

DWA-Themen

Handlungsempfehlung zur integrativen Bewertung der weitergehenden Abwasserbehandlung von kommunalen Kläranlagen

April 2023 · T1/2023

VORSCHAU

VORSCHAU

DWA-Themen

Handlungsempfehlung zur integrativen Bewertung der weitergehenden Abwasserbehandlung von kommunalen Kläranlagen

April 2023 · T1/2023

VORSCHAU

**Herausgeberin und Vertrieb:**

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft,
Abwasser und Abfall e. V. (DWA)
Theodor-Heuss-Allee 17
53773 Hennef, Deutschland
Tel.: 02242 872-333
Fax: 02242 872-100
E-Mail: info@dwa.de
Internet: www.dwa.de

978-3-96862-563-8 (Print)
978-3-96862-564-5 (E-Book)

Satz: Christiane Krieg, DWA
Druck: bprintmedien, Bonn
© DWA, 1. Auflage, Hennef 2023

Herausgeberin und Vertrieb:

Wasserchemische Gesellschaft
c/o Bundesanstalt für Gewässerkunde
Am Mainzer Tor 1
56068 Koblenz, Deutschland
Tel.: 0261 13065210
E-Mail: sekretariat@wasserchemische-gesellschaft.de
Internet: www.wasserchemische-gesellschaft.de

978-3-947197-20-0 (Print)
978-3-947197-21-7 (E-Book)

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Themenbands darf vorbehaltlich der gesetzlich erlaubten Nutzungen ohne schriftliche Genehmigung der DWA in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Digitalisierung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen werden.

Vorwort

Das vorliegende Statuspapier beschreibt ein Konzept zur weitergehenden Abwasserbehandlung für die Bewertung von Aufbereitungsverfahren, sowohl in einer Pilotphase zur Auswahl von Verfahrensoptionen als auch für die Bewertung großtechnischer Anlagen.

Das Konzept basiert auf einem integrierten Ansatz, welcher sowohl die Emissionen als auch die Immissionen in Gewässern berücksichtigt.

Emissionsseitig basiert das Konzept auf bereits regulatorisch definierten Parametern wie anorganischen Stickstoff-Verbindungen oder Phosphat sowie auf neuen noch nicht in der Abwasserverordnung (AbwV) regulierten Parametern wie der Entfernung nachgewiesener Spurenstoffe und deren Transformationsprodukte, von In-vitro-Assays zur Bestimmung des ökotoxikologischen Potenzials der zuvor angereicherten Spurenstoffe und der Entfernung von pathogenen Keimen und antibiotikaresistenten Bakterien. Hierbei wird bewusst ein multidisziplinärer Ansatz verfolgt, indem chemische, ökotoxikologische und mikrobiologische Parameter vor und nach dem Verfahrensschritt quantitativ erfasst und in Indizes zusammengefasst werden, um eine umfassende Bewertung der direkten Auswirkungen auf die Gewässer durch die Verfahren zu erreichen. Die Wichtung der chemischen, ökotoxikologischen und mikrobiologischen Parameter ist in Abhängigkeit von den jeweiligen Schutzziele der Abwasser aufnehmenden Gewässer zu definieren. Diese können je nach Standort unterschiedlich sein und reichen beispielsweise vom Schutz der menschlichen Gesundheit für Badende und Trinkwasserkonsumenten bis hin zu dem Schutz der aquatischen Biodiversität durch eine ausreichend hohe Wasser-, Sediment- und Schwebstoffqualität in den Oberflächengewässern.

Die immissionsseitige Betrachtung erfolgt auf Basis der rechtlich durch die Europäische Wasserrahmenrichtlinie (WRRL, Richtlinie 2000/60/EG) und andere Anforderungen bindenden Instrumente. Hierfür werden spezifische Vorgehensweisen vorgeschlagen.

Das Bewertungskonzept ist ausdrücklich nicht dafür vorgesehen, verschiedene Standorte hinsichtlich der Effizienz ihrer Reinigungsleistung miteinander zu vergleichen, da sowohl die lokalen Abwasserqualitäten als auch die Eigenschaften bzw. die Nutzungen (z. B. Badegewässer, Trinkwassernutzung, Naturschutzgebiet) des aufnehmenden Gewässers die Anforderungen an die Qualität des behandelten Abwassers bestimmen. Zudem handelt es sich nicht um Formulierungen der DWA zu den künftigen Anforderungen an die Abwasserreinigung auf Kläranlagen.

Anhand zweier ausgewählter Praxisbeispiele wird deutlich, dass es zur Bewertung der Verfahrensoptionen an einem Standort dienlich ist, ausgewählte Reduktionen bzw. Entfernungen von Stoffen, Organismen und Effekten zu bestimmen. Die globale Betrachtung der Auswirkungen der weitergehenden Abwasserbehandlung ist ebenso wenig Teil dieses Themenbands wie die Grundlagen für oder gegen eine Entscheidung einer weitergehenden Abwasserbehandlung. Abschließend ist festzuhalten, dass mithilfe dieses Konzepts eine umfassende Bewertung der Verfahren zur weitergehenden Abwasserbehandlung ermöglicht wird, und zwar mit dem Ziel, die Gewässer-, Grundwasser- und Trinkwasserqualität zukünftig signifikant zu verbessern.

In diesem Themenband werden, soweit wie möglich, geschlechtsneutrale Bezeichnungen für personenbezogene Berufs- und Funktionsbezeichnungen verwendet. Sofern dies nicht möglich ist, wird die weibliche und die männliche Form verwendet. Ist dies aus Gründen der Verständlichkeit nicht möglich, wird nur eine von beiden Formen verwendet. Alle Informationen beziehen sich aber in gleicher Weise auf alle Geschlechter.

Verfasserinnen und Verfasser

Dieser DWA-Themenband wurde von einer gemeinsamen Arbeitsgruppe „Anthropogene Spurenstoffe im Wasserkreislauf“ im Hauptausschuss „Wissenschaftliche Grundlagen und Anwendungen“ der Wasserchemischen Gesellschaft und im DWA-Hauptausschuss „Kommunale Abwasserbehandlung (KA)“ der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) erarbeitet.

Der DWA-Arbeitsgruppe KA-8.1 „Anthropogene Stoffe im Wasserkreislauf“ gehören folgende Mitglieder an:

TERNES, Thomas	Prof. Dr., BfG, Koblenz (Sprecher)
BAUER, Karl-Heinz	Dr., ehemals Hessenwasser GmbH & Co. KG, Groß-Gerau
BRAUER, Frank	Dr., ehemals UBA, Berlin
DREWES, Jörg	Prof. Dr., Technische Universität München
HILLER, Georg	Dipl.-Ing. (FH), ehemals Zweckverband Klärwerk Steinhäule
JEWELL, Kevin S.	Dr., BfG, Koblenz
JOSS, Adriano	Dr., Eawag, Dübendorf/Schweiz
OEHLMANN, Jörg	Prof. Dr., Goethe-Universität, Frankfurt am Main
RADKE, Michael	Dr., Institut für Hygiene und Umwelt, Hamburg
SCHULTE-OEHLMANN, Ulrike	Dr., Goethe-Universität, Frankfurt am Main
SCHWARTZ, Thomas	Prof. Dr., Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
SEEL, Peter	Dr., ehemals Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie, Wiesbaden
VÖLKER, Jeanette	Dr., sconas, Kassel
WEBER, Lilo	Dipl.-Ing., Hessenwasser GmbH & Co. KG, Groß-Gerau
WEBER, Marcus	PD Dr., Zuse-Institut Berlin, Berlin

Projektbetreuer in der DWA-Bundesgeschäftsstelle:

WILHELM, Christian	Dr.-Ing., Hennef Abteilung Wasser- und Abfallwirtschaft
--------------------	--

Inhalt

Vorwort	3
Verfasserinnen und Verfasser	4
Bilderverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	7
1 Einleitung	8
2 Intention des Statuspapiers	9
3 Begriffe	11
3.1 Definitionen.....	11
3.2 Abkürzungen.....	12
4 Gesetzliche Rahmenbedingungen	17
4.1 Allgemeines	17
4.2 Europäische Wasserrahmenrichtlinie (Richtlinie 2000/60/EG, WRRL)	17
4.3 Deutsches Abwasserrecht.....	18
5 Stand der Technik in der kommunalen Abwasserbehandlung	20
5.1 Allgemeines	20
5.2 Relevantes Umfeld der kommunalen Abwasserbehandlung	20
5.3 Maßnahmen an der Eintragsquelle	21
5.4 Regenwasserbewirtschaftung.....	21
5.5 Kommunale Abwasserbehandlung	21
5.6 Technologien für die weitergehende Abwasserbehandlung.....	22
5.7 Die Einleitstelle.....	24
6 Belastungen der Gewässer	24
6.1 Allgemeines	24
6.2 Bewertungsgrundlagen für Oberflächengewässer.....	25
6.3 Handlungsempfehlungen für Mindestanforderungen an Monitoring und Bewertung für Gewässer nach Einleitungen von behandeltem Abwasser.....	27
7 Stoffliche Belastungen durch Abwassereinleitungen	28
7.1 Spurenstoffe und Transformationsprodukte	28
7.2 Nährstoffe und Salze	28
7.2.1 Vorbemerkungen	28
7.2.2 Anorganische Stickstoff-Verbindungen	29
7.2.3 Phosphor.....	30
7.2.4 Salze (Chlorid, Sulfat, Calcium und Magnesium).....	33
7.3 Metalle	34
7.4 Abwasserbürtige, hygienisch relevante Mikroorganismen	35
7.5 Organische Summenparameter	36

8	Empfehlungen für ein Bewertungskonzept der weitergehenden Abwasserbehandlung	37
8.1	Vorbemerkungen	37
8.2	Chemische Parameter	38
8.3	Ökotoxikologische Parameter: Effektbasierter Bewertungsindex (EBI)	39
8.4	Mikrobiologische Parameter: Mikrobiologischer Bewertungsindex (MBI)	39
8.5	Berechnungsgrundlagen	40
8.5.1	Spurenstoffe und Transformationsprodukte	40
8.5.2	Unerwünschte biologische Wirkungen	45
8.5.3	Unerwünschte Mikroorganismen und Antibiotikaresistenzen	47
9	Fallbeispiele aus der Praxis	51
9.1	Allgemeines	51
9.2	Klärwerk Steinhäule in Ulm/Neu-Ulm	51
9.2.1	Beschreibung des Klärwerks	51
9.2.2	Bewertung	52
9.3	Hessische Pilotanlage mit Ozonung sowie nachgeschaltetem Biofilter bzw. nachgeschaltetem GAK-Filter	57
9.3.1	Beschreibung der Anlage	57
9.3.2	Bewertung	58
9.4	Zusammenfassende Bewertung	62
Anhang A	Bewertungsmethoden	63
A.1	Biologische Gewässeruntersuchung	63
A.2	Ökotoxikologische Methoden	65
A.3	Chemische Methoden	69
A.4	Mikrobiologische und Molekularbiologische Methoden	71
A.4.1	Vorbereitung: DNA-Extraktion aus Wasser- und Feststoffproben	71
A.4.2	Molekularbiologische Nachweissysteme für Antibiotikaresistenzgene und fakultativ pathogene Bakterien	71
A.5	Durchführung einer quantitativen PCR	73
Quellen und Literaturhinweise	75

Bilderverzeichnis

Bild 1:	P-Frachten von kommunalen Kläranlagen und gemessene Ortho-Phosphat-P-Konzentration im Gewässer	31
Bild 2:	Maximale abflussgewichtete P-Gesamt-Ablaufkonzentration der Kläranlagen, um bei verschiedenen Verdünnungsverhältnissen im Fluss den Orientierungswert für Ortho-Phosphat-P von 70 µg/l bzw. 100 µg/l als Jahresmittelwert zu unterschreiten	31
Bild 3:	Schematischer Aufbau der Kläranlage Steinhäule	51
Bild 4:	Behandlungssystem bestehend aus a) konventioneller Belebungsanlage mit anschließender Mikrosiebung, b) Ozonung [(0,98 ± 0,24) O ₃ /g DOC] sowie c ₁) Aktivkohle- und c ₂) Biofiltration im halbtechnischen Maßstab	58
Bild A.1:	Extraktion genomischer DNA aus Wasserproben	71

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Übersicht weiterer für das Statuspapier relevante gesetzliche EU-Regelungen..	19
Tabelle 2:	Gesetzliche Mindestanforderungen an die kommunale Abwasserbehandlung....	22
Tabelle 3:	Methoden zur Bewertung der biologischen Qualitätskomponenten gemäß WRRL.....	26
Tabelle 4:	Handlungsempfehlung für die Bewertung abwasseraufnehmender Gewässer.....	27
Tabelle 5:	Vorschlag ausgewählter Indikatorstoffe.....	41
Tabelle 6:	Für ein Überwachungskonzept vorgeschlagene Antibiotikaresistenzgene und fakultativ-pathogenen Bakterien (gemäß HyReKA- und WHO-Empfehlungen).....	48
Tabelle 7:	Nachweis von Metallen nach verschiedenen Reinigungsstufen.....	52
Tabelle 8:	Eliminierung der Spurenstoffe nach Pulveraktivkohle-Nachbehandlung mit kombiniertem Sandfilter bzw. Ultrafiltration im Klärwerk Steinhäule.....	54
Tabelle 9:	Ökotoxikologische Bewertung der Pulveraktivkohle-Nachbehandlung mit kombiniertem Sandfilter bzw. Ultrafiltration im Klärwerk Steinhäule.....	55
Tabelle 10:	Mikrobiologische Bewertung der Pulveraktivkohle-Nachbehandlung mit kombiniertem Sandfilter bzw. Ultrafiltration im Klärwerk Steinhäule.....	56
Tabelle 11:	Eliminierung der Mikroverunreinigungen nach Ozon-Behandlung $[(0,98 \pm 0,24) \text{ O}_3/\text{g DOC}]$ mit kombiniertem Bio- bzw. GAK-Filter in der hessischen Pilotanlage.....	59
Tabelle 12:	Ökotoxikologische Bewertung der Ozon-Nachbehandlung mit kombiniertem Bio- bzw. GAK-Filter in der hessischen Pilotanlage.....	61
Tabelle 13:	Mikrobiologische Bewertung der Ozon-Nachbehandlung mit kombiniertem Bio- bzw. GAK-Filter in der hessischen Pilotanlage.....	62
Tabelle A.1:	Standardisierte Methoden für die biologische Gewässeruntersuchung.....	63
Tabelle A.2:	Europaweit interkalibrierte Bewertungsverfahren für die biologischen Qualitätskomponenten in Fließgewässern gemäß EG-WRRL.....	65
Tabelle A.3:	Auswahl von In-vitro-Testverfahren für den effektbasierten Bewertungsindex.....	65
Tabelle A.4:	Analytische Parameter der detektierten organischen Substanzen.....	69
Tabelle A.5:	Real-Time-Primersysteme zur Detektion von klinisch relevanten Antibiotikaresistenzgenen und fakultativ pathogenen Bakterien.....	72

1 Einleitung

Trotz großer Fortschritte in der Abwasserbehandlung in den letzten drei Jahrzehnten stellen Kläranlagen in Deutschland eine wichtige Belastungsquelle in Bezug auf Nährstoffe, organische Spurenstoffe sowie Krankheitserreger in die aquatische Umwelt dar. Diese Belastung kann im aufnehmenden Gewässer die biologische Vielfalt und Integrität des Gewässer-Ökosystems sowie die Trinkwassergewinnung beeinträchtigen. Für den umfassenden Schutz der Gewässer-Ökosysteme ist die europäische Wasserrahmenrichtlinie (WRRL, Richtlinie 2000/60/EG) das wesentliche rechtliche Instrument. Seit in Kraft treten der WRRL im Jahr 2000 erfolgte im Bereich der Europäischen Wasserpolitik ein Umdenken von einer bis dato eher emissionsseitigen Betrachtung der Belastungsquellen hin zu einem integrierten Emissions- und Immissionsansatz. Der Fokus ist hierbei, die Auswirkungen von Belastungen, beispielsweise Abwassereinleitungen aus Kläranlagen auf die Lebensgemeinschaften im Gewässer zu bewerten. Die Umweltziele der WRRL sind das Erreichen eines guten ökologischen und guten chemischen Zustands für die Oberflächengewässer (Fließgewässer, Seen, Übergangs- und Küstengewässer).

Im Jahr 2021 haben lediglich 9,2 % der Flüsse, Seen, Übergangs- und Küstengewässer in Deutschland einen sehr guten bzw. guten ökologischen Zustand und damit das geforderte Umweltziel der WRRL erreicht (BMUV & UBA 2022). Wesentliche Ursachen sind neben den fehlenden Lebensräumen (Hydromorphologie) die nach wie vor zu hohen Nähr- und Schadstoffeinträge aus diffusen Quellen, wie der Landwirtschaft und Punktquellen: kommunale und industrielle Kläranlagenabläufe sowie Abschläge von Misch- und Niederschlagswasser. Der gemäß WRRL geforderte gute chemische Zustand wird anhand von Umweltqualitätsnormen (Grenzwerte) von insgesamt 45 Stoffen ermittelt. Der gute chemische Zustand wird in den deutschen Oberflächengewässern flächendeckend verfehlt. Ein Grund dafür sind das ubiquitär verbreitete Quecksilber und polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe. Während Quecksilber hauptsächlich über atmosphärische Deposition in die Gewässer eingetragen wird, gelangen polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe vorrangig über diffuse urbane Quellen in die Gewässer, gefolgt von der atmosphärischen Deposition und Erosion. Aber auch Pestizide und bromierte Diphenylether aus punkt- und diffusen Quellen führen zu einer Verfehlung des guten chemischen Zustands von Gewässern (BMUV & UBA 2022).

Eine große Anzahl an Schadstoffen bleibt jedoch bei der Bewertung des ökologischen und chemischen Zustands eines Gewässers gemäß WRRL bislang unberücksichtigt. Sie werden in Deutschland auch nicht im Ordnungs- oder Abgaberecht (Abwasserverordnung, Abwasserabgabe) als Qualitätsanforderung für Abwassereinleitungen herangezogen. Einige Biozide, Fungizide, Antibiotika und beispielsweise das Antidepressivum Venlafaxin oder das Antiphlogistikum Diclofenac wurden in die Beobachtungsliste der Europäischen Union (EU) mit dem Ziel aufgenommen, diese bei Vorliegen entsprechender Ergebnisse in die Liste der bewertungsrelevanten Stoffe aufzunehmen und geeignete Umweltqualitätsnormen (Grenzwerte) abzuleiten. Neben den noch verbleibenden Nährstoff- und Schadstoffbelastungen und hygienischen Auswirkungen von behandelten Abwassereinleitungen ins Gewässer spielen in der Abwasserbehandlung kommunaler Anlagen die zahlreichen Spurenstoffe eine immer größere Rolle. Das behandelte Abwasser kommunaler aber auch industrieller Kläranlagen stellt insbesondere für moderat und schlecht abbaubare Spurenstoffe ein Haupteintragspfad in die Oberflächengewässer dar (ORT et al. 2009, UBA 2018b).

Kläranlagen (ohne Desinfektion) sind neben anderen Quellen oft für die Einleitung von Krankheitserregern und antibiotikaresistenten Bakterien mit pathogenem Potenzial in Oberflächengewässer verantwortlich, wie aktuelle mikrobiologische Forschungsergebnisse belegen (HEMBACH et al. 2017, HEMBACH et al. 2019). Die seit Oktober 2020 veröffentlichte Chemikalienstrategie (EC 2020) sowie der erst kürzlich veröffentlichte Null-Schadstoff-Aktionsplan für Wasser, Boden und Luft (*Zero Pollution Action Plan*) (EC 2021) setzen neue Maßstäbe, um den Eintrag (öko-)toxikologisch relevanter Stoffe in unsere Gewässer zu begrenzen. Auch wenn Spurenstoffe in niedrigen Stoffkonzentrationen im Abwasser und in Oberflächengewässern auftreten, handelt es sich aus ökologischer Sicht um sehr relevante Stoffe. Hormone und hormonell wirksame Stoffe, auch als endokrine Disruptoren bezeichnet, spielen in der aktuellen Spurenstoffdiskussion eine herausragende Rolle, weil bereits kleinste Konzentrationen bei längerer Exposition zum Aussterben ganzer Fischpopulationen führen können (KIDD et al. 2007).

VORSCHAU

Dieser Themenband stellt ein Bewertungskonzept zur weitergehenden Abwasserbehandlung für die Bewertung von Aufbereitungsverfahren, sowohl in einer Pilotphase zur Auswahl von Verfahrensoptionen als auch für die Bewertung großtechnischer Anlagen, vor. Das Konzept basiert auf einem integrierten Ansatz, das sowohl die Emissionen als auch die Immissionen in Gewässern berücksichtigt.

Das Konzept basiert emissionsseitig auf bereits regulatorisch definierten Parametern wie organische Stickstoff-Verbindungen oder Phosphat sowie auf neuen noch nicht in der Abwassertechnikverordnung (AbwTV) regulierten Parametern, wie der Entfernung nachgewiesener Spurenstoffe und deren Transformationsprodukte, von In-vitro-Assays zur Bestimmung des ökotoxikologischen Potenzials der zuvor angereicherten Spurenstoffe und der Entfernung von pathogenen Keimen und antibiotikaresistenten Bakterien. Es wird bewusst ein multidisziplinärer Ansatz verfolgt, indem chemische, ökotoxikologische und mikrobiologische Parameter vor und nach dem Verfahrensschritt quantitativ erfasst und in Indizes zusammengefasst werden. Damit wird eine umfassende Bewertung der direkten Auswirkungen auf die Gewässer durch die Verfahren erreicht. Die Wichtung der chemischen, ökotoxikologischen und mikrobiologischen Parameter ist in Abhängigkeit von den jeweiligen Schutzziele der Abwässer aufnehmenden Gewässer zu definieren. Diese können je nach Standort unterschiedlich sein und reichen beispielsweise vom Schutz der menschlichen Gesundheit für Badende und Trinkwasserkonsumenten bis hin zu dem Schutz der aquatischen Biodiversität durch eine ausreichend hohe Wasser-, Sediment- und Schwebstoffqualität in den Oberflächengewässern.

Die immissionsseitige Betrachtung erfolgt auf Basis der rechtlich durch die EG-Wasserrahmenrichtlinie und andere Anforderungen bindenden Instrumente. Hierfür werden spezifische Vorgehensweisen vorgeschlagen. Das Bewertungskonzept ist ausdrücklich nicht dafür vorgesehen, verschiedene Standorte hinsichtlich der Effizienz ihrer Reinigungsleistung miteinander zu vergleichen, da sowohl die lokalen Abwasserqualitäten als auch die Eigenschaften bzw. die Nutzungen (z. B. Badegewässer, Trinkwassernutzung, Naturschutzgebiet) des aufnehmenden Gewässers die Anforderungen an die Qualität des behandelten Abwassers bestimmen.

Mithilfe des integrativen Bewertungskonzepts wird eine umfassende Bewertung der Verfahren zur weitergehenden Abwasserbehandlung ermöglicht mit dem Ziel, die Gewässer-, Grundwasser- und Trinkwasserqualität zukünftig signifikant zu verbessern.

ISBN: 978-3-96862-563-8 [Print]
978-3-96862-564-5 [E-Book]

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA)

Theodor-Heuss-Allee 17 · 53773 Hennef

Telefon: +49 2242 872-333 · Fax: +49 2242 872-135

info@dwa.de · www.dwa.de