

Leitfaden Abbautest-Biotest Industrieabwasser Screening (ABIScreen)

Anwendung und Interpretation der Ergebnisse

1 Geltungsbereich und Anwendung

Der vorliegende Leitfaden vermittelt Anwendungsgrundlagen und Empfehlungen zum Einsatz von ABIScreen (Abbautest-Biotest Industrieabwasser Screening) zur Charakterisierung von Abwässern aus Industrie- und Gewerbebetrieben mittels kombinierter Abbau- und Biotests. Er richtet sich in erster Linie an Auftragslabore, die Abwasserproben untersuchen und auswerten. Zudem enthält er wichtige Informationen für Betriebe in der Schweiz und international, die bei ihren Prozessen Abwässer generieren und diese mit oder ohne Vorbehandlung in eine biologische Reinigung in eine Abwasserreinigungsanlage (ARA) einleiten. Darüber hinaus dient der Leitfaden kantonalen Fachstellen als Unterstützung bei der Bewilligung von Produktions- oder Abwasseraufbereitungsanlagen sowie bei der Beurteilung von Betriebsabwässern.

2 Ausgangslage

In der Schweiz werden die meisten Abwässer aus Industrie- und Gewerbebetrieben nach einer gegebenenfalls betrieblichen Vorbehandlung in kommunalen ARAs biologisch gereinigt und anschliessend in die Gewässer eingeleitet (Indirekteinleiter). Neben den gesetzlich geforderten Summenparametern der Gewässerschutzverordnung (GSchV) liegen häufig nur begrenzte Informationen zur stofflichen Zusammensetzung und zu den Stofffrachten dieser Abwässer vor. Die Charakterisierung biologisch nicht abbaubarer und/oder potenziell toxischer Abwasserinhaltsstoffe stellt daher sowohl für Betriebe als auch für Behörden eine besondere Herausforderung dar – denn es besteht die Gefahr, dass solche Substanzen unentdeckt in Oberflächengewässer gelangen. Die Identifikation solcher problematischen Abwässer ist ein entscheidender Schritt, um durch ein gezieltes betriebliches Abwassermanagement Emissionen zu reduzieren.

Vor diesem Hintergrund hat die Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW) das Verfahren ABIScreen (Abbautest Biotest Industrieabwasser Screening) entwickelt. ABIScreen ist ein Screening-Tool, das darauf abzielt, industrielle und gewerbliche Abwässer hinsichtlich ihres kritischen Potentials zu charakterisieren und Hinweise auf biologisch nicht abbaubare sowie toxische Rückstände zu liefern, ohne dass einzelne Inhaltsstoffe identifiziert werden müssen.

3 ABIScreen (Abbautest-Biotest Industrieabwasser Screening)

ABIScreen basiert auf der Kombination eines zeiteffizienten Abbautests mit Biotests und ermöglicht damit eine biologische Beurteilung von Abwässern. Der eingesetzte Alternative Inhärente Abbautest (AIA) dient der Erfassung der biologischen Abbaubarkeit organischer Abwasserinhaltsstoffe unter praxisnahen Bedingungen. Ergänzend wird eine Biotestbatterie eingesetzt, welche die toxischen Wirkungen der nach dem biologischen Abbau verbleibenden Inhaltsstoffe im Abwasser erfasst. Diese umfasst einen Algen-, einen Daphnien- und einen Leuchtbakterientest.

Biotests eignen sich besonders zur Bewertung komplexer Abwässer, da sie die kombinierte Wirkung aller enthaltenen Substanzen und möglicher Mischungseffekte abbilden. Dadurch lassen sich potenzielle ökotoxikologische Risiken erkennen, ohne detaillierte Kenntnisse zur chemischen Zusammensetzung zu benötigen oder Produktionsgeheimnisse offenzulegen.

ABIScreen liefert somit erste, Hinweise, ob ein Abwasser nach der betrieblichen Vorbehandlung und der biologischen Reinigung in der ARA biologisch nicht abbaubare und/oder toxische Bestandteile enthält. Zur Charakterisierung von Industrie- und Gewerbeabwässern sind im Rahmen von ABIScreen insgesamt bis zu fünf Untersuchungsschritte vorgesehen (siehe Abbildung. 1 und Tabelle 1):

(1) Abbaubarkeit des Abwassers

Die biologische Abbaubarkeit von betrieblich vorbehandeltem Abwasser (in der Regel Gesamtabwasser) wird mithilfe von adaptiertem Belebtschlamm im AIA untersucht. Für den AIA wird empfohlen, Klärschlamm aus jener ARA zu verwenden, in die der Betrieb einleitet, um möglichst realitätsnahe Bedingungen abzubilden. Im Rahmen von ABIScreen kommt vorzugsweise der zeiteffiziente, Alternative Inhärente Abbautest (AIA) zum Einsatz. Alternativ können ein klassischer Zahn-Wellens-Test oder ein gleichwertiger Abbautest eingesetzt werden (siehe Abschnitt 5 „Abbautest“).

(2) Abschätzung der Nitrifikationshemmung

In diesem Schritt wird geprüft, ob das Abwasser hemmende Effekte auf die nitrifizierende Biologie der ARA ausüben kann. Die Bestimmung der Nitrifikationshemmung erfolgt im Rahmen des Abbautests und ist integraler Bestandteil von ABIScreen (siehe Abschnitt 5.2 „Nitrifikationshemmtest“).

(3) Neutralisation und/oder Verdünnung der Probe (bei Bedarf)

Zur Vermeidung von Störeinflüssen auf die Biotests, beispielsweise durch abweichende Leitfähigkeit oder pH-Werte, wird die Abwasserprobe bei Bedarf neutralisiert und/oder verdünnt. Ziel ist die Einhaltung der spezifischen Toleranzbereiche der eingesetzten Testorganismen (siehe Abschnitt 6 „Biotests“).

(4) Abschätzung der toxischen Wirkintensität

Biologisch nicht abbaubare, toxische Substanzen werden mithilfe einer Biotestbatterie, bestehend aus Daphnien-, Algen- und Leuchtbakterientests erfasst (siehe Abschnitt 6 „Biotests“). Ergänzend können weitere Biotests, wie der Ames-Test eingesetzt werden, um ein mögliches mutagenes Potential zu untersuchen (siehe Abschnitt 6.2.4 „Ames Fluktuationstest (Ames-Test)“).

(*) Optional: Bei auffälligen Ergebnissen, insbesondere bei nachgewiesener Toxizität im Gesamtabwasser, können ergänzend Abwasserströme einzelner Produktionslinien untersucht werden, um Ursachen gezielt einzugrenzen (siehe Abschnitt 8 „Vorgehen bei Überschreitung des Schwellenwerts“).

Die im AIA-Test ermittelte Abbaubarkeit (%) sowie die Abschätzung der Nitrifikationshemmung (%) geben Hinweise darauf, ob und in welchem Ausmass die organischen Bestandteile des untersuchten Abwassers in der ARA grundsätzlich abbaubar sind und ob hemmende Effekte auf die Biologie der ARA zu erwarten sind (siehe Abschnitt 5 „Abbautest“).

Als Ergebnis aus den Biotests wird der Abwasservolumenanteil bestimmt, der bei der Hälfte der Testorganismen einen hemmenden Effekt auslöst (Effektkonzentration EC_{50}). Zur besseren Veranschaulichung wird der EC_{50} -Wert in Toxic Units (TU) angegeben, berechnet als $TU = \frac{100}{\text{Abwasseranteil der einen } EC_{50} \text{ induziert}}$

Je höher der TU-Wert, desto toxischer ist das Abwasser für die jeweiligen Testorganismen (siehe Abschnitt 6 „Biotests“).

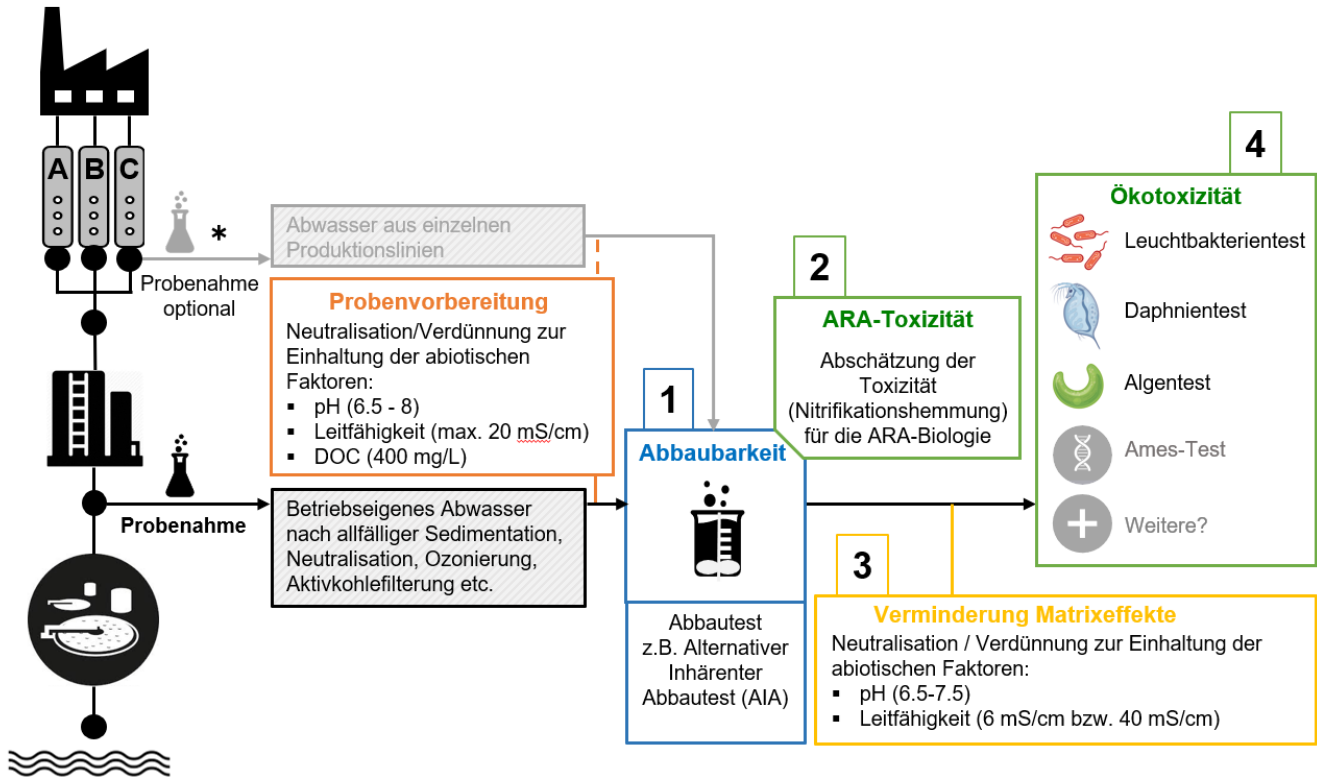


Abbildung. 1. Vorgehen nach ABIScreen. Details zu einzelnen Untersuchungsschritten (1-4 und *) sind in Tabelle 1 erläutert.

Tabelle 1. Untersuchungsschritte nach ABIScreen (siehe Abbildung. 1)

Nr.	Untersuchungsschritt	Ziel/Endpunkt	Anforderungen	Richtlinie/Referenz	Bemerkung
1	Abbautest	Abschätzung der biologischen Abbaubarkeit (über DOC) und des Anteils nicht biologisch abbaubarer Substanzen (ROC) → Grundlage für eine Frachtabeschätzung	Reinigungseffekt >85%	Schäfer et al. 2023; GSchV Anhang 3.1	Alternativer Inhärenter Abbautest (AIA) oder Zahn-Wellens-Test. Durchführung nach pH-Neutralisation und/oder Verdünnung des (vorbehandelten) Betriebsabwassers, zur Anpassung von DOC und Leitfähigkeit. Belebtschlamm sollte aus der ARA stammen, in die das Abwasser eingeleitet wird.
2	Nitrifikationshemmtest	Abschätzung potenziell hemmender Effekte auf die ARA-Biologie	Nitrifikationshemmung <50%	Schäfer et al. 2023; DIN EN ISO 9509 L38 2006-10	Zugabe von Ammoniumchlorid/-nitrat zur Beurteilung der Hemmung des Ammoniumabbaus
3	Verdünnung/Neutralisation der abgebauten Abwasserprobe	Vermeidung von Matrixeffekten (pH und Leitfähigkeit) und Salzkorrektur	Allgemeiner Zielbereich: pH 6.5 - 9; Leitfähigkeit ≥6 mS/cm Ausnahmen: pH 6.5 - 7.5 (Algen); Leitfähigkeit ≥40 mS/cm (Leuchtbakterien)	Klaus et al. 2023	Anpassung von pH und Leitfähigkeit an die Toleranzbereiche der Testorganismen, damit beobachtete Effekte auf Inhaltsstoffe und nicht auf abiotische Parameter zurückzuführen sind.
4	Biotests a. Leuchtbakterientest b. Daphnientest c. Algentest d. Ames-Test (optional) e. weitere Biotests (optional)	Abschätzung der Ökotoxizität a. Hemmung der Leuchtkraft b. Immobilität/Mortalität c. Wachstumshemmung d. Mutagenität e. divers	a – c: TU < 10 d: nicht mutagen e: je nach Test	Klaus et al. 2023 a) DIN EN ISO 11348-1 b) DIN EN ISO 38412-59:2022 c) DIN EN ISO 6341:2012 d) DIN EN ISO 11350:2012	Erfassung eines breiten Stoffspektrums über unspezifische Endpunkte. Ames-Test nach 20-facher Aufkonzentrierung mittels SPE. Biotestergebnisse (mit Ausnahme des AMES-Tests) werden als Toxic Units (TU) dargestellt (TU = 100 / EC ₅₀).
*	Optionale Untersuchung einzelner Produktionslinien/ Abwasserstränge (Schritten 1-4)	Identifizierung problematischer Abwasserströme	Optional , z.B. bei auffälliger Toxizität im Gesamtabwasser, bei neuen Produktionslinien oder zur bedarfsweisen Überprüfung	Klaus et al. 2023	Proben aus Einzel- oder mehreren Abwassersträngen (Toxkataster). Ergänzend sind chemische Analysen und weitere Biotests möglich.

4 Entnahme von Abwasserproben und Belebtschlamm

4.1 Abwasserproben

4.1.1 Entnahme von betrieblichen Abwasserproben

In ABIScreen werden Mischproben gegenüber einzelnen Schöpfproben priorisiert. Sie erfassen Schwankungen in der Stoffzusammensetzung und -belastung über einen definierten Zeitraum und berücksichtigen so kurzzeitige Spitzen oder Einbrüche in der Schadstoffkonzentration. Im Gegensatz dazu liefern Schöpfproben nur eine Momentaufnahme, die stark von Produktionsabläufen, Tageszeit und Betriebsbedingungen abhängt. Durch die Verwendung von Mischproben entsteht ein realistischeres Bild der durchschnittlichen Abwasserzusammensetzung, was eine fundierte Beurteilung des problematischen Potentials ermöglicht.

Für ABIScreen wird empfohlen Wochenmischproben über fünf bis sieben Betriebstage zu sammeln, um wöchentliche Schwankungen auszugleichen. Die Entnahme sollte nach Möglichkeit mit einem automatischen Probenehmer erfolgen. Steht kein automatisches Gerät zur Verfügung, sollte täglich zur gleichen Uhrzeit mehrere Teilproben manuell aus dem Abwasserstrom entnommen und proportional zu einer Mischprobe kombiniert werden. In speziellen Fällen können die Probenahmen auch direkt auf Produktionsprozesse abgestimmt werden. Unabhängig von der Methode ist sicherzustellen, dass die Proben bis zur Weiterverarbeitung bei 4 °C gekühlt gelagert werden.

Für die Durchführung von ABIScreen wird 1 L Probe benötigt. Die Entnahme sollte idealerweise direkt vor der Einleitung in die öffentliche Kanalisation bzw. am Geländeausgang erfolgen. Wird eine betriebliche Vorbehandlung wie Neutralisation, Aktivkohlefiltration oder Ozonierung durchgeführt, empfiehlt es sich, die Proben nach Abschluss dieses Schrittes zu entnehmen.

Für die erste Charakterisierung des betrieblichen Abwassers eignet sich die Beprobung des Gesamtabwassers aus den vorgelagerten Produktionsprozessen, möglichst ohne Durchmischung mit häuslichem Abwasser oder Kühlwasser, um Verdünnungseffekte zu vermeiden. Bei gezielten Untersuchungen, beispielsweise bei der Einführung neuer Produktionsprozesse oder bei Verdacht auf kritische Einzelabwässer, können auch spezifische Abwasserströme direkt getestet werden.

4.1.2 Lagerung der Abwasserproben

Abwasserproben sollten möglichst unmittelbar nach der Entnahme mit ABIScreen untersucht werden, um chemische Veränderungen oder biologische Abbauprozesse zu vermeiden.

(1) Flaschen: Die Mischprobe sollte in Glasflaschen gelagert werden.

(2) Kurzfristige Lagerung: Bei Lagerzeiten von einigen Stunden bis maximal 24 Stunden genügt eine Kühlung bei 4 °C.

(3) Langfristige Lagerung: Bei Lagerung über 24 Stunden ist eine Tiefkühlung bei mindestens –18 °C zu empfehlen.

→ Die Probe sollte auf mehrere Flaschen verteilt (max. 50 % Füllvolumen) und schräg eingefroren werden, um ein Zerbersten zu vermeiden.

→ Die Lagerdauer der tiefgekühlten Mischprobe sollte 3 Monate nicht überschreiten; eine zeitnahe Untersuchung wird empfohlen.

4.2 Belebtschlamm

4.2.1 Entnahme von Belebtschlamm

Für den Abbautest sollte der Belebtschlamm frisch entnommen und innerhalb von 24 Stunden verwendet werden. Um die Aussagekraft bezüglich der biologischen Abbaubarkeit zu erhöhen, empfiehlt sich die Nutzung von Belebtschlamm aus der ARA (adaptierter Belebtschlamm), in die der Betrieb seine Abwässer einleitet. Die Entnahme erfolgt aus dem belüfteten Belebtschlammbecken der Anlage.

- **Menge:** Für eine einfache, standardisierte Durchführung von ABIScreen (1L Abwasserprobe) werden mindestens 15 L Belebtschlamm benötigt.
- **Transport:** Erfolgt der Transport innerhalb von fünf Stunden, ist keine zusätzliche Kühlung oder Belüftung erforderlich.
- **Lagerung:** Der Belebtschlamm sollte unmittelbar nach der Entnahme im Abbautest verwendet und maximal über einen Zeitraum von 24 Stunden gelagert werden, um eine gute Abbauleistung zu ermöglichen. Bei der Lagerung wird eine Kühlung bei 4°C ohne Belüftung empfohlen.

Falls in der vorgesehenen ARA kein Belebtschlamm verfügbar ist, z. B. bei technischen Gegebenheiten wie Wirbelbett- oder Festbettverfahren, sollte Belebtschlamm einer vergleichbaren ARA mit ähnlicher Reinigungsleistung (C-Abbau, Nitrifikation, Denitrifikation) verwendet werden (siehe auch AIA-Test Standardarbeitsvorschrift V1.4).

5 Abbautest

5.1 Wahl des Abbautests

Zur Beurteilung der biologischen Abbaubarkeit einer Abwasserprobe in ABIScreen ist ein Abbautest durchzuführen, der die potenzielle Elimination organischer Kohlenstoffanteile unter aeroben Bedingungen quantifiziert. Dies ist notwendig, um einzuschätzen, wie gut die in der Probe enthaltenen organischen Stoffe unter realen Bedingungen in einer ARA biologisch umgesetzt werden.

Für diesen Zweck wird der AIA-Test nach Schäfer et al. (2023) empfohlen, da er zeitnah innerhalb von sieben Tagen aussagekräftige Ergebnisse liefert und so im Rahmen von ABIScreen eine zügige Bewertung ermöglicht. Der AIA-Test wurde speziell für die Bewertung von Industrieabwässern entwickelt und bildet die Verhältnisse in einer biologischen Reinigungsstufe praxisnah ab.

Im Vergleich zum herkömmlichen Zahn-Wellens-Test nach OECD 302B (Testdauer: 28 Tage) bildet der AIA-Test die realen Bedingungen in einer ARA zeiteffizienter ab. Dies liegt insbesondere am höheren Verhältnis von Belebtschlamm zu Abwasser: Während im Zahn-Wellens-Test mit 0,2–1 g Trockensubstanz gearbeitet wird, verwendet der AIA-Test eine Belebtschlammkonzentration von etwa 5 g/L Trockensubstanz. Dadurch wird der Abbau beschleunigt und das praxisnahe Verhältnis in biologischen Reinigungsstufen realistischer abgebildet. Als Alternative zum AIA-Test können dennoch der Zahn-Wellens-Test oder ein gleichwertiger Abbautest eingesetzt werden.

Die verkürzte Testdauer des AIA-Tests berücksichtigt keine zusätzliche Adaptation oder Anreicherung des Belebtschlammes. Dieser Aspekt ist jedoch nicht relevant, sofern adaptierter Belebtschlamm aus derjenigen ARA eingesetzt wird, in die das untersuchte Abwasser eingeleitet wird.

In Szenarien, bei denen das Abwasser direkt in ein Gewässer eingeleitet wird, kann gegebenenfalls auf einen vorgängigen Abbautest verzichtet werden, um die gesamtheitliche Umweltwirkung der Emission unter realen Einleitbedingungen zu bewerten.

5.2 Nitrifikationshemmtest: ja oder nein?

Im Rahmen des AIA-Testansatzes wird neben der biologischen Abbaubarkeit auch geprüft, welchen Einfluss das Abwasser auf die nitrifizierenden Eigenschaften des Belebtschlammes hat. Hierzu wird dem Testansatz Ammoniumchlorid als Stickstoffquelle zugesetzt. Dieser zusätzliche Schritt erlaubt eine Abschätzung der Nitrifikationshemmung und liefert wichtige Hinweise auf eine mögliche Toxizität gegenüber der Biologie der ARA.

Da jedoch nicht alle Abwasserreinigungsanlagen in der Schweiz über eine Nitrifikation verfügen, ist der Nitrifikationshemmtest innerhalb von ABIScreen nur für Anlagen mit nitrifizierendem Belebtschlamm sinnvoll.

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass der Nitrifikationshemmtest nur eingeschränkt Aussagen über das nitrifikationshemmende Potenzial einer Abwasserprobe zulässt. Der Test wird mit der höchstmöglichen Konzentration des Abwassers durchgeführt und umfasst keine Verdünnungsreihe. In der Praxis wird das Betriebsabwasser in der ARA jedoch mit weiteren kommunalen und industriellen Abwässern vermischt und dadurch verdünnt, sodass die im Test eingesetzte Konzentration nicht zwingend den realen Bedingungen in der ARA entspricht.

Zeigt der Test eine deutliche Nitrifikationshemmung (> 50 %) oder sollen genauere Aussagen zur tatsächlichen Toxizität gegenüber der ARA-Biologie gewonnen werden, wird empfohlen, den Nitrifikationshemmtest ergänzend mit einer Verdünnungsreihe der Abwasserprobe durchzuführen.

5.3 Probenvorbereitung

Für einen reibungslosen Ablauf des AIA-Tests müssen die Parameter pH-Wert, Leitfähigkeit und DOC vor Testbeginn überprüft und bei Bedarf an die Sollwerte angepasst werden. Dadurch wird verhindert, dass der biologische Abbau durch Matrixeffekte beeinträchtigt wird, und die Aussagekraft sowie Messbarkeit des Tests werden verbessert.

Als Sollwerte für den AIA-Testansatz gelten ein pH-Bereich von 6.0–8.5 sowie eine Leitfähigkeit von bis zu 32 mS/cm nach Schäfer et al. (2023). Für den DOC-Gehalt wird ein Zielbereich von 100–400 mg/L empfohlen. Eine Einstellung auf höhere DOC-Werte innerhalb dieses Bereichs – vorzugsweise nahe 400 mg/L – verbessert die Nachweisbarkeit der DOC-Abnahme und erhöht die Reproduzierbarkeit und Vergleichbarkeit der Testergebnisse.

Liegt der pH-Wert ausserhalb des Sollbereichs, kann er durch Zugabe von Salzsäure (HCl) gesenkt oder mit Natronlauge (NaOH) angehoben werden. Ist die Leitfähigkeit oder der DOC-Gehalt zu hoch, wird die Probe mit Reinstwasser verdünnt, bis die Sollwerte erreicht sind. Nach jeder Anpassung sind die Parameter erneut zu kontrollieren.

Bei DOC-Ausgangskonzentrationen <100 mg/L kann die erfasste DOC-Abnahme im analytischen Rauschen liegen. In diesem Bereich überlagern Messschwankungen und Hintergrundsignale (Blindwert) das eigentliche Probensignal, sodass der beobachtete DOC-Abbau nicht mehr zuverlässig quantifiziert werden kann. Die Ergebnisse sind in diesem Fall nur eingeschränkt aussagekräftig und vergleichbar mit anderen Proben.

Die im Rahmen der Probenvorbereitung vorgenommene Verdünnung führt zum Verdünnungsfaktor A, der für die Einordnung der Biotestergebnisse relevant ist (siehe Abschnitt 6.1 „Probenvorbereitung“).

5.4 Schlammvorbereitung

Vor dem Einsatz im AIA-Test wird der entnommene Belebtschlamm zunächst gewaschen und anschliessend aufkonzentriert. Hierzu wird der frische Schlamm mehrmals mit mineralischem Medium oder Leitungswasser gespült und jeweils durch Sedimentation abgesetzt. Weist der Schlamm unzureichende Sedimentationseigenschaften auf, können alternativ eine Filtration oder Zentrifugation eingesetzt werden.

Nach dem Aufkonzentrieren wird der Gehalt an Trockensubstanz (TS) gemäss DIN 38414-10:1981 bestimmt. Eine höhere TS-Konzentration ermöglicht, im AIA-Testansatz ein geringeres Volumen an Belebtschlamm einzusetzen (siehe auch AIA-Test Standardarbeitsvorschrift V1.4).

5.5 Testdurchführung

5.5.1 Alternativer Inhärenter Abbautest (AIA)

Für den AIA-Test wird der zuvor vorbereitete Belebtschlamm eingesetzt. Pro Abwasserprobe werden drei parallele Ansätze mit demselben Belebtschlamm angesetzt:

- **Testansatz:** Abwasserprobe, Medium und Belebtschlamm
→ Bestimmung der Abbaurate im Vergleich zum Blindansatz
- **Kontrollansatz:** Diethylenglykol, Medium und Belebtschlamm
→ Abschätzung der biologischen Aktivität des Belebtschlammes
- **Blindansatz:** Nur Belebtschlamm und Medium
→ Korrektur des Hintergrundsignals im Belebtschlamm

Dieses Vorgehen ermöglicht eine differenzierte Beurteilung der Wirkung der Abwasserprobe und dient dazu, mögliche Störeinflüsse, beispielsweise aufgrund einer verminderten biologischen Aktivität des Belebtschlammes, zu erkennen und auszuschliessen. Im Testansatz wird die Abwassermenge so gewählt, dass der DOC-Ausgangswert im Gesamtansatz 400 mg/L beträgt. Liegt der DOC-Gehalt der Probe unter diesem Zielwert, wird das maximal mögliche Probenvolumen eingesetzt.

Der AIA-Test wird über sieben Tage bei kontinuierlichem Rühren und Belüften durchgeführt. Nach 72 Stunden ist der pH-Wert in allen Ansätzen zu kontrollieren und bei Bedarf erneut an den Sollbereich anzupassen. Die Konzentration an gelöstem Sauerstoff sollte während des gesamten Tests mindestens 2 mg/L betragen.

Zur Bestimmung der DOC-Elimination werden zu festgelegten Zeitpunkten Proben entnommen: zu Beginn (t_0), nach 1 Stunde (t_{1h}), nach 4 Stunden (t_{4h}), nach 72 Stunden (t_{72h}) sowie nach 168 Stunden (t_{168h}). Die DOC-Bestimmung erfolgt mittels TOC-Analyzer (z. B. Shimadzu TOC-LCSH/CPH). Nach Abschluss des Tests werden die Ansätze filtriert (Porengrösse 0,45 μm) und in geeignete Aliquots überführt, die für weiterführende Untersuchungen genutzt werden können. Detaillierte Angaben zur Durchführung des AIA-Tests sind der Standardarbeitsvorschrift V1.4 zu entnehmen.

5.5.2 Nitrifikationshemmtest

Die Analyse der Stickstoffparameter (Ammonium, Nitrat, Nitrit) zur Abschätzung der Nitrifikationshemmung erfolgt parallel zum AIA-Test im Test- und Kontrollansatz. Im Kontrollansatz wird Ammoniumchlorid in einer Konzentration von 25 mg N/L zugesetzt. Im Testansatz erfolgt eine Zugabe von Ammoniumchlorid nur dann, wenn die Ammoniumkonzentration der untersuchten Abwasserprobe unter 20 mg/L liegt. Die Probe wird zu den Zeitpunkten t_0 , t_{1h} und t_{4h} gezogen und photometrisch (Küvettentest) oder mit Ionenaustauschchromatographie (IC) analysiert. Detaillierte Angaben zur Durchführung des AIA-Tests sind der Standardarbeitsvorschrift V1.4 zu entnehmen.

5.6 Auswertung und Beurteilung

Die Analysen des AIA-Tests und Nitrifikationshemmtests sowie die Auswertung der Ergebnisse erfolgt gemäss AIA-Test Standardarbeitsvorschrift V1.4.

5.6.1 AIA-Test

Die Kontrollansätze im AIA-Test sollten nach sieben Tagen einen DOC-Abbau von > 50 % aufweisen. Wird dieser Wert nicht erreicht, ist der Test zu wiederholen, da in diesem Fall von einer unzureichenden Qualität des eingesetzten Belebtschlammes auszugehen ist. Liegt die Abbaurate im Testansatz nach sieben Tagen unter 85%, ist das Abwasser gemäss der GSchV als unzureichend abbaubar einzustufen. Wenn das in Kombination mit starken biologischen Effekten auftritt, empfehlen wir wie in Abschnitt 7.2 vorzugehen. Zusätzlich wird der refraktäre organische Kohlenstoff (ROC) bestimmt. Dieser entspricht dem zum Zeitpunkt t_{168h} gemessenen DOC und quantifiziert den verbleibenden biologisch schwer oder nicht abbaubaren Anteil der organischen Substanz in der Probe.

5.6.2 Nitrifikationshemmtest

Im Kontrollansatz sollten nach 4 Stunden mehr als 50 % des zugesetzten Ammoniums zu Nitrat oxidiert sein. Wird dieser Wert nicht erreicht, weist der eingesetzte Belebtschlamm eine eingeschränkte Nitrifikationsaktivität auf. In diesem Fall kann keine verlässliche Aussage zur Nitrifikationshemmung der Abwasserprobe getroffen werden. Liegt die Nitrifikationshemmung im Testansatz bei mehr als 50 %, ist die Probe als nitrifikationshemmend einzustufen. In diesem Fall wird empfohlen, den Nitrifikationshemmtest mit einer Verdünnungsreihe der Abwasserprobe zu ergänzen, um jene Abwasserkonzentration zu bestimmen, bei der die Nitrifikation nicht oder nur teilweise gehemmt wird. Dies ermöglicht eine realistischere und belastbarere Beurteilung unter praxisnahen Bedingungen.

6 Biotests

6.1 Probenvorbereitung

Matrixeffekte treten auf, wenn Testorganismen in den Biotests nicht auf die enthaltenen Schadstoffe in der Probe reagieren, sondern auf physikalisch-chemische Parameter wie erhöhten Salzgehalt (Leitfähigkeit) oder extreme pH-Werte. Um solche Effekte im ABIScreen-Projekt zu vermeiden, werden vor Beginn der Biotests Leitfähigkeit und pH-Wert der Abwasserproben bestimmt.

- Liegt der pH-Wert ausserhalb des Toleranzbereichs, kann eine Anpassung wie in Abschnitt 5.3 beschrieben erfolgen (siehe Tabelle 2).
- Ist die Leitfähigkeit für den Biotest zu hoch, verdünnt man die Probe mit Reinstwasser und berücksichtigt dies aber in der finalen Berechnung der Toxic Units (TU). Die vorgenommenen Verdünnungsschritte ergeben den Verdünnungsfaktor B.

Tabelle 2. Abiotische Toleranzbereiche der eingesetzten Testorganismen in den Biotests.

Biotest	pH	Leitfähigkeit
Algen	6.5 - 7.5	< 6 mS/cm
Daphnien	6.5 - 9	< 6 mS/cm
Leuchtbakterien	6 - 9	< 40 mS/cm

Die effektive Abwasserkonzentration in den Biotests ergibt sich aus der Kombination der einzelnen Verdünnungsschritte:

- (1) Verdünnungsfaktor A: Vorverdünnung aus dem Abbautest
- (2) Verdünnungsfaktor B: Anpassung der Leitfähigkeit vor Biotest
- (3) Verdünnungsfaktor C: testspezifische Konzentrationsstufen
 - Daphnien: C = 1
 - Algen: C = 1,25
 - Leuchtbakterien: C = 2

Die tatsächliche Verdünnung der Abwasserprobe für die Testorganismen ergibt sich somit aus dem Gesamtverdünnungsfaktor (VF_{Gesamt}):

$$VF_{\text{Gesamt}} = VF_A \times VF_B \times VF_C$$

Ein Rechenbeispiel ist im Anhang dargestellt.

6.2 Biotestdurchführung

6.2.1 Algentest

Der Algenwachstumshemmtest wird mit der einzelligen Süßwassergrünalge *Raphidocelis subcapitata* gemäss DIN 38412-59:2022 (DIN EN ISO 2022) auf der 24-Wellplatte durchgeführt.

Endpunkt: Hemmung des Algenwachstums zur Bestimmung der Toxizität der Probe.

Durchführung:

- Algen in der exponentiellen Wachstumsphase werden in Algenmedium mit den verdünnten Abwasserproben (Verdünnungsreihe 1:2, höchste Konzentration 80 %) auf der Platte angesetzt.
- Jede Probe wird in Triplikaten getestet.
- Kontrollansätze: Negativkontrolle (zwei Triplikate pro Platte), Positivkontrolle (Triplikate).
- Inkubation und Messung der Chlorophyll-Fluoreszenz (z. B. Tecan Infinite 200Pro, $\lambda = 690 \text{ nm}$) zu den Zeitpunkten t_0 , t_{24h} , t_{48h} und t_{72h} .

Auswertung:

- Berechnung der Fluoreszenzdifferenz unter Berücksichtigung von Blindwert und Eigenfluoreszenz der Probe.
- Ermittlung der prozentualen Hemmung der spezifischen Wachstumsrate im Vergleich zur Negativkontrolle für jedes Replikat.

Detaillierte Angaben zur Durchführung und Auswertung sind der Richtlinie DIN 38412-59:2022 zu entnehmen.

6.2.2 Daphnientest

Der akute Daphnientest wird nach ISO 6341:2012 (DIN EN ISO 2012) mit Wasserflöhen (*Daphnia magna* Straus) durchgeführt.

Endpunkt: Immobilität der Daphnien (Beeinträchtigung der Schwimmfähigkeit oder Letalität).

Durchführung:

- Es werden ausschließlich Daphnien < 24 Stunden alt verwendet.
- Die Organismen werden während 48 Stunden verschiedenen Verdünnungen der Abwasserprobe ausgesetzt: 100 %, 75 %, 50 %, 25 %, 12,5 % (je 4 Replikate à 5 Daphnien pro Verdünnung).

Auswertung:

- Anzahl immobilisierter Daphnien nach 24 h und 48 h wird erfasst und mit der Kontrolle verglichen.

Detaillierte Angaben zur Durchführung und Auswertung sind der Richtlinie ISO 6341:2012 zu entnehmen.

6.2.3 Leuchtbakterientest

Der Leuchtbakterientest wird gemäss ISO 11348-1:2009-05 (DIN EN ISO 2009) mit der marinen Spezies *Vibrio fischeri* durchgeführt.

Endpunkt: Die Hemmung der emittierten Lumineszenz als Mass für die Toxizität der Probe.

Durchführung:

- Gefriergetrocknete Bakterien werden reaktiviert und auf der Platte 30 Minuten verschiedenen Konzentrationen der Abwasserprobe ausgesetzt (Verdünnungsreihe 1:2, höchste Konzentration 45 %, jeweils Triplikate).
- Messung der Lumineszenzabnahme über die Expositionsdauer in Test- und Kontrollreplikaten (z. B. BioTek Synergy H1).

Auswertung:

- Konzentrationsabhängige Hemmung der Lumineszenz wird ermittelt und zur Bewertung der Toxizität genutzt.

Detaillierte Angaben zur Durchführung und Auswertung sind der Richtlinie ISO 11348-1:2009-05 zu entnehmen.

6.2.4 Ames Fluktuationstest (Ames-Test)

Ergänzend zu den in ABIScreen eingesetzten Abbautests und Biotests besteht die Möglichkeit, das mutagene Potenzial von Abwasserproben zu untersuchen, beispielsweise mittels Ames-Fluktuationstest (Ames-Test). Der Einsatz dieses Tests ist insbesondere dann sinnvoll, wenn in einem Betrieb Stoffe hergestellt oder verwendet werden, deren Sicherheitsdatenblätter Hinweise auf genotoxische, mutagene oder kanzerogene Eigenschaften enthalten und bei denen ein Eintrag ins Abwasser nicht ausgeschlossen werden kann.

Für die Durchführung des Ames-Tests ist eine vorgängige Aufkonzentrierung der Abwasserprobe erforderlich. Diese erfolgt mittels Festphasenextraktion (SPE) beispielsweise unter Verwendung von Oasis® HLB-Kartuschen (6 cc, Waters). Die extrahierten Proben werden anschliessend in Dimethylsulfoxid (DMSO) aufgenommen und können bis zur Durchführung des Mutagenitätstests zwischengelagert werden. Der maximal erreichbare Relative Enrichment Factor (REF) liegt in Abhängigkeit vom eingesetzten Probenvolumen typischerweise im Bereich von 20 bis 40.

Anschliessend wird empfohlen, den Ames-Test mit den *Salmonella typhimurium*-Stämmen YG1041 und YG1042 durchzuführen, da diese im Vergleich zu den Standardstämmen TA98 und TA100 eine erhöhte Empfindlichkeit gegenüber bestimmten chemischen Stoffklassen, insbesondere nitro- und aminoaromatischen Verbindungen, aufweisen. Diese erhöhte Sensitivität beruht auf zusätzlichen enzymatischen Aktivitäten, welche die metabolische Aktivierung bestimmter Mutagene verstärken. Die eingesetzten Bakterienstämme tragen gezielte Mutationen, die sie daran hindern, die essenzielle Aminosäure Histidin selbst zu synthetisieren. Werden die Bakterien einer mutagenen Substanz ausgesetzt, kann durch eine Rückmutation die Fähigkeit zur Histidinproduktion wiederhergestellt werden, wodurch ein Wachstum in einem histidinarmen Medium möglich wird.

Nach einer 72-stündigen Exposition mit der Probe wird die Anzahl der Rückmutationen (Revertanten) gemessen und als Mass für die Mutagenität der Probe gewertet. Um auch promutagene Substanzen zu erkennen, die erst nach metabolischer Umwandlung schädlich wirken, wird dem Testansatz ein S9-Mix mit Leberenzymen zugesetzt, um den Stoffwechsel zu simulieren. Zur Systemkontrolle werden Positiv- und Negativkontrollen mitgeführt. Aus dem doppelten Mittelwert der Revertanten in der Negativkontrolle, inklusive Standardabweichung, wird die sogenannte *2fold Baseline* berechnet. Zusätzlich werden die *Salmonella*-Zellen nach der Exposition unter Zugabe eines speziellen Mediums visuell auf Zytotoxizität geprüft. Ist das Abwasser toxisch für die Zellen, kann keine Aussage über das mutagene Potential getroffen werden.

Als Testergebnis des Ames-Tests wird ausgewiesen, in welcher Anreicherungsstufe (Relative Enrichment Factor REF) mutagene Effekte beobachtet wurden (Ja/Nein) oder zytotoxische Effekte auftraten. Damit eine Probe in einer bestimmten Konzentration als potenziell mutagen eingestuft wird, muss die *2fold Baseline* überschritten werden und eine Konzentrationswirkungsbeziehung sichtbar sein.

Details zur Probenaufarbeitung und zum methodischen Vorgehen sind in einer internen Standardarbeitsanweisung (SOP) dokumentiert und können bei Bedarf zur Verfügung gestellt werden. Für Rückfragen zum Ames-Test und für Informationen zur Durchführung wird empfohlen, sich mit der FHNW in Verbindung zu setzen.

6.3 Auswertung

Die Auswertung der einzelnen Biotests erfolgt gemäss den aufgeführten Richtlinien. Dabei sind auch die jeweiligen Validitätskriterien der Tests zu berücksichtigen.

Als Testergebnis für Algen-, Daphnien- und Leuchtbakterientests wird der EC₅₀-Wert ermittelt, indem die gemessenen Hemmwirkungen bei verschiedenen Abwasserkonzentrationen in einer Dosis-Wirkungskurve dargestellt und ausgewertet werden. Dieser gibt den Abwasservolumenanteil der Abwasserprobe an, bei der mindestens 50% der exponierten Testorganismen einen hemmenden Effekt zeigen (mittlere Effektkonzentration). Zur leichteren Interpretation wird der EC₅₀-Wert zusätzlich in Toxic Units (TU) umgerechnet. Die Berechnung erfolgt nach der Formel: $TU = \frac{100}{\text{Abwasseranteil der einen EC}_{50} \text{ induziert}}$ Je höher der berechnete TU-Wert, desto problematischer ist das Abwasser für die jeweiligen Testorganismen.

Treten in den getesteten Abwasserverdünnungen keine Effekte auf, kann kein EC₅₀ ermittelt werden und es wird der höchste, getestete Abwasseranteil in TU umgerechnet und mit einem «kleiner» Zeichen (<) dargestellt.

Ein Beispiel für die Herleitung ist im Anhang dargestellt.

Biotests im Überblick

Ziel

Ermittlung der Toxizität und möglichen Mutagenität von biologisch nicht abbaubaren Abwasserbestandteilen gegenüber verschiedenen Testorganismen

Vermeidung von Matrixeffekten

Vor Testbeginn pH und Leitfähigkeit messen und ggf. an Optimumsbereiche der Testorganismen anpassen:

- Algen: pH 6.5–7.5, Leitfähigkeit < 6 mS/cm
- Daphnien: pH 6.5–9, Leitfähigkeit < 6 mS/cm
- Leuchtbakterien: pH 6–9, Leitfähigkeit < 40 mS/cm

Gesamte effektive Verdünnung = A × B × C

- A: Vorverdünnung aus Abbautest
- B: Leitfähigkeitsanpassung
- C: Testspezifischer Verdünnungsfaktor

Biotests im ABIScreen

- Algenwachstumshemmtest (*Raphidocelis subcapitata*) gemäss Richtlinie DIN 38412-59:2022
- Akuter Daphnientest (*Daphnia magna*) gemäss Richtlinie ISO 6341:2012
- Leuchtbakterientest (*Vibrio fischeri*) gemäss Richtlinie ISO 11348-1:2009
- Zusätzlich: Ames-Fluktuationstest (Mutagenität) gemäss interner SOP

Auswertung & Ergebnisdarstellung

- EC₅₀: Abwasseranteil, der ≥ 50% Effekt auslöst, ermittelt aus der Dosis-Wirkungskurve
- Toxic Units (TU): $TU = 100 / EC_{50}$ – je höher TU, desto problematischer die Probe
- Kein Effekt >50% → höchster getesteter Abwasseranteil wird als TU mit "<" angegeben (z.B. < 1 TU)

7 Einordnung und Interpretation der Ergebnisse

7.1 Ableitung des ABIScreen-Schwellenwerts

Für die Interpretation und Einordnung der ABIScreen-Ergebnisse ist die Definition geeigneter Toxizitätsschwellenwerte erforderlich. Die Ableitung des ABIScreen-Schwellenwerts erfolgte auf Basis der aktuellen Projektdaten aus Biotest & Industrie 3.0

(Stand Oktober 2025). Dabei wurde die 80. Perzentile der gemessenen Toxizitätswerte (in Toxic Units TU) herangezogen und ein häufigkeitsbasierter Schwellenwert von TU=10 (entspricht EC₅₀ = 10% bzw. einem 10% Abwasservolumenanteil, der einen EC₅₀ induziert) vorgeschlagen und im Oktober 2024 von der ABIScreen-Begleitgruppe erstmalig diskutiert und verabschiedet. Der ABIScreen-Schwellenwert wurde anschliessend mit den Daten aus der zweiten Messkampagne von Biotest & Industrie 3.0 bis zum Oktober 2025 abgeglichen und bestätigt.

7.2 ABIScreen-Schwellenwert

Der ABIScreen-Schwellenwert dient als Orientierungshilfe, indem er den aktuell praktizierten Stand der Technik in der industriellen Abwasserreinigung verschiedener Branchen anhand von Biotests abbildet, ohne dabei die eingesetzten technischen Prozesse und Behandlungsschritte zu bewerten. Der Schwellenwert ist nicht als Einleitgrenzwert zu verstehen und gibt Betrieben und Behörden Hinweise, ob eine Überprüfung des Abwassermanagements sinnvoll ist (siehe Abschnitt 8 „Vorgehen bei Überschreitung des Schwellenwerts“).

Der ABIScreen-Schwellenwert liegt aktuell für Algen-, Daphnien- und Leuchtbakterientest bei TU=10. Der Abgleich von ABIScreen-Messwerten mit dem Schwellenwert ermöglicht Betrieben und Behörden, das problematische Potential einzelner Abwasserströme für die getesteten, biologischen Endpunkte einzuschätzen (Warnsignal).

8 Vorgehen bei Überschreitung des Schwellenwerts

Bei einer Überschreitung des ABIScreen-Schwellenwerts (TU=10) in einem der ABIScreen-Biotests wird den betroffenen Betrieben empfohlen, sich vertieft mit ihren Produktions- und Abwasserreinigungsprozessen auseinanderzusetzen und durch weiterführende Untersuchungen (z.B. chemische Analysen und/oder zusätzliche Biotests) mehr Informationen zu dem betreffenden Abwasserstrom zu gewinnen.

Dabei können Betriebe entweder ihr gesamtes Abwassermanagement evaluieren oder gezielt einzelne, potenziell kritische Abwasserströme untersuchen. Es kann sinnvoll sein, die beobachtete Toxizität durch ergänzende ABIScreen-Untersuchungen schrittweise bis zur Quelle zurückzverfolgen (siehe * in Abbildung. 1 und Tabelle 1), um genauere Informationen zu den verursachenden Teilströmen zu erhalten.

Bei grösseren oder komplex aufgebauten Industriearalen bietet die Erstellung eines Toxkatasters wertvolle Hinweise. Bei einem Toxkataster werden einzelne Produktionslinien/Abwasserströme zeitgleich beprobt und mittels ABIScreen untersucht, um festzustellen, welche Einzelabwässer zur Toxizität im Gesamtabwasser beitragen.

Eine weitere Möglichkeit besteht in der Umsetzung geeigneter Massnahmen, wie beispielsweise der externen Entsorgung kritischer Abwässer oder der Implementierung spezifischer Behandlungsmethoden (z.B. einer Aktivkohlebehandlung). Die Wirksamkeit der umgesetzten Massnahmen kann anschliessend mithilfe von ABIScreen überprüft werden. Auf diese Weise lässt sich beurteilen, ob die Massnahmen zu einer nachhaltigen Verringerung der Toxizität geführt haben.

9 Erläuterungen

ABIScreen ist ein wertvolles Werkzeug zur Untersuchung von Abwässern aus Industrie- und Gewerbebetrieben mit unbekannt Schadstoffen hinsichtlich ihrer Abbaubarkeit und Toxizität. Dieser Leitfaden hat nicht den Zweck, Aufgaben der Vollzugspraxis zu ersetzen oder tangieren. Die im Rahmen von ABIScreen gewonnenen Erkenntnisse dienen der Konkretisierung und fachlichen Einordnung der bestehenden gesetzlichen Anforderungen und unterstützen Betriebe sowie Behörden bei deren Umsetzung. Durch die Kombination von Abbau- und Biotests können kritische Abwässer identifiziert werden, die auch nach der biologischen Reinigung in der ARA noch ein problematisches Potenzial aufweisen. In Verbindung mit weiterführenden Untersuchungen, wie beispielsweise chemischen Analysen, lassen sich die Ursachen einer beobachteten Toxizität gezielt eingrenzen.

Im AIA-Test wird jeweils der höchstmögliche Volumenanteil des Abwassers getestet, bei dem die Sollwerte des Tests eingehalten werden. Dies kann zu Ergebnissen führen, die nicht vollständig der realen Bedingungen entsprechen, da Abwasserströme in der ARA üblicherweise verdünnt und mit anderen Abwasserströmen vermischt werden. Zur Untersuchung realitätsnaher Bedingungen, beispielsweise bei betrieblichen Problemen in der ARA oder bei hohen Abwasseranteilen, sind detailliertere Tests, z.B. von unterschiedlichen Verdünnungen, möglich.

Der Nitrifikationshemmtest wird ebenfalls auf Basis dieser maximalen Konzentration durchgeführt, die sich aus den Vorgaben im AIA-Test ergibt. Entsprechend können die Testergebnisse die tatsächlichen Bedingungen in der ARA nur eingeschränkt widerspiegeln. Nitrifikationshemmende Effekte treten in der Praxis aufgrund der Verdünnung häufig deutlich schwächer auf als im konzentriertesten Testansatz. Der Nitrifikationshemmtest innerhalb von ABIScreen weist daher lediglich auf ein mögliches hemmendes Potential hin und sollte im Bedarfsfall durch ergänzende Untersuchungen, beispielsweise Verdünnungsreihen, weiter abgeklärt werden.

In den Biotests von ABIScreen wird jeweils nur die höchstmögliche Konzentration der Abwasserprobe untersucht, die innerhalb der Toleranzbereiche der Testorganismen liegt. Die Proben werden dabei nativ getestet und nicht aufkonzentriert. Im Gegensatz dazu erfordert der Ames-Test eine vorgängige Aufkonzentrierung der Probe, um auch schwach mutagene Substanzen erfassen zu können. Entsprechend lässt sich in den Biotests lediglich beurteilen, ob bei der geprüften Konzentration eine hemmende Wirkung auftritt; eine mögliche Wirkung bei höheren Abwasseranteilen kann damit nicht ausgeschlossen werden.

Zur Einordnung der Ergebnisse dient der ABIScreen-Schwellenwert von $TU = 10$, der aus aktuellen Messdaten verschiedener Branchen abgeleitet wurde. Dieser Wert sollte regelmässig überprüft und bei Bedarf angepasst werden, um den neuesten Stand der Technik abzubilden.

Quellenverzeichnis

BioRender. (2026). Symbole in Abbildung 1. Abgerufen von <https://biorender.com>

*DIN EN ISO 11348-1:2009-05, Wasserbeschaffenheit - Bestimmung der Hemmwirkung von Wasserproben auf die Lichtemission von *Vibrio fischeri* (Leuchtbakterientest) - Teil 1: Verfahren mit frisch gezüchteten Bakterien (ISO 11348-1:2007); Deutsche Fassung EN ISO 11348-1:2008*

DIN EN ISO 38412-59:2022, Algenwachstumshemmtest auf Mikrotiterplatten mit einzelligen Süßwasser-Grünalgen (L59); Deutsche Fassung EN ISO 38412-59:2022

*DIN EN ISO 6341:2012, Wasserbeschaffenheit - Bestimmung der Hemmung der Beweglichkeit von *Daphnia magna* Straus (Cladocera, Crustacea) - Akuter Toxizitäts-Test; Deutsche Fassung EN ISO 6341:2012; DOI <https://dx.doi.org/10.31030/1911255>*

DIN 38414-2;1982 - Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Schlamm und Sedimente (Gruppe S); Bestimmung des pH- Wertes in Schlämmen und Sedimenten (S 5). Deutsches Institut für Normung.

Klaus et al. (2023a) ABIScreen – Kennen Sie Ihr Abwasser? Charakterisierung von Industrieabwässern mit Abbau – und Biotests. Aqua & Gas N°4 2023, pp 76 – 83

Klaus et al. (2023b) ABIScreen – Das Unsichtbare Visualisieren. Charakterisierung von Industrieabwässern mit Abbau – und Biotests – von der Idee zum Untersuchungskonzept. Aqua & Gas N°4 2023, pp 62 – 66

OECD (1992). OECD Guideline for Testing of Chemicals No. 302B: Inherent Biodegradability – Zahn-Wellens/EMPA Test. Paris.

Schäfer et al. (2023) Entwicklung des AIA-Tests. Aqua & Gas N°4 2023, pp 68 – 75

Thomann, M., & Schäfer, R. (2025). Standardarbeitsvorschrift AIA-Test 1.4: Abbautest für Industrieabwasser. Muttenz.

Anhang

Beispielrechnung der Verdünnungsfaktoren (A×B×C)

Annahme: DOC der Probe: 2000 mg/L (bei pH = 6,0 - 8,5 und Leitfähigkeit <20mS/cm)

Ziel-DOC im Testansatz: 400 mg/L

Endvolumen des Testansatzes: 1 L

Verdünnungsfaktor A

$$\text{Verdünnungsfaktor A} = \frac{\text{DOC}_{\text{Probe}}}{\text{DOC}_{\text{Ziel}}} = \frac{2000}{400} = 5$$

Berechnung des Probenvolumens

$$V_{\text{Probe}} = \frac{1 \text{ L}}{5} = 0,2 \text{ L} = 200 \text{ mL}$$

Zugabe von 200 mL Probe + 800 mL (zusammengesetzt aus der berechneten Belebtschlammmenge und Reinstwasser).

Verdünnungsfaktor B

Anfangsvolumen der Probe (zum Beispiel für Daphnientest): 500 mL

Anfangs-Leitfähigkeit: 8 mS/cm

Ziel-Leitfähigkeit: 6 mS/cm

Wenn die Leitfähigkeit proportional zur Konzentration ist, gilt:

$$\frac{\text{Leitfähigkeit}_{\text{Ziel}}}{\text{Leitfähigkeit}_{\text{Start}}} = \frac{V_{\text{Start}}}{V_{\text{Final}}}$$

Berechnung des Endvolumens

$$\frac{6}{8} = 0,75 = \frac{500}{V_{\text{Final}}}$$

$$V_{\text{Final}} = \frac{500}{0,75} = 666,67 \text{ mL}$$

Zugabe von Wasser

$$V_{\text{Wasser}} = V_{\text{Final}} - V_{\text{Start}} = 666,67 - 500 = 166,67 \text{ mL}$$

$$\text{Verdünnungsfaktor B} = \frac{V_{\text{Final}}}{V_{\text{Start}}} = \frac{666,67}{500} = 1,3$$

Verdünnungsfaktor C

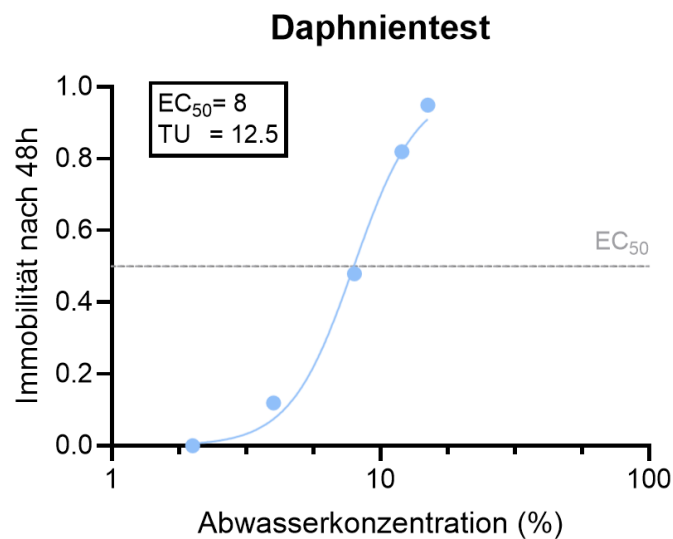
Verdünnungsfaktor C berücksichtigt die testspezifischen Konzentrationsstufen. Im Daphnientest wird bei der höchsten Konzentration keine zusätzliche Verdünnung vorgenommen (Verdünnungsfaktor C = 1)

Daraus ergibt sich der Verdünnungsfaktor (A×B×C) von 6.5 und der höchste effektive Abwasseranteil beträgt 15%:

Verdünnungsfaktor (A)	
5.0	
Verdünnungsfaktor (B)	
1.3	
Verdünnungsfaktor (C)	
1.0	
Verdünnungsfaktor (AxBxC)	
6.5	
Daphnien	
Verdünnungsstufen Biotest (%)	Effektiver Abwasseranteil (%)
100	15
75	12
50	8
25	4
12.5	2

Beispielrechnung des TU-Werts über die Effektkonzentration (EC₅₀)

Szenario 1



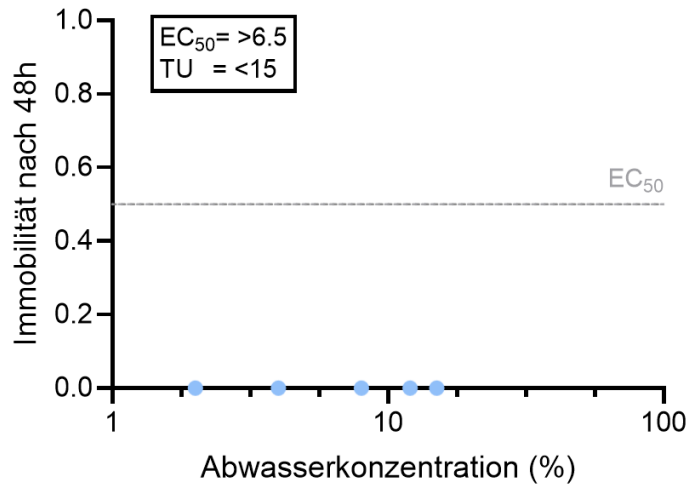
Der Daphnientest zeigt eine Dosis-Wirkungsbeziehung mit einem EC₅₀-Wert von 8 mg/L. Daraus berechnet sich mit folgender Formel der TU-Wert:

$$TU = \frac{100}{EC_{50}} = \frac{100}{8} = 12.5$$

Je höher der TU-Wert, desto problematischer ist das Abwasser für die jeweiligen Testorganismen. In diesem Szenario würde die Abwasserprobe mit einem Abwasseranteil von 15% den Schwellenwert von 10 TU überschreiten.

Szenario 2

Daphnientest



Der Daphnientest zeigt keine Dosis-Wirkungsbeziehung, da der getestete Abwasseranteil keinen Effekt auf die Daphnien hatte. Der EC₅₀-Wert kann dadurch nicht ermittelt werden und es wird der höchste getestete Abwasseranteil in TU umgerechnet und mit einem «kleiner» Zeichen (<) dargestellt.

$$TU = \frac{100}{VF_{AxBxC}} = \frac{100}{>6.5} = <15$$

Kontakte

Xenia Klaus

T +41 61 228 56 35

xenia.klaus@fhnw.ch

Ali Kizgin

+41 61 228 52 08

ali.kizgin@fhnw.ch

Miriam Langer

+41 61 228 58 83

miriam.langer@fhnw.ch

Weitere Informationen

<https://www.fhnw.ch/de/forschung-und-dienstleistungen/lifesciences/ecopreneurship/oekotoxikologie/projekte/biotests-zur-untersuchung-von-industrieabwaessern>

Link zum ABIScreen Faktenblatt

<https://www.fhnw.ch/++api++/de/forschung-und-dienstleistungen/lifesciences/ecopreneurship/oekotoxikologie/projekte/biotests-zur-untersuchung-von-industrieabwaessern/faktenblatt-anwendung-abiscreen-hls-fhnw.pdf/@@inline-file/file>