

Standardarbeitsvorschrift AIA-Test 1.4

Abbautest für Industrieabwasser

Prof. Dr. Michael Thomann, Roman Schäfer
MuttENZ, 28.11.2025

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Probenvorbereitung | 3 |
| 1.1 | Vorbereitung Belebtschlamm | 4 |
| 1.2 | Mineralisches Medium | 5 |
| 2 | Versuchsansätze | 6 |
| 2.1 | Blind-Ansatz | 6 |
| 2.2 | Kontroll-Ansatz | 6 |
| 2.3 | Test-Ansatz | 6 |
| 2.4 | Test-Ansatz verdünnt | 6 |
| 2.5 | Testparameter | 6 |
| 2.5.1 | Rühren | 6 |
| 2.5.2 | Belüftung | 6 |
| 2.5.3 | pH-Wert | 7 |
| 2.6 | Versuchsdurchführung | 7 |
| 2.6.1 | Adsorption | 7 |
| 2.6.2 | Probenahmen | 7 |
| 2.6.3 | Versuchsende | 7 |
| 2.7 | DOC-Analyse | 8 |
| 2.8 | DOC-Elimination | 8 |
| 2.8.1 | Verdünnter Ansatz mit C-Quelle (Optional) | 8 |
| 2.9 | Stickstoffparameter | 8 |
| 2.9.1 | Nitrifikation | 9 |
| 2.9.2 | Realer Ansatz- Nitrifikation | 9 |
| 3 | Berechnungen | 10 |
| 4 | Resultate | 11 |
| 5 | Literaturverzeichnis | 12 |

Standardarbeits Vorschrift AIA-Test 1.4

Der alternativ inhärente Abbautest (AIA-Test) dient der Bestimmung der DOC-Elimination von (Industrie-)Abwasserproben durch Belebtschlamm wodurch abgeschätzt werden kann wie gut die Abwasserinhaltsstoffe auf der ARA eliminiert werden, siehe Aqua&Gas-Artikel (Schäfer, et al., 2023). Der AIA-Test beinhaltet folgende 4 Ansätze, die wenn möglich mit dem Belebtschlamm der betroffenen ARA durchgeführt werden:

- Blind-Ansatz
- Kontroll-Ansatz
- Test-Ansatz (DOC ~400 mg/L)
- Test-Ansatz verdünnt (DOC 50 mg/L)

Neben der DOC (dissolved organic carbon) Elimination kann die Nitrifikation untersucht werden, um eine mögliche Nitrifikationshemmung durch das Abwasser zu erkennen. Dies dient dem Schutz der betroffenen ARA.

Um eine Aussage über den Abbau des Abwassers auf der realen ARA zu treffen, wird die Kinetik der DOC-Elimination betrachtet.

Falls der DOC bei der Abwasserprobe nach 3 Tagen bereits zu mehr als 85% eliminiert wurde kann davon ausgegangen werden, dass das Abwasser in der Abwasserreinigungsanlage biologisch abgebaut werden kann. Falls die DOC-Elimination langsamer abläuft, muss in einem verdünnten Ansatz das Abwasser genauer untersucht werden.

1 Probenvorbereitung

Der pH-Wert und die Leitfähigkeit des zu testenden Abwassers überprüfen. Der pH-Wert sollte im Bereich zwischen 6.5 und 8 liegen. Falls nicht, ist die Abwasserprobe zu neutralisieren mit Hilfe von Natronlauge, resp. Salzsäure. Die Leitfähigkeit im Testansatz sollte 32 mS/cm nicht übersteigen.

Nach einer allfälligen Neutralisation, die folgenden Parameter in der Abwasserprobe bestimmen:

Tabelle 1: Analyseparameter Abwasserprobe

| Eingangssprobe | Nach Neutralisation |
|----------------|---------------------|
| pH-Wert | pH-Wert |
| Leitfähigkeit | Leitfähigkeit |
| DOC | NH ₄ -N |
| | NO ₃ -N |
| | DOC |

Falls die Abwasserprobe einen DOC unter 30mg/L aufweist ist der AIA-Test nicht geeignet, um den biologischen Abbau zu bestimmen. In einem solchen Fall sollte der Test OECD 302b mit 0.2 g_{TSS}/L verwendet werden.

1.1 Vorbereitung Belebtschlamm

Als Inokulum sollte der Belebtschlamm verwendet werden aus der entsprechenden Abwasserreinigungsanlage, in die das zu untersuchende Abwasser eingeleitet wird. Bei mehrstufigen Anlagen (Industrie ARA) sollte der Belebtschlamm verwendet werden mit der höchsten C-Elimination. Falls eine Abwasserprobe in einer ARA behandelt wird, die nicht über Belebtschlamm verfügt (Festbett-, Wirbelbettverfahren), soll mit dem Belebtschlamm einer ARA gearbeitet werden die ähnliche Reinigungsleistungen aufweist (C-Abbau, Nitrifikation, Denitrifikation).

Der frische Belebtschlamm mithilfe des mineralischen Mediums oder Leitungswasser durch mehrmaliges Spülen und Sedimentieren waschen. Anschliessend den Belebtschlamm durch Sedimentation aufkonzentrieren. Falls der eingesetzte Belebtschlamm, schlechte Sedimentationseigenschaften aufweist kann alternativ filtriert oder zentrifugiert werden. Nach der Aufkonzentrierung den TS-Gehalt (Trockensubstanz nach DIN 38414-10:1981 (DIN, 1981)) der Belebtschlamm-Probe bestimmen. Je höher die TS-Konzentration ist, desto geringer ist das benötigte Volumen an Belebtschlamm im Ansatz. Pro Abwasserprobe sind insgesamt vier Ansätze nötig. Falls mehrere Abwasserproben mit dem identischem Belebtschlamm getestet werden, reichen ein Blind resp. Kontroll-Ansatz.

Tabelle 2: Ansätze für den AIA-Test

| | Blind-Ansatz | Kontroll-Ansatz | Test-Ansatz | Test-Ansatz verdünnt |
|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Belebtschlamm | 5 g _{TS} /L | 5 g _{TS} /L | 5 g _{TS} /L | 5 g _{TS} /L |
| Mineralisches Medium | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| NH ₄ Cl | | ✓ | ✓ | |
| Abwasserprobe | | | ✓ (~ 400 mg/L DOC) | ✓ (~ 50 mg/L DOC) |
| Diethylenglycol | | ✓ | | |

1.2 Mineralisches Medium

Das mineralische Medium wird hinzugefügt, um den Belebtschlamm während der Versuchsdauer mit den benötigten Spurenelementen zu versorgen. Verwendet wird das Medium aus der OECD-Anleitung zum Zahn Wellens-Test. (OECD, 1992).

Stocklösung A

| | |
|--|---------|
| KH_2PO_4 | 8.5 g |
| K_2HPO_4 | 21.75 g |
| $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ | 33.4 g |
| NH_4Cl | 0.5 g |

In Wasser lösen und auf 1L einstellen. Der pH-Wert der Lösung sollte 7.4 sein

Stocklösung B

| | |
|-----------------|--------|
| CaCl_2 | 27.5 g |
|-----------------|--------|

In Wasser lösen und auf 1L einstellen.

Stocklösung C

| | |
|--|--------|
| $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ | 22.5 g |
|--|--------|

In Wasser lösen und auf 1L einstellen.

Stocklösung D

| | |
|--|--------|
| $\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ | 0.25 g |
|--|--------|

In Wasser lösen und auf 1L einstellen.

2 Versuchsansätze

2.1 Blind-Ansatz

Die benötigte Menge Belebtschlamm in das Gefäß vorlegen ($5g_{TS}/L$ bezogen auf das Endvolumen). Pro Liter Endvolumen 10 mL der Stocklösung A und je 1 mL von den Stocklösungen B, C und D zugeben. Anschliessend mit Wasser auf das gewünschte Endvolumen auffüllen.

2.2 Kontroll-Ansatz

Die benötigte Menge Belebtschlamm in das Gefäß vorlegen ($5g_{TS}/L$ bezogen auf das Endvolumen). Pro Liter Endvolumen 10 mL der Stocklösung A und je 1 mL von den Stocklösungen B, C und D zugeben. Anschliessend Diethylenglycol (Konzentration angepasst an die DOC-Konzentration im Test-Ansatz) und falls die Nitrifikation untersucht werden sollte, Ammoniumchlorid zugeben (25 mg N/L). Anschliessend mit Wasser auf das Endvolumen auffüllen.

2.3 Test-Ansatz

Die benötigte Menge Belebtschlamm in das Gefäß vorlegen ($5g_{TS}/L$ bezogen auf das Endvolumen). Pro Liter Endvolumen 10 mL der Stocklösung A und je 1 mL von den Stocklösungen B, C und D zugeben. Im Test-Ansatz das benötigte Volumen der vorbereiteten Abwasserprobe zugeben (DOC zwischen 100-400 mg/L falls möglich) und Ammoniumchlorid falls die Nitrifikation betrachtet werden soll und die Ammoniumkonzentration in der Ausgangslösung unter 20 mg N/ L liegt. Anschliessend mit Wasser auf das gewünschte Volumen einstellen.

2.4 Test-Ansatz verdünnt

Die benötigte Menge Belebtschlamm in das Gefäß vorlegen ($5g_{TS}/L$ bezogen auf das Endvolumen). Pro Liter Endvolumen 10 mL der Stocklösung A und je 1 mL von den Stocklösungen B, C und D zugeben. Das benötigte Volumen der vorbereiteten Abwasserprobe zugeben (DOC im Bereich von 50 mg/L). Anschliessend mit Wasser auf das gewünschte Volumen einstellen.

Das Volumen der Ansätze sollte bei Testbeginn 1-2 L betragen. Als Wasser kann Leitungswasser oder destilliertes Wasser verwendet werden.

2.5 Testparameter

2.5.1 Rühren

Alle Ansätze sollten gerührt werden. Dafür können Stativrührwerke oder Magnetrührer verwendet werden. Die Drehzahl ist so zu wählen, dass eine genügende Durchmischung vorliegt und sich der Belebtschlamm nicht absetzen kann (100-200 rotation per minute (rpm)).

2.5.2 Belüftung

Die für die Belüftung verwendete Luft, sollte wenn möglich mit einer Gaswaschflasche befeuchtet werden, dies minimiert die Verdunstung im Testansatz. Um die Sauerstoffübertrag in die

Wasserphase zu gewährleisten, können Ausströmsteine oder Glasfritten verwendet werden. Die Konzentration an gelöstem Sauerstoff soll in den Ansätzen mindestens 2 mg/L betragen.

2.5.3 pH-Wert

Den pH-Wert in den Ansätzen täglich überprüfen. Falls der pH-Wert nicht im Bereich zwischen 6.5-8 liegt, den pH-Wert anpassen.

2.6 Versuchsdurchführung

2.6.1 Adsorption

Nach dem Ansetzen bis zum Start der Belüftung 15 min warten wegen der Adsorption. In diesen 15 min werde die Proben nur gerührt und nicht belüftet, anschliessend eine Probe ziehen (Probe T0). Die Adsorption im Testansatz wird bestimmt über die Differenz DOC theoretisch im Ansatz und der DOC-Messung zum Zeitpunkt T0. Falls die DOC-Elimination bei T0 bereits grösser als 20 % ist, muss von einer erhöhten Adsorption ausgegangen werden. In diesem Fall ist der AIA-Test nicht geeignet und es sollte der Test OECD 302 b eingesetzt werden mit 0.2 g TS/L.

2.6.2 Probenahmen

Vor der Probenahme das Volumen im Testgefäss mit Wasser auffüllen bis zur Markierung (Füllstand nach letzter Probenahme). Anschliessend die Probe nehmen und direkt mithilfe eines Spritzenfilter (PTFE, Zelluloseacetat (vorgängig spülen) 0.45 µm) filtrieren oder zentrifugieren. Das benötigte Volumen richtet sich nach der nachfolgenden Analytik. Nach der Probenahme jeweils wiederum den aktuellen Wasserstand markieren.

| | |
|------|---|
| T0 | Nach Ansetzen und Start der Belüftung. |
| T1 | 1h nach dem Start der Belüftung |
| T2 | 4h nach dem Start der Belüftung |
| T3 | 24h nach dem Start der Belüftung |
| T... | Jede weitere 24h nach dem Start der Belüftung |

2.6.3 Versuchsende

Sobald bei der DOC-Elimination ein Plateau ersichtlich ist ($\pm 5\%$) kann der Test gestoppt werden. In der Regel kann der Test nach 7 Tagen beendet werden.

Tabelle 3: Analyseparameter

| Zeitpunkt | DOC | NH ₄ | NO ₂ | NO ₃ | pH |
|-----------|--|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--|
| | Blind-Ansatz; Kontroll-Ansatz; Test-Ansatz; Test-Ansatz verdünnt; | Kontroll-Ansatz; Test-Ansatz | Kontroll-Ansatz; Test-Ansatz | Kontroll-Ansatz; Test-Ansatz | Blind-Ansatz; Kontroll-Ansatz; Test-Ansatz; Test-Ansatz verdünnt; |
| T0 (oh) | X | X | X | X | X |
| T1 (1h) | X | X | X | X | X |
| T2 (4h) | X | X | X | X | X |
| T3 (24h) | X | | | | X |
| T.... | X | | | | X |

2.7 DOC-Analyse

Die DOC-Analyse der Proben sollte innerhalb von 24h erfolgen. Die DOC-Bestimmung kann mittels der Direktmethode oder der Differenzmethode erfolgen. Bei der Direktbestimmung über den NPOC muss bei flüchtigen Proben der POC berücksichtigt werden (Additionsmethode) (Shimadzu). Falls die Messung nicht innerhalb von 24h durchgeführt werden kann, können die Proben bei 4°C aufbewahrt werden und sollten innerhalb von 2 Tagen analysiert werden. Falls die Proben länger aufbewahrt werden, können die Proben bei -20°C gelagert werden. Falls keine DOC-Messung möglich ist, kann alternativ die Elimination über den chemischen Sauerstoff Bedarf (CSB) bestimmt werden.

2.8 DOC-Elimination

Die Kontrolle sollte nach 7 Tagen einen Abbau >50 % aufweisen. Falls dies nicht der Fall ist, muss der Test wiederholt werden.

2.8.1 Verdünnter Ansatz mit C-Quelle (Optional)

Falls weder im Test-Ansatz noch im Test-Ansatz verdünnt eine DOC-Elimination nach 7 Tagen beobachtet wird, aber der Belebtschlamm die Kontrollsubstanz abbaut, kann eine Hemmung der heterotrophen Biomasse durch die Abwasserprobe verantwortlich sein. In diesem Fall sollte eine zusätzliche Kontrolle durchgeführt werden. Dabei wird die Abwasserprobe und eine Substanz wie Natriumacetat, die gut abbaubar ist, hinzugegeben. Die DOC-Konzentration sollte im Bereich von 100 mg/L liegen und zu gleichen Teilen durch die Abwasserprobe und die abbaubare Substanz entstehen.

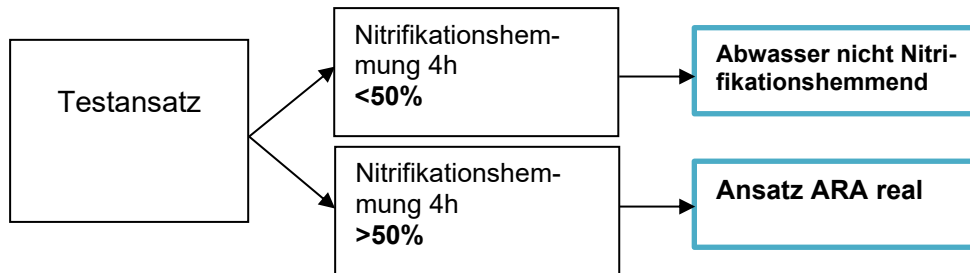
Nach 24h sollte der DOC um mindestens 40 % reduziert worden sein. Falls nicht führt die Abwasserprobe zu einer Hemmung der heterotrophen Biomasse.

2.9 Stickstoffparameter

Die Parameter Ammonium, Nitrit und Nitrat können sowohl photometrisch als auch mit dem IC bestimmt werden. Bei der Analytik ist zu beachten, dass die Abwassermatrix die Messung stören

kann. Deshalb muss sichergestellt werden, dass die verwendete Messmethode funktioniert (Aufstockung, Verdünnungsreihe).

2.9.1 Nitrifikation



Im Kontrollansatz (ohne Hemmstoffe) sollte nach 4 Stunden mehr als 50 % des zugegebenen Ammoniums zu Nitrat oxidiert sein. Ist dieser Wert nicht erreicht, zeigt der eingesetzte Belebtschlamm nur eine eingeschränkte Nitrifikationsaktivität. In diesem Fall kann keine verlässliche Aussage zur Nitrifikationshemmung getroffen werden.

Für die Kontrolle und den Testansatz wird anschliessend für die Nitrifikationsrate gemäss der folgenden Formel dargestellt im Kapitel 3 dargestellt berechnet.

$$\text{Nitrifikationsrate} \left[\frac{\text{mg NO}_3 - \text{N}}{\text{L} * \text{h}} \right] = \frac{C_{\text{NO}_3 - \text{N}, 4\text{h}} \left[\frac{\text{mg NO}_3 - \text{N}}{\text{L}} \right] - C_{\text{NO}_3 - \text{N}, 0\text{h}} \left[\frac{\text{mg NO}_3 - \text{N}}{\text{L}} \right]}{4\text{h}}$$

$$\text{Nitrifikationshemmung [\%]} = 1 - \frac{\text{Nitrifikationsrate}_{\text{Testansatz}} \left[\frac{\text{mg NO}_3 - \text{N}}{\text{L} * \text{h}} \right]}{\text{Nitrifikationsrate}_{\text{Kontrolle}} \left[\frac{\text{mg NO}_3 - \text{N}}{\text{L} * \text{h}} \right]}$$

Wenn die Hemmung im Testansatz gegenüber der Kontrolle grösser als 50% ist, ist das Abwasser in der getesteten Konzentration Nitrifikationshemmend. In diesem Fall sollte die Nitrifikationshemmung unter ARA realen Bedingungen durchgeführt werden (Kapitel 2.9.2) oder alternativ der Nitrifikationshemmtest nach DIN EN ISO 9509 durchgeführt werden.

2.9.2 Realer Ansatz- Nitrifikation

Es werden 2 Ansätze angesetzt. Im ersten wird das Abwasser auf reale ARA-Verhältnisse verdünnt und im zweiten wird es weniger stark verdünnt, nämlich um einen Faktor 10 weniger als reale ARA-Verhältnisse.

$$\text{Verdünnungsfaktor Abwasser} = \frac{Q_{\text{TW}} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right]}{Q_{\text{Abwasser}} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right]}$$

Q_{TW} = Gesamtzufluss bei Trockenwetter [m^3/d]
 Q_{Abwasser} = Abwasserstrom des zu beprobenden Abwassers

Das zu beprobende Abwasser einmal mit dem jeweiligen «Verdünnungsfaktor Abwasser» verdünnen und einmal so verdünnen, dass es 10-mal höher konzentriert ist als «Verdünnungsfaktor Abwasser».

Der Testansatz mit dem nach ARA realen Verhältnissen verdünnten Abwasser erfolgt identisch mit dem eigentlichen Testansatz, ausser dass hier die Abwasserprobe mit dem mineralischen Medium verdünnt wird. Die Messung der Nitratkonzentration erfolgt nach 0h, 1h und 4h. Beim realen Ansatz darf dabei keine Hemmung >20% ersichtlich sein.

| | Kontrolle | ARA real | ARA real x 10 |
|----------------------|----------------------|-------------------------------|--|
| Belebtschlamm | 5 g _{TS} /L | 5 g _{TS} /L | 5 g _{TS} /L |
| Ammonium [mgN/L] | 25 | 25 | 25 |
| Abwasserprobe | | Verdünnungsfaktor Abwasser | Verdünnungsfaktor Abwasser 10-fach höher konzentriert |
| Mineralisches Medium | ✓ | ✓ | ✓ |

3 Berechnungen

Die Berechnungen dienen zur Abschätzung der DOC-Elimination und zur Erkennung einer möglichen Adsorption der Substanz an den Belebtschlamm:

Berechnung DOC-Elimination

$$\text{DOC-Elimination in \%} = \left(1 - \frac{DOC_{AnsatzTX} - DOC_{BlindTX}}{DOC_{AnsatzT0} - DOC_{BlindT0}}\right) \times 100$$

DOC_{AnsatzTX} = Konzentration DOC im Test-Ansatz zum Zeitpunkt T=X

DOC_{BlindTX} = Konzentration DOC im Blind-Ansatz zum Zeitpunkt T=X

DOC_{AnsatzT0} = Konzentration DOC im Test-Ansatz Zeitpunkt T0

DOC_{AnsatzT0} = Konzentration DOC im Blind-Ansatz zum Zeitpunkt T0

Bestimmung Adsorption

Eine mögliche Adsorption kann berechnet werden aus der effektiv zudosierten Menge DOC (durch die Abwasserprobe) und der Messung des DOC zum Zeitpunkt T0.

Dafür die Abwasserprobe identisch mit dem mineralischen Medium verdünnen analog zum Testansatz und den DOC-Wert bestimmen.

$$\text{Adsorption in \%} = \left(1 - \frac{DOC_{AnsatzT0} - DOC_{BlindT0}}{DOC_{Theoretisch}}\right) \times 100$$

DOC_{AnsatzT0} = Konzentration DOC im Test-Ansatz zum Zeitpunkt 0

DOC_{BlindT0} = Konzentration DOC im Blind-Ansatz zum Zeitpunkt 0

DOC_{Theoretisch} = Konzentration DOC, verdünntes Abwasser analog Test-Ansatz

Nitrifikationshemmung

$$\text{Nitrifikationsrate} \left[\frac{\text{mg NO}_3 - \text{N}}{\text{L} * \text{h}} \right] = \frac{C_{\text{NO}_3-\text{N},4\text{h}} \left[\frac{\text{mg NO}_3 - \text{N}}{\text{L}} \right] - C_{\text{NO}_3-\text{N},0\text{h}} \left[\frac{\text{mg NO}_3 - \text{N}}{\text{L}} \right]}{4\text{h}}$$

$C_{\text{NO}_3,\text{T}1}$ = Nitratkonzentration 4h

$C_{\text{NO}_3,\text{T}0}$ = Nitratkonzentration 0h

$$\text{Nitrifikationshemmung [\%]} = \left(1 - \frac{\text{Nitrifikationsrate}_{\text{Testansatz}} \left[\frac{\text{mg NO}_3 - \text{N}}{\text{L} * \text{h}} \right]}{\text{Nitrifikationsrate}_{\text{Kontrolle}} \left[\frac{\text{mg NO}_3 - \text{N}}{\text{L} * \text{h}} \right]} \right) \times 100$$

4 Resultate

Der Testbericht sollte folgende Informationen beinhalten

Abwasserprobe (Ausgangsprobe)

- pH-Wert
- Leitfähigkeit
- DOC
- TOC

Abwasserprobe Testansatz

- pH-Wert (falls angepasst)
- Leitfähigkeit (falls angepasst)
- Verdünnung
- DOC im Ansatz

Belebtschlamm

- Herkunft (ARA und Ort der Probenahme)
- Datum der Probenahme

Resultate

- Nitrifikationshemmung Testansatz in %
- DOC-Elimination im Kontrollansatz nach 7d in %
- DOC-Elimination in % Plateau
- DOC-Elimination nach 3d in %
- DOC-Elimination nach 15min (Adsorption)

5 Literaturverzeichnis

- DIN. (1981). *DIN 38414-2 - 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.
- OECD. (17. 07 1992). 302 B, Zahn-Wellens/EMPA-Test. *OECD Guideline for testing of chemicals*. OECD.
- Schäfer , R., Thomann, M., Gulde, R., Eugster, F., Joss, A., & Piazzoli, A. (23. März 2023). Entwicklung des AIA-Tests. *Aqua & Gas*, S. 68-75.
- Shimadzu. (kein Datum). *TOC Application Handbook*. Duisburg: Shimazu Europa GmbH.