THINK.
LINK.
DO.

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Möglichkeiten und Grenzen der 4. Reinigungs -stufe auf Kläranlagen

Prof. Dr. Susanne Lackner | TU Darmstadt

RESEARCH FIELD
ENERGY+ENVIRONMENT

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

PROF. SUSANNE LACKNER

seit 2016: Professorin, FG Wasser und Umweltbiotechnologie, TU Darmstadt

weitere Stationen: Bauhaus-Universität Weimar
Karlsruher Institut für Technologie
Technische Universität München
Aquantis GmbH, Veolia Water Solutions and Technologies

2009: Ph.D. in Environmental Engineering, Technical University of Denmark

2005: M.Sc. in Water Resources Engineering and Management, Universität Stuttgart und University of Waterloo (Kanada)

2005: Dipl.-Ing. in Umweltschutztechnik, Universität Stuttgart

IWAR

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Geschäftsführung

Prof. Dr.-Ing. M. Engelhart
Geschäftsführender Direktor

Prof. Dr. S. Lackner
Geschäftsführerin

Zentrale Einrichtungen

- Lehr-Labor
- Forschungs-Labor
- Mikrobiologie Labor
- Werkstatt

Fachgebiete

Abwasser-technik
Prof. Dr.-Ing. M. Engelhart

Wasser und Umwelt-biotechnologie
Prof. Dr. S. Lackner

Umweltanalytik und Schadstoffe
Prof. Dr. H. Lutze

Technikums- und Versuchsanlagen

Forschungsfeld Kläranlage Darmstadt-Eberstadt
Abfalltechnische Versuchshalle

Förderverein des Instituts

Prof. Dr.-Ing. N. Jardin
Vorsitzender

Dr.-Ing. T. Fundneider
Geschäfts-führer

FORSCHUNGSSCHWERPUNKTE

DAS FG WASSER UND UMWELTBIOTECHNOLOGIE

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

PROF. DR. SUSANNE LACKNER

Dr. Ing. Shelesh Agrawal

WUB.N

innovative technische Lösungen für die Elimination von Stickstoff

WUB.MIB

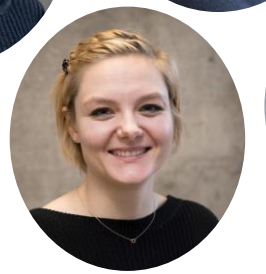
angewandte Umwelt-mikrobiologie

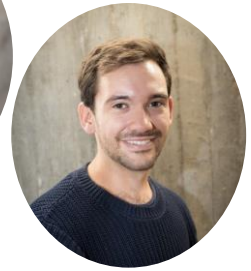
WUB.MOD

mathematische Simulation

WUB.4

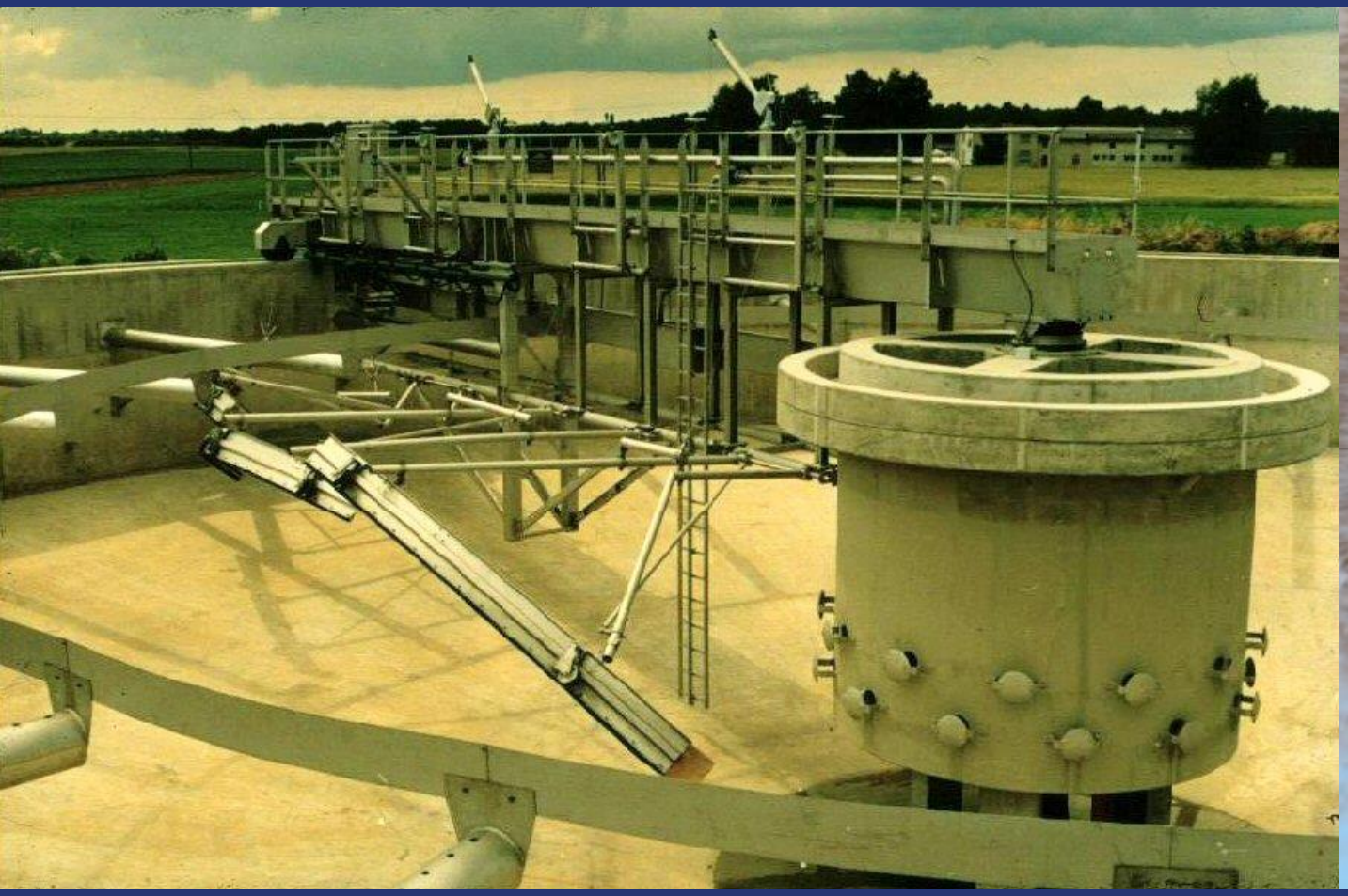
weitergehende Abwasser-behandlung





Was kann eine konventionelle Kläranlage?

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

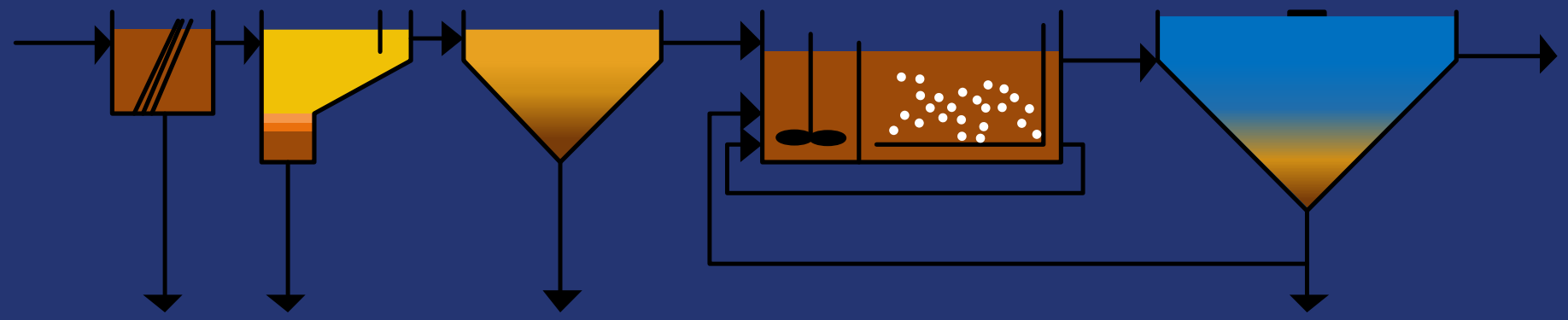


Kommunale Abwasserbehandlung

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

mechanische Behandlung
1. Reinigungsstufe

biologische/chemische Behandlung
2. und 3. Reinigungsstufe

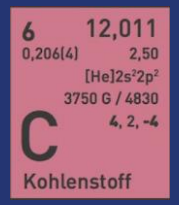


Kläranlagenablauf ins Gewässer

Was ist noch im Ablauf konventioneller Kläranlagen?

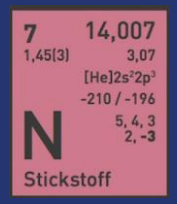
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Kläranlagen sind ausgelegt für die Entfernung von:

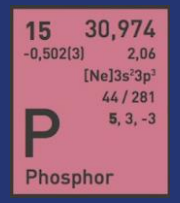


organische Kohlenstoff-verbindungen

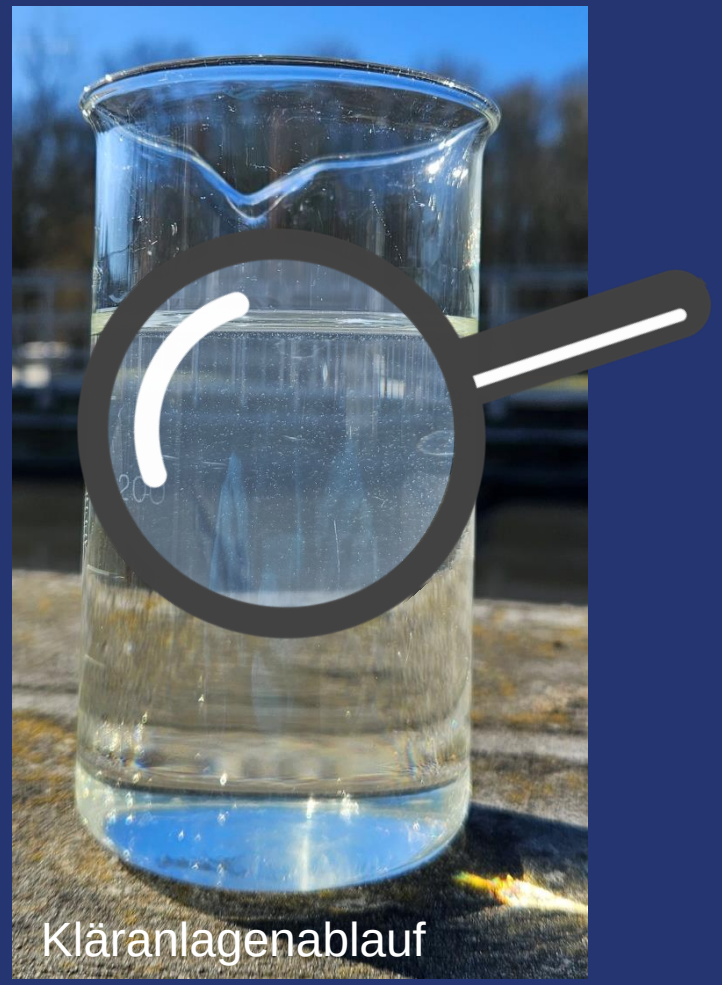
Stickstoff



Phosphor



Nährstoffe



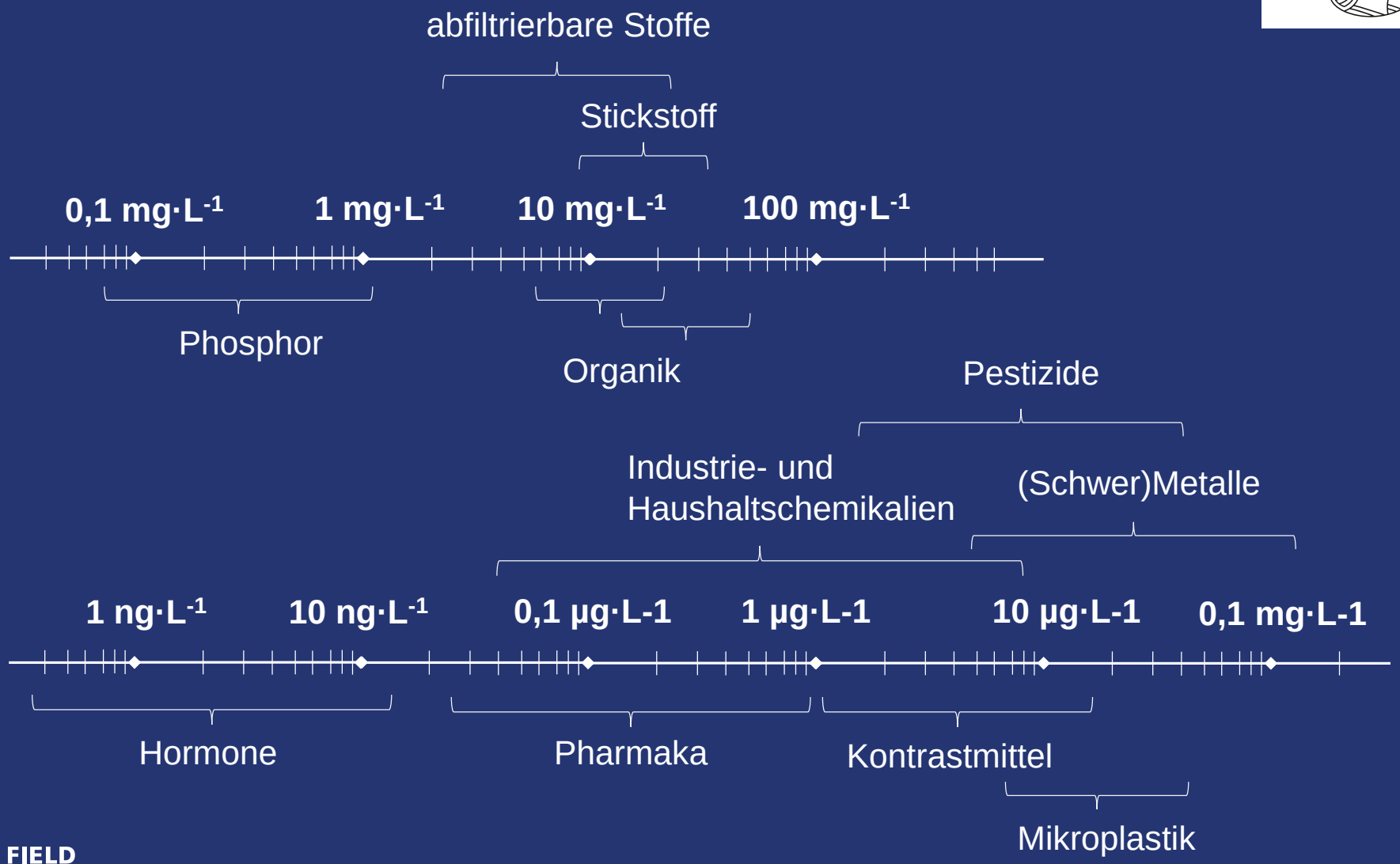
Spurenstoffe / org. Mikroschadstoffe

Mikroplastik

pathogene Keime
Resistenzgene
Viren

Spurenstoffe... im Ablauf der Kläranlage im Bereich von ng/L bis µg/l

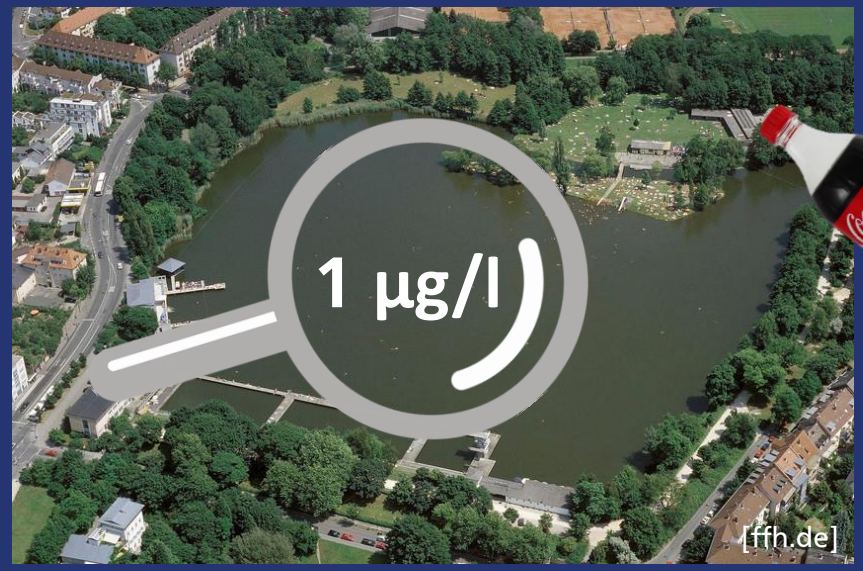
Abwasserinhaltsstoffe



Kommunale Abwasserbehandlung

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

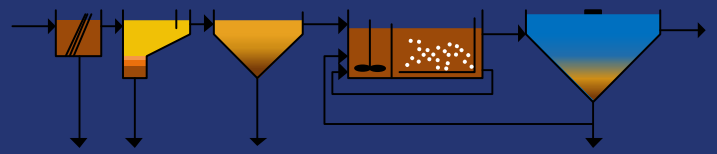
Großer Woog Darmstadt
(V_{H2O} ≈ 100.000 m³)

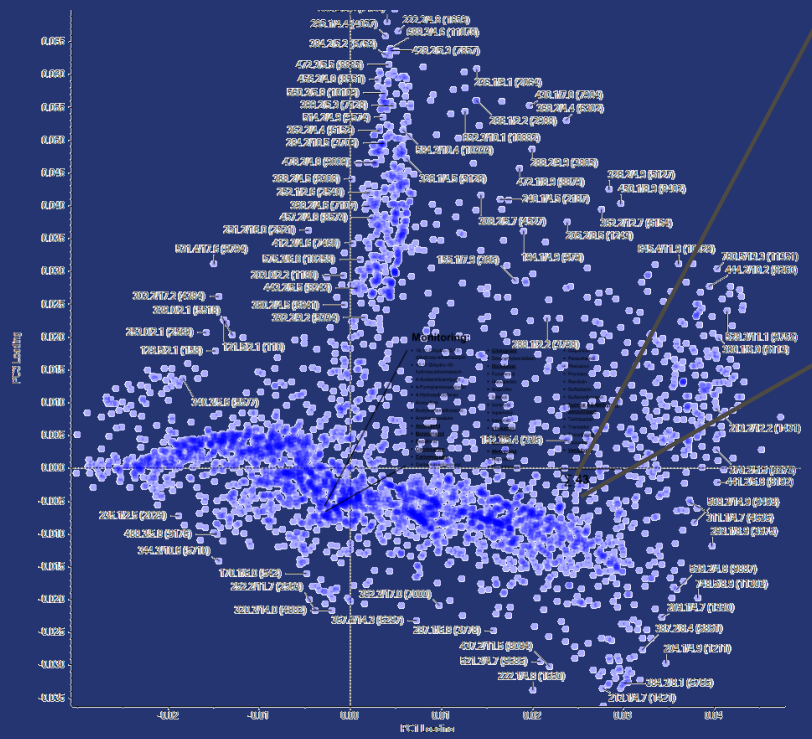


Würfelzucker
n = 33 Stück

Abwasserinhaltsstoffe

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT





Monitoring:

- 10,11-Dihydro-10,11-dihydroxycarbamazepin
- 10,11-Dihydro-10-hydroxycarbamazepin
- 4-Acetamidoantipyrin
- 4-Formylaminoantipyrin
- 4-Hydroxydiclofenac
- Acesulfam
- Acetylsulfamethoxazol
- Amidotrizoesäure
- **Amisulprid**
- **Benzotriazol**
- Bezafibrat
- **Candesartan**
- **Carbamazepin**
- Carbamazepinepoxid
- **Citalopram**
- Desmethylvenlafaxin
- **Diclofenac**
- Furosemid
- Gabapentin
- Ibuprofen
- Iohexol
- Iomeprol
- Iopamidol
- Iopromid
- **Irbesartan**
- Lidocain
- Metfomrin
- **Metoprolol**
- Naproxen
- Oxcarbazepin
- Oxipurinol
- Paracetamol
- Phenazon
- Primidon
- Ranitidin
- Sulfadiazin
- Sulfamethoxazol
- **Summe 4.5-Methyl-1H-benzotriazol**
- Telmisartan
- Tramadol
- Trimethoprim
- Valsartan
- **Venlafaxin**

∑ 43

∑ Spurenstoffe

- CSB
- DOC
- SAK

organische Kohlenstoffverbindungen

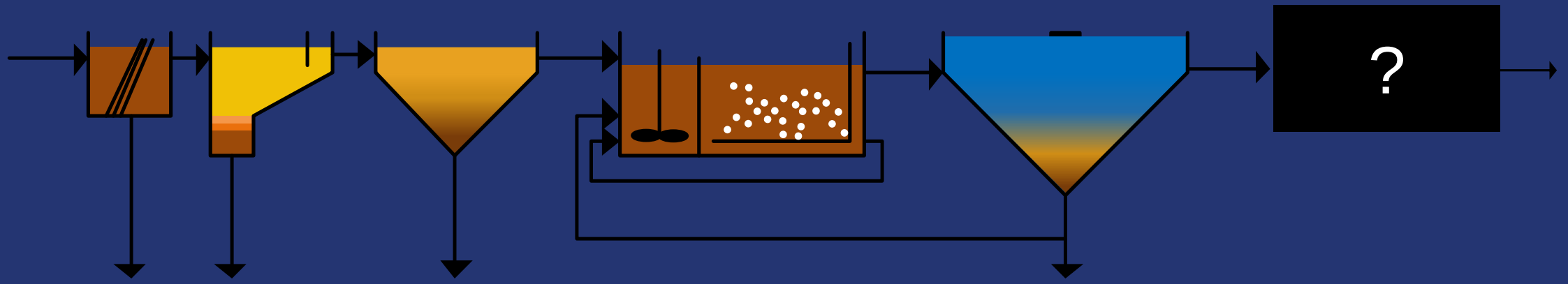
Die 4. Reinigungsstufe

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

mechanische Behandlung
1. Reinigungsstufe

biologische / chemische Behandlung
2. und 3. Reinigungsstufe

4. Reinigungsstufe
(nachgeschaltet oder / und integriert)



Technologien für die 4. Reinigungsstufe

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Oxidationsverfahren
(Ozonung)

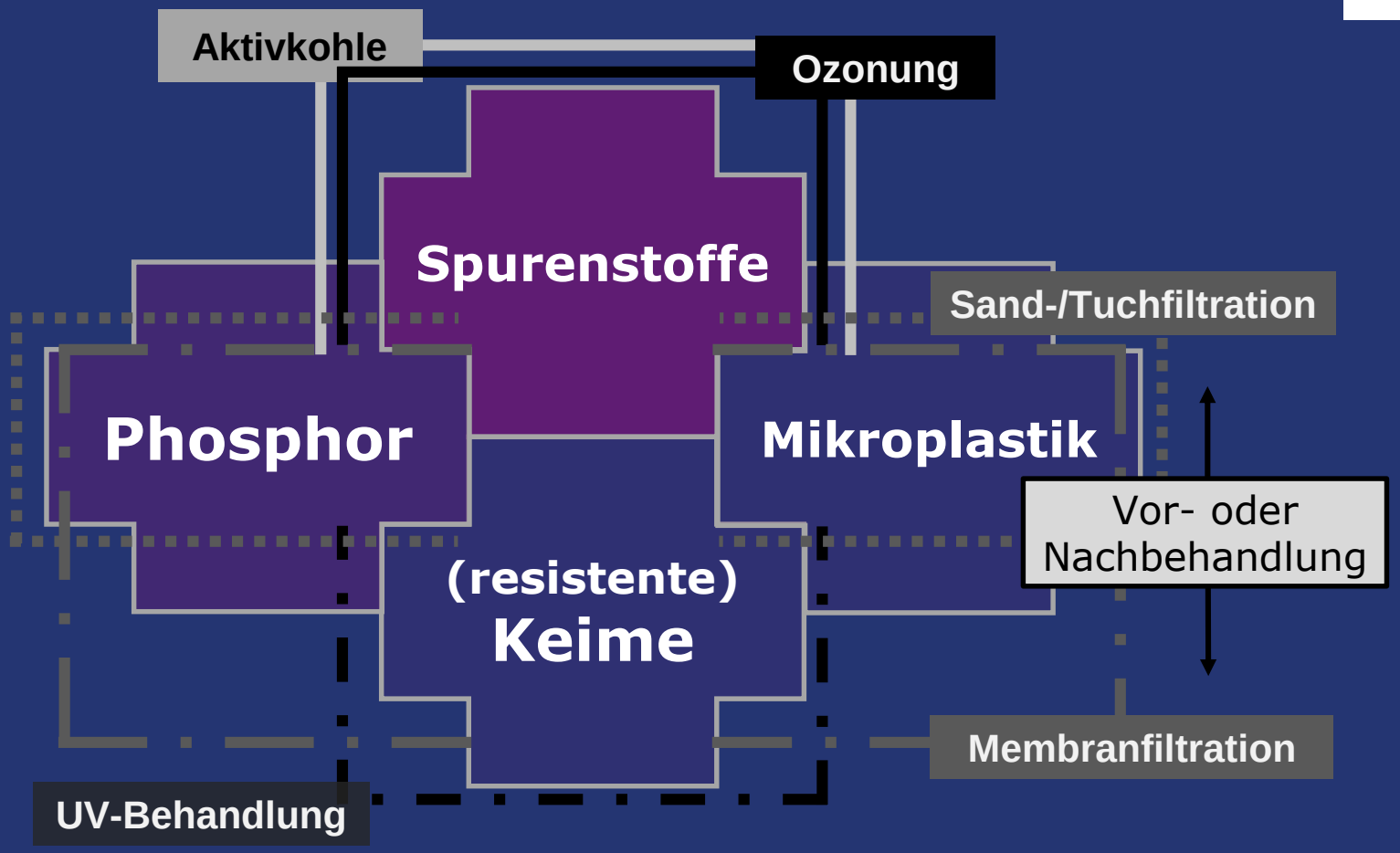
Kombinationsverfahren

Adsorptionsverfahren
(Pulveraktivkohle, Kornaktivkohle)

nicht alle Spurenstoffe gleich gut adsorbierbar oder oxidierbar!

nicht für mikrobiologische Parameter optimiert

Reinigungsziele?



Abwasserinhaltsstoffe

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

adsorptiv	η [%]	Indikator	weitere Vertreter
high	> 80	Benzotriazol	Carbamazepin, Diclofenac
medium	40 - 80	Acesulfam	Sulfamethoxazol, Röntgenkontrastmittel, Primidon
low	< 20	EDTA	MTBE, ETBE

oxidativ	η [%]	Indikator	weitere Vertreter
high	> 95	Carbamazepin, Diclofenac	Sulfamethoxazol, Clarithromycin, Clindamycin, Estron, Estradiol
medium	40 - 80	Benzotriazol, Acesulfam	Atenolol, Benzafibrat, Isoproturon, Mecoprop, Metoprolol, Sotatol
low	-	-	Röngenkonztrastmittel, Iboprofen

biologische	η [%]	Indikator	weitere Vertreter
high	> 95	Ibuprofen	Koffein, Bisphenol A
medium	30 - 80	Benzotriazol	Sulfamethoxazol, Benzafibrat
low	< 10	Acesulfam	Carbamazepin, EDTA, MTBE, Sucralose

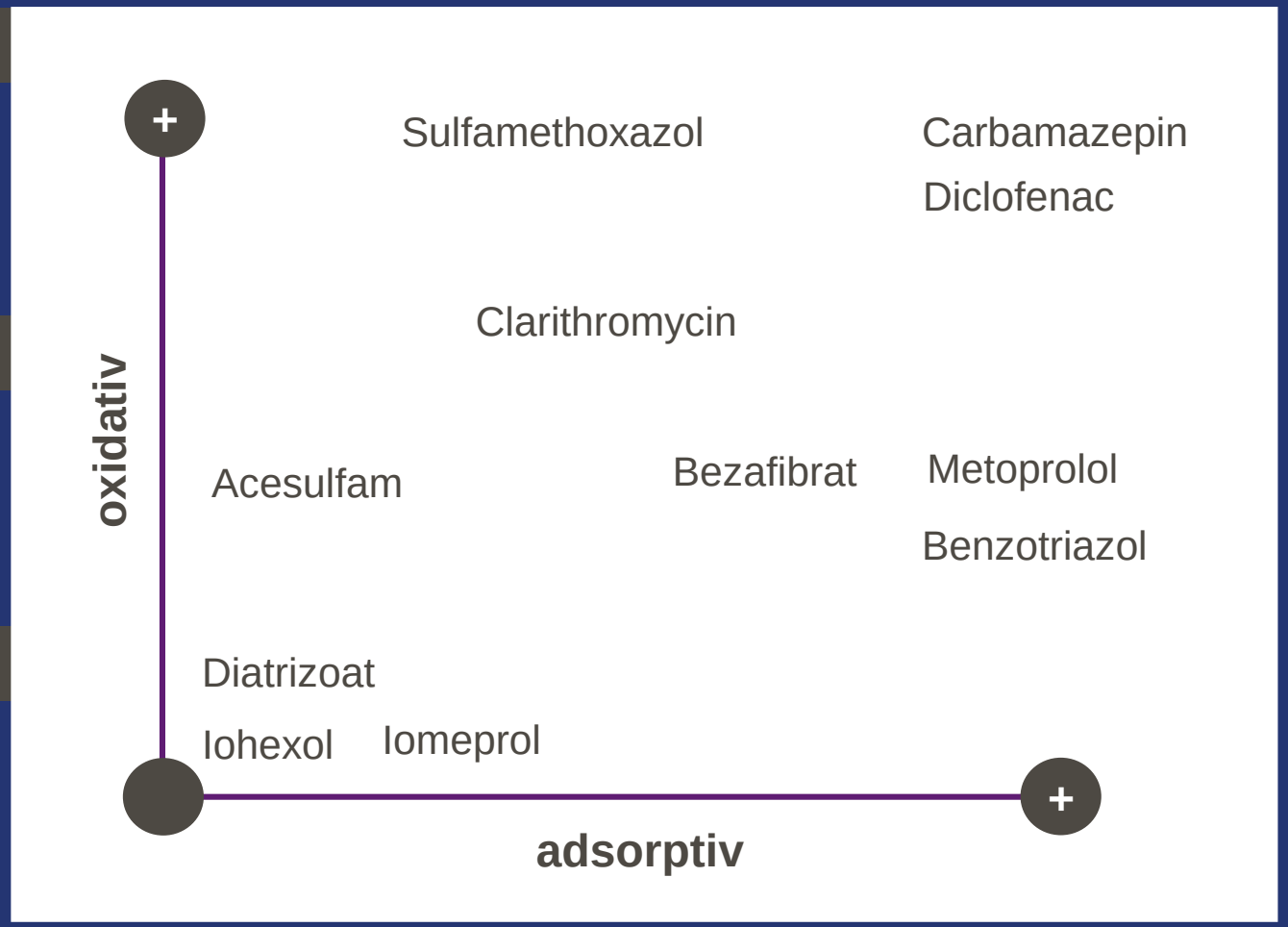
Abwasserinhaltsstoffe

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

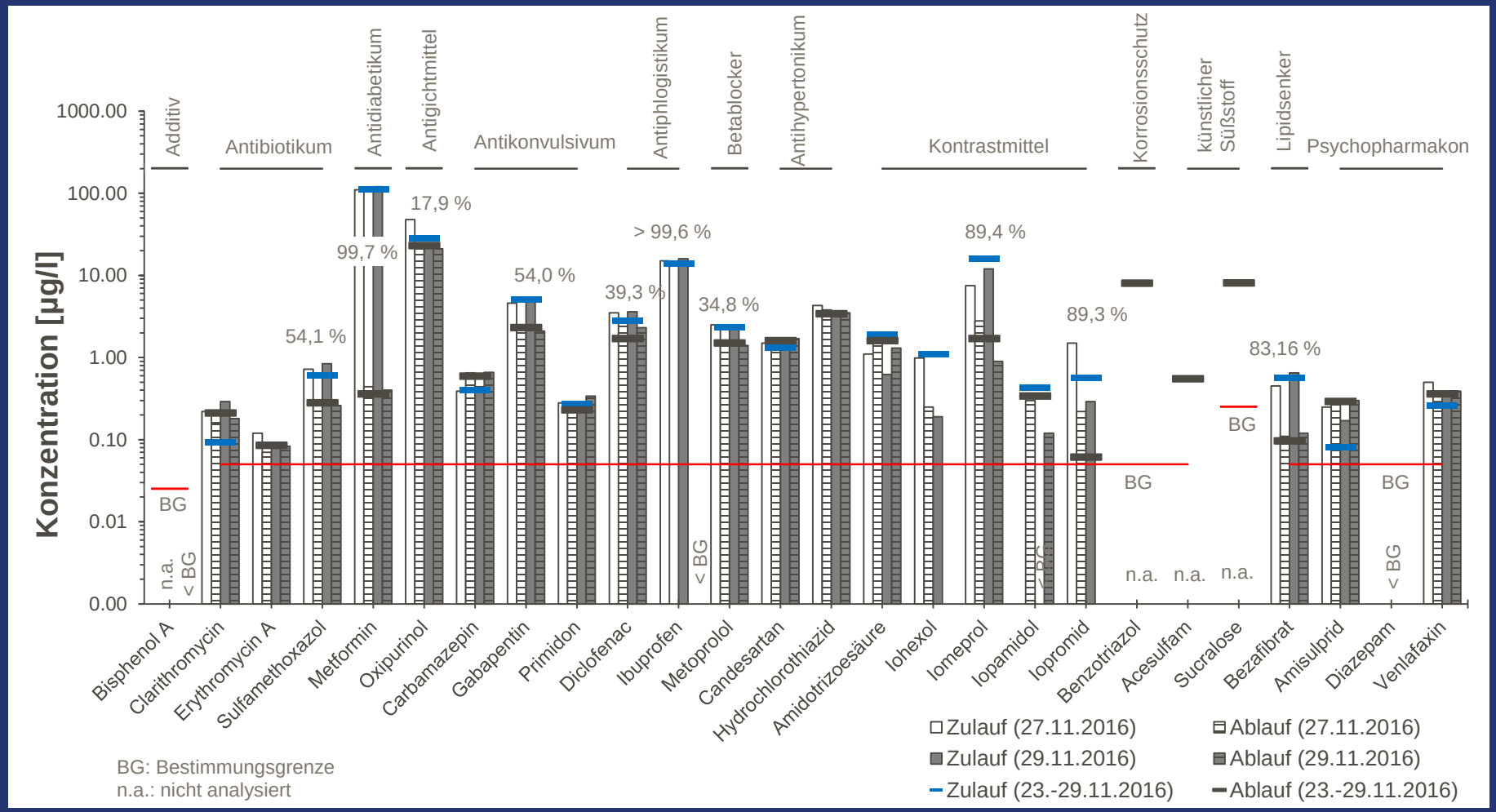
adsorptiv	η [%]	Indikator
high	> 80	Benzotriazol
medium	40 - 80	Acesulfam
low	< 20	EDTA

oxidativ	η [%]	Indikator
high	> 95	Carbamazepin, Diclofenac
medium	40 - 80	Benzotriazol, Acesulfam
low	-	-

biologische	η [%]	Indikator
high	> 95	Ibuprofen
medium	30 - 80	Benzotriazol
low	< 10	Acesulfam



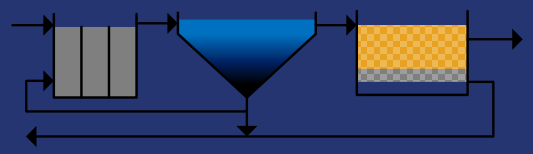
Abwasserinhaltsstoffe



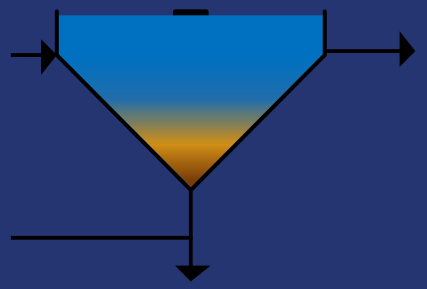
Möglichkeiten für die 4. Reinigungsstufe

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

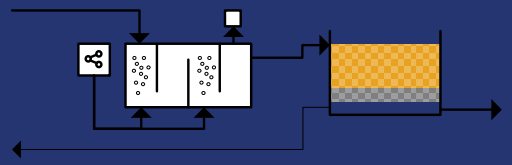
PAK | Post-Filtration



Nachklärung

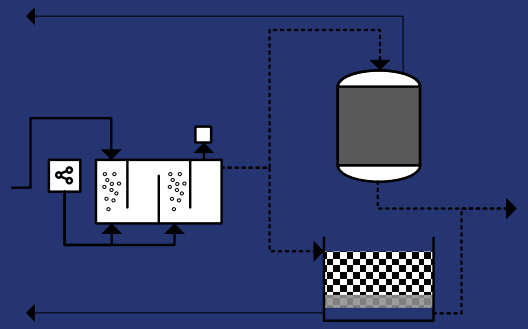


Ozonung | Post-Filtration



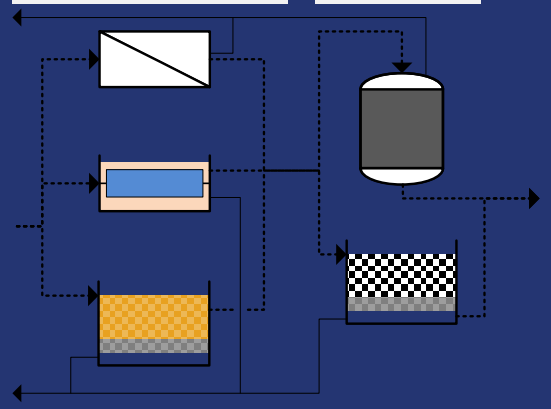
Ozonung | GAK

Kombinationsverfahren



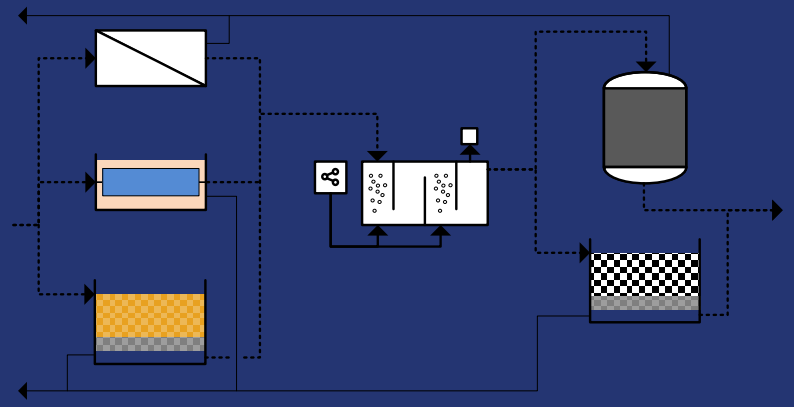
Optional

Pre-Filtration | GAK



Pre-Filtration | Ozonung | GAK

Kombinationsverfahren

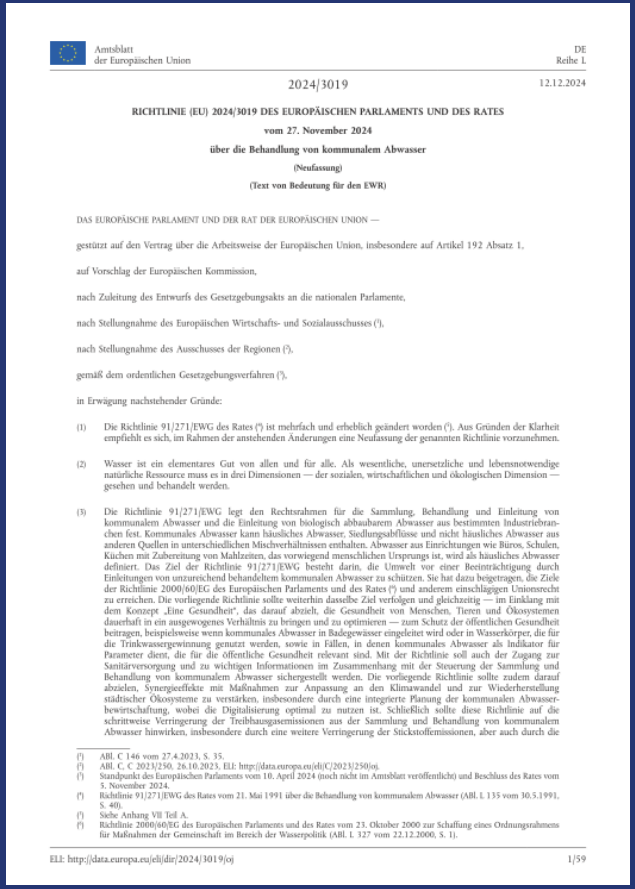


Die neue EU Kommunalabwasserrichtlinie

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Tabelle 3: Anforderungen an die Viertbehandlung von Einleitungen […]

Indikatoren	Mindestprozentsatz der Entfernung bezogen auf die Zulauffracht
Stoffe, die Wasser **auch in geringen Konzentrationen** verunreinigen können (siehe Anmerkung 1)	**80 %** (siehe Anmerkung 2)



Amtsblatt der Europäischen Union — DE Reihe L

2024/3019 — 12.12.2024

RICHTLINIE (EU) 2024/3019 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES

vom 27. November 2024

über die Behandlung von kommunalem Abwasser

(Neufassung)

(Text von Bedeutung für den EWR)

DAS EUROPÄISCHE PARLAMENT UND DER RAT DER EUROPÄISCHEN UNION —

gestützt auf den Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union, insbesondere auf Artikel 192 Absatz 1,

auf Vorschlag der Europäischen Kommission,

nach Zuleitung des Entwurfs des Gesetzgebungsakts an die nationalen Parlamente,

nach Stellungnahme des Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschusses ([1]),

nach Stellungnahme des Ausschusses der Regionen ([2]),

gemäß dem ordentlichen Gesetzgebungsverfahren ([3]),

in Erwägung nachstehender Gründe:

(1) Die Richtlinie 91/271/EWG des Rates ([4]) ist mehrfach und erheblich geändert worden ([5]). Aus Gründen der Klarheit empfiehlt es sich, im Rahmen der anstehenden Änderungen eine Neufassung der genannten Richtlinie vorzunehmen.

(2) Wasser ist ein elementares Gut von allen und für alle. Als wesentliche, unersetzliche und lebensnotwendige natürliche Ressource muss es in drei Dimensionen — der sozialen, wirtschaftlichen und ökologischen Dimension — gesehen und behandelt werden.

(3) Die Richtlinie 91/271/EWG legt den Rechtsrahmen für die Sammlung, Behandlung und Einleitung von kommunalem Abwasser und die Einleitung von biologisch abbaubarem Abwasser aus bestimmten Industriebranchen fest. Kommunales Abwasser kann häusliches Abwasser, Siedlungsabflüsse und nicht häusliches Abwasser aus anderen Quellen in unterschiedlichen Mischverhältnissen enthalten. Abwasser aus Einrichtungen wie Büros, Schulen, Küchen mit Zubereitung von Mahlzeiten, das vorwiegend menschlichen Ursprungs ist, wird als häusliches Abwasser definiert. Das Ziel der Richtlinie 91/271/EWG besteht darin, die Umwelt vor einer Beeinträchtigung durch Einleitungen von unzureichend behandeltem kommunalen Abwasser zu schützen. Sie hat dazu beigetragen, die Ziele der Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates ([6]) und anderem einschlägigen Unionsrecht zu erreichen. Die vorliegende Richtlinie sollte weiterhin dasselbe Ziel verfolgen und gleichzeitig — im Einklang mit dem Konzept „Eine Gesundheit", das darauf abzielt, die Gesundheit von Menschen, Tieren und Ökosystemen dauerhaft in ein ausgewogenes Verhältnis zu bringen und zu optimieren — zum Schutz der öffentlichen Gesundheit beitragen, beispielsweise wenn kommunales Abwasser in Badegewässer eingeleitet wird oder in Wasserkörper, die für die Trinkwassergewinnung genutzt werden, sowie in Fällen, in denen kommunales Abwasser als Indikator für Parameter dient, die für die öffentliche Gesundheit relevant sind. Mit der Richtlinie soll auch der Zugang zur Sanitärversorgung und zu wichtigen Informationen im Zusammenhang mit der Steuerung der Sammlung und Behandlung von kommunalem Abwasser sichergestellt werden. Die vorliegende Richtlinie sollte zudem darauf abzielen, Synergieeffekte mit Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel und zur Wiederherstellung städtischer Ökosysteme zu verstärken, insbesondere durch eine integrierte Planung der kommunalen Abwasserbewirtschaftung, wobei die Digitalisierung optimal zu nutzen ist. Schließlich sollte diese Richtlinie auf die schrittweise Verringerung der Treibhausgasemissionen aus der Sammlung und Behandlung von kommunalem Abwasser hinwirken, insbesondere durch eine weitere Verringerung der Stickstoffemissionen, aber auch durch die

([1]) ABl. C 146 vom 27.4.2023, S. 35.
([2]) ABl. C. C 2023/250, 26.10.2023, ELI: http://data.europa.eu/eli/C/2023/250/oj.
([3]) Standpunkt des Europäischen Parlaments vom 10. April 2024 (noch nicht im Amtsblatt veröffentlicht) und Beschluss des Rates vom 5. November 2024.
([4]) Richtlinie 91/271/EWG des Rates vom 21. Mai 1991 über die Behandlung von kommunalem Abwasser (ABl. L 135 vom 30.5.1991, S. 40).
([5]) Siehe Anhang VII Teil A.
([6]) Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (ABl. L 327 vom 22.12.2000, S. 1).

ELI: http://data.europa.eu/eli/dir/2024/3019/oj — 1/59

Die neue EU Kommunalabwasserrichtlinie Verfahrensbewertung… Beispiel 1

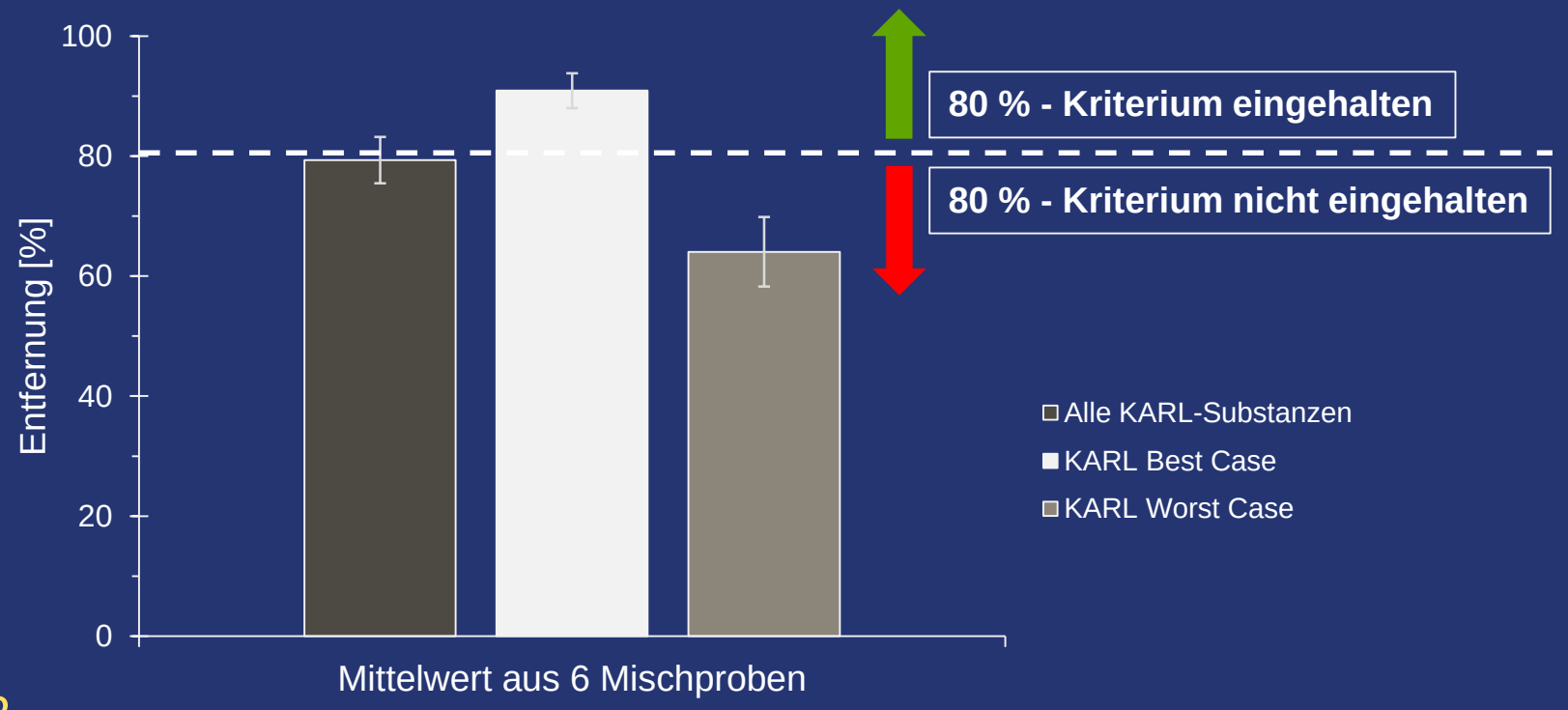
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

2 Kategorien von Stoffen

- Kategorie 1: Stoffe, die **sehr leicht zu behandeln** sind (8)
- Kategorie 2: Stoffe die **leicht entfernbar** sind (4)

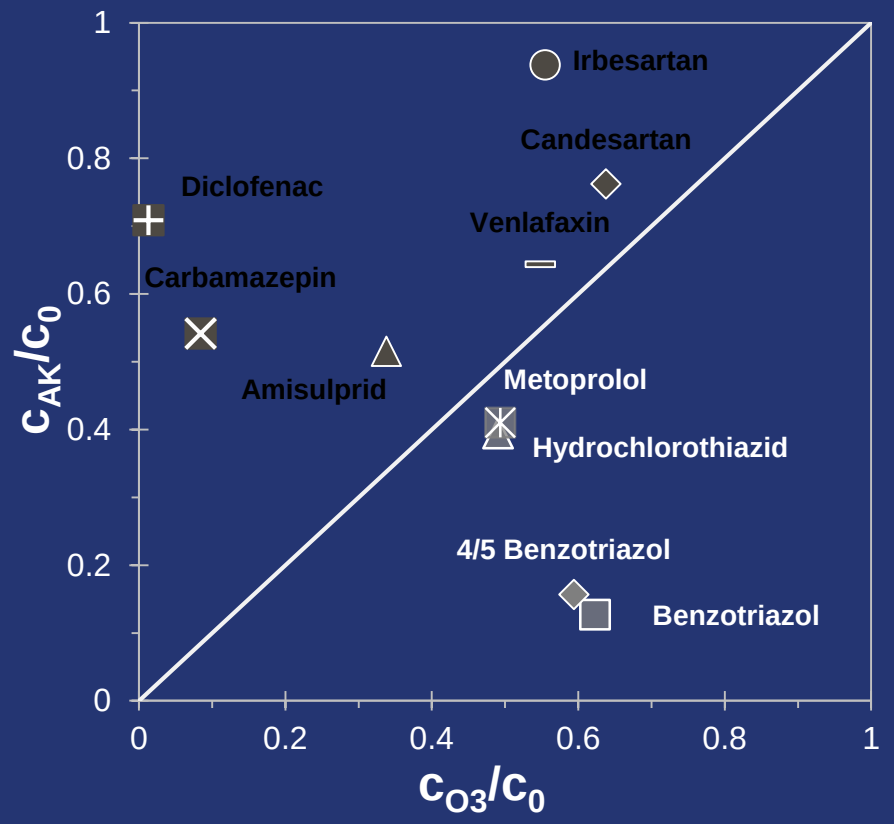
Auswahl der Stoffe zur Berechnung der Entfernung:

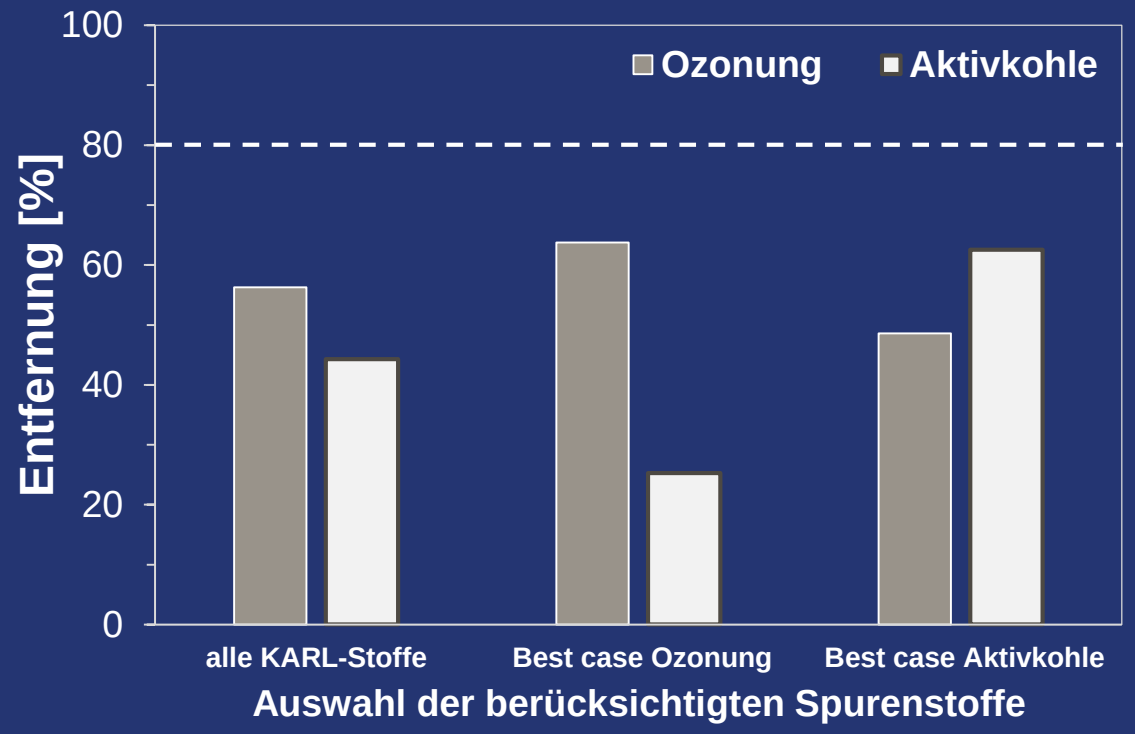
- mind. 6 Stoffe
- doppelt so viele Stoffe aus Kategorie 1 wie aus Kategorie 2



Die neue EU Kommunalabwasserrichtlinie Verfahrensbewertung… Beispiel 2

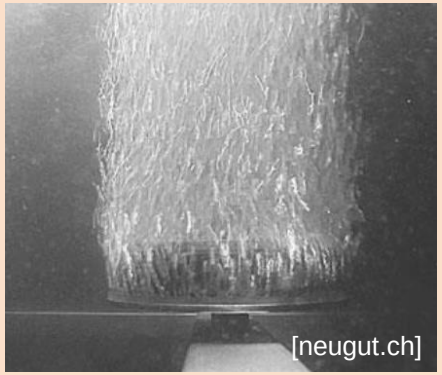
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT





Vergleich der weitergehenden Verfahren

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

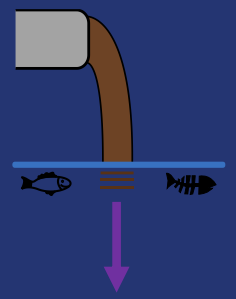
	Ozon	Aktivkohle
Prinzip	Oxidation von Verbindungen 	Adsorptive Anlagerung mit anschließender Verbrennung
Vorteile	Einsatz von erneuerbarer Energie möglich	Keine Bildung von kritischen Transformationsprodukten
Nachteile	Bildung von kritischen Oxidations-/Transformationsprodukten	Aktivkohleschlupf Fossile Rohstoffe, Desorption
Kosten	0,03 – 0,07 €/m³ Abwasser	0,03 – 0,13 €/m³ Abwasser
Kosten	1 – 3 €/ Einwohner und Jahr	1 – 10 €/ Einwohner und Jahr

Vermeidung - Herstellerverantwortung

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

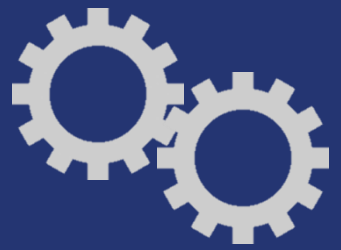
- **Vergleich der CSB-Immissionen** für ein exemplarisches Einzugsgebiet in Hessen basierend auf Betriebsdaten und der Schmutzfrachtsimulationen

Entlastungsbauwerke

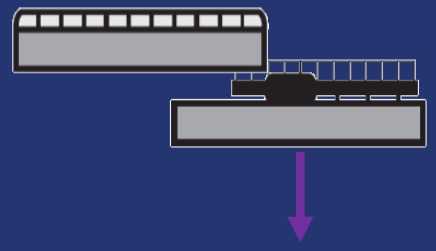


225.877 kg_{CSB}/a (1)

(63 %)



Kläranlagen



134.400 kg_{CSB}/a (2)

(1): entlastete CSB-Fracht im Bilanzierungszeitraum (¾ Jahr) an Regenwettertagen bezogen auf 1 Jahr
(2): emittierte CSB-Fracht an Regenwettertagen nach Betriebsdatenauswertung

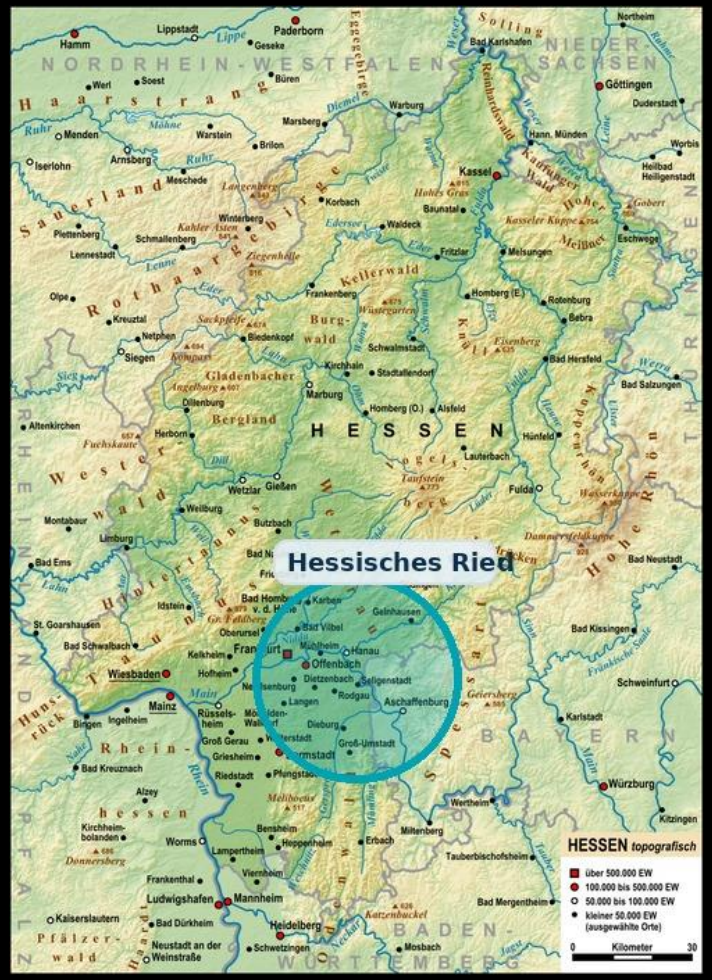
NiddaMan

WIE IST DIE SITUATION IN HESSEN?

WARUM IM HESSISCHEN RIED BESONDERS RELEVANT?

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Orientierungskarte (schematisch)



Landesansatz seit 2018

- **„Spurenstoffstrategie Hessisches Ried“** Maßnahmenmix aus Quell-/Anwendungsmaßnahmen und ausgewählten Ausbauten von Kläranlagen.
- **Dialogforum** als zentrales Instrument: Phase 1 (01/2021–03/2023), Phase 2 (02/2023–09/2026).
- **Quelle:** Produktgestaltung, Einträge vermeiden
- **Anwendung:** Sensibilisierung, Sammelsysteme, Beratung
- **End-of-pipe:** 4. Stufe an prioritären Anlagen

REINES RIED
Aktuelles
Dialogforum
Projekte
Modellkommunen
Öffentlichkeitsarbeit
Archiv
Hintergrund
Dialogforum Spurenstoffe
im Hessischen Ried
Aktuelles
Hintergrund

REINES RIED

Aktuelles | Dialogforum | Projekte | Modellkommunen | Öffentlichkeitsarbeit | Archiv | Hintergrund

Laufende Projekte

Sensibilisierung zum richtigen Umgang mit Schmerzmittelsalben und -gelen
Kampagnenmaterial für Kommunen

Sensibilisierung zum richtigen Umgang mit Tierarzneimitteln
Kampagnenmaterial für Kommunen

Vermeidung von Biozideinträgen in Gewässer aus Gebäuden
Merkblätter des Umweltbundesamts für verschiedene Nutzergruppen

Wettbewerb „Spurenstoff-Minimierer“
Das Konzept des Wettbewerbs wird aktuell überarbeitet.

Verständliche Darstellung von Monitoringergebnissen
Anhand von 20 Stoffsteckbriefen: Veröffentlichung von 2 Steckbriefen auf der HLNUG-Homepage, 7 Steckbriefe werden als Projektarbeiten im Masterstudium der Hochschule RheinMain erarbeitet.

REINES RIED

Aktuelles | Dialogforum | Projekte | Modellkommunen | Öffentlichkeitsarbeit | Archiv | Hintergrund

Dialogforum

Dialogforum „Spurenstoffe im Hessischen Ried“

In den nächsten zwei Jahren sollen Maßnahmensteckbriefe aus der ersten Phase des Dialogforums umgesetzt werden. Dazu werden in Zusammenarbeit mit Stakeholdergruppen und weiteren Beteiligten Projektgruppen zur Umsetzung der Maßnahmen initiiert und fachlich begleitet.

Maßnahmensteckbriefe

Die Aufgabenstellung und Zusammensetzung des Dialogforums

Die Fortsetzung der Arbeit des Dialogforums zur Umsetzung von Maßnahmen zur Verringerung von Spurenstoffeinträgen in die aquatische Umwelt im Hessischen Ried wurde mit einer Auftaktveranstaltung am **23. Mai 2024** im Haus am Dom in Frankfurt am Main eingeleitet.

Veranstaltungen

Abschlussveranstaltung Dialogforum 2. Phase
24.04.2026
Infos folgen

3. Bilanzveranstaltung Dialogforum 2. Phase
13.11.2025
Weitere Infos

2. Bilanzveranstaltung Dialogforum 2. Phase
01.07.2025
Weitere Infos

1. Bilanzveranstaltung Dialogforum 2. Phase
28.11.2024
Weitere Infos

Auftaktveranstaltung Dialogforum 2. Phase
23.05.2024
Weitere Infos

STAND KLÄRANLAGENAUSBAU IN SÜDHESSEN

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Mörfelden-Walldorf: Ozon → PAK + Tuchfiltration
- Bickenbach: Tuchfiltration → Ozon → GAK

- Langen: geplant (GAK) – Förderbescheid 2025
- Weiterstadt: Bau beauftragt (GAK) – Förderbescheid 2025

- Darmstadt
  - Merck: Inbetriebnahme 4. Reinigungsstufe 2024 (Tuchfiltration + GAK)
  - Zentralklärwerk (Machbarkeitsstudie)

BICKENBACH: PILOTIERUNG O3 + GAK (2020-2021)

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

HUBER TECHNOLOGY
WASTE WATER Solutions

ProMinent®

BICKENBACH: PILOTIERUNG O3 + GAK (2020-2021)

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

03.04.2025

Hessisches Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt, Weinbau, Forsten, Jagd und Heimat

Pressemitteilung **Abwasser**

Vierte Reinigungsstufe auf der Kläranlage Bickenbach erfolgreich in Betrieb genommen

HUBER TECHNOLOGY
WASTE WATER Solutions

ProMinent®

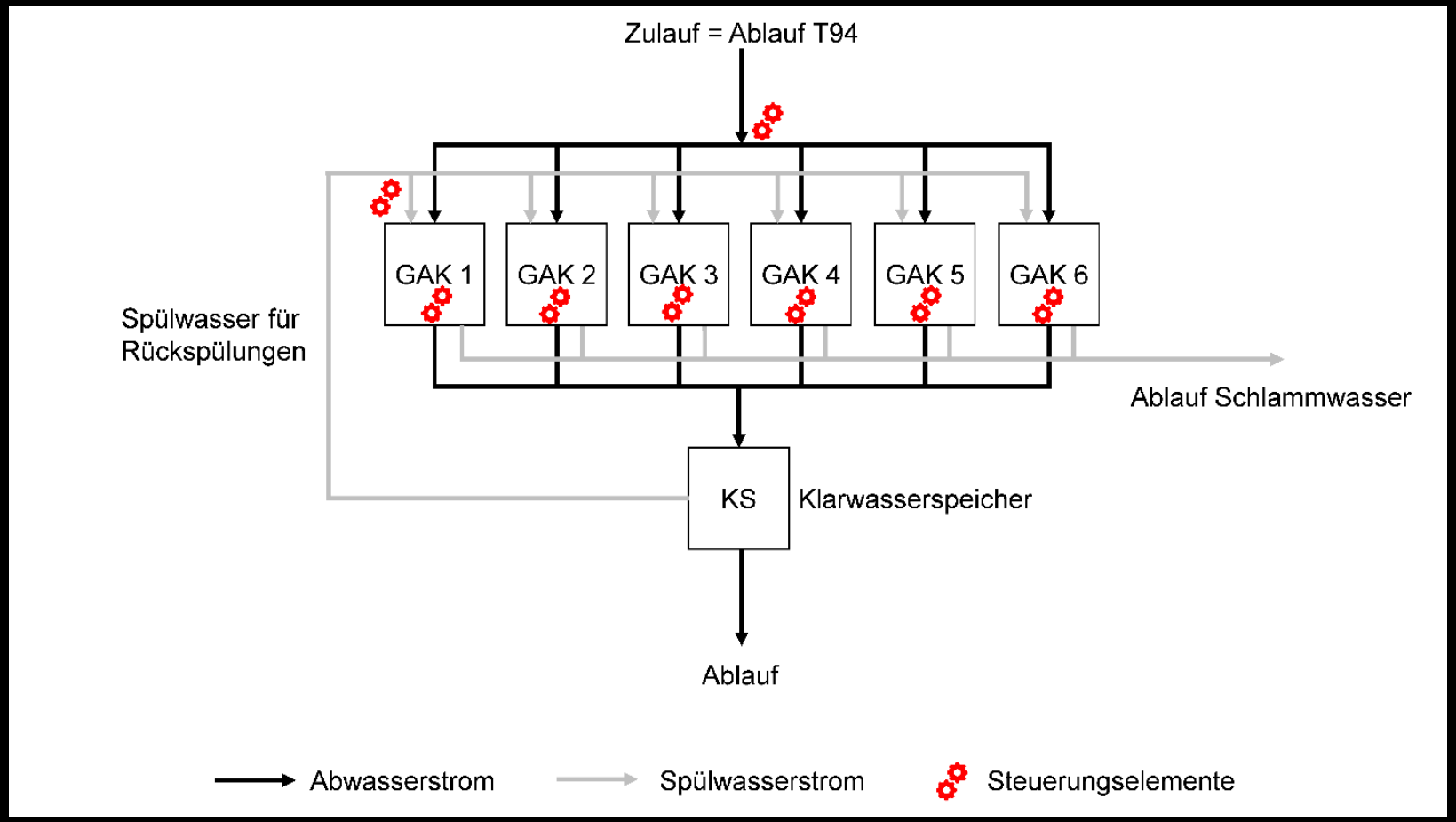
LANGEN: PILOTIERUNG GAK (2015-2019)

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

ABWASSERVERBAND
• LANGEN
• EGELSBACH
• ERZHAUSEN

MERCK: BEGLEITUNG INBETRIEBNAHME GAK (2023-2024)

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT



MERCK

MÖRFELDEN-WALLDORF – IN BETRIEB

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

hessenschau hr1 hr2-kultur hr3 hr4 hr INFO YOU FM hr-fernsehen hr-Sinfonieorchester hr-Bigband Der hr

hessenschau

Video & Podcast Wetter Verkehr Ort oder Thema suche

Start Regionen Politik Gesellschaft **Wirtschaft** Kultur Sport Panorama Freizeit

hessenschau.de > Wirtschaft > Super-Reinigungsstufe: Bach neben Kläranlage in Mörfelden-Walldorf erholt sich

Trinkwasserschutz in Mörfelden-Walldorf

Super-Reinigungsstufe: Bach neben Kläranlage erholt sich

Seit fast zwei Jahren reinigt die Kläranlage Mörfelden-Walldorf das Wasser gezielt von Schadstoffen - wie etwa von Medikamenten-Rückständen oder Pestiziden. Sie hat dafür als eine von wenigen Kläranlagen in Deutschland eine vierte Reinigungsstufe. Wissenschaftler stellen schon jetzt fest: Der Bach neben der Kläranlage erholt sich.

Von Anna Vogel
Veröffentlicht am 17.04.25 um 15:39 Uhr

WUB
Vielen Dank!

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

PROF. SUSANNE LACKNER

Fachgebiet Wasser und Umweltbiotechnologie
TU Darmstadt

s.lackner@iwar.tu-darmstadt.de
+49 6151 16-20301

L5|01 208
Franziska-Braun-Straße 7
64287 Darmstadt