahren oder -kombinationen (ergänzend zu Vorversuchen) insb. wenn sehr hohe Eliminationsraten erforderlich werden
- Feststellung **erreichbarer Eliminationsgrade** für relevante Spurenstoffe
- Festlegung maßgeblicher **Betriebsparameter**
- **Vergleich der Verfahren** hinsichtlich der Eignung bestimmte Spurenstoffe zu eliminieren
- Korrelation div. Parametern und Identifikation von geeigneten **Surrogatparametern**
- Erkennen **notwendiger Parameter** für den Anlagenbetrieb
- Aussagen über Betrieb der Anlagen bei **Regenwetter**

Grenzen

- Eine Auslegung der Ozonung ist aufgrund einer **fehlenden online-Restozonmessung im Offgas** (derzeit) nicht möglich
- Bei der GAK-Behandlung kann nicht festgestellt werden, wie viele **Bettvolumina** bis zum Erreichen des **Durchbruchpunktes** durchgesetzt werden können
- Begrenzt auf **eine Aktivkohle**
- **Skalierbarkeit** der Ergebnisse der Betriebsparameter wie Rückspülzyklen mit der GAK ist durch das Design auf gängige großtechnische Anlagen schwierig
- **Saisonale Effekte** können nicht hinreichend abgebildet werden
- Keine oder sehr begrenzte Aussagen über **Kosten**
- **Kein Winterbetrieb** möglich

Wissenstransfer

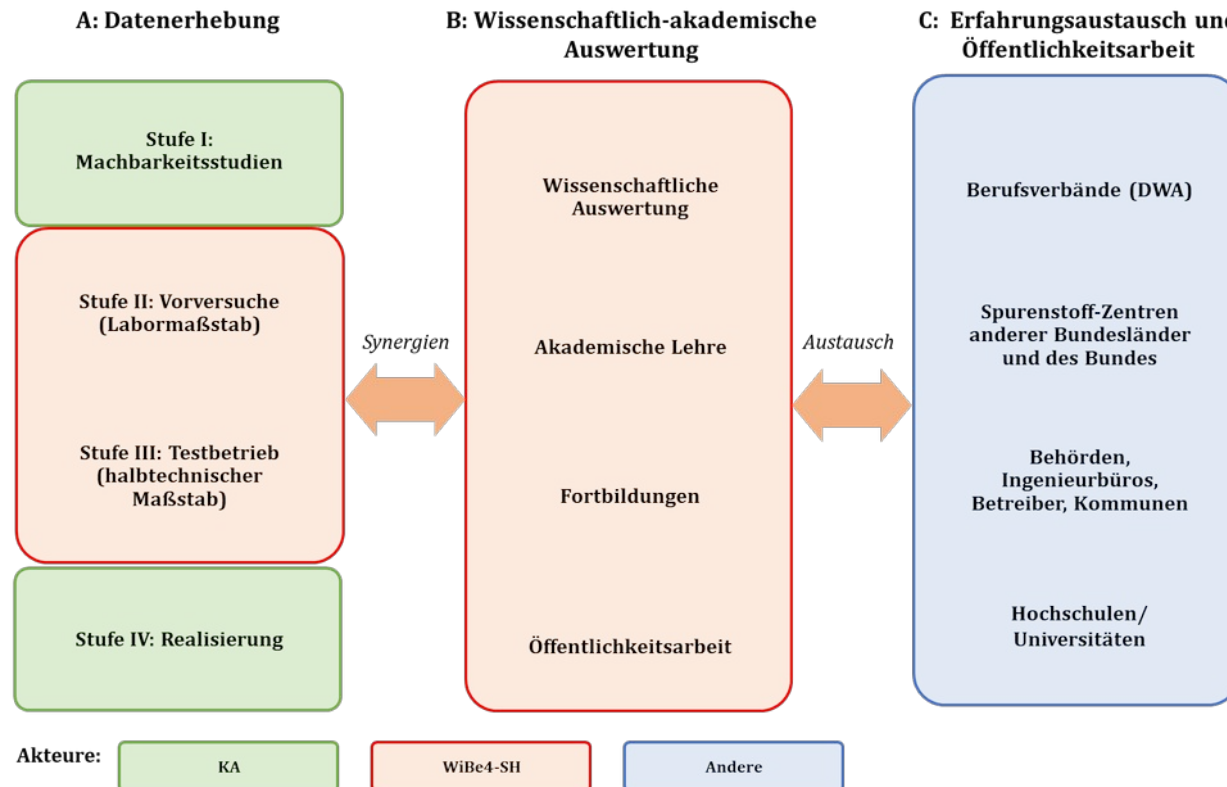
Geplante Aktivitäten

- Akademische Lehre (Vorlesungen, Praktika, Abschlussarbeiten)
- Dienstbesprechungen mit den UWBs und KA-Betreibenden
- Weitere Veranstaltungen mit Ingenieurbüros, der Öffentlichkeit und anderen Interessengruppen
- Erstellung von Fachpapieren
- Treffen mit Kläranlagennachbarschaften
- Einrichtung einer KA-Sondernachbarschaft zur 4RS
- DWA Arbeits- und Merkblätter



Aufbau des Spurenstoff-Zentrum Schleswig-Holstein

Derzeit: Wissenschaftliche Begleitung zur Einführung der 4. Reinigungsstufe in SH (Projekt: WiBe4-SH bis Ende 2028)



➔ Aufbau von Kompetenzen vor Ort im Land

➔ Spurenstoff-Zentrum wird zentrale Anlaufstelle für alle Fragen hinsichtlich der 4. Reinigungsstufe

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Kontakt:

Prof. Dr.-Ing. Kai Wellbrock
Technische Hochschule Lübeck
Kompetenzzentrum Angewandte Wasserforschung
Fachbereich Bauwesen, Labor für Siedlungswasserwirtschaft

Mail: kai.wellbrock@th-luebeck.de
Tel: +49 4533 204 49 12

Sabrina Schwarz
Landesamt für Umwelt des Landes Schleswig-Holstein
Dezernat 40 – Technischer Gewässerschutz

E-Mail: sabrina.schwarz@lfu.landsh.de
Tel: +49 4347 704-183

Besucheradresse:

Technische Hochschule Lübeck
Versuchs- und Ausbildungskläranlage (VAK) Reinfeld
Hamburger Chaussee 47
23858 Reinfeld

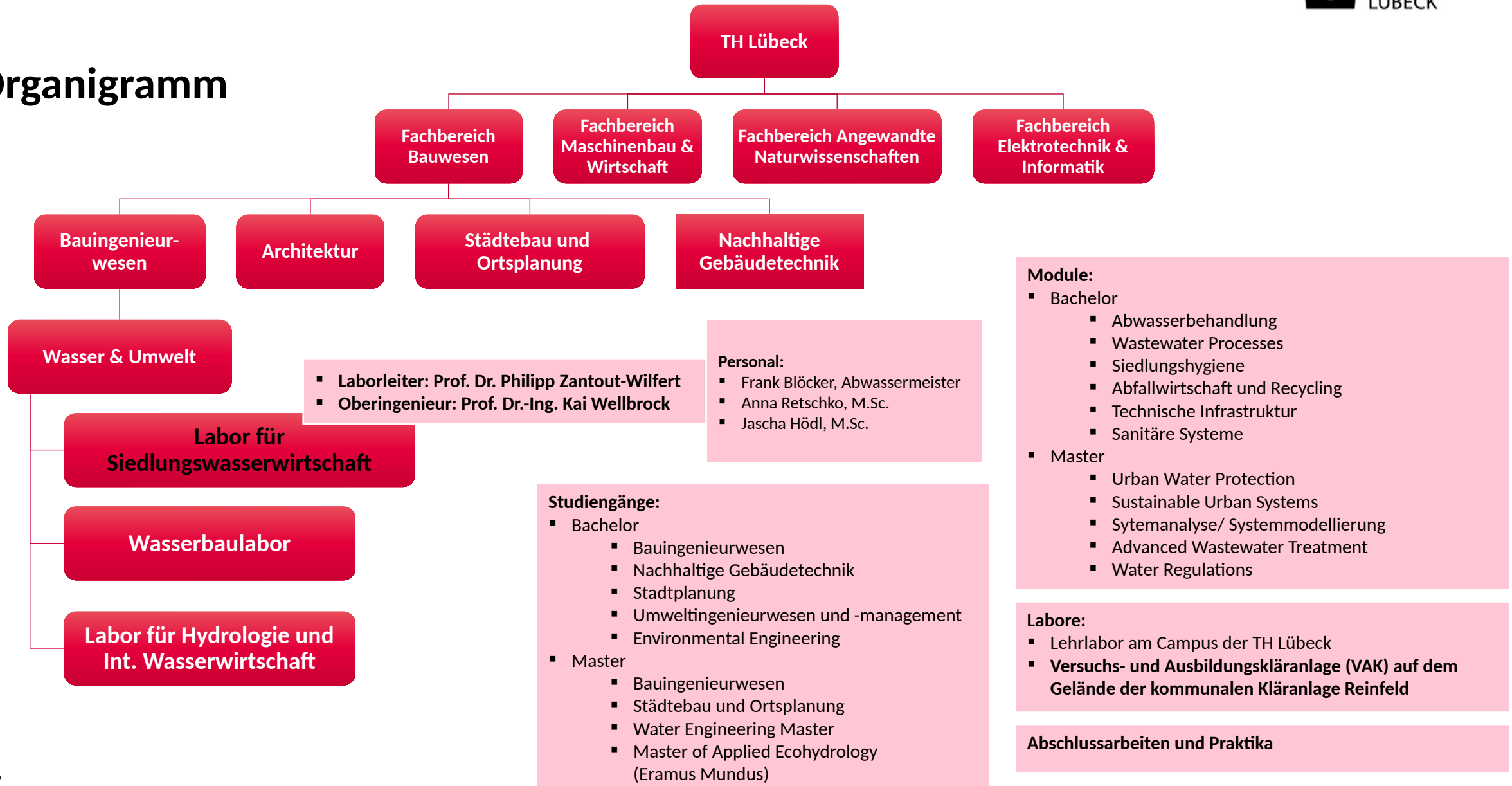
**Das 37. Norddeutsche
Abwasserkolloquium findet am
1./2. September 2027 in Lübeck
statt.**

Förderung der Pilotanlagen:
Wir fördern den ländlichen Raum



Landesprogramm ländlicher Raum: Gefördert durch
die Europäische Union - Europäischer Landwirtschaftsfonds
für die Entwicklung des ländlichen Raums (ELER)
Hier investiert Europa in die ländlichen Gebiete

Organigramm



Projekte aus (fast) allen Bereich der
Siedlungswasserwirtschaft.
Schwerpunkte:
• Abwasserbehandlung
• RW-Bewirtschaftung

Projekt der Arbeitsgruppe (Auswahl)

- **WiBe4-SH:** Wissenschaftliche Begleitung zur Einführung der 4. Reinigungsstufe in Schleswig-Holstein (2026-2028)
- **Prio-SH:** Spurenstoffe (prioritäre Stoffe) und Multiresistente Bakterien in den Entwässerungssystemen Schleswig-Holsteins - Ableitung von Kennwerten zur Quantifizierung der Herkunft, der Ausbreitung und des Rückhaltes (2017-2020)
- **SpuGe-SH:** Etablierung einer vereinfachten *Bilanzierungsmethode* zur Abschätzung des Anteils von Kläranlagen-Abläufen an der Spurenstoff-Belastung in den Oberflächengewässern Schleswig-Holsteins - Ableitung von Kennwerten zur Quantifizierung des Einflusses von Kläranlagen auf die Gewässerqualität (2021-2022)
- **PEKEF:** Phosphat Eliminierung aus dem Kläranlagenkreislauf ohne Einsatz von chemischen Fällungsmitteln (2021-2023)
- **MaReT-SH:** Leistungsfähigkeit von Maßnahmen zur Regenwasserbewirtschaftung im Trennsystem in Schleswig-Holstein (2022-2024)
- **EKlä-SH:** Emission von Spurenstoff-Frachten und multiresistenten Keimen über den Klärschlammpfad in Schleswig-Holstein (2023-2025)
- **ReSiplan:** Integration von Starkregen-Resilienzen in die Siedlungsplanung (2021-2024)
- **VerTe:** Verbesserung und Erhalt der Ökosystemleistungen in den Reinfelder Teichen (2022-2025)

Fachgruppe Angewandte Wasserforschung der TH Lübeck

Prof. Dr. rer. nat.
Christoph Külls



Wasserwirtschaft,
Hydrologie und
hydrologische
Güte

Prof. Dr.-Ing.
Edgar Nehlsen



Hydrodynamik
Gewässer und
Wasserbau

Prof. Dr.-Ing.
Claas Heymann



Autonomes
Monitoring und
Technische
Strömungs-
simulation

Prof. Dr. rer. nat.
Norbert Reintjes



Gewässerökologie

Prof. Dr. Philipp
Zantout-Wilfert



Siedlungswasser-
wirtschaft und
Ressourcenrück-
gewinnung

Prof. Dr.-Ing.
Kai Wellbrock



Abwasser-
behandlung und
Abwasser-
bewirtschaftung

 Fachgruppe Angewandte Wasserforschung der THL

Was sagen KARL und Konsorten zu Spurenstoffen?

- EU-Kommunalabwasserrichtlinie (KARL, 2024/3019/EU)
 - **Reduzierung von Spurenstoffen um mindestens 80%** (zwischen KA-Zulauf und Ablauf)
 - Erfasst werden nur Indikatorstoffe

**80%-Elimination nicht nur in
der 4. Reinigungsstufe!**

Kategorie 1 (sehr leicht zu entfernen):

- Amisulprid (Antipsychotikum)
- Carbamazepin (Antiepileptikum)
- Citalopram (Antidepressivum)
- Clarithromycin (Antibiotikum)
- Diclofenac (Schmerzmittel)
- Hydrochlorothiazid (Antihypertensivum)
- Metoprolol (Betablocker)
- Venlafaxin (Antidepressivum)

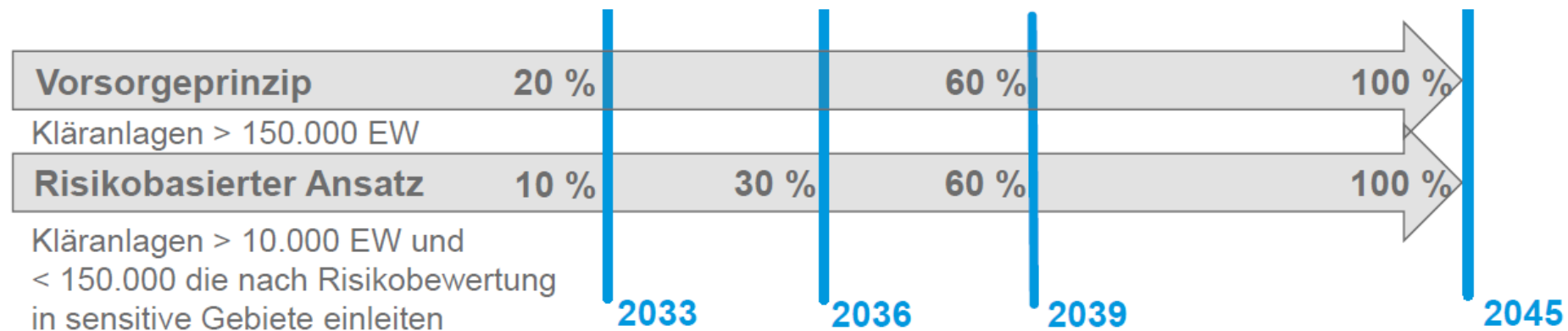
Kategorie 2 (leicht zu entfernen):

- Benzotriazol (Industriechemikalie, Korrosionsschutz)
- Candesartan (Antihypertensivum)
- Irbesartan (Antihypertensivum)
- Summe aus 4-Methylbenzotriazol und 5-Methylbenzotriazol
(Industriechemikalie, Korrosionsinhibitor)

- 80%-Elimination muss für mindestens 6 der genannten Stoffe erreicht werden; dabei muss die Anzahl der Stoffe aus Kat. 1 mindestens doppelt so groß sein, wie aus Kat. 2 → **ist ohne 4. Reinigungsstufe nicht erreichbar!**
- Beprobung (Bewertung) erfolgt nur bei Trockenwetter-Abfluss (als 24 oder 48 h-Mischprobe (?) – 1 bis 2 Probenahmen pro Monat) → **wie kann das gehen?**

Was sagen KARL und Konsorten zu Spurenstoffen?

- EU-Kommunalabwasserrichtlinie (KARL, 2024/3019/EU)
 - Muss bis Mitte 2027 in nationales Recht überführt werden (Novellierung der AbwV, ggf. des WHG)
- **Einführung der 4. Reinigungsstufe**
 - Obligatorisch für alle KA > 150.000 EW (Ausbaugröße) → in SH „nur“ 6 Kläranlagen
 - Risikobasierter Ansatz für alle KA > 10.000 EW (Ausbaugröße) → in SH etwa 40 Kläranlagen (Ausweisung der Risikogebiete muss bis 2030 erfolgen, berücksichtigt werden u.a.: Trinkwasser-Schutzgebiete, Badegewässer, Abwasseranteil)
- Zeitrahmen zur Einführung der 4. Reinigungsstufe



Darstellung: V. Kohlgrüber, Vortrag: Spurenstoffelimination in BW: Ist mit KARL alles geklärt?; ISWA Abwasserkolloquium. 16.07.2025.

Was sagen KARL und Konsorten zu Spurenstoffen?

EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL, 2000/60/EC) mit ihren Töchtern

- Setzt mit der anhängigen UQN-Richtlinie (2008/105/EC) Höchstwerte für Schadstoffe in Oberflächengewässern (UQN) fest
- Ergänzt um Richtlinie zu prioritären Stoffen (2013/39/EU)
- Umgesetzt in deutsche Oberflächengewässerverordnung (OGewV, Anlage 6)
- Einhaltung von Umweltqualitätsnormen (UNQ) ist erforderlich zur Erreichung des guten chemischen Zustandes gem. WRRL → **bisher werden keine Humanarzneistoffe berücksichtigt**
- aktuell: Novellierung der UQN-Richtlinie (Verabschiedung geplant für März/ April 2026; Frist zur Einhaltung der neuen UQN bis 2039)
 - **Entwurf enthält auch Humanarzneistoffe** (z.B. Diclofenac)
 - Die UQN-Vorschläge sind z.T. sehr gering

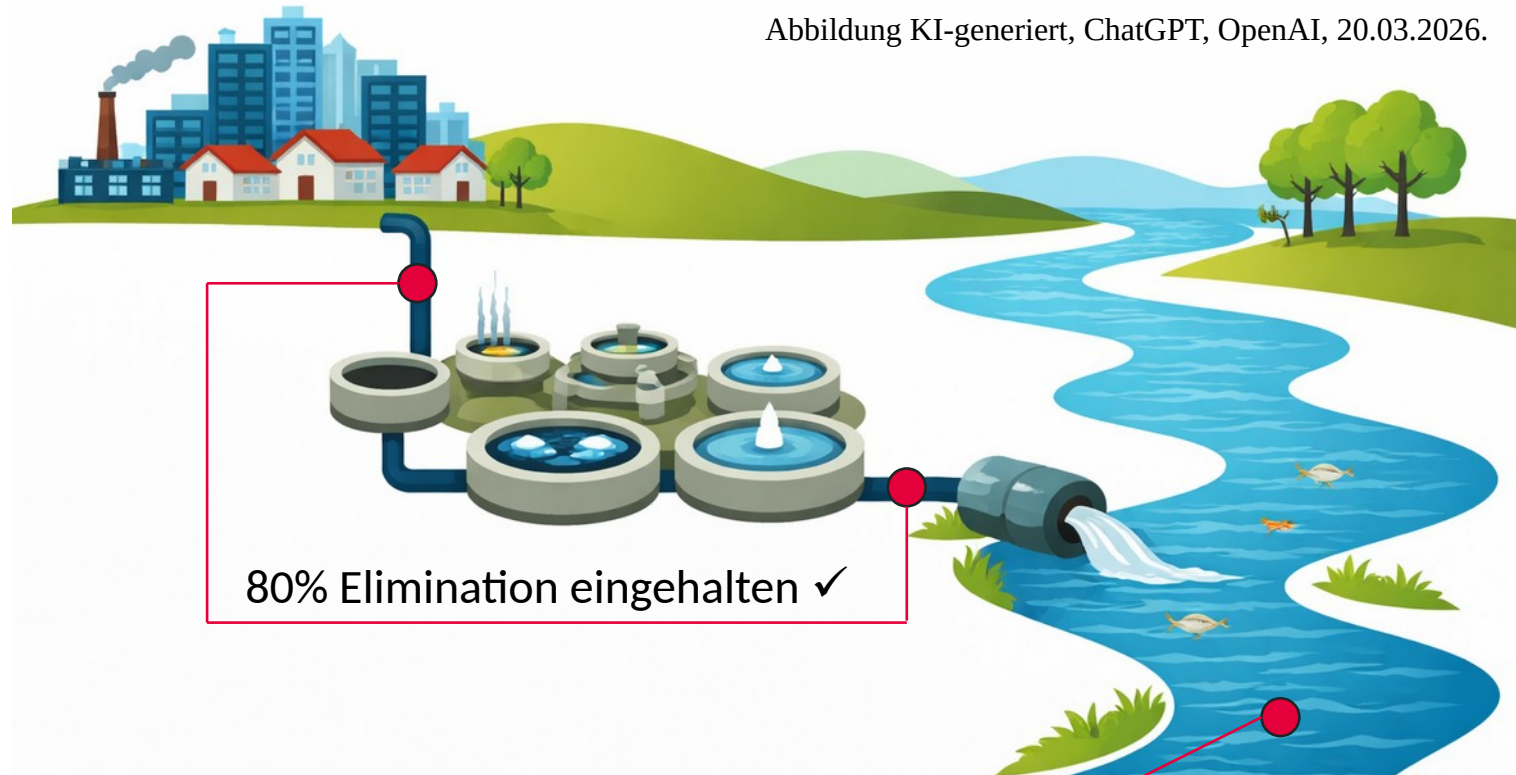


Was sagen KARL und Konsorten zu Spurenstoffen?

Konsequenz:

- Eine 80%-Elimination (nach KARL) kann trotzdem dazu führen, dass eine UQN im Gewässer unterhalb der KA überschritten wird
- Das ist insbesondere **bei einem hohen Abwasseranteil** im Gewässer der Fall
- Für die 4. Reinigungsstufe bedeutet das zusätzliche Anforderungen

Abbildung KI-generiert, ChatGPT, OpenAI, 20.03.2026.



Die Entwicklung der Versuchs- und Ausbildungskläranlagen (VAK)

- Abwasserreinigungsanlage im halbtechnischen Maßstab
- resultiert aus dem Dringlichkeitsprogramm des Landes SH in den 1990er
- Eröffnung im Mai 2007
- dient der Erprobung von neuartigen Technologien und zur Ausbildung
- Regelbetrieb: Belebtschlammverfahren mit vorgeschalteter Denitrifikation
- Verschiedene Versuchsstände zur Erprobung alternativer Verfahren oder Technologien (Labor- und halbtechnischer Maßstab)
- beschickt mit vorgeklärten, kommunalen Abwasser; etwa 0,5 bis 2,0 m³/h (rund 100 EW)
- Vorteile:
 - „frisches“ Rohabwasser verfügbar
 - keine direkte Einleitung in Vorflutgewässer



Konzept und Ziele der Erweiterung der VAK

- Ergänzung um Verfahrensstufen der sog. 4. Reinigungsstufe im halbtechnischer Maßstab (Beschickung 1 bis 2 m³/h)
- Modularer Aufbau
 - Module sind transportabel (Container-Bauweise)
 - Module können flexibel miteinander kombiniert werden
 - Module können autark Betrieb werden
 - Zentrale Steuerung/ zentrales PLS für alle Module
- Ziele
 - Sammeln von Betriebserfahrungen (auch auf kommunalen KA)
 - „vor-Ort-Erfahrung“
 - Erarbeiten von Lösungsansätzen für die in SH typischen Problemstellungen
 - Unterstützung der Technologieauswahl im Rahmen von Machbarkeitsstudien
 - Schulung von Betriebspersonal

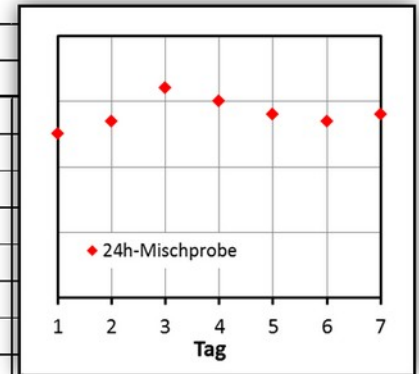
Projekt PrioSH

- **Prio-SH:** Spurenstoffe (prioritäre Stoffe) und Multiresistente Bakterien in den Entwässerungssystemen Schleswig-Holsteins - Ableitung von Kennwerten zur Quantifizierung der Herkunft, der Ausbreitung und des Rückhaltes (2017-2020)
- **Ziele:** Welchen Beitrag liefern unsere Kläranlagen zum Rückhalt von Spurenstoffen?

Intensiv-Messprogramm

Wochenganglinie:
24h-Mischproben über den Zeitraum von jeweils 1 Woche je 2 benachbarte KA parallel

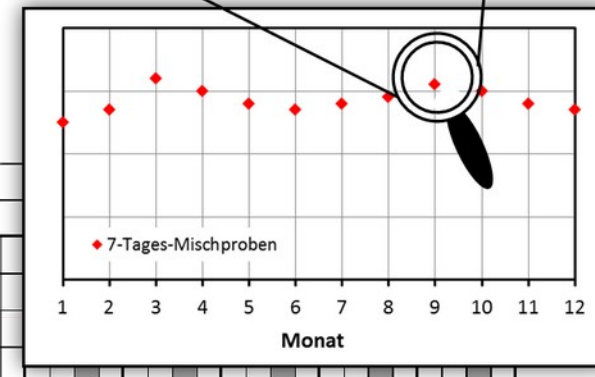
KA	Monat		
	1	2	3
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			



Routine-Messprogramm

Jahresganglinie:
Monatliche Aufnahme von 7-Tages-Mischproben je zwei örtlich benachbarte KA parallel

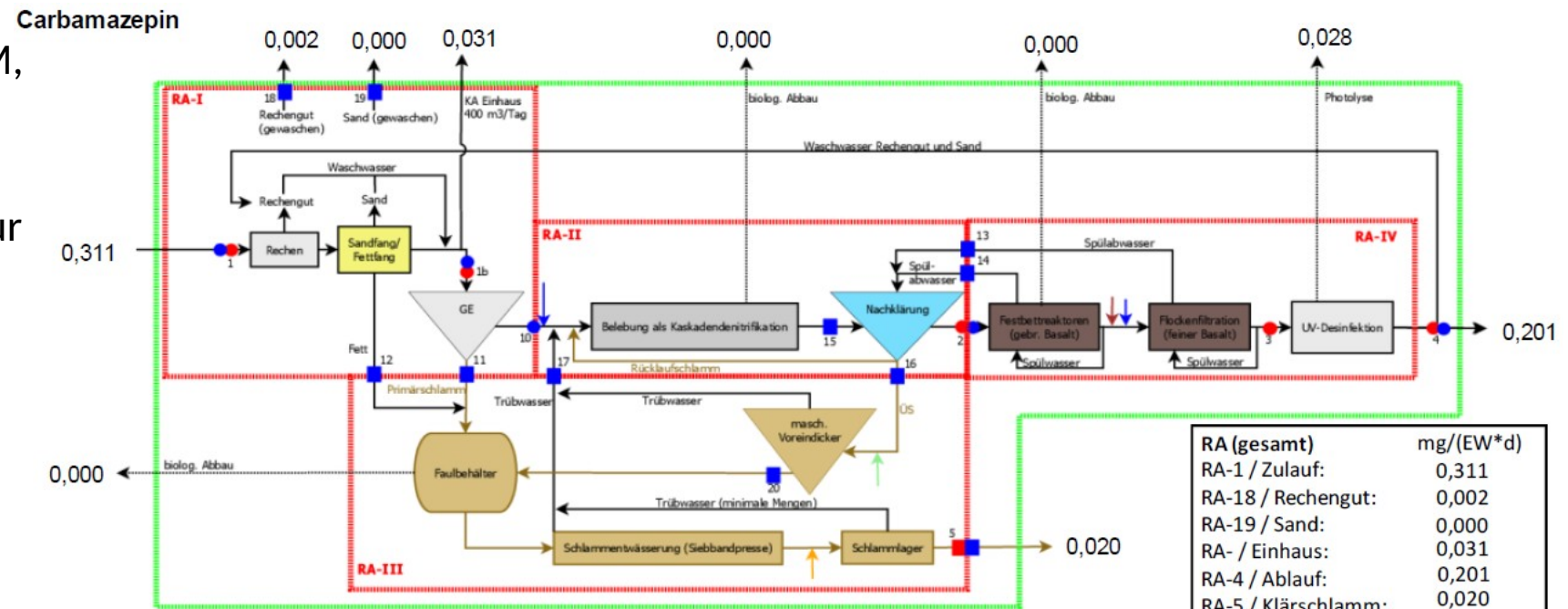
KA	Monat						
	1	2	3	4	5	6	7
1							
3							
4							
7							



Übersicht über die Messprogramme.

Projekt PrioSH

- Berücksichtigung von rund 50 Spurenstoffen (Arzneistoffe, (Industrie-) Chemikalien, PAK, PSM, Schwermetalle etc.)
- Ableitung von Stoffstrom-Bilanzen für einzelne Behandlungsstufen zur Nachverfolgung der Elimination
- Monitoring von insgesamt 8 Kläranlagen
- Detailstudien auf 4 Kläranlagen

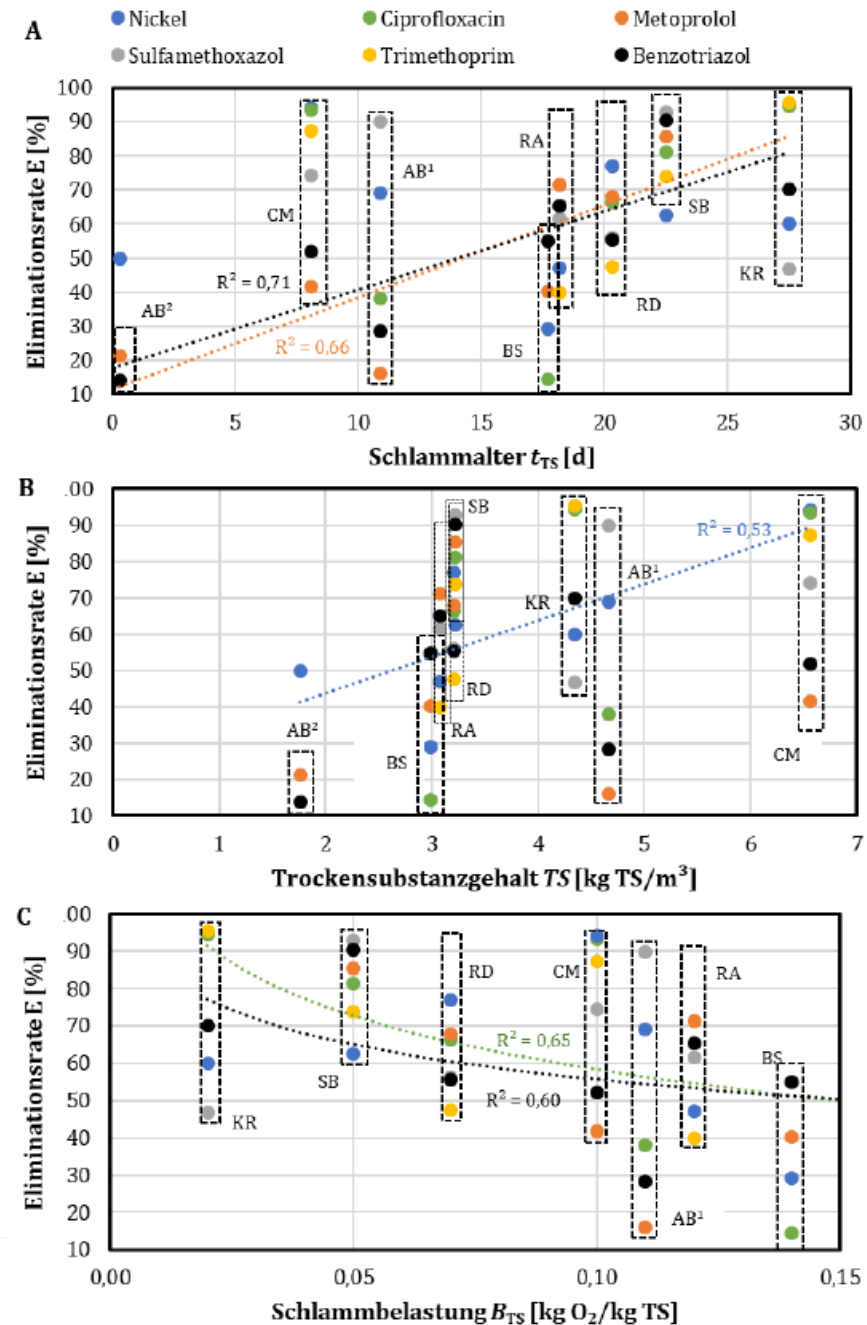


Stoffstrom-Bilanz für das Antiepileptikum Carbamazepin
für die Kläranlage Ratzeburg

Projekt PrioSH

- Untersuchung des spezifischen Einflusses bestimmter Betriebsparameter auf die Elimination in einzelnen Verfahrensschritten

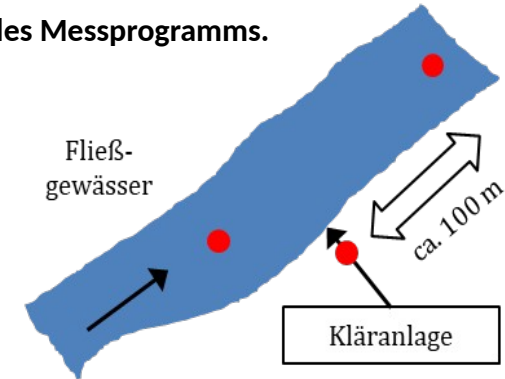
Eliminationsraten div. Spurenstoffe in der Belebtschlammbehandlung in Abhängigkeit relevanter Betriebsparameter.



Projekt SpuGe-SH

- **SpuGe-SH:** Etablierung einer vereinfachten Bilanzierungsmethode zur Abschätzung des Anteils von Kläranlagen-Abläufen an der Spurenstoff-Belastung in den Oberflächengewässern Schleswig-Holsteins - Ableitung von Kennwerten zur Quantifizierung des Einflusses von Kläranlagen auf die Gewässerqualität (2021-2022)
- Wissenschaftliche Ziele:
 - Identifikation von Kläranlagen (GK 3 bis 5), die eine Überschreitung der UQN in den Oberflächengewässern verursachen (könnten)
 - Ableitung von Kenngrößen, die eine Beurteilung von KAs erlaubt, die bisher nicht im Monitoring-Programm berücksichtigt werden (auch GK 1 und 2)
- Politische Ziele:
 - Basis für ein nötigenfalls anschließend detailliertes Monitoring-Programm im Umfeld „auffälliger“ Kläranlagen
 - Grundlagen für die (politische) Entscheidung ob und welche Kläranlagen im Land (als erstes) mit einer sog. vierten Reinigungsstufe ausgestattet werden

Konzept des Messprogramms.



Messgrößen

C_1 – Konzentration [$\mu\text{g/L}$] oberhalb KA-Einleitung

Q_1 – Abfluss [L/S] oberhalb KA-Einleitung

C_2 – Konzentration [$\mu\text{g/L}$] unterhalb KA-Einleitung

Q_2 – Abfluss [L/S] unterhalb KA-Einleitung

C_E – Konzentration [$\mu\text{g/L}$] im KA-Ablauf

Q_E – Abfluss [L/S] im KA-Ablauf

Rechnerische Größen

Fracht = Konzentration $\times$ Abfluss

$$B = c \times Q$$

Bilanzierung

Abgehende Stofffrachten = zugehende Stofffrachten

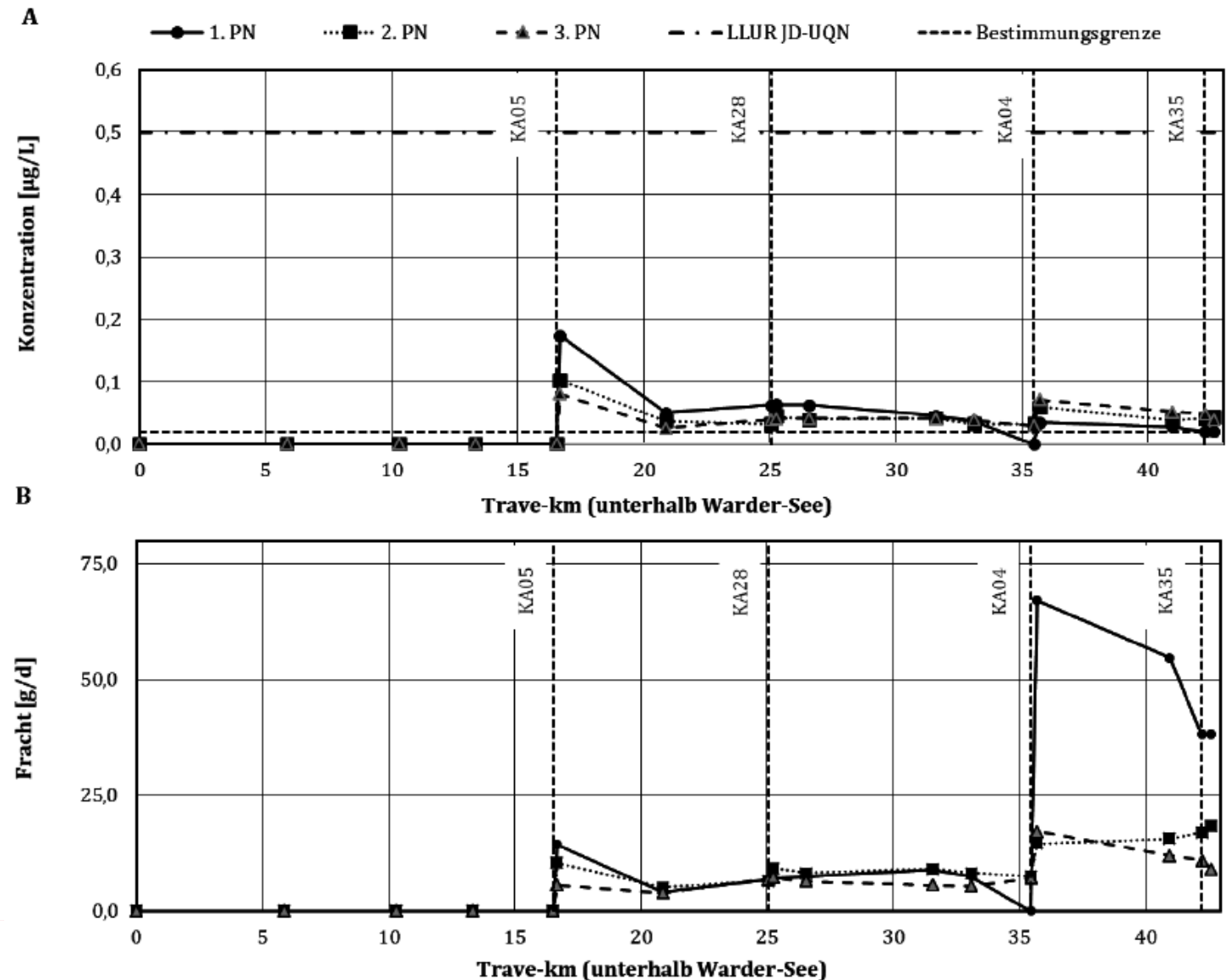
$$B_2 = B_1 + B_E$$

→ Prüfung ob KA relevanten Beitrag zu Stofffrachten im Gewässer hat

Projekt SpuGe-SH

- Monitoring auf rund 50 Kläranlagen in SH
- Überprüfung einer möglichen UQN-Überschreitung im Gewässer unterhalb der Kläranlagen-Einleitung

Entwicklung der Konzentrationen und Frachten im Verlauf der Trave (unterhalb des Warder-Sees) für das Antiepileptikum Carbamazepin.



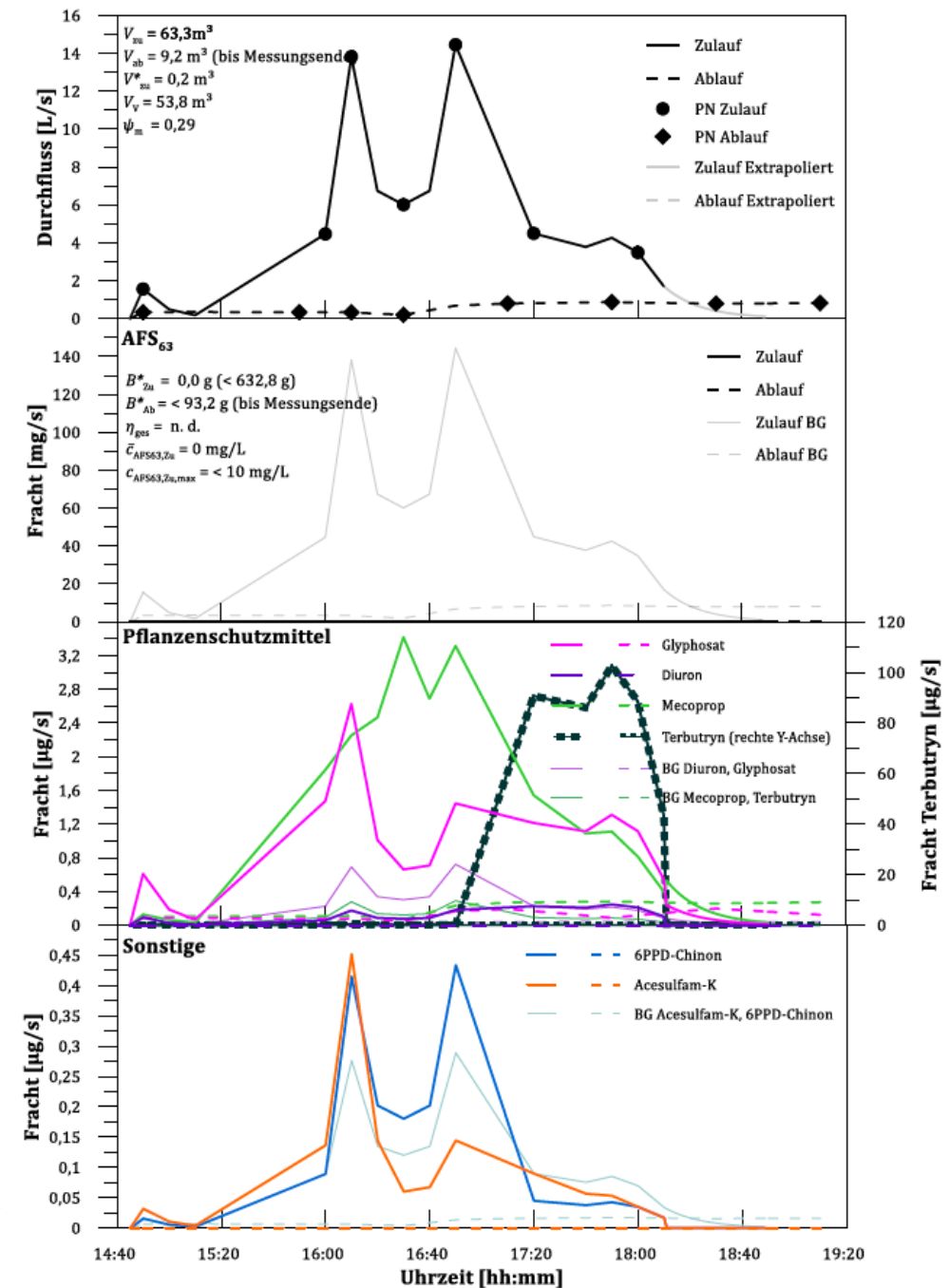
Projekt MaReT-SH

- **MaReT-SH:** Leistungsfähigkeit von Maßnahmen zur Regenwasserbewirtschaftung im Irennsystem in Schleswig-Holstein (2022-2024)
- Fokus auf Regenklärbecken mit Dauerstau (RKBmD), die häufig vorhanden, aber nach DWA A-102 nicht empfohlen werden
- Hierfür Bestimmung des Wirkungsgrades für:
 - AFS_{63}
 - CSB, N, P
 - PAK_{16}
 - Schwermetalle (Pb, Cd, Ni, Hg)
- Künftig auch für
 - PSM (Diuron, Glyphosat, Mecoprop, Terbutryn)
 - Süßstoffe (Acesulfam-K)
 - Antidiabetikum (Metformin)



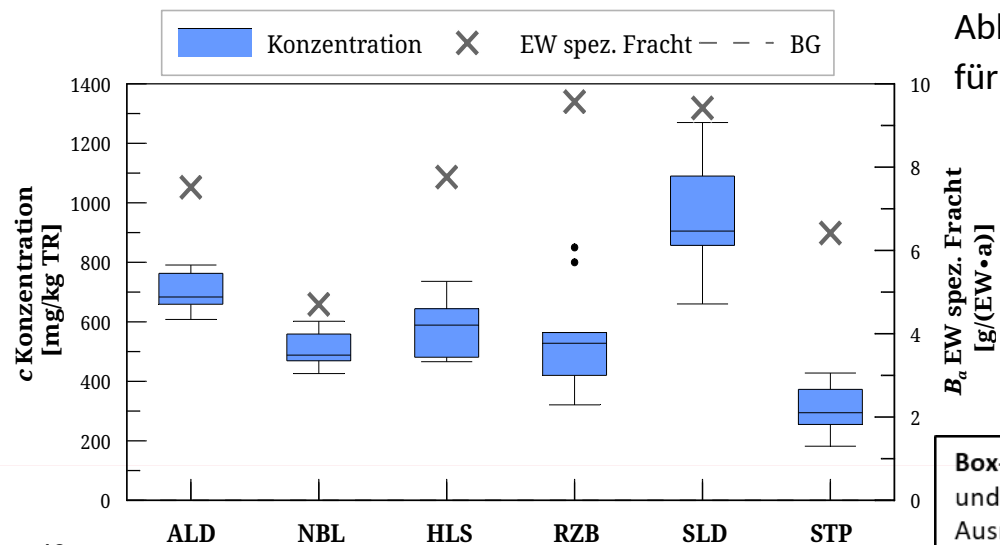
Projekt MaReT-SH

- Berücksichtigung von insgesamt 5 Regenklärbecken im Dauerstau
- Untersuchung auf mehr als 50 Spurenstoffe
- Durchflussmessung als Basis für Frachtbestimmung und für die Ableitung von Durchgangswerten

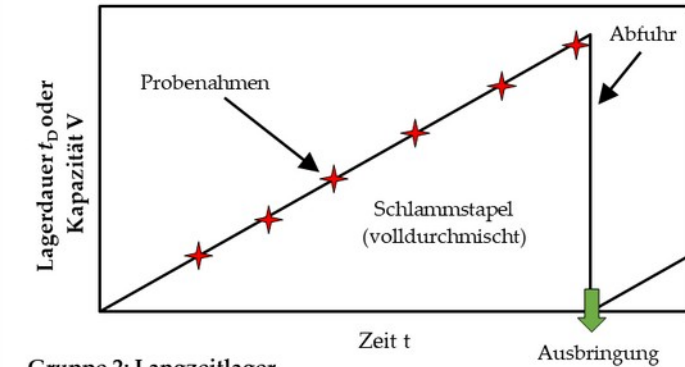


Projekt EKLä-SH

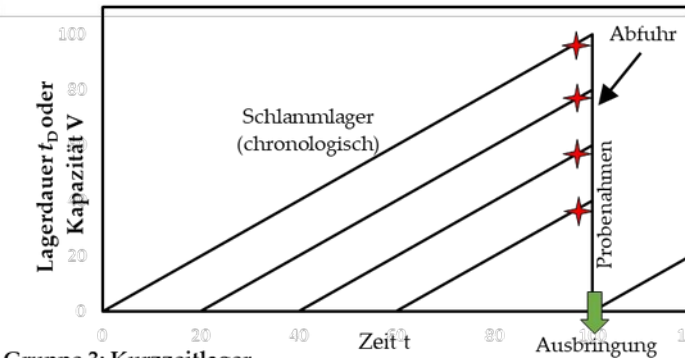
- **EKLä-SH:** Emission von Spurenstoff-Frachten und multiresistenten Keimen über den Klärschlamm~~p~~fad in Schleswig-Holstein (2023-2025)
- Untersuchung für verschiedenen Kläranlagen nach Art der Lagerung und Ausbringung
- Einfluss der Lagerung/ Hygienisierung auf Vorhandensein von Multiresistenzen (Kooperation mit dem UK Hamburg-Eppendorf, Prof. Knobloch)
- Bestimmung von charakteristischen Spurenstoff-Frachten für div. Stoffgruppen



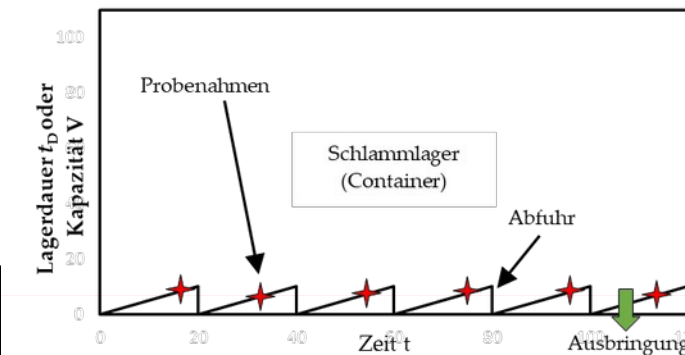
Gruppe 1: Flüssigschlamm



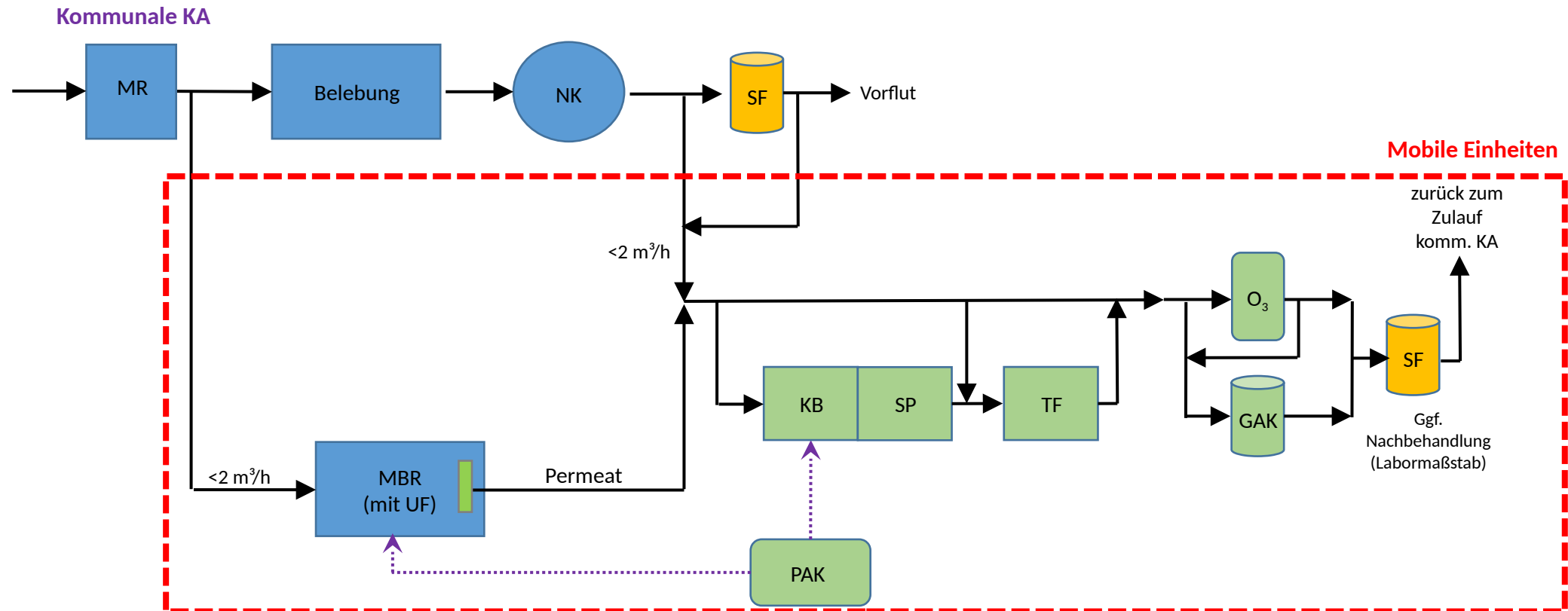
Gruppe 2: Langzeitlager



Gruppe 3: Kurzzeitlager



Betrieb der Pilotanlagen



Legende:

MR = Mechanische Vorreinigung
 NK = Nachklärung
 SF = Sandfiltration
 MBR = Membran-Bio-Reaktor
 UF = Ultrafiltration

PAK = PAK-Dosierung

KB = Kontaktbecken

SP = Seperator

TF = Tuchfiltration

O₃ = Ozonung

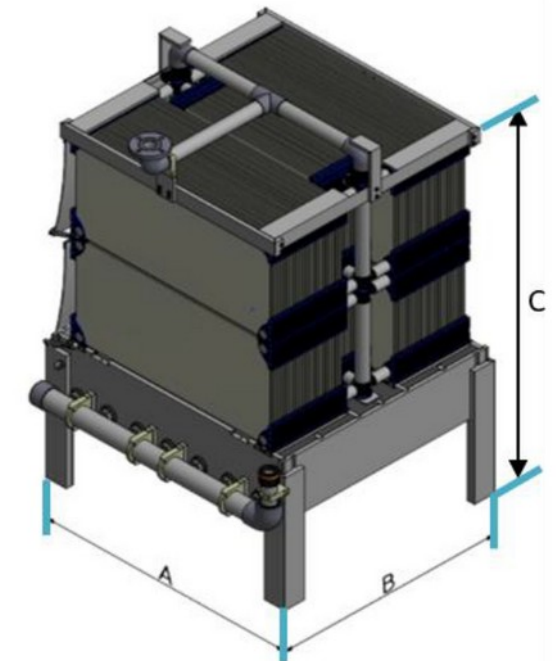
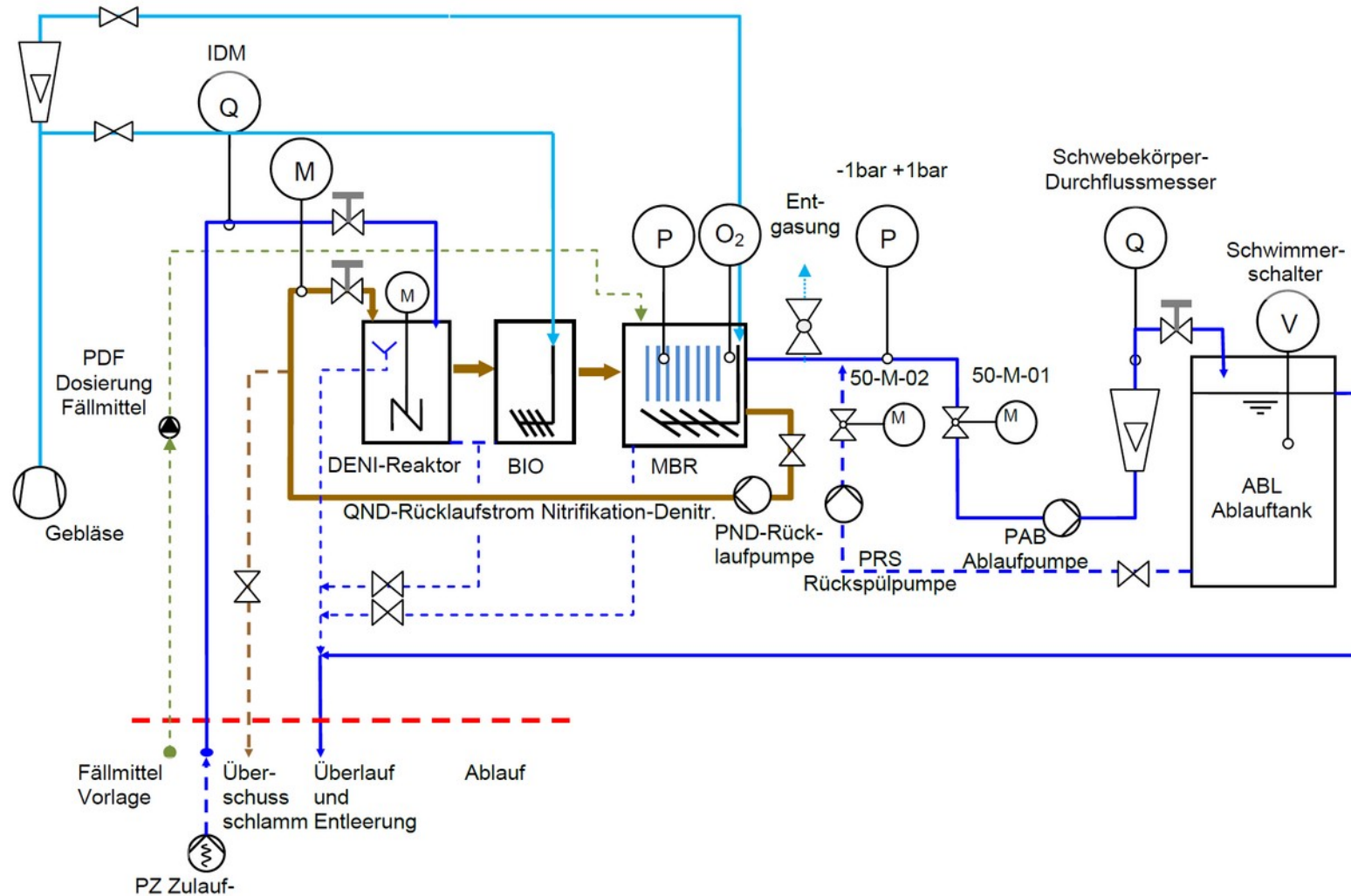
GAK = gran. Aktivkohle Filtration

 1. und 2. Reinigungsstufe

 3. Reinigungsstufe

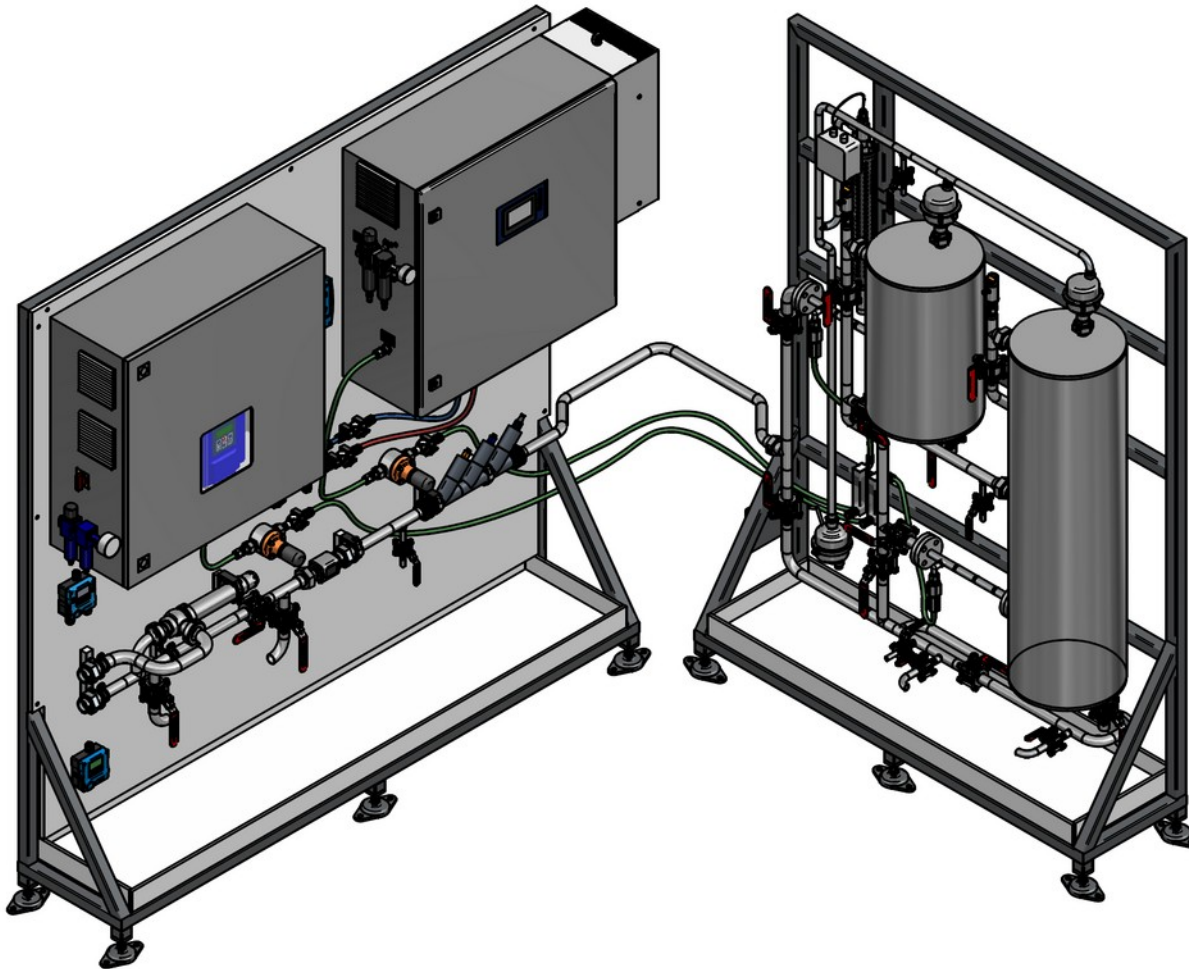
 4. Reinigungsstufe

Die Erweiterung der VAK – MBR-Anlage



UF-Membran-Modul: 0,04 μm

Die Erweiterung der VAK – Ozonungsanlage

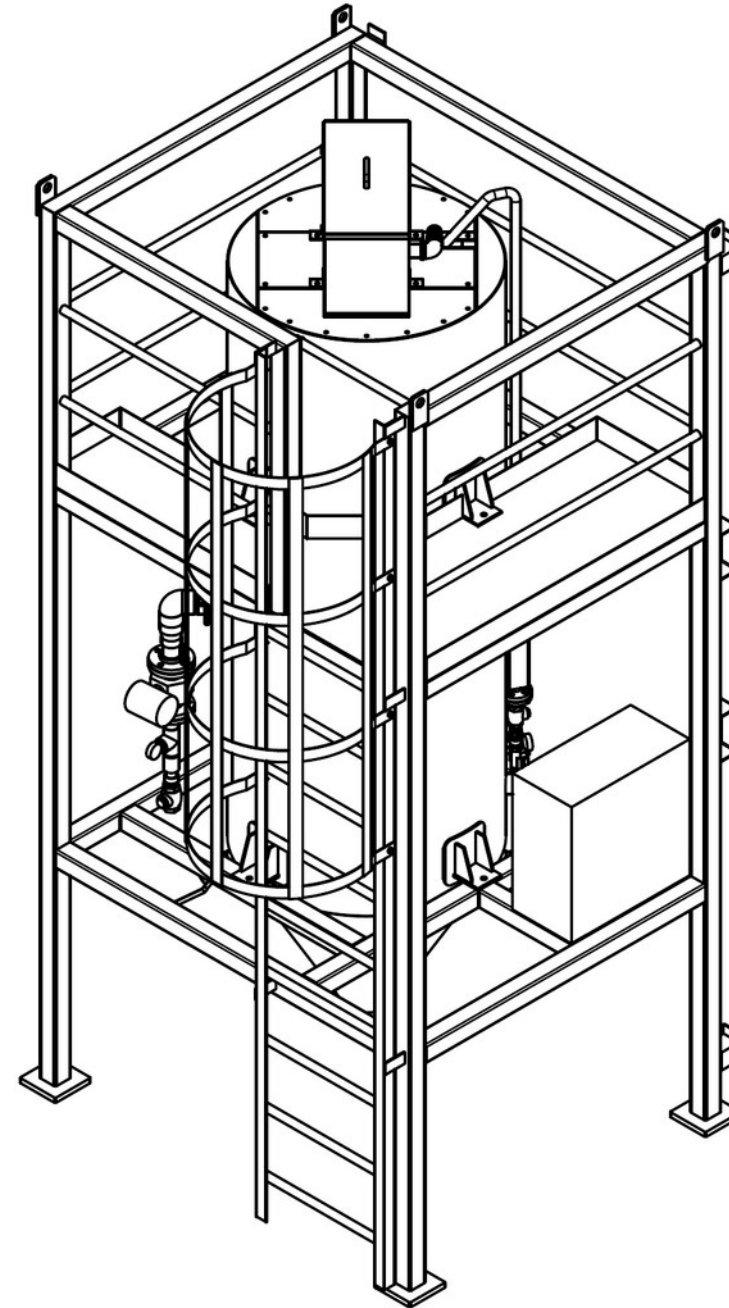
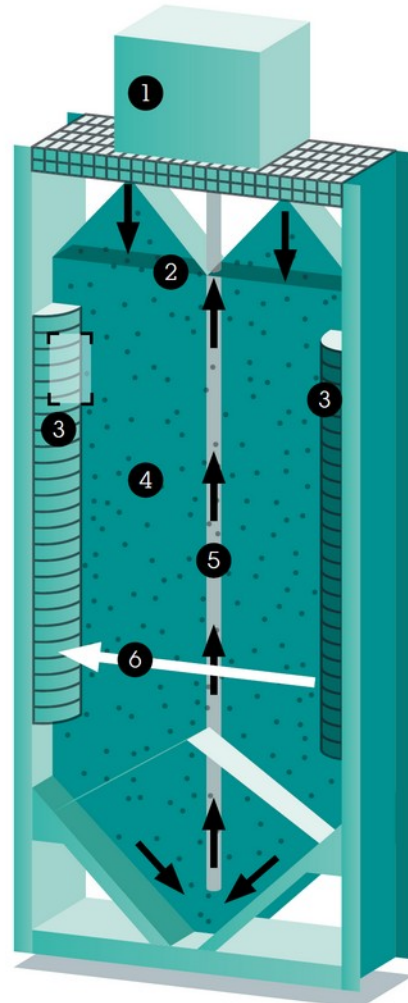


Die Erweiterung der VAK – GAK-Filtration

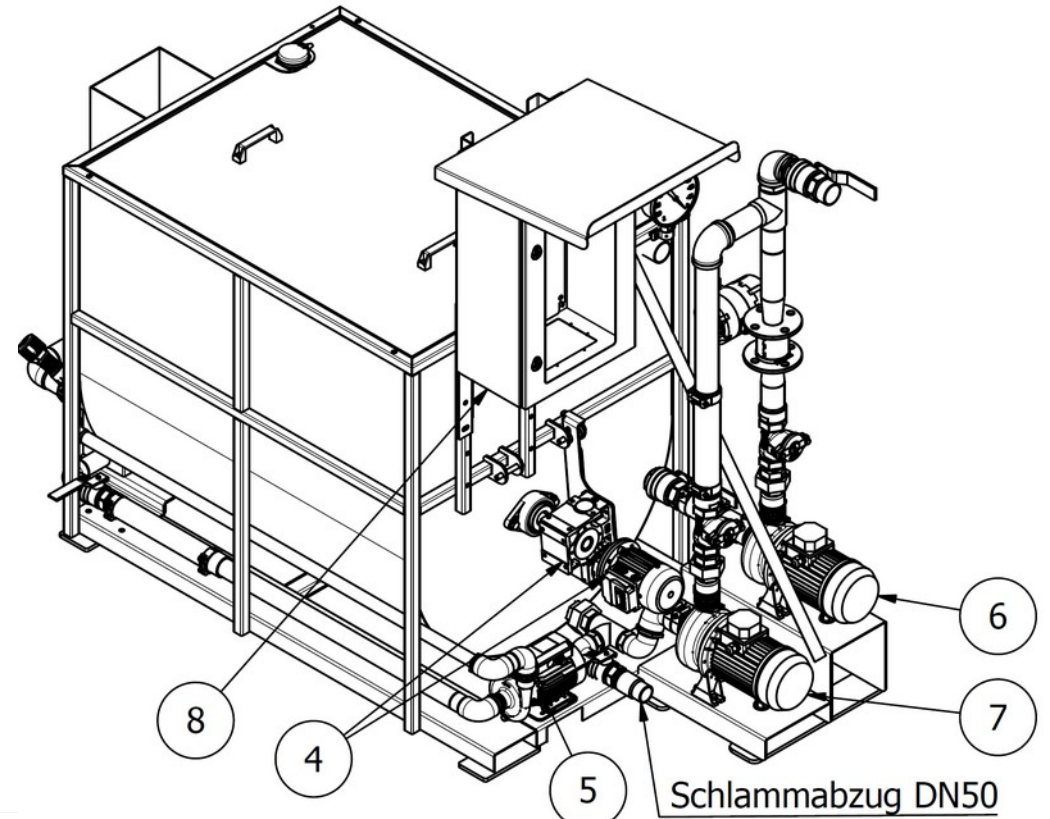
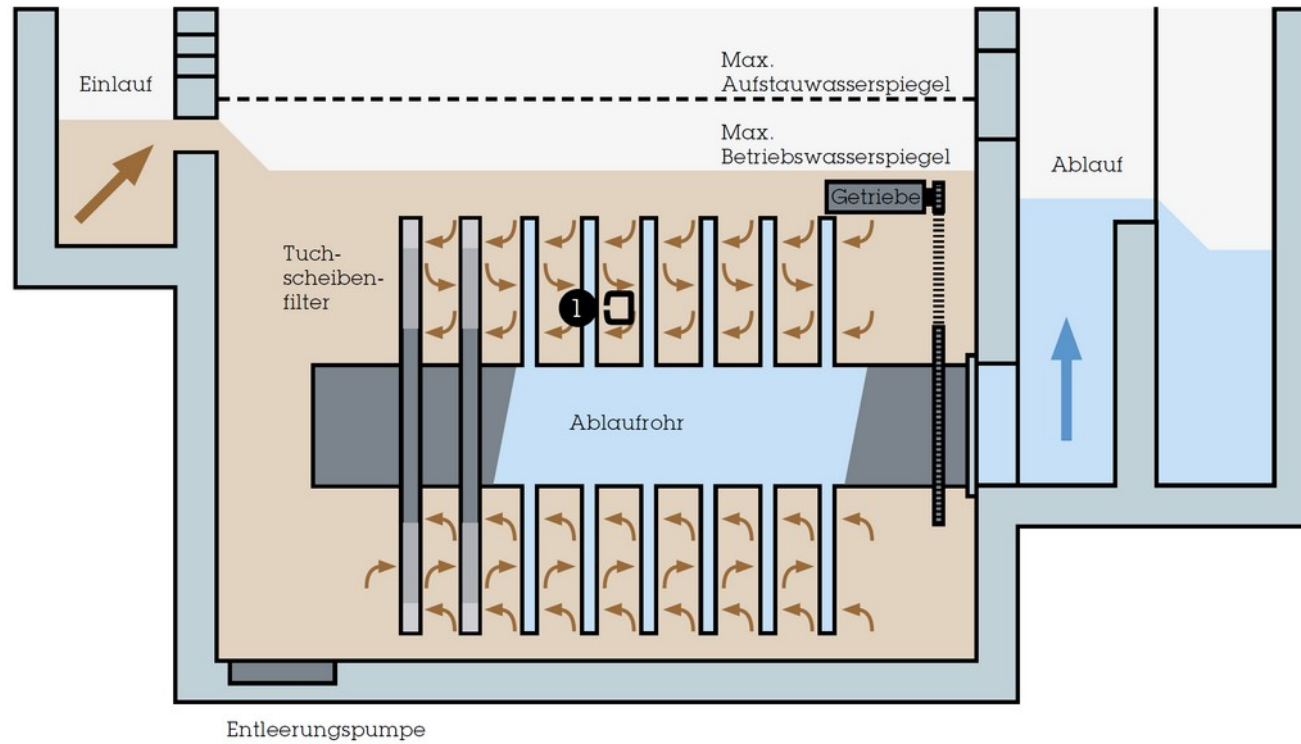
- ① Spüleinheit für Filtermedium
(außenliegend, mit Gitterrost zur einfachen Inspektion)
- ② Wasseroberfläche (innerhalb des Filtermediums)
- ③ Spaltsiebe (ca. 0,3 mm) als Ein- und Auslass-Verteiler



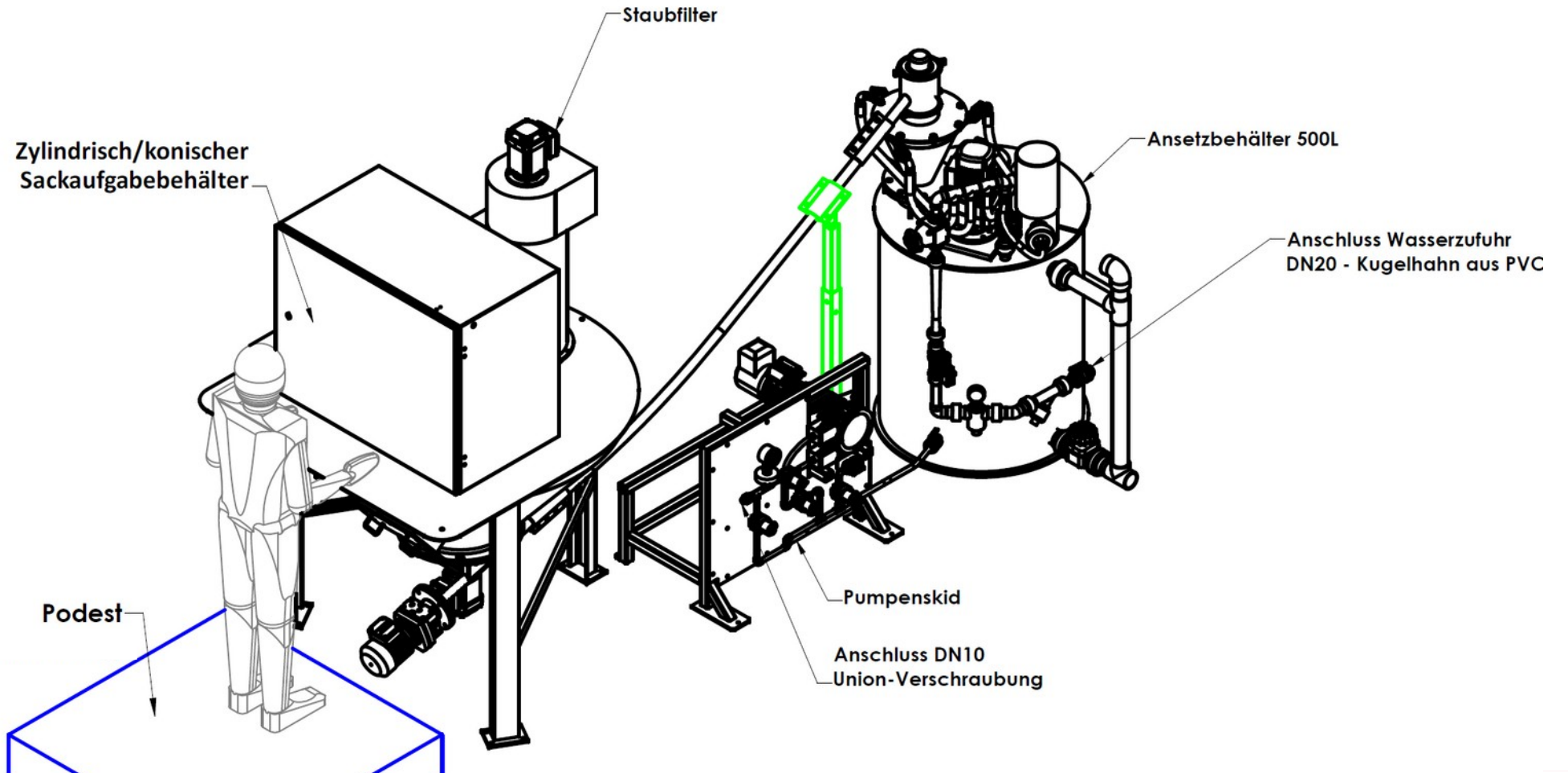
- ④ Filtermedium: GAK oder Sand
- ⑤ Luftheber für Filtermedium
- ⑥ Flussrichtung



Die Erweiterung der VAK – Tuchfiltration



Die Erweiterung der VAK – Pulveraktivkohle-Dosierung (PAK)



Verfahren zur Spurenstoff-Entfernung

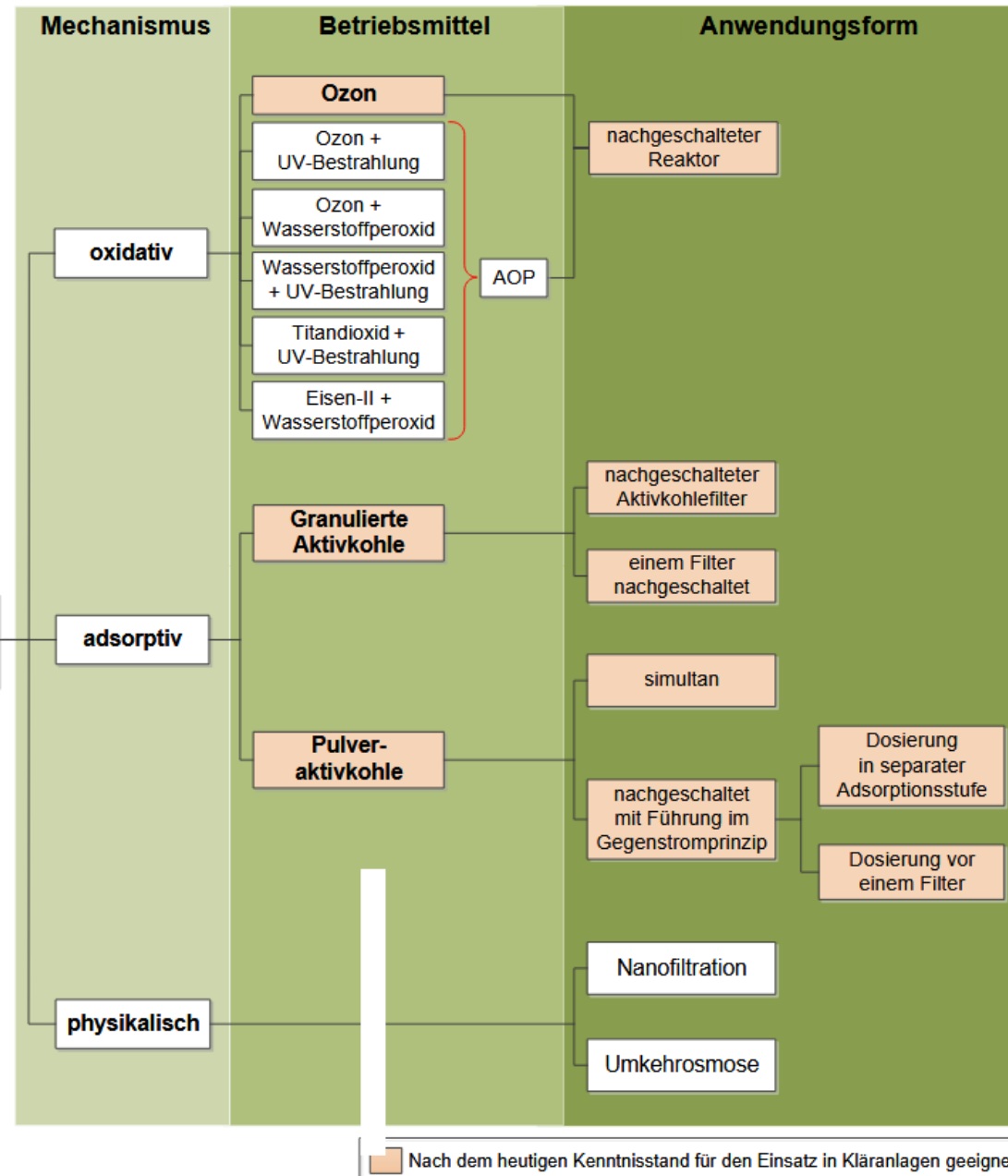
Adsorptive und oxidative Verfahren
wirken stets nur selektiv auf einzelne
Spurenstoffe

Verfahren zur
Mikroschadstoff-
elimination

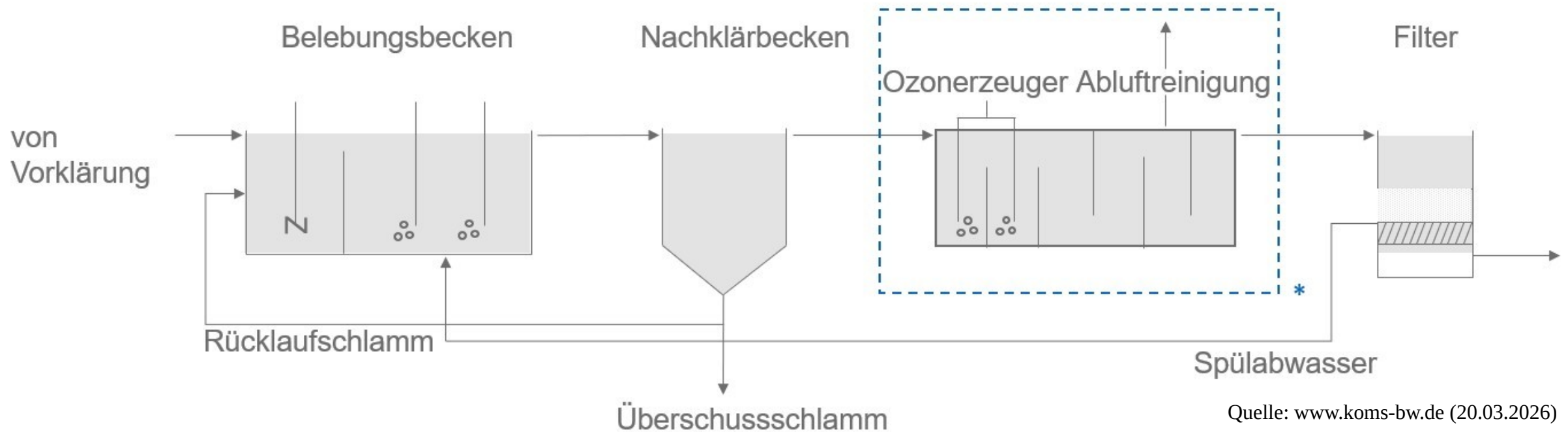
Regelwerk:

- DWA-M 285-1: Grundlagen der Spurenstoffentfernung (in Erarbeitung)
- DWA-M 285-2: Einsatz Aktivkohle (Sep. 2021)
- DWA-M 285-3: Ozonung (April 2026)

Quelle: UBA-Texte 85/2014



Ozonung

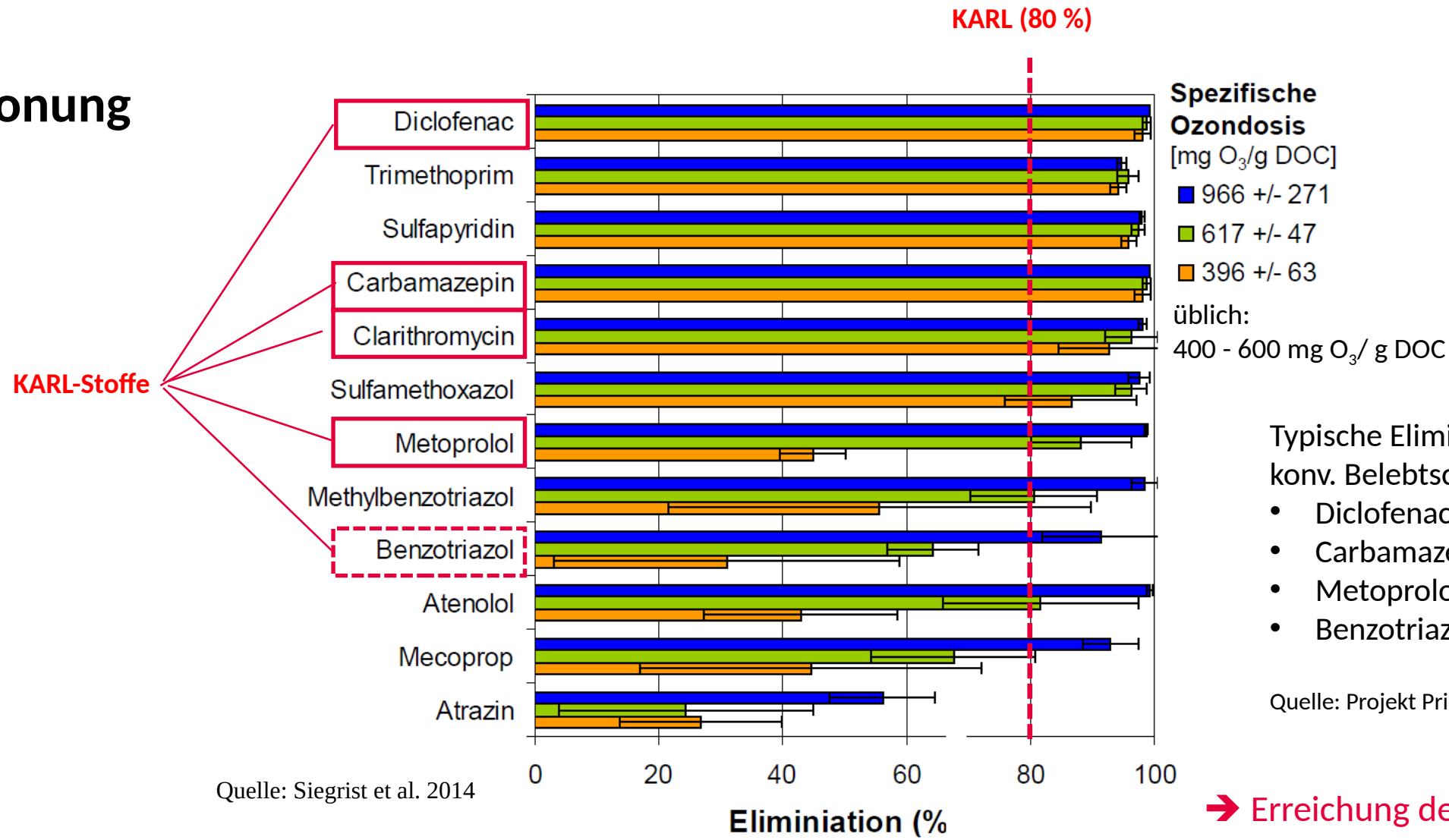


Quelle: www.koms-bw.de (20.03.2026)

* Wirkraum

- Erzeugung von Ozon (O_3) vor Ort i.d.R. aus technischem Sauerstoff (LOX)
- Problematisch: Bromid, Nitrit, DOC, Nitrosamine
- Energieaufwendig; Kühlung notwendig
- Einblasen des Ozon ähnlich wie Belüftung in der Belebung über Keramik-Diffusoren oder Drallmischer
- Reaktor muss gasdicht sein (Ozon = Reizgas); Restozon wird katalytisch vernichtet
- Eine biologische Nachbehandlung wird empfohlen

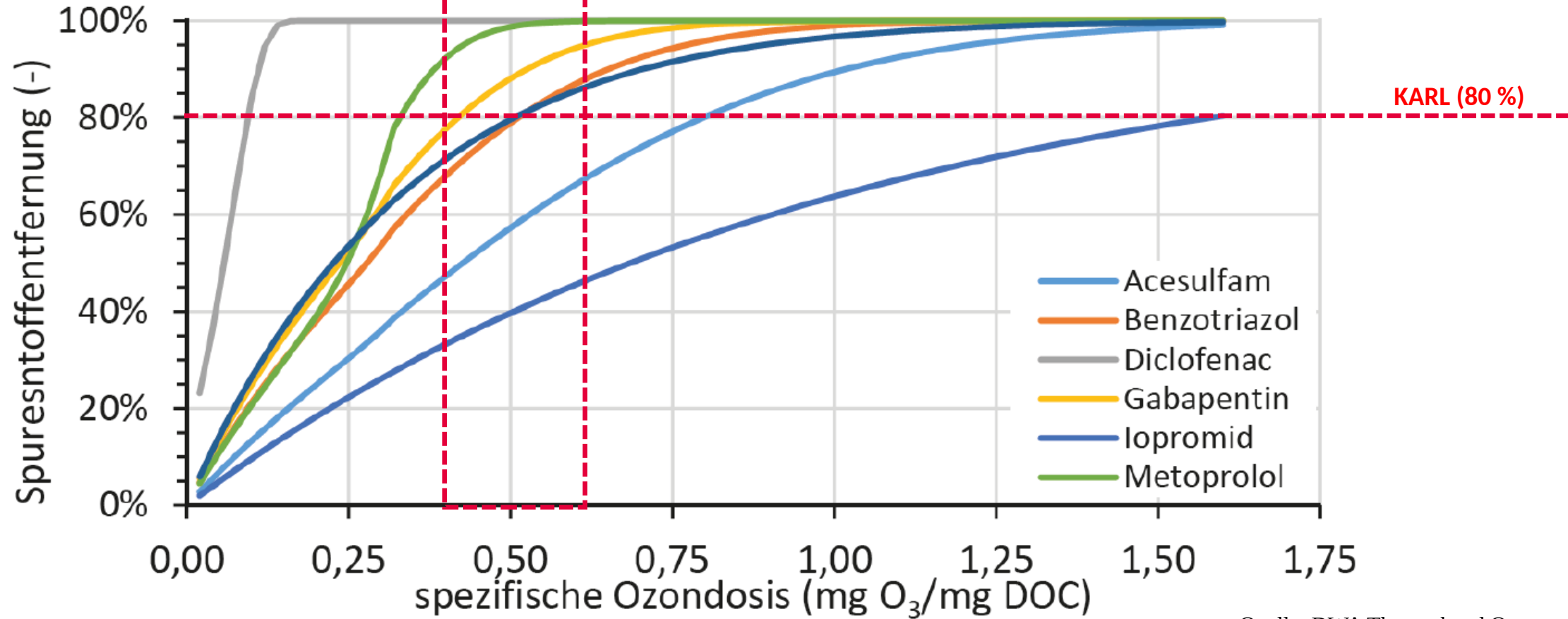
Ozonung



- Eliminationsrate hängt von der Ozondosis ab
- In den meisten Fälle dürfte eine Ozonung den Anforderungen nach KARL genügen **ist möglich**

Ozonung

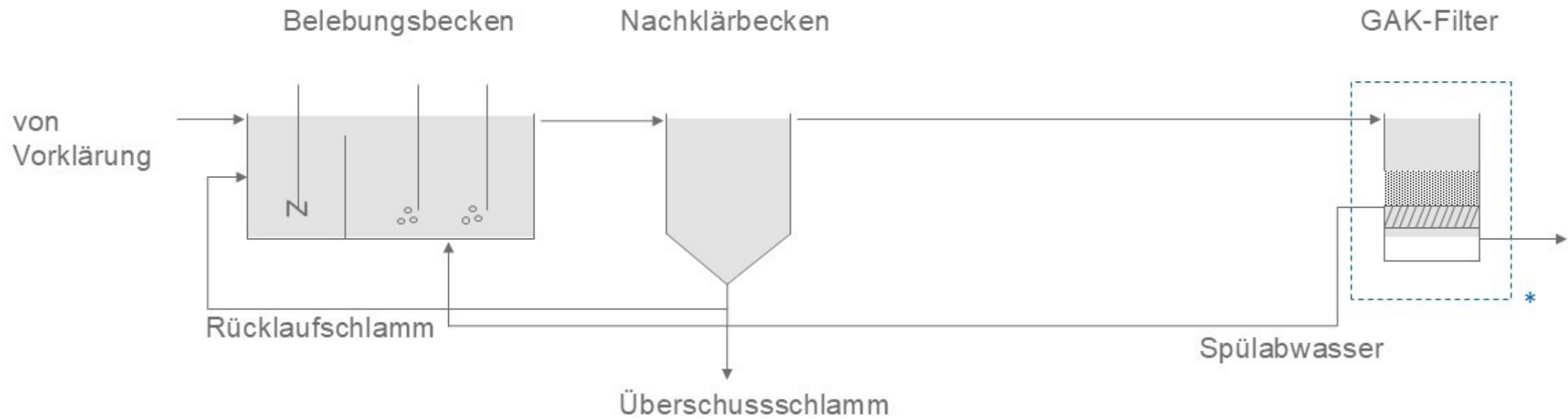
Üblicher Bereich:
400 - 600 mg O₃/ g DOC



Quelle: DWA Themenband Ozonung, 2022

- Eliminationsrate hängt von der Ozondosis ab
- In den meisten Fällen dürfte eine Ozonung den Anforderungen nach KARL genügen

Granulierte Aktivkohle (GAK)

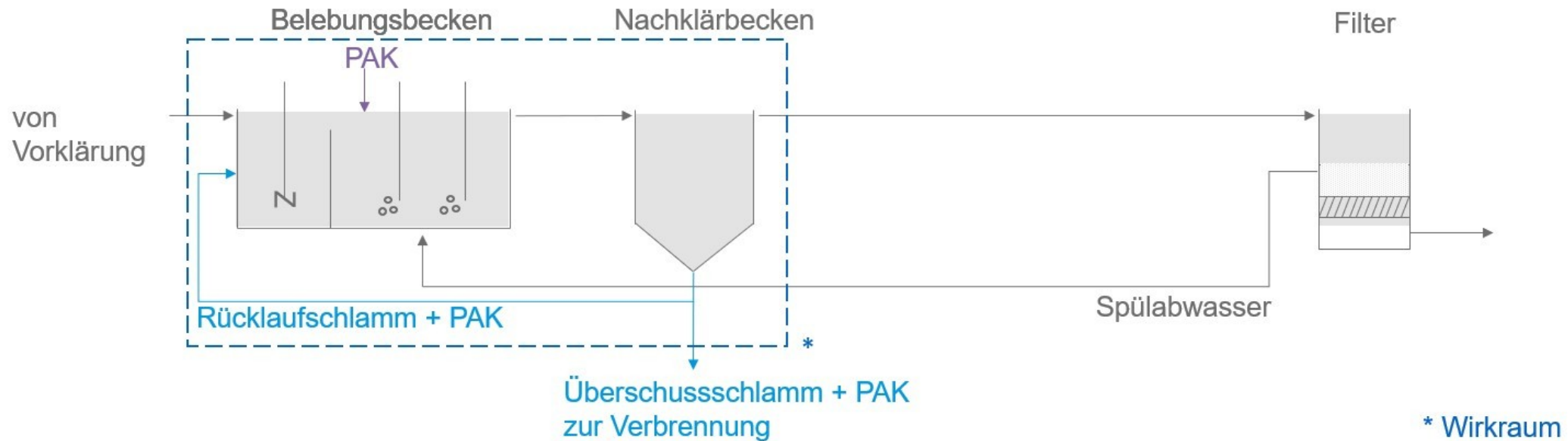


Quelle: www.koms-bw.de (20.03.2026)

* Wirkraum

- Einsatz als Raumfilter unterhalb der NK als Festbettadsorber
- Korngrößen: 0,5 bis 4,0 mm
- Funktionsweise weitgehend identisch mit Sandfiltern
- Aktivkohle muss ausgetauscht werden; kann regeneriert werden

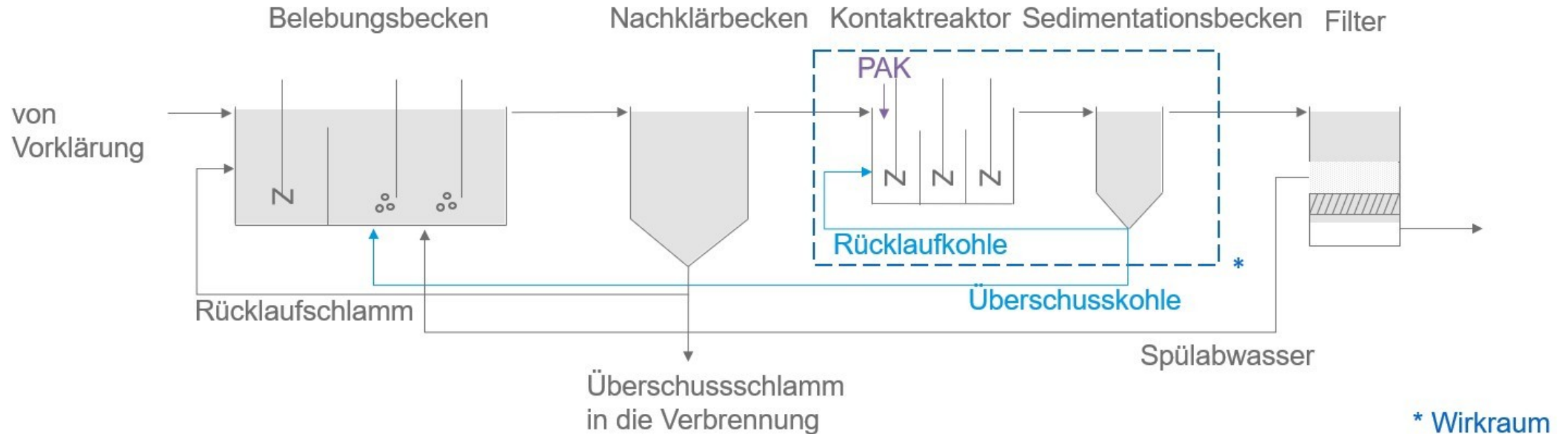
Pulveraktivkohle (PAK) – Simultan-Dosierung



Quelle: www.koms-bw.de (20.03.2026)

- PAK wird mit Wasser angesetzt (Slurry). Dosierung erfolgt simultan in die biologische Stufe
- Bei unzureichendem Rückhalt der Pulveraktivkohle im Nachklärbecken ist ein Filter nachzuschalten.
- Ggf. Einsatz von Fällmittel und Polymer zur besseren Abtrennung

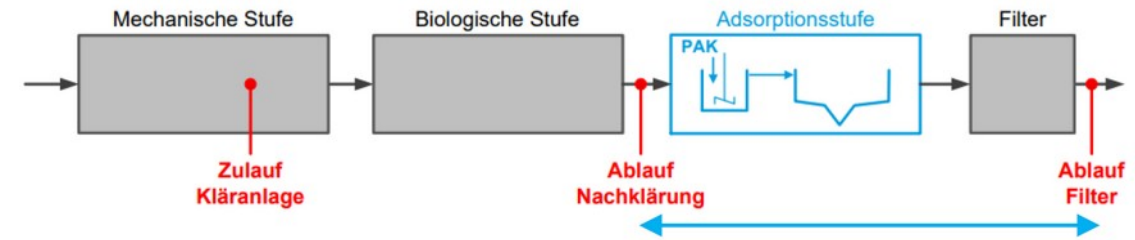
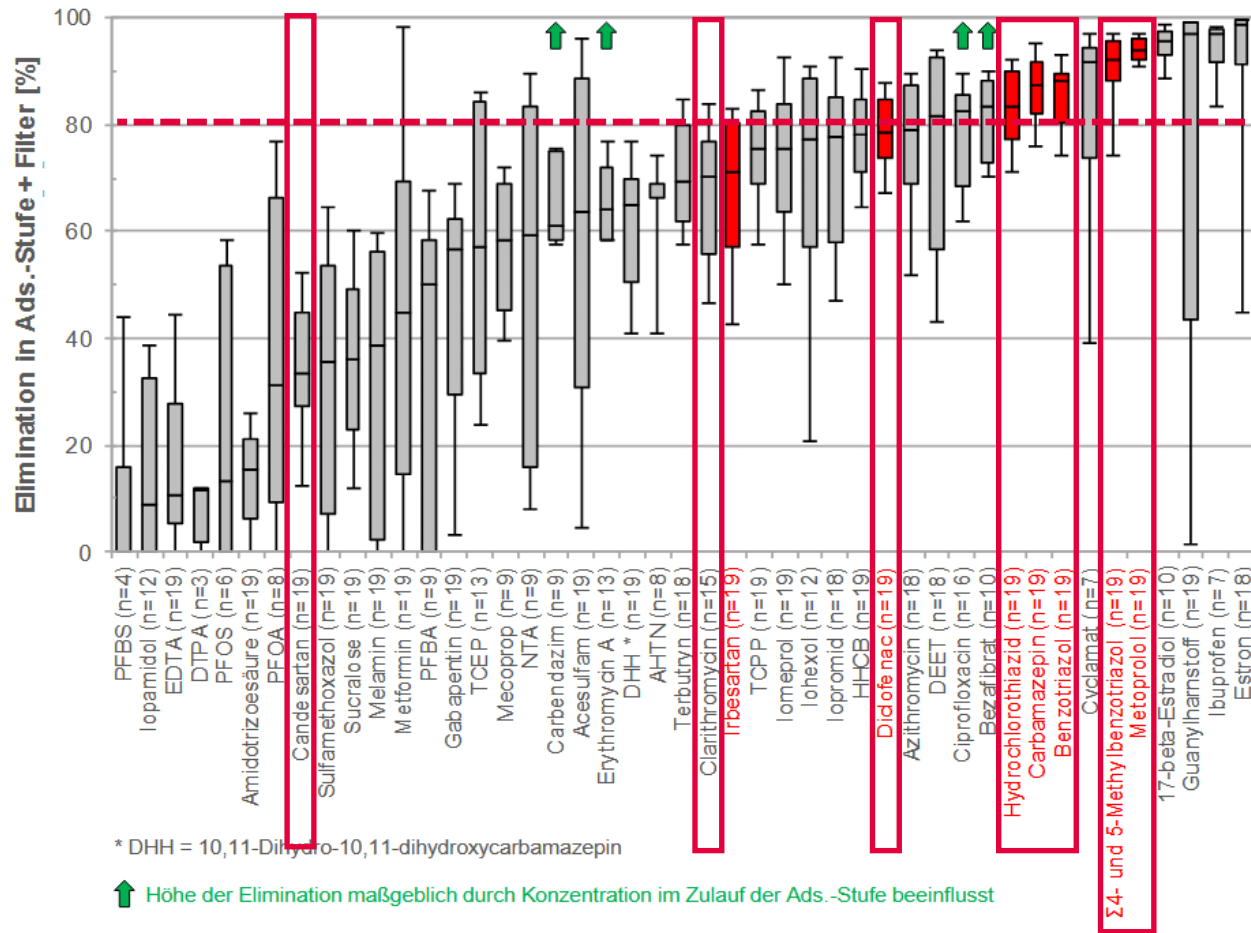
Pulveraktivkohle (PAK) – Nachgeschaltet (Ulmer Verfahren)



- PAK wird mit Wasser angesetzt (Slurry). Dosierung unterhalb der NK in ein Kontaktbecken
- Bei unzureichendem Rückhalt der Pulveraktivkohle im Nachklärbecken ist ein Filter nachzuschalten.

Quelle: www.koms-bw.de (20.03.2026)

Eliminationsleistung von Aktivkohle



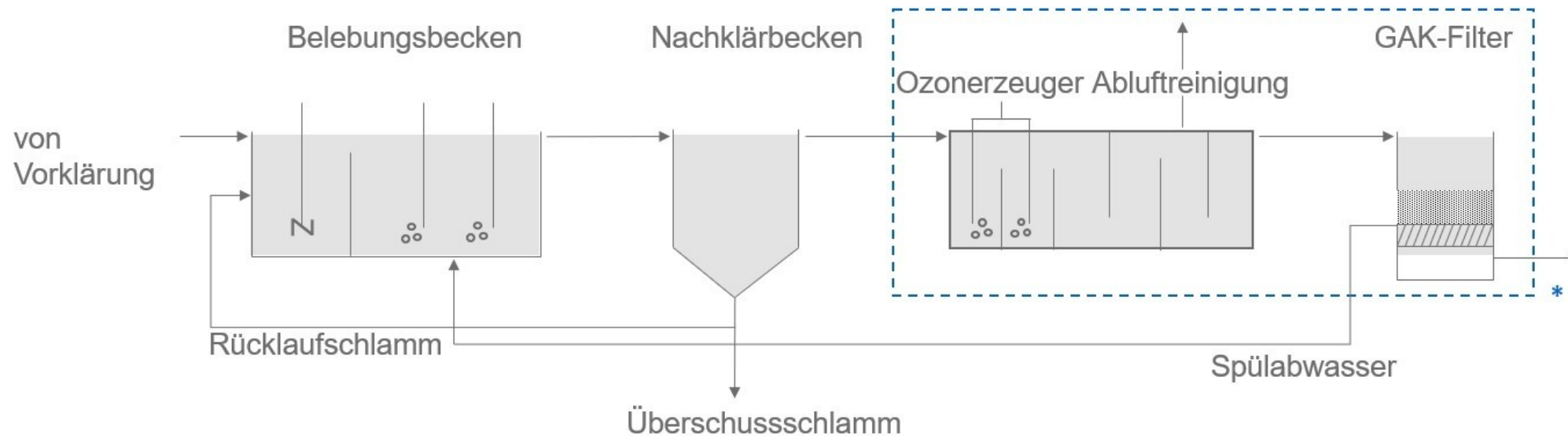
Üblich Dosiermenge:
10 – 20 g PAK/ m³ Abwasser

→ Erreichung der KARL-Anforderungen ist möglich

Quelle: Elimination von Spurenstoffen in der nachgeschalteten adsorptiven Verfahrenseinheit bestehend aus Adsorptionsstufe und Filter.

57 Quelle: KOMS 2019: Durchführung von Vergleichsmessungen....

Kombinationsverfahren (Ozonung + GAK)



* Wirkraum

- Verbesserter Rückhalt mehrerer unterschiedlicher Spurenstoffe und insgesamt bessere Eliminationsleistung
- (toxische) Transformationsprodukte aus der Ozonung können (ggf.) zurückgehalten werden

Quelle: www.koms-bw.de (20.03.2026)