

# Vergleich von Kreislaufanlagen für Nutzfische und von Gesellschaftsaquarien der Süßwasseraquaristik mit einer Kreislaufanlage für Wasserschildkröten

HANS-JOACHIM BARTELS

## Abstract

*Comparison of closed recirculating fish culture systems with a closed recirculating aquatic turtle culture system*

In a present recirculating aquasystem for turtles, aerobic destroyers of organic compounds, as well as nitrifying and denitrifying bacteria are dissimilating waste so that there is no need for an exchange of water. This simple low density aquatic turtle culture is compared to expensive high density fish aquacultures and low density toy fish tanks. Ammonia, nitrite, and nitrate were analysed in the turtle tanks during ten years. The concentrations of these ions were in the same order of magnitude in all three systems. In all cases, these levels were tolerable for fish and turtles. The amount of waste depends on the density of animals in the water. The tanks of turtle owners pursuing their hobby can be handled much easier than the tanks of fish producers interested in selling many big fish. The hobby pisciculture of Characidae also can be handled easily provided the tanks contain only a few animals.

Key words: Recirculating aquaculture, mineralization, nitrification, denitrification, ammonia, nitrites, nitrates, fish, turtles.

## Zusammenfassung

Substratveratmer, Nitrifizierer und Denitrifizierer bauen in einer Kreislaufanlage für Wasserschildkröten ohne Wasserwechsel die Schmutzstoffe laufend ab. Die stickstoffhaltigen Stoffwechselprodukte wie Ammonium, Nitrit und Nitrat wurden über zehn Jahre halbquantitativ bestimmt. Der Vergleich mit denselben Parametern im Kreislaufwasser von Nutzfischen und Wasser aus Aquarien mit Zierfischen ergab durchgängig Resultate in für Schildkröten und Fische tolerierbarer Größenordnung. Die Belastung des Wassers durch Metabolite der Tiere hängt von der Besatzdichte ab. Deshalb ist die Anlage des Schildkrötenhalters, der seiner Liebhaberei nachgeht, viel leichter zu handhaben als die Anlage des Fischproduzenten, der möglichst viele und große Fische verkaufen möchte. Das Hobby Zierfischhaltung ist auch sehr leicht zu handhaben, falls man sein Aquarium nicht mit zu vielen Fischen besetzt.

Schlagwörter: Aquakultur im Kreislauf, Mineralisation, Nitrifikation, Denitrifikation, Ammonium, Nitrite, Nitrate, Fische, Schildkröten.

## 1 Einleitung

Ich habe in der SALAMANDRA ein Verfahren beschrieben, wie man das Wasser in einer Kreislaufanlage mit zehn Schildkröten ohne Wasserwechsel lange Zeit klar und für die Tiere geeignet erhalten kann (BARTELS 1994). Triebfeder meiner Bemühungen war der Wunsch, biologische Prozesse mit dem Ziel einzusetzen, Trinkwasser und Energie sparsam zu verwenden. Die Basis bildete das Wissen, wie man durch gezielten Einsatz von mineralisierenden, nitrifizierenden und denitrifizierenden Bakterien organische Substanzen, Ammonium, Nitrit und Nitrat aus dem Aquarienwasser entfernt und so den pH-Wert über lange Zeit ohne große Schwankungen halten kann. Hintergrundinformationen zu diesen Prozessen gab BARTELS (1989).

Abwasser- und Rohwasserreinigung besteht außer der Veratmung (Mineralisierung) von organischen Substanzen vor allem im Entfernen des gebundenen anorganischen Stickstoffs (giftig) durch Nitrifikanten und Denitrifikanten. Dieses Ziel haben die kommunalen und industriellen Kläranlagen, einige Wasserwerke (Umwandlung von nitrathaltigem oder ammoniumhaltigem Rohwasser in Trinkwasser), die Kreislaufanlagen zur Speisefischproduktion, einige Anhänger der Süßwasseraquaristik und eben auch meine Kreislaufanlage für Schildkröten. Die drei zuerst genannten Anlagen sind dem Prinzip nach Durchlaufanlagen, während die drei letztgenannten Anlagen einander so ähnlich sind, daß sich ein Vergleich untereinander lohnt. Was kann man von der Speisefischproduktion in Kreislaufanlagen für die Wasserschildkrötenhaltung lernen? Diese Frage sollte man schon deshalb stellen, weil viele wissenschaftliche Arbeiten zum Thema Nutzfischproduktion allein in der deutschsprachigen Literatur vorliegen, während ich außer meinen Arbeiten keinen Titel zur Haltung von Wasserschildkröten in Kreislaufanlagen finden konnte, in denen der Autor bewußt die Reinigung des Wassers durch Bakterien anstrebt. Warum spielt die Nutzfischhaltung im Kreislauf eine wachsende Rolle? Da infolge zunehmender Umweltverschmutzung selten Wasser in genügender Menge und Qualität zur Verfügung steht, werden seit einigen Jahren in den USA, in Japan, im Osten Europas und auch in Deutschland verschiedene Systeme erprobt, die mit einer sehr geringen Menge Frischwasser effektive Fischproduktion betreiben.

## 2 Anlagen, Tiere, Besatzdichten, Fütterung der Tiere, Fütterung der Bakterien

Die Anlage für Wasserschildkröten wurde in BARTELS (1994) abgebildet. Da meine Aquarien für Wasserschildkröten in einem kleinen Raum untergebracht sind, kann ich aus Platzmangel nicht an jedem Aquarium eine Kläranlage installieren. Die beiden Aquarien der Anlage, mit ① und ② bezeichnet, sind unter Zwischenschaltung einer Kläranlage und einer Pumpe zu einem Wasserkreislauf verbunden. Da Aquarium ① auf einem höheren Untergestell liegt als Aquarium ②, muß die Pumpe das Wasser von ② nach ① hochdrücken. Von ① nach ② läuft das Wasser durch die als Tropfkörper angelegte Kläranlage nach unten.

Aufwendige Nutzfischanlagen wurden unter anderem beschrieben von KAISER (1987), MOSKWA (1991), OTTE & ROSENTHAL (unveröff.), SCHUSTER (1993), SOLBACH (1990) und STEINBACH (1984). Mein Zierfischbecken faßt circa 100 l Wasser. Es enthält nur Sand, Steine und Holz.

Die in meiner Anlage nach zehn Jahren vorhandenen Schildkröten sind in Tabelle 1 aufgeführt.

In Tabelle 2 sind die Besatzdichten der Schildkröten in meiner Kreislaufanlage während eines Zeitraumes von zehn Jahren zusammengestellt.

Nutzfischproduzenten haben ihre Versuche auf mehrere Fischarten ausgedehnt. Die von mir zitierten Autoren arbeiten vor allem mit der Regenbogenforelle (*Oncorhynchus mykiss*). Die in meinem 100 l-Becken vorhandenen Salmler werden in Tabelle 3 genannt.

In seiner Arbeit zur Physiologie von Wasserschildkröten in der Gefangenschaftshaltung hat SACHSSE (1967) angegeben, daß man bei einmaligem Wasserwechsel pro Monat nicht mehr als 1–2 kg Schildkröten in 200 l Wasser halten soll. SACHSSE (1967) empfiehlt also Werte für die Besatzdichte von Schildkröten zwischen 100–200. Die Besatzdichte in meiner Anlage stieg kontinuierlich bis 1993. [Besatzdichten nehmen mit höheren Werten ab]. Das lag zum einen am starken Wachstum einer Matamata (*Chelus fimbriatus*). Diese Schildkröte mußte 1993 in ein anderes Aquarium umge-

Vergleich von Kreislaufanlagen für Nutzfische und Wasserschildkröten

Art	Masse (g) Jan. 98	Anzahl der Tiere	Jahre in der Anlage
<i>Trachemys scripta elegans</i>	450	1	10
<i>Sacalia bealei</i>	325	1	10
<i>Emydura subglobosa</i>	440; 370	2	10; 10
<i>Kinosternon minor minor</i>	260	1	10
<i>Chelodina novaeguineae</i>	170	1	7
<i>Malaclemys terrapin</i>	1040; 640	2	3; 2
<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	710	1	1

Tab. 1. Schildkrötenbesatz in meiner Anlage.

Stocking of turtles in my tanks.

Jahr	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98
Besatzdichte	292	194	163	131	114	101	280	200	192	143	138

Tab. 2. Besatzdichte der Schildkrötenanlage (1 Wasser/kg Schildkröte), ermittelt jeweils am 1. Januar eines Jahres.

Density of turtles in the tanks (1 water/kg turtle), always weighed in January.

Art	Anzahl der Tiere	Jahre in der Anlage
<i>Pristella maxillaris</i>	15	5-7
<i>Hyphessobrycon herbertaxelrodi</i>	20	5-7

Tab. 3. Zierfischbesatz in meinem Aquarium.

Number and species of Characidae in my tank.

setzt werden. Zum anderen mußte eine Amboina-Scharnierschildkröte (*Cuora amboinensis*) herausgenommen werden. Als Ersatz für die beiden „Wachstumsbomben“ kamen im Laufe der Jahre zwei Diamantschildkröten (*Malaclemys terrapin*) und eine südamerikanische Erdschildkröte (*Rhinoclemmys punctularia*) in die Anlage.

Alle Mäster von Forellen arbeiten wegen der Wirtschaftlichkeit mit Besatzdichtewerten unter 100. Tabelle 4 zeigt beispielsweise die Besatzdichten von *O. mykiss* während drei Versuchen (KAISER 1987). Fünfzig etwa 40 g schwere Fische wuchsen während der 16 Wochen Mastperiode zur Handelsmasse heran, und am Versuchsende lagen alle Besatzdichte-Werte unter 100.

Versuch	1	2	3
Versuchsbeginn:			
a. Fischbecken	47	77	76
b. gesamte Anlage	350	355	250
Versuchsende:			
a. Fischbecken	13	18	12
b. gesamte Anlage	77	91	67

Tab. 4. Besatzdichte der Forellen (l Wasser/kg Forelle) (nach KAISER 1987).

Density of trout (l water/kg trout) (after KAISER 1987).

Art	Menge
Fischmehl	300
Federmehl	210
Maisquellstärke	110
hydrolysierter Weizen	260
Fischöl	100
Vitamine	20

Tab. 5. Mischplan des Futters; Angaben in g/kg Trockensubstanz (nach KAISER 1987).

Mixture of pellets (g/kg dry substance) (after KAISER 1987).

Die Besatzdichte an Sternflecksalmern (*Pristella maxillaris*) und Schwarzen Neontetras (*Hyphessobrycon herbertaxelrodi*) ist nicht direkt mit den Besatzdichten der Schildkröten und der Nutzfische vergleichbar, da meine Zierfische nicht gewogen werden. Mein Aquarium hat einen Besatz von höchstens 1 cm<sup>3</sup> Fisch pro Liter Wasser.

Die Schildkröten werden alle fünf bis zehn Tage einmal gefüttert. Als Nahrung werden gereicht: tote, zerschnittene Salz- und Süßwasserfische, Bananenscheiben, Garnelen, zerschnittenes Muschelfleisch (gekocht) und Schildkrötenpudding mit vorgenannten Inhaltsstoffen. Außerdem sind im Gelatinepudding enthalten: Spinat, Leber, Möhren-, Soja- und Multisanostolsaft. Diese Nahrungsmittel werden in unregelmäßiger Reihenfolge und ohne Überwachung der Mengen gegeben. Falls in einem Aquarium der Anlage nach 15 Minuten Nahrungsbrocken übrigbleiben, werden sie ins andere Aquarium gegeben und gefressen. KAISER (1987) verwendete Pellets für Forellen. Die Komponenten sind Tabelle 5 zu entnehmen. Er fütterte zweimal pro Tag. Meine Zierfische werden in fünftägigem Abstand vorwiegend mit etwa zwölf Tabi-Min-Tabletten versorgt.

Die Exkremente der Schildkröten beziehungsweise der Nutzfische und die Futterreste reichen nicht aus, um den Bedarf der Denitrifikanten an verwertbaren organischen Substanzen zu decken. Dieser Bedarf muß aber gedeckt sein, damit das Gleichgewicht zwischen Nitrifikanten (Säurebildner) und Denitrifikanten (Basenbildner) nicht zugunsten der Säurebildner gestört wird. Über die Eignung von organischen Verbindungen, die von Formiat, Acetat, Methanol, Äthanol und Glucose bis Saccharose, Stärke und Cellulose reichen, gibt es unterschiedliche Erkenntnisse. SOLBACH (1990) hat Saccharose eingesetzt. Leider wuchs auch das Bakterium

Lösung A:		Lösung C:	
$K_2HPO_4 \cdot 3H_2O$	0,87 g	$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	0,2 g
$KH_2PO_4$	0,54 g	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	0,1 g
$KNO_3$	5 g	$MnSO_4 \cdot H_2O$	0,05 g
$(NH_4)_2SO_4$	1 g	$Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$	0,01 g
Kohlenstoffquelle	4 g	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	0,01 g
destilliertes Wasser	980 ml	0,1 n HCl	100 ml
Lösung B:		Füge je 10 ml der Lösungen B und C zur Lösung A.	
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	2 g		
destilliertes Wasser	100 ml		

Tab. 6. Minimal-Nährlösung für Denitrifikanten (nach JETER & INGRAHAM 1981).  
Minimal medium for sustainable growth of denitrifying bacteria (after JETER & INGRAHAM 1981).

*Sphaerotilus natans* explosionsartig. KAISER (1987) und MOSKWA (1991) verwendeten Maisquellstärke mit Erfolg. Sie mußten den Nährstoff immer dann zugeben, wenn der pH-Wert unter 6,8 sank. BARTELS (1994) nimmt Weinsäure. Diese Wahl geht auf die Feststellung von VAN NIEL et al. (1952) zurück, daß man den Denitrifikanten *Pseudomonas stutzeri* aus Erdproben leicht isolieren konnte, nachdem man dieses Bakterium in einer Nährlösung mit Weinsäure angereichert hatte. Der Zweck meiner Wahl einer „ungewöhnlichen“ gegenüber einer „gewöhnlichen“ Nahrungsquelle wie etwa Acetat besteht darin, möglichst nur eine denitrifizierende Bakterienart in meiner Anlage anzureichern. Bei Verwendung von Acetat würden viele denitrifizierende Arten wachsen. Ich gebe die Weinsäure (100 g in 400 ml Wasser) seit Mitte 1994 nur noch einmal pro Monat.

Denitrifizierer benötigen zum Wachstum nicht nur die Makroelemente Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Phosphor, Schwefel, Kalium, Natrium, Magnesium, Calcium und Eisen, sondern auch die Mikroelemente (Spurenelemente) Mangan, Molybdän, Kupfer und Chlor. Eine Minimalnährlösung ist in Tabelle 6 zusammengestellt. Die angeführten Salze werden von mir nicht in die Anlage für Schildkröten gegeben; trotzdem müssen sie sich im Wasser angereichert haben. In meinem Zierfischaquarium wurden Bakterien nicht durch eine zusätzliche organische Nahrung unterstützt.

### 3 Physikalische Daten: Durchflußrate, Wassertemperatur, Beleuchtung

Die Durchflußrate und damit die Belüftungsrate des Wassers sind außer von der Leistung der Pumpe unter anderem von der Konstruktion der Anlage sowie dem Bewuchs und Sediment in Schläuchen und Rohren abhängig. Die Durchflußrate in der Schildkrötenanlage betrug nach acht Jahren etwa 400 l/h. Nach zehn Jahren maß ich nur noch etwa 200 l/h. Im elften Jahr wurde nach Einsatz einer neuen Pumpe etwa 500 l/h gemessen. Nach STEINBACH (1984) wurde das Wasser in seiner Intensivanlage für Forellen täglich bis zu 90-mal umgewälzt. In meiner Anlage für Schildkröten

wurde die Pumpe zweimal für zehn Tage abgestellt. Auch andere Ruhephasen wurden probiert. Die Ergebnisse aus diesen Versuchen werden unten besprochen.

Bei meiner Anlage liegt nur der Tropfkörper außerhalb der beiden verbundenen Aquarien (BARTELS 1994). Ein Besucher, der die Schildkröten in der Anlage bewundert, wird weitere Klärteile nicht entdecken. In meinem Zierfischaquarium ist kein Klärteil vorhanden. Ein Durchlüfterstein ist 45 Minuten pro Tag in Betrieb. Die Nutzfischproduktion in großem Ausmaß gelingt nur durch den Betrieb großer und technisch aufwendiger Klärteile. Sie können zum Beispiel bei Forellenhaltern aus vier Becken bestehen, von denen eines oder zwei für die Tiere verwendet werden (MOSKWA 1991). Mit zunehmender Erfahrung versuchen die Fachleute der Nutzfischproduktion die aufwendigen Klärteile etwas zu reduzieren. SCHMITZ-SCHLANG & MOSKWA (1992) besetzten die Forellenanlage nicht nur über eine Mastperiode.

Die Verdunstungsrate in einer Anlage steigt mit der Durchflußrate. Bei einer Rate von etwa 500 l/h muß ich pro Woche etwa 20 l Leitungswasser auffüllen. Die Nutzfischhalter füllen mehr auf, bedingt durch Spritzwasser, Entnahme von Überschußschlamm und eventuell Bäder des Fischbestandes gegen Parasiten.

Auf die Übereinstimmung optimaler Wassertemperaturen für Schildkröten (23–27 °C), Warmwassernutzfische und notwendige Bakterien soll hingewiesen werden. Die Geschwindigkeit des Abbaus der Schmutzfracht ist in Kaltwasserklärteilen (Forellen, Wassertemperatur 13–15 °C) geringer. Diese Zusammenhänge gelten natürlich auch für die Warmwasserzierfische und die im Aquarium (21–26 °C Wassertemperatur) vorhandenen Bakterien.

Der größere Teil der Wasseroberfläche in der Schildkrötenanlage wird durch Sparlampen nur mäßig beleuchtet, um Algenwachstum zu unterdrücken. Messungen der Luxwerte über meiner Anlage bei bedecktem Himmel und bei Sonnenschein ergaben am Fenster des Raumes etwa 300 Lux, bei Sonne etwa 1300 Lux. An den beiden „Sonnenplätzen“ der Aquarien ① und ② unter den beiden Sparlampen sind jeweils etwa 1000 Lux vorhanden, über der etwas weiter entfernten Wasseroberfläche von Aquarium ① etwa 10 Lux, bei Sonne etwa 50 Lux. Über dem Wasser von Aquarium ② schwanken die Zahlen zwischen 30–100 Lux bei bedecktem Himmel und etwa 200 Lux bei Sonnenschein.

Nach ELMAR MEIER (mündl. Mitt.) lieben Wasserschildkröten dunkles Wasser. Auch Nutzfischhalter haben wegen der Streßanfälligkeit der Tiere und wegen der Algen nur mäßige Beleuchtungsstärken über ihren Becken. Nach KAISER (1987) betrug die Beleuchtungsstärke etwa 10 cm über der Wasseroberfläche circa 40 Lux; sie wurde bei der Fütterung der Fische auf 60 Lux erhöht. Über meinem Zierfisch-aquarium liegen vier Glühlampen à 25 Watt. Dies verhindert nicht eine leichte Entwicklung von Algen.

Die überwiegende Zahl der im Wasser lebenden Bakterien kommt nicht im freien Wasser suspendiert vor, sondern sie sind als Aufwuchs auf allen festen Grenzflächen vorhanden. Alle Bakterien, außer wenigen Photosynthese betreibenden Gruppen, meiden das Licht. ULKEN (1963) stellte bei Nitrifikanten durch Beleuchtungsstärken von 6000 Lux eine geringe Hemmung fest. Nach HOOPER et al. (1973) tritt dagegen eine starke Hemmung der Ammoniumoxidation bereits bei 420 Lux ein. In Nutzfischanlagen und in Süßwasseraquarien gibt es sicherlich genügend dunkle Standorte, wo Nitrifikanten arbeiten können. In der Schildkrötenanlage (BARTELS 1994) hat vor allem der Tropfkörper mit Gesteinskörnchen zur Nitrifikation genügend lichtarme Stellen.



#### 4 Überwachung der chemischen und biochemischen Parameter

In Süßwässern liegen Chloride immer vor. Die Chloridwerte der Stader Wasserwerke, der Schildkrötenanlage, des Salmleraquariums und die Grenzwerte der deutschen Trinkwasserverordnung (LEHR 1990) sind Tabelle 7 zu entnehmen. PERRONE & MEADE (1977) haben gezeigt, daß ein Chlorid- zu Nitritstickstoff-Verhältnis von mehr als 10 : 1 einen sicheren Schutz vor einer Vergiftung durch Nitrit bietet. Aufgrund der gemessenen Werte (Tab. 7–10) kann es nicht zu Vergiftungen kommen. Außerdem wird bei den im Wasser meiner beiden Anlagen herrschenden pH-Werten (Tab. 8–10) sehr wenig Nitrit zur giftigen salpetrigen Säure umgewandelt. Auch in den Nutzfischanlagen ist der Schutz vor der salpetrigen Säure garantiert. Nach MOSKWA (1991) liegt das Cl- zu NO<sub>2</sub>-N-Verhältnis (mg/l) in den Produktionsphasen seiner drei Versuche zu jedem Zeitpunkt bei mehr als 10 : 1.

Wasser	Wasserwerke	Schildkrötenanlage					Salmleraquarium				Grenzwerte
Datum	12/89	1/92	6/94	1/96	1/97	1/98	1/97	3/97	5/97	7/97	12/90
	10/95										
Chloride (mg/l)	30	180	325	425	375	250	100	100	75	75	250
Sulfate (mg/l)	39	75	225	280	270	200	110	110	65	80	240
Phosphate (mg/l)	0,01	–	–	220	90	45	15	14	10	10	6,7
Leitfähigkeit (mS/cm)	0,45	–	–	2,67	2,34	1,71	–	–	–	–	2,00

Tab. 7. Vergleich chemischer Parameter im Wasser der Schildkröten- und der Salmleranlage mit Werten des Stader Wasserwerkes und der Trinkwasserverordnung (LEHR 1990).

Comparison of some chemicals in the water of turtle tanks and in a tank harbouring two species of Characidae with the water quality of the Stade water supply and legal limits for drinking water (LEHR 1990).

Sulfate sind wie Chloride in jedem Süßwasser vorhanden. In der Schildkrötenanlage und dem Salmleraquarium kommt es zu einer Aufsalzung des verwendeten Leitungswassers mit Sulfat (Tab. 7). Sulfat stammt zum einen aus dem Ersatzwasser; Wasser, aber nicht Sulfat, geht durch Verdunstung verloren. Zum anderen steigt der Sulfatanteil auch an, weil Nahrung zu einem großen Teil aus Proteinen besteht. Durch Verdauung und durch bakterielle Prozesse werden die Eiweiße zerlegt, ihr Schwefelanteil freigesetzt und im Wasser chemisch und biochemisch zu Sulfat oxidiert. Da dieses im Aquarium als weitgehend unkritisch gilt, haben Nutzfischhalter Sulfat meist nicht bestimmt.

In Kreislauf-Hälteranlagen für Nutzfische kommt es durch die intensive Fütterung der Tiere zur Anreicherung von Phosphat. SCHMITZ-SCHLANG & MOSKWA (1992) fanden nach 18 Monaten Betrieb ihrer Forellenanlage 242 mg Phosphat/l Wasser. Im Bonner Leitungswasser fehlt Phosphat. Das Stader Trinkwasser enthält weniger als

0,01 mg/l. BARTELS (1994) hat über Jahre Phosphat zum Wasser seiner Schildkröten-Hälteranlage zugefügt, aber erst am 22.1.1996 analysiert: 220 mg Phosphat/l. Von 1996 an unterblieb die Zugabe von Phosphat. Die frühere Zugabe von Phosphat ist zu rechtfertigen durch den hohen Gehalt an Phosphaten in Nährlösungen für Bakterien (siehe Tab. 6). Da ich die Aufsatzung der beiden Anlagen reduzieren wollte, habe ich zum einen jeweils 20 l Wasser pro Monat in den letzten beiden Jahren aus der Schildkrötenanlage herausgenommen und durch 20 l Leitungswasser ersetzt, zum anderen jeweils einmal pro Jahr 80 % des Wassers der Salmirer ersetzt. Im Januar 1998 liegen nunmehr die Chlorid-, die Sulfat- und die Werte der elektrischen Leitfähigkeit der Schildkrötenanlage innerhalb der Grenzwerte der Trinkwasserverordnung von 1990; nur der Phosphatwert liegt höher (Tab. 7). Der Vergleich von Parametern meiner Anlagen mit Grenzwerten der Trinkwasserverordnung bedeutet aber keineswegs, daß das Wasser der beiden Anlagen Trinkwasserqualität hat. Zum Beispiel sind im Trinkwasser nur wenige Bakterien pro ml erlaubt, in meinen Anlagen dagegen gibt es sehr hohe Bakterienzahlen pro ml Wasser.

Organische Verbindungen, zum Beispiel Kohlenhydrate, werden von Bakterien (Substratveratmern) unter Sauerstoffverbrauch zu Kohlenstoffdioxid und Wasser abgebaut; man nennt das mineralisiert. Genaue Bestimmungen der organischen Stoffe im Wasser nach Art und Menge erfordern extrem hohen Laboraufwand. Deshalb sind Summenbestimmungen üblich. So läßt man zum Beispiel die organischen Verbindungen in der Wasserprobe während fünf Tagen bei 20 °C bakteriell durch die im Wasser vorhandenen Bakterien oxidieren (veratmen, mineralisieren) und der verbrauchte Sauerstoff wird angegeben. Mit dieser Methode, BSB<sub>5</sub> genannt, werden nicht alle organischen Verbindungen erfaßt, sondern nur die schnell durch Bakterien angreifbaren. Die eigentlichen BSB<sub>5</sub>-Werte sind kleiner als die gefunde-

Da- tum	94				95				96			
	24.7.	5.9.	11.10.	6.11.	30.1.	28.3.	27.5.	4.8.	27.9.	29.11.	31.1.	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,05	0,05	0,05	0,10	0,03	0,05	0,12	0,22	0,02	0,05	0,10	
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,02	0,05	0,03	0,10	0,02	0,02	0,01	0,10	0,02	0,01	0,02	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	12	80	80	30	40	50	50	35	5	25	10	
pH	8,0	7,6	8,0	7,7	8,0	8,0	7,8	7,7	7,8	7,8	7,7	

  

Da- tum	96 (Fortsetzung)				97							
	30.3.	28.5.	2.8.	29.9.	1.12.	30.1.	31.3.	31.5.	31.7.	1.10.	30.11.	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,02	0,01	0,05	0,25	0,10	0,08	0,10	0,10	0,10	3	0,91	
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,02	0,01	0,10	0,05	0,02	0,01	0,05	0,10	0,02	0,22	0,11	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	35	30	60	70	80	70	90	100	40	30	55	
pH	8,0	8,0	7,7	7,8	7,7	7,7	7,7	7,5	7,9	7,7	7,5	

Tab. 8. Anorganische Stickstoffverbindungen (mg/l) und pH-Werte in der Schildkrötenanlage in den Jahren 1994-1997.

Inorganic nitrogen compounds (mg/l) and acidity in the turtle tanks in 1994-1997.



nen, weil bei der simultanen Nitrifikation ebenfalls Sauerstoff verbraucht wird. MOSKWA (1991) fand 10,9 mg O<sub>2</sub>/l als Mittelwert eines Versuches; KAISER (1987) ermittelte in einem Experiment 10,3 mg O<sub>2</sub>/l. Das Wasser aus dem Schildkrötenbecken (Probenahme am 17.1.1996) ergab: 2,4 mg O<sub>2</sub>/l. Nach WACHTEL (1982) sind in Zierfischaquarien Werte zwischen 1,5–4 mg BSB<sub>5</sub> üblich. Die Anlage für Schildkröten hat also eine Belastung des Wassers durch organische Verbindungen, die etwa der Belastung von Zierfischaquarien entspricht. Ich stimme mit OTTE & ROSENTHAL (unveröff.) überein, die für ihre Nutzfischanlage feststellten: Von allen Abbauprozessen ist die aerobe Substratveratmung am einfachsten zu erreichen.

Das Säurebindungsvermögen, als SBV abgekürzt, des Stader Trinkwassers beträgt 2,7 mmol/l (Mittelwert aus vier Analysen). Das SBV wird auch als Säurekapazität bis

Versuche	BARTELS 1. Versuch Pumpe ruht	BARTELS 1. Versuch Pumpe läuft 200 l/h	BARTELS 2. Versuch Pumpe läuft 500 l/h	MOSKWA 1. Versuch vier Elek- tromotoren laufen	MOSKWA 2. Versuch vier Elek- tromotoren laufen	MOSKWA 3. Versuch vier Elek- tromotoren laufen
NH <sub>4</sub> (mg/l)	9 0,3-0,9 0,5	12 0,0-0,2 0,1	32 0,0-0,3 0,1	148 0,4-4,2 1,9	147 1,2-5,8 3,5	64 0,4-2,2 1,2
NO <sub>2</sub> (mg/l)	9 0,19-0,88 0,51	12 0,02-0,02 0,02	32 0,00-0,20 0,06	148 0,07-0,76 0,26	147 0,1-1,0 0,3	64 0,07-0,66 0,20
NO <sub>3</sub> (mg/l)	9 43-60 46	12 42-60 49	32 25-75 52	148 31-261 137	147 9-137 80	64 35-75 60
pH	9 7,2-7,6 7,3	12 7,6-7,7 7,6	32 7,6-8,0 7,8	148 6,8-7,7 7,0	147 6,3-7,2 6,8	64 6,7-7,2 6,8
Zugaben	Weinsäure 1 mal pro Monat	Weinsäure 1 mal pro Monat	Weinsäure 1 mal pro Monat	Stärke 26 mal pro Versuch	Stärke 4 mal pro Versuch	Stärke 40 mal pro Versuch

Tab. 9. Vergleich von Ammonium-, Nitrit- und Nitratkonzentration sowie pH-Wert bei unterschiedlichen Pumpversuchen in der Schildkrötenanlage (BARTELS) und bei Forellenanlagen (MOSKWA 1991). Erste Zeilen: Anzahl der Messungen an aufeinander folgenden Tagen; zweite Zeilen: Spannweite; dritte Zeilen = Mittelwert.

Comparison of ammonia, nitrite, and nitrate concentrations as well as acidity between the turtle tank (BARTELS) and trout aquaculture tanks (MOSKWA 1991) in different pumping experiments. First rows: number of measurements on consecutive days; second rows: minima and maxima; third rows: mean.

pH 4,3 bezeichnet. Das SBV ist die Pufferfähigkeit des Wassers gegenüber Säuren. RENNERT (1981) zeigte, daß bei der Nitrifikation von 1 mg Ammonium 6,78 mg Hydrogencarbonat verbraucht wird. Das bedeutet einen Abfall des SBV. Durch die Denitrifikation dagegen wird Hydrogencarbonat gebildet. Das bedeutet eine Zunahme des SBV. Das SBV in der Anlage für Schildkröten ist genügend hoch, um einen Säuresturz durch Nitrifikation zu vermeiden. Dies gilt auch für mein Sammler-aquarium (Tab. 10). KAISER (1987) erhöhte die Säurekapazität bis pH 4,3 durch Zugabe von Natriumhydrogencarbonat oder besser durch Zugabe von Maisquellstärke, um die Denitrifikanten zu unterstützen.

Nach KASSEBEER (1989) sind bei pH-Werten zwischen 5–9 die jeweiligen freien Säure- oder Alkaligehalte so gering, daß sie in der Aquaristik physiologisch bis auf einige Ausnahmen keine Rolle spielen. Die Trinkwasserverordnung von 1990 fordert pH-Werte von 6,5–9,5. Die Werte in der Schildkrötenanlage und in meinem Zierfischaquarium liegen zwischen 7–8 (siehe Tab. 8–10).

In lange gefahrenen geschlossenen Systemen mit Nutztieren wird die Bildung von nur langsam durch Bakterien abbaubaren Gelbstoffen im Wasser dadurch zum Problem, daß die Tiere schlecht zu sehen sind. Hierdurch wird zum Beispiel eine Überfütterung von Nutzfischen möglich. Auch in meiner Schildkrötenanlage ist seit einigen Jahren eine schwache Verfärbung sichtbar, auch durch Zierholz mitbedingt. Während des über zehn Jahre laufenden Versuches gab es in vier hintereinander liegenden Jahren keinen Wasserwechsel. Ein steigender Anteil an Fischmehl in den Futtermischungen für Nutzfische schlägt sich nach SCHUSTER (1993) in einem schnelleren Färbungsanstieg im Anlagenwasser nieder. Der Einsatz einer Diät ohne Fischmehl, dafür als Ersatz zerkleinerten, nicht erhitzten Fisch, unterdrückt die Wasserfärbung weitgehend. Gelbstoffe im Salmieraquarium gibt es offenbar nicht.

Die Bildung von Überschussschlamm in einer 14,6 m<sup>3</sup>-Forellenanlage, die 18 Monate gefahren wurde, ist nach SCHMITZ-SCHLANG & MOSKWA (1992) gering; 4,5 kg Trockenmasse wurden erhalten. In der Schildkrötenanlage gab es in zehn Jahren im Aquarium ① bei seltenem Wasserwechsel (achtmal in zehn Jahren) und bei seltener Reinigung des Tropfkörpers (dreimal) eine Entfernung von Schlamm. Die Rohre und Schläuche der Anlage wurden nicht gereinigt. Die Pumpe wurde nicht gesäubert. Nach dreieinhalb Jahren wurde sie gegen eine neue Pumpe ausgetauscht. Nach zehn

Parameter	Datum				Grenzwerte*
	1/97	3/97	5/97	7/97	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	0,10	0,03	0,03	0,10	0,5
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,1
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	35	15	30	50	50
pH	7,6	7,9	7,7	7,9	6,5-9,5
Säurekapazität (mmol/l)	4,1	4,9	4,2	4,5	–

\*der Trinkwasserverordnung

Tab. 10. Wasserchemische Daten des Zierfischaquariums.

Chemical analysis of the water of a tank with two species of Characidae.

Jahren Betrieb hat der Schlamm unter dem Zwischenboden in Aquarium ② eine Höhe von durchschnittlich etwa 10 cm erreicht. Bei Nutzfischanlagen kann ein Verfrachten von Schlamm (Belebtschlamm) aus einem Becken durch starke Wasserströmung unerwünscht sein, weil dadurch der Abbau der organischen Stoffe, die Nitrifikation und die Denitrifikation behindert werden. Man muß also Schlamm zurückführen. Nach STEINBACH (1984) hatten Chironomidenlarven, Denitrifikation und *Sphaerotilus natans* im Nachklärbecken seiner Forellenanlage zum Schlammauftrieb geführt. In der Schildkrötenanlage und in meinem Zierfischaquarium führte die Denitrifikation nicht zum Schlammauftrieb. Im Zierfischaquarium wird einmal pro Jahr eine geringe Menge Schlamm (Mulm) geräumt, der größere Anteil wird aufgrund der Empfehlung von KASSEBEER (1989) am Bodengrund belassen.

## 5 Klärung des Wassers mit Hilfe von Bakterien

Bei der Ausarbeitung ökonomisch sinnvoller Methoden der Nutzfischproduktion hat man durch Erfahrung lernen müssen, die erste Phase des Betriebs der geschlossenen Anlagen ohne Besatz mit Fischen zu fahren, weil in dieser Einarbeitungsphase die Biozönose der Bakterien noch nicht ihr dynamisches Gleichgewicht gefunden hat. Erst nachdem man begriffen hatte, in dieser Phase ohne Fische trotzdem Fischfutter als Nahrung zur Anreicherung von Bakterien zu geben, haben sich die Nitrit-, Nitrat- und Ammoniumwerte auf niedrigem Niveau und der pH-Wert etwa auf dem Neutralpunkt eingependelt. Nach einigen Wochen können dann die Nutzfische eingesetzt werden. Das Vorgehen, der Besatzphase eine Einarbeitungsphase vorzuschalten, ist also empfehlenswert. Falls ein Halter von Wasserschildkröten das Prinzip meiner Anlage nachahmen möchte, sollte in seiner Anlage eine Einarbeitungsphase vorgesehen werden. Dieses Verfahren ist auch in der Süßwasseraquaristik bekannt. KRAUSE (1992) empfiehlt vor dem Fischbesatz ein Einfahren der Filter und des Aquariums. Durch Impfen mit etwas Schlamm aus einem alten Filter kann man das Einarbeiten beschleunigen. Es muß aber täglich gefüttert werden.

Während des Besatzes der Anlage wird den abbauenden Bakterien stickstoffhaltiges Fisch- oder Schildkrötenfutter nicht mehr direkt, sondern nur indirekt über den Abfall der Tiere zur Verfügung gestellt. Die Denitrifizierer werden jetzt zusätzlich mit stickstofffreien organischen Substanzen bedient, etwa mit Stärke (KAISER 1987, MOSKWA 1991), mit Weinsäure (BARTELS 1994) oder mit Essigsäure (FRITSCH 1996). Letzterer Autor forderte zusätzliche Fütterung der Denitrifizierer im Zierfischaquarium. Dieses ist nach KASSEBEER (1989) und KRAUSE (1992) überflüssig. Auch ich ziehe diese Folgerung aus meinen Ergebnissen (siehe Tab. 10).

Nitrifikation bedeutet, daß Ammonium durch Bakterien in Nitrit und letzteres dann in Nitrat umgewandelt wird. Die Denitrifizierer können Nitrat dann zum Stickstoffgas umbauen, dieses entweicht aus dem Wasser. Die Nitrifikation verläuft nur befriedigend, wenn auch nach der Einarbeitungsphase mehrere Parameter im günstigen Bereich liegen. Alle Tierhalter, die mit Kreislaufsystemen arbeiten, halten die Temperaturdaten, pH-Werte und Sauerstoffgehalte des Wassers in Bereichen, die für die Nitrifikation gut geeignet sind. Turbulenz und dadurch hoher Sauerstoffgehalt des Wassers erhöht die Nitrifikationsrate. Früher wurde oft behauptet, daß die autotrophen, mit Kohlenstoffdioxid als alleiniger Kohlenstoffquelle wachsenden Nitrifizierer durch organische Verbindungen gehemmt würden. Jedoch vermochten WILD et al. (1971) keine Änderung der Ammoniumoxidationsrate durch den Abbau organischer Verbindungen bis zu BSB<sub>5</sub>-Werten von 110 mg O<sub>2</sub>/l nachzuweisen.

Die Nitrifikation in der Schildkrötenanlage wurde 1992–1993 quantitativ (BARTELS 1994) und 1994–1998 etwa alle zwei Monate halbquantitativ verfolgt (siehe Tab. 8). Die Ammonium- und Nitritwerte von 1992–1993 sind tolerierbar bis auf einen hohen Ammoniumwert am 17.6.1992. Die Ammonium- und Nitritwerte 1994–1997 sind annehmbar bis auf die Zahlen am 1.10.1997 und am 30.11.1997 (Tab. 8). Diese Ergebnisse sind die Folge von längeren Pumpenruhen (zweimal je zehn Tage) und der dadurch bedingten Abnahme der Nitrifikationsleistung.

Die Ammonium- und Nitritwerte der acht Analysen im Salmieraquarium, in vier verschiedenen Monaten des Jahres 1997 gemessen, liegen sehr gut innerhalb der Vorgaben der Trinkwasserverordnung (Tab. 10). Nach KRAUSE (1993) gelten 0,1–0,5 mg Ammonium/l in eingefahrenen Aquarien als normal. Aquarienwasser enthält oft Konzentrationen um 0,02–0,1 mg Nitrit/l. Das ist harmlos. Im eingefahrenen Zierfischaquarium sind Werte über 0,2 mg Nitrit/l grundsätzlich zu beanstanden (KRAUSE, 1993).

In der Schildkrötenanlage werden Messungen der Ammonium- und Nitritkonzentration während verschiedener Pumpversuche auch an aufeinanderfolgenden Tagen durchgeführt (Tab. 9). Wenn wir die Grenzwerte der Trinkwasserverordnung für Ammonium (0,5 mg/l) und Nitrit (0,1 mg/l) zugrunde legen (LEHR 1990), werden die Auflagen der Verordnung in beiden Versuchen von BARTELS erfüllt, solange die Pumpe läuft. Dies ging ja auch schon aus den Ergebnissen der Tabelle 8 hervor. Die drei Versuche von MOSKWA (1991) verfehlen dagegen trotz intensiver Belüftung die Forderung der Verordnung.

Dabei mußte BARTELS mit der einmaligen Gabe einer immer gleich konzentrierten Weinsäurelösung pro Monat viel weniger Arbeit aufwenden als MOSKWA (1991). Dieser Autor verabreichte Maisquellstärke, in immer verschiedenen, jedesmal neu zu berechnenden Mengen. Ein weiterer Hinweis darauf, wie aufwendig die Forellenanlage betrieben werden muß, ist die benötigte elektrische Energie: vier Elektromotoren bei MOSKWA, eine 20-Watt-Pumpe bei BARTELS. Die Unterschiede ergeben sich zwangsläufig aus den verschiedenen Zielen: zum einen Wirtschaftlichkeit, zum anderen Hobby.

In allen fünf Versuchen wurde der Zustand der Tiere in Augenschein genommen. Die Tiere scheinen durchweg gesund zu sein. Nur im zweiten Experiment von MOSKWA (1991) fand man Fische, die infolge der besonders hohen Ammoniumwerte Reduktionen des Kiemendeckels und Schleimhautläsionen an den Kiemenpapillen aufwiesen.

Der molekulare Sauerstoff ist für die Denitrifikation sicherlich der bedeutendste Faktor. Nach CHRISTENSEN et al. (1977) kann Denitrifikation in der Mikroumgebung von Aufwuchs auf festen Oberflächen noch bei Sauerstoffgehalten von 1–2 mg/l stattfinden. Bei einigen denitrifizierenden Bakterien tritt ein hemmender Effekt nach KRUL (1977) jedoch erst bei 4 mg  $O_2$ /l auf. Nach KAISER (1987) scheint eine Nitratreduktion sogar bei  $O_2$ -gehalten von 5–6 mg/l möglich zu sein, wenn Maisquellstärke in kurzen Zeitintervallen zudosiert wird.

DELWICHE (1956) und KNOWLES (1981) konnten zeigen, daß bei der Denitrifikation in einem pH-Bereich oberhalb von 7,3  $N_2$  (Stickstoffgas) und im Bereich unter 7,3  $N_2O$  (Lachgas) abgegast wird. Die Freisetzung von Lachgas ist kritisch anzusehen, da es an der Zerstörung der Ozonschicht beteiligt ist. In meiner Schildkrötenanlage und in meinem Characidenaquarium mit pH-Werten über 7,3 (siehe Tab. 8–10) wird also molekularer Stickstoff abgegeben, bei MOSKWA (1991)  $N_2O$ .

Am 31.5.1997 ergab die Analyse 100 mg Nitrat/l (siehe Tab. 8). Daraufhin wurden in den beiden Zeitabschnitten bis zum 31.7.1997 und 1.10.1997 jeweils zehn Tage Pumpenruhe eingeschaltet. Dadurch wurde die Denitrifikation gefördert: 40 mg/l beziehungsweise 30 mg/l. Nur der erste Versuch von Moskwa (1991) ergab einen durchschnittlichen Nitratwert über 100 mg/l (Tab. 9). Nach Erfahrungen von STEINBACH (1984) traten bei Aal, Wels, Karpfen und Forellen keine meßbaren Wachstumseinschränkungen auf, obwohl Nitratwerte über 900 mg/l mehrere Wochen gemessen wurden.

In der Süßwasseraquaristik gibt es aerobe Filterung durch Schnellfilter und anaerobe Filterung durch Langsamfilter. Bei alleiniger Nutzung des Schnellfilters und großem Fischbesatz ohne anoxische Zonen im Aquarium wird Salpetersäure fast ohne Grenze akkumuliert. Rettung gibt es als Teilwasserwechsel in kurzen Zeitabständen oder durch Denitrifikation in Langsamfiltern. Nach KRAUSE (1992) ist das Langsamfilterverfahren in der Aquaristik weitgehend unbekannt und wird nur selten (bisher?) angewandt. FRITSCH (1996) hat einen Filter zur Denitrifikation bei hohem Fischbesatz und hoher Hälterungstemperatur entwickelt. KASSEBEER (1989) hält spezielle Filter zur Denitrifikation für überflüssig. Nach KASSEBEER (1989) sollten Mulm und Filterschlamm als kostbarer Besitz aufgefaßt werden. Die Praxis der Aquaristik beweist immer wieder, daß viele Aquarien bei mäßigem Fischbesatz ohne Filter und ohne zusätzliche Fütterung der Denitrifizierer auskommen (siehe Tab. 10). Nitrifikation und Denitrifikation geschehen zufriedenstellend allein im Aquarium. KRAUSE (1993) meint, daß im Süßwasseraquarium Nitratwerte unter 20 mg/l angestrebt werden, daß bis 80 mg/l noch erträglich sind und über 150 mg/l vermieden werden sollten.

## 6 Diskussion

Seit vielen Millionen Jahren gibt es den vor allem von Bakterien in Betrieb gehaltenen Kreislauf der Stoffe in der Natur. Wir betrachten hier vor allem Ausschnitte aus dem Kreislauf des Stickstoffs. Die Denitrifikanten sind aerobe, strikt respiratorische Bakterien. Sie vermögen anaerob nicht zu wachsen, wenn Nitrat nicht zur Verfügung steht. In unseren Wässern könnten diese Bakterien sowohl aerob als auch anaerob atmen. Sie sterben also nicht durch Sauerstoffzufuhr oder Sauerstoffmangel, können ihren Stoffwechsel umschalten und in beiden Zonen des Wassers leben. Sie benötigen aber zum Leben eine organische Kohlenstoffquelle. Dagegen wachsen die Nitrifikanten mit Kohlenstoffdioxid als alleiniger C-Quelle oder als Hauptquelle des Zellkohlenstoffs. Die Energiegewinnung erfolgt durch Atmung mit Sauerstoff. Da Nitrifikanten in einer mit Tieren stark besetzten Anlage nur in gut durchlüftetem Wasser schnell arbeiten können, ist ein Tropfkörper in der Anlage unabdingbar. Diese Bakterien arbeiten nur im pH-Bereich 7–8 optimal.

Wenn man die Ergebnisse der Analysen überblickt, ist offensichtlich, daß es nach der Belastungsdichte, hier als Besatzdichte umschrieben, eine Reihenfolge Nutzfisch-, Schildkröten-, Zierfischanlagen gibt. Aber immer sind die Nutzfischanlagen diejenigen, die mit der höchsten Belastung fertig werden müssen. HILGE (briefliche Mitteilung) schreibt: „Die Haltung von Wasserschildkröten ist sicherlich ein faszinierendes Hobby. Nur bitte verwechseln Sie die dabei für Sie auftretenden Probleme der Erhaltung einer gleichmäßigen, akzeptablen Wasserqualität für diese Tiere nicht mit den tatsächlichen Problemen einer kommerziellen, intensiven Fischproduktion im

Kreislauf. Auch in den letzten Jahren hat die Weiterentwicklung von Wasserreinigungsverfahren Fortschritte gemacht, die neben Effizienzsteigerung und Betriebssicherheit auch die Reinigungskosten berücksichtigen. Der dabei betriebene finanzielle Aufwand ist von Privatpersonen nicht zu leisten. Dies gilt meist auch für die Ausrüstung privater Kreisläufe zu Hause. Um so besser im übrigen, wenn auch keine Notwendigkeit dazu besteht, weil die Belastung des Wassers so gering ist, daß ein minimaler Aufwand ausreicht, um die Qualität aufrecht zu erhalten.“ Wenn man die Veröffentlichung von BARTELS (1994) mit der nunmehr vorliegenden vergleicht, fällt sofort auf, daß die jüngere Arbeit über dieselbe Anlage mehr Erkenntnisse über die Wasserqualität enthält. Dies ist aber nur wegen des Vergleiches mit den Kreisläufen der Nutzfischproduzenten notwendig. Für einen Wasserschilddrötenhalter, der das Prinzip meiner Anlage nachahmen möchte, sind nur einige Fakten wichtig: Eine Einarbeitungsphase der Anlage ist empfehlenswert. Das geschlossene System muß gleichzeitig sauerstoffreiches und sauerstoffarmes Wasser enthalten. Abgesehen von den „Sonnenplätzen“ für Schilddröten sollte man die Aquarien nur mäßig beleuchten. Die Temperatur des Raumes, in dem die Becken stehen, sollte nicht weniger als 23 °C betragen. Übrigens betreiben auch fast alle von mir zitierten Nutzfischmäster die Produktion in geschlossenen Räumen. Die Besatzdichte sollte nicht unter 100 steigen. Das Futter für die Schilddröten sollte zumindest in 15 Minuten aufgefressen sein. Futter wird alle fünf bis zehn Tage gereicht. Die wässrige Weinsäurelösung ist nur einmal pro Monat in die tiefen Bereiche der Aquarien zu pipettieren. Es gibt über mehrere Jahre keinen Wasserwechsel. Lediglich wenige Parameter der Wasserqualität werden nur alle paar Monate einmal kontrolliert. Sie können ja nur die Güte eines für Schilddröten brauchbaren Wassers bestätigen.

MOSKWA (1991) gibt als Belastungsgrenze seiner Anlage 7 kg Fische pro 500 l Anlagenvolumen an. Während der zehn Jahre meines Versuches lag die Belastung der Schilddrötenanlage im Mittel bei 3,3 kg Tiere pro 500 l Wasser. Die Belastungsgrenze der Schilddrötenanlage wird bei einem Wert zwischen 3,3–7 kg Tiere/500 l Wasser liegen. Die höchste Belastung in meiner Anlage lag bei 5,0 kg Schilddröte/500 l Wasser. Da die Anlage von MOSKWA (1991) mit sehr viel mehr Aufwand betrieben wurde, lag die Belastungsgrenze seiner Anlage sehr hoch. Ein Wasserschilddrötenhalter, der die Grundlagen meines Verfahrens nachvollziehen möchte, sollte, der Gesundheit seiner Tiere zuliebe, als Belastungsgrenze 3,3 kg Tiere/500 l Anlagenvolumen einhalten.

Und warum sollte man nicht statt des obigen Verfahrens immer wieder Teilwasserwechsel durchführen? Es ist ein gutes Gefühl, sozusagen als Herr von vielen Milliarden Bakterien natürliche Prozesse etwas steuern zu können.

### Dank

Die vom Autor durchgeführten halbquantitativen, chemischen Analysen basieren auf von der Firma Merck, Darmstadt, herausgegebenen Schnelltests der Reihen Aquamerck, Aquaquant und Mikroquant. Der BSB<sub>5</sub>-Wert und die Werte der elektrischen Leitfähigkeit wurden im Staatlichen Amt für Wasser und Abfall in Stade bestimmt. Ich bedanke mich bei Herrn V. HILGE von der Bundesforschungsanstalt für Fischerei für seine wichtigen Bemerkungen. Durch die Hilfe von Herrn W. SACHSSE, Herrn K. HENLE und meiner Frau, R. BARTELS, wurde mein Manuskript druckreif.

## Schriften

- ANONYM (1991): Neue Aufgaben für die Analytik. Neue Lösungen mit mobiler Analytik. – Darmstadt (Merck), 28 S.
- BARTELS, H.-J. (1989): Mikrobiologische Reinigungsprozesse im Aquarienwasser und ihre Handhabung am Beispiel der Haltung einer Wasserschildkröte. – Salamandra, Bonn, **25**(1): 39-53.
- (1994): Verbesserte Methoden der mikrobiologischen Wasserreinigung für die Haltung von Wasserschildkröten. – Salamandra, Bonn, **30**(1): 33-42.
- CHRISTENSEN, M.H. & P. HARREMOES (1977): Biological denitrification sewage: A literature review. – Prog. Water Technol. **8**: 509-555.
- DELWICHE, C.C. (1956): Denitrification. – In: McELROY, W.D. & B. GLASS (eds): Symposium on Inorganic Nitrogen Metabolism. – Baltimore (The Hopkins Press).
- FRITSCH, S. (1996): Denitrifikation in der Aquaristik. – Herford (Eigenverlag), 27 S.
- HOOPER, A.B. & K.R. TERRY (1973): Specific inhibitors of ammonia oxidation in *Nitrosomonas*. – J. Bacteriol., **115**(2): 480-485.
- JETER, R.M. & J.L. INGRAHAM (1981): The denitrifying procaryotes. – S. 913-925 in STARR, M.P., H. STOLP, H.G. TRÜPER, A. BALOWS & H.G. SCHLEGEL: The Procaryotes Vol. I. – Berlin, Heidelberg, New York (Springer).
- KAISER, H. (1987): Steuerung der Wasserqualität nach N-Bilanzierung durch Pufferung oder Denitrifikation in einer Anlage mit Wasserrückführung zur Forellenmast. – Bonn (Dissertation).
- KASSEBEER, G. (1989): Ein Analytik-Kursus für Aquarianer. – S. 93-116 in HORST, K. & H.E. KIPPER: Die optimale Aquarienkontrolle. – Bielefeld (aquadocumenta Verlag), 211 S.
- KNOWLES, R. (1981): Denitrification. – S. 323-369 in PALL, E.A. & J.N. LADD: Soil Biochemistry, Vol. 5. – New York (Marcel Dekker).
- KRAUSE, H.J. (1992): Handbuch Aquarientechnik. – Kollnburg (bede-Verlag), 160 S.
- (1993): Handbuch Aquarienwasser. – Kollnburg (bede-Verlag), 127 S.
- KRUL, J.M. & R. VEENING (1977): The synthesis of the dissimilatory nitrate reductase under aerobic conditions in a number of denitrifying bacteria, isolated from activated sludge and drinking water. – Water Res., **11**: 39-43.
- LEHR, U. (1990): Verordnung über Trinkwasser und über Wasser für Lebensmittelbetriebe. – Bundesgesetzblatt, Bonn, Teil I: 2612-2629.
- MOSKWA, G. (1991): Stickstoffelimination in einer Anlage mit Wasserrückführung zur intensiven Fischhaltung unter dem Einfluß verschiedener Alleinfutter. – Bonn (Dissertation).
- PERRONE, S. & T. MEADE (1977): Protective effect of chloride on nitrite toxicity to coho-salmon (*Oncorhynchus kisutch*). – J. Fish. Res. Board Canada, **34**: 486-492.
- RENNERT, B. (1981): Beeinflussung des pH-Wertes durch Nitrifikation und Denitrifikation in geschlossenen Kreislaufanlagen. – Z. Binnenfischerei DDR, **28**(11): 337-342.
- SACHSSE, W. (1967): Vorschläge zur physiologischen Gefangenschaftshaltung von Wasserschildkröten. – Salamandra, Frankfurt/Main, **3**(3): 81-91.
- SCHMITZ-SCHLANG, O. & G. MOSKWA (1992): Design characteristics and production capacity of a closed recirculating fish culture system with continuous denitrification. – Prog. Aquaculture Res., **17**: 79-90.
- SCHUSTER, C. (1993): Einfluß von Alleinfuttermitteln auf die Wasserqualität und Klärleistung einer Anlage mit Wasserrückführung zur intensiven Fischproduktion. – Bonn (Dissertation).



- SOLBACH, C. (1990): Untersuchungen zur Funktionsweise des Systems „Stählermatic R“ als Forellenmastanlage. – Bonn (Dissertation).
- STEINBACH, P. (1984): Beiträge zur Wirkungsweise von Abwasserreinigungsanlagen (System Stählermatic) in der Intensivfischzucht. – Bonn (Dissertation).
- ULKEN, A. (1963): Die Herkunft des Nitrits in der Elbe. – Arch. Hydrobiol., **59**: 486-501.
- VAN NIEL, C.B. & M.B. ALLEN (1952): A note on *Pseudomonas stutzeri*. – J. Bacteriol., **64**: 413-422.
- WACHTEL, H. (1982): Erfahrungen mit dem Biotropfkörper. – Deutsche Aquarien- Terrarienz., **36**: 179-183.
- WILD, H.E., C.N. SANYER & T.C. McMAHON (1971): Factors affecting nitrification kinetics. – J. Water Pollut. Control Federation, **43**: 1845-1854.

Eingangsdatum: 8. Juni 1996

Verfasser: HANS JOACHIM BARTELS, Wallstraße 5, D-21682 Stade.