

05. und 06.09.2023

33. Hamburger Kolloquium zur Abwasser- wirtschaft

TUHH
Technische
Universität
Hamburg


Hamburg | Behörde für Umwelt,
Klima, Energie und
Agrarwirtschaft

 **HAW**
HAMBURG


GFEU e.V.

 **HAMBURG**
WASSER

In Kooperation mit:

 **HK** Hamburg

Themenschwerpunkte

- Niederschlagswasser und Klimaschutz
- Building Information Modeling (BIM), IT Sicherheit und Smart City
- Abwasserbehandlung und Emissionen
- Spurenstoffelimination



33. Hamburger Kolloquium zur Abwasserwirtschaft

Themenschwerpunkte:

**Abwasserreinigung und Emissionen; Niederschlagswasser
und Klimaschutz, Building Information Modeling (BIM),
IT Sicherheit und Smart City, Abwasserbehandlung und
Emissionen sowie Spurenstoffelimination**

Hamburg, 05. und 06. September 2023

Herausgeber:

Dr.-Ing. Joachim Behrendt, Dr.-Ing. Dorothea Rechtenbach

Prof. Dr.-Ing. Ralf Otterpohl

© GFEU 2023

Gesellschaft zur Förderung der Forschung und Entwicklung der Umwelttechnologien
an der TU Hamburg-Harburg e.V.

Eißendorfer Str. 42

21073 Hamburg

Tel.: 040/42878-3207

Fax: 040/42878-2684

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die daraus begründeten Rechte,
insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen
und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei
auszugsweiser Verwertung, vorbehalten.

Die Herausgeber danken Herrn Andreas Wiebusch für die Gestaltung des
Tagungsbandes und Frau Stricker für die Überlassung des Fotos.

Hamburger Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft
Band Nr. 108

Inhalt	Seite
 Niederschlagswasser und Klimaschutz	
Fachplanerische Grundlagen zur Analyse der Starkregengefährdung in Hamburg <i>Sandra Hellmers & Saskia Nagrelli</i>	1
Stand der Forschung und erste Ergebnisse BlueGreenStreets 2.0 <i>Matthias Pallasch</i>	9
Wasserwiederverwendung im urbanen Raum und in der Landwirtschaft <i>Silvio Beyer et. al.</i>	17
 Building Information Modeling (BIM), IT Sicherheit und Smart City	
BIM in der Wasserwirtschaft - vom Regelwerk zur praktischen Anwendung <i>Markus Schröder</i>	19
Angriffserkennung und kontinuierliches Risikomanagement zur Verhinderung von Schäden durch Cyberangriffe <i>Jens Bussjäger & Malte Pichler</i>	25
„Smart City“ durch integrierte Wasser-/Nährstoff- und Energiesysteme bei resilienter Digitalisierung <i>Ralf Otterpohl</i>	27
 Abwasserbehandlung und Emissionen	
Modellierung der Abwasserbelastung in den Oberflächengewässern Schleswig- Holsteins und Identifizierung räumlicher Belastungsschwerpunkte mit Human- Arzneimitteln <i>Björn Tetzlaff</i>	31
Wasserwiederverwendung in Braunschweig – gestern, heute, morgen <i>Franziska Gromadecki</i>	43
Sicherstellung der Abwasserversorgung bei Stromausfall <i>Heinz Brandenburg & Luisa Frackenpohl</i>	51
Gesamtemissionen Klärwerk Hamburg <i>Judith Niebuhr</i>	57
Zum Betrieb der Kläranlagen in Norddeutschland – Potentiale schon genutzt? <i>Georg Thielebein & Ralf Hilmer</i>	69

Spurstoffelimination

Spurenstoffelimination auf Kläranlagen in Deutschland – wo stehen wir heute? <i>Steffen Metzger</i>	81
Erfahrungen zur Spurenstoffelimination mittels Pulveraktivkohle beim Zweckverband Klärwerk Steinhäule in Neu-Ulm <i>Christian Hiller</i>	91

Fachplanerische Grundlagen zur Analyse der Starkregengefährdung in Hamburg

Dr. Sandra Hellmers

Saskia Nagrelli

Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft, Neuenfelder Str. 19, 21109 Hamburg

E-Mail: starkregenvorsorge@bukea.hamburg.de

ZUSAMMENFASSUNG

In diesem Beitrag werden die Inhalte der Starkregengefahrenkarte Hamburg als wasserwirtschaftliche Planungshilfe, sowie ihre Anwendung in Bebauungsplänen und der städtebaulichen Planung vorgestellt. Die Erstellung der Karte wurde durch die Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft (BUKEA) bei Hamburg Wasser in Auftrag gegeben. Sie zeigt die Bereiche in Hamburg, die durch den Einstau von Wasser im Starkregenfall besonders gefährdet sind und ist das Ergebnis von Modellberechnungen, die Regenbelastung, Versickerung, Kapazität des öffentlichen Kanalnetzes (Siel) und Oberflächenabfluss einbeziehen. Die Starkregengefahrenkarte Hamburg ist eine Planungshilfe zur Identifizierung von Überflutungsschwerpunkten. Sie soll die Öffentlichkeit für Gefahren aufgrund von Starkregen sensibilisieren und über konkrete, potentielle Gefahren informieren, damit Bürger:innen daraufhin geeignete Maßnahmen umsetzen können. In einem kurzen Ausblick wird darauf eingegangen, wie das hydraulische Gesamtmodell zukünftig als Planungshilfe für die Entwicklung von Starkregenvorsorgemaßnahmen in der Stadt verwendet wird.

1 EINLEITUNG

Die Schaffung von Grundlagen und Instrumenten als Unterstützung zur verantwortungsvollen Anpassung an die Folgen des Klimawandels ist aktuell eine essenzielle Aufgabe. Einige Auswirkungen des Klimawandels sind schon heute spürbar. Als gesichert gilt, dass Häufigkeit und Intensität von Starkregenereignissen zunehmen werden (DWD 2016 & Poschlod und Ludwig 2021). Zeitpunkt, Ort und Intensität solcher Ereignisse sind unvorhersehbar, ihre möglichen Folgen lassen sich jedoch modellieren. Um eine verantwortungsvolle Anpassung an die Folgen veränderter Starkregenereignisse durch den Klimawandel zu ermöglichen, hat die BUKEA bei HAMBURG WASSER eine solche Modellierung in Auftrag gegeben. Das Ergebnis zeigt eine Karte, die Hamburger:innen für ihre Betroffenheit im Falle eines Starkregens sensibilisieren sowie informieren soll, und dient als Planungshilfe zur Umsetzung von Vorsorgemaßnahmen. Erste Teilbereiche der Karte werden ab Herbst 2023 bereits in den Geoportalen abrufbar sein.

2. HINTERGRUND: STARKREGENVORSORGE IN HAMBURG

Die Klimaanpassung einschließlich der Starkregenvorsorge ist Teil des Hamburger Klimaplanes. Anfang 2022 wurde ein institutionsübergreifendes „Kernteam“ zur Bearbeitung des Themas Starkregenvorsorge in Hamburg gebildet. Das Team besteht aus Referent:innen der BUKEA der Abteilungen Wasserwirtschaft und Abwasserwirtschaft sowie Kolleg:innen des Stadtentwässerungsunternehmens Hamburg Wasser. Im engen Austausch mit der Stabstelle Klimaanpassung (BUKEA) und den Bezirken sowie weiteren Fachbehörden werden neue Grundlagen und Fachinstrumente für die Stadt erarbeitet. Zur Verbesserung der Starkregenvorsorge in Hamburg erfolgt aktuell die Erarbeitung und Veröffentlichung von fachplanerischen Grundlagen und deren Implementierung in Bebauungspläne sowie städtebauliche Planungen.

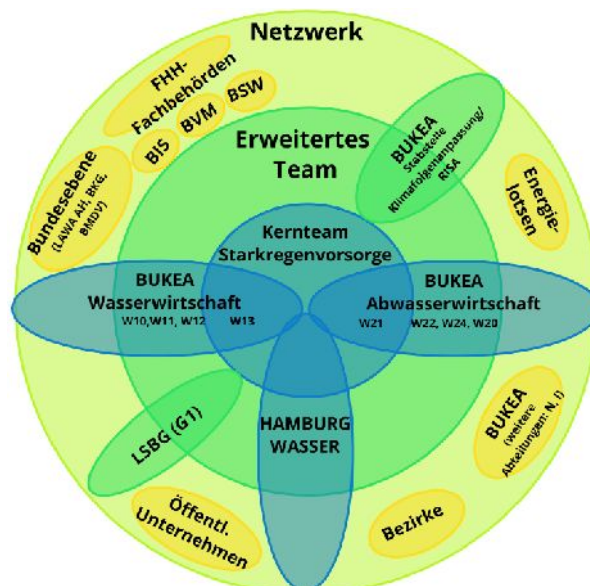


Bild 1: Das Kernteam Starkregenvorsorge in Hamburg und dessen institutsübergreifende Vernetzung.

Die Starkregenhinweiskarte wurde 2021 von Hamburg Wasser im Auftrag der BUKEA erstellt und im Geoportal veröffentlicht (<https://www.hamburg.de/starkregenhinweiskarte/>). Kurz darauf erfolgten die Einrichtung und der Betrieb eines Funktionspostfaches (Starkregenvorsorge@bukea.hamburg.de), um die Anfragen zur Karte und zu dessen Anwendung durch die Öffentlichkeit zu beantworten. Der Internetauftritt der FHH wurde im Jahr 2022 um die Seite <https://www.hamburg.de/faq-starkregenvorsorge/> erweitert. Die Beauftragung von Hamburg Wasser durch die BUKEA zur Erarbeitung der in diesem Beitrag vorgestellten Starkregengefahrenkarte Hamburg erfolgte noch im gleichen Jahr 2021. Erste Ergebnisse der Starkregengefahrenkarte liegen nun vor.

Die Erarbeitung von ministeriellen Grundlagen zur Anwendung der Starkregengefahrenkarte erfolgt parallel zur Fertigstellung des Gesamtmodells und des Kartenwerkes. Diese umfassen

z.B. eine Internetseite, eine Handreichung zur Gefahrenbeurteilung im Starkregenfall sowie ein technisches Informationsblatt und -flyer. Die Starkregengefahrenkarte wird auch in fachübergreifende planerische Grundlagen, wie den Wasserplan und den Wasseratlas Hamburg, zur Gesamtbetrachtung eingebunden (s. FHH, 2023a). Die Erarbeitung und Implementierung von Instrumenten zur stärkeren Integration der Starkregenvorsorge in die städtebauliche Planung (z.B. Checkliste zu wasser- und abwasserwirtschaftlichen Belangen zu Bebauungsplänen und städtebaulichen Planungen sowie Musterleistungsbeschreibung für die Erstellung eines wasser- und abwasserwirtschaftlichen Gutachtens in Bebauungsplänen (Entwässerungsgutachten)) wird aktuell ebenfalls durch die BUKEA weiterentwickelt. Zusätzlich werden seit 2022 periodisch stattfindende Fortbildungen zur Thematik "RISA" (u.a. Starkregenvorsorge) durch die BUKEA für die Bezirke und öffentliche Unternehmen angeboten.

3. ARBEITSSTAND DER STARKREGENGEFAHRENKARTE HAMBURG

Erste Teilbereiche der Starkregengefahrenkarte sind ab Herbst 2023 im Geoportal von Hamburg und im Wasseratlas abrufbar. Konkret handelt es sich um die Einzugsgebiete von Tarpenbek, Wandse, Osterbek und der Hamburger Gebiete südlich der Elbe (siehe Bild 1). Die weiteren Abschnitte werden derzeit modelliert und zeitnah in der online Karte ergänzt, so dass bis Anfang 2024 überall in Hamburg die Überflutungsgefährdung durch Starkregen abgebildet werden kann. Die grau-transparente Schraffur ist auch in der online Karte in den Geoportalen dargestellt für Gebiete, deren Modellergebnisse noch in der Bearbeitung sind.

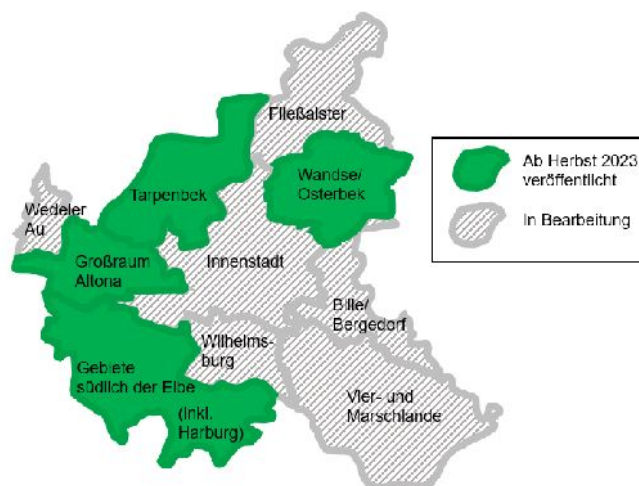


Bild 1: Kennzeichnung der veröffentlichten und der in Bearbeitung befindlichen Abschnitte der Starkregengefahrenkarte Hamburg.

3.1 Datengrundlage und Modell zur Erstellung der Starkregengefahrenkarte

Mit der Starkregengefahrenkarte liegen Modellierungsergebnisse mit mehr Informationen zur Einschätzung der Überflutungsgefährdung vor, als es die bisher seit 2021 verfügbare Starkregenhinweiskarte bot. Letztere beschränkte sich auf eine Analyse des Geländes als

Fließpfad-Senken-Karte basierend auf einer reinen topographischen Analyse. Die Informationen, die in der nun veröffentlichten Starkregengefahrenkarte verwendet wurden, gehen darüber hinaus und ermöglichen somit genauere Aussagen. Es werden neben der Topographie auch unterschiedliche Regenbelastungen, Bodeneigenschaften mit Einfluss auf die Versickerung, resultierende Oberflächenabflüsse sowie vorhandene Sielnetzkapazitäten berücksichtigt. Um zukünftige städtebauliche Veränderungen und neue Erkenntnisse einzuarbeiten, wird die Karte regelhaft aktualisiert.

Zur Erstellung der Starkregengefahrenkarte wurde das bestehende 1D-Kanalnetzmodell (Hystem-Extran) von Hamburg Wasser mit einem 2D-Oberflächenabflussmodell in der Software VISDOM (VRvIS 2023) indirekt über die Schächte (Modellknoten) gekoppelt, um die Entwässerungssituation in den Siedlungsgebieten abbilden zu können (siehe Bild 2). Der Fokus der Starkregengefahrenkarte liegt auf der Analyse der Auswirkungen durch Starkregen in Siedlungsgebieten, welche aufgrund des Zusammenspiels der Oberflächenstrukturen und des Entwässerungssystems überflutet werden. Überschwemmungen durch ausufernde Gewässer (Binnenhochwasser) werden in der Starkregengefahrenkarte nur näherungsweise dargestellt. Die Betroffenheit in ausgewiesenen Hamburger Überschwemmungsgebieten wird in gesonderten Kartenwerken aufgezeigt (FHH, 2017).

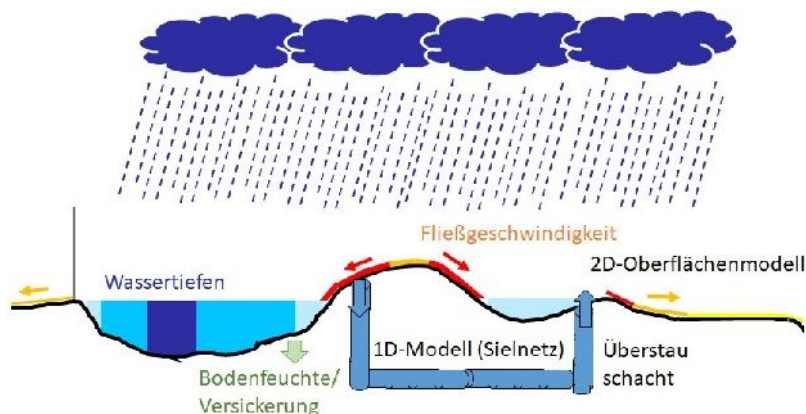


Bild 2: Graphische Darstellung der modelbasierten Prozesse des 1D-2D Modells der Starkregengefahrenkarte.

3.2 Ergebnisdarstellung und analysierte Szenarien

Die Karte zeigt in unterschiedlichen Blau-tönen, wie hoch sich das Regenwasser an bestimmten Standorten stauen kann und in gelb-roten Bereichseinfärbungen welche maximalen Fließgeschwindigkeiten auftreten können (siehe Bild 3). Dabei werden drei Szenarien betrachtet: intensiver Starkregen, außergewöhnlicher Starkregen und extremer Starkregen mit einer sehr geringen Eintrittswahrscheinlichkeit.

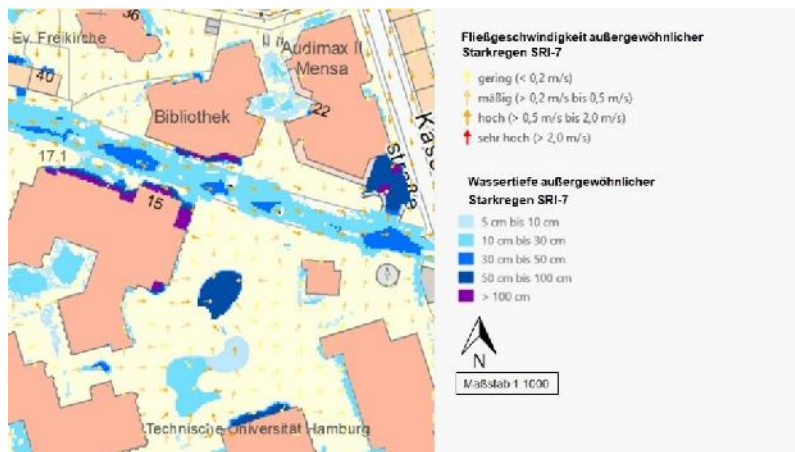


Bild 3: Ausschnitt aus der Starkregengefahrenkarte mit Legende für das Szenario außergewöhnlicher Starkregen (SRI-7).

- Das Szenario „intensiver Starkregen“ geht von einem Niederschlag in Höhe von 29 Litern pro Quadratmeter (l/m^2) in einer Stunde aus. Mit einem solchen Niederschlag ist statistisch gesehen einmal in 30 Jahren zu rechnen. Nach dem Starkregenindex-Konzept (SRI-Konzept, s. Hamburg Wasser 2022) wird dieses Szenario in die Kategorie SRI-5 eingeordnet.
- Das Szenario „außergewöhnlicher Starkregen“ geht von einem Niederschlag in Höhe von 36 l/m^2 in einer Stunde aus. Mit einem solchen Niederschlag ist statistisch gesehen einmal in 100 Jahren zu rechnen und wird in die Kategorie SRI-7 eingeordnet. Die ersten zwei Szenarien dienen als Grundlage für bauliche Planungen.
- Das Szenario „extremer Starkregen“ geht von einem Niederschlag in Höhe von 100 l/m^2 in einer Stunde aus. Das extreme Szenario dient als Basis, um Hamburg auch für den Fall einer Katastrophe angemessen vorzubereiten. Für eine vergleichbare Einordnung des extremen Szenarios kann die maximale Intensität des im Jahr 2018 im Raum Lohbrügge/Bergedorf beobachteten Ereignisses herangezogen werden. Hier fiel eine Regenmenge von lokal maximal 127 (l/m^2) in 1,5 Stunden (Bezirk Bergedorf, 2018).

Die Unterscheidung der Szenarien und die Zuordnung zu den Warnstufen des DWD sind in der graphischen Darstellung in Bild 4 zusammengefasst.

Einordnung der Starkregenszenarien	Intensiver Starkregen	außergewöhnlicher Starkregen	extremer Starkregen
Starkregenindex	SRI-5	SRI-7	SRI-12
Wiederkehrzeit In Jahren	30	100	> 1000
Regenmenge pro Stunde	29 l/m ²	36 l/m ²	100 l/m ²
Vergleich mit Warnstufen des DWD	Unwetterwarnung (>25-40 l/m ² in einer Stunde)	Warnung vor extremen Unwetter (> 40 l/m ² in einer Stunde)	
Starkregen-vorsorge	<i>Grundlage für städtebauliche Planungen (Überflutungsvorsorge)</i>		<i>Katastrophen-vorsorge</i>

Bild 4: Unterscheidung der verwendeten Starkregenszenarien in der Starkregengefahrenkarte.

4. ANWENDUNG DER STARKREGENGEFAHRENKARTE IN DER STÄDTEBAULICHEN PLANUNG

Um die Starkregenvorsorge auch in Bebauungsplänen und städtebaulichen Planungen hinreichend zu berücksichtigen, wird die Starkregengefährdung des Plangebietes anhand vorliegender fachplanerischer Grundlagen, wie der Starkregengefahrenkarte, analysiert. Da die Grenzen des Plangebietes in der Regel nicht mit dem wasserwirtschaftlichen Einzugsgebiet übereinstimmen, wird empfohlen das Betrachtungsgebiet im Rahmen der Starkregenvorsorge entsprechend sinnvoll zu erweitern.

Im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtung wird geprüft, ob die vorgesehene Planung negative Auswirkungen auf Flächen innerhalb und außerhalb des Plangebietes hat. Um den Einfluss der Planung auf das Verhalten des Regenwassers auf der Oberfläche ausreichend genau untersuchen zu können, sind im Zuge der Erstellung des wasser- und abwasserwirtschaftlichen Gutachtens (Entwässerungsgutachten) Differenzbetrachtungen von Ist- und Planzustand, unter Umständen in Form einer detaillierten hydraulischen 2D-Modellgestützten Planungsanalyse, notwendig. Eine Benachteiligung von Ober- und Unterlieger ist unbedingt zu vermeiden. Dies gilt insbesondere, aber nicht ausschließlich, wenn das Plangebiet in einem Überschwemmungsgebiet liegt oder einen indirekten hydrologischen Einfluss auf ein Überschwemmungsgebiet haben könnte.

AUSBLICK: ANWENDUNG DES NUMERISCHEN MODELLS DER STARKREGENGEFAHRENKARTE IN EINER ONLINE PLATTFORM FÜR STÄDTEBAULICHE PLANUNGSANALYSEN

Für die Erstellung von detaillierten hydraulischen Modellanalysen für städtebauliche Planungen (siehe vorheriger Abschnitt) werden unterschiedliche Methoden und numerische Modelle angewendet. Mit dem numerischen Gesamtmodell der Starkregengefahrenkarte erhält die Stadt ein Instrument mit dem nicht nur der Ist-, sondern auch Planzustände simuliert werden können. Die dahinterliegende Simulationssoftware VISDOM (VRvIS, 2023)

ermöglicht durch die (geplante) browserbasierte Anwendung, die kurzen Simulationszeiten und die integrierten Analyse- und Visualisierungstools ein stadtweites Basismodell, um zukünftige Planungsanalysen durchzuführen. Die Voraussetzungen zur Verwendung des Gesamtmodells in einer Online-Plattform durch die Verwaltungen (z.B. Behörden, Bezirke) wie auch Ingenieurbüros wird aktuell gemeinsam von Hamburg Wasser und BUKEA erarbeitet.

5. MAßNAHMEN DER STARKREGENVORSORGE DURCH DIE STADT

Hamburg setzt schon seit vielen Jahren auf die Regeninfrastrukturanpassung (RISA) und das Prinzip Schwammstadt. Maßnahmen der Starkregenvorsorge sind ein wichtiger Bestandteil davon. Vorzugsweise wird das anfallende Regenwasser in Überflutungsräumen bzw. Retentionsräumen zwischengespeichert, in denen es schadlos zurückgehalten oder versickert werden kann. Umgesetzte Maßnahmen, die der Starkregenvorsorge dienen, sind etwa der Regenwasserspielplatz in Neugraben (FHH, 2023b), der Notwasserweg mit anschließender Versickerung im Ohlendorffs Park und die temporäre Speicherung von Regenwasser unter dem Sportplatz an der Möllner Landstraße. Auch bei der Planung neuer Quartiere in Hamburg wird die Starkregenvorsorge mitgedacht. Ein prominentes Beispiel ist hier die Planung für den neuen Stadtteil Oberbillwerder.

LITERATUR

Bezirk Bergedorf (2018): News – Starkregenereignis - Umfassende Informationen rund um die Extremwetterlage am 10. Mai 2018. <https://www.hamburg.de/bergedorf/11237986/informationsveranstaltung-starkregenereignis/> (zuletzt abgerufen: 18.07.2023).

DWD (2016): Die Entwicklung von Starkniederschlägen in Deutschland - Plädoyer für eine differenzierte Betrachtung. https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/niederschlag/20160719_entwicklung_starkniederschlag_deutschland.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (zuletzt abgerufen: 18.07.2023).

FHH (2017): Die Karte zeigt die 15 Hamburger Überschwemmungsgebiete. www.hamburg.de/ueberschwemmungsgebiete (zuletzt aufgerufen am 17.07.2023).

FHH (2023a): im Hamburger Wasseratlas werden auf Wasser bezogene Umweltinformationen sowie weitere damit zusammenhängende umweltfachliche Planungskarten an einem Ort zusammengeführt. Im Themenbaum finden Sie aktuelle Geo-informationen rund um das Thema Wasser, die fortlaufend aktualisiert werden. <https://geoportal-hamburg.de/wasseratlas/> (zuletzt aufgerufen am 17.07.2023)

FHH (2023b): Neugraben-Fischbek Regenwasser-Spielplatz – "Biberland" <https://www.hamburg.de/spielplaetze/8719162/regenspielplatz/> (zuletzt aufgerufen am 17.07.2023).

Hamburg Wasser (2022): Starkregenindex für Hamburg (sri.hamburgwasser.de). https://sri.hamburgwasser.de/sri_erlaeuterung.pdf (zuletzt abgerufen: 18.07.2023).

Poschlod, B., Ludwig, R. (2021): Internal variability and temperature scaling of future sub-daily rainfall return levels over Europe, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ac0849/pdf> (zuletzt abgerufen: 18.07.2023).

VRvIS, 2023: Die Software VISDOM. <https://www.vrvis.at/produkte-loesungen/visdom> (zuletzt abgerufen: 18.07.2023).

Stand der Forschung und erste Ergebnisse BlueGreenStreets2.0

Dr. Matthias Pallasch

Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH, Rennbahnallee 109a 15366 Hoppegarten

E-Mail: m.pallasch@sieker.de

ZUSAMMENFASSUNG

Der Umbau von urbanen Räumen zur Bewältigung der Anforderungen des Klimawandels erfolgt nach dem Paradigma der Schwammstadt. Regenwasser soll am Ort des Ursprungs zurückgehalten, verdunstet, genutzt, versickert und nach Möglichkeit nur stark gedrosselt abgeleitet werden. Straßen sind ein wichtiger Teilraum der Schwammstadt. Hitze und Starkregen als Folge des Klimawandels zeigen sich hier besonders drastisch. Mit dem BMBF-Verbundforschungsprojekt BlueGreenStreets wurde aufgezeigt welche Maßnahmen für klimaangepasste Straßenräume nötig sind und wie sich blau-grüne Straßenräume planerisch umsetzen lassen. Eine zentrale Rolle kommt dabei vitalen Baumstandorten zu - unter anderem Baumrigolen - also Baumstandorten mit gezielter Zuführung von Niederschlagswasser. Die Umsetzung von Baumrigolen, welche aktuell sowohl von normativen Belangen, aber auch von wissenschaftlichen Erkenntnissen abhängt, ist Gegenstand der Verstetigungsphase BGS2.0. Der Vortrag stellt erste Erkenntnisse des Projekts dar.

1 STAND DER FORSCHUNG

Das BMBF-Forschungsprojekt BlueGreenStreet bestand in der ersten Projektphase aus einem großen Verbund an Forschungspartnern. Hierzu gehörten die HCU Hamburg (Umweltgerechte Stadt- und Infrastrukturplanung), TU Berlin (Siedlungswasserwirtschaft, Ökohydrologie), die Uni Hamburg (Bodenkunde), die Hochschule Karlsruhe (FG Verkehrsökologie), das Institut für ökologische Wirtschaftsforschung, sowie die forschenden Planungsbüro bgmr Landschaftsarchitekten, GeoNet und die Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH. Als praxisnahes Forschungsprojekt wurde mit den Städten Berlin, Hamburg, Bremen, Neuenhagen, Solingen und Bochum kooperiert. Ziel war die gemeinsame Erarbeitung von Straßenraumentwürfen anhand deren man an realen Beispielen sowohl die Potentiale als auch die Hindernisse für die notwendigen Maßnahmen bzw. Planungsprozesse für Bestandsstraßen ableiten konnte. Die Straßenraumentwürfe als Grundlage für das wissenschaftliche Monitoring folgten dabei dem klaren Leitbild der Straße als Aufenthaltsraum, der Kühlung ermöglicht und in dem Wasser als Ressource angesehen wird.

Das Maßnahmenportfolio zur Umplanung von Bestandsstraßen in blau-grüne Straßenräume nach dem BGS-Leitbild ist breit. Neben klassischen Maßnahmen der dezentralen naturnahen Regenwasserbewirtschaftung (Mulden, Tiefbeete, Rigolen, Dachbegrünungen) sind es die komplexeren vegetativen Systeme mit einem erhöhten Grünvolumen, die eine wichtige Rolle spielen. Hierzu gehören vor allem vitale Baumstandort – wobei „vital“ vor allem die ausreichende Versorgung von Bäumen mit Regenwasser beinhaltet. In der Siedlungswasserwirtschaft und Freiraumplanung werden diese Konzepte häufig auch unter dem Narrativ der Baumrigole behandelt. Vitale Baumstandorte sind vor allem durch ihre schattenspendende Wirkung ein wichtiger Baustein für kühle Straßenräume. Speziell für den Kühlmechanismus der Verdunstungskühlung dienen Elemente wie Verdunstungsbeete oder Fassadenbegrünungen. Im Kontext der Klimaanpassung werden auch Notwasserwege und Noteinstauräume als BGS-Elemente mit betrachtet. Die planerische Herausforderung liegt dabei häufig im Bedarf nach grundstücksübergreifenden Konzepten.

Um Straßenräume zielorientiert planen zu können wurden die sog. BGS-Elemente hinsichtlich ihrer Wirkung für den Wasserhaushalt, auf die Aufenthaltsqualität und ihrer Kühlwirkung untersucht. Für letztere wurden sowohl maßnahmenspezifische Verdunstungsraten ermittelt, als auch die raumbezogene Kühlwirkung mit dem Stadtklimamodell ASMUS_green (Büter und Leßmann 2016) simuliert.

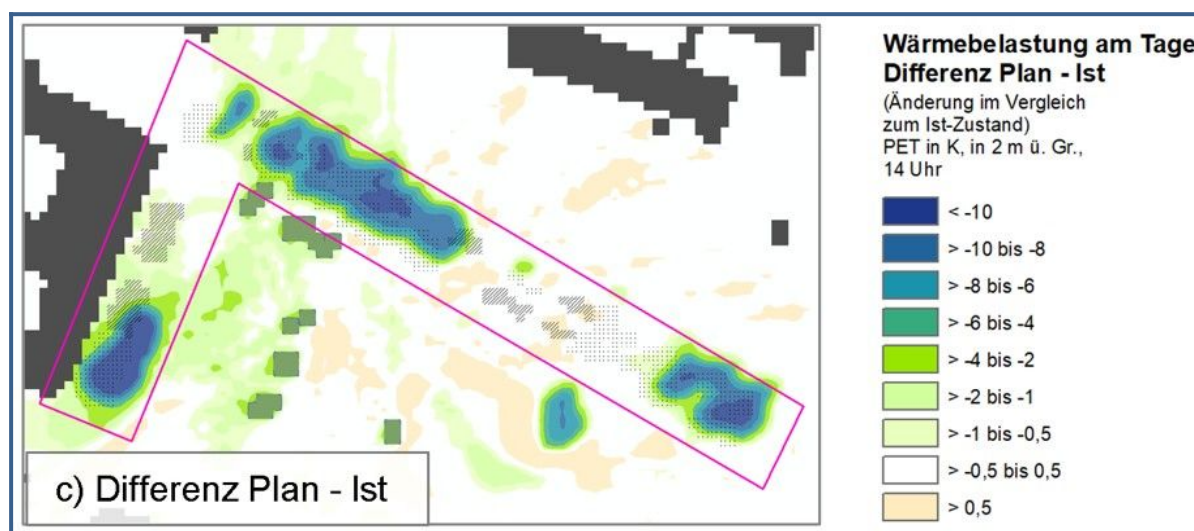


Abbildung 1 Simulation der Wärmebelastung für den Rudolfplatz in Berlin. Darstellung der Differenz zwischen Bestand und Planzustand (Urheber: GeoNet)

Die Bewertung der Retentionsleistung wurde anhand eines statischen Speicherkonzepts durchgeführt. Hierbei wird nur das Nettospeichervolumen einer Maßnahme bezogen auf einen Quadratmeter Grundfläche der Maßnahme betrachtet. Der Ansatz ermöglicht den Wasserrückhalt grundsätzlich verschiedener Maßnahmen, wie z.B. Pergolen mit Mulden, zu vergleichen. Über das Nettospeichervolumen lässt sich grob abschätzen, wieviel zusätzliche Fläche angeschlossen werden kann, bis bei einem Bemessungsregen (hier: hN 35mm) das

Speichervolumen verbraucht hat. Dieses Konzept eignet sich zum relativen Vergleich verschiedener Maßnahmen, ersetzt aber keineswegs die gängigen Dimensionierungsverfahren. Die Wirkung von BGS-Elementen auf die Aufenthaltsqualität wurde anhand einer leitbildorientierten Bewertung durchgeführt. Die BGS-Elemente wurden fachgutachterlich definiert. Die Beurteilung der Wirkung erfolgte dann basierend auf Kriterien wie dem Grünvolumen, der Nutzbarkeit oder dem Beschattungspotential.

Die Ergebnisse dieser Wirkungsabschätzung wurden für jedes Element in der BGS-Toolbox zusammengefasst (BGS 2022). So lassen sich die verschiedenen Maßnahme für Planer:innen leicht verständlich vergleichen (vgl. Abbildung 2)

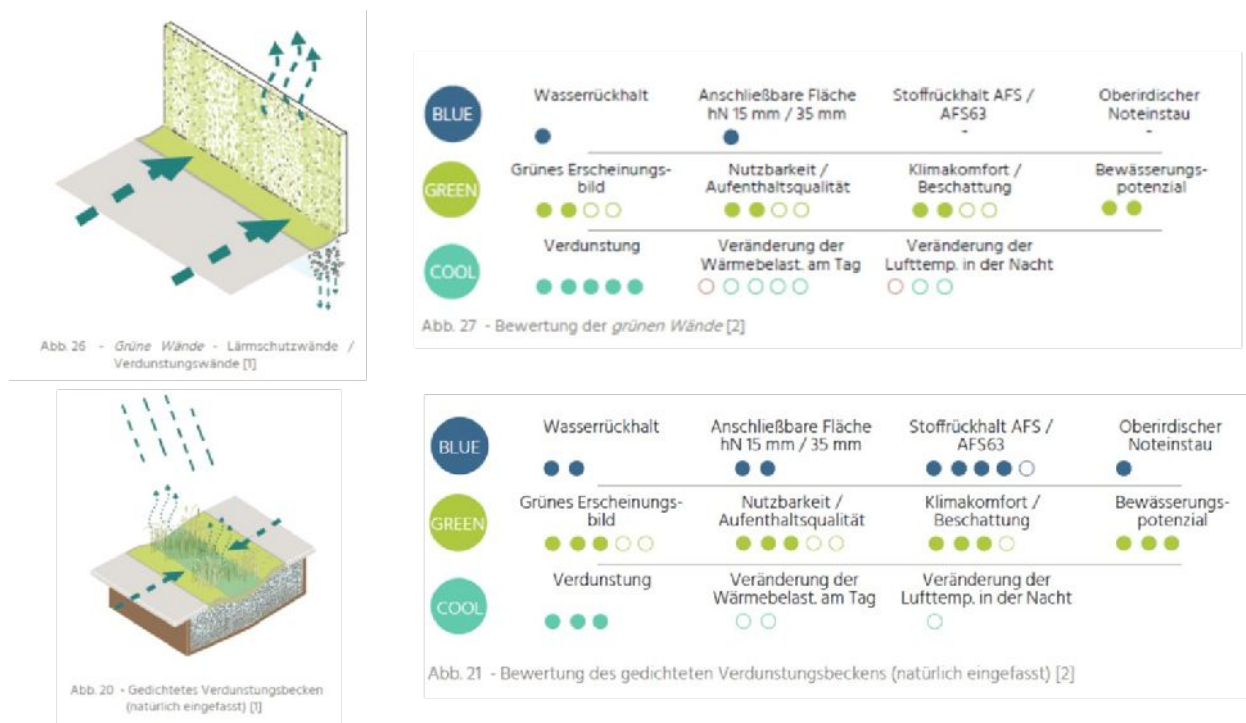


Abbildung 2 Beispiel der BGS-Toolbox für die Wirkungsbeschreibung von Grünen Wänden (oben) und gedichteten Verdunstungsbeeten (unten)

Alle BGS-Elemente haben einen Raumbedarf, der in Konkurrenz mit anderen Nutzungen des Straßenraums steht. Fließender und ruhender Verkehr, sowie Flächen für nachhaltige Mobilität. Anhand von Straßenraumentwürfen, die in BGS mit den vielen Partnerkommunen erarbeitet wurden, konnte erprobt werden, wie sich neue Räume für BGS-Elemente schaffen lassen. Als eigenständiger Raumanspruch für BGS-Elemente wurde im Ergebnis ein Mindeststreifen von 2,3 m innerhalb eines Straßenquerschnitts definiert. Dieser erlaubt es in der Regel sowohl wasserwirtschaftliche, als auch betriebliche, gestalterische und vegetationstechnische Belange hinreichend zu würdigen. Die Methoden zur Generierung von Räumen sind nicht Gegenstand des Vortrags können aber der BGS-Toolbox entnommen werden (BGS 2022).

Während der ersten Projektphase von BlueGreenStreets wurde ersichtlich, dass Baumrigolen eine besondere Aufmerksamkeit von Kommunen und Planer:innen zuteil kommt. Für die Wasserwirtschaft sind Baumrigolen von Bedeutung da sie helfen, die Verdunstung als Teil der natürlichen Wasserbilanz zu verbessern. Gleichzeitig sind es aber Elemente, die großes Potential für den dezentralen Rückhalt und die Versickerung von Niederschlagswasser haben. Als Element der Klimaanpassung und zur Aufwertung der Lebensqualität sind vitale Bäume grundsätzlich in der Stadt- und Freiraumplanung von großer Wichtigkeit.

In der Konsequenz wurde in einer zweiten Phase von BlueGreenStreets die Entwicklung von Baumrigolen in den Fokus gestellt.

2 ERSTE ERGEBNISSE BGS2.0

Teil der sog. Verstetigungsphase von BlueGreenStreets ist eine weitergehende Typisierung von Baumrigolen. Diese Typisierung ist Ausgangspunkt für die Frage, über welche Regelwerke die verschiedenen Bauvarianten von Baumrigolen beschrieben werden. Hierfür kommen grundsätzlich Regelwerke der DWA und der FLL in Frage. In den Regelwerken der beiden großen Fachverbände spielen Baumrigolen allerdings noch keine Rolle. Im Gegenteil. Die ausschlaggebenden Normen beinhalten in Teilen Anforderungen, die mit dem Bau verschiedener Varianten nicht vereinbar sind. BGS2.0 ist mit dem Ziel angetreten, solche Konflikte aufzuzeigen und mit den regelgebenden Verbänden zu lösen.

Bei der Typisierung von Baumrigolen zeigt sich, dass vom Regelungscharakter drei verschiedene Hauptkategorien existieren:

- 1) Wasserwirtschaftliche Anlagen (Mulde oder Tiefbeete), die mit Bäumen alternativ bepflanzt wurden
- 2) Baumscheiben und Baumgruben, denen Niederschlagswasser zuläuft, die jedoch keinen dezidierten Entwässerungskomfort leisten
- 3) Neuartige Anlagen, bei denen Baumpflanzung und Wasserführung verzahnt geplant wurden (z.B. Stockholmer Modell)

Für die Diskussion der Regelungsbedarfe von Baumrigolen ist diese Unterscheidung von Bedeutung. Aktuell werden insbesondere von der Gartenamtsleiterkonferenz (GALK) grundsätzliche Kritikpunkte am Konzept der Baumrigolen benannt (GALK 2023), die sich planerisch lösen lassen, wenn man die Bauweisen und Einsatzorte von Baumrigolen differenziert. Hauptkritikpunkte der GALK sind der Eintrag von Schadstoffen und Salz in Baumscheiben, sowie die mutmaßliche Vernässung solcher Elemente.

Für die Planung wasserwirtschaftlicher Anlagen ist das Thema der Schadstoffbelastung eine Planungsrandbedingung. Sowohl das DWA-A102 als das DWA-A 138 differenzieren sehr stark

in der Art der angeschlossenen Flächen. Diese Flächendifferenzierung kann und sollte die Grundlage für die Bewertung von Möglichen Schadstoffeinträgen in Baumrigolen sein.

Die besondere Bedeutung von Tausalzen für Bäume ist bekannt. In Konzentrationen, wie sie beim Einsatz von Streusalz auftreten wird es zum Wurzelgift und kann sofern es im Boden verbleibt langfristig die Wasseraufnahme des Bodens erheblich stören (Balder 1998). Für wasserwirtschaftliche Anlagen mit zusätzlich angeschlossener Fläche ist jedoch auch bekannt, dass der Wasserdurchsatz durch die Bodensäule um ein Vielfaches erhöht ist gegenüber einer Grünfläche, die nur den eigenen Niederschlag aufnimmt. Vor diesem Hintergrund wird vermutet, dass bei Baumrigolen, die wasserwirtschaftlich dimensioniert sind, es zu einem Durchspülungseffekt kommt (Burkhardt et al. 2022). Einen empirischen Nachweis dafür gibt es jedoch noch nicht.

Hinsichtlich der Vernässung vom Baumrigolen ist klar zwischen konventionellen wasserwirtschaftlichen Mulden oder Rigolen und komplexeren Bauweisen, z.B. mit Bodenwannen, zu unterscheiden. Für Mulden und Rigolen ist bekannt, dass es sich aufgrund der vorgegebenen Entleerungszeiten aus vegetationstechnischer Sicht um wechselrockene Standorte handelt. Bei Baumrigolen mit Bodenwannen hingegen treten planmäßig längere Einstauzeiten in den untersten Schichten der Baumgrube ein. Über die statistische Auswertung von Langzeitsimulation lässt sich der Bodenwasserhaushalt und die Dauer und Anzahl von Vernässungen jedoch gut beschreiben (vgl. Abbildung 3). Durch die Anpassung der Baumgrubendimension oder durch die Wahl angepasster Arten kann somit auch dem Problem der Vernässung planerisch begegnet werden.

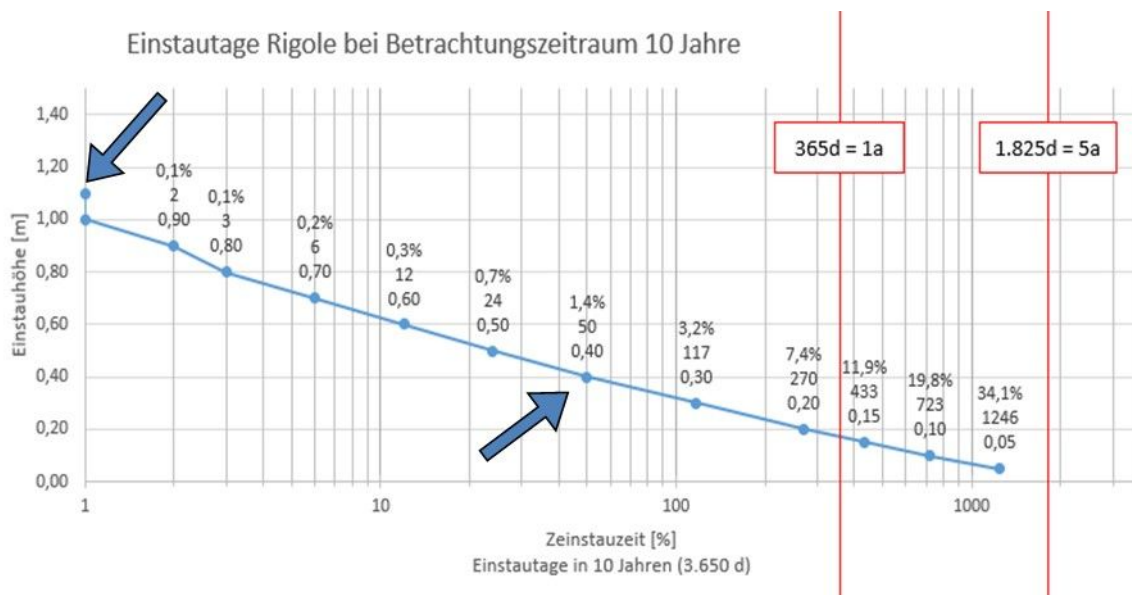


Abbildung 3 Beispiel für die statistische Auswertung des Einstaus in einer Baumrigole mit horizontaler Teilabdichtung zur Rückhaltung von Sickerwasser (Quelle: Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH)

Durch die Verbundpartner von BGS2.0 aber auch mit dem durch BGS2.0 ins Leben gerufenem Forschungsnetzwerk sollen zukünftig weitere empirische Ergebnisse erarbeitet werden, um die offenen Fragen rund um das Anlagenverhalten von Baumrigolen besser beschreiben zu können. Die Geschwindigkeit mit der die Folgen des Klimawandels auftreten macht jedoch deutlich, dass Umsetzung und Begleitforschung parallel laufen müssen damit wichtige Zeitfenster für Klimaanpassungsmaßnahmen nicht vertan werden.

LITERATUR

Balder, H. (1998): Die Wurzeln der Stadtbäume. Ein Handbuch zum vorbeugenden und nachwachsenden Wurzelschutz. Hartmut Balder. 1998. 180 S., 74 sw-Abb., 38 Tabellen, 130 Farbbabb. a. Tafeln, geb. ISBN 978-3-8001-4549-2. € 39,95. ET-Ist: 01.10.1998

BlueGreenStreets (Hrsg.) (2020), BlueGreenStreets als multicodeierte Strategie zur Klimafolgenanpassung – Wissenstand 2020, April 2020, Hamburg. Statusbericht im Rahmen der BMBF-Fördermaßnahme „Ressourceneffiziente Stadtquartiere für die Zukunft“ (RES:Z)

BlueGreenStreets (Hrsg.) (2022): BlueGreenStreets Toolbox – Teil B. Multifunktionale Straßenraumgestaltung urbaner Quartiere, März 2022, Hamburg. Erstellt im Rahmen der BMBF-Fördermaßnahme „Ressourceneffiziente Stadtquartiere für die Zukunft“ (RES:Z).

Büter, Bjorn; Leßmann, Dominika (2016): INIS - Verbundprojekt KURAS: Konzepte für urbane Regenwasserbewirtschaftung und Abwassersysteme : Teilvorhaben 14 (Stadtklima). Edited by BMBF. GeoNet. Hannover.

Burkhardt, M., Kulli, B., & Saluz, A. G. (2022). Schwammstadt im Strassenraum : Herausforderungen und Lösungen für blau-grüne Massnahmen. Aqua & Gas, 2022(10), 16-29. https://www.aquaetgas.ch/wasser/abwasser/20220928_ag10_schwammstadt-im-strassenraum/

GALK Arbeitskreis Bäume (2023): Positionspapier Wassersensible Straßenraumgestaltung – Versickerungsanlagen sind keine Baumstandorte. März 2023

Wasserwiederverwendung im urbanen Raum und in der Landwirtschaft

Silvio Beier¹, Stephanie Schneider-Werres¹, Gloria Kohlhepp¹, Kay Smarsly², Yousuf Al-Hakim², Gerald Müller³, Kai Spurling³, Reinhard Voigt⁴, Ilona Gerlach⁴, Ralf Gülland⁴, Andre Rathgeber⁵, Yvonne Küntzer⁵, Walter Wipprich⁶, Mark Wipprich⁶, Felix Kaller⁷, Claudia Klümper⁷

¹ Bauhaus-Universität Weimar, Wielandstraße 2, 99423 Weimar, silvio.beier@uni-weimar.de

² TU Hamburg, Institute für Digitales und Autonomes Bauen, Blohmstraße 15, 21079 Hamburg, kay.smarsly@tuhh.de

³ HVG Grünflächenmanagement GmbH – Ein Unternehmen von VIVAWEST, Bergmannsglückstrasse 35, 45896 Gelsenkirchen, gerald.mueller@hvg-mbh.de

⁴ WTA UNISOL GmbH, Fritz-Bothmann-Str. 1, 99867 Gotha, r.voigt@wta-unisol.com

⁵ Thüringer Bauernverband e. V., Alfred-Hess-Straße 8, 99094 Erfurt, Andre.Rathgeber@tbv-erfurt.de

⁶ PURION GmbH, Meininger Straße 41, 98544 Zella-Mehlis, mark.wipprich@purion.de

⁷ Hochschule Hamm-Lippstadt, Marker Allee 76-78, 59063 Hamm, claudia.kluemper@hshl.de

ZUSAMMENFASSUNG

INNOWATER - Innovative und wissensbasierte Quartiersentwicklung für ein energie- und ressourceneffizientes Wohnen, gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Projektlaufzeit: September 2022 bis Oktober 2023, Förderkennzeichen: 38351/01-25

Der Bedarf und die Ansprüche an künftige Wohnräume wachsen kontinuierlich und gleichzeitig drängt der Klimawandel zu effizienten Lösungen, um anthropogene Umweltbelastungen zu reduzieren und Städte dauerhaft lebenswert zu gestalten. Hierzu bedarf es innovativer Ansätze für die Weiterentwicklung der Infrastrukturen zu einer nachhaltigen, regionalen energie- und ressourceneffizienten Quartiersentwicklung.

Eine quantitativ und qualitativ ausreichende Versorgung mit Wasser ist ein wesentliches Element der Bewirtschaftung von Wohnquartieren mit Grünflächen. Die Bewässerung von urbanen Grünanlagen und die Lösung möglicher Nutzungskonflikte, um zur Verfügung stehende Wasserressourcen, stellen eine Herausforderung für die Zukunft dar.

Es bedarf intelligenter Regelungskonzepte, um Regen- bzw. Grauwasser effizient und bedarfsgerecht verfügbar zu machen. In diesem Kontext gewinnen dezentrale, adaptive und sensorbasierte KI-Systeme zunehmend an Bedeutung. Zusätzlich werden vermehrt vernetzte, (Internet of Things) IoT-basierte Lösungen im urbanen Grün eingesetzt, um Messdaten zu erfassen und zu analysieren. Auf kommunaler Ebene ist der Betrieb und die kombinierte IoT/KI-basierte Nutzung von Grau- und Regenwasser noch einzigartig. Dieser Ansatz wird im

Projekt INNOWATER mit einem interdisziplinär zusammengesetzten Projektkonsortium aus den Bereichen Wohnungsbau, Gartenbau, Wasserwirtschaft, Bewässerungstechnik, künstlicher Intelligenz und Gesundheit adressiert. Das verbindende Ziel ist die Entwicklung eines Konzeptes für eine innovative und wissensbasierte Wasser- und Bodenbewirtschaftung für die ressourcenschonende Quartiersentwicklung.

FarmWater – ThWIC: Wasserwiederverwendung in der Landwirtschaft, gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung, Projektlaufzeit: Mai 2023 bis April 2026, Förderkennzeichen: 03ZU1214IA

Aufgrund der deutlichen Verschiebung von Niederschlägen in Folge des Klimawandels muss sich insbesondere die Landwirtschaft auf temporäre und regionale Wassermangelsituationen einstellen, was deutliche Ernteeinbußen bedeutet und damit die landwirtschaftlichen Betriebe vor ökonomische Schwierigkeiten stellt.

An der Bauhaus-Universität Weimar wird zusammen mit dem Thüringer Bauernverband (TBV) und Partnern aus der Thüringer Wirtschaft ein innovatives Verfahrenskonzept entwickelt und erprobt, um aufbereitetes Abwasser als Wasserressource - über das ganze Jahr verteilt - für die künstliche Bewässerung in der Landwirtschaft zu nutzen. Der Vorteil dieser Bewässerungsform ist insbesondere ein niederschlagsunabhängiger, zeitgenauer und punktueller Einsatz der Ressource Wasser.

Das Projekt soll dazu beitragen, die Wertschöpfungsketten landwirtschaftlicher Betriebe zu steigern. Dabei werden auch ökologische Vorteile des Verfahrens aufgezeigt. Zusätzlich können durch eine Wasserwiederverwendung zukünftige Nutzungskonflikte um die Ressource Wasser entschärft werden. Durch die Erschließung einer neuen und zusätzlichen Wasserressource wird es möglich, die Resilienz der landwirtschaftlichen Betriebe gegen klimatische Entwicklungen aktiv zu steigern. Bei der Entwicklung eines praxisnahen Aufbereitungsverfahrens werden lokale Bedürfnisse besonders beachtet.

Auf Basis der im Modelprojekt gewonnenen Daten wird der Thüringer Bauernverband mit den Projektpartnern eine gezielte Öffentlichkeitsarbeit leisten, dessen Ziel eine Steigerung der Akzeptanz der zentralen und dezentralen Wasserwiederverwendung in den Bereichen Gesellschaft und Politik ist.

BIM in der Wasserwirtschaft

- vom Regelwerk zur praktischen Anwendung

Prof. Dr.-Ing. Markus Schröder

TUTTAHS & MEYER Ingenieurgesellschaft für Wasser-, Abwasser- und Energiewirtschaft mbH

Auf der Hüls 162, 52068 Aachen

E-Mail: m.schroeder@tum-ingenieure.de

ZUSAMMENFASSUNG

Im vorliegenden Beitrag werden Stand und geplante Entwicklungen bei der Regelwerksgebung für den Einsatz der BIM-Methodik in der Wasserwirtschaft beschrieben. Es werden Chancen aber auch Hemmnisse beschrieben, die den Einsatz dieser Methodik, die zum Digitalen Zwilling führen soll, in der Praxis zurzeit behindern bzw. hemmen.

1 EINLEITUNG

Mit dem Thema Building Information Modeling (BIM) als wichtigem Bestandteil der Digitalisierung werden auf politischer Ebene hohe Erwartungen verbunden. So geht die EU BIM Task Group davon aus, dass durch die volle Digitalisierung von Planungsprozessen zwischen 13 und 21 Prozent Kosteneinsparungen bei Planung und Bau erzielt werden können sowie 10 bis 17 Prozent Einsparungen in der Betriebsphase (EU BIM Task Group 2017). Dieses Potential sollte bis zum Jahr 2025 durch die Einführung der BIM-Methodik bei öffentlichen Bauvorhaben erschlossen werden. In der Wasserwirtschaft ist dieses Ziel aber flächendeckend nicht mehr realisierbar, da die große Masse der Betreiber wasserwirtschaftlicher Anlagen sich noch nicht intensiv mit dem Thema auseinandersetzt. Gründe hierfür sind zum einen, dass Ressourcen sowohl im Hard- als auch im Softwarebereich sowie geschultes Fachpersonal fehlen, und zum anderen der Nutzen für die Betreiber noch nicht ausreichend kommuniziert wird. Zudem fokussiert sich die BIM-Branche noch immer stark auf den Hochbau, so dass ein an die besonderen Rahmenbedingungen der Wasserwirtschaft angepasstes und aus Sicht aller Beteiligten notwendiges Regelwerk erst in der Entwicklung ist. Vor diesem Hintergrund ist zögerliche oder fehlende praktische Auseinandersetzung mit der Thematik zwar nachvollziehbar, aber nicht tolerierbar, denn die durch die Digitalisierung anstehenden revolutionären Veränderungen müssen aktiv gestaltet werden. Andernfalls wird man sich einer Entwicklung beugen müssen, die nicht auf die besonderen Rahmenbedingungen und Erfordernisse der Wasserwirtschaft zugeschnitten ist.

2 DIE REGELWERKS GEBER

Regelwerksgeber in der Wasserwirtschaft sind die DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.) und der DVG (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.). Beide Vereinigungen haben sich für die Regelwerksarbeit im Bereich BIM zusammengeschlossen und erarbeiten gemeinsam im Fachausschuss FA WI-6 "BIM in der Wasserwirtschaft" die Merkblattreihe „Building Information Modeling (BIM) in der Wasserwirtschaft“ (DWA-Merkblatt M 860, DVGW-Merkblatt W 1070). Mit Datum 19. Dezember 2022 haben beide Verbände eine Zusammenarbeit mit buildingSMART Deutschland e. V. vereinbart zur Förderung von Building Information Modeling in der Wasserwirtschaft (Kooperationsvereinbarung siehe buildingSmart, DVGW, DWA 2022).

Um Doppelarbeit und widersprüchliche Regelwerksgebung zu vermeiden, findet zudem ein regelmäßiger fachlicher Austausch zwischen den nachstehend aufgeführten Stakeholdern statt:

- Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV)
- buildingSMART Deutschland e. V.
- Deutsches Institut für Normung (DIN)
- Deutsche Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW)
- Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA)
- German society for Trenchless Technology e. V. (GSTT)
- Rohrleitungsbauverband e.V. (rbv)
- Verband Beratender Ingenieure (VBI)
- VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V. (VDI)

3 MOMENTANER STAND DER REGELWERKSERSTELLUNG

Am 12. Oktober 2017 fand am Sitz der DWA in Hennef ein Experten-Workshop mit dem Titel „Building Information Modeling - Konsequenzen, Aufwand und Nutzen für die Wasserwirtschaft“ statt (DWA 2018/1). Als Ergebnis dieses Workshops ergab sich ein zeitlich gestuftes Vorgehen in folgenden Schritten:

1. Einrichtung einer DWA-Ad-hoc-Arbeitsgruppe WI-00.5 „Building Information Modeling“ im Hauptausschuss Wasserwirtschaft mit dem Ziel, möglichst schnell einen Arbeitsbericht zum Thema zu veröffentlichen.
2. Gründung eines Fachausschusses „Building Information Modeling in der Wasserwirtschaft“ mit dem Ziel einer Merkblatterstellung.

Der Arbeitsbericht erschien im Dezember 2018 (DWA 2018/2). Am 30. April 2019 fand die konstituierende Sitzung des Fachausschusses DWA-FA WI 6 „BIM in der Wasserwirtschaft“ statt.

In der ersten Bearbeitungsphase stellte sich schnell heraus, dass dieses Thema wegen des erheblichen Umfangs auf keinen Fall in einem einzigen Merkblatt abgedeckt werden konnte. Daher wurde wie unter Kapitel 2 beschrieben die Erstellung einer Merkblattreihe DWA M 860 bzw. DVGW W 1070 beschlossen. Bild 1 zeigt den Planungsstand für diese Merkblattreihe, wie er zum Zeitpunkt des Erscheinens des Teiles 1 (DWA 2022) der Merkblattreihe vorlag.

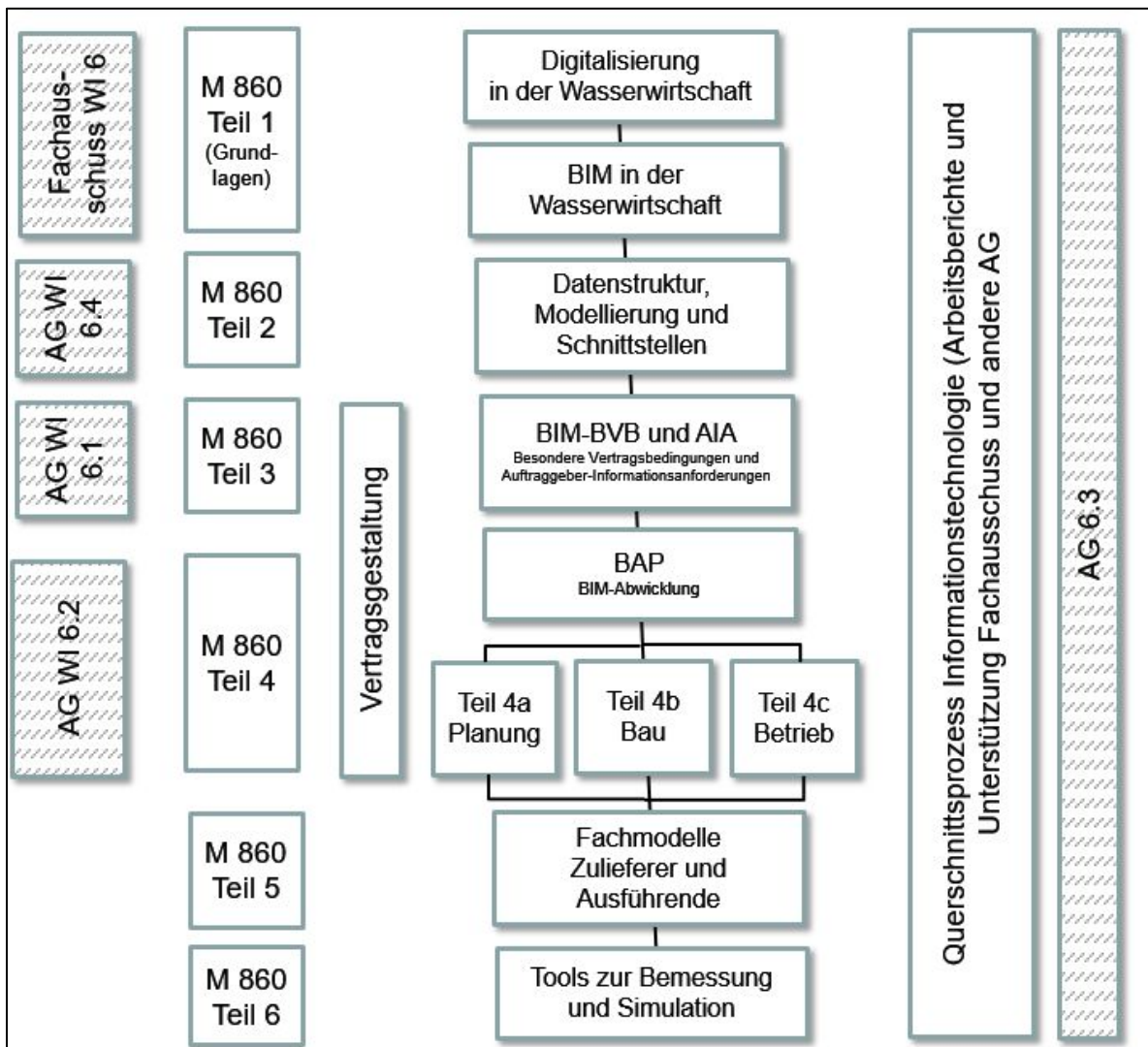


Bild 1: Geplante Struktur der Merkblattreihe DWA M 860 bzw. DVGW W 1070 (in Anlehnung an DWA 2006)

Die Arbeitsblätter Teil 2 bis 4 sind wie in der Abbildung aufgeführt drei Arbeitsgruppen des Fachausschusses zugeordnet. Die Arbeitsgruppe 6.3 erstellt keinen eigenen Merkblattteil, sondern unterstützt die Arbeiten des Fachausschusses und der anderen Arbeitsgruppen.

Zusätzlich wird in der Arbeitsgruppe WI 6.4 das Merkblatt DW-M 803 (DWA 2006) in dem Teil erneuert, der sich mit dem Elementenkatalog und den Datenstrukturen beschäftigt.

Ein wesentliches Ergebnis aus dem Teil 1 der Merkblattreihe (DWA 2022) ist in Bild 2 dargestellt.

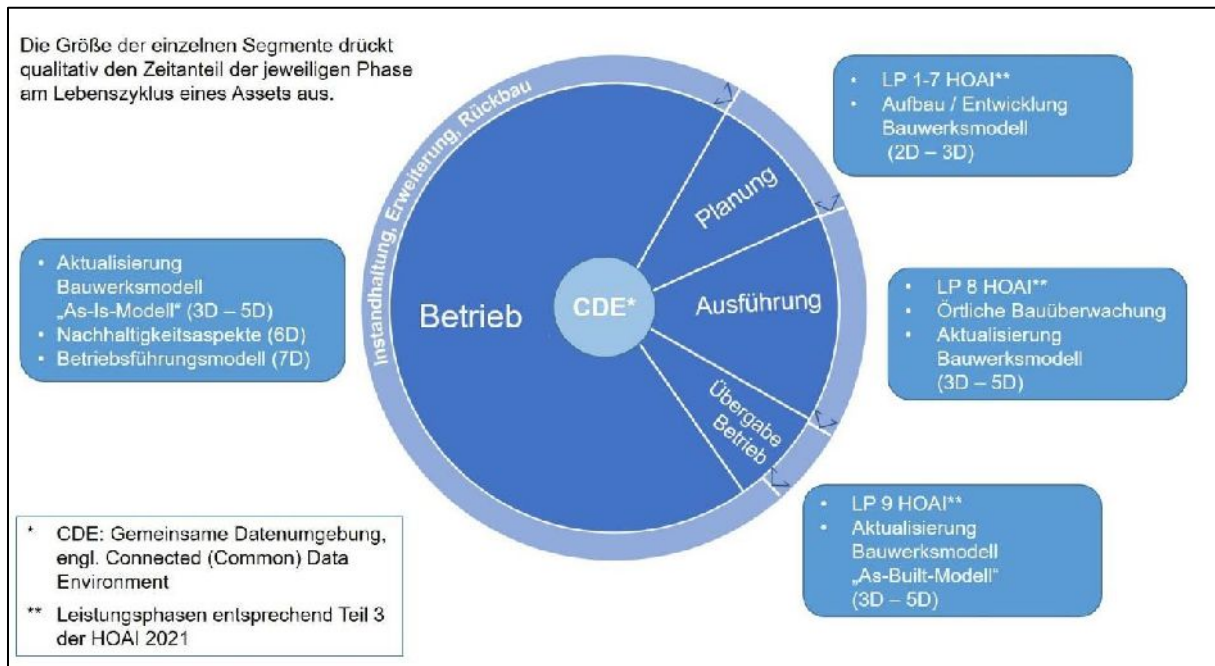


Bild 2: Lebenszyklus eines Assets (DWA 2006)

Dieses Bild zeigt zwei grundlegende Unterschiede zu ähnlichen Darstellungen aus dem Hochbau.

Zum einen ist der Rückbau nicht als eigenes Segment im Kreisdiagramm dargestellt, sondern als Parallelprozess zum Betrieb. Diese Darstellungsform wurde gewählt, um zu verdeutlichen, dass in wasserwirtschaftlichen Anlagen mit den langen Lebenszyklen ein ständiger (Teil-) Rückbau mit entsprechender Erneuerung stattfindet. Dies bedeutet in der Praxis eine ständige Fortschreibung des BIM-Modells während des gesamten Lebenszyklusses.

Zum anderen wurden die einzelnen Segmente entsprechend ihrem Zeitanteil am Lebenszyklus eines Assets dargestellt. Damit wird verdeutlicht, dass der Betrieb der Anlagen den wesentlichen Teil ausmacht und dies gilt nicht nur für die Dauer, sondern vor allem auch für die Kosten. Planung und Bau verursachen im Regelfall nur bis zu ca. 20 % der Kosten eines Assets in der Wasserwirtschaft, der Betrieb bis zu 70 % und der Rückbau bis zu 10 %.

4 BIM IN DER PRAXIS

Obwohl sich bei einer fundierten Auseinandersetzung mit der BIM-Methodik schnell herausstellt, dass sich hier langfristig ein erheblicher Nutzen ergeben kann (siehe Kapitel 1 bzw. EU BIM Task Group 2017), läuft die Implementierung bei vielen Betreibern schleppend. Neben den bereits genannten Ressourcen-Problemen liegt dies auch am fehlenden Verständnis für die Chancen, aber auch an der mangelnden Erkenntnis für den unvermeidlichen Wandel. Zudem wird BIM vielfach als ein Planungstool angesehen, das zudem noch auf eine 3D-Visualisierung beschränkt wird. Den wahren Nutzen im Betrieb kann die BIM-Methodik aber erst entfalten, wenn Objekt bezogen modelliert wird und wenn die weiteren Dimensionen eines BIM-Modells umgesetzt werden:

4D – Termine, Bauzeitplanung

5D – Kostenaufstellung, -verfolgung und -analyse

6D – Nachhaltigkeit und Effizienz

7D – Verwaltung von Instandhaltungs- oder Wartungsmaßnahmen im Facility Management.

Bei der vorstehenden, so oder ähnlich oftmals verwendeten Beschreibung der 7. Dimension wird deutlich, wie gering der Stellenwert des Betriebes im Hochbau letztlich eingeschätzt wird. Auf den meisten Anlagen der Wasserwirtschaft hat aber der Betrieb, wie bereits beschrieben, eine deutlich größere Bedeutung. Und der Betrieb der Zukunft wird massiv von der künstlichen Intelligenz bestimmt sein. Hier sind der Aufbau und die ständige Fortschreibung eines

Digitalen Zwilling

mittels der BIM-Methodik in der betrieblichen Praxis zwingend, wenn man die Möglichkeiten der KI nutzen will. Und letztlich muss ein Bewusstsein dafür entstehen, dass ohne diese Auseinandersetzung mit der Digitalisierung ein nachhaltiges und zukunftsicheres Bewirtschaften unserer wasserwirtschaftlichen Anlagen nicht möglich sein wird.

Jeder Betrieb muss sich zumindest soweit mit der BIM-Methodik auseinandersetzen, dass eine individuelle fundierte Entscheidung über den Zeitpunkt des Einstieges in die Thematik getroffen werden kann. Die Frage, ob man einsteigen will, stellt sich aus den genannten Gründen nicht.

LITERATUR

EU BIM Task Group (2017):

Handbook for the Introduction of Building Information Modeling by the European Public Sector; Strategic action for construction sector performance: driving value, innovation and growth. Juli 2017, Permalink <http://www.buildup.eu/en/node/53925>

buildingSmart, DVGW, DWA (2022):

Kooperationsvereinbarung zur Förderung von Building Information Modeling in der Wasserwirtschaft, <https://www.dvgw.de/medien/dvgw/verein/presse/pi-20221219-dvgw-dwa-kooperation-bim.pdf>

DWA (2018/1)

Building Information Modeling - Konsequenzen, Aufwand und Nutzen für die Wasserwirtschaft. Korrespondenz Abwasser, Abfall · 2018 (65) · Nr. 5

DWA (2018/2)

Arbeitsbericht „Building Information Modeling“ der DWA-Ad-hoc-Arbeitsgruppe WI-00.5.
Korrespondenz Abwasser, Abfall · 2018 (65) · Nr. 12

DWA (2022)

Merkblatt DWA-M 860-1 „Building Information Modeling (BIM) in der Wasserwirtschaft – Teil 1: Grundlagen“.
DWA-Bundesgeschäftsstelle, Theodor-Heuss-Allee 17, 53773 Hennef; Tel. 0 22 42/872-333, Fax 0 22 42/872-100, E-Mail: info@dwa.de, DWA-Shop: www.dwa.de/shop

DWA (2006)

Merkblatt DWA-M 803 „Kostenstrukturen in der Abwassertechnik“.
DWA-Bundesgeschäftsstelle, Theodor-Heuss-Allee 17, 53773 Hennef; Tel. 0 22 42/872-333, Fax 0 22 42/872-100, E-Mail: info@dwa.de, DWA-Shop: www.dwa.de/shop

Angriffserkennung und kontinuierliches Risikomanagement zur Verhinderung von Schäden durch Cyberangriffe

Jens Bussjäger und Malte Pichler,

Achtwerk GmbH & Co. KG und VIDEDEC Data Engineering GmbH

E-Mail: jens.bussjaeger@acht-werk.de und malte.pichler@videc.de

ABSTRAKT

Bereits seit Sommer 2015 ist in Deutschland das IT-Sicherheitsgesetz in Kraft. Es wurde im Mai 2021 aktualisiert und schreibt mit einer Frist bis zum 1. Mai 2023 vor, dass KRITIS-Betreiber Systeme zur Angriffserkennung implementieren müssen. Dieser Termin ist nun verstrichen, aber längst nicht alle betroffenen Unternehmen sind den gesetzlichen Regelungen nachgekommen. Auch die Aufforderungen der Regierungen (Bund und Länder) sind verhallt. Die meisten Unternehmen sind bisher noch nicht über die Planungsphase hinaus, obwohl die Umsetzung im eigenen Interesse schnellstmöglich erfolgen sollte.

Mit der Umsetzung der Vorgaben aus der EU NIS2 Richtlinie in Deutschland durch das NIS2UmsuCG (NIS2-Umsetzungs- und Cybersicherheitsstärkungs-Gesetz) wird es mit großer Wahrscheinlichkeit für alle Betreiber kritischer Dienstleistung verbindlich, da die Regulierung nach Schwellenwerten entfällt.

Warum sind Cyberangriffe so erfolgreich? Das hat natürlich unterschiedlichen Gründe (z.B. warum gibt es so viele Sicherheitslücken?). Aber vor allem auch die fehlende und aktuelle Beurteilung der Aktivitäten im Netzwerk. Somit sind wir auch beim kontinuierlichen Cyber Risiko Management.

- Ersten, das Risiko das durch Cyberangriffe die kritische Dienstleistung gestört wird erhöht sich täglich.
- Zweitens, das Risiko davon Betroffen zu sein sowie die Auswirkungen werden fast immer erheblich unterschätzt.

Alle Jahre wieder eine Risiko Beurteilung der IT Risiken durchzuführen ist zu selten! Fast täglich ändert sich etwas in der Automatisierung und den Anlagen. Und oft ist es ja überhaupt nicht transparent welche Systeme und Datenverbindungen sowie Netzwerkzugriffe in der Automatisierung normal und richtig sind und welche nicht. Über Jahrzehnte wurden einfach Geräte ins Netzwerk hinzugenommen. Netzwerkpläne – sofern überhaupt vorhanden – wurden nicht erneuert. Im Fall einer Manipulation ist die Handlungsfähigkeit damit sehr stark reduziert. Das Netzwerk ist jedoch das Rückgrat der

Automation. Im Fall erster Anomalien ist schnelles, entschiedenes und sicheres Handeln gefragt. Handlungsfähigkeit ist somit der wichtigste Faktor bei einem Angriff.

Anomalien frühzeitig zu erkennen und zu melden, ist von entscheidender Bedeutung für die Sicherheit der kritischen Dienstleistungen. Um Angriffe erfolgreich zu verhindern, ist das Protokollieren und Detektieren von Änderungen in den Anlagen ein wesentlicher Faktor. Die Überwachung des Netzes ist daher von entscheidender Bedeutung. So können die gesetzlichen Anforderungen schnell und effizient erfüllt und die Verfügbarkeit sichergestellt werden.

Erfahrungen aus der Praxis:

- Fast immer werden Netzwerkteilnehmer gefunden, die eigentlich nicht da sein sollten.
- Kommunikationsbeziehungen, ebenfalls über Jahrzehnte gewachsen, sind auf einmal sichtbar.
- Fehlkonfigurationen werden identifiziert.

Und weitere Erkenntnisse aus der Einführung von OT-Netzwerk Monitoring

VIDEC:

Die VIDEC Data Engineering GmbH hat sich auf Software-Produkte und -Lösungen für die Automatisierung sowie die Optimierung von Produktionsprozessen spezialisiert und betreut branchenunabhängig seit über 25 Jahren Anlagen vom KMU bis hin zum internationalen Konzern.

Umfassende Berichte, gezielte IT-Security, intelligente Alarmsysteme, komplexe Schnittstellen - VIDEC bietet kompetente Unterstützung, um den reibungslosen Betrieb von automatisierten Anlagen und Produktionsstätten zu gewährleisten.

Achtwerk GmbH & Co KG ist der Hersteller von IRMA®, einer Security Appliance für das aufwandsarme OT-/IT-Netzwerkmonitoring in vernetzte Automatisierung. IRMA® erfüllt die technischen Anforderung und unterstützt die organisatorischen Anforderungen zur Umsetzung eines Systems zur Angriffserkennung. Vor allem für kritische Infrastrukturen und mittelständischen Produktionsunternehmen sowie Anlagenbauer in Europa bietet Achtwerk Security Lösungen zu Industrial IT-Visualisierung, Angriffserkennung und dem Security Risiko Management (vgl ISO27000, ITSiG Branchenstandards) an.

„Smart City“ durch integrierte Wasser-/Nährstoff- und Energiesysteme bei resilienter Digitalisierung

Prof. Dr.-Ing. Ralf Otterpohl

TUHH, Institut für Abwasserwirtschaft und Gewässerschutz, Eißendorfer Straße 42, 21073 Hamburg

E-Mail: ro@tuhh.de

1 EINLEITUNG

Die Neue Züricher Zeitung brachte im Jahre 2017 einen Artikel „Willkommen in der smarten Stadt – wo die Diktatur der Daten herrscht“. [1] Ähnliche Aussagen gibt es auch in vielen anderen Medien. Die Entwicklungen in China haben zu einer Totalüberwachung geführt, die die technischen Möglichkeiten ohne Rücksicht auf die Menschen vorantreibt. Wenn man wie in China kaum noch erkennen kann, ob da ein Vogel oder eine Überwachungskamera mit Mikrofon fliegt – ist der Staat aus meiner Sicht zu weit gegangen. Die angepriesenen Vorteile von „Smart City“ erscheinen demgegenüber schwach; teils auch absurd und/oder infantil. Die Hackerangriffe auf die Netzwerke von Firmen, Hochschulen und auch Städten sind inzwischen ein Milliardengeschäft. Es ist bekannt, dass auch scheinbar sehr gut geschützte Systeme für kriminelle Profis, militärische Einrichtungen und Geheimdienste offen zugänglich sind. Bei lebenswichtiger Infrastruktur der Energie- und Wasserversorgung ist eine Abhängigkeit von Netzwerken schon lange übliche Praxis. Die Erpressung einer „smarten“ Stadt durch Abschalten von Wasser- und Energie von außen oder innen ist technisch offensichtlich in vielen Fällen möglich. Anstatt gebetsmühlenartig „Digitalisierung“ zu beten und voranzutreiben, ist der Aufbau resilienter und nicht-Netzwerk-digitaler redundanter Systeme lebenswichtig.

Bei allen Aktivitäten der Digitalisierung, „Smart City“ und weiteren politisch geforderten Themen muss der jederzeit möglichen Totalausfall der Stromversorgung durch kommerzielles oder militärisches Hacking, militärische oder solarsturmbedingte EMPs (Elektromagnetischer Impuls) einbezogen werden. Die Professionellen des Smart City Marketing sind mit Realität zu bremsen, anstatt bisher noch fragwürdigen Systemen politisch Vorschub zu leisten. Die wesentliche Rolle der Energie- und Wassersysteme gibt den Fachleuten eine hohe Verantwortung – wenn etwas schief geht, sind Sprüche wie „das konnten wir nicht vorhersehen“ beim Leid von Millionen von Menschen nicht mehr hilfreich. Wir wissen es, rundum resiliente Grundstrukturen und auch von der Ressourcenverfügbarkeit dauerhaft sichere Systeme sind Pflicht. Wer sich mit seiner Haustür von elektronischen Systemen abhängig machen will, soll das tun. Diese werden

¹<https://www.nzz.ch/feuilleton/die-stadt-wird-zum-computer-ld.1326729?reduced=truehttps%3A%2F%2Fhttps%2F%2Fwww.nzz.ch%2Ffeuilleton%2Fdie-stadt-wird-zum-computer-ld.1326729%3Freduced%3Dtrue>

spätestens nach dem ersten Ausfall mit einer Nacht im Hotel ausgebaut werden.

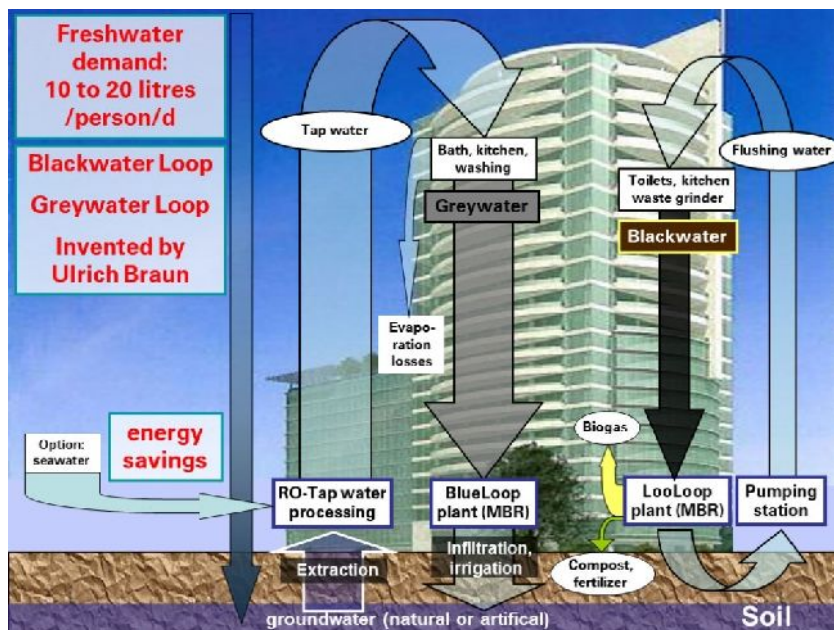
2 RESILIENZ DURCH DEZENTRALISIERUNG

In Berlin gibt es tausende von Brunnen mit Handpumpen, die bei Ausfällen der Wasserversorgung lebenswichtig werden können. Leider scheinen immer weniger dieser Pumpen betriebsbereit zu sein. Ein sehr wichtiger Schritt der Dezentralisierung in Energie- und Wasserinfrastruktur war die Verteilung intelligenter Regelungen an die Anlagen – vorher wurde alles in zentralen Systemen organisiert. Ähnliche Schritte werden mit dezentralen und semizentralen Wasser- und Abwasseranlagen gegangen. Der Autor ist mit dem EXPO-2000-Projekt Lübeck-Flintenbreite vorangegangen, wo die Nährstoffe durch die Teilstromerfassung von Toilettenabwasser und Bioabfällen in Flüssigdünger und Energie verwandelt werden können. In Holland wurde in Folge ein ähnliches System realisiert, andere in China. Hamburg Wasser baute das für einige Jahre weltgrößte semizentrale Abwassersystem mit Weiterentwicklungen bei der Energiegewinnung. Inzwischen ist Oceanhamnen in Helsingborg, Schweden noch größer und demonstriert mit seiner Lage an oder in der Ostsee die hohe Bedeutung der weitgehenden Nährstoffrückgewinnung auch für den Gewässerschutz.

An der TU Hamburg wird in Erinnerung an Ulrich Braun das ursprünglich von ihm erfundene System des Schwarzwasserkreislaufes weiterentwickelt (siehe Bild 1). Die sehr konsequente Aufbereitung des separat gesammelten Toilettenabwassers zu Toilettenspülwasser mit der Produktion von weitgehend behandeltem Flüssig- oder Pulver-Volldünger bei Vernichtung der Mikroschadstoffe ist über Jahre erfolgreich untersucht worden und für die Stadt Hamburg in einer Anlage für umgerechnet 150 EW als Pilotanlage gebaut worden. Eine Familie aus Süddeutschland hat in 2022 eine Pump-Toilette entwickelt und auf den Markt gebracht, die mit dem in der Toilette selber behandeltem Urin spült und damit fast ohne Wasser die Erfassung der Exkrememente ermöglicht (<https://eigenenergie.org>).

Am Institut für Abwasserwirtschaft der TU Hamburg wurden die weltweit meisten dezentralen und semizentralen Abwassersysteme entwickelt. Dabei sind sowohl High-Tech (smart!) als auch Low-Tech (smarter?!) Systeme entwickelt und erprobt worden. Ein sehr aussichtsreiches System ist die Terra-Preta Sanitation, die Exkrememente mit Sammelbehältern in Lakto-Fermentation geruchsfrei macht und über ein Sammelsystem (auch mit Bioabfällen zusammen) zu Kompostplätzen bringt. Diese Bodensubstrate werden unter Zugabe von Pulverholzkohle und holzigen Reststoffe produziert. An der ETH Zürich gibt es ebenfalls einen Schwerpunkt auf weitgehende Nährstoffrückgewinnung und Elimination der Mikroschadstoffen darin mit Teilstromerfassung; die Forschung dort basiert vorwiegend auf der Urinnutzung. Diese ist mit dem Bau einer sehr wassersparenden Sortiertoilette „Safe!“ der Firma LAUFEN (CH) sehr viel machbarer geworden. Diese Toilette wurde von Ulrich Braun erfunden (ex-TUHH-Kooperationspartner) und nach Auslaufen des Patentes nach dem Tod von Herrn Braun dann in Serie produziert.

Über die vielfältigen dezentralen Abwassersysteme wurde an anderer Stelle ausführlich be-



richtet – wenn die Politik sich für echte zukunftstaugliche Lösungen interessieren würde, wären wir viel weiter. Wenn der Hauptantrieb gut vernetzter PolitikerInnen das Ausrollen neuer, oft sehr umweltfeindlicher Milliardenmärkte bleibt, wird die Innovation von der Wasserwirtschaft in wissenschaftlich fundierter eigener Verantwortung erfolgen müssen.

Bild 1: Mit intelligenten semizentralen Wasser- und Abwassersystemen kann auf teure zentrale Kanalnetze verzichtet werden. Das Bild zeigt das Beispiel des an der TU Hamburg entwickelten Schwarz- und Grauwasserkreislaufs, bei dem auch eine weitestgehende Wärmerückgewinnung erfolgt. Die wirtschaftliche Mindestgröße liegt bei ca. 2000 EW.

Immer mehr Wasserbetriebe gehen voran – bis hin zur Verantwortung für das ganze Wassereinzugsgebiet. Hier ist das Institut für Abwasserwirtschaft für 11 Wasserwerke in Süddeutschland tätig, um die Wasserregeneration und Vermeidung der Belastungen durch Regenerative Landwirtschaft [2] voranzubringen.

3 DIE SCHLAUE STADT WIRKT MIT DEM UMLAND ZUSAMMEN!

Die schlaue Organisation der Infrastrukturen einer Stadt hat sehr wenig mit den „Smart City“ Aktivitäten zu tun. Man kann neben der oben angesprochenen Redundanz und Resilienz die politischen Vorgaben aber für wirklich sinnvolle und auch existenzsichernde Konzepte einfließen lassen. Urbanisierung ist nur bis zu einem gewissen Grade sinnvoll, viele Städte sind auf Kosten des Umlandes gewachsen. Die Stadt kann im Zusammenwirken mit einem produktiven Umland die dauerhafte und krisenfeste Versorgung mit sauberem Wasser, Lebensmitteln, vielfältigen weiteren Produkten und einer lebenswerten Umwelt sicherstellen. Die jahrzehntelange politisch gewollte Vernichtung von ländlichen Arbeitsplätzen hat zu einem sinnlosen Wegfall der hochwertigen lokalen Produktivität im Warenaustausch mit der Stadt geführt. Den Aufbau lokaler Strukturen hat der Autor beispielsweise in seinem Buch „Das Neue Dorf“ mit

² https://youtu.be/K5XhQTzZmyQ?si=LX93LRX_otFOINie

vielen konkreten Ansätzen der lokalen Produktion und Regenerativer Landwirtschaft, Agroforst und Waldgärten dargelegt. [3]

Die agro-chemische Landwirtschaft zerstört den Wasserkreislauf, die Klimastabilität durch fast undurchlässigen Böden. Realer Klimawandel ist sehr viel schlimmer als simple Modelle, da der Zusammenbruch der Wasserkreisläufe zur Steppe und Wüste führt. Damit gibt es Überflutung und Trockenheit im Wechsel. Die agro-chemische Landwirtschaft selber hat nur noch einen geringen Anteil an der Wertschöpfung in der Lebensmittelproduktion, da der größte Teil des Umsatzes und der Produkte an die Globalindustrie fließt. Der Autor fordert und fördert den Aufbau einer Regenerativen Agro-Chemie mit dem machbaren sofortigem Ausstieg aus der grundwasserbelastenden und extrem energieaufwendigen technischen Stickstoffsynthese. Gesunde Böden machen das solar, vor Ort und genau nach Bedarf – wenn Molybdän vorhanden ist. Es braucht eine breit Versorgung mit den genau passenden Mineralien inklusive der über 80 Spurenelemente. [4] Zugleich werden die Böden und Gewässer einschließlich der Trinkwasserressourcen mit inakzeptablen Giften immer weiter belastet und die Böden, unser wichtigstes Zukunftskapital werden verarmt. Jahr für Jahr werden die Böden in Deutschland durch Handelsdünger mit hunderten Tonnen Uran und Cadmium belastet. Da die Bundespolitik sich als wenig zukunftsfähig erweist, muss lokal gehandelt werden.

4 SCHLUSSBEMERKUNG

Am Institut für Abwasserwirtschaft wurde von Dr. Tavseef Shah aus Kashmir das aktuell mit Abstand beste Reisanbausystem der Welt entwickelt: iRice. „I“ steht hier für intelligent und für Intercropping. Bohnen produzieren Stickstoff solar vor Ort und minimieren das jäten. Das zugrundeliegende SRI-Trockenreissystem wurde aus dem vor 40 Jahren in Madagaskar entstandenen und von Cornell University (USA) propagierte SRI-System weiterentwickelt. Durch das Intercropping sind die wenigen Nachteile des SRI-Systems überwunden worden. Die absolut machbare Einsparung von über 15% des Weltwasserbedarfs scheint kaum jemanden zu interessieren. Die Regenerative Landwirtschaft allein kann bei wirtschaftlichen Vorteilen für die Bauern mit nährstoffdichter Nahrung die Grundwasserverschmutzung beenden, die Wasserkreisläufe heilen und damit das Klima in Balance bringen. Die Lösung der Probleme nutzt den Menschen direkt – also sollten diese die treibende Kraft sein. Die gigantischen globalen Netzwerke der Problem-Profiteure in Konzernen, Hochschulen (was wird gefördert?), NGOs und Politik werden natürlich nicht die Probleme lösen, die ihnen nutzen... Alles ist da für eine gute Zukunft für alle. Die beste Zeit zum Handeln war vor 100 Jahren, die zweitbeste ist jetzt. Die Wasserwirtschaft muss die treibende Kraft für Wasser- und Nahrungssicherheit kann werden. Existenzsicherung auf allen Ebenen ist der klare Auftrag!

³ <https://www.epubli.com/shop/das-neue-dorf-9783757535186>

⁴ <https://youtu.be/EBEekTSipdU?si=G4fUs333OKpmRkm5>

Modellierung der Abwasserbelastung in den Oberflächengewässern Schleswig-Holsteins und Identifizierung räumlicher Belastungsschwerpunkte mit Human-Arzneimitteln

Dr. Björn Tetzlaff

Forschungszentrum Jülich GmbH, Wilhelm-Johnen-Str., 52428 Jülich

E-Mail: b.tetzlaff@fz-juelich.de

ZUSAMMENFASSUNG

Zur Einschätzung der Belastung von Oberflächengewässern mit Humanarznei-Wirkstoffen in Schleswig-Holstein werden landesweite Daten benötigt. Da sich die Belastung aus einer Vielzahl an Wirkstoffen ergibt, muss die Einschätzung über den Abwasseranteil am mittleren Abfluss als Proxy erfolgen. Hierzu werden basierend auf einer Wasserhaushaltsmodellierung, den eingeleiteten Jahresabwassermengen und einer Abflusshierarchie entsprechende Analysen vorgenommen. Mehrjährige Konzentrationsmessungen des Landesamtes für Umwelt zu ausgewählten Wirkstoffen werden zur Validierung der ausgewiesenen Belastungsschwerpunkte herangezogen. Die Ergebnisse können für Detailuntersuchungen zur Verringerung der stofflichen Belastung bzw. zur räumlichen Optimierung der Probenahme genutzt werden.

1 EINLEITUNG

Neben Nährstoffen und sog. prioritären Stoffen der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) sind in den letzten Jahren auch zunehmend Mikroschadstoffe, und hierbei Human-Arzneimittel, in den Fokus der wissenschaftlichen und administrativen Diskussion um einen verbesserten Gewässerschutz gerückt. Während innerhalb der WRRL für eine Reihe von Schadstoffen, wie z.B. Schwermetalle, Pestizide und Industriechemikalien, gesetzlich verbindliche Umweltqualitätsnormen (UQN) vorliegen, sind z.B. in der EU-Richtlinie 2013/39/EU keine für Arzneimittel enthalten. Dies spiegelt sich auch in Anlage 8 der Oberflächengewässerverordnung (OGewV) 2016 wider. Auch bei den sog. flussgebietsspezifischen Schadstoffen, in Anlage 6 der OGewV 2016 enthalten und mit nationalen UQN geregelt, sind Arzneimittel nicht aufgeführt. Gleichzeitig gibt es aber regelmäßige Diskussionen um die Aufnahme von Arzneimittel-Wirkstoffen in die Liste der sog. Watchlist-Parameter (EC 2022, EU-Richtlinie 2013/39/EU).

Die von den Bundesländern initiierten Arbeiten konzentrierten sich in der Vergangenheit meist auf Sondermessprogramme an Gewässern und Kläranlagen, um punktuelle Erkenntnisse zur Belastung mit einer definierten Zahl an Wirkstoffen zu sammeln, in Schleswig-Holstein z.B. LLUR 2018, Wellbrock et al. 2019). Um eine landesweite Abschätzung der Gewässerbelastung zu erhalten, ist eine räumlich differenzierte Modellierung der Abwasserbelastung aller schleswig-holsteinischen Fließgewässer als Folge von Einleitungen aus kommunalen Kläranlagen durchzuführen. Hiermit wurde das Forschungszentrum Jülich (FZJ) vom Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung des Landes Schleswig-Holstein (MELUND) beauftragt. Die Bandbreite der Humanarzneimittel-Wirkstoffe in den Oberflächengewässern ist sehr groß, sodass in dieser Untersuchung zunächst keine einzelnen Wirkstoffe betrachtet werden, sondern die Abwasserbelastung als Proxy der Arzneimittel-Belastung dient.

Im Mittelpunkt steht die Betrachtung der landesweiten Belastungssituation bei mittleren Abflussverhältnissen. Als Zeitperiode des Abflusses wird daher die langjährige Periode 1991-2020 zugrunde gelegt, für die rasterbasierte Modellergebnisse zum Abfluss und seinen Komponenten aus dem Wasserhaushaltsmodell GROWA (Tetzlaff et al. 2017) vorliegen. Darüber hinaus sollen ein Trocken- und ein Nassjahr mit ihren Auswirkungen auf die Belastungssituation mit Humanarzneimittel-Wirkstoffen betrachtet werden.

2 EINGANGSDATEN UND METHODEN

2.1 Eingangsdaten

In Tabelle 1 sind die für die Ableitung und Plausibilisierung der Abwasserbelastung in schleswig-holsteinischen Fließgewässern verwendeten Datengrundlagen zusammenfassend dargestellt. Die Daten wurden vom Landesamt für Umwelt zur Verfügung gestellt und der Abfluss vom Forschungszentrum Jülich modelliert.

Tabelle 1: Eingangsdaten für die Ableitung von Abwasseranteilen

Datenbedarf	Quelle
Modellierte mittlere Jahresabflüsse 2017 (Nassjahr), 1996 (Trockenjahr) und 1991-2020	FZJ GROWA-Modellergebnis
Jahresabwassermengen der kommunalen Kläranlagen 2017-2020	LfU Einleiterüberwachung
Gewässerkundliches Flächenverzeichnis GFV 2018	LfU
Gewässermittelachsen des Anlagenverzeichnisses	<i>WFS_Anlagenverzeichnis_Linien</i> (AWGV WFS-Server)
Fließgewässer-Wasserkörper WRRL 2015	LfU
Arzneimittelmonitoring 2010-2020 am LfU-Messnetz	LfU

2.2 Methode

Die Vorgehensweise zur Ableitung der Abwasserbelastung in Fließgewässern zeigt Bild 1 schematisch. Zur Ableitung sind drei Komponenten erforderlich: eine Gebietskulisse als räumliche Bezugsgröße, landesweit flächendeckende Daten zum mittleren Abfluss in allen Fließgewässern und aus kommunalen Kläranlagen eingeleitete Jahresabwassermengen.

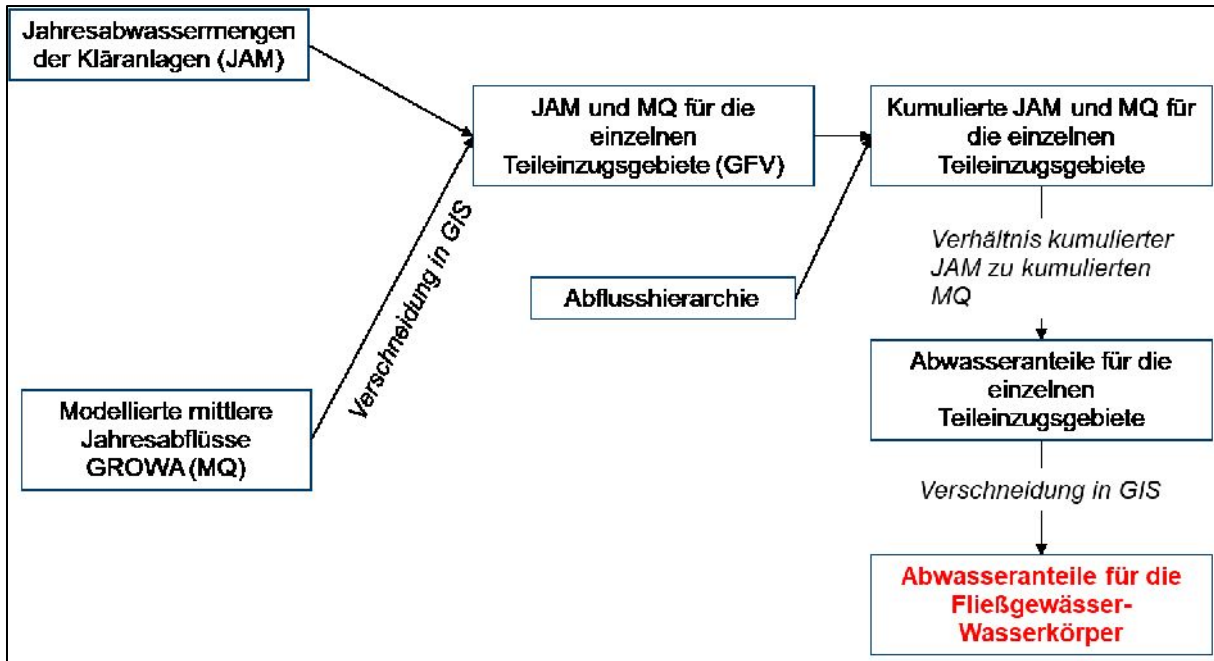


Bild 1: Schema zur Ableitung der Abwasserbelastung

Als räumliche Bezugsgröße werden Daten des gewässerkundlichen Flächenverzeichnisses (GFV, Stand 12.11.2018) herangezogen, das die Geometrie aller wasserwirtschaftlich bedeutsamen Gewässer-Einzugsgebiete in Schleswig-Holstein abbildet und hierzu Sachdaten bereitstellt. Das GFV teilt das Land Schleswig-Holstein in mehr als 6.400 Teileinzugsgebiete mit einer mittleren Größe von 2,5 km². Darüber hinaus sind in der Sachdatenbank zum GFV die Gewässer- und Gebietskennzahlen hinterlegt, aus denen eine kaskadische Ableitung der Abflusshierarchie vorgenommen werden kann.

Die Modellierung des landesweit flächendeckenden mittleren Abflusses (MQ) wurde ebenfalls im Rahmen des Auftrags des MELUND an das FZJ mit dem Modell GROWA vorgenommen. Die Ergebnisse für den langjährigen Zeitraum 1991-2020 sind in Bild 2 zu sehen.

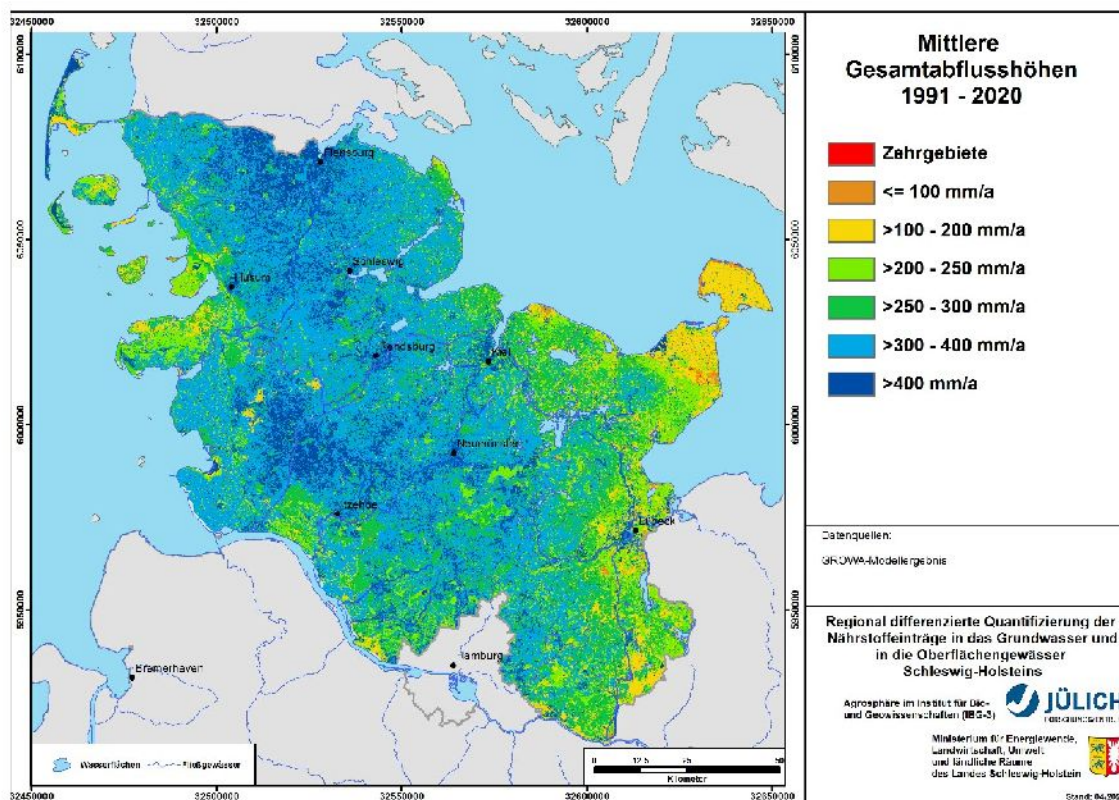


Bild 2: GROWA-Modellergenie zur Gesamtabflusshöhe 1991-2020

Die höchsten Gesamtabflüsse treten mit über 400 mm/a in der Geest auf als Folge hoher Niederschläge und mäßiger Verdunstungshöhen. Niedrige Gesamtabflusshöhen sind typisch für Fehmarn und Teilgebiete Südost-Holsteins, wo geringe Niederschlagshöhen auftreten. Landesweit variiert der Gesamtabfluss zwischen einzelnen Zehrgebieten und 890 mm/a bei einem Mittelwert von 320 mm/a. Zehrgebiete, sind in der langfristigen Periode auf wenige Niederungen beschränkt. Die Modellergenie wurden für 127 Abflusspegel in Schleswig-Holstein erfolgreich validiert.

Die dritte Komponente zur Ableitung der Abwasserbelastung in Fließgewässern stellen die Jahresabwassermengen (JAM) der kommunalen Kläranlagen dar. Bild 3 zeigt exemplarisch die Jahresabwassermengen aus kommunalen Kläranlagen in die Oberflächengewässer für das Bezugsjahr 2020. Im GIS werden die Einleitstellen den Teileinzugsgebieten zugeordnet. Nachdem JAM und MQ für die einzelnen Teileinzugsgebiete vorliegen, werden sie entsprechend der kaskadischen Abflusshierarchie summiert. Das Verhältnis kumulierter JAM zum kumulierten MQ ergibt den Abwasseranteil des jeweiligen Teileinzugsgebiets. Durch eine abschließende Verschneidung im GIS werden die Abwasseranteile der Teileinzugsgebiete auf die Fließgewässer-Wasserkörper (WRRL-berichtspflichtiges Gewässernetz) übertragen. Ein Abwasseranteil von z.B. 50 % bedeutet, dass die Jahresabwassermenge 50 % am MQ

ausmacht, d.h., der mittlere Abfluss im Fließgewässer steht im Verhältnis 2:1 zur Jahresabwassermenge.

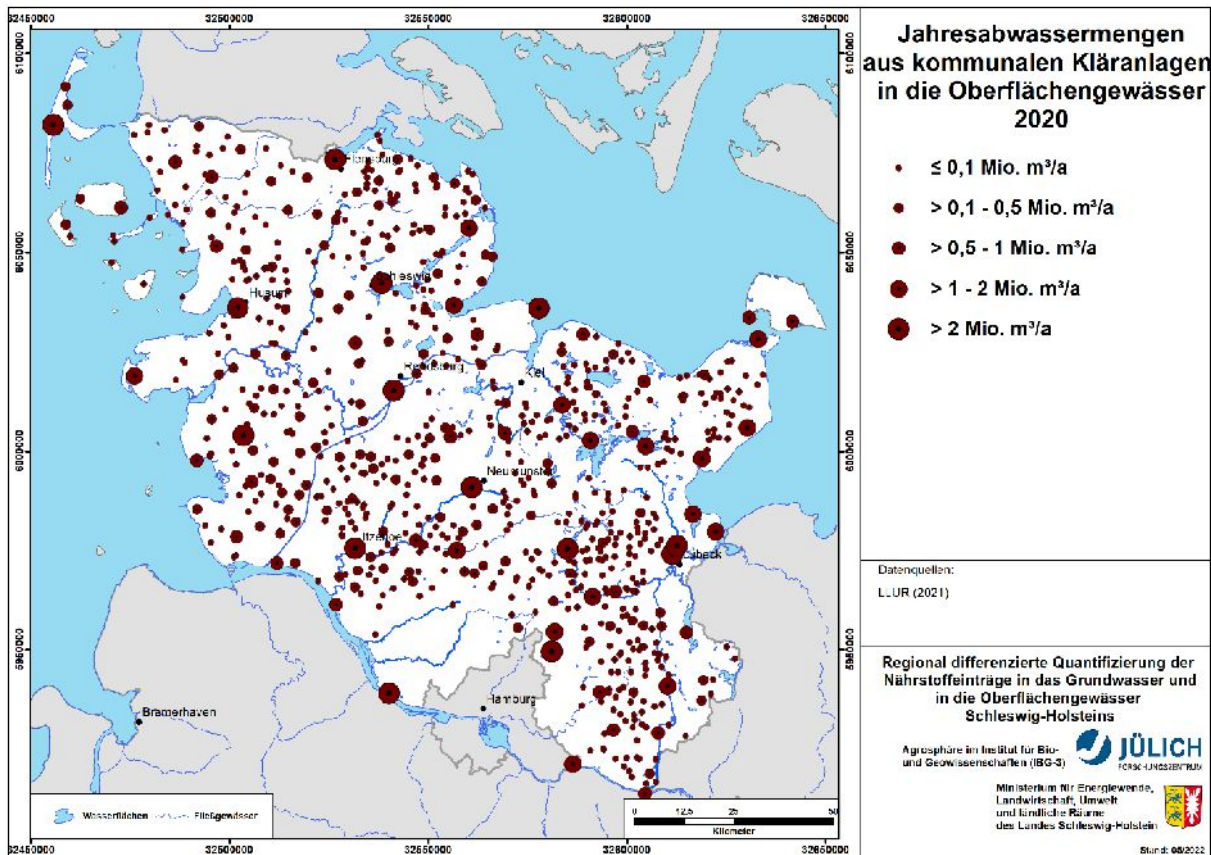


Bild 3: In die Oberflächengewässer eingeleitete Jahresabwassermengen der kommunalen Kläranlagen 2020

Die Ableitung der Abwasserbelastungen erfolgt für drei Zeitperioden: die langjährige Periode 1991-2020, das Nassjahr 2017 und das Trockenjahr 1996.

3 ERGEBNISSE

Die Ergebnisse der mittleren Abwasserbelastung für das nach EG-WRRL relevante Fließgewässernetz zeigt Bild 4 in Verbindung mit Bild 5 für die Periode 1991-2020. Demnach bleiben 5,8 % der Fließgewässerslänge des WRRL-relevanten Gewässernetzes unberücksichtigt. Diese umfassen u.a. die Seendurchflüsse sowie die Übergangsgewässer Eider und Elbe, die starken Tideinflüssen unterliegen oder Vorbelastungen aus anderen Ländern bzw. Bundesländern enthalten. 40,5 % der gesamten Fließgewässerslänge sind nicht durch Abwasser aus kommunalen Kläranlagen belastet. Dies ist z.B. im Einzugsgebiet der Pinnau zu erkennen, wo sich keine kommunale Kläranlage befindet. 34,6 % des WRRL-berichtspflichtigen Gewässernetzes sind als „sehr gering belastet“ einzustufen (≤ 2 % Abwasser-anteil am MQ). Diese Abwasserbelastungen treten z.B. an der Lecker Au, Treene, Krückau, am Nord-Ostsee-Kanal, an den Zuflüssen der Bramau, an der Schwartau sowie an

einigen Mündungen in den Elbe-Lübeck-Kanal usw. auf. Von den verbleibenden 19,1 % dominiert die Belastungsklasse „gering belastet“ (> 2-4 % Abwasseranteil am MQ) mit 12,2 %. Diese Belastungsklasse ist z.B. auf dem Abschnitt der Eider nach dem Zusammenfluss mit der Sorge, an der Trave, Bille, Bramau sowie Stör (Unterlauf) usw. im Kartenbild gut zu erkennen. Mittlere (> 4-7 %), erhöhte (> 7-10 %) und hohe (> 10-25 %) Abwasserbelastungen machen zusammen lediglich 5,8 % der Gesamtlänge des WRRL-Fließgewässernetzes aus. Sehr hohe (> 25-75 %) und extrem hohe (> 75 %) Abwasserbelastungen sind im Kartenbild auf kurze Flussabschnitte begrenzt, in denen erhöhte Kläranlagenabläufe auf leistungsschwache Gewässer treffen. Diese Flussabschnitte münden entweder direkt ins Meer oder werden durch Zusammenfluss mit anderen Fluss-läufen so verdünnt, dass deren Abwasserbelastung merklich verringert wird.

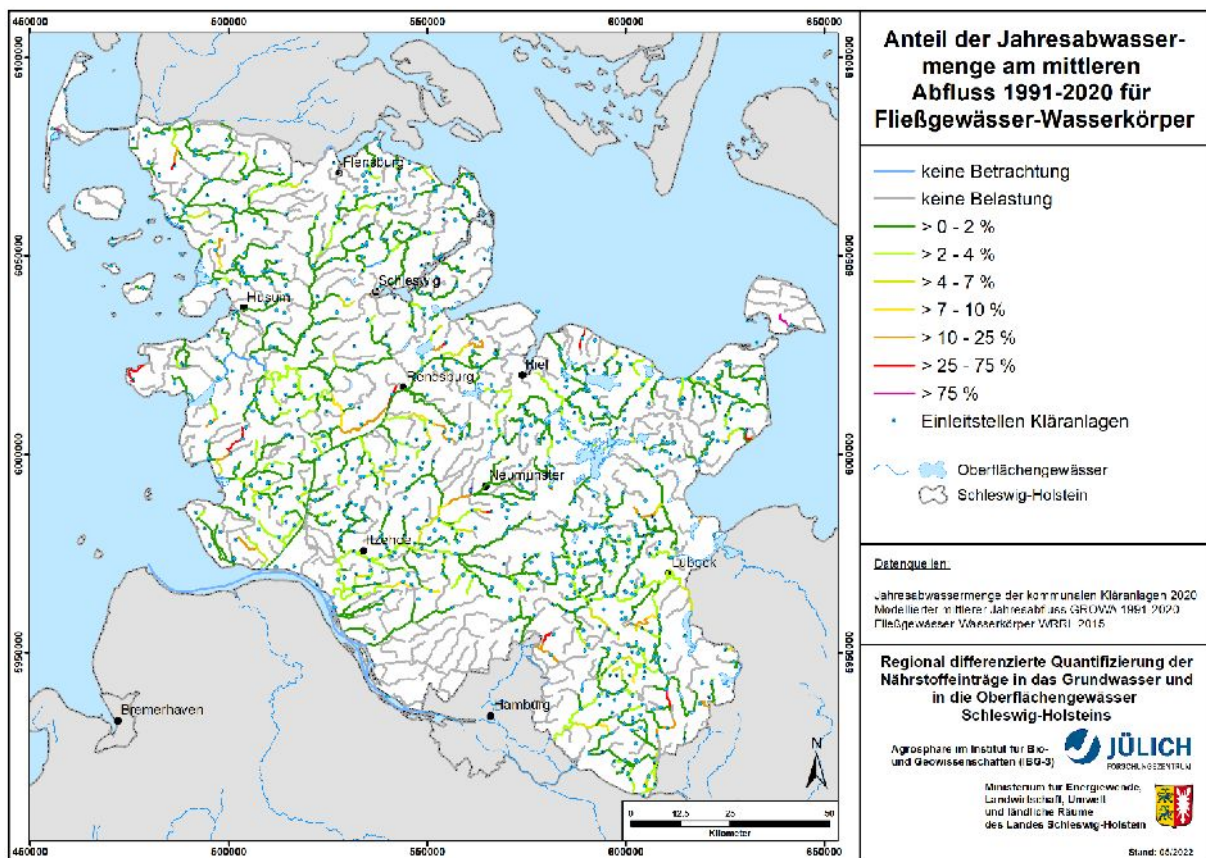


Bild 4: Anteil der Jahresabwassermenge am mittleren Abfluss 1991-2020 für Fließgewässer-Wasserkörper

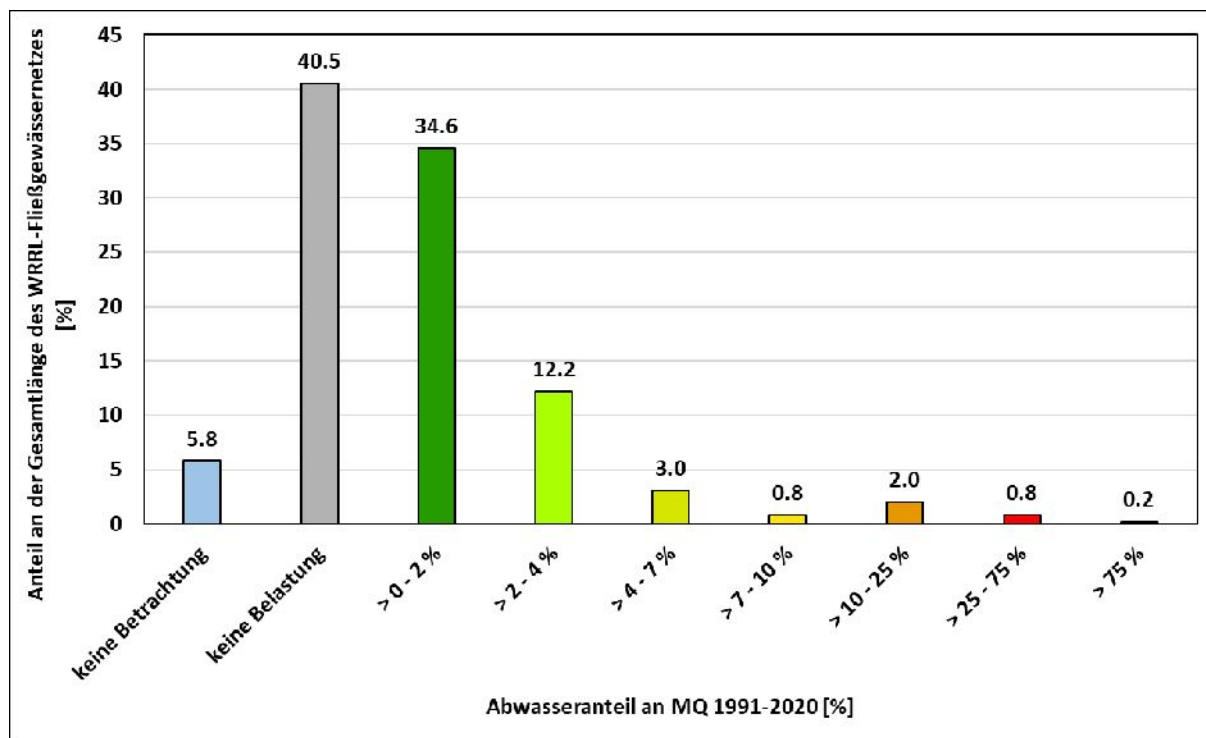


Bild 5: Häufigkeitsverteilung der Belastungsklassen der Periode 1991-2020, bezogen auf die Flusslängen der Oberflächenwasserkörper

Die Ermittlung der Abwasserbelastung wurde zusätzlich auch für Extremjahre durchgeführt, wobei 2017 als Nassjahr und 1996 als Trockenjahr ausgewählt wurden. 2017 steht mehr Abfluss für die Verdünnung der Kläranlagenabwässer zur Verfügung, sodass die Belastungen insgesamt geringer ausfallen. Der Anteil der Belastungsklasse „sehr gering“ (> 0-2 %) steigt von 34,6 % auf 41,2 %. Für das Trockenjahr 1996 zeigen sich gegenläufige Tendenzen: Die Häufigkeitsverteilung zeigt eine Verschiebung in Richtung der höheren Belastungsklassen im Vergleich zu Bild 5. Der Anteil der Belastungsklasse „sehr gering“ (> 0-2 %) sinkt von 34,6 % auf 14,8 %, während die restlichen höheren Belastungsklassen stark zunehmen. Die räumlichen Belastungsschwerpunkte bleiben in allen betrachteten Zeiträumen grundsätzlich erhalten, lediglich ihre Ausdehnung bzw. Magnitude unterliegen Schwankungen.

Im nächsten Schritt sollen die abgeleiteten Abwasseranteile als Proxy einer Arzneimittelbelastung auf ihre Belastbarkeit überprüft werden. Hierzu dienen Arzneimittelkonzentrationen für mind. 22 Wirkstoffe, die vom Landesamt für Umwelt Schleswig-Holstein im Zeitraum 2010-2020 gemessen wurden. Bild 6 zeigt die räumliche Verteilung der Messstellen, allerdings wurden nicht an allen Messstellen alle Wirkstoffe gemessen bzw. wurden keine Befunde festgestellt. Die Arzneimittelkonzentrationen wurden statistisch ausgewertet und anschließend auf Korrelation mit den ermittelten Abwasseranteilen untersucht. Bild 7 zeigt die Korrelation exemplarisch für den Wirkstoff Diclofenac.

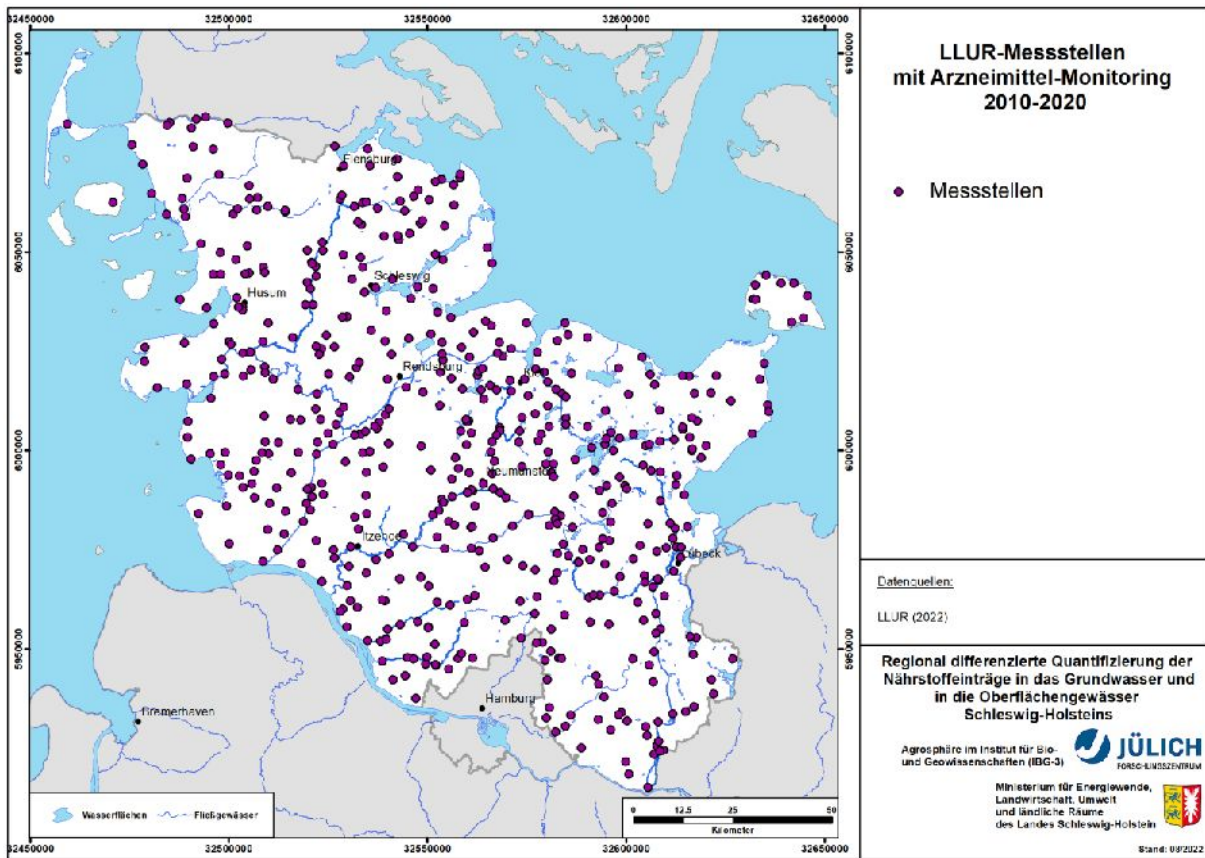


Bild 6: Messstellen mit Arzneimittel-Monitoring 2010-2020

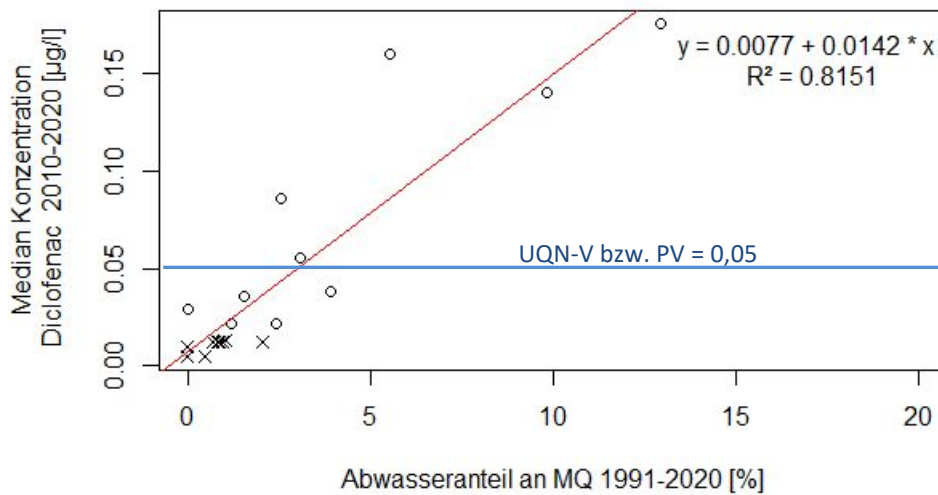


Bild 7: Beziehung zwischen dem Abwasseranteil (am MQ 1991-2020) und den medianen Arzneimittelkonzentrationen an Fließgewässer-Messstellen 2010-2020

Die Korrelationsanalysen zeigen für Diclofenac, Amidotrizoesäure, Clarithromycin, Carbamazepin, Gabapentin, Iomeprol, Metoprolol, Sotalol, Sulfamethoxazol und Tramadol dass die medianen Konzentrationen mit dem Abwasseranteil grundsätzlich zunehmen. Die Stärke der Korrelation der simulierten Abwasseranteile mit den durchschnittlichen Konzentrationsniveaus schwankt je nach Wirkstoff zwischen einem Bestimmtheitsmaß R^2 von 0,56 (Carbamazepin) bis ca. 0,98 bei Tramadol. Damit ist der Zusammenhang als mäßig bis stark zu beurteilen. Für Azithromycin, Bezafibrat, Ciprofloxacin, Erythromycin, Estradiol, Estron, Ethinylöstradiol, Ibuprofen, Iopamidol, Primidon und Venlafaxin kann keine Korrelation bestimmt werden, da entweder zu wenige Messstellen zur Auswertung vorhanden sind oder der Großteil der Werte unterhalb der Bestimmungsgrenzen liegt.

4 DISKUSSION

Aus den Korrelationsanalysen folgt, dass der modellierte Abwasseranteil grundsätzlich als belastbarer Proxy für die Belastung der Oberflächengewässer mit Humanarzneiwirkstoffen angesehen werden kann. Dies belegt die Aussagekraft der gezeigten Karten für die Ableitung landesweiter Belastungsniveaus. Aus Bild 7 wird auch ersichtlich, dass die Punkte je nach Wirkstoff unterschiedlich stark streuen können und dass z.T. ein nicht unerheblicher Anteil der Varianz durch die Einfachkorrelation nicht erklärt werden kann. Dies wurde auch von Tetzlaff und Ta (2019) bei der Untersuchung räumlich variierender Konzentrationen von Diclofenac, Carbamazepin und Sulfamethoxazol in niedersächsischen Fließgewässern beobachtet. Hierzu wurde untersucht, ob die Zusammensetzung des Einzugsgebiets, z.B. durch unterschiedliche Alterszusammensetzung der Bevölkerung, Bevölkerungsdichte oder Anzahl der Krankenhausbetten als weitere erklärende Variablen dienen könnten. Statistisch signifikante Zusammenhänge konnten jedoch nicht ermittelt werden. Eine andere Ursache für die Streuung kann im unterschiedlichen Abbau- und Transformationsverhalten der Wirkstoffe im aquatischen Milieu bestehen.

Im Ergebnis werden Datensätze vorgelegt, aus denen die Belastungssituation hervorgeht und die in MELUND und LfU als Grundlage für weitere Untersuchungen zur Verringerung der stofflichen Belastung bzw. zur räumlichen Optimierung der Probenahmen genutzt werden können. Grenzüberschreitende Abwasserströme aus Mecklenburg-Vorpommern werden in der Belastungsermittlung berücksichtigt.

LITERATUR

EC, European Commission, Directorate-General for Environment (2022): Commission Implementing Decision establishing a watch list of substances and compounds of concern for water intended for human consumption - Annex to Implementing Decision. https://environment.ec.europa.eu/publications/implementing-decision-drinking-water-directive-watch-list_en (letzter Zugriff 30.7.2023)

Tetzlaff, B., Ta, P. (2018): Identifizierung und Priorisierung von niedersächsischen Fließgewässern mit erhöhter Belastung durch Human-Pharmaka (Phase II). Endbericht zum Forschungsvorhaben im Auftrag des NLWKN.

Wellbrock, K., Knobloch, J. K.-M., Heim, M., Grottker, M. (2019): Spurenstoffe und Multiresistente Bakterien in den Entwässerungssystemen Schleswig-Holsteins – Ableitung von Kennwerten zur Quantifizierung der Herkunft, der Ausbreitung und des Rückhaltes. Abschlussbericht eines Forschungsvorhabens, gerichtet an das Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung des Landes Schleswig-Holstein, Lübeck, 2019.

Tetzlaff, B., Keller, L., Kuhr, P., Kreins, P., Kunkel, R., Wendland, F. (2017): Nährstoffeinträge ins Grundwasser und in die Oberflächengewässer Schleswig-Holsteins unter Anwendung der Modellkombination RAUMIS-GROWA-WEKU-MEPhos, Endbericht zum Forschungsprojekt, 230 S.

Wasserwiederverwendung in Braunschweig – gestern, heute, morgen

Dr. Franziska Gromadecki

Abwasserverband Braunschweig, Celler Straße 22, 38176 Wendeburg

E-Mail: franziska@abwasserverband-bs.de

ZUSAMMENFASSUNG

Der Abwasserverband Braunschweig hat seit seiner Gründung im Jahr 1954 die Aufgabe auf ca. 2.700 Hektar landwirtschaftlicher Fläche behandeltes Abwasser wiederzuverwenden und so, sowohl das Wasser als auch die darin enthaltenen Pflanzennährstoffe, sinnvoll zu nutzen. Diese Abwasserverwertung führt durch Wasser- und Nährstoffnutzung in der Landwirtschaft zu dauerhaft sicheren und hohen Erträgen und durch die Nutzung des Abwassers als Beregnungswasser zur Schonung der Grundwasserressourcen. Der Verband hat ausschließlich positive Erfahrungen mit der Wasserwiederverwendung gemacht. Das „Braunschweiger Modell“ bietet durch geschlossenen Kreisläufe Nachhaltigkeit, Wertschöpfungsketten von der Pflanzenproduktion bis zur Stromvermarktung und schont natürliche Ressourcen.

Der Bedarf an der Wasserwiederverwendung und der Nutzung von Nährstoffen aus dem Abwasser besteht ungebrochen weiter bzw. wird in Folge der Klimaveränderung sogar steigen. Vor dem Hintergrund der bereits in Kraft getretenen EU-Verordnung zur Wasserwiederverwendung musste der Verband bereits handeln. Zusätzliche rechtliche Regelungen sind abzusehen, die daraus resultierenden Anforderungen noch nicht konkretisiert. Vor diesem Hintergrund sind weiteren Herausforderungen zu meistern, die einen nicht unerheblichen Aufwand nach sich ziehen werden aber auch neue Chancen eröffnen. Das Braunschweiger Modell bietet somit auch zukünftig die Möglichkeit nachhaltig mit vorhandenen Ressourcen umzugehen.

1 HISTORIE

1.1 Vorgeschichte

Die Idee der landwirtschaftlichen Verwertung von Abwässern der Stadt Braunschweig entstand im Jahre 1936, als Experten der Wasserwirtschaftsverwaltung und der Landwirtschaft aus Braunschweig und Umgebung Anlagen für die Verwertung städtischer Abwässer in der Landwirtschaft in Mitteldeutschland (Leipzig und Erfurt) besichtigten. Für die Stadt Braunschweig gab es die Notwendigkeit, nach neuen Lösungen für die Reinigung der städtischen Abwässer zu suchen. Die im Jahre 1895 erstellten Rieselfelder, die in Steinhof

nördlich der Stadt Braunschweig nach dem Muster der Berliner Rieselfelder für eine Einwohnerzahl von 100.000 angelegt waren, reichten für die inzwischen auf 250.000 angestiegene Einwohnerzahl nicht mehr aus.

In Zusammenarbeit mit der staatlichen Wasserwirtschaftsverwaltung wurde der Entschluss gefasst, den Teil der Abwässer, der auf dem Rieselgut nicht untergebracht werden konnte, auf den sich nördlich an das Rieselgut Steinhof anschließenden, landwirtschaftlich genutzten Flächen zu verregnen. Die guten Erfahrungen mit der Verrieselung waren für die angestrebte Lösung bestimmend. Für die Verregnung von Abwässern auf landwirtschaftlich genutzten Böden sprach außer der guten Reinigung der Abwässer noch ein weiterer Effekt: Die Nutzung des Wassers mit seinen Inhaltsstoffen für die Erzeugung landwirtschaftlicher Nutzpflanzen.

Im vorliegenden Fall boten sich Flächen an, die nördlich der Autobahn Hannover-Berlin lagen und im Osten von der Oker, im Westen von der Aue-Erse begrenzt waren. Böden mit Bodenwertzahlen von 20 bis 35 und mit einem im allgemeinen niedrigen Grundwasserstand boten zur damaligen Zeit für die Verregnung günstige Voraussetzungen. Schließlich wurde durch die Abwasserverregnung der Wasserhaushalt unterstützt, weil große Wassermengen zur Grundwasserneubildung aufgebracht wurden und die Entnahme von Grundwasser, die andernfalls für die Feldberegnung erforderlich gewesen wäre, nicht notwendig war.

1.2 Gründung des Verbandes

Der Verband wurde 1954 gegründet. Verbandsmitglieder wurden v. a. die Stadt Braunschweig und die Grundstückseigentümer der Beregnungsbezirke. Insgesamt 550 Grundstückseigentümer als landwirtschaftliche Mitglieder bekundeten damals ohne nennenswerte Gegenstimmen ihren Willen zu gemeinsamem Handeln.

Das gesamte Verbandsgebiet hat eine Größe von 4.300 ha, wovon die beregneten, landwirtschaftlich genutzten Flächen eine Größe von rd. 2.700 ha haben. Die übrige Fläche wird von den Ortslagen, Straßen, Wegen, Gräben, Waldungen, Hecken usw. eingenommen. Das Verbandsgebiet wurde in der folgenden Zeit nicht verändert.

1.3 Abwasserverregnung

Die technische Vorplanung sowie die Veranschlagung der Bau- und Betriebskosten oblagen dem Wasserwirtschaftsamt Braunschweig. An der Planung war die Landwirtschaftskammer Hannover ebenfalls beteiligt. Ebenso wurde frühzeitig das Niedersächsische Kulturamt Braunschweig eingeschaltet. Die Baudurchführung lag wieder in Händen des Wasserwirtschaftsamtes Braunschweig. Die betriebstechnischen Anlagen wie Hauptzuleitung, Pumpwerke mit Ausweichflächen, Druckrohrleitungen, Windschutzhecken wurden in den Jahren 1955 bis 1966 erstellt. Die Beregnungsbezirke I bis IV wurden von 1957 bis 1966 nacheinander in Betrieb genommen.

1.4 Klärwerk

Um die landwirtschaftliche Abwasserverregnung aufrechterhalten zu können, wurde im September 1979 eine Abwasservorbehandlungsanlage in Betrieb genommen. Diese Anlage hatte zur Aufgabe, das bisher unbehandelt verregnete Rohabwasser vorzubehandeln und so die üblen Gerüche zu bannen, die die landwirtschaftliche Verregnung in Frage stellten. Mit der Anlage wurde eine biologische Teilreinigung durchgeführt. Der Überschussschlamm wurde dem Verregnungswasser wieder zugeführt. Ende 1986 wurde eine Vorklärung mit der entsprechenden Schlamm-speicherung und Entwässerung in Betrieb genommen. Im September 1991 ist die Ausbaustufe zur biologischen Nährstoffelimination in Betrieb gegangen. Die Vorbehandlungsanlage wurde zu einem modernen Großklärwerk ausgebaut.

1.5 Schlammfäulung

Im Jahr 2000 wurde die Kläranlage um eine Schlammfäulung ergänzt. Das anfallende Faulgas wird gemeinsam mit dem Biogas der benachbarten Bioabfallvergärung sowie dem Deponiegas der Abfalldeponie der Stadt Braunschweig im Blockheizkraftwerk (BHKW) des Klärwerkes Steinhof verwertet.

1.6 Biogasanlage Hillerse

Im Jahre 2006 beginnt der Bau einer Biogasanlage, die mit nachwachsenden Rohstoffen betrieben wird. Die Anlage hat eine Größe von 2,6 MWel.. Biogas für 2 MWel. wird an einen Braunschweiger Energieversorger verkauft und über eine rd. 20 km lange Biogasleitung in das Kraftwerk Ölper transportiert. Die Anlage geht im September 2007 in Betrieb.

2. DAS BRAUNSCHWEIGER MODELL

Die in Braunschweig praktizierte Abwasserverregnung- bzw. -verrieselung mit einer weitgehenden Nutzung der Nährstoffe im Abwasser in der regionalen Landwirtschaft ist historisch gewachsen. Weitergehend werden dabei im „Braunschweiger Modell“ Kreisläufe für Energie und Wasser geschlossen.

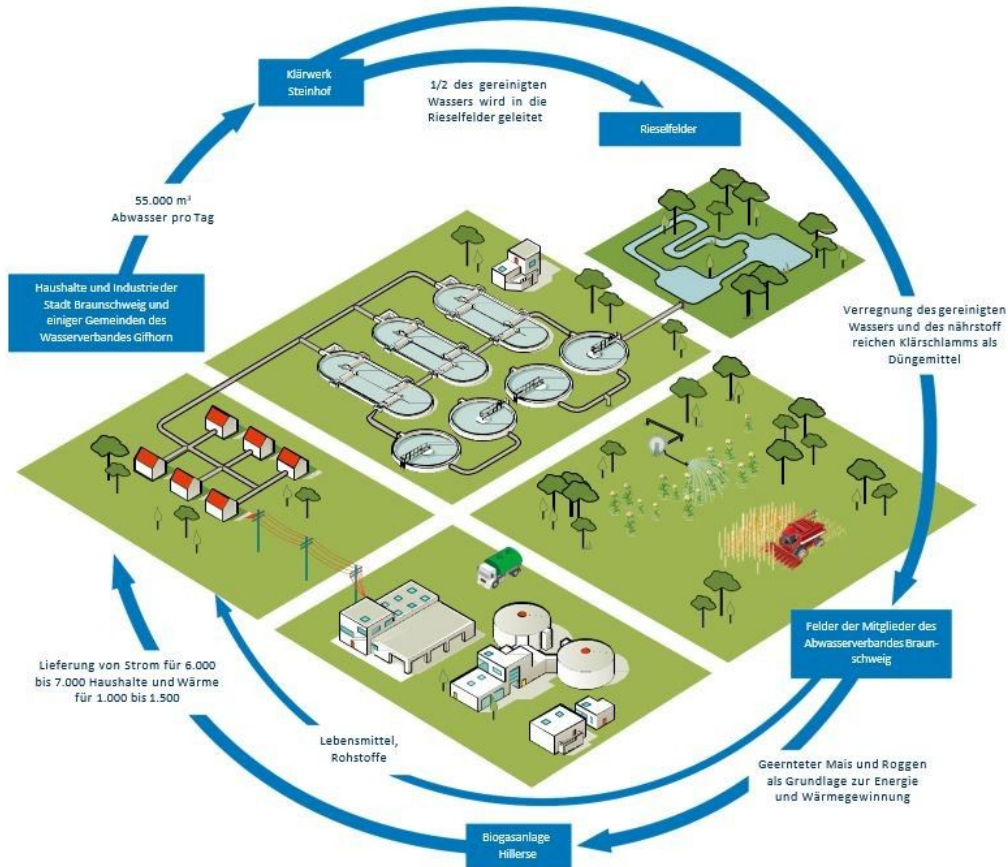


Abb. 1: Das Braunschweiger Modell

2.1. Ausgangssituation und Zielsetzung

Die Idee des Braunschweiger Modells, entwickelt durch den Abwasserverband Braunschweig, ist einzigartig in Deutschland. Abwasser aus der Stadt und Bioenergie vom Land werden zu einem Wasser-Nährstoff-Energiekreislauf zusammengeführt. Das Abwasser der Stadt Braunschweig sowie einiger Gemeinden des Wasserverbandes Gifhorn werden im Klärwerk Steinhof mechanisch und biologisch gereinigt.

Das gereinigte Abwasser wird anschließend auf den landwirtschaftlichen Flächen der Verbandsmitglieder verregnet. Die Pflanzen erhalten dadurch das notwendige Wasser und gleichzeitig wichtige Nährstoffe. So wird die Erzeugung von Nahrungsmitteln und Energiepflanzen gesichert. Die Energiepflanzen werden für die CO₂-neutrale Erzeugung von

Biogas in einer Biogasanlage genutzt, wodurch Strom und Wärme für mehrere Tausend Braunschweiger Haushalte erzeugt werden.

2.2. Klärwerk Steinhof

Das Klärwerk Steinhof liegt im Norden der Stadt Braunschweig und ist eine Kläranlage der Größenklasse 5. Im Mittel fließen der Anlage pro Tag 55.000 m³ Abwasser aus Braunschweig und einigen umliegenden Gemeinden zu. Das Abwasser wird mechanisch und biologisch gereinigt, die Anlage verfügt über eine biologische Phosphorelimination. Der Klärschlamm wird ausgefault und das Faulgas zusammen mit weiteren Gasen (s. o.) in einem Blockheizkraftwerk auf der Kläranlage verwertet.



Bild 2: Luftbild der Kläranlage in Steinhof, Braunschweig

Seit 2019 wird eine Nährstoffrückgewinnung bestehend aus Thermodruckhydrolyse (TDH), Magnesium-Ammonium-Phosphat (MAP)-Fällung und Ammoniak-Luft-Strippung betrieben. Konkret wird der anfallende Überschussschlamm eingedickt und mesophil bei 38°C ausgefault. Der so behandelte Schlamm wird mit einer Schneckenpresse vorentwässert, in der Thermodruckhydrolyse aufgeschlossen und anschließend erneut anaerob behandelt. Hierdurch wird die Klärschlammmenge reduziert und die Faulgasmenge erhöht. Das Filtrat aus der Schneckenpresse und das Zentrat aus der Schlammentwässerung werden nach einer Zwischenspeicherung der MAP-Fällung zugeführt und durchlaufen dann noch eine Ammonium-Strippung. Das MAP sowie Diammoniumsulfat (DAS) werden ausgeschleust. Ziel ist es beides als Düngemittel zur Verfügung stellen zu können.

2.3. Rieselfelder und Wasserverregnung

Nach der weitgehenden Reinigung wird der Kläranlagenablauf im Jahresmittel zur Hälfte in den Rieselfeldern verrieselt. Die Rieselfelder haben eine Größe von rd. 275 Hektar. Das Wasser versickert dort teilweise, teilweise durchfließt es horizontal ein Mändersystem. In beiden Fällen erfolgt eine Nachreinigung, außerdem können die Felder zum

Mengenausgleich herangezogen werden. Mittlerweile hat sich dort ein ornithologisch wertvolles Biotop entwickelt.

Die andere Hälfte des gereinigten Wassers wird auf den Flächen der Mitgliedslandwirte verregnet. Zum Verbandsgebiet gehören rund 2.700 ha landwirtschaftlich genutzte Fläche, die bewirtschaftet werden. In den Sommermonaten werden zusätzlich rd. 45.000 m³ Faulschlamm mitverregnet. Auf einem Drittel der Fläche werden Energiepflanzen (Mais und Roggen) für die Biogasanlage des Verbandes angebaut. Der anstehende Boden ist sandig und nährstoffarm.

Rechtlich basiert die Verregnung auf einer unbefristeten Erlaubnis aus dem Jahr 2001. In dieser sind Vorgaben zu Beregnungszeiten und -qualitäten, den Anbaufrüchten und der Überwachung formuliert. Außerdem ist das Einhalten von Abständen z. B. von der Bebauung, sowie die Anpflanzung von Wind- und Sprühschutzhecken geregelt.

2.4 Biogasanlage

Die Anlage hat einen Substratbedarf pro Jahr von rd. 43.000 t (Mais und Roggen). Der Anbau dafür beansprucht ca. 1.000 ha im Verbandsgebiet. Die Biogasanlage war zum Zeitpunkt des Baus 2006 mit 2,6 MWel. eine der größten auf dem Markt befindlichen Anlagen. Von der Leistung sind 0,6 MWel. vor Ort installiert, zwei Kraftwerksblöcke mit je 1 MWel. stehen rd. 20 Km entfernt und werden über eine Gasleitung beliefert. Von der dort erzeugten Energie werden rd. 7.000 Haushalte mit Strom und 1.500 Haushalte mit Wärme versorgt

3. DATEN DER WASSERWIEDERVERWENDUNG UND NÄHRSTOFFNUTZUNG

Die Wasserwiederverwendung nach dem Braunschweiger Modell ist sowohl aus Sicht der Wassernutzung interessant als auch aus Sicht der Nährstoffversorgung. Umfängliche Überwachungen und Untersuchungen haben bisher grundsätzlich keine kritischen Belastungen von Boden, Pflanze und Wasser ergeben. Dabei standen bisher vor allem die Schwermetallgehalte im Fokus der Betrachtungen. Neue Erkenntnisse im Zusammenhang mit der Detektion von anthropogenen Spurenstoffen in verschiedenen natürlichen Lebensräumen, erfordern mindestens eine Ausweitung der regelmäßigen Überwachung. Weiterhin werden durch die EU-Verordnung zur Wasserwiederverwendung weitere Anforderungen an die Qualität des aufbereiteten Wassers gestellt.

3.1 Wasserwiederverwendung

Ein Vergleich der Niederschläge mit der erfolgten Verdunstung zeigt über die letzten 100 Jahre ein Delta von 136 mm, werden nur die letzten 20 Jahre betrachtet, beträgt das Delta 301 mm, in 2022 betrug es sogar 446 mm. Jährlich werden ca. 10 Mio. m³ gereinigtes Abwasser, entspricht ca. 360 mm) verregnet. Dazu kommen in den Sommermonaten

zusätzlich ca. 45.000 m³ ausgefallter Klärschlamm zur Nährstoffversorgung. In den Wintermonaten findet seit einigen Jahren keine Verregnung mehr statt. Das Verregnungswasser gelangt über eine Freigefälleleitung zu vier Verregnungspumpwerken und wird von dort in das Verregnungsnetz gedrückt. Zur Wasserbedarfsdeckung besteht an den Pumpwerken zusätzlich die Möglichkeit Grundwasser zu fördern. In 2022 ist das Verregnungswasser um knapp 1,3 Mio. m³ Grundwasser ergänzt worden.

3.2 Nährstoffnutzung

Werden die Nährstoffgaben aus der Verregnung mit dem tatsächlichen Pflanzenbedarf verglichen, wird deutlich, dass trotz der Nutzung des Faulschlammes in den meisten Fällen eine zusätzliche Nährstoffgabe durch die Landwirte erforderlich ist. In der folgenden Tabelle ist eine Bilanz über das gesamte Verbandsgebiet für die wesentlichsten Nährstoffe aufgelistet.

Tabelle 1: Gesamtbilanz im Verbandsgebiet, Beregnungsfläche 2700 ha

	N Ø kg/ha	(pflanzeverfg.) Gesamt kg	P ₂ O ₅ Ø kg/ha	Gesamt kg	K ₂ O Ø kg/ha	Gesamt kg
Lieferung aus Beregnung	33	87.681	31	82.367	40	106.280
Bedarf	142	377.294	70	185.990	130	345.410
Düngebedarf		289.613		103.623		239.130

Die Nährstoffangaben sind hier mittlere Werte, sie hängen natürlich u. a. von den jeweils angebauten Feldfrüchten ab. Die von den Landwirten geforderte differenzierte Belegführung hinsichtlich des erfolgten Anbaus und der Nährstoffversorgung ermöglicht bei Bedarf eine exakte Zuordnung.

Übergeordnetes Ziel der Erweiterung der Schlammbehandlung auf der Kläranlage aus dem Jahr 2019 war die Entlastung des Klärwerkes. Vor dem Hintergrund des abzusehenden Verbots der landwirtschaftlichen Klärschlammnutzung sollte aber auch die Nutzbarkeit von Stickstoff und Phosphor in der Landwirtschaft, unabhängig von der Klärschlamm- und Abwasserverwertung sichergestellt werden. Daneben wurde eine Reduzierung der Klärschlammmenge angestrebt, um die Kosten für eine zukünftige Entsorgung zu senken. Die Erweiterung befindet sich noch in der Optimierungsphase, erste vielversprechende Ergebnisse liegen bereits vor.

4. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Der Abwasserverband Braunschweig kann auf eine langjährige Erfahrung im Bereich der Wasserwiederverwendung zurückblicken. Er hat ausschließlich positive Erfahrungen damit gemacht. Das „Braunschweiger Modell“ bietet durch geschlossenen Kreisläufe Nachhaltigkeit, Wertschöpfungsketten von der Pflanzenproduktion bis zur Stromvermarktung und schont natürliche Ressourcen.

Der Wasserbedarf in der Landwirtschaft erhöht sich schon seit 100 Jahren stetig. Diese Entwicklung wird weiter anhalten. Die Wiederverwendung von Wasser und die Nutzung von Nährstoffen aus dem Abwasser steht vor dem Hintergrund EU-weiter und nationaler Regelungen zukünftig vor neuen Herausforderungen aber auch neuen Chancen. Neben den ingenieurfachlichen Fragestellungen wird dabei die Finanzierung der technischen Umsetzung ein wesentlicher Aspekt sein.

Sicherstellung der Abwasserentsorgung bei Stromausfall

Vorstellung des Entwurfs des neuen DWA Merkblattes M 320

Heinz Brandenburg

Luisa Frackenpohl

Stadtentwässerungsbetrieb Köln, AöR
Ostmerheimer Straße 555, 51109 Köln

heinz.brandenburg@steb-koeln.de

ZUSAMMENFASSUNG

Dieser Text soll als Formatvorlage für die schriftlichen Beiträge zum Tagungsband für das „31. Hamburger Kolloquium zur Abwasserwirtschaft“ dienen, um ein möglichst einheitliches Erscheinungsbild des Tagungsbandes zu gewährleisten.

1 EINLEITUNG

Spätestens seit Erscheinen des Romans „Blackout“ wird auch in der breiten Öffentlichkeit diskutiert, welche Folgen großflächige und länger andauernde Stromausfälle auf Infrastruktur und Gesellschaft haben können. Das Buch zeigt katastrophale Folgen wie den Zusammenbruch der Versorgung mit Lebensmitteln und Trinkwasser oder den weitgehenden Ausfall des Gesundheitssystems. Auch für den Bereich der Abwasserentsorgung wird diskutiert, ob sich Betreiber von Kanalisationssystemen und Kläranlagen auf solche Stromausfallszenarien umfangreicher als bisher vorbereiten müssen.

Die DWA hat sich der Problematik angenommen und eine Arbeitsgruppe im Fachausschuss KEK-7.6 gegründet, die das Merkblatt DWA M 320 zur Sicherstellung der Abwasserentsorgung bei Stromausfall erarbeitet.

2 NÄHERE ANGABEN

2.1 Aufbau und Inhalt des Merkblatts

Der Inhalt des im Entwurf befindlichen Merkblattes M 320 hat die in Abb.1 dargestellte Gliederungsstruktur. Neben den allgemein üblichen Kapiteln zu Anwendungsbereich und Definitionen erfolgt in Kap 4 eine rechtliche Einordnung der Problematik. In den Kapiteln 5, 6 und 7 werden die Grundlagen der Energieversorgungsstrukturen, die Ursachen von Stromausfällen beschrieben und deren Auswirkungen auf die Abwasserbehandlungsanlagen dargestellt. Kern des Merkblattes bildet dann die Risikoermittlung und -bewertung im Kapitel 8, die sich an der Systematik der Risikoanalyse und Bewertung des Bundesamtes für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) orientiert, die

auch bei der Wasserversorgung angewendet wird. Im Kapitel 9 werden dann das Krisenmanagement und der Umgang mit Restrisiken im Ereignisfall beschrieben.

2.2 Energieversorgung und Ursachen von Stromausfällen

Aufgrund der mit der Energiewende einhergehenden drastischen Veränderungen in der Struktur der Stromnetze, insbesondere durch die Integration einer Vielzahl dezentraler Erzeugungsanlagen mit stark fluktuierender Einspeisung, stehen die Netzbetreiber vor großen Herausforderungen.

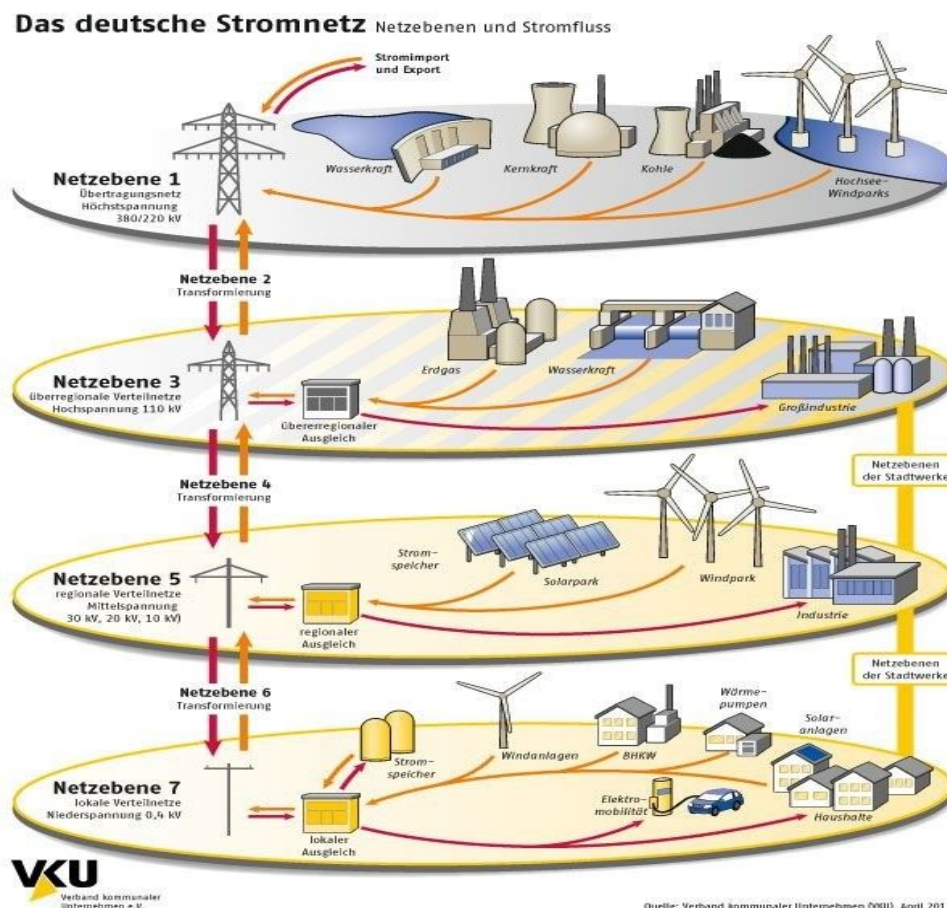


Bild 1: Struktur der Stromnetze

Trotz dieser Veränderungen konnte zwar die durchschnittliche Verfügbarkeit der Stromversorgung in Deutschland bisher auf einem sehr guten Niveau gehalten werden. Gleichzeitig zeichnet sich aber ab, dass seltene und schwerwiegende Störungen mit gravierenden Auswirkungen wahrscheinlicher werden. Solche großflächigen und länger andauernden Unterbrechungen der Stromversorgung können - außer durch Störungen im Stromnetz selbst - auch durchzunehmend zu verzeichnende extreme Wetterereignisse wie Wirbel- oder Schneestürme verursacht werden, wie der Stromausfall in Münster vom November 2005 zeigte. Weiterhin sind z.B. (Terror)angriffe auf Anlagen und Leitungen oder die digitale Infrastruktur denkbare Auslöser. Im Zeichen der aktuellen Energiekrise und einem Krieg in Europa kommt die Gefahr längerer und großflächiger Stromausfälle zunehmend in der allgemeinen Wahrnehmung der Bevölkerung an.

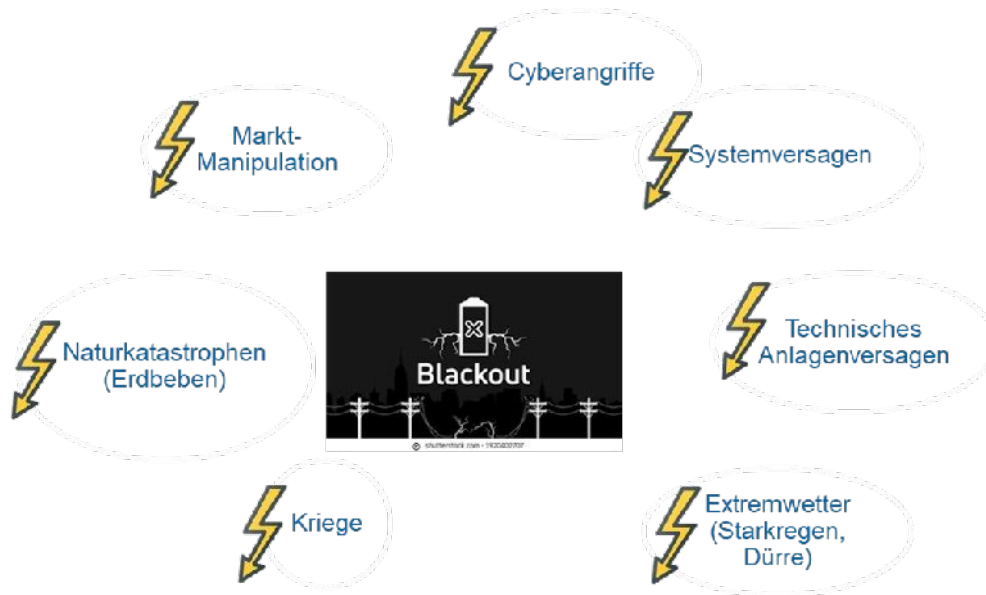


Bild 2: Ursachen für einen Stromausfall

Je nach Ausfallursache, Konzeption der Stromversorgung und -verteilung kann ein Ausfall der bestimmungsgemäßen Stromversorgung sehr unterschiedliche Auswirkungen haben. Daher wurden im Merkblatt nach den Kriterien

„räumliche Differenzierung Stromausfall“ (z.B. örtlich, regional oder überregional) und Ausfallzeit (z.B. < 2 h, 2-24 h, mehrere Tage bis Wochen) folgende Szenarien definiert:

Tabelle 1: Räumliche und zeitliche Differenzierung von Stromausfällen

	Kurz bspw. bis 2h	Mittel bspw. 2h bis 24h	Lang bspw. über 24h bis x Tage
Örtlich singular	K1	M1	L1
Regional begrenzt	K2	M2	L2
Überregional bis landesweit	K3	M3	L3

2.3 Auswirkungen auf die Abwasserentsorgung

Viele Kläranlagen in Deutschland verfolgen bisher das Konzept, durch eine zweiseitige Einspeisung eine unterbrechungsfreie Stromversorgung zu erreichen. Dieser Ansatz funktioniert jedoch nicht mehr bei räumlich größeren Stromausfällen. Dem gegenüber bietet die Vorhaltung von Netzersatzanlagen einen weitergehenden Schutz. Jedoch sind diese Konzepte auf Kläranlagen **i.d.R. für maximal wenigen Stunden** ausgelegt. Insgesamt sei davon auszugehen, dass die Funktionsfähigkeit relevanter Aggregate in Entwässerungssystemen und auf Kläranlagen im Fall schwerer Stromausfälle **häufig nur kurzzeitig** aufrechterhalten werden kann und auch bei vorhandenen Notstromkonzepten diese hinsichtlich künftiger Risiken noch selten ausreichend sind.

Tabelle 2: Mögliche Auswirkungen von Stromausfällen auf Abwasseranlagen und Gewässer

Komponente	Szenario I „Kurz“	Szenario II „Mittel“	Szenario III „Lang“
Entwässerungssystem	Ausfall der Pumpen bei RÜB Ausfall der Pumpen bei Kanalisation- /Hebwerken	Ausfall des Prozessleitsystems	Überflutung tief gelegener Straße und Unterführungen Verstopfung des Kanalsystems Seuchengefahr /Hygiene-probleme (je nach Witterung)
Kläranlage	Ausfall der mechanischen Reinigungsstufe Ausfall Verdichter Belüftungsanlage Störung biologische Reinigungsstufe Ausfall Filtration Störung / Ausfall BHKW Einschränkung Verwaltungstätigkeit Ausfall Chemische Reinigungsstufe	Ausfall Monitoring Überwachung Grenzwertüberschreitungen Wieder Anfahren der biologischen Stufe Schädigung der Nitrifikation aufgrund von Sauerstoffmangel	Ausfall Kühlwasserpumpen Schlammverbrennung Störung Faulung Versorgungseingpass CO-Substrat
Gewässer		Grenzwertüberschreitungen	Grenzwertüberschreitungen
Logistik & Organisation		Personalengpass Betriebsmittelengpass	Betriebsmittelengpass Treibstoffengpass
Sicherstellung der Kommunikation und des Informationsflusses		Ausfall externer Kommunikationsnetze	Ausfall externer Kommunikationsnetze

2.4. Risikoermittlung und -bewertung

Der vom Bundesministerium des Innern, Bau und Heimat veröffentlichte Leitfaden zum „Schutz Kritischer Infrastrukturen – Risiko- und Krisenmanagement“ (BMI 2011) richtet sich an Unternehmen und Behörden, die von staatlicher Seite als für das Gemeinwohl relevante und somit Kritische Infrastrukturen bezeichnet werden. Hierzu zählen u.a. die Betreiber von Abwasserbeseitigungsanlagen. Das in dem Leitfaden vorgestellte Konzept zum Risiko- und Krisenmanagement dient zur Prävention und zum Umgang mit außergewöhnlichen Gefahrenlagen, deren Auswirkungen erhebliche Schäden auf die Einrichtungen der Kritischen Infrastrukturen hervorrufen können. Die folgenden Kapitel dieses Merkblattes orientieren sich an den fünf Phasen des Risiko- und Krisenmanagements nach BMI (2011), dargestellt in Bild 3.

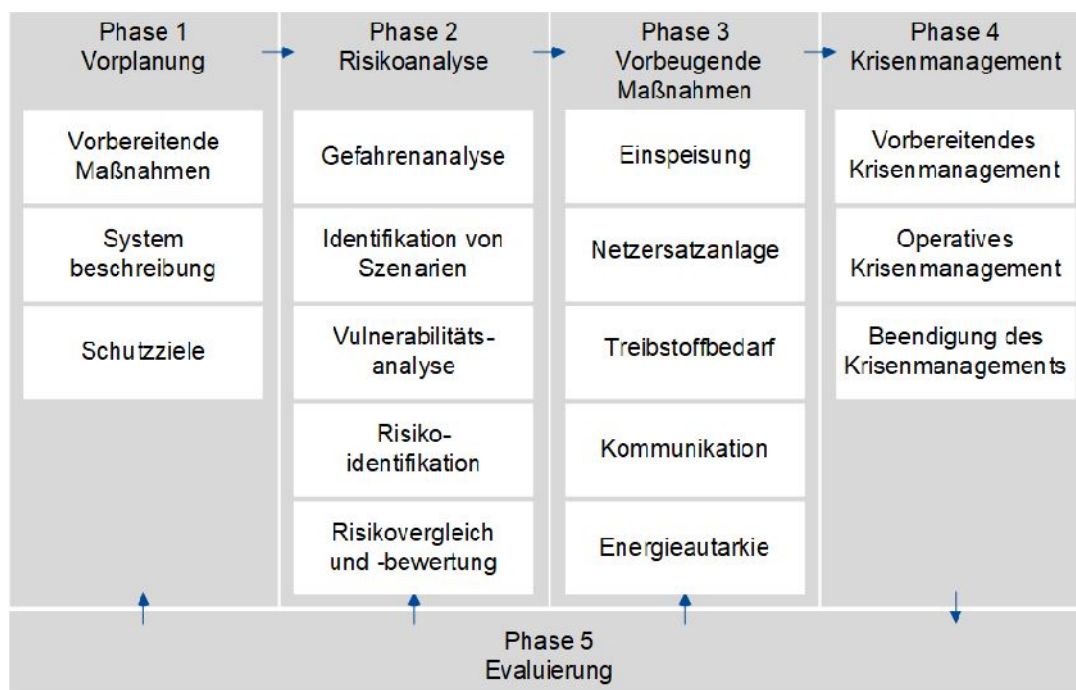


Bild 3: Fünf Phasen des Risiko- und Krisenmanagements (BMI 2011) und Gliederung des Kapitels

Das Merkblatt beschreibt die Vorgehensweise für die hier genannten Schritte und enthält ein Anwendungsbeispiel zur Durchführung einer Risikoanalyse und -bewertung für ein Abwassersystem bestehend aus einem Kanalnetz mit einer größeren Kläranlage, das die Anwendung der Systematik verdeutlicht.

Die Systematik ist hierbei nicht als einmaliger Schritt, sondern als ein kontinuierlicher Prozess angelegt, bei dem durch die Phase 5 der Evaluierung eine Bewertung der Wirksamkeit erfolgt und danach eine Entscheidung über notwendige Anpassungsmaßnahmen getroffen werden kann.

Bildunterschriften (in 10 Punkt Calibri, fett) sollen zentriert unter dem Bild angeordnet sein.

3 SCHLUSSWORT

Auf der Basis verschiedener Stromausfall-Szenarien stellt das Merkblatt eine Systematik vor, anhand derer Betreiber ihre individuelle Risikosituation analysieren und an ihre jeweiligen Randbedingungen angepasste Vorsorgekonzepte entwickeln können. In dem Vortrag werden die Systematik und das grundlegende Vorgehen zur Erstellung von Stromausfallanalysen und mögliche Schutzkonzepte vorgestellt

3 LITERATUR

Die Zusammenfassung verweist auf Literatur, aus dem Merkblatt M-320 und die darin aufgeführten Quellen sowie eigenen Darstellungen.

Gesamtemissionen Klärwerk Hamburg – Überblick über die Prozessemissionen Scope 1

M.Sc. Judith Niebuhr

HAMBURG WASSER, Billhorner Deich 2, 20539 Hamburg

E-Mail: judith.niebuhr@hamburgwasser.de

ZUSAMMENFASSUNG

Die Treibhausgasemissionen nehmen global gesehen weiter zu und verstärken den Treibhausgaseffekt und damit die Erderwärmung und die Auswirkungen auf das Klima. Die Treibhausgase Lachgas und Methan können in allen Prozessstufen der Abwasserbehandlung anfallen und tragen zu den anthropogenen Einflüssen auf die Umwelt bei. In Deutschland wurde mit dem Klimaschutzgesetz verankert, dass bis 2045 Klimaneutralität erreicht werden soll. Um diesem Ziel gerecht zu werden, müssen in allen Sektoren Maßnahmen zur Vermeidung von Treibhausgasemissionen ergriffen werden.

Bei HAMBURG WASSER werden die prozessbedingten Emissionen aus der Abwasserbehandlung jährlich ermittelt. Da es sich um diffuse Emissionen aus meist nicht gefassten Quellen handelt, ist die Ermittlung herausfordernd und erfolgt größtenteils anhand von qualifizierten Abschätzungen. Für das Klärwerk Hamburg stellen die Lachgasemissionen aus der biologischen Abwasserbehandlung und der Klärschlammverbrennung den dominierenden Anteil dar. Die Methanemissionen fallen deutlich geringer aus, wobei durch bauliche Maßnahmen und eine optimierte Prozessführung die Methanmissionen im Bereich der Faulschlammbehandlung bereits reduziert werden konnten. Zur Vermeidung von Lachgasemissionen aus den Prozessen der Abwasserbehandlung fehlt es aktuell noch an einem Stand der Technik und konkreten Handlungsempfehlungen und Maßnahmen, um die Entstehung an der Emissionsquelle zu vermeiden.

1 EINLEITUNG

Treibhausgase (THG) haben die Fähigkeit Wärmestrahlung zu absorbieren, wodurch sich die Erdatmosphäre erwärmt – der so genannte Treibhauseffekt. Der natürliche Treibhauseffekt wird überwiegend von Wasserdampf, Kohlenstoffdioxid (CO₂) und Ozon hervorgerufen. Aufgrund von anthropogenen Einflüssen reichern sich immer mehr Treibhausgase in der

Atmosphäre an und verstärken den Treibhauseffekt und damit die Erderwärmung und die Auswirkungen auf das Klima. (Umweltbundesamt, 2021)

Die Wirkung der Treibhausgase fällt unterschiedlich stark aus. Um sie miteinander vergleichen zu können, wurde das Treibhausgaspotential eingeführt, das die Wirkung des jeweiligen Treibhausgases im Vergleich zu CO₂ angibt. Das IPCC ermittelt das Treibhausgaspotential für die einzelnen Gase basierend auf einem Zeithorizont von 100 Jahren, wobei es durch neuere Erkenntnisse auch immer wieder zu Aktualisierungen kommt. In der folgenden Tabelle 1 sind die Treibhausgaspotentiale der relevanten Gase für den Bereich der Abwasserbehandlung aufgeführt. Über das Treibhausgaspotential kann die Gesamtemission, angegeben als CO₂-Äquivalente, ermittelt werden. (IPCC, 2013)

Tabelle 1: Übersicht der Treibhausgaspotentiale im Betrachtungszeitraum von 100 Jahren (IPCC, 2013)

Treibhausgas	Verweilzeit [Jahre]	Treibhausgaspotential (100 Jahre)
Kohlenstoffdioxid	Variabel	1
Methan	12,4	28
Lachgas	121	265

Die Treibhausgasemissionen steigen auf globaler Ebene nach wie vor an. In der EU nehmen die jährlichen Treibhausgasemissionen seit 1980 ab, wobei erst in den letzten zehn Jahren ein deutlicherer Rückgang zu erkennen ist. In Deutschland zeigt sich ein ähnliches Bild wie auf EU-Ebene. Um 1980 waren die jährlichen Treibhausgasemissionen am höchsten. Seitdem ist ein Rückgang der Emissionen zu verzeichnen. Seit den 2000er Jahren liegen die jährlichen Treibhausgasemissionen unter 1 Mrd. Tonnen CO₂-Äquivalenten. Die Entwicklung der Treibhausgasemissionen ist in der Abbildung 1 aufgetragen, wobei die Daten anhand von verschiedenen Modellen zur Emissionsberechnung zusammengestellt wurden. (Our World in Data, 2023)

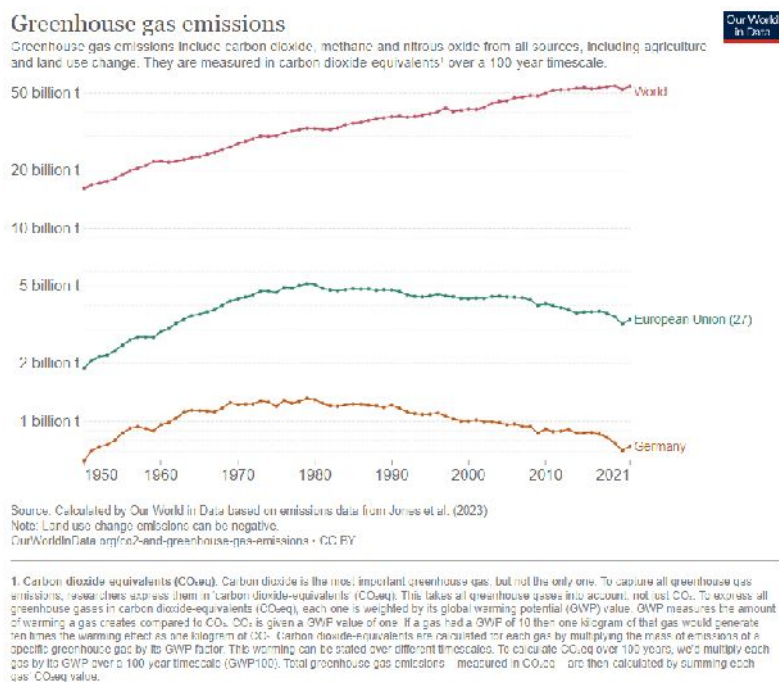


Abbildung 1: Entwicklung der Treibhausgasemissionen - Weltweit, in der Europäischen Union, in Deutschland (Our World in Data, 2023)

2 EINORDNUNG DER TREIBHAUSGASEMISSIONEN

2.1 Rechtliche Grundlagen

Treibhausgasemissionen bewirken eine globale Veränderung des Klimas und tragen teilweise zum Abbau der Ozonschicht in der Erdatmosphäre bei. Aus diesem Grund haben sich verschiedenste Länder weltweit im Rahmen des Pariser Abkommens darauf geeinigt, den Ausstoß von THG-Emissionen zu minimieren, um die Erderwärmung im Jahre 2100 auf 1,5°C zu begrenzen. (UNFCCC, 2015) Auf EU-Ebene wurde der European Green Deal verabschiedet, der die europäischen Länder dazu verpflichtet, bis 2030 die Treibhausgasemissionen um 55 % gegenüber 1990 zu reduzieren und bis 2050 Netto-Null-Emissionen zu erreichen. (Europäische Kommission, 2019) In Deutschland wurden mit dem nationalen Klimaschutzgesetz ähnliche Ziele setzungen vereinbart; bis 2030 sind mind. 65 % der Treibhausgasemissionen gegenüber 1990 zu reduzieren und bis 2045 soll Klimaneutralität erreicht werden. (KSG, 2019) Auf Landesebene wurde das Hamburgische Klimaschutzgesetz erlassen, dieses besagt, dass bis 2030 mind. 55 % der Treibhausgasemissionen gegenüber 1990 reduziert werden müssen und ab 2050 Klimaneutralität erreicht werden soll. (HmbKliSchG, 2020) Um diese Klimaschutzziele erreichen zu können, sind in allen Bereichen Maßnahmen zur Reduzierung des Ausstoßes von Treibhausgasemissionen erforderlich, auch im Bereich der Abwasserbehandlung.

Im Abwassersektor gibt es bisher nur die Minderungsziele aus dem Klimaschutzgesetz, jedoch keine konkreten Anhaltspunkte, wie der Ausstoß von prozessbedingten THG-Emissionen verringert werden soll. Im Rahmen der Merkblattreihe DWA M-230 Teil 1 und 2 wurden Anhaltspunkte zum Messen und Bewerten und zur Motivation und Vorgehen zur Erstellung von CO₂e-Bilanzen gegeben. Anhand des dort veröffentlichten Stufenmodells können z.B. erste Abschätzungen zu den Lachgasemissionen vorgenommen werden, diese sollten allerdings durch Messungen untermauert werden. (DWA, 2022a) (DWA, 2022b)

2.2 Einteilung der Treibhausgasemissionen gemäß GHG-Protocol

Im Greenhouse Gas Protocol wurden die Treibhausgasemissionen verschiedenen Bereichen zugeordnet, um die Abgrenzung von direkten und indirekten Emissionen für Unternehmen zu erleichtern und mehr Transparenz in der Berichterstattung zu gewährleisten. (WBCSD und WRI, 2004)

Im Scope 1 werden die direkten Treibhausgasemissionen zusammengefasst. Das sind Emissionen, die direkt aus den Anlagen und Prozessen des Unternehmens entstehen. Scope 2 Emissionen umfassen die Treibhausgasemissionen, die durch den Bezug von Energie entstehen, die das Unternehmen benötigt, um die Anlagen zu betreiben. Unter Scope 3 Emissionen werden die indirekten vor- und nachgelagerten Emissionen verstanden, die als Folge der Unternehmenshandlungen anfallen aber aus anderen Quellen entstehen, die nicht dem Unternehmen zuzuordnen sind.

2.3 Treibhausgasemissionen im Abwassersektor

Im Bereich der Abwasserbehandlung können klimarelevante Gase auftreten. Einen Großteil der Treibhausgase aus der Abwasserbehandlung macht Kohlenstoffdioxid aus. Das CO₂ stammt dabei größtenteils aus biogenen Quellen und wird daher als CO₂-neutral eingestuft. (DWA, 2022b) Weitere Treibhausgase, die im Bereich der Abwasserbehandlung entstehen sind Lachgas (N₂O) und Methan (CH₄). Lachgas entsteht vor allem im Bereich der biologischen Abwasserbehandlung, in der stickstoffhaltige Verbindungen umgesetzt werden. Methan wird wiederum vorrangig im Bereich der Schlammbehandlung unter anaeroben Bedingungen gebildet. (DWA, 2022a)

Treibhausgasemissionen aus dem Abwassersektor werden ausgehend vom Klimaschutzgesetz dem Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges zugeordnet. Das Umweltbundesamt bestimmt über modellbasierte Ansätze jährlich die Treibhausgasemissionen in den verschiedenen Sektoren und stellt diese Daten zur Verfügung. (Umweltbundesamt, 2023)

In dem Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges sind die abgeschätzten Emissionen deutlich zurückgegangen und liegen bereits unter dem Zielkorridor des Klimaschutzgesetzes. In Abbildung 2 ist zu erkennen, dass der Rückgang auf die Abfalldeponierung zurückzuführen ist. Anhand der modellbasierten Berechnung ergibt sich für die Treibhausgasemissionen der Abwasserbehandlung ein gleichbleibendes Niveau über die letzten Jahre. Berücksichtigt werden in dieser Darstellung nur die beiden Treibhausgase Lachgas und Methan, da die Kohlenstoffdioxid-Emissionen, wie bereits erwähnt, als neutral eingestuft werden.

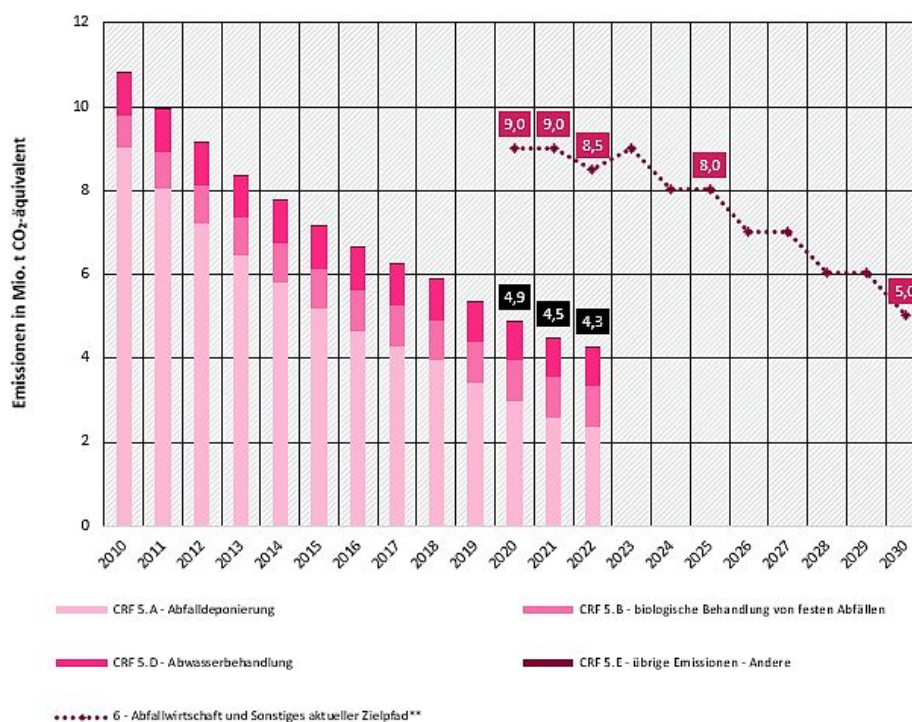


Abbildung 2: Entwicklung und Zielerreichung der Treibhausgasemissionen in Deutschland; Sektor Abfallwirtschaft und Sonstiges des Klimaschutzgesetzes (KSG) (Umweltbundesamt, 2023)

In Abbildung 3 sind die vom Umweltbundesamt generierten Daten für die Treibhausgasemissionen aus der Abwasserbehandlung über einen längeren Betrachtungszeitraum aufgetragen. Es wird ersichtlich, dass die Methanemissionen gegenüber 1990 deutlich verringert wurden. Bei den Lachgasemissionen ist ebenfalls ein rückläufiger Trend bis 2013 zu erkennen, seitdem gibt das Modell einen leicht steigenden Trend bei den N₂O-Emissionen an.

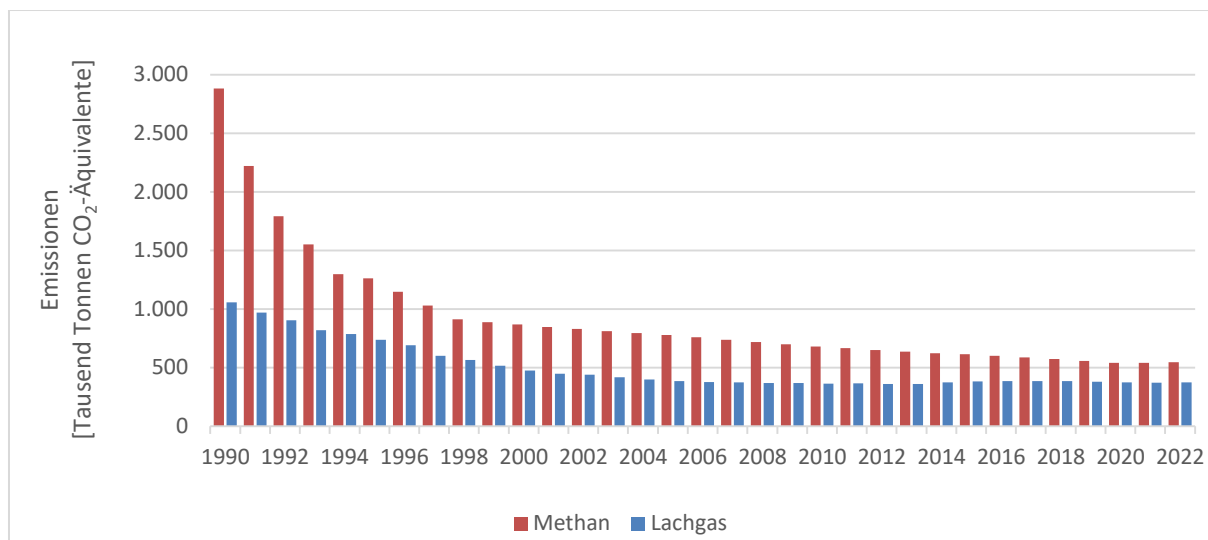


Abbildung 3: Zeitliche Entwicklung der Methan- und Lachgasemissionen aus der Abwasserbehandlung (Umweltbundesamt, 2023)

3 TREIBHAUSGASEMISSIONEN AUF DEM KLÄRWERK HAMBURG – SCOPE 1 EMISSIONEN AUS PROZESSEN

Die Prozessemissionen auf dem Klärwerk Hamburg entstehen überwiegend diffus an der Oberfläche und sind daher schlechter quantifizierbar als z.B. die Scope 1 Emissionen aus dem Primärenergiebedarf. Für eine Abschätzung der Emissionshöhe muss daher auf in der Literatur beschriebene Faktoren oder empirische Ansätze zurückgegriffen werden, die nur bedingt auf die Anlagen und die Prozesse bei HAMBURG WASSER übertragbar sind. Ein Vergleich der unterschiedlichen Literaturansätze hat gezeigt, dass die Emissionshöhe im Ergebnis um den Faktor 10 bis 100 auseinanderliegen kann.

Bei HAMBURG WASSER werden die prozessbedingten Treibhausgasemissionen im Rahmen der EMAS-III-Zertifizierung jährlich erfasst und in der Umwelterklärung berichtet. Die Emissionen werden je nach Emissionsquelle entweder direkt gemessen oder mit Hilfe von geeigneten Ansätzen qualifiziert abgeschätzt. Die drei Treibhausgase CO₂, CH₄ und N₂O werden in unterschiedlichen Prozessstufen emittiert. In der nachfolgenden Abbildung 4 ist schematisch das Klärwerk Hamburg abgebildet. Es sind alle potenziell möglichen Emissionsquellen, wie sie in der Literatur beschrieben oder bei HAMBURG WASSER bereits gemessen und erfasst werden, für das jeweilige Treibhausgas aufgeführt, wobei die Hauptemissionsquellen der Treibhausgase eingekreist sind. (Astrid Schönecker et al., 2023)

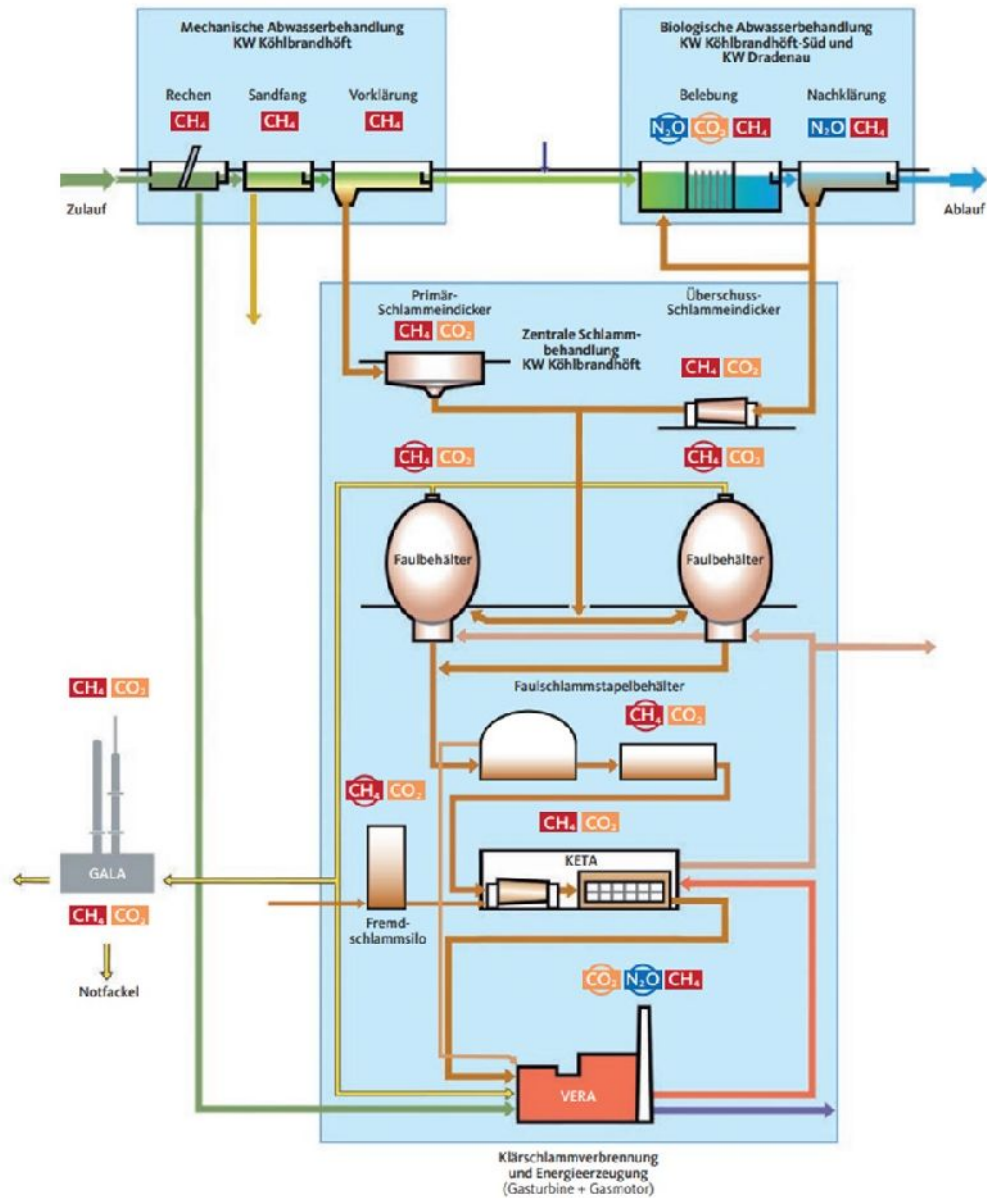


Abbildung 4: Emissionen aus den Prozessen der Abwasserbehandlung bei HAMBURG WASSER (Esther Beyer, 2023)

Kohlenstoffdioxid wird über den gesamten Prozess der Abwasserbehandlung gebildet und emittiert. Wie bereits erwähnt wird es als CO₂ biogenen Ursprungs eingestuft und gilt damit als neutral.

Methan wird unter anaeroben Bedingungen gebildet. Diese Bedingungen sind vor allem im Bereich der Schlammbehandlung vorzufinden, sodass dort auch die Hauptemissionsquellen zu finden sind. Bei HAMBURG WASSER haben bereits einige Messungen zur Ermittlung der Methanemissionen im Bereich der Faulbehälter und der Faulschlammstapelbehälter stattgefunden. Durch bauliche Maßnahmen und eine optimierte Prozessführung konnten die prozessbedingten Methanemissionen insgesamt reduziert werden. Im Rahmen der Bilanzierung der Methanemissionen werden aktuell nur die Emissionen aus den

Schlammflaschen der Faulbehälter, dem Fremdschlammsilo und den Faulschlammstapelbehältern berücksichtigt, da in den anderen Prozessstufen der Faulschlammbehandlung bisher keine messtechnischen Untersuchungen stattgefunden haben.

Die Lachgasemissionen fallen vor allem im Bereich der biologischen Abwasserbehandlung und der Klärschlammverbrennung an. In diesen beiden Prozessstufen wird die Lachgasbildung messtechnisch untersucht. Für die Berichterstattung werden die Lachgasemissionen aus der biologischen Behandlung mit Hilfe des Stufenmodells, wie es im DWA Merkblatt M-230 aufgeführt ist, ermittelt. Die Lachgasemissionen aus der Klärschlammverbrennung werden für die Bilanzierung anhand von früheren N₂O-Messungen und dem Abgasvolumenstrom qualifiziert abgeschätzt.

Für HAMBURG WASSER ergeben sich die folgenden prozessbedingten Scope 1 Emissionswerte für die Abwasserbehandlung. (Astrid Schönecker et al., 2023)

Tabelle 2: Prozessbedingte Treibhausgasemissionen bei HAMBURG WASSER, 2022

Treibhausgas	Emission [t CO ₂ -Äquivalente]
Kohlenstoffdioxid ¹	174.400
Methan ²	4.940
Lachgas	39.600
Gesamt	218.930

Entsprechend des DWA Merkblattes DWA-M 230-2 werden die CO₂-Emissionen, die aus biologischen Prozessen entstehen oder biogenen Ursprungs sind, als neutral eingestuft; dies betrifft auch die prozessbedingten CO₂-Emissionen von HAMBURG WASSER. In Abbildung 5 sind daher nur die Lachgas- und Methanemissionen als Gesamtemissionen aus den Prozessen der Abwasserbehandlung für 2022 aufgetragen. Es zeigt sich, dass die Lachgasemissionen bei HAMBURG WASSER vorherrschend sind, auch wenn bei den Methanemissionen noch nicht alle Prozessstufen in der Bilanzierung berücksichtigt werden konnten.

Eine Minderung entstehender THG-Emissionen aus Prozessen stellt eine besondere Herausforderung dar, denn eine sichere Abwasser- und Reststoffentsorgung führt prozessbedingt zu diesen Emissionen. Vor allem in Bezug auf die prozessbedingten Lachgasemissionen gibt es bisher keinen Stand der Technik, um diese Emissionen, z.B. auch durch eine gezielte Nachbehandlung, zu verringern.

¹ Es handelt sich um CO₂ biogenen Ursprungs

² Enthält nur Emissionen aus den Schlammflaschen der Faulbehälter, dem Fremdschlammsilo und den Faulschlammstapelbehältern

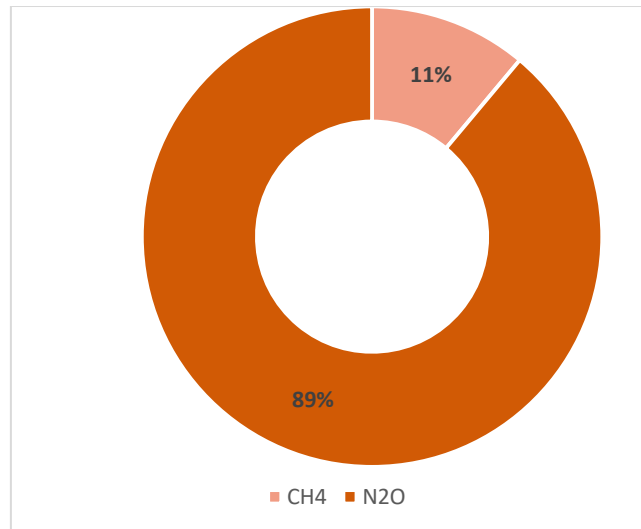


Abbildung 5: Anteile der prozessbedingten N₂O- und CH₄-Emissionen aus der Abwasserbehandlung bei HAMBURG WASSER

4 FAZIT

Prozessbedingte Treibhausgasemissionen aus der Abwasserbehandlung lassen sich nicht gänzlich vermeiden. Es stellt eine große Herausforderung dar, die Prozesse dahingehend zu optimieren, dass eine sichere Abwasser- und Reststoffentsorgung gewährleistet wird, wobei gleichzeitig möglichst geringe Treibhausgasemissionen entstehen. Im Bereich der Schlammbehandlung konnten auf dem Klärwerk Hamburg bereits bauliche Maßnahmen umgesetzt werden, die zu einer deutlichen Reduzierung der CH₄-Emissionen im Bereich der Faulschlammstapelbehälter beigetragen haben. Es gibt allerdings nicht für jede Prozessstufe einen ausreichenden Stand der Technik, um Maßnahmen zur Verringerung der prozessbedingten Treibhausgasemissionen ergreifen zu können. Es fehlen vor allem Handlungsempfehlungen und -ansätze zur Vermeidung von Lachgasemissionen aus der biologischen Abwasserbehandlung. Es sollte eine enge Zusammenarbeit zwischen Forschungseinrichtungen und Betreibern angestrebt werden, um praxistaugliche und zielführende Maßnahmen zur Verringerung der Emissionen an der Entstehungsquelle finden zu können. Nur so können die Betreiber von Abwasserbehandlungsanlagen den Zielen des Klimaschutzgesetzes Rechnung tragen und die Emissionen bis 2045 auf ein klimaverträgliches Maß bringen.

LITERATURVERZEICHNIS

- Astrid Schönecker, Ann Christin Jonas & Kristina Barton. (2023). *Umwelterklärung: Hamburg Wasser*. Konsolidierte Fassung mit Daten von 2022. Hamburg.
<https://www.hamburgwasser.de/fileadmin/Redakteur/DOWNLOADS/umwelterklaerungen/Umwelterklaerung-emas-2022.pdf>
- Bundes-Klimaschutzgesetz vom 12. Dezember 2019 (BGBl. I S. 2513), das durch Artikel 1 des Gesetzes vom 18. August 2021 (BGBl. I S. 3905) geändert worden ist (2019).
<https://www.gesetze-im-internet.de/ksg/KSG.pdf>
- DWA. (2022a). *Merkblatt DWA-M 230-1 Treibhausgasemissionen bei der Abwasserbehandlung – Teil 1: Direkte Treibhausgasemissionen – Messen und Bewerten* (Oktober 2022). *DWA-Regelwerk: 230-1*. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft Abwasser und Abfall.
- DWA. (2022b). *Merkblatt DWA-M 230-2 Treibhausgasemissionen bei der Abwasserbehandlung - Teil 2: Motivation und Vorgehen zur Erstellung von CO2 e-Bilanzen* (Oktober 2022). *DWA-Regelwerk: 230-2*. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft Abwasser und Abfall.
- Esther Beyer. (2023). *Prozessbedingte Treibhausgasemissionen in der Abwasserwirtschaft identifizieren, quantifizieren und bewerten*. unveröffentlichte Masterarbeit bei Hamburg Wasser, Betreuung Kristina Barton.
- Europäische Kommission. (2019, 11. Dezember). *European Green Deal*. Brüssel. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:52019DC0640>
- IPCC (2013). *Climate Change 2013: Climate Change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- Our World in Data. (2023). *Annual CO2 emissions*. Our World in Data.
https://ourworldindata.org/grapher/annual-co2-emissions-per-country?yScale=log&time=1950.latest&country=OWID_WRL~DEU~OWID_EU27
- Hamburgisches Gesetz zum Schutz des Klimas (Hamburgisches Klimaschutzgesetz - HmbKliSchG), HmbGVBl. 2020, 148 (2020). <https://www.landesrecht-hamburg.de/bsha/document/jlr-KlimaSchGHA2020rahmen>
- Umweltbundesamt. (2021). *Klima und Treibhauseffekt*.
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimawandel/klimatreibhauseffekt#grundlagen>
- Umweltbundesamt. (2023). *Emissionsübersichten nach Sektoren des Bundesklimaschutzgesetzes: 1990-2022*.
https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.umweltbundesamt.de%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Fmedien%2F361%2Fdokumente%2F2023_03_15_em_entwicklung_in_d_ksg-sektoren_pm.xlsx&wdOrigin=BROWSELINK
- UNFCCC. (2015). *Report of the Conference of the Parties on its twenty-first Report of the Conference of the Parties on its twenty-first session, held in Paris from 30 November*

to 13 December 2015. United Nations.

<https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/10a01.pdf>

WBCSD und WRI. (2004). *The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard*. Revised Edition. USA.

<https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf>



GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG UND
ENTWICKLUNG DER UMWELTTECHNOLOGIEN AN
DER TU HAMBURG E.V. (GFEU)



Zum Betrieb der Kläranlagen in Norddeutschland: Potentiale schon genutzt?

33. Hamburger Kolloquium zur Abwasserwirtschaft

Georg Thielebein, GT-Umwelttechnik, Ahrensburg

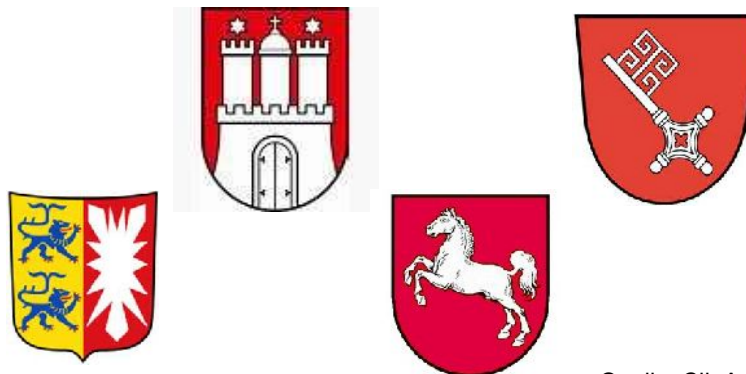
Ralf Hilmer, DWA Landesverband Nord, Hildesheim



Landesverband Nord der DWA



Vier Bundesländer, ein DWA Landesverband



Quelle: ClipArt



Nachbarschaftsarbeit in der DWA



- Den Wissensstand des Personals entsprechend des technischen Fortschrittes zu erweitern.
- Die Befähigung des Personals zur Durchführung der erforderlichen Eigenüberwachung gewährleisten.
- Die Sicherstellung materieller und personeller Hilfe in Notfällen.
- Die bestmögliche Wirkung der Kläranlagen erreichen (→ **Leistungsnachweis der betreuten Kläranlagen**).

33. Hamburger Kolloquium zur Abwasserwirtschaft am 05. und 06.09.2023

Zum Betrieb der Kläranlagen in Norddeutschland: Potentiale schon genutzt?



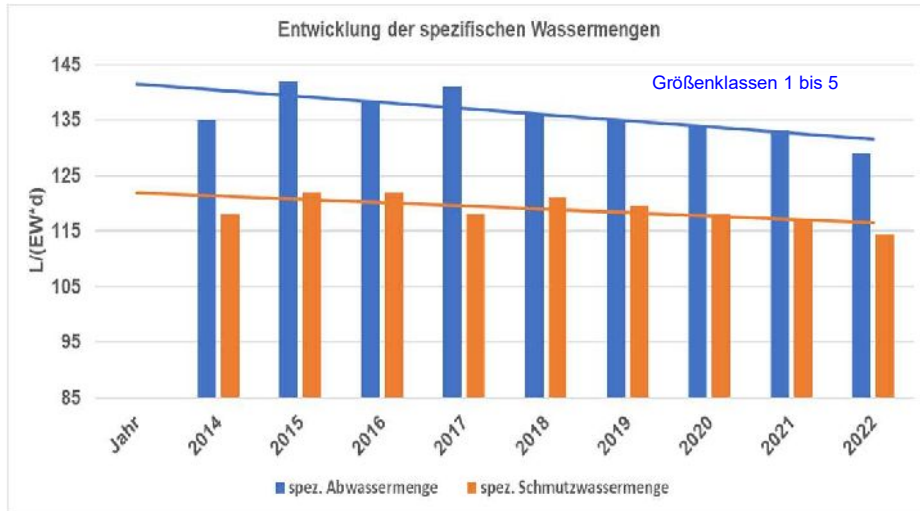
Hier ist ein Blick in die Vergangenheit hilfreich.

„Je weiter wir in die Vergangenheit schauen, desto besser können wir wahrscheinlich in die Zukunft blicken.“

(Frei nach Winston Churchill)

33. Hamburger Kolloquium zur Abwasserwirtschaft am 05. und 06.09.2023

Abwasser und Schmutzwasser



33. Hamburger Kolloquium zur Abwasserwirtschaft am 05. und 06.09.2023

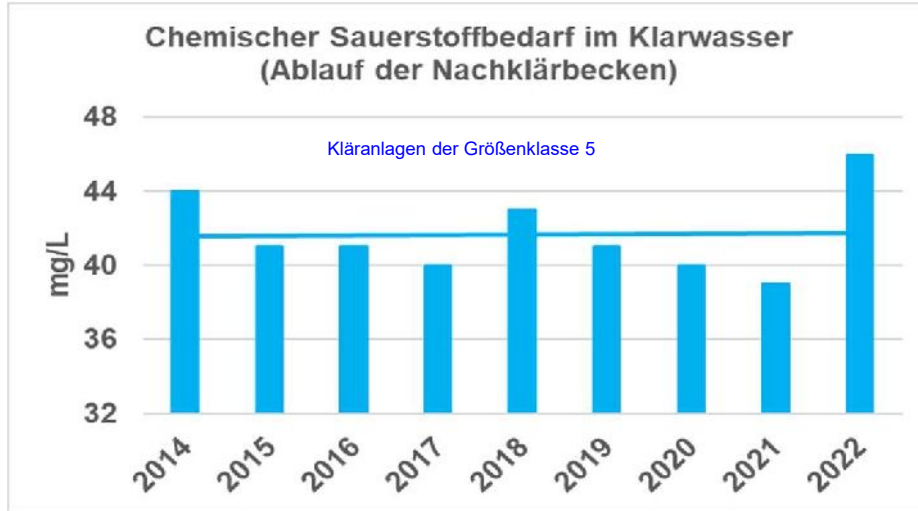
GT1

Rohabwasserkonzentration



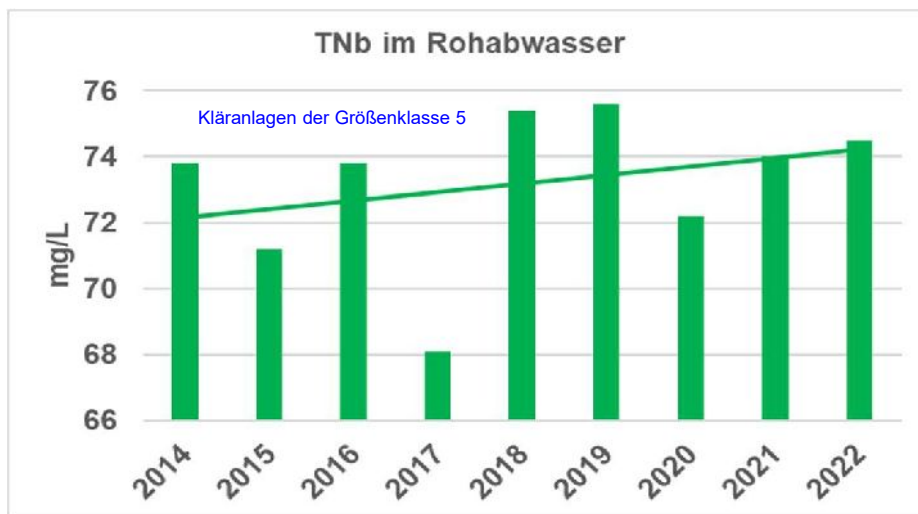
33. Hamburger Kolloquium zur Abwasserwirtschaft am 05. und 06.09.2023

Gereinigtes Abwasser



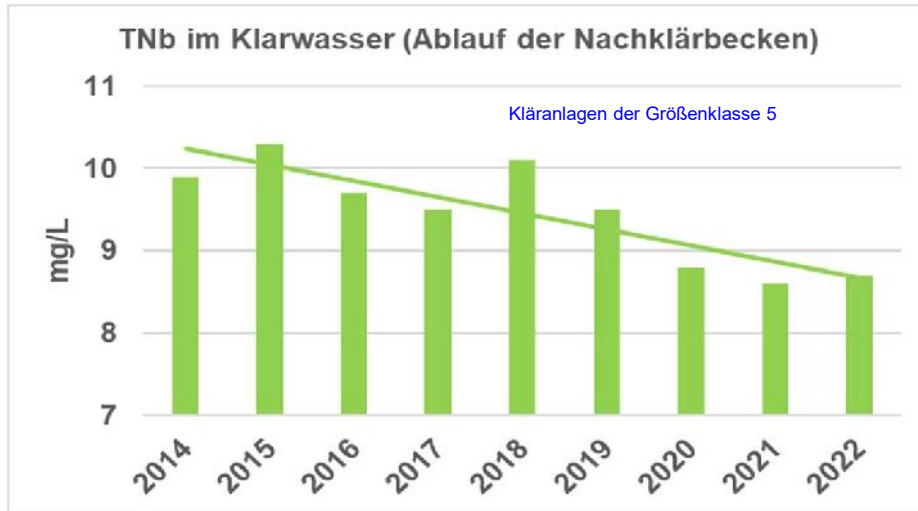
33. Hamburger Kolloquium zur Abwasserwirtschaft am 05. und 06.09.2023

Rohabwasserkonzentration



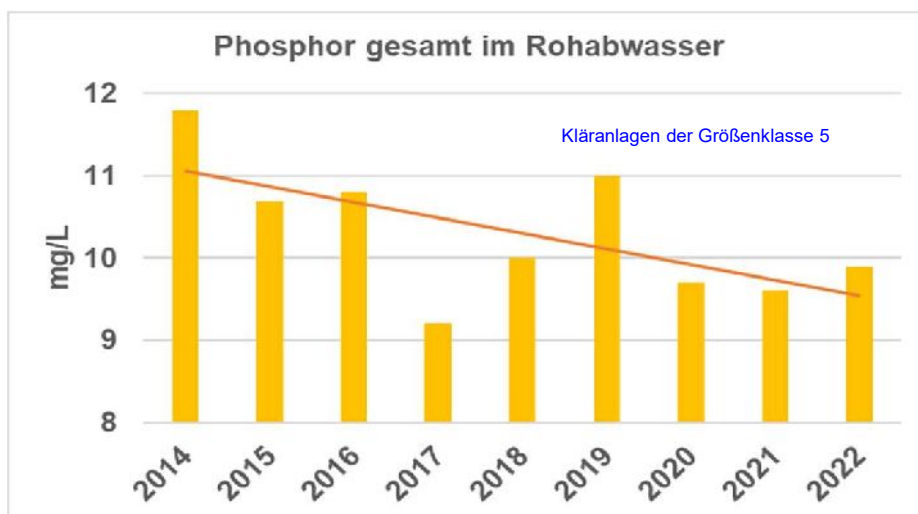
33. Hamburger Kolloquium zur Abwasserwirtschaft am 05. und 06.09.2023

Gereinigtes Abwasser



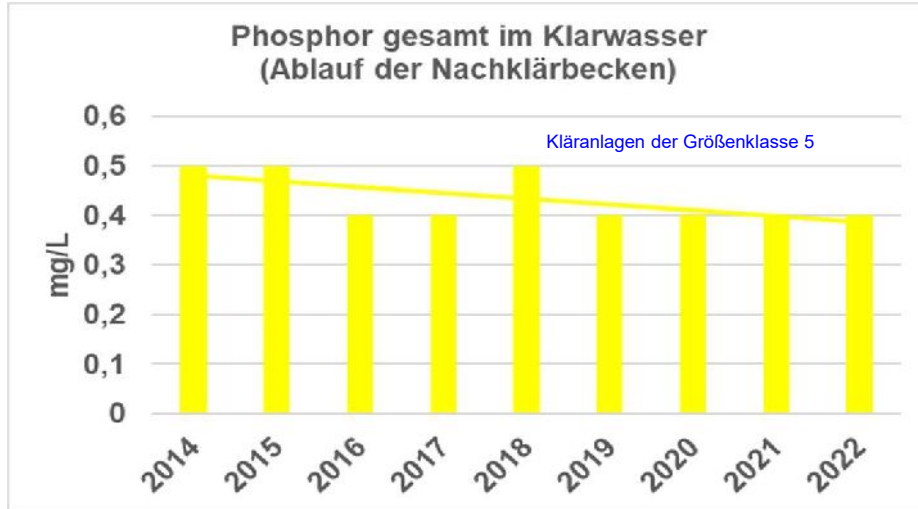
33. Hamburger Kolloquium zur Abwasserwirtschaft am 05. und 06.09.2023

Rohabwasserkonzentration



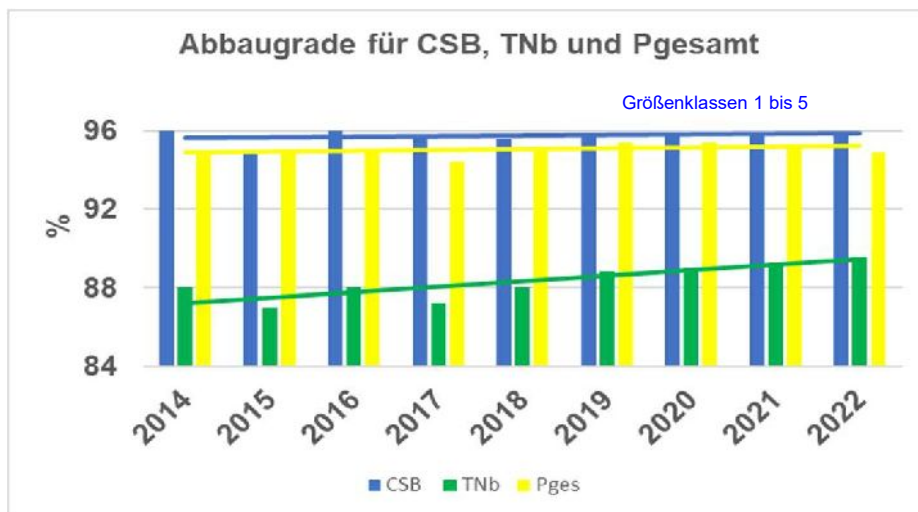
33. Hamburger Kolloquium zur Abwasserwirtschaft am 05. und 06.09.2023

Gereinigtes Abwasser



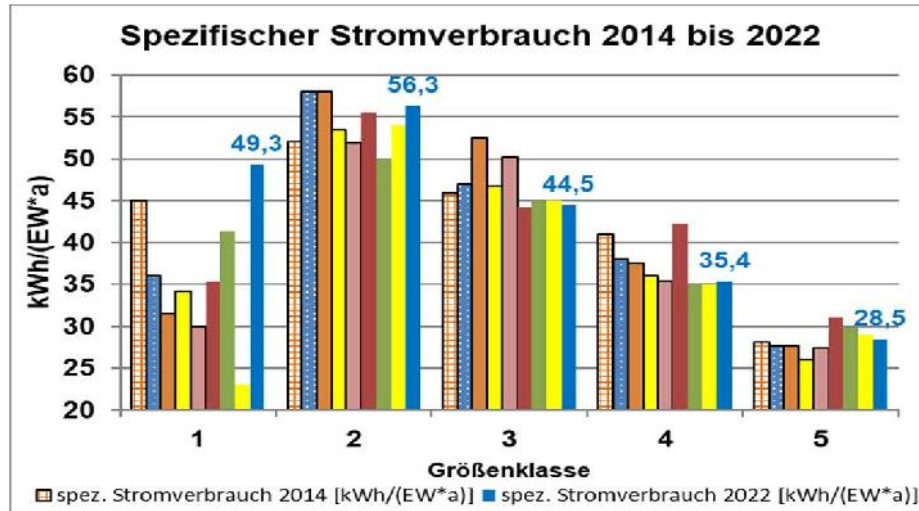
33. Hamburger Kolloquium zur Abwasserwirtschaft am 05. und 06.09.2023

Abbaugrade der Abwasserreinigung



33. Hamburger Kolloquium zur Abwasserwirtschaft am 05. und 06.09.2023

Spezifischer Stromverbrauch



33. Hamburger Kolloquium zur Abwasserwirtschaft am 05. und 06.09.2023

Eigenproduktion el. Energie 2022



Die großen Kläranlagen in Norddeutschland produzieren in Summe, überwiegend regenerativ aus Faulgasverstromung mit Co-Vergärung, Windkraft und Photovoltaik, mehr elektrische Energie als sie verbrauchen.

33. Hamburger Kolloquium zur Abwasserwirtschaft am 05. und 06.09.2023



ENERGIE.Netzwerk Nord und Nord-Ost

Ein Projekt DWA-Landesverbände
Nord und Nord-Ost

33. Hamburger Kolloquium zur Abwasserwirtschaft am 05. und 06.09.2023

ENERGIE.Netzwerk Nord und Nord-Ost



Aktuelle Herausforderungen:

- | Steigende Energiepreise
- | Verknappung der Ressourcen
- | Fortschreitender Klimawandel
- | Verschärfung gesetzlicher Anforderungen
- | Großer Sanierungs- und Erneuerungsbedarf
- | Fachkräftemangel
- | Hoher Innovationsdruck (Digitalisierung, BIM)

Wie können Abwasserbetriebe ihre Aufgaben künftig
energieeffizient, wirtschaftlich und **nachhaltig** erfüllen?

33. Hamburger Kolloquium zur Abwasserwirtschaft am 05. und 06.09.2023

ENERGIE.Netzwerk Nord und Nord-Ost



Weitere Fragestellungen

- | Wie kann die Energieeffizienz der eigenen Anlage gesteigert werden?
- | Wie und wo kann Energie eingespart werden?
- | Wie kann Energie kosteneffizient gewonnen werden?
- | Welche regenerativen Energieformen eignen sich für welche Standorte?
- | Welche zu beachtenden Randbedingungen und Auflagen gibt es?
- | Können Fördermöglichkeiten genutzt werden?

- | **Wie kann ich am besten all diese Punkte mit meiner Hauptaufgabe – der sicheren und rechtskonformen Abwasserreinigung - in Einklang bringen?**

33. Hamburger Kolloquium zur Abwasserwirtschaft am 05. und 06.09.2023

ENERGIE.Netzwerk Nord und Nord-Ost



- | ENERGIE.Netzwerk Nord und Nord-Ost läuft seit Anfang 2023
- | 80 teilnehmende Abwasserbetriebe aus den DWA-LVs Nord und Nord-Ost
- | Neue Projektteilnehmer sind herzlich willkommen
- | Das Netzwerk will Antworten auf die vorherigen Fragen geben

33. Hamburger Kolloquium zur Abwasserwirtschaft am 05. und 06.09.2023

ENERGIE.Netzwerk Nord und Nord-Ost - Themenüberblick -



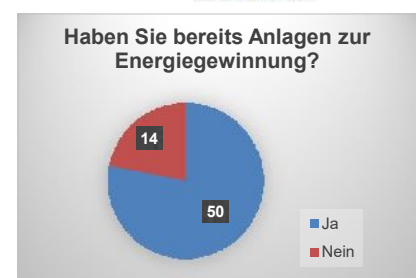
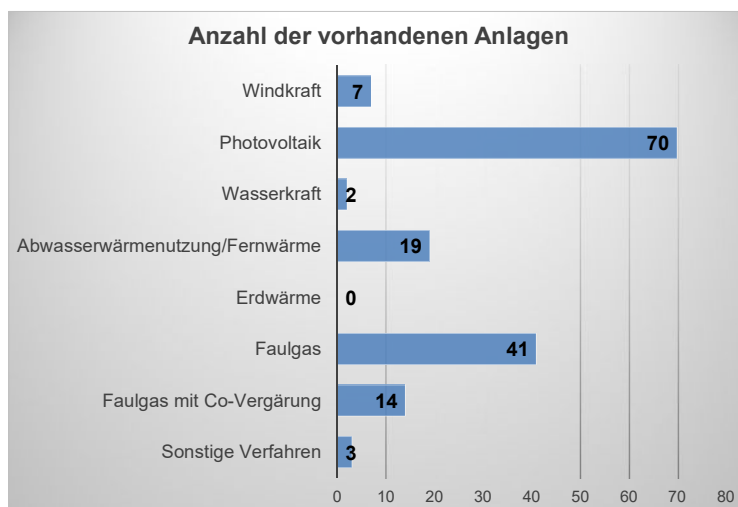
➤ Seit Juni 2023: Einführungsveranstaltungen zu den gezeigten Themen



➤ ab Herbst 2023: Vertiefung aller Themen in fortlaufenden moderierten Expertenforen/Arbeitsgruppen (Vor-Ort/ hybrid/digital)

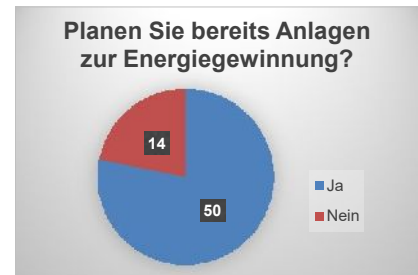
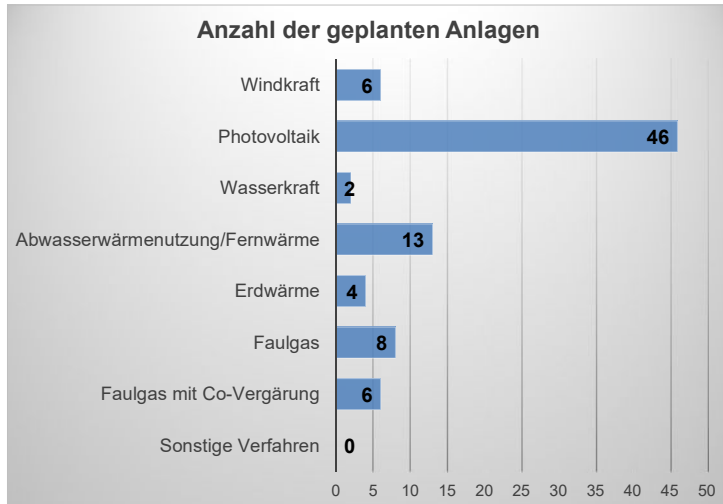
33. Hamburger Kolloquium zur Abwasserwirtschaft am 05. und 06.09.2023

ENERGIE.Netzwerk Nord und Nord-Ost - Ergebnisse der Bestandsaufnahme -



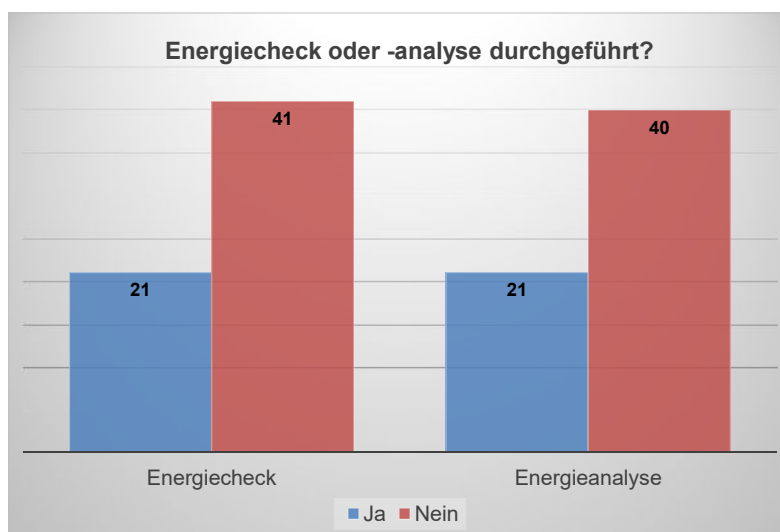
33. Hamburger Kolloquium zur Abwasserwirtschaft am 05. und 06.09.2023

ENERGIE.Netzwerk Nord und Nord-Ost - Ergebnisse der Bestandsaufnahme -



33. Hamburger Kolloquium zur Abwasserwirtschaft am 05. und 06.09.2023

ENERGIE.Netzwerk Nord und Nord-Ost - Ergebnisse der Bestandsaufnahme -



33. Hamburger Kolloquium zur Abwasserwirtschaft am 05. und 06.09.2023

ENERGIE.Netzwerk Nord und Nord-Ost - Ergebnisse der Bestandsaufnahme -



Motivation zu Teilnahme am Netzwerk

- Aufbau und Pflege eines persönlichen Netzwerkes, um sich auch außerhalb der offiziellen Netzwerktreffen mit Kollegen*innen austauschen zu können
- Zukunftsperspektive: Die 100% energieautarke Kläranlage.
- neue gesetzliche Herausforderungen, Stichwort kommunale Abwasserrichtlinie
- Erfahrungsaustausch: Partner für Erfahrungsaustausch in Bezug auf spezielle Themen, z.B. Errichtung WKA, finden
- Treffen quartalsweise; Wechsel online/Präsenz

33. Hamburger Kolloquium zur Abwasserwirtschaft am 05. und 06.09.2023



Vielen Dank!

33. Hamburger Kolloquium zur Abwasserwirtschaft am 05. und 06.09.2023

Spurenstoffelimination auf Kläranlagen – wo stehen wir heute?

Dr. Steffen Metzger

HAMBURG WASSER, Billhorner Deich 2, 20539 Hamburg

E-Mail: steffen.metzger@hamburgwasser.de

1 EINLEITUNG

Kommunale Kläranlagen werden als ein bedeutender Eintragspfad für viele Spurenstoffe in die Gewässer angesehen. So ist bekannt, dass der überwiegende Anteil an Spurenstoffen mit den Verfahren der mechanisch-biologischen Abwasserreinigung nur in geringem Umfang oder gar nicht eliminiert wird. Manche der Spurenstoffe können schon in sehr geringen Konzentrationen nachteilige Wirkungen auf die aquatische Umwelt haben [Kidd et al. 2007; Pedrazzani et al. 2019; Tribskorn et al. 2019]. Vor diesem Hintergrund wurde insbesondere in der ersten Dekade nach der Jahrtausendwende in Deutschland und der Schweiz die Entwicklung von neuen Reinigungsverfahren vorangetrieben. Als geeignet und technisch umsetzbar haben sich dabei die Ozonung als auch Verfahren mit granulierter Aktivkohle (GAK) und Pulveraktivkohle (PAK) erwiesen. Ausgehend von Erkenntnissen aus halbtechnischen Untersuchungen wurden Ende der ersten Dekade erste Verfahren im großtechnischen Maßstab errichtet [Alt und Mauritz 2010; ARGE Spurenstoffe NRW 2011].

Parallel zu Deutschland wurde auch in der Schweiz der Ausbau von Kläranlagen um eine sogenannte 4. Reinigungsstufe vorangetrieben. Während dort bereits seit 2016 gesetzliche Regelungen zum Ausbau der Kläranlagen existieren [UVEK; GSchV], ist hierzulande spätestens mit Überarbeitung der Abwasserverordnung damit zu rechnen. In dieser werden die Regelungen der neuen EU-Kommunalabwasserrichtlinie zu finden sein. Der bisherige Entwurf sieht vor, alle Kläranlagen mit einer Ausbaugröße von mehr als 100.000 E um eine Spurenstoffentfernung auszustatten. Unter bestimmten Umständen sollen auch Kläranlagen von mehr als 10.000 E eine 4. Reinigungsstufe erhalten [EU 2022].

2 KLÄRANLAGENSTANDORTE

Zwischenzeitlich wird auf knapp 50 Kläranlagen in Deutschland unterschiedlicher Größenordnung ein Verfahren zur gezielten Spurenstoffelimination betrieben. Damit ist bereits für eine Ausbaugröße von etwa 8 Mio E eine umfassendere Reinigung des Abwassers gegeben als es aktuell nach Anhang 1 der AbwV gefordert ist (vgl. Abbildung 1).

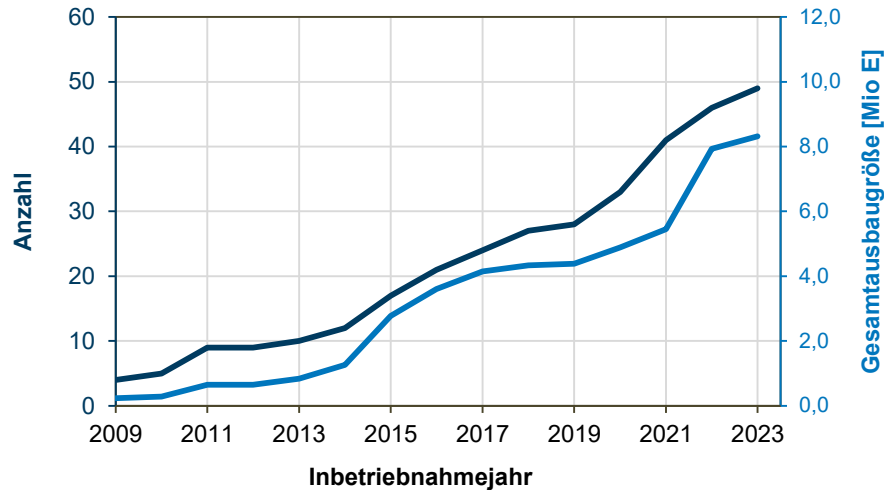


Abbildung 1: Entwicklung der Spurenstoffelimination auf kommunalen Kläranlagen in Deutschland (basierend auf Recherche DWA KA 8.6)

Die meisten dieser Kläranlagen sind in den Bundesländer Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen [Metzger et al. 2020] gelegen. Insbesondere in diesen Bundesländern wurde in den letzten 10 Jahren die Erweiterung von Kläranlagen um eine Spurenstoffentfernung durch gezielte Förderprogramme vorangetrieben.

So waren es zunächst einzelne Betreiber, die aus Vorsorgegründen ihre Kläranlage um ein Verfahren zur Spurenstoffentfernung erweitert haben. Mögliche erzielbare Synergieeffekte, wie eine Verringerung der Ablaufwerte von abwasserabgaberelevanten Parametern, bildeten für den ein oder anderen Betreiber zusätzliche Argumentationshilfen zur Implementierung der neuen Verfahrenstechniken.

Anfangs wurden die neuen Verfahren insbesondere dort eingerichtet, wo günstige Rahmenbedingungen auf Kläranlagen gegeben waren. Beispielsweise durch das Vorhandensein eines Filters oder auch nicht mehr benötigter Beckenvolumina.

3 AUSBILDUNG SPURENSTOFFELIMINATIONSVERFAHREN

Zwischenzeitlich haben sich die in Tabelle 1 gezeigten Einzelverfahren mittels Adsorption an Aktivkohle sowie Oxidation mittels Ozon bewährt. Auch Verfahrenskombinationen aus Oxidation und Adsorption sind bereits umgesetzt worden. Während die Ausbildung der **Ozonung** immer nach dem grundsätzlichen Prinzip der Ozonerzeugung, Eintrag, Kontakt, Restozon-Vernichtung und biologischer Nachbehandlung des Abwassers folgt, haben sich für den Einsatz von Aktivkohle verschiedene Verfahren etabliert. So kann ein **GAK-Adsorber** sowohl auf- als auch abwärts durchströmt ausgebildet werden. Weitere Unterschiede sind in

der Bauform (offen, geschlossen – in Form eines Druckkessels) zu finden. Hinsichtlich der Betriebsweise sind diskontinuierlich als auch kontinuierlich betriebe GAK-Adsorber realisiert. Eine weitere Möglichkeit GAK zur Spurenstoffentfernung einzusetzen besteht in der Anwendung als Schweb- oder Wirbelbett. Es ist auch unter dem Namen „MikroGAK“ bekannt. Hierbei wird das GAK-Bett im Aufstrom durchströmt, währenddessen die GAK entgegen der Fließrichtung „wandert“. Hierzu wird die frische GAK batchweise auf das Bett aufgegeben und entsprechend am unteren Ende des Bettes diskontinuierlich abgezogen [VSA 2022]. Für diese Anwendung ist eine bestimmte Siebfraktion an GAK notwendig. Dieses Verfahren wurde erstmal großtechnisch in der Schweiz realisiert. Bei den **PAK-Verfahren** unterscheidet man zwischen ein- und zweistufiger Anwendung. Das am einfachsten zu realisierende Verfahren stellt die Dosierung von PAK in die biologische Stufe dar (simultane PAK-Dosierung). Bei der zweistufigen Anwendungsform wird das unbeladene Adsorbens zunächst in den Ablauf der Nachklärung dosiert und in einer nachgeschalteten Stufe abgetrennt. Diese teilbeladene PAK wird zur besseren Ausnutzung in die biologische Stufe zurückgeführt, von wo sie zusammen mit dem Überschussschlamm aus dem Abwasserreinigungsprozess ausgeschleust wird. Den wesentlichen Unterschied stellt bei den nachgeschalteten Verfahren die Form der Aufkonzentrierung der PAK dar. Man unterscheidet zwischen Anreicherung auf / in einem Filter (Oberflächen-/Raumfiltration) und Anreicherung in suspendierter Form. Die Anwendung von PAK erfordert einen weitestgehenden Rückhalt des Adsorbens. Andernfalls wird das Gewässer mit der beladenen PAK belastet. Zudem wird durch einen Austrag der PAK die effektive Spurenstoffentfernung vermindert. In der Regel bildet daher einer Filtration den letzten Verfahrensschritt bei einer PAK-Anwendung. Als Filtersysteme kommen hier bislang Raumfilter als auch Tuchfilter zum Einsatz. Auch die Eignung der Membranfiltration wurde getestet. Diese Verfahrensausbildung ermöglicht zugleich eine Desinfektion des Abwassers.

Kombinationsverfahren sind dadurch gekennzeichnet, dass mindestens zwei Einzelprozesse zur Anwendung kommen, die jeweils für sich als Verfahren zur gezielten Spurenstoffentfernung ausgebildet werden können. Die Dimensionierung des jeweiligen Einzelverfahrens bei der Anwendung in Kombination hängt von den geforderten Reinigungsanforderungen als auch betrieblichen Belangen ab.

Vorteile der Kombination sind in einem breiteren Spektrum der Entnahme an Einzelstoffen zu sehen, was wiederum eine höhere Flexibilität erlaubt, um auf neue Anforderungen an die Spurenstoffentfernung reagieren zu können. Des Weiteren ist durch die Kombination von etablierten Prozessen eine höhere Prozesssicherheit und größere Möglichkeiten zur Optimierung des Betriebsmittelverbrauches eines jeden einzelnen Prozesses gegeben. So erlaubt eine Kombination aus Ozonung mit anschließender Adsorption eine geringere spezifische Ozondosis im Vergleich zum Betrieb einer alleinigen Ozonung. Damit einhergehend ist ein geringeres Bildungspotenzial von Transformations- und Oxidationsnebenprodukten gegeben.

Bislang haben sich Kombinationsverfahren aus Ozonung und Aktivkohleadsorption als geeignet erwiesen. Meist wurde diese Form der Prozesskombination bislang in Form der Ozonung mit einer nachgeschalteten GAK-Adsorption realisiert. Für die GAK können hierbei deutlich höhere Bettvolumina bzw. längere Standzeiten erzielt werden als bei deren alleinigen Anwendung. Aber auch die Ozonung in Kombination mit einer PAK-Adsorption wurde bereits untersucht. Eine erste Umsetzung dieser Prozesskombination ist in Planung.

Tabelle 1: Spurenstoffeliminationsverfahren (Bildquelle: Weber-Ingenieure GmbH)

Einzelverfahren	
Ozonung	
GAK-Adsorber	
PAK - einstufig	
Simultane Dosierung	<p>Ausführung mit Tuch-/Raumfiltration:</p> <p>Ausführung mit Membrane:</p>
PAK - zweistufig	
Aufkonzentrierung der PAK in der Trennstufe	<p>Ausführung mit Tuch-/Raumfiltration:</p> <p>Ausführung mit Membrane:</p>
Aufkonzentrierung der PAK in suspendierter Form	<p>Ausführung mit Tuch-/Raumfiltration („Ulmer Verfahren“):</p> <p>Ausführung mit Membrane:</p>

Fortsetzung Tabelle 1

Kombinationsverfahren	
Ozonung und GAK-Adsorber	
Ozonung und PAK-Verfahren	

4 VERFAHRENSAUSWAHL

Während in den Anfangsjahren der Spurenstoffentfernung die Verfahrenswahl durchaus von der länderspezifischen Expertise der Wissenschaft geprägt war, sind es heutzutage wasserchemische, technische, betriebliche als auch wirtschaftliche Gesichtspunkte, die die Wahl des Verfahrens bedingen. Hierbei gilt: Wenn ein geringer Aufwand bei der Nachrüstung weniger maßgeblich ist, liegt der Fokus oft auf Abwägungen, welche Zielstoffe das Verfahren entfernen soll, ob Transformationsprodukte der Ozonung problematisch sein könnten, oder wie hoch der prognostizierte Aktivkohle-Verbrauch wäre. Auch die Herkunft und der Ressourcenverbrauch bei der Aktivkohle-Herstellung spielen eine größer werdende Rolle. Schlussendlich muss der Frage, ob eine weitergehende Abwasserreinigung auf einer bestimmten Kläranlage zu installieren ist, eine sorgfältige Abwägung der Kosten und Nutzen vorausgehen.

Zwischenzeitlich liegen insbesondere zu den unter Abschnitt 3 angeführten Einzelverfahren umfassende Betriebserfahrungen vor. Betrachtet man die Umsetzungen in Deutschland und der Schweiz (Abbildung 2), so finden sich mehrheitlich adsorptive Verfahren auf Kläranlagen.

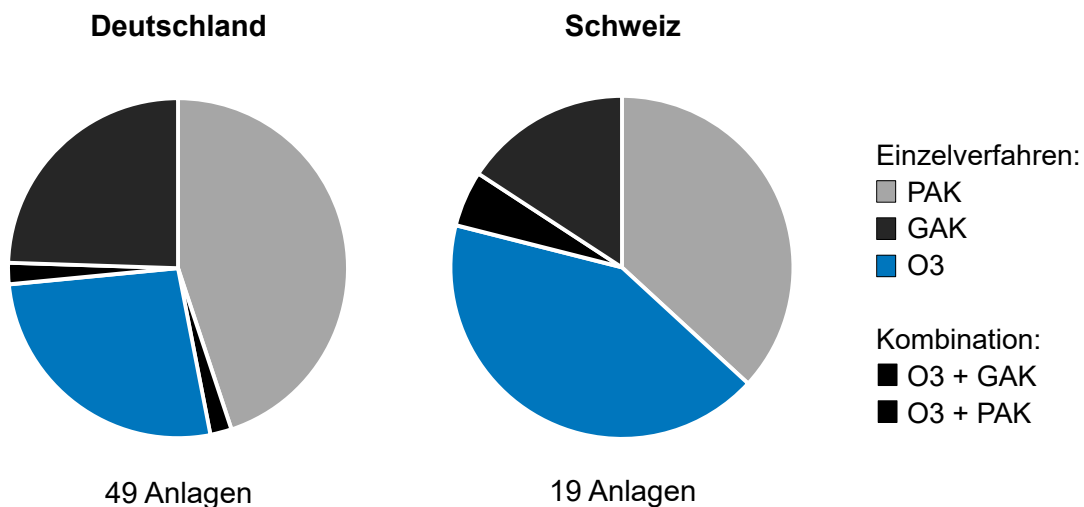


Abbildung 2: Verfahrenswahl bei den in Betrieb befindlichen Anlagen zur Spurenstoffelimination

Die Gründe für die Einrichtung einer 4. Reinigungsstufe können unterschiedlich sein. Demnach auch die Anforderungen an den Reinigungsumfang. So ist zu erwarten, dass aufgrund eines naheliegenden Trinkwassergewinnungsgebietes oder auch durch eine Wasserwiederverwendung weitergehende Anforderungen an die Spurenstoffentfernung gestellt werden als bei einer rein „frachtreduzierenden Breitbandelimination“. Demzufolge ist davon auszugehen, dass sich mit weitergehenden Forderungen an den Umfang der Spurenstoffelimination auch weitere technische Ausgestaltungsmöglichkeiten für (Kombinations)Verfahren mit Ozon oder/und Aktivkohle ergeben werden.

5 AUSLEGUNG UND DIMENSIONIERUNG

Vielerorts ist die Spurenstoffentfernung für die Behandlung eines Teilstroms ausgelegt. In Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen existieren hierzu Vorgaben für die Ermittlung des Teilstroms [KomS BW 2018; KomM.NRW2016]. Wenngleich der Berechnungsvorgang zur Bestimmung des erforderlichen Teilstroms länderspezifisch unterschiedlich ist, so kann mit dieser Teilstromauslegung meist zwischen 70 und 90 % der jährlich biologisch behandelten Abwassermenge einer gezielten Spurenstoffentfernung unterzogen werden. Bei Kläranlagen mit überwiegendem Mischwasser im Einzugsgebiet beträgt der maximal behandelbare Volumenstrom für die Spurenstoffentfernung ($Q_{\text{Spur,max}}$) dabei oftmals weniger als 50 % des Bemessungsabflusses für die Kläranlagen (Q_M).

Inwieweit das Vorgehen zur Bestimmung von $Q_{\text{Spur,max}}$ im Zuge der Novellierung der AbwV weiterhin Bestand haben wird, bleibt abzuwarten. So haben Auswertungen gezeigt [Metzger 2021], dass bereits mit einem geringeren $Q_{\text{Spur,max}}$ eine ähnlich umfangreiche Jahresabwassermenge behandelt werden kann wie mit der bestehenden Vorgabe zur Ermittlung des Teilvolumenstroms. Ein kleineres $Q_{\text{Spur,max}}$ hätte bei allen Spurenstoffeliminationsverfahren einen geringeren Platzbedarf für die 4. Reinigungsstufe und damit auch geringere Investitionskosten zur Folge.

Die wesentlichen Angaben zur Ausbildung und Dimensionierung als auch relevante Betriebshinweise von den bislang existenten Anlagen zur Spurenstoffentfernung, den sogenannten „Reallaboren“, findet sich im DWA-Regelwerk zusammengetragen:

DWA-M 285-1: Spurenstoffentfernung auf kommunalen Kläranlagen – Teil 1:
Kriterien der Verfahrensauswahl (in Bearbeitung)

DWA-Themen T1/2019: Aktivkohleeinsatz auf kommunalen Kläranlagen zur
Spurenstoffentfernung – Verfahrensvarianten, Reinigungsleistung
und betriebliche Aspekte

- DWA-M 285-2: Spurenstoffentfernung auf kommunalen Kläranlagen – Teil 2:
Einsatz von Aktivkohle – Verfahrensgrundsätze und Bemessung
- DWA Themen T2/2022: Einsatz der Ozonung zur Spurenstoffentfernung auf kommunalen Kläranlagen – Erfahrungen, verfahrenstechnische Aspekte und offene Fragen
- DWA-M 285-3: Spurenstoffentfernung auf kommunalen Kläranlagen – Teil 3:
Ozonung – Verfahrensgrundsätze und Bemessung (in Bearbeitung)

6 BETRIEBSKONTROLLE UND ÜBERWACHUNG

Bislang existieren (Bundes)länderspezifische Regelungen zur Überwachung von Anlagen zur Spurenstoffelimination. Einheitlichkeit besteht dabei in der Forderung über den Umfang der Spurenstoffentfernung, die mit 80 % über den Bilanzraum der Gesamtkläranlage (Probenahme im Zu- und Ablauf der Kläranlage) festgelegt ist. Unterschiede existieren in der Häufigkeit der Probenahme pro Jahr, in der Dauer der Probenahme und der für den Nachweis des erforderlichen Reinigungsumfangs heranzuziehenden Leitsubstanzen [UVEK 2016, KomM.NRW 2016, UM BW 2018].

Tabelle 2: Substanzlisten für den Nachweis einer ausreichenden Spurenstoffelimination

Substanz		Schweiz	Baden-Württemberg	Nordrhein-Westfalen
Amisulprid	Kategorie 1	x		
Carbamazepin		x	x	x
Citalopram		x		
Clarithromycin		x		x
Diclofenac		x	x	x
Hydrochlorothiazid		x	x	
Metoprolol		x	x	x
Venlafaxin		x		
Candesartan	Kategorie 2	x		
Irbesartan		x	x	
Benzotriazol		x	x	x
∑ 4+5-Methylbenzotriazol		x	x	
Sulfamethoxazol				x

Entsprechend Tabelle 2 lässt sich für die Länder Schweiz, Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen nur für vier Substanzen eine Überschneidung feststellen (Carbamazepin, Diclofenac, Metoprolol, Benzotriazol), wenngleich in allen Länder die gleiche Zielsetzung verfolgt wird. Nach dem Entwurf der Novelle der europäischen

Kommunalabwasserrichtlinie ist davon auszugehen, dass man hierzulande zukünftig die gleichen Substanzen für die Überwachung der Spurenstoffelimination heranziehen wird wie in der Schweiz. Gleiches gilt für die Regelung zur Auswahl der Substanzen aus dieser Liste: Im Minimum definiert sich die prozentuale Spurenstoffentfernung über die Gesamtkläranlage aus der Einzelentfernung von mindestens 6 Substanzen, wobei hierbei die Anzahl der aus der Kategorie 1 eingestuften Substanzen doppelt so hoch sein muss, wie die Anzahl der Substanzen aus der Kategorie 2. Wenngleich die Substanzen hierbei nur in zwei „Entfernungskategorien“ eingeteilt sind, so ist es durchaus von Bedeutung, welche der Substanzen im Einzelnen als Leitsubstanzen festgelegt werden. So haben Untersuchungen anhand der 4. Reinigungsstufe der Kläranlage in Weißenburg gezeigt, dass sich je nach Substanzkombination signifikante Unterschiede für die mittlere Entfernungsleistung ergeben [Hübner et al. 2023].

7 FAZIT

Wenngleich in den vergangenen 15 Jahren eine umfassende Expertise zur Verfahrenswahl, der Auslegung, Dimensionierung und Gestaltung als auch dem Betrieb von Spurenstoffeliminationsverfahren erlangt wurde, so erscheint es vor der anstehenden Aufgabe zur Erweiterung einer Vielzahl an Kläranlagen um eine 4. Reinigungsstufe lohnenswert, das Erreichte für eine Weiterentwicklung des Vorgehens zu hinterfragen. Gerade die „Reallabore“ ermöglichen es, ...

- ...weiterführende Erkenntnisse zur Dimensionierung der Verfahren zu erlangen.
- ...das Prozessdesign weiter zu verbessern und die Betriebsweise zu vereinfachen.
- ...mögliche Konzepte für eine einfache, praktikable Überwachung der 4. Reinigungsstufe zu entwickeln. Gerade vor dem Hintergrund der Einführung einer Spurenstoffelimination auf mittleren und kleineren Anlagen und den nicht vorhandenen Möglichkeiten für eine Spurenstoffanalytik im Rahmen der Eigenkontrolle, sollte man prüfen, inwieweit die Einhaltung der Anforderungen an die 4. Reinigungsstufe durch den Nachweis eines ordnungsgemäßen Betriebs erbracht werden kann.
- ...den „Limit of Technology“ (LOT) für den Umfang der Spurenstoffentfernung auszuloten, welcher Berücksichtigung beim Nutzen einer 4. Reinigungsstufe im Zuge einer lokalen Spurenstoffstrategie als auch der Formulierung von (lokalen) Anforderungen an eine 4. Reinigungsstufe finden sollte.

Angesichts den bevorstehenden Herausforderungen in der Wasserwirtschaft zur Nutzung des Abwassers sollte das bislang Erlangte dazu beflügeln, weiter an der Entwicklung von einfachen, anwendbaren, pragmatischen Lösungen zu arbeiten, um dem anstehenden Wandel zeitgerecht begegnen zu können.

LITERATUR

Alt, K.; Mauritz, A. (2010): Projekt zur Teilstrombehandlung mit Pulveraktivkohle im Klärwerk Mannheim. Korrespondenz Abwasser, Abfall 2010 (57) Nr.2, S. 161-166

ARGE Spurenstoffe NRW (2013): Elimination von Arzneimittlrückständen in kommunalen Kläranlagen. Abschlussbericht, gerichtet an das Ministerium für Klimaschutz, Umweltschutz, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalens

EU (2022): Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL concerning urban wastewater treatment (recast) COM/2022/541 final. Rat der Europäischen Union.

GSchV: Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998 (Stand am 2. Februar 2016). 2016, Schweizerische Bundesrat: Schweiz.

Hübner, U.; Müller, J.; Zech, T.; Knoop, O.; Daub, B.; Keyzers, Ch.; Metzger, S.; Drewes, J.E. (2023): Herausforderungen bei der Bewertung der Spurenstoffelimination am Beispiel der Kläranlage Weißenburg. Korrespondenz Abwasser, Abfall 2023 (70) Nr. 9 (in Vorbereitung)

Kidd, K. et al. (2007): Collapse of a fish population after exposure to a synthetic estrogen, PNAS, no.21

KomM.NRW 2016: Anleitung zur Planung und Dimensionierung von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination, Stand 01.09.2016.

KomS-BW 2018: Handlungsempfehlungen für die Vergleichskontrolle und den Betrieb von Verfahrenstechniken zur gezielten Spurenstoffelimination. https://koms-bw.de/cms/content/media/KomS_Handlungsempfehlung_Stand_07.2018_korrigiert.pdf (abgerufen am 01.08.2023)

Metzger, S.; Barjenbruch, M.; Beier, S.; Miehe, U.; Nafu, I. (2020): Statusbericht „Spurenstoffentfernung auf kommunalen Kläranlagen in Deutschland“. Korrespondenz Abwasser, Abfall 2020 (67) Nr. 10, S. 769-779

Metzger, S. (2021): Spurenstoffelimination auf Kläranlagen – Ist bereits alles vorgespurt? Vortrag auf der DWA Landesverbandstagung Badne-Württemberg 2021 in Pforzheim

Pedrazzani, R., G. Bertanza, I. Brnardić, Z. Cetecioglu, J. Dries, J. Dvarionienė, A.J. García-Fernández, A. Langenhoff, G. Libralato, G. Lofrano, B. Škrbić, E. Martínez-López, S. Meriç, D.M. Pavlović, M. Papa, P. Schröder, K.P. Tsagarakis, und C. Vogelsang (2019): Opinion paper about organic trace pollutants in wastewater: Toxicity assessment in a European perspective. Science of The Total Environment, 2019. 651: p. 3202-3221

Triebskorn, R. et al. (2019): Freshwater ecosystems profit from activated carbon-based wastewater treatment across various levels of biological organization in a short timeframe, Environmental Sciences Europe, DOI: 10.1186/s12302-019-0267-0

UM BW 2018: Arbeitspapier des Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg „Spurenstoffelimination auf kommunalen Kläranlagen in Baden-Württemberg“ vom 20.11.2018. <https://koms-bw.de/cms/content/media/2018-11-20%20Arbeitspapier%20Spurenstoffe.pdf>

UVEK: Verordnung des UVEK zur Überprüfung des Reinigungseffekts von Maßnahmen zur Elimination von organischen Spurenstoffen bei Abwasserreinigungsanlagen. 2016, Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation: Schweiz.

VSA (2022): Faktenblatt – Aktueller Stand GAK im Schwebbett. https://micropoll.ch/Mediathek/aktueller-stand-gak-im-schwebbett/?media_filter_one=gak (abgerufen am 01.08.2023)

Erfahrungen zur Spurenstoffelimination mittels Pulveraktivkohle beim Zweckverband Klärwerk Steinhäule in Neu-Ulm

Dipl.-Ing. Christian Hiller

Abteilungsleiter Bau und Betrieb Abwasserreinigung, ZVK Steinhäule, Reinzstraße 1, 89233 Neu-Ulm

E-Mail: c.hiller@zvk-s.de

ZUSAMMENFASSUNG

Der Zweckverband Klärwerk Steinhäule hat eine Pulveraktivkohleanlage zur Spurenstoffentfernung im Ablauf der mechanischen, biologischen und chemischen Abwasserreinigung erstellt. Das Verfahren zur Spurenstoffelimination besteht aus einem Kontaktreaktor, 2 Sedimentationsbecken zur Abtrennung der Pulveraktivkohle und einer nachgeschalteten Sandfiltration. Mit einer Dosiermenge von 10 mg/L an Pulveraktivkohle können ausgewählte Spurenstoffe nach den Vorgaben der Schweiz als auch nach dem Entwurf der neuen EU-Kommunalabwasserrichtlinie über 80 % reduziert werden.

1. ZWECKVERBAND KLÄRWERK STEINHÄULE

Im Jahre 1984 haben sich die Städte Ulm, Neu-Ulm, Senden, Blaustein sowie die Blautal- und Weihungstalgemeinden zum Zweckverband „Klärwerk Steinhäule“ zusammengeschlossen. Der Anschluss der Gemeinde Dornstadt mit den Ortsteilen erfolgte im Jahr 2001. Die Verbandskläranlage reinigt die Abwassermengen von z.Zt. 445.000 EW. Hiervon entfallen auf Industrie und Gewerbe rund 50 %. Die Abwasserreinigung erfolgt mechanisch, biologisch, chemisch und adsorptiv (Bild 1). Jährlich müssen rund 40 Mio. m³ Abwasser gereinigt werden. Dabei entstehen ca. 10.000 to TS Schlamm. In den Schlammbehandlungsanlagen wird die Schlammmenge nach der Entwässerung und thermischen Behandlung in Wirbelschichtanlagen auf rund 2.500 to TS Asche reduziert.

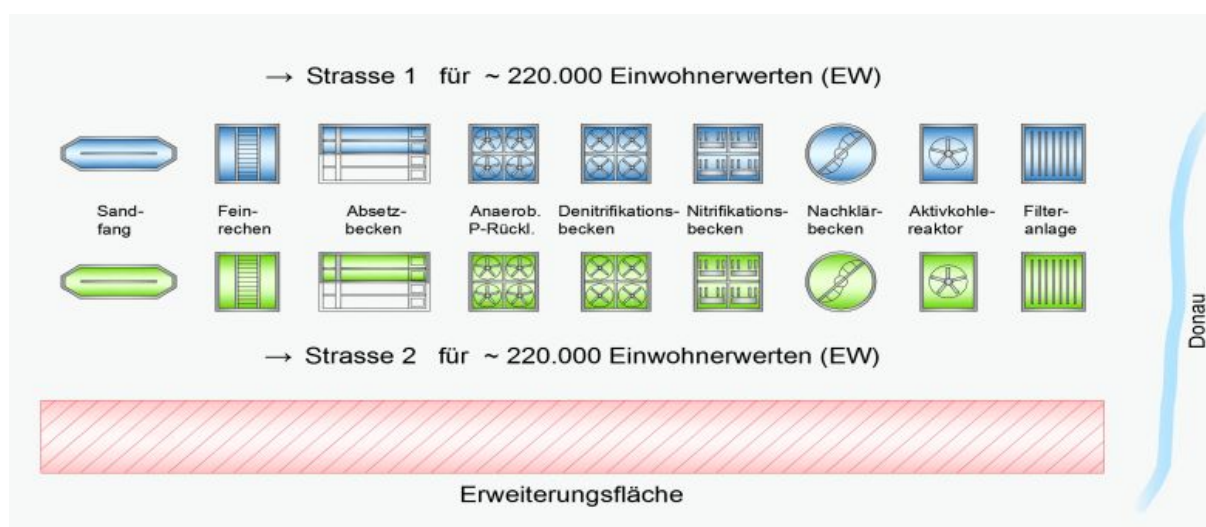


Bild 1: Schematischer Aufbau der Kläranlage Steinhäule, Hiller (2023)

2. VERFAHRENSSCHEMA DER ADSORPTIONSSTUFE UND FILTERANLAGE

In einer halbtechnischen Versuchsanlage im Klärwerk Steinhäule wurde untersucht, wie die Qualität des gereinigten Abwassers aus dem Klärwerk Steinhäule verbessert werden kann. Aus den Erfahrungen des Versuchsanlagenbetriebs konnten Bemessungsdaten generiert werden. Mit diesen Bemessungsdaten wurden die Adsorptionsstufe und Filteranlage im Großmaßstab erstellt (Bild 2).

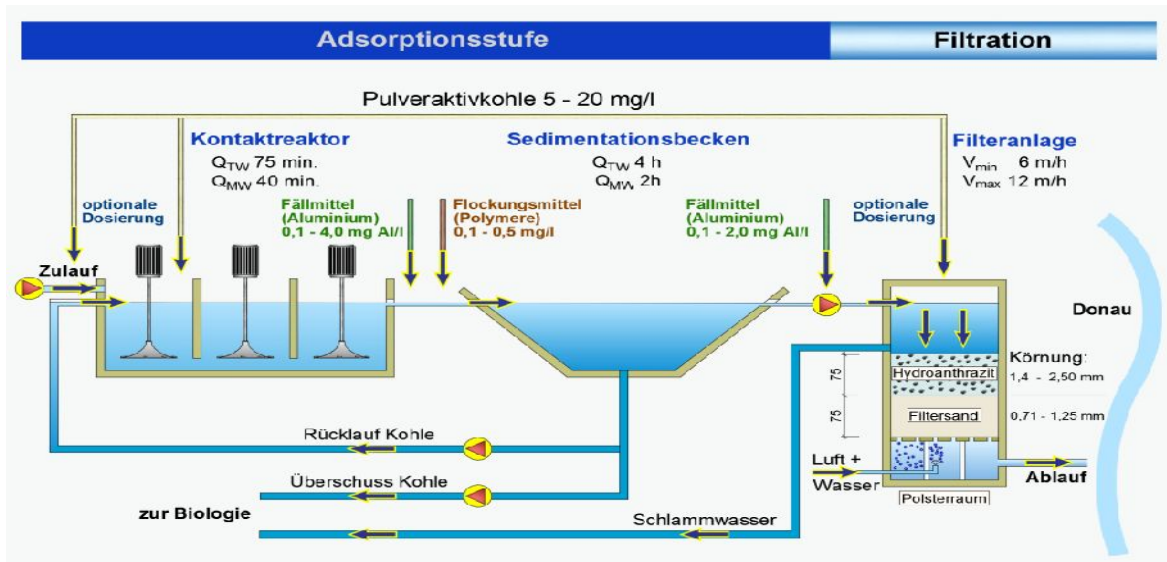


Bild 2: Verfahrensschema der Adsorptionsstufe und der Filteranlage, Metzger et al. (2009)

3. REALISIERUNG DER ADSORPTIONSSTUFE UND DER FILTERANLAGE IM KLÄRWERK STEINHÄULE

Die Adsorptionsstufe und die Filteranlage wurden nach den Bemessungswerten der Tabelle 1 ausgelegt:

Tabelle 1: Bemessungswassermengen, Hiller (2010), Hiller (2011)

Abwassermengen ohne Filterspülung	Q_{TW}	5.000 m ³ /h
	Q_{RW}	9.400 m ³ /h
Spülwassermengen Filtration	$Q_{spül TW}$	205 m ³ /h
	$Q_{spül RW}$	410 m ³ /h

Für den Betrieb der Adsorptionsstufe und der Filteranlage sind 3 Schneckenpumpwerke zur Abwasserförderung erforderlich (Tabelle 2).

Tabelle 2: Technische Daten der Schneckenpumpwerke, Hiller (2010), Hiller (2011)

		Adsorptionsstufe		Filteranlage
		Abwasser	Rücklaufkohle	
3 x Schnecken (1 Reserve)	D	2.300 mm	2.300 mm	2.600 mm
Fördermenge je Schnecke	Q_{max}	1.480 l/s	1.480 l/s	1.690 l/s
Förderhöhe	$H_{geo.}$	3,90 m	3,90 m	5,50 m
Schneckenflügel		Stahl St. 37	Hardox-Stahl	Hardox-Stahl
Schneckenstrog		Stahl St. 37	Schmelzbasalt	Schmelzbasalt

Das Bild 3 zeigt den Lageplan der Adsorptionsstufe und der Filteranlage. Die Adsorptionsstufe und Filteranlage ist zweistraßig ausgebaut. Der Fließweg des Abwassers führt über ein Schneckenpumpwerk in den Kontaktreaktor. Das Abwasser fließt vom Kontaktreaktor in die Sedimentationsbecken. Nach den Sedimentationsbecken wird das Abwasser über Schneckenpumpen der Filteranlage zugeführt. Über das Verteilgerinne der Filteranlage fließt das Abwasser in die Filterkammern. Nach der Abwasserreinigung durch den Sandfilter wird das gereinigte Abwasser über den Ablaufkanal in die Donau geleitet.

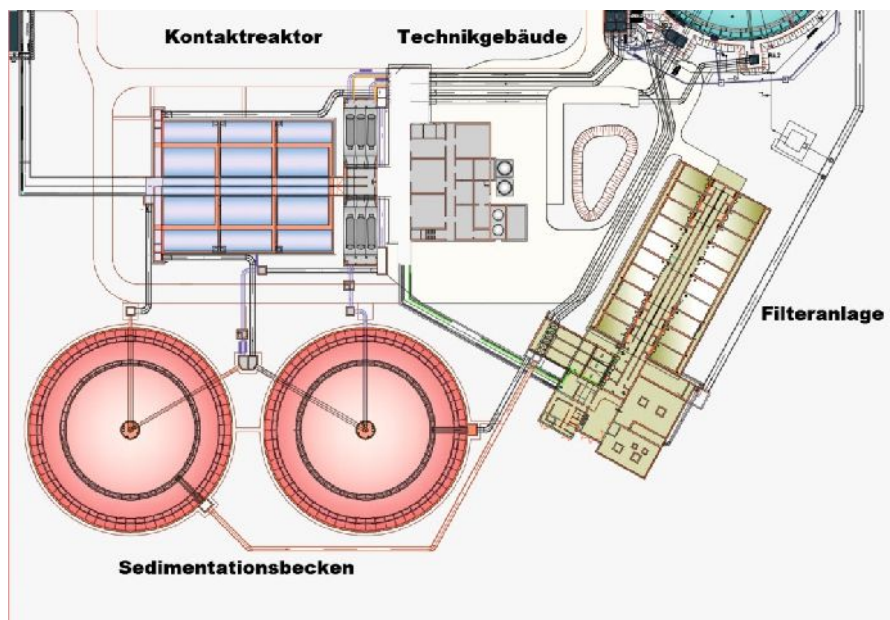


BILD 3: LAGEPLAN DER ADSORPTIONSSTUFE UND DER FILTERANLAGE, HILLER (2023)

3.1 Adsorptionsstufe

3.1.1 Kontaktreaktor

Die Entnahme der organischen Spurenstoffe erfolgt durch die Adsorption mit Pulveraktivkohle in einer der biologischen Stufe nachgeschalteten Adsorptionsstufe. Die Adsorptionsstufe besteht aus einem Kontaktreaktor (Bild 4) und zwei Sedimentationsbecken.

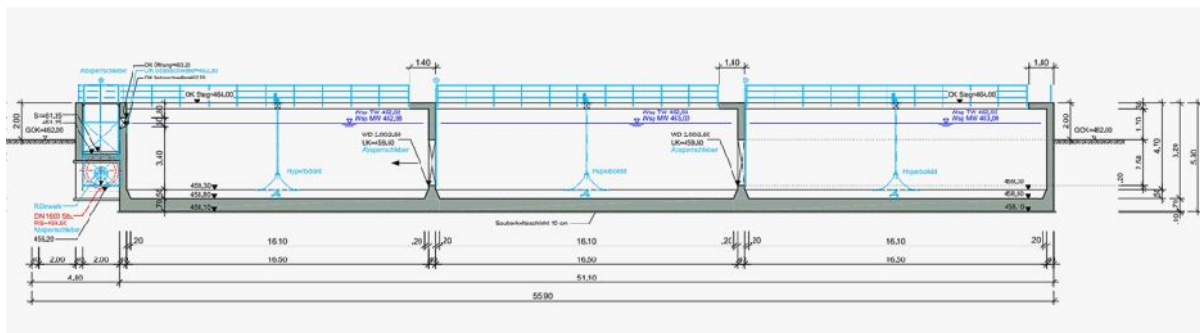


BILD 4: SCHNITT KONTAKTREAKTOR, Hiller (2010), Hiller (2011)

Die Bemessungsdaten des Kontaktreaktors sind in Tabelle 3 dargestellt:

Tabelle 3: Technische Daten Kontaktreaktor, Hiller (2010), Hiller (2011)

Volumen	6.540	m ³
Anzahl Kaskaden	6	Stück
Abmessungen der Kaskaden (l x b x h)	16,5 x 16,5 x 4	m
Volumen pro Kaskade	1.090	m ³
Kontaktzeit bei TW (ohne Rücklauf)	75	min.
Kontaktzeit bei MW (ohne Rücklauf)	40	min.

Zur Abtrennung der Aktivkohle vom Abwasser wird vor den Sedimentationsbecken Fällmittel (Natriumaluminat) zum Aufbau einer abtrennbaren Flocke zu dosiert. Um eine verbesserte Abtrennung der feinen Pulveraktivkohle zu erreichen, werden dem Aktivkohle-Schlamm-Gemisch nach der Fällmittelzugabe Polymere als Flockungshilfsmittel zu dosiert (Bild 2). Der im Sedimentationsbecken abgesetzte Aktivkohle-Schlamm wird zur Mehrfachbeladung als Rücklaufkohle wieder in die erste Kaskade des Kontaktreaktors zurückgeführt.

3.1.2 Sedimentationsbecken

Die Abtrennung der Aktivkohleflocken erfolgt in zwei runden Sedimentationsbecken, die in ihrer Funktion und Konstruktion grundsätzlich mit Nachklärbecken einer biologischen

Reinigungsstufe vergleichbar sind (Bild 5). Die hierfür vorgesehenen beiden Becken sind den beiden Straßen des Kontaktreaktors zugeordnet. Die Bemessung erfolgt über den hydraulischen Parameter der Oberflächenbeschickung, für den ein maximaler Wert von 2 m/h Berücksichtigung fand. Dieser resultiert aus den Ergebnissen der halbtechnischen Versuche. Zur Reduzierung der Wehrbelastung wurden pro Becken 2 Ablaufrinnen mit einem beidseitigen Überfall eingebaut (Tabelle 4). Zur Optimierung des Rücklaufkohletransportes vom Beckenrand zum Trichterbereich wurde die Beckensohle im Bereich des Stützenringes mit einem Sohl sprung ausgeführt.

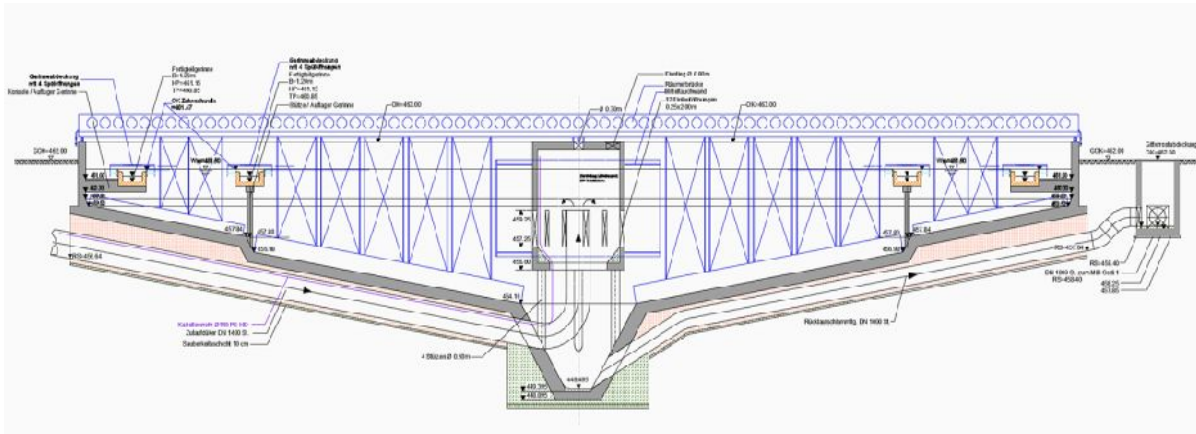


BILD 5: SCHNITT SEDIMENTATIONSBECKEN, Hiller (2010), Hiller (2011)

Tabelle 4: Technische Daten Sedimentationsbecken, Hiller (2010), Hiller (2011)

Durchmesser D = 60 m	Oberfläche $A_{o,ges} = 5.650 \text{ m}^2$
Oberflächenbeschickung	bei TW $q_{A,TW} = 0,92 \text{ m/h}$
	bei MW $q_{A,MW} = 1,74 \text{ m/h}$
Tiefe Trichter t = 7,34 m	Volumen ges. $V_{ges} = 22.940 \text{ m}^3$
Aufenthaltszeit	bei TW $A_{,TW} = 4,41 \text{ h}$
	bei MW $A_{,MW} = 2,34 \text{ h}$
Wehrbelastung	bei TW $q_{,TW} = 4,41 \text{ m}^3/\text{m} \times \text{h}$
	bei MW $q_{,MW} = 8,45 \text{ m}^3/\text{m} \times \text{h}$

Räumschildhöhe $h = 0,7 \text{ m}$

3.2 Filteranlage

Die Filteranlage besteht aus einem Maschinengebäude mit Schneckenpumpwerk und 20 Filterkammern, d.h. pro Filterstraße 10 Kammern (Tabelle 5). Jede Filterstraße wird über einen eigenen Verteilkanal beschickt, der als Umlaufgerinne konzipiert ist (Bild 6). Im Schneckenpumpwerk der Filteranlage kann eine Fällmittelzugabe erfolgen. Die Verteilung des

Wassers in die Filterkammern erfolgt über Rohrleitungen mit MID-Messgeräte. Das Abwasser fließt von der Sohle des Verteilkanals über die Rohrleitungen in die Mitte der Filterkammern und durchströmt einen Zweischichtfilter (oben Hydroanthrazit mit $h = 750 \text{ mm}$, unten Filtersand mit $h = 750 \text{ mm}$). Der Filter wird mit einem Überstau bzw. Vordruck von 2 m betrieben und mit Regelklappen konstant gehalten. Das Abwasser fließt durch Düsen (64 Stück/ m^2) in den Polsterraum und anschließend in den Spülwasserspeicher (970 m^3) und gelangt danach in die Ablaufleitung zur Donau.

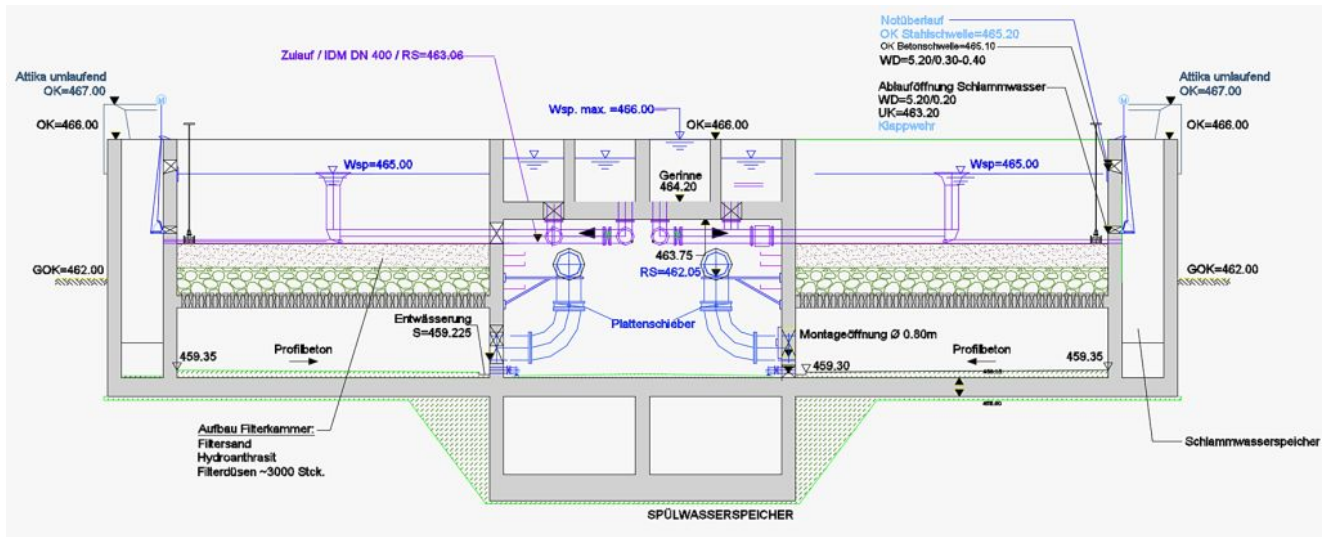


BILD 6: SCHNITT FILTERANLAGE, Hiller (2010), Hiller (2011)

Tabelle 5: Technische Daten Filteranlage, Hiller (2010), Hiller (2011)

Filtereinheiten	n / L / B	20 St. / 9,0 m / 5,2 m
Filterfläche je Einheit / gesamt	Af	46,8 m^2 / 936 m^2
Sandfiltration	v min	6 m/h
Sandfiltration	v max	12 m/h

4. BETRIEBSERGEBNISSE DER ADSORPTIONSSTUFE UND DER FILTERANLAGE

4.1 Betriebsoptimierungen

Während den ca. 9 Jahren Betrieb der Adsorptionsstufe und der Filteranlage wurden einzelne Prozesse optimiert. Die Hyperboloidrührwerke im Kontaktreaktor wurden so eingebaut, dass die Drehrichtung gegen die Strömungsrichtung des Abwassers verläuft. Dadurch konnte ein Abscheren der Welle verhindert werden.

Der Betrieb der Aktivkohledosierung mit dem Treibwasser (Ablaufwasser des Sandfilters) führte mit der Zeit durch die Einmischung der frischen Pulveraktivkohle mit einer Wasserstrahlpumpe zu einer Verschiebung des Kalk-Kohlesäuregleichgewichts und somit zu

einem Ausfällen von Kalk in der Dosierleitung. Die Folge war ein größerer hydraulischer Widerstand, sodass nach mehreren Betriebsmonaten die Wasserstrahlpumpe keinen ausreichenden Unterdruck zum Einsaugen der Pulveraktivkohle mehr erzeugte. Somit war eine Aktivkohledosierung nicht mehr möglich. Mit der Umstellung des Treibwassers von Ablaufwasser Sandfilter auf Ablaufwasser Nachklärbecken, das einen niedrigeren pH-Wert und eine höhere Pufferkapazität aufweist, konnte das Problem behoben werden. Eine pH-Werterhöhung durch die Pulveraktivkohledosierung stellte sich ein, jedoch kam es zu keiner Kalkausfällung in der Dosierleitung.

4.2 Messungen zur Spurenstoffentfernung

Im Bild 7 ist die Spurenstoffentfernung mit und ohne der 4. Reinigungsstufe im Klärwerk Steinhäule aufgeführt. Es wurde eine Pulveraktivkohledosierung von 10 mg/L eingesetzt.

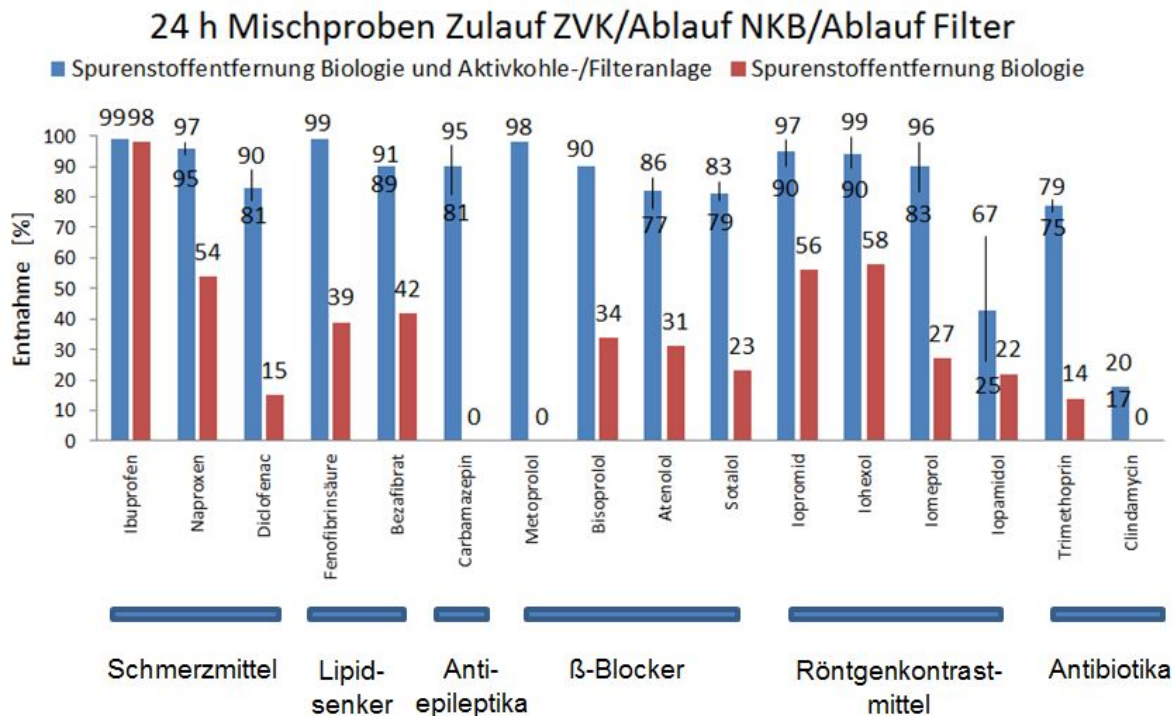


BILD 7: ENTNAHME VON SPURENSTOFFEN IN DER MECHANISCHEN, BIOLOGISCHEN UND CHEMISCHEN KLÄRANLAGE SOWIE IN DER MECHANISCHEN, BIOLOGISCHEN, CHEMISCHEN UND ADSORPTIVEN KLÄRANLAGE, HILLER (2023)

In der Tabelle 6 sind Entfernungen einzelner Spurenstoffe aufgelistet, die durch 24 Stunden Mischproben im Zulauf und Ablauf der Kläranlage Steinhäule ermittelt wurden. Mit einer Dosierung von 10 mg/L an Pulveraktivkohle kann die Entfernung von über 80 % der Spurenstoffe nach den Vorgaben der Schweiz und der neuen EU-Kommunalabwasserrichtlinie eingehalten werden.

Tabelle 6: Spurenstoffentfernung im Klärwerk Steinhäule und Vorgaben der Schweiz und der EU-Kommunalabwasserrichtlinie, Hiller (2023)

Spurenstoff	Reduktion	Vorgaben Schweiz	Vorgaben EU-Komm.
Metoprolol	96,7%	> 80 %	> 80 %
Carbamazepin	88,7%	> 80 %	> 80 %
Diclofenac	87,1%	> 80 %	> 80 %
Hydrochlorothiazid	94,3%	> 80 %	> 80 %
Benzotriazol	98,1%	> 80 %	> 80 %
4-Methylbenzotriazol, 5-Methylbenzotriazol	98,4%	> 80 %	> 80 %

5. ONLINEMESSUNG UND AUTOMATISIERUNG DER ADSORPTIONSSTUFE UND DER FILTERANLAGE

Die gesamte Abwasserreinigung und Klärschlammverwertung wird beim Zweckverband „Klärwerk Steinhäule“ durch eine moderne Mess- und Regelungstechnik, sowie durch das Prozessleitsystem T 3000 von der Fa. Siemens überwacht.

Mit dem Prozessleitsystem werden auch die Daten von der Adsorptionsstufe und der Filteranlage erfasst, ausgewertet und die Klärwerksprozesse automatisiert. Die Automatisierung gewährleistet eine ganzjährig gesicherte, wirtschaftliche und umweltfreundliche Abwasserreinigung.

Die Überwachung der Adsorptionsstufe und der Filteranlage erfolgt mit Online-Messgeräten. Vor und nach dem Kontaktreaktor wird der pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, SAK, DOC, TN_b, und PO₄-P gemessen. Die Messung des TS-Gehaltes erfolgt im Kontaktreaktor. Im Sedimentationsbecken werden der Schlamm Spiegel und die Trübung, in der Filteranlage werden die Trübung sowie die zufließende Wassermenge für jede Filterkammer gemessen. Bisher wurde die Pulveraktivkohle in Abhängigkeit der Abwassermenge dosiert. Zukünftig erfolgt die Pulveraktivkohldosierung über den SAK-Wert, der im Zu- und Ablauf des Kontaktreaktors gemessen wird. Eine 40 % SAK-Wert Reduktion zwischen Zulauf und Ablauf des Kontaktreaktors soll einer 80 % Spurenstoffelimination entsprechen. Die Fällmitteldosierung und die Flockungshilfsmitteldosierung im Ablauf des Kontaktreaktors werden in Abhängigkeit der Abwassermenge dosiert. Die Absetzfähigkeit des Kohle- und Schlammgemisches wird mit dem Schlammvolumenmessgerät im Zulauf des Sedimentationsbeckens gemessen. Mit einer Trübungssonde im Ablauf des

Sedimentationsbeckens wird der Erfolg der Absetzung der Pulveraktivkohle überwacht. Gegebenenfalls kann die Fällmittel- oder Flockunghilfsmitteldosierung angepasst werden.

6. THERMISCHE VERWERTUNG DER PULVERAKTIVKOHLE

Die thermische Verwertung des Klärschlammes sowie des Aktivkohleschlammes in der Klärschlamm-Monoverbrennung ergänzt die Reinigungsleistung der Adsorptionsstufe und der Filteranlage.

Die Schadstoffe im Klärschlamm und in der Aktivkohle werden thermisch zerstört. Die Spurenstoffkonzentration in der Asche liegt unter der Nachweisgrenze.

Die Aktivkohle hat einen höheren Heizwert als der Klärschlamm. Die Stromerzeugung wird durch die energetische Verwertung der Aktivkohle erhöht.

Der Fällmitteleinsatz in der Adsorptionsstufe und in der Filteranlage bindet die Aktivkohle zu Flocken und überführt die Orthophosphate in die ungelöste Phase. Die beladene Pulveraktivkohle wird mit dem Schlammwasser der Filterrückspülung und dem Überschusskohleabzug aus der Adsorptionsstufe der Biologie zugeführt. Die beladene Pulveraktivkohle wird mit dem Überschussschlamm aus der Biologie abgezogen und der Schlammentwässerung und –verbrennung zugeführt. Mit dem Betrieb der Adsorptionsstufe und der Filteranlage können bis zu 99 % des im Abwasser enthaltenen Phosphors in der Asche gebunden und mit ca. 20 % P₂O₅ als Düngemittel landwirtschaftlich verwertet werden. Die Ascheinhaltsstoffe entsprechen den Vorgaben der Düngemittelverordnung.

7. KOSTEN

Die Adsorptionsstufe und Filteranlage wurde von 2011 bis 2023 gebaut. Dabei wurden rund 54 Mio. Euro investiert. 5 Mio. Euro EFRE-Zuschuss wurde von der Europäischen Union und 3,3 Mio. Euro FrWw-Zuschuss vom Land Baden-Württemberg erhalten. Rund 12 Mio. Euro wurde beim Neubau der Adsorptionsstufe und Filteranlage mit der Abwasserabgabeverrechnung und durch weitere Drittmittel erhalten.

Danksagung

Der Autor dankt dem Bundesministerium für Bildung und Forschung für die Förderung des Verbundprojektes „Entwicklung einer adsorptiven Stufe zur Elimination organischer Spurenstoffe auf kommunalen Kläranlagen“ und dem Umweltministerium Baden-Württemberg für die Förderung des Projektes „Bau einer Aktivkohleadsorptionsanlage zur Entnahme organischer Spurenschadstoffe auf dem Klärwerk Steinhäule in Ulm/Neu-Ulm“ mit

Zuwendungen aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) und nach den Förderrichtlinien Wasserwirtschaft 2009.



LITERATUR

Hiller C. (2023), Daten und Informationen vom Zweckverband Klärwerk Steinhäule

Metzger, S., Rößler, A., Kapp, H., Hiller, G., Süßmuth, W., Maurer, M. (2009): Spurenstoffentnahme in kommunalen Kläranlagen durch Adsorption, KA Abwasser Abfall, Heft Nr. 6/09 (2009)

Hiller G. (2010), Ausbau des Klärwerkes Steinhäule, Neu-Ulm mit einer Adsorptionsstufe, Mannheim, Vortrag beim Symposium Aktivkohle am 23. Juni 2010

Hiller G. (2011), Einsatz von Pulveraktivkohle auf der Kläranlage Steinhäule, Aachen, Vortrag bei der 44. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft „Zukunftsfähige Wasserwirtschaft – kosteneffizient und energiebewusst“ am 24.03.2011 in Aachen

ISBN 978-3-942768-33-7