

Vom Trinkwasser zum Klärschlamm – Vom Notfall zur Energiewende

Symposium mit Beiträgen zur Erhöhung der Resilienz in der Siedlungswasserwirtschaft

Christian Schaum, Steffen Krause, Eva Gega, Marcel Hagen, Christian Hubert, Elena Joel, Nora Pankow, Anastasia Ruf, Bettina Steiniger (Neubiberg)

Im Rahmen des Symposiums „Vom Trinkwasser zum Klärschlamm – Vom Notfall zur Energiewende“ am 18. und 19. Oktober 2023 in Neubiberg an der Universität der Bundeswehr München wurden aktuelle Beiträge zur Erhöhung der Resilienz in der Siedlungswasserwirtschaft präsentiert und diskutiert. Einen besonderen Fokus hatten Themen und Ergebnisse der Forschungsprojekte NOWATER „Notfallvorsorgeplanung der Wasserver- und -entsorgung von Einrichtungen des Gesundheitswesens – organisatorische und technische Lösungsstrategien zur Erhöhung der Resilienz“, FLXsynErgy „Flexible und vollenergetische Nutzung biogener Rest- und Abfallstoffe: Faulungen und Biogasanlagen als Energieverbraucher, -speicher und -erzeuger“ sowie RISK.twin „Intelligente kritische technische Infrastruktur, Von der Realität zum hybriden digitalen Zwilling“. Die Veranstaltung zeigte eindrücklich die enge Zusammenarbeit der unterschiedlichen Fachdisziplinen im Bereich der Siedlungswasserwirtschaft. Insbesondere als Bestandteil der Kritischen Infrastruktur kommt die Siedlungswasserwirtschaft der Herausforderung nach, die notwendige Resilienz für die Bereitstellung, Ableitung und Behandlung von Wasser sicherzustellen.

Die Siedlungswasserwirtschaft als Kritische Infrastruktur

Ist es sinnvoll, Trinkwasser und Abwasser in einer Veranstaltung zusammenzuführen? Welche Chancen und Herausforderungen bestehen? Wie kann die Resilienz erhöht werden?



Abb. 1: (v. l. n. r.) Steffen Krause, Martin Grambow und Christian Schaum (Foto: UniBW M/Siebold)

Wenngleich die Themen sehr unterschiedlich erscheinen, so sind diese dennoch eng miteinander verknüpft. Die Bereitstellung von Trinkwasser steht am Anfang der Siedlungswasserwirtschaft. Am Ende hingegen steht der Klärschlamm als ein „Nebenprodukt“ der Abwasserbehandlung, der als Ressource wie auch als Schadstoffsenke dient. Die Siedlungswasserwirtschaft ist Bestandteil der Kritischen Infrastruktur, das heißt von wesentlicher Bedeutung für die Aufrechterhaltung wichtiger gesellschaftlicher Funktionen, der Gesundheit, der Sicherheit und des wirtschaftlichen oder sozialen Wohlergehens der Bevölkerung. Ihre Störung oder Zerstörung hat erhebliche Auswirkungen [1]. Die vergangenen Monate haben insbesondere am Beispiel des Krieges gegen die Ukraine eindrücklich gezeigt, wie wichtig der Schutz dieser Infrastruktur ist.

Speziell mit diesen Themen beschäftigten sich Expertinnen und Experten aus Wissenschaft, Behörde und Praxis im Rahmen des Symposiums inklusive der Fachausstellung. Diese zweitägige Veranstaltung wurde von der Professur für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik zusammen mit dem Institut für Technik Intelligenter Systeme e.V. (ITIS) der Universität der Bundeswehr München (UniBW M) in Abstimmung mit der DVGW-Landesgruppe Bayern, dem DWA-Landesverband Bayern sowie dem Umweltcluster Bayern organisiert.

Notwasserver- und -entsorgung – Herausforderungen und Chancen

Der erste Veranstaltungstag war verschiedenen Aspekten einer gesicherten Wasserversorgung gewidmet. Im einleitenden Fachbeitrag mit dem Titel „Resili-



Abb. 2: Wasserzukunft Bayern 2050 [2]

enz der bayerischen Wasserwirtschaft“ machte Ministerialdirigent Prof. Dr.-Ing. Martin Grambow (Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz, Abbildung 1) eindringlich auf die seit Jahren sinkenden Grundwasserstände in einigen Regionen Bayerns aufmerksam.

Er betonte mit Blick auf die zunehmende Trockenheit und Hitze, dass „Schatten die neue Währung“ ist. Im zweiten Teil seines Vortrags legte Prof. Grambow dar, dass nicht nur Trends in der Umwelt beobachtet, sondern auch Handlungsoptionen erarbeitet werden. So stellte er die verschiedenen Aktionsfelder der von der bayerischen Wasserwirtschaftsverwaltung entwickelten Strategie „Wasserzukunft Bayern 2050“ gemäß Abbildung 2 vor. Im Fokus steht „der Mensch in seiner Umwelt“ für eine sichere Wasserzukunft für Bayern in allen wasserwirtschaftlichen Belangen. Dies erfordert die Entwicklung einer integralen Gesamtstrategie im Anthro-

pöze. Die Strategie umfasst unter dem Titel „Pro Gewässer 2030“ Maßnahmen zur ganzheitlichen Betrachtung der Gewässer und zur Anpassung an den Klimawandel („Hochwasser und Sturzfluten“). Unter dem Titel „Wassersicherheit“ werden erforderliche Schritte zum Umgang mit Trockenheit und Maßnahmen zur Verbesserung der Wasserqualität entwickelt [2].

Durch die Umsetzung dieser Maßnahmen und das Handeln der mehr als 2300 bayerischen Wasserversorgungsunternehmen wird ein wichtiger Beitrag geleistet, dass die bislang gewohnte Versorgungssicherheit – auch unter den Auswirkungen des Klimawandels – sichergestellt werden kann.

Die Wasserversorgungsunternehmen beziehen Einrichtungen der Gesundheitsfürsorge unter dem Begriff der „sensiblen Einrichtungen“ in ihr Risikomanagement und die entsprechenden Maßnahmenpläne mit ein. Doch was passiert, wenn tatsächlich ein Krankenhaus nicht mehr leitungsgebunden mit Trinkwasser versorgt werden kann? Diesem Thema widmeten sich die drei folgenden Vorträge, in denen aktuelle Forschungsergebnisse des Projekts NOWATER präsentiert wurden. Dieses Projekt wird im Rahmen der Fördermaßnahme „Zivile Sicherheit – Sozioökonomische und soziokulturelle Infrastrukturen“ durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert. PD Dr. med. Bernhard Jahn-Mühl (Agaplesion gAG) zeigte sehr eindrücklich die Notwendigkeit, die Auswirkungen eines Ausfalls der Wasserver- und -entsorgung in Einrichtungen des Gesundheitswesens detailliert zu untersuchen. Diverse medizinische Prozeduren von der Diagnostik

(Computer-/Magnetresonanztomographie) über Interventionen (Operationen, Dialyse) bis hin zur Infrastruktur (Reinigungs-/Desinfektionsgeräte) weisen eine hohe Abhängigkeit von Wasser auf. Dabei ist die jeweilige Anwendung an eine bestimmte Wasserqualität (Trinkwasser, vollentsalztes Wasser) gebunden, vgl. [3]. Neben der Wasserqualität ist auch die Bereitstellung der erforderlichen Quantität von hoher Bedeutung. Im Rahmen von NOWATER wurden hierzu systematische Messungen durchgeführt. Diese Ergebnisse stellen eine wertvolle Ergänzung der bislang im technischen Regelwerk verfügbaren Planungsgrundlagen dar. Ein Auszug der Ergebnisse ist in Tabelle 1 dargestellt.

Im Rahmen von NOWATER wurden durch die Firmen teckons GmbH & Co KG und Strecker Wassertechnik GmbH technische Möglichkeiten für den Aufbau einer Ersatz- oder Notwasserversorgung in Form eines Demonstrators entwickelt, der durch die UniBw M in umfangreichen Tests erprobt wurde. Der Demonstrator besteht aus Transportsystemen (1 und 10 m³ Transportbehälter), einer Anlage zur Wasseraufbereitung mittels Ultrafiltration sowie Optionen zur Desinfektion und Druckerhöhung. Die Leistungsmerkmale dieser Systeme und die Ergebnisse der Erprobung waren Inhalt des Vortrags von Elena Joel (UniBw M), vgl. Abbildung 3.

Die Bedeutung der organisatorischen Aspekte der Wasserversorgungssicherheit verdeutlichte der Vortrag von Prof. Dr.-Ing. Alexander Fekete und Manuel Geiger (beide TH Köln). Sie präsentierten organisatorische Lösungen zur Erhöhung der Resilienz in Einrichtungen des Gesundheitswesens, die sowohl präventive

Objekt	Charakteristika	Spezifischer Wasserbedarf
Bettenhaus mit Intensivstation und AEMP	340 Betten Normalstation, 18 Betten auf Intensivstation AEMP: 30 000 STE/Jahr	257 L/(Bett · Tag) 525 L/(Patient · Tag)
Psychiatrie	204 Betten, davon 70 Tagesklinik	64 L/(Bett · Tag) 140 L/(Patient · Tag)
AEMP	AEMP: 30 000 STE/Jahr sechs Reinigungs- und Desinfektionsgeräte, eine Containerwaschanlage, zwei Dampf- und ein ein Plasmasterilisator	482 L/STE enthärtetes Wasser: 310 L/STE
OP	zwölf OP-Säle, 6800 Operationen/Jahr	201 L/OP 3 L/min (Schnitt-Naht-Zeit)
Dialyse	zwölf Patienten pro Tag	712 L/(Patient · Tag)

Tabelle 1: Ergebnisse (Auszug) der Messungen zum Wasserbedarf ausgewählter Krankenhausbereiche, Aufbereitungseinheit für Medizinprodukte (AEMP), Sterilguteinheit (STE), vgl. [4]



Abb. 3: Präsentation der NOWATER Wassertransport- und -speicherbehälter. (Foto: UniBw M/Siebold)

als auch vorbereitende Maßnahmen umfassen. Das vorgestellte Konzept für die Aufbau- und Ablauforganisation zur Krisenbewältigung wird durch ein entsprechendes Übungskonzept ergänzt, das ebenfalls im Rahmen von NOWATER erarbeitet wurde. Alle Ergebnisse des Projekts NOWATER fließen in einen Leitfaden zur Notwasserver- und -entsorgung für Einrichtungen der Gesundheitsfürsorge ein, der im ersten Quartal 2024 veröffentlicht wird.

Wie sieht eine Krisenbewältigung in der Praxis aus? Dirk Weber (Eigenbetriebe Wasser und Abwasser Bad Neuenahr-Ahrweiler) und Bernd Hartung (ehemals Gelsenwasser AG, im Ahrtal im Einsatz über die Plattform „Energie.Wasser.Hilft“ von BDEW und DVGW) zeigten anhand erschütternder Bilder, welche unvorstellbaren Schäden die Katastrophe im Ahrtal

an der Ver- und Entsorgungsstruktur ausgerichtet hat. Die präsentierte Analyse des Krisenverlaufs und der Krisenbewältigung machte deutlich, welche hervorragende Unterstützung Freiwillige und Einsatzkräfte geleistet haben, aber auch, wo das Zusammenspiel der verschiedenen Akteure verbessert werden kann. Das größte Problem bei der Wiederherstellung der Infrastruktur sehen beide Referenten im Mangel an Fachpersonal. Die verfügbaren Ressourcen des Technischen Hilfswerks (THW) zur Unterstützung bayerischer Wasserversorgungsunternehmen stellte Jörg Rönnau (Technisches Hilfswerk – Ostverband Starnberg) in seinem Vortrag „Einsatz des THW bei der Notwasserversorgung bayerischer Kommunen“ vor. Er informierte anschaulich über die Ausrüstung und technischen Möglichkeiten, zeigte

Einsatzbeispiele und erläuterte die Anforderungswege für einen Einsatz des THW in unterschiedlichen Szenarien.

Einen Blick auf die Aktivitäten des Bundes bei der Umsetzung nationaler und internationaler Richtlinien zur Erhöhung der Resilienz im Bereich KRITIS ermöglichte der Vortrag Dr. Ina Wienand (Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe). Sie analysierte zunächst die aktuellen und zu erwartenden Risiken aus den Bereichen Klimawandel, IT-Sicherheit und Stromversorgung. Sie erläuterte, wie die Forderung nach Resilienz und einem Risikomanagement in der Wasserversorgung im Rahmen verschiedener rechtlicher Vorgaben verankert ist. Dass eine unternehmensspezifische Risikoanalyse nicht nur eine Pflicht, sondern das geeignete Werkzeug zur Identifikation geeigneter Maßnahmen ist, machte Dr. Wienand am Ende ihres Vortrags deutlich.

RISK.twin – Schutz Kritischer Infrastrukturen

Wie der Prozess der Digitalisierung, der Einsatz von Digitalen Zwillingen und die Modellierung die Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen unterstützen können, zeigte der Vortrag von Nora Pankow (UniBw M). Als Grundlage für verbesserte Anpassungsmaßnahmen muss das Verständnis von möglichen Risiken auf Kläranlagen erhöht werden [5]. Im Forschungsprojekt RISK.twin wird eine innovative Versuchskläranlage auf dem Campus betrieben. Sie bietet als Versuchs- und Demonstrationsanlage zur Abwasserbehandlung unter anderem die Möglichkeit, verschiedene Stressoren und deren Systemreaktion zu testen.



Abb. 4: Links: Christian Schaum stellte die neue innovative RISK.twin-Versuchskläranlage auf dem Campus der UniBw M vor. (Foto: UniBw M/Siebold), Rechts: Einblick die Versuchskläranlage

RISK.twin wird durch dtec.bw – Zentrum für Digitalisierungs- und Technologieforschung der Bundeswehr gefördert und von der Europäischen Union – Next-GenerationEU finanziert. Im Anschluss an den Vortrag hatten die Teilnehmenden die Gelegenheit, die Versuchskläranlage (Abbildung 4) bei einer Campustour zu besichtigen. Ebenso, wie in Abbildung 3 zu sehen, waren die zu Forschungszwecken im Projekt NOWATER eingesetzten Wassertransport- und -speicherbehälter zur Besichtigung auf dem Campus ausgestellt. Ein weiterer Besichtigungsort war das Technikum der Professur für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik. Die dort installierten Faulbehälter gaben einen Ausblick auf die Themen des Folgetages.

Der Tag wurde durch eine festliche Abendveranstaltung zur Einweihung der neuen Versuchsanlagen mit Grußworten von Vizepräsident Prof. Dr.-Ing. Geralt Siebert (UniBw M), Prof. Dr.-Ing. Thomas Braml (Dekan der Fakultät für Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften an der UniBw M), Robert Scherer (Geschäftsführer Landesgruppe DVGW Bayern), Dr.-Ing. Bernhard Böhm (Vorsitzender DWA Landesverband Bayern) und Dr. Stephanie Kauf-Schraml (Vorstandsvorsitzende Umweltcluster Bayern) abgerundet. Die Wichtigkeit der Forschung zum Schutz Kritischer Infrastrukturen auch in Bezug auf den Transfer in die Praxis war ein zentrales Thema der Gastredner.

Die Kläranlage als Baustein für die Energiewende?

Die Abwasserwirtschaft steht kurz- und mittelfristig vor enormen Aufgaben, wie beispielsweise den Auswirkungen des Klimawandels (Starkregenereignisse,

Überflutungen, Niedrigwasser, Dürre), die Umsetzung der Anforderungen an eine weitergehende Abwasserbehandlung durch eine 4. Reinigungsstufe (Revision der EU Kommunalabwasser-Richtlinie), den Herausforderungen im Bereich der Klärschlammverwertung und der Ressourcenverfügbarkeit (Phosphorrückgewinnung, Energie, CO₂-Neutralität) sowie die fortlaufende Digitalisierung mit den Chancen und Risiken (Cybersicherheit). Prof. Dr.-Ing. Torsten Frehmann (Emschergenossenschaft und Lippverband) führte in seinem Vortrag „Abwasser- und Klärschlammbehandlung – aktuelle und zukünftige Herausforderungen“ diese Themen auf und zeigte am Beispiel des Einzugsgebietes der Emschergenossenschaft und des Lippverbandes eindrücklich die Herausforderung, welche die einzelnen Themenfelder für den Verband mit sich bringen, sowie die abgeleiteten Lösungsansätze und Konzepte. Hier gilt es zukünftig, von technologischen Innovationen zu profitieren und diese im Rahmen von anstehenden Reinvestitionen umzusetzen.

Die Herausforderungen bei der Umsetzung von Maßnahmen zeigte eindrücklich Cristina Pop (Straubinger Stadtentwässerung und Straßenreinigung) am Beispiel der Realisierung einer Klärschlammmonoverbrennungsanlage. Der Bau der Monoverbrennungsanlage am Standort Straubing als zentrales Element einer zukunftsfähigen Klärschlammverwertung und als Maßnahme, eine Unabhängigkeit von volatilen Marktpreisen für die Klärschlammverwertung zu erzielen, ist weniger von technischen Fragestellungen geprägt als viel mehr von gesellschaftlichen und politischen Aspekten. Hierbei wird sehr deutlich, dass eine intensive Öffentlich-

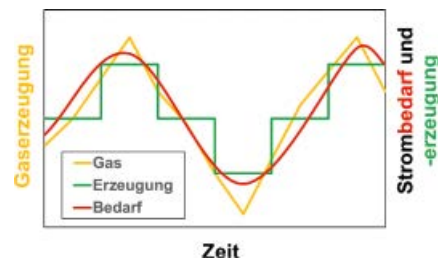


Abb. 5: Flexibilisierung der Faulgaserzeugung mit dem Ziel einer bedarfsgerechten Stromerzeugung

keitsarbeit bei der Umsetzung von Großprojekten unentbehrlich ist.

Die drei folgenden Präsentationen zeigten Forschungsergebnisse von FLXsynErgy, gefördert im Rahmen des 7. Energieforschungsprogramms durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. Dass die Klärschlammbehandlung einen Beitrag zur Sicherung der Energieversorgung leisten kann, zeigte der gemeinsame Vortrag von Christian Hubert und Bettina Steiniger (beide UniBw M) über die Flexibilisierung des Betriebs der Faulung. Eine am Energiebedarf orientierte Substratzugabe ermöglicht auf Kläranlagen einen Ausgleich von Strombedarf und -erzeugung. Dies führt in der weiteren Konsequenz zu einer höheren Eigenstromnutzung (Abbildung 5). Um vor allem an Wochenenden fehlende Co-Substratanlieferungen zu kompensieren, sind Substratspeicher notwendig. Zudem können einfache Methoden zur Prognose der anfallenden Gasmengen die bedarfsorientierte Faulgaserzeugung fördern (vgl. [6]). Doch auch wenn kurzzeitig höhere CSB-Frachten infolge von Co-Substraten der Faulung zugegeben werden können, so behalten einschlägige Regelwerke für längere Zeithorizonte weiterhin ihre Geltung.

Geruchsbehandlung / Abluftbehandlung

NEUTRALOX® - Photoionisation

Hocheffektiv, einfach und dauerhaft.
Geringer Betriebs- und Wartungsaufwand.
Für Geruchsprobleme im Kläranlagenbereich.

NEUTRALOX® Umwelttechnik GmbH

Löhestrasse 63, 53773 Hennef (Sieg)
Tel. 0 22 42 / 913 64 – 0

info@neutralox.de
www.neutralox.de



Neutralox Photoionisation auf der Kläranlage Emscher Mündung

Ein saisonaler Betrieb der Faulraumtemperatur ermöglicht eine bessere Ausnutzung der erzeugten Wärme. Im Rahmen von Versuchen im technischen Maßstab konnte gezeigt werden, dass ein Betrieb der Faulung unter Einhaltung bestimmter Randbedingungen durchaus möglich ist [7].

Inwieweit bei der Modellierung derartiger Prozesse zur Flexibilisierung der Gaserzeugung Ähnlichkeiten zu Biogasanlagen bestehen, die einen Wissensaustausch befördern, legte Prof. Dr. Jörg Kretzschmar (Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH, jetzt Hochschule Zittau/Görlitz) dar. Dr. Martin Michel (Zweckverband zur Abwasserbeseitigung im Raum Ochsenfurt) widmete sich der praktischen Umsetzung eines flexibilisierten Betriebs und dessen Grenzen. Hierbei ist besonders hervorzuheben, dass auf der Kläranlage Winterhausen zahlreiche innovative Projekte zum Energie- und Ressourcenschutz umgesetzt wurden bzw. in Planung sind.

Eine Bewertung des möglichen Beitrags von Kläranlagen zur zukünftigen Energieversorgung zeigte Prof. Dr.-Ing. habil. Detlef Schulz (Helmut-Schmidt-Universität, Universität der Bundeswehr Hamburg) in seinem Vortrag „Energiesysteme der Zukunft – Welchen Beitrag können Kläranlagen leisten?“. Resiliente Energiesysteme sollten als Multi-Energiesysteme ausgeführt werden, um flexibel auf Verknappungen und Marktmechanismen reagieren zu können. Kläranlagen, als Energieverbraucher, -erzeuger und -speicher, können hierzu einen Beitrag leisten, auch durch die Beteiligung an der Sektorenkopplung. Die Digitalisierung ist eine Schlüsseltechnologie zur Anlagenmodernisierung, wozu Prof. Schulz im Rahmen von RISK.twin durch die Modellierung eines Energiemanagementsystems forscht.

Auf die Grenzen der Flexibilisierung im Bereich der Abwasserbehandlung ging Prof. Dr.-Ing. Martin Wagner (TU Darmstadt) am Beispiel der Belüftung ein. Er verdeutlichte, welche Chancen, aber auch Risiken bezüglich der Reinigungsleistung damit verbunden sein können.

Im Vortrag von Dr.-Ing. Vanessa Parravicini (TU Wien) wurde deutlich, dass der Betrieb von Kläranlagen aus Sicht des Klimaschutzes nicht nur durch den Bezug bzw. die Bereitstellung von Wärme oder elektrischer Energie von Bedeutung ist. Die Quellen von Treibhaus-

gasemissionen auf Kläranlagen, vor allem durch Lachgas und Methan, sind bekannt und können messtechnisch erfasst werden. Durch gezielte Reduktionsmaßnahmen kann der CO₂-Fußabdruck der Abwasserwirtschaft reduziert werden. Ohne Kompensations- bzw. Neutralisationsmaßnahmen kann jedoch Abwasser nicht klimaneutral abgeleitet und behandelt werden [8].

Fazit

Die Veranstaltung zeigte eindrücklich die enge Zusammenarbeit der unterschiedlichen Fachdisziplinen im Bereich der Siedlungswasserwirtschaft. Wenngleich die Schwerpunkte zwischen „Trinkwasser“ und „Abwasser/Klärschlamm“ sich unterscheiden können, so besteht doch eine große Gemeinsamkeit, bei den aktuellen Herausforderungen als Kritische Infrastruktur die notwendige Resilienz für die Bereitstellung, Ableitung und Behandlung von Wasser sicherzustellen. Ebenfalls wurde deutlich, dass technische Ansätze nur einen Teil der Lösung darstellen. „Der Mensch in seiner Umwelt“ steht vielfach im Vordergrund, als Bestandteil Lösungen zu erarbeiten, mit der Öffentlichkeit und Politik zu diskutieren oder auch mit den Herausforderungen eines stärker werdenden Fachkräftemangels.

Dank

Wir möchten uns bei allen bedanken, die zum Erfolg der Veranstaltung „Vom Trinkwasser zum Klärschlamm – Vom Notfall zur Energiewende“ beigetragen haben, ganz besonders bei den Referierenden und den Ausstellenden. Ein besonderer Dank gilt den verschiedenen oben genannten Fördermittelgebern für die Ermöglichung der Forschungsprojekte. Die Bearbeitung von NOWATER, FLXsynErgy und RISK.twin erfolgt jeweils gemeinsam mit vielen Projektpartnern und assoziierten Partnern, die aus der Praxis die Projekte unterstützen.

Literatur

- [1] Verordnung zur Bestimmung Kritischer Infrastrukturen nach dem BSI-Gesetz (BSI-Kritisverordnung – BSI-KritisV), 2016, <https://www.gesetze-im-internet.de/bsi-kritisv/BjNR095800016.html>
- [2] Bayerisches Gewässer-Aktionsprogramm 2030, Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz, Mün-

chen, 2022, zugegriffen: 3. Januar 2024, https://www.bestellen.bayern.de/shop-link/stmuw_wasser_022.html

- [3] C. Schaum, S. Krause, N. Pankow, N. Wick, E. Joel, F. Kalberlah, U. Schuhmacher-Wolz, I. Wienand, J. Bäumer: *Anforderungen an Nottrinkwasser und Maßnahmen zur Verwendung für sensible technische Systeme in Einrichtungen des Gesundheitswesens*, Abschlussbericht im Auftrag des Bundesamtes für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, Neubiberg, 2022, <https://athene-forschung.unibw.de/doc/143429/143429.pdf>
- [4] S. Krause, E. Joel, C. Schaum, J. Bäumer, N. Rücker, I. Wienand, C. Sturm, B. Jahn-Mühl, M. Geiger, A. Fekete, S. Van Der Heijden, C. Heinzl, S. Sandholz: *Water safety planning for healthcare facilities for extreme events*, *J. Water Health* 2023, DOI 10.2166/wh.2023.102
- [5] S. Chalupczok, N. Pankow, S. Krause, C. Schaum, M. J. E. Samet, H. Wienken, D. Schulz: *Von der Realität zum (hybriden) digitalen Zwilling: Intelligente Prozesse in der Wasseraufbereitung*, *Hamburger Beiträge zum technischen Klimaschutz*, 2021, 29–34, DOI 10.24405/13945
- [6] C. Hubert, S. Krause, C. Schaum: *Patterns in the Course of Gas Production Rates in Anaerobic Digestion—Prediction of Gas Production Rates Based on Deconvolution and Linear Regression*, *Water* 2023, 15 (4), 614, DOI 10.3390/w15040614
- [7] B. Steiniger, C. Hubert, M. Spallek, M. Michel, J. Stanzel, C. Schaum: *Die Faulung als Wärmespeicher*, *KA Korrespondenz Abwasser, Abfall* 2022, 69 (12), 1028–1036, 2022, DOI 10.3242/kae2022.12.004
- [8] V. Parravicini, P. H. Nielsen, D. Thornberg, A. Pistocchi: *Evaluation of greenhouse gas emissions from the European urban wastewater sector, and options for their reduction*, *Sci. Total Environ.* 2022, 838, 156322, DOI 10.1016/j.scitotenv.2022.156322

Autor*innen

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.

Christian Schaum,

Prof. Dr.-Ing. habil. Steffen Krause,

Eva Gega, M. Sc.,

Dipl.-Ing. Marcel Hagen,

Christian Hubert, M. Sc.,

Elena Joel, M. Sc.,

Nora Pankow, M. Sc.,

Anastasia Ruf, M. Sc.,

Bettina Steiniger, M. Sc.

Universität der Bundeswehr München

Professur für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik

Werner-Heisenberg-Weg 39, 85577

Neubiberg

E-Mail: swa@unibw.de

