

Ausgabe 25 • 03/2023

- 2• *COVIDready: SARS-CoV-2 Abwassermonitoring – aus der Forschung in die Routineanwendung*
- 5• *AMPHORE – Regionales Klärschlamm- und Asche-Management zum Phosphorrecycling für einen Ballungsraum*
- 6• *Dynamisierung von Energieanalysen auf Kläranlagen zur kontinuierlichen Optimierung des energetischen Zustandes*
- 8• *Schwimmende CP-Anlagen – Laboruntersuchungen zur weitergehenden Abwasserbehandlung*
- 9• *Aerob granulierter Schlamm im SBR – Ergebnisse aus dem Projekt Mikropellets Phase 1*
- 10• *Wasseruntersuchungen auf Flusskreuzfahrtschiffen*
- 11• *Forschung und Entwicklung in Afrika*
- 11• *StopUP – EU-Projekt unter der Koordination des ISA bewilligt*
- 12• *Das FiW verabschiedet seinen langjährigen Vorstandsvorsitzenden Herrn Dr. Emanuel Grün*
- 12• *Veranstaltungen | Impressum*

Liebe Leserinnen,
liebe Leser,

die Krisen der letzten Jahre waren auch eine Bewährungsprobe für die acwa-Institute. Ohne die tatkräftige Unterstützung durch Mitglieder, Förderer und Partner wären Arbeitsplätze und damit Forschungs- und Prüfungskapazitäten für den Verbund verloren gegangen. In diesem Zusammenhang gilt mein besonderer Dank den MitarbeiterInnen der Institute, die sich trotz großer Einschränkungen mit vollem Einsatz weiter engagiert haben.

Durch ein weltweit wachsendes Verständnis für die Zusammenhänge im Umweltbereich ist der Bedarf an effektiven und preiswerten Systemen für die Abwasserentsorgung, insbesondere im ländlichen Raum gewachsen. In den über 20 Jahren seines Bestehens bearbeiteten die MitarbeiterInnen des PIA rund 70 Forschungsvorhaben in den Bereichen der dezentralen Abwasserbehandlung und der Schiffsumwelttechnik. Durch den Aufbau eines weltweiten Verbundes von Laboren und Partnerinstituten im Prüfbereich konnten bisher über 1.000 Zulassungs- und Überwachungsprüfungen durchgeführt werden.

In Zukunft werden die Auswirkungen der Klimakrise verstärkt auch den Wasserbereich treffen, mal mit zu wenig Wasser, mal mit zu viel Wasser. Hier können dezentrale Systeme helfen, Wasser vor Ort zu behalten. Mit Instrumenten wie der Speicherung, Aufbereitung und Nutzung sowie der Versickerung von Regenwasser auf Quartiersebene; der Wiedernutzung von Abwasserteilströmen lassen sich die negativen Einflüsse reduzieren.

Um für dezentrale Systeme einen einfacheren Zugang zu den Märkten zu erreichen, setzt sich das PIA dafür ein, standardisierte Systeme zu etablieren. Hierbei arbeiten die PIA-Mitarbeiter in internationalen Normungsgremien, wie z. B. in Europa (DIN/EN),



Foto © PIA e.V.

Australien und Neuseeland (AS/NZS) oder Amerika (NSF/ANSI) mit.

Gerade im Bereich der Schifffahrt existiert ein großes Potential zur Reduzierung negativer Umwelteinflüsse. Das PIA bietet seinen Kunden hier nicht nur Untersuchungen und Prüfungen am Standort Aachen an, sondern beprobt weltweit auf Kundenwunsch Anlagen, die bereits in Betrieb sind oder sich im Einbau befinden. Bei Anlagen der Schiffsumwelttechnik ist dies dann eben auch einmal auf einem Kreuzfahrtschiff in der Karibik.

Bei allen Arbeiten kann das PIA hierbei auch auf die Expertise und Unterstützung der Schwesterinstitute ISA und FiW zurückgreifen.

Die Beiträge in diesem Heft ermöglichen einen Einblick in die aktuellen Arbeiten der acwa-Institute.

Viel Freude bei der Lektüre dieser Ausgabe der acwa aktuell!

Glück auf

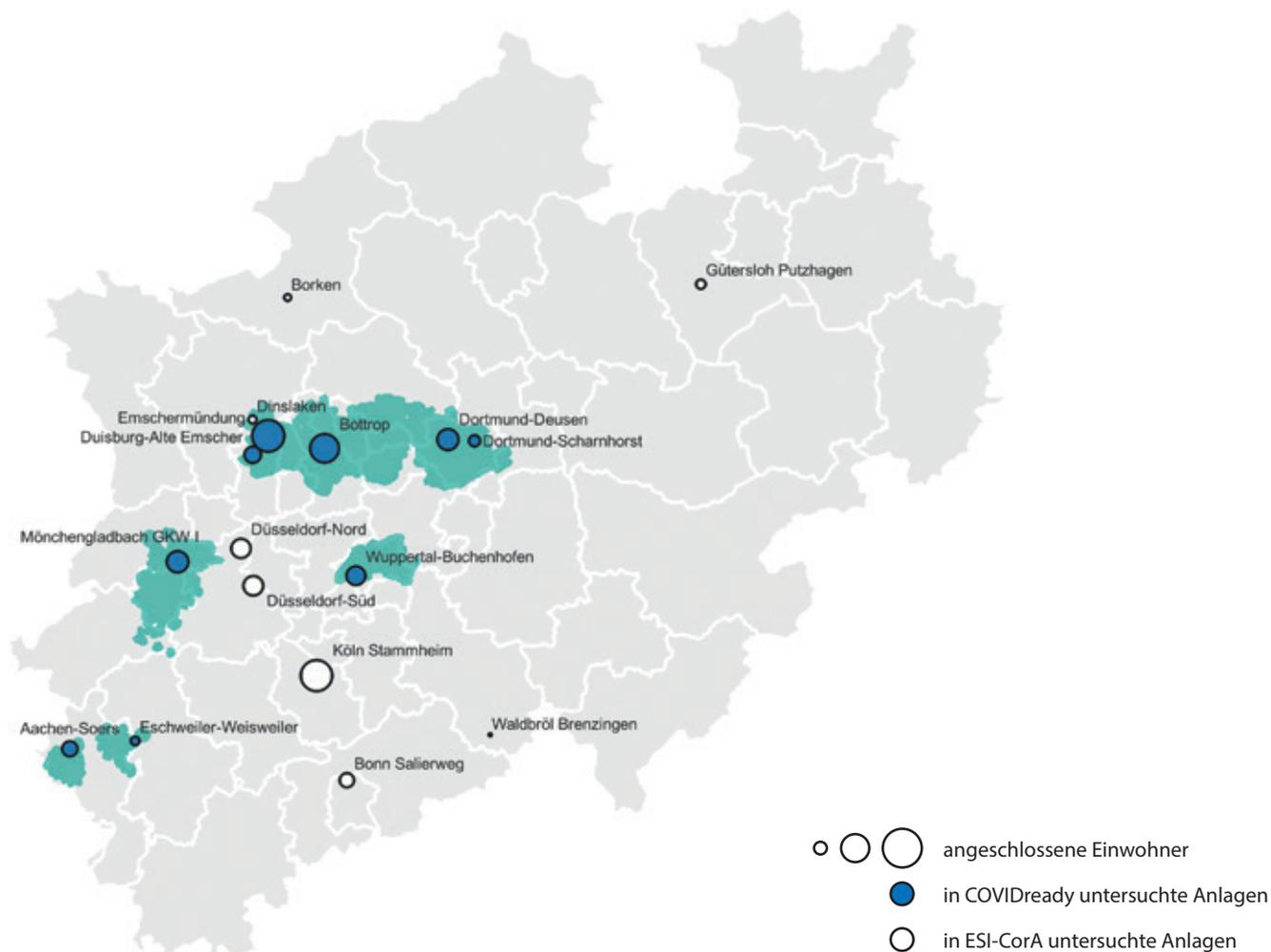
Ihr

Karl Heinz Brandt
Vorstandsvorsitzender PIA e.V.



SARS-COV-2 ABWASSERMONITORING – AUS DER FORSCHUNG IN DIE ROUTINEANWENDUNG

Im BMBF-geförderten Vorhaben COVIDready arbeiten FiW und ISA in Kooperation mit Emschergenossenschaft und Lippeverband (EGLV) sowie dem Universitätsklinikum der Goethe-Universität Frankfurt (KGU) daran, die fachlichen Grundlagen, Workflows und Schnittstellen mit den Gesundheitsbehörden für die Praxisanwendung des Abwassermonitorings aufzubauen. Im letzten Projektjahr wurden wegweisende Fortschritte bei der Etablierung eines dezentralen Workflows, bei der Früherkennung besorgniserregender Varianten und bei der Entwicklung konsistenter Datenauswerteroutinen erzielt. EGLV, FiW und KGU unterstützen zudem das Landeszentrum Gesundheit und das Ministerium für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen bei der gesamtheitlichen Bewertung vorliegender Befunde des Corona-Abwassermonitorings in NRW. Die Ergebnisse werden im LZG-Wochenbericht Abwassermonitoring und im RKI-Pandemieradar veröffentlicht.





covidready.de

Da infizierte Personen SARS-CoV-2 Genmaterial auch über den Stuhl ausscheiden, liefert das Abwassermonitoring einen integralen Überblick über das Pandemiegeschehen im Einzugsgebiet von Kläranlagen – unabhängig von Angeboten und Nachfragen bei individuellen PCR-Tests. Im Rahmen des BMBF-geförderten Verbundvorhabens „Dezentrales SARS-CoV-2 Monitoring im Abwasser: Entwicklung einer validierten Analyseverfahren für abwassertechnische Labore auf Kläranlagen“ (COVIDready) werden aktuell 5 Kläranlagen von EGLV sowie weitere 4 Anlagen von WVER, Niersverband und Wupperverband zweimal wöchentlich untersucht, um eine integrale Trendüberwachung und eine Früherkennung besorgniserregender Varianten (VoCs) zu etablieren. Mit den beprobten 9 Kläranlagen erfassen wir derzeit knapp 20 % der Bevölkerung NRWs. Zusammen mit fünf landesgeförderten sowie drei über das EU-Pilotvorhaben ESI-CorA geförderten Standorten lässt sich die Pandemieentwicklung für rund 5,3 Mio. Einwohner oder knapp 30 % der Bevölkerung in NRW verfolgen (Abb. 1).

Workflow für abwassertechnische Labore

In COVIDready wurde ein sukzessiver Workflow mit mehreren PCR-basierten Nachweis-

methoden entwickelt (Abb. 2). Die SARS-CoV-2 Viruslast wird in 24h-Mischproben mittels N1/N2-detektierenden Primern dezentral in abwassertechnischen Laboren untersucht. Die EGLV-Standorte werden im eigenen Kooperationslabor in Essen durchgeführt, das zusammen mit dem Ruhrverband betrieben wird. Die anderen Standorte werden im Umweltanalytischen Laboratorium des ISA analysiert. Beide Labore verwenden denselben Workflow. Aufgrund der eigenen Probenlogistik und Analytik ist die Ergebnisübermittlung in unter 48 Stunden, teilweise sogar am selben Arbeitstag möglich.

Früherkennung besorgniserregender Varianten

Parallel zur Bestimmung der N1/N2 Genkopien werden zu Zeiten eines relevanten SARS-CoV-2-Mutationsgeschehens spezifische Primer und Gen-Sonden seitens KGU zur Verfügung gestellt, die das Monitoring von charakteristischen Mutationen neu auftretender Varianten ermöglichen. Auffällige Befunde werden mittels digitaler PCR und Next-Generation-Sequenzierung (NGS) in einem zentralen Labor bestätigt und die mutierten Fraktionen mittels digitaler PCR quantifiziert – dabei erfolgt eine enge Kommunikation mit den zuständigen

Gesundheitsbehörden. Basierend auf diesem Arbeitsablauf wurde im Dezember 2021 die Ausbreitung der Omikron-Variante sowie im Mai/Juni 2022 die Prävalenz von BA.4/BA.5 überwacht und die Ergebnisse publiziert (Wilhelm et al., 2022a,b).

Datenauswertung: Entwicklung von Trendindikatoren

Die SARS-CoV-2 Genkopien-Fracht ist nach dem aktuellen Kenntnisstand zwischen den beprobten Kläranlagen nicht direkt vergleichbar – selbst bei Analyse gleicher Zielgene. Auch eine Normierung der Fracht auf die nominal angeschlossenen Personen, den Trockenwetterzufluss oder Surrogatviren lieferte bislang keine einheitliche Bezugsgröße. Es wird deswegen eine Datenauswertung entwickelt, die eine statistische Ausreißeranalyse ermöglicht. Deren Einordnung erfolgt über die abwassertechnische Bewertung von Einflüssen wie Niederschlagsereignissen, Spülstößen und weiterer Kenngrößen auf die einzelnen Abwasseranalysen. Die Trendeinordnung erfolgt in die Kategorien „Steigender Trend“, „Sinkender Trend“ und „Keine gesicherte Aussage möglich“. Abb. 3 zeigt die Trendanalyse der im Abwasser gemessenen SARS-CoV-2 Genfracht in 9 Kläranlagen im Vergleich zur Trendentwicklung der im Klär-

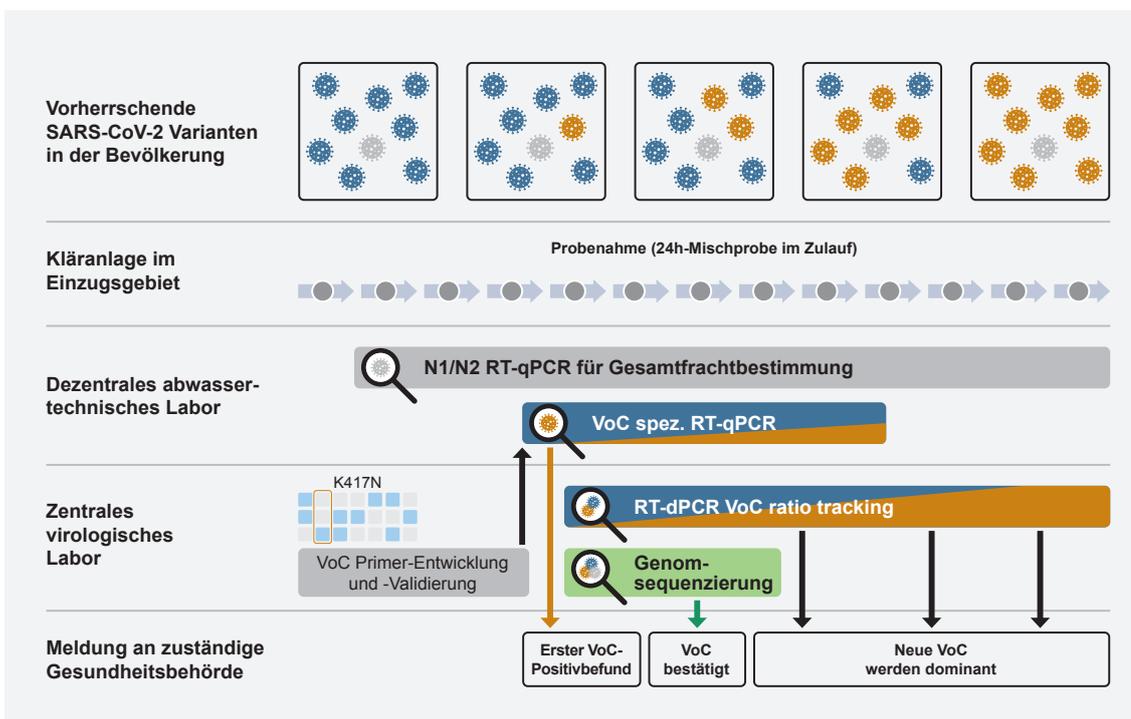


Abb. 2: Dezentraler, sukzessiver Workflow

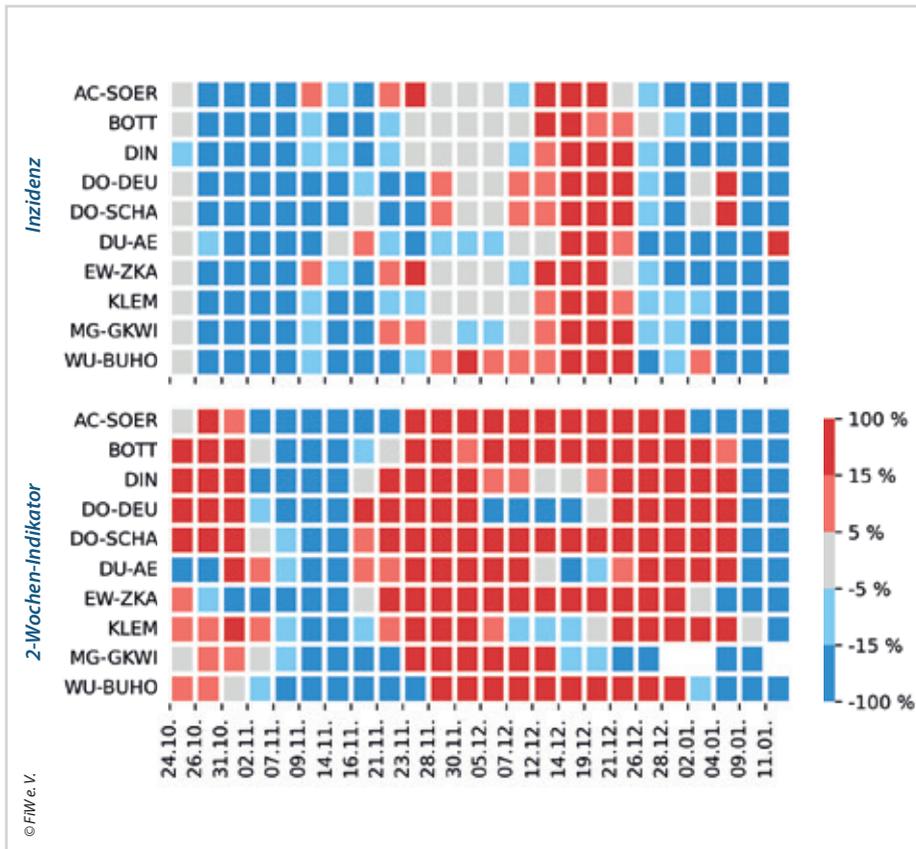


Abb. 3: Heatmap: Trendanalyse (Verhältnis der gleitenden Zweiwochenmittel) der im Abwasser gemessenen SARS-CoV-2 Genfracht in 9 Kläranlagen (unten) im Vergleich zur Trendentwicklung der im Kläranlageeinzugsgebiet geschätzten Inzidenz (oben).

anlageneinzugsgebiet geschätzten Inzidenz in einer Heatmap-Darstellung (Abb. 3).

Gesamtheitliche Bewertung

Neben COVIDready werden bundesweit im Pilotvorhaben ESI-CorA, in weiteren Forschungsvorhaben und in Länderinitiativen Abwasseruntersuchungen auch von verschiedensten kommerziellen Laboren durchgeführt. Die Daten werden über die Bundesländer ans Umweltbundesamt und von dort qualitätsgesichert und normalisiert wöchentlich ans RKI für die Nutzung im RKI-Pandemieradar übermittelt.

Im Auftrag des Landeszentrum Gesundheit NRW für das Ministerium für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes Nordrhein Westfalen unterstützen EGLV, FiW und KGU das Land NRW bei der abwassertechnischen und virologischen Bewertung der in NRW vorliegenden Abwasserbefunde. Dazu werden regelmäßig Lageberichte und Grafikauswertungen erstellt und entsprechend der COVID-ready-Methodik die Datenauswertung der NRW-geförderten Standorte übernommen.

Besonders für die Wasserverbände erwächst bei der Anwendung eines regionsorientierten Abwassermonitorings hinsichtlich Umwelt- und Gesundheitsfragen eine wichtige Rolle in der städteübergreifenden Zusammenarbeit mit den Gesundheitsbehörden in der Datenbewertung und in der Abrundung des Lagebildes. Mittelfristig kann die abwasserbasierte Epidemiologie auch zum Nachweis anderer Pathogene im Abwasser weiterentwickelt werden.



AUFTRAGGEBER

Landeszentrum Gesundheit Nordrhein-Westfalen



Fördermittelgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Förderkennzeichen: 02WRS1621A-D

Projektträger

Projektträger Karlsruhe (PTKA)

Partner

Lippeverband (LV), Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen University (ISA); Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt, Institut für Medizinische Virologie des Universitätsklinikums Frankfurt (KGU)

Assoziierte Partner

QIAGEN GmbH; Endress+Hauser Conducta GmbH+Co. KG (in Zusammenarbeit mit dem Tochterunternehmen Analytik Jena)

Assoziierte Standorte

WVER, Niersverband und Wupperverband

Projektlaufzeit

Juni 2021 – April 2023

Auftraggeber

Landeszentrum Gesundheit NRW, FiW im Unterauftrag der Emschergenossenschaft

Projektlaufzeit

Okt. 2022 – März 2023

Ansprechpartner



Forschungsinstitut für Wasserwirtschaft und Klimazukunft an der RWTH Aachen e. V.

Dr. sc. Dipl.-Ing. Frank-Andreas Weber
weber@fiw.rwth-aachen.de

Dipl.-Ing. Daniel Bastian
bastian@fiw.rwth-aachen.de



Lippeverband

Dr.-Ing. Jens Schoth
schoth.jens@eglv.de



Universitätsklinikum Frankfurt am Main
Institut für Medizinische Virologie

PD Dr. rer. nat. habil. Marek Widera
marek.widera@kgu.de



Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen University

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Thomas Wintgens
wintgens@isa.rwth-aachen.de

AMPHORE – REGIONALES KLÄRSCHLAMM- UND ASCHE-MANAGEMENT ZUM PHOSPHOR-RECYCLING FÜR EINEN BALLUNGSRAUM

Im BMBF-Projekt AMPHORE entwickeln Partner ein langfristiges und tragfähiges Management- und Betriebskonzept über die gesamte Wertschöpfungskette des Phosphorrecyclings. Nach der erfolgreich abgeschlossenen ersten Projektphase beginnt Anfang 2023 der Bau einer großtechnischen Versuchsanlage zur Phosphor-Rückgewinnung im Projektgebiet.

Aufgrund der weltweit knappen Phosphaterz-Ressourcen und Deutschlands vollständiger Importabhängigkeit wurde im Jahr 2017 eine verbindliche Phosphor-(P-)Rückgewinnung in der Klärschlammverordnung verabschiedet. Kläranlagenbetreibende sind in Deutschland ab 2029 verpflichtet, dieses lebenswichtige und nicht-substituierbare Nährstoffelement aus Klärschlamm rückzugewinnen.

An dieser Herausforderung arbeitet das ISA im Projekt AMPHORE gemeinsam mit fünf Wasserverbänden in Nordrhein-Westfalen und weiteren Partnern aus Planung und Wissenschaft: die Entwicklung eines Lösungskonzepts zur P-Rückgewinnung für einen der größten und vielschichtigsten Ballungsräume in Deutschland bis 2026. Das Projektgebiet umfasst 139 Kläranlagen mit ca. 9% des deutschen Klärschlammanfalls und weist somit ein P-Rückgewinnungspotenzial von circa 4.700 t/a auf. Um dieses Potenzial zukünftig nutzen zu können, wird das nasschemische P-Rückgewinnungsverfahren PARFORCE in Bottrop als Pilotanlage etabliert. Im Rahmen des Projektes kann dadurch eine hochwertige Phosphorsäure aus Klärschlammasche erzeugt werden. Die Montage dieser Anlage, mit einer Kapazität von bis zu 1.000 Tonnen Asche pro Jahr, wird voraussichtlich im Frühjahr 2023 beginnen. Das ISA ist an dem BMBF-Verbundvorhaben

in mehreren Arbeitspaketen und mit dem Ruhrverband in der Projektleitung beteiligt. In der ersten Projektphase wurde vom ISA ein Klärschlamm (KS)- und Klärschlammasche (KSA)-Management erarbeitet. Hierzu wird auf Grundlage einer umfangreichen Datenbank aus erhobenen und gemessenen Daten ein Stoffstrommodell erstellt, welches die im Projektgebiet anfallenden KS und KSA quantitativ und qualitativ nachbildet. Dabei werden unterschiedliche Varianten für die Umsetzung der P-Rückgewinnung im Projektgebiet modelliert und bewertet. Sowohl zentrale als auch semi-zentrale Varianten durch Umverteilung der Klärschlämme auf verschiedene P-Rückgewinnungsanlagen werden in Betracht gezogen (Abb.). Mit den Varianten wird neben alternativen P-Rückgewinnungsverfahren auch die Möglichkeit geprüft, durch gezielte Maßnahmen die KS-Qualität zu verbessern und somit den Prozessaufwand für die Aufbereitung der KSA zu reduzieren. Eine mögliche Variante kann beispielsweise eine verbändeübergreifende Verteilung der Klärschlämme sein, um neben der KS-Qualität auch die Transportwege zwischen Kläranlagen und Verbrennungsanlagen zu optimieren. Abschließend sollen diese Varianten durch Projektpartner in unterschiedliche übergeordnete Szenarien integriert werden, um Kosten-Nutzen-Analysen zur wirtschaftlichen und ökologischen Bewertung durchzuführen.

In der zweiten Projektphase werden seitens des ISA die Vorbereitungen für Bau und Betrieb der großtechnischen Demonstrationsanlage zur P-Rückgewinnung aus KSA unterstützt. Bei der Inbetriebnahme sowie im Rahmen mehrerer Betriebsphasen wird das ISA die Anlage durch umfangreiche Untersuchungen wissenschaftlich begleiten. Die Untersuchungen zielen darauf ab, den Prozess für die im Projektgebiet anfallende KSA zu optimieren. Dazu gehört, dass sowohl Produkt als auch Nebenprodukte in möglichst hoher Qualität generiert und die Anlage mit den spezifischen Aschequalitäten möglichst effizient betrieben werden kann. Die Ergebnisse dieser Untersuchung werden auch im Kontext der Ergebnisse aus Phase 1 zu einer ganzheitlichen Bewertung des Gesamtkonzeptes genutzt werden. Schlussendlich soll das Projekt den Wasserverbänden als Grundlage für ein langfristiges, möglicherweise gemeinsames Konzept zum P-Recycling im Projektgebiet dienen und auf andere Regionen übertragbar sein.

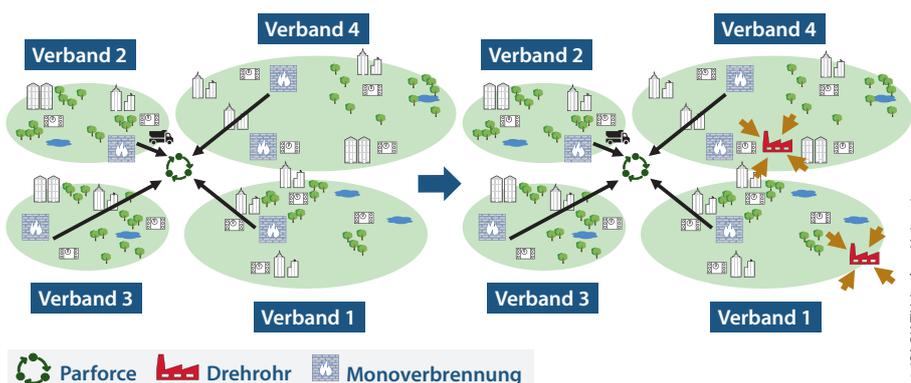
<https://www.bmbf-rephor.de/verbundprojekte/amphore>

GEFÖRDELT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

RePhoR
REGIONALES PHOSPHOR-RECYCLING



Zentrale und semi-zentrale Varianten für ein Klärschlamm- und Asche-Management

© ISA RWTH Aachen University

ISA | **RWTH AACHEN**
UNIVERSITY

**Institut für Siedlungswasserwirtschaft
der RWTH Aachen University**

Jan-Hendrik Ehm
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
ehm@isa.rwth-aachen.de

Hiep Le
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
le@isa.rwth-aachen.de

David Montag
Oberingenieur und
Leiter AG-Ressourcenmanagement
montag@isa.rwth-aachen.de



DYNAMISIERUNG VON ENERGIEANALYSEN AUF KLÄRANLAGEN ZUR KONTINUIERLICHEN OPTIMIERUNG DES ENERGETISCHEN ZUSTANDES

Bisher werden Energieanalysen für Kläranlagen (KA) nur alle 5 bis 10 Jahre durchgeführt. Praktische Erfahrungen der letzten Jahre ergaben, dass diese statische Herangehensweise den Erfordernissen der Zeit, v. a. durch die sprunghaft gestiegenen Energiepreise, nicht mehr genügt. Eine dynamischere Herangehensweise könnte dazu beitragen, den Energieverbrauch der Aggregate und Verfahrensstufen online zu überwachen, energetische Schwachstellen auf KA unmittelbar zu identifizieren sowie zeitnah Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz zu entwickeln.

Die Energieanalyse (EA) nach dem Arbeitsblatt DWA-A 216 gibt zwar eine einheitliche Methode an die Hand, um energetische Schwachstellen auf Kläranlagen zu identifizieren und Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz zu ermitteln. Diese statische Methode ist für die energetische Überwachung des laufenden Betriebes einer KA jedoch nicht geeignet, da hier in der Vergangenheit liegende Zeiträume betrachtet und bewertet werden. Als Alternative zur statischen Energieanalyse verspricht eine Online-Überwachung des Energieverbrauchs erhebliche Vorteile. Diese könnte dazu beitragen, den KA-Betrieb dauerhaft energetisch günstig zu gestalten. Insbesondere die kontinuierliche Ermittlung und Visualisierung

von automatisch generierten Kennzahlen eröffnet neue Möglichkeiten. Gleichzeitig wäre es damit auch möglich, schnell Informationen über Unregelmäßigkeiten des täglichen Energieverbrauchs und sich anbahnende negative Veränderungen an wichtigen Verfahrensschritten bzw. Aggregaten zu identifizieren.

In einem vom Umweltbundesamt geförderten Vorhaben wurde daher durch das FIW in Kooperation mit der Firma BitControl GmbH ein Vorhaben durchgeführt, bei dem verschiedene Ansätze für die Dynamisierung von Energieanalysen bzw. von Energiechecks und dazu notwendigen Kennzahlen näher untersucht wurden. Ziel des Projekts war es, konkrete

praxisnahe, technisch-methodische Ansätze zu entwickeln, die eine kontinuierliche und automatisiert arbeitende energetische Analyse von KA erlauben. Dafür wurden aussagekräftige Kennwerte und Idealwerte herausgearbeitet und an Praxisanlagen überprüft. Der Fokus lag hierbei auf unkompliziert zu messenden und einfach plausibilisierbaren Größen. Im Rahmen der Kennzahlenentwicklung wurde geprüft, welche der im Arbeitsblatt DWA-A 216 formulierten Kennzahlen sich für eine Dynamisierung bzw. die Anwendung bei deutlich verkürzten Betrachtungszeiträumen – Stunden, Tage, Wochen – eignen. Daraufaufgehend wurden neue Kennzahlen entwickelt, die nach verschiedenen Kriterien geordnet werden

können, z. B. in Anlehnung an das DWA-A 216 mit verkürzten Bezugszeiträumen. Weiterhin wurden sog. Relativkennzahlen, welche die Abweichung einer Kennzahl von einem definierten Startwert erkennen lassen, sowie viele Wärmekennzahlen entwickelt.

Die Überprüfung bzw. Plausibilisierung der Kennzahlen erfolgte anhand von vier ausgewählten KA: Asselbrunn, Kitzingen, Aachen-Eilendorf und Köln-Weiden. Zur Verifizierung wurden Praxisdaten herangezogen, mit denen eine Nachrechnung und Überprüfung der Kennwerte erfolgen konnte.

Neben den Kennzahlen wurden Lösungen für eine kontinuierliche Energieoptimierung auf Aggregatebene identifiziert, wie z. B. am Markt befindliche Systeme zur Belüftungssteuerung sowie innovative Pumpenlösungen, die Verzopfungen automatisch erkennen, selbsttätig beseitigen und somit die energetisch ungünstigen Betriebszeiten infolge Verzopfungen minimieren.

Bei Betrachtung der Kennzahlen zeigte sich, dass einige sehr interessante Aussagen liefern. Dazu zählen die nach DWA-A 216 auf Tageswerte bezogene modifizierte Kennzahl Gesamtenergieverbrauch e_{ges,t_x} , die Kennzahl e_{pW,t_x} , welche als Stundenwert Informationen zu sehr vielen Betriebspunkten in kurzer Zeit und über verschiedene Betriebszustände ermöglicht und die sog. Abweichungskennzahl Δt_{TS} , welche die Abweichung des tatsächlichen Schlammalters vom notwendigen beschreibt.

Neben den Kennzahlen, die den Strombedarf beschreiben, wurden auch sog. Wärmekennzahlen entwickelt. Es zeigte sich, dass der spezifische Gesamtstromverbrauch tagesscharf ein differenziertes Bild für die Kennzahl e_{ges,t_x} ergab und eine Referenzierung zu den betrieblichen Randbedingungen ermöglichte. Am Beispiel der KA Asselbrunn liegt die Schwankungsbreite e_{ges,t_x} zwischen 20 und 30 kWh/E-a, wobei die Nachvollziehbarkeit der Randbedingungen für die Identifikation von Optimierungsansätzen sehr nützlich ist.

Das Kennlinienfeld basierend auf der Kennzahl e_{pW,t_x} erlaubte am Beispiel eines Pumpwerks der KA Köln Weiden die Identifizierung von unnötigem Doppelbetrieb zweier Aggregate, gab Hinweise auf gänzlich ungeeignete Betriebspunkte und war Basis für die Auswahl besser geeigneter Aggregate. Anhand der Abweichungskennzahl Δt_{TS} wurden auf zwei KA lange Zeiträume identifiziert, in denen das tatsächliche Schlammalter weit vom Sollschlammalter abwich. Die Konsequenzen daraus werden in Abbildung 1 deutlich. Bei einem Schlammalter, das etwa 10 Tage über dem Sollschlammalter liegt, ist mit einem erhöhten Luftbedarf von 10 bis 15% zu rechnen. Diese zunächst relativ geringen Werte sind jedoch sehr relevant, aufgrund des hohen Anteils der Gebläse am Gesamtstrombedarf einer KA.

Die Wärmekennzahlen beschreiben u.a. die spezifischen Wärmebedarfe der wichtigsten Energieverbraucher, wie Faulung, Schlamm-trocknung und Gebäude. Damit wird eine

Differenzierung der Kennzahlen des Wärmebedarfs einer KA möglich. Es wurde sichtbar, dass der Gesamtwärmebedarf etwa in der Größenordnung des Gesamtstrombedarfs liegt, jedoch mit großen jahreszeitlichen Unterschieden. Allein die Beschäftigung mit dem Thema Wärme hat auf den KA dazu geführt, dass der Bedarf an fossilen Brennstoffen zur Wärmebereitstellung nahezu auf Null kWh bzw. 0 m³ Heizöl minimiert werden konnte.

Für die Darstellung der Messwerte und Kennzahlen erscheint es sinnvoll, verschiedene Darstellungsebenen zu nutzen. Dabei ist es notwendig, auf verschiedene Darstellungsformen zurückzugreifen, z. B. Signalfelder, klassische Liniendiagramme, aber auch Sankeydiagramme und Teppichdiagramme.

Die Implementierung von Elementen einer dynamischen Energieanalyse kann auch schrittweise erfolgen. Insbesondere für große KA ist es sinnvoll, eine Dynamisierung der Energieanalyse als verpflichtende Aufgabe zu formulieren, um die dortigen hohen Potenziale zeitnah zu heben. Die Früherkennung, automatisierte Erfassung und Verarbeitung der Energiedaten in Verbindung mit den Prozessdaten kann die Energieverbrauchsminderung im Alltagsbetrieb stärker verankern, lässt sehr viel früher energetische Defizite erkennen und ermöglicht, zeitnah Optimierungsmaßnahmen zu ergreifen.

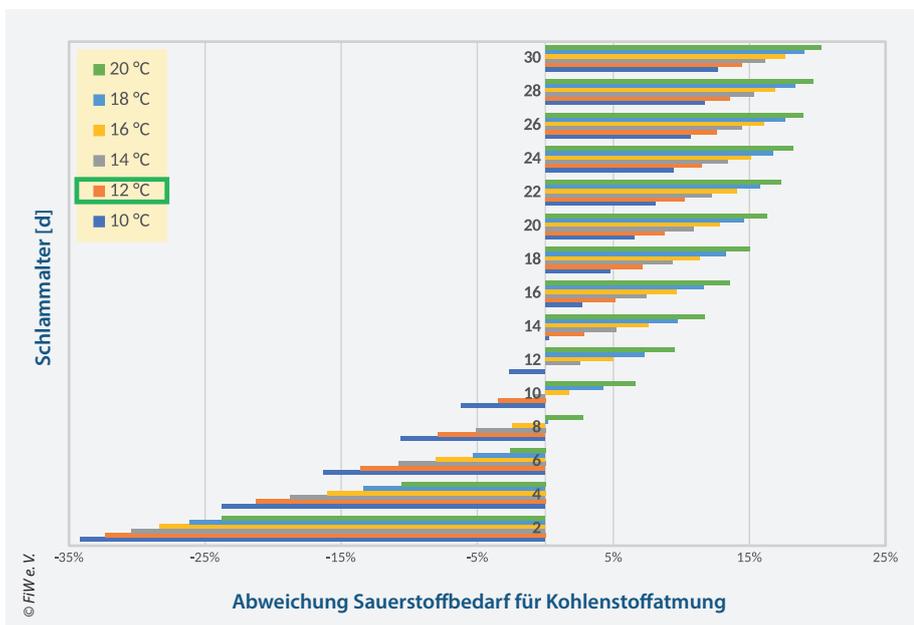


Abbildung 1: Beispiel einer relativen Abweichung des Sauerstoffverbrauches in Abhängigkeit von Δt_{TS} und T bei einem Bemessungsschlammalter von 12 d und 12 °C Wassertemperatur.

Gefördert vom



Forschungsinstitut für Wasserwirtschaft und Klimazukunft an der RWTH Aachen e. V.

Dr. Henry Riße
Senior Scientist
risse@fiw.rwth-aachen.de

Sofia Andrés-Zapata
Wissenschaftliche Mitarbeiterin
andres-zapata@fiw.rwth-aachen.de

SCHWIMMENDE CP-ANLAGEN – LABOR- UNTERSUCHUNGEN ZUR WEITERGEHENDEN ABWASSERBEHANDLUNG

Die bordseitige Behandlung von Schiffsabfällen und -abwässern ist ein elementarer Baustein einer nachhaltigen Binnenschifffahrt. Laboruntersuchungen zu weitergehenden Behandlungsstufen von Bilgenwässern konnten mittlerweile mit vielversprechenden Ergebnissen erfolgreich abgeschlossen werden.

Bilgenwasser ist ölhaltiges Schmutzwasser, das an Bord von Schiffen durch den Maschinenbetrieb entsteht. Die Entsorgung von Bilgenwasser aus Binnenschiffen erfolgt in Deutschland durch Bilgenentölungsboote, die die Schmutzwässer aus den Bilgen zu entsorgender Schiffe entnehmen und anschließend direkt bordseitig über Separatoren zur Ölabscheidung und einer sich anschließenden Ultrafiltration behandeln. Eine gesicherte Einhaltung von zulässigen CSB-Grenzwerten aufgrund ständig wechselnder Bilgenwasserzusammensetzungen stellt hierbei eine besondere Herausforderung dar. Im Auftrag des Bilgenentwässerungsverbandes der Binnenschifffahrt wurde im Rahmen eines Gemein-

schaftsprojekts von PIA und ISA daher zu weitergehenden Behandlungsmaßnahmen geforscht (vgl. hierzu acwa-Ausgabe 23).

Die Herangehensweise sah einen technologieoffenen Ansatz für chemisch-physikalische Behandlungsverfahren (CP-Anlagen) vor. In Laborversuchen wurden 15 unterschiedliche Verfahren bzw. Verfahrenskombinationen unter Anwendung von granulierter Aktivkohle (GAK), Oxidationsprozessen (Wasserstoffperoxid (H₂O₂)), katalysierter Oxidation (1,4,7-Triazacyclononan (TACN)/H₂O₂) und Perameisensäure (PAS), pH-Wert-Anpassungen bis hin zu Verdampfungsmaßnahmen untersucht. Das untersuchte Verfahrensspektrum mit im

Labor erreichten CSB-Eliminationsleistungen ist in kompakter Form in Tabelle 1 dargestellt.

Bereits mit den Einzelverfahren H₂O₂, TACN/H₂O₂ und GAK konnten CSB-Eliminationsgrade von circa 80% erzielt werden. Das beste Ergebnis war für das Kombinationsverfahren GAK + TACN feststellbar, bei dem knapp 84% des CSB reduziert wurde und somit nur eine geringfügig höhere Eliminationsleistung erzielt werden konnte. Maßnahmen zur pH-Anpassung führten zu keiner Verbesserung der CSB-Elimination. Eine thermische Behandlung hat sich mit einer CSB-Elimination von knapp 50% als nicht zielführend herausgestellt, da nur 50% des Bilgenwassers behandelt werden konnte und als Destillat anfiel.

Die Laboruntersuchungen haben gezeigt, dass durch eine adsorptive GAK-Nachbehandlung für verschiedene CSB-Zulaufkonzentrationen eine mehr als 80% ige Elimination des CSB erreicht werden kann. Mit diesem Wissen sind nun praxisorientierte Pilotversuche mit GAK-Filteranlagen an Bord eines Bilgenentölungsbootes im Rahmen einer weiteren Untersuchungsphase vorgesehen.

Tabelle 1: Untersuchte Verfahren mit erzielten Ergebnissen

GAK	TACN	H ₂ O ₂	UV	pH	Verdampfung	PAS	CSB [mg/l]	Eliminationsgrad [%]
							4.700	0
+	+		+	+			1.470	68,72
+	+			+			1.310	72,13
		+					1.175	75,00
		+	+				1.005	78,62
+		+					992	78,89
	+		+				985	79,04
	+						975	79,26
+	+		+				962	79,53
+							906	80,72
+	+						756	83,91
						+	16.700	-255,32
+						+	2.570	84,61 *
			+			+	15.000	-219,15
+			+			+	4.300	71,33 *
					+		2.625	44,15 **

■ Blindprobe ■ Kombiverfahren ■ Einzelverfahren

* Eliminationsgrad von GAK bezüglich erhöhtem CSB durch PAS

** Nur 50 % des Bilgenwassers konnte behandelt werden und fällt als Destillat an



**Prüf- und Entwicklungsinstitut für
Abwassertechnik an der RWTH Aachen e.V.**

Dipl.-Ing. Arndt Kaiser
Forschung & Entwicklung
kaiser@pia.rwth-aachen.de



**Institut für Siedlungswasserwirtschaft
der RWTH Aachen University**

Prof. Dr. Volker Linnemann
Projektleiter
linnemann@isa.rwth-aachen.de

AEROB GRANULIERTER SCHLAMM IM SBR – ERGEBNISSE AUS DEM PROJEKT MIKROPELLETS PHASE 1

Das übergeordnete Ziel des vom Land NRW geförderten Projekts Mikropellets ist die Integration von Verfahren zur Mikroschadstoffelimination in Verfahren mit aerob granuliertem Schlamm (AGS). In der ersten Projektphase konnte das AGS-Verfahren erfolgreich im Sequencing Batch Reactor (SBR) im Pilotmaßstab etabliert werden. Erste Ergebnisse zeigen, dass das Verfahren eine zukunftsorientierte Alternative zum konventionellen Belebtschlammverfahren ist, bei der Platz, Kosten und Energie eingespart werden können.

Projektziel

Die zentrale Forschungsfrage in der ersten Projektphase lag in der Entwicklung, Umsetzung und Optimierung von innovativen, patentfreien AGS-Verfahren sowohl im SBR am ISA der RWTH Aachen als auch in einem kontinuierlichen Prozess am LSU der Ruhr-Universität Bochum. Unterstützt wurde das Projekt zudem von der Hydro-Ingenieure GmbH, der atd GmbH und der Emschergenossenschaft.

Vorteile des AGS-Verfahrens

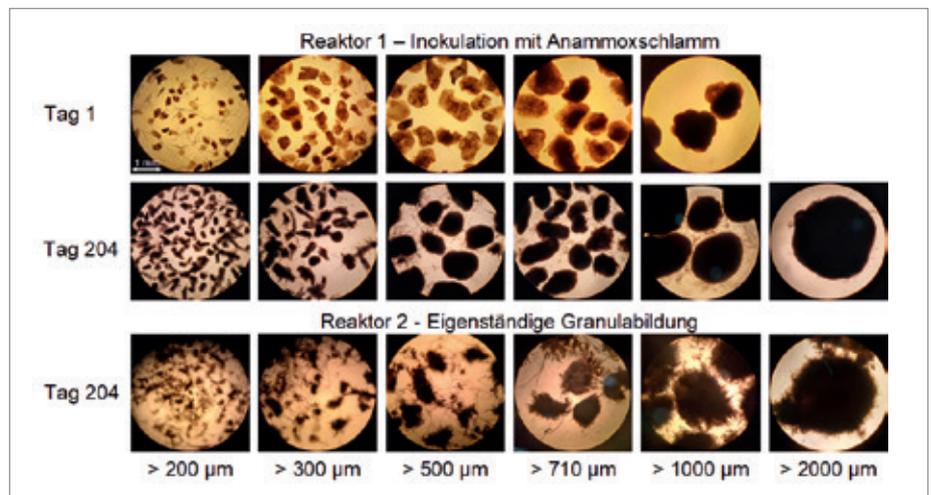
Aufgrund des höheren Trockensubstanzgehaltes und hervorragenden Absetzverhaltens können Platz, Kosten und Energie eingespart werden. Der Betrieb als SBR bietet zudem mehr Flexibilität und führt durch eine anaerobe Zyklusphase zu erhöhter biologischer Phosphorelimination und damit zur Reduktion des benötigten Fällmittels. Insbesondere in Anbetracht der Ressourcen und Flächenknappheit bietet sich das AGS-Verfahren für eine zukunftsorientierte Wasserwirtschaft an.

Durchführung

Im Rahmen der ersten Projektphase wurden durch das ISA drei SBR mit AGS auf der halbertechnischen (HTK) in Neuss betrieben. Einer der Reaktoren wurde als Anzuchtreaktor genutzt, während zwei weitere Reaktoren zur Untersuchung von Betriebseinflüssen eingesetzt wurden. Für den Anzuchtreaktor wurde Impfschlamm von Anammoxreaktoren verwendet, während in einem Versuchsreaktor die eigenständige Granulabildung aus Rohabwasser untersucht wurde. Im Anschluss wurden beide Versuchsreaktoren mit Impfschlamm aus dem Anzuchtreaktor befüllt und verschiedene Einstellungen getestet.

Projektergebnisse

Es konnten über mehrere Monate stabile Eliminationsleistungen von über 95 % für



Mikroskopische Aufnahmen der einzelnen Granulafractionen während der Inbetriebnahme.

Ammonium-Stickstoff, Ortho-Phosphat und AFS sowie über 90 % für CSB erreicht werden. Aus den Beobachtungen im Projekt lassen sich u.a. folgende Schlüsse ziehen:

- Inokulation mit Anammoxschlamm ist insbesondere großtechnisch zuverlässiger als die eigenständige Granulabildung,
- AGS ist im Gegensatz zu konventionellem Belebtschlamm robuster gegenüber Zulaufschwankungen,
- eine zeitlich angepasste Ruhephase sowie die Dauer, Menge und Höhe des Überschussschlammabzugs sind für den Selektionsdruck entscheidend,
- stärkere Zulaufströmungen erzeugen höhere Scherkräfte und steigern damit die Neubildung von Granula.

Ausblick

In der folgenden zweiten Projektphase soll einer der Versuchsreaktoren mit einer Ozonung ausgestattet werden. Durch die direkte

Integration der Mikroschadstoffelimination entfällt die Notwendigkeit einer weiteren nachgeschalteten Stufe, sodass auch hierbei ein deutliches Potential zur Flächeneinsparung bei verbesserter Ablaufqualität besteht.

GEFÖRDERT VOM

Ministerium für Umwelt,
Naturschutz und Verkehr
des Landes Nordrhein-Westfalen



**Institut für Siedlungswasserwirtschaft
der RWTH Aachen University**

**Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Thomas Wintgens**

Wissenschaftliche Leitung
sekretariat@isa.rwth-aachen.de

Dr.-Ing. Laurence Palmowski

Leitung Forschungsgruppe
Abwasserbehandlung
palmowski@isa.rwth-aachen.de

Kai Barbara Griebel

Projektbearbeiterin
griebel@isa.rwth-aachen.de

WASSERUNTERSUCHUNGEN AUF FLUSSKREUZFAHRTSCHIFFEN

© PIA GmbH

An die Trinkwasserversorgung und Abwasserableitung an Bord von Fahrgastbinnenschiffen bestehen sowohl aus hygienischer als auch umweltrechtlicher Sicht strenge Anforderungen. Die PIA GmbH wird zukünftig neben der Beprobung von Bordkläranlagen als anerkannter Technischer Dienst ebenfalls Trinkwasserbeprobungen als zugelassene Untersuchungsstelle anbieten.

Die PIA GmbH ist von der Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt als Technischer Dienst für die Zulassung von Anlagen zur Abwasserbehandlung an Bord von Fahrgastbinnenschiffen anerkannt. Neben der Baumusterprüfung gemäß den Vorgaben im Europäischen Standard der technischen Vorschriften für Binnenschiffe (ES-TRIN) beinhaltet dies auch die Beprobung der Bordkläranlagen im laufenden Betrieb zum Nachweis der vorgegebenen Ablaufgrenzwerte (siehe Tabelle 1). Nachdem durch die Corona-Pandemie bedingt der Betrieb von Flusskreuzfahrtschiffen zum größten Teil zum Erliegen gekommen war, konnten im Jahr 2022 bereits wieder über 150 Beprobungen von Bordkläranlagen durchgeführt werden.

Tabelle 1 Ablaufgrenzwerte Bordkläranlagen

Parameter	Konzentration
BSB ₅	25 mg/l
CSB	125 mg/l
TOC	45 mg/l

Neben den Anforderungen an die Ablaufqualität des behandelten Abwassers im Hinblick auf den Gewässerschutz werden auch an die Qualität des Trinkwassers hohe Anforderungen gestellt. Die Qualität des Trinkwassers wird in Deutschland in der Trinkwasserverordnung (TrinkwV) gesetzlich geregelt. Neben den Vorgaben der TrinkwV sind in zusätzlichen Leitlinien, Empfehlungen und Regelwerken weitere Anforderungen definiert. Gemäß

TrinkwV §3 Absatz 2d umfassen Wasserversorgungsanlagen auch mobile Anlagen an Bord von Wasserfahrzeugen.

Tabelle 2 Untersuchungsparameter am Zapfhahn des Verbrauchers gemäß TrinkwV

Parameter	Einheit	Grenzwert
Koloniezahl bei 22°C	1/ml	100
Koloniezahl bei 36°C	1/ml	100
E.coli	1/100 ml	0
Coliforme Keime	1/100 ml	0
Legionellen	KBE/100 ml	100

Zum Schutz der Gesundheit der Fahrgäste und der Besatzung sollten Trinkwasser-Versorgungsanlagen an Bord mit Einrichtungen zum Erhalt der Trinkwassergüte versehen werden. Zudem muss die hygienische Qualität des Trinkwassers regelmäßig überprüft werden und z. B. mikrobiologischen Anforderungen genügen (siehe Tabelle 2). Die erforderlichen Untersuchungen des Trinkwassers einschließlich der Probenahmen dürfen nur von dafür von den zuständigen obersten Landesbehörden zugelassenen Untersuchungsstellen durchgeführt werden. Das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) ist für NRW die von der obersten Landesbehörde „benannte Stelle“ gem. § 15 TrinkwV. In dieser Funktion erteilt das LANUV Zulassungen für Trinkwasseruntersuchungsstellen nach Prüfung der entsprechenden Voraussetzungen. Voraussetzung für die Beantragung einer Zulassung

ist die Vorlage einer gültigen Akkreditierung nach DIN EN ISO 17025 für die beantragten Untersuchungsparameter im Trinkwasser. Darüber hinaus sind regelmäßige erfolgreiche Ringversuchsteilnahmen für die zugelassenen Parameter nachzuweisen.

Für die Durchführung der Untersuchungen wird von den Betreibern der Flusskreuzfahrtschiffe ein hohes Maß an Flexibilität und Mobilität verlangt, was die üblichen zugelassenen Untersuchungsstellen oftmals vor Herausforderungen stellt. Daher wird die PIA GmbH die Beprobung von Wasserversorgungsanlagen auf Flusskreuzfahrtschiffen zukünftig in ihr Leistungsangebot mit aufnehmen und befindet sich aktuell im Zulassungsverfahren durch das LANUV und der notwendigen Erweiterung des Akkreditierungsumfanges durch die Deutsche Akkreditierungsstelle (DAKKS).



**PIA – Prüfinstitut für
Abwassertechnik GmbH**

Dipl.-Ing. Markus Joswig
Abteilungsleiter Marine Services
m.joswig@pia-gmbh.com

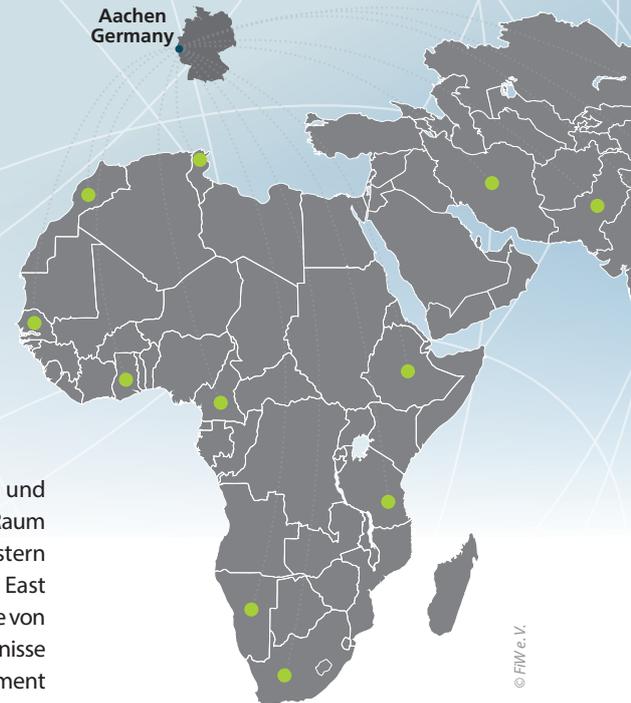
Dipl.-Ing. Toni Rieger
Stellvertretende Abteilungsleiterin
Marine Services
t.rieger@pia-gmbh.com

FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG IN AFRIKA

Im Bereich Internationale Zusammenarbeit (IZ) und Capacity Development am FiW werden Forschungs- und Entwicklungsprojekte zur Verbesserung der Wasser- und Ernährungssicherheit, der Ressourceneffizienz und zur Minderung der Auswirkungen des Klimawandels bearbeitet. Ein Rückblick und Ausblick auf über zwanzig Projektreisen des Teams IZ in den letzten zwei Jahren.

In Tunesien und Marokko werden Projekte zur Verbesserung der Nahrungsmittelsicherheit und Klärschlammverwertung durchgeführt. Potentiale zeigen sich im Bereich Wasserwiederverwendung und die Nutzung von Hydrogelen in der Landwirtschaft. Aufgrund des Klimawandels werden auch Extremereignisse wie Dürren und Starkregenereignisse häufiger. Deswegen entwickeln wir mit unseren Partnern Frühwarnsysteme für Pilotgebiete in Ghana und Katastrophenschutzkonzepte, wie eine verbesserte Notwasserversorgung für Standorte in Kamerun. Eines der überflutungsgefährdeten Gebiete ist ein Stadtteil der Hauptstadt Jaunde, in welchem viele Flüchtlinge unter sehr prekären Verhältnissen leben. Wie das Wasserinfrastrukturmanagement verbessert

werden kann, erforschen wir in Namibia und Südafrika. In Namibia steht der ländliche Raum im Fokus, während wir in der Region Eastern Cape Metropolregionen untersuchen. In East London werden wir auf dem Werksgelände von Mercedes-Benz Südafrika die ersten Ergebnisse zum Thema Wasserinfrastrukturmanagement vorstellen. In Tansania bildeten wir erfolgreich WASH-Trainer*innen aus. Wir freuen uns sehr, im neuen Jahr mit Senegal und Botswana in zwei weiteren Ländern aktiv werden zu können.



© FiW e. V.



Forschungsinstitut für Wasserwirtschaft und Klimazukunft an der RWTH Aachen e. V.

Dipl.-Ing. Manuel Krauß
Bereichsleiter IZ
krauss@fiw.rwth-aachen.de



STOPUP – EU-PROJEKT UNTER DER KOORDINATION DES ISA BEWILLIGT

Das Projekt StopUP befasst sich mit der Schadstoffcharakterisierung städtischer Abflüsse, um technische Lösungen für den Schadstoffrückhalt zum Schutz der aquatischen Umwelt angemessen anzupassen.

Seit dem 1. September 2022 koordiniert das Institut für Siedlungswasserwirtschaft (ISA) das EU-Projekt StopUP: „Stop urban pollution – Protecting the aquatic environment from urban runoff pollution“. Das Projekt wird im Rahmen des Forschungs- und Innovationsprogramms Horizon Europe mit 3,7 Millionen Euro gefördert. Das Projektkonsortium setzt sich aus 11 internationalen Partnern (9 Begünstigte und 2 Assoziierte) aus Deutschland (RWTH, ATD), Belgien (Aquaflin, Fluves), den Niederlanden (Tauf, Aqua Aurora), Italien (Unibo), Norwegen (NTNU), der Schweiz (FHNW), dem Vereinigten Königreich (HR-Wallingford) und Tunesien (ISSBAT de

Tunis) zusammen. In sechs Arbeitspaketen werden neben der Schadstoffcharakterisierung und -modellierung, technische Schutzmaßnahmen zur Risikominimierung für ein ganzheitliches Management städtischer Abflüsse entwickelt. Hierfür gibt es insgesamt sechs Anwendungsbeispiele in Aachen (DE), Bologna (IT), Birsfelden (CH), Berchem und Wetteren (BE), Trondheim (NO) und Tunis (TN). StopUP zielt darauf ab, neue Methoden, Informationen, Werkzeuge und Anleitungen zu entwickeln, um die Auswirkungen der diffusen städtischen Verschmutzung effektiver zu begrenzen. Solche Lösungen müssen den fallspezifischen Kontext berücksichtigen, einschließlich Geographie, Klima, Landnutzung und Fließgewässer, in die eingeleitet wird.

FÖRDERUNG



Dieses Projekt wird von der EUROPÄISCHEN UNION im Rahmen des Forschungs- und Innovationsprogramms Horizon Europe unter der Fördervereinbarung Nr. 101060428 gefördert.



Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen University

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Thomas Wintgens
Projektkoordinator
wintgens@isa.rwth-aachen.de

Dr. rer. nat. Simone Lechthaler
Projektleitung
lechthaler@isa.rwth-aachen.de

DAS FiW VERABSCHIEDET SEINEN LANGJÄHRIGEN VORSTANDSVORSITZENDEN HERRN DR. EMANUEL GRÜN

Einen ganz wichtigen Weggefährten haben wir im Rahmen des FiW-Forums am 01.12.22 in den Ruhestand verabschiedet: Herr Dr. Emanuel Grün hat vor 10 Jahren den Vorstandsvorsitz des FiW-Trägervereins von Herrn Prof. Bode übernommen, zuvor war er bereits als Vorsitzender des Forschungsbeirates 3 Jahre für uns

aktiv. Herr Dr. Grün hat das FiW intensiv begleitet und mit sehr viel Engagement unterstützt. Er hat mit uns Höhen und Tiefen durchlebt, hat uns beraten, angetrieben und sich für uns eingesetzt. Das hätten wir uns in dieser Zeit nicht besser vorstellen können – wir sagen ganz herzlich: DANKE lieber Herr Dr. Grün.

Die Pressemitteilung zur offiziellen Verabschiedung von Herrn Dr. Grün auf der Zeche Zollverein in Essen nach fast 17 Jahren als Technischer Vorstand von EGLV lesen Sie hier:



VERANSTALTUNGEN

56. ESSENER TAGUNG für Wasserwirtschaft

7. – 9. März 2023 | Eurogress Aachen
www.essenertagung.de
Ansprechpartnerin:
Dr. Verena Kölling
et@isa.rwth-aachen.de

Statuskonferenz der BMBF-Fördermaßnahme RePhoR

3./4. Mai 2023 | DECHEMA-Haus Frankfurt am Main
www.bmbf-rephor.de
Ansprechpartnerin:
Sophia Schüller, M.Sc.
transphor@fiw.rwth-aachen.de

21. Kölner Kanal und Kläranlagen Kolloquium

12./13. Juni 2023 | Maternushaus Köln
www.kanalkolloquium.de
Ansprechpartner:
Dr. Michael Krumm
krumm@isa.rwth-aachen.de

15. Aachener Tagung Wassertechnologie

25./26. Oktober 2023 | Eurogress Aachen
www.avt.rwth-aachen.de/ATW
Ansprechpartner:
Dr. Michael Krumm
krumm@isa.rwth-aachen.de

35. Aachener Kolloquium für Abfall und Ressourcenwirtschaft

30. November 2023 | Aachen
www.aka-ac.de
Ansprechpartnerin:
Dr. Verena Kölling
et@isa.rwth-aachen.de

57. ESSENER TAGUNG für Wasserwirtschaft

6. – 8. März 2024 | Messe Essen
www.essenertagung.de
Ansprechpartnerin:
Dr. Verena Kölling
et@isa.rwth-aachen.de

IFAT 2024

Weltleitmesse für Wasser-, Abwasser-, Abfall- und Rohstoffwirtschaft
13. – 17. Mai 2024 | Messe München
<https://ifat.de/de/>

IMPRESSUM

Herausgeber:

acwa – Aachen Wasser
ISA – Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen University
www.isa.rwth-aachen.de

FiW – Forschungsinstitut für Wasserwirtschaft und Klimazukunft an der RWTH Aachen e.V.
www.fiw.rwth-aachen.de

PIA – Prüf- und Entwicklungsinstitut für Abwassertechnik an der RWTH Aachen e.V.
www.pia.rwth-aachen.de

Verantwortlich:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Wintgens
isa@isa.rwth-aachen.de

Redaktion:

Dr.-Ing. Regina Haußmann
hausmann@isa.rwth-aachen.de
Dr.-Ing. Natalie Palm
palm@fiw.rwth-aachen.de

Layout:

design@fiw.rwth-aachen.de

Druck:

DEUTMANN
Konzept – Grafik – Druck – Service
www.deutmann.de

www.acwa.ac