



Merkblatt Nr. 4.7/4

Stand: 06. März 2012

alte Nummer: 4.7/4

Ansprechpartner: Referat 67 und 68

Bioakkumulation bei Abwasseranlagen für biologisch abbaubares Abwasser

Inhaltsverzeichnis

1	Vorbemerkungen	2
2	Errichtung und Betrieb des Teiches	2
2.1	Errichtung des Teiches	2
2.2	Betrieb und Wartung	3
3	Entnahme und Untersuchung der Fische	5
3.1	Entnahme und Versand der Fische	5
3.2	Erforderliche Untersuchungen	6
3.3	Bewertung	7
3.4	Untersuchungsstellen	7
4	Anmerkung zum Tierschutzrecht	8
5	Besonderheiten bei industriellen Kläranlagen	8
5.1	Kriterien für die Vorauswahl geeigneter Verfahren	8
5.2	Geeignete Fischarten und erforderliche Wasserqualitätskriterien	9
5.2.1	Cypriniden (Karpfen, Goldorfe)	9
5.2.2	Salmoniden (Regenbogenforellen, Bachforellen)	10
5.2.3	Zusätzliche Kriterien	10
5.3	Rahmenbedingungen bei Aquarienhaltung	10
6	Weiterführende Informationen	12

1 Vorbemerkungen

Fische reichern als Endglieder der aquatischen Nahrungskette Schadstoffe aus dem Wasser und aus ihrer Nahrung, wie Algen, Kleinkrebse etc. an (Bioakkumulation). Nach der Eigenüberwachungsverordnung (EÜV) ist die Errichtung und der Betrieb von Teichen zur Bioakkumulation für alle Abwasseranlagen zur Behandlung von biologisch abbaubarem Abwasser mit einer Ausbaugröße von 100.000 EW und größer ($BSB_5 \geq 6.000 \text{ kg/d}$) vorgeschrieben. Diese Anforderung gilt sowohl für kommunale als auch für industrielle Abwasseranlagen.

Gemäß Art. 5 der EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) hat zudem jeder Mitgliedstaat für jede Flussgebietseinheit eine Überprüfung der Auswirkungen menschlicher Tätigkeiten auf den Zustand der Oberflächengewässer und des Grundwassers durchzuführen. Dies beinhaltet die Einschätzung und Ermittlung aller von kommunalen und industriellen Punktquellen ausgehenden signifikanten stofflichen Belastungen durch die im Anhang VIII und Anhang X der WRRL aufgeführten Stoffe. Die Strategien gegen die Wasserverschmutzung durch einzelne Schadstoffe oder Schadstoffgruppen sind gemäß Art. 16 WRRL in erster Linie auf prioritäre und prioritär gefährliche Stoffe auszurichten. Dabei sind die Emissionen prioritärer Stoffe schrittweise zu verringern und die Emissionen prioritär gefährlicher Stoffe schrittweise gänzlich einzustellen.

Die Bioakkumulation stellt in diesem Kontext einen wichtigen Baustein eines zeitgemäßen Monitoring-systems dar, das es erlaubt, den Anforderungen der EU-Wasserrahmenrichtlinie nachzukommen. Im gereinigten Abwasser lassen sich häufig gewässerrelevante Stoffe aufgrund der niedrigen Konzentration oder zeitlichen Schwankungen nur schwer nachweisen. Durch die Bioakkumulation können Hinweise auf diese Schadstoffe sowie auch Anhaltspunkte für mögliche Einflüsse des gereinigten Abwassers auf Gewässerorganismen erhalten werden. Der Nachweis bestimmter Stoffe mittels Bioakkumulation ist auch dann noch möglich, wenn das Abwasser wegen seiner für eine Fischhaltung ungünstigen Zusammensetzung im Zulauf der Akkumulationsbecken verdünnt werden muss.

Für die Durchführung der Bioakkumulation in Teichen auf kommunalen Kläranlagen haben sich die relativ unempfindlichen, schnellwüchsigen Karpfen als geeignete Testorganismen bewährt. Für industrielle Kläranlagen, die biologisch abbaubares Abwasser behandeln und bei denen im Rahmen der Eigenüberwachung ein Teich bzw. Aquarium zur Bioakkumulation zum Einsatz kommen soll bzw. bei denen aufgrund einer Einzelfallprüfung die Überwachung mittels Bioakkumulation für notwendig erachtet wird, ist die geeignete Fischart abhängig von der Qualität des Ablaufwassers. Das vorliegende Merkblatt gibt Hinweise zu Bau und Betrieb von Teichen zur Bioakkumulation, zu den Untersuchungen, wie sie in Anhang 2, Teil 1 der EÜV gefordert werden, sowie zu betriebsspezifischen Besonderheiten bei industriellen Kläranlagen.

2 Errichtung und Betrieb des Teiches

Die Vorgaben zur Errichtung und zum Betrieb eines Bioakkumulationsteiches gelten für kommunale Kläranlagen und für industrielle Kläranlagen, die biologisch abbaubares Abwasser behandeln. Sofern bei industriellen Kläranlagen aufgrund betriebsspezifischer Besonderheiten diese Vorgaben nicht umgesetzt werden können, sind die Kriterien und Randbedingungen im Einzelnen gemäß Punkt 5 festzulegen.

2.1 Errichtung des Teiches

Der Teich muss eine **Grundfläche** von 2 bis 3 m² pro Fisch und eine **Wassertiefe** von etwa 1,0 m haben. Die Teiche sind in Erdbauweise mit Folienabdichtung zu errichten. Der Folienboden wird mit einer mindestens 0,3 m dicken Schicht aus schluffigem Boden abgedeckt. Die verwendete Folie und der darauf eingebrachte Boden sind vor dem Einbringen auf ihre Eignung zu überprüfen (siehe unten).

- Anforderungen an die **einzubringende Folie**:

Eingesetzt werden soll eine Polyethylen- oder Polypropylen-Folie, die die Vorgaben der Kunststoff-Trinkwasser- (= KTW-) Empfehlung erfüllt, das heißt trinkwassergeeignet ist.

- Anforderungen an den **einzubringenden Boden**:

Eingebracht werden soll ein natürlich anstehender Boden, der nachweislich die Anforderungswerte der Tabelle 1 erfüllt. Mit den Probenahmen und den analytischen Untersuchungen sind geeignete, fachkundige Ingenieurbüros bzw. Untersuchungsstellen zu beauftragen, die die Grundsätze der analytischen Qualitätssicherung beachten.

Tab. 1: Orientierungswerte für den in den Teich einzubringenden Boden

Parameter	Anforderungswerte [mg/kg Trockenmasse]
Cadmium	1
Blei	70
Chrom	60
Kupfer	40
Quecksilber	0,5
Nickel	50
pH-Wert	5,5 – 8

(Quellen: Für die Schwermetalle: *Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung, Anhang 2, 4.1 Vorsorgewerte für Metalle* (1999); für den pH-Wert: *Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA), Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen – Technische Regeln, Teil „Boden“, Zuordnungswerte für uneingeschränkten Einbau, Tabelle II.1.2-2* (1997))

Der Teich ist **kontinuierlich** zu **beschicken**. Dabei soll eine Aufenthaltszeit des Wassers von mindestens drei Tagen gewährleistet sein.

Er muss mit einer **Abflusseinrichtung** versehen werden, die auch eine Entleerung zum Abfischen und für die Reinigung ermöglicht.

Auf eine gleichmäßige Durchströmung des Teiches ist zu achten.

2.2 Betrieb und Wartung

Vor dem erstmaligen Fischbesatz ist der Teich ca. ein Jahr lang unbesetzt zu betreiben. Der Teich ist kontinuierlich mit gereinigtem, in der Regel unverdünntem Abwasser zu beschicken. Bei industriellen Kläranlagen kann aufgrund der Qualität des gereinigten Abwassers eine Verdünnung mit Frischwasser (ggf. auch Grundwasser) erforderlich sein (vgl. Punkt 5.1)

Für die Bioakkumulation sollen **10** einsömmerige **Karpfen** (K1) im Teich gehältert werden. Bei industriellen Kläranlagen ist die Wahl der geeigneten Monitoringfische gemäß der unter Punkt 5.2 genannten Qualitätskriterien vorzunehmen.

Der Besatz erfolgt im März/April. Im Oktober/November desselben Jahres werden alle Karpfen abgefischt.

Die Karpfen für den Besatz der Teiche werden vom Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU) kostenlos mit Begleitanalytik bereit gestellt.

Um das Wohlergehen der Karpfen sicher zu stellen, soll

- der Sauerstoffgehalt im gesamten Teich etwa 6 mg/l betragen und darf 3 mg/l auch kurzzeitig nicht unterschreiten,
- der pH-Wert zwischen 6,5 und 8,5,
- die Leitfähigkeit zwischen 100 und 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ liegen,
- die Wassertemperatur zwischen 12 und 26 °C betragen und 10 °C auch kurzzeitig nicht unterschreiten (Ausnahme: im Winterhalbjahr),
- die pH- und temperaturabhängige Ammoniak-Konzentration $\leq 0,05$ mg/l sein. Diese Bedingung ist erfüllt, wenn die Ammoniumkonzentration ($\text{NH}_4\text{-N}$) im Teich die Werte der Tabelle 2 nicht überschreitet.

Tab. 2: Obere Grenze der noch zulässigen Ammoniumkonzentrationen $\text{NH}_4\text{-N}$ [mg/l] in Abhängigkeit von pH-Wert und Temperatur (berechnet nach EMERSON et al. 1975)

Temperatur [°C]	pH-Wert				
	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5
10	-	-	7,47	2,39	0,79
11	-	-	6,91	2,22	0,73
12	-	-	6,40	2,05	0,68
13	-	-	5,93	1,91	0,63
14	-	-	5,50	1,77	0,59
15	-	-	5,10	1,64	0,55
16	-	-	4,73	1,53	0,51
17	-	-	4,39	1,42	0,48
18	-	-	4,08	1,32	0,45
19	-	-	3,79	1,23	0,42
20	-	-	3,53	1,15	0,39
21	-	-	3,28	1,07	0,37
22	-	9,57	3,06	1,00	0,35
23	-	8,91	2,85	0,93	0,32
24	-	8,30	2,66	0,87	0,30
25	-	7,74	2,48	0,81	0,29
26	-	7,21	2,31	0,76	0,27

Im Teich sind stichprobenartig der Sauerstoffgehalt, der pH-Wert, die Leitfähigkeit, die Temperatur und die Ammonium-Konzentration zu überprüfen. Die Einhaltung der o. g. Werte ist, falls nötig, mit technischen Maßnahmen (z. B. Belüftung, Frischwasserzugabe) sicherzustellen.

Eine zusätzliche **Fütterung** der Karpfen ist **nicht** zulässig. Sie könnte wegen möglicher Schwermetallanreicherungen aus den Futtermitteln zu Verfälschungen führen.

Der Pflanzenbewuchs im Teich ist möglichst gering zu halten. Gegebenenfalls ist der Pflanzenbewuchs zu entfernen.

Die Karpfen sind durch geeignete Maßnahmen, z. B. Netzbespannung oder Umzäunung der Teiche, vor Kormoranen, Reiher o. ä. zu schützen.

Am Ende der Bioakkumulationssaison sind die Teiche abzulassen und der Pflanzenbewuchs ist so weit wie möglich zu beseitigen. Die Bodenschicht ist bei problematischer Schlammansammlung in maximal der Hälfte der Teichfläche zu entfernen. Danach sind die Teiche über den Winter wie üblich kontinuierlich mit gereinigtem, unverdünntem Abwasser zu beschicken.

3 Entnahme und Untersuchung der Fische

3.1 Entnahme und Versand der Fische

Am Ende der Akkumulationszeit im Oktober/November sind alle Karpfen aus dem Teich zu entnehmen. Die Fische werden entweder von der beauftragten Untersuchungsstelle an Ort und Stelle selbst oder vom Betreiber nach Rücksprache mit der Untersuchungsstelle fachgerecht getötet (siehe auch Punkt 4).

Die Daten der Karpfen (Gewicht und Länge) sind gemäß dem Formblatt zur Dokumentation der Bioakkumulation (Anlage 1) festzuhalten.

Drei ganze Karpfen (nicht ausgenommen!) sind sofort einzeln in Aluminiumfolie zu verpacken, eindeutig und dauerhaft mit laufenden Nummern (Karpfen 1 bis Karpfen 3, Name der Kläranlage, Datum) zu beschriften und anschließend bei – 20 °C einzufrieren.

Die **restlichen Karpfen** sind fachgerecht zu entnehmen und zu filetieren. Um ein Ausbluten zu verhindern, sollen die Filets unmittelbar nach dem Töten und Vermessen der Fische abgetrennt werden. Die Karpfen dürfen vor dem Filetieren auf keinen Fall eingefroren werden.

Um eine **Kontamination** der Fischfilets zu vermeiden, ist auf größte Sorgfalt bei der Filetierung und Sauberkeit der Arbeitsmaterialien achten. Die Benutzung von Einmalhandschuhen wird empfohlen.

Für die Gewinnung und Enthäutung der Filets werden ein Fischfiletirmesser, eine Gabel und ein unbehandeltes Küchenholzbrett benötigt. Vor dem Filetieren sollen diese Gegenstände gründlich in Leitungswasser, ohne Verwendung von Spül- oder Reinigungsmitteln, gespült und danach abgetrocknet werden. Nach dem Entfernen der Haut werden die Filets aus der Bewegungsmuskulatur der seitlichen Körperwände gewonnen. Es ist nur Muskulatur oberhalb der Seitenlinie zu verwenden (Tipps zum Filetieren der Karpfen siehe Anlage 3).

Die so gewonnenen und enthäuteten Fischfilets werden **sofort** einzeln in Aluminiumfolie verpackt, eindeutig und dauerhaft mit laufenden Nummern (Karpfen 4 bis Karpfen 10, Name der Kläranlage, Datum) beschriftet und anschließend bei – 20 °C eingefroren.

An die **Untersuchungsstelle** werden jeweils beide eingefrorenen **Filets von drei Karpfen** in isolierenden Verpackungsmaterialien (z. B. Styropor oder Zeitungspapier) mit ausreichend Kühlakkus sowie dem dazugehörigen Formblatt direkt per Express geschickt.

Die **drei ganzen** Karpfen sowie die **restlichen Fischfilets**, die nicht für die Untersuchungen benötigt werden, bitten wir für eventuell erforderliche Sonderuntersuchungen zeitgleich mit dem Versand an die Untersuchungsstelle und nach dem gleichen Versandmodus an das **Bayerische Landesamt für Umwelt**, Dienststelle Wielenbach, Ref. 78, - Karpfenmonitoring -, Demollstr. 31, 82407 Wielenbach, zu schicken. Ergebnisse eventueller Sonderuntersuchungen werden mitgeteilt.

Der Versand darf **nicht** über Wochenende oder Feiertage erfolgen.

Ein Fließschema mit den detaillierten Informationen zum Abschluss einer Bioakkumulationsphase ist in Anlage 2 dargestellt.

3.2 Erforderliche Untersuchungen

Die Untersuchungen werden aus einer Mischprobe der Fischmuskulatur (Filet) von drei Karpfen durchgeführt. Von dieser Mischprobe ist eine Doppelbestimmung der in Tabelle 3 aufgeführten Schwermetallkonzentrationen vorzunehmen. Dabei sind die geforderten Bestimmungsgrenzen einzuhalten (siehe Tabelle 4). Die Analyseergebnisse sind auf das **Frischgewicht** (mg/kg) zu beziehen. Folgende Untersuchungen sind durchzuführen:

Tab. 3: Methoden zur Analytik der Schwermetallkonzentrationen

Parameter	GFAAS – Methode	ICP-MS – Methode
Blei	DIN 38406, Teil 6	DIN EN ISO 17294-2
Cadmium	DIN EN ISO 5961	DIN EN ISO 17294-2
Chrom	DIN EN 1233	DIN EN ISO 17294-2
Kupfer	DIN 38406, Teil 7	DIN EN ISO 17294-2
Nickel	DIN 38406, Teil 11	DIN EN ISO 17294-2
Quecksilber	DIN EN 1483 (Kaltdampf-AAS)	-

Die Bestimmung der Elementgehalte ist nach vollständigem Aufschluss des Probenmaterials (z. B. Mikrowellendruckaufschluss mit Salpetersäure) in Anlehnung an o. g. Methoden aus dem Wasserbereich, z. B. mittels Graphitrohr-Atomabsorptionsspektroskopie (GFAAS) oder mittels Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS) sowie für Quecksilber mittels Kaltdampf-AAS durchzuführen (siehe Tabelle 3). Für den Aufschluss ist eine ausreichende Probeneinwaage (etwa 1-2 g Fischprobe, bezogen auf das Frischgewicht) einzusetzen, um die geforderten Bestimmungsgrenzen (siehe Tabelle 4) zu erreichen.

Die Eigenüberwachungsverordnung verlangt außerdem die Bestimmung halogenorganischer Verbindungen. Auf eine pauschale Untersuchung dieser Stoffe wird verzichtet. Bei Bedarf wird das Landesamt für Umwelt entsprechende Untersuchungen aus den übersandten Rückstellproben durchführen. Den betroffenen Kläranlagen sollte daher eine Ausnahmegenehmigung gemäß § 7 EÜV durch die Kreisverwaltungsbehörden erteilt werden.

Bei industriellen Kläranlagen sind zusätzlich ggf. weitere betriebsspezifische Parameter bzw. weitere Organe der Fische in die Untersuchungen einzubeziehen (siehe Punkt 5).

Die Analyseergebnisse sowie Gewicht und Länge der Karpfen sind im **Formblatt** zur Dokumentation der Bioakkumulation (siehe Anlage 1) zu protokollieren. Gewicht und Länge der Karpfen vor der Bioakkumulation werden vom LfU ermittelt und in das Formblatt eingetragen.

Um eine Aussage zur Stoffakkumulation ohne den Einfluss von geklärtem Abwasser machen zu können, werden vom LfU Vergleichskarpfen über den Sommer in der Teichanlage in Wielenbach gehalten, im Herbst entnommen und bezüglich ihres Schadstoffgehaltes untersucht. Die Analyseergebnisse werden vom LfU in das „Dokumentationsformblatt mit aktuellen Besatzfischdaten“ eingetragen und im Internet (siehe Punkt 6) in der Anlage 1.2 zu diesem Merkblatt veröffentlicht. Im Formblatt werden die Schwermetallgehalte dieser Vergleichskarpfen aus dem unbelasteten Teich (**Nullprobe**) den Werten der Karpfen aus den Bioakkumulationsteichen gegenüber gestellt.

3.3 Bewertung

Das ausgefüllte Formblatt sowie eine Kopie des Prüfberichtes sind gemeinsam mit dem Jahresbericht spätestens bis zum 01. März des folgenden Kalenderjahres dem zuständigen Wasserwirtschaftsamt vorzulegen.

Werden in der Muskulatur der eingesetzten Karpfen nach der Akkumulationsdauer keine oder nur geringe Anreicherungen festgestellt, so sind diesbezüglich nachteilige Einflüsse sowohl auf die aquatische Lebensgemeinschaft des Gewässers, in das das gereinigte Abwasser eingeleitet wird, als auch von Vögeln und Säugetieren, die sich von Organismen der aquatischen Nahrungskette ernähren, nicht zu befürchten. Als gering sind Anreicherungen der akkumulierbaren Stoffe anzusehen, wenn sie die in der Tabelle 4 aufgeführten Orientierungswerte nicht erreichen. Mit großer Wahrscheinlichkeit kann dann davon ausgegangen werden, dass auch keine Beeinträchtigungen im Zulauf oder Probleme im internen Betrieb der Kläranlage mit den jeweiligen Stoffen bestehen.

Erreichte bzw. überschrittene Werte können auf Unregelmäßigkeiten der jeweiligen Stoffe im Zulauf oder auf Probleme im internen Betrieb der Kläranlage hinweisen. Den Ursachen ist parameterbezogen nachzugehen. Dabei sind z. B. im Kläranlagenbetrieb Fällungs- und Flockungshilfsmittel sowie sonstige eingesetzte Betriebsmittel zu überprüfen.

Tab. 4: Orientierungswerte und geforderte Bestimmungsgrenzen für die Bewertung der Untersuchungsergebnisse (bezogen auf das Frischgewicht)

Untersuchungsparameter	Orientierungswerte (mg/kg Frischgewicht)	Geforderte Bestimmungsgrenzen (mg/kg Frischgewicht)
Blei	0,20	0,05
Cadmium	0,02	0,005
Chrom	0,50	0,05
Kupfer	1,00	0,05
Nickel	0,50	0,05
Quecksilber	0,15	0,05

Hinweise auf mögliche Verunreinigungen bzw. Einflüsse durch Einleiter im Kanalisationseinzugsgebiet können je nach Parameter aus den Anhängen einschließlich Erläuterungen zur Abwasserverordnung, dem Merkblatt DWA-M 115 „Indirekteinleitung nicht häuslichen Abwassers“ und den satzungsrechtlichen Vorschriften für Indirekteinleiter erhalten werden.

Weitere Informationen dazu können auch dem Merkblatt 4.5/14 „Wassergefährdende Stoffe in Hilfsmitteln zur Abwasser- und Schlammbehandlung“ des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (http://www.lfu.bayern.de/wasser/merkblattsammlung/teil4_oberirdische_gewaesser/index.htm) entnommen werden.

3.4 Untersuchungsstellen

Die Untersuchungen sind von Untersuchungsstellen durchzuführen, die nachweisbar in der Lage sind, die Untersuchungsparameter entsprechend den angegebenen Methoden zu ermitteln. Die Bestimmungsgrenze der angewandten Verfahren (siehe Tabelle 4) muss vom beauftragten Labor garantiert werden. Es wird empfohlen, vor Auftragsvergabe der Analytik sich bei dem Labor über die Teilnahme an Maßnahmen zur analytischen Qualitätssicherung für Schwermetalle, Matrix Fisch, zu informieren.

4 Anmerkung zum Tierschutzrecht

Dieser Test zum Nachweis akkumulierbarer Schadstoffe in biologisch gereinigtem Abwasser von kommunalen Kläranlagen ist nach Feststellung des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Gesundheit (StMUG) nicht anzeigepflichtig. Das Bayerische Landesamt für Umwelt teilt dem Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit bis spätestens zum 15. März des Folgejahres mit, wie viele der aus Wielenbach abgegebenen Karpfen bei den einzelnen Abwasserbehandlungsanlagen in die Bioakkumulationsteiche eingesetzt wurden.

In industriellen Kläranlagen können im Einzelfall die Voraussetzungen für einen anzeigepflichtigen Tierversuch vorliegen. Entscheidend ist, ob den Fischen während der Hälterung Schmerzen, Leiden oder Schäden zugefügt werden **können**. In diesem Fall ist der Test bei der zuständigen Regierung - Sachgebiet Veterinärmedizin - anzuzeigen; die für den Test verwendeten Fische sind im Rahmen der jährlichen Versuchstiermeldung den Behörden zu melden.

Für das fachgerechte Entnehmen und Töten der Fische ist ein Sachkundenachweis (z. B. Fischereischein - mögliche Ansprechpartner sind örtliche Fischereivereine) gemäß Tierschutzgesetz § 4, Absatz 1a, Satz 3 erforderlich (siehe Punkt 3.1).

5 Besonderheiten bei industriellen Kläranlagen

Für industrielle Kläranlagen, die biologisch abbaubares Abwasser behandeln und bei denen im Rahmen der Eigenüberwachung ein Teich bzw. Aquarium zur Bioakkumulation zum Einsatz kommen soll bzw. bei denen aufgrund einer Einzelfallprüfung die Überwachung mittels Bioakkumulation für notwendig erachtet wird, gelten die unter Punkt 2 und 3 formulierten Ausführungen sinngemäß. Zusätzlich zu den unter Punkt 3.2 gelisteten Parametern sind ggf. weitere betriebsspezifische Parameter bzw. weitere Organe der Fische in die Untersuchungen einzubeziehen.

Sofern aufgrund betriebsspezifischer Besonderheiten die Vorgaben unter Punkt 2 und 3 nicht entsprechend umgesetzt werden können, sind bei den industriellen Kläranlagen die nachfolgend genannten Kriterien und Randbedingungen zu beachten. Diese sind ggf. im Einzelnen festzulegen.

Um für die eingesetzten Fische auch bei industriellem Abwasser möglichst artgerechte Haltungsbedingungen zu gewährleisten, sind die nachfolgenden Vorgaben zu beachten. Zusätzlich ist die Art der Umsetzung bei Industriebetrieben mit dem zuständigen Wasserwirtschaftsamt sowie dem Bayerischen Landesamt für Umwelt abzustimmen, um eine möglichst einheitliche Lösung und vergleichbare Verhältnisse zu erreichen.

5.1 Kriterien für die Vorauswahl geeigneter Verfahren

Inwieweit mit dem Abwasser aus Industriekläranlagen die Durchführung einer Bioakkumulation sinnvoll und möglich ist, muss für jeden Einzelfall untersucht und beurteilt werden. Die nachfolgend genannten Wasserqualitätskriterien bieten eine Orientierungshilfe zur Wahl der Monitorfische und ihrer Haltungsbedingungen, welche in Abstimmung mit dem zuständigen Wasserwirtschaftsamt und dem Bayerischen Landesamt für Umwelt erfolgen sollte. Grundsätzlich kommt für die Durchführung der Bioakkumulation die Haltung in Teichen oder Aquarien in Frage. Bei der Durchführung der Bioakkumulation in Teichen muss, analog zu den Vorgaben bei kommunalen Kläranlagen, das Abwasser so beschaffen sein, dass vor dem Einsetzen der Fische eine ausreichende natürliche Futtergrundlage (Benthosorganismen) sichergestellt ist.

Die Vorgaben unter Punkt 2 zur Errichtung und zum Betrieb eines Teiches gelten auch bei biologisch behandeltem industriellem Abwasser. Sofern Abwässer nicht unverdünnt eingesetzt werden können, sind Verdünnungen des Abwassers mit Frischwasser (ggf. auch Grundwasser) bis zum Faktor 1:10 als noch akzeptabel zur Beobachtung von ggf. stattfindenden Bioakkumulationseffekten anzusehen.

Industriebranchen, bei denen das Abwasser i. d. R. nur geringfügig verdünnt werden muss, sind z. B. Papier-, Stärke- und Lebensmittelverarbeitung. Faktoren, die eine Verdünnung erforderlich machen, sind im Wesentlichen zu hohe Temperaturen und zu hohe Salzgehalte sowie fischtoxische Komponenten des Abwassers.

Eine Verdünnung des Abwassers mit Wasser aus Oberflächengewässern kann aufgrund nicht auszuschließender Vorbelastungen mit den zu analysierenden Stoffen und daraus resultierender Fehlinterpretationen nicht akzeptiert werden.

Ist aufgrund der unter Punkt 5.2 genannten Qualitätskriterien der Einsatz von Forellen angezeigt, ist hier die Aquarienhaltung vorzuziehen, da die erforderlichen Haltungsbedingungen für Forellen in Teichen üblicherweise nicht eingehalten werden können.

Bei Aquarienhaltung ist ein Kontrollansatz mit Verdünnungswasser (ohne Abwasseranteil) und eine Fütterung der Fische erforderlich (vgl. Punkt 5.3). Da eine Anreicherung der für die Untersuchung relevanten Schadstoffe u. U. auch über die zugeführte Nahrung erfolgen kann, sind von den verwendeten Futtermitteln repräsentative Rückstellproben zu nehmen. Die Rückstellproben sind bis zum Vorliegen der Ergebnisse der Fischuntersuchungen aufzubewahren. Bei ggf. ermittelten Auffälligkeiten in den Fischproben sind nachfolgend auch Analysen der Rückstellproben des Futtermittels durchzuführen.

Ergibt die Vorprüfung, dass die geforderten Kriterien für keine der genannten Fischarten erreicht werden können, so ist die weitere Vorgehensweise mit dem Wasserwirtschaftsamt und dem Bayerischen Landesamt für Umwelt abzustimmen.

Ein Fließschema für die Vorauswahl der geeigneten Verfahren zur Bioakkumulation bei Industriebetrieben ist in Anlage 4 dargestellt.

5.2 Geeignete Fischarten und erforderliche Wasserqualitätskriterien

Als geeignete Fischarten für die Bioakkumulation kommen Cypriniden (Karpfen, Goldorfen) und Salmoniden (Regenbogenforellen, Bachforellen) in Frage.

5.2.1 Cypriniden (Karpfen, Goldorfe)

Die Cypriniden zeichnen sich dadurch aus, dass sie auch hohe Wassertemperaturen bis zu 26°C und kurzfristig niedrige Sauerstoffgehalte von 3 mg/l tolerieren. Bei industriellen Kläranlagen, deren Ablaufwasser eine höhere Salinität aufweist, sind Karpfen (*Cyprinus carpio*) jedoch aufgrund ihrer geringen Salinitätstoleranz (< 2 ‰) für ein Akkumulationsmonitoring in der Regel ungeeignet. Im Vergleich zu Karpfen weisen Goldorfen (*Leuciscus idus*) eine bessere Verträglichkeit gegenüber höheren Salzgehalten (bis 6 ‰) im Wasser auf. Die für die Haltung von Cypriniden notwendigen Wasserqualitätskriterien sind in Tabelle 5 zusammengestellt.

Tab. 5: Wasserqualitätskriterien für Cypriniden (modifiziert nach BOHL 1999)

Wassertemperatur	12°C – 26°C	Nitrit	< 0,1 mg/l
Sauerstoffgehalt	3 – 9 mg/l	Nitrat	< 100 mg/l
pH-Wert	6,5 – 8,5	Chlor	< 0,02 mg/l
BSB₅	< 10 mg/l	Chlorid	< 50 mg/l
Ammoniak	< 0,05 mg/l	Salinität	< 2 ‰

5.2.2 Salmoniden (Regenbogenforellen, Bachforellen)

Salmoniden wie Regenbogenforellen (*Oncorhynchus mykiss*) und Bachforellen (*Salmo trutta*) haben im Vergleich zu Karpfen andere Ansprüche an die Wasserqualität (vgl. Tabelle 6). Insbesondere sollte eine Wassertemperatur von 16°C nicht über- und ein Sauerstoffgehalt von 7 mg/l nicht unterschritten werden. Die Toleranzgrenze hinsichtlich der Salinität liegt jedoch mit 2 ‰ vergleichsweise hoch.

Aufgrund der guten Verträglichkeit gegenüber höheren Salzgehalten sind Forellen prinzipiell gut geeignet für ein Akkumulationsmonitoring im Ablauf industrieller Kläranlagen mit höherer Salinität des Abwassers. Zur Vermeidung von Sozialstress und um einen guten Versuchsverlauf auch bei langen Expositionszeiten bis zu sechs Monaten zu ermöglichen ist auf ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Aquariengröße, Fischbesatz und Wasserdurchflussrate zu achten (vgl. Tabelle 7). Da die Salmoniden über die Wasseroberfläche springen können, ist eine weiche Abdeckung des Aquariums erforderlich.

Tab. 6: Wasserqualitätskriterien für Salmoniden (aus HOCHLEITHNER 2002)

Wassertemperatur	4°C – 16°C	Nitrit	< 0,1 mg/l
Sauerstoffgehalt	> 7 mg/l	Nitrat	< 100 mg/l
pH-Wert	6,5 – 8	Chlor	< 0,01 mg/l
Kohlendioxid	< 10 mg/l	Chlorid	< 50 mg/l
Gesamtgassättigung	< 102 ‰	Salinität	< 2 ‰
BSB₅	< 7 mg/l	Absetzbare Stoffe	< 10 mg/l
Ammoniak	< 0,05 mg/l	Leitfähigkeit	> 80 µS/cm

5.2.3 Zusätzliche Kriterien

Die in den Tabellen 5 und 6 genannten Kriterien gelten für Teiche und Aquarienhaltung gleichermaßen. Die in Tabelle 2 aufgeführten zulässigen und von der Temperatur sowie dem pH-Wert abhängigen Ammoniumkonzentrationen sind zu beachten.

Zu den genannten und ggf. zusätzlich zu berücksichtigenden Parametern (z. B. gem. Bescheid begrenzte Schwermetalle) sind vom Betreiber bereits im Vorfeld entsprechende Daten (Durchschnittswerte, Maximalwerte) aus der Eigen-/Fremdüberwachung oder sonstigen Untersuchungen vorzulegen.

Sofern die relevanten Parameter in dem zur Bioakkumulation vorgesehenen Abwasser, ggf. mit einer maximalen Verdünnung von 1 : 10, für Cypriniden eingehalten werden können, sind die Teiche bzw. bei Nährstoffarmut die Aquarien vorzugsweise mit Karpfen oder in Ausnahmefällen (Salinität) mit Goldfischen als Testfischen zu besetzen.

Falls auch bei Verdünnung die Salinität für Cypriniden noch zu hoch ist, sind die Parameter für Salmoniden zu überprüfen und bei geeigneter Abwasserzusammensetzung Forellen in Aquarien zu halten.

5.3 Rahmenbedingungen bei Aquarienhaltung

In Tabelle 7 werden die jeweils auf die Bedürfnisse der einzelnen Fischarten abgestimmten Vorschläge zur Haltung in Aquarien vorgestellt. Bei Aquarienhaltung werden die Fische generell gefüttert. Parallel zur Exposition in geklärtem Abwasser muss eine Exposition in Trink-/Brauchwasser erfolgen.

Dieser Kontrollansatz ist mit der gleichen Fischart und Anzahl zu besetzen. Durchströmung und Fütterung erfolgen in gleicher Weise wie bei dem Aquarium, das mit (verdünntem) Abwasser betrieben wird.

Die Konstanz des Wasserdurchflusses sollte über elektronische Durchflussmesser reguliert werden. Um in den Aquarien eine Strömung zu erzeugen und den Sauerstoffgehalt ohne Ausstrippeffekte zu erhöhen, wird die Verwendung von Strömungspumpen empfohlen. Zudem ist der Bodengrund des Aquariums undurchsichtig zu gestalten.

Tab. 7: Rahmenbedingungen für die Aquarienhaltung verschiedener Fischarten

Fischart	Karpfen	Goldorfen	Forellen
Fassungsvermögen Aquarium	360 l	360 l	360 l
Fischbesatz	30 zweisömmrige Karpfen a'200 g	30 zweisömmrige Goldorfen a'50 - 80 g	30 zweijährige Forellen a'150 - 200 g
Wasseraustausch	1 x pro Stunde	1 x pro Stunde	1 x pro Stunde
Fütterung	2 x pro Woche Jeweils 1 % des Körpergewichts		

Bei der Verwendung von Aquarien ist auch im Winter eine Fischhaltung möglich. Deshalb ist in diesen Fällen die Bioakkumulation über ein ganzes Jahr zu erfassen. Als Ende des Akkumulationszeitraums sollte entsprechend den Vorgaben für die Bioakkumulation in Teichen der Oktober gewählt werden. Dabei kann beim Aquarienbetrieb die Begleitanalytik vor dem Einsatz der Fische unterbleiben und durch eine Analyse von Fischen des Kontrollansatzes am Ende der Akkumulationsphase ersetzt werden. Sofern ein Verbleib der Fische in den Aquarien über den gesamten Untersuchungszeitraum von einem Jahr nicht praktikabel ist, sind in regelmäßigen Abständen (z.B. alle 3 bzw. alle 6 Monate) alle Fische aus dem Akkumulations- und Kontrollbecken zu entnehmen und wie unter Punkt 3.1 beschrieben für die Untersuchungen vorzubereiten und einzufrieren. Die getöteten und nicht für die Untersuchungen benötigten Exemplare sind ordnungsgemäß zu entsorgen.

Die Aquarien sind nach jeder Entnahme der Fische zu reinigen und umgehend mit neuen Exemplaren (vgl. Tab. 7) dieser Fischart zu besetzen.

Aus den Fischfilets des Akkumulations- und des Kontrollansatzes sind jeweils zwei repräsentative Mischproben zu erstellen und wie unter Punkt 3 beschrieben sowohl an die jeweilige Untersuchungsstelle als auch an das Bayerische Landesamt für Umwelt zu senden. Zusätzlich sind drei ganze Fische wie unter Punkt 3 beschrieben an das Bayerische Landesamt für Umwelt als Rückstellprobe zu schicken. Durch die zeitgleiche Untersuchung der Akkumulations- und Kontrollansätze sind Aussagen zu den aus dem Abwasser akkumulierten Anteilen der jeweiligen Parameter möglich.

Zur Klärung von Detailfragen bei einer Aquarienhaltung mit Fütterung sollte eine Einbindung des Bayerischen Landesamtes für Umwelt erfolgen.

6 Weiterführende Informationen

Dieses **Merkblatt** sowie detaillierte und **aktuelle Informationen** über die Bioakkumulation bei bayerischen Kläranlagen (Anlage 1.1: Dokumentationsformblatt, Anlage 1.2: Dokumentationsformblatt mit aktuellen Besitzfischdaten, Anlage 2: Fließschema zur Vorgehensweise zum Abschluss einer Bioakkumulationsphase, Anlage 3: Tipps zur Filetierung, Anlage 4: Bioakkumulation bei Industriebetrieben) ist auf folgender Internetseite des Bayerischen Landesamtes für Umwelt zu finden:

Merkblatt 4.7/4 „Bioakkumulation bei Abwasseranlagen für biologisch abbaubares Abwasser“

http://www.lfu.bayern.de/wasser/merkblattsammlung/teil4_oberirdische_gewaesser/index.htm

Weiterführende Informationen:

BAYER. LANDESAMT FÜR UMWELT (2005/06 und 2006/07): Untersuchung von Fischen aus bayerischen Gewässern – Fisch- und Muschelschadstoffmonitoring-Programm, Bericht 2005/2006 und 2006/2007. Bayer. Landesamt für Umwelt, München [Hrsg.], Selbstverlag.

BAYER. LANDESAMT FÜR UMWELT (2005): Wassergefährdende Stoffe in Hilfsmitteln zur Abwasser- und Schlammbehandlung, Merkblatt 4.5/14
http://www.lfu.bayern.de/wasser/merkblattsammlung/teil4_oberirdische_gewaesser/index.htm

BOHL, M. (1999): Zucht und Produktion von Süßwasserfischen. BLV Verlagsgesellschaft.

DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL E.V. (2004): Merkblatt DWA-M 115, Indirekteinleitung nicht häuslichen Abwassers. DWA-Bundesgeschäftsstelle, Hennef.

EMERSON, K., RUSSO, R. C., LUND, R. E. & THURSTON, R.V. (1975): Aqueous Ammonia Equilibrium Calculations: Effect of pH and Temperature. J. Fish. Res. Board Can., Vol. 32 (12), S. 2379 – 2383.

FENT, K. (2007): Ökotoxikologie. Thieme Verlag, Stuttgart.

GELDDHAUSER, F. & GERSTNER, P. (2003): Der Teichwirt. Parey Buchverlag Berlin.

HOCHLEITHNER, M. (2002): Lachsfische. Verlag Aqua Tech Publ., Kitzbühel.

LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (2002): Polychlorierte Biphenyle und Chlorpestizide in Fischen aus baden-württembergischen Seen und dem Bodensee. LfU Baden-Württemberg Karlsruhe [Hrsg.], Selbstverlag.

SCHÄPERCLAUS, W. (1990): Fischkrankheiten. Akademie-Verlag Berlin.

SCHÄPERCLAUS, W. & VON LUKOWICZ, M. (1998): Lehrbuch der Teichwirtschaft. Parey Buchverlag Berlin.

WACHS, B. (1998a): Heavy Metal Contamination of the Danubian Bioresource Fish. Danubius Vol. 7 S. 43, Belgrade.

WACHS, B. (1998b): A qualitative classification for the evaluation of the heavy metal contamination in river ecosystems. Verh. Internat. Verein. Limnol. 26, 1289-1294, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung D-70176 Stuttgart.

Dieses Merkblatt ersetzt das Merkblatt Nr. 4.7/4 vom 18.08.2009.

Impressum:

Herausgeber:
Bayerisches Landesamt für Umwelt
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg

Telefon: (08 21) 90 71-0
Telefax: (08 21) 90 71-55 56
E-Mail: poststelle@ifu.bayern.de
Internet: <http://www.ifu.bayern.de>

Postanschrift:
Bayerisches Landesamt für Umwelt
86177 Augsburg

Bearbeitung:
Ref. 67 / Claudia Koschi
Stand:
März 2012