



# **ABWASSER** Kolloquium

**10.10.2019**

Abwasserkolloquium 2019

## **ANSPRÜCHE AN DIE SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFT - KERNAUFGABEN VERSUS WEITERGEHENDE ANFORDERUNGEN**



FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSINSTITUT FÜR  
INDUSTRIE- UND SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFT SOWIE  
ABFALLWIRTSCHAFT E.V. (FEI)

**Abwasserkolloquium 2019**

**10.10.2019**

**ANSPRÜCHE AN DIE  
SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFT –  
KERNAUFGABEN VERSUS  
WEITERGEHENDE ANFORDERUNGEN**

Wissenschaftliche Leitung:

Dr.-Ing. Harald Schönberger

Dipl.-Ing. Carsten Meyer

Dipl.-Ing. Manuel Krauß

## **IMPRESSUM**

### **Bibliographische Information der Deutschen Bibliothek**

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet die Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar

Abwasserkolloquium 2019 am 10.10.2019

### **Ansprüche an die Siedlungswasserwirtschaft – Kernaufgaben versus weitergehende Anforderungen**

[www.abwasser.fei-ev.de](http://www.abwasser.fei-ev.de)

### **Veranstalter:**

Forschungs- und Entwicklungsinstitut für Industrie- und Siedlungswasserwirtschaft sowie Abfallwirtschaft e.V. (FEI) in Zusammenarbeit mit dem Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft der Universität Stuttgart (ISWA)  
[www.fei-ev.de](http://www.fei-ev.de)

### **Verlag:**

Vulkan-Verlag GmbH, Essen, 2019  
(Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, Band 245)

### **Wissenschaftliche Leitung:**

Dr.-Ing. Harald Schönberger  
Dipl.-Ing. Carsten Meyer  
Dipl.-Ing. Manuel Krauß



**ISBN 978-3-8356-7435-6**

### **Layout:**

Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft  
der Universität Stuttgart ISWA  
Bandtäle 2, 70569 Stuttgart

### **Druck:**

e.kurz + co. druck und medientechnik gmbh  
Kernerstr. 5, 70182 Stuttgart

©2019 Alle Rechte vorbehalten

Printed in Germany

## **Inhaltsverzeichnis**

	<b>Seite</b>
<b>Sicht des Landes</b> J. Eberlein	<b>7</b>
<b>Herausforderungen an die Elimination von Kohlenstoff- und Nährstoffverbindungen in Siedlungsabwässern</b> P. Baumann	<b>19</b>
<b>Weitergehende Anforderungen an die Abwasserreinigung – Nährstoffrückgewinnung, Mikroschadstoffe, Mikroplastik, Hygiene und Antibiotikaresistenzen</b> N. Kreuzinger	<b>29</b>
<b>Betriebserfahrungen mit einer weitergehenden Abwasser- reinigungsstufe zur Spurenstoffentfernung</b> G. Anders	<b>51</b>
<b>Betriebserfahrungen mit einer UV-Abwasserdesinfektion zur Minimierung der hygienischen Gewässerbelastung</b> B. Böhm	<b>63</b>
<b>Aktuelle Zustandsbewertung der Fließgewässer und daraus resultierende Konsequenzen für die Siedlungswasserwirtschaft</b> R. Marthaler	<b>77</b>
<b>Optimierung von Regenbecken vor dem Hintergrund des neuen DWA-Arbeitsblattes A 102</b> U. Dittmer	<b>85</b>
<b>Kostenoptimierung der ganzheitlichen Planung und des Betriebs von Kläranlagen</b> K. Alt, I. Barnscheidt	<b>101</b>
<b>Reinigungsleistungs- und energieoptimierter Betrieb von Kläranlagen</b> A. Reichert, J. Vossler	<b>123</b>
<b>Anhang</b> Schriftenreihe „Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft“	<b>137</b>



# Sicht des Landes

Joachim Eberlein

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg

## Kurzfassung

Die Abwasserbeseitigung hat in Baden-Württemberg einen hohen Stand erreicht. Sie umfasst eine Fülle von Kernaufgaben zur Erfüllung der gesetzlichen Anforderungen im Bereich Gewässerreinigung nach dem Stand der Technik bzw. den allgemein anerkannten Regeln der Technik. Zu den Kernaufgaben gehören auch weitergehende immissionsbezogene Anforderungen zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) auf Ebene der Wasserkörper und im Einzelfall aufgrund der örtlichen Verhältnisse, die Instandhaltung, Wartung und Modernisierung der Anlagen einschließlich zeitgemäßer Mess-, Steuer- und Regeltechnik sowie ein energieeffizienter Betrieb und die Nutzung von Energiepotentialen. Eine gesetzliche Kernaufgabe der Zukunft ist auch die Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm oder Klärschlammmasche, die bereits heute Planungen und Maßnahmen zur Etablierung einer Infrastruktur erfordert. Im Rahmen der Spurenstoffstrategie treibt das Land darüber hinaus aus Vorsorgegründen den Ausbau der Spurenstoffelimination auf Kläranlagen voran. Weitere Herausforderungen können sich in den Bereichen Mikroplastik und Antibiotikaresistenzen ergeben. Darüber stellt sich auch die Abwasserbeseitigung den Zukunftsaufgaben des Klimaschutzes und Klimawandels, insbesondere mit Blick auf weitere Verbesserungen im Bereich Energie und eine klimaangepasste Stadtentwässerung.

## 1 Stand der Abwasserbeseitigung in Baden-Württemberg

Von den ca. 78.700 km öffentlicher Kanäle (Statistisches Landesamt, Stand 31.12.2016) entwässern ca. zwei Drittel im Mischsystem und ein Drittel im Trennsystem. Der Anteil des Trennsystems wird sich zukünftig erhöhen, da bei neuen Baugebieten verstärkt modifizierte Systeme bzw. Trennsysteme zum Einsatz kommen. Aufgrund der Eigenkontrollverordnung des Landes Baden-Württemberg sind

die Kommunen verpflichtet, die öffentliche Kanalisation in gewissen Zeitabständen zu überprüfen. Die Überprüfungen tragen auch im Interesse der Betreiber dazu bei, Fremdwasserquellen zu identifizieren. Die Überprüfung der Kanäle und die Sanierung undichter Kanäle gehören zu den grundlegenden Kernaufgaben der Abwasserbeseitigung.

Derzeit gibt es im Land ca. 7.000 Regenüberlaufbecken (RÜB) mit etwa 3,6 Mio. m<sup>3</sup> RÜB-Volumen und ca. 3.700 Regenüberläufe (RÜ) im Mischsystem. Der Ausbaugrad liegt bei 96 %. Dazu kommen im Trennsystem ca. 700 Regenklärbecken, größtenteils kommunale Becken bzw. private Becken (z. B. bei Betrieben), sowie „Straßenbecken“. Zu erwähnen sind ergänzend bspw. Retentionsbodenfilter oder Regenrückhalteanlagen.

Der Anschlussgrad an eine zentrale Abwasserreinigungsanlage liegt inzwischen bei über 99%. Unter Berücksichtigung der Siedlungsstruktur, der topographischen Verhältnisse und der bautechnischen Möglichkeiten wird weiterhin im Einzelfall geprüft, ob ein Anschluss an eine zentrale kommunale Kläranlage zweckmäßig ist.

Aktuell sind 905 kommunale Kläranlagen in Betrieb [1]. Generell sinkt die Zahl kommunaler Kläranlagen aufgrund von Strukturverbesserungsmaßnahmen. Ziel ist es, auch weiterhin den Zusammenschluss in größere, leistungsfähigere Behandlungseinheiten zu prüfen und zu verfolgen.

Die EU-Kommunalabwasserrichtlinie sieht alle zwei Jahre eine Information der Öffentlichkeit über den Stand der Abwasserbehandlung vor. Das Umweltministerium Baden-Württemberg hat dazu den Lagebericht Kommunales Abwasser erstellt, der voraussichtlich im 4. Quartal 2019 veröffentlicht werden wird.

## **2 Weitergehende Anforderungen, Wasserrahmenrichtlinie, Phosphorelimination**

Neben den emissionsbezogenen Anforderungen in Umsetzung der Abwasserverordnung des Bundes sind u. a. mit der WRRL die immissionsbezogenen Anforderungen stärker in den Vordergrund getreten. Weitergehende Anforderungen ergeben sich aus den Bewirtschaftungszielen nach Kapitel 2, Abschnitt 2 und 4 des Wasserhaushaltsgesetzes des Bundes (WHG), für Oberflächengewässer nach § 27 WHG, auf der Ebene der Wasserkörper. Außerdem können im Einzelfall weitergehende Anforderungen im Hinblick auf die Nutzungserfordernisse und



besondere Schutzbedürftigkeit eines Gewässers auf Grundlage von § 57 Abs.1 Nr. 2 WHG erforderlich sein [2]. In beiden Fällen handelt es sich um Kernaufgaben der Abwasserbeseitigung. Im Folgenden werden die Anforderungen zur Umsetzung der WRRL an Kläranlagen betrachtet.

Bereits im ersten Bewirtschaftungszyklus (2010-2015) wurden für das Neckareinzugsgebiet Maßnahmen zur Phosphorelimination an kommunalen Kläranlagen festgelegt, die über die Anforderungen der Abwasserverordnung hinausgehen und auch mittelgroße Kläranlagen über 5.000 Einwohnerwerten (EW) betreffen. Diese Maßnahmen haben zu einer Reduktion der kläranlagenbedingten Phosphorfrachten im Neckar von ca. 650 Tonnen pro Jahr im Jahr 2010 auf ca. 400 Tonnen pro Jahr im Jahr 2015 geführt. Im Rahmen der Maßnahmenplanung für den zweiten Bewirtschaftungszyklus 2016-2021 wurden in einer ersten Stufe im Handlungskonzept „Abwasser“ diese Maßnahmen des Neckareinzugsgebiets auf alle belasteten Wasserkörper in Baden-Württemberg erweitert. Die Maßnahmen des Handlungskonzeptes Abwasser Stufe 1 sind im Maßnahmenprogramm enthalten und zum größten Teil umgesetzt.

Die Maßnahmen des Handlungskonzeptes Abwasser Stufe 1 reichen in vielen Wasserkörpern nicht aus, um den guten ökologischen Zustand im Wasserkörper zu erreichen. Im Rahmen des jetzt gestarteten Handlungskonzepts Abwasser Stufe 2 sind in besonders belasteten Wasserkörpern deshalb folgende Anforderungen am Ablauf der Kläranlagen im Jahresmittel einzuhalten:

Kläranlagen		Einzuhaltende Ablaufkonzentration für $P_{ges}$ und $o\text{-PO}_4\text{-P}$ -Konzentrationen in mg/l		
GK	Einwohnerwerte (EW)	Variante $P_{ges}$ (Filtervariante)	Variante $o\text{-PO}_4\text{-P}$ (Fällungsvariante)*	
		$P_{ges}$	$P_{ges}$	$o\text{-PO}_4\text{-P}$
1	< 1000	-	-	-
2	$\geq 1000 - \leq 5.000$	0,5	0,5	-
3	$> 5.000 - \leq 10.000$	0,2	0,3	0,16
4	$> 10.000 - \leq 100.000$	0,2	0,3	0,16
5	$> 100.000$	0,2	0,3	0,16

\* Die Variante  $o\text{-PO}_4\text{-P}$  (Fällungsvariante) kann als Option gewählt werden für den Fall, dass die Kläranlage eine sehr gut funktionierende Fällung und Feststoffabtrennung aufweist.

Bei der Fällungsvariante ist ab GK 3 sowohl der  $o\text{-PO}_4\text{-P}$ -Wert als auch der  $P_{ges}$ -Wert einzuhalten. Vor Ausbau oder Optimierung von Kläranlagen, insbesondere bei Kläranlagen der Größenklassen 2 und 3, ist zu prüfen, ob die Kläranlage langfristig (12 – 15 Jahre) in Betrieb bleibt.

Die Filtervariante kommt v. a. dann in Betracht, wenn nach den Kriterien des Arbeitspapiers zur Spurenstoffelimination vom November 2018 [3] eine Stufe zur SPS-Elimination angestrebt wird. Die Fällungsvariante soll den zeitnahen und breiten Einstieg in die Maßnahmenumsetzung ermöglichen: Es handelt sich um „No-Regret-Maßnahmen“, die - soweit aufgrund des aktuellen Monitorings und der Festlegungen im Maßnahmenprogramm 2021 erforderlich – ggf. durch einen Filter erweitert werden können.

Die Kläranlagenmaßnahmen werden in den Bewirtschaftungsplan Aktualisierung 2021 aufgenommen. Für die Vorhaben wird der Fördersatz analog der Förderrichtlinie Wasserwirtschaft 2015, Ziffer 11.1.1 [4] um einen Bonus in Höhe von 20 % erhöht. Er beträgt maximal 80 %, mindestens 20 %. Bei der Filtervariante ist der Bonus an den Bau einer Spurenstoffelimination geknüpft.

Als Hilfestellung bei der Umsetzung von Maßnahmen zur Phosphorelimination hat der DWA Landesverband Baden-Württemberg 2019 einen Praxisleitfaden für den Betrieb von Kläranlagen herausgegeben [5]. Der Leitfaden wurde von dem DWA Landesverband Baden-Württemberg an alle Wasserbehörden verteilt.

### **3 Betrieb von Regenüberlaufbecken (RÜB)**

Gerade wegen der hohen Reinigungsleistung der Kläranlagen rückt das Gesamtsystem Kläranlage, Regenwasserbehandlung und Gewässer stärker in den Fokus. Es gehört zu den Kernaufgaben, die Anlagen optimal zu betreiben und das vorhandene Potential aller Abwasseranlagen optimal auszuschöpfen. Auch gilt es Erkenntnisse über den Betrieb der Regenbecken und das dazugehörige Gesamtsystem zu erhalten. Vielfach ist jedoch nicht bekannt, wann und wie oft die einzelnen Regenbecken entlasten.

Gemeinsam mit dem DWA Landesverband Baden-Württemberg wurde 2015 das Gemeinschaftsprojekt "Optimierung des Betriebs von Regenüberlaufbecken (RÜB-BW)" ins Leben gerufen, welches sich vorrangig mit der Thematik des ordnungsgemäßen Betriebs und der Messungen an Regenwasserbehandlungsanlagen beschäftigt. Neben der vergleichenden Beurteilung der Anlagen können die Messergebnisse beispielsweise genutzt werden, um Optimierungsmaßnahmen für den Betrieb und die Wartung zu konzipieren sowie Reserven oder Defizite im Netz oder bei Einzelbecken zu erkennen. Ferner können sie Grundlage sein für die Optimierung des Gesamtnetzes bzw. von Teilnetzen, auch im Hinblick auf den Zustand des Gewässers, in das eingeleitet wird.

Darüber hinaus kann bei den Betreibern ein Bewusstsein für eine ganzheitliche Netzbetrachtung und Verständnis für die Vorgänge im Netz und Einzugsgebiet durch die Visualisierung des Betriebsverhaltens der Becken anhand von Messdaten geschaffen werden.

Durch die Ausstattung der Becken mit moderner Mess-, Regelungs- und Fernwirktechnik und deren Betrieb können die Becken auch zeitsparender und kostengünstiger betrieben werden. Damit wird auch zur Werterhaltung des mit hohen Investitionskosten errichteten Beckenvolumens beigetragen.

Folgende Vorgaben wurden festgelegt:

- Bis Ende 2020 sollen alle ausstehenden Konzeptionen für die Nachrüstung in Betrieb befindlicher Regenüberlaufbecken mit Messeinrichtungen zur Erfassung des Überlauf- und Einstauverhaltens abgeschlossen werden. Die Konzeptionen sollen auch die Prüfung der Funktion vorhandener Messeinrichtungen berücksichtigen. Beim Neubau von Regenbecken sind Messeinrichtungen ein Teil der Anlage.
- bis zum 31. Dezember 2024 sollen alle Regenüberlaufbecken stufenweise mit Messeinrichtungen nachgerüstet werden. In begründeten Einzelfällen können Ausnahmen von der Pflicht der Nachrüstung von Messeinrichtungen in Betracht kommen, soweit dies in der Konzeption festgelegt ist.
- Sofern aufgrund anderer Anforderungen, z. B. aufgrund des hohen Beitrags der Mischwasserbehandlung (Eintragspfad urbane Flächen) bei der Maßnahmenplanung zur Umsetzung der WRRL, ein früherer Termin für die Umsetzung festgelegt wurde, ist dieser einzuhalten.

Die Betreiber können für die Nachrüstung bzw. die Sanierung der Messeinrichtungen einen Zuschuss nach der Förderrichtlinie Wasserwirtschaft 2015 [4] bei Vorliegen der Fördervoraussetzungen erhalten.

Ebenfalls kann die Nachrüstung von RÜB mit Messeinrichtungen mit der Abwasserabgabe verrechnet werden. Inzwischen sind ca. 56% der RÜB im Land mit einer Messeinrichtung ausgerüstet.

## **4 Energieeffizienz**

Gemäß Abwasserverordnung § 3 Abs. 2a sollen Abwasseranlagen so errichtet und betrieben werden, dass eine energieeffiziente Betriebsweise ermöglicht wird. Die entstehenden Energiepotentiale sind soweit technisch möglich und wirtschaftlich vertretbar, zu nutzen.

Die Verbesserung Energieeffizienz der Abwasseranlagen gehört somit zu den Kernaufgaben – allerdings ohne Beeinträchtigung der Reinigungsleistung. Im Mittelpunkt des Bereichs Energieeinsparung steht die Biologie, die den größten Strombedarf auf der Kläranlage hat. Auch Faultürme zu isolieren und Aggregate zu erneuern, können zu einer beachtlichen Energieeinsparung führen. Zur Unterstützung für kommunale Entscheidungsträger, Kläranlagenbetreiber, Behörden und Planer

wurde vom Umweltministerium Baden-Württemberg der „Leitfaden Energieeffizienz auf Kläranlagen“ herausgegeben [6]. Gutachten zur Verbesserung der Energieeffizienz einschließlich der Wärmerückgewinnung werden im Rahmen der Förderrichtlinie Wasserwirtschaft [4] weiterhin mit 50% gefördert. Im Rahmen des Leistungsvergleichs werden jährlich der Gesamtstromverbrauch der Kläranlage sowie bei Kläranlagen mit Faulung die Jahressumme des Faulgasanfalls, optional weitere Daten gemäß DWA-A 216 erhoben. Weitergehende Maßnahmen bis hin zur Energieneutralität von Kläranlagen sind wichtige Zukunftsaufgaben.

## **5 Klärschlamm, Phosphorrückgewinnung**

Die Pflicht zur Rückgewinnung von Phosphor nach der Klärschlammverordnung greift ab 2029 bzw. 2032 in allen Fällen, in denen der Klärschlamm einen Phosphorgehalt von 20 Gramm oder mehr je Kilogramm Trockenmasse aufweist und trifft grundsätzlich alle Betreiber von Abwasserbehandlungsanlagen unabhängig von der jeweiligen genehmigten Ausbaugröße.

Betreibern von kleinen und mittleren Abwasserbehandlungsanlagen (10.000 – 50.000 EW und kleiner) eröffnet die Verordnung jedoch die Möglichkeit, die anfallenden Klärschlämme nach Zustimmung der zuständigen Behörde ohne vorherige Phosphorrückgewinnung einer anderweitigen Verwertung im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWG) zuzuführen. Anlagen dieser Ausbaugröße ist es zudem freigestellt, eine bodenbezogene Verwertung ihrer Klärschlämme vorzunehmen. Dieser Verwertungsweg ist allerdings in Baden-Württemberg auch weiterhin keine Option.

Infolge der in der Klärschlammverordnung enthaltenen verpflichtenden Regelungen zur Phosphorrückgewinnung und zum Ausstieg aus der bodenbezogenen Verwertung sowie aufgrund sinkender Akzeptanz für Klärschlamm in der Landwirtschaft und Verschärfungen des Düngerechts ist es zu einem Anstieg der Verbrennungsquote in anderen Bundesländern gekommen. Auch die Klärschlammentsorgung in Baden-Württemberg gerät zunehmend unter Druck. Denn die in Baden-Württemberg zu einem Anteil von 97% (Stand 2017) thermisch verwerteten Klärschlämme werden zu 38% außerhalb von Baden-Württemberg verbrannt.

Um im Land eine mittel- und langfristige Entsorgungssicherheit für Klärschlamm zu schaffen bzw. wiederherzustellen, wird beim DWA-Landesverband Baden-

Württemberg eine Plattform „Klärschlammensorgung und P-Recycling“ zum strukturierten, zentral vernetzten Informations-, Wissens- und Erfahrungsaustausch in Baden-Württemberg aufgebaut. Eine zentrale Aufgabe der Plattform ist die gemeinsame Entwicklung dauerhaft tragfähiger Lösungen und zukunftsfähiger Strategien zur Sicherstellung der thermischen Klärschlammensorgung und Phosphor-Rückgewinnung im Land sein. Zudem soll mit Hilfe dieser Plattform die Phosphor-Rückgewinnungsstrategie Baden-Württemberg fortgeschrieben werden.

## **6 Spurenstoffkonzept Baden-Württemberg**

Eine wesentliche aktuelle Herausforderung sind die „Spurenstoffe“, die schon in extrem niedrigen Konzentrationen nachteilige ökotoxikologische Wirkungen haben können und aus Vorsorgegründen nicht in unsere Gewässer gelangen sollten. Vor diesem Hintergrund basiert das Spurenstoffkonzept Baden-Württembergs auf zwei Säulen:

- Spurenstoffe an deren Quelle vom Abwasser fernhalten
- Die Spurenstoffentfernung auf kommunalen Kläranlagen voranbringen.

Das Land Baden-Württemberg treibt aus Vorsorgegründen bereits seit mehreren Jahren den Bau von Anlagen zur Spurenstoffelimination auf kommunalen Kläranlagen voran und ist nicht zuletzt wegen der großen Engagements der Betreiber Vorreiter im Bund. Inzwischen sind 15 Anlagen in Betrieb und 17 weitere in Bau oder Planung (Stand: August 2019). Anlagen zur Spurenstoffelimination können bei kommunalen Kläranlagen mit dem Bonus von 20%, bei einem maßgeblichen Wasser- und Abwasserentgelt von mehr als 5,90 €/m<sup>3</sup> bis maximal 80% gefördert werden [4].

Das Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg (KomS BW) berät und unterstützt die Akteure bei der Einführung dieser neuen Technologie und unterstützt den weiteren Ausbau. Aufgabe des KomS BW ist es auch, die Ergebnisse von Untersuchungen und die Erfahrungen der Betreiber zusammen zu führen und auszuwerten, insbesondere hinsichtlich der Eliminationsleistung und der Kosten sowie Grundlagen zu erarbeiten, wie z. B. Anforderungen an die Reinigungsleistung.

In Zusammenarbeit mit dem KomS BW und in Abstimmung mit den Regierungspräsidien hat das Umweltministerium Baden-Württemberg im Jahr 2018 ein

Arbeitspapier erstellt, anhand dessen die Wasserbehörden im Land Zielvorstellungen entwickeln, für welche Kläranlagen eine Spurenstoffelimination anzustreben ist (3). Das Arbeitspapier konkretisiert die fachlichen Kriterien für den weiteren Ausbau von kommunalen Kläranlagen in Baden-Württemberg mit einer Spurenstoffelimination, definiert die Anforderungen an die Eliminationsleistung solcher Anlagen und gibt Hinweise zur rechtlichen Umsetzung. Die Zielvorstellungen für den Ausbau mit einer Anlage zur Spurenstoffelimination sind abzugleichen mit weiteren konzeptionellen Überlegungen und Entscheidungen v.a. hinsichtlich: Struktur (v. a. bei kleineren Anlagen), weitergehenden Anforderungen an die Phosphorelimination sonstigen immissionsbezogenen Anforderungen: z. B. Saprobie, Ammonium.

## **7 Mikroplastik**

Die Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW) beauftragte 2014 die Universität Bayreuth mit orientierenden Untersuchungen an 23 Messstellen an Oberflächengewässern im Bodensee, Rhein, Neckar und ausgewählten Nebenflüssen sowie in der Donau. Im gleichen Zeitraum wurde die Universität Bayreuth auch von den Ländern Bayern, Nordrhein-Westfalen, Hessen und Rheinland-Pfalz mit der Untersuchung von Mikroplastik in Oberflächengewässern beauftragt. Die parallele Untersuchung der fünf Länder hat den großen Vorteil, dass die Ergebnisse mit der gleichen Methode der Probenahme und Analytik erzielt wurden und somit untereinander vergleichbar sind.

Mit dem im Frühjahr 2018 veröffentlichten Abschlussbericht (7) liegt nun einer der größten vergleichbaren Datensätze zu Mikroplastik in Fließgewässern vor. Länderübergreifend wurde festgestellt, dass Mikroplastik an allen untersuchten Messstellen gefunden wurde, allerdings überwiegend Fragmente, in geringem Umfang bzw. an einzelnen Messstellen Mikrobeads (Kosmetik) und Fasern. Im Rheineinzugsgebiet wurden zwischen 2,9 und 214 Partikel pro m<sup>3</sup> gefunden. Dies entspricht den Werten von Untersuchungen in anderen Ländern mit vergleichbaren zivilisatorischen Strukturen. Reifenabrieb wurde nicht untersucht, da zum Zeitpunkt der Projektplanung die zur Verfügung stehenden Analyseverfahren nicht geeignet waren, gleichzeitig Reifenabrieb zu identifizieren und eine genaue Charakterisierung anderer Kunststoffpartikel zu ermöglichen.

Mikroplastik wird in Kläranlagen zu einem größten Teil zurückgehalten. Eine nachgeschaltete Filtration im Zusammenhang mit weitergehender Phosphorelimination und/oder Spurenstoffelimination trägt zu einer weiteren Reduktion bei. Wichtig ist in diesem Zusammenhang, den damit belasteten Klärschlamm weiterhin nicht bodenbezogen zu verwerten, sondern die zurück gehaltenen Partikel mit dem Klärschlamm zu verbrennen. Insgesamt sind jedoch noch viele Fragen offen. Auf Bundesebene hat das BMBF im Oktober 2017 den Forschungsschwerpunkt „Plastik in der Umwelt“ gestartet, unter dem in 18 Verbundprojekten den offenen Fragen wissenschaftlich nachgegangen wird. Auch sind die analytischen Verfahren noch sehr zeit- und kostenaufwändig und müssen weiterentwickelt werden.

Insgesamt liegen derzeit zum Eintrag von Mikroplastik mit dem gereinigten Abwasser in die Gewässer und zu Reduzierungsmaßnahmen noch zu wenig Erkenntnisse vor, um – abgesehen von der „richtigen“ Verwertung des Klärschlammes - hieraus konkrete Überlegungen für Maßnahmen an Kläranlagen oder bei der Regenwasserbehandlung abzuleiten.

## **8 Antibiotikaresistenzen**

Erste Erkenntnisse über antibiotikaresistente Keime an Kläranlagen in Baden-Württemberg ergaben sich aus dem Projekt „Schussen Aktivplus – Reduktion von Keimen und Mikroverunreinigungen“: In der Schussen konnten dabei multiresistente Keime nachgewiesen werden. In konventionellen Kläranlagen mit einer biologischen Reinigungsstufe wurden E.Coli, Enterokokken und Staphylokokken deutlich reduziert. Eine um Ozonung erweiterte Abwasserbehandlung führte zu einer zusätzlichen Reduktion der absoluten Konzentration fakultativ pathogener und antibiotikaresistenter Bakterien im Kläranlagenablauf. Die Ergebnisse sind im RiSKWa-Statuspapier „Ergebnisse des Querschnittsthemas Bewertungskonzepte der Mikrobiologie“ veröffentlicht (8).

Der DWA-Fachausschuss KA-8 geht davon aus, dass konventionelle Kläranlagen die bakterielle Fracht und Antibiotikaresistenzgene um 90-99% (1-2 log-Stufen) verringern. Die Elimination wird durch eine weitergehende Abwasserreinigung wie Filtration, Ozonung und UV-Desinfektion erhöht, allerdings müssen weitere Untersuchungen erfolgen (9).



Wirksame Maßnahmen zur Reduzierung der Antibiotikaresistenzgene bzw. der fakultativ pathogenen Bakterien erfordern nicht nur eine Reduzierung der Keimbelastungen (Hygienisierung), sondern auch eine Reduzierung der stofflichen Belastungen durch Antibiotika, vor allem an der Quelle. Auch Kläranlagen mit Spurenstoffelimination können dazu beitragen. Sie verringern einerseits die Gewässerbelastung durch Antibiotika und andererseits als „Mitnahmeeffekt“ auch den Austrag resistenter Keime aus Kläranlagen. Wie oben dargelegt, hat Baden-Württemberg bei der Eliminierung von Spurenstoffen bundesweit eine führende Rolle. Für eine im Hinblick auf die Verhinderung von Resistenzbildung erforderliche Reduzierung der Keimbelastung aus Kläranlagen um 3-5 log-Stufen wären jedoch noch weitergehende Verfahrenskombinationen erforderlich. Dazu liegen derzeit noch keine ausreichend gesicherten Erkenntnisse vor. Weitere Untersuchungen sind erforderlich. Eine entsprechende Nachrüstung von Kläranlagen ist beim bisherigen Kenntnisstand deshalb nicht vorgesehen.

## Literatur

- [1] Kläranlagen- und Kanal-Nachbarschaften, Ergebnisse des 45. Kommunalen Leistungsvergleichs 2018, DWA Landesverband Baden-Württemberg, 2019
- [2] Leitfaden Gewässerbezogene Anforderungen an Abwassereinleitungen, Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, Dezember 2015
- [3] Arbeitspapier Spurenstoffelimination auf kommunalen Kläranlagen in Baden-Württemberg, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, November 2018
- [4] Förderrichtlinien Wasserwirtschaft 2015 (GABl. Nr. 10, S. 784)
- [5] Phosphorelimination - Optimierung auf Kläranlagen, DWA Landesverband Baden-Württemberg 2019
- [6] Leitfaden Energieeffizienz auf Kläranlagen, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, Oktober 2015
- [7] Mikroplastik in Binnengewässern Süd- und Westdeutschlands, Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg u.a.
- [8] BMBF-Fördermaßnahme RiSKWa „Risikomanagement von neuen Schadstoffen und Krankheitserregern im Wasserkreislauf“ – Praxishandbuch, November 2016
- [9] Arbeitsbericht des DWA-Fachausschusses KA-8, Korrespondenz Abwasser 2018 Nr. 6

Anschrift des Verfassers:

Dipl.-Ing. Joachim Eberlein

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg

Hauptstätter Str. 67

70178 Stuttgart

joachim.eberlein@um.bwl.de

# Herausforderungen an die Elimination von Kohlenstoff- und Nährstoffverbindungen in Siedlungsabwässern

Peter Baumann

Hochschule für Technik, Stuttgart

## Kurzfassung

Obwohl die Kohlenstoff- und Nährstoffentfernung seit rund 20 – 30 Jahren auf vielen Kläranlagen in Deutschland eine eingeführte Verfahrenstechnik ist, stellt die Anpassung an die Anforderungen der OGewV insbesondere im Hinblick auf  $\text{NH}_4\text{-N}$  wie  $P_{\text{ges}}$  unter den Randbedingungen von angestrebter Gebührenstabilität und Fachkräftemangel immer wieder eine Herausforderung dar. Auch die Aufrechterhaltung des Anlagenbetriebs bei technischen und vor allem baulichen Sanierungen ist nicht immer einfach zu lösen. Besonders betroffen sind hier vor allem kleinere Anlagen ohne redundante Reaktoren sowie Anlagen an Gewässern mit geringen Abflüssen und damit einem hohen Anteil an Abwasser. In diesen Regionen können auch Einleitungen aus der Regenwasserentlastung einen kritischen Emissionsanteil für  $\text{NH}_4\text{-N}$  (kurzfristig) und  $P_{\text{ges}}$  (langfristig) darstellen.

## 1 Einleitung

Die mittlere Reinigungsleistung der Kläranlagen in Deutschland kann dem jährlichen DWA-Leistungsnachweis entnommen werden. Dabei wurden im Jahr 2018 im Bundesgebiet nach [11] folgende Eliminationsraten erreicht:

CSB	95,3 %
$N_{\text{ges}}$	83,3 %
$P_{\text{ges}}$	92,7 %

Trotz der sehr guten Werte und der in den letzten Jahrzehnten signifikanten Verbesserung aller wesentlichen Parameter, stellt es auch zukünftig eine Herausforderung dar, die erreichte Reinigungsleistung zu erhalten und insbesondere bei den Nährstoffparametern noch weiter zu verbessern.

Die Herausforderungen an die Nährstoff- und Kohlenstoffelimination in Siedlungsabwässern lassen sich in unterschiedliche Bereiche einteilen. Zum einen ist die Erfüllung der wasserrechtlichen Anforderungen unter besonderer Beachtung der Anforderungen der Oberflächengewässerverordnung zu nennen. Hier stehen vor allem die Nährstoffparameter mit  $\text{NH}_4\text{-N}$  und  $\text{P}_{\text{ges}}$  im Vordergrund. Dies betrifft neben den Abläufen aus Kläranlagen auch die Entlastung von Regenwasser aus Trennkanalisationen und den Bauwerken der Mischwasserüberläufe. Hinzu kommen Aspekte des Betriebes wie der Sicherstellung der Gebührenstabilität als politische Forderung.

## 2 Sicherstellung der wasserrechtlichen Anforderungen

### 2.1 Anforderungen der Abwasserverordnung

Die Anforderungen der Abwasserverordnung im Hinblick auf die Kohlenstoff- und Nährstoffverbindungen sind mit einer Ausnahme (13 mg/l  $\text{N}_{\text{anorg}}$  statt 18 mg/l  $\text{N}_{\text{anorg}}$  für Anlagen der Größenklasse 5) seit 1992 unverändert. Die Anlagen wurden in der Regel dafür nach dem DWA-Regelwerk aus dem Jahr 1991 [1] bzw. dem Jahr 2000 [2] bemessen. Eine Überschreitung der wasserrechtlich genehmigten Werte für die Kohlenstoff- wie Nährstoffverbindungen ist dabei im Regelbetrieb eher selten und dann auf eine oder mehrere der folgenden drei Ursachen zurückzuführen (vgl. [3]):

- unerwartete, (schwierige) Abwasserzusammensetzung (bad influent)
- unzureichende Auslegung der Anlage (bad design)
- unzureichender Betrieb der Anlage (bad operation)

Dazu kommt in Baden-Württemberg (da wasserrechtliche und abgabenrechtliche Werte gleich sein sollen) im Einzelfall auch noch eine zu hohe "Herabklärung" bei einzelnen Ablaufparametern (oft der CSB oder  $\text{N}_{\text{anorg}}$ ) mit dem Hintergrund einer möglichst weitgehenden Verrechnung der Abwasserabgabe mit getätigten Investitionen. Insbesondere bei den trockenen Sommern in den letzten Jahren und zurückgehenden Fremdwasserabflüssen wurde es hier in einigen Fällen doch recht "knapp". Die Problematik lässt sich vielleicht als falsche Entscheidung (bad decision) zusammenfassen. Die Lösungsansätze sind aus fachlicher Sicht:

- Eine notwendige Anpassung der wasserrechtlichen/abgabenrechtlichen Werte im Rahmen der wasserrechtlichen Anforderungen "nach oben" wird sich nur in Ausnahmefällen (unter monetären Nachteilen) umsetzen lassen.
- Eine problematische Zusammensetzung des Kläranlagenzulaufes (wie ein hohes N/CSB-Verhältnis, Frachtspitzen etc.) kann oft durch Maßnahmen im Indirekteinleiterbereich – wenn kommunalpolitisch durchsetzbar und technisch wie wirtschaftlich sinnvoll - verbessert werden.
- Ein suboptimaler Betrieb der Kläranlage muss durch eine verstärkte Fortbildung oder (notfalls einem Austausch des Personal) entgegengewirkt werden. Hier sind auch inhouse-Schulungen oder eine regelmäßige Betriebsberatung von geeignetem, externem Fachpersonal durchaus eine Handlungsoption.
- Die Lösung im Fall einer unzureichenden Anlagenauslegung kann nur mittelfristig durch bauliche und/oder klärtechnische Änderungen des Bestandes erfolgen.

## **2.2 Anforderungen durch die Oberflächengewässerverordnung (OGewV)**

### **2.2.1 Abwasserreinigung**

Durch die Anforderungen der OGewV [5] zur Umsetzung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie sind die Mindestanforderungen der Abwasserordnung oft Makulatur, da zur Erzielung eines guten ökologischen Zustandes der Gewässer insbesondere bei  $\text{NH}_4\text{-N}$  und  $\text{PO}_4\text{-P}$  bzw.  $P_{\text{ges}}$  bei Abwassereinleitungen mit einem ungünstigen Mischungsverhältnis von Abwasser und natürlichem Abfluss im Gewässer deutlich geringere Ablaufanforderungen als nach den Mindestanforderungen notwendig sind. Problematisch ist hierbei, dass Kläranlagen mit einer Auslegung nach [1], [2] rechnerisch die neuen Anforderungen nach niedrigen  $\text{NH}_4\text{-N}$ -Überwachungswerten  $< 5 \text{ mg/l}$  in der qualifizierten Stichprobe – wenn überhaupt – nur bei einer deutlichen Unterlastung oder mit in Anspruchnahme von Systemsicherheiten nachkommen können. Auch eine Auslegung nach [4] ist für  $\text{NH}_4\text{-N}$ -Ablaufwerte  $< 5 \text{ mg/l}$  nicht möglich, für  $P_{\text{ges}}$ -Werte  $< 1 \text{ mg/l}$  fehlt zur Zeit ein entsprechendes Regelwerk. Hilfestellung für die Abschätzung der Ablaufwerte unter verschiedenen Betriebszuständen bei den Stickstoffparametern bzw. der Stickstoffelimination kann hier jedoch eine ergänzende dynamische Simulation bieten.

Tab. 1: Anforderungen der OGeWV zur Erreichung eines guten ökologischen Zustandes als Jahresdurchschnittswert (Auswahl nach Anlage 7 der OGeWV für Gewässertyp 9.1)

Parameter	NH <sub>4</sub> -N	PO <sub>4</sub> -P	P <sub>ges</sub>
Gewässertyp 9.1	0,1 mg/l	0,07 mg/l	0,1 mg/l

Insbesondere erhöhte Phosphorwerte im Gewässer werden für Defizite bei der biologischen Gewässergüte als eine Ursache benannt. Daher haben einige Bundesländer (u.a. Baden-Württemberg, Bayern, Berlin, Hessen und Schleswig-Holstein) in sogenannten P-Handlungsgebieten erhöhte Anforderungen an die Ablaufwerte bezüglich P<sub>ges</sub> bzw. PO<sub>4</sub>-P gestellt. Die diesbezügliche Entwicklung im Land Baden-Württemberg ist in der Abbildung 1 dargestellt.

	E	AbwV	Bodensee	Neckar	Neckar	Baden-Württemberg
Einführung		1991	2001	2010	2010	ab 2019
Gebiet		Bund	Bodensee	Neckar <sup>1)</sup>	Neckar <sup>1)</sup> mit Filtration	P-Handlungsgebiet
Zeitraum / Probenahme		qualifizierte Stichprobe [mg/l]	24-h-MP bzw. Jahresmittel [mg/l]	Jahresmittel <sup>4)</sup> Zielwert [mg/l]		
GK 1	< 1.000	–	–	–	–	–
GK 2	> 1.000 – 5.000	–	–	–	–	0,5 [mg/l P <sub>ges</sub> ]
GK 3	> 5.000 – 10.000	–	–	0,8	0,8	0,2 [mg/l P <sub>ges</sub> ] oder 0,16 [mg/l PO <sub>4</sub> -P] in Verbindung mit 0,3 [mg/l P <sub>ges</sub> ]
GK 4	> 10.000 – 100.000	2,0	–	0,5	0,3	
GK 5	> 100.000	1,0	–	0,5	0,3	
IGkB (1987)	> 1.000 – 40.000 E %	– –	1,0 90 <sup>2)</sup>	– –	– –	– –
IGkB (1987)	> 40.000 E %	– –	0,3 <sup>2)</sup> 95 <sup>3)</sup>	– –	– –	– –

<sup>1)</sup> Gilt für das gesamte Neckareinzugsgebiet.

<sup>2)</sup> Jahresmittelwert

<sup>3)</sup> Entnahmewirkung bezogen auf den Anlagenzulauf (homogenisiert)

<sup>4)</sup> Der Jahresmittelwert ermittelt sich auf Basis der Eigenkontrolle und den volumen- bzw. durchflussproportionalen 24-h-Mischproben im Ablauf der Kläranlagen. Die Mindestanzahl der notwendigen Probenahmen wird dann separat vorgeschrieben.

Abb. 1: Anforderungsprofile für P-Verbindungen im Ablauf kommunaler Kläranlagen in Baden-Württemberg (aus [12])

Die große Herausforderung besteht heute darin, Kläranlagen im Bestand möglichst betriebssicher wie kostengünstig für die neuen Anforderungen und deren Umsetzung im Zuge der Bewirtschaftungspläne zur Umsetzung der EU-WRRL zu ertüchtigen.

Eine Besonderheit stellt der Parameter  $\text{NO}_3\text{-N}$  dar, welcher bei gewässerökologischen Untersuchungen lokal nur selten eine Rolle spielt. Die  $\text{NO}_3\text{-N}$ -Konzentration ist jedoch im Zulauf zur Ostsee wie der Nordsee nach der OGeWV (§ 14) auf 2,6 mg/l bzw. 2,8 mg/l [5] begrenzt. Nach jetzigem Kenntnisstand kann diese Anforderung jedoch (noch) nicht erreicht werden [6]. Inwieweit dies in der Zukunft auch Auswirkungen auf die Ablaufqualität von Einleitungen aus Kläranlagen in Fließgewässer zur Nord- und Ostsee haben wird, ist bisher noch nicht andiskutiert (aktuell liegt hier der Fokus auf der Landwirtschaft), auszuschließen ist dies jedoch nicht. Auch im Einzugsgebiet der Donau könnte in Anbetracht der Eutrophierungsproblematik im Schwarzen Meer [7] diese Thematik in Zukunft wieder stärker in den Fokus kommen.

Eine technische Lösung zur Erzielung sehr niedriger  $\text{NO}_3\text{-N}$ -Werte im Kläranlagenablauf stellt bei Bedarf und mit einem entsprechenden Betriebsmitteleinsatz die nachgeschaltete Stickstoffelimination dar.

### **2.3 Regenwasser und Mischwasserentlastungen**

Regenwasser- und Mischwasserentlastungen werden seit dem Jahr 1992 nach dem ATV-A 128 [8] bemessen, das neue DWA-A 102 (Gelbdruck, 2016 [9]) ist infolge zahlreicher Einsprüche noch nicht als Weißdruck veröffentlicht. Auch hier stehen im Hinblick auf  $\text{NH}_4\text{-N}$  und die Phosphorverbindungen zur Umsetzung der OGeWV entsprechende Optimierungen und Ausbauten an. Neben dem vermehrten Bau von Retentionsbodenfiltern wird auch die Minimierung der Regenentlastungen durch eine gezielte Regenwasserbewirtschaftung innerhalb des Bestandes diskutiert.

Das Land Baden-Württemberg versucht hier zur Zeit, mit der Einführung von kontinuierlichen Messungen zum Entlastungsverhalten an Regenüberlaufbecken bis zum Jahr 2024 [10] und der Forcierung des Projektes "RÜB" mit dem DWA-Landesverband Baden-Württemberg eine ausreichende, fachliche Basis für Verbesserungsmaßnahmen zu erhalten.

Es ist davon auszugehen, dass auch direkte Entlastungen von Mischwasser aus Regenüberläufen wie aus den Regenwasserkanälen von Trennkanalesationen insbesondere bei schwachen Gewässern zukünftig noch genauer betrachtet werden müssen.

### **3 Betriebliche Anforderungen**

Die anstehenden betrieblichen Anforderungen umfassen ebenfalls mehrere Problemkreise.

#### **3.1 Bauliche und technische Sanierungen**

Viele Kläranlagen wurden von 1990 – 2000 in der Grundsubstanz durch die Einführung der gezielten Stickstoffelimination neu erstellt oder umfänglich erweitert. Diese Anlagen weisen heute ein Alter von rund 20 – 30 Jahren auf und sind in unterschiedlichem Umfang baulich wie technisch zu sanieren. Da der Gewässerschutz in der Regel keine vollständige Außerbetriebnahme zulässt, ist eine Sanierung immer nur abschnittsweise möglich. Dies ist bei mehrstraßigen Anlagen und einer Umsetzung bei höheren Abwassertemperaturen ohne Einbußen für die Reinigungsleistung oft realisierbar. Schwierig ist dies jedoch bei Bauwerken, die nur als Einzelobjekt vorhanden sind. Damit sind vor allem kleinere Anlagen mit nur einem Belebungs- oder Nachklärbecken betroffen. Aufwendige technische Lösungen zur Durchführung der Sanierung mit komplexen Betriebsabläufen sind hier für alle Beteiligte eine große Herausforderung bei Planung und Umsetzung.

#### **3.2 Fachkräftemangel**

Vom Fachkräftemangel in der Siedlungswasserwirtschaft sind aktuell sowohl der Betrieb als auch planende Ingenieurbüros auf allen fachlichen Ebenen betroffen. Komplexe Aufgaben bedürfen aber eines kompetenten Personals. Entsprechende Aktivitäten einiger Betreiber und der DWA (beispielhaft [13]) zur Verbesserung der Attraktivität des Berufsbildes sind angelaufen – die Wirkung ist schwer abzuschätzen.

Einer Verbesserung der finanziellen Rahmenbedingungen für das verantwortliche Betriebspersonal sind im öffentlichen Dienst leider enge Grenzen gesetzt, eine Anpassung ist nicht in Sicht.

#### **3.3 Indirekteinleiterkontrolle**

Die Überwachung der Indirekteinleiter wie der Anspruch der Industriebetriebe im Hinblick auf einen weitreichenden Gewässerschutz ist in der Regel in Deutschland auf einem hohen Niveau. Trotzdem darf hier in den Anstrengungen nicht nachgelassen werden, da die biologischen Kläranlagen sensitiv auf Hemmstoffe oder unerwartete



hohe Belastungsspitzen reagieren. Betriebsstörungen insbesondere der Nitrifikation kommen immer wieder vor, werden jedoch außer im Fall einer erheblichen oder offensichtlichen Beeinträchtigung des Gewässers nur selten publiziert.

Auch im Zusammenhang mit dem geforderten P-Recycling aus dem Abwasser ab dem Jahre 2029 bzw. 2032 wird der Schlammqualität (und damit auch der Abwasserqualität im Zufluss zur Kläranlage) zumindest bei der dezentralen P-Abreicherung eine hohe Bedeutung zukommen.

#### **4 Gebührenstabilität**

Die kommunale Abwasserreinigung wird über Gebühren finanziert. Gebührenerhöhungen werden von politischer Seite wie den Bürgern vergleichsweise kritisch gesehen, obwohl andere Preisanpassungen als auch regelmäßige Gehaltserhöhungen relativ klaglos akzeptiert werden. Somit ist zusätzlich als Herausforderung zu nennen, die Abwassergebühren für die Bürger auch bei den skizzierten, anstehenden Aufgaben weitgehend stabil zu halten.

#### **5 Fazit**

Obwohl die Kohlenstoff- und Nährstoffentfernung seit rund 20 – 30 Jahren auf vielen Kläranlagen in Deutschland eine eingeführte Verfahrenstechnik ist, stellt die Anpassung an die Anforderungen der OGewV insbesondere im Hinblick auf  $\text{NH}_4\text{-N}$  wie  $P_{\text{ges}}$  (auch in Verbindungen mit der biologischen Gewässerqualität) unter den dargestellten Rahmenbedingungen von angestrebter Gebührenstabilität und Fachkräftemangel eine gewisse Herausforderung dar. Auch die Aufrechterhaltung des Anlagenbetriebs bei technischen und vor allem baulichen Sanierungen ist nicht immer einfach zu lösen. Besonders betroffen sind vor allem kleinere Anlagen ohne redundante Reaktoren als auch Anlagen an Gewässern mit geringen Abflüssen und damit einem hohen Anteil an Abwasser. In diesen Regionen können auch Einleitungen aus der Regenwasserentlastung einen kritischen Emissionsanteil für  $\text{NH}_4\text{-N}$  (kurzfristig) und  $P_{\text{ges}}$  (langfristig) darstellen. Hier sind weitere wissenschaftliche Betrachtungen zu den wirklichen Anteilen an Kohlenstoff- und Nährstoffen und den tatsächlichen ökologischen Auswirkungen im Gewässer anzuraten.

Ein qualitativ hochwertiger Betrieb der Anlagen zur Siedlungsentwässerung, eine sachgerechte Planung der Einrichtungen und konsequente Überwachung der Indirekteinleitungen stellen weitere Herausforderungen der Zukunft dar.

Es erscheint daher sinnvoll, zur sicheren Einhaltung der wasserrechtlichen Anforderungen bei der Kohlenstoff- und Nährstoffelimination hier erst die „Hausaufgaben zu machen“, bevor sich weitergehenden Maßnahmen der Abwasserreinigung gewidmet wird. Synergieeffekte sind bei der Elimination von Spurenstoffen insbesondere bei der Phosphor- und Feststoffelimination oft gegeben, diese müssen rechtzeitig erkannt und strukturiert angegangen werden.

## Literatur

- [1] ATV-A 131 (1991): Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen ab 5.000 Einwohnerwerten. GFA, Hennef.
- [2] ATV-DVWK-A 131 (2000): Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen. GFA, Hennef.
- [3] Griffiths, Peter (2008): My BNR plant – Why Can't I make it work? 33rd Annual Qld Water Industry Operations Workshop Indoor Sports Centre, Carrara – Gold Coast 3 to 5 June, 2008  
(aus:[http://www.wioa.org.au/conference\\_papers/08\\_Qld/documents/PeterGriffiths.pdf](http://www.wioa.org.au/conference_papers/08_Qld/documents/PeterGriffiths.pdf))
- [4] DWA-A 131 (2016): Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen. GFA, Hennef
- [5] Oberflächengewässerverordnung (OGewV) (2016)
- [6] Nitratbericht 2016 der BM für Umwelt und Ernährung/Landwirtschaft (2017)
- [7] <http://www.aquaticlifelab.eu/1-10-the-productivity-of-mediterranean-sea/>
- [8] ATV-A 128 (1992): Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen
- [9] DWA-A 102 (2016): Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer (Gelbdruck)
- [10] Erlass des Landes Baden-Württemberg: Messen an RÜB, 02.07.2018
- [11] DWA (2018): 31. Leistungsnachweis kommunaler Kläranlagen 2018
- [12] Baumann, P. und K. Jedele (2019): Phosphorelimination – Optimierung auf Kläranlagen. Praxisleitfaden für den Betrieb von Kläranlagen, 2. Auflage. DWA-Landesverband Baden-Württemberg
- [13] DWA-Landesverband Baden-Württemberg (2019, in Vorbereitung): DWA-Konzeption modulare Nachwuchskräftekampagne

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr-Ing. Peter Baumann  
Hochschule für Technik Stuttgart  
Schellingstr. 24  
70174 Stuttgart  
peter.baumann@hft-stuttgart.de oder dr.pbaumann@gmx.de  
www.dr-peter-baumann.de



# **Weitergehende Anforderungen an die Abwasserreinigung - Nährstoffrückgewinnung, Mikroschadstoffe, Mikroplastik, Hygiene und Antibiotikaresistenzen**

Norbert Kreuzinger

Technische Universität Wien, Institut für Wassergüte und Ressourcenmanagement

## **Kurzfassung**

Die Technik der Abwasserreinigung wurde fortlaufend an die Erkenntnisse um die Ursachen einer stofflichen Gewässerbelastungen angepasst, wodurch sich der Begriff „weitergehende Abwasserreinigung“ in mehreren Schritten inhaltlich angepasst bzw. erweitert hat. Zudem mussten in der Abwasserreinigung auch immer Rahmenbedingungen wie Wirtschaftlichkeit, Energieeffizienz, der Umgang mit Reststoffen (Klärschlamm) oder Sicherheitsaspekte mit berücksichtigt werden. Aus heutiger Sicht lassen sich die zukünftigen Anforderungen an die Abwasserreinigung in die beiden Bereiche Ressourcennutzung und Erweiterung des qualitativen Parametersatzes subsumieren. Abwasser wird vermehrt als Ressource / Rohstoff betrachtet, aus dem durch Minimierung der Entropie Wertstoffe in nutzbarer Form gewonnen werden können. Derzeit stehen (neben der Energie) die Ressourcen Phosphor sowie die Wiederverwendung von gereinigtem Wasser (für z.B. landwirtschaftliche Bewässerung) mit marktreifen Technologien an erster Stelle der Betrachtungen. In Hinblick auf die Erweiterung des qualitativen Parametersatzes ist davon auszugehen, dass die bereits seit geraumer Zeit diskutierten organischen Spurenstoffe im Zusammenhang mit der Einführung (im Praxiseinsatz) neuer Bewertungskriterien (Stichwort: effektbasierte Biotests) auch in neuen gesetzlichen Bestimmungen auf breiter Ebene Einzug halten werden. Heute werden auf qualitativer Ebene die Bereiche organische Spurenstoffe, Mikrokunststoff / Mikroplastik und Antibiotikaresistenzen diskutiert.

## 1 Einleitung

Historisch gesehen waren die Gründe für die Implementierung der Abwasserreinigung in siedlungswasserwirtschaftliche Konzepte von verschiedenen Motiven getrieben und begannen noch lange vor der Entwicklung eines gesellschaftlichen Umweltbewusstseins. Primär waren es seuchenhygienische Gründe, die zuerst zu einer kontrollierten Abwasserableitung und später zu den ersten Kläranlagen führten. Abgesehen von Ansätzen in den antiken Hochkulturen, die wohl überwiegend olfaktorische Gründe hatten, begann die Erfolgsgeschichte der Siedlungswasserwirtschaft Mitte des 19ten Jahrhunderts, als infolge erster systematischer und wissenschaftlicher Untersuchungen der Zusammenhang zwischen den großen damaligen Seuchen und der Verunreinigung von Trinkwasser durch Krankheitserreger aus Abwässern erkannt wurde. Technische Anlagen zur Trinkwasserfiltration, eine geordnete Ableitung der Fäkalabwässer mittels Kanalisation sowie die Errichtung der ersten „Kläranlagen“ um 1900 waren die wissenschaftliche und ingenieurmäßige Antwort auf diese Erkenntnis.



Abb. 1: Schaumwaten an der Ruhr (Duisburg 1964) (Quelle: [www.WDR.de](http://www.WDR.de))

Dennoch wiesen die Gewässer Ende der 1970er weltweit infolge der Bevölkerungszunahme und des wirtschaftlichen Erstarkens nach dem Zweiten Weltkrieg weltweit einen sehr schlechten Zustand auf. Kaum eine Kommune oder ein Industriebetrieb reinigten ihre Abwässer in Kläranlagen, die organische Verschmutzung und die Nährstoffe gelangten direkt in die Gewässer. Dies führte zu massiver Schaumbildung (Abb. 1) und fehlendem Sauerstoff in den Fließgewässern sowie zu einer Überdüngung von Seen und Algenblüten.

Trotz vereinzelter Ausnahmen änderte sich das Verständnis der Gesellschaft für Anliegen des Umweltschutzes auf breiter Basis erst Mitte der 1980er. Neue gesetzliche Rahmenbedingungen wurden geschaffen und eine flächendeckende geregelte Abwasserentsorgung über Kläranlagen wurde umgesetzt. Innerhalb von nur 20 bis 30 Jahren konnten so die größten stofflichen Gewässerbelastungen beseitigt werden. Nach der Beseitigung der Sauerstoffdefizite in den Gewässern durch die Entfernung abbaubarer Kohlenstoffverbindungen wurde ein neuer Problemkreis sichtbar: Jener der Nährstoffe. Es wurde festgestellt, dass nicht nur der Kohlenstoff, sondern auch Stickstoff- und Phosphorverbindungen die Gewässer belasten. Eine neue Generation von Kläranlagen trug dazu bei, dass auch dieser Problembereich bis heute weitgehend gelöst werden konnte und die Gewässer heute einen guten saprobiellen und trophischen Zustand aufweisen. Parallel dazu erfolgte auch eine Ökologisierung der Gewässerbetrachtungen, die dazu führte, dass über die ökologische Funktionsfähigkeit die Gewässer auch verstärkt als Lebensraum aquatischer Lebewesen gesehen wurden. Diese Entwicklung setzte sich konsequent fort und führt zum heute gelebten Gewässerschutz, der eine ganzheitliche Betrachtung des Gewässers als Ökosystem als selbstverständlich ansieht und neben den traditionellen Immissionsbewertungen nunmehr auch morphologische Ansprüche stellt. In die Zeit um das Jahr 2000 fallen dann die ersten systematischen Untersuchungen zum Auftreten von (organischen) Spurenstoffen in Gewässern mit deren mannigfaltigen Themen sich seither zahlreiche Forschungen beschäftigt haben. Zu Beginn stand also die Entfernung von leicht abbaubaren, im Gewässer zu Sauerstoffzehrung führenden organischen Verbindungen im Konzentrationsbereich von dreistelligen mg/l durch Hochlastanlagen im Mittelpunkt. Später wurden Nitrifikation und Denitrifikation sowie die Phosphorfällung in modernen, heute dem Stand der Technik entsprechenden Schwachlastanlagen realisiert. Derartige Anlagen

stellen auch wegen der gesetzlichen Anforderungen an die Abwasserreinigung in eutrophierungssensitiven Gewässern entsprechend der kommunalen Abwasserrichtlinie der EU (UWWTD 1991) heute den Standard dar, was jedoch international gesehen – selbst in Europa - bei weitem nicht der Fall ist. Die jeweiligen neu implementierten technischen Schritte wurden immer als „weitergehende“ Abwasserreinigung bezeichnet, was den Begriff mit dynamisch veränderten Inhalten füllt, wie dies auch heute durch die Bezeichnung „weitergehende Verfahren“ zur Entfernung organischer Spurenstoffe erfolgt.

Bei den Auswirkungen von Kohlenstoff, Stickstoff und Phosphor auf die Gewässer handelt es sich um akute toxische oder trophische Effekte. Diese Auswirkungen sind sehr rasch und direkt zu beobachten – und somit auch die positive Wirkung von Kläranlagen zur Vermeidung derselben, was wiederum kommunikationstechnisch und politisch von Vorteil ist. Im Gegensatz dazu weisen die organischen Spurenstoffe keine akuten, sondern chronische Auswirkungen auf die aquatischen Ökosysteme auf, deren Auswirkung über die Lebensspanne oder gar Generationen aquatischer Organismen erfolgt. Beeinträchtigung der Resilienz aquatischer Systeme sowie der Biodiversität sind ebenfalls Aspekte, die nur über längere Zeiträume zu beobachten sind und die zusätzlich durch weitere Stressoren wie Klimaänderungen, Intensivierung der Wassernutzung u.a. beeinflusst werden, sodass gezielte Maßnahmen einer weitergehenden Reduktion nicht innerhalb einer Projektdauer oder Legislaturperiode zu beobachten sind und somit kommunikationstechnisch schwer darzustellen sind.

Die Technik der Abwasserreinigung wurde somit fortlaufend an die Erkenntnisse um die Ursachen der stofflichen Gewässerbelastungen angepasst und gleichzeitig mussten auch immer äußerst fordernde Rahmenbedingungen wie Wirtschaftlichkeit, Energieeffizienz, der Umgang mit Reststoffen (Klärschlamm) oder Sicherheitsaspekte mit berücksichtigt werden. Mit wenigen Ausnahmen entsprechen die heute geltenden gesetzlichen Anforderungen international gesehen jedoch noch immer den in den 1980ern definierten Kriterien, was primär aus wirtschaftlichen Überlegungen in Hinblick auf Reinvestitions- bzw. Abschreibeziträume im Bereich von Dekaden liegt. Somit kam es bis heute zu einer Parallelentwicklung zwischen den jeweiligen Anforderungen des Gewässerschutzes sowie dessen Zielvorgaben und einer technischen Umsetzung und Implementierung weiterer Reinigungsschritte auf Kläranlagen. Mit einer weiteren Steigerung der Anforderungen aus Betrachtungen des



Gewässerschutz ist auch die Realisierung weitere Verfahrensschritte auf Kläranlagen oder die Notwendigkeit der Steigerungen der Reinigungsleistung in Hinblick auf spezifische Stoffe auch zukünftig zu erwarten, wobei ähnlich dem Thema der Energieeffizienz und Energiegewinnung (Schlagwort „energieautarke Kläranlage“) zunehmend auch weitere Themen herangetragen werden, die in weitere Folge kurz abgehandelt werden.

## **2 Weitergehende Anforderungen**

Aus heutiger Sicht lassen sich die zukünftigen Anforderungen an die Abwasserreinigung in die beiden Bereiche Ressourcennutzung und Erweiterung des qualitativen Parametersatzes subsummieren:

- **Ressourcennutzung**

Die Betrachtung von Abwasser als Ressource / Rohstoff, aus dem durch Minimierung der Entropie Wertstoffe in nutzbarer Form gewonnen werden können, ist neben den Aspekten von Kreislaufwirtschaft und Stoffrecycling auch geeignet, das Image der Abwasserreinigung weg von einer „unattraktiven“ Verschmutzungsbehandlungsanlage hin zu einem „sauberen“ Wertstofflieferanten zu verändern. Wenngleich historisch gesehen eine Ressourcennutzung aus Abwasser etwa über Biogasproduktion und Klärschlammnutzung bereits „seit immer“ erfolgt, so weisen die neuen Ansätze einen deutlich höheren Anspruch zB. in Hinblick auf die Produktqualitäten auf. In Hinblick auf die Ressourcennutzung stehen zurzeit (neben der Energie)

- Rückgewinnung von Phosphor (und Stickstoff)
- Wiederverwendung von gereinigtem Wasser  
(für z.B. landwirtschaftliche Bewässerung)

mit marktreifen Technologien an erster Stelle der Betrachtungen. Es ist davon auszugehen, dass sich neben den Makronährstoffen auch anorganische Spurenstoffe im Abwasser rezyklieren lassen, was primär eine energetische Frage darstellt.

- Erweiterung des qualitativen Parametersatzes

In Hinblick auf die Erweiterung des qualitativen Parametersatzes ist davon auszugehen, dass die bereits seit geraumer Zeit diskutierten organischen Spurenstoffe im Zusammenhang mit der Einführung (im Praxiseinsatz) neuer Bewertungskriterien (Stichwort: effektbasierte Biotests) auch in neuen gesetzlichen Bestimmungen auf breiter Ebene Einzug halten werden. Heute werden auf qualitativer Ebene die Bereiche

- Organische Spurenstoffe
- Mikrokunststoff / Mikroplastik
- Antibiotikaresistenzen

diskutiert. Während die Bedeutung organischer Spurenstoffe auf die aquatische Umwelt sowie über Anreicherungen in der Nahrungskette sowie Verunreinigung von Rohwässern der Trinkwasseraufbereitung für den Menschen allgemein anerkannt ist, handelt es sich beim Thema Mikroplastik im Zusammenhang mit der Abwasserreinigung um ein von der Gesellschaft getragenes Thema, dessen Umweltrelevanz bzw. Auswirkungen auf den Menschen (noch) nicht bekannt ist. Im Gegensatz dazu stellt die Thematik der Antibiotikaresistenzen eine unbestritten relevante Problematik dar, in der Kläranlagen im Schnittpunkt zwischen anthropogenem und natürlichem Wasserkreislauf eine zentrale Position einnehmen.

Beide oben genannten übergeordneten Aspekte gleichzeitig lassen sich in sinnvoller Weise jedoch nicht mehr durch eine lineare Abfolge verfahrenstechnischer Schritte bedienen, wie dies bis dato bei der Weiterentwicklung der Abwasserreinigung vorwiegend erfolgt ist. Vielmehr ist heute ein integrativ neuer Ansatz erforderlich, der unter Berücksichtigung der Erfordernisse für die technischen Einzelschritte sowie Qualität der Endprodukte nach neuen Konzepten der Umsetzung verlangt. Diese Ansätze müssen zudem den Ansprüchen der Wirtschaftlichkeit sowie Robustheit im Routineeinsatz und Betrieb genügen – und sind zurzeit nicht vorhanden.

### **3 Nährstoffrückgewinnung**

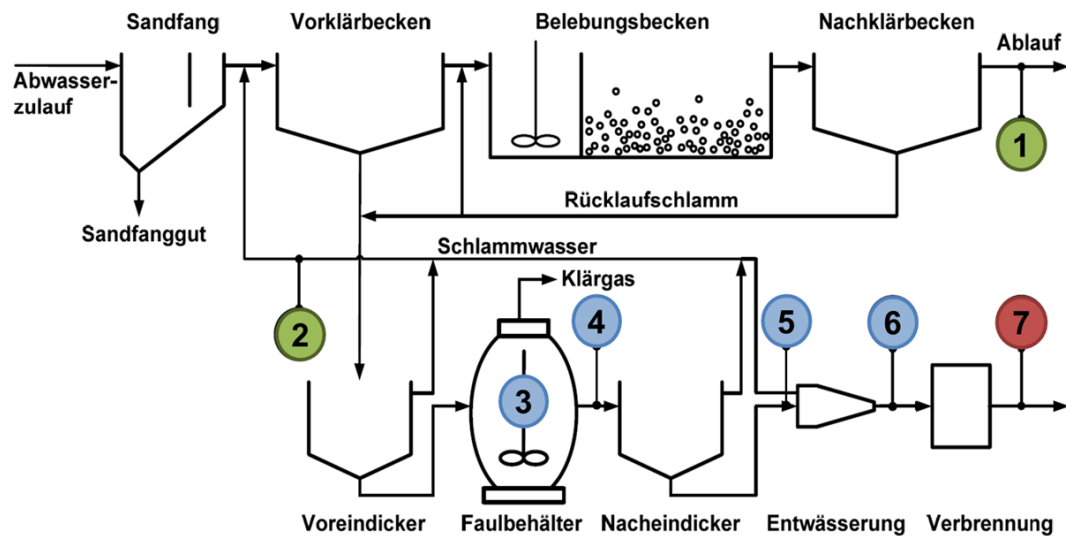
Wie eingangs diskutiert, steht heute bei der Nährstoffrückgewinnung aus Abwasser der Phosphor im Zentrum der Betrachtungen.

Mit Ende des zweiten Weltkrieges kann ein rasanter und stetiger Anstieg bei der Verwendung von Rohphosphaten zur Mineraldüngerherstellung beobachtet werden. Gegenwärtig werden jährlich rund 180 Millionen Tonnen Rohphosphat abgebaut, wobei 80-90% für die Herstellung von Düngern eingesetzt wird. Phosphor gilt heute als jene essenzielle Ressource, die in absehbarer Zukunft limitiert sein wird, was sich bereits heute durch Preisanstiege und verminderte Rohstoffqualitäten abzeichnet. Aus diesem Grund wurde nach alternativen P-Quellen gesucht und zahlreiche Untersuchungen zum urbanen Phosphorhalt verweisen auf das große, jedoch oftmals ungenutzte P-Potential im Abwasser selbst und in den verschiedenen Stoffströmen auf einer Kläranlage (Schlammwasser, Klärschlamm) bzw. im Anschluss an eine Kläranlage (Klärschlammasche). Beispielhaft besitzt der in Österreich anfallende kommunale Klärschlamm ein theoretisches Substitutionspotential von rund 40 % bezogen auf die importierte P-Mineraldüngermenge (Egle et al., 2012).

Weltweit wird an Verfahren geforscht und einige wurden bereits im Pilotmaßstab oder großtechnisch umgesetzt, die eine P-Rückgewinnung bei gleichzeitiger Schadstoffentfernung ermöglichen. Für den Gesetzgeber ist es nicht einfach, fundierte Vorgaben für den zukünftigen Umgang mit P zu erarbeiten, da nicht immer klar ist, welche Technologien mit welcher Leistungsfähigkeit hinsichtlich P-Wiedergewinnung, Schadstoffentfrachtung und –Zerstörung als auch Energieausbeute zur Verfügung stehen und wie die gesicherte Entsorgung möglicher anfallender Reststoffe erfolgen soll.

Egle et al (2012) führen etwa eine auf umfangreichen Kriterien beruhende Analyse und Bewertung bestehender P-Rückgewinnungstechnologien durch, die in Abb. 2 zusammenfassend dargestellt werden. Die Ergebnisse zeigen, dass die Rückgewinnungsverfahren aus den verschiedenen Stoffströmen einer Kläranlage mit hinsichtlich der P-Rückgewinnung und der Entfrachtung von unerwünschten Schwermetallen unterschiedlicher Effektivität arbeiten. Die ökologischen Bewertungskriterien für die Verfahren im Schlammwasser oder der Klärschlammasche zeigen, dass diese hinsichtlich treibhausrelevanter Gase auf ungefähr gleichem Niveau liegen und deutlich besser als Verfahren aus dem Klärschlamm abschneiden. Gleiches ist auch für den kumulierten Energieaufwand zu beobachten. Auch hinsichtlich einer möglichen wirtschaftlichen Umsetzung schneiden die beiden Verfahren aus dem Schlammwasser und der Asche deutlich besser ab. Alle Verfahren

garantieren eine weitestgehende Entfrachtung von Schwermetallen und organischen Spurenstoffen. Hinsichtlich der Nährstoffgehalte und Pflanzenverfügbarkeit der Endprodukte sind keine großen Unterschiede zu erkennen. Mit dem Ziel der größtmöglichen Nutzung des abwasserbürtigen P-Potentials, zeigt sich, dass die Entwicklungen vor allem in Richtung einer Rückgewinnung des Phosphors aus der Klärschlammmasche vorangetrieben werden sollten.



Prozesswasser/Ablauf	Klärschlamm (KS)	Klärschlammmasche (KSA)
① REM-NUT® [Ionentauscher, Fällung]	③ AirPrex® [Fällung]	⑦ AshDec® [Therm-ochemisch]
② Ostara Pearl Reactor® [Kristallisation]	④ Seaborne process® [Nasschemisch - Leaching]	⑦ PASCH [Nasschemisch - Leaching]
② DHV Crystalactor® [Kristallisation]	④ Stuttgarter process [Nasschemisch - Leaching]	⑦ LEACHPHOS® [Nasschemisch - Leaching]
② P-RoC [Kristallisation]	⑤ PHOXNAN [Nass-Oxidation]	⑦ RecoPhos® [Nasschemisch - Extraktion]
② PRISA [Fällung]	⑤ ⑥ Aqua Reci® [Superkritische Wasseroxidation]	⑦ SESAL-Phos [Nasschemisch - Leaching]
	⑥ MEPHREC® [Metallurgisch, Schmelzvergasung]	⑦ Thermphos (P <sub>4</sub> -Herstellung) [Thermo-elektrisch]
		⑦ ICL (Düngemittelherstellung) [Nasschemisch - Extraktion]

Abb. 2: Übersicht möglicher Einsatzorte (oben) zur P-Rückgewinnung auf Kläranlagen und betrachtete Rückgewinnungstechnologien (unten) aus Egle et al. (2012)

#### 4 Organische Mikroschadstoffe

Zu Beginn der Diskussion wurden Spurenstoffe oft mit den aus dem Englischen übernommenen Begriffen Mikroverunreinigung (micropollutant) oder auch Mikroschadstoff bezeichnet. Diese Begriffe sind jedoch insofern irreführend, als damit

automatisch eine Schädwirkung und somit eine konzentrationsunabhängige Wertung assoziiert wird. Dies führt in weiterer Folge dazu, dass ein schlichtes „Vorhandensein“ des Stoffes - zum Beispiel eine chemisch-analytische Bestimmung über der Nachweisgrenze - bereits als Problem dargestellt wird. Im deutschsprachigen Raum sollte sich deshalb heute der (wertneutrale) Begriff „Spurenstoffe“ durchgesetzt, die beiden anderen Begriffe sollten vermieden werden. Erst toxikologische Untersuchungen erlauben eine konzentrationsabhängige Bewertung des Stoffes, was auch zur Herleitung von Umweltqualitätsnormen (UQN) herangezogen wird. Auch bei festgestellter toxikologischer Bedeutung kann ein Stoff je nach Betrachtung als „heilbringend“ oder schädlich dargestellt werden. Diese Wertung hängt nicht nur von objektiven Ergebnissen toxikologischer Untersuchungen ab, sondern wird zudem von den Wertvorstellungen und den Prioritäten der Gesellschaft definiert. Dichlordiphenyltrichlorethan (DDT) etwa wurde lange als effektives Insektizid eingesetzt. Als Bedenken wegen einer möglichen krebserregenden Wirkung auf den Menschen geäußert wurden und festgestellt wurde, dass diese Substanz Einfluss auf hormonelle Aktivitäten mit Folgen für Alligatoren (Verweiblichung männlicher Tiere) oder auch Greifvögel (dünnere Eierschalen führten zu Bestandsabnahmen) aufweist, wurde der Einsatz es in den 1970ern weitgehend verboten. Dennoch wird DDT wieder zur Malariabekämpfung eingesetzt, weil der mit der Bekämpfung der Malaria einhergehende Nutzen für den Menschen höher eingestuft wird, als der Schaden für die Umwelt und den Menschen. Der „Nutzstoff“-Aspekt überwiegt somit den „Schadstoff“-Aspekt. Ähnliche Überlegungen gelten für die Be-„Wertung“ von Medikamenten, Pestiziden oder allgemein als gesund erachtete Nahrungsmittel (Soja etwa enthält etwa hormonell wirksame Phytoöstrogene).

Zahlreiche wissenschaftliche und angewandte Forschungsprojekte befassen sich mit dem Thema Entfernung organischer Spurenstoffe aus dem Abwasser – und deren Ergebnisse und Erkenntnisse sind mittlerweile einschlägig bekannt. Dennoch soll an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass die heute realisierten Kläranlagen diese Stoffe durchaus aus der wässrigen Phase entfernen (siehe auch Abb. 3). Je nach Substanz in unterschiedlichem Ausmaß und auf unterschiedlichem Weg. Da die organischen Spurenstoffe definitionsgemäß in sehr niedrigen Konzentrationen auftreten, werden sie von der mikrobiellen Biozönose auf Kläranlagen nicht katabolisch für die Energiegewinnung herangezogen, sondern „bestenfalls“ anabolisch umgesetzt.

Wenn ein organischer Spurenstoff im Zuge der Abwasserreinigung „biologisch abgebaut“ wird, so handelt es sich meist um einen Co-Metabolismus, bei dem - ausgehend von einem zielgerichteten Enzymsystem für einen essentiellen Stoffwechselprozess - diese Substanzen - etwa aufgrund ihrer Strukturähnlichkeit – unspezifisch mitreagieren. Einen weiteren, speziell auf Hochlastanlagen relevanten Prozess stellt die Adsorption an die Matrix des belebten Schlammes dar. Hierbei wird die Substanz aus der wässrigen Phase in die feste Phase umgelagert und über den Überschussschlammabzug aus dem System entfernt.

Abb. 3 veranschaulicht die Entfernung typischer organischer Spurenstoffe auf einer Hochlastanlage (dunkle Balken) sowie auf einer Schwachlastanlage mit Nitrifikation und Denitrifikation (graue Balken).

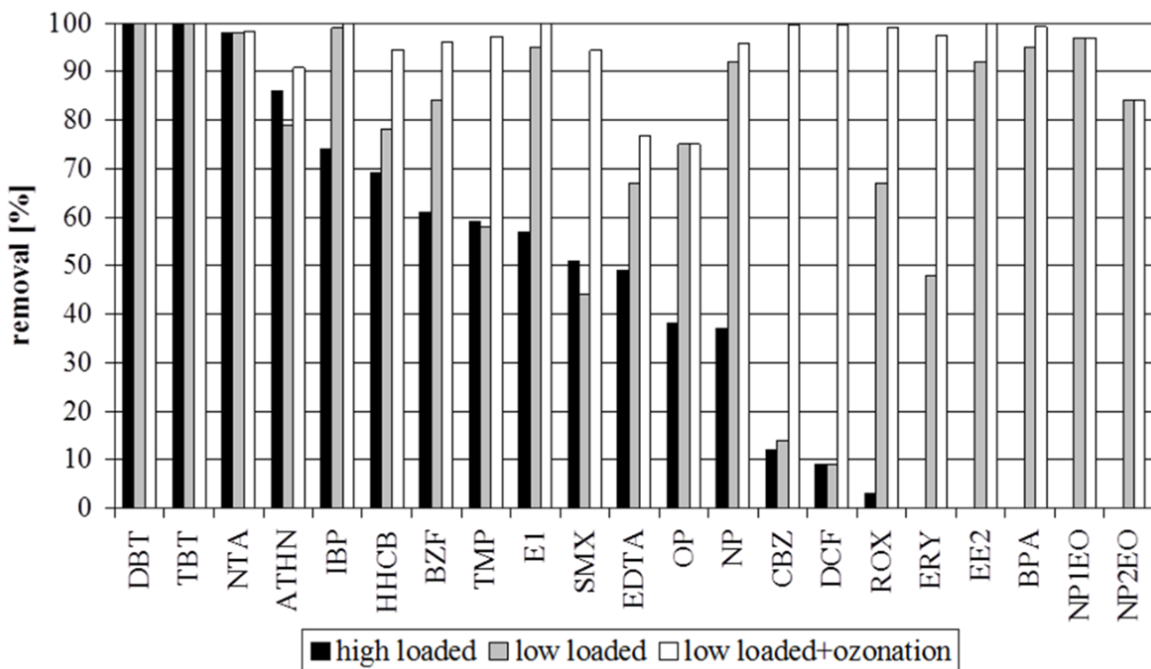


Abb. 3: Entfernung ausgewählter organischer Spurenstoffe in „high loaded“ Hochlastanlagen; „low loaded“ – Schwachlastanlagen und nach Ozonung am selben Standort (Schaar et al 2010)

Die Untersuchungen wurden an einem Standort durchgeführt, der zu einer Schwachlastanlage ausgebaut wurde. Die Entfernungsraten sind somit für dasselbe Kanaleinzugsgebiet und dieselbe generelle Abwasserzusammensetzung erhoben.

Zudem wurde an diesem Standort nach Inbetriebnahme der Schwachlaststufe eine Pilotanlage mit Ozonung und Aktivkohlefilter (GAK) betrieben, sodass die in Abb. 3 dargestellten weißen Balken ebenfalls dieselbe Abwassermatrix darstellen und somit ein unmittelbarer und direkter Vergleich der Entfernungsraten unterschiedlicher Technologien angestellt werden kann.

Die Entfernung organischer Spurenstoffe kann neben einer zielgerichteten substanzspezifischen chemischen Analytik auch mittels effektbasierter Biotests erfolgen, die sich heute als kostengünstige und aussagekräftige Alternative etabliert haben. Ein wesentlicher Vorteil dieser Tests ist, dass sie biologische Effekte quantifizieren und somit unterschiedliche Substanzen mit identer Wirkung (zB hormonelle Wirkung) integrieren. Ein eindrucksvolles Beispiel der Leistungsfähigkeit konventioneller Kläranlagen liefert etwa Väitalo et al (2017), wo die Reduktion unterschiedlicher toxikologischer Effekte zwischen Zulauf und Ablauf in einem Ampelsystem, das auf dem Verhältnis des Messwertes zur Äquivalenzwerten einer „no effect“ Konzentration (NOEC) beruht (Abb. 4). Hier zeigt sich, dass konventionelle Anlagen durchaus eine signifikante Reduktion toxikologischer Effekte bewirken; es zeigt sich aber genauso deutlich, dass im Ablauf auch noch signifikante Effekte zu messen sind, auf die in der weitergehenden Abwasserreinigung abgezielt wird.

Endpoint/Bioassay	WWTP1		WWTP2		WWTP3		WWTP4		WWTP5		WWTP6		WWTP7		
	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	Influent	Effluent	MBR Effluent	Influent	Effluent
Cytotoxicity (NRR)	Green	Green	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Green	Yellow	Green	Green
Estrogenic activity (ER-CALUX)	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Estrogenic activity (medaka) unspiked mode	Grey	>REF1	Grey	Red	Grey	Red	Grey	Red	Grey	Red	Grey	Red	Grey	Grey	Red
Estrogenic activity (medaka) spiked mode	Grey	>REF1	Grey	>REF1	Grey	>REF1	Grey	>REF1	Grey	>REF1	Grey	>REF1	Grey	Grey	>REF1
Androgenic activity (AR-CALUX)	Red	Green	Red	Green	Green	Green	Red	Green	Red	Green	Red	Green	Green	Green	Green
Genotoxicity (p-53CALUX)	Red	Green	Red	Green	Green	Green	Red	Green	Red	Green	Red	Green	Green	Red	Green
Genotoxicity (umuC-assay)	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
Embryotoxicity (FET)	Grey	Yellow	Grey	Yellow	Grey	Yellow	Grey	Yellow	Grey	Yellow	Grey	Yellow	Grey	Grey	Yellow
Thyroid disruption ( <i>Xenopus</i> ) unspiked mode	Grey	Yellow	Grey	Yellow	Grey	Yellow	Grey	Yellow	Grey	>REF5	Grey	>REF5	Grey	Grey	Yellow
Thyroid disruption ( <i>Xenopus</i> ) spiked mode	Grey	Yellow	Grey	Yellow	Grey	Yellow	Grey	Yellow	Grey	>REF5	Grey	>REF5	Grey	Grey	Yellow

Abb. 4: Ergebnisse unterschiedlicher effektbasierter Biotests für Zu- und Abläufe von 7 Kläranlagen

## 5 Mikroplastik

Ausgelöst im Zusammenhang mit einer wissenschaftlichen Publikation von Lechner et.al (2014) über das Auftreten von Mikroplastik in der Donau, gelangte die bereits seit geraumer Zeit international diskutierte Thematik über Mikroplastik in der aquatischen Umwelt (vorwiegend, aber nicht ausschließlich im Meer sowie an Meeresstränden) in das Zentrum der öffentlichen Wahrnehmung. Lechner et.al. exponierten Netze mit einer Maschenweite von 500 µm zur Auffindung von Fischlarven in der Donau. Bei der Auswertung der in den Netzen zurückgehaltenen Partikel zeigte sich ein unerwartet hoher Anteil an Plastikpartikeln, der – wie sich später herausstellte – unter anderem infolge eines Regenereignisses aus dem Notüberlauf eines produzierenden Betriebs stammten. Die Studie war der Beginn einer ungeweinen medialen Präsenz des Themas in der Öffentlichkeit und der Start der „Mikroplastik“-Diskussion abseits der Meere, in der Fakten, Emotionen und Hypothesen munter vermischt werden.

Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die Thematik Mikroplastik anders gelagert ist als die Thematik Littering durch Makroplastik, dessen Auswirkungen speziell in marinen Systemen offensichtlich und unbestritten sind. Kläranlagen stellen jedoch für Makroplastik eine (beinahe) völlige Barriere dar, sodass sie zur Thematik Makroplastik in der Umwelt gleichsam nicht beitragen.

Während andere qualitative Themen im Zusammenhang mit Wasser - Emissionen und Immissionen stets von toxikologischen Effekten oder anderen Störungen von Gewässerökosystemen ausgehen, so fällt das Thema Mikroplastik hier deutlich aus dem Rahmen. Trotz mehrjähriger Untersuchungen konnten bis dato kein Beleg für eine Beeinflussung aquatischer Ökosysteme durch Mikroplastik gefunden werden.

Zur Zeit liegt der Schwerpunkt der Untersuchungen in methodischen Arbeiten zu Probenahme und reproduzierbarer Analytik in den unterschiedlichen Umweltkompartimenten, wobei vielfach Methoden der Feinstaubthematik zum Einsatz gebracht werden. Auch die Definition von Begrifflichkeiten ist nach wie vor nicht abgeschlossen, Stoffstromanalysen zur Identifikation der relevantesten Quellen, Pfade und Senken sind im Laufen. Trotz der dünnen Datenbasis werden jedoch bereits umfangreiche Vermeidungsstrategien vorgeschlagen (siehe etwa ECHA 2019), was in Hinblick auf das Vorsorgeprinzip argumentierbar ist. Ob die Vorschläge tatsächlich sinnvoll sind, kann aber wegen fehlendem Verständnis der Zusammenhänge von Quellen und Umweltverhalten nicht beurteilt werden.



## 6 Antibiotikaresistenzen

Antibiotika gehören zu den bedeutendsten pharmazeutischen Wirkstoffen, die in der Human- und Veterinärmedizin eingesetzt werden. Im Zuge der Anwendung gelangen die Antibiotika über Ausscheidungen ins Abwasser und nach unvollständiger Entfernung auf Kläranlagen weiter in die aquatische Umwelt (siehe Themenbereich „organische Spurenstoffe“). In diesem Zusammenhang hat die zunehmende Verbreitung von Antibiotikaresistenten dazu geführt, dass vermehrt Untersuchungen zur Bedeutung und Beitrag von Kläranlagen an der Thematik durchgeführt werden.

Unter Antibiotikaresistenz wird die Eigenschaft von Bakterien verstanden, sich gegen die Wirkung von Antibiotika zu schützen. Bei resistenten Bakterien führen ansonst bei der gleichen Art wirksame Antibiotika zu keinem Absterben oder keiner Wachstumshemmung. Resistenzen stellen natürlich vorkommende Abwehrmechanismen dar. Antibiotikaresistenzen sind oft im Erbgut codiert (Plasmide oder direkt im bakteriellen Chromosom) und können durch zahlreiche Mechanismen auch an nicht resistente andere Bakterienarten übertragen werden, was einen signifikanten Anteil der damit verbundenen Problematik ausmacht.

Die Verwendung – und übermäßige, nicht notwendige Verwendung – von Antibiotika wird als eine der Hauptursachen für die Entwicklung und Ausbreitung von Antibiotikaresistenzen angesehen, die heute als zentrale Bedrohung für das Gesundheitswesen angesehen werden. Aus diesem Grund wird nicht nur in Europa auf staatlicher und auf gemeinschaftlicher Ebene intensiv an Strategien zur Eindämmung der Resistenzausbreitung gearbeitet.

Die Bildung von Antibiotikaresistenzen ist grundsätzlich ein natürlicher Prozess, der auf der natürlichen Selektion von Resistenz-Mutationen (Veränderungen im Erbgut) beruht. Die Zunahme der Resistenzen im Humanbereich wird primär den steigenden Einsatzmengen, einem zu schnellen Einsatz, der Verordnung zu geringer Dosen sowie dem frühzeitigen Abbruch der Behandlung zugeschrieben. Besonders bedrohlich für das Gesundheitssystem sind sogenannte Multiresistenzen, bei denen Bakterien nicht nur gegen ein Antibiotikum, sondern gegen eine ganze Reihe unterschiedlich wirkender Antibiotika resistent sind, was den therapeutischen Erfolg bei der Bekämpfung von Infektionskrankheiten massiv einschränkt.

Im Zusammenhang mit der Bildung bzw. Selektion von Antibiotikaresistenzen wird vielfach das Modell des „Mutant Selektion Windows“ (Mutation selektierendes Fenster)

diskutiert. Dies ist jener Konzentrationsbereich eines Antibiotikums zwischen MIC (minimum inhibitory concentration) und MPC (mutant prevention concentration). Ab der MIC werden zwar die Bakterien ohne Resistenz abgetötet / gehemmt, die resistenten Bakterien überleben jedoch noch – und werden somit selektiert. Nur Bakterien mit Resistenz können sich noch vermehren. Liegt die Konzentration höher und über der MPC, werden auch die Bakterien mit Resistenz abgetötet / gehemmt. Zudem spielt hierbei die Expositionszeit eine große Rolle. Durch Verabreichung bzw. Anwendung zu niedriger Antibiotikakonzentrationen kann die am Zielort vorliegende Antibiotikakonzentration im Bereich des mutation-selektierenden Fensters liegen und damit zwar nicht resistente Keime abtöten, gleichzeitig jedoch das Wachstum resistenter Keime fördern.

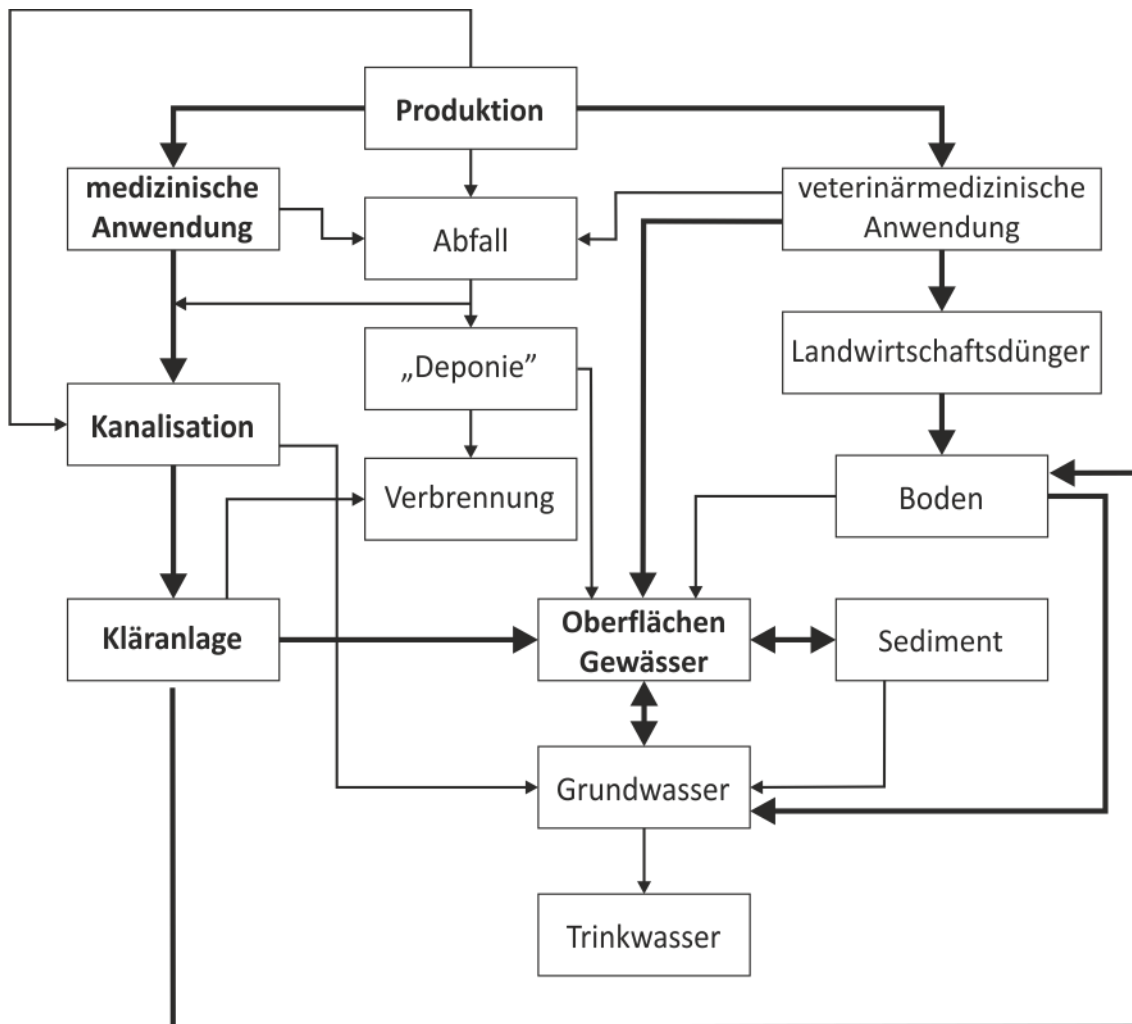


Abb. 5: Quellen und Pfade von Antibiotika und Antibiotikaresistenzen in der Umwelt (modifiziert nach Kümmerer 2003), dicke Pfeile: Hauptpfade

Primär stellt das vermehrte Auftreten von Antibiotikaresistenzen im klinischen Bereich das zentrale Problem dar, das auch primär durch die Anwendung im medizinischen Bereich selbst begründet zu sein scheint. Dennoch werden auch in der aquatischen Umwelt (Oberflächengewässer, Sedimente, Grundwasser) klinisch relevante Resistenzen nachgewiesen, die primär auf den Eintrag aus Kläranlagenabläufen (humanmedizinische Antibiotika) bzw. Landwirtschaftsdünger (veterinärmedizinische Antibiotika) zurückgeführt werden. Kümmerer (2003) beschreibt erstmals eine generelle Struktur potentieller Stoffpfade für Antibiotika in der Umwelt (siehe Abb. 5), bei der ein Rückfluss auf den Menschen über das Trinkwasser angeführt ist.

Über die Sammlung der fäkalen Abwässer aus dem kommunalen Bereich sowie der Spitäler kommt es zum Eintrag von Antibiotika und Antibiotika Resistenzen in die Kläranlage. Die Konzentrationen an Antibiotika liegen nunmehr bedingt durch die Verdünnung in einem sublethalen Bereich, der unterhalb einer therapeutischen Dosis liegt, bei der es zu einer signifikanten Wirkung der Antibiotika kommt. Dieser Konzentrationsbereich auf Kläranlagen kann jedoch noch in einem Bereich liegen, der sich innerhalb des „Mutant Selection Windows“ befindet, also jenem Bereich, in dem eine Aufrechterhaltung der Resistenzgene den Bakterien einen Selektionsvorteil verschafft (siehe Abb. 6).

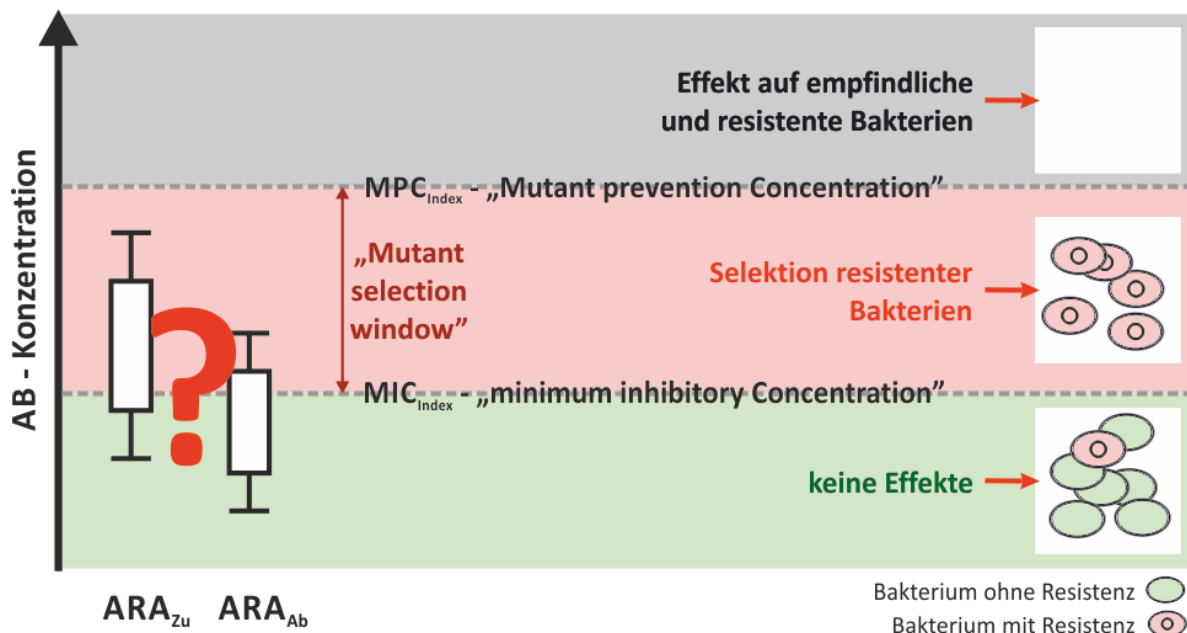


Abb. 6: Problematik des „Mutant selection windows“ im Zusammenhang mit Antibiotikakonzentrationen im Ablauf von Kläranlagen

Die humanmedizinisch relevanten Organismen weisen in der Regel unter den Umweltbedingungen einer Kläranlage (Nährstoffsituation, Temperatur, Ionenstärke) keine Vermehrung auf, können dort jedoch überleben. Deshalb werden zwar auch ohne Abwasser Desinfektion z.B. *E.Coli* oder andere Darmbakterien zwischen Zulauf und Ablauf um einige Zehnerpotenzen (log-Stufen) entfernt, sind im Ablauf konventioneller Kläranlagen jedoch nachweisbar. Für die Abwasserreinigung selbst sind sie jedoch nicht relevant. Diese wird von saprophytischen „Umweltbakterien“ bewerkstelligt, die an die Milieubedingungen der Kläranlage angepasst sind und sich unter diesen Bedingungen vermehren (Überschussschlamm). Auf der Kläranlage kommt es somit zu einem räumlichen Kontakt zwischen eingetragenen Fäkalbakterien sowie medizinisch relevanten anderen, potentiell Resistenzen tragende Bakterien mit im System Kläranlage wachsenden „Umweltbakterien“, die beide für ihre Vermehrung unterschiedliche Milieuansprüche aufweisen. Dieser räumliche Kontakt zwischen eingetragenen (resistenten) Bakterienarten, der unterschiedlichsten Antibiotika und den Umweltbakterien resultiert in einer hohen Anzahl unterschiedlicher „Mutant Selection Windows“, die wiederum dazu führen, dass ein horizontaler Gentransfer zwischen Bakterien mit Resistenzen und „Umweltbakterien“ begünstigt wird. Die Resistenzen werden somit von den unter Umweltbedingungen nicht lebensfähigen medizinisch relevanten Bakterien auf „Umweltbakterien“ übertragen, die diese Resistenzen über den Ablauf in einem „Resistenz Pool“ erhalten können. Der Erhalt der Resistenzgene dürfte jedoch nur dann längerfristig erfolgen, wenn eine selektive Wirkung durch das Vorhandensein sublethaler Antibiotikakonzentrationen bestehen bleibt, wie das im Ablauf der Kläranlage der Fall ist.

Jedenfalls war dies bis dato die angenommene Arbeitshypothese. Durch die intensive Forschung der letzten Jahre auf dem Gebiet der Antibiotikaresistenzen kristallisiert sich jedoch die Erkenntnis heraus, dass sich die Zusammenhänge zu Erhalt und Ausbreitung von Resistenzen weit komplexer darstellen. Der zentrale Mechanismus der Resistenzselektion in der Umwelt dürfte nicht das entsprechende Antibiotikum als chemische Substanz selbst sein, sondern andere für Bakterien schädliche Noxen, gegen die Abwehrmechanismen entwickelt wurden, die gemeinsam mit den „klassischen“ Antibiotikaresistenzen über die Einwirkung dieser Noxen selektiert werden. Der Schutz vor Schwermetallen, Desinfektionsmitteln oder UV-Strahlung seien hier nur beispielhaft genannt. Hier sind tatsächlich noch intensive (über reine

Monitoringstudien hinausgehende) Forschungen notwendig, um ein Verständnis über das Verhalten und die Ausbreitung von Resistenzgenen und resistenten Bakterien in der Umwelt zu erhalten.

## **7 Zusammenfassung**

Mit der permanenten Zunahme und Vertiefung des Wissens über Vorkommen, Herkunft und Wirkung von organischen Spurenstoffen, Antibiotikaresistenzen und Mikroplastik erlangt das Thema eine Breite und Komplexität, welche selbst für mit der Thematik eingehend vertrauten Personen nur mehr schwer zu überblicken ist. In unzähligen Tagungen, Kongressen und Arbeitsgruppen wird deren Bedeutung in und für die aquatische Umwelt sowie für den Menschen diskutiert. Eine zentrale Erkenntnis dieser Diskussionen ist, dass die Thematik mit einer komplexen Vernetzung unzähliger Teilaspekte einhergeht und simplifizierte Ansätze mit linearen Lösungen im Sinne eines einfachen „Pressure - Response Systems“ deutlich zu kurz greifen. Die betrachteten Stoffgruppen, deren Eigenschaften und Eintragspfade, sowie potentielle Wirkungen und Wirkweisen auf unterschiedlichsten Ebenen - von einer Zelle bis zur Population - sind viel zu heterogen, als dass traditionelle und etablierte Ansätze des Gewässerschutzes als Mechanismen ausreichend geeignet sind, das Thema in seiner Breite zu behandeln. Nur durch einen breiten interdisziplinären Austausch gelingt es heute, sich der Thematik zu nähern. Unterschiedliche Fachbereiche müssen dabei enger als bisher zusammenarbeiten und bis dato weitgehend unabhängig parallel agierende Bereiche wie etwa Chemikaliensicherheit und Wasserschutz beginnen verstärkt, ihre etablierten Vorgangsweisen zu harmonisieren und aufeinander abzustimmen. Hierbei nehmen auch die technischen Wissenschaften und das Ingenieurwesen eine zentrale Position ein, wobei diese Fachrichtung auch weitere Anforderungen wie Wirtschaftlichkeit, Betriebsstabilität und Aspekte eines Nährstoffrecyclings in ihren Lösungen mitberücksichtigen müssen. Die Abwassertechnik weist somit eine deutlich komplexere Thematik als Abfallwirtschaft oder Gewässerschutz alleine auf, da diese Bereiche zusätzlich mitberücksichtigt werden müssen.

Artikulierte gesellschaftliche Besorgnis zu qualitativen Fragen wie organische Spurenstoffe, Antibiotikaresistenzen oder Mikroplastik sind grundsätzlich ernst zu nehmen. Eine gesellschaftliche Besorgnis muss jedoch nicht unbedingt auf

wissenschaftlichen Fakten beruhen, sondern ist auch wesentlich vom subjektiven Empfinden und von persönlichen Wertvorstellungen geprägt. Dennoch gründet sich die Besorgnis oft auf wissenschaftlichen Erkenntnissen, wobei hier im Begriff „wissenschaftlich“ eine objektive, wertneutrale Fokussierung, Reproduzierbarkeit und Überprüfbarkeit der Aussagen impliziert wird. Nicht abgesicherte, ungeprüfte „Arbeitshypothesen“, die sich in weiterer Folge als falsch, konterproduktiv und ressourcenintensiv herausstellen können, sind nicht als Basis für gesellschaftliche Entscheidungen und Maßnahmen geeignet. Des Weiteren muss sich die Wissenschaft bewusst sein, dass sie über die Art und Weise der geführten Kommunikation wesentlich auf die Wahrnehmung einer Problematik in der Gesellschaft Einfluss nimmt. Die Gesellschaft fordert schließlich von der Politik Maßnahmen ein, welche die Ursachen für die eigene Besorgnis vermindern oder beseitigen sollen, indem geeignete Spielregeln (Gesetze) implementiert werden. Auf der anderen Seite muss sich die Gesellschaft jedoch der Tatsache bewusst sein, dass es keine 100% igen Sicherheiten gibt und immer ein verbleibendes Restrisiko zu akzeptieren ist. Politik und Gesellschaft müssen sich auf das Ausmaß dieses Restrisikos einigen, dessen Erreichung immer auch mit finanziellem Aufwand verbunden ist. Für das Thema der organischen Spurenstoffe, Mikroplastik und Resistenzen bedeutet dies, dass (auch wegen grundsätzlicher thermodynamischer Überlegungen) jedenfalls mit dem Vorkommen in der aquatischen Umwelt gerechnet werden muss sobald diese Substanzen von der Gesellschaft eingesetzt werden und Nullemissionen und -immissionen durch technische Maßnahmen nicht erreichbar sind. Maßnahmen technischer und organisatorischer Natur können somit ein Risiko im Sinne einer Eintrittswahrscheinlichkeit einer Schadwirkung reduzieren aber nicht ausschließen. Aus wissenschaftlicher Sicht ist zu vermerken, dass das Wissen um Zusammenhänge nie vollständig sein wird, obwohl sich der Wissensstand ständig erweitert. Ein Restrisiko über nicht erkannte Zusammenhänge und Wirkungen wird dennoch verbleiben. In Zusammenarbeit mit der Politik muss die Wissenschaft jedoch Grundlagen (Analytik, Wirkung, Risikoabschätzung, Methodik, technische Lösungen) für Entscheidungsprozesse liefern, die in einem handhabbaren – und deswegen notwendiger Weise vereinfachten – Ansatz geeignet sind, Maßnahmen und gesetzliche Rahmenbedingungen zu definieren, welche die Gesellschaft bis zum gewählten Sicherheitsstandard vor Risiken schützt und der Besorgnis der Bevölkerung

begegnet. Mit der Entwicklung neuer wissenschaftlicher Methoden und der Zunahme des Wissens um ökologische, systemische und zelluläre Zusammenhänge, die jüngst mit dem Forschungsbereich der Epigenetik eine neue Dimension erlangt hat, stellt das Herunterbrechen der Thematik auf eine umsetzbare Ebene vorerst noch eine gewaltige Herausforderung dar. Die Technik hat zur Aufgabe, die auf wissenschaftlicher Basis von der Politik festgelegten Zielvorgaben in Maßnahmen umzusetzen, sodass auch andere Bedürfnisse und Schutzziele nicht konterkariert werden.

Im Zusammenhang mit der Diskussion um technische Maßnahmen sind die Begriffe des „Vorsorgeprinzips“ und dem „Stand der Technik“ von zentraler Bedeutung. Beide haben sich in der Vergangenheit gut zur Lösung von Umweltproblemen bewährt und beide können auch auf den Bereich der organischen Spurenstoffe, von Mikroplastik und Antibiotikaresistenzen angewandt werden.

Der grundlegende Ansatz des Vorsorgeprinzips ist es, Handlungen bereits zu setzen, bevor ein volles Verständnis der Zusammenhänge gegeben ist und ein möglicher Schaden durch das Nichtsetzen von Maßnahmen hoch ist, wobei der Nachweis eines Schadens nicht erforderlich ist. Gleichzeitig ist der Nutzen der Maßnahmen hoch, während ein durch die Maßnahmen verursachter Schaden niedrig ist. Das Vorsorgeprinzip wurde zu einem Zeitpunkt etabliert, als akute stoffliche Probleme in den Gewässern dominierten. Seine „Wirkung“ im Bereich des Gewässerschutzes kann an einem konkreten Beispiel demonstriert werden. Als Reaktion auf das akute Problem der Ammoniak-Toxizität (Fischsterben) in Gewässern wurden schwachbelastete Kläranlagen mit Nitrifikation realisiert. Dies erfolgte zu einem Zeitpunkt, als Spurenstoffemissionen aus kommunalen Kläranlagen noch kein Thema waren. Nach dem Aufkommen der Thematik stellte sich heraus, dass schwach belastete Kläranlagen mit Nitrifikation auch die anfallenden Spurenstoffe teilweise sehr gut abbauen können (z.B. die natürlichen Hormone weitestgehend und die synthetischen Hormone zu einem hohen Prozentsatz), wogegen die Hochlastanlagen dies kaum vermögen. Es muss hier dennoch festgehalten werden, dass die Emissionen im Anlagenablauf selbst (ohne Verdünnung durch das Gewässer, in das eingeleitet wird) dennoch über dem heute kommunizierten NOEC bzw. dem damit assoziierten Umweltqualitätsziel liegen.

Basierend auf dieser Definition soll ein möglichst hohes Umweltschutzniveau zu vertretbaren Kosten gewährleistet werden, aber auch die Wettbewerbsgleichheit gesichert sein. Der Begriff ist somit als Rahmendefinition mit dynamischen Inhalten zu verstehen und entwickelt sich, wie die Vergangenheit gezeigt hat, in Abhängigkeit von den Zielvorgaben kontinuierlich weiter. Als Zielvorgaben eignen sich etwa Konzentrationen und/oder Entfernungsgrade von Leitsubstanzen (Indikator) oder Ergebnisse von Wirkungstests (Summenwirkung), die auch vom Vorsorgeprinzip geleitet sein können. Hieraus zeigt sich deutlich die enge Verknüpfung zwischen Zielvorgaben, Vorsorgeprinzip und dem „Stand der Technik“.

Abschließend sei auf eine Grafik (Abb. 7) des Chemical Abstracts Service (CAS), einer Unterabteilung der American Chemical Society hingewiesen, die aus der Vergabe der „CAS“ Nummern bekannt ist. In Abb. 7 ist die Zahl der bei CAS registrierten Chemikalien über den Zeitraum 1985 bis 2017 dargestellt. Die Zahlen demonstrieren eindrucksvoll die Zunahme der Komplexität unserer Gesellschaft durch den vermehrten Einsatz von Chemikalien. Infolge Produktion und Einsatz gelangen somit auch immer mehr unterschiedliche Substanzen ins Abwasser und es ist absolut unmöglich, all diese Substanzen analytisch zu erfassen; geschweige denn toxikologisch zu bewerten. Potentielle Abbau- bzw. Umbauprodukte sind hierbei noch gar nicht berücksichtigt!

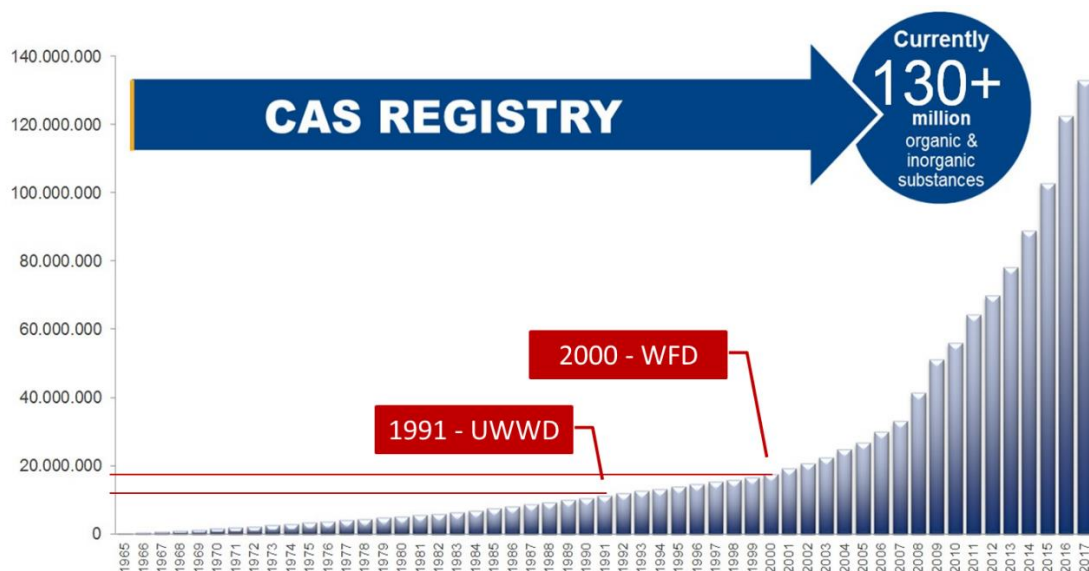


Abb. 7: Summe der bei CAS registrierten Chemikalien  
(modifiziert nach [www.cas.org](http://www.cas.org))



Neben der Zunahme der registrierten Chemikalien sind in Abb. 7 auch die Jahre der Implementierung der UWWD sowie der Wasserrahmenrichtlinie (WFD) eingezeichnet, um zu verdeutlichen, unter welchen „chemischen Rahmenbedingungen“ diese beiden zentralen EU Richtlinien implementiert wurden. Der zu ziehende Schluss: Wir leben heute in einer gänzlich anderen „chemischen Welt“, als dies bei der Ausarbeitung dieser beiden Richtlinien der Fall war. Unsere heute dem Stand der Technik folgenden Kläranlagen sind „Kinder der 1980er“. Ein Vergleich mit der Situation heute zeigt, dass eine neue Generation von Kläranlagen fällig wäre und dem Vorsorgeprinzip eine höhere Bedeutung zukommen müsste, als dies heute der Fall ist!

## Literatur

- ECHA (2019) - European Chemicals Agency. Annex XV Restriction report – Microplastics, August 2019
- Egle, L.; Zessner, M.; Rechberger, H. (2012) Phosphorbilanz Österreich. Grundlage für ein nachhaltiges Phosphormanagement – gegenwärtige Situation und zukünftige Entwicklung- 1. Zwischenbericht "Forschungsprojekt Phosphorrecycling aus dem Abwasser", 2011; 288 S.
- Kümmerer, K. (2003) Significance of antibiotics in the environment. Journal of Antimicrobial Chemotherapy 52, 5–7
- Lechner, A., Keckeis, H., Lumesberger-Loisl, F., Zens, B., Krusch, R., Tritthart, M., Glas, M., Schludermann, E. (2014) The Danube so colourful: A potpourri of plastic litter outnumbers fish larvae in Europe's second largest river. Environmental Pollution, 188, 177-181
- Schaar, H., Clara, M., Gans, O., Kreuzinger, N. (2010) Micropollutant removal during biological wastewater treatment and a subsequent ozonation step, Environmental Pollution, 158:5 1399-1404
- Välitalo, Pia & Massei, Riccardo & Heiskanen, Ilse & Behnisch, Peter & Brack, Werner & Tindall, Andrew & Du Pasquier, David & Küster, Eberhard & Mikola, Anna & Schulze, Tobias & Sillanpää, Markus. (2017). Effect-based assessment of toxicity removal during wastewater treatment. Water Research. 126. 10.1016/j.watres.2017.09.014.

### Anschrift des Verfassers:

Dr. Norbert Kreuzinger  
Technische Universität Wien  
Institut für Wassergüte und Ressourcenmanagement  
Karlsplatz 13/226-1  
1040 Wien  
norbkreu@iwag.tuwien.ac.at



# **Betriebserfahrungen mit einer weitergehenden Abwasserreinigungsstufe zur Spurenstoffentfernung**

Gereon Anders

Abwasserverband Raumschaft Lahr

## **Kurzfassung**

Seit 2015 betreibt der AV Raumschaft Lahr eine 4. Reinigungsstufe zur Elimination von Spurenstoffen. Die Stufe ist als Aktivkohleadsorptionsanlage nach dem Ulmer Verfahren konzipiert, mit dem Unterschied, dass die abschließende Filtration erstmals großtechnisch als Tuchfiltration ausgeführt wurde. Die Betriebsdaten zeigen, dass bei einer Kohledosierung von 10 mg/L die mittlere Eliminationsleistung bezüglich ausgewählter Substanzen (Spurenstoffliste des KOMS<sup>1</sup>) zwischen 80 und 90% liegt. Entsprechend neueren Untersuchungen gelingt es, mit der Tuchfiltration die Kohle zu über 98% im System zurückzuhalten. Damit ist der Tuchfilter eine kostengünstige und platzsparende Alternative zur klassischen Sandfiltration.

## **1 Die Verbandskläranlage Lahr**

Die Kläranlage Lahr ist für 100.000 Einwohnergleichwerte ausgelegt. Derzeit (Stand 2018) liegt die Belastung bei etwa 82.000 EW. Die Zuflussmenge beträgt bei Regenwetter max. 650 L/s und die biologisch gereinigte Jahresabwassermenge ca. 7 Mio. m<sup>3</sup>.

Die bisherige Verfahrenstechnik besteht aus einem Feinrechen und Sand- und Fettfang als mechanische Stufe. Die biologische Stufe ist zweistufig und besteht aus einer Hochlastbelebung und zwei Tropfkörpern (vgl. Abbildung 1).

---

<sup>1</sup> KOMS Handlungsempfehlungen für die Vergleichskontrolle und den Betrieb von Verfahrenstechniken zur gezielten Spurenstoffelimination. Stand 03/2018, [www.koms-bw.de](http://www.koms-bw.de)

## 2 Die 4. Reinigungsstufe

### 2.1 Veranlassung und Ziele

Die Kläranlage Lahr leitet ihr gereinigtes Abwasser in den Schutter-Entlastungskanal ein, der als „künstliches“ Gewässer der Hochwasserentlastung dient und dessen Wasserqualität bei Trockenwetter maßgeblich durch den Ablauf der Kläranlage bestimmt wird. Im Zuge der Neuerteilung der wasserrechtlichen Erlaubnis 2012 hat der Abwasserverband Raumschaft Lahr, als Alternative zum Bau einer mehreren Kilometer langen Abwasserleitung zum Rhein, die Errichtung einer zusätzlichen adsorptiven Reinigungsstufe auf seiner Kläranlage beschlossen, um zukünftig die Abwasserreinigung signifikant zu verbessern. Der Entscheidung vorausgegangen waren halbtechnische Untersuchungen in den Jahren 2010/2011, die gezeigt hatten, dass mit dieser Verfahrenstechnik insbesondere die Konzentrationen von Spurenstoffen in einem hohen Umfang reduziert werden können. Der Probetrieb der neuen Reinigungsstufe wurde Ende Juni 2015 aufgenommen.

### 2.2 Eingesetzte Verfahrenstechnik

Die Spurenstoffelimination erfolgt auf der Kläranlage Lahr durch die Anwendung von Pulveraktivkohle. Folgende Abbildung 1 zeigt schematisch die Einbindung der Adsorptionsstufe in den bisherigen Verfahrensprozess:

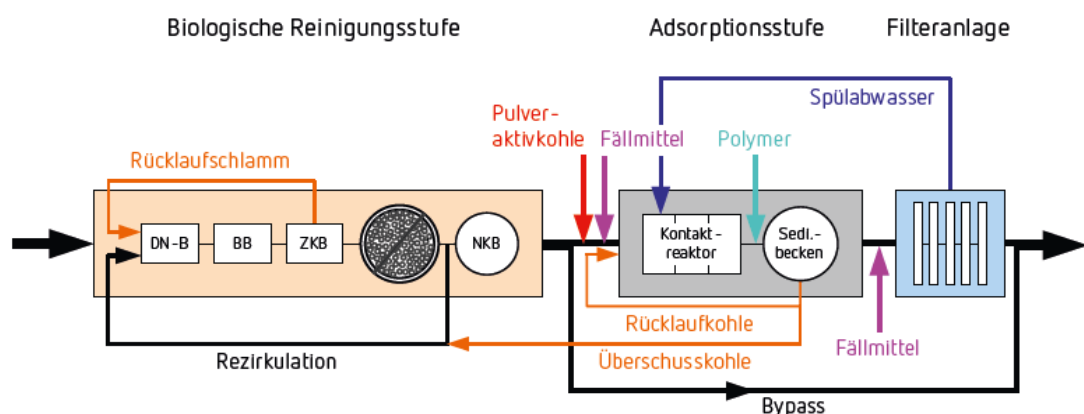


Abb. 1: Einbindung der Adsorptionsstufe und der Filteranlage in den bisherigen Verfahrensprozess<sup>2</sup>

<sup>2</sup> KOMS Steckbrief: Spurenstoffentnahme auf der Kläranlage Lahr, [www.koms-bw.de](http://www.koms-bw.de)

Die adsorptive Behandlung des Abwassers erfolgt im Wesentlichen nach der biologischen Reinigung in der Adsorptionsstufe, bestehend aus einem als 3er Kaskade ausgeführten Kontaktreaktor und einem nachgeschalteten Sedimentationsbecken. Die Ausschleusung der teilbeladenen Pulveraktivkohle aus der Adsorptionsstufe erfolgt in Form des Abzugs von »Überschussskohle«, die zur weiteren Ausnutzung dem Rezirkulationsstrom der biologischen Stufe zugegeben wird und über diesen letztlich in den Zulauf des Denitrifikationsbeckens gelangt. Die für die Feststoffabtrennung benötigte Filteranlage wurde ebenfalls neu errichtet. Ausgeführt ist diese als Tuchfilter. Damit ist die Kläranlage Lahr die erste Anlage, die nach der Adsorptionsstufe einen Tuchfilter anstelle eines klassischen Zweischichtfilters einsetzt. Die generelle Eignung der Tuchfiltration für den hier vorliegenden Anwendungsfall wurde durch halbtechnische Vorversuche auf der Kläranlage Lahr bereits bestätigt.

### 2.3 Auslegung der Adsorptionsstufe

Der maximal behandelbare Volumenstrom beträgt  $Q_{\max, \text{ads.}} = 350 \text{ L/s}$  und damit etwas mehr als 50% des biologisch behandelbaren Volumenstroms. Über das Jahr gesehen können mit dieser Auslegung 90% der Jahresabwassermenge adsorptiv behandelt werden.

#### 2.3.1 Kontaktreaktor

Der Kontaktreaktor besteht aus 3 Becken mit je  $326 \text{ m}^3$  und einem Gesamtvolumen  $V_{\text{KR}} = 978 \text{ m}^3$ .

Die minimale Aufenthaltszeit für den Bemessungszufluss beträgt  $t_{\text{A, KR}} = 47 \text{ min}$ .

#### 2.3.2 Sedimentationsbecken

Das Sedimentationsbecken hat ein Volumen  $V_{\text{Sedi.}} = 3.550 \text{ m}^3$  und eine Oberfläche  $A_{\text{Sedi.}} = 900 \text{ m}^2$

Die minimale Aufenthaltszeit für den Bemessungszufluss beträgt  $t_{\text{A, Sedi.}} = 2,8 \text{ h}$

Die maximale Oberflächenbeschickung für den Bemessungszufluss beträgt  $q_{\text{A, Sedi.}} = 1,4 \text{ m/h}$

#### 2.3.3 Tuchfiltration

Der Tuchfilter hat eine Filteroberfläche von  $180 \text{ m}^2$

Die maximale Oberflächenbeschickung für den Bemessungszufluss beträgt  $q_{A, TF} = 7 \text{ m/h}$

### **3 Betriebsergebnisse**

Ziel und Veranlassung der 4ten Reinigungsstufe ist die Spurenstoffentnahme. Insofern stellt die Messung der Spurenstoffentnahme ein wichtiges Kontrollelement für den Betrieb der Adsorptionsstufe dar. Diese Messungen sind jedoch aufwändig und teuer, weshalb die Messung der SAK<sub>254</sub>-Abnahme<sup>3</sup> ein weiterer wichtiger Parameter für die kontinuierliche Betriebsüberwachung darstellt. Die SAK<sub>254</sub>-Abnahme korreliert in aller Regel gut mit der Spurenstoffentnahme.

Ein bedeutender Nebeneffekt der Adsorptionsstufe ist die effiziente Elimination von Phosphor. Durch die Zugabe von Fällungsmittel in der Adsorptionsstufe können zuverlässig niedrige Ablaufwerte für Phosphor erreicht werden.

Ein wichtiges Kriterium für die Funktion der Filtration ist der Rückhalt der Pulveraktivkohle. Die Messung der Trübung im Ablauf der Filtration und die Messung der abfiltrierbaren Stoffe können als betriebsinterne Parameter zur Kontrolle der Filterfunktion eingesetzt werden. Die spezifische Messung des Kohleanteils im Ablauf des Filters ist mit aufwändigen Analysen verbunden. Im Rahmen eines Forschungsprojektes wurde der Kohlerückhalt der Tuchfiltration in Lahr untersucht.

#### **3.1 Ergebnisse der Spurenstoffentnahme**

Folgende Abbildung zeigt die Spurenstoffelimination in den Jahren 2016 – 2018.

---

<sup>3</sup> SAK<sub>254</sub>: Spektraler Absorptionskoeffizient bei einer Wellenlänge von 254nm

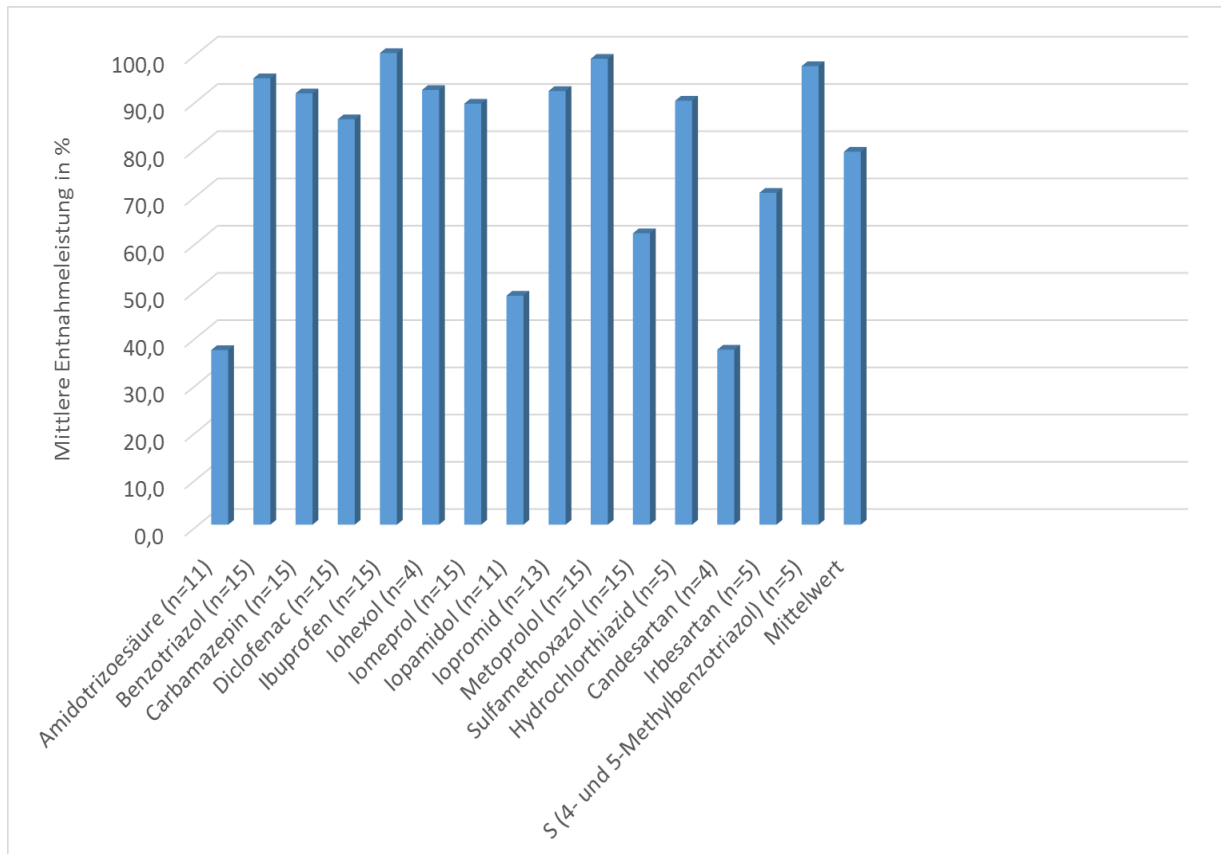


Abb. 2: Mittlere Entnahmeleistung bezogen auf den Zulauf der Kläranlage

Man kann erkennen, dass die Entnahmeleistung für viele Spurenstoffe über 80% beträgt. Andere Spurenstoffe hingegen lassen sich nur zu 20-30% aus dem Abwasser entfernen. Im Mittel liegt die Entnahme für die ausgewählten Substanzen bei etwa 78%.

Folgende Abbildung zeigt die prozentuale Abnahme des  $SAK_{254}$  als Monatsmittelwerte. Dabei muss beachtet werden, dass hier qualitativ Tage miterfasst werden, an denen ein Teilstrom nicht adsorptiv behandelt wurde.

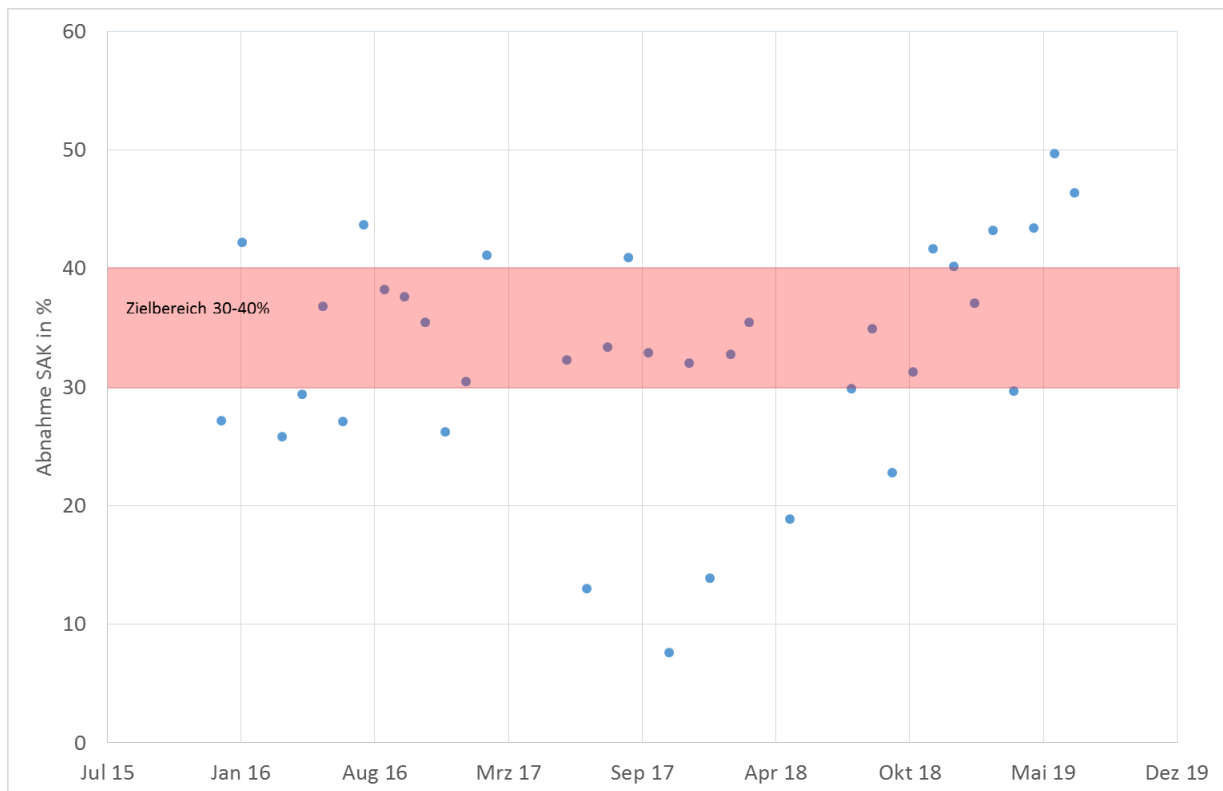


Abb. 3: Monatsmittelwerte für die prozentuale SAK<sub>254</sub>-Abnahme bezogen auf Ablauf Biologie und Ablauf Kläranlage

Man kann erkennen, dass der Zielbereich von 30-40% in der Regel erreicht wird. Besonders starke Abweichungen lassen sich im Wesentlichen auf einen hohen Anteil an nicht adsorptiv gereinigtem Abwasser zurückführen.

### 3.2 Ergebnisse der Phosphorelimination

Die Phosphorelimination stellt einen willkommenen Nebeneffekt der adsorptiven Behandlung des Abwassers dar. Um die feine Aktivkohle in sedimentierbare Flocken zu binden, werden dem Abwasser in der Adsorptionsstufe neben Aktivkohle auch ein Fällmittel und ein Flockmittel zugegeben. Die damit einhergehende Fällungsreaktion bewirkt eine sehr effiziente Phosphorelimination. Folgende Abbildung zeigt die Ablaufwerte der Kläranlage für P<sub>ges</sub> und PO<sub>4</sub>-P als Monatsmittelwerte. Dabei muss beachtet werden, dass hier qualitativ Tage miterfasst werden, an denen ein Teilstrom nicht adsorptiv behandelt wurde.



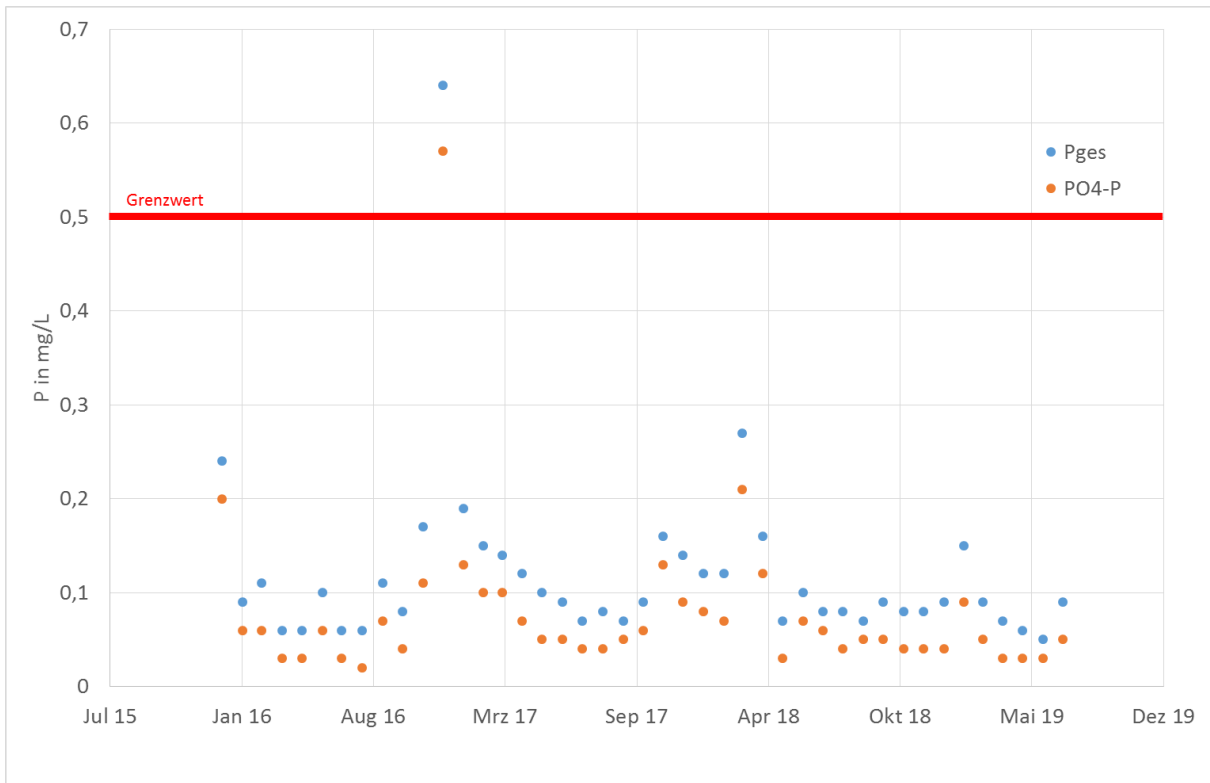


Abb.4: Monatsmittelwerte für die P<sub>ges</sub> und PO<sub>4</sub>-P Konzentrationen im Ablauf der Kläranlage

Man kann erkennen, dass die Monatsmittelwerte für P<sub>ges</sub> und PO<sub>4</sub>-P überwiegend im Bereich < 0,1 mg/L liegen. Auffällig sind dabei Spitzenwerte, die vor allem jeweils um die Jahreswenden zu verzeichnen waren. Es wurde festgestellt, dass die Fällungsreaktion in der Adsorptionsstufe bei niedrigen Temperaturen und geringen Anteilen an Niederschlagswasser nicht mehr optimal stattfindet. Der Wechsel von einem Eisen- auf ein Aluminiumprodukt hat die Situation maßgeblich verbessert. Jahreszeitliche Schwankungen sind aber nach wie vor zu verzeichnen.

Dabei wirken sich die jahreszeitlichen Unterschiede der Fällungsreaktion auch auf die Trübung und die abfiltrierbaren Stoffe aus (vgl. folgendes Kapitel).

### 3.3 Ergebnisse der Filterleistung

Die Leistung des Tuchfilters kann anhand der Messung von Trübung (online) und der Messung der abfiltrierbaren Stoffe (AFS) beurteilt werden. Eine spezifische Aussage über den Rückhalt der Kohle ist damit jedoch nur eingeschränkt möglich.

Die folgende Abbildung 5 zeigt die Ablaufwerte der Tuchfiltration bezüglich der Trübung als Monatsmittelwerte. Die Filterleistung gilt dabei als ausreichend, wenn der FNU < 1 beträgt.

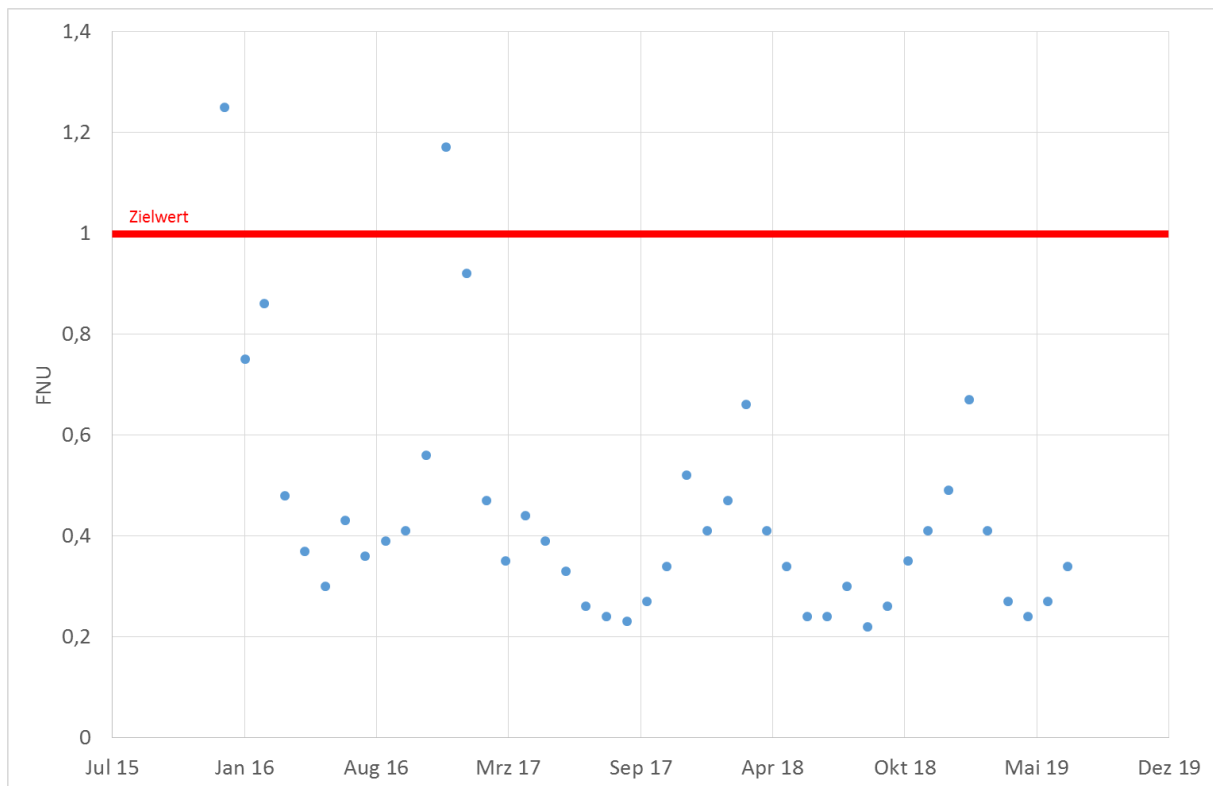


Abb. 5: Monatsmittelwerte für die Trübung im Ablauf des Tuchfilters

Man kann erkennen, dass die Monatsmittelwerte der Trübung überwiegend im Bereich um 0,4 liegen. Auffällig sind auch hier Spitzenwerte, die vor allem jeweils um die Jahreswenden zu verzeichnen waren. Auch hier zeigen sich die jahreszeitlichen Schwankungen wie sie im vorangehenden Kapitel beschrieben wurden.

Ähnlich zeigt sich die Situation für den Parameter AFS in Abbildung 6. Man kann erkennen, dass die Monatsmittelwerte der AFS überwiegend im Bereich < 2 mg/L liegen. Auch hier zeigen sich die jahreszeitlichen Schwankungen wie sie im vorangehenden Kapitel beschrieben wurden. Dabei muss beachtet werden, dass beim Parameter AFS qualitativ auch Tage erfasst werden, an denen ein Teilstrom nicht adsorptiv behandelt wurde.

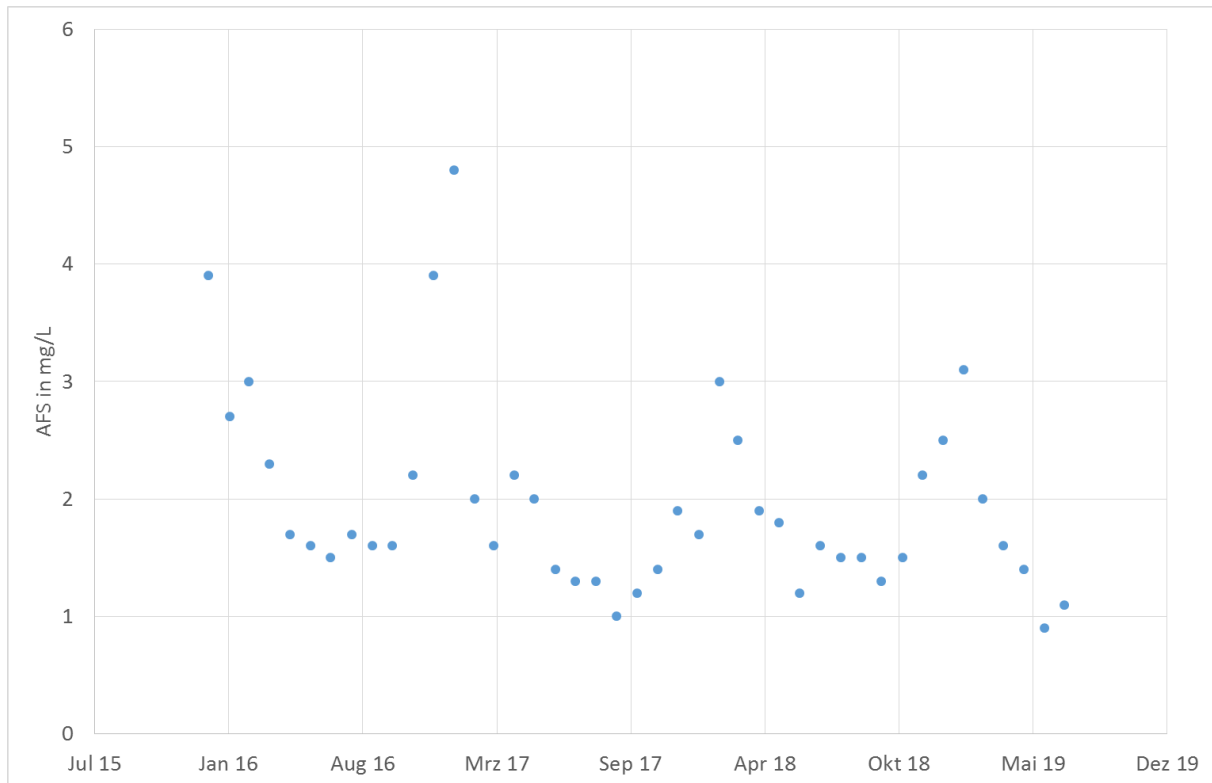


Abb. 6: Monatsmittelwerte für die AFS im Ablauf der Kläranlage

Um spezifische Aussagen bezüglich des Rückhaltes der Aktivkohle im Filtersystem machen zu können, wurde in der Schweiz ein spezielle Analyseverfahren<sup>4</sup> entwickelt, mit dem sich konkret Pulveraktivkohle PAK detektieren lässt.

Auch das Abwasser der Kläranlage Lahr wurde im Rahmen eines Forschungsprojektes mit diesen Verfahren untersucht. Der PAK-Rückhalt mit dem Tuchfilter liegt bei über 98% und damit in derselben Größenordnung wie bei klassischen Sandfiltern und anderen Verfahren.

<sup>4</sup> „Aktivkohle-Schlupf aus Reinigungsstufen zur Elimination von Mikroverunreinigungen“  
Projektbericht an den Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute, Plattform „Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen“

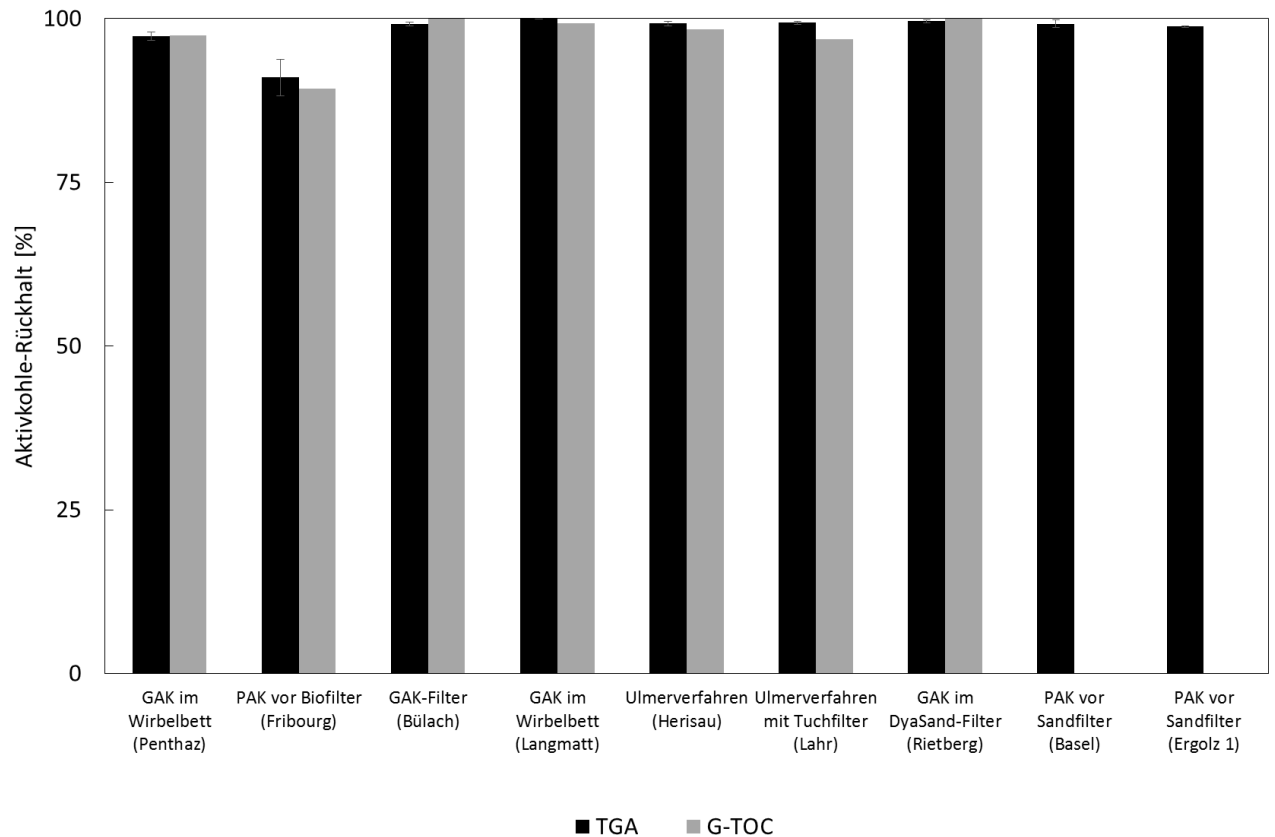


Abb. 7: Vergleich des Kohlerückhalts bei verschiedenen Verfahren mit Aktivkohleadsorption<sup>4</sup>

Damit konnte nachgewiesen werden, dass der Tuchfilter eine effektive Alternative zu der klassischen Sandfiltration darstellt.

#### 4 Fazit

Die 4. Reinigungsstufe in Lahr erfüllt die gesetzten Erwartungen vollständig. Bei einer Dosierung von 10 mg/L Pulveraktivkohle beträgt die Eliminationsleistung bezogen auf die Spurenstoffliste des KOMS im Mittel etwa 80%.

Ein weiterer Aspekt der Adsorptionsstufe ist die deutliche Verbesserung der Phosphorablaufwerte. In aller Regel werden Ablaufwerte für Pges < 0,1 mg/L erreicht. Dabei wird in Lahr in der Summe nicht mehr Fällungsmittel dosiert als zuvor alleine in der Simultanfällung zum Erreichen eines Ablaufwertes von etwa 0,4 mg/L dosiert

wurde. Gerade im Hinblick auf steigende Anforderungen bezüglich Phosphor ist dies ein wichtiger Aspekt.

Es gibt jahreszeitliche Schwankungen des Betriebes, die auf eine Temperatur- und Leitfähigkeitsabhängigkeit zurückzuführen sind. Mit einer geeigneten Wahl der Fällungsreagenzien lässt sich das Phänomen jedoch beherrschen.

Sowohl die betriebsinternen Analysen als auch externe Untersuchungen zeigen, dass der Tuchfilter in der Lage ist, die Pulveraktivkohle effizient zurückzuhalten. Die Ergebnisse bestätigen, dass der Tuchfilter in dieser Hinsicht eine vollwertige Alternative zum klassisch eingesetzten Sandfilter darstellt. Dabei punktet der Tuchfilter durch geringe Investitions- und Energiekosten und einen geringen Platzbedarf.

## **Literatur**

Krahnstöver, T.; Wintgens, T. (2018): „Aktivkohle-Schlupf aus Reinigungsstufen zur Elimination von Mikroverunreinigungen“, Projektbericht an den Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute, Plattform „Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen“, Institut für Ecopreneurship, Hochschule für Life Sciences, Fachhochschule

### Anschrift des Verfassers:

Dr. Ing. Gereon Anders  
AV Raumschaft Lahr  
Limbruchweg 14  
77933 Lahr  
gereon.anders@av-lahr.de



# **Betriebserfahrungen mit einer UV-Abwasserdesinfektion zur Minimierung der hygienischen Gewässerbelastung**

Bernhard Böhm

Münchner Stadtentwässerung



## **Gliederung**

- **Einführung**
  - Hygienische Gewässerbelastung
  - Situation an der Isar und Nebenflüssen
  
- **UV-Desinfektion**
  - Wirkungsweise
  - Technische Umsetzung
  
- **UV-Desinfektionsanlage KLW München II**
  - Beschreibung der Anlage
  - Betriebsergebnisse

## Hygienische Gewässerbelastung

Münchner  
Stadtentwässerung

### Belastungsquellen

Siedlungsentwässerung

Regenüberlauf

Diffuse Einträge

Mischwasserentlastung

Kläranlage

Landwirtschaft, Wasservögel

- Für die Beurteilung der Eignung eines Gewässers als Badegewässer muss die Gesamtsituation der hygienischen Gewässerbelastung betrachtet werden

3

## Hygienische Gewässerbelastung

Münchner  
Stadtentwässerung

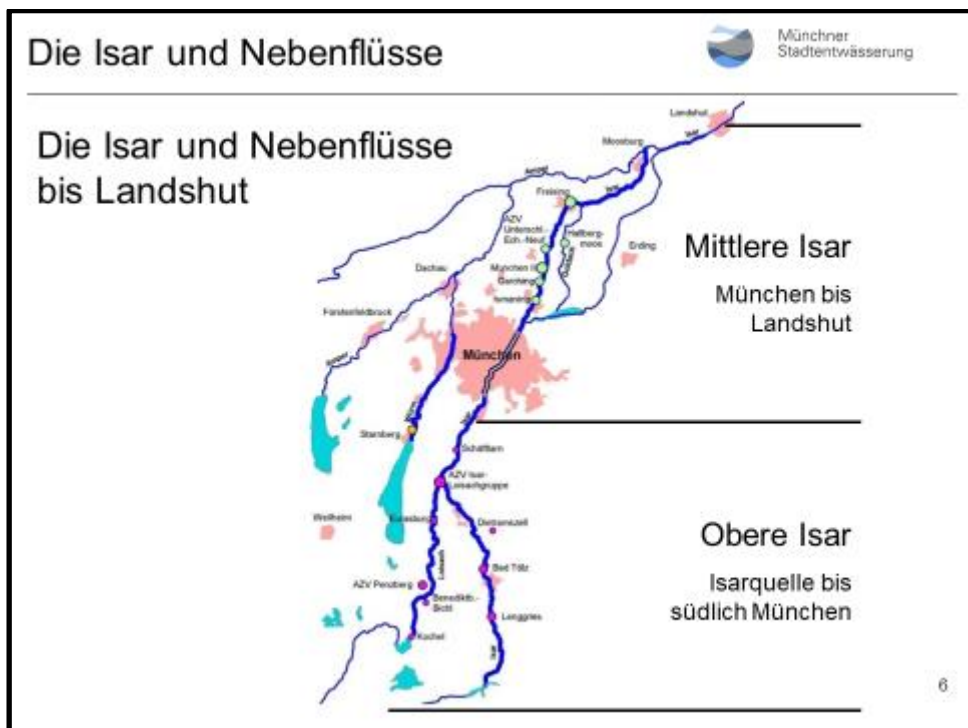
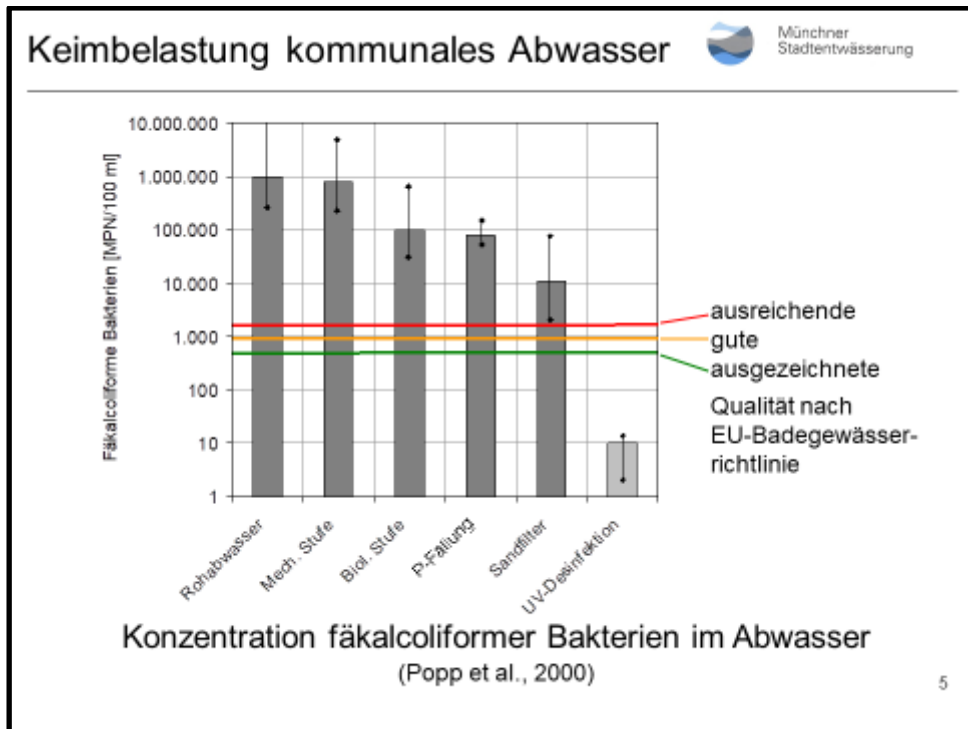
### EU-Badegewässerrichtlinie 2006

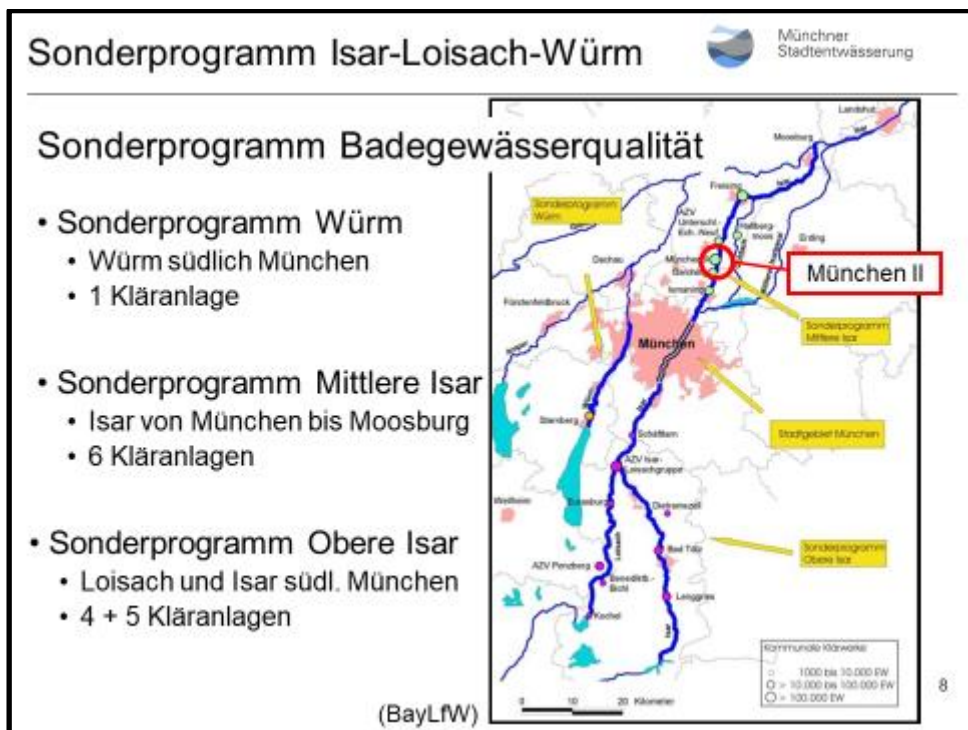
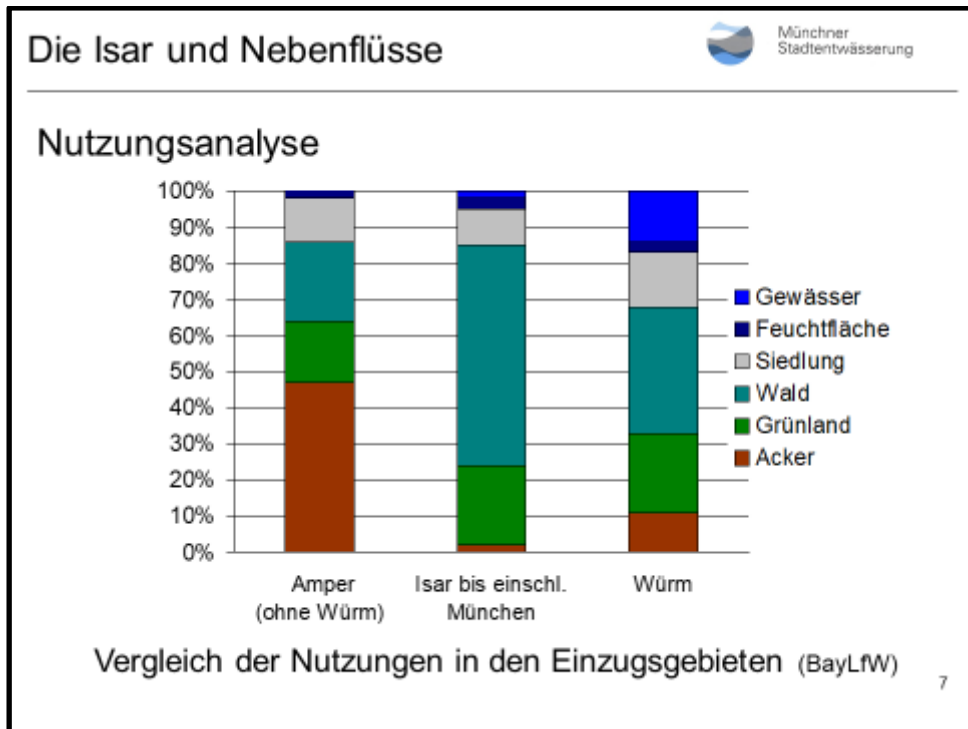
Mikrobiologischer Parameter		Ausgezeichnete Qualität	Gute Qualität	Ausreichende Qualität
Intestinale Enterokokken	cfu/100 ml	200 (95)	400 (95)	330 (90) 660 (95)
Escherichia coli	cfu/100 ml	500 (95)	1.000 (95)	900 (90) 1.800 (95)

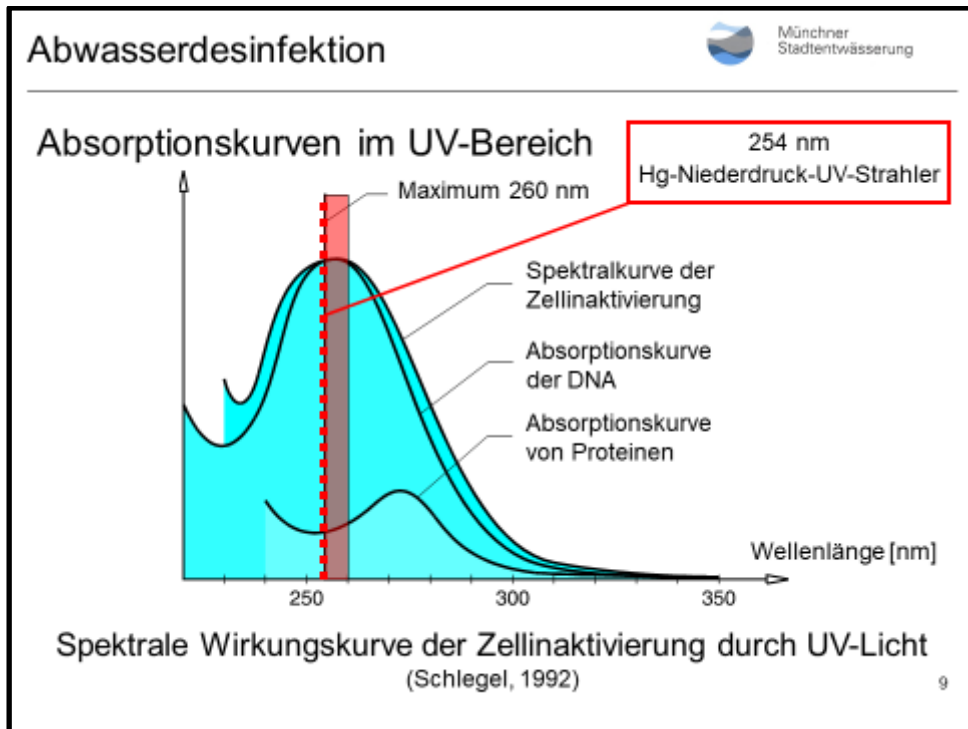
Anforderungen für Binnengewässer

4









**Abwasserdesinfektion** Münchner  
Stadtentwässerung

---

**UV-Bestrahlung – Technische Umsetzung**

Besondere Randbedingung:  
Geforderte Keimreduzierung 99,9 – 99,99 %


↓

Bereits ein minimaler Bypass- oder Leckstrom  
von 0,1 – 0,01 % verhindert den Gesamterfolg

DIN 19569-4:  
Kläranlagen - Baugrundsätze für Bauwerke und technische Ausrüstungen  
Teil 4: Besondere Baugrundsätze für gehäuselose Absperrorgane

Tabelle 1, Klasse 4:    0,02 - 0,05 l/(s·m<sub>Dichtlinie</sub>)  
                                  72 - 180 l/(h·m<sub>Dichtlinie</sub>)

10


Abwasserdesinfektion 

---

### UV-Bestrahlung – Technische Umsetzung

Hoher Wirkungsgrad

- hohe Lichtdurchlässigkeit
- minimaler Leckstrom
- Keine Kurzschlussströmung
- Keine Strömungstoträume



- Freispiegelgerinne
- Wasserspiegel geregelt
- Hg-Strahler parallel zur Strömungsrichtung
- UV-Bestrahlungsdosis typisch 400 – 600 J/m<sup>2</sup>

11

Abwasserdesinfektion 

---

### UV-Bestrahlung – Technische Umsetzung


HG-Niederdruckstrahler



Bank mit 8 Modulen à 18 Lampen

12

Desinfektion Klärwerk München II  Münchner Stadtentwässerung




2005

- 1.000.000 EW
- $Q_{t,min}$  0,5 m<sup>3</sup>/s
- $Q_t$  3,33 m<sup>3</sup>/s
- $Q_{m,max}$  6 m<sup>3</sup>/s

Klärwerk München „Gut Marienhof“

13

Desinfektion Klärwerk München II  Münchner Stadtentwässerung

Technische Auslegungsdaten

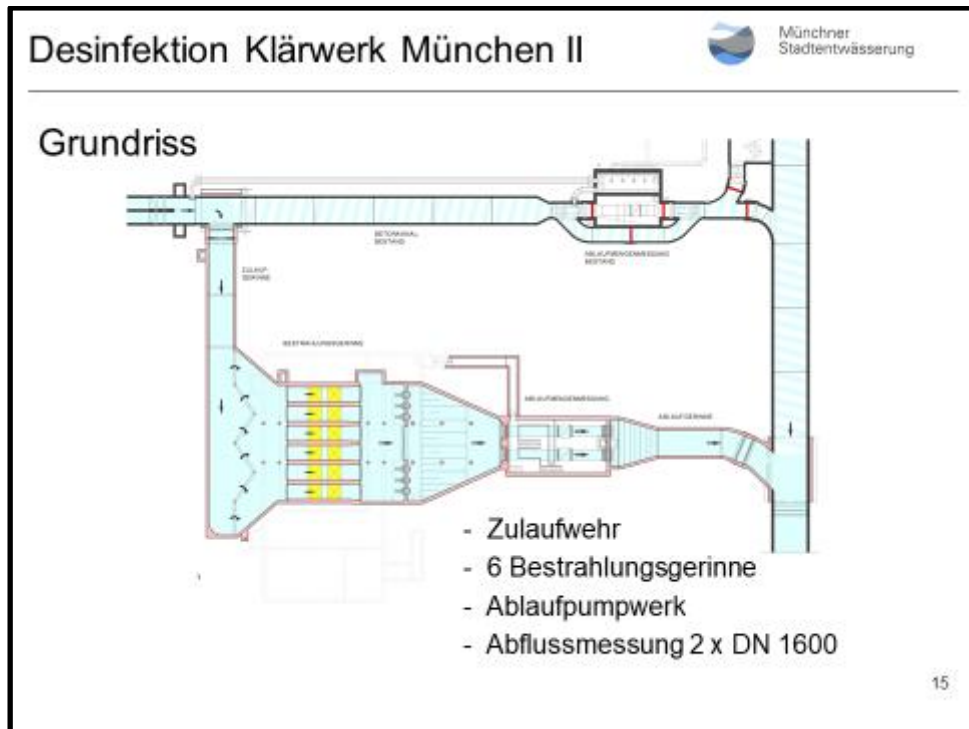
- Abwasserabfluss bei Trockenwetter 3,33 m<sup>3</sup>/s
- max. Abwasserabfluss bei Mischwasser 6,00 m<sup>3</sup>/s
- abfiltrierbare Stoffe nach Sandfilter < 3 mg/l
- Transmission Ablauf Kläranlage > 70 % pro cm

- Aufteilung 6 Gerinne à max. 1 m<sup>3</sup>/s
- Mindest-UV-Bestrahlungsdosis 450 J/m<sup>2</sup>
- Gesamtanzahl der Niederdruckstrahler 1.296 Stück
- Gesamt installierte Nennleistung ca. 450 kW

14





## Desinfektion Klärwerk München II

Münchner  
Stadtentwässerung

### Bestrahlungseinheit



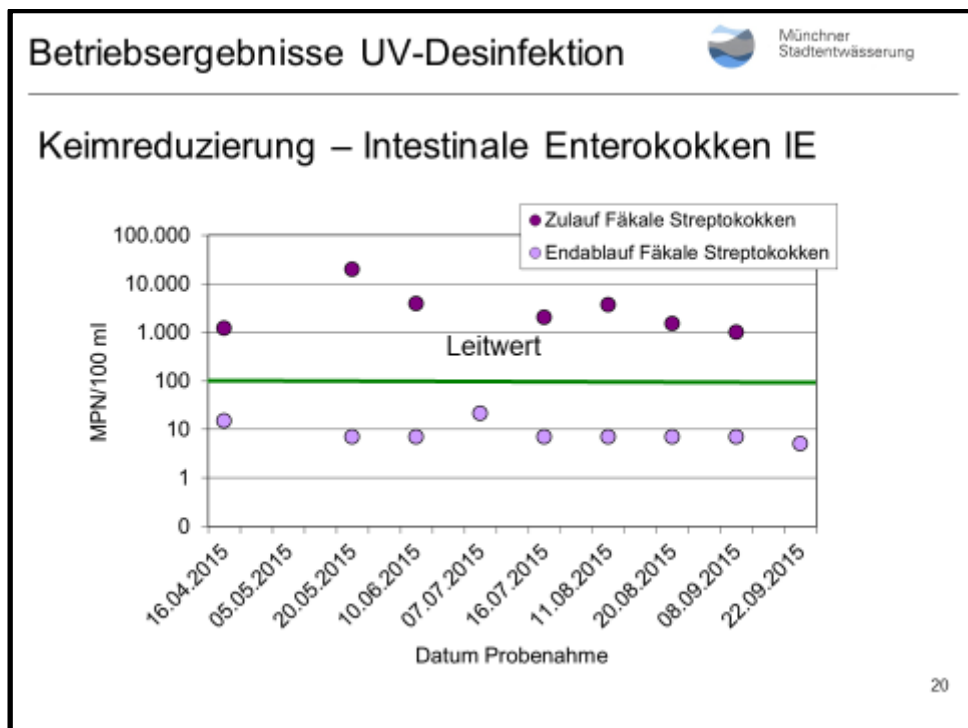
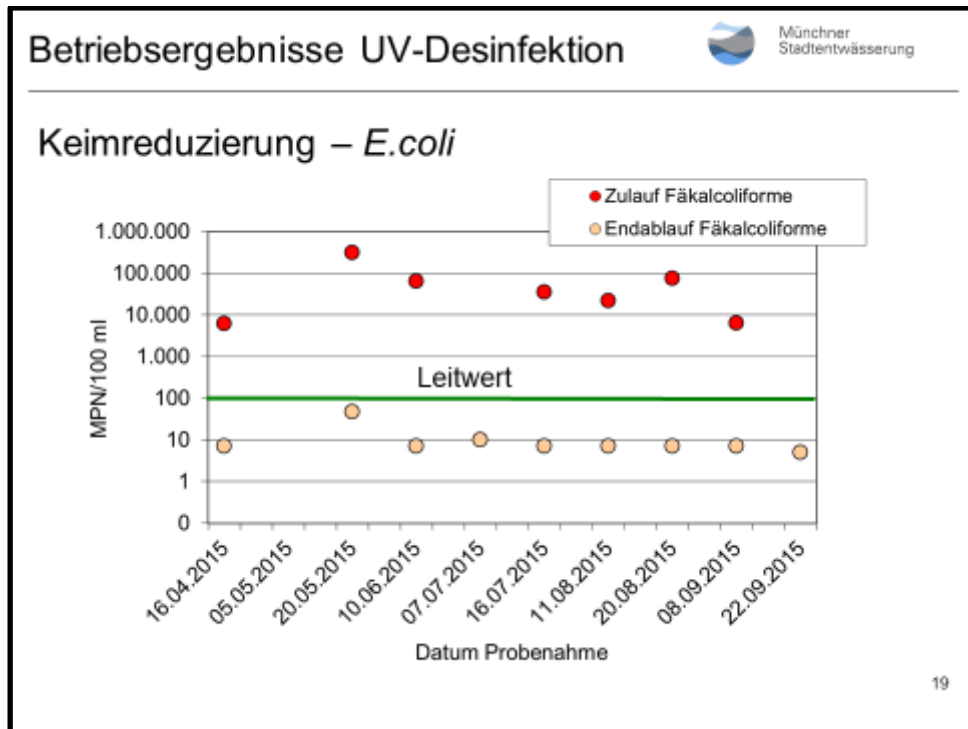
17

## Betriebsergebnisse UV-Desinfektion

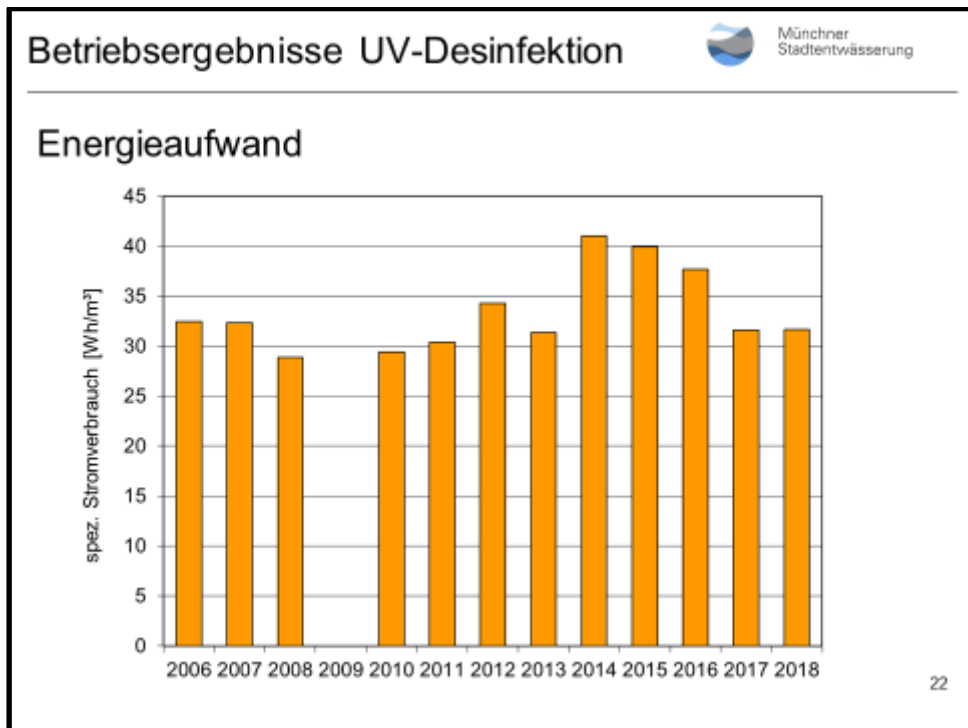
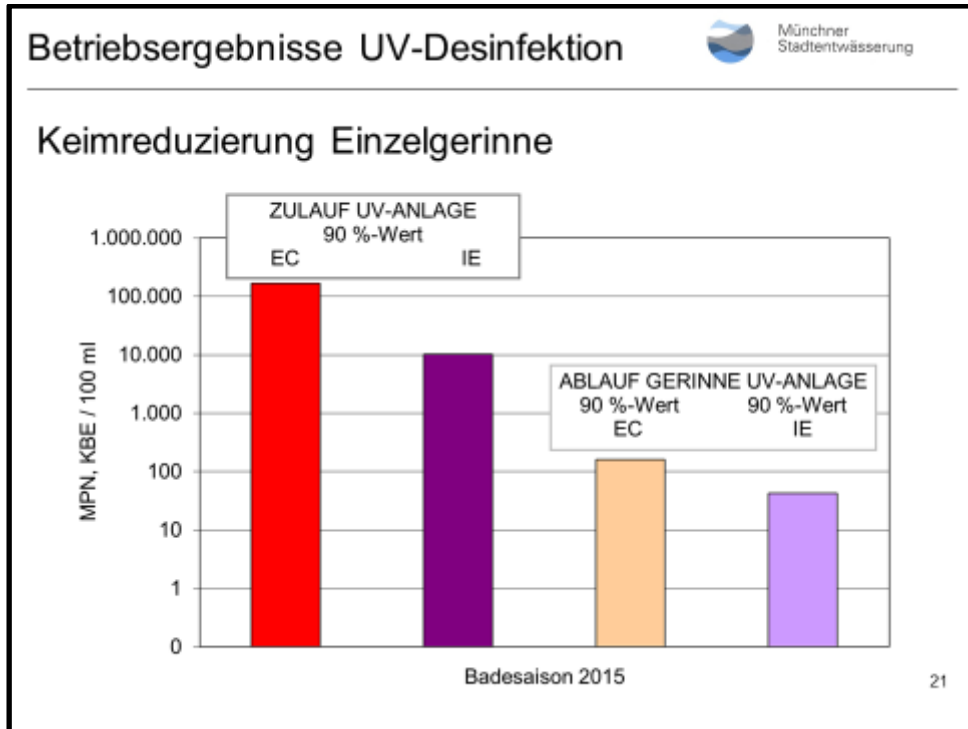
Münchner  
Stadtentwässerung

- „Badesaison“ an der Isar 15. April bis 30. September
- Betrieb der Desinfektionsanlagen nur während der Badesaison
- Kein Betrieb bei Hochwasser der Isar
- Im Winterhalbjahr Durchführung von Reinigungs-, Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen
- Desinfizierte Abwassermenge im Klärwerk Gut Marienhof im langjährigen Mittel:
  - 30 Mio. m<sup>3</sup>/a
  - 180.000 m<sup>3</sup>/d
  - 7.440 m<sup>3</sup>/h
  - 2,1 m<sup>3</sup>/s

18







## Betriebsergebnisse UV-Desinfektion



### Wartung und Instandhaltung

- Während der Badesaison geringer Wartungsaufwand
- Nach Abschluss der Saison vollständige Reinigung und Wartung der Anlage erforderlich (Gerinne und Strahler)
- Erheblicher Instandhaltungsaufwand der elektrischen Anlagen
- Nach 12.000 Betriebsstunden Austausch der Strahler
- Gesamter Personalaufwand für Wartung/Instandhaltung rund zwei Mannjahre (eigenes Personal) sowie einige Mannwochen Fremdpersonal (Hersteller)

23

## Betriebsergebnisse UV-Desinfektion



### Wartung und Instandhaltung



Verschmutztes  
Desinfektions-  
gerinne nach  
der Badesaison

24

## Betriebsergebnisse UV-Desinfektion

Münchner  
Stadtentwässerung

### Wartung und Instandhaltung

Einbau der gereinigten Strahler



25

The image shows two workers in a technical environment. One worker, wearing a grey shirt and dark overalls, is leaning over a metal frame. The other worker, in a blue jacket and cap, is working on a component of the frame. The frame appears to be part of a UV disinfection system, with various pipes and electrical connections visible. The background shows a concrete floor and some industrial equipment.

## Auswirkungen auf die Isar

Münchner  
Stadtentwässerung

Badesaison 15. April – 30. September



Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit

26

The image is an aerial photograph of a large, crowded swimming area on the Isar river. The water is a vibrant green color, and the surrounding area is filled with people, many of whom are sitting on towels or blankets on the grass. The background shows a dense line of trees under a clear blue sky. The text 'Badesaison 15. April – 30. September' is overlaid at the top, and 'Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit' is overlaid at the bottom.

Anschrift des Verfassers:

Dr.-Ing. Bernhard Böhm  
Abteilungsleiter Betrieb / Leitender Baudirektor  
Landeshauptstadt München  
Münchner Stadtentwässerung  
Friedenstraße 40  
81671 München  
bernhard.boehm@muenchen.de

# **Aktuelle Zustandsbewertung der Fließgewässer und daraus resultierende Konsequenzen für die Siedlungswasserwirtschaft**

Roland Marthaler

Gesellschaft für angewandte Ökologie und Umweltplanung mbH (GefaÖ), Wiesloch

## **Kurzfassung**

Das Inkrafttreten der EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) im Jahr 2000 hat zu tiefgreifenden Veränderungen hinsichtlich der Methodik der Zustandsbewertung der Fließgewässer geführt. Neben dem Makrozoobenthos, einer Indikatorgruppe für den saprobiellen Zustand, wurden weitere biologische Qualitätskomponenten in die Bewertung mit einbezogen, um differenzierte Aussagen über die verschiedenen Einflussfaktoren, wie die strukturellen Verhältnisse, hydraulischer Stress, Versalzung, Wärmeeinträge und insbesondere Nährstoffbelastungen, treffen zu können. Die Qualitätskomponenten werden einzeln mittels komplexer Auswerteverfahren bewertet. Auf Basis der Ergebnisse für die untersuchten Strecken wird den einzelnen biologischen Qualitätskomponenten eine Zustandsklasse innerhalb eines 5-stufigen Klassensystems (sehr gut, gut, mäßig, unbefriedigend, schlecht) zugeordnet. Das Bewertungssystem orientiert sich an den typspezifischen biologischen Referenzzuständen. Die schlechteste Bewertung der Qualitätskomponenten bestimmt die Gesamtbewertung („worst-case“-Prinzip).

Die Beurteilung des chemisch-physikalischen Fließgewässerzustands erfolgt anhand der Oberflächengewässerverordnung (OGewV 2016). Sie dient unter anderem der Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG) (EU 2000) sowie der Umsetzung der Richtlinie 2008/105/EG (Umweltqualitätsnormen im Bereich der Wasserpolitik bzw. deren nationale Umsetzung) (EU 2008). Die Neufassung aus dem Jahr 2016 setzt die Richtlinie 2013/39/EU (EU 2013) in deutsches Recht um. Die OGewV enthält aktuell Anforderungen für allgemeine physikalisch-chemische Parameter, Nährstoffe sowie für 67 flussgebietsspezifische und 45 prioritäre Stoffe.

Ziel der WRRL ist es für alle Oberflächenwasserkörper, mindestens den „guten ökologischen Zustand“ und den „guten chemischen Zustand“ zu erreichen.

Die aktuelle Bestandsaufnahme im Zwischenbericht 2018 zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie ergab, dass sich derzeit lediglich 7,4% der Oberflächenwasserkörper (Fluss-, und Seenwasserkörper) in einem „guten ökologischen Zustand“ befinden bzw. das „gute ökologische Potenzial“ erreichen. Der gute chemische Zustand wird aufgrund der ubiquitären Schadstoffe, wie Quecksilber und teilweise PAK, flächendeckend verfehlt.

Aufgrund des hohen abwassertechnischen Sanierungsbedarfs, der aus den strengen Anforderungen der WRRL resultiert, ergeben sich für die Siedlungswasserwirtschaft umfangreiche und vielfältige Aufgaben, deren Umsetzung sich bis weit in den 3. Bewirtschaftungszyklus (2021 bis 2027) erstrecken dürfte. Neben baulichen Maßnahmen oder Erweiterungen zur Optimierung der Regenwasserbehandlung, dem Anschluss kleiner sanierungsbedürftiger Kläranlagen (vor allem an abflussschwachen Vorflutern) an leistungsstarke Zentralkläranlagen sowie die technische Ausstattung der RÜB mit Messeinrichtungen stellt die weitere Reduzierung der Nährstoffgehalte (insbesondere Phosphorverbindungen) sowie auch der organischen Schadstoffe und deren Metaboliten in den Abwässern eine große Herausforderung für die Siedlungswasserwirtschaft in den nächsten Jahren dar.

## **1 Bewertung und Zustand der Fließgewässer bis 2005**

Die erste Gewässergütekarte für die Fließgewässer Baden-Württembergs wurde im Jahr 1968 veröffentlicht und danach bis 2005 im Abstand von jeweils etwa 5 Jahren. Allen Gütekarten lag das gleiche Bewertungsprinzip zugrunde. Die Bewertung erfolgte weitestgehend auf Basis der biologisch-ökologischen Indikation mittels des Saprobien-systems gemäß der DIN 38410 (2004, letzte Revision). Indiziert wird hiermit die Belastung mit biologisch abbaubaren organischen Abwasserinhaltsstoffen und deren Abbauprodukten, die sich letztlich auf den Sauerstoffhaushalt des Gewässers auswirken (LUBW 2005). Als alleinige biologische Indikatorgruppe für dieses Verfahren dient das Makrozoobenthos. Untergeordnet werden auch physiographische und chemische Merkmale bzw. Befunde mit einbezogen.

Infolge zunehmender Verbesserungen der Abwasserreinigung hinsichtlich der sauerstoffzehrenden Inhaltsstoffe verbesserte sich der Zustand der Fließgewässer in

Baden-Württemberg diesbezüglich seit 1968 sukzessive. Im Jahr 1997 wiesen 76% und im Jahr 2004 sogar 88% der untersuchten Gewässerstellen innerhalb des 7-stufigen Bewertungssystems die Güteklasse 3 (mäßig belastet) oder besser auf und erfüllten somit die damalige Zielsetzung der Landesregierung. Im Jahr 1968 war dies nur bei etwa 41% der Untersuchungsstellen der Fall (LUBW 1998, 2005).

## **2 Fließgewässerbewertung gemäß EG-WRRL**

Mit Inkrafttreten der EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) im Jahr 2000 wurden in Baden-Württemberg seit dem Jahr 2005 keine weiteren Gewässergütekarten im klassischen Sinne mehr veröffentlicht. Hauptgrund war das völlig neue und deutlich erweiterte Bewertungsverfahren, das aus der WRRL resultierte.

Für die Bewertung des Fließgewässerzustands werden auf Basis der WRRL neben dem Makrozoobenthos weitere Indikatorgruppen (biologische Qualitätskomponenten) herangezogen. Hierbei handelt es sich um Makrophyten (höhere Wasserpflanzen, Moose, Armleuchteralgen), Diatomeen (Kieselalgen), Phytobenthos (Aufwuchsalgen), Fische und, in staugeprägten Fließgewässern, zusätzlich auch um Phytoplankton (frei im Wasser schwebendes pflanzliches Plankton). Anhand der neu hinzugekommenen Qualitätskomponenten ist es nunmehr besser möglich, neben dem saprobiellen Zustand, weitere über längere Zeit bestehende Einflussfaktoren, wie hydraulischen Stress, Versalzung, Wärmeeinträge und insbesondere Nährstoffbelastungen, zu indizieren.

Für jede biologische Komponente existieren jeweils spezifische Vorgaben der WRRL hinsichtlich der Methodik der Probenahme und den Auswerteverfahren.

Die Bewertung der biologischen Qualitätskomponenten erfolgt jeweils anhand eines allgemeingültigen 5-stufigen Bewertungssystems und orientiert sich an den typspezifischen biologischen Referenzzuständen (Pottgiesser & Sommerhäuser 2008, UBA 2014). Ausgangsbasis hierfür ist eine biozönotisch begründete Gewässertypologie. Der Grad der Abweichung der rezent vorhandenen Biozönose von der in diesem Gewässertyp anzunehmenden anthropogen unbeeinflussten Biozönose (Referenz) bestimmt die ökologische Zustandsklasse. Für die Gesamtbewertung werden die Zustandsbewertungen für die einzelnen Komponenten berücksichtigt. Dabei bestimmt die schlechteste Bewertung der Qualitätskomponenten die Gesamtbewertung („worst-case“-Prinzip).

Die Bewertung des chemisch-physikalischen Fließgewässerzustands erfolgt anhand der Oberflächengewässerverordnung (OGewV 2016). Sie dient unter anderem der Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG) (EU 2000) sowie der Umsetzung der Richtlinie 2008/105/EG (Umweltqualitätsnormen im Bereich der Wasserpolitik bzw. deren nationale Umsetzung) (EU 2008). Die Neufassung aus dem Jahr 2016 setzt die Richtlinie 2013/39/EU (EU 2013) in deutsches Recht um. Die OGewV enthält aktuell Anforderungen für allgemeine physikalisch-chemische Parameter, Nährstoffe sowie für 67 flussgebietspezifische und 45 prioritäre Stoffe. Mittels der chemischen und biologischen Qualitätskomponenten erfolgt die Bewertung sogenannter Flusswasserkörper (kleinste zu bewirtschaftende Einheiten). In Baden-Württemberg sind insgesamt 164 dieser Wasserkörper ausgewiesen. Ziel der WRRL ist es, alle Wasserkörper spätestens bis zum Jahr 2027 in einen mindestens „guten ökologischen Zustand“ (für natürliche Fließgewässer) bzw. in ein „gutes ökologisches Potenzial“ (für erheblich veränderte Wasserkörper) sowie in einen „guten chemischen Zustand“ zu versetzen.

### **3 Aktueller Zustand der Fließgewässer Baden-Württembergs**

Laut dem Zwischenbericht 2018 zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie (MUKE BW 2019) befinden sich derzeit lediglich 7,4% der Oberflächenwasserkörper (Fluss-, und Seenwasserkörper) in einem „guten ökologischen Zustand“ bzw. erreichen das „gute ökologische Potenzial“. Der gute chemische Zustand wird aufgrund der ubiquitären Schadstoffe, wie Quecksilber und teilweise PAK, flächendeckend verfehlt. Lässt man diese Schadstoffe außer Betracht, würden allerdings 85,3% den „guten chemischen Zustand“ erreichen.

### **4 Anforderungen an die Siedlungswasserwirtschaft**

Infolge der erhöhten Anforderungen der WRRL an die Qualität der Fließgewässer (Wasserkörper) ist das „Immissionsprinzip“ bezogen auf die Abwassereinleitung gegenüber dem „Emissionsprinzip“ in den Vordergrund getreten. Die übergeordnete Fragestellung lautet nunmehr: Wie müssen die einzuleitenden Abwässer beschaffen sein, um den mindestens „guten ökologischen bzw. guten chemischen Zustand“ des Vorfluters (auf lokaler Ebene) oder des betroffenen Wasserkörpers weiterhin zu



gewährleisten bzw. ihn, bei Nichterreichen des „guten ökologischen und chemischen Zustands“, entsprechend zu verbessern?

Maßnahmen, die für das Erreichen des „guten Zustands“ erforderlich sind, enthalten die von den Flussgebietsbehörden (Regierungspräsidien) erarbeiteten Bewirtschaftungspläne und Maßnahmenprogramme für die verschiedenen Flussgebiete. Die Pläne werden alle fünf Jahre fortgeschrieben. Derzeit läuft der zweite Bewirtschaftungszyklus (2016-2021). Als wesentliche Handlungsfelder für die Bewirtschaftung der Fließgewässer werden im Zwischenbericht 2018 zur Umsetzung der WRRL nach wie vor die hydromorphologischen Defizite, die Nährstoffeinträge über diffuse Quellen und Punktquellen sowie die Belastungen durch ubiquitäre und andere Schadstoffe genannt.

Von den in den Bewirtschaftungsplänen 2009 und 2015 genannten „Punktquellen“ (kommunale und industrielle Kläranlagen, Regenwasseranlagen) wurden zwischen 2010 und 2018 an 182 kommunalen Kläranlagen Maßnahmen zur Verbesserung der Abwasserbehandlung bereits durchgeführt, an 25 Kläranlagen befinden sich Maßnahmen in der Umsetzung, für weitere 36 Anlagen sind Optimierungsmaßnahmen bis zum Jahr 2021 vorgesehen. Für alle Kläranlagen > 5.000 Einwohnerwerten (GK 3-5) wurden in der 1. Stufe Mindestkriterien festgelegt, die zur Verringerung der Phosphoreinträge führen sollen. Hinsichtlich der Regenwasserbehandlungsanlagen (RÜ, RÜB) wurden bis heute 452 Maßnahmen (Erweiterung, Neubau) durchgeführt, 19 befinden sich in der Umsetzung und 262 Maßnahmen sind geplant (MUKE BW 2019).

Neben den in den Bewirtschaftungsplänen als sanierungsbedürftig klassifizierten größeren Kläranlagen und Regenwasserbehandlungsanlagen gibt es eine Reihe weiterer Anlagen (insbesondere kleine Kläranlagen, GK 1 und 2, sowie RÜB), die im Rahmen der Erstellung von „Gewässerökologischen Gutachten“, vor allem an kleineren Fließgewässern, in den letzten Jahren identifiziert wurden. Die Erstellung eines gewässerökologischen Gutachtens ist vorgesehen, wenn neue wasserrechtliche Erlaubnisse für Abwassereinleitungen beantragt werden oder alte Rechte auslaufen und verlängert werden müssen. Grundlage für die Erstellung solcher Gutachten ist, unter Berücksichtigung der Vorgaben der WRRL, der Leitfaden „Gewässerbezogene Anforderungen an Abwassereinleitungen“ (LUBW 2015), der nicht nur für die

Wasserbehörden, sondern auch für Gewässerökologen und die im Abwasserbereich tätigen Ingenieure verfasst wurde.

Aufgrund des hohen abwassertechnischen Sanierungsbedarfs, der aus den strengen Anforderungen der WRRL resultiert, ergeben sich für die Siedlungswasserwirtschaft umfangreiche und vielfältige Aufgaben, deren Umsetzung sich bis weit in den dritten Bewirtschaftungszyklus (2021 bis 2027) erstrecken dürfte. Bis heute sind 92,6 der Oberflächenwasserkörper nicht in einem „guten ökologischen Zustand“ und verfehlen somit das vorgegebene Ziel der WRRL. Wesentliche Gründe für die ungünstige Bilanz sind u. a. stoffliche und hydraulische Belastungen durch Abwassereinleitungen. Hinsichtlich der Belastungssituation mit Nährstoffen steht Phosphor derzeit im Vordergrund. Die Anforderungen an die Phosphorgehalte in Fließgewässern (Flusswasserkörpern) sind durch das Inkrafttreten der OGeV (2016) weiter gestiegen. Neben baulichen Maßnahmen bzw. Erweiterungen zur Optimierung der Regenwasserbehandlung, dem Anschluss kleiner sanierungsbedürftiger Kläranlagen (insbesondere an abflussschwachen Fließgewässern) an leistungsstarke Zentralkläranlagen sowie die technische Ausstattung der RÜB mit Messeinrichtungen (Messungen zum Entlastungsverhalten, chemische Messungen), stellt daher die weitere Reduzierung der Nährstoffgehalte (insbesondere Phosphorverbindungen) sowie auch der organischen Schadstoffe und deren Metaboliten in den Abwässern eine der großen Herausforderungen für die Siedlungswasserwirtschaft in den nächsten Jahren dar. Die anstehenden Aufgaben erfordern mehr denn je eine enge Zusammenarbeit zwischen Wasserbehörden, Kommunen bzw. Abwasserverbänden, Ingenieurbüros und Gewässerökologen.

## Literatur

- DIN 38410-1 (2004): Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-Abwasser- und Schlammuntersuchung - Biologisch-ökologische Gewässeruntersuchung (Gruppe M) - Teil 1: Bestimmung des Saprobienindex in Fließgewässern (M 1).
- EU - Europäische Union (2000) - Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (EG-Wasserrahmenrichtlinie).
- EU - Europäische Union (2008): Richtlinie 2008/105/EG über Umweltqualitätsnormen im Bereich der Wasserpolitik und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 82/176/EWG, 83/513/EWG, 84/156/EWG, 84/491/EWG und 86/280/EWG sowie zur Änderung der Richtlinie 2000/60/EG.

- EU - Europäische Union (2013) - Richtlinie 2013/39/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. August 2013 zur Änderung der Richtlinien 2000/60/EG und 2008/105/EG in Bezug auf prioritäre Stoffe im Bereich der Wasserpolitik.
- LFU - Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (1998): Gewässergütekarte Baden-Württemberg. Oberirdische Gewässer, Gewässerökologie 49.
- LFU - Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (2005): Gewässergütekarte Baden-Württemberg 2004. Oberirdische Gewässer, Gewässerökologie 91, Stand April 2005.
- LUBW - Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (2015): Leitfaden „Gewässerbezogene Anforderungen an Abwassereinleitungen“. Karlsruhe 2015.
- MUKE BW - Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2019): Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie in Baden-Württemberg - Zwischenbericht 2018, März 2019.
- OGewV - Oberflächengewässerverordnung (2016): Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer vom 20.06.2016 (BGBl. I, S. 1373).
- Pottgiesser, T. & M. Sommerhäuser (2008): Aktualisierung der Steckbriefe der bundesdeutschen Fließgewässertypen (Teil A) und Ergänzung der Steckbriefe der deutschen Fließgewässertypen um typspezifische Referenzbedingungen und Bewertungsverfahren aller Qualitätselemente (Teil B), Text und Anhang.
- UBA - Umweltbundesamt (2014): Hydromorphologische Steckbriefe der deutschen Fließgewässertypen. Anhang 1 von „Strategien zur Optimierung von Fließgewässerrenaturierungsmaßnahmen und ihrer Erfolgskontrolle. UBA-Texte 43/14. Berlin.

Anschrift des Verfassers:

Dr. Roland Marthaler  
Gesellschaft für angewandte Ökologie und Umweltplanung mbH (GefaÖ)  
In den Weinäckern 4  
69168 Wiesloch  
r.marthaler@gefaoe.de



# **Optimierung von Regenbecken vor dem Hintergrund des neuen DWA-Arbeitsblattes A 102**

Ulrich Dittmer

Technische Universität Kaiserslautern

## **Kurzfassung**

Mit der Einführung des DWA-Arbeitsblattes A 102 sollen die Regelungen zum Umgang mit Regenwetterabflüssen in Siedlungen harmonisiert werden. Die Schmutzfrachtsimulation wird im Trenn- und im Mischsystem zum Standard für die systembezogene Planung erhoben. Dabei soll die klärtechnische Wirkung berücksichtigt werden. Damit erhöht sich zukünftig der Anspruch an den Betrieb, der nun auch die stoffliche Wirksamkeit der Anlagen im Auge haben muss. Auch immissionsbezogene Anforderungen werden mit dem neuen Arbeitsblatt konkretisiert. Hier bietet sich die Anpassung von Drosselabflüssen als betriebliche Maßnahme an, um Emissionen so im Gebiet zu verteilen, dass die ökologischen Folgen minimiert werden.

## **1 Einleitung**

Im Regelwerk der DWA werden bislang die Aufgaben der Bemessung von Maßnahmen der Regen- und Mischwasserbehandlung einerseits und die konstruktive Gestaltung und Ausrüstung der Anlagen andererseits weitgehend getrennt behandelt. So wird bei einer Entwässerung im Trennsystem die Entscheidung, ob und ggf. mit welchen Maßnahmen Regenabflüsse zu behandeln sind auf Basis des DWA M 153 (DWA, 2007) gefällt. Die Grundlagen der Dimensionierung sind ebenfalls in diesem Papier formuliert. Spezifische Regelungen für Baden-Württemberg modifizieren diese Grundlagen geringfügig (LUBW, 2005).

Für Mischsysteme wird das erforderliche Speichervolumen der einzelnen Standorte entsprechend dem ATV-Arbeitsblatt A 128 ermittelt. Auch hier werden die Vorgaben in landesspezifischen Regelungen konkretisiert und teilweise geringfügig modifiziert (UM BW, 1999). Zur Gestaltung von Regenüberlaufbecken werden im Rahmen der Bemessung lediglich Mindestanforderungen formuliert.

Vorgaben und Empfehlungen zur Gestaltung und Ausrüstung von Regenbecken im Trenn- und Mischsystem enthält das DWA-Arbeitsblatt A 166 (DWA, 2013). Obwohl diese Aspekte wesentlichen Einfluss auf die Wirksamkeit des Stoffrückhaltes haben, gehen sie nicht in die Bemessung der Anlagen ein. Dies gilt auch für den Betrieb von Regenbecken.

Die strikte Trennung von systembezogener und anlagenbezogener Planung sowie Betrieb soll mit dem DWA-Arbeitsblatt A 102 teilweise aufgehoben werden. Darüber hinaus werden in diesem Arbeitsblatt emissionsbezogene Regelungen und immissionsbezogene Anforderungen koordiniert. Der vorliegende Beitrag zeigt auf wie Gestaltung, Ausrüstung und Betrieb von Regenbecken zukünftig in der systemweiten Betrachtung und Bemessung berücksichtigt werden und welche Spielräume sich damit für die Optimierung bestehender Entwässerungssysteme ergeben.

## **2 Neue Regelungen zum Umgang mit Regenwetterabflüssen**

Die Arbeits- und Merkblattreihe „Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer“ soll inhaltsgleich von den Verbänden DWA und BWK als DWA-A/M 102 bzw. BWK-A/M 3 veröffentlicht werden. Sie soll folgende Teile umfassen:

Teil 1: „Allgemeines“ mit grundlegenden Erläuterungen zu den Regelungen in den Teilen 2 bis 5.

Teil 2: Emissionsbezogene Bewertungen und Regelungen für Regenwetterabflüsse in Siedlungen.

Teil 3: Immissionsbezogene Bewertungen und Regelungen zur Einleitung von Regenwetterabflüssen in Oberflächengewässer.

Teil 4: Ausführungen zur Erstellung einer Wasserhaushaltsbilanz für die Bewirtschaftung des Niederschlagswassers in Siedlungsgebieten.

Teil 5: Hydromorphologischer und biologischer Nachweis im Rahmen des Immissionsnachweises.

Die Teile 1 bis 3 sollen als Arbeitsblätter erscheinen. Für deren Inhalte wird somit eine allgemeine Anerkennung in der Fachwelt angestrebt. Für die Teile 4 und 5 ist dagegen eine Veröffentlichung als Merkblatt geplant.

Die Arbeits- und Merkblattreihe soll die systembezogenen Regelungen des ATV-A 128 (in Verbindung mit dem Merkblatt ATV-DVWK-M 177 (ATV-DVWK, 2001) für

Mischsysteme und des DWA-M 153 für die Regenwasserbehandlung in Trennsystemen ersetzen sowie die immissionsbezogenen Vorgaben des Merkblattes BWK-M 3 und BWK-M 7 (BWK, 2007 und BWK, 2008).

Das A 102 bezieht sich mehrfach auf die anlagenbezogenen Regelungen des DWA-Arbeitsblattes A 166 sowie auf die kürzlich überarbeiteten Empfehlungen der DWA zu Planung, Bau und Betrieb von Retentionsbodenfilteranlagen (DWA, 2013 und DWA, 2018). Diese Arbeitsblätter selber sowie das zugehörige DWA-Merkblatt M 176 (DWA, 2013b) bleiben von den Neuregelungen des A102 unberührt.

Der vorliegende Beitrag konzentriert sich auf den für die Optimierung von zentral angeordneten Regenbecken unmittelbar relevanten Teil 2 des A 102. Zur besseren Lesbarkeit werden im Folgenden die Kurzbezeichnungen der Arbeits- und Merkblätter ohne weitere Referenz verwendet. Der aktuelle (unveröffentlichte) Entwurf des Arbeitsblattes A 102 wird ebenfalls nur in Kurzform genannt.

### **3 Regenwasserbehandlung im Trennsystem**

#### **3.1 Bewertungskriterium**

Das M 153 bewertet die Wirksamkeit von Behandlungsanlagen anhand eines pauschalen Durchgangswertes zwischen 1 und 0. Dabei entspricht 0 einem vollständigen Rückhalt aller relevanten Belastungskomponenten, 1 einer vollkommenen Wirkungslosigkeit. Der Durchgangswert dient einer allgemeinen Einstufung und entspricht ausdrücklich nicht der Wirksamkeit des Stoffrückhaltes bezogen auf bestimmte Verschmutzungsparameter.

Mit dem A 102 soll diese Bewertung durch den Referenzparameter AFS63 ersetzt werden. Dieser umfasst Partikel mit Korngrößen zwischen 0,45 µm und 63 µm. Im Fokus der Regenwasserbehandlung steht somit der Rückhalt von Feinpartikeln.

#### **3.2 Sedimentationsanlagen (Regenklärbecken und Schrägklärer)**

##### **3.2.1 Bisherige Regelungen**

Regenklärbecken werden unterschieden in Anlagen mit und ohne Dauerstau (RKBmD und RKBoD). RKBmD sind ständig gefüllt. Der Regenabfluss wird ausschließlich durch Sedimentation während der Durchströmung behandelt. RKBoD werden dagegen nach jedem Regenereignis in Richtung der Kläranlage entleert. Zusätzlich zur

Sedimentationswirkung trägt also auch die Speicherwirkung zur Reduzierung der Gewässerbelastung bei.

Um eine ausreichende Sedimentationswirkung sicherzustellen wird der Durchfluss von RKB auf die kritische Regenspende  $r_{krit}$  begrenzt. Je größer  $r_{krit}$ , desto größer ist auch das langfristig behandelte Volumen. Der Anteil des jährlich behandelten Volumens steigt jedoch im Bereich  $r_{krit} > 15 \text{ l/(s*ha)}$  mit zunehmendem  $r_{krit}$  nur geringfügig an, da entsprechend hohe Regenintensitäten selten auftreten.

Nach M 153 werden RKB grundsätzlich auf eine maximale Oberflächenbeschickung  $q_A$  von 10 m/h (bei  $r_{krit}$ ) bemessen. Damit ergibt sich die Oberfläche des Beckens. Zusätzlich wird die horizontale Strömungsgeschwindigkeit für diesen Bemessungsfall auf 0,05 m/s begrenzt. Wenn diese Bedingungen eingehalten sind, werden für RKBmD abhängig von  $r_{krit}$  Durchgangswerte zwischen 0,65 und 0,50 angesetzt (siehe Tabelle 1). Diese Werte geben die Sedimentationswirkung wieder. Bei RKBoD wird die zusätzliche Speicherwirkung durch eine pauschale Reduzierung des Durchgangswertes um 0,15 berücksichtigt.

Tab. 1: Durchgangswerte für Regeklärbecken mit und ohne Dauerstau nach DWA-M 153 (DWA, 2012) und LfU-Arbeitshilfen (LfU, 2005)

Betriebsweise	Referenz	$q_A$ in m/h	$r_{krit}$ in l/(s*ha)			
			15	30	45	60
RKBoD	DWA, 2012	10	0,5	0,4	0,35	-
	LfU, 2005	10	0,48	0,36	0,3	0,25
RKBmD	DWA, 2005	10	0,65	0,55	0,5	-
	LfU, 2005	7,5	0,58	0,45	0,38	0,3
RKBoD	DWA, 2012	10	0,5	0,4	0,35	-
	LfU, 2005	10	0,48	0,36	0,3	0,25

In den Arbeitshilfen „Regenwasser“ (LfU, 2005) werden die Zahlenwerte geringfügig modifiziert. Insbesondere wird die maximale Oberflächenbeschickung von RKBmD auf  $q_A = 7,5 \text{ m/h}$  reduziert. Entsprechend werden gegenüber dem M 153 etwas günstigere Durchgangswerte angenommen (siehe Tabelle 1). In beiden Regelungen wird die Einhaltung einer maximalen Oberflächenbeschickung gefordert. Darüber hinaus wird



der Zusammenhang von Oberflächenbeschickung und Reinigungsleistung nicht berücksichtigt.

### **3.2.2 Neue Regelungen**

#### Wirksamkeit der Sedimentation

Mit der Einführung des Referenzparameters AFS63 wird im A 102 auch die Wirksamkeit von Regenbecken auf dieser Basis bewertet. Bezogen auf diesen Parameter zeigen jüngste Untersuchungen eine relativ geringe Sedimentationswirkung herkömmlicher RKB (MULNV, 2019). (Kemper, Fuchs, & Morling, 2018)

Verschiedene Untersuchungen belegen auch, dass die Wirksamkeit der Sedimentation erheblich gesteigert werden kann, indem RKB durch den Einbau von Lamellen und Röhren entsprechend DWA M 176 zu Schrägklärern umgerüstet werden. Dadurch wird die effektive Oberfläche des Beckens um ein Vielfaches erhöht und die Oberflächenbeschickung entsprechend deutlich reduziert. Im Folgenden werden RKB und Schrägklärer zusammenfassend als Sedimentationsanlagen bezeichnet. Aus Untersuchungen an großtechnischen Anlagen wurden die in Abbildung 1 dargestellten Zusammenhänge zwischen der ereignisbezogenen Sedimentationswirkung und der maximalen Oberflächenbeschickung im Verlauf des jeweiligen Ereignisses abgeleitet. Sie gelten allgemein für Sedimentationsanlagen im Trenn- und Mischsystem.

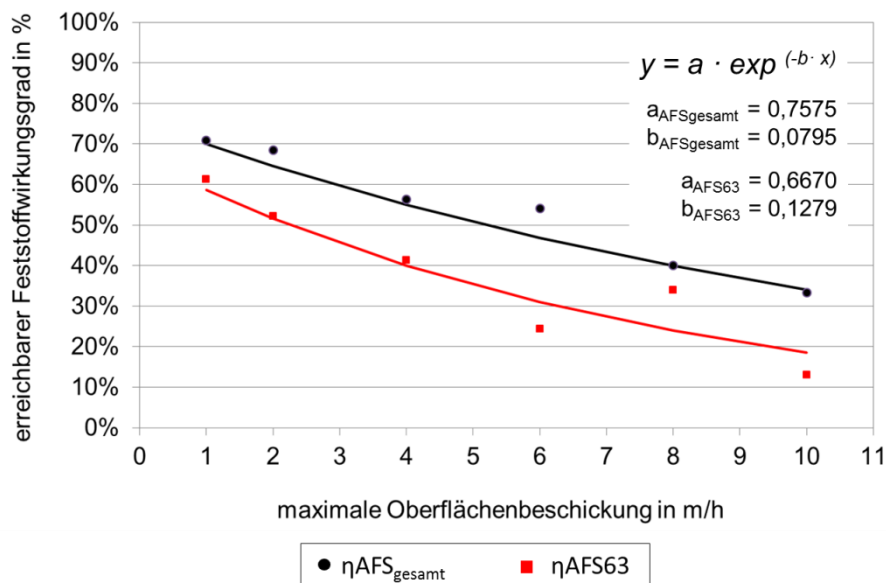


Abb. 1: Schrägklärer zur Regenwasserbehandlung - Grundlagen, Bemessung und Konstruktion (unveröffentlicht) (LUBW, 2019)

### Betriebsweise

Auf der Basis von Betriebserfahrungen mit RKBmD wird im A 102 empfohlen, Sedimentationsanlagen zukünftig nur noch ohne Dauerstau zu betreiben. Ein dauerhafter Abfluss zur Kläranlage soll dabei vermieden werden. Darüber hinaus ist bei einem Anschluss an ein Mischsystem sicherzustellen, dass es während der Entleerung nicht zu Überläufen an unterhalb liegenden Bauwerken kommt. Hierzu kann die Entleerung des RKB abhängig von den Füllständen in unterhalb liegenden Bauwerken gesteuert werden.

Bei einer vollständigen Entleerung in Richtung der Kläranlage wird diese zusätzlich mit Regenabflüssen belastet, die zuvor getrennt abgeleitet wurden. Der Vorteil des Trennsystems wird dadurch teilweise konterkariert. Als Alternative wird im A 102 daher vorgeschlagen, das klare Überstandswasser (Klarwasserzone) nach einer Standzeit zwischen 24 und 48 Stunden in Richtung des Gewässers einzuleiten. Nur der stärker verschmutzte Rest-Inhalt im unteren Bereich wird in diesem Fall zur Kläranlage weitergeleitet. Aufgrund fehlender Betriebserfahrungen werden jedoch keine Angaben zur Restverschmutzung des Klarwassers und zur Tiefe der Klarwasserzone gemacht. Diese Fragestellungen sind Gegenstand aktueller Forschung.

Bei Schrägklärern sollte sichergestellt sein, dass der Beckenzulauf gedrosselt wird, um schon während der Füllphase eine gleichmäßig Durchströmung zu gewährleisten.

### Bemessung

Für die Bemessung konventioneller RKB (ohne Dauerstau) mit einer Mindesttiefe von 2 m enthält das A 102 ein vereinfachtes Bemessungsverfahren. Dazu wurde in Langzeitsimulationen mit verschiedenen Regenreihen der Gesamtwirkungsgrad ermittelt, der sich aus Sedimentation und Speicherwirkung ergibt. Für die Sedimentationswirkung wurde dabei die Funktion aus Abbildung 1 verwendet, indem die maximale ereignisbezogene Oberflächenbeschickung  $q_{A,max}$  als Bemessungs-oberflächenbeschickung  $q_{A,Bem}$  bei  $r_{krit}$  angesetzt wurde. Die so ermittelten Gesamtwirkungsgrade liegen zwischen 65 % bei  $q_{A,Bem} = 2$  m/h und 25 % bei  $q_{A,Bem} = 10$  m/h. Dieses Verfahren unterschätzt die tatsächliche Sedimentationswirkung, da  $q_{A,Bem}$  nicht bei allen Ereignissen tatsächlich erreicht wird.

In diesem vereinfachten Bemessungsverfahren ist das Speichervolumen durch die fest angenommene Beckentiefe unmittelbar mit der Oberfläche verknüpft. Schrägklärer weisen dagegen bei gleichem Speichervolumen eine um ein Vielfaches größere Oberfläche auf. Umgekehrt kann ein großes Kanalstauraumvolumen Zulauf eines RKB zu einer wesentlich größeren Speicherwirkung führen als es sich unmittelbar aus der Beckenoberfläche ergäbe. In diesen Fällen muss daher der Gesamtwirkungsgrad der Sedimentationsanlage im Nachweisverfahren mittels Langzeitsimulation bestimmt werden. Das Nachweisverfahren ist auch anzuwenden, wenn eine spezielle Entleerungsstrategie (Klarwasserabzug) berücksichtigt werden soll.

Es wird empfohlen, die Sedimentationswirkung im Nachweisverfahren ebenfalls durch den in Abbildung 1 dargestellten Zusammenhang abzubilden. Für eine detailliertere Beschreibung der Absetzwirkung fehlen Daten zum funktionalen Zusammenhang zwischen momentaner Oberflächenbeschickung und Wirkungsgrad der Sedimentation. Dieser Zusammenhang hängt u.a. sehr stark von der Zusammensetzung der Partikel innerhalb der AFS63-Fraktion ab. Diese variiert wiederum abhängig von Standort und Ereignis sowie im Verlauf einzelner Ereignisse (siehe u.a. Baum et al., 2018)

Es ist zu erwarten, dass sich mit den Fortschritten in der Online-Messtechnik langfristig auch die Datenbasis zur Beschreibung der Sedimentationswirkung vergrößern wird.

Angesichts der Vielzahl der zufällig in großer Bandbreite variierenden Einflussgrößen muss jedoch davon ausgegangen werden, dass die modellbasierte Prognose der Wirksamkeit stets mit einer großen Unsicherheit behaftet sein wird. Keinesfalls sollte aus Untersuchungen einzelner Ereignisse auf die langfristige Wirkung einer bestimmten Anlage geschlossen werden.

### **3.3 Regenklärbecken als Fangbecken**

Regenklärbecken können laut DWA A 166 auch als Fangbecken angeordnet werden, wenn ein ausgeprägter Spülstoß erwartet wird. Neben der reinen Speicherwirkung wird eine „Reinigungswirkung“ erzielt, indem stärker verschmutzte Abflussanteile (zu Ereignisbeginn) von den weniger stark verschmutzten Anteilen (im weiteren Ereignisverlauf) getrennt werden.

Durch die Wahl der Parameter für Akkumulation und Abtrag kann dieser Effekt in einem Schmutzfrachtmodell nachgebildet werden. Es gibt jedoch keine ausreichende empirische Grundlage für die Wahl dieser Parameter in Abhängigkeit von gegebenen Randbedingungen. Durch eine subjektive Wahl kann im Modell ein mehr oder weniger stark ausgeprägter Spülstoß generiert werden. Werden die Einstellungen so festgelegt, dass zu Ereignisbeginn mit einem geringen Volumen ein sehr großer Anteil der Schmutzfracht transportiert wird, ergeben sich für ein Fangbecken unrealistisch hohe Wirkungsgrade.

Auf die sehr unsichere Nachbildung dieser Fangwirkung sollte daher im Nachweisverfahren grundsätzlich verzichtet werden. Auch hier wäre ein messtechnischer Nachweis allenfalls mit zeitlich hochaufgelösten Online-Messungen über sehr lange Zeiträume möglich. Im Regelfall sollte eine konstante Konzentration im Regenabfluss angenommen werden. Der Frachtwirkungsgrad ergibt sich dann aus der Volumenbilanz.

## **4 Behandlung von Regenwetterabflüssen im Mischsystem**

### **4.1 Bisherige Regelungen**

Im Mischsystem werden Gewässer durch Einleitung von unbehandeltem Schmutzwasser an den Überlaufbauwerken belastet. Ziel der Mischwasserbehandlung ist es, so viel Regenwasser auf der Kläranlage mit zu behandeln, dass dieser Effekt kompensiert wird. Als Indikatorparameter wird der CSB herangezogen,

als Bewertungskriterium die jährlich ausgetragene Fracht. Das Bemessungsverfahren für Regenüberlaufbecken und Stauraumkanäle nach ATV-Arbeitsblatt A 128 berücksichtigt ausschließlich die Volumenaufteilung und Zwischenspeicherung von Regenwetterabflüssen. Eine klärtechnische Wirkung, also eine Reinigung des überlaufenden Abflussvolumens, wird nicht berücksichtigt. Auch im Nachweisverfahren wird dieser Ansatz grundsätzlich empfohlen. Eine Berücksichtigung der Reinigungswirkung wird nur in Abstimmung mit der Aufsichtsbehörde zugelassen.

#### **4.1.1 Regenüberlaufbecken und Stauraumkanäle**

Obwohl die klärtechnische Wirkung nicht positiv in die Bemessung eingeht, wird umgekehrt die Nichteinhaltung der entsprechenden Voraussetzungen negativ bewertet. So werden Mindestanforderungen an die Gestaltung und Anordnung von Regenüberlaufbecken (RÜB) formuliert, die eine gute Sedimentationswirkung von Durchlaufbecken und eine hinreichende Fangwirkung in Fangbecken sicherstellen sollen. Auf Speicherräume, die die entsprechenden Klärbedingungen einhalten wird im Bemessungsverfahren ein Zuschlag auf das erforderliche Volumen von 50 % aufgeschlagen. Im Nachweisverfahren wird die ausgetragene Fracht an den zugehörigen Überlaufbauwerken um 15 % erhöht.

Die Klärbedingungen (Begrenzung von Horizontalgeschwindigkeit, Oberflächenbeschickung, Seitenverhältnisse) sind unmittelbar mit der Bauwerksgeometrie verbunden. Eine nachträgliche Verbesserung ist daher im Bestand kaum möglich. Das A 128 bietet keine Möglichkeit, eine Verbesserung der Reinigungswirkung durch eine verbesserte Beckenausrüstung bei der Ermittlung des erforderlichen Volumens zu berücksichtigen.

#### **4.1.2 Klärtechnische Maßnahmen**

Klärtechnische Maßnahmen zur Mischwasserbehandlung sollten nach dem derzeitigen Stand des Regelwerkes zum Einsatz kommen, wenn weitergehende Anforderungen an den Gewässerschutz gestellt werden. Sie sollten nach DWA-Merkblatt M 177 nicht eingesetzt werden, um fehlendes Speichervolumen zu kompensieren.

Nach diesem Merkblatt sind technische Volumenfilter ebenso wie Anlagen mit Zugabe von Flockungsmitteln für eine Standardanwendung nicht hinreichend ausgereift. Feinstrechen und Grobsiebe halten v.a. größere Partikel zurück. Sie reduzieren damit

die ästhetische Belastung, nicht aber den relevanten Schadstoffaustrag. Die Sedimentationswirkung von hydrodynamischen Abscheidern kann in Absprache mit der Aufsichtsbehörde im Rahmen des Nachweisverfahrens berücksichtigt werden. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass gelöste Anteile nicht in gleichem Umfang zurückgehalten werden wie der CSB.

Im Gegensatz zu den zuvor genannten Anlagentypen liegen zur Mischwasserbehandlung in Retentionsbodenfiltern positive Ergebnisse aus mehreren umfassenden Untersuchungen im praktischen Betrieb vor. Der Einsatz beschränkte sich jedoch bislang auf die Anwendung zur weitergehenden Behandlung. Eine Substitution von fehlendem konventionellem Speichervolumen war nach DWA M 177 und 178 nicht vorgesehen.

## **4.2 Neue Regelungen**

Seit der Erarbeitung des Arbeitsblattes A 128 (1992) haben sich die Randbedingungen der Regenwasserbewirtschaftung deutlich weiterentwickelt. Der Ausbau der Mischwasserbehandlung entsprechend den „Normalanforderungen“ ist in vielen Bundesländern weitgehend abgeschlossen. Neubaugebiete werden nicht mehr im konventionellen Mischverfahren erschlossen. Die Planung und Bemessung neuer Speicherbauwerke verliert somit an Bedeutung. Demgegenüber rücken die Betrachtung und Optimierung bestehender Systeme in den Vordergrund. Dies erfordert grundsätzlich die Anwendung von Schmutzfrachtmodellen für Nachweisrechnungen.

Stärkeres Gewicht erhalten dabei Maßnahmen zur Verminderung des Abflusses (dezentrale Regenwasserbewirtschaftung) sowie Maßnahmen zum gezielten Stoffrückhalt. Im Gegensatz zu den bisherigen Regelungen sieht das A 102 ausdrücklich vor, fehlendes Speichervolumen durch Maßnahmen zum gezielten Stoffrückhalt zu kompensieren. Die Reinigungswirkung wird im Nachweisverfahren abgebildet. Ergänzend zum AFS63 soll in der Mischwasserbehandlung auch weiterhin der CSB betrachtet werden.

### **4.2.1 Sedimentation in Regenüberlaufbecken**

Die Sedimentationswirkung von Regenüberlaufbecken kann im Nachweisverfahren berücksichtigt werden, wenn die Vorgaben zur baulichen Gestaltung nach DWA-Arbeitsblatt A 166 eingehalten sind. Analog zum Vorgehen im Mischsystem wird in der

Schmutzfrachtsimulation der Zusammenhang von Sedimentationswirkung und Oberflächenbeschickung entsprechend Abbildung 1 angenommen. Für Stauraumkanäle und sonstige Speichervolumina im Kanalnetz wird weiterhin keine Reinigungsleistung angenommen.

Grundsätzlich können auch im Mischsystem Schrägklärer zum Einsatz kommen, deren Wirkung ebenfalls auf Basis von Abbildung 1 nachgebildet werden kann. Dazu liegen allerdings divergierende Erfahrungen aus dem praktischen Betrieb vor. Der Einsatz wird daher im A 102 nicht behandelt.

#### **4.2.2 Retentionsbodenfilter**

An Retentionsbodenfiltern, die nach DWA-Arbeitsblatt A 178 gestaltet sind, kann im Nachweisverfahren für den Filterdurchsatz eine Reinigungsleistung von 95 % (bezogen auf den AFS63) angesetzt werden. Bei Durchlaufilterbecken wird für den Filterüberlauf ein Rückhalt von 50 % angenommen. Diese Wirkung wird in der Bilanzierung der Stoffströme vollständig angesetzt. Ein Retentionsbodenfilter kann somit in großem Umfang fehlendes konventionelles Speichervolumen ersetzen. Dabei ist auch die Wirkung auf andere Stoffgruppen zu berücksichtigen.

Im Gegensatz zu reinen Sedimentationsverfahren wirken bei der Filterpassage in Retentionsbodenfiltern auch Sorptions- und Abbauprozesse. Die Wirksamkeit beschränkt sich daher nicht auf die partikuläre Fraktion. Die Wirkungsweise der Filterpassage kann in Schmutzfrachtmodellen mit einfachen Ansätzen nachgebildet werden (Schmitt, T.G.; Dittmer, U., 2007) und (Bachmann et al., 2018) konnten zeigen, dass die Unsicherheiten bei der Modellierung der Filterpassage im Verhältnis zu sonstigen Parameterunsicherheiten der Schmutzfrachtmodellierung sehr gering sind.

#### **4.2.3 Technische Filter**

Für technische Filter liegen derzeit keine ausreichenden Erkenntnisse vor, aus denen sich allgemein gültige Ansätze für die Nachweisrechnung ableiten ließen.

## **5 Berücksichtigung von Messdaten**

Das betriebliche Verhalten von Regenüberlaufbecken wird zunehmend messtechnisch überwacht. In Baden-Württemberg konzentriert sich die Erfassung auf die Dauer und Häufigkeit von Einstau- und Entlastungsereignissen. Die so ermittelten Daten sollten grundsätzlich verwendet werden, um die Übereinstimmung von tatsächlichem und

modelliertem Systemverhalten zu überprüfen. Vor allem die Verteilung der Aktivität auf die einzelnen Bauwerke kann so beurteilt werden. Vergleichende Auswertungen von Messdaten und Modellergebnissen haben sehr große Abweichungen gezeigt (Dittmer et al., 2018).

Eine höhere Genauigkeit kann durch eine Kalibrierung der Niederschlags-Abfluss-Berechnung erzielt werden. Diese erfordert jedoch zeitgleiche Messungen von Niederschlag und Durchfluss über einen längeren Zeitraum. Dabei sind Mischwassersysteme häufig sehr weit auf der sicheren Seite bemessen. Eine Überprüfung durch Messdaten oder eine Modellkalibrierung können Reserven aufzeigen und Fehlinvestitionen verhindern.

Eine Standardmaßnahme der Systemoptimierung in der Schmutzfrachtberechnung ist die „Optimierung der Drosseln“. Dabei werden die Drosselabflüsse so angepasst, dass der berechnete Schmutzfrachtaustrag aus dem Gesamtsystem ein Minimum erreicht. Allerdings weichen in der Praxis die tatsächlichen Drosselabflüsse häufig sehr weit von den Modellannahmen ab. Eine modellbasierte Optimierung ist unter diesen Bedingungen nicht zielführend. In laufenden Forschungsvorhaben wird derzeit untersucht, wie Messdaten von Regenüberlaufbecken als Basis für eine Drosseloptimierung genutzt werden können (Bachmann et al., 2018). Jüngste Ergebnisse legen nahe, dass der Einfluss der Drosseleinstellung auf die Gesamtemissionen in der Regel sehr begrenzt ist (Brüning, 2019).

Im Zusammenhang mit der zunehmenden Berücksichtigung gewässerbezogener Anforderungen gewinnen jedoch Messdaten und Drosseleinstellung massiv an Bedeutung (LUBW, 2015). Nur gemessene Entlastungsaktivitäten im realen Betrieb lassen sich sinnvollerweise mit dem erhobenen Gewässerzustand vergleichen. So können kritische Situationen im Gewässer, die auf Mischwassereinleitungen zurückzuführen sind, identifiziert werden. Durch die gezielte Manipulation der Drosselabflüsse können Emissionen an diesen Einleitungen gezielt reduziert und an weniger sensible Standorte verlagert werden. Grundlagen für die immissionsbezogene Bewertung der Einleitungen werden im Teil 3 des A 102 vorgestellt.

## **6 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen**

Mit dem A 102 wird die Schmutzfrachtsimulation im Trenn- und im Mischsystem zum Standard für die systembezogene Planung erhoben. Damit wird der Tatsache



Rechnung getragen, dass v.a. im Mischsystem der Bau konventioneller Regenüberlaufbecken weitgehend abgeschlossen ist.

Im Trennsystem werden die Betriebsweise von Regenklärbecken und deren Stoffrückhalt zukünftig detaillierter berücksichtigt als bislang. Das bietet die Möglichkeit durch Nachrüstung (z.B. Umrüstung zum Schrägklärer) und Betriebsoptimierung Gewässerschutzziele zu erreichen, die bislang einen Neubau erfordert hätten.

Im Mischsystem soll zukünftig die Sedimentationswirkung von Durchlaufbecken berücksichtigt werden. Während die Aufgabe von Regenüberlaufbecken bislang primär in der Volumenaufteilung und Zwischenspeicherung gesehen wurde, werden sie nun zu Behandlungsanlagen im eigentlichen Sinne aufgewertet. Damit steigen auch die Ansprüche an Ausrüstung und Betrieb. Das Betriebspersonal muss in der Lage sein zumindest ungefähr einzuschätzen, ob die stoffliche Wirkung tatsächlich erreicht wird. Andernfalls ist zu befürchten, dass die Berücksichtigung der Reinigungsleistung in der Planung im realen Betrieb zu einem Rückschritt im Gewässerschutz führt. Dies ist bei der Konzeption von Maßnahmen der beruflichen Weiterbildung zu beachten.

Im Mischsystem kann zukünftig auch fehlendes Speichervolumen durch die Anordnung von Retentionsbodenfiltern kompensiert werden. Für diesen Anlagentyp belegen Betriebserfahrungen ein sehr großes Potenzial, aber auch in vielen Fällen betriebliche Probleme. Auch hier wären neben einer hinreichenden Personalausstattung künftig angepasste Weiterbildungsangebote erforderlich.

Im Bereich der Stofftransportes und Sedimentationsverhaltens besteht im Misch- und Trennverfahren nach wie vor Forschungsbedarf. Es ist zu erwarten, dass zukünftig robustere Online-Messungen zu einem besseren Verständnis dieser Prozesse beitragen. Eine dauerhafte messtechnische Überwachung oder gar Steuerung als Standardanwendung ist jedoch auf absehbare Zeit nicht zu erwarten.

Mit dem Teil 3 des A 102 werden zukünftig auch immissionsbezogene Anforderungen an Bedeutung gewinnen. Die Auswertung von Messdaten zum Entlastungsverhalten von Regenbecken und die systemweite Betrachtung von Emissionen und zugehörigen Gewässersituation ermöglichen eine gezielte Ursachenforschung. Durch Anpassung der Drosselabflüsse lassen sich Entlastungsschwerpunkte innerhalb des Entwässerungssystems verschieben.

## Literatur

- ATV (1992): Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen. April 1992. St. Augustin, Abwassertechnische Vereinigung, ATV-Regelwerk: Arbeitsblatt, ATV-A 128.
- ATV-DVWK (2001): Bemessung und Gestaltung von Regentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen. Juni 2001. Hennef, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, ATV-DVWK Regelwerk: Merkblatt, ATV-DVWK-M 177.
- Bachmann-Machnik, A.; Meyer, D.; Waldhoff, A.; Fuchs, S.; Dittmer, U. (2018): Integrating retention soil filters into urban hydrologic models – Relevant processes and important parameters. *Journal of Hydrology*, 559: 442 – 453.
- Baum, P., Benisch, J., Blumensaat, F., Dierschke, M., Dittmer, U., Gelhardt, L., Nickel, J. P. (2018). AFS63 - Harmonisierungsbedarf und Empfehlungen für die labortechnische Bestimmung des neuen Parameters. *Regenwasser in Urbanen Räumen - Aqua Urbanica Trifft RegenwasserTage 2018*, 153–168. Retrieved from <https://kluedo.uib.uni-kl.de/frontdoor/index/index/docId/5314>
- BWK (2007): Ableitung von immissionsorientierten Anforderungen an Misch- und Niederschlagswassereinleitungen unter der Berücksichtigung örtlicher Verhältnisse. November 2007. Sindelfingen, Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft und Kulturbau, BWK-Regelwerk: Merkblatt, BWK-M 3.
- BWK (2008): Detaillierte Nachweisführung immissionsorientierter Anforderungen an Misch- und Niederschlagswassereinleitungen gemäß BWK-Merkblatt 3. November 2008. Stuttgart, Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft und Kulturbau, BWK-Regelwerk: Merkblatt, BWK-M 7.
- Dittmer, U.; Bachmann-Machnik, A.; Lieb, W.; Giebl, B.; Weiß, G.; Wöhrle, C. (2018): Einflüsse auf die Einstau- und Entlastungsaktivität von Regenüberlaufbecken. In: *Regenwasser in urbanen Räumen. Aqua Urbanica trifft RegenwasserTage. Landau in der Pfalz, 18.-19.06.2018 (Schriftenreihe wasser infrastruktur ressourcen der Universität Kaiserslautern, 1)*, S. 203–214.
- DWA (2005): Empfehlungen für Planung, Bau und Betrieb von Retentionsbodenfiltern zur weitergehenden Regenwasserbehandlung im Misch- und Trennsystem. Oktober 2005. Hennef, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, DWA-Regelwerk: Merkblatt, DWA-M 178.
- DWA (2007): Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser. August 2007. Hennef, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, DWA-Regelwerk: Merkblatt, DWA-M 153.
- DWA (2013a): Bauwerke der zentralen Regenwasserbehandlung und -rückhaltung – Konstruktive Gestaltung und Ausrüstung. November 2013. Hennef, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, DWA-Regelwerk: Arbeitsblatt, DWA-A 166.
- DWA (2013b): Hinweise zur konstruktiven Gestaltung und Ausrüstung von Bauwerken der zentralen Regenwasserbehandlung und -rückhaltung. November 2013. Hennef, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, DWA-Regelwerk: Merkblatt, DWA-M 176.

- DWA (2018): Zustandserfassung und -beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden. Mai 2018. Hennef, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, DWA-Regelwerk: Merkblatt, DWA-M 149-1.
- DWA (2019): Retentionsbodenfilteranlagen. Juni 2019. Hennef, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, DWA-Regelwerk: Arbeitsblatt, DWA-A 178.
- LfU (2005): Arbeitshilfe für den Umgang mit Regenwasser in Siedlungsgebieten. Karlsruhe, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW).
- LUBW (2015): Leitfaden Gewässerbezogene Anforderungen an Abwassereinleitungen. Karlsruhe, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW).
- MULNV (2019): Reduktion des Feststoffeintrages durch Niederschlagswassereinleitungen (Phase 2) (REFENI 2). Abschlussbericht Teil 2. Auftraggeber: Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MULNV NRW).
- Schmitt, T.G.; Dittmer, U. (2007): Simulationsstudie zum Langzeitverhalten von Retentionsbodenfiltern zur weitergehenden Mischwasserbehandlung. gwf Wasser Abwasser (148) Nr. 11, 793-800.

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Dittmer  
Technische Universität Kaiserslautern  
Wasser Infrastruktur Ressourcen  
Paul-Ehrlich-Straße 14  
Gebäude 14, Raum 309  
67663 Kaiserslautern  
ulrich.dittmer@bauing.uni-kl.de



# **Kostenoptimierung der ganzheitlichen Planung und des Betriebs von Kläranlagen**

Klaus Alt, Inge Barnscheidt

Hydro-Ingenieure GmbH, Düsseldorf

## **1 Einleitung**

Die weitere Entwicklung der steigenden Energiekosten und die sich verändernden Rahmenbedingungen werden auch zukünftig die Wirtschaftlichkeit bei anstehenden Reinvestitionen wesentlich beeinflussen. Aktuell und zukünftig ist die Kostenoptimierung ganzheitlicher Planungsansätze für zukünftige Investitionsentscheidungen sowie einen weitgehend reibungsarmen Betrieb von Kläranlagen deshalb von wesentlicher Bedeutung. Hierbei sind nicht nur der demografische Wandel, der Klimawandel und der Anstieg von anzuschließenden Siedlungs- und Verkehrsflächen sowie zukünftige Anforderungen der Spurenstoff- und Phosphorelimination zu beachten, sondern auch führt ein stetig wachsender Kostendruck für alle Projektbeteiligten zu immer höheren Anforderungen an die Betreiber und die Planer von Kläranlagen.

Insbesondere die Erfahrung des Betriebspersonals auf Kläranlagen ist im Zuge von Optimierungsmaßnahmen oder weitergehenden Betrachtungen für eine zukunftsorientierte Gesamtkonzeption von Kläranlagen zu nutzen und im Planungsprozess zu integrieren. Aufgrund des fortgeschrittenen Alters insbesondere der Maschinen- und EMSR-Technik vieler Anlagen ist der Bedarf an Optimierungsplanungen der verfahrenstechnischen Ausgestaltung und an ein nachhaltiges Gesamtkonzept deutlich gestiegen. Ein integraler Planungsansatz zur technischen Optimierung von mechanisch / biologischen Reinigungsstufen ist deshalb heutzutage sinnvoll und notwendig [1,2,3]. Moderne Planungswerkzeuge, wie die dynamische Simulation und die Strömungssimulation, können in der Objektplanung eingesetzt werden, um zu einem wirtschaftlichen wie auch nachhaltigen Projektergebnis zu gelangen.

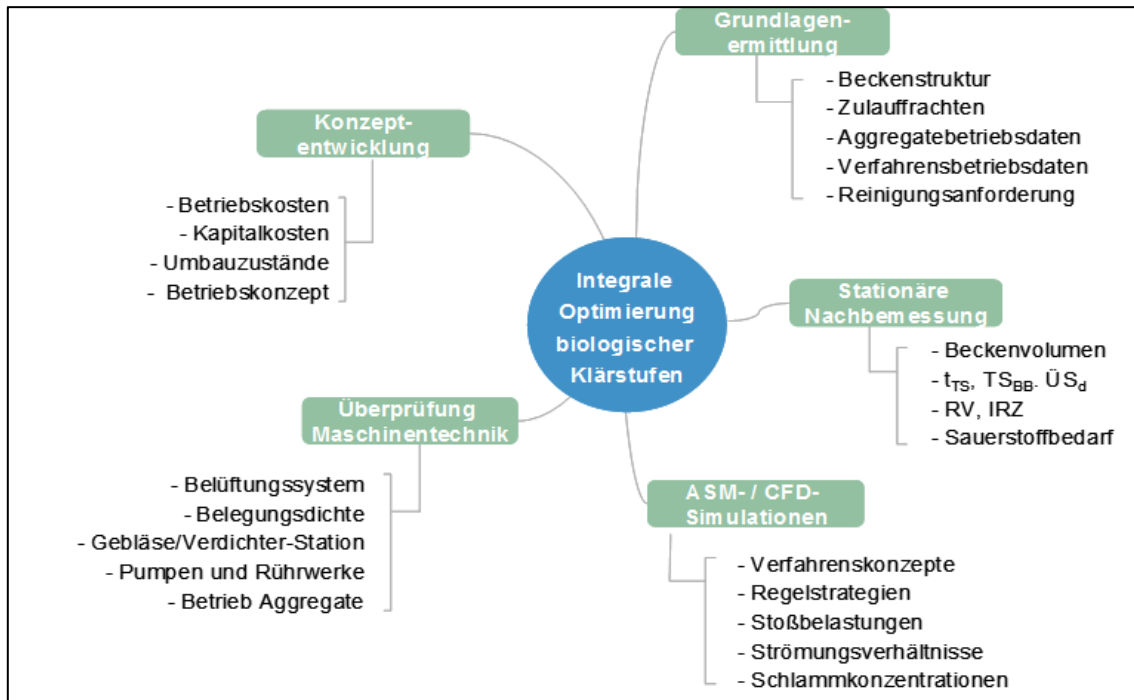


Abb. 1: Übersicht „Integrale Optimierung mech. / biolog. Klärstufen [1]“

Eine hohe Qualität von der Grundlagenermittlung bzw. Bestandsaufnahme über die verschiedenen Planungsstufen der Konzepterstellung bis zur Abwicklung ist Grundvoraussetzung für den Erfolg einer nachhaltigen Planung. Mit dem vorliegenden Beitrag wird anhand aktueller Praxisbeispiele von mechanisch / biologischen Kläranlagen aufgezeigt, welche Erfahrungen in der Kostenoptimierung der ganzheitlichen Planung und des Betriebes von Kläranlagen gesammelt wurden.

## 2 Grundlagenermittlung und Bestandsanalyse

Eine detaillierte Erfassung des Bestandes ist Voraussetzung jeglicher Planung. Diesem wesentlichen Planungsschritt ist zu Beginn der Projektierung die notwendige Aufmerksamkeit zu schenken, wie es die Leistungsphase 1 und 2 der Objektplanung und die Planung der technischen Ausrüstung der HOAI erfordert.

Um langfristige Investitionen aus Betreibersicht tätigen zu können und punktuelle Betrachtungen von Einzelmaßnahmen zu vermeiden, ist eine Gesamtlösung sinnvoll und erforderlich. Für eine zukunftsfähige Planung sind alle Einflussfaktoren, wie hydraulische und verfahrenstechnische sowie betriebliche Ziele, unter Einbeziehung

aller Einflüsse auf die Gesamtanlage zu berücksichtigen. Eine nachhaltige Betrachtung ist nicht nur auf die Auswahl der Maschinen- und EMSR-Technik der jeweiligen Verfahrensstufen zu beziehen, sondern auch CFD-Simulationen sind bei Bedarf gezielt zur Optimierung der Strömungsverhältnisse einzusetzen. Im Rahmen einer Grundlagenermittlung bzw. Bestandsanalyse sind im Hinblick auf biologische Reinigungsstufen folgende Aspekte von besonderer Wichtigkeit:

- Festlegung der Projektziele anhand einer verfahrenstechnischen Gesamtbetrachtung der Anlage, abhängig von der zukünftigen Aufgabenstellung
- Austausch und Diskussion der Betreibererfahrungen in den letzten Jahren
- Die Belastungsdaten des Zulaufes der biologischen Stufe (Zulaufmenge und Zulauffrachten, interne Rückbelastung, Abwassertemperaturen etc.)
- Die Ablaufdaten und die Anforderungen an den Kläranlagenablauf
- Eine detaillierte Aufnahme der Maschinen- / EMSR- sowie der Bautechnik mit zugehöriger Fotodokumentation
- Erarbeitung von bedarfsspezifischen Lösungskonzepten
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen anhand Investitions-, Betriebs- und Jahreskosten gem. LAWA
- Gesamtbewertung der Lösungskonzepte anhand Wirtschaftlichkeit und der nicht monetären Aspekte (Betrieb, Redundanzen, Zugänglichkeit, Provisorien, Erweiterbarkeit etc.)
- Austausch und Diskussion der Betreibererfahrungen in den letzten Jahren.

Die bemessungsrelevante Belastung ist unter Anwendung des sich derzeit in Überarbeitung befindenden ATV-DVWK Arbeitsblattes A 198 auf Basis maßgebender Frachten im Zulauf zur biologischen Stufe zu ermitteln. Die Notwendigkeit von Intensivmessreihen, z. B. zur Erfassung der AFS-Belastung, des Wirkungsgrades der Vorklärung oder des Stickstoff-Stoßfaktors  $f_N$ , wird häufig von Planern und Betreibern unterschätzt. Die zusätzlichen Kosten für die Durchführung der Messreihen liegen in der Regel in einem untergeordneten Bereich der Projektkosten, die Ergebnisse wirken sich jedoch maßgeblich auf die Anlagenplanung, die zu tätigen Investitionen und die späteren Betriebskosten aus. So beeinflusst z. B. die Abscheideleistung der Vorklärung maßgeblich die Bemessung der Nitrifikation / Denitrifikation. Eine

weitgehende Denitrifikation, möglichst ohne Zugabe einer C-Quelle, und eine gute Energiebilanz sind generell Gesamtziel einer nachhaltigen Betrachtung zur Sanierung / Optimierung einer biologischen Reinigungsstufe.

Das Kanalnetz und die Kläranlage sollten nicht nur im Hinblick auf die maßgebende Mischwasserzuflussmenge gem. der DWA-Arbeitsblätter A 198 und A 131 aufeinander abgestimmt werden. Auch bei dem neuen Regelwerk der A 131 [4] wird deutlich, dass die Komponenten Kanal / Kläranlage insgesamt genauso als Einheit zu sehen sind wie auch die Nachklärung und das Belebungsbecken.

In vielen Fällen ist eine Anpassung der Bestandspläne an die Realität eine wesentliche und wichtige Planungsvoraussetzung. Zu Projektbeginn ist zu prüfen, inwieweit der Anlagenbestand im Hinblick auf die Bau-, die Verfahrens- und die Maschinentchnik sanierungsbedürftig ist und im Rahmen zukünftiger Optimierungskonzepte weiter genutzt werden kann.

Die Nutzung der bestehenden Bausubstanz, insbesondere in Hinblick auf noch nicht komplett erfolgte Abschreibungen, ist in allen Planungsaufgaben zu prüfen und auf die optimale Einbindung in das Gesamtkonzept zu hinterfragen. Vor dem Hintergrund des heutigen Kostendrucks auf die Projektbeteiligten ist die Abwägung von Sanierungs- / Optimierungs- bis hin zu Neubaumaßnahmen mit Sorgfalt unter Berücksichtigung der individuellen Randbedingungen vorzunehmen. Auch auf den ersten Blick sich nicht aufdrängende komplette Neubaukonzepte verdienen es, im Rahmen der Planung unter Beachtung der wirtschaftlichen wie auch nicht monetären Aspekte sorgfältig geprüft zu werden. Ein mit dieser Vorgehensweise ggf. verbundenes höheres Planungshonorar spiegelt sich in einer deutlich gesteigerten Planungsqualität für den Betreiber wieder.

### **3 Praktische Beispiele**

#### **3.1 Kläranlage Lemgo**

Die Kläranlage Lemgo weist aktuell eine Ausbaugröße von 76.000 EW auf und ist im Rahmen einer verfahrens- und energietechnischen Optimierung zu überplanen. Die Trockenwetterzuflussmenge liegt bei 1.237 m<sup>3</sup>/h, während der maximale



Mischwasserzufluss 3.344 m<sup>3</sup>/h beträgt (fast 3-facher Trockenwetterzufluss). Die konventionelle mechanische Stufe besteht aus Feinrechen, Sandfang und einer 4-straßigen Vorklärung mit einem Volumen von jeweils 960 m<sup>3</sup>. Die biologische Reinigungsstufe setzt sich aus einer Sauerstoffbegasung und einem bestehenden Belebungsbeckenvolumen von 3.750 m<sup>3</sup> sowie zwei Rundnachklärbecken mit einem Durchmesser von jeweils 45 m zusammen. Infolge erhöhter Anforderungen an die NH<sub>4</sub>-N-Ablaufwerte von 3 mg/l in der 2-Stunden-Mischprobe wurde die Kläranlage Ende der 1990er-Jahre um eine Festbettfiltrationsstufe mit nachgeschalteter Nitrifikation und Denitrifikation (Zugabe C-Quelle) sowie anschließender Flockungsfiltration erweitert. Die heutige Aufgabe für die Überplanung aufgrund des fortgeschrittenen Alters der gesamten Maschinen- und EMSR-Technik, ist im engen Zusammenhang mit den Zielen der energietechnischen Optimierung und einer nachhaltigen Konzeptplanung verbunden.



Abb. 2: Luftbild der Kläranlage Lemgo

Neben der Erweiterungsplanung gemäß HOAI wurden parallel eine Energie- und eine Spurenstoffstudie erarbeitet, um eine ganzheitliche Betrachtung für die Kläranlage Lemgo durchzuführen. Ausgangspunkt ist der relativ hohe spezifische Energieaufwand der vorhandenen Sauerstoffbegasung mit ca. 54 kWh/(EW · a) sowie der Tatsache, dass im Mischwasserfall (3-facher Trockenwetterzufluss) die bestehenden Nachklärbecken mit einer Oberflächenbeschickung von  $q_A = 2,5$  m/h und einer vorhandenen Randwassertiefe von nur 2,0 m nach aktuellem Regelwerk hydraulisch nicht nachweisbar sind. Im Rahmen der Vorplanung wurden nachfolgend

genannte Lösungskonzepte favorisiert und detailliert bewertet sowie einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung mit Sensitivitätsanalyse unterzogen:

- Lösungskonzept 1b: Erweiterung mit 6.500 m<sup>3</sup> Belebungsbeckenvolumen unter Aufrechterhaltung des Betriebs der Festbettfiltrationsanlage
- Lösungskonzept 2: Neubau von 10.500 m<sup>3</sup> Belebungsbeckenvolumen mit Umgestaltung eines Teils der Festbettfiltration zur Prozesswasserbehandlung mit Deammonifikation

Beiden Lösungskonzepten war gemeinsam, dass die Nachklärbecken um ein drittes Becken mit gleichem Durchmesser und einer Wassertiefe von 4,20 m erweitert werden müssen. Des Weiteren ist eine Optimierung der bestehenden Nachklärbecken (Demontage Stengeleinläufe, Installation einer Haubenkonstruktion mit veränderter Einlaufhöhe und neue Ablaufgerinne) ebenfalls Voraussetzung. Der deutliche Betriebskostenvorteil des Lösungskonzeptes 2 infolge geringerer Energiekosten sowie deutlich vermindertem Methanolbedarf gegenüber dem Ist-Zustand sprach klar für eine Realisierung dieser Konzeption. Die Kostenvergleichsrechnung nach LAWA führt ebenfalls zu etwa 25 % verminderten Kostenbarwerten gegenüber der Lösungskonzeption 1b. Im Rahmen der Spurenstoffstudie wurde darüber hinaus gezeigt, dass ein wirtschaftlicher Umbau der bestehenden 5 m hohen Denitrifikationsreaktoren als Ozon- wie auch als GAK Reaktoren mit Nutzung der vorhandenen Flockungsfiltration möglich ist, ohne dass die geplante Erweiterung der biologischen Reinigungsstufe eingeschränkt ist. Vorteile, wie einfache übersichtliche Fließwege und die Nutzung der noch nicht abgeschriebenen Bausubstanz der vorhandenen Festbettanlage, sprechen für eine betriebssichere und wirtschaftliche Ozonlösung, die optional um eine GAK-Stufe erweitert werden kann [5].

Im Rahmen eines zweiten Arbeitsschrittes wurde parallel zu den Ergebnissen der Vorplanung überprüft, inwieweit durch eine Kanalnetzsteuerung im Einzugsgebiet der Kläranlage Lemgo der 3-fache Trockenwetterzufluss ohne Beeinträchtigungen reduziert werden kann. Eine gemeinsame Betrachtung von Kanalnetz und Kläranlage ist nicht nur im Regelwerk der DWA-Arbeitsblätter A 131 und A 198 beschrieben, sondern war auch im Hinblick auf eine erforderliche Investition von ca. 4,5 Mio. EUR

für ein drittes Nachklärbecken unabdingbar. Aufbauend auf den Erkenntnisstand der CFD-Simulation der Nachklärbecken sowie eines Forschungsprojektes „Modellierung der Gewässergüte der Bega unter Berücksichtigung der Durchführung von Maßnahmen zur Kanalnetzsteuerung für das Entwässerungssystem der Stadt Lemgo“ aus dem Jahre 2011 wurde geprüft, welche Maßnahmen, z. B. für eine Reduzierung des maximalen Mischwasserzuflusses von 3,0 auf 2,5-fachen Trockenwetterzufluss (ca. 2.500 m<sup>3</sup>/h), erforderlich sind. Des Weiteren wurde im Vorfeld mit der Abwasserbeseitigungsgesellschaft Lemgo und der Aufsichtsbehörde, der Bezirksregierung Detmold, vereinbart, dass bei erfolgreichem Betrieb einer Kanalnetzsteuerung für einen Zeitraum von z. B. 18 Monaten geprüft wird, inwieweit ein stabiler Betrieb bzw. eine ausreichende Leistungsfähigkeit der erweiterten Kläranlage nachgewiesen werden kann.

Vor diesem Hintergrund ist es denkbar, vorerst auf den Neubau eines dritten Nachklärbeckens zu verzichten und die Ergebnisse der Versuchsphase abzuwarten. In den Jahren 2020 / 2021 ist die Kombination aus verschiedenen Maßnahmen im Kanalnetz (Stauraumkanäle, Drosselbauwerke etc.) und auf der Kläranlage (Nutzung von zwei Vorklärbecken als Mischwasserspeicher, Einhaltung eines maximalen  $q_{SV}$  von 450 l/(m<sup>2</sup> · h) in der Nachklärung als Regelgröße in Abhängigkeit der NH<sub>4</sub>-N- und Trübungsablaufwerte der Nachklärung) in der Erprobung. Voraussetzung für den Projekterfolg ist eine integrierte Kanalnetzsteuerung (itwh, Hannover), die anhand einer Langzeitseriensimulation und ausgewählter Regenwetterereignisse nachweist, dass kritische Mischwasserbelastungen in der Bega vermieden werden und die jährliche Entlastungsfracht für die Parameter CSB, Stickstoff und Phosphor reduziert wird.

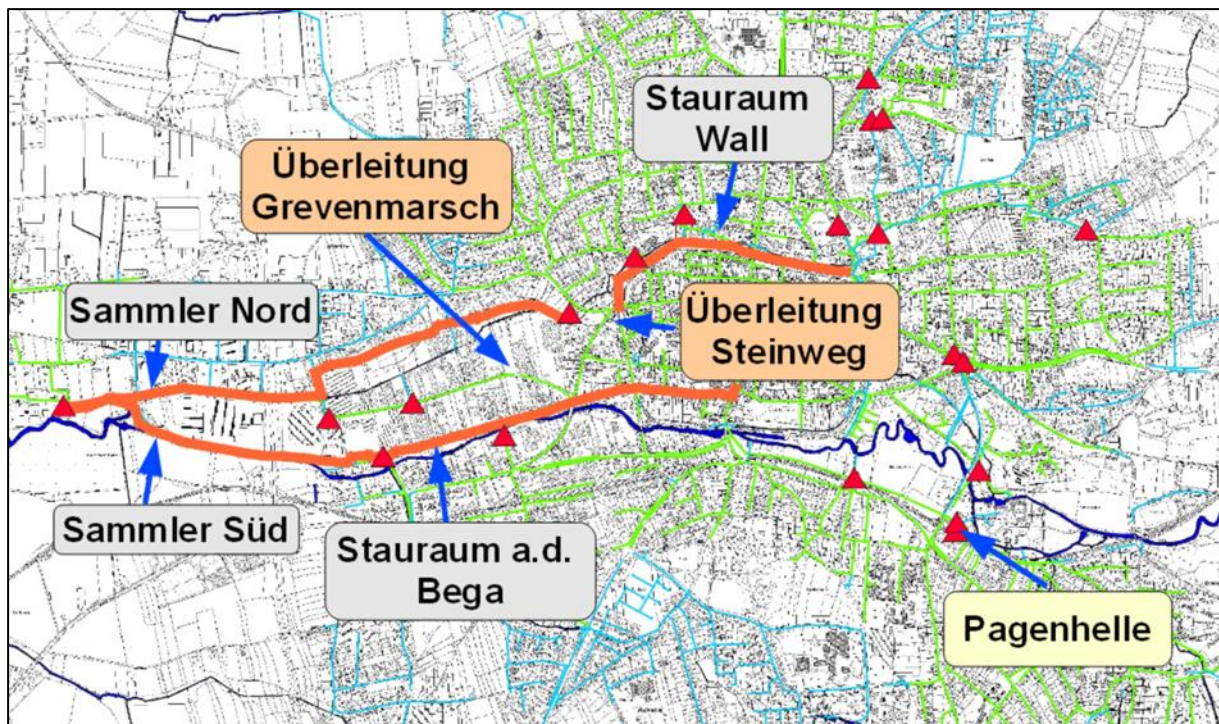


Abb. 3: Lösungsvorschlag der Kanalnetzsteuerung der Stadt Lemgo

### 3.2 Klärwerk Emschermündung

Zukünftig werden die klärflichtigen Abflüsse aus dem Einzugsgebiet der Emscher unterhalb der Kläranlage Dortmund-Deusen über den im Bau befindlichen Abwasserkanal Emscher von Dortmund bis Dinslaken abgeleitet (ca. 51 km Länge). Der Abwasserkanal Emscher (AKE) verläuft bis zum Klärwerk Emschermündung (KLEM) in Dinslaken, welches derzeit noch als Flusskläranlage zur Reinigung der abwasserführenden Emscher betrieben wird, später jedoch ausschließlich mit Abwasser aus dem Abwasserkanal Emscher beschickt wird. Infolge des Umbaus des Emschersystems werden sich der Abwasseranfall und die -zusammensetzung auf dem Klärwerk Emschermündung maßgebend verändern. Diese geänderte Zulaufsituation sowie nachfolgend genannte Gründe machen in einem ersten Bauabschnitt den Neubau der kompletten mechanischen Reinigungsstufe bestehend aus Zulaufpumpwerk, Rechen, Sandfang und Vorklärung erforderlich:

- Die Anlagentechnik ist bereits mehr als 40 Jahre alt und weitgehend abgeschrieben
- Die Kläranlage wurde für Wassermengen bis 45 m<sup>3</sup>/s dimensioniert und ist für die zukünftigen Anforderungen deutlich überdimensioniert



- Die vorhandenen Anlagen liegen unterhalb des HQ<sub>200</sub>-Niveaus der Emscher im Grundwasser und sind nicht auftriebssicher
- Ein Umbau im laufenden Betrieb ist deutlich aufwändiger als ein Ersatzneubau
- Der Ersatzneubau bietet durch die Nutzung von Abraummaterail aus der Emscherumgestaltung die Möglichkeit, die neue mechanische Vorreinigung dem vorhandenen Höhenniveau von biologischer Reinigung und Schlammbehandlung anzupassen und hochwasserfrei anzuordnen

In einem weiteren Bauabschnitt wird geprüft, wie die vorhandene biologische Reinigungsstufe (Belebung, Nachklärung und Rücklaufschlammförderung) an die zukünftig zu erwartenden erhöhten Zulaufwerte angepasst werden muss.

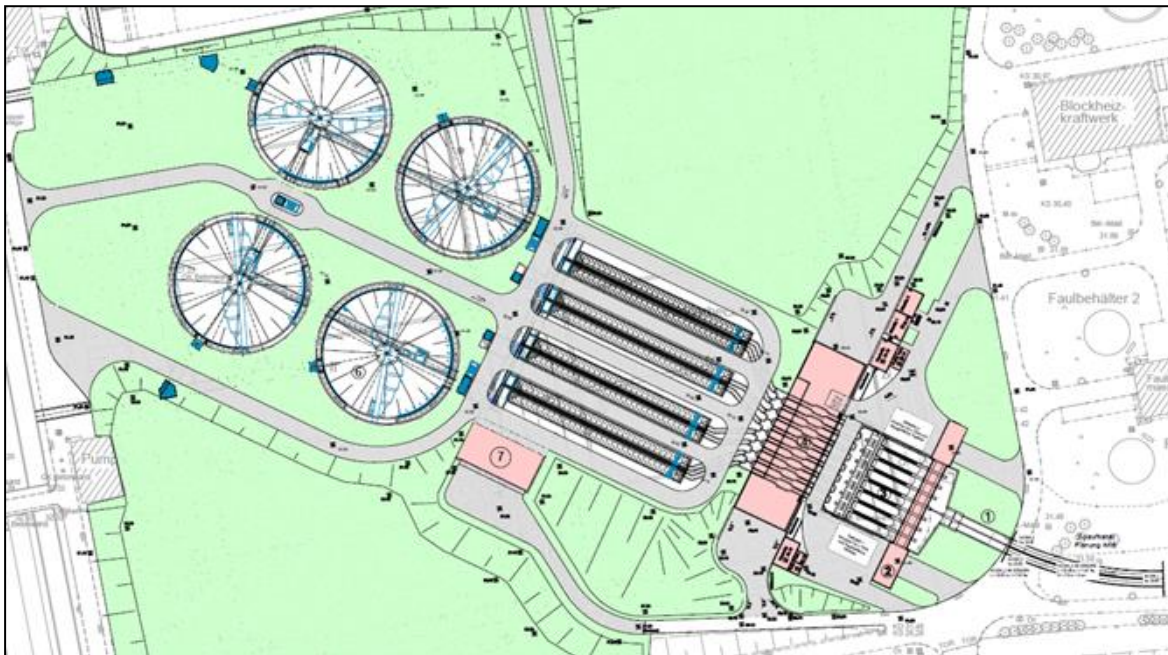


Abb.4: Vorzugsvariante Neubau Mechanik, Übersichtslageplan KLEM

Aufgrund einer hydraulischen Begrenzung der Kläranlage Bottrop, wird dem Klärwerk Emschermündung im Regenwetterfall zusätzliches Mischwasser aus deren Trockenwettereinzugsgebiet zugeleitet. Infolgedessen kommt es zu einer sehr hohen Schwankungsbreite des Zulaufs von  $Q_{\max}/Q_{\min} > 10$  ( $Q_{\min} = 1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $Q_{\max} = 16,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Um der hohen Bandbreite der hydraulischen Belastung und den damit einhergehenden Besonderheiten (Ablagerungsproblematik, hydraulische Optimierung etc.) Rechnung

zu tragen, wurden die neu zu planenden Anlagenteile bereits in der Vorplanung mit einer numerischen Strömungssimulation untersucht und nachgewiesen.

Eine wesentliche Fragestellung zur Erzielung eines optimalen Betriebskonzeptes des Neubaus der Mechanik war, wie die Abwasserverteilung erfolgen und die Fließgeschwindigkeit optimiert werden kann, um Ablagerungen in den Fließgerinnen vom Pumpwerk bis zum Sandfang sicher zu vermeiden. Aufgrund der Abwassermenge von ca. 16,5 m<sup>3</sup>/s sind große Gerinnequerschnitte erforderlich. Dem stehen nur geringe Zuflussmengen von ca. 1,5 m<sup>3</sup>/s in den Nachtstunden gegenüber. Selbst bei der mittleren Trockenwettermenge von  $Q_{T,d} = 3,60$  m<sup>3</sup>/s beträgt die Bandbreite zum Maximalzufluss immer noch 1:4,5. Hierdurch sind Fließgeschwindigkeiten im Bereich von 0,5 - 1,2 m/s nur erreichbar, wenn einzelne Gerinnestraßen außer Betrieb genommen werden. Beim Betrieb einer gemeinsamen Sammelrinne würden sich Ablagerungen in den Trockenwetterzeiten einstellen, die sich dann bei Regenwetterereignissen (teilweise) auflösen und zu Problemen in den weiteren Behandlungsstufen führen können. Auch ist zu erwarten, dass sich bei großvolumigen Gerinnen dauerhafte Totzonen und somit Sandablagerungen bilden, die vom Betrieb in regelmäßigen Abständen zu beseitigen sind.

Bei detaillierter Bewertung der verschiedenen Hydraulik-/ Funktionskonzepte hat sich von den Varianten

- V 1: Zusammenführung von Rechen- und Sandgerinne über Sammelrinnen
- V 2: Direkte Zuordnung von Zulaufhebewerk, Rechen und Sandfang

die zweitgenannte Lösung mit nachfolgend genannten Vorteilen als bessere und zukunftsweisende Lösung herausgestellt:

- Kurze Gerinnelängen und somit raumsparende Anordnung der Gesamtanlage
- In allen Betriebszuständen ausreichende Fließgeschwindigkeit
- Keine Ablagerungsprobleme
- Optimale Gleichverteilung über die vorgeschalteten Pumpen
- Die Reduzierung von Bau- und Betriebskosten

Dieses Konzept gründet auf der Überlegung, dass auf Sammelrinnen verzichtet wird und dass das Abwasser von der Oberwasserseite des Zulaufhebewerkes auf direktem, kurzem Wege den Rechen und den Sandfängen zugeführt wird. Dies hat zur Folge, dass die Anzahl der Straßen im Zulaufhebewerk sowie der Rechen- und Sandfanganlage identisch ist.

In einem weiteren Planungsschwerpunkt wurden die Abwasseraufteilung auf die Vorklärung (gleichförmig angeströmte Gerinne, Quelltopf, Dükerleitung) und die verschiedenen Lösungskonzepte (4 Stück seitlich oder zentrisch angeströmte Rundbecken, 6 Stück Rechteckbecken als Einzel- oder Doppelbecken) diskutiert. Innerhalb der Projektbesprechungen wurde durch modulare Darstellung und Kombination der Aufteilungsbauwerke und Vorklärungskonzepte das große Spektrum an Lösungsvarianten aufgezeigt. Eine Bewertungsmatrix unter Berücksichtigung einer Vielzahl hydraulischer und betrieblicher Kriterien sowie eine Wirtschaftlichkeitsuntersuchung ermöglichten die Entscheidungsgrundlage. Die Emschergenossenschaft legte die seitlich angeströmten Rundvorklärbecken als Vorzugslösung fest, die neben den hydraulischen und wirtschaftlichen Vorteilen den Verzicht auf die betriebstechnisch nicht unproblematische Dükerleitung ermöglicht und hierdurch die Revisionsarbeiten erleichtert (siehe Abb. 5).

Nach einer konventionellen Ermittlung der Bemessungsgrundlagen und der statischen Bemessung der biologischen Stufe wurde eine verfahrenstechnische Simulation für die biologische Reinigungsstufe mit der Software SIMBA des ifak, Magdeburg in der Version 6.4 durchgeführt. Ziel war es, verschiedene Regelstrategien der Belüftung, der Rezirkulation und Rücklaufschlammförderung zu untersuchen und eine energetische sowie wirtschaftliche Bewertung verschiedener Verfahrenskonzepte zu ermöglichen.

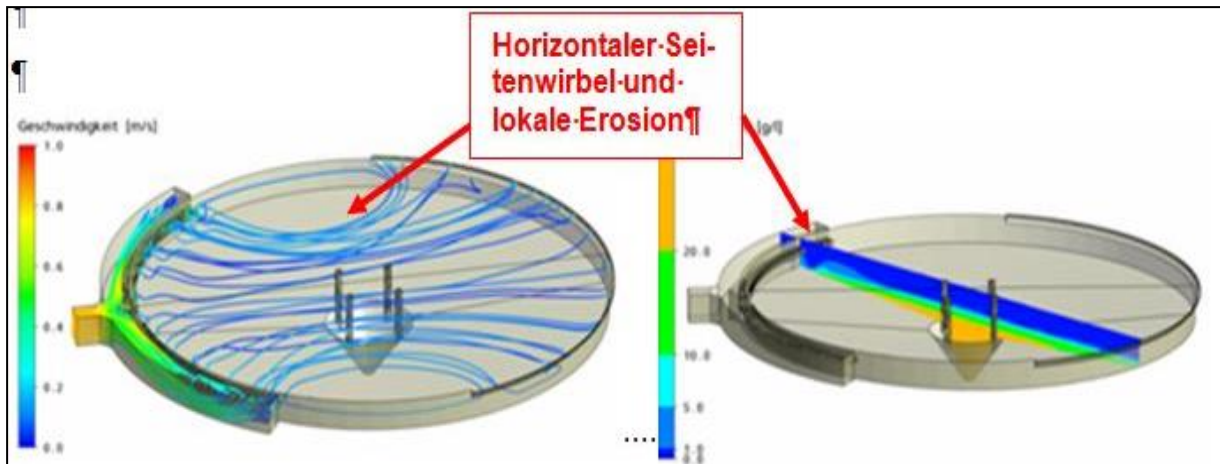


Abb. 5: Ergebnisse CFD-Simulation der seitlich angeströmten Rundvorklärbecken (hydrograv GmbH Dresden)

Zudem können über die dynamische Simulation Nachweise zur Einhaltung der Ablaufgrenzwerte bei außergewöhnlichen Betriebszuständen, die in der statischen Bemessung nicht abgebildet werden können (bspw. Stoßbelastung), erbracht werden. Der statische Nachweis ist hierfür nicht geeignet, da die Belastungen nicht über die Dauer eines Schlammalters anstehen. Die nachfolgende Abbildung zeigt den schematischen Aufbau des Ist-Zustandes der biologischen Reinigungsstufe.

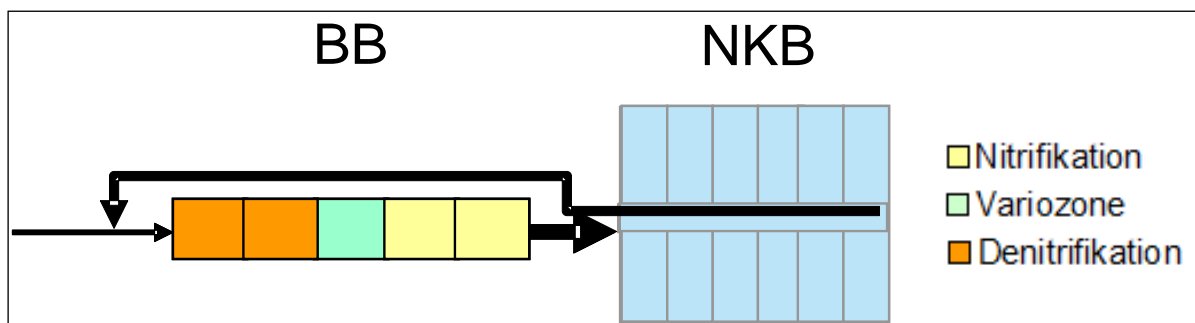


Abb. 6: Ist-Zustand: Biologische Stufe KLEM

Die dynamische Simulation erlaubt die Beurteilung der Ablaufkonzentration relevanter Abwasserinhaltsstoffe. Daneben besteht ein wesentliches Untersuchungsziel darin, die Regelungsstrategie mit dem geringsten Jahresenergieverbrauch für die Stickstoffelimination zu ermitteln.



Die Abb. 7 zeigt den simulierten täglichen Stromverbrauch der biologischen Reinigungsstufe (Umwälzung, Rücklaufschlamm, Rezirkulation, Belüftung) für die untersuchten Varianten.

- Variante 0: Unveränderter Weiterbetrieb IST-Zustand
- Variante 1: Erhöhung TS-Gehalt und interne Rezirkulation
- Variante 2: Vorgeschaltete Denitrifikation mit zusätzlicher fakultativer Kammer
- Variante 3: Intermittierende Denitrifikation in Kammern 2 bis 5
- Variante 4: Intermittierende Denitrifikation in allen Kammern

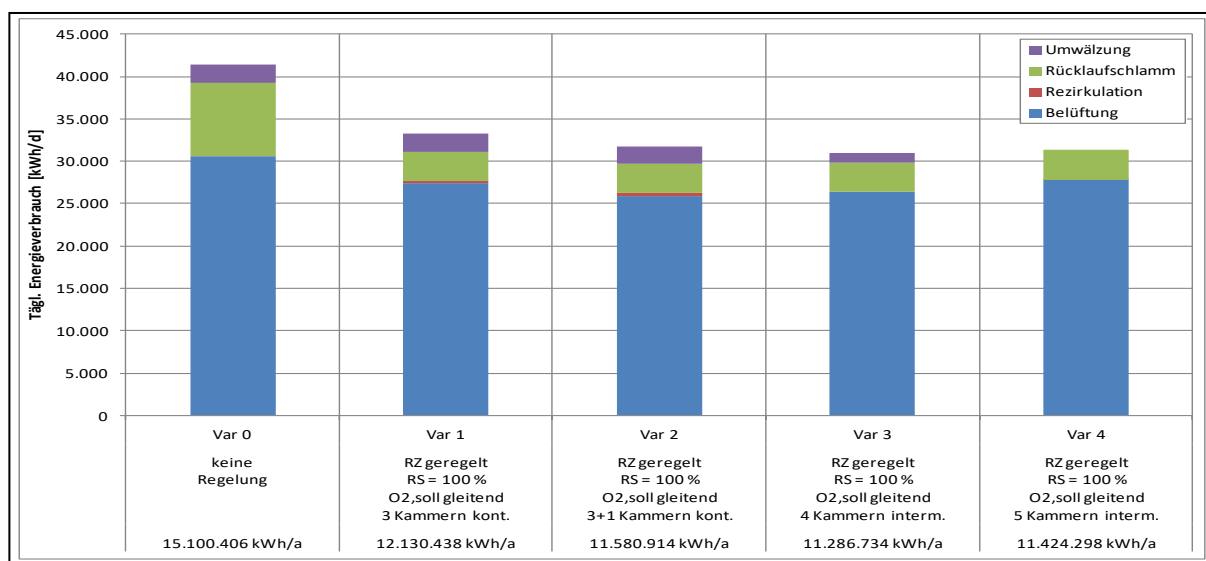


Abb. 7: Simulierter Stromverbrauch der biologischen Reinigungsstufe (WiW mbH Wuppertal)

Die energieeffizientesten Lösungen sind die Varianten 3 und 4. Dabei geht die Variante 3, intermittierende Nitrifikation in Kammern 2 bis 5 und vorgeschaltete Denitrifikation in Kammer 1, mit deutlich geringerem Umbauaufwand einher und wurde daher als Vorzugsvariante festgelegt. Bei dieser Variante werden alle vier Kammern gleichzeitig belüftet und anschließend unbelüftet betrieben. Die vorgeschaltete Denitrifikation wird über den Rücklaufschlamm, der proportional zum Zulauf geregelt wird, mit Nitrat versorgt. Im Ergebnis kann auch bei der Variante 3 mit einer vorgeschalteten Denitrifikationskammer auf eine Rezirkulation verzichtet werden. Die Belüftung wird während der belüfteten Zeit über einen gleitenden Sauerstoffsollwert

geregelt, der kontinuierlich in Abhängigkeit der Ammonium- und Nitratkonzentrationen im Ablauf der Belebung angepasst wird. Die Belebung wird auf Basis des mit der Simulation ermittelten Sauerstoffbedarfes und des darauf aufbauenden Wirtschaftlichkeitsvergleiches mit hocheffizienten Belüfterelementen ausgestattet. Mit vorbeschriebenen Maßnahmen ist die Emschergenossenschaft in der Lage, eine an die zukünftigen Veränderungen angepasste, betrieblich optimierte und wirtschaftliche Gesamtkonzeption nachhaltig umzusetzen.

### 3.3 Hauptklärwerk Mühlhausen

Die Landeshauptstadt Stuttgart, Tiefbauamt Eigenbetrieb Stadtentwässerung (SES), betreibt in Stuttgart-Mühlhausen das Hauptklärwerk (HKW) mit einer Ausbaugröße von 1.200.000 Einwohnerwerten. Das gereinigte Abwasser wird in den Neckar eingeleitet.

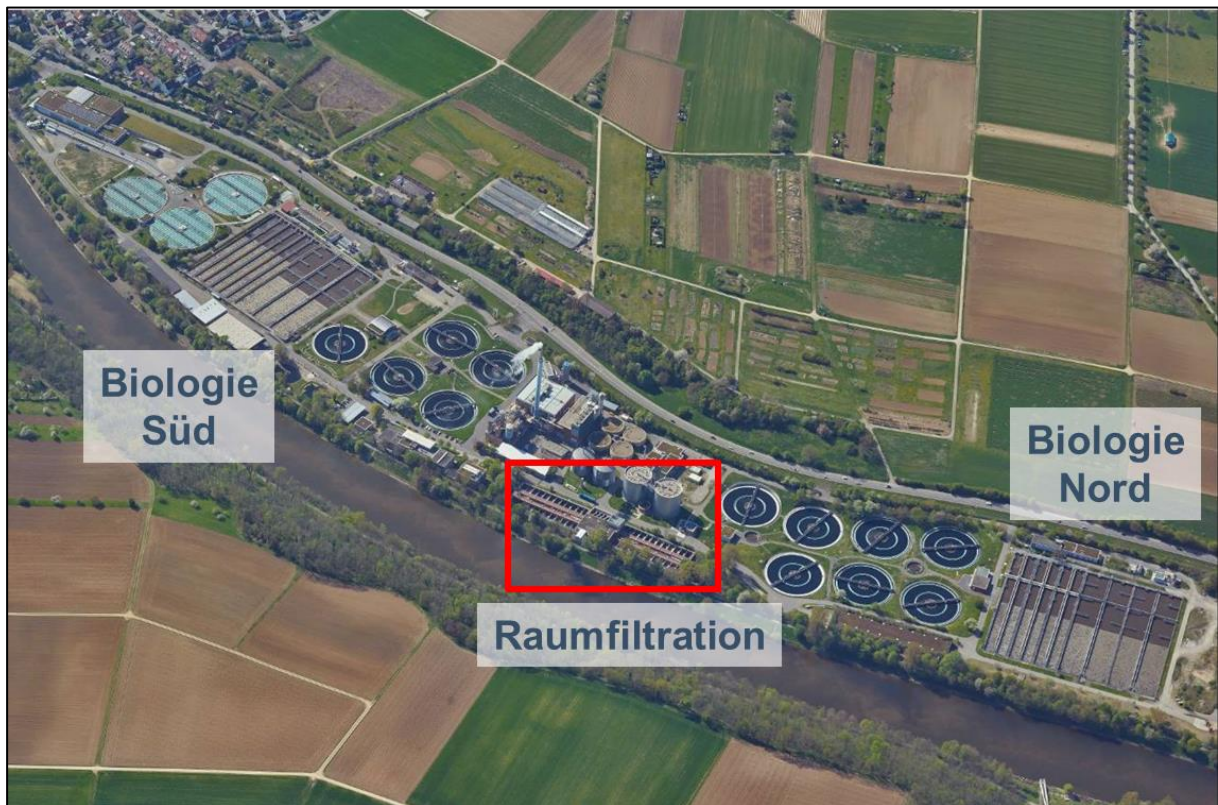


Abb. 8: Luftbild des Hauptklärwerkes Stuttgart-Mühlhausen

Die biologische Reinigungsstufe des HKW Mühlhausen ist in die Biologie Nord und Süd unterteilt, die als zwei separate Belebungsanlagen mit jeweils eigener Nachklärung betrieben werden. Der Zufluss zum Klärwerk wird nach der

mechanischen Reinigungsstufe über ein Verteilerbauwerk auf die Biologie Nord und Süd verteilt, bevor der im Anschluss wieder zusammengeführte Abwasserstrom auf die geplante Flockungsfiltration geführt wird. Über die Modernisierung der biologischen Reinigungsstufe wurde bereits an anderer Stelle berichtet [7].

Die Objektplanung für das Projekt „Neubau Spurenstoffelimination“ wird von der Hydro-Ingenieure GmbH in einer Arbeitsgemeinschaft mit Dahlem Beratende Ingenieure GmbH bearbeitet. Bei der Planung wurde dabei nicht nur die Aufgabenstellung zur Sanierung bzw. Erneuerung der Filtration zur weitergehenden Phosphorelimination betrachtet, sondern auch ein schlüssiges Gesamtkonzept für die Spurenstoff- und die P-Elimination in Zusammenhang mit der biologischen Reinigungsstufe erarbeitet.

Eine Gegenüberstellung und Bewertung unterschiedlicher Varianten, in denen sowohl eine Sanierung der vorhandenen Bausubstanz des Sandfilters als auch ein kompletter Neubau untersucht wurde, führte zu dem Ergebnis, dass eine Weiterverwendung der bestehenden Substanz weitgehend technisch möglich und unter wirtschaftlichen Aspekten sinnvoll ist. Eine umfassende Untersuchung der Gesamtkonzeption bietet jedoch bei Betrachtung der betrieblichen und wirtschaftlichen Aspekte die Chance, eine auf dauerhafte Sicht nachhaltige Optimierung der beiden Zukunftsaufgaben ganzheitlich umzusetzen.

Eine umfangreiche Betriebsdatenauswertung und eine klärtechnische Bemessung verschiedener Lastfallszenarien zeigten, dass die vorhandene Filtrationsanlage ausreichend groß ist, um die zukünftigen Phosphor-Prognosefrachten mit ausreichenden betrieblichen Reserven zu behandeln.

Die im Jahre 2014 durchgeführte Grundlagenermittlung und Vorplanung untersuchte die zum damaligen Zeitpunkt üblichen Verfahrenstechnologien zum Einsatz von pulverisierter und granulierter Aktivkohle sowie von Ozon. Die damals favorisierte Verfahrenstechnik des Neubaus einer PAC-Adsorptionsstufe ergab Investitionskosten von 32,4 Mio. EUR.

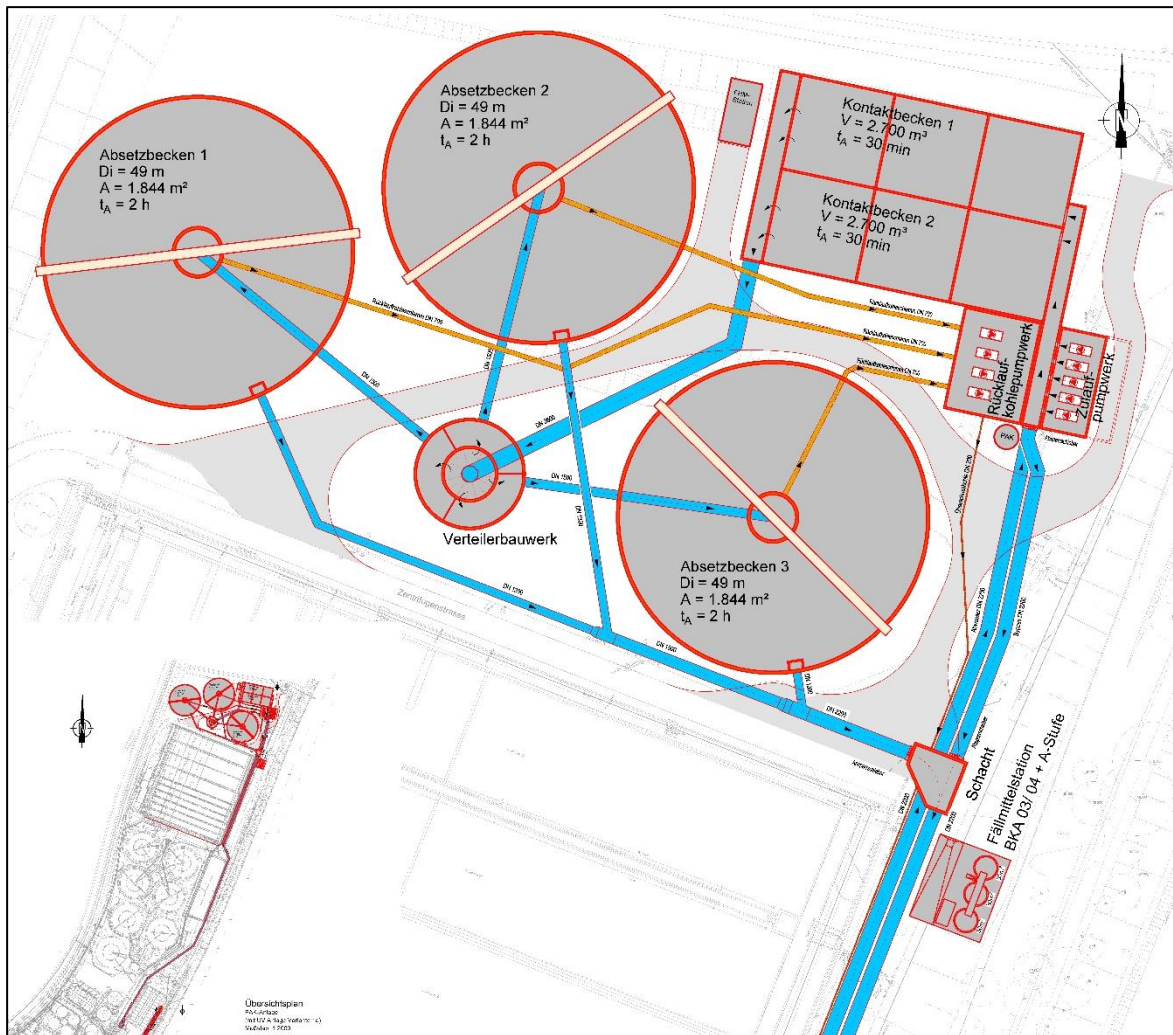


Abb. 9: Lageplan einer PAC-Adsorptionsstufe; favorisierte Lösung der Vorplanung 2014

Während in früheren Jahren die klassische Neubaulösung der PAC-Adsorptionsstufe häufig das Ergebnis von Studien und Vorplanungen gewesen ist, zeigen aktuellere Untersuchungen, insbesondere an großen Kläranlagen mit geringem Flächenangebot, durchaus wirtschaftlich interessante Alternativen auf. Die Verfahrenstechnik der Direktdosierung von PAC in den Überstand einer Flockungsfiltration mit einer vorgeschalteten Reaktionskammer weist deutliche Vorteile im Vergleich zu den Alternativen, wie z. B. einen sehr geringen Flächenbedarf, auf. Insbesondere wenn, wie in Mühlhausen, eine vorhandene Filteranlage, welche für den Zweck der P-Elimination und PAC-Rückhalt verfahrenstechnisch umgebaut / angepasst werden muss die Aufgabe der P-Elimination übernehmen kann, ist für die Spurenstoffelimination nur der Neubau

der PAC-Silos und der Reaktionskammer zur Sicherstellung einer ausreichenden Kontaktzeit erforderlich.

Die Stadtentwässerung Stuttgart hat sich nach einem erfolgreichen 18-monatigen Pilotversuch zur Direktdosierung der Pulveraktivkohle des Kompetenzzentrums Spurenstoffe BW und den positiven Betriebserfahrungen des Wupperverbandes mit der gleichen Technik auf der Kläranlage Wuppertal-Buchenhofen [8,9] zur Planung und Ausführung der Direktdosierung entschieden. Die Anlage zur Spurenstoffelimination ist ausgelegt für eine Wassermenge von 2,8 m<sup>3</sup>/s und damit für etwa 74% der Jahresabwassermenge. Die PAC-Dosierung erfolgt bis zu einem Abwasserzulauf von bis zu max. 2,8 m<sup>3</sup>/s und wird bei größeren Zuflüssen abgeschaltet. Hierdurch wird ein PAC-Durchbruch in der Flockungsfiltration vermieden. In diesem Fall übernimmt die Direktdosierung im Ablauf der Biologie die Aufgabe der Spurenstoffelimination. Folgende Verfahrenskomponenten sind Bestandteil der Gesamtkonzeption:

#### Teil 1 - Maßnahmen bis $Q_{TW} = 2,8 \text{ m}^3/\text{s}$

- 2 Reaktionskammern mit 400 m<sup>3</sup> plus Kontaktvolumen im Filter – Kontaktzeit von 30 min
- 2 PAC-Silos mit einem Fassungsvermögen von 150 m<sup>3</sup>
- Weiternutzung der Filteranlage mit 48 Zellen a 40 m<sup>2</sup>
- Ausbau in 2 Bauabschnitten

#### Teil 2 – Maßnahmen bei $Q_{RW} = 7,5 \text{ m}^3/\text{s}$

- 2 PAC-Silos mit einem Fassungsvermögen von 150 m<sup>3</sup>
- Standort jeweils an der Biologie Nord und Süd
- Zudosierung von PAC in den Ablauf der Belebungsbecken ab  $Q = 2,8 \text{ m}^3/\text{s}$
- Dosiermenge bei RW entspr. Tagesfracht PAC bei TW
- Ausbau im 1. Bauabschnitt 2019

Die erforderliche Kontaktzeit wurde im Rahmen der Pilotversuche ermittelt und auf 30 min festgelegt. Unter Berücksichtigung des Filteraufbaus wird im Filter eine Kontaktzeit von 25,6 min erreicht und somit ist ein zusätzliches Volumen in der Kontaktzone vor der Filteranlage von  $2 * 400 \text{ m}^3$  notwendig. Dieses Volumen wird



jeweils in einem Reaktionsbecken im Zulauf zu den beiden Filterflügeln mit jeweils 24 Filterkammern angeordnet.

Für die Spurenstoffbehandlung am Flockungsfilter im HKW Mühlhausen werden die folgenden Anlagenteile neu errichtet bzw. erweitert:

- Schneckenpumpwerk Spurenstoffelimination 1 + 2
- Einmischbecken 1+ 2 mit Entleerungsleitung DN 250
- Verbindungsleitung DN 1400 vom Einmischbecken zum Rohwasserkanal
- PAC-Silo 1 + 2 mit integrierter PAC-Dosieranlage
- Fällmitteldosieranlage Spurenstoffe (Erweiterung)

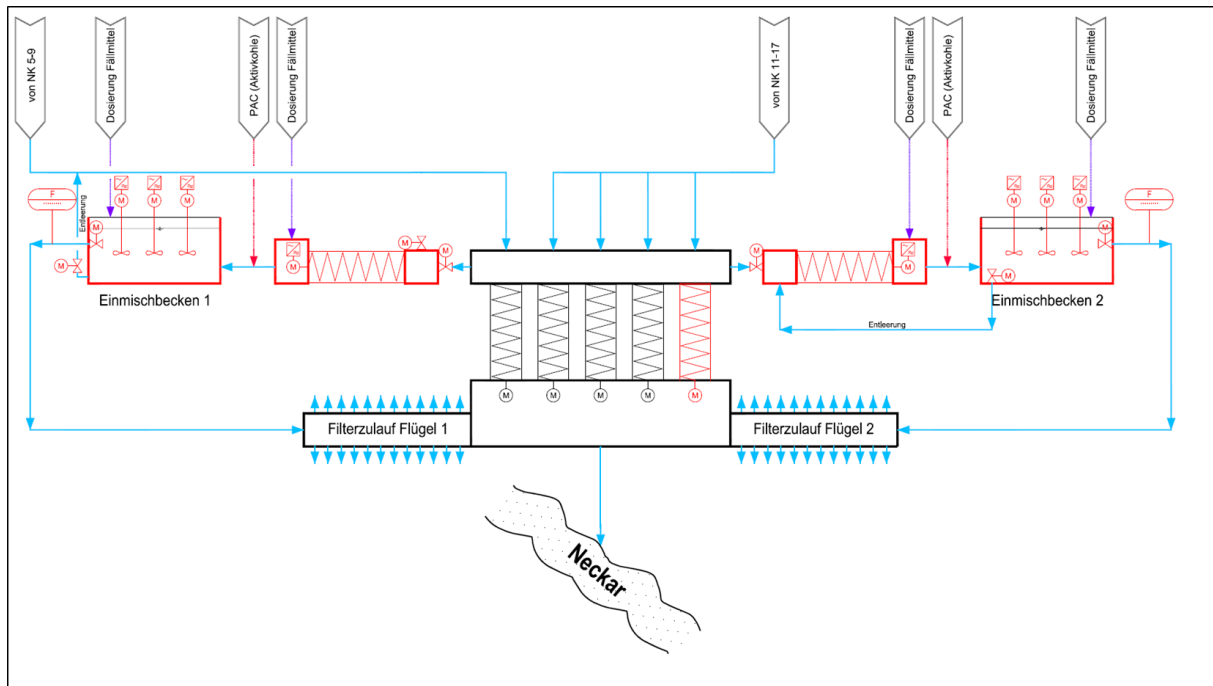


Abb. 10: Übertragung der Versuchskonzeption auf die Großanlage

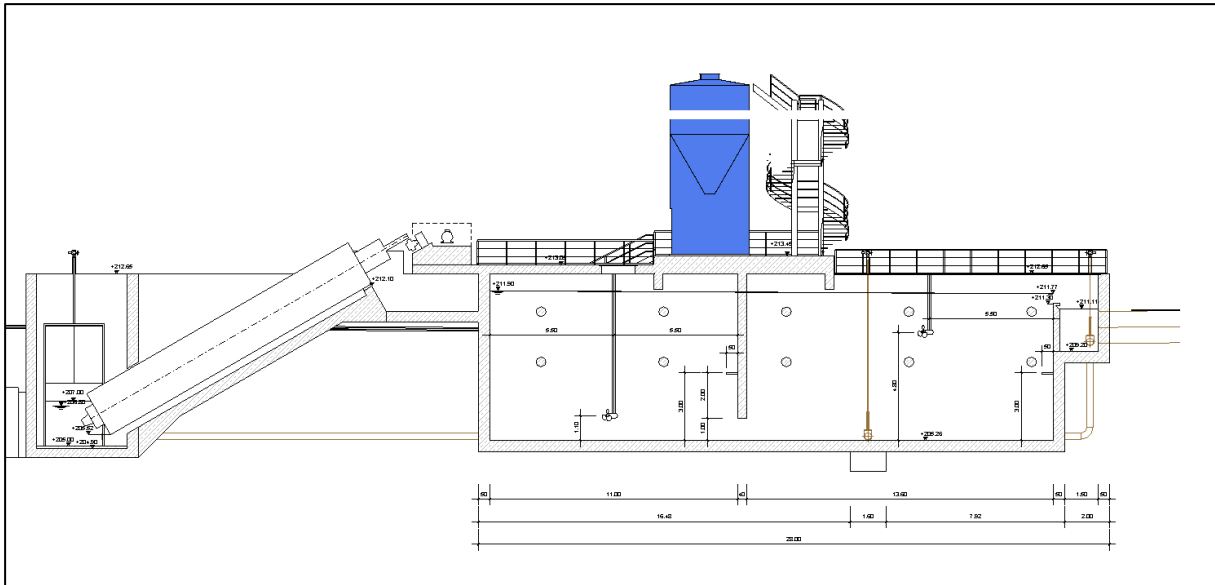


Abb. 11: Einmischbecken (Nord) mit Schneckenpumpwerk und PAC-Silo

Die Entnahme der beiden gleich großen Teilströme erfolgt aus dem Pumpensumpf der Filtration für die Spurenstoffbehandlungsanlage durch jeweils neu zu installierende Schneckenpumpen.

Unmittelbar an jedes Schneckenpumpwerk wird ein Einmischbecken angeordnet. Dieses Becken wird durch eine neu zu verlegende Rohrleitung DN 1400 mit den Rohwasserkanälen der Filterflügel 1 bzw. 2 verbunden.

Bis zu einem Abwasserzulauf von 2,8 m<sup>3</sup>/s aus den beiden biologischen Reinigungsstufen wird das gesamte Wasser durch die Spurenstoffanlagen geleitet. Die Aufteilung soll zu gleichen Teilen auf die beiden Straßen der Spurenstoffbehandlung erfolgen.

Abgesehen von außergewöhnlichen Betriebszuständen (z.B. Wartung, Umbauarbeiten, Hochwasser im Neckar etc.) schaltet die Spurenstoffbehandlung ab einer Zulaufmenge von über 2,8 m<sup>3</sup>/s ab und das Wasser wird komplett vom Schneckenpumpwerk Filtration gehoben und zu den Filterkammern geleitet.

Aufgrund von Anforderungen der Genehmigungsbehörde wird während der Abschaltung der Dosierung in den Zulauf der Filtrationsanlage eine Direktdosierung von PAC in den Ablauf der Belebung vorgesehen. Hierzu werden am Ablauf der Biologie Süd und der Biologie Nord jeweils eine Lager- und Dosierstation für PAC angeordnet. Bei einem Zulauf von mehr als 2,8 m<sup>3</sup>/s erfolgt die PAC-Dosierung am jeweiligen Ablauf der Biologien mit der PAC-Fracht eines Trockenwettertages an der Filtration. Die maximale Auslegung erfolgt auf 20 mg/l, wobei die empfohlene Höchstmenge 15 mg/l beträgt. Als Lagerbehälter wird je Spurenstoffanlage ein Silo mit einem Nutzvolumen von 150 m<sup>3</sup> inklusive der Austrags- und Dosiereinrichtung installiert.

Die Direktdosierung an den Belebungsbecken wird im Rahmen des 1. Bauabschnittes errichtet und in Betrieb genommen. Die Anlage wird zunächst als „Proportionaldosierung“ in Abhängigkeit von der Durchflussmengenmessung am Zulauf der Biologie betrieben. Die Dosiermenge kann von 1 bis maximal 15 mg PAC/l gewählt werden. Hierdurch wird bereits zu Beginn des Projektes eine frühzeitige Elimination von Spurenstoffen erreicht.

#### **4 Zusammenfassung**

Die heutigen Optimierungsaufgaben von mechanisch-biologischen Reinigungsstufen kommunaler Kläranlagen erfordern eine ganzheitliche Systembetrachtung mit den Zielen „Reinigungsleistung verbessern“, „Energie einsparen“ und „Betriebskosten senken“ sowie die Verbesserung der betrieblichen Arbeitsbedingungen. Die vorgeschlagene integrale technische Optimierung mit einer Schwachstellenanalyse unter Berücksichtigung moderner und erfolgreich bestätigter Simulationswerkzeuge, wie eine dynamische, verfahrenstechnische oder strömungstechnische Simulation, ergibt hierzu sichere Aussagen als Grundlage von Lösungskonzepten. Eine tiefgehende Auseinandersetzung mit der Aufgabenstellung, eine fundierte Bestandsaufnahme sowie die zugehörige Wirtschaftlichkeitsbetrachtung können heutzutage als selbstverständlich bezeichnet werden. Das abschließende Zusammenführen aller erzielten Teilinformationen innerhalb der Projektabwicklung ermöglicht eine in sich schlüssige Optimierung der Aufgabe als Grundlage einer nachhaltigen Investitionsstrategie.



Voraussetzung für den Projekterfolg ist u. a. die sorgfältige Gegenüberstellung / Auswahl von verschiedensten Lösungskonzepten unter grundsätzlicher Beteiligung des Betriebspersonals, um die Erfahrungen und Erkenntnisse aus dem bisherigen Betrieb der Kläranlage mit einzubeziehen. Zukünftig werden sich die Anforderungen an bedarfsgerechte Lösungskonzepte weiter erhöhen und damit den Anspruch an die Planungsqualität und an die Qualifikation des beratenden Ingenieurs kontinuierlich steigern. Mit vorliegendem Beitrag wird anhand von aktuellen Praxisbeispielen aufgezeigt, welche Arbeitsschritte in einer konzeptionellen Herangehensweise heutzutage notwendig sind und welche Erfahrungen hierbei gesammelt wurden. Die dynamischen Simulationsrechnungen sowie die CFD-Simulationen erfolgten in den dargestellten Projekten in Zusammenarbeit mit der Wupperverbandsgesellschaft für integrale Wasserwirtschaft (WiW mbH) und der hydrograv GmbH, Dresden.

## Literatur

- [1] Kolisch, G., Armbruster, M., Hobus, I., Alt, K. (2014): "Integrale Optimierung biologischer Klärstufen", KA Korrespondenz Abwasser - Ausgabe 03/2015
- [2] Alt, K., Kolisch, G. (2014): „Integraler Ansatz zur Optimierung von Kläranlagen - Beispiele aus der Praxis“, 28. Karlsruher Flockungstage
- [3] Alt, K. (2015): „Nachhaltige Planung von Kläranlagen im Lichte heutiger Anforderungen“, 48. Essener Tagung
- [4] Teichgräber, B., Hetschel, M. (2018): „Bemessung der einstufigen biologischen Abwasserreinigung nach DWA-A 131“, DWA Buchstabenkurs Q2 - kommunale Abwasserbehandlung in Göttingen
- [5] Alt K. (2018): „Umbau von Flockungsfiltrationsanlagen zur Aktivkohle- / Ozonanlagen“, DWA Seminar „Technische Innovationen bei der Abwasserreinigung (Jubiläumsveranstaltung der Oswald-Schulze-Stiftung) in Münster
- [6] Alt, K., Armbruster, M., Heuner, F. (2011): „Strömungstechnische Defizite mittels CFD-Simulation während des Planungsprozesses aufdecken und vermeiden - aktuelle Beispiele aus der Praxis“, 12. Kölner Kanal und Kläranlagen Kolloquium
- [7] Alt, K., Niehoff, H., Barnscheidt, I. (2017): „Planung zur technischen Anlagenerneuerung - aktuelle Ansätze (Praxisbeispiele)“, 50. Essener Tagung
- [8] Kolisch, G., Taudien, Y., Bornemann, C., Hachenberg, M., Alt, K., Böhm, F., Nahrstedt, A. (2017): „Technische Erprobung des Aktivkohleeinsatzes zur Elimination von Spurenstoffen in Verbindung mit vorhandenen Filteranlagen - Filter AK+ - Teil 1: Ergebnisse“, Korrespondenz Abwasser 04/2017
- [9] Kolisch, G., Taudien, Y., Bornemann, C., Hachenberg, M., Alt, K., Böhm, F., Nahrstedt, A. (2017): „Technische Erprobung des Aktivkohleeinsatzes zur Elimination von Spurenstoffen in Verbindung mit vorhandenen Filteranlagen - Filter AK+ - Teil 2: Kostenvergleich“, Korrespondenz Abwasser 05/2017

Anschrift der Verfasser:

Dipl.-Ing. Klaus Alt  
Hydro-Ingenieure Planungsgesellschaft für Siedlungswasserwirtschaft mbH  
Stockkampstraße 10  
40477 Düsseldorf  
klaus.alt@hydro-ingenieure.de

Dipl.-Ing. Inge Barnscheidt  
Hydro-Ingenieure Planungsgesellschaft für Siedlungswasserwirtschaft mbH  
Stockkampstraße 10  
40477 Düsseldorf  
inge.barnscheidt@hydro-ingenieure.de

# **Reinigungsleistungs- und energieoptimierter Betrieb von Kläranlagen**

Andreas Reichert, Johann Vossler

ENRW Eigenbetrieb Stadtentwässerung Rottweil

## **Kurzfassung**

Eine gute Reinigungsleistung und ein energieoptimierter Betrieb einer Kläranlage müssen nicht unbedingt im Widerspruch zueinander stehen. Viele einzelne Maßnahmen haben auf der Kläranlage Rottweil dazu geführt, dass die Reinigungsleistung sowie die Energieausbeute optimiert werden konnten. Heute produziert die Kläranlage Rottweil mehr als den Eigenbedarf an Strom.

## **1 Ausgangssituation**

### **1.1 Historie**

Die Kläranlage Rottweil feierte 2017 ihr 100-jähriges Jubiläum. Da in Rottweil ein für den 1. Weltkrieg wichtiges Rüstungsunternehmen (Pulverfabrik) Neckarwasser für die Produktion verwendete, erkannte man frühzeitig die Notwendigkeit, die Belastung des Neckars durch eingeleitetes Abwasser zu reduzieren. Die erste Anlage bestand aus einem Emscher-Brunnen. Seither wurde die Anlage ständig erweitert und umgebaut, so dass sie auf dem Stand der Technik gehalten wurde.

### **1.2 Ablauf der wasserrechtlichen Genehmigung**

Als 2012 die wasserrechtliche Genehmigung der Kläranlage ablief, war die Kläranlage an der Kapazitätsgrenze (Abbildung 1).

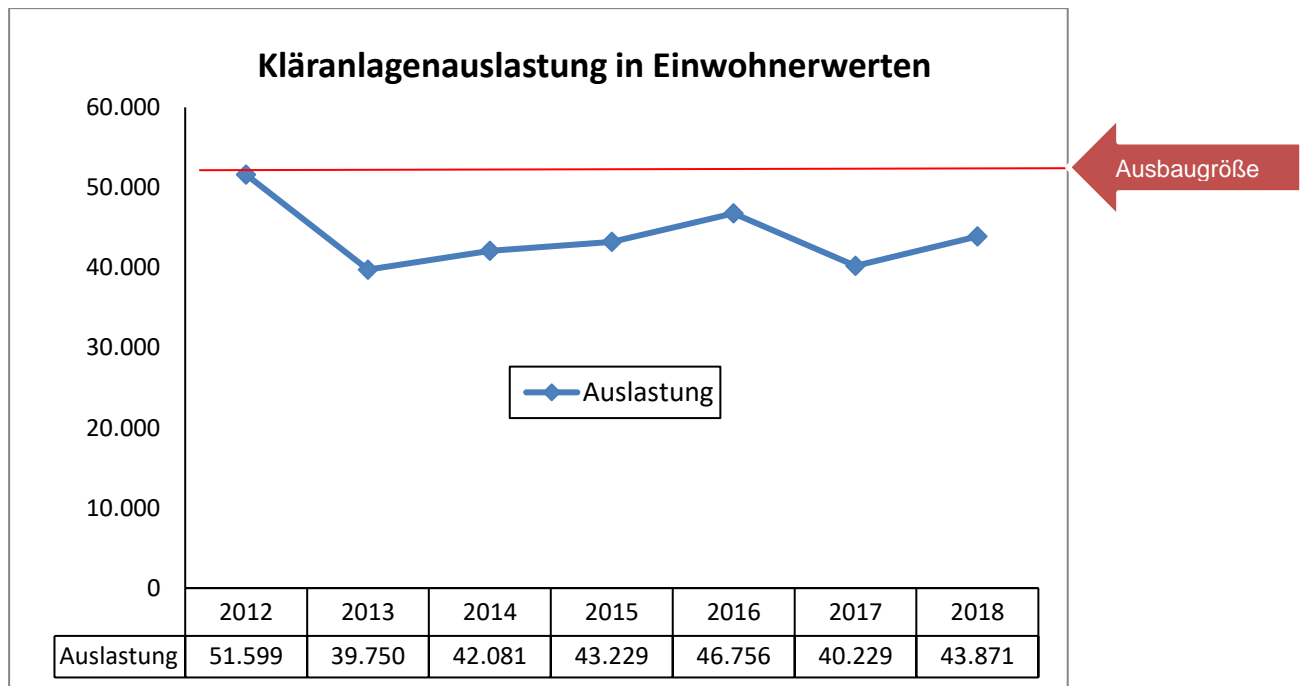


Abb. 1: Auslastung der Kläranlagen Rottweil von 2012 bis 2018

Zu dieser Zeit war noch ein Milchwerk angeschlossen. Im Jahr 2013 wurde dann ein zweites NKB in Betrieb genommen. 2013 wurde dann allerdings die Produktion des Milchwerks gedrosselt, dadurch reduzierte sich auch der Faulgasanfall. Ende 2014 wurde das Milchwerk komplett stillgelegt.

Die Anlage wurde bis dahin mit einer „vorgeschalteten Denitrifikation“ betrieben.

## 2 Energieeinsparungsmaßnahmen

### 2.1 Änderung der Verfahrenstechnik

Für die Verlängerung des Wasserrechtsantrags wurde vom Landratsamt der Bau eines weiteren Nachklärbeckens gefordert. Mit der Inbetriebnahme des neuen NKB im Jahre 2014 wurde auch die Verfahrenstechnik geändert und die Belüfter wurden ausgetauscht. Die Keramikkerzen wurden durch Messmer-Belüfterplatten ersetzt, so dass jetzt eine „Intermittierende Belüftung“ möglich wurde. Vorher wurde die Kläranlage als „Vorgeschaltete Denitrifikation“ betrieben. Mit der Verfahrensumstellung und dem Einbau von Online-Sonden konnte jetzt in allen Becken lastabhängig sowohl nitrifiziert als auch denitrifiziert werden.

Durch die intermittierende Belüftung konnte auch die Kreislaufführung für die vorgeschaltete Denitrifikation wegfallen.

## 2.2 Abschaffung der Rührwerke

Durch die Abschaffung der Rührwerke während der Deni-Phase wird der Schlamm jetzt mit einer Impulsbelüftung von maximal 120 Sekunden in Schwebelage gehalten.

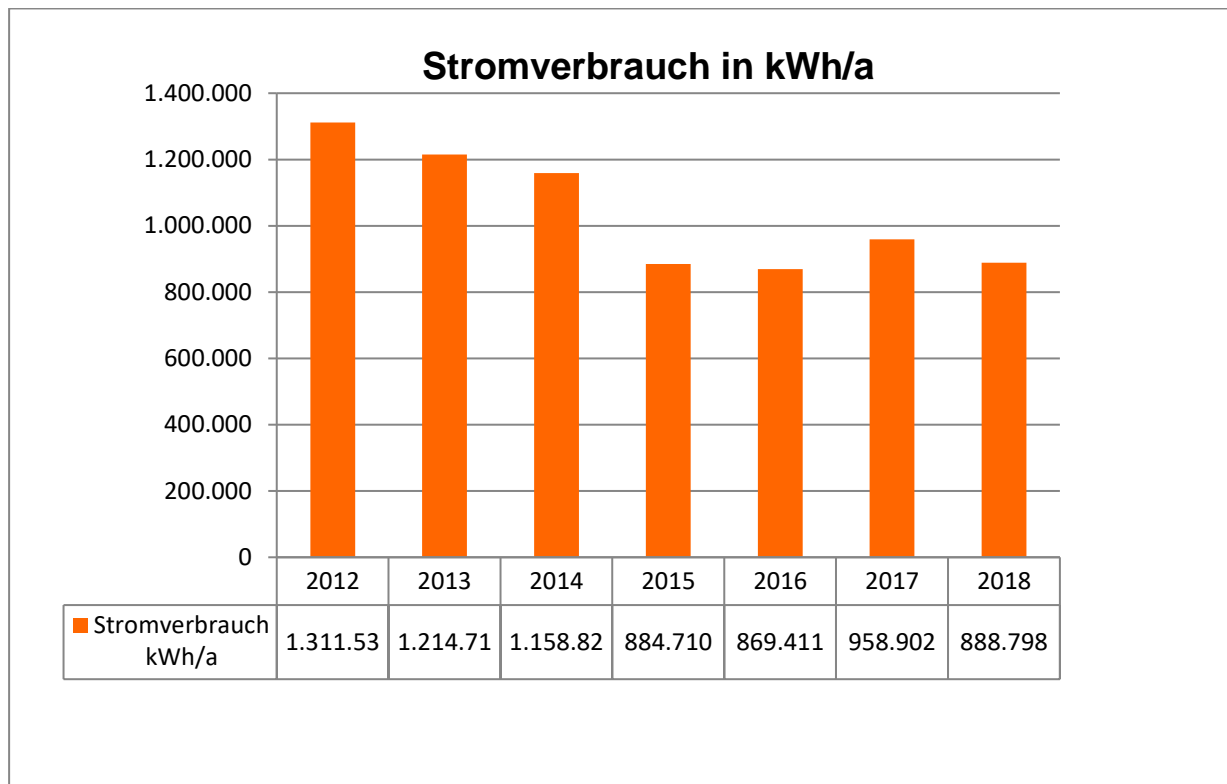


Abb. 2: Stromverbrauch der Kläranlagen Rottweil (2012 bis 2018)

## 2.3 Investition in neue Gebläse

Die Gebläse für die Nitrifikation waren schon über 40 Jahre alt. Sie waren zwar solide gebaut und relativ wartungsarm, aber leider war der Wirkungsgrad relativ niedrig. Deshalb entschlossen wir uns 2014, die alten Gebläse durch neue Delta Hybrid-Gebläse zu ersetzen. Dies führte ebenfalls zu einer wesentlichen Reduzierung des Stromverbrauchs (Abbildung 2).

### 3 Erhöhung der Gasproduktion

#### 3.1 Annahme von Fremdschlämmen

Zwei umliegende Gemeinden traten 2017 an uns heran und baten uns, ihren Nassschlamm bei uns auf der Kläranlage anliefern zu dürfen. Seit Juli 2017 behandeln wir nun den Nassschlamm von diesen Gemeinden mit (Abbildung 3). Da es sich um aerob stabilisierten Schlamm handelt, trägt dieser nur zu einer sehr geringfügigen Erhöhung der Energieausbeute bei.

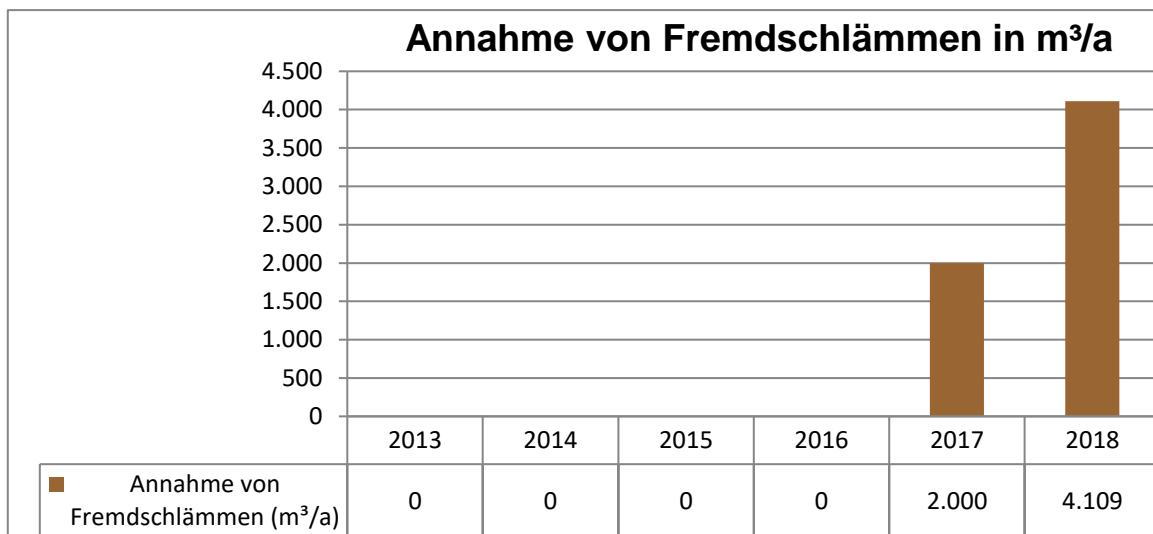


Abb. 3: Annahme von Fremdschlamm-mengen

#### 3.2 Annahme von Fett aus Fettabscheidern

2015 erniedrigten wir den Preis für die Annahme von Fett aus Fettabscheidern. Deshalb erhöhte sich die Bereitschaft von Entsorgungsfirmen das Fettwassergemisch bei uns anzuliefern (Abbildung 4). Durch die Fettannahme wird die Gasausbeute erhöht.

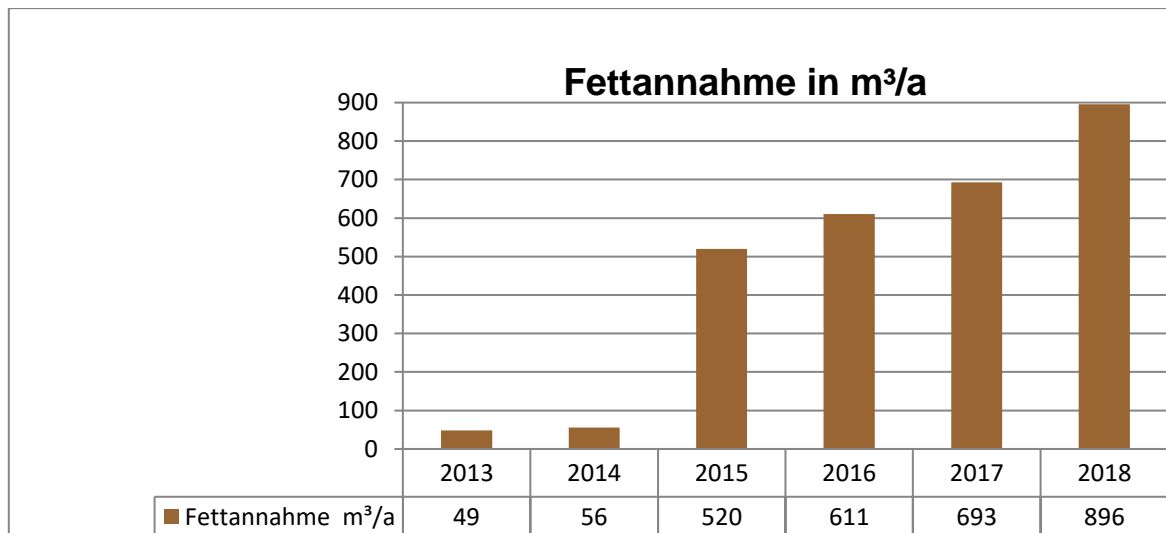


Abb. 4: Annahme von Fettmengen

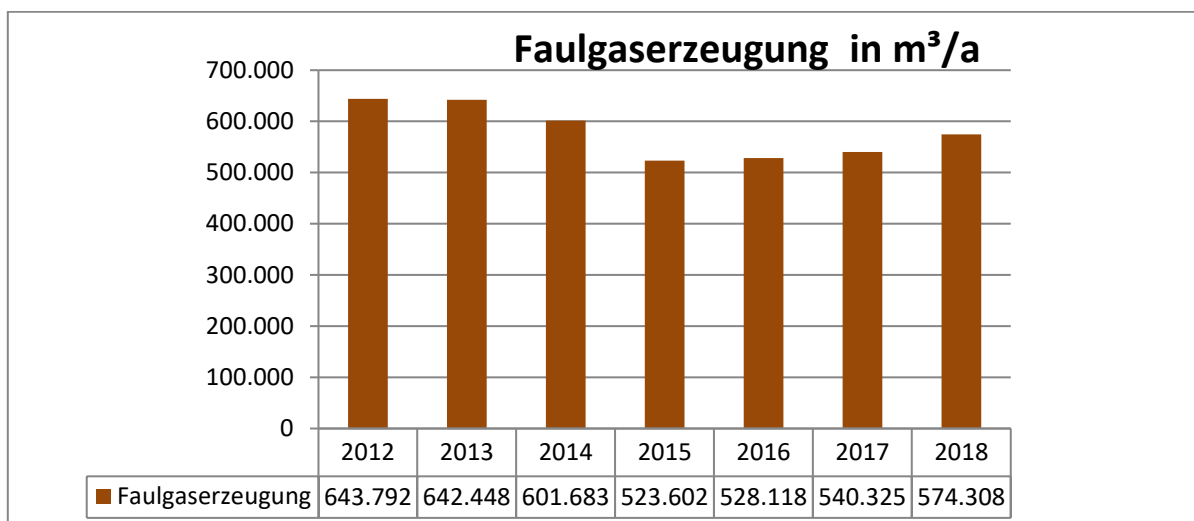


Abb. 5: Entwicklung der Faulgaserzeugung

In Abbildung 5 ist deutlich zu erkennen, wie die Gasproduktion durch den Wegfall des Milchwerks zurückging und danach wieder leicht anstieg. Der Anstieg der Gaserzeugung ist durch die vorgenannten Maßnahmen zu erklären.

### 3.3 Investition in Schwallspülung im Zulaufsammler

Durch die Installation einer Schwallspülung im flachen Zulaufsammler konnten Zulaufschwankungen, welche durch Absetzungen im Sammler entstanden,

weitgehend ausgeglichen werden. Ammoniumspitzen, die bei jedem Regenereignis auftraten, konnten damit wesentlich reduziert werden. Dadurch konnte zum einen die Primärschlammmenge erhöht werden und zum anderen die am Regenüberlaufbecken der Kläranlage abgeschlagene Schmutzfracht erheblich vermindert werden.

## 4 Erhöhung der Stromproduktion

### 4.1 Investition in neue BHKWs

Die alten BHKWs - sie waren gerade abgeschrieben - wurden Ende Dezember 2015 durch BHKWs mit einem wesentlich höheren Wirkungsgrad ersetzt. Dadurch konnte jetzt mehr Strom (und auch Wärme) erzeugt werden (Abbildungen 6 und 7), so dass der Wegfall des Milchwerks weitgehend kompensiert werden konnte.

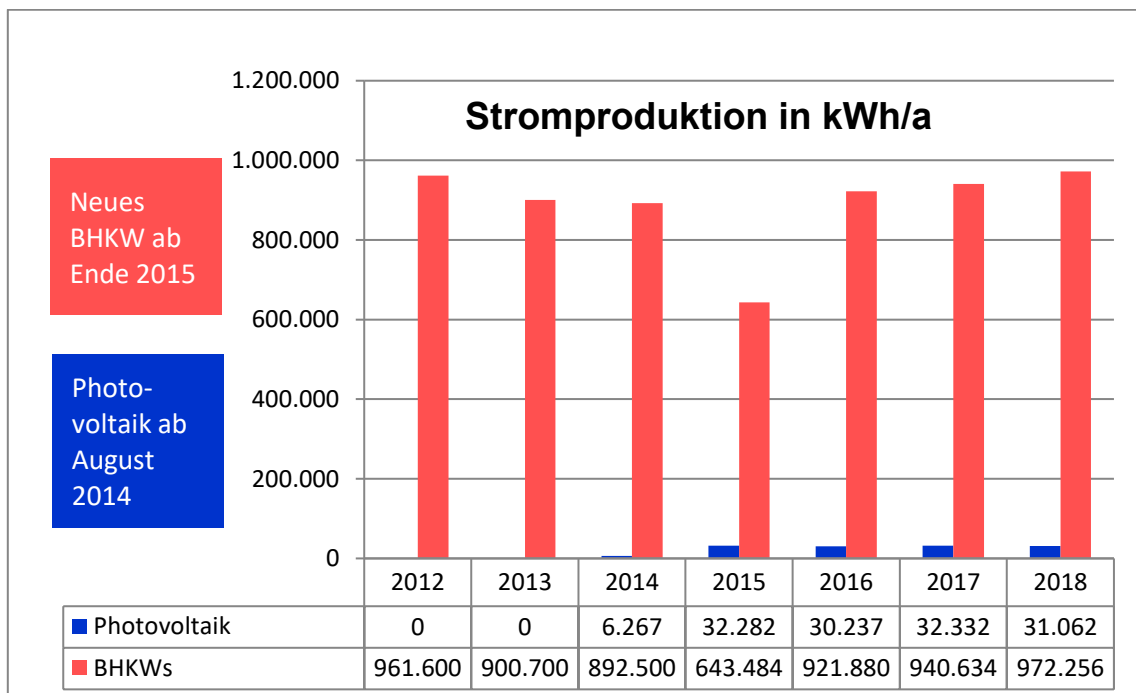


Abb. 6: Entwicklung der Stromproduktion



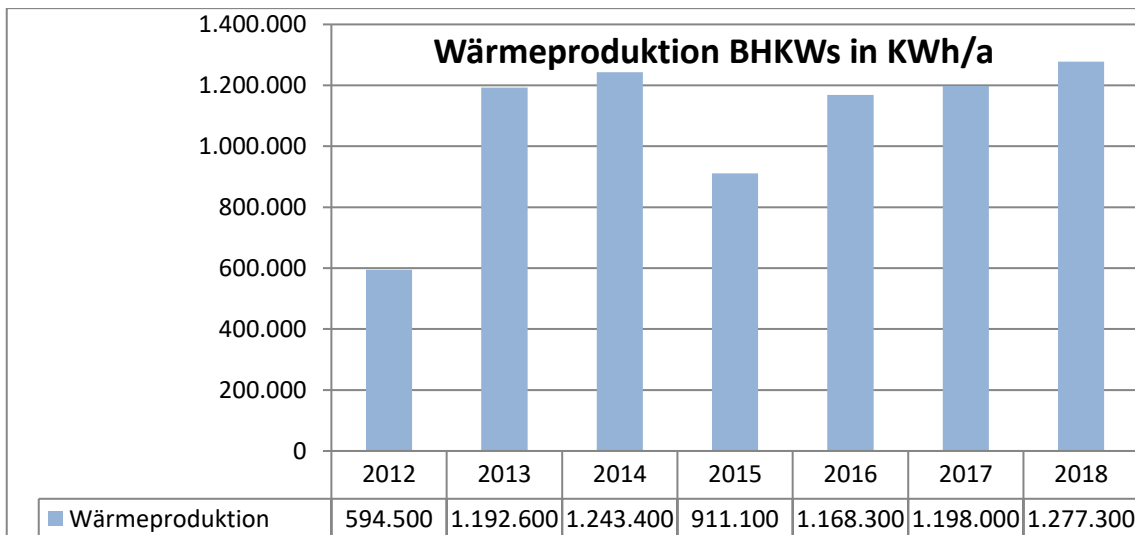


Abb. 7: Entwicklung der Wärmeproduktion

#### 4.2 Änderung der Steuerung der BHKWs

Mitte 2018 wurde die Steuerung der BHKWs umprogrammiert, so dass sie jetzt verbrauchsabhängig gefahren werden. Dies führte dazu, dass wir weniger Strom einspeisen müssen und weniger Strom geliefert bekommen. Dadurch erzielen wir eine nicht unwesentliche Kostenersparnis.

#### 4.3 Investition in Desintegration

2017 installierten wir auf der Kläranlage eine Klärschlamm-Desintegration. Ein Pilotprojekt, welches mittels Unterdruck und Schwingungen Kavitation erzeugt. Zunächst führte dies nicht zum gewünschten Erfolg (Abbildung 8), da die Anlage noch einige Kinderkrankheiten hatte. 2018 wurde sie jedoch entsprechend umgebaut, so dass sie seit April 2019 regulär in Betrieb gehen konnte. Derzeit wird die Wirksamkeit dieser neuartigen Desintegration wissenschaftlich von der Universität Stuttgart untersucht.

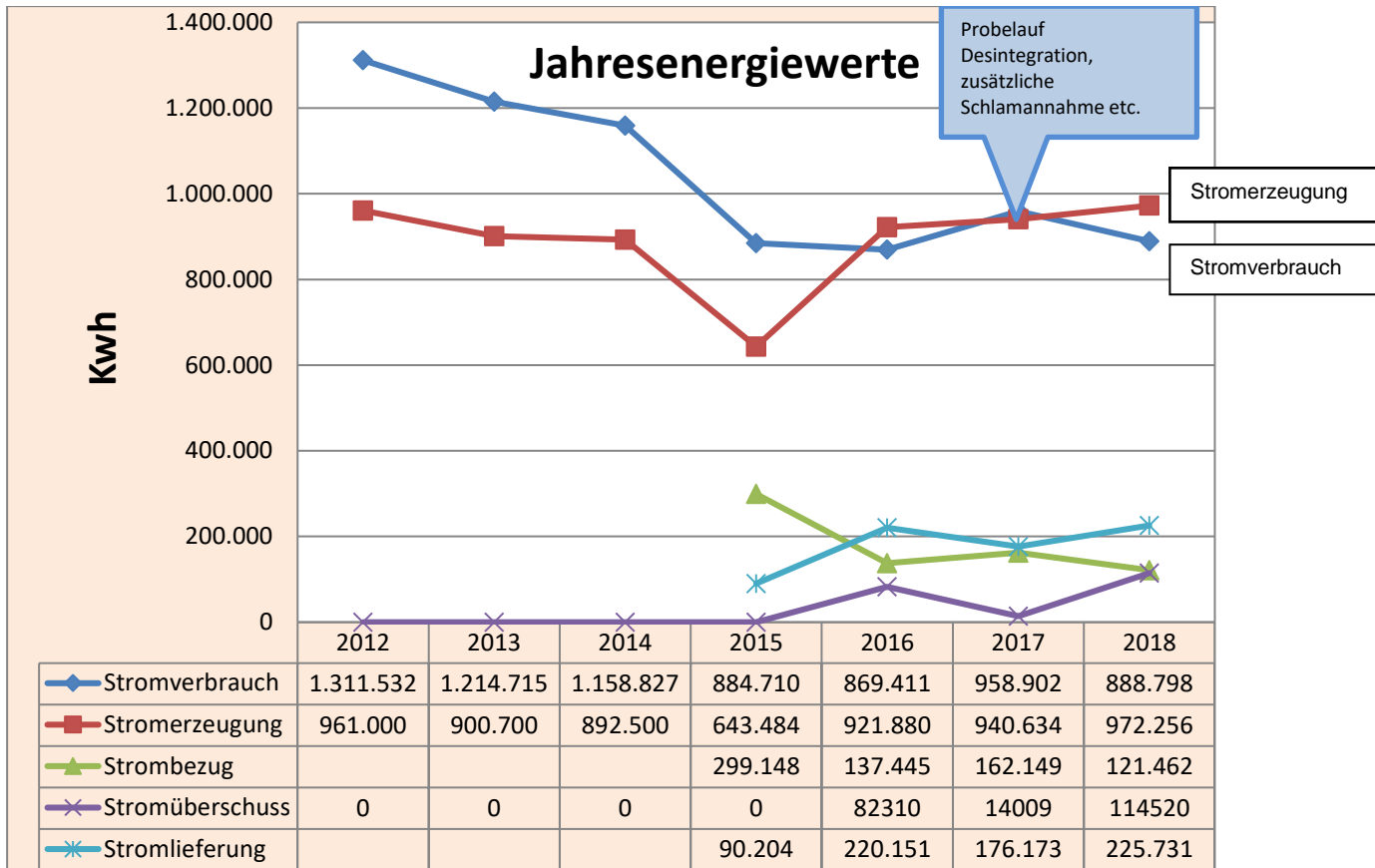


Abb. 8: Entwicklung der Energiewerte von 2012 bis 2018

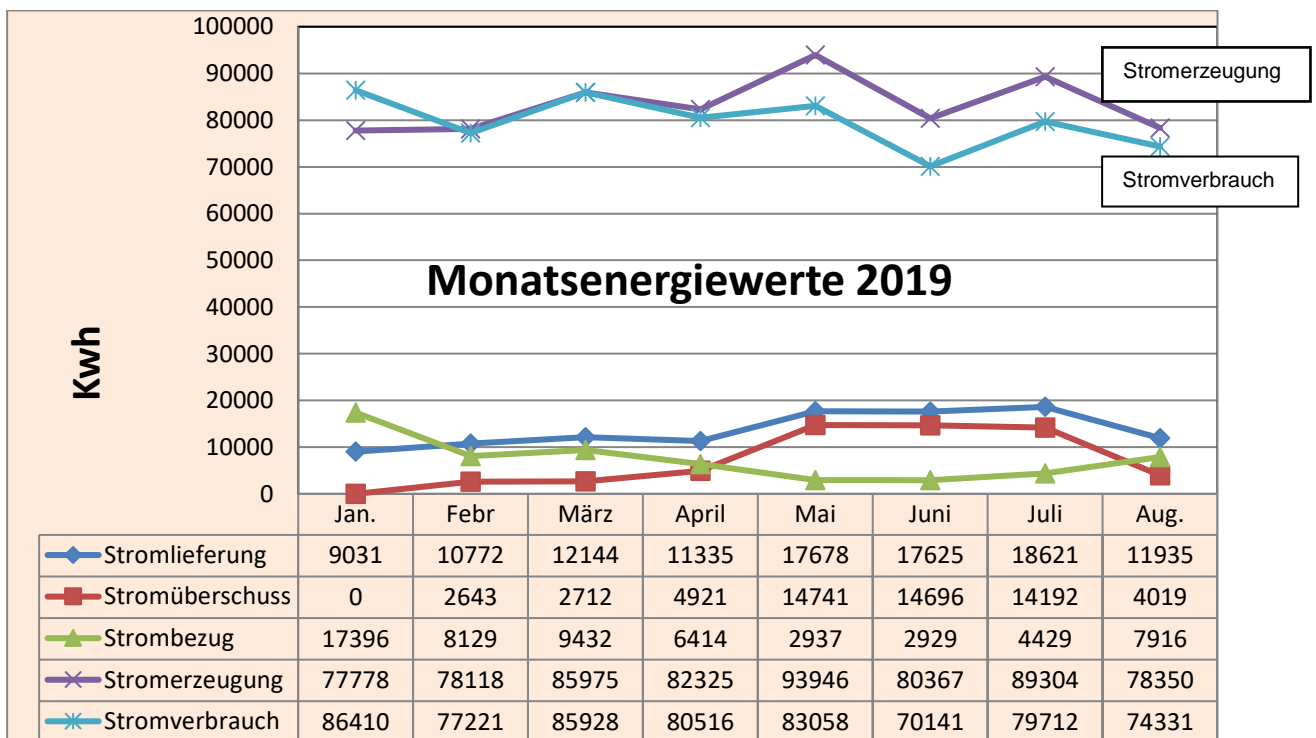


Abb. 9: Entwicklung der Energiewerte (Januar 2019 bis August 2019)

Seit April 2019 ist die Desintegration wieder in Betrieb. Anhand der Monatswerte lässt sich deutlich erkennen, dass der Stromüberschuss zugenommen hat (Abbildung 9). Seither wird auch ständig mehr Strom erzeugt als verbraucht.

Der Rückgang des Stromüberschusses im August ist im Wesentlichen durch den geringeren Primärschlammanfall während der Ferienzeit zu erklären.

## 5 Ergebnis der Energieoptimierung

### 5.1 Benchmarking

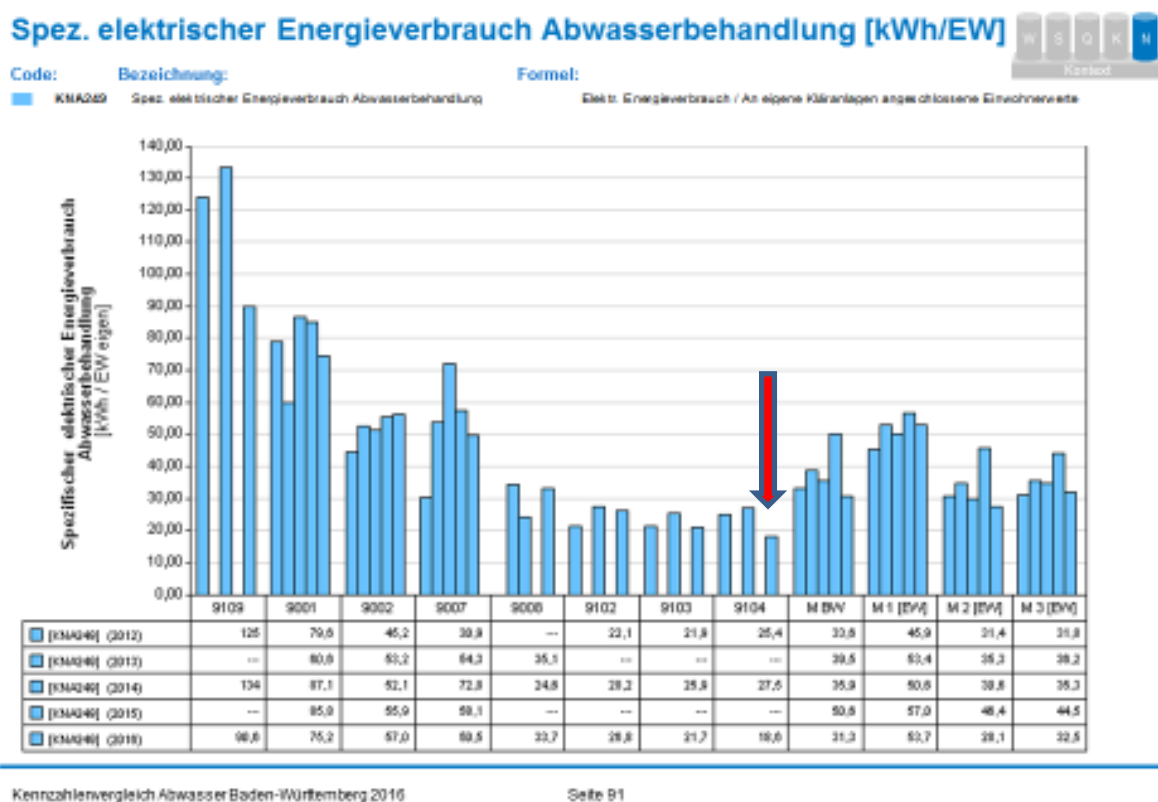


Abb. 10: Spezifischer Energieverbrauch in der Abwasserbehandlung, „Kennzahlenvergleich Abwasser B.-W.“

Bereits 2016 war die Kläranlage Rottweil beim Benchmarkingvergleich mehrerer Kläranlagen aus Baden-Württemberg die Kläranlage mit dem niedrigsten spezifischen Energieverbrauch (Abbildungen 10 und 11).

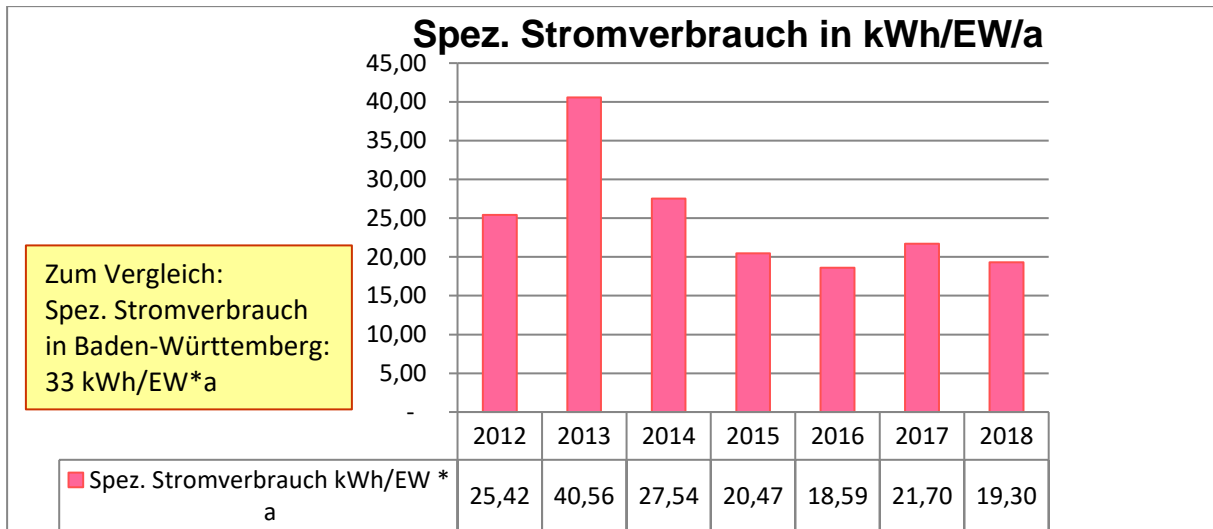


Abb. 11: Entwicklung des spezifischen Energieverbrauchs der KA Rottweil

## 6 Reinigungsleistung

### 6.1 Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)

Der Abbaugrad des CSB beträgt im Durchschnitt 95 % und der geforderte Grenzwert wird deutlich unterschritten (Abbildung 12).

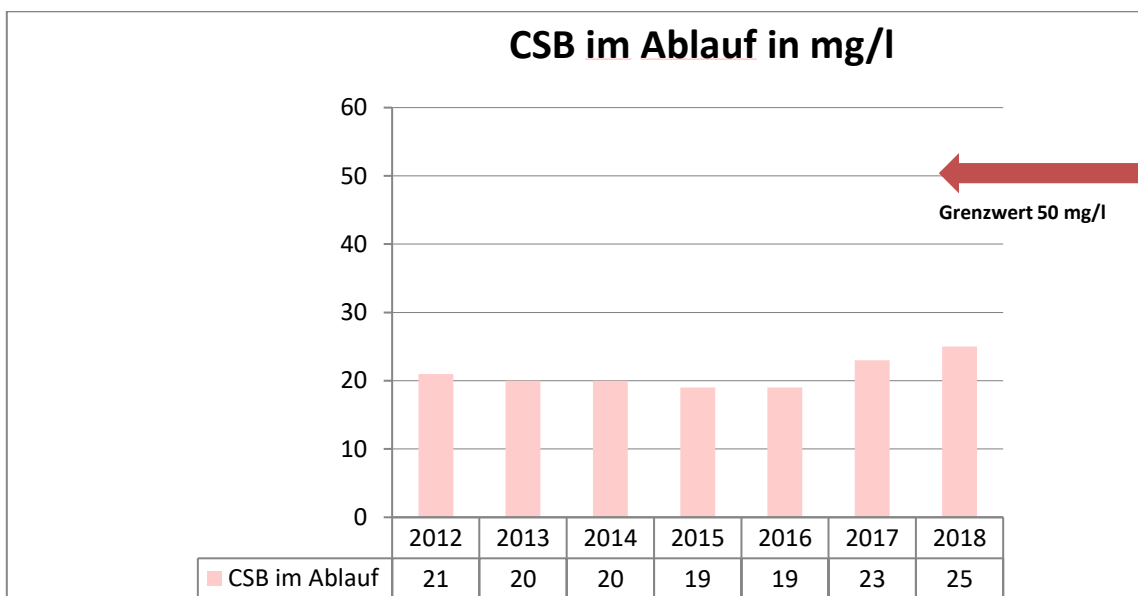


Abb. 12: CSB im Ablauf der KA Rottweil

## 6.2 Ammoniumstickstoff (NH<sub>4</sub>-N)

Der Abbaugrad des NH<sub>4</sub>-N beträgt im Durchschnitt 97 %. Auch hier wird der geforderte Grenzwert deutlich unterschritten (Abbildung 13).

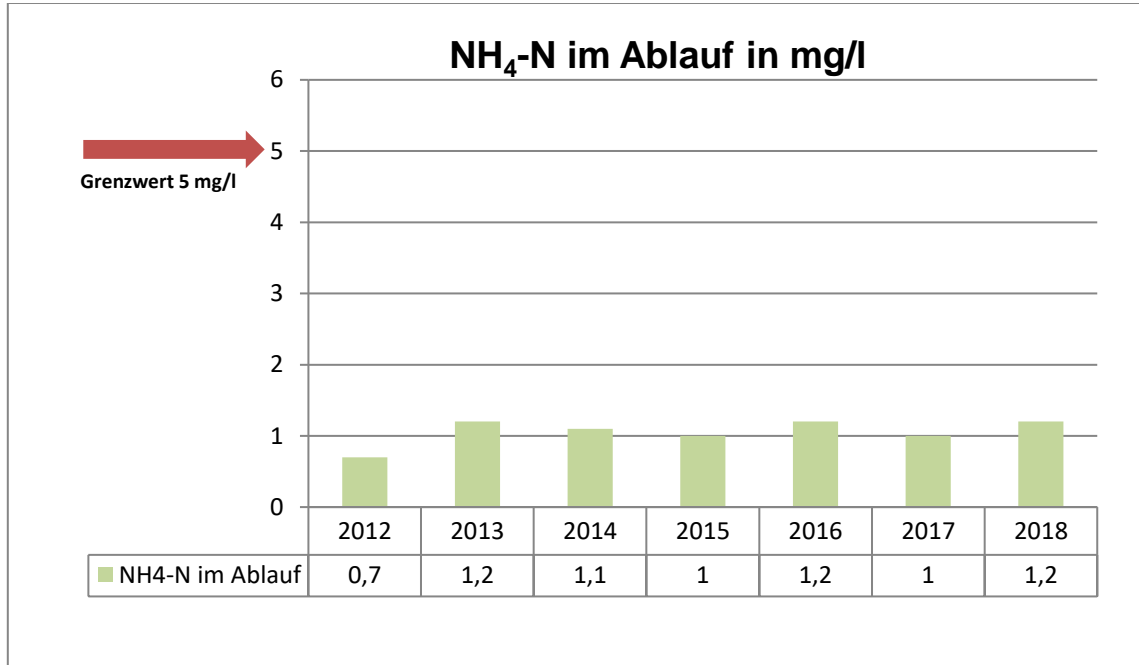


Abb. 13: NH<sub>4</sub>-N im Ablauf der KA Rottweil (2012 bis 2018)

## 6.3 Phosphor (P)

Ab 2022 gelten für Kläranlagen unserer Größenordnung GK 4 folgende weitergehende Anforderungen an die P-Elimination:

**Variante mit Filtration:** P<sub>ges</sub> = 0,20 mg/l, im Jahresmittel

**Variante mit Fällung:** o-PO<sub>4</sub>-P = 0,16 mg/l und P<sub>ges</sub> = 0,3 mg/l, jeweils im Jahresmittel

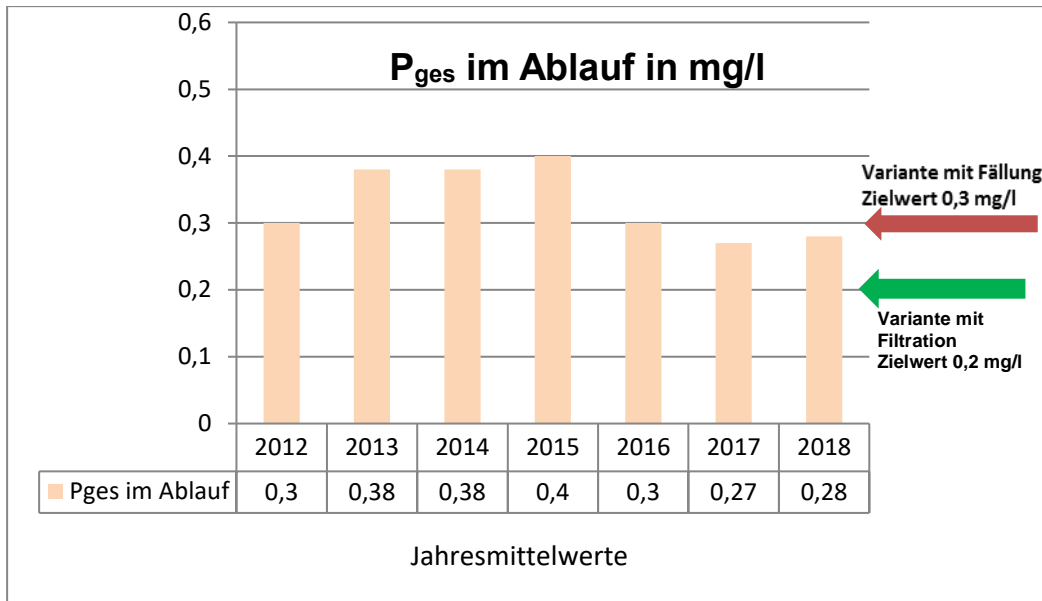


Abb. 14: Pges im Ablauf der KA Rottweil (2012 bis 2018)

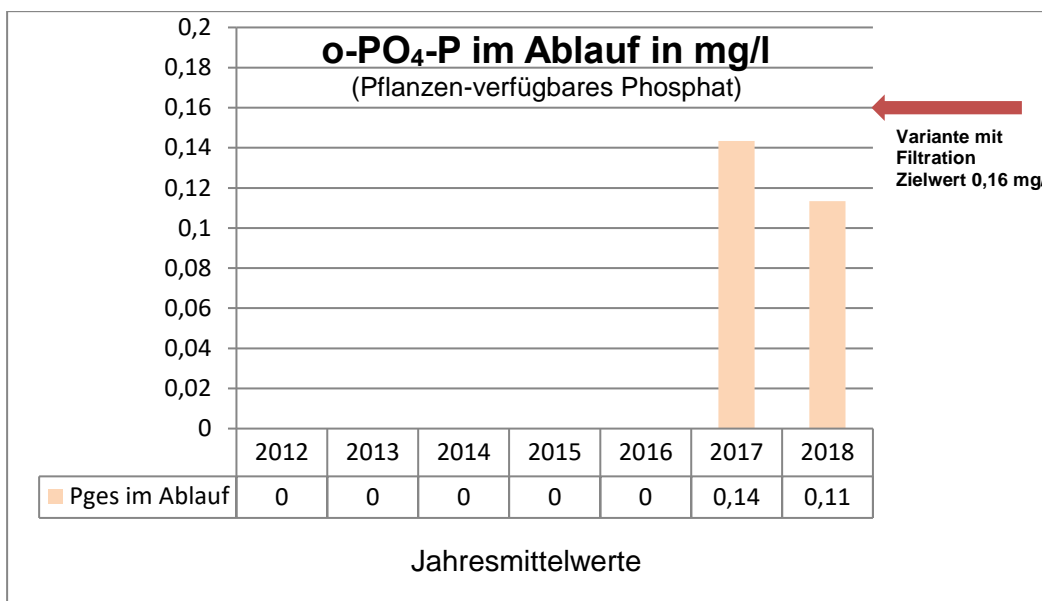


Abb. 15: o-PO4-P im Ablauf der KA Rottweil (2012 bis 2018)

Wenn die **Variante mit Fällung** angewendet wird, können wir jetzt schon die ab 2022 geforderten Jahresmittelwerte einhalten (Abbildungen 14 und 15). Dies würde für uns bedeuten, dass wir auf eine Filtration verzichten können.

## 6.4 Fällmittelverbrauch

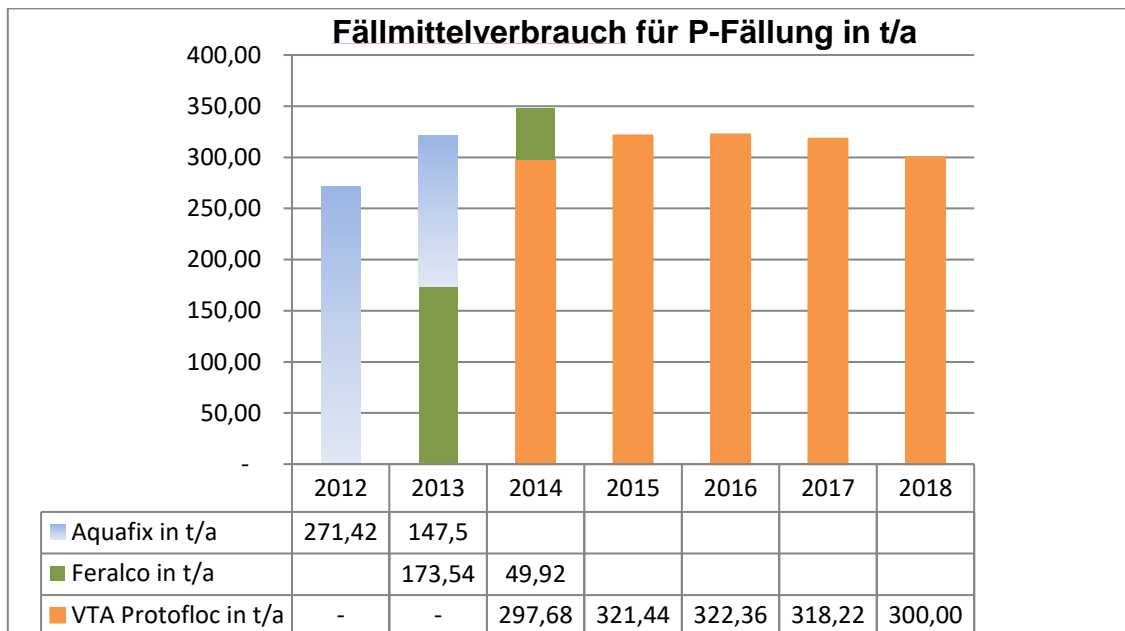


Abb. 16: Entwicklung des Fällmittelverbrauchs der KA Rottweil

Der Fällmittelverbrauch blieb in den letzten Jahren weitgehend konstant (Abbildung 16). Trotzdem konnte die P-Elimination weiter optimiert werden.

## 7 Fazit

Eine Kläranlage kann durchaus energieoptimiert betrieben werden und gleichzeitig auch eine gute Reinigungsleistung erzielen.

All die oben genannten Maßnahmen (Verfahrensumstellung, Energieeinsparmaßnahmen, Neuinvestitionen etc.) führten zu dem Erfolg, dass unsere Kläranlage inzwischen zu einem Energielieferanten geworden ist, ohne dass auf eine gute Reinigungsleistung verzichtet wird.

## Literatur

S.9 aus Benchmarking von Aquabench

Anschrift des Verfassers:

Andreas Reichert  
ENRW Eigenbetrieb Stadtentwässerung  
In der Au 5  
78628 Rottweil  
andreas.reichert@enrw.de



**Verzeichnis der in der Schriftenreihe  
„Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft“  
seit 2008 erschienenen Veröffentlichungen**

<b>Band 192</b>	Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium an der Universität Stuttgart	Zukunftsfähige Wasserversorgung – Von der lokalen zur globalen Herausforderung 22. Trinkwasserkolloquium am 14.02.2008 (2008) 116 S., 29 Abb., 4 Tab. (34,80 €)
<b>Band 193</b>	Hassan H. Shawly	Urban Water – Integrated Resource Planning to Meet Future Demand in Jeddah – Saudi Arabia (2008) 182 S., 38 Abb., 30 Tab. (34,80 €)
<b>Band 194</b>	Holger Kauffmann	Arsenelimination aus Grundwasser (2008) 151 S., 55 Abb., 22 Tab. (34,80 €)
<b>Band 195</b>	Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium an der Universität Stuttgart	Betrieb und Sanierung von Entwässerungssystemen 83. Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium am 09.10.2008 (2008) 160 S., 45 Abb. 7 Tab. (34,80 €)
<b>Band 196</b>	Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium an der Universität Stuttgart	Von der Ressource bis zum Lebensmittel höchster Qualität 23. Trinkwasserkolloquium am 12.02.2009 (2009) 151 S., 59 Abb., 17 Tab. (34,80 €)
<b>Band 197</b>	Khaja Zillur Rahman	Treatment of arsenic containing artificial wastewater in different laboratory-scale constructed wetlands (2009) 184 S., 36 Abb., 10 Tab. (34,80 €)
<b>Band 198</b>	Juliane Gasse	Quantifizierung der Emissionen aus Abwasseranlagen und deren Auswirkungen auf die hygienische Qualität von Fließgewässern (2009) 220 S., 66 Abb., 77 Tab. (34,80 €)
<b>Band 199</b>	Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium an der Universität Stuttgart	Abwasserbewirtschaftung im Spannungsfeld politischer, klimatischer und technischer Entwicklungen 84. Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium am 08.10.2009 (2009) 213 S., 56 Abb., 24 Tab. (34,80 €)
<b>Band 200</b>	Darla Nickel	Erfassung und Bewertung des Einflusses von gebietsstrukturellen Eigenschaften auf Trinkwasserpreise (2009) 174 S., 27 Abb., 43 Tab. (34,80 €)

<b>Band 201</b>	Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium an der Universität Stuttgart	Grundwasser und Grundwasserleiter – Nutzungskonflikte und Lösungsansätze 24. Trinkwasserkolloquium am 25.02.2010 (2010) 168 S., 81 Abb., 12 Tab. (34,80 €)
<b>Band 202</b>	Alexander Weideler	Phosphorrückgewinnung aus kommunalem Klärschlamm als Magnesium-Ammonium-Phosphat (MAP) (2010) 165 S., 69 Abb., 15 Tab. (34,80 €)
<b>Band 203</b>	Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium an der Universität Stuttgart	Kanalsanierung – Werterhalt durch Wissensvorsprung 1. Stuttgarter Runde am 15.04.2010 (2010) 70 S., 26 Abb., 16 Tab. (24,80 €)
<b>Band 204</b>	Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium an der Universität Stuttgart	Regenwasserbehandlung in Abwasseranlagen – Prozesse und Lösungsansätze 85. Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium am 14.10.2010 (2010) 213 S., 73 Abb., 11 Tab. (34,80 €)
<b>Band 205</b>	Fabio Chui Pressinotti	Anpassung der Tropfkörpertechnologie an heiße Klimazonen (2010) 196 S., 82 Abb., 22 Tab. (34,80 €)
<b>Band 206</b>	Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium an der Universität Stuttgart	Herausforderungen und Lösungen für die Wasserversorgung - Wettbewerb, Versorgungssicherheit, Innovation, Effizienzsteigerung 25. Trinkwasserkolloquium am 24.02.2011 (2011) 160 S., 47 Abb., 1 Tab. (34,80 €)
<b>Band 207</b>	Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium an der Universität Stuttgart	Kanalsanierung – Werterhalt durch Wissensvorsprung 2. Stuttgarter Runde am 14.04.2011 (2011) 80 S., 27 Abb., 1 Tab. (24,80 €)
<b>Band 208</b>	Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium an der Universität Stuttgart	Neue Verfahren und Betriebsstrategien in der Abwasserbehandlung 86. Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium am 13.10.2011 (2011) 172 S., 71 Abb., 25 Tab. (34,80 €)
<b>Band 209</b>	Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium an der Universität Stuttgart	Wasserversorgung und Energie – Nutzungskonflikte; Management und Technik zur Optimierung der Energieeffizienz 26. Trinkwasserkolloquium am 16.02.2012 (2012) 156 S., 81 Abb., 15 Tab. (34,80 €)

- Band 210** Geremew Sahilu Gebrie  
Integrated Decision Support Tools for Rural Water Supply based on Ethiopian Case-Studies  
(2012) 310 S., 101 Abb., 110 Tab.  
(34,80 €)
- Band 211** Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium an der Universität Stuttgart  
Mikroschadstoffe und Nährstoffrückgewinnung – Praxiserfahrungen und Umsetzungspotenzial in der Abwasserreinigung  
87. Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium am 11.10.2012  
(2012) 102 S., 44 Abb., 19 Tab.  
(34,80 €)
- Band 212** Christian Johannes Locher  
Anaerobe Behandlung von Abwasserkonzentraten aus der Halbstoffherzeugung von Papierfabriken  
(2012), 206 S., 67 Abb., 40 Tab.  
(34,80 €)
- Band 213** Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium an der Universität Stuttgart  
Trinkwasserqualität und Gewässerschutz – Trinkwasserverordnung, Gewässerschutzkonzepte, Spurenstoffe  
27. Trinkwasserkolloquium am 21.02.2013  
(2013) 134 S., 77 Abb., 10 Tab.  
(34,80 €)
- Band 214** Olaf Jerzy Kujawski  
Entwicklung eines anlagenweiten Steuerungs- und Regelungskonzeptes für Biogasanlagen  
(2013) 238 S., 78 Abb., 35 Tab.  
(34,80 €)
- Band 215** Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium an der Universität Stuttgart  
Kanalsanierung – Werterhalt durch Wissensvorsprung  
3. Stuttgarter Runde am 18.04.2013  
(2013) 84 S., 109 Abb., 2 Tab.  
(24,80 €)
- Band 216** Iosif Mariakakis  
A two stage process for hydrogen and methane production by the fermentation of molasses  
(2013) 202S., 33 Abb., 34 Tab.  
(34,80 €)
- Band 217** Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium an der Universität Stuttgart  
Management des urbanen Wasserhaushalts – mehr als nur Kanalnetzplanung  
88. Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium am 10.10.2013  
(2013) 178 S., 74 Abb., 18 Tab.  
(34,80 €)
- Band 218** Özgül Demet Antakyali  
An Evaluation of Integrated Wastewater and Solid Waste Management in Large Tourist Resorts  
(2013) 185 S., 71 Abb., 59 Tab.  
(34,80 €)
- Band 219** Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium an der Universität Stuttgart  
Zukünftige Herausforderungen für die Wasserversorgung – Vom Klimawandel über die Demografie bis hin zur Organisation  
28. Trinkwasserkolloquium am 13.02.2014  
(2014) 150 S., 45 Abb., 7 Tab.  
(34,80 €)

- Band 220** Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium an der Universität Stuttgart  
Kanalsanierung – Werterhalt durch Wissensvorsprung / Grundlagen, Konzepte und Innovation  
4. Stuttgarter Runde am 10.04.2014  
(2014) 108 S., 90 Abb.  
(24,80 €)
- Band 221** Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium an der Universität Stuttgart  
Energiepotenziale kommunaler Kläranlagen erkennen, nutzen und kritisch bewerten  
89. Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium am 09.10.2014  
(2014) 146 S. 58 Abb., 11 Tab.  
(34,80 €)
- Band 222** Kristy Peña Muñoz  
Integrated sludge management concepts for green energy production in wastewater treatment plants in Heujotzingo City, Mexico  
(2014) 268 S., 34 Abb., 79 Tab.  
(34,80 €)
- Band 223** Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium an der Universität Stuttgart  
Zukunftsfähigkeit und Sicherheit der Wasserversorgung – Ressourcen / Tarife / Neue Technologien  
29. Trinkwasserkolloquium am 26.02.2015  
(2015) 132 S., 76 Abb., 32 Tab.  
(34,80 €)
- Band 224** Timo Pittmann  
Herstellung von Biokunststoffen aus Stoffströmen einer kommunalen Kläranlage  
(2015) 244 S., 54 Abb., 53 Tab.  
(34,80 €)
- Band 225** Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium an der Universität Stuttgart  
Wasser Schutz Mensch  
5. Aqua Urbanica und 90. Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium am 07. und 08.10.2015  
(2015) 338 S., 147 Abb., 28 Tab.  
(34,80 €)
- Band 226** Sebastian Tews  
Aerob-biologische und oxidative Verfahren zur Behandlung von Membrankonzentraten aus der Holzstoff- und Altpapieraufbereitung  
(2015) 245 S., 62 Abb., 31 Tab.  
(34,80 €)
- Band 227** Peace Korshiwor Amoatey  
Leakage Management in the Urban Water Supply System of Ghana: Estimation and Detection Modeling  
(2015) 245 S., 67 Abb., 62 Tab.  
(34,80 €)
- Band 228** Sebastian Platz  
Charakterisierung, Abtrennung und Nachweis von Pulveraktivkohle in der Abwasserreinigung  
(2015) 256 S., 74 Abb., 51 Tab.  
(34,80 €)
- Band 229** Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium an der Universität Stuttgart  
3 Jahrzehnte Trinkwasserkolloquium  
3 Jahrzehnte Entwicklung in Wasserversorgung und Gewässerschutz  
30. Trinkwasserkolloquium am 18.02.2016  
(2016) 160 S., 78 Abb., 3 Tab.  
(34,80 €)

- Band 230** Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium an der Universität Stuttgart  
Stickstoffelimination auf kommunalen Kläranlagen im Spannungsfeld von Gewässerschutz, Energieeffizienzsteigerung und Industrieabwässern  
91. Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium am 13.10.2016  
(2016) 132 S., 38 Abb., 15 Tab.  
(34,80 €)
- Band 231** Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium an der Universität Stuttgart  
Stand des Umwelt- und Arbeitsschutzes bei der Verchromung von Metall und Kunststoff  
Kolloquium zum integrierten industriellen Umwelt- und Arbeitsschutz am 30.11.2016  
(2016) 126 S., 54 Abb., 9 Tab.  
(34,80 €)
- Band 232** Mehari Goitom Haile  
Accounting for Uncertainties in the Modelling of Emissions from Combined Sewer Overflow Structures  
(2016) 197 S., 93 Abb., 22 Tab.  
(34,80 €)
- Band 233** Eduard Rott  
Untersuchungen zur Elimination von Phosphor aus phosphonathaltigen Industrieabwässern  
(2016) 258 S., 57 Abb., 26 Tab.  
(34,80 €)
- Band 234** Kenan Güney  
Investigating Water Reusability in Cotton Processing Textile Dye-house by Applying Membrane Filtration  
(2017) 219 S., 64 Abb., 57 Tab.  
(34,80 €)
- Band 235** Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium an der Universität Stuttgart  
Risiken in der Wasserversorgung  
Vorsorge/Management/Minimierung/Kommunikation  
31. Trinkwasserkolloquium am 06.04.2017  
(2017) 132 S., 79 Abb., 6 Tab.  
(34,80 €)
- Band 236** Pengfei Wang  
Phosphorus recovery from wastewater via struvite crystallization in a fluidized bed reactor: Influence of operating parameters and reactor design on efficiency and product quality  
(2017) 202 S., 72 Abb., 20 Tab.  
(34,80 €)
- Band 237** Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium an der Universität Stuttgart  
Chemikalienmanagement und Umweltschutz in der textilen Kette  
Kolloquium zur nachhaltigen Textilproduktion am 21.09.2017  
(2017) 174 S., 48 Abb., 9 Tab.  
(34,80 €)
- Band 238** Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium an der Universität Stuttgart  
Spurenstoffe im Regen- und Mischwasserabfluss  
Abwasserkolloquium 2017 am 26.10.2017  
(2017) 130 S., 48 Abb., 13 Tab.  
(34,80 €)

- Band 239** Marie Alexandra Launay  
Organic micropollutants in urban wastewater systems during dry and wet weather – Occurrence, spatio-temporal distribution and emissions to surface waters  
(2018) 240 S., 65 Abb., 38 Tab.  
(34,80 €)
- Band 240** Asya Drenkova-Tuhtan  
Phosphorus Elimination and Recovery from Wastewater with Reusable Nanocomposite Magnetic Particles  
(2018) 259 S., 78 Abb., 25 Tab.  
(34,80 €)
- Band 241** Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium an der Universität Stuttgart  
Integrated Best Available Wastewater Management in the Textile Industry  
Colloquium on Textile Wastewater Management 2018-09-19  
(2018) 182 S., 99 Abb., 14 Tab.  
(34,80 €)
- Band 242** Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium an der Universität Stuttgart  
Spurenstoffe und antibiotikaresistente Bakterien – Schnittstelle Abwasserent- und Wasserversorgung  
Abwasserkolloquium 2018 am 08.11.2018  
(2018) 118 S., 26 Abb., 8 Tab.  
(34,80 €)
- Band 243** Karen Mouarkech  
Combined energy and phosphorus recovery from black water, co-substrates and urine  
(2019) 296 S., 69 Abb., 107 Tab.  
(34,80 €)
- Band 244** Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium an der Universität Stuttgart  
Minimisation of Wastewater Emission from Textile Finishing Industries  
Colloquium on Textile Wastewater Management 2019-09-19  
(2019) 148 S., 60 Abb., 20 Tab.  
(34,80 €)
- Band 245** Siedlungswasserwirtschaftliches Kolloquium an der Universität Stuttgart  
Ansprüche an die Siedlungswasserwirtschaft – Kernaufgaben versus weitergehende Anforderungen  
Abwasserkolloquium 2019 am 10.10.2019  
(2019) 143 S., 43 Abb., 2 Tab.  
(34,80 €)

**Erhältlich bei:**

Vulkan-Verlag GmbH  
Friedrich-Ebert-Straße 55  
45127 Essen  
www.di-verlag.de





Forschungs- und Entwicklungsinstitut für  
Industrie- und Siedlungswasserwirtschaft  
sowie Abfallwirtschaft e.V. (FEI)



Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte-  
und Abfallwirtschaft der Universität Stuttgart