

ÖSTERREICHS FISCHEREI HEFT 3/4, 1964

ZEITSCHRIFT FÜR DIE GESAMTE WIRTSCHAFTS- UND SPORTFISCHEREI
FÜR GEWÄSSERKUNDLICHE UND FISCHEREIWISSENSCHAFTLICHE FRAGEN,

AUS DEM BUNDESINSTITUT FÜR GEWÄSSERFORSCHUNG
UND FISCHEREIWIRTSCHAFT, SCHARFLING AM MONDSEE, O.-Ö:

DR. WILHELM EINSELE

Die exakt dosierte Anwendung von Hydratkalk —
ein neues Heilverfahren bei Fischerkrankungen

Funktionen und Wechselwirkungen der fischereiwirtschaftlich und
produktionsbiologisch bedeutungsvollen Kalkverbindungen
und der Kohlensäure

DR. ELISABETH DANECKER

Die Jauchevergiftung von Fischen — eine Ammoniakvergiftung

DR. ERICH BRUSCHEK

Elektrofischerei und Gewässerleitvermögen in Österreich

Literatur:

Über den Branntkalk und seine Anwendung als Desinfektionsmittel, auch als mittelbares Düngemittel, gibt es eine größere Zahl von Publikationen. Diese sollen später einmal zusammen mit bestimmten wissenschaftlichen Arbeiten von Ruttner kritisch referiert werden. Gegenwärtig ist dies aus zeitlichen Gründen nicht möglich. So muß es hier genügen, wenn auf die drei in den vorliegenden Aufsätzen zitierten Arbeiten hingewiesen wird, nämlich:

O. Bank: Ein Düngerstreuer für staubfreie

Arbeit. (Allgemeine Fischereizeitung, H. 1/1963, München)

E. Danecker: Die Jauchevergiftung von Fischen — eine Ammoniakvergiftung (dieses Heft, Seite 55)

W. Einsele: Kochsalzbäder zur Heilbehandlung und zur allgemeinen Kräftigung von Fischen. (Österreichs Fischerei, Heft 3/4 — März/April 1963, Seite 50—53.)

W. Einsele: Der Zeller See, ein lehrreicher Fall extremer limnochemischer Verhältnisse. (Zeitschrift für Fischerei und deren Hilfswissenschaften, Band 42, Heft 2/3, 1944; Seite 151, ff.)

Dr. Elisabeth Danecker

Die Jauchevergiftung von Fischen — eine Ammoniakvergiftung

	Seite
Einleitung und Inhaltsübersicht	55
1. Die Jauchevergiftung von Fischen — eine Ammoniakvergiftung	59
2. Physiologie der Ammoniakvergiftung	60
3. Die Bedeutung des pH-Wertes und der Karbonathärte (SBV) für die Giftigkeit von Jauche	60
4. Die Giftwirkung von Ammoniak bei verschiedenen Temperaturen	62
5. Die Giftwirkung von Ammoniak bei verschiedenen Sauerstoffgehalten des Wassers	63
6. Die Giftwirkung von Ammoniak auf Forellen, Karpfen und Schleien	65
7. Die Selbsterzeugung von Ammoniak bei Karpfen.	68
Schlußwort	68
Literatur	68

Einleitung und Inhaltsübersicht

In unseren Landgebieten kommen Fischsterben durch Zuleitung von Jauche in Bäche, allen Aufklärungsbemühungen zum Trotz, immer noch häufig vor. Da der kosten- und arbeitsmäßige Aufwand bei der Ausbringung von Jauche gegenüber ihrer Düngewirkung verhältnismäßig groß und ihre Wirkung außerdem oft noch zu wenig spezifisch ist, tritt die Verwendung von Kunstdünger immer mehr in den Vordergrund. Die Jauche wird vielfach zum Abfallstoff, den man mit möglichst wenig Mühe rasch fortschaffen möchte. Nichts ist bequemer, als sie dem nächstgelegenen

bach zuzuführen. Dabei ist mancher Landwirt sicherlich nicht unwissend über die Wirkung der Jauche als Fischgift, wohl aber völlig unwissend bezüglich Maß und Menge der Einleitung, die dem Vorfluter noch zugemutet werden kann, ohne daß Schaden entsteht.

Jauche ist ein Gemisch von im Abbau begriffenen Substanzen organischer Herkunft, welche unter Fäulnis- und Gärungsvorgängen dem mineralischen Zustand zustreben, und verschiedener Mineralsalze. Vor allem die in ihr befindlichen Eiweiße liefern bei ihrer Zersetzung giftige Stoffe, darunter das speziell für Fische giftige Ammoniak.

Da es in Schadensfällen oft nötig ist, über die Ammoniakkonzentration der betreffenden Jauchen Annahmen zu machen, seien hier Gehalte nach eigenen Untersuchungen angeführt;

Tabelle 1

Januar 1963		März 1963		August 1963		Oktober 1963	
Gehalte in g N/NH ₃ -NH ₄ / Liter							
Nr. 1	0,5	Nr. 5	0,5	Nr. 10	0,95	Nr. 12	1,8
2	1,3	6	1,25	11	1,7		
3	3,8	7	1,25				
4	4,5	8	0,37				
		9	2,0				

Als mittlerer Wert ergibt sich für diese 12 Jauchen 1,6 g N/NH₃-NH₄/l. Es sollen aber laut Literatur Gehalte bis zu 10 g N/NH₃-NH₄/l vorkommen.

In jeder der untersuchten Gruppe fiel die Jauche mit dem höchsten Ammoniakgehalt bereits durch ihren stärkeren Geruch auf. Zwischen Ammoniakgehalt und Farbe — grünliche, gelbliche und bräunliche Farben kommen vor — besteht kein Zusammenhang. Eine Verdünnung von dunkelgelber „jauchiger“ Farbe kann weniger giftig sein als eine gleichgroße Verdünnung von heller Farbe. Es sei hier deshalb darauf hingewiesen, weil es naheliegt, den Verdünnungsgrad des „Abwassers“ nach dessen Farbe zu beurteilen. Im Gegenteil, man darf sogar annehmen, daß alte Jauchen dunkler gefärbt sind und in der Verdünnung stärker färben, während sie weniger Ammoniak enthalten als frische. Jedenfalls erwies es sich, daß der Ammoniakgehalt in verschiedenen Jauchen, die in schlecht verschlossenen Flaschen zwei Monate gestanden hatten, um rund 10 bis 30% abgenommen hatte. Eine Jauche, die, schlecht verschlossen, ein Jahr lang aufgehoben worden war, hatte ihren charakteristischen Geruch völlig verloren und gab mit Nessler's Reagens keine Reaktion mehr.

Zweck des vorliegenden Aufsatzes ist es, darzulegen, in welcher Weise, welchen Mengen und unter welchen Umständen Jauche als Fischgift wirkt. Vor allem soll davor gewarnt werden, Jauche in Bäche überzupumpen oder in Teichzuflüsse gelangen zu lassen.

Geringe Mengen von Jauche wirken sowohl in Fließgewässern als auch in Karpfenteichen

die Messung erfolgte mit Nessler's Reagens, die 12 Proben stammten alle aus dem Mondseegebiet (Kalkgebiet).

fruchtbarkeitssteigernd. Sie können die Futterbedingungen und damit den Abwachs der Fische verbessern, und es hängt dabei nur von dem Ausmaß der Einleitung ab, ob Schaden oder Nutzen die Folge sind. Die Gefahr einer Ammoniakvergiftung von Fischen ist nach allgemeinen Erfahrungen nicht gegeben, wenn z. B. von Düngestätten (vor allem nach Regen) laufend kleinere Mengen in einen Bach gelangen, oder wenn häusliche Abwässer durch Kanäle in begrenzter Menge zugeführt werden. Gefährlicher sind unter Umständen stete unkontrollierte Zusickerungen zu Teichen: Diese Umstände — Durchfluß, Temperatur, Sauerstoffverhältnisse, Teichvegetation — sollen im folgenden näher analysiert werden. Es sind im fließenden und noch mehr im stehenden Wasser diese Faktoren oft ausschlaggebend.

In guten Fischbächen kann der NH₃-NH₄-Gehalt auf 0,1 bis 0,3 mg N/NH₃-NH₄/l steigen (1 mg = 1/1000 g), was weit unter der Schädlichkeitsgrenze liegt. Steigt der Gehalt noch höher, etwa bis über 1 mg N/NH₃-NH₄/l, so ist eine Schädigung von Fischen zwar immer noch nicht zu befürchten, doch drückt sich darin schon eine zunehmende Abwasserbelastung des Baches aus, die zu andersgearteten Mißständen führen kann. In Bächen, in welchen Jauche-Fischsterben stattgefunden hatten, war noch nach Tagen ein Gehalt von 1, 3, 7, 20 mg N/NH₃-NH₄/l festzustellen. Kanalwasser enthält natürlich sehr wechselnde Mengen von Ammoniak, z. B. 20, 30, 60, 100 mg N/NH₃-NH₄/l. Grundsätzlich werden für Forellen Gehalte von 5 mg N/NH₃-NH₄/l aufwärts gefährlich. Die Betonung liegt hier

auf grundsätzlich, denn abgesehen von der Tatsache, daß geringe Giftkonzentrationen bei langer Einwirkungsdauer und hohe Giftkonzentration bei kurzer Einwirkungsdauer den Tod von Fischen hervorrufen können, sind gerade bei der Jauchevergiftung bestimmte äußere Bedingungen entscheidend.

Um den Leser auf die weiter unten folgenden notwendigerweise etwas langwierigen Erörterungen vorzubereiten, seien die wichtigsten Punkte der bisherigen Untersuchungsergebnisse übersichtlich vorweggenommen:

1. Die Jauchevergiftung von Fischen ist eine Ammoniakvergiftung.

2. Erst bei 200facher Verdünnung von Jauche kann man mit einiger Berechtigung hoffen, daß die Verdünnung für Fische unschädlich ist. Eine 100fache Verdünnung bedeutet in der Regel noch eine akute Gefahr.

3. Für Forellen können bereits Ammoniakgehalte, die 5 mg N/NH₃-NH₄/l übersteigen, grundsätzlich gefährlich werden. Dies hängt jedoch von den in den Punkten 4 bis 10 zusammengefaßten Gesetzmäßigkeiten und Bedingungen ab:

4. In jeder ammoniakhaltigen Lösung ist nicht nur die Verbindung NH₃, das eigentliche Ammoniak vorhanden, sondern auch immer die Verbindung NH₄⁺ das Ammoniumion. Beide Stickstoffverbindungen entstehen bei der Eiweißzersetzung und stehen zueinander in wechselndem Mengenverhältnis; außerdem werden bei der Nessler-Reaktion beide gemeinsam bestimmt, ohne daß man zunächst sagen könnte, wieviel NH₃ oder NH₄⁺ vorliegt. Da jedoch Ammoniak — NH₃ — für Fische schwer giftig ist, das Ammoniumion — NH₄⁺ — aber so wenig, daß man es vernachlässigen kann, ist es sehr wichtig zu wissen, wie hoch die aktuelle Ammoniakkonzentration bei einem bestimmten durch Nessler's Reagens gefundenen N/NH₃-NH₄-Gehalt nun wirklich ist:

Das prozentuale Mengenverhältnis von Ammonium zu Ammoniak ist gesetzmäßig durch den pH-Wert der betreffenden Lösung, des betreffenden Wasser-Jauchegemisches festgelegt: Je höher der pH-Wert des Gemisches (je alkalischer das Gemisch), desto größer ist der Prozentanteil des Ammoniak, desto größer die Giftigkeit. Je tiefer der pH-Wert

(je saurer das Gemisch), desto größer wird der Prozentanteil des Ammoniumions, desto harmloser das Gemisch. Um über die Giftigkeit eines durch Jauche verunreinigten Wassers eine Aussage machen zu können, muß man daher neben dem bestimmten NH₃-NH₄-Gehalt immer auch den pH-Wert wissen. Es ist nötig, streng zwischen zwei Begriffen zu unterscheiden: 1. Dem aktuellen Ammoniakgehalt, angegeben in g oder mg NH₃/l und 2. Dem durch Nessler's Reagens bestimmten Ammonium-Ammoniak-Gehalt, angegeben in g oder mg N/NH₃-NH₄/l, der über die Giftigkeit zunächst gar nichts aussagt. Dieser Wert wird gleich 100% gesetzt. Wesentliche Anteile von Ammoniak entstehen erst ab einem pH-Wert von 7,5 aufwärts.

5. Jauche selbst reagiert meist stark alkalisch (bis pH = 10). Es ist daher in ihr je nach Temperatur bis zu 80% des Ammonium-Ammoniak-Gehaltes in aktuellem Ammoniak vorhanden, sie ist schwer giftig (s. Abb. 1). Bei einer Vermischung von Jauche mit normalen Oberflächenwässern stellen sich bei geringen Verdünnungen pH-Werte bis über 9 ein (Prozentanteil des Ammoniak bei 17° C 24%), aber schon bei 50facher und bei größerer Verdünnung stiegen die pH-Werte nicht über 8,6. Zwischen pH = 9,0 und 8,6 sinkt bei 17° C der Prozentanteil des Ammoniak von 24 auf 12. Zwischen pH = 8,6 und 8,0 von 12 auf 3%. Bei pH = 7,5 ist nur mehr 1% Ammoniak vorhanden: Bei einem Ammonium-Ammoniak-Gehalt von 20 mg/l also nur mehr 0,2 mg Ammoniak/l. Zunehmende Verdünnung bedeutet daher zunehmende Entgiftung der Jauche, nicht nur durch allgemeines Sinken der Konzentration, sondern auch durch Absinken des pH-Wertes und damit Rückverwandlung von Ammoniak in Ammoniumion. Der pH-Wert des reinen Wassers liegt meist zwischen 7,5 und 8,0. Durch starke Assimilationstätigkeit von Wasserpflanzen kann er aber auf 9,0 und darüber steigen

6. Der pH-Wert, welcher sich bei der Vermischung von Jauche und Wasser einstellt, ist in erster Linie vom Verdünnungsverhältnis bestimmt, in zweiter Linie von der Karbonathärte, dem SBV. In weichen Wässern sind immer höhere pH-Werte zu erwarten, wenn auch nur um 2 oder 3 Zehntel. Diese Er-

höhung kann aber genügen, den Ammoniakgehalt zu verdoppeln. Schließlich wirkt auch noch der pH-Wert des Verdünnungswassers bei der Neueinstellung mit.

7. Das SBV in einem Wasser-Jauche-Gemisch ist gegenüber dem Verdünnungswasser stets erhöht. Dies zu wissen kann bei der Erfassung einer „Abwasserwelle“ von Nutzen sein.

8. Die Wassertemperatur wirkt sich auf das Prozentverhältnis Ammonium Ammoniak wesentlich aus: Es ist z. B. bei sonst gleichen Gegebenheiten bei $\text{pH} = 8,0$ bei 25°C fünfmal so viel Ammoniak im Wasser als bei 20°C .

Der Vergiftungsprozeß wird durch höhere Temperaturen beschleunigt.

Höhere Temperaturen senken den Sauerstoffsättigungswert des Wassers, erhöhen den Sauerstoffbedarf der Fische und beschleunigen gleichzeitig alle sauerstoffzehrenden Zersetzungs Vorgänge. Da bei Jaucheeinleitungen der Gehalt des Wassers an fäulnisfähigen organischen Substanzen beträchtlich erhöht wird, kann es somit leicht zu Sauerstoffdefiziten kommen, die in Verein mit Ammoniak eine äußerst kritische Situation schaffen.

9. Sinkt nämlich die Sauerstoffkonzentration des Wassers von etwa $\frac{2}{3}$ des Sättigungsgehaltes abwärts, so wird dadurch die Giftwirkung des Ammoniaks zunehmend beschleunigt. Die Manifestationszeit (jene Zeitspanne, nach der die Fische hilflos im Wasser zu treiben beginnen) von Elritzen und Forellen kann bei gleichen aktuellen Ammoniakgehalten in der Nähe der kritischen Sauerstoffkonzentration (jene Konzentration, bei der die Fische gerade noch atmen können) auf $\frac{1}{10}$ jener Manifestationszeit verkürzt werden, die bei Sauerstoffsättigung bestehen würde. Die Sauerstoffaufnahme der Fische scheint durch den Ammoniak gehemmt zu werden. Sauerstoffmangel und Ammoniak wirken daher bei Fischsterben verhängnisvoll zusammen, selbst wenn Sauerstoffmangel allein oder Ammoniak allein keine Verluste verursachen würden.

10. Der Schwellenwert für Ammoniak liegt bei Forellensetzlingen bei $0,2 \text{ mg NH}_3/\text{l}$, bei Karpfensetzlingen bei $1,5 \text{ mg NH}_3/\text{l}$. Bei gleichlanger Einwirkungsdauer vertragen Karpfen sieben- bis zehnmal so hohe Giftkonzentrationen wie Forellen; oder umgekehrt: bei gleich hohen Giftkonzentrationen können Karpfen sieben- bis zehnmal so lange leben, wie Forellen. Die individuelle Giftempfindlichkeit schwankt bei den Karpfen viel mehr als bei den Forellen. Wenn bei einer gegebenen Ammoniakkonzentration der erste und der letzte Todesfall bei Forellen binnen einer Stunde eintreten, so tritt dasselbe bei Karpfen binnen vier Stunden ein und meist schwanken die Todeszeiten innerhalb eines noch viel größeren Zeitraumes. Die Chance der Karpfen zu überleben ist daher viel größer. Sie sind gegenüber den Forellen auch insofern begünstigt, als sie gegen Sauerstoffmangel wenig empfindlich sind. Ein gewisser Ausgleich dieser Vorteile ist darin zu sehen, daß Karpfen als Teichfische tagelang der Einwirkung einer geringen Giftkonzentration ausgesetzt sein können, während für Forellen mit kurzen Jauchestößen in Bächen zu rechnen ist.

11. Wegen der starken pH-Abhängigkeit der aktuellen Ammoniakkonzentration ist darauf hinzuweisen, daß Heilbäder mit Hydratkalk besser nicht durchgeführt werden sollten, wenn der Verdacht besteht, daß das „Badewasser“ Ammonium-Ammoniak enthält. Es könnte sein, daß bei der beabsichtigten starken und kurzfristigen pH-Wert-Erhöhung eine Ammoniakkonzentration entsteht, die durch ihre Höhe die Fische rascher tötet, als der pH-Wert des Bades zurückgehen kann.

12. Das hervorsteckendste Charakteristikum einer Ammoniakvergiftung von Fischen ist, daß ihr Eintritt von einer Vielfalt kompliziert zusammenspielender natürlicher Faktoren bestimmt wird. Für die Fische ungünstige Faktoren sind: Geringe Verdünnung der Jauche, hoher pH-Wert des Vorfluters, eventuell durch Vorbelastung mit anderen Abwässern, weiches Wasser, hohe Temperaturen und Sauerstoffdefizite.

Das wenig übliche Vorgehen, zugleich mit einer einleitenden Übersicht über die behandelten Punkte eigene und aus der Literatur bekannte Ergebnisse und Feststellungen vorwegzunehmen, darf aus dem Zweck dieses Aufsatzes verstanden werden: Er soll der Aufklärung dienen und einen weiten Leserkreis ansprechen, wobei es wegen der z. T. kompli-

zierten Sachlage auch dem weniger Vorgebildeten nicht erspart werden kann, sich etwas mit Theorie zu beschäftigen. Er erhält jedoch durch die oben angegebenen Punkte einen vollständigen Überblick, und sollte dadurch wohl in der Lage sein eine gegebene Situation zu beurteilen oder Schadensfälle zu vermeiden.

Im folgenden seien eingehendere Erläuterungen zu den genannten Punkten gebracht.

1. Die Jauchevergiftung von Fischen — eine Ammoniakvergiftung

Eine Jauchevergiftung von Fischen beruht

Tabelle 2

Bachforellen	0,8	mg NH ₃ /l
Elritzen	0,6	
Flußbarsch	1,4	
Aitel	0,7	
Aitel, ausgewachsen	1,0—1,2	
Forellenbrut	0,3—0,4	
Forellenbrut, 30 Tage alt	0,2	
Flußbarsch	0,6	
Karpfen und Schleien	2,0	
Elritzen und Regenbogenforellen	0,6	
Regenbogenforellensetzlinge, 8 cm lang	0,2	
Karpfensetzlinge, 6—8 cm lang	1,5	

im wesentlichen, wie schon lange bekannt und in eigenen parallel laufenden Versuchen mit Jauche und reiner Ammonchloridlösung bestätigt, auf einer Ammoniakvergiftung. Es dürfen daher die in der Literatur gefundenen Schwellenwerte für Ammoniak auch als Maß für die Jauchempfindlichkeit verschiedener Fischarten gelten. Der Schwellenwert eines Giftes ist jene Minimalkonzentration, unterhalb der die Fische auch bei beliebig langer Kontaktzeit nicht mehr geschädigt werden. Hier einige Schwellenwerte, angegeben in aktueller Ammoniakkonzentration:

}	WOKER und WUHRMANN 1950
	WUHRMANN und WOKER 1948
	LIEBMANN 1960
	ALLAN aus LIEBMANN 1960
}	LIEBMANN 1960
	eigene Untersuchungen

Was die Reaktion der Fische auf Jauche anlangt, so ist sie eine typische Ammoniakreaktion. Zwischen dem Verhalten in Jaucheverdünnungen und in reinen Ammonchloridlösungen bestehen dabei nur kleine Unterschiede:

Setzt man Regenbogenforellensetzlinge in verdünnte Ammonchloridlösung, so verhalten sie sich zunächst völlig gleichgültig, selbst wenn die aktuelle Ammoniakkonzentration sehr hoch ist. Die erste Reaktion erfolgt plötzlich und besteht in einem wilden Herumschießen und Emporschnellen. Es folgen Krampfstände und Lähmungen, die Fische sterben gelähmt, am Boden liegend. Selbst wenn man sie sofort beim ersten Anzeichen einer Reaktion herausnimmt und in Frischwasser versetzt, erholen sie sich nur ganz selten.

Gibt man die Tiere in eine Jaucheverdünnung, so zeigen sie selbst in unschädlichen Verdünnungen deutliches Unbehagen, sind unruhig und schnappen, beruhigen sich aber bald. Die Plötzlichkeit der ersten Reaktion und die

weiteren Erscheinungen der Vergiftung verlaufen wie oben beschrieben. Es zeigte sich aber bei jauchegeschädigten Fischen eine bessere Erholbarkeit, als bei Fischen aus reiner Ammonchloridlösung.

Die Eintrittszeit der ersten Reaktion hängt von der Höhe der Ammoniakkonzentration ab. Im Konzentrationsbereich nahe dem Schwellenwert vergehen bis dahin etwa 30 Minuten, bei höheren Konzentrationen nur etwa 2 bis 4 Minuten. Eine scharfe Grenze zwischen tödlichen und nichttödlichen Konzentrationen wurde bei den Versuchen nicht gefunden, vielmehr eine Zone zwischen 0,2 und 0,4 mg NH₃/l. Sinkt die Konzentration in diesen Bereich, so kann von einer akuten Vergiftung nicht mehr gesprochen werden. Die Reaktionen sind schwach oder treten gar nicht auf, der Tod folgt vielleicht nach 24 Stunden, kräftigere Tiere überleben. Mit Ammoniak vergiftete Fische erstarren flach gekrümmt, das Maul ist aufgerissen, die Kiemendeckel weit abgespreizt.

Man unterscheidet im Verlauf von Vergif-

tungen bei Fischen bestimmte Wendepunkte, deren zeitlicher Abstand voneinander für das gegebene Zusammenspiel der Faktoren günstig oder ungünstig sein kann. Bei Ammoniakvergiftungen steht es für Forellen damit leider schlecht: Der Zeitpunkt der ersten, vom Normalzustand abweichenden Reaktion liegt ziemlich nahe dem Zeitpunkt, zu dem die Fische infolge von Krämpfen und Lähmungen nicht mehr imstande sind, sich an ihrem Platz zu halten. Sie werden von nun an mit der

Tabelle 3

Ammoniak- konzentration mg NH ₃ /l	Jauche- verdünnung fach	Verhalten Regenbogenforellensetzlingen bei etwa 15 Grad Celsius Zeit in Minuten, immer von der Giftberührung an gerechnet		
		1. Reaktion: Herumschießen	2. Reaktion: Krämpfe, Verlust des Gleichgewichtes, gleichzeitig in fast allen Fällen Verlust der Erholbarkeit	Tod
0,4	150	20	40	60
0,8	25	30	37	50
1,0	80	2	9	30
2,0	50	3	5	13
4,0	50	5	7	8

Überstehen Fische eine Jauchevergiftung, sei es daß sie kurze Zeit einer höheren Konzentration oder längere Zeit einer geringen bis unterschwelligeren Konzentration ausgesetzt waren, so zeigen sie auch noch Tage nachher die Nachwirkungen der Vergiftung. Im Versuch verfallen Fische, die eine solche durchgemacht haben, noch drei Tage nachher in Krämpfe, wenn man sie erschreckt oder beunruhigt. Sie machen auch sonst einen schwachen und hilflosen Eindruck, sterben aber nicht.

2. Physiologie der Ammoniakvergiftung

Das Ammoniak dringt durch die Kiemen in den Körper des Fisches ein und verursacht eine Reizung des Zentralnervensystems, Zerstörung des Blutes (Hämolyse) und bei hohen Konzentrationen eine Zerstörung des Kiemenepithels. Die Reizung des Zentralnervensystems tritt dabei bedeutend schneller ein, als die Hämolyse.

Abwasserwelle abwärts getrieben und bleiben sozusagen im vergifteten Wasser gefangen. Da der nächste Wendepunkt des Vergiftungsprozesses, nämlich das Ende der Erholbarkeit, schon knapp auf die Phase der Lähmung folgt, ist damit das Schicksal der Tiere besiegelt.

Um einen Begriff vom zeitlichen Ablauf einer solchen Vergiftung bei Forellen zu geben, seien aus einer größeren Anzahl von Versuchen fünf herausgegriffen:

3. Die Bedeutung des pH-Wertes und der Karbonathärte (SBV) für die Giftigkeit von Jauche

Die pH-Abhängigkeit der aktuellen Ammoniakkonzentration

Wenn wir von dem oben genannten Schwellenwert von 0,2 mg NH₃/l für Regenbogenforellensetzlinge ausgehen, so müßte Jauche sehr stark verdünnt werden, um unbegrenzt lange auf die Tiere einwirken zu können. Der durch Nessler's Reagens gefundene Ammonium-Ammoniak-Gehalt der Jauche gibt uns aber keine direkte Auskunft über die Giftigkeit der Jauche und den darausfolgenden Verdünnungsgrad, denn das Reagens bestimmt nur summarisch den Stickstoffgehalt, welcher durch die Verbindung NH₃ (Ammoniak) und NH₄⁺ (Ammoniumion) gegeben ist. Das für Fische giftige Ammoniak und das ungiftige Ammonium stehen zueinander in einem ausschließlich durch den pH-Wert bestimmten

Mengenverhältnis. Man hat für diese Abhängigkeit Kurven erarbeitet, aus denen für jeden bestimmten pH-Wert die Größe der Dissoziation von Ammonium und Ammoniak in Prozenten abzulesen ist. (S. Abb. 1.)

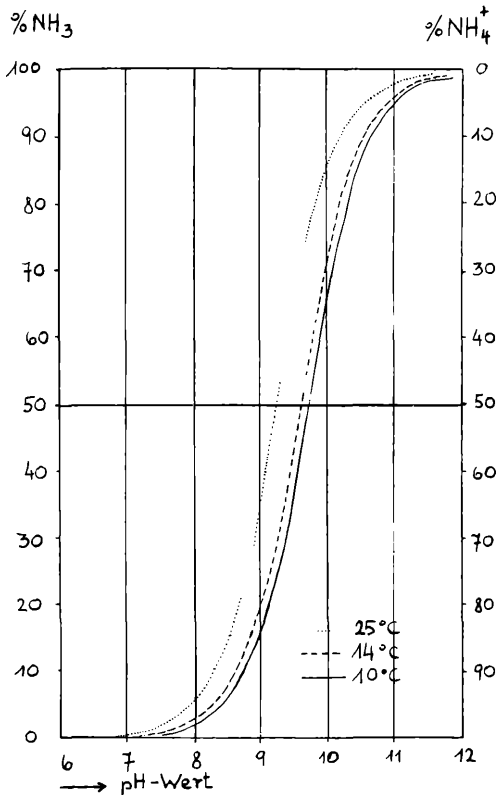


Abb. 1: Die Abhängigkeit der Dissoziation von Ammonium vom pH-Wert und von der Temperatur. Aus H. Woker, 1949: Graphische Darstellung von Werten, die für drei Temperaturen nach den von Everett und Wynne-Jones bestimmten temperaturabhängigen Dissoziationskonstanten berechnet wurden. — (Everett, H. D. and Wynne-Jones, Proc. Roy. Soc. [London], Ser. A, 169, 190, 1938)

Diese Kurven zeigen nun erstens, daß eine nicht unerhebliche Temperaturabhängigkeit der Dissoziation besteht, und zweitens, daß sich wesentliche Mengen Ammoniak überhaupt erst bei pH-Werten von 7,5 aufwärts bilden.

Bei Temperaturen um 17°C beträgt der Ammoniakanteil am Ammonium-Ammoniak-Gehalt bei pH = 7,0 nur 0,3%, bei pH =

7,5 1%, bei pH = 8,0 etwa 3%, bei pH = 8,5 10%, bei pH = 9,0 24% und bei pH = 10,0 etwa 75%.

Bei einer Vermischung von Jauche mit Wasser kommt es nun ganz darauf an, welcher pH-Wert sich dabei einstellt: Je höher er ist, desto giftiger ist das Gemisch. Dazu ein Rechenbeispiel:

Verdünnt man Jauche von 0,4 g $\text{N}/\text{NH}_3 - \text{NH}_4/\text{l}$ 200fach, so wird die Verdünnung nur noch 0,002 g oder 2 mg $\text{N}/\text{NH}_3 - \text{NH}_4/\text{l}$ enthalten. Sollte sich ein pH-Wert von 8,5 eingestellt haben, so liegen nur 10% (bei 17°C) dieser Menge als aktueller Ammoniak vor, nämlich 0,2 mg NH_3/l . Dies ist bereits der Schwellenwert für Regenbogenforellensetzlinge, eine Konzentration, die unter sonst günstigen Umständen wahrscheinlich tagelang einwirken müßte, um einen kleinen Teil der Fische zu töten.

Ganz allgemein bedeutet geringe Verdünnung einer Jauche einen höheren pH-Wert, denn Jauche selbst reagiert meist stark alkalisch (bis pH = 10). Bei Verdünnungen unter 50fach gehen die pH-Werte vielfach über 9,0. Es stiegen jedoch bei sämtlichen Jaucheverdünnungen, die noch für Zeitversuche mit Fischen in Frage kamen — sie lagen zwischen 50- bis 150fach, die pH-Werte nicht über 8,6.

Obwohl natürlich die Giftigkeit einer Verdünnung von der aktuellen Ammoniakkonzentration abhängt, so kann man doch nach bisherigen Erfahrungen annehmen, daß eine 200fache Jaucheverdünnung nicht mehr giftig wirkt. Eine 100fache Verdünnung dagegen ist akut gefährlich. In vielen Fällen, wo Jauche in einen Bach übergepumpt wird, ist die Verdünnung noch viel geringer. Müßte doch für eine Pumpenleistung von nur 1 Sekundenliter schon ein Vorfluter von wenigstens 150 bis 200 Sekundenlitern zur Verfügung stehen, damit kein Schaden entsteht. Die in der Landwirtschaft verwendeten Pumpen fördern aber nicht selten 10 Sekundenliter!

Der Einfluß der Karbonathärte (SBV) bei Jaucheeinleitungen:

Eine erstaunlich geringe Rolle scheint die Karbonathärte, auch SBV oder Säureverbindungsvermögen zu spielen, wenn einem Wasser Jauche zugesetzt wird. Die Karbonat-

te ist (im Falle des SBV) durch den Gehalt : Wassers an Calciumbikarbonat gegeben d stellt eine Puffereigenschaft des Wassers : Je höher das SBV, je härter das Wasser, :to schwerer läßt sich sein pH-Wert durch gabe von Säuren oder Laugen erniedrigen er erhöhen. Es wäre nun folgerichtig anzunehmen, daß beim Zusatz der an sich laugenit reagierenden Jauche zu verschiedenen ttem Wasser sich der pH-Wert im weichen asser wesentlich stärker erhöht als im tten. Bei gleichem Verdünnungsgrad jedoch ragen die Unterschiede gerade soviel, daß n eine Tendenz der pH-Wert-Erhöhung im icheeren Wasser erkennen läßt.

Freilich bedeutet z. B. bei 10° C der pH-Wert) in der „harten“ Verdünnung 2% Am- niak, der pH-Wert 8,2 in der „weichen“ rdünnung 3% Ammoniak, bei 18° C liegt : pH = 8,3 fast doppelt so viel (6,6%) nmoniak vor wie bei pH = 8,0 (3,5%). rade bei Ammoniakkonzentrationen in he des Schwellenwertes könnte hier also : Karbonathärte darüber entscheiden, ob che vergiftet werden oder nicht. Ebenso oße Unterschiede können aber auch durch mperaturdifferenz oder mit derselben Unzu- lässigkeit auch durch Verdünnungsunter- iede erreicht werden. Das SBV der für diese itersuchungen verwendeten Verdünnungs- sser lag zwischen 0,0 und 3,7.

Das SBV eines Wassers wird durch Zugabe n Jauche stets erhöht, und zwar um einen trag, der von Verdünnung und Art der iche bestimmt wird und sich zu dem schon rhandenen SBV addiert. (Jauche, die keine sssler-Reaktion mehr gibt, erhöht das SBV r noch sehr schwach.)

In diesem Zusammenhang ist es auch wich- ; die Kalkung von ammoniakhaltigem asser zu erwähnen. Bei der Heilbehandlung n Fischen mit Kalk — es sei an dieser Stelle drücklich auf den ebenfalls in diesem Heft findlichen Aufsatz von Prof. EINSELE rweisen — wird auf Krankheitserreger über : Erhöhung des pH-Wertes im Wasser ein- wirkt. Es werden bei der Kalkung aus der rbindung $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (Hydratkalk, Brannt- lk) OH-Ionen frei, das Wasser wird mehr er weniger alkalisch, bis durch die Gegen- rkung des in fast jedem natürlichen Wasser lösten Calciumbikarbonates die pH-Wert-

Erhöhung abgestoppt und zuerst rasch, später immer langsamer rückgängig gemacht wird. Nach den weiter obenstehenden Ausführungen ist es daher verständlich, daß eine Kalkung in ammonium-ammoniakhaltigem Wasser sehr gefährlich werden kann, sobald nämlich ak- tuelle Ammoniakkonzentrationen erreicht werden, die die Fische rascher töten, als der pH-Wert zurückgeht. Sobald daher der Ver- dacht besteht, daß Wasser durch Jauche ver- unreinigt ist, sollten Kalkbäder unterbleiben.

Schwankungen des pH-Wertes infolge der Assimilation von Wasserpflanzen

In stehendem Wasser können Schwan- kungen des pH-Wertes durch die Assimila- tionstätigkeit der Wasserpflanzen hervorgeru- fen werden und zu Ammoniakvergiftungen von Fischen führen. Bei der Assimilation wird dem Wasser Kohlensäure entzogen. Die da- durch eintretende biogene Entkalkung be- wirkt eine Erhöhung des pH-Wertes, um so mehr, je mehr z. B. Algen vorhanden sind.

So berichtet SCHÄPERCLAUS von Teichen, welche mit ammoniumsalthaltigen Wässern aus Rieselfeldern versorgt wurden und für die Haltung von Karpfen bestens verwendet werden konnten, solange der pH-Wert niedrig war. Oft aber traten im Frühjahr Massen- verluste an Fischen auf, welche auf keine üb- liche Weise erklärt werden konnten. Es wurde beobachtet, daß mit dem Fischsterben jedes- mal eine Massenentwicklung mikroskopisch kleiner Algen (Wasserblüte) eingetreten war. Diese winzigen Lebewesen erhöhten durch ihre Assimilation den pH-Wert derart, daß der bisher unschädliche aktuelle Ammoniak- gehalt des Wassers zu tödlichen Konzentra- tionen anstieg. Es handelte sich, wie genaue Untersuchungen ergaben, um eine Ammoniak- vergiftung der Karpfen.

4. Die Giftwirkung von Ammoniak bei ver- schiedenen Temperaturen

Im natürlichen Lebensraum des Fisches spielt die Temperatur eine außerordentlich wichtige Rolle: Sie bestimmt nicht nur, wieviel Sauer- stoff sich im Wasser lösen kann, sie bestimmt auch wieviel Sauerstoff der Fisch braucht und nimmt überhaupt Einfluß auf den Stoffwechsel sämtlicher Wasserorganismen einschließlich der Bakterien, deren Tätigkeit es zu verdanken

ist, daß alle im Wasser enthaltenen fäulnisfähigen organischen Substanzen allmählich abgebaut werden.

Beschleunigung des Vergiftungsprozesses durch erhöhte Temperaturen

Die Frage, ob Ammoniak bei höheren Temperaturen giftiger wirkt, wurde zuerst durch Versuche mit Aiteln zu klären versucht. Die Ergebnisse waren unsicher. Als aber Elritzen als Versuchsfische benützt wurden, erhielt man ein anderes Bild: Bei gleichbleibendem Sauerstoffgehalt, gleichem pH-Wert und gleichem aktuellem Ammoniakgehalt des Wassers starben die Fische um so rascher, je höher die Temperaturen lagen. Im Temperaturbereich über 12° C zeigte sich bei ihnen ein Q_{10} von 3,1 bis 3,4. Mit anderen Worten: Bei einer Temperaturerhöhung um 10° C verkürzt sich die Überlebensdauer auf rund ein Drittel.

Die Temperaturabhängigkeit der Dissoziation des Ammoniumions

Ganz unabhängig von dieser Beschleunigung des Vergiftungsprozesses ist die schon erwähnte Temperaturabhängigkeit der Dissoziation des Ammoniumions. Bei gleichbleibendem Ammonium-Ammoniak-Gehalt und pH-Wert wird um so mehr freier Ammoniak gebildet, je höher die Temperatur ist. Berücksichtigt man den Temperaturgang eines Gewässers über das ganze Jahr hindurch, so zeigt sich, daß bei völlig gleichbleibender Verdünnung einer Jauche und gleichem pH-Wert im Sommer 5- bis 6mal soviel Ammoniak im Wasser sein kann als im Winter. Bei Ammoniakkonzentrationen um den Schwellenwert können also hohe Sommertemperaturen durchaus den letzten Ausschlag für ein Fischsterben geben. Besonders stehende und daher stark erwärmte Gewässer, wie Teiche, sind dann gefährdet. Die Unterschiede der aktuellen Ammoniakkonzentrationen bei verschiedenen Temperaturen und gleichem pH-Wert sind aus Abb. 1 abzulesen.

5. Die Giftwirkung von Ammoniak bei verschiedenen Sauerstoffgehalten des Wassers

Das Zusammenwirken von Sauerstoffmangel und Ammoniak

Zwischen Sauerstoffkonzentration und Gift-

wirkung von Ammoniak besteht ein sehr wichtiger Zusammenhang: Sinkt der Sauerstoffgehalt in ammoniakvergiftetem Wasser vom Sättigungsgehalt abwärts, so hat dies zunächst keine Wirkung auf die Fische. Die Zeitspanne, nach der die Tiere von Krämpfen und Lähmungen befallen werden (Manifestationszeit) richtet sich allein nach der Giftkonzentration.

Sind aber nur mehr zwei Drittel und weniger des Sauerstoff-Sättigungsgehaltes vorhanden, so nimmt die Giftwirkung des Ammoniaks rasch zu. Anders ausgedrückt: Bei gleichbleibendem Ammoniakgehalt und gleichen sonstigen Bedingungen sterben die Fische um so rascher, je weniger Sauerstoff ihnen zur Verfügung steht. Es braucht dabei kein Sauerstoffmangel zu bestehen, sondern es genügt ein Sauerstoffdefizit von einem Drittel des Sättigungswertes, um diese Erscheinung hervorzurufen. Die für die betreffenden Versuche verwendeten Fische waren wiederum Elritzen. Es muß daher noch vermerkt werden, daß der kritische Sauerstoffgehalt für Elritzen in Reinwasser bei Versuchstemperatur (15° Celsius) 1,1 ccm/l beträgt, das sind 16 Prozent des Sättigungswertes.

Die Länge der Manifestationszeit richtet sich um so mehr nach dem Sauerstoffgehalt des Wassers, je tiefer die Ammoniakkonzentrationen an sich liegen.

Die Wirkungen des Ammoniaks auf die Atmung der Fische

Das Ammoniak scheint so zu wirken, als erhöhe es die kritische Sauerstoffkonzentration, die von Natur aus für jede Fischart verschieden hoch ist. Aus eigenen Beobachtungen kann hier berichtet werden, daß Karpfensetzlinge, die in unbelüfteten Becken bei bestimmten Ammoniakkonzentrationen gehalten wurden, umso früher mit der Notatmung einsetzen, je höher die Ammoniakkonzentration lag. Eine Überprüfung der Sauerstoffkonzentrationen ergab, daß in keinem Fall jene Konzentration erreicht worden war, bei der Karpfen in Reinwasser bei gegebener Temperatur (um 0,5 ccm O₂/l) damit beginnen, sondern daß sie 2- bis 6mal höher waren.

Es lag daher nahe, den Sauerstoffverbrauch der Karpfen ebenfalls zu überprüfen. Um die sauerstoffzehrende Wirkung der Jauchestoffe

auszuschalten, wurden für den betreffenden Versuch Ammonchloridlösungen verwendet. Die Versuchsgefäße waren offen, unbelüftet und enthielten gleiche Wasser- und Fischmengen. Die in gewissen Zeitabständen durchgeführten Sauerstoffkontrollen ergaben, daß noch um so mehr Sauerstoff vorhanden war, je höher die Ammoniakkonzentrationen waren, daß die Fische in diesen also weniger Sauerstoff veratmet hatten. Auch nach Überführung in reines Wasser verbrauchten die an hohe Ammoniakkonzentrationen gewöhnten Fische weniger Sauerstoff als jene, die an weniger hohe gewöhnt waren, und diese wieder weniger als die Kontrollfische, die von vorneherein immer in reinem Wasser gehalten worden waren. Der Sauerstoffverbrauch der „Ammoniakfische“ normalisierte sich erst, als sie ein zweites Mal in frisches, reines Wasser umgesetzt worden waren.

Würde es sich bei diesem durch Ammoniak verminderten Sauerstoffverbrauch um eine Adaptation handeln, so wäre zu erwarten, daß die Fische in reinem Wasser nach dem Maß ihrer Gewöhnung sparsam atmen, sich aber sonst normal verhalten. Da sie aber auch im Reinwasser noch eine Zeitlang mit der Notatmung fortfahren (also bei Sauerstoffkonzentrationen nahe dem Sättigungswert) so kann daraus nur auf eine blockierende und schädigende Wirkung des Ammoniaks geschlossen werden, wobei offen bleiben muß, an welchem Punkt der Atemphysiologie die Giftwirkung ansetzt.

WUHRMANN und WOKER deuten an, daß die Verschiebung des kritischen Sauerstoffdruckes nach oben eventuell mit der schon erwähnten Hämolyse zu erklären wäre. Durch eine Zerstörung der roten Blutkörperchen müßte ja das Transportvermögen des Blutes für Sauerstoff stark herabgesetzt werden. Aus diesen Gründen ist auch ein gewisser Zusammenhang möglich, der bei der Wirkung von Giften auf Fische nicht von vorneherein angenommen werden darf (jedem Giftstoff ist eine spezielle Reihung der Arten nach Empfindlichkeit zugeordnet), nämlich ein Zusammenhang zwischen Sauerstoffbedürfnis und Ammoniakempfindlichkeit, zumindest in grober Übersicht.

Interessant ist auch, daß Karpfen, welche

in ungiftigem Wasser in Sauerstoffnot geraten, blaß werden, in ammoniakhaltigem Wasser aber dunkel, ja schwarz, und zwar um so früher und um so dunkler, je höher die Ammoniakkonzentrationen liegen. Die Erscheinung ist auch bei Schleien zu beobachten.

Versuche über die Verkürzung der Überlebensdauer von Fischen bei Ammoniakvergiftung und gleichzeitig bestehendem Sauerstoffdefizit

Eine Untersuchung von Forellen durch ALLAN ergab, daß sie bei gleichbleibender Ammoniakkonzentration bei 95% Sauerstoffsättigung 14 Stunden lang, bei 60% Sättigung 1,3 Stunden lang und bei 30% (schon in der Nähe der kritischen Sauerstoffkonzentration) nur 35 Minuten lang überlebten.

Zwei ziemlich drastische eigene Versuche an Regenbogenforellensetzlingen seien hier noch angeführt:

Bei Sauerstoffsättigung einer Jaucheverdünnung von 30% traten die typischen Ammoniakreaktionen der Fische bereits nach 2 bis 3 Minuten auf, der Tod folgte nach 30 Minuten. Selbstverständlich wurde in einem parallel gehenden Kontrollversuch überprüft, ob die Fische in Reinwasser bei gleichmäßigem Sauerstoffgehalt überhaupt durchhalten konnten.

Bei derselben Ammoniakkonzentration und einer Sauerstoffsättigung von 100% traten die Ammoniakreaktionen erst nach 50 Minuten ein, der Tod nach 3 bis 5,5 Stunden. Die Lebensdauer der Forellen verlängerte sich durch die besseren Sauerstoffverhältnisse auf das 6- bis 10fache.

Bei einem weiteren Versuch mit nur etwas höheren Ammoniakkonzentrationen traten die ersten Vergiftungserscheinungen bei einem Sauerstoffgehalt von 90% der Sättigung nach 10 Minuten ein, der Tod zwischen 1,5 und 2 Stunden. Bei einem Sauerstoffgehalt von 340% der Sättigung (erreicht durch künstliche Sauerstoffzufuhr) zeigten sich die Ammoniakreaktionen nach 14 Minuten, der Tod erfolgte nach 2,5 bis 4 Stunden. In diesem Falle bewirkte die Übersättigung des Wassers an Sauerstoff etwa eine Verdoppelung der Lebensdauer.

Zwar handelt es sich hier um Einzelversuche, sie passen aber durchaus in die von WUHRMANN und WOKER an Elritzen gefundene Gesetzmäßigkeit, daß nämlich in höheren Sauerstoffkonzentrations-Bereichen mehr die Giftwirkung des Ammoniaks in den Vordergrund tritt — eine Verlängerung oder Verkürzung der Manifestationszeit ergibt sich höchstens etwa im Verhältnis 1 : 2 —, in tieferen Sauerstoff-Konzentrationsbereichen mehr die Verkürzung der Lebensdauer durch Sauerstoffmangel. Beim Sinken der Sauerstoffkonzentration von zwei Drittel des Sättigungswertes abwärts tritt eine beträchtliche Verkürzung der Manifestationszeit und der Überlebensdauer ein, die beim kritischen Sauerstoffgehalt rund ein Zehntel der bei Sauerstoffsättigung festgestellten Zeiten erreichen. Mag der praktische Wert eines Versuches mit Sauerstoffübersättigung einer Jaucheverdünnung auch nicht groß sein, er zeigt dennoch deutlich die Richtung an, in welcher der Faktor Sauerstoff wirkt.

Die Auswirkungen von Jauchezuleitungen auf die Sauerstoffverhältnisse im Wasser

Nun, da die Bedeutung des Sauerstoffes bei der Ammoniakvergiftung bekannt ist, muß noch einmal auf den in diesem Zusammenhang wichtigen Faktor Temperatur zurückgegangen werden, auf die Tatsache nämlich, daß bei Temperaturerhöhung die Löslichkeit des Sauerstoffes im Wasser herabgesetzt wird (der Sättigungswert beträgt bei 0° C 10 ccm O₂/l, bei 10° C 8 ccm O₂/l, bei 20° C 6,5 ccm O₂/l) gleichzeitig der Sauerstoffverbrauch des Fisches steigt und damit auch die kritische Sauerstoffkonzentration. Ebenfalls durch Temperaturerhöhung beschleunigt sich der Abbau bzw. die Oxydation von fäulnisfähigen organischen Substanzen, die im Fischwasser stets in größeren oder kleineren Mengen vorhanden sind.

Man mißt die Menge von solchen Substanzen im Wasser durch den sogenannten Permanganatverbrauch, welcher in mg/l angegeben wird. Gelangt nun Jauche in das Wasser, so erhöht sich der Permanganatverbrauch ganz beträchtlich. Bei den von mir für Versuchszwecke verwendeten Jauchen fand sich für den unverdünnten Zustand ein

Höchstwert von 50.000 mg Permanganat/l und ein Mindestwert von 5000 mg Permanganat/l (die Permanganatverbräuche von Bächen gehen gewöhnlich bis 50 mg/l, jene von Teichen bis 150 mg/l). Diese Verbräuche entsprechen etwa 8 g und 0,8 g gemischter fäulnisfähiger organischer Substanz pro Liter und zu ihrem vollständigen Abbau wären rein rechnerisch 8 und 0,8 Liter Sauerstoff nötig. Bei 100facher Verdünnung dieser Jauchen mit reinem Wasser und bei einer Temperatur von 10° C würde, wiederum rein rechnerisch, zehnmal bzw. einmal der volle Sättigungswert des Gemisches an Sauerstoff verbraucht werden. Die Einbringung der Jauche erhöht die Sauerstoffzehrung also wesentlich und es kann vorkommen, daß die Fische bei an sich nicht tödlichen Ammoniakkonzentrationen nur durch die erhöhte Giftwirkung des Ammoniaks bei gleichzeitigem relativen Sauerstoffmangel eingehen. Vor allem sind hier stehende und langsamfließende, erwärmte und eventuell auch vorbelastete und daher mit Sauerstoffdefizit versehene Gewässer gefährdet. Die Sauerstoffzehrung ist ein Prozeß, der Zeit braucht und um so rascher in Schwung kommt, je mehr das Bach- oder Teichwasser schon organisch vorbelastet ist, und der natürlich bei längerem Verweilen des Wassers an einer Stelle besonders wirksam wird.

6. Die Giftwirkung von Ammoniak auf Forellen, Karpfen und Schleien

Die Giftwirkung auf Karpfen, Vergleiche zwischen Karpfen und Forellen

Die große Giftresistenz von Karpfen drückt sich auch in ihrem Verhalten gegenüber Ammoniak aus. Es darf genauer so formuliert werden: Karpfen halten hohe Konzentrationen nicht nur lange aus, sondern sie reagieren auch ziemlich träge.

Was diese Reaktionsträgheit betrifft, so ist sie durch die große individuelle Verschiedenheit in der Ammoniakempfindlichkeit bedingt und kann durch die Zeitspanne beschrieben werden, die zwischen dem Tod des ersten und letzten Versuchsfisches in einer Jaucheverdünnung verstreicht. Diese Zeitspanne ist in jenem kleinen Konzentrationsbereich, in dem Karpfen und Forellen überhaupt mit-

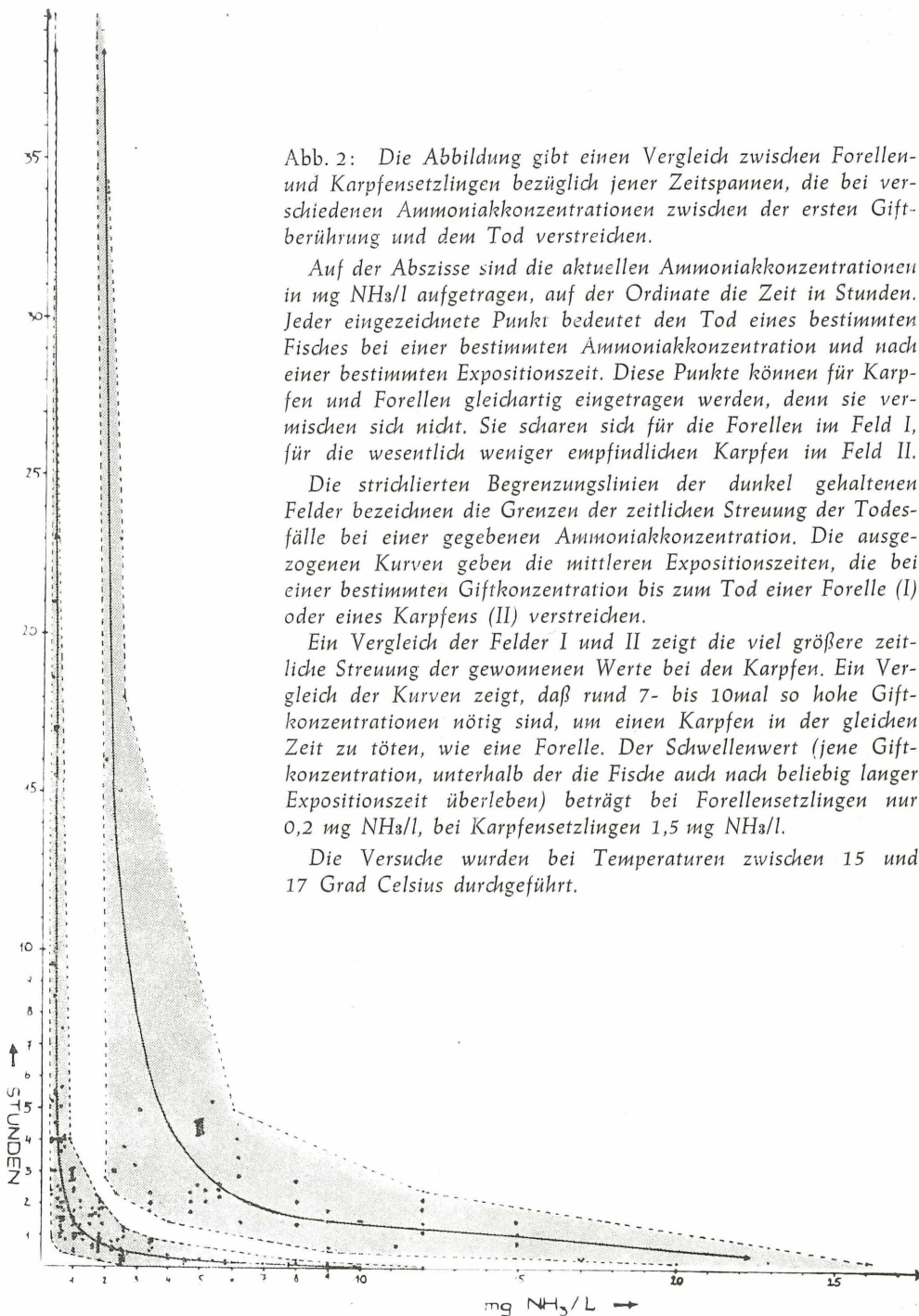


Abb. 2: Die Abbildung gibt einen Vergleich zwischen Forellen- und Karpfensetzlingen bezüglich jener Zeitspannen, die bei verschiedenen Ammoniakkonzentrationen zwischen der ersten Giftberührung und dem Tod verstreichen.

Auf der Abszisse sind die aktuellen Ammoniakkonzentrationen in mg NH₃/l aufgetragen, auf der Ordinate die Zeit in Stunden. Jeder eingezeichnete Punkt bedeutet den Tod eines bestimmten Fisches bei einer bestimmten Ammoniakkonzentration und nach einer bestimmten Expositionszeit. Diese Punkte können für Karpfen und Forellen gleichartig eingetragen werden, denn sie vermischen sich nicht. Sie scharen sich für die Forellen im Feld I, für die wesentlich weniger empfindlichen Karpfen im Feld II.

Die strichlierten Begrenzungslinien der dunkel gehaltenen Felder bezeichnen die Grenzen der zeitlichen Streuung der Todesfälle bei einer gegebenen Ammoniakkonzentration. Die ausgezogenen Kurven geben die mittleren Expositionszeiten, die bei einer bestimmten Giftkonzentration bis zum Tod einer Forelle (I) oder eines Karpfens (II) verstreichen.

Ein Vergleich der Felder I und II zeigt die viel größere zeitliche Streuung der gewonnenen Werte bei den Karpfen. Ein Vergleich der Kurven zeigt, daß rund 7- bis 10mal so hohe Giftkonzentrationen nötig sind, um einen Karpfen in der gleichen Zeit zu töten, wie eine Forelle. Der Schwellenwert (jene Giftkonzentration, unterhalb der die Fische auch nach beliebig langer Expositionszeit überleben) beträgt bei Forellensetzlingen nur 0,2 mg NH₃/l, bei Karpfensetzlingen 1,5 mg NH₃/l.

Die Versuche wurden bei Temperaturen zwischen 15 und 17 Grad Celsius durchgeführt.

einander verglichen werden können — etwa zwischen 2 und 5 mg NH_3/l —, mindestens viermal so groß wie bei Forellen, meist aber noch größer (s. Abb. 2). Es ist klar, welchen Vorteil diese Tatsache für den Karpfen mit sich bringt: Die Chance zu überleben. In der erwähnten Zeitspanne kann sich die Giftkonzentration selbst, der pH-Wert, die Temperatur des Wassers so günstig verändern, daß die kräftigeren Tiere überleben. Auch die geringe Empfindlichkeit gegenüber einem Sauerstoffdefizit spielt hier eine große Rolle. Zum Beispiel überlebten Karpfen in zwei gleichstarken und zunächst gleichgiftigen Jaucheverdünnungen dort, wo ihr Ende ziemlich sicher schien, wo nämlich nicht durchlüftet wurde: Die Tiere hatten trotz stundenlanger Notatmung den pH-Wert in der sie umgebenden Jaucheverdünnung durch Abgabe von Atmungskohlensäure so herabgesetzt, daß die aktuelle Ammoniakkonzentration unter die tödliche Grenze gesunken war. Hingegen starben alle Tiere in dem durchlüfteten Gefäß, trotzdem hier der Sauerstoffgehalt ziemlich hoch gewesen war. Die Durchlüftung hatte die Atmungskohlensäure aus der Verdünnung ausgetrieben, den pH-Wert gegenüber seiner Anfangshöhe sogar noch erhöht und auf dieser Höhe erhalten. Die daraus resultierende Giftkonzentration war für die Karpfen auf Versuchsdauer tödlich.

Die Ammoniakkonzentrationen, die von Karpfen unbegrenzt lange vertragen werden, liegen unter 1,5 mg NH_3/l , so daß dieser Wert als Schwellenwert gelten kann. Sieht man von sehr empfindlichen und sehr resistenten einzelnen Tieren ab, so können für verschiedene Ammoniakkonzentrationen folgende mittlere Überlebenszeiten gelten:

Unter 1,5 mg NH_3/l	unbegrenzt
2,0	20 Stunden
3,0	8
4,0	4,5
5,0	3
6,0	2
7,0	1,75
10,0	1
15,0	0,5

Dazu ein Rechenbeispiel: Bei einer Temperatur von 17° C und einem pH-Wert von

8,0 sind 3% des $\text{N}/\text{NH}_3 - \text{NH}_4$ -Gehaltes in Form von Ammoniak vorhanden. Angenommen 3% seien 10 mg NH_3/l . 100% sind somit 330 mg $\text{N}/\text{NH}_3 - \text{NH}_4/\text{l} = 0,33 \text{ g } \text{N}/\text{NH}_3 - \text{NH}_4/\text{l}$. Eine solch hohe Konzentration entspricht bereits einer schwachen, unverdünnten Jauche (siehe Tabelle 1), die nach den gemachten Beobachtungen auch noch eine Stunde lang einwirken müßte, um Karpfensetzlinge zu töten — genügend hohen Sauerstoffgehalt vorausgesetzt.

Es stehen für Teichfische wie Karpfen Jauchestöße in Bächen auch gar nicht im Vordergrund, sondern die langfristigen Einwirkungen von geringen Ammoniakkonzentrationen, die im stehenden Wasser auftreten. In einem vegetationsreichen Teich können zudem die pH-Werte ohne weiteres zwischen 8,0 und 9,0 schwanken, was ein Schwanken der aktuellen Ammoniakkonzentration im Verhältnis 1 6 bis 1 8 zur Folge hat. Schwankt z. B. der pH-Wert nur zwischen 8,0 und 8,3, so bewegen sich die aktuellen Ammoniakkonzentrationen zwischen 1,5 und 3,0 mg NH_3/l , d. h. auch die mittlere Lebensdauer von Karpfensetzlingen schwankt zwischen Tagen und 8 Stunden. Ein gefährlicher Schwebzustand kann auf diese Weise lange Zeit aufrecht bleiben. Es braucht dann nur eine Wasserblüte aufzutreten, um durch weitere pH-Wert-Erhöhung ein Karpfensterben hervorzurufen.

Gegenüber Forellen halten Karpfen bei gleicher Einwirkungsdauer mindestens 7mal höhere Ammoniakkonzentrationen aus. Deutliche Ammoniakreaktionen, wie blitzschnelles Herumschwimmen, Krämpfe, Emporspringen über die Wasseroberfläche werden auch bei Karpfen beobachtet, doch kann es nach diesen erste Reaktionen noch längere Zeit dauern, bis die Fische wirklich eingehen, bzw. jenseits der Erholbarkeit sind. Oft tritt darnach Beruhigung ein, eine Art Apathie, die so weit führt, daß ein Fisch in Normalstellung eingeht, also scheinbar ruhig am Boden steht, bis man ihn anstößt und feststellt, daß er bereits tot ist. Dagegen wieder zeigen Fische, die bereits wie tot am Boden lagen und nur mehr kaum merklich die Kiemendeckel bewegten eine erstaunliche Erholbarkeit, wenn sie in reines Wasser gesetzt wurden. Gegen-

Der den Forellen verläuft die Ammoniakvergiftung bei Karpfen undramatischer, zeitlich viel gedehnter und mit viel größeren Ausmaßen auf Erholung.

Wirkung des Ammoniaks auf Schleien

Systematische Versuche mit Schleien wurden nicht durchgeführt, doch deutet sich bei den einzigen an, daß Schleien von 3–4 cm Länge keine etwa gleich große Giftresistenz gegen Ammoniak aufweisen, wie Karpfensetzlinge.

B. lebten Schleien bei 1 mg NH_3/l fünf Stunden lang, dann wurde der Versuch gebrochen. Bei 2,5 mg NH_3/l gingen die Versuchstiere zwischen 20 und 24 Stunden ein (etwa 18°C).

Schleien zeigen nach Ammoniakvergiftungen keine geradezu unheimliche Erholbarkeit. Auch sind ihre Reaktionen ganz uncharakteristisch. Die Vergiftung äußerte sich durch zunehmende Mattigkeit. Der Verlust des Leichgewichts bedeutet ebenso wie beim Karpfen noch lange nicht das Ende der Erholbarkeit.

7. Die Selbsterzeugung von Ammoniak bei Karpfen

Daß Fische bei zu lange dauernden Transporten trotz künstlicher Sauerstoffzufuhr an Selbstvergiftung erliegen können, ist bekannt. Es wurde daher auch die Selbsterzeugung von Ammoniak bei dicht transportierten Karpfen (1 Gewichtsteil Karpfen in 4 Gewichtsteile Wasser) bei etwa 15°C beobachtet:

Die $\text{N}/\text{NH}_3\text{--}\text{NH}_4$ -Konzentration stieg binnen einer Stunde von 0 auf 2,5 mg/l, binnen 5 Stunden auf 12 mg/l und binnen 24 Stunden auf 34 mg/l. Diese letzte Konzentration kann man auch in Kanalwässern finden. Im vorliegenden Versuch betrug der pH-Wert des Wassers etwa 7,5, so daß nur 10% dieser Menge als Ammoniak vorhanden war, also 0,3 mg/l. Es hätte eine Vergiftung in diesem Fall nicht eintreten können. Die Versuche wurden mit künstlicher Sauerstoffzufuhr durchgeführt.

Schlußwort

Es erübrigt sich, eine Zusammenfassung der bisherigen Ergebnisse hier anzuschließen, da schon die Einleitung zu diesem Aufsatz in den wichtigsten Punkten eine Zusammenfassung

bringt. Es darf aber nochmals eine Warnung ergehen an alle jene, für die die Jauche Abfallstoff ist: Sie nicht in die Bäche zu pumpen! Eine Pumpenleistung von 10 Sekundenlitern würde mindestens einen Vorfluter von 1,5 bis 2 cbm/sek verlangen. In jedem kleineren Bach ist ein verheerendes Fischsterben die Folge. Auch Fahrlässigkeit ist oft Anlaß für ein Fischsterben: ein Wasserhahn, über Nacht laufen gelassen, kann das Übergehen der Jauchegrube verursachen, und dies wieder ein Fischsterben im nahegelegenen Bach. Die Aufsicht der Pumpe wurde vernachlässigt — das Überlaufen des Jauchefasses verursachte ein Fischsterben. Eine angeblich leere Jauchegrube lief über Nacht mit Wasser voll. Der Landwirt, im Glauben, daß ihr Inhalt ohnehin keine richtige Jauche mehr sei, ließ ihn in einen nahen Bach pumpen: Wieder war ein Fischsterben die Folge. Weder durch Absicht, noch durch Fahrlässigkeit darf ein Übermaß an Jauche in die Bäche gelangen!

Literatur

- Allan, J. R. H.: Effects of Pollution on Fisheries. Verh. Int. Ver. theor. ang. Limnologie, 12, 1955.
- Liebmann, H.: Handbuch der Frischwasser- und Abwasserbiologie II, München 1960.
- Schäperclaus, W.: Fischerkrankungen und Fischsterben durch Massenentwicklung von Phytoplankton bei Anwesenheit von Ammoniumverbindungen. Z. f. Fischerei und deren Hilfswiss. Bd. I N. F., Heft 1/2, Juli 1952.
- Woker, H.: Die Temperaturabhängigkeit der Giftwirkung von Ammoniak auf Fische. Verh. Int. Ver. f. theor. ang. Limnologie 10, 1949.
- Woker, H. und Wuhrmann, K.: Die Empfindlichkeit bestimmter Fischarten gegenüber Ammoniak, Blausäure und Phenol. Rev. Suisse de Zoologie, Bd. 57 Nr. 21, 1950.
- Wuhrmann, K., Zehender, F. und Woker, H.: Über die fischereibiologische Bedeutung des Ammonium- und Ammoniakgehaltes fließender Gewässer. Mitt. Eidg. Anst. f. Wasserversorgung, Abwasserreinigung u. Gewässerschutz, Zürich 1947.
- Wuhrmann, K. und Woker, H.: Experimentelle Untersuchungen über die Ammoniak- und Blausäurevergiftung. Schweiz. Z. f. Hydrologie, 11, 1948, 1/2.
- Wuhrmann, K. und Woker, H.: Über die Giftwirkung von Ammoniak- und Zyanidlösungen mit verschiebener Sauerstoffspannung und Temperatur auf Fische. Schweiz. Z. f. Hydrologie, 15, 2, 1953.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Österreichs Fischerei](#)

Jahr/Year: 1964

Band/Volume: [17](#)

Autor(en)/Author(s): Danecker Elisabeth

Artikel/Article: [Die Jauche Vergiftung von Fischen - eine Ammoniakvergiftung
55-68](#)