

# (Mikro)Biologische Vorgänge und Stoffumwandlungen im Aquarium

von Frank Gottschalk

Ein Aquarium ist ein in sich abgeschlossenes biologisches System, in dem eine Vielzahl von Stoffumwandlungen, Auf und Abbau von org. Substanz uvm. stattfinden.

Von der Vielzahl der Umwandlungsprozessen ist vor allem der Abbau der Stickstoffhaltigen Eiweißverbindungen von besonderer Bedeutung. Es sind die Abbauprodukte aus dieser Verbindungsgruppe die das Wasser negativ verändern. Und der Grund weshalb ein Aquarium ohne „normale“ Filterung<sup>1</sup> und Pflege in der Regel nicht funktionieren kann.

Die Mineralisierung von Eiweiß (Stickstoffbilanz) verläuft folgendermaßen

Eiweiß -> Peptide -> Aminosäuren -> Ammonium/Ammoniak -> Nitrit + Säure -> Nitrat + Säure.

Bei diesem Umwandlungsprozeß treten gravierende Wasserveränderungen auf. Nitrat, das Endprodukt des Eiweißabbaus belastet das Wasser und führt bei Anreicherung zu Algenwuchs. Hohe Nitratkonzentrationen (ab 100 mg/l) erhöhen das Risiko, das sich im Fischdarm giftige Nitrite und krebserregende Nitrosamine bilden. Mindestens ebenso gefährlich ist, vor allem bei Wasser mit geringer SBK (Säurebindungskapazität, „Karbonathärte“), die an die Entstehung von Nitrat gekoppelte Entstehung von Säure. Sie führt erst zu einem Verbrauch der SBK, und dann zu einem plötzlichen Absacken des pH - Wertes bis auf ca. 4. Dies bedeutet für die Fische nicht selten ein Todesurteil<sup>2</sup>. Bei hohen Nitratgehalten ist außerdem die Entwicklung vieler Jungfische gestört<sup>3</sup>.

Neben Nitrat und Säure entstehen aber auch noch andere unerwünschte Verbindungen: Phosphor bzw. Phosphat ist im Eiweiß und im Fischfutter enthalten und erhöht ebenfalls sehr stark das Risiko der Algenplage, insbesondere bei gleichzeitig erhöhten Nitratgehalt.

Unangenehm sind auch eine Vielzahl von stabilen organische Verbindungen, die sich ebenfalls anreichern: jede biologische Aktivität hemmende Fulvo- und Gerbsäuren, giftige Phenole und Huminstoffe. Das Vorhandensein dieser Verbindungen wird durch einen Gelbstich des Wassers deutlich. (Wobei geringe Mengen an Gerbsäuren und Huminstoffen nicht unbedingt schädlich sein müssen - so ist die Zugabe von entsprechenden Humin oder Torfextrakten (z.B. Aqua-Liquids Aqua Humin 10%) bei Fischen aus sog. Schwarzwassern durchaus sinnvoll - aber wenn diese Stoffe im Zuge einer Zunahme der Wasserbelastung entstehen ist dies strikt abzulehnen siehe „Altwasser“.)

---

<sup>1</sup> Wobei ich die Definition von „normal“ schuldig bleibe, Tatsache ist, daß der Begriff „Filterung“ eigentlich in der Aquaristik vollkommen falsch verwendet wird..

<sup>2</sup> Aber auch wenn die Tiere so zäh sind, das sie derartige Strapazen überleben, mit tiergerechter Pflege hat es absolut nichts zu tun

<sup>3</sup> Wobei hier nicht klar ist ob die Wachstumsstörungen direkt auf den Nitratgehalt zurückzuführen sind, oder ob Wachstumsstörungen nicht vielmehr an den, in Aquarien mit hoher Nitratbelastung meist anzutreffenden, schlechten hygienischen Bedingungen liegen. Neuere Untersuchungen mit synthetisch erhöhten Nitratwerten scheinen dies zu bestätigen.

## **Bodengrund und Filter**

In einem eingerichteten Aquarium ist es nicht nur der Filter in dem biologische Umwandlungsprozesse stattfinden, auch im Bodengrund finden eine Vielzahl von Umwandlungsprozessen, auf und Abbau von org. Substanz statt.

Da der Filter das (freie) Wasser ansaugt, kann er nur gelöste Stoffe und kleine, schwebende Partikel aufnehmen. Der Bodengrund wird, wenn überhaupt (z.B. durch eine Bodenheizung) nur sehr schwach durchströmt. Er nimmt überwiegend schwerere, schnell absinkende Partikel, wie Fischkot, Futterreste und absterbende Pflanzenteile auf.

Um die Reinigungsleistung des Bodengrunds zu steigern haben sich Bodenheizungen bewährt, da sie dafür sorgen, daß der Bodengrund stets mit kleinen Mengen des darüberstehenden Wassers durchsickert wird. Dadurch werden auch die Pflanzenwurzeln besser mit Nährstoffen versorgt, und das Risiko, dass Wurzeln abfaulen wird gesenkt. Zum anderen soll so verhindert werden, dass sich der Bodengrund zusetzt (verpapt)<sup>4</sup>. In Aquarien ohne Bodenheizung befindet sich in den oberen Millimetern des Bodengrundes eine Temperatursprungschicht (z.B. 26°C im Wasser und 21°C im Bodengrund = Zimmertemperatur) durch diese Temperatursprungschicht hindurch findet kaum ein Wasseraustausch statt. Das erleichtert die Entstehung von unkontrollierbar faulenden Stellen.

Die Unterschiede zwischen der Abbauleistung des Filters und des Bodengrundes machen sich folgendermaßen bemerkbar: Im Bodengrund werden Partikel aus Eiweiß, Fett und Kohlenhydraten von verschiedenen Mikroorganismen (Einzeller, Würmer, Schnecken usw.) verwertet und in Lösung gebracht. Von diesen, im Bodengrund in Lösung gebrachten Nährstoffen ernähren und vermehren sich eine Vielzahl von Bakterien die gelöste Stoffe aufnehmen, vor allem heterotrophe (d.h. auf organische Substanz angewiesene) Bakterien, die Aminosäuren und Kohlenhydrate aufnehmen.<sup>5</sup>

Dies hat eine Abnahme der org. Substanz und natürlich des Sauerstoffgehaltes zur Folge.

Benutzt man als Bodengrund feinen Kies mit einer Körnung bis max. 3mm sind die Zwischenräume zwischen den einzelnen Kieselsteinen so klein, dass kaum Partikel einsacken können. In diesem Fall liegen Kot und Futterreste im oberen Bereich des Bodengrundes und können problemlos abgesaugt werden. Dadurch, dass diese dann wirklich aus dem System entfernt werden, bevor sie vollständig zersetzt sind, wird aktiv einer Zunahme der Wasserbelastung entgegengewirkt. Weit über dem hinaus, was ein reiner Wasserwechsel bewirken kann.

Ein großer Teil der in Lösung gebrachten Nährstoffe gelangt in das freie Wasser und so, zusammen mit den löslichen Ausscheidungsprodukten der Fische in den Filter (ebenso, bei feinem Bodengrund auch Partikel). Dort gedeihen natürlich auch die heterotrophen Bakterien bestens, vor allem aber bietet der Filter den autotrophen Nitrifikanten (anorganische Substanz verwertende Bakterien, sie oxidieren Ammonium / Ammoniak in Nitrit bzw. Nitrit in Nitrat) optimale Bedingungen. Erst etwas später kommen Einzeller hinzu, die wiederum die Bakterien fressen usw.

Somit entspricht der Filter im Aquarium in etwa einer 3. Reinigungsstufe in kommunalen Kläranlagen; der Nitrifikationsstufe.

Hier geht es nicht vorrangig darum, biologisches Material zu entfernen oder festzuhalten, sondern der Filter stellt einen Bioreaktor dar. In diesem Bioreaktor geht es um zwei Stickstoffverbindungen: Ammonium ( $\text{NH}_4^{(1+)}$ ) bzw. Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) und Nitrit ( $\text{NO}_2^{(1-)}$ ). Die Umwandlung dieser Verbindungen stellt zwar quantitativ, von der Gesamtmenge der Stoffumsetzungen her gesehen, nur einen nahezu verschwindend geringen Teil dar, ist aber von großer Bedeutung für die Wasserqualität.

In diesem Zusammenhang sei noch einmal auf den großen Unterschied zwischen den beiden Bakteriengruppen hingewiesen:

---

<sup>4</sup> Hierbei möchte ich kurz darauf hinweisen, dass Bodenfilter ähnlich funktionieren.

<sup>5</sup> Viele Einzeller (Protozoen) ernähren sich wiederum von den Bakterien. Die Protozoen dienen wiederum vielen niederen Vielzellern als Nahrung. Und – und natürlich ernähren sich auch Fische von diesen Ein- und Vielzellern.

Die heterotrophen Bakterien ernähren sich ausschließlich von org. Substanz (Kohlenhydrate, Fette, Eiweiß einschließlich der Eiweißbausteine Peptide und Aminosäuren), die Vermehrung ist sehr schnell, durchschnittlich alle 20 Minuten (25°C) teilen sich diese Bakterien.

Die nitrifizierenden Bakterien (autotrophe Bakterien) ernähren sich von Nitrit bzw. Ammonium/Ammoniak (anorganische Salze) und verhindern so eine entsprechende Vergiftung. Diese Bakterien sind nicht auf organische Substanz angewiesen – sie ernähren sich nur von den anorganischen Substanzen Ammonium / Ammoniak bzw. Nitrit und Sauerstoff und Kohlendioxid. Die Vermehrung ist ausgesprochen langsam, nur alle 20 bis 30 Stunden erfolgt eine Teilung. Deshalb dauert es ca. 3 - 4 Wochen nach einer Neueinrichtung (oder einer Neubestückung des Filters) bis kein Nitrit mehr nachweisbar ist. Die Gefahr einer Vergiftung ist in dieser Zeit extrem hoch.

Ammonium ist das erste Zwischenprodukt des Eiweißabbaus. Bei pH Werten über 7,5 liegt ein wesentlicher Teil als giftiges Ammoniak vor. Höchstens 0,5 mg/l Ammonium bzw. Ammoniak sind, bei pH – Werten unter 7,5, akzeptabel. Ammonium/Ammoniak wird durch nitrifizierenden Bakterien (Nitrosomonas) im Filter in Nitrit umgewandelt. Nitrit ist ein weiteres Zwischenprodukt des Eiweißabbaus. Es ist stark giftig. Mengen über 0,3 mg/l sind kritisch, 2mg/l sind meist tödlich. Nitrit wird durch nitrifizierende Bakterien (Nitrobakter) in (fast) ungiftiges Nitrat umgewandelt. Nitrit verhindert u. a. die Sauerstoffaufnahme des Blutes.

Falls in einem Aquarium kritische Konzentrationen von Ammonium / Ammoniak und / oder Nitrit nachzuweisen sind, dann fehlen noch die empfindlichen und langsamwüchsigen Nitrifikanten. Im Fall einer Ammonium/Ammoniak bzw. Nitritvergiftung hilft nur: Fütterung einstellen, häufige, kleine Teilwasserwechsel, Aqua-Liquids Life Bakterien + Zeolith einsetzen. Die Giftwirkung von Nitrit kann durch die Zugabe von iodfreiem Kochsalz (max 30g / 10l) etwas reduziert werden.

## Die theoretische Zunahme der Wasserbelastung :

Um quantitative Angaben über die entstehende Wasserbelastung zu machen müssen wir erst einmal etwas rechnen:

Ein Aquarium mit 200 l Wasserinhalt (ca.240l Brutto) wird täglich mit 1g Trockenfutter gefüttert (realistische Menge für ein schwach besetztes Aquarium).

Ein typisches Trockenfutter hat grob ca. folgende Zusammensetzung: 45% Rohprotein, 5% Rohfett, 1% Rohfaser, 8% Rohasche, 34% Kohlenhydrate und ähnliche Verbindungen und 7% Restfeuchte.

Dabei treten täglich theoretisch folgende Wasserveränderungen auf:

Der Nitratgehalt steigt um 1,6 mg/l, dadurch nimmt die SBK um  $0,025 \text{ mmol/l} = 0,07 \text{ °DKH}$  (Deutsche Karbonat Härte) ab. Außerdem entstehen 8 mg/l Kohlendioxid und 2,65 mg/l Wasser. Bei der vollständigen Oxidation von Kohlenstoff ( C ) Wasserstoff ( H ) und Stickstoff ( N ) werden 8 mg/l Sauerstoff benötigt (zusätzlich zu dem im Futter chem. gebundenen Sauerstoff). Desweiteren enthält das Fischfutter noch andere oxidierbare Substanzen, die hierbei nicht berücksichtigt sind, so daß man von einer Gesamtsauerstoffzehrung von ca. 11 mg/l ausgehen kann (Krause 1993). Als weitere wichtige Verbindung steigt der Phosphatgehalt um ca. 0,09 mg/l.

|  | Leitung   | Wöchentl.<br>15% | 14-Tägig<br>25% | Monatl. 30% | 2 Monatl. 50% |
|--|-----------|------------------|-----------------|-------------|---------------|
| NO <sub>3</sub> vor WW                     | 5 mg/l    | 80 mg/l          | 95 mg/l         | 165 mg/l    | 197 mg/l      |
| NO <sub>3</sub> nach WW                    | 5 mg/l    | 69 mg/l          | 73 mg/l         | 117 mg/l    | 101 mg/l      |
| % Änderung                                 |           | 14               | 24              | 29          | 49            |
| SBK als °DKH vor WW                        | 7         | 4                | 3               | 0           | 0 (-1,5)      |
| SBK als °DKH nach WW                       |           | 5                | 4,75            | 2,1         | 2             |
| % Änderung DKH                             |           | 20               | 37              | 100         | 175           |
| pH vor WW ca.                              | 7,8 – 8   | 7,2              | 7,0             | 5,5         | Ca. 3-4       |
| pH nach WW ca.                             |           | 7,4              | 7,3             | 6,8         | 6,8           |
| % Änderung H <sup>+</sup><br>Konzentration |           | 158              | 199             | 1995        | Ca. 600000    |
| PO <sub>4</sub> vor WW                     | 0,01 mg/l | 4,2 mg/l         | 5 mg/l          | 9 mg/l      | 11 mg/l       |

Aus den Werten geht eindeutig eines hervor: je öfter ein Teil des Wassers gewechselt wird, um so weniger ist das Wasser mit den Düngestoffen Nitrat und Phosphat belastet. Aber nicht nur die Wasserbelastung ist geringer. Meines Erachtens wiegt wesentlich stärker, dass es bei häufigen kleineren Wasserwechseln nicht zu so starken Änderungen der Wasserwerte kommt. Eine starke Änderung der Wasserwerte bedeuten i.d.R. viel Stress, macht die Tiere krankheitsanfällig und reduziert extrem die Lebenserwartung.

Bei den errechneten Werten handelt es sich allerdings, wie bereits erwähnt um rein theoretische Werte, die als absolute Maximalwerte gelten können. Sie werden praktisch niemals in voller Höhe erreicht. (andererseits ist die, für die Berechnung zugrunde liegende Futtermenge sehr niedrig angesetzt.)

## **Die Sekundärproduktion senkt die Wasserbelastung.**

Der Anteil an Stickstoffverbindungen der von den Mikroorganismen für den Aufbau des eigenen Organismus verwendet wird (als Eiweiß) gelangt nicht in Form von Nitrat in das Wasser (sog. Sekundärproduktion). Die meisten dieser Organismen sind mit bloßen Auge nicht oder kaum erkennbar, (Ausnahme z.B. Schnecken, Scheibenwürmer) machen aber einen bedeutenden Anteil des Schlammes aus (bis ca. 50% Trockenmasse). So kann man davon ausgehen, dass das Wachstum und Masse dieser Sekundärproduzenten mindestens dem der Pflanzen und Algen zusammen entspricht (unter natürlichen Bedingungen). Durch das eigene Wachstum verhindern diese (Mikro)Organismen somit, dass alle Stickstoffverbindungen zu Nitrat oxidiert werden. Es ernähren sich viele kleinere Fische in nicht unbedeutendem Umfang von diesen Organismen. Letztlich werden im Aquarium durch diese „Sekundärproduktion“ (Pflanzenwachstum = Primärproduktion) große Mengen (bis ca. 50%) an Eiweißverbindungen mittelfristig der Nitrifikation vorenthalten. Aus diesem Grund ist der Nitratanstieg in einem Aquarium wesentlich geringer, wie aus der Futtermenge zu erwarten gewesen wäre.

## **Einfluß der Aquarien- und Filterpflege auf die Stickstoffbilanz**

In einem neu eingerichteten Aquarium ist erst einmal die Menge aller Mikroorganismen klein. Langsam setzt ein immer stärker werdendes Wachstum ein. Nach 1-4 Wochen hat sich das **Wachstum** auf einem hohen Niveau eingependelt (wohl gemerkt das Wachstum – nicht die Menge selbst). Aber dieser Zustand dauert ohne Pflegemaßnahmen nicht ewig. Nach einiger Zeit hört das Wachstum auf und die Mikroorganismenmenge bleibt konstant. In diesem Zustand wird keine weitere Biomasse zugelegt – die durch Fischfutter in das Aquarium gegebenen Stoffe werden vollständig respiriert (veratmet, d.h. sie gelangen in das Wasser z.B. in Form von Salpetersäure) bzw. die assimilierte Substanz (Wachstumsmasse) ist gleich der mortalen Substanz (Sterbemasse).

Ein etwas anschaulicherer Vergleich:

Wird ein Aquarium mit kleinen Jungfischen ständig mit der gleichen Futtermenge pro Tag gefüttert, so stellen die Fische, nach einiger Zeit des Wachstums, das Wachstum ein, da die gefütterte Futtermenge nur noch dazu ausreicht, die Körperfunktionen aufrecht zu halten, nicht jedoch für weiteres Wachstum. Bei Mikroorganismen verhält es sich genauso, mit der Ausnahme das hier Wachstum eine Zunahme der Anzahl der Individuen bedeutet, während bei den Fische Wachstum = Gewichtszunahme des Individuums

Mit diesem Wissen kann man nun einen optimierten Pflegeplan aufstellen:

Regelmäßiger, wöchentlicher Teilwasserwechsel (ca. 10-30%) mit Mulmabsaugen sorgt dafür, dass ein maximales Wachstum der Mikroorganismen aufrecht erhalten bleibt. Auf diese Weise wird durch eine maximierte Sekundärproduktion einer Zunahme der Wasserbelastung optimal entgegengewirkt. So kann man die Wasserbelastung bis auf ca. 20-30% des theoretischen Wertes senken. Mit gutem Pflanzenwuchs zusammen ist sogar eine Reduktion der Wasserbelastung bis auf ca. 10% und weniger des theoretischen Wertes ohne weiteres möglich.

Es ist jedoch darauf zu achten, das niemals „klinisch rein“ gemacht wird, was jedoch bei 15-30% Teilwasserwechsel auch gar nicht möglich ist.

Ähnlich verhält es sich mit dem Filter, auch hier sollte ab und zu die Belebtschlammmenge etwas reduziert werden (alle 4-12 Monate), aufgrund des langsamen Wachstums der Nitrifikanten, muß jedoch unbedingt darauf geachtet werden, dass niemals zu gründlich gereinigt wird, da sich sonst Nitrit oder Ammonium/Ammoniak so stark anreichern kann, dass Fische geschädigt werden.

## **Hygienische Grundlagen der Wasserpflege**

Bis jetzt haben wir einen für Fische und Pflanzen optimalen Pflegeplan aus Sicht der chemischen Wasserveränderungen aufgestellt. Nun stellt sich noch die Frage inwieweit dieser Pflegeplan die Mikrofauna stimuliert !

Mit diesem Pflegeplan werden die Mikroorganismen in einem logarithmischen Wachstumsbereich gehalten – dadurch wird das Aquarienbiotop nicht mit Mikroorganismen abgesättigt. In einem Aquarium welches längere Zeit auf diese Art und Weise gepflegt wurde hat sich ein spezifischer, alter Bakterienstamm etabliert, der ständig ausgedünnt (verjüngt) wird. Diese Reduktion der Mikroorganismenmenge schafft aber auch gleichzeitig Platz für neue, noch besser angepasste und u.U. auch vielfältigere Kulturen, oder anders ausgedrückt: es wird verhindert, dass einige wenige Bakterienarten überhand nehmen und so zu Schäden bzw. zu einem Ungleichgewicht führen können.

Das gleiche Prinzip wird in kommunalen Kläranlagen angewandt – dort wird immer ein Teil des „alten“ Belebtschlammes dem neuen Abwasser zugegeben und der zu viel gewordene, sog. Überschussschlamm am Ende der biolog. Klärung entfernt.

## **Die Keimzahl und der Infektionsdruck**

Neben den bekannten Krankheitserregern und Parasiten (z.B. Ichtyo, Flexibakter columnaris) gibt es eine ganze Reihe von Bakterien, die in nahezu jedem Wasser vorkommen und dort auch teilweise wichtige Aufgaben übernehmen.

Nehmen diese Bakterien aber Überhand so können Fische geschädigt werden. Man spricht hierbei von fakultativ fischpathogenen Krankheitserregern. Es ist daher wichtig mit einer niedrigen Bakterienbelastung im Wasser (bei einer gleichzeitig hohen Zahl sessiler Bakterien im Filter) dafür zu sorgen, dass derartige Erreger nicht zu Schäden führen.

Die „neue Lochkrankheit“ bei Koi ist beispielsweise eine derartige Erkrankung. Sie wird hervorgerufen durch Pseudomonas und Aeromonas Arten in Verbindung mit einer geschwächten Kondition der Fische. Ein weiteres Beispiel ist die chronische Flossenfäule. Sie tritt in unzureichend gepflegten Aquarien auf. Durch die Kombination von schlechten Wasserbedingungen und einer hohen Keimzahl im Wasser siedeln sich große Mengen Bakterien auf der Schleimhaut an und führen so zu Gewebeverlust, der sich zuerst an den dünnen Flossen bemerkbar macht.

Auch die chronische Bauchwassersucht lässt sich oft auf eine Kombination aus schlechten Wasserbedingungen und hohem Infektionsdruck zurückführen

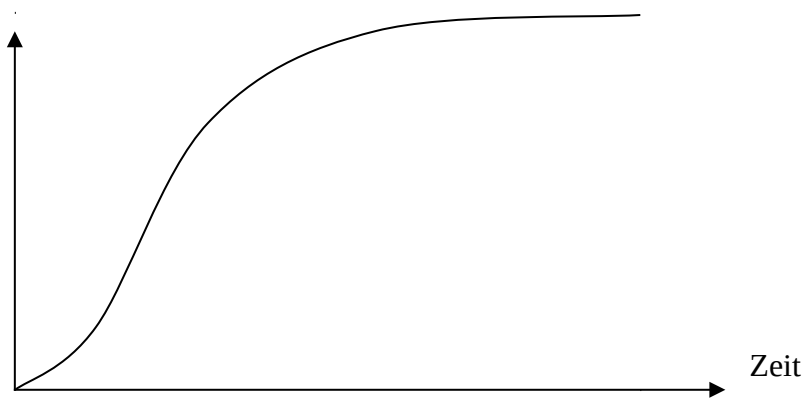
Wir konnten in unserer Zucht und Quarantäneanlage deutlich beobachten, dass in Aquarien, in denen die Filter über Jahre hinweg nicht gereinigt wurden, die Krankheitsrate zunahm. Wir sind daraufhin dazu übergegangen, ca. alle 6 Monate die Hälfte der Filterschwämme zu reinigen.

## **Gifte durch Fäulnis**

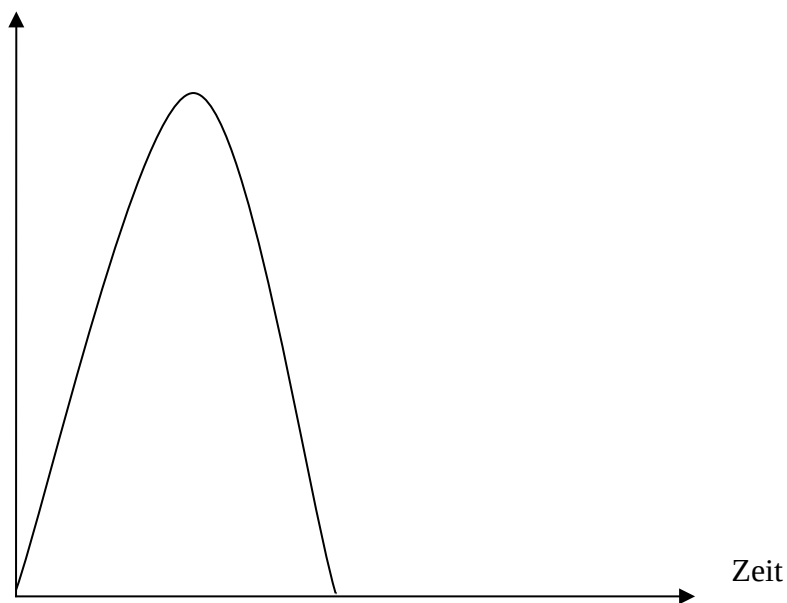
Einige Bakterien und Pilze produzieren unter Sauerstoffmangel nicht nur die bekannten Giftstoffe wie Schwefelwasserstoff und Methan (Sumpfgase), sondern hochgiftige Toxine. Gelangen derartige Stoffe in das Aquarium, kommt es zu starken Problemen. Glücklicherweise passiert dies weniger in Schlammansammlungen, aber bekannt sind Verluste wenn Fische verdorbenes Futter aufnehmen.



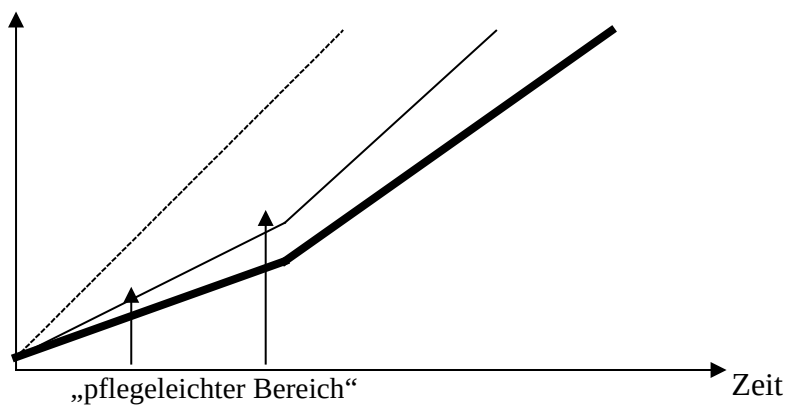
Wachstumsgrafiken (stark vereinfacht)



Grafik 1: Veränderung der Mikroorganismen (Gesamt)Masse



Grafik 2: Wachstumsänderung der Mikroorganismen



Grafik 3: Vereinfachte Darstellung der Wasserbelastung durch  $\text{NO}_3$  mit konstanter Mikroorganismenmenge „kein Mulmabsaugen“ (gestrichelte Linie) mit Zunahme der Mikroorganismenmenge und Entfernung derselben „mit Mulmabsaugen“ (durchgezogene Linie) und zusätzlich mit Pflanzenwachstum (fette Linie) .

