

Gewässerschutz in kommerziellen Fischzuchtanstalten mit Durchlaufanlagen

(Vollzugshilfe für den Kanton Bern)

Bern, 28. Februar 2008

Revidiert	Betrifft	Visum
16.1.14	Tabelle Beurteilungsstufen für Gesamt-P unfiltriert, S.5	Zr

In der Arbeitsgruppe haben folgende Mitglieder mitgewirkt:

Fischereiinspektorat:

Dr. Thomas Vuille, Bereichsleiter Technische Eingriffe
Beat Rieder, Fischereiaufseher
Martin Flück, Fischereiaufseher

Veterinärdienst:

Dr. Norbert Stäuber, Kantonstierarzt Stellvertreter / Tierseuchen

Amt für Gewässerschutz:

Dr. Ueli Ochsenbein, Abteilungsvorsteher Gewässer- und Bodenschutzlabor
Kurt Gasser, Gewässerschutzinspektor
Marcel Zürcher, Gewässerschutzinspektor (Vorsitz und Schriftführer)

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung

- 1. Ausgangslage**
- 2. Abwasser aus Fischzuchtanlagen**
 - 2.1 Nährstoffbelastung**
 - 2.2 Einfluss auf Oberflächengewässer**
 - 2.3 Kennzahl Fischfuttermenge/Qualität Oberflächengewässer**
- 3. Mineralisation der Schlämme / Freisetzung von Nährstoffen**
- 4. Stand der Technik**
 - 4.1 Betriebsvorschrift**
 - 4.2 Futtermittel**
 - 4.3 Medikamente, Antibiotika (-Futtermittel) und Desinfektionsmittel**
 - 4.4 Entschlammung**
 - 4.5 Schlammmentsorgung**
 - 4.6 Biologische Abwasserreinigungsanlagen**
 - 4.7 Spezialfall "Bio-Fischzuchtanlagen"**
- 5. Auflagen von Seiten Veterinär- und Lebensmittelgesetzgebung**
- 6. Möglichkeiten zur Optimierung der Abwasserqualität**
- 7. Schlussfolgerungen**

Literaturverzeichnis

Definitionen

- Beilage 1: Beurteilung der maximal gewässerverträglichen Fischfuttermenge**
Beilage 2: Mineralisation der Schlämme / Freisetzung von Nährstoffen

Zusammenfassung

Die Vorschriften der Eidg. Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998 (GSchV) bezüglich Fischzuchtanlagen sind nicht sehr konkret resp. zumindest interpretationsbedürftig. In einer Arbeitsgruppe mit Mitgliedern des Fischereinspektorats, des Veterinärdienstes sowie des Amtes für Gewässerschutz des Kantons Bern wurden diverse Fakten zusammengetragen, die aufzeigen, welchen Einfluss Fischzuchtanlagen auf Oberflächengewässer haben resp. welche Anforderungen erfüllt werden müssen, damit die Anlagen dem Stand der Technik genügen.

Im ersten Teil (Kapitel 2) wurde eine Berechnungsgrundlage ausgearbeitet, welche gebraucht werden kann um die **Nährstofffrachten** "gelöste organische Stoffe (DOC)", Stickstoff (N) und Phosphor (P) pro Fischbestand zu berechnen. Andererseits wurde definiert, welche **Qualitätsgrenzen des Oberflächengewässers** durch die Einleitung von Abwasser aus Fischzuchtanlagen toleriert werden können. Mit diesen beiden Angaben, kann nun, abhängig vom Oberflächengewässer, die max. tolerierbare Produktionskapazität von Fischzuchtanlagen bestimmt werden. Der Aspekt Desinfektionsmittel, Medizinalstoffe sowie der Einsatz von Chemikalien wird bei dieser Art von Beurteilung nicht berücksichtigt.

Im zweiten Teil (Kapitel 3) wird für verschiedene Themen versucht den "Stand der Technik" zu definieren. Es wurde insbesondere festgestellt, dass der Anteil an freigesetzten Nährstoffen aus dem Schlamm einer Fischzuchtanlage einen wesentlichen Anteil der Gesamtbelastung der Fischzuchtanlage ausmacht.

1. Ausgangslage

Kommerzielle Fischzuchten sind nicht zu vernachlässigende Quellen von Nährstoffeinträgen in die Oberflächengewässer. Dabei spielen insbesondere die gelösten organischen Stoffe (DOC), der Stickstoff (N) und der Phosphor (P) eine bedeutende Rolle. Ausserdem werden bei dieser Art von intensiver Tierhaltung regelmässig Desinfektionsmittel, aber auch diverse Medikamente eingesetzt. Aus diesem Grund wird vermutet, dass bei kleinen Gewässern eine übermässige Belastung stattfindet. In diesem Zusammenhang stellt sich nun die Frage, welche Belastung, ausgehend von einer Fischzuchtanlage, einem bestimmten Oberflächengewässer zugemutet werden kann.

In der Gewässerschutzverordnung (GSchV) Anhang 2, Ziffer 2 a-d haben wir folgende Anforderungen:

Durch Abwassereinleitung darf sich im Gewässer nach weitgehender Durchmischung

- a) kein Schlamm bilden;
- b) keine Trübung, keine Verfärbung und kein Schlamm bilden, ausgenommen bei starken Regenfällen;
- c) der Geruch des Wassers gegenüber dem natürlichen Zustand nicht störend verändern;
- d) kein sauerstoffarmer Zustand und kein nachteiliger pH-Wert ergeben

Neben diesen, muss die Behörde gemäss Anhang 3.3, Ziffer 1 für anderes verschmutztes Abwasser, z.B. aus Fischzuchtanlagen, die weiteren Anforderungen an die Einleitung festlegen. Dabei sollen die **Eigenschaften des Abwassers** und der **Stand der Technik bei Fischzuchtanlagen** als auch der **Zustand des Gewässers** in welches das Abwasser eingeleitet wird, berücksichtigt werden. Im Weiteren gelten gemäss Anhang 3.3, Ziffer 27 für Fischzuchtanlagen unter anderem folgende Anforderungen:

- es darf nur **phosphorarmes Futtermittel** verwendet werden
- die Anlagen müssen **nach Anordnung der Behörde entschlammt** werden
- werden **Zusatzstoffe verwendet, die Gewässer verunreinigen können**, müssen zum Schutz der Gewässer die Anforderungen ebenfalls festgelegt werden.

Im Folgenden wird versucht die offenen Fragen (**Fettschrift**) zu beantworten um einerseits die Oberflächengewässer vor übermässiger Belastung zu schützen und andererseits im Bereich der Fischzuchtanlagen im Kanton Bern einen einheitlichen Vollzug zu gewährleisten.

2. Eigenschaften des Abwassers

2.1 Nährstoffbelastung

Als erstes wurde versucht die **Nährstoffbelastung** pro Tonne produzierten Fisch oder/und pro Tonne Futtermittel, gelöst und partikulär zu eruiieren. Insgesamt wurden 5 verschiedene Literaturinformationen¹⁻⁵ ausgewertet. Die Interpretation der Resultate ist recht schwierig, da von unterschiedlichen Parametern ausgegangen wird. Die Resultate werden insbesondere vom verwendeten Futtermittel, von der gezüchteten Fischart und von der Art der Fischhaltung beeinflusst. Als diesbezüglich "glaubwürdigstes" Dokument werden die Berichte zur Fischereiforschung Baden-Württemberg "Ablaufwasser aus Forellenzuchtanlagen"¹ sowie "Möglichkeiten zur Reduzierung der Ablaufwasserbelastung aus der Forellenproduktion"³ angesehen. Zusammenfassend werden folgende Angaben über die Menge an ausgeschiedenen Stoffen pro 100 kg Fischfutter gemacht:

Parameter	kg /100 kg Futter
Partikuläre Feststoffe (C)	17,3
Gelöste Nährstoffe (C)	6,7*
Stickstoff (N), gesamt	3,0
Stickstoff (N), gelöst	2,3
Phosphor (P), gesamt	0,7
Phosphor (P), gelöst	0,2

* Folgende Annahme wurde gemacht: Kohlenstoff (C) = 2/3 BSB₅.

Dabei wurde angenommen, dass Hochenergiefutter verwendet wird und die Fische unter optimalen Bedingungen gehalten werden.

Unter der Annahme, dass die Futterzugabe 1 % des Fischgewichtes pro Tag beträgt, verursacht eine Fischzuchtanlage mit **50 t** Fische somit folgende Belastung:

	Belastung der Fäkalien als EGW*		
	Insgesamt	Im Harn (flüssig)	Im Kot (fest)
Kohlenstoff	3000	840	2160
Stickstoff	1370	1050	320
Phosphor	1750	500	1250

*1 Einwohnergleichwert (EGW) = ungereinigtes Abwasser von 1 Einwohner (60 g BSB₅, 11 g Gesamtstickstoff und 2 g Gesamtphosphor pro Tag)

Die Tabelle zeigt auf, dass in den Feststoffen (Kot) beträchtliche Mengen an Nährstoffen enthalten sind. Anders ausgedrückt heisst das, dass bei sofortiger Abtrennung des Schlamms im Abwasser einer Fischzuchtanlage die Abwasserbelastung theoretisch beim organischen Anteil um 72 %, beim Stickstoff um 23 % und beim Phosphor um 71 % reduziert werden kann.

2.2 Einfluss auf Oberflächengewässer

Im Folgenden wird erwogen, welche Qualitätsgrenze eines Oberflächengewässers, durch Einleiten des Abwassers einer Fischzuchtanlage, noch toleriert werden kann.

Die nachstehenden Beurteilungsstufen der Belastung der Gewässer mittels Grenzwerten stammen aus dem Gewässerbericht 1997-2000 des Amtes für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft des Kt. BE⁶. Diese wurden in Anlehnung an die Anforderungen der eidg. Gewässerschutzverordnung und an die Zielvorgaben gemäss Modul-Stufen-Konzept 2006 des BAFU (www.modulstufen-konzept.ch) festgelegt. Betreffend Qualitätsgrenze, hat sich die Arbeitsgruppe für die Parameter gelöste organische Komponenten (DOC), Ammonium (NH₄-N) und Phosphor (P) auf folgenden Vorschlag geeinigt:

Die Belastung einer Fischzuchtanlage darf maximal dazu führen, dass nach vollständiger Durchmischung des Ablaufwassers mit dem Vorfluter, die Qualitätsgrenze der nächst höheren Beurteilungsstufe nicht überschritten wird.

DOC-Belastung für Gewässer mit geringer Vorbelastung sowie Aare und alte Aare:

Beurteilungstufen	Grenzwerte [mg C/l]	Qualitätsgrenze [mg C/l]
schlecht	> 4,0	
unbefriedigend	3,0 – 4,0	3,5
mässig	2,0 – 3,0	2,5
gut	1,0 – 2,0	1,5
sehr gut	< 1	

DOC-Belastung für alle weiteren Gewässer:

Beurteilungstufen	Grenzwerte [mg C/l]	Qualitätsgrenze [mg C/l]
schlecht	> 8,0	
unbefriedigend	6,0 – 8,0	7,0
mässig	4,0 – 6,0	5,0
gut	2,0 – 4,0	3,0
sehr gut	< 2,0	

Ammoniumbelastung der Gewässer bei Wassertemperaturen über 10°C:

Beurteilungstufen	Grenzwerte [mg N/l]	Qualitätsgrenze [mg N/l]
schlecht	> 0,4	
unbefriedigend	0,3 – 0,4	0,35
mässig	0,2 – 0,3	0,25
gut	0,04 – 0,2	0,12
sehr gut	< 0,04	

Hinweis: Bei Wassertemperaturen unter 10°C könnten höhere Grenzwerte toleriert werden. Im Fall von Fischzuchtanlagen sind diese jedoch nicht relevant, da bei tiefen Temperaturen Futtermittel ohnehin in reduzierter Menge eingesetzt werden.

Belastung Gesamt-P unfiltriert der Gewässer:

Beurteilungstufen	Grenzwerte [mg P/l]	Qualitätsgrenze [mg P/l]
schlecht	> 0,14	
unbefriedigend	0,10 – 0,14	0,12
mässig	0,07 – 0,10	0,085
gut	0,04 – 0,07	0,055
sehr gut	< 0,04	

In Beilage 1 wird an einer konkreten Fischzuchtanlage aufgezeigt, wie die Tabellen angewendet werden.

2.3 Kennzahl Fischfuttermenge/Qualität Oberflächengewässer

Aufgrund der Qualitätsgrenze eines Oberflächengewässers lässt sich mittels der maximal einsetzbaren Fischfuttermenge pro Tag, die max. tolerierbare Produktionsmenge einer Fischzuchtanlage berechnen. Für diese Berechnung sind folgende Informationen notwendig:

- a. Einsatz der Fischfuttermenge (kg) pro Tag oder der gehaltenen Fische (kg) in den Becken
- b. Bezogene Wassermenge (l/s) aus dem Oberflächengewässer für die FZ-Anlage (Ablaufwasser)
- c. Restwassermenge des Oberflächengewässers (l/s)
- d. Durchschnittliche DOC-, Ammonium- und Phosphor-Belastung (mg/l) des Oberflächengewässers oberhalb des Wasserbezugs

Die Abflussmenge (l/s) der Oberflächengewässer in welche die Fischzuchtanlagen entwässern, ist im Kanton Bern bei 61 Standorten erhoben worden. In den meisten Fällen durchfließt das Oberflächengewässer die Fischzuchtanlage vollständig. In diesen Fällen beträgt die Restwassermenge des Oberflächengewässers (c) gleich null. Ist dies nicht der Fall, muss das Verhältnis bezogene Wassermenge (b) zu Restwassermenge (c) noch erfasst werden. Bei allen 61 Anlagen sind jedoch die produzierten Fischmengen pro Jahr bekannt. Aufgrund der produzierten Fischmenge kann auf die eingesetzte jährliche Fischfuttermenge geschlossen werden. Die Nährstoffbelastungen (d) sind von vielen, jedoch noch nicht von allen Gewässern bekannt. Liegen diese Angaben vor, kann die max. tolerierbare Produktionsmenge einer Fischzuchtanlage berechnet werden. Diese Berechnung ermöglicht im Weiteren auch, den Stand der Technik in Bezug auf Futtermittelwahl, Wartung und Entschlammung der Anlage, zu beurteilen.

In der Beilage 1 wird eine Beurteilung der maximal tolerierbaren Fischfuttermenge pro Tag in einer der grössten Forellenzuchtanlagen im Kanton Bern vorgestellt.

3. Mineralisation der Schlämme

Über die Problematik der Mineralisation der Schlämme und der Freisetzung der Nährstoffe wurden in der Literatur keine empirischen Werte gefunden. Einzig in den Berichten zur Fischereiforschung Landes Baden-Württemberg¹ findet man auf Seite 20 den Hinweis, dass in frisch abgesetzten Fischfäkalien sehr schnell ein Abbauprozess stattfindet. Aufgrund der Berechnung der Kennzahl "Fischfuttermenge/Qualität Oberflächengewässer" einer grossen Fischzuchtanlage im Kanton Bern, wird ebenfalls eine mehr oder weniger hohe Mineralisierung des Schlammes vermutet.

Aus obigen Gründen wurde ein Laborversuch mit "Frischschlamm" einer grossen Fischzuchtanlage im Kanton Bern durchgeführt. Die detaillierten Angaben können in Beilage 2 eingesehen werden.

Zusammenfassend kann folgendes ausgesagt werden:

- Im Laborversuch gibt es keine relevanten Unterschiede der Resultate von aeroben resp. anaeroben Bedingungen bei der Schlamm Lagerung
- Innerhalb von 34 Tagen nimmt der gelöste Anteil an den Nährstoffen Kohlenstoff (gemessen als DOC), Stickstoff und Ammonium stetig zu.
- Beim Phosphor wird lediglich in den ersten 20 Tagen ein Übergang des Phosphors in die wässrige Lösung festgestellt. Anschliessend nimmt dieser wieder ab. Es wird eine Auskristallisation des Phosphors als Hydroxylapatit vermutet, dass sich der Analytik entzogen hat.

- Es findet weder in der anaeroben noch in der aeroben Versuchsanordnung eine Nitrifikation statt. Auch bildet sich kaum Nitrit.
- Wie die nachfolgende Tabelle aufzeigt, macht der Anteil an freigesetzten Nährstoffen aus dem Schlamm pro Tag einen erheblichen Anteil der gesamten Fischzuchtanlage aus. Die Berechnung beruht auf den Einsatz von 100 kg Futter pro Tag.

Parameter	Theoretisch ausgeschiedene lösliche Nährstoffe (siehe auch Kapitel 2.1) [EWG pro Tag]	Freigesetzte Nährstoffe aus dem Schlamm gemäss Experiment (siehe Beilage 2) [EWG pro Tag]	Anteil freigesetzte Nährstoffe aus dem Schlamm [%]
Gelöste Nährstoffe (BSB ₅)	168	58	35
Stickstoff (N), gelöst	209	48	23
Phosphor (P), gelöst	100	41	41

Fazit

Der Anteil an Nährstoffen, welcher sich aus dem Schlamm löst, macht einen so hohen Anteil der gesamten Belastung aus, dass bei Schlammabsetzbecken mit Überlauf das Abwasser in die Schmutzwasserkanalisation eingeleitet werden muss. Als Alternative ist der Schlamm nach den Siebtrommelfiltern sofort vom Rückspülwasser zu trennen. Gemäss Literatur¹ Seite 23 ist dies mittels einem "überdimensionierten Absetztrichter" möglich. Das abgesetzte Sediment kann somit 1-2 mal pro Tag abgelassen oder abgesaugt werden.

4. Stand der Technik

In der Dokumentation "Hinweise zur Verringerung der Belastung der Gewässer durch die Fischhaltung"² wurden am meisten Informationen über den Stand der Technik bei **Ausrüstung** und **Betrieb** von Anlagen gefunden. Das Dokument ist das Resultat der 61. ACK am 19./20. November 2003 in Berlin. Mitbeteiligt an der Herausgabe waren Amtschefs aus dem Wasserwirtschaftsamt Regensburg / Ministerium für Umwelt- und Naturschutz NRW / Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen / Landesamt für Ökologie, Dezernat Binnenfischerei, Hildesheim / Umweltbundesamt Berlin / Fachberatung für Fischerei, Bezirk Unterfranken / Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern.

4.1 Betriebsvorschrift

Um den einwandfreien Betrieb einer grösseren Fischzuchtanlage gewährleisten zu können, ist der Aufbau eines Qualitätssicherungssystems zwingend notwendig. Für den Gewässerschutz ist in diesem Zusammenhang insbesondere die Erstellung einer Betriebsvorschrift zu verlangen. Folgende Protokollierungen sollen darin erwähnt werden:

- Produzierte Fischmenge pro Jahr
- Jahresverbrauch an Futtermittel
- Einsatz von Medikamenten inkl. Einsatzmenge und Einsatzzeitraum
- Jahreseinsatzmenge der Desinfektionsmittel und der anderen Stoffe
- Schlammentsorgungen, sofern diese nicht kontinuierlich auf die ARA erfolgen
- besondere Vorkommnisse und Störungen auf der Anlage, wie Ausfall der Siebtrommelfilter

Diese Informationen helfen dabei, die Ursachen von veränderter Qualität im Oberflächengewässer, in welche die Fischzuchtanlage einleitet, zu eruieren.

4.2 Futtermittel

Gemäss Literatur² in Deutschland ab einer bestimmten Fischgrösse Anforderungen an das Futtermittel für die Speisefischproduktion gesetzt. Dies sind eine Futterkörnung von mehr als 3 mm, ein Bruttoenergiegehalt von mind. 20 MJ/kg oder ein Bruttoenergie / Proteinverhältnis von mind. 0,45 und ein Gesamtphosphorgehalt von höchstens 1,2 %. Dies sobald mehr als 150 kg Futter im Jahr pro Sekundenliter Zulaufwasser eingesetzt werden.

Nach Aussage der Firma Hokovit AG besitzt das Extruderfutter einen Futterquotient von 0,9 - 1,0 (normales Ausmastfutter 1,1 - 1,3). Solches Futter wird bei ca. 80 °C extrudiert und mit Oel gesättigt. Es wird so hergestellt, dass dieses Futter immer schwimmt. Dies gewährleistet eine fast 100 % - ige Aufnahme der Nahrung durch den Fisch. Eventuell führt diese Art von Futter dazu, dass **keine kompakten Fäkalien** mehr entstehen können. Das heisst, es kann immer weniger Schlamm mittels Siebtrommelfilter aus dem Abwasser herausfiltriert werden. Für den Betreiber einer Fischzuchtanlage mag dies, aufgrund der weniger häufigen Entschlammung ein Vorteil sein. Da die Nährstoffe jedoch noch mehr in gelöster Form vorkommen, wird die Behörde noch mehr gefordert, die Einleitbedingungen in ein Oberflächengewässer zu überwachen.

Neustens wird vorgeschlagen dem Futter einen Binder, wie zum Beispiel "guar gum" in der Grössenordnung von 0,1 – 0,3 % beizumischen. Dies soll dazu beitragen, die Stabilität des Kotes zu verbessern. Dies bringt den Vorteil, dass mehr Feststoffe resp. mehr Nährstoffe aus dem Ablaufwasser der Fischzuchtanlage herausfiltriert werden können.

4.3 Medikamente, Antibiotika (-Futtermittel) und Desinfektionsmittel

Gemäss Tierarzneimittelverordnung sind in der Schweiz lediglich folgende Arzneimittel für Fischzuchtanlagen zugelassen:

- **Inoxyl ad us. Vet.** (Oxolinsäure), zur Behandlung von Infektionen verursacht durch gramnegative Keime
- **PS Oxytetracycline Aquaculture ad us. Vet.** (Oxytetracyclin), Antibiotika zur Behandlung von bakteriellen Infektionskrankheiten und
- **Pyceze ad us. Vet.** (Bronopol), zur Behandlung von Pilzinfektionen (*Saprolegnia spp*)

Beim Einsatz von Medikamenten ist der schriftliche Nachweis der Notwendigkeit durch einen Tierarzt zu erbringen.

Im Weiteren wird nach der neuen Tierarzneimittelverordnung verlangt, dass die Fischzüchter ein Behandlungsjournal führen müssen, wo sie aufschreiben, welche Produkte sie für welche Fische zur Behandlung von Krankheiten eingesetzt haben.

Leider können mit oben erwähnten Medikamenten nicht alle Krankheiten in Fischzuchtanlagen bekämpft werden. Da keine weiteren Wirkstoffe zugelassen sind, werden zum Beispiel bei Parasiten und Bakterien auf Haut und Kiemen, die Wirkstoffe in Desinfektionsmitteln verwendet. In der Praxis äussert sich dieser Notstand halt so, dass Desinfektionsmittel zur Behandlung von Gerätschaften und Becken eingesetzt werden und die Fische gleich "mitgebadet" werden.

Als Desinfektionsmittel werden meist Formalin, Chloramin T, Detarox AP, Natriumhydroxid, Jodophor (Jodkomplex) oder Javelwasser eingesetzt.

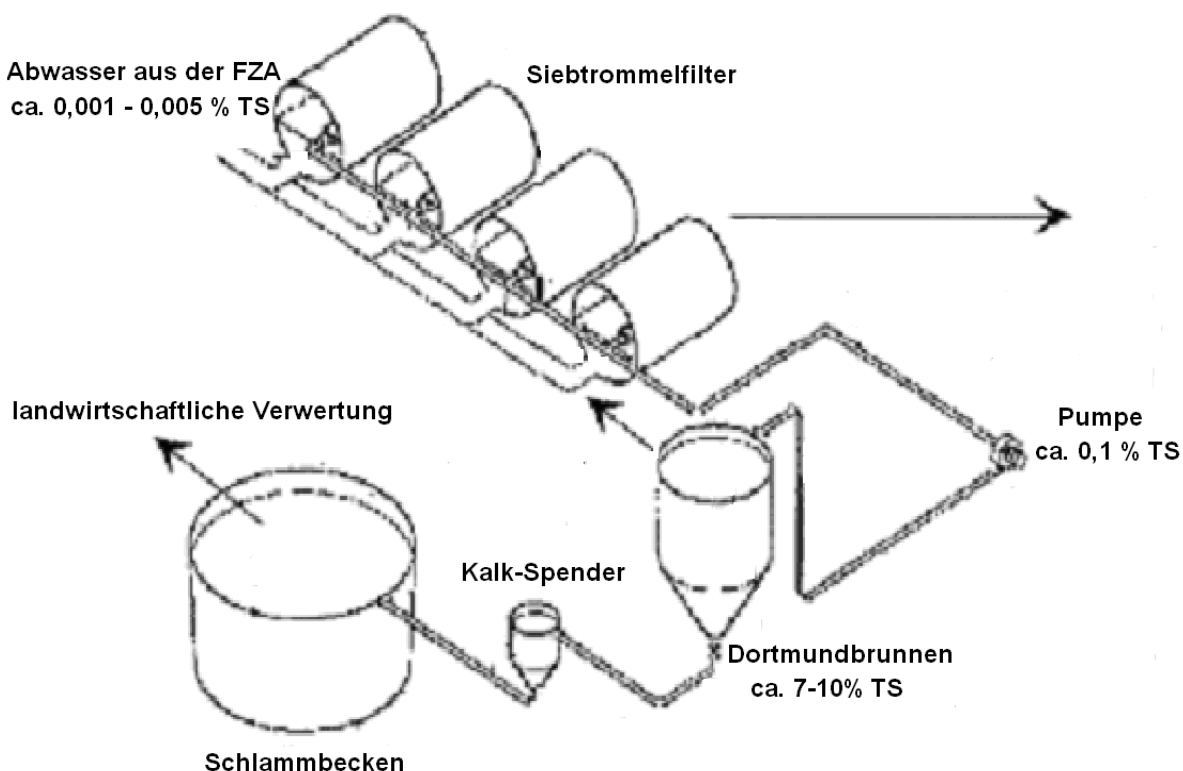
Das anfallende Abwasser nach einer Desinfektion ist in die Schmutzwasserkanalisation zu leiten. In Ausnahmefällen kann das Abwasser nach Desaktivierung des Desinfektionsmittels in ein Oberflächengewässer geleitet werden.

Gewässerschutztechnisch empfehlen wir den Einsatz von Peroxyd-Verbindungen. Dies hat den Vorteil, dass diese spurlos abgebaut werden.

4.4 Entschlammung

Gemäss Literatur² muss Ablaufwasser in der Regel nicht behandelt werden, sprich filtriert werden, wenn bei der Verwendung von hoch verdaulichen Futtermitteln ein Futtereinsatz von bis zu 500 kg im Jahr pro Sekundenliter Zuflusswasser stattfindet. Dementsprechend wäre z.B. bei der grössten Anlage im Kanton Bern keine Filtrierung notwendig, da der Futtereinsatz ca. 200 kg im Jahr pro Sekundenliter Zuflusswasser beträgt. Erstaunlich ist jedoch, dass bei dieser Aussage die Qualität des Oberflächengewässers, in welches das Ablaufwasser eingeleitet wird, nicht berücksichtigt wird. Im Kanton Bern wird verlangt, dass im Ablaufwasser die Feststoffanteile in jedem Fall mit geeigneten Massnahmen abgetrennt werden. Vor der Erarbeitung des vorliegenden Berichtes, erachtete die Arbeitsgruppe als zweckmässige Entschlammung (GSchV, Anhang 3.3, Ziff.27, Absatz 2) den Einsatz von Siebtrommelfiltern, Absetzbecken, das Absaugen oder Ausbaggern des Schlammes.

Aufgrund der neuen Erkenntnisse bezüglich Mineralisierung der Schlämme (siehe Kapitel 3), muss eine **rasche, vollständige Abtrennung der Feststoffe aus dem Abwasser** erfolgen. Das heisst, dass Siebtrommelfilter dazu nicht ausreichen, weil das Schlammwasser einen TS von lediglich 0,1 % aufweist. Um die neuen Anforderungen zu erfüllen, muss mit einem „Dortmunderbrunnen“ oder mit einem „Lammellenklärer“ weiter eingedickt werden. Die in der Anlage abgesetzten Feststoffe können so 1 - 2 mal pro Tag abgelassen oder abgesaugt werden. Mit diesem Vorgehen wird einerseits verhindert, dass weiteres, nährstoffreiches Abwasser von mineralisiertem Schlamm in ein Oberflächengewässer gelangt und andererseits wird ein Schlamm mit ca. 7 – 10 % TS produziert, der landwirtschaftlich gut verwertet werden kann.



4.5. Schlamm Entsorgung

Der Schlamm aus Fischzuchtanlagen kann **landwirtschaftlich** verwertet werden. Dabei müssen gemäss dem Amt für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft des Kantons Bern, Abt. Stoffe und Bodenschutz, folgende Bedingungen erfüllt werden:

- Die Abgabe an die Landwirtschaft ist schriftlich (z.B. mit einem Abnahmevertrag) zu regeln. Eine Kopie des Vertrages ist dem GSA zuzustellen.
- Als Abgeber eines „Düngers“ (Schlamm aus Fischzuchtanlage) wird der Betreiber der Anlage verpflichtet, über den Nährstoffwert sowie über den Schadstoffgehalt des Produktes Auskunft zu geben. Aus diesem Grund ist der Schlamm alle 10 Jahre auf organische Substanz, Kalium, Gesamtstickstoff, Ammoniumstickstoff, Phosphat, Kupfer, Zink und AOX untersuchen zu lassen. Die Untersuchung soll analog den Klärschlämmen aus Abwasserreinigungsanlagen vorgenommen werden.
- Die Menge des abgelieferten „Düngers“ ist mittels Lieferschein zu bestätigen.
- Der „Dünger“ darf nur auf Ackerflächen ausgebracht werden. Der Schlamm ist dabei vor der Saat auszubringen und in den Boden einzuarbeiten. Die Distanz der Ausbringfläche zum nächsten Oberflächengewässer muss mindestens 100 m betragen. Ausbringflächen mit Drainagen sind nicht zulässig. Die Abgabe des Schlammes in eine Güllengrube oder die Ausbringung auf Futterflächen ist verboten.

Können oben erwähnte Forderungen nicht eingehalten werden, so muss der Schlamm über den **Faulturm einer ARA** entsorgt werden.

4.6 Biologische Abwasserreinigungsanlagen

In Durchflussanlagen fällt die Gewässerbelastung in sehr kleinen Konzentrationen an, da täglich sehr grosse Wasservolumen die Anlagen durchfliessen. Die Reduzierung der Ablaufwasserbelastung aus Fischzuchtanlagen mittels biologischen Abwasserreinigungsanlagen benötigt daher einen grossen Platzbedarf und ist zudem ineffizient. Diese Art der Abwasseraufbereitung kommt höchstens bei geschlossenen Kreislaufanlagen in Frage. Aus Sicht der Tierseuchenverschleppung ist aber auch hier eher davon abzuraten. Fischpathogene Viren, Bakterien, Pilze und Parasiten könnten sich in diesen Gebieten unter Umständen halten und ein Reservoir bilden für neue Infektionen. In der Dokumentation "Möglichkeiten zur Reduzierung der Ablaufwasserbelastung aus der Forellenproduktion"³ findet man weitere Informationen.

4.7 Spezialfall "Bio-Fischzuchtanlagen"

Falls die Beckenwände mit Lehm abgedichtet werden, kann abgeschwemmter Lehm im Oberflächengewässer zu einer Kolmatierung der Bachsohle führen und einen Lebensraumverlust für Kleintiere und Fische darstellen. Um dies zu verhindern wurde in einem Fall im Kanton Bern folgende Massnahmen gefordert:

- Die Lehmschicht soll, wo es möglich ist, abgetragen werden (der jeweilige Beckenbereich muss während dieser Arbeiten stillgelegt werden),
- Beckenränder und -boden sind möglichst flächendeckend mit geeigneten Steinen auszukleiden,
- der Trommelfilter ist mit einem wirksameren Filter auszurüsten (60 µm, ev. 40 µm; die Wasserabflussmenge muss allerdings garantiert bleiben).

Gemäss Information eines betroffenen Betriebes wurde das flächendeckende Auslegen des Beckens mit flachen Steinen sowie der Einsatz von Filter mit einer Maschenweite von 40 µm realisiert. Die Auswirkung dieser Arbeiten auf die Verschlämzung des Oberflächengewässers wurde sporadisch durch das Fischereinspektorat begutachtet. Das Ergebnis ist unterschiedlich ausgefallen. Die abschliessende Beurteilung durch ein Ingenieurbüro ist noch ausstehend.

5. Auflagen der Veterinär- und Lebensmittelgesetzgebung

Um den Rahmen nicht zu sprengen, werden im nachfolgenden lediglich die Artikel aufgelistet, welche Auflagen von Seiten Veterinär- und Lebensmittelgesetzgebung beinhalten.

- **Bestandesmeldung und Bestandeskontrolle** (Art. 276 TSV, Abs. 1-3)⁹
- **Begleitdokument** (Art. 276, Abs. 4 TSV)⁹
- **Meldepflicht** (Art. 11 TSG; Art. 61 TSV)⁹
- **Beiträge an die Tierseuchenkasse** (Art. 21 KTSV)¹⁰
- **Tierschutzvorschriften bei der Fischhaltung** (Art. 2, 6 TschG)¹²
- **Schriftliches Selbstkontrollkonzept** (Art. 23 LMG)¹⁴
- **Anforderungen an Fische zur Schlachtung** (Art. 9, 24 VSFK)¹⁵
- **Schlachtung von Fischen** (Art. 11 VSFK; Anhang 3.3 VHyS)¹⁶ **(siehe auch weitere Bestimmungen von Seiten Lebensmittelkontrolle (Kantonschemiker) bezüglich Verwendung von Fischen als Lebensmittel)**
- **Tierarzneimittelbezug** (Art. 24, 42 HMG)¹⁷
- **Fütterungsarzneimittel und Rezept** (Art. 16, 17 TAMV)¹⁸
- **Betriebseigene technische Anlagen** (Art. 18-21 TAMV)¹⁸
- **Tierarzneimittelvereinbarung und Inventarliste Tierarzneimittel** (Art. 10, 11, 28 TAMV)¹⁸
- **Behandlungsjournal** (Art. 25, 26, 28 TAMV)¹⁸
- **Sorgfaltspflicht** (Art. 22, 23, 29 TAMV)¹⁸
- **Entsorgung von toten Fischen und Fischabfällen** (Art. 3, 6, 15, 21, 22 VTNP)¹¹
- **Verwertung von toten Fischen und von Fischabfällen als Futter** (Art. 46 TSV)⁹
- **Fischmehl** (Art. 18, Abs. 3 VTNP)¹¹

Einer der wichtigsten Auflagen besteht darin, dass das Verabreichen von Antibiotika (- Futtermittel) durch einen Tierarzt verordnet werden muss. Ohne Rezept kann kein antibiotikahaltiges Futtermittel beim Futtermittelhersteller bezogen werden. Jeder praktizierende Tierarzt hat die Möglichkeit dies zu verschreiben. Bedingung ist jedoch, dass er die Anlage kennt. Das heisst ein Augenschein vor Ort ist zwingend. Im Weiteren ist der Tierarzt verpflichtet eine Kopie des Rezepts an das Veterinäramt des Kantons einzusenden. Es stellt sich hier jedoch die Frage, ob jeder Besitzer einer Fischzuchtanlage diesen offiziellen Weg begeht.

6. Möglichkeiten zur Optimierung der Abwasserqualität

Die Belastung des Abwassers ist im Wesentlichen von der eingesetzten Futtermenge pro Tag, dem Durchfluss, der Futterzusammensetzung, dem Fischbestand, der Haltungsbedingungen und dem Anlagentyp abhängig. Insbesondere die Haltungsbedingungen und der Anlagentyp können die Partikelgrösse des Kots stark beeinflussen. Je kleiner die Partikel jedoch sind, je weniger gut können diese aus dem Wasser entfernt werden und je besser können sich diese im Wasser lösen. Dies hat wieder zur Folge, dass die Belastung im Abwasser zunimmt. Durch pflanzliche Binder kann die Stabilität und die Partikelgrösse der festen Stoffe im Ablaufwasser erhöht werden. Versuche haben gezeigt, dass bei kontinuierlicher Entnahme dieser „gebundenen“ Feststoffe, die Abwasserbelastung um weitere 50 % reduziert werden können.

7. Schlussfolgerung

Der vorliegende Bericht hat versucht die offenen Fragen aus der Eidg. Gewässerschutzverordnung Anhang 3.3, Ziffer 1 und Ziffer 27 zu beantworten. Nun geht es darum, mit den neuen Erkenntnissen, die bestehenden Fischzuchtanlagen im Kanton Bern bezüglich Konformität zu überprüfen. Anschliessend sind Betreiber wie auch Behörde gefordert wirtschaftlich tragbare Lösungen zu suchen um die Anlagen dem „Stand der Technik“ anzupassen.

Literaturnachweis:

- 1 Berichte zur Fischereiforschung Landes Baden-Württemberg
http://www.landwirtschaft-bw.info/servlet/PB/show/1160519_11/Ablaufwasser.pdf
- 2 Hinweise zur Verringerung der Belastung der Gewässer durch die Fischhaltung
http://www.lawa.de/pub/kostenlos/ogkg/Gewaesserbelastung_Fischhaltung.pdf
- 3 Möglichkeiten zur Reduzierung der Ablaufwasserbelastung aus der Forellenproduktion
http://www.lfl.bayern.de/ifi/forellenteichwirtschaft/12299/linkurl_0_1.pdf
- 4 Analysis of nutrient flows in integrated intensive aquaculture systems, O.Schneider et al. / Aquacultural Engineering 32, S. 379-401 (2005)
<http://www.sciencedirect.com>
- 5 Percitech SA, Olivier Mueller, Biologe, Chavornay
- 6 Gewässerbericht 1997-2000 des Amtes für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft Kt. BE
http://www.bve.be.ch/...essg_berbro_gewbericht9700_total.pdf
- 7 Gewässerschutzverordnung (GSchV) vom 28. Oktober 1998, SR 814.20
- 8 Tierseuchengesetz (TSG; SR 916.40) vom 01. Juli 1966
- 9 Tierseuchenverordnung (TSV; SR 916.401) vom 27. Juni 1995
- 10 Kantonale Tierseuchenverordnung (KTSV; BSG 916.51) vom 03. November 1999
- 11 Verordnung über die Entsorgung von tierischen Nebenprodukten (VTNP; 916.441.22) vom 23. Juni 2004
- 12 Tierschutzgesetz (TSchG; SR 455) vom 09. März 1978
- 13 Tierschutzverordnung (TSchV; SR 455.1) vom 27. Mai 1981
- 14 Lebensmittelgesetz (LMG; SR 817.0) vom 09. Oktober 1992
- 15 Verordnung über das Schlachten und die Fleischkontrolle (VSFK; SR 817.190) vom 23. November 2005
- 16 Verordnung des EVD über die Hygiene beim Schlachten (VHyS; SR 817.190.1) vom 23. November 2005
- 17 Heilmittelgesetz (HMG; SR 812.21)
- 18 Tierarzneimittelverordnung (TAMV; SR 812.212.27) vom 18. August 2004
- 19 A system for the treatment of sludge from land-based fish-farms, A. Bergheim at al.
- 20 Effluent treatment for flow through systems and European Environmental Regulations, A. Bergheim at al.
- 21 Grundlagen der Fischernährung, Steffens, W. (1985), Jena, Fischer Verlag.
- 22 Gesunde Fische, Werner Baur / Jörg Rapp, Parey bei Mvs, ISBN-Nr.: 3-8304-4056-1

Definitionen:

Durchlaufanlagen	der Betreiber einer Anlage bezieht Wasser aus Oberflächengewässern um Fische aufzuziehen und leitet das entstehende Abwasser wieder zurück in das Oberflächengewässer
Futterquotient	Verwertungskoeffizient oder Konversionsfaktor gibt an, wieviel kg Futter benötigt wird, um einen Zuwachs von 1 kg Fisch zu erreichen. Da das Futter meist in Trockenform gereicht wird, die Fische aber als Lebendgewicht gemessen werden, sind Werte um 1 möglich (Steffens 1985).
Extrudieren	Futtermittel wird mittels einer Dosier- oder Mischanlage in eine Form gepresst
Hochenergiefutter	der Energiegehalt dieses Fischfuttermittels beträgt ca. 23.4 MJ/kg

Beurteilung der maximal gewässerverträglichen Fischfuttermenge in kommerziellen Fischzuchtanstalten mit Durchlaufanlagen

Für die nachfolgende Berechnung werden folgende Annahmen gemacht und Informationen benötigt:

Annahmen:

- Es wird Hochenergiefutter verwendet
- Die Fische werden unter optimalen Bedingungen gehalten (insbesondere abhängig vom Sauerstoffgehalt in den Durchlaufbecken)
- Der Futterquotient liegt bei ca. 0.96.
- 10 kg BSB₅ entspricht 5 kg DOC (aufgrund der Eidg. Gewässerschutzverordnung Anhang 2: Anforderungen an Fließgewässer)
- Menge an ausgeschiedenen Stoffen pro 100 kg Forellenfutter:

Parameter	kg/100 kg Futter
DOC	5
Stickstoff, gelöst	2,3
Stickstoff, partikulär	0,7
Phosphor, gelöst	0,2
Phosphor, partikulär	0,5

Dem Zustand des Gewässers wird wie folgt Rechnung getragen:

Die Belastung einer Fischzuchtanlage darf maximal dazu führen, dass nach vollständiger Durchmischung des Ablaufwassers mit dem Vorfluter, die Qualitätsgrenze der nächst höheren Beurteilungsstufe nicht überschritten wird.

DOC-Belastung der Gewässer:

Beurteilungstufen	Grenzwerte [mg C/l]	Qualitätsgrenze [mg C/l]
schlecht	> 4,0	
unbefriedigend	3,0 – 4,0	3,5
mässig	2,0 – 3,0	2,5
gut	1,0 – 2,0	1,5
sehr gut	< 1	

Ammoniumbelastung der Gewässer bei Wassertemperaturen über 10°C:

Beurteilungstufen	Grenzwerte [mg N/l]	Qualitätsgrenze [mg N/l]
schlecht	> 0,4	
unbefriedigend	0,3 – 0,4	0,35
mässig	0,2 – 0,3	0,25
gut	0,04 – 0,2	0,12
sehr gut	< 0,04	

Hinweis: Bei Wassertemperaturen unter 10°C könnten höhere Grenzwerte toleriert werden. Im Fall von Fischzuchtanlagen sind diese jedoch nicht relevant, da bei tiefen Temperaturen die Futtermittelmenge ohnehin reduziert eingesetzt wird.

Phosphor-Belastung der Gewässer:

	Grenzwerte [mg P/l]	Qualitätsgrenze [mg P/l]
schlecht	> 0,08	
unbefriedigend	0,06 – 0,08	0,07
mässig	0,04 – 0,06	0,05
gut	0,02 – 0,04	0,03
sehr gut	< 0,02	

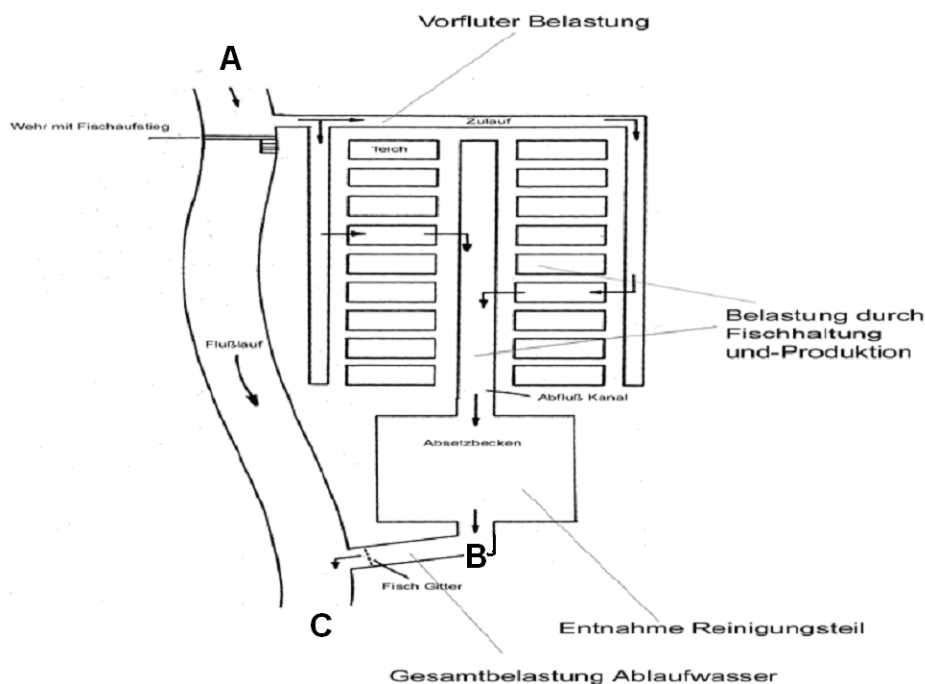
Benötigte Informationen:

- Wie viel Fischfutter wird pro Tag eingesetzt?
- Wie viel Wasser wird vom Vorfluter für die FZ-Anlage verwendet (Ablaufwasser)?
- Mit wie viel Restwasser des Vorfluters wird das Ablaufwasser der FZ-Anlage gemischt?
- Welche durchschnittliche DOC-, Ammonium- und Phosphor-Belastung hat der Vorfluter?

Mit diesen Informationen kann überprüft werden, wieweit der Einsatz der angegebenen Fischfuttermenge/Tag am bestehenden Standort toleriert werden kann.

Berechnungsbeispiel mit einer grossen Fischzuchtanlage im Kanton Bern

Schema der Anlage:



Berechnungsgrundlagen:

- Pro Tag werden 500 kg Futter eingesetzt (bei Haltung von 70 t Fischen).
- Es werden bei Punkt A 800 l/s Wasser vom Oberflächengewässer bezogen (Ablaufwasser).
- Geforderte Restwassermenge im Oberflächengewässer (Flusslauf) beträgt 500 l/s für die Monate April-August.
- Die durchschnittliche DOC-Belastung im Oberflächengewässer beträgt bei Punkt A 0.89 mg DOC/l (n=28), bei Punkt B 1.24 mg DOC/l (n=28). Differenz = 0.35 mg DOC/l.
- Die durchschnittliche Ammonium-Belastung im Oberflächengewässer beträgt bei Punkt A 0.028 mg NH₄-N/l (n=28), bei Punkt B 0.221 mg NH₄-N/l (n=28). Differenz = 0.193 mg NH₄/l.
- Die durchschnittliche Phosphor-Belastung im Oberflächengewässer beträgt bei Punkt A 0.0100 mg P/l (n=29), bei Punkt B 0.0483 mg P/l (n=29). Differenz = 0.0383 mg P/l.

Berechnungen:

800 l/s * 86'400 s = 69'120'000 l Ablaufwasser pro Tag.

500 l/s * 86'400 s = 43'200'000 l Restwasser pro Tag

112'320'000 l

Ausgeschiedene **gelöste organische Komponenten pro Tag**, aufgrund eingesetztem Futter:

500 kg Futter/Tag * 5 kg DOC/100 kg Futter = **25 kg DOC/Tag**

25'000'000 mg / 112'320'000 l = 0.22 mg/l DOC-Erhöhung im Oberflächengewässer nach Vermischung (Punkt C)

0.89 mg/l + 0.22 mg/l = 1.11 mg/l theoretischer DOC-Gehalt bei Punkt C

Beurteilung:

Das bezüglich DOC gering belastete Oberflächengewässer (durchschnittlich 0.89 mg DOC/l) erhöht sich wegen der FZ-Anlage theoretisch auf 1.11 mg DOC/l. Die diesbezügliche Qualitätsgrenze des Oberflächengewässers (max. 1.5 mg/l) wird in diesem Fall nicht überschritten.

25'000'000 mg / 69'120'000 l = 0.36 mg/l DOC-Erhöhung im Ablaufwasser (Punkt B)

0.89 mg/l + 0.36 mg/l = 1.25 mg/l theoretischer DOC-Gehalt bei Punkt B

Hinweis:

Die empirischen Werte (28 Messungen) zeigen, dass sich aufgrund der Fischzuchtanlage der DOC-Gehalt des Oberflächengewässers über eine Zeitdauer von 11.5 Jahren um durchschnittlich 0.35 mg/l erhöht hat. Die berechnete Erhöhung um 0.36 mg/l bestätigt somit den empirischen Wert.

Ausgeschiedene **Stickstoff-Fracht pro Tag**, aufgrund eingesetztem Futter:

500 kg * 2.3/100 = **11.5 kg NH4-N**

Hinweis: Da das Wasser nur für sehr kurze Zeit in den Fischbecken verweilt, wurde die Annahme gemacht, dass im Futter der Stickstoff, gelöst, als Ammonium-Stickstoff vorliegt.

11'500'000 mg / 112'320'000 l = 0.102 mg NH4-N-Erhöhung im Oberflächengewässer nach Vermischung (Punkt C)

0.028 mg/l + 0.102 mg/l = 0.130 mg/l theoretischer NH4-N-Gehalt bei Punkt C

Beurteilung:

Das bezüglich Ammonium gering belastete Oberflächengewässer (durchschnittlich 0.028 mg Ammonium/l) erhöht sich wegen der FZ-Anlage theoretisch auf 0.130 mg Ammonium/l. Die diesbezügliche Qualitätsgrenze des Oberflächengewässers (max. 0.12 mg/l) wird in diesem Fall überschritten.

11'500'000 mg / 69'120'000 l = 0.166 mg NH4-N-Erhöhung im Ablaufwasser (Punkt B)

0.028 mg/l + 0.166 mg/l = 0.194 mg/l theoretischer NH4-N-Gehalt bei Punkt B

Hinweis:

Die empirischen Werte (28 Messungen) zeigen, dass sich aufgrund der Fischzuchtanlage der Ammonium-Gehalt des Oberflächengewässers über eine Zeitdauer von 11.5 Jahren um durch-

schnittlich 0.192 mg/l erhöht hat. Obige Berechnung (0.194 mg/l) bestätigt fast zu 100 % den empirischen Wert.

Ausgeschiedene **Phosphor-Fracht pro Tag**, aufgrund eingesetztem Futter:

$$500 \text{ kg} * 0.2/100 = 1 \text{ kg P}$$

$$1'000'000 \text{ mg} / 112'320'000 \text{ l} = 0.0089 \text{ mg Phosphor-Erhöhung im Oberflächengewässer nach Vermischung (Punkt C)}$$

$$0.0100 \text{ mg/l} + 0.0089 \text{ mg/l} = 0.0189 \text{ mg/l theoretischer P-Gehalt bei Punkt C}$$

Beurteilung:

Das bezüglich Phosphor unbelastete Oberflächengewässer (durchschnittlich 0.010 mg Phosphor/l) erhöht sich wegen der FZ-Anlage theoretisch auf 0.0189 mg Phosphor/l. Die diesbezügliche Qualitätsgrenze des Oberflächengewässers (max. 0.03 mg/l) wird in diesem Fall nicht überschritten.

$$1'000'000 \text{ mg} / 69'120'000 \text{ l} = 0.0145 \text{ mg Phosphor-Erhöhung im Ablaufwasser (Punkt B)}$$

$$0.0100 \text{ mg/l} + 0.0145 \text{ mg/l} = 0.0245 \text{ mg/l theoretischer P-Gehalt bei Punkt B}$$

Hinweis:

Die empirischen Werte (29 Messungen) zeigen jedoch auf, dass aufgrund der Fischzuchtanlage der Phosphor-Gehalt des Oberflächengewässers über eine Zeitdauer von 11.5 Jahren sich um durchschnittlich 0.0383 mg/l erhöht hat. Das heisst, bezüglich Gehalt an Phosphor wird das Oberflächengewässer aufgrund der Fischzuchtanlage von einem praktisch unbelastetem Gewässer zu einem belastetem Gewässer.

Mögliche Erklärung der erhöhten Phosphor - Belastung:

Würde die **partikuläre Phosphor-Fracht pro Tag** im Abwasser bei Punkt B ebenfalls gemessen, so würde dies folgende Erhöhung der Phosphorkonzentration ergeben:

$$500 \text{ kg} * 0.5/100 = 2.5 \text{ kg}$$

$$2'500'000 \text{ mg} / 69'120'000 \text{ l} = 0.0362 \text{ mg/l}$$

In der untersuchten Fischzuchtanlage wurden jedoch "nur" durchschnittlich 0.0383-0.0245= **0.0138 mg/l** mehr Phosphor im Abwasser gefunden, als theoretisch (ohne partikulären Anteil) berechnet wurde. Also etwa 40 % des partikulären Phosphors. Deshalb wird vermutet, dass im vorliegenden Fall der Stand der Technik nicht eingehalten wurde.

Im vorliegenden Fall wird unter ungenügender Wartung folgendes verstanden:

- ungenügende Schlammabtrennung durch Siebtrommelfilter, die nicht in Betrieb waren oder durch nicht intakte Filtersiebe der Siebtrommelfilter => Feststoffanteile im analysierten Abwasser führten zu erhöhtem Phosphorgehalt.
- ungenügende Wartung des Schlammabsetzbeckens => Verwendung von mineralisiertem Abwasser des Schlammabsetzbeckens für das Abschwemmen der Feststoffanteile aus dem Siebtrommelfilter führten zu erhöhtem Phosphorgehalt im Abwasser.

Fazit:

Die Berechnungen zeigen auf, dass bei einer einwandfreien Wartung der Fischzuchtanlage, pro Jahr $(0.0383-0.0245 \text{ mg/l}) * 60 * 60 * 24 * 365 \text{ s} * 800 \text{ l/s} = 350 \text{ kg weniger Phosphor}$ in das Oberflächengewässer gelangen würde. Dies entspricht z.B. 1/70 des gesamten P-Eintrags in den Bielersee.

Mineralisation der Schlämme / Freisetzung von Nährstoffen

Aufgabenstellung

In Fischzuchtanlagen fallen Schlämme an, die oft, entgegen dem Stand der Technik, über lange Zeit (bis zu einem Jahr) in Schlammabsetzbecken zwischengelagert werden. In vielen Fällen wird der Schlamm mittels Sprühdüsen ab Siebtrommelfilter in die Stapelbecken gespült. Das dazu verwendete Wasser durchfließt mehr oder weniger das Schlammabsetzbecken und überläuft in die Schmutzwasserkanalisation oder in den Vorfluter. Mit Hilfe dieses Versuches soll abgeklärt werden, wie hoch der Anteil an Nährstoffen ist, welcher aus dem Schlamm in das Überlaufwasser geht. Berücksichtigt wird, dass bei der Lagerung des Schlammes sowohl aerobe als auch anaerobe Verhältnisse auftreten können.

Probenahme

In der Hoffnung frischen, möglichst unmineralisierten Schlamm zu erhalten, wurde aus einer grossen Fischzuchtanlage im Kanton Bern der Schlamm direkt im Auslauf des Siebtrommelfilters gezogen. Mittels Dekantieren vor Ort wurde ein möglichst hoher Schlammanteil angestrebt.

Versuchsanordnung

Die Probe in einem 10 l Kanister wurde gut aufgeschüttelt und in zwei Untersuchungsgefässe à je 2,5 l abgefüllt. In der nachfolgenden Untersuchungszeit wurden die Gefässe wie folgt behandelt:

- a) verschlossen, gebildete Gase können jedoch entweichen => **anaerob**
- b) in Schlammphase wurde kontinuierlich 4500 ml Luft pro Stunde eingeblasen => **aerob**

Probenahmen nach: 0, 6, 20 und 34 Tagen.

Ausgangswerte: In der aufgeschüttelten Lösung werden gemessen: gesamte ungelöste Stoffe (GUS), Glührückstand, gelöste organische Komponenten (DOC), Gesamtstickstoff, Gesamtstickstoff filtriert (0.45 µm), Ammoniumstickstoff, Ammoniumstickstoff filtriert (0.45 µm), Nitratstickstoff, Nitritstickstoff, Gesamtphosphor, Gesamtphosphor filtriert (0.45 µm).

Zwischenwerte: Nach 6 resp. 20 Tagen erfolgten die Probenahmen jeweils mit Pipetten in der überstehenden Phase der sedimentierten Lösung direkt aus den Gefässen. Bestimmt wurden gelöste organische Komponenten (DOC), Gesamtstickstoff filtriert (0.45 µm), Ammoniumstickstoff filtriert (0.45 µm), Nitratstickstoff, Nitritstickstoff und Gesamtphosphor filtriert (0.45 µm).

Endwerte: Nach 34 Tagen wurden die beiden Untersuchungsgefässe aufgeschüttelt und die Ausgangsparameter erneut bestimmt.

Analysenresultate

Tage	0	6	20	34	0	6	20	34
Parameter	Anaerob				Aerob			
Glührückstand [%]	39			81*	40			48
GUS [g/l]	51			48	46			48
Anorganischer Anteil [g/l]	20			39	18			23
Organischer Anteil [g/l]	31			9	28			25
DOC [mg C/l]	270	1800	2400	2500	300	1800	2500	2400
Gesamt N [mg N/l]	830			1300	850			1200
Gesamt N _(filt) [mg N/l]	28	190	320	480	26	190	410	570
Ammonium N [mg N/l]	10	120	250	430	10	120	360	510
Nitrat N [mg N/l]	<0.5	0.60	0.52	<0.5	<0.5	0.62	<0.5	<0.5
Nitrit N [mg N/l]	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.25
Gesamt P [mg P/l]	1900			1600	2300			790
Gesamt P _(filt) [mg P/l]	10	76	95	53	10	66	78	9.3

* vermutlich Analysenfehler

Auswertung

Allgemein:

Die Inhomogenität der Proben liess keine exaktere Bestimmung der Parameter GUS und Glührückstand zu. Dementsprechend konnte keine Kohlenstoff - Bilanzierung durchgeführt werden.

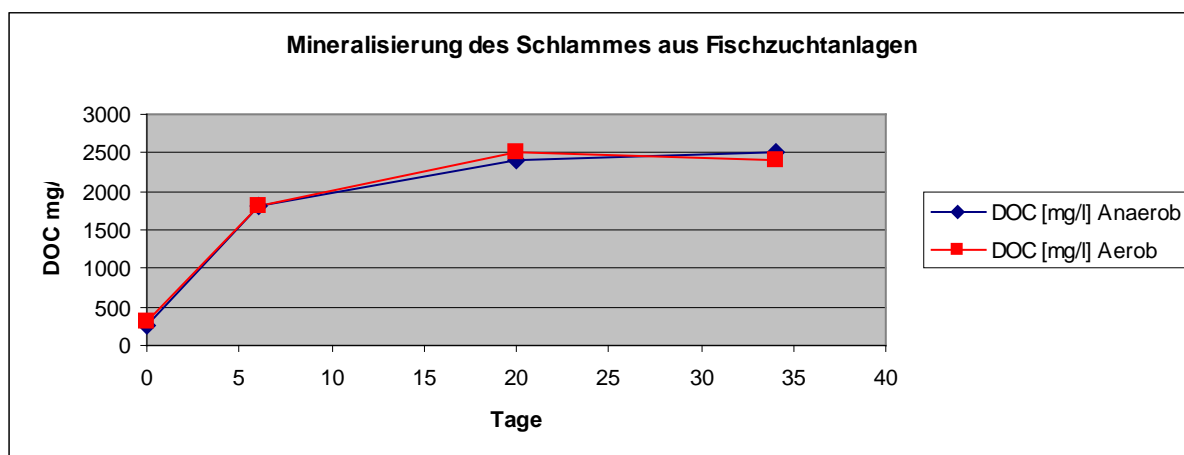
Gesamte ungelöste Stoffe:

Der untersuchte Schlamm hat einen Feststoffanteil von ca. 4,8 %.

Glührückstand:

Der Glührückstand zeigt auf, dass der Schlamm aus ca. 60 % organischem Anteil besteht.

DOC:

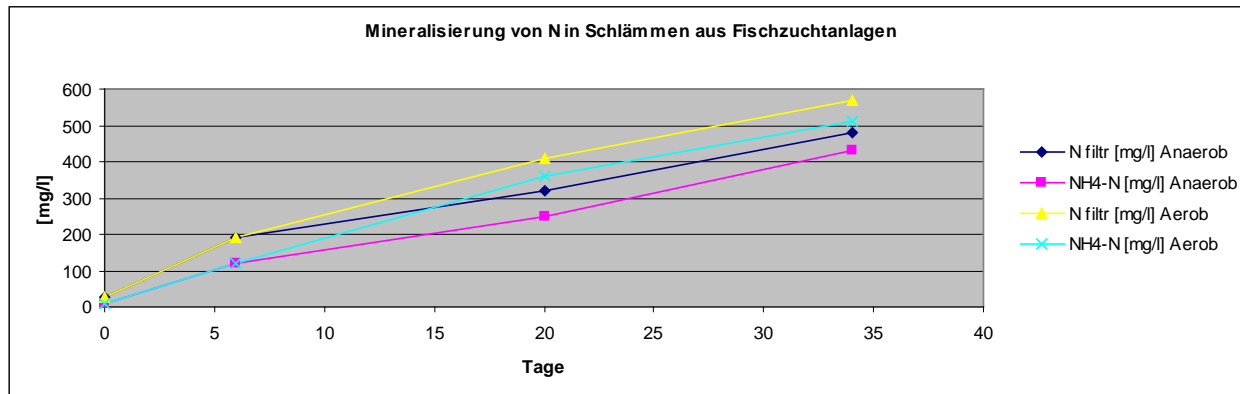


Der Anteil an gelöstem Kohlenstoff in der untersuchten, wässrigen Schlammlösung nimmt innerhalb von 1 Monat von 0,6 % auf 5,0 % der gesamten ungelösten Stoffe zu. Dies unabhängig ob der untersuchte Schlamm aerob oder anaerob aufbewahrt wurde.

Stickstoff gesamt:

Der Gehalt an Gesamtstickstoff im untersuchten Schlamm entspricht ca. 1,7 % der gesamten ungelösten Stoffe. Sowohl im aeroben wie auch im anaeroben Bereich steigt innerhalb von 34 Tagen der Gesamtstickstoffanteil auf 2,6 %.

Stickstoff gelöst, Ammonium-N, Nitrat-N und Nitrit-N:



Der Gehalt an gelöstem Stickstoff beträgt im "frischen Schlamm" lediglich ca. 27 mg/l oder ca. 3,2 % des Gesamtstickstoffgehaltes im Schlamm. Der Anteil an gelöstem Stickstoff steigt kontinuierlich und erreicht nach 34 Tagen einen Wert von ca. 525 mg/l oder ca. 62 % des Gesamtstickstoffgehaltes im Schlamm.

Ca. 90 % des gelösten Stickstoffes ist Ammoniumstickstoff.

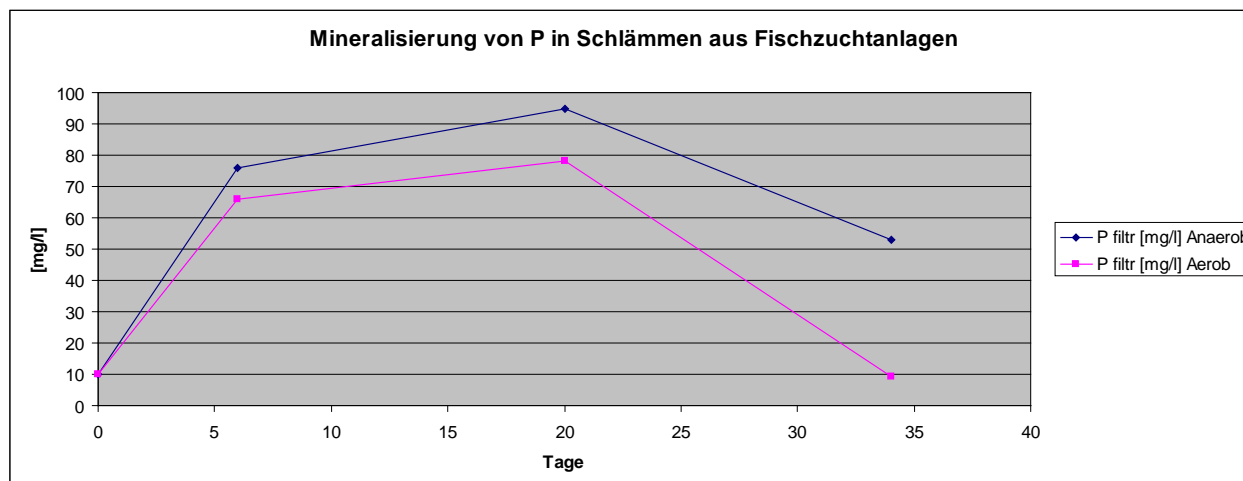
Der Gehalt an gelöstem Stickstoff resp. Ammoniumstickstoff im anaeroben Zustand ist um ca. 20 % tiefer als im aeroben Bereich. Das Aufwirbeln des Schlammes durch die eingeblasene Luft, hat voraussichtlich zu einem besseren Lösungseffekt geführt.

Es findet weder in der anaeroben noch in der aeroben Versuchsanordnung eine Nitrifikation statt. Auch bildet sich kaum Nitrit.

Phosphor gesamt:

Der Gehalt an Gesamtphosphor im untersuchten Schlamm betrug ca. 2100 mg/l. Dies entspricht ca. 4,3 % des Feststoffanteils. Im anaeroben Bereich nimmt innerhalb von 34 Tagen der Gesamtphosphoranteil um 16 % ab. Im aeroben Bereich sogar um fast 66 %. Es wird vermutet, dass sich eine schwerlösliche Phosphorverbindung, wie beispielsweise Hydroxylapatit ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_3\text{OH}$), gebildet hat. Aufgrund einer ungenügenden Aufschlussmethode, hat sich dieses "gebundene" Phosphor voraussichtlich der Analytik "entzogen".

Phosphor gelöst:



Der Gehalt an gelöstem Phosphor beträgt im "frischen Schlamm" ca. 10 mg/l oder 0,5 % des Gesamtphosphorgehaltes im Schlamm. In den ersten 6 Tagen steigt der Anteil an gelöstem Phosphor auf ca. 3,4 %, unabhängig der Versuchsanordnung aerob / anaerob. Bis zum 20. Tag konnte eine weitere Steigerung bis zu einem maximalen Anteil von 4,5 % festgestellt werden. Ab diesem Zeitpunkt nimmt insbesondere der Gehalt im aeroben Bereich bis auf den Ausgangswert von 0,5 % des Gesamtphosphorgehaltes im Schlamm ab. Bei der Versuchsanordnung anaerob sinkt der Gehalt lediglich auf 2,5 % ab. Es wird vermutet, dass der einmal gelöste Phosphor sich in eine unlösliche Form (Hydroxylapatit) umwandelt und sich so der Analytik entzieht (ungenügender Aufschluss).

Was bedeutet dies praktisch?

Im Nachfolgenden wird versucht, den freigesetzten Nährstoffanteil pro Tag auszurechnen, aufgrund der Mineralisierung des Schlammes, bei Einsatz von 100 kg Hochenergiefutter pro Tag, auszurechnen.

Gemäss Kapitel 2.1 beträgt der partikuläre Feststoffanteil 17,3 kg Kohlenstoff / 100 kg Futter. Der voraussichtliche Schlammanfall in 34 Tagen für die Parameter DOC, N und NH₄-N resp. 20 Tagen für den Parameter P beträgt somit:

$$34 \text{ d} * 100 \text{ kg} = 3'400 \text{ kg Futter} * 17.3 \text{ kg C} / 100 \text{ kg} = 590 \text{ kg C} * 3 = 1770 \text{ kg Schlamm (GUS)}$$

$$20 \text{ d} * 100 \text{ kg} = 2'000 \text{ kg Futter} * 17.3 \text{ kg C} / 100 \text{ kg} = 346 \text{ kg C} * 3 = 1040 \text{ kg Schlamm (GUS)}$$

Die Berechnung beruht auf der Annahme, dass der Kohlenstoffanteil im Schlamm 1/3 beträgt.

Aufgrund der Analysenresultate wurden folgende Frachten berechnet die nach 34 Tagen (DOC, N, NH₄-N) resp. 20 Tagen (P) in Lösung gehen:

Parameter	Freigesetzte Nährstoffe insgesamt [kg]	Freigesetzte Nährstoffe pro Tag [g]	EWG pro Tag
Gelöste Nährstoffe (C)	78.8	2320	
Gelöste Nährstoffe (BSB ₅)	118.2	3480	58
Stickstoff (N), gelöst	18.1	530	48
Ammoniumstickstoff (NH ₄ -N)	16.7	490	82
Phosphor (P), gelöst	1.64	82	41

* Folgende Annahme wurde gemacht: BSB₅ = 3/2 Kohlenstoff (C)

Für die Berechnung der Einwohnergleichwerte (EWG) wurden die folgenden Belastungswerte pro Einwohner angenommen: 60 g BSB₅, 11 g Gesamtstickstoff, 6 g Ammonium-Stickstoff und 2 g Gesamtphosphor.

Im Vergleich zu den theoretisch ausgeschiedenen löslichen Nährstoffe bei einem Futtereinsatz von 100 kg pro Tag erhalten wir folgenden Anteil an freigesetzten Nährstoffen aus dem Schlamm:

Parameter	Theoretisch ausgeschiedene lösliche Nährstoffe (siehe auch Kapitel 2.1) [EWG pro Tag]	Freigesetzte Nährstoffe aus dem Schlamm gemäss Experiment (siehe Beilage 2) [EWG pro Tag]	Anteil freigesetzte Nährstoffe aus dem Schlamm [%]
Gelöste Nährstoffe (BSB ₅)	168	58	35
Stickstoff (N), gelöst	209	48	23
Phosphor (P), gelöst	100	41	41

Fazit

Die Nährstoffe Kohlenstoff, Stickstoff und Phosphor werden aus Fischschlamm durch Mineralisierungsprozesse innerhalb weniger Tage freigesetzt, das heißt in wasserlösliche Formen übergeführt. Diese "unnötige" Belastung muss mit Massnahmen nach dem Stand der Technik verhindert werden, z.B. durch möglichst rasches trocken legen des Schlammes.