

ABIScreen – KENNEN SIE IHR ABWASSER?

CHARAKTERISIERUNG VON INDUSTRIEABWÄSSERN MIT ABBAU- UND BIOTESTS

ABIScreen kombiniert einen Abbautest und eine Biotestbatterie, um Industrieabwässer zu charakterisieren. Durch die Visualisierung können problematische Industrieabwässer mit nicht biologisch abbaubaren Substanzen und erhöhtem toxischen Potenzial identifiziert werden. Dies ist der erste wichtige Schritt für die Rückverfolgung einer Toxizität an die Quelle und eröffnet Möglichkeiten für Prozessadaptationen in der Produktion.

Xenia Klaus; Nicolas Furler; Yves Saladin, Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW)*

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

Miriam Langer, Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW) und Eawag

RÉSUMÉ

ABIScreen – CARACTÉRISATION D'EAUX USÉES INDUSTRIELLES À L'AIDE DE TESTS DE DÉGRADATION ET DE BIOESSAIS

Des bioessais écotoxicologiques permettent d'identifier les eaux usées problématiques. En Suisse, les expériences quant à leur utilisation pour les eaux usées industrielles restent cependant limitées. La FHNW a développé à la demande de l'Office fédéral de l'environnement l'outil de screening «ABIScreen» (de l'allemand «Abbautest Biotest Industrieabwasser Screening»). Cet outil utilise un test de dégradation abrégé (cf. article en p. 68) et une batterie de bioessais afin de détecter les flux d'eaux usées industrielles comportant des résidus de substances organiques non biodégradables et potentiellement toxiques. ABIScreen comporte les étapes d'analyse suivantes: test de dégradation afin d'évaluer la biodégradabilité, appréciation de la toxicité pour la STEP (inhibition de la nitrification) et une batterie d'essais afin d'estimer l'écotoxicité. L'utilisation d'ABIScreen dans différentes branches confirme que les bioessais peuvent apporter une contribution importante à la caractérisation d'eaux usées industrielles. Une classification systématique des résultats fait cependant encore défaut. Il faut une large base de données pour pouvoir définir des seuils. La FHNW, le VSA et l'OFEV s'y consacrent avec six cantons dans le cadre d'un projet continu à l'échelle de la Suisse.

AUSGANGSLAGE

Die im Artikel «Das Unsichtbare visualisieren» (diese Ausgabe S. 62) vorgestellte Übersichtsstudie zum Einsatz von Biotests für die Charakterisierung von Industrieabwasser [1] zeigt, dass in der Schweiz kaum Erfahrungen für die Untersuchung von industriellen Abwässern mit Biotests vorhanden sind. Interesse und Bedürfnis für den verbreiteten Einsatz von Biotests bestehen jedoch bei Betrieben wie auch Behörden. Biotests gelten als vielversprechendes Werkzeug, um problematische Abwässer zu identifizieren und zurück an die Quelle zu verfolgen [2]. In anderen Ländern, wie z. B. Kanada oder Deutschland, werden Biotests bereits regelmässig für die Untersuchung von Industrieabwässern eingesetzt (s. S. 62). Für den grossflächigen Einsatz in der Schweiz braucht es anwendungsorientierte Vorgehensempfehlungen und Interpretationshilfen. Im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (BAFU) entwickelte die Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW) das *ABIScreen*-Tool im Rahmen der vorliegenden Studie.

ABIScreen

Das Abbautest «Biotest Industrieabwasser Screeningtool», kurz ABIScreen, besteht aus fünf Untersuchungsschritten (Fig. 1).

* Kontakt: xenia.klaus@fhnw.ch

(©AdobeStock)

Die einzelnen Schritte sind in *Box 1* im Detail erläutert. ABIScreen schlägt vor, gesamte Industrieabwasserproben nach der betriebsinternen Vorbehandlung und vor der Einleitung in die kommunale oder die betriebseigene ARA zu untersuchen. Der Abbautest simuliert den biologischen Reinigungsschritt einer ARA, d.h., es werden biologisch abbaubare Stoffe für die weitere Untersuchung entfernt. Dabei ergeben sich auch Informationen über die Abbaubarkeit und über den Anteil biologisch nicht abbaubarer Stoffe (*Box 1*). Alternativ können auch einzelne Abwasserströme untersucht werden, die bei der Betrachtung von Gesamtabwasserproben einer ARA wegen der Verdünnung maskiert würden. ABIScreen verwendet standardmässig den neuentwickelten zeiteffizienten Abbautest (Alternativer Inhärenter Abbautest, AIA, «Entwicklung des AIA-Tests», diese Ausgabe S. 68). Alternativ kann auch ein anderer Abbautest wie z.B. der *Zahn-Wellens-Test* eingesetzt werden.

Während des Abbautests kann parallel die ARA-Toxizität (Nitrifikationshemmung der ARA-Biologie) abgeschätzt werden

(*Box 1*). Diese Informationen helfen den Betrieben bei der Entscheidung, ob sie das Abwasser in die ARA einleiten können. Das toxische Potenzial der abgebauten Probe wird unter Einsatz von ökotoxikologischen Biotests abgeschätzt. Die Biotestbatterie in ABIScreen besteht aus einem Leuchtbakterientest, einem Daphnientest und einem Algentest (*Box 2*) – robuste Tests, die sich für die Untersuchung von nativen (nicht aufkonzentrierten) Abwasserproben eignen und unterschiedliche Organismen und Effekte abbilden (s. S. 62). Um spezifisch mutagene Effekte zu untersuchen, kann zusätzlich ein *Ames-Test* verwendet werden (*Box 2*).

Industrieabwasserproben werden verdünnt und neutralisiert, um Matrixeffekte in den Biotests zu minimieren (Salzkorrektur, *Box 3*). Dies ist nötig, weil im Industrieabwasser oft Abweichungen, wie z.B. ein hoher Salzgehalt, auftreten, die die Testorganismen beeinträchtigen können. Ohne die Verdünnung ist unklar, ob die Stoffrückstände in der Probe oder der Salzgehalt die toxische Wirkung auslösen. Wird bei der Untersuchung

mit ABIScreen eine erhöhte Toxizität festgestellt, können einzelne Abwasserströme (z.B. einzelne Produktionslinien) erneut untersucht werden, um die Quelle für die toxischen Effekte zu identifizieren.

ANWENDUNG VON ABIScreen BEI INDUSTRIEABWASSERPROBEN

ABIScreen wurde im Jahr 2021 für die Untersuchung von insgesamt 19 Abwasserproben aus der Industrie eingesetzt. Die Proben stammten aus unterschiedlichen Industriebranchen (darunter Entsorger- und Sonderabfallverwertung, Chemie, Pharma und Biotech) und aus verschiedenen Produktionsprozessen (*Tab. 1*). Die Proben wiesen diverse chemisch-physikalische Eigenschaften und Belastungen auf, weshalb sie für verschiedene Entsorgungswege bestimmt waren (z.B. kommunale ARA, Industrie-ARA oder Verbrennung). Es wurden demnach bewusst schwer abbaubare und möglicherweise toxische Ausgangsproben untersucht. Für den Vergleich der unterschiedlichen Abbautests wurden die Proben jeweils in einem klassi-

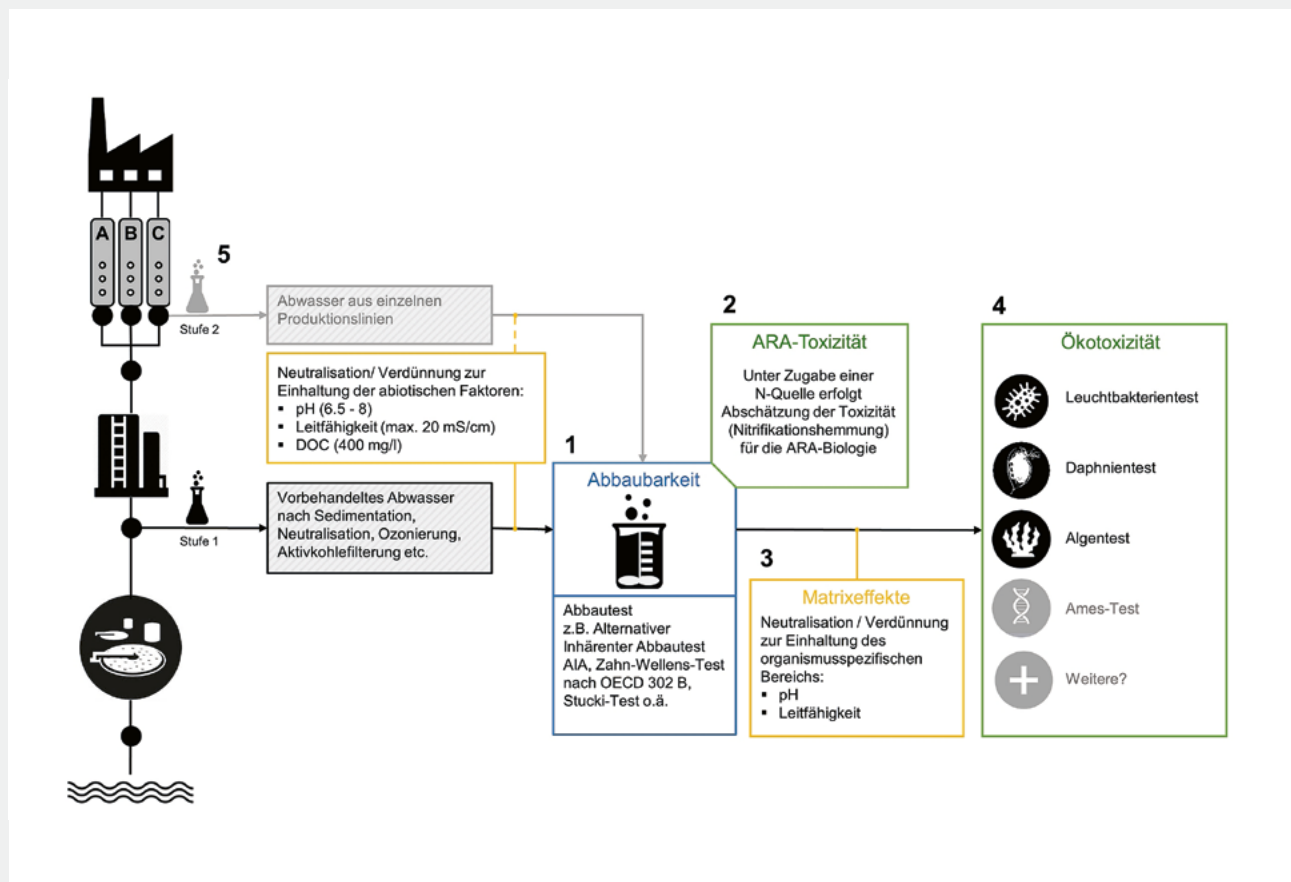


Fig. 1 Vorgehen nach ABIScreen mit fünf Untersuchungsschritten:

1. Abschätzung Abbaubarkeit und Gehalt biologisch nicht abbaubarer organischer Substanzen; 2. Abschätzung ARA-Toxizität;
3. Vermeidung von Matrixeffekten; 4. Abschätzung Ökotoxizität; 5. Ursachensuche.

DIE FÜNF UNTERSUCHUNGSSCHRITTE VON ABIScreen

1. ABBAUTEST: ABBAUBARKEIT UND GEHALT BIOLOGISCH NICHT ABBAUBARER ORGANISCHER SUBSTANZEN

In ABIScreen wird die betrieblich vorbehandelte Abwasserprobe in einen Abbautest überführt. Der Abbautest dient der Entfernung biologisch gut abbaubarer Stoffe. Zudem schätzt er die Abbaubarkeit und den Gehalt biologisch nicht abbaubarer Stoffe ab. Die Probe wird vorgängig neutralisiert und verdünnt, um abiotische Parameter wie pH, Leitfähigkeit und DOC-Gehalt (*Dissolved Organic Carbon*) an die Anforderungen des Abbautests anzupassen. Nach der Durchführung des Abbautests wird der Anteil des refraktären organischen Kohlenstoffs (*Refractory Organic Carbon*, ROC) gemessen und die Abbaubarkeit ermittelt. Nach dem Abbautest werden die Proben bei $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ eingefroren und innerhalb von drei Monaten weiterverarbeitet.

In der Praxis wird bis anhin häufig der teilweise modifizierte 28-tägige *Zahn-Wellens-Test* (ZWT) verwendet (OECD 302B). Im Rahmen von ABIScreen wurde eine zeiteffiziente Variante, der Alternative Inhärente Abbautest (AIA) von Schäfer und Thomann, entwickelt [5]. Er kann innerhalb von 7 bis 14 Tagen durchgeführt werden. Dies wird ermöglicht durch die Zugabe einer grösseren Belebtschlammmenge der einzuleitenden ARA. Im AIA wird, neben der Abbaurate und des ROC, die Abbaukinetik über die gesamte Testdauer betrachtet. Das gibt wichtige Hinweise für die Übertragbarkeit auf reelle Bedingungen der ARA. Bei schlecht abbaubaren Proben ist ein zusätzlicher Testansatz unter Zugabe einer Kohlenstoffquelle vorgesehen, um eine mögliche Toxizität für den Belebtschlamm von nicht abbaubaren organischen Substanzen abzugrenzen (s. S. 68).

2. ABSCHÄTZUNG ARA-TOXIZITÄT (NITRIFIKATIONSHEMMUNG)

Unter Zugabe einer Stickstoffquelle (z. B. Ammoniumchlorid) in einen Abbautestansatz können mögliche nitrifikationshemmende Effekte auf die ARA-Biologie abgeschätzt werden. Nitrifikanten im Belebtschlamm sind aufgrund ihrer langen Generationszeit besonders anfällig auf toxische Substanzen, weshalb die Auswirkung von Proben auf die nitrifizierenden Bakterien von Interesse ist. Dazu wird der Umsatz von Ammonium zu Nitrat gemessen und mit einem Kontrollansatz verglichen. Wird das zugegebene Ammonium im Testansatz nicht genügend umgesetzt ($< 50\%$ im Vergleich zum Kontrollansatz nach ISO 9509), sind nitrifikationshemmende Inhaltsstoffe in der Abwasserprobe wahrscheinlich.

3. VERMEIDUNG VON MATRIXEFFEKTEN

Matrixeffekte (Box 3) können falsch-positive Testergebnisse durch abiotische Konditionen ausserhalb des Optimumbereichs erzeugen. Um diese zu vermeiden, wird die Abwasserprobe nach dem Abbautest nochmals auf Parameter wie Leitfähigkeit und pH überprüft und durch Verdünnung oder Neutralisierung an organismusspezifische Toleranzbereiche angepasst (Fig. 1, Tab. 3). Alle Verdünnungsschritte (Verdünnungsfaktor VF AB), die zur Einhaltung der abiotischen Anforderungen im Abbautest und/oder Biotest vorgenommen wurden, werden schliesslich bei der Ermittlung der erhobenen Toxizitätswerte berücksichtigt (d. h., in die Dosis-Wirkungs-Kurve eingerechnet). Das detaillierte Vorgehen ist in Box 2 beschrieben.

4. BIOTESTS: ABSCHÄTZUNG ÖKOTOXIZITÄT

Im letzten Untersuchungsschritt von ABIScreen werden Biotests eingesetzt, um das toxische Potenzial der abgebauten Abwasserproben abzuschätzen. Dazu wird eine Verdünnungsreihe der Abwasserprobe ausgehend von der höchsten eingesetzten Konzentration erstellt und ein festgelegter Endpunkt (z. B. Wachstum, Schwimmfähigkeit, Lebensfähigkeit, Leuchtkraft etc.) zu definierten Zeitpunkten bestimmt. Anschliessend werden die gemessenen Effekte in Relation zu der zugehörigen Konzentration gebracht. Daraus ergibt sich die Konzentrations-Wirkungs-Kurve (Fig. 2), aus der schliesslich die Effektkonzentration EC_{50} (= Verdünnungsstufe, bei der bei 50% der Organismen der definierte Effekt auftritt) abgeleitet und in *Toxic Units* (TU; $TU = 100/EC_{50}$) umgerechnet wird.

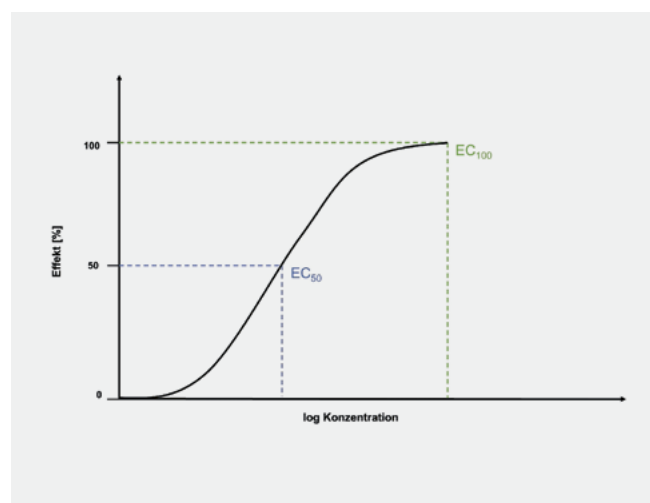


Fig. 2 Konzentrations-Wirkungs-Kurve zur Ermittlung des EC_{50} -Werts.

Der Leuchtbakterientest, der Algentest und der Daphnientest sind geeignet für Industrieabwasser, da sie robust sind, diverse Wirkungsweisen integrieren sowie mit der nativen Abwasserprobe durchgeführt werden können. Die ausgewählten Testsysteme eignen sich für die Abschätzung der Gesamtoxizität einer gereinigten Abwasserprobe. Sie wurden bereits in mehreren Studien zur Untersuchung von Abwasserproben (z. B. [2, 3]) erfolgreich eingesetzt oder werden standardmässig für die Überwachung von Industrieanlagen verwendet (z. B. in Deutschland) [1]. Zur Abschätzung von mutagenen Effekten einer Abwasserprobe ist der Ames-Test vorgesehen. Bedarfsweise können weitere Biotests (z. B. zur Abschätzung von neurotoxischen oder endokrinen Wirkweisen) die vorgeschlagene Biotestbatterie ergänzen. Die einzelnen Biotests werden in Box 2 detailliert erläutert.

5. URSACHENSUCHE

Werden bei einer Abwasserprobe toxische Effekte induziert (ABIScreen Stufe 1), können bei ABIScreen in Stufe 2 weitere Untersuchungen von einzelnen Produktionslinien und/oder Abwasserströmen erfolgen (z. B. durch Biotests oder chemische Analysen), um den Ursprung der Toxizität zurück an die Quelle zu verfolgen.

Bezeichnung Probe	DOC [mg/L]	pH	Leitfähigkeit [mS/cm]	Aktueller Entsorgungsweg
A	190	5,85	0,6	Industrielle ARA
B	5085	1,9	13,3	Industrielle ARA
C	4975	7,3	3,7	Industrielle ARA
D	518	2,3	2,9	Verbrennung
E	468	6,6	0,6	Verbrennung
F	716	5,9	7,4	Industrielle ARA
G	2794	5,8	5,6	Industrielle ARA
H	141 500	1,6	19,5	Industrielle ARA
I	10 900	0,4	0,35	Industrielle ARA
J	1 690	7,5	10,5	Industrielle ARA
K	10 050	6,6	0,6	Industrielle ARA
L	7 550	5,9	7,4	Industrielle ARA
M	6 500	5,8	5,6	Industrielle ARA
N	3 510	7	61,4	Kommunale ARA
O	1 805	7	55,4	Kommunale ARA
P	1 050	7,3	39	Kommunale ARA
Q	1 130	7,1	42,6	Kommunale ARA
R	1 030	7,1	45,3	Kommunale ARA
S	3 075	7,4	51,5	Kommunale ARA

Tab. 1 Übersicht der mit ABIScreen untersuchten Abwasserproben (Ausgangssprobe vor Abbautest).

schen Zahn-Wellens-Test (ZWT) während 28 Tagen und in einem Alternativen Inhärenten Abbautest (AIA, s. S. 68) während 7 bis 14 Tagen abgebaut. Der Anteil organi-

scher Rückstände nach Abbau (*Refractory Organic Carbon*, ROC), die Abbaubarkeit sowie die Biotestergebnisse sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

EINORDNUNG BIOTESTERGEBNISSE

Zum aktuellen Zeitpunkt sind in ABIScreen keine Schwellenwerte bzw. offizielle Einordnung für die Charakterisierung von Industrieabwasserproben mit Biotests vorgeschlagen. Dafür stehen noch zu wenig Daten zur Verfügung. *Otto et al.* [3] wählte in einer vorangegangenen Studie eine Einordnung gemäss der CIPEL (*Commission Internationale pour la Protection des Eaux du Léman*) [4]. Diese sieht eine Beurteilung von «sehr toxisch» vor, wenn die untersuchten Proben einen TU-Wert >10 aufweisen. CIPEL schlägt die Einordnung jedoch für Proben nach der ARA vor. In ABIScreen wird das Abwasser in einem Abbautest abgebaut und entsprechend weniger stark verdünnt. Die Einordnung nach CIPEL ist daher zu restriktiv für den ABIScreen-Ansatz und wird hier nicht angewendet. Um die in der vorliegenden Studie erhobenen Ergebnisse trotzdem in einen Kontext zu setzen, wurden die Toxizitätswerte (*Toxic Units*, TU) als erhöht eingestuft, wenn diese höher als 20 ausfielen (TU > 20). Ein TU-Wert von 20 bedeutet, dass eine Abwasserkonzentration von 5% einen Effekt bei 50% der Testorganismen auslöst (EC₅₀ = 0,05). Die Ergebnisse aus den ABIScreen-Untersuchungen sind divers.

ALGENWACHSTUMSHEMMTEST MIT PSEUDOKIRCHNERIELLA SUBCAPITATA (ALGENTEST)

Der Algenwachstumshemmtest nach Draft DIN 38412-59 dient der Bestimmung der Wachstumshemmung der einzelligen Grünalge *Pseudokirchneriella subcapitata* durch Abwasserproben. Dazu werden einzellige Algen im exponentiellen Wachstum über einen definierten Zeitraum (72 Stunden) verschiedenen Konzentrationen der Abwasserprobe in Mikrotiterplatten ausgesetzt. Die Hemmung ergibt sich aus der Abnahme der Wachstumsrate der Algen in der Probe verglichen mit der Wachstumsrate der Algen in der Negativkontrolle unter gleichen Wachstumsbedingungen. Die Berechnung der Wachstumsrate erfolgt mittels der Bestimmung der Algen-Biomasse durch Messung der *in vivo*-Chlorophyll-Fluoreszenz nach 24, 48 und 72 Stunden.

AKUTER TOXIZITÄTSTEST MIT DAPHNIA MAGNA STRAUS (DAPHNIENTEST)

Der akute Daphnientest nach ISO 6341:2012 beschreibt das Testverfahren, um die akute Toxizität von Chemikalien, Wässern und Abwässern auf den grossen Wasserfloh *Daphnia magna* zu bestimmen. Dabei wird die Schwimmfähigkeit resp. die Immobilisation von *D. magna* nach 24-stündiger und 48-stündiger Exposition in verschiedenen Probenverdünnungen ermittelt und mit einer Negativkontrolle verglichen.

MICROTOX®-ASSAY MIT ALIIVIBRIO FISCHERI (LEUCHTBAKTERIENTEST)

Der Leuchtbakterientest bzw. das Microtox®-Assay nach ISO 11348-3:2008 beruht auf der Hemmung der natürlichen Biolumineszenz des marinen Bakteriums *Aliivibrio fischeri* durch toxische Substanzen und Stoffgemische. Dazu wird die Biolumineszenz der Bakterien zu Beginn des Tests, d. h. unbehandelt, und nach 30-minütiger Inkubation mit der verdünnten Abwasserprobe gemessen und miteinander verglichen.

AMES MPF™ MIT SALMONELLA TYPHIMURIUM (AMES-TEST)

Im vorliegenden Ames-Test nach OECD 471 werden modifizierte Stämme (z. B. TA98/100) von *Salmonella typhimurium* zum Nachweis mutagener Verbindungen verwendet. Die eingesetzten Salmonella-Stämme tragen unterschiedliche Modifikationen in den Histidin-Genen, wodurch sie nicht mehr in der Lage sind, die essenzielle Aminosäure herzustellen. Auf Histidin-Mangelmedium können die veränderten Bakterien deshalb nicht wachsen und sich vermehren. Die Bakterien werden während 100 min verdünnten Extrakten der Industrieproben ausgesetzt. Wenn in den Proben Substanzen mit mutagener Wirkung vorhanden sind, können sich u. a. Mutationen in den Histidin-Genen manifestieren. Dadurch erlangen die Bakterien die Eigenschaft, wieder Histidin zu produzieren und zu wachsen.

Proben- bezeichnung	Abbautest		Leuchtbakterien		Daphnien		Algen	
	ROC [mg/l]	Abbau [%]	Verdünnungs- faktor (VF AB)	Toxic Units (TU _L)	Verdünnungs- faktor (VF AB)	Toxic Units (TU _D)	Verdünnungs- faktor (VF AB)	Toxic Units (TU _A)
A_ZWT	20	89	2	<2	1	<1	1	<1
B_ZWT	1	100	29	<29	13	<13	17	57
C_ZWT	6	98	23	<23	10	<10	13	81
D_ZWT	66	83	3	37	1	<1	2	n.b.
E_ZWT	41	90	3	<3	1	>1	1	n.b.
F_ZWT	30	92	4	<4	2	2	2	<2
G_ZWT	36	90	36	<36	16	19	20	<20
H_ZWT	183	66	585	<585	263	<263	329	6
I_ZWT	141	68	54	<54	36	41	45	<45
J_ZWT	44	86	12	<12	6	8	7	<7
K_ZWT	127	73	56	<56	30	7519	42	<42
L_ZWT	174	42	36	<36	63	83	95	<95
M_ZWT	0	100	42	<42	19	<19	24	<24
N_ZWT	37	91	20	<20	15	53	12	206
O_ZWT	24	93	10	<10	11	12	9	16
P_ZWT	25	93	6	<6	7	14	6	<6
Q_ZWT	71	81	6	<6	8	10	6	42
R_ZWT	37	89	6	<6	8	13	7	52
S_ZWT	26	93	17	<17	12	12	9	17
A_AIA	14	90	3	11	1	2	2	11
B_AIA	7	98	26	<26	12	19	15	64
C_AIA	16	95	29	200	13	14	16	137
D_AIA	85	83	2	<2	1	5	1	n.b.
E_AIA	28	91	3	<3	2	<2	2	<2
F_AIA	49	87	4	<4	2	2	3	<3
G_AIA	33	91	35	<35	16	<16	20	<20
H_AIA	127	74	640	1250	297	403	360	<360
I_AIA	70	84	56	<56	66	77	84	<84
J_AIA	28	91	12	<12	9	<9	12	<12
K_AIA	146	69	56	256	45	46	56	60
L_AIA	154	43	36	56	72	16	93	<93
M_AIA	0	100	42	<42	19	<19	24	42
N_AIA	64	95	7	<7	14	<14	11	119
O_AIA	58	89	6	<6	13	<13	10	23
P_AIA	55	87	4	5	8	<8	6	15
Q_AIA	33	93	5	5	9	9	7	49
R_AIA	35	91	5	<5	9	10	7	59
S_AIA	250	77	6	<6	10	<10	8	39

Tab. 2 Ergebnisse aus den Abbau- und Biotests sowie die vorgenommenen Verdünnungsschritte. ZWT: Zahn-Wellens-Test; AIA: Alternativer Inhärenter Abbautest; ROC: Refraktärer Organischer Kohlenstoff; VF AB: Verdünnungsfaktor Abbautest (A) + Biotest (B); TU: Toxic Units.

Grössere Verdünnungen/höhere Toxic Units dunkel markiert. Schraffiert: Testkriterien nicht vollständig eingehalten, Probe wies Verfärbung auf oder erhobene Daten nicht plausibel; n.b.: EC₅₀ bzw. TU nicht bestimmbar, jedoch hemmende Effekte; < in der höchsten Konzentration keine Hemmung über 50% detektiert; > in der niedrigsten gemessenen Konzentration noch eine Hemmung von mind. 50% detektiert.

Von den insgesamt 38 Proben induzierten 58% eine erhöhte Toxizität (TU > 20) in einem oder in mehreren Biotests. Einige Proben lösten in keinem der eingesetzten Testsysteme toxische Effekte aus, bei anderen wurden geringe Hemmungen

(TU < 20) detektiert. Nur zwei von allen untersuchten Proben induzierten Effekte in allen drei Testsystemen. Dies betont die Wichtigkeit einer Biotestbatterie, da die Organismen unterschiedlich auf die Abwasserinhaltsstoffe reagieren.

Grundsätzlich mussten die meisten Proben stark verdünnt werden (mind. um einen Verdünnungsfaktor 5), um im Toleranzbereich der Organismen zu liegen (Tab. 3). Die Angabe der Verdünnungsfaktoren hilft, die Ergebnisse

einzuordnen. Beispielsweise ist ein Toxizitätswert als relevanter einzustufen, wenn die Probe zuvor 30-fach verdünnt wurde, als in unverdünnten Proben. In einigen Fällen traten hohe TU-Werte noch nach einer grossen Verdünnung auf.

Die Ergebnisse der Biotests unterschieden sich nach den beiden Abbautests (19 Proben nach dem ZWT und 19 Proben nach dem AIA). Dies wird im nachfolgenden Kapitel diskutiert. Es besteht keine Korrelation zwischen dem Gehalt an refraktären organischen Rückständen (ROC) und der gemessenen Toxizität (TU) (Fig. 3). Diese Erkenntnis deckt sich mit Ergebnissen aus vorhergehenden Studien [3] und verdeutlicht, dass der ROC nicht aussagekräftig für mögliche toxische Einzelsubstanzen oder Mischungen ist.

Nicht alle der bereitgestellten Proben, die für die Verbrennung vorgesehen sind, induzierten Toxizität in den Biotests oder wiesen erhöhte ROC-Werte bzw. verringerte Abbauraten auf. Dies zeigt, dass auch andere Eigenschaften, die nicht in ABIScreen abgedeckt werden können, relevant für die Entscheidung des Entsorgungswegs sind. Andererseits konnten bei manchen Abwässern, die in die kommunale ARA eingeleitet werden, starke Effekte nachgewiesen werden. Diese Erkenntnis unterstreicht den Mehrwert von ABIScreen für die Charakterisierung von Industrieabwässern.

PRAKTISCHE ANWENDBARKEIT VON ABIScreen

Durch verschiedene Adaptationen im ABIScreen-Testprozess (wie z.B. Aufsplitten und Einfrieren der Proben für die Biotests, Anpassung der Verdünnungsreihen in den Biotests, Einbezug von Testverdünnungen in die Auswertung der Biotestdaten, Prüfung der Reproduzierbarkeit) wurde ABIScreen für die praktische Anwendung optimiert. Die gleichen Ausgangsproben führten zu unterschiedlichen Toxizitätswerten nach den beiden Abbautests. Zwei Hypothesen bestehen momentan dazu:

- Im AIA wird einerseits eine höhere Belebtschlammmenge eingesetzt, wodurch mehr organische und womöglich auch anorganische Substanzen sorbieren und, im Gegensatz zum ZWT, nicht mehr in der Probe gelöst sind.
- Die Mikroorganismen adaptieren sich aufgrund der verkürzten Testdauer

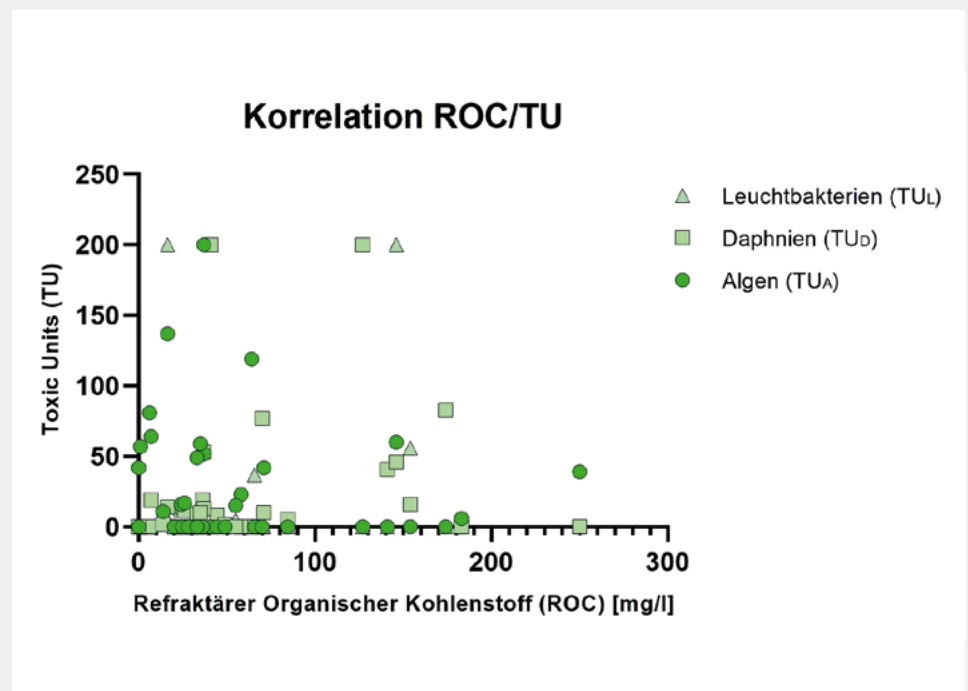


Fig. 3 Korrelation zwischen erhobenen Toxic Units (TU) in den Biotests und dem Anteil des refraktären Kohlenstoffs (ROC) in den abgebauten Proben. Ausreisser in den Biotestdaten ($TU > 200$) wurden zur besseren Visualisierung auf den maximalen Wert TU 200 gesetzt.

im AIA weniger stark und bauen die Abwasserinhaltsstoffe weniger gut ab.

Beide Szenarien resultieren in einer anderen Substanzzusammensetzung in der abgebauten Probe, die zu unterschiedlichen Effekten in den Biotests führt.

Für eine praktische Anwendung von ABIScreen ist letztendlich relevant, welcher Abbautest die Prozesse der ARA besser simuliert. Weiterführende Untersuchungen der FHNW hierzu werden im vorhergehenden Artikel erläutert (S. 68).

SCHLUSSFOLGERUNG

Die Untersuchungen zeigen, dass ABIScreen erfolgreich angewendet werden kann. Die Anpassung von abiotischen Parametern zur Minimierung von Matrixeffekten ist wichtig, führt aber dazu, dass die Proben teilweise stark verdünnt werden müssen. Das Augenmerk von ABIScreen richtet sich auf Abwässer mit deutlich erhöhtem toxischen Potenzial, die trotz der vorgenommenen Verdünnung identifiziert werden können. Für die Anwenderinnen und Anwender von ABIScreen ist die Frage ausschlaggebend, ab welchem Toxizitätswert ein Industrieabwasser als relevant einzustufen ist. Hierzu können zum aktuellen Zeitpunkt noch keine Aussagen gemacht werden, da bislang die

nötige Datengrundlage fehlt. Es ist aber klar, dass die Herleitung von Schwellenwerten der nächste erforderliche Schritt ist. Der Einsatz von ABIScreen kann zudem helfen zu identifizieren, in welchen industriellen Abwasserströmen grössere Anteile an nicht abbaubaren und potenziell toxischen Substanzmischungen enthalten sind. Durch diese Visualisierung ist es den Betrieben möglich, effektive Prozessadaptationen an den relevanten Produktionsstellen in Betracht zu ziehen, ohne die genaue Stoffzusammensetzung zu kennen. Durch die Prozessadaptationen können Betriebe einen Beitrag leisten, weniger problematische Substanzen in die Gewässer einzutragen.

AUSBLICK – WEITERES VORGEHEN

ABIScreen ist nach seinem ersten Einsatz nun bereit für eine flächendeckende Anwendung. In einem weiterführenden Projekt wird ab März 2023 das Abwasser aus verschiedenen Branchen, Betrieben und Regionen mit ABIScreen getestet. An dem Projekt beteiligen sich das BAFU, der VSA und die sechs Kantone Aargau, Basel-Landschaft, Genf, Tessin, Waadt und Zürich. Ziel ist es, die Methodik zu etablieren und Toxizitätsschwellenwerte abzuleiten. Zusätzlich soll geklärt werden, ob weitere Biotests oder Endpunkte wertvoll sind (z. B. für einzelne Branchen oder

MATRIXEFFEKTE IN BIOTESTS

Matrixeffekte entstehen durch Abweichungen der abiotischen Anforderungen eines Organismus in einem Biotest. Eine erhöhte Salzkonzentration oder starke Abweichungen des pH-Werts können Effekte (z. B. Hemmungen) auslösen und damit Biotestergebnisse beeinflussen. Demnach sind bei der Durchführung von Biotests die organismusspezifischen Toleranzbereiche (Tab. 3) durch Verdünnung der Probe oder durch Adaptation des pH einzuhalten, um falsch-positive Ergebnisse zu vermeiden. Der Salzgehalt wird in ABIScreen über die Leitfähigkeit abgeschätzt.

Bei industriellen Abwasserproben liegen Salzkonzentrationen in vielen Fällen oberhalb des organismusspezifischen Toleranzbereichs. Wenn die Proben verdünnt werden, hat dies indirekt auch Einfluss auf die gemessene Toxizität im Biotest: Die toxischen Substanzen werden ebenso verdünnt und können dadurch unterhalb des Detektionslimits liegen. Folgendes Vorgehen für eine Salzkorrektur wird deshalb vorgeschlagen (Fig. 4).

SALZKORREKTUR

Die untersuchten Proben werden für die Durchführung des Abbautests an die abiotischen Anforderungen adaptiert

(Box 1). Die vorgenommenen Verdünnungsschritte für die Durchführung des Abbautests werden im Verdünnungsfaktor (VF) A zusammengefasst.

Die abgebaute Abwasserprobe wird dann erneut auf chemisch-physikalische Parameter wie Leitfähigkeit und pH überprüft und an die Toleranzbereiche der Biotestorganismen angepasst (Tab. 3, Fig. 1). Die Verdünnungsschritte, die für die Durchführung der Biotests erfolgen (inkl. der vor-

genommenen Testverdünnungen gemäss der Biotest-Guidelines), werden im Verdünnungsfaktor (VF) B zusammengefasst. Alle Verdünnungsschritte (Verdünnungsfaktor VF AB), die zur Einhaltung der abiotischen Anforderungen im Abbautest und/oder Biotest vorgenommen wurden, werden schliesslich bei der Ermittlung der erhobenen Toxizitätswerte berücksichtigt. Das Vorgehen der Salzkorrektur ist in Figur 4 ersichtlich.

Parameter	Test	Testorganismus	Bereich EC ₂₀ (experimentell ermittelt)	Grenzwerte (abgeleitet)
Leitfähigkeit [mS/cm]	Leuchtbakterientest DIN ISO 11348-3	<i>Aliivibrio fischeri</i>	40–76	40 mS/cm (ermittelter EC ₂₀)
	Daphnientest DIN ISO 6341	<i>Daphnia magna</i>	6	6 mS/cm (ermittelter EC ₂₀)
	Algentest DIN 38412-59 (Draft)	<i>Pseudokirchneriella subcapitata</i>	7–9	6 mS/cm (ermittelter EC ₂₀)
pH [min./max.]	Leuchtbakterientest DIN ISO 11348-3	<i>Aliivibrio fischeri</i>	4,1/10,7	6,5–9 (Anforderungen GSchV)
	Daphnientest DIN ISO 6341	<i>Daphnia magna</i>	4,9/11,1	6,5–9 (Anforderungen GSchV)
	Algentest DIN 38412-59 (Draft)	<i>Pseudokirchneriella subcapitata</i>	3,9/7,7	6,5–7,5 (EC ₂₀)

Tab. 3 Experimentell ermittelte EC₂₀-Werte für Leitfähigkeit und pH für den Leuchtbakterientest, den Daphnientest und den Algentest und daraus abgeleitete organismusspezifische Toleranzbereiche (Grenzwerte).

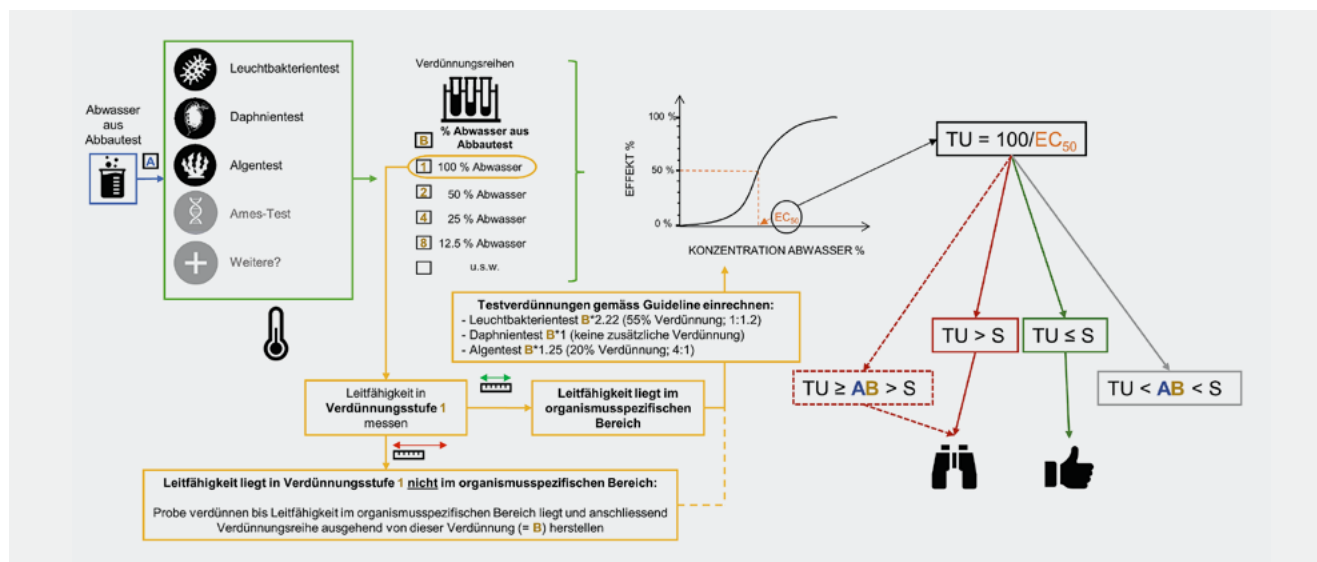


Fig. 4 Vorgehen für die Salzkorrektur gemäss ABIScreen. Liegt die gemessene Leitfähigkeit in der abgebauten (und um den Verdünnungsfaktor A verdünnten) Probe nicht im organismusspezifischen Bereich, ist die Probe um den Verdünnungsfaktor B zu verdünnen, bis die Leitfähigkeit im organismusspezifischen Bereich liegt (für Daphnien $LF_D = 6$ mS/cm, für Algen $LF_A = 6$ mS/cm und für Leuchtbakterien $LF_L = 40$ mS/cm).

Verdünnungsschritte, die gemäss Biotest-Guidelines erfolgen, werden ebenfalls in den Verdünnungsfaktor B eingerechnet.

Rot: Effekt (= EC₅₀) messbar und TU über dem festgelegten Schwellenwert S oder dem Verdünnungsfaktor AB – Ursachensuche sollte eingeleitet werden; grün: Effekt (= EC₅₀) messbar und TU unter dem festgelegten Schwellenwert S oder kein Effekt in der unverdünnten Probe messbar – keine weiteren Abklärungen notwendig; grau: kein Effekt (= EC₅₀) in der verdünnten Probe messbar – keine Aussage bzgl. Toxizität möglich.

zur Beantwortung spezifischer Fragestellungen). Gleichzeitig ist die Erstellung eines allgemeinen Vorgehenskonzepts in Form eines Toxizitätskatasters auf komplexen Industriearealen zu erstellen, um einzelne Abwasserströme zu charakterisieren und problematische Abwässer bis hin zu ihrer Quelle zurückzuverfolgen. ABIScreen trägt somit zur Erhöhung des Stands der Technik durch Massnahmen an der Quelle bei und unterstützt die allgemeinen Interessen des Gewässerschutzes.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] 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

- [2] 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.
- [3] 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
- [4] Santiago, S. et al. (2002): Guide pour l'utilisation des tests écotoxicologiques avec les daphnies, les bactéries luminescentes et les algues vertes, appliqués aux échantillons de l'environnement. Groupe de travail Tests écotoxicologiques de la Commission internationale pour la protection des eaux du Léman
- [5] Schäfer, R.; Thomann, M. (2021): Entwicklung

DANK

Dieses Projekt wurde durch das BAFU finanziert. Ein grosser Dank geht an alle Beteiligten dieses Projekts für ihre Unterstützung, an alle Betriebe, die Abwasserproben zur Verfügung gestellt haben und insbesondere an folgende Personen für ihren wertvollen Input: *Saskia Zimmermann-Steffens* (BAFU), *Cornelia Kienle* (Oekotoxzentrum) und *Serge Santiago* (Soluval Santiago).

eines reproduzierbaren und zeiteffizienten Abbautests für Industrieabwasser. Bericht im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (BAFU). Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW), Muttenz

Be- und Entlüftungsventile

hawle
Qualität, die verbindet



Hawle Armaturen AG | 8370 Sirmach

www.hawle.ch