

DAS UNSICHTBARE VISUALISIEREN

CHARAKTERISIERUNG VON INDUSTRIEABWÄSSERN MIT BIOTESTS – VON DER IDEE ZUM UNTERSUCHUNGSKONZEPT

Industrieabwasser enthält oft unbekannte Bestandteile und Stoffmischungen, die durch chemische Analysen nur bedingt und mit grossem Aufwand identifiziert werden können. Ökotoxikologische Biotests schliessen diese Lücke, indem sie Effekte aller in einer Probe enthaltenen Stoffe sichtbar machen können. Die Übersichtsstudie zeigt bestehende Erfahrungen und Bedürfnisse für den Einsatz von Biotests für die Charakterisierung von Industrieabwässern auf.

Xenia Klaus, Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW)*

Fabienne Eugster; Rebekka Gulde, VSA Plattform «Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen»

Miriam Langer, Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW) und Eawag

RÉSUMÉ

VISUALISER L'INVISIBLE:

CARACTÉRISATION DES EAUX INDUSTRIELLES À L'AIDE DE BIOESSAIS

Des micropolluants issus notamment de l'industrie et de l'artisanat se retrouvent dans les eaux de surface. Les déversements industriels varient fortement et sont dynamiques. La composition de ces eaux usées est la plupart du temps inconnue. Des analyses chimiques permettent d'y quantifier de manière ciblée les substances connues. Moyennant un travail important, elles rendent également possible l'identification de substances inconnues. Mais quelles sont les eaux usées et les substances à surveiller? Des bioessais écotoxicologiques aident à répondre à cette question. Ils permettent de visualiser l'effet de toutes les substances présentes dans un échantillon et complètent ainsi parfaitement les analyses chimiques. En Suisse, nous manquons encore de recommandations de procédure et d'aides à l'interprétation pour utiliser des bioessais à grande échelle pour la caractérisation d'eaux usées industrielles. Une étude synoptique rassemble les connaissances disponibles en Suisse et à l'étranger, regroupées dans le présent article. Elles ont permis de développer l'outil de screening ABIScreen, de l'allemand «Abbautest Biotest Industrieabwasser Screening». ABIScreen se compose d'un test de dégradation rapide et d'une batterie de bioessais et est présenté en détail dans les articles suivants (cf. p. 68 et 76).

STOFFEINTRÄGE AUS INDUSTRIE UND GEWERBE

Trotz des grossflächigen Ausbaus der Abwasserinfrastrukturen in den letzten Jahrzehnten gelangen nach wie vor Stoffrückstände aus unterschiedlichen Quellen wie privaten Haushalten, Landwirtschaft oder Industrie und Gewerbe in die Schweizer Gewässer [1, 2]. Über den Anteil und die Zusammensetzung der Stoffeinträge aus Industrie und Gewerbe liegen derzeit noch wenige Daten vor. In der Schweiz leitet der Grossteil der industriellen und gewerblichen Betriebe ihre Abwässer als Indirekteinleiter in die öffentliche Kanalisation ein, um diese in einer kommunalen ARA zu behandeln [3]. Eine allfällige Vorbehandlung der Abwässer erfolgt in den meisten Fällen betriebsintern und nach Stand der Technik (Box 1). In der eidgenössischen Gewässerschutzverordnung (GSchV) existieren für einzelne Parameter Anforderungen und Grenzwerte für die Einleitung von Industrieabwasser in die öffentliche Kanalisation und in die Gewässer (Box 1). Für die meisten organischen Einzelstoffe und deren Transformationsprodukte enthält die GSchV aber keine konkreten Vorgaben. Die Regulierung der in der Produktion eingesetzten Ausgangsstoffe liegt im Zuständigkeitsbereich der kantonalen Bewilligungsbehörde und wird bei der Erteilung der Einleitungsbewilligung festgelegt.

* Kontakt: xenia.klaus@fhnw.ch

(©AdobeStock)

DREI ARTIKEL IN A&G ZU BIOTESTS

Dieser Artikel bildet den Auftakt von drei Artikeln der Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW) in dieser Ausgabe von *Aqua & Gas*. Er beinhaltet die wichtigsten Erkenntnisse, die in der Übersichtsstudie zum Einsatz von Biotests zur Charakterisierung von Industrieabwasser an der FHNW ausgearbeitet wurden.

Der zweite Artikel «Entwicklung des AIA-Tests» (S. 68) beschreibt eine neue zeiteffiziente biologische Abbautestmethode für Industrieabwässer. Im dritten und letzten Artikel «ABIScreen – Kennen Sie Ihr Abwasser?» (S. 76) geht es um ein neues Screeningtool, das eine Kombination des neuen zeiteffizienten Abbautests und einer Biotestbatterie einsetzt, um Industrieabwässer zu charakterisieren.

Die Situationsanalyse zu Stoffeinträgen aus Industrie und Gewerbe in Gewässer des Verbands Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA) [4] zeigt auf, dass trotz grosser technischer Fortschritte in der Abwasserreinigung grosse Mengen und potenziell toxische Stoffe mit dem gereinigten Abwasser in die Gewässer gelangen. Gründe dafür sind u. a. dynamisch anfallende Abwasserleitungen und daraus folgende Belastungsspitzen auf der ARA, ein oft breites Substanzspektrum und fehlende Kenntnisse über einzelne Abwasserinhaltsstoffe bei den Betrieben. Als Branchen mit besonders relevanten Prozessen für den Eintrag von Stoffrückständen in die Gewässer wurden u.a. die chemisch-pharmazeutische Industrie, die chemisch-physikalische Behandlung von flüssigen Sonderabfällen sowie die Metalloberflächenbehandlung und Galvanik identifiziert [4].

Die Untersuchung von gereinigtem Abwasser aus ARA mit unterschiedlichem Industrieinfluss mittels chemischer Analytik bestätigt die Erkenntnisse der Situationsanalyse. Im Vergleich mit Abwasser kommunaler Herkunft weist gereinigtes Abwasser mit einem Anteil aus der pharmazeutischen Industrie eine grössere Vielfalt an Stoffen, höhere Konzentrationen an synthetischen organischen Verbindungen und starke Konzentrationsschwankungen mit kurzzeitigen Einzelstoffbelastungsspitzen auf. Zudem

werden teilweise toxische Verbindungen, komplexe Stoffmischungen sowie in der Schweiz nicht registrierte Chemikalien aufgezeigt [5-7].

Als vielversprechende Kombination erweist sich die Ergänzung der chemischen Analysen mit Biotests, um mehr Informationen über die im Abwasser enthaltenen Einzelstoffe und Stoffmischungen zu generieren. Die Ergebnisse von Studien bestätigten, dass die heutige Praxis zur Identifikation von problematischen Stoffeinträgen nicht genügt [7].

Die Identifikation von Abwässern mit problematischen Stoffeinträgen aus Industrie und Gewerbe stellt für Betriebe und Behörden eine Herausforderung dar, ist aber notwendig, um sie zu reduzieren. Die bestehende Gesetzgebung liefert nur wenig numerische Anforderungen. Durch die Ergänzung der Untersuchungsmethoden von Industrieabwässern mit Biotests können Abwässer mit toxischen Stoffrückständen identifiziert und vertiefter charakterisiert werden.

CHARAKTERISIERUNG VON INDUSTRIEABWÄSSERN

EINSATZ VON BIOTESTS

Die Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW) führte von 2019 bis 2021 die Übersichtsstudie zum Einsatz von Biotests für die Charakterisierung von Industrieabwässern [8] durch. Diese untersuchte den nationalen und internationalen Kenntnisstand zum Einsatz von Biotests zur Beurteilung von Abwässern aus Industrie und Gewerbe in einer Literaturrecherche und im Austausch mit Behörden, Verbänden und Betrieben. Aus den gewonnenen Erkenntnissen wurde schliesslich das praktische Untersuchungskonzept *ABIScreen* (Abbautest Biotest Industrieabwasser Screening) entwickelt (s. *Artikel S. 76*).

Für die Charakterisierung der Abwässer und für die fachgerechte Umsetzung von Abwasserreinigungsprozessen in den Betrieben spielen biologische Abbautests eine übergeordnete Rolle. Der *Zahn-Wellens-Test* kommt dabei häufig zum Einsatz, hat aber eine lange Testdauer von 28 Tagen. Die befragten Industriebetriebe äusserten mehrfach das Bedürfnis nach einer verkürzten Testdauer. Ein weiterführendes Projekt an der FHNW entwickelte in diesem Zusammenhang eine zeiteffiziente Abbautestmethode (s. *Artikel S. 68*).

AKTUELLES VORGEHEN

Die meisten der in der Übersichtsstudie befragten 50 Betriebe entscheiden über die Entsorgung ihrer Abwässer basierend auf chemisch-physikalischen Parametern wie pH und Schwermetallgehalt, auf Summenparametern wie DOC (*Dissolved Organic Carbon*), auf bekannten Inhaltsstoffen wie Ausgangsprodukte und

ANFORDERUNGEN AN INDUSTRIEABWÄSSER IN DER GSchV

Die wichtigsten Grundsätze der eidgenössischen Gewässerschutzgesetzgebung bilden das Vorsorgeprinzip (Art. 1 Umweltschutzgesetz USG), das Verursacherprinzip (Art. 2 USG) und das Verunreinigungsverbot (Art. 6 Gewässerschutzgesetz GSchG), um die Gewässer grundsätzlich vor nachteiligen Einflüssen zu bewahren. In der Gewässerschutzverordnung (GSchV) werden Anforderungen an die Einleitung von Abwasser unterschiedlicher Herkunft definiert. Für Abwasser aus Industrie und Gewerbe gilt der Grundsatz, dass es nach dem Stand der Technik behandelt werden muss, um Verunreinigungen der Gewässer zu vermeiden, sofern die zu ergreifenden Massnahmen wirtschaftlich tragbar und betrieblich machbar sind. Zudem müssen die allgemeinen und besonderen Anforderungen an Industrieabwasser (Anhang 3.2 GSchV) für die Einleitung in das Gewässer oder in die öffentliche Kanalisation eingehalten werden. Dabei unterscheiden sich die Anforderungen an die Einleitung in Gewässer (Direkteinleiter) und die Einleitung in die öffentliche Kanalisation (Indirekteinleiter) mit mindestens gleichen oder strengeren Grenzwerten für Direkteinleiter. Können in einem Betrieb gemäss dem Stand der Technik tiefere Werte eingehalten werden, so kann die Behörde strengere Werte festlegen. Ziel ist, dass so wenig Stoffe wie möglich in die Gewässer gelangen. Die Anforderungen sind nicht so zu verstehen, dass bis zum Erreichen dieser Grenzwerte «aufgefüllt» werden darf. Eine Verdünnung des Abwassers ist nur erlaubt, wenn diese nicht dem Erfüllen der Anforderungen dient, zweckmässig ist und dadurch nicht mehr Stoffe ins Gewässer gelangen als bei getrennter Behandlung (Anhang 3.2 GSchV). Unterstützung bei der Umsetzung im Vollzug bieten Vollzugshilfen, Merkblätter und Leitfäden, wie sie der Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA) zur Verfügung stellt.

Lösungsmittel sowie auf laborbasierten Tests wie einem biologischen Abbautest oder Nitrifikationshemmtest.

Die Betriebe berücksichtigen die eingesetzten Ausgangsprodukte auf der Grundlage von Sicherheitsdatenblättern oder ökotoxikologischen Daten. Allfällige Transformations- und Nebenprodukte im Abwasser sowie Stoffmischungen werden im Allgemeinen aber nicht analysiert. Die Identifikation von unbekanntem Stoffen (*Non Target Screening*) aus Syntheseschritten erfordert aufwendige Analysemethoden und Auswertungsarbeit und wird nur in Einzelfällen angewendet.

Abbautests werden zur Bestimmung der biologischen Abbaubarkeit von organischen Abwasserinhaltsstoffen durch aerobe Mikroorganismen eingesetzt (s. S. 68). Ohne eine chemische Analyse der Inhaltsstoffe liefern Abbautests allgemeine Aussagen über den gesamten Eliminationsgrad der organischen Stoffe und den refraktären DOC (*Refractory Organic Carbon, ROC*). Sie liefern keine Informationen über die Zusammensetzung der Stoffrückstände und deren toxisches Potenzial.

Die Informationen zur fachgerechten Entsorgung werden für jede Produktionslinie in einem Abwasserkataster festgehalten (Fig. 1). Vereinzelt kommen Onlinesysteme zur Überwachung von toxischen Effekten auf die ARA-Biologie zum Einsatz.

WAS KÖNNEN BIOTESTS?

Biotests integrieren Effekte einer gesamten Probe mit allen bekannten und unbekanntem Stoffen und Mischungen. Sie visualisieren die Wirkungen der in der Probe enthaltenen Stoffe, wenn die Testorganismen dafür sensitiv sind [9]. Biotests setzen lebende Zellen, Organismen oder Populationen ein, um deren Reaktion (z. B. Wachstumshemmung, Letalität, Reproduktionshemmung) auf die Exposition mit Schadstoffen zu messen [10]. Bestehende standardisierte Testsysteme für Abwasserproben nutzen meist Gewässerorganismen wie Fische, Wasserflöhe, Algen oder marine Leuchtbakterien. Biotests sind damit – auch in Ergänzung zur chemischen Analytik – eine vielversprechende Methode, um Industrieabwasser mit unbekannter stofflicher Zusammensetzung zu untersuchen und problematische Abwässer mit toxischem Potenzial zu identifizieren [11].

ERFAHRUNGEN MIT BIOTESTS

International werden Biotests schon seit mehr als 30 Jahren erfolgreich für die Beurteilung von Abwasserproben genutzt (Box 2). In der Schweiz werden Biotests mit Erfolg eingesetzt, um zu testen, welche Methoden sich für den Ausbau von kommunalen Kläranlagen mit einer Reinigungsstufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen (z. B. durch Aktivkohlefilter oder Ozonung)

eignen. Mit Biotests wird untersucht, ob die Toxizität mit der Reduktion von Mikroverunreinigungen abnimmt und ob toxische Transformationsprodukte entstehen [10, 12].

Für die Beurteilung von industriellen Abwässern wurden Biotests bis 2020 jedoch nur vereinzelt eingesetzt. Eine erste Schweizer Studie mit Biotests und industriellem Abwasser [13] wurde von 2017 bis 2018 durchgeführt. Die Studie generierte einen Überblick über das vorhandene toxische Potenzial und die stoffliche Belastung von vorbehandelten Betriebsabwässern aus unterschiedlichen Branchen vor und nach biologischer Behandlung. Eingesetzt wurde ein Abbautest (*Zahn-Wellens-Test*), gefolgt von einer Biotestbatterie (bestehend aus Leuchtbakterientest, Daphnientest und Algentest). In den meisten Proben nahm die Toxizität nach dem biologischen Abbau deutlich ab. In einzelnen Abwässern war jedoch auch nach dem Abbautest noch toxisches Potenzial vorhanden. Die Toxizität der abgebauten Proben korrelierte nicht mit dem refraktären Gehalt organischer Stoffe (ROC). Abwässer können demnach ein toxisches Potenzial aufweisen, obwohl sie die geforderten Einleitungsvoraussetzungen basierend auf dem DOC-Gehalt (Reinigungseffekt von 85% gemäss GSchV Anhang 3) einhalten. Nicht abbaubare toxische Stoffrückstände gelangen dann mit dem gereinigten Abwasser in die Gewässer. Die Studie wies zudem auf eine grosse Variabilität der Abwässer (z. B. Toxizität, abiotische Parameter, DOC-Elimination) innerhalb der Branchen hin [13].

Eine tiefere Studie zeigte den Mehrwert von Biotests in Ergänzung zur chemischen Analytik auf. Darin wurde das gereinigte Abwasser einer ARA mit angeschlossenen industriellen Betrieben gezielt mit Biotests (akute Daphnien- und Leuchtbakterientests und chronische Algen- und Wasserlinsentests) überwacht. Parallel wurden das Abwasser mit einer chemischen Non-Target-Analyse untersucht und die Zeitreihen beider Methoden miteinander korreliert. Algen- und Wasserlinsentests zeigten dabei toxische Effekte an. Durch den Vergleich der Zeitreihen wurde einerseits Trifluoressigsäure (TFA) als verursachende Substanz für Effekte im Algentest identifiziert. TFA wurde jedoch im angeschlossenen Betrieb weder als Produktionsstoff noch als Ausgangsmaterial vorgesehen, sondern

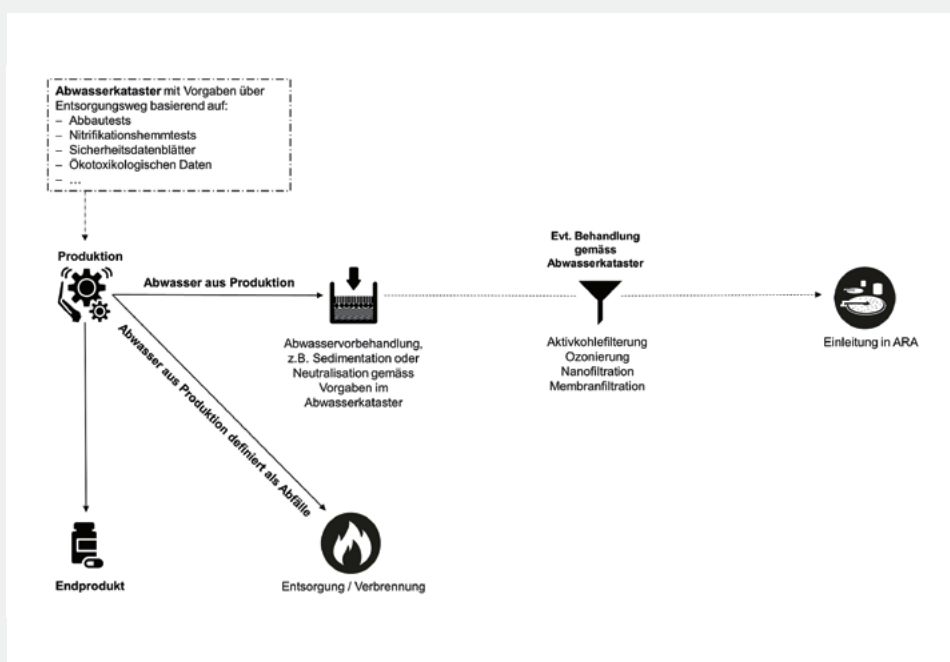


Fig. 1 Schematisches Vorgehen zur Entscheidung des Entsorgungswegs von Produktionsabwasser aus der chemisch-pharmazeutischen Industrie.

BIOTEST INTERNATIONAL

NORDAMERIKA

Whole Effluent Toxicity Testing (WET Testing) wurde in den USA in den 1980er-Jahren entwickelt. Die amerikanische (*Environment Protection Agency, US EPA*) und die kanadische Umweltbehörde (*Environment and Climate Change Canada, ECCC*) definierten die zugelassenen Biotests und das Vorgehen und passten diese stetig an. *WET Testing* wird für die Beurteilung der Wasserqualität, die Entwicklung von Einleitungsgrenzwerten und die Überprüfung und Erteilung von Genehmigungen verwendet [14]. In Kanada wird *WET Testing* zudem standardmässig zur Überwachung von einleitenden Industriebetrieben eingesetzt.

EUROPA

Whole Effluent Assessment (WEA) wurde vor über 20 Jahren für die Untersuchung von Gesamtabwasserproben entwickelt. Zur Umsetzung von WEA in den europäischen Ländern bestehen breite Vorgehensempfehlungen der OSPAR Commission (*The Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic*), die in den einzelnen Ländern unterschiedlich interpretiert werden. Biotests werden beispielsweise im Rahmen von Zulassungsprüfungen von grossen Industrieanlagen (wie z. B. in Schweden oder Dänemark) oder zur Herleitung von betriebsspezifischen Einleitungsbedingungen durchgeführt (wie z. B. in Norwegen oder Spanien) [15, 16]. Der Einsatz von Biotests ist in den meisten europäischen Ländern keine gesetzliche Anforderung. Eine Ausnahme stellt die Anwendung in Deutschland dar.

DEUTSCHLAND

Die deutsche Abwasserverordnung (AbwV) verlangt bereits seit 1997, dass direkteinleitende Industriebetriebe regelmässig ihre Abwässer mittels Biotests überprüfen. Die

	Eingesetzte Biotests	Fischei- test	Daphnien- test	Leucht- bakterien- test	Algen- test	Umu(C)- Test
Anhang zur ABwV	Branche/Herkunftsbereich	G _{EI}	G _D	G _L	G _A	G _U
22	Chemische Industrie (Anforderungen für vorhandene Einleitungen)	2	8	32	16	1,5
23	Anlagen zur biologischen Behandlung von Abfällen (Anforderungen an das Abwasser vor Vermischung)	2	4	4		
24	Eisen-, Stahl- und Tempergiesserei	2				
27	Behandlung von Abfällen durch chemische und physikalische Verfahren (CP-Anlagen) sowie Altölaufarbeitung	2	4	4		
31	Kühlwasser			12		
40	Metallbearbeitung, Metallverarbeitung	2; 4; 6				

Tab. 1 In Deutschland eingesetzte Biotests und vorgegebene G-Werte für ausgewählte Branchen nach der Abwasserverordnung (AbwV). G-Werte für einzelne Biotests entsprechen niedrigster Verdünnungsstufe der getesteten Abwässer ohne toxischen Effekt auf die untersuchten Organismen (je höher der G-Wert, desto toxischer das Abwasser).

Umweltämter der Bundesländer sind für den Vollzug zuständig und überprüfen die Ergebnisse stichprobenartig. Die AbwV schreibt die Durchführung spezifischer Biotests und die Einhaltung definierter G-Werte für verschiedene Branchen vor (Tab. 1). Die G-Werte ergeben sich aus den niedrigsten Verdünnungsstufen von getesteten Abwässern, die im Biotest keinen toxischen Effekt auf die untersuchten Organismen ausüben (so genannte *No Observed Effect Concentration*, NOEC).

Der Fischeitertest ist für alle Branchen vorgeschrieben. Wird der gesetzlich vorgegebene G-Wert für den Fischeitertest (G_{EI}) mehrmals überschritten, hat dies eine Erhöhung der Abwasserabgabe für den verursachenden Betrieb zur Folge. Für einzelne Industriesektoren (z. B. die chemische Industrie) wird zusätzlich die Durch-

führung weiterer Tests verlangt (Tab. 1). Deren Überschreitung bedeutet eine Verletzung der Einleitbedingungen, aber nur das Ergebnis des Fischeitests hat auf die Höhe der Abgabe einen Einfluss. Die Anforderungen an direkteinleitende industrielle Betriebe haben sich bezüglich Biotests seit 1997 nicht mehr verändert, der Stand der Technik hingegen schon. Deutschland versuchte, die Durchführung von Biotests für die Beurteilung von Industrieabwässern aus unterschiedlichen Branchen auch auf EU-Ebene in den BVT-Merkblättern zu verankern. Dies scheiterte im Jahr 2016 am Einverständnis anderer Mitgliedstaaten. Die bestehenden Bemühungen seitens Deutschlands, biologische Testmethoden auf EU-Ebene gesetzlich zu implementieren, tragen derzeit noch keine Früchte.

Box 2

wurde in einem spezifischen Abwasservorbehandlungsschritt erzeugt. Nach der Identifikation konnte durch Anpassungen von Behandlungsprozessen schliesslich die Algentoxizität im Abwasser massgeblich reduziert werden. Dieses Beispiel veranschaulicht, dass durch den Einsatz von Biotests toxische Stoffe bis an die Quelle zurückverfolgt werden können,

um dort wirkungsvolle Massnahmen umzusetzen. Andererseits konnte die Toxizität im Wasserlinsentest durch den Vergleich mit den chemischen Daten auf ein Pflanzenschutzmittel zurückgeführt werden. Dieses löste in der chemischen Analytik nur schwache Signale aus. Das Ergebnis dieser Studie unterstreicht die Wichtigkeit von Biotests ergänzend zu

chemischen Untersuchungen. Relevante Substanzen wären trotz aufwendiger chemischer Analysen alleine nicht identifiziert worden [7].

Der direkte Austausch mit den Betrieben, Branchenverbänden und kantonalen Behörden zeigte, dass die Erfahrungen im Einsatz von Biotests für die Beurteilung von Industrieabwässern in

DANK

Dieses Projekt wurde durch das BAFU finanziert. Ein grosser Dank geht an alle Beteiligten dieses Projekts für ihre Unterstützung: an alle Betriebe für den interessanten und offenen Austausch und die Teilnahme an der Umfrage, an die befragten kantonalen Vertreter:innen, an die beteiligten Branchenverbände, an die nationalen und internationalen Expert:innen und insbesondere an folgende Personen für ihren wertvollen Input:

Saskia Zimmermann-Steffens (BAFU), Pascal Wunderlin (VSA), Cornelia Kienle (Oekotoxzentrum), Serge Santiago (Soluval Santiago), Stefan Gartiser (Hydrotox AG, D), Philippe Matter (Arcadis), Brigitte v. Danwitz (LANUV, D) und Trudy Watson-Leung (MECP, CA).

der Praxis gering sind. Auf Behörden-seite ist die Handhabung einerseits aufgrund fehlender gesetzlicher Vorgaben beschränkt. Auf der Betriebsseite sind andererseits kaum Kenntnisse und keine Daten zum Einsatz von Biotests vorhanden. Betriebe, die vereinzelt Biotests einsetzen, legen den Fokus v. a. auf den Schutz der ARA oder auf die Qualitätsprüfung der eigenen Vorbehandlungs- und Abwasserreinigungsprozesse. Viele chemisch-pharmazeutische Betriebe verwenden Nitrifikationshemmtests, um die ARA-Toxizität abzuschätzen. Biotests mit höheren Organismen und Endpunkten wurden in den befragten Betrieben nur sehr vereinzelt angewendet. Drei Betriebe können als Vorreiter hervorgehoben werden, die bereits Leuchtbakterien, Algen, Daphnien einsetzten. Ein Betrieb führte zusätzlich Fischembryo- und *UmuC*-Tests innerhalb einer Kampagne durch. Ein einzelner Betrieb setzte regelmässig Wasserlinsen ein.

Bisher fehlen Vorgehensempfehlungen in der Schweiz, damit Betriebe und Behörden Biotests grossflächig anwenden und interpretieren können. Sowohl die befragten Betriebe als auch die Behörden und Branchenverbände äusserten ihr Interesse an geeigneten Instrumenten und Interpretationshilfen, um problematische Abwässer mit Biotests zu identifizieren.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Erkenntnisse aus Literatur und Praxis zeigen, dass der Einsatz von Abbau- und Biotests für die Charakterisierung von

Industrieabwasser eine wertvolle Ergänzung zur chemischen Analytik darstellt.

Abbautests untersuchen die biologische Abbaubarkeit und den Anteil nicht abbaubarer organischer Stoffrückstände und Nitrifikationshemmtests schätzen die Toxizität für die ARA-Biologie ab. Geeignete Biotestsysteme geben Hinweise, ob die in der gereinigten Abwasserprobe enthaltenen Stoffrückstände und -mischungen ein ökotoxisches Potenzial aufweisen. Biotests bilden somit die Effekte von allen in der Probe enthaltenen Stoffen und Stoffgemischen ab. Durch die Kopplung von Abbau- und Biotests werden problematische Abwässer mit nicht abbaubaren toxischen Stoffrückständen identifiziert. Diese werden über die ARA in die Gewässer eingetragen, selbst wenn sie die gesetzlichen Anforderungen einhalten. Die Rückverfolgung der Toxizität eröffnet Möglichkeiten für wirkungsvolle Massnahmen an der Quelle.

Der Austausch mit Kantonen, Branchenverbänden und Betrieben in den Jahren 2018 bis 2021 bestätigte, dass die Erfahrungen im Einsatz von Biotests für die Beurteilung von Industrieabwässern in der Schweiz gering sind. Es besteht aber Interesse an der Entwicklung geeigneter Methoden. Für die praktische Anwendung werden konkrete Vorgehensempfehlungen und Interpretationshilfen benötigt.

AUSBLICK

Zwei weiterführende Projekte an der FHNW gingen dem Bedürfnis nach. Die Entwicklung eines reproduzierbaren und zeiteffizienten Abbautests für Industrieabwasser wird im nachfolgenden Artikel erläutert (s. S. 68).

Mit *ABIScreen* (Abbautest Biotest Industrieabwasser Screening) wurde zudem ein praktisches Screeningtool entwickelt. Dieses schlägt eine Kombination aus einem Abbautest und einer Biotestbatterie vor, um Industrieabwässer basierend auf ihrer Abbaubarkeit, Nitrifikationshemmung und Ökotoxizität zu charakterisieren. Der Artikel «*ABIScreen – Kennen Sie Ihr Abwasser?*» stellt das Screeningtool im Detail vor und zeigt Ergebnisse aus der praktischen Anwendung (s. S. 76).

BIBLIOGRAPHIE

[1] Gälli, R. et al. (2009): *Mikroverunreinigungen in den Gewässern. Bewertung und Reduktion der Schad-*

stoffbelastung aus der Siedlungsentswässerung. Bundesamt für Umwelt, Bern

- [2] Abegglen, C.; Siegrist, H. (2012): *Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser. Verfahren zur weitergehenden Elimination auf Kläranlagen. Bundesamt für Umwelt, Bern*
- [3] Braun, C.; Gälli, R. (2014): *Mikroverunreinigungen aus Industrie und Gewerbe. Erste Grundlagen-erhebung mittels Umfrage bei den Kantonen zu vorhandenen Informationen. Bericht im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (BAFU). BMG Engineering AG, Schlieren*
- [4] Wunderlin, P.; Gulde, R. (2022): *Situationsanalyse «Stoffeinträge aus Industrie und Gewerbe in Gewässern». Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA), Glattbrugg*
- [5] Anliker, S. et al. (2020): *Assessing Emissions from Pharmaceutical Manufacturing Based on Temporal High-Resolution Mass Spectrometry Data. Environmental Science and Technology 54:4110–4120*
- [6] Anliker, S. et al. (2020): *Quantification of Active Ingredient Losses from Formulating Pharmaceutical Industries and Contribution to Wastewater Treatment Plant Emissions. Environmental Science and Technology 54:15046–15056*
- [7] Anliker, S. et al. (2022): *Large-scale assessment of organic contaminant emissions from chemical and pharmaceutical manufacturing into Swiss surface waters. Water Research 215:118221*
- [8] Klaus, X.; Langer, M. (2021): *Übersichtsstudie zum Einsatz von Biotests zur Beurteilung von Industrieabwasser. Bericht im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (BAFU). Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW), Muttenz*
- [9] Escher, B. et al. (2012): *Bioanalytical tools in water quality assessment, 1. publ. IWA-Publ, London*
- [10] Kienle, C. et al. (2015): *Ökotoxikologische Biotests. Anwendung von Biotests zur Evaluation der Wirkung und Elimination von Mikroverunreinigungen. Aqua & Gas 7/8:18–26*
- [11] Kienle, C. et al. (2015): *Methoden zur Beurteilung der Wasserqualität anhand von ökotoxikologischen Biotests. Oekotoxzentrum Eawag-EPFL*
- [12] Böhler, M. et al. (2017): *Untersuchungen zu Verfahren für die biologische Nachbehandlung nach Ozonung. Aqua & Gas 5:54–63*
- [13] Otto, J. et al. (2020): *Abbau- und Biotests in Industrieabwässern. Erste Schweizer Screeningstudie zur Erfassung der Toxizität und stofflichen Belastung. Aqua & Gas 10:58–65*
- [14] Grothe, D. R. et al. (1996): *Whole Effluent Toxicity Testing: An Evaluation of Methods and Prediction of Receiving Environment Impacts. SETAC, Pensacola*
- [15] Power, E. A.; Boumphrey, R. S. (2004): *International Trends in Bioassay Use for Effluent Management. Ecotoxicology 13:377–398*
- [16] Schultz, E. et al. (2011): *COHIBA WP3 Whole effluent assessment (WEA): proposed recommendations for the use of toxicity limits. Finnish Environment Institute, Helsinki*

Die Bodyguards für Ihre Sicherheit

www.ecoanalytics.ch

Unsere Produkte – Auf Ihre Anwendung zugeschnitten

- Gleichzeitige Überwachung von bis zu 4 Gasen
- Optische, akustische und Vibration Alarmierung
- Kompakt, leicht und einfach zu bedienen
- Messwerte und Alarmstatusmeldungen in Echtzeit

BW Icon Flex · GASALERT QUATTRO · QRAE 3



Eco Analytics

Sicherheit dank Gaswarntechnik

Eco Analytics AG • Weidenweg 17 • CH-4310 Rheinfelden
Telefon +41 61 827 94 00 • info@ecoanalytics.ch

KOMPETENZ IN KLÄRSCHLAMMANLAGEN



WIR WOLLEN HOCH HINAUS – SIE AUCH?

Die Anforderungen an die Abwasserbehandlung steigen stetig und umso schwieriger wird es, ihnen gerecht zu werden. Im Fokus steht dabei stets die Effizienz – und wie effizient lagern Sie?

Die Vorteile eines Schlammager- und Verladesisilos mit passender Fördertechnik:

- Geringer Energieeintrag bei großen Förderleistungen
- Zeit und Personalsparnis durch voll-automatisierte Befüllung und Verladung
- Emissionskontrolle durch ein geschlossenes Anlagensystem
- Verbesserung von hygienischen Verhältnissen
- u. v. m.



Verfahrenstechnik Schweitzer GmbH
www.v-t-s.de



SHIMADZU
Excellence in Science



Pure perfection

The TOC-L combustion analyzers support each type of application – from pure water to highly contaminated water. The four models cover PC-controlled and standalone versions. These eco-friendly systems use 43 % less energy than previous models. At the same time, the foot print has been reduced significantly.

Wide measuring range

from 4 µg/L to 30,000 mg/L TC

Most-modern software features

e.g. the TNM-L module for simultaneous TOC and Total Nitrogen analysis

Multitude of accessories and kits

provide a wealth of functions, ease of operability and data integrity



www.shimadzu.ch/toc-l-serie