



Lukas Kunzmann, *1998

Schule:
Carl Friedrich Gauß Gymnasium,
Frankfurt (Oder)

Eingang der Arbeit:
Mai 2014

Zur Veröffentlichung angenommen:
November 2014

Nitratfalle für das Aquarium

Leistungsanalyse eines biologischen Nitratfilters nach Umstellung auf Lactose als Nährlösung

Ein Problem beim Einrichten und Pflegen eines Meerwasseraquariums, gleich in welcher Größe, ist der Nitratüberschuss. Dadurch wird das Wachstum von speziellen Algen erleichtert, welche z.B. die Korallen zerstören. In der Arbeit wurde untersucht, welche Vorteile ein optimierter biologischer Nitratfilter mit Lactose als Nährlösung bietet.

1 Einleitung

1.1 Stickstoffkreislauf im Meerwasseraquarium

Ein immer wieder auftretendes Problem beim Einrichten und Pflegen eines Aquariums, gleich in welcher Größe, ist der schwierig unter Kontrolle zu bringende Stickstoffkreislauf. Vor allem wenn man versucht, eine prächtige Artenvielfalt auf kleinstem Raum zu halten. Diese Arbeit befasst sich besonders mit dem Nitrit- und Nitratstoffwechsel. Die Lösung des Problems ist ein Nitratfilter, welcher den Lebensraum für die Bakterien, die die Nitratreduktion zur Sauerstoffgewinnung nutzen, bietet [2], [8], [11].

Im Stoffwechsel der Tiere entsteht u.a. Ammoniak/Ammonium, welches durch im Wasser bzw. in Aquariumfiltern enthaltenen Bakterien u.a. der Gattung *nitrosomas* zu Nitrit umgewandelt wird.

Im zweiten Schritt wird durch Bakterien u.a. der Gattung *nitrobacter* Nitrit zu Nitrat umgesetzt, welche ebenfalls im Wasser bzw. in entsprechenden Filtern angesiedelt sind. Spezielle Nährstoffe sind für die Bakterien von der Umsetzung des Ammoniak/Ammoniums nicht erforderlich. Lediglich muss für eine ausreichende Einlaufphase der Aquarien gesorgt werden, damit sich ausreichend Bakterien ansiedeln können [2].

Bei Aquarien unterscheidet man zwischen zwei Typen. Der erste Typ ist das Süßwasseraquarium, wo der Nitritspiegel für die Fische und andere Lebewesen eine enorme Bedeutung hat. Ist dieser zu hoch, wird das Biotop zerstört: Nitrit oxidiert im Organismus das zweiwertige Eisen im Hämoglobin zu dreiwertigem Eisen und verhindert somit die Aufnahme des Sauerstoffs für den Transport innerhalb des Organismus [8]. Nitrat hat

hier nicht so eine große Bedeutung, da die Lebewesen im Süßwasseraquarium einen relativ hohen Nitratspiegel tolerieren [2], [8], [11]. Allerdings stellt Nitrat eine Nährstoffquelle für Algen dar, so dass ein zu hoher Nitratspiegel eine Algenplage im Aquarium auslösen kann [2], [8].

Beim zweiten Typ handelt es sich um das Meerwasseraquarium. Im Vergleich zum offenen Meer sind Meerwasseraquarien regelhaft überbevölkert, da dem Betrachter ja die Vielfalt der Meerestiere demonstriert werden soll. Durch die dadurch bedingte Vielzahl der Lebewesen auf engem Raum entsteht eine deutlich höhere Konzentration von biologischen Abbauprodukten (u.a. Nitrit und Nitrat) als im Meer. Wegen des konkurrierenden Verhaltens des Nitrit- und des Chloridions an der Chloridzelle der Kiemen stellt das Nitrit aufgrund des hohen

Natriumchloridgehalt des Meerwassers nicht so eine große Gefahr dar wie im Süßwasseraquarium [8].

Allerdings spielt die Konzentration des Nitrates, insbesondere auf die empfindlichen Lebewesen, wie zum Beispiel der *cnidaria* (Korallen) eine bedeutende Rolle [4], [6], [7]. Ein hoher Nitratspiegel erleichtert das Wachstum von speziellen Algen, welche sich z.B. in die chitinöse Matrix der Steinkorallen einnisten und somit das Lebewesen zerstören [2]. Das Ziel für den Stickstoffkreislauf stellt sich also für den Aquarianer in einem schnellen Umsatz von Ammoniak/Ammonium über Nitrit und Nitrat zu Stickstoff dar.

Um ein biochemisches Gleichgewicht zu erzielen, werden Meeres- oder Riffaquarien vor der Besiedlung mit Fischen und Wirbellosen mit „lebenden Steinen“ „angepflegt“. Diese stammen aus intakten Aquarien mit einem schon bestehenden Gleichgewicht oder dem Meer. Sie enthalten die erforderlichen Bakterien, um die biologischen Abbauprodukte wie Ammoniak/Ammonium, Nitrit und Nitrat möglichst schnell zu entfernen bzw. in eine für die Lebewesen im Aquarium niedrige unschädliche Konzentration zu bringen [9], [11], [13].

Diese stickstoffhaltigen Verbindungen entstehen stark vereinfacht aus:

- Atmosphärischem Stickstoff (Fixierung)
- Futter (Proteine, Aminosäuren)
- Zersetzung von Algen und tierischen Organismen
- Ausscheidung der Fische (Harnstoff, Harnsäure).

Es entsteht zunächst Ammoniak/Ammonium, welches dann zu Nitrit und weiter zu Nitrat, letztlich zu gasförmigem Stickstoff umgewandelt werden muss, wobei Ammoniak/Ammonium schon in niedrigsten Konzentrationen Gifte für die Lebewesen im Aquarium darstellen [9], [11], [13]. Um diese Vorgänge effektiv zu gestalten, stehen dem Aquarianer verschiedene Filter zur Verfügung.

1. Schritt: Zunächst wird mit einem Abschäumer der Eiweißgehalt möglichst effektiv reduziert, um die Entstehung von Ammoniak zu verringern.

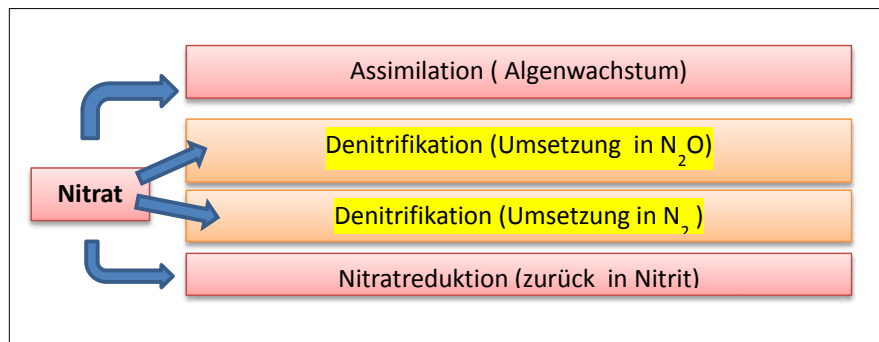


Abb. 1: Wege, um Nitrat aus dem Aquariumswasser abzubauen. Die gelb markierten Wege zeigen die erwünschten Nitratumsetzungen an.

2. Schritt: Ammoniak und Nitrit werden in einem aeroben Filter mit einem hohen Durchfluss durch Bakterien (*nitrosomas* und *nitrobacter*) in Nitrat umgewandelt.

Nitrat ist für Fische auch in höheren Konzentrationen bis 100 mg/l relativ ungefährlich [2], [8], [12]. Allerdings stellen diese hohen Konzentrationen an Nitrat für Wirbellose im Meeres- oder Riffaquarium schon eine Lebensbedrohung dar. In der Literatur wird die Nitratverträglichkeit von Wirbellosen von 0 – 20 mg/l angegeben [2]. Es ist also erforderlich, den Nitratgehalt des Wassers unter 20 mg/l einzustellen. Um Nitrat aus dem Aquarium zu entfernen sind mehrere Wege möglich (siehe Abb. 1).

3. Schritt: Nitratabbau durch einen Denitrifikationsfilter

Hierfür stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung. Neben verschiedenen Filtertypen wie dem Schwefelnitratfilter und dem Wodka-Filter wird häufig ein „klassischer“ Denitrifikationsfilter verwendet. Das Prinzip des Denitrifikationsfilters besteht in der Schaffung eines anaeroben (sauerstoffarmen) Milieus, wodurch Bakterien (z.B. *pseudomonas denitrificans*, *paracoccus denitrificans*, *bacillus licheniformis*) den im Nitrat gebundenen Sauerstoff für die eigene Atmung abspalten. Für diese Reaktionsabläufe ist eine entsprechende Nahrungszufuhr in Form von Methanol, Äthanol oder Lactose erforderlich, da die meisten Bakterien heterotroph sind [2]. Der bei dieser Reaktion entstandene Stickstoff entweicht. Um das anaerobe Milieu zu schaffen, ist jedoch ein sehr langsamer Durchfluss erforderlich, was die Effektivität des Filters einschränkt [11]. Gleichfalls kann die Temperatur des Filterwassers erhöht werden, da somit der Sauerstoffgehalt des Wassers deutlich abfällt und die bioche-

mischen Prozesse besser ablaufen [2], [3], [13].

1.2 Fragestellung

In der Arbeit wird ein Nitratfilter eines Meerwasseraquariums getestet und optimiert. Zwei verschiedene Nährlösungen für den Filter werden verglichen und differenzierte Durchflussraten gegenübergestellt. Weiterhin werden Testläufe mit verschiedenen Temperaturen durchgeführt. Es sollte das bestmögliche Milieu für die nitratabbauenden Bakterien gefunden werden. Als Substrat werden ein Alkohol (Methanol) und ein Disaccharid (Lactose) verwendet [10]. Die Motivation das Substrat Methanol durch ein Disaccharid zu ersetzen, ist, dass es wesentlich ungiftiger ist und somit einen größeren Raum für Schwankungen bietet. Außerdem sollte sich Lactose als effizienter zeigen, weil in dem größeren Molekül mehr Energie für die Bakterien gegeben ist. Es wird vermutet, dass es zu keinem Wechsel der Bakterienart kommt, da die Bakterien einfach ihren Stoffwechsel umstellen und sich dadurch an die neuen Nährstoffbedingungen adaptieren.

2 Material und Methode

2.1 Filter und Aquarium

Für die Untersuchung wurde ein konventioneller Filter der Firma Deltec verwendet (Deltec Nitrat Filter 64/1 für Aquarien bis 400 l) [11]. Als Nitratquelle diente ein Riffaquarium mit 250 l mit einer Nitratkonzentration von ca. 10-20 mg/l. Das Prinzip des Filters beruht darauf, dass sich in einem Filtergefäß Bakterien ansiedeln, die Nitrat zu Stickstoff reduzieren. Das Substrat für die Bakterien wird vom gleichen Hersteller in Form der „Deltec Nährlösung für Nitratfilter“ angeboten. Diese enthält Methanol als Reduktionssubstanz (siehe Abb. 2 Seite 38).

Der Filter wurde nach Herstellerangaben „eingefahren“. Das heißt, es wurde ein Durchlauf von 60 Tropfen pro Minute (6,9 ml/min) über 8 Wochen mit steigender Futtermenge realisiert. Durch den langsamen Durchfluss konnte ein anaerobes Milieu erreicht werden, in dem sich denitrifizierende Bakterien ansiedelten. Die Betriebsdaten des Herstellers sind in Tab. 1 zusammengefasst [11].

2.2 Messmethode

Die Messwerte wurden im Filterauslauf sowie im Aquarium mit einem Photometer der Firma Winlab Data täglich ermittelt. Nitrit und Nitrat wurden sowohl im Filterauslauf als auch im Aquarium gemessen. Hierfür wurde das Programm AQUANAL-plus Nitrat low für Nitrat und AQUANAL-plus Nitrit für Nitrit, verwendet. Der Messbereich des AQUANAL-plus Nitrat, low Programmes beträgt 0,1 bis 30 mg/l und des AQUANAL-plus Nitrit liegt bei 0,01 bis 2mg/l. Die Versuchsanordnung ist in Abb. 3 dargestellt.

Für die Nitratbestimmung wurden 5 ml der Wasserprobe zur Kalibrierung in eine Küvette gegeben. Eine zweite 5 ml Wasserprobe wurde ebenso in eine Küvette gefüllt. In die zweite Küvette wurden verschiedene Reagenzien zur Nitratbestimmung gemäß des Versuchsablaufes gegeben. Danach wurde das Gerät mit der ersten Wasserprobe kalibriert. Nach Ablauf der Wartezeit wurde mit der zweiten Küvette der Messwert ermittelt. Der Messwert wird vom Gerät direkt in mg/l ausgegeben.

Für die Nitritbestimmung wurden 5 ml der Wasserprobe zur Kalibrierung in eine Küvette gegeben. Eine zweite 20 ml Wasserprobe wurde in eine Küvette gegeben. In die zweite Küvette wurden die Reagenzien zur Nitritbestimmung hinzugegeben. Danach wurde das Gerät mit der ersten Wasserprobe kalibriert. Nach Ablauf der Wartezeit wurden von den 20 ml etwa 5 ml in eine Messküvette abgefüllt, an der der Messwert ermittelt wurde (siehe auch Abb. 3) [13]. Der Messwert wird wiederum vom Gerät direkt in mg/l ausgegeben.

2.3 Versuche mit Methanol als Substrat

In dem eingefahrenen anaeroben Nitratfiltersystem eines Riffaquariums wurde die Menge der Substratlösung von 5 ml



Abb. 2: Der verwendete Deltac Nitrat Filter

Filtervolumen	11,05 l
Empfohlener Durchfluss	60 bis 100 Tropfen/min. (414 bis 690 ml/h)
Entspricht Durchfluss	6,9 bis 11,5 ml/min
Nährlösung nach Hersteller	170 ml in 14 Tagen
Entspricht einer Nährlösung von	12 ml/Tag
Empfohlene Betriebstemperatur	26 °C

Tab. 1: Kenndaten des Deltac Nitrat Filters 64/1 [5].



Abb. 3: Versuchsanordnung zur Nitrat und Nitritmessung, das Photometer (links) und rechts die Reagenzien mit Wasserfärbung.

täglich um 1 ml verringert, bis keine Substratlösung mehr zugeführt wurde. Die Durchflussrate des Filters ist dabei konstant geblieben. Es wurden zwei Messreihen durchgeführt: Die erste bei einer Durchflussrate von 690 ml/h und die zweite mit 1035 ml/h, um zu prüfen, ob unter diesen Bedingungen eine höhere Leistung zu erzielen ist.

Eine noch höhere Durchflussrate ist ggf. riskant, da dann keine anaerobe Bedingungen mehr bestehen und ggf. das in der Substratlösung enthaltene Methanol durch die hohe Durchflussrate nicht schnell genug verstoffwechselt werden kann. Das Methanol würde somit ins Aquarium gelangen, was ein Risiko für die Lebewesen des Aquariums darstellen

würde. Eine einmalige Gabe der Futterlösung pro Tag würde bei den oben genannten beiden Durchflussraten bewirken, dass die Nährlösung nach ca. 16 h bzw. 11 h weitestgehend aus dem Filter gespült wäre. Um dies auszuschließen, wurde die Futterzufuhr durch eine Injektionspumpe (Abb. 4) auf 24 h gleich bleibend verteilt. Hierzu wurde die für den Tagesversuch erforderliche Substratlösung in eine Spritze aufgezogen. Die Spritze wurde bis 48 ml mit Aquariumwasser gefüllt. Die Pumpe wurde auf 2 ml/h eingestellt, so dass sich die erforderliche Futterlösungsmenge innerhalb der 24 h des Versuches gleichmäßig verteilte.

Gleichzeitig wurde der Nitrit- und Nitratgehalt des Filterauslaufwassers nach 24 h kontrolliert. Trat im Filterwasser Nitrit oder Nitrat auf, war die Leistungsgrenze des Filters erreicht.

2.4 Umstellung auf Lactose

Wegen der Toxizität von Methanol wurde das Substrat auf das ungiftige Disaccharid Lactose umgestellt werden. Die Lactose wird entsprechend der Tagesmenge in 48 ml Aquariumwasser aufgelöst und mit der Injektionspumpe in 24 h in den Filter appliziert. Nach der Umstellung auf die neue Nährlösung wurde erneut die Leistungsgrenze des Filters ermittelt und mit den Ergebnissen unter Methanollösung verglichen.

Um die bestmögliche Leistung des Filters zu ermitteln, wurden Temperatur, Durchfluss und Substratlösungsmenge je nach Ergebnis der täglichen Nitrit- und Nitratkontrolle im Auslaufwasser stufenweise angepasst und somit die Leistungsveränderung analysiert. Eine Temperaturerhöhung mittels eines Heizstabs erhöht einerseits die Stoffwechselaktivität der Bakterien und verringert andererseits den Sauerstoffgehalt des Wassers. Das Milieu wird anaerober [2], [12].

Zur Leistungsermittlung mit der Lactoselösung wurde das gleiche Verfahren wie unter 2.3. angewendet.

Die Ausgangsbedingungen waren:
 Nitratgehalt im Aquarium: 10 - 30 mg/l
 Nitritgehalt im Aquarium: <0,01 - 0,2 mg/l.

Um eine Umstrukturierung der bakteriellen Besiedlung des Filters zu erkennen,



Abb. 4: Injektionspumpe zur gleichmäßigen Zufuhr des Futters.

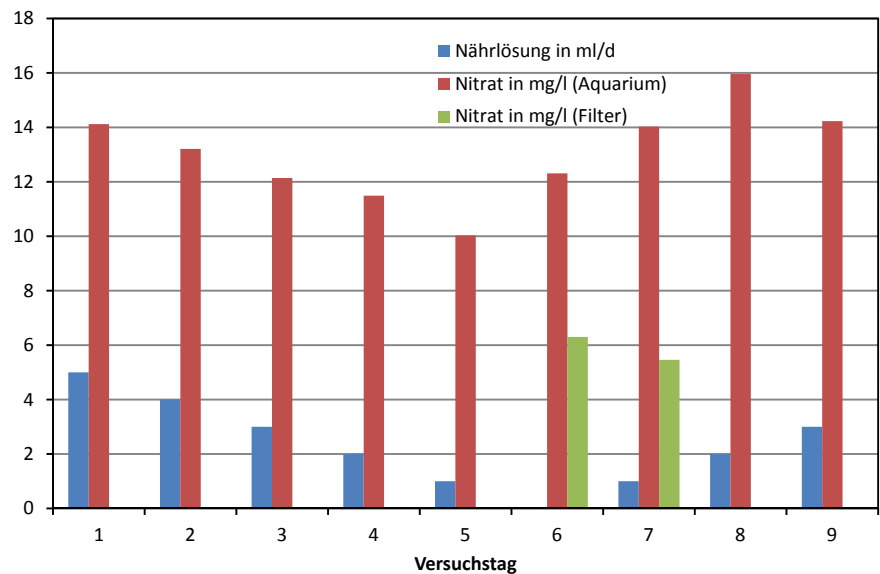


Abb. 5: Änderung des Nitratgehaltes im Filter und im Aquarium bei unterschiedlichen Substratlösmengen mit Methanol, Durchflussrate 690 ml/l.

wurde vor und nach der Umstellung der Nährlösung auf Lactose eine mikrobiologische Bestimmung im Institut für Medizinische Diagnostik Oderland durchgeführt.

3 Ergebnisse

Zur Leistungsermittlung des Nitratfilters wurden mehrere Messreihen unter Veränderung der Parameter Wasserdurchlauf, Temperatur und Nährstofflösungsmenge durchgeführt. Es wurden Nährlösungen, welche auf der Grundsubstanz Methanol bzw. Lactose basierten, verwendet. Die Leistung wurde als Mengenumsatz des Nitrats je Zeiteinheit definiert. Die Berechnung erfolgte mit folgender Formel:

$$\text{Leistung (Nitratfilter)} = \text{Durchfluss} \times \text{Nitratkonzentration (Aquarium)} - \text{Durchfluss} \times \text{Nitratkonzentration (Auslaufwasser)}$$

Es ergibt sich eine Einheit von Milligramm Nitratumsatz pro Stunde (mg/h).

Bei Unterschreitung des Messbereiches des Photometers (Nitrit: <0,001 mg/l; Nitrat: <0,01 mg/l) wurde der Messwert für die Berechnung und Dokumentation als Null festgelegt.

3.1 Ergebnisse unter Verwendung von Methanol

Die Ergebnisse unter der Verwendung von Methanol wurden bereits in [11] ermittelt. Zur Vergleichbarkeit wurden die Leistungen nachträglich berechnet. Bei den Methanol Messreihen sind keine Temperaturveränderungen vorgenommen worden. Die Temperatur betrug konstant 26° C.

Bei einer Durchflussrate von 690 ml/h war der Nitratabbau bis zu einer Substratlösungsmenge von 1ml/d vollständig (siehe Abb. 5). Bei völligem Ausbleiben der Substratzufuhr (6. Tag) stiegen der Nitrit- sowie der Nitratspiegel im Auslaufwasser rasant an. An den folgenden Tagen, mit dann wieder zunehmenden

Nährlösungsmengen, erkannte man eine schnelle Erholung des Systems, da nach zwei Tagen ab einer Substratmenge von 2 ml/d, die Ausgangswerte wieder erreicht wurden. Der Filter arbeitete wieder stabil.

Ein ähnliches Bild zeigte sich bei einer Durchflussrate von 1035 ml/h (siehe Abb. 6). Bei einer Substratlösungsmenge von 1 ml und niedriger stiegen Nitrit und Nitrat im Auslaufwasser des Filters an. Es fiel jedoch auf, dass der Nitratspiegel im Auslaufwasser bei 1 ml Nährlösung pro Tag schon auf die Hälfte des Aquariumwassers (Einlasswasser) anstieg, was bei der geringeren Durchlaufmenge von 690 ml/h noch nicht zu verzeichnen war (siehe Abb. 6). Ohne Substratlösung (6. Tag) wurde kein Nitrat mehr abgebaut und der Nitritspiegel stieg erheblich an, so dass sofort wieder Nährlösung zugeführt wurde, um das Aquarium vor einer Nitritvergiftung zu schützen.

Die Konzentrationsveränderungen von Nitrit und Nitrat im Aquarium verhielten sich also ähnlich denen bei einer Durchflussrate von 690 ml/h. Nach anfänglichem Abfall der Nitratkonzentrationen zeigte sich ein leichter Anstieg während der Zeit der Funktionsstörung des Filters ohne ausreichende Nährstoffzufuhr (Tag 5 und 6) [11]).

3.2 Umstellung des Filters von Methanol auf Lactoselösung

Bei einer Substratlösung von 1000 mg/d Lactose wurde die Menge der Substratlösung mit Methanol von Tag 1 bis 7 schrittweise reduziert (siehe Abb. 7). Um erneut die Standardbedingungen des Filters zu erzielen, wurde der Durchfluss auf 414 ml/h (60 Tropfen/min) eingestellt. Nachdem an Tag 6 schon eine erhöhte Konzentration von Nitrat auftrat und so auch die Leistung enorm sank, wurde zunächst mit einer Erhöhung der Nährlösung mit Lactose reagiert, da eine Dosis für eine effiziente Nährstoffzugabe unter Verwendung von Lactose nicht bekannt war. Methanol-lösung kam nicht in Frage, da man den Filter von diesem Substrat lösen wollte. Nachdem an Tag 11 eine gefährlich hohe Nitritkonzentration nachgewiesen wurde und am Tag 12 zusätzlich Nitrat im Auslaufwasser (6,5 mg/l) auftrat, wurde nach möglichen Ursachen der schlech-

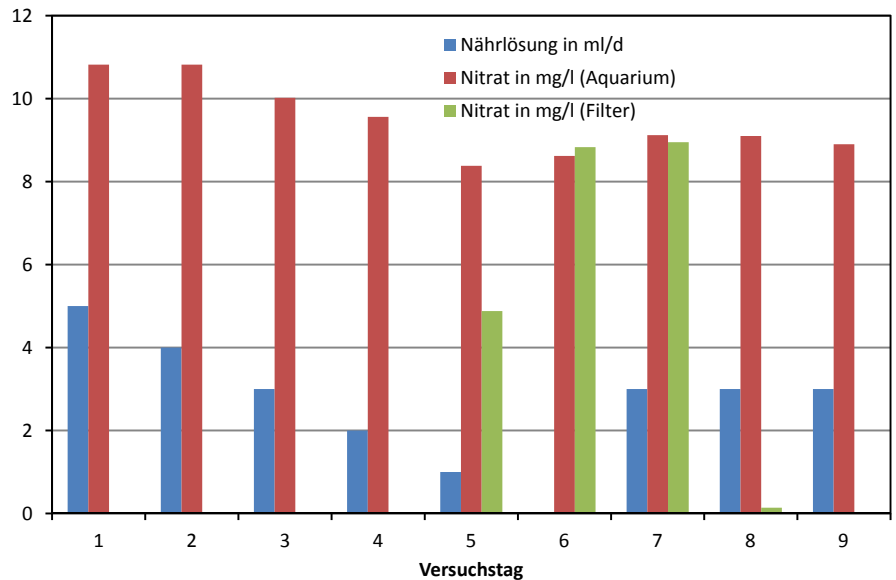


Abb. 6: Änderung des Nitratgehaltes im Filter und im Aquarium bei unterschiedlichen Substratmengen mit Methanol, Durchflussrate 1035 ml/h.

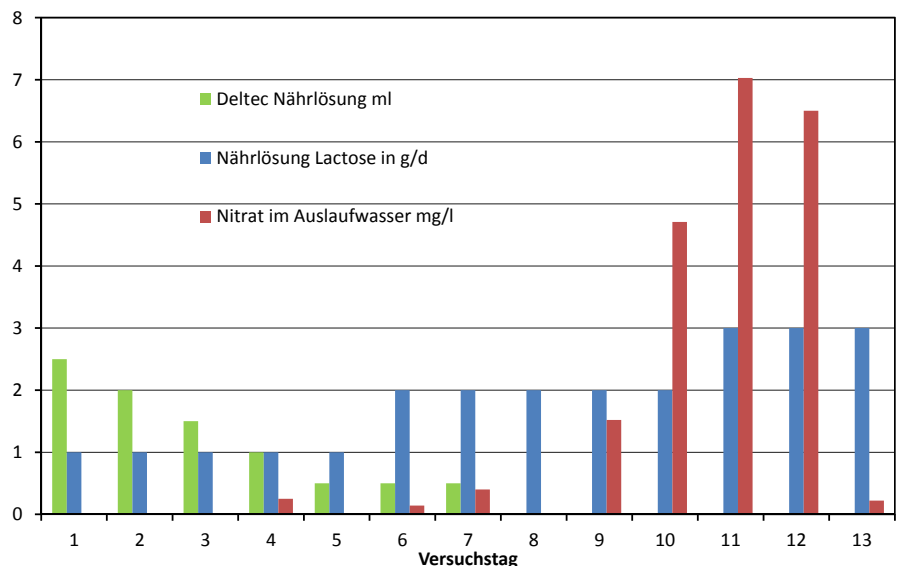


Abb. 7: Veränderung der Kenndaten bei Umstellung des Filters von Methanol auf eine Lactoselösung (Versuchstag 1 bis 13).

ten Funktion des Filters gesucht. Um die anaeroben Bedingungen zu verbessern, wurde die Temperatur mit einer Aquariumheizung stabil bei 26 °C gehalten. Da dadurch der Nitrat- und Nitritspiegel wieder sank, konnte an Tag 15 (siehe Abb. 8) bereits wieder die Substratmenge reduziert werden. Da aufgrund der hohen Lactosedosen in den Tagen 1 bis 20 ein Überhang der Nährlösung im gesamten Wasser anzunehmen war, wurde die Lactosedosierung stark reduziert, um schnell die Mindestmenge dieses Substrates zu ermitteln, bei welcher der Filter nicht mehr richtig arbeitet. Die Substratlösung konnte somit bis zum 27. Tag sogar auf 200 mg/d verringert werden. Ab Tag 26 und einer Substratzufuhr

von 200 mg/d konnte wieder Nitrit und Nitrat (Maximum 0,6 mg/l Nitrit am Tag 28) im Auslaufwasser des Filters bei einem Durchfluss von 414 ml/h nachgewiesen werden. Aufgrund des erneuten Anstiegs von Nitrit und Nitrat im Auslaufwasser des Filters musste daraus geschlossen werden, dass unter diesen Bedingungen der Filter auf einem niedrigen Niveau stabil arbeitete. Eine weitere Verringerung der Nährlösung, aber auch die Erhöhung der Durchflussrate würde wieder zu einem Anstieg von Nitrit und Nitrat im Auslaufwasser führen. Ein Gleichgewicht war bei einer Nährstoffzufuhr mit 400 mg/d und einem Durchfluss von 414 ml/h bei einer Temperatur von 27 °C erreicht.

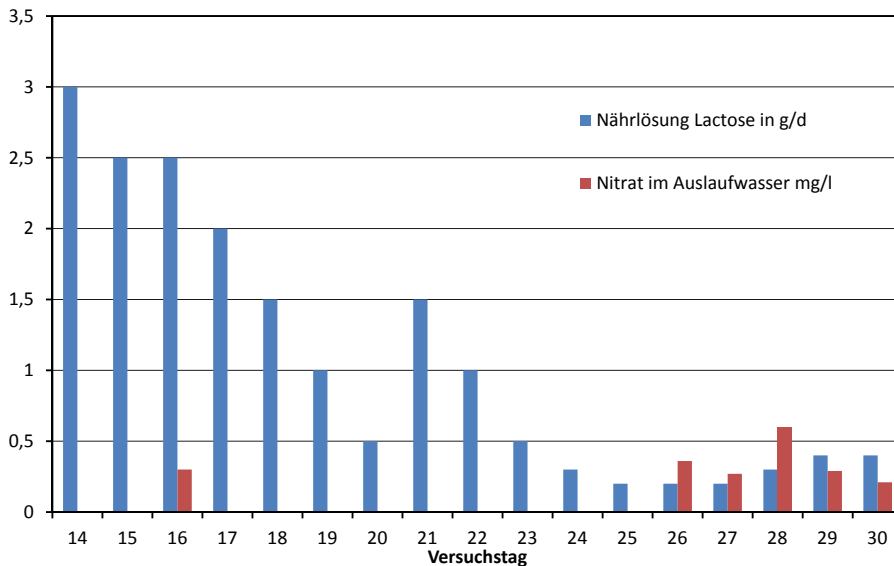


Abb. 8: Ermittlung der Mindestmenge an Lactoselösung (Versuchstag 14 bis 30).

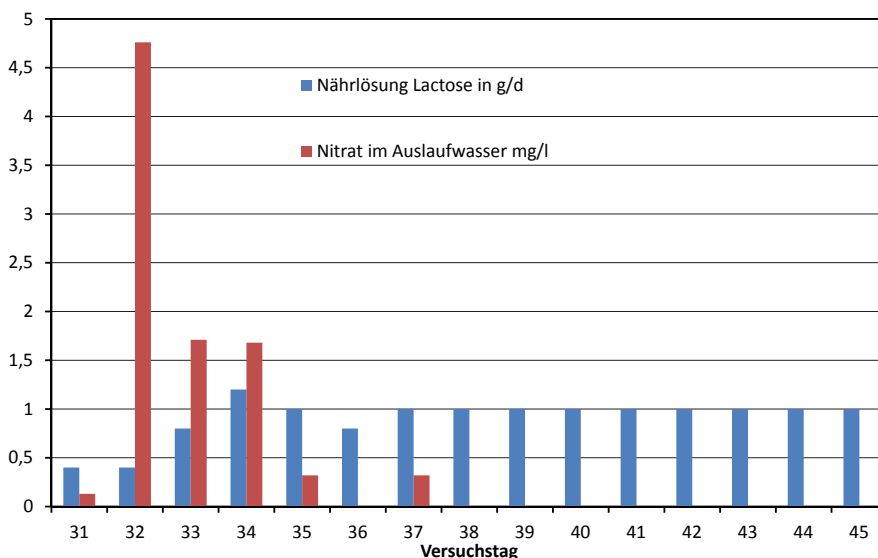


Abb. 9: Verwendung von Lactose als Nährstoff (Versuchstag 31 bis 45).

3.3. Ergebnisse der Mikrobiologischen Analyse

Die mikrobiologische Analyse des Instituts für Medizinische Diagnostik Oderland in einer Wasserprobe des Nitratfilters unter Verwendung von Methanol als Nährlösung zeigte folgende Ergebnisse:

- aerobe grampositive Stäbchen
- aerobe nitratabbauende nichtfermentierende Bakterien
- *vibrio spezies* (fähig zum Nitratabbau)

Die Untersuchung wurde nach Umstellung des Filters auf Lactose als Nährstoff wiederholt, wobei folgende Bakterien nachgewiesen werden konnten:

- *vibrio parahaemolyticus* (Das Isolat

zeigte biochemisch Nitratabbau)
 • *streptococcus bovis*

In beiden Proben konnten nitratabbauende Bakterien nachgewiesen werden, obgleich nicht die zu erwartenden Spezies (siehe oben).

3.4 Verwendung von Lactoselösung als Nährstoff

Diese Messreihe (siehe Abb. 9) begann am Tag 31 mit der Erhöhung der Durchflussrate auf 690 ml/h. Nachdem der Nitrat Spiegel nicht vollständig vom Filter gesenkt wurde und die Nitritkonzentration extrem und gefährlich hoch angestiegen war, wurde die Substratlösung erhöht. Am Tag 31 konnte der Filter den Nitratabbau noch nicht ausreichend realisieren. So wurde die Nährlösung

erneut erhöht und der Durchfluss vorsichtshalber wieder gesenkt. Als sich das System nach einigen Tagen wieder stabilisiert hatte, konnte mit einem weiteren Anstieg des Durchflusses begonnen werden. Hierzu wurde der Durchfluss auf 552 ml/h angehoben (Tag 34). Des Weiteren wurde die Temperatur von 27 °C auf 31 °C im Filter erhöht. So zeigte sich auch ein erheblicher Leistungszuwachs bis Tag 40 (kein Nitrat im Auslaufwasser des Filters unter diesen Bedingungen), wodurch der Nitrat Spiegel durch die guten Leistungen des Filters im Aquarium jetzt sank (siehe auch Abb. 11 Seite 42). An den Tagen 42 und 43 wurden die Durchflussrate auf 690 ml/h und die Substratzufuhr auf 1000 mg/d erhöht. Die Temperatur blieb bei 31 °C. Es zeigte sich keine wesentliche Erhöhung von Nitrit bzw. Nitrat im Auslaufwasser, so dass die Durchflussrate auf 828 ml/h erhöht wurde (Tag 47). Schon am Tag 48 (siehe Abb. 10 Seite 42) deutete sich ein erneuter Anstieg der Nitratkonzentration im Auslaufwasser an, so dass nun die Temperatur auf 34 °C erhöht wurde. Unter diesen Bedingungen arbeitete der Filter sehr stabil. Obgleich der jetzt erreichte Durchfluss eine hohe Leistung darstellte, wurde jetzt bei 34 °C noch einmal die Lactosezufuhr auf 800 mg/d verringert. Unter diesen Bedingungen bei einem Durchfluss von 828 ml/h und einer Temperatur von 34 °C stellte sich ein sehr stabiles System ein.

Eine zeitweilige Erhöhung des Nitrat Spiegels im Aquarium war auf einen besuhten Fütterungsfehler zurückzuführen. Es zeigte sich hier, dass die Leistung des Filters unter dem hohen Nitrat Spiegel im Aquarium deutlich anstieg, ohne dass Nitrit bzw. Nitrat im Auslaufwasser auftraten. Weitere Kontrollen an Tag 65 und 70 zeigten eine deutliche Verringerung des Nitrat Spiegels im Aquarium auf 8,9 und 7,6 mg/l, so dass der Filter fortan mit dieser Einstellung weiter betrieben wurde. Die Nährstoffzufuhr von 800 mg Lactose pro Tag zeigt somit eine sehr stabile Funktionsweise des Filters.

Die Leistungsanalysen des Filters (siehe Abb. 11 Seite 42) zeigten in der gesamten Umstellungsphase Werte zwischen 400 und 600 mg Nitratabbau je Stunde. Ein eindeutiger Leistungszuwachs konnte erst bei hohen Nitratwerten im Aquariumwasser erkannt werden (Tag

36 – 40; 628 – 921 mg/h), da hier ein relativ hoher Nitratspiegel bei relativ geringer Durchflussrate vollständig abgebaut wurde. Höhere Durchflussraten bewirkten immer höhere Nitratwerte im Auslaufwasser, wodurch die Leistung zurückging. Erst nach Einstellung einer höheren Betriebstemperatur kam ein deutlicher Anstieg der Abbauleistung mit Werten über 1000 mg/h (Tag 42 - 60) zustande.

4 Diskussion

Bei der Nutzung der methanolhaltigen Substratlösung zeigte sich bei einem Durchfluss von 690 ml/h ein Nitritanstieg im Auslaufwasser des Filters ab einer Substratmenge von 1 ml/d. Es trat die zu vermeidende Nitratreduktion zu Nitrit ein. Nitrat wurde zwar noch fast vollständig abgebaut, jedoch galt es, eine Nitritentstehung zu verhindern. Eine Durchflussrate von 690 ml/h erforderte nach den Ergebnissen der Messung mit Methanollösung als Nährstoff eine Mindestmenge von 2 ml/d, um eine vollständige Denitrifikation zu realisieren. Geringere Mengen der Substratlösung bewirkten bei einem Durchfluss von 690 ml/h den Beginn der Nitratreduktion zu Nitrit.

Wurde die Durchflussrate auf 1035 ml/h angehoben, zeigte sich ein höherer Nährstoffbedarf. Auch hier stieg bei zu geringem Substratangebot der Nitritgehalt im Auslaufwasser an als Zeichen der nun einsetzenden Nitratreduktion. Eine vollständige Denitrifikation konnte mit 3 ml/d Nährlösung erreicht werden. Unter diesen Bedingungen war auch eine Reduktion des Nitrats zu Nitrit nicht mehr nachzuweisen.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass Methanol als Substanz für einen biologischen Nitratfilter mit anaeroben Bedingungen genutzt werden kann. Allerdings muss auch festgestellt werden, dass Methanol als Gift für die Lebewesen des Aquariums angesehen werden muss. Eine ungefährliche Applikation der Nährlösung für den Filter ist technisch schwierig. Hinzu kommt, dass die Methanollösung aufgrund der Verdunstungseigenschaft immer in geschlossenen Gefäßen aufbewahrt werden muss, da sonst mit einer Veränderung der Konzentration gerechnet werden muss. Die Nährlösung ist dann schnell unbrauchbar.

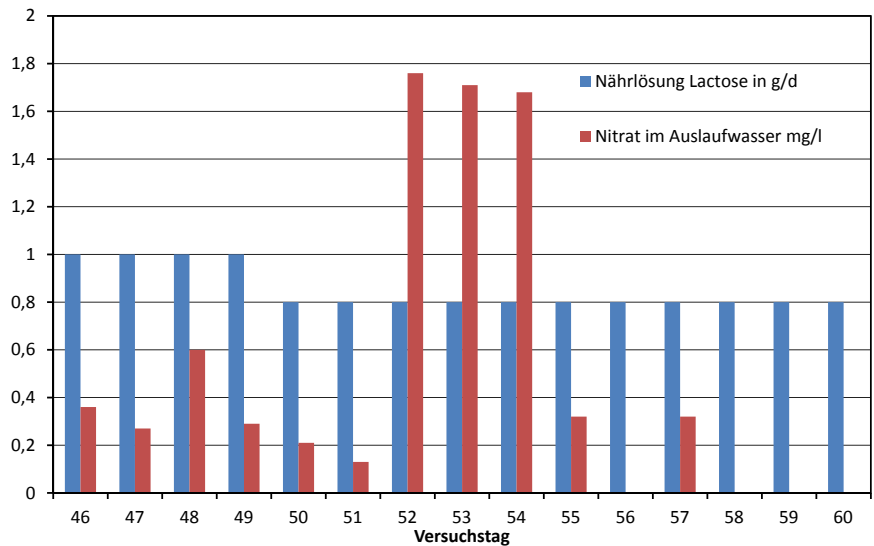


Abb. 10: Verwendung von Lactose als Nährstoff (Versuchstag 46 bis 60).

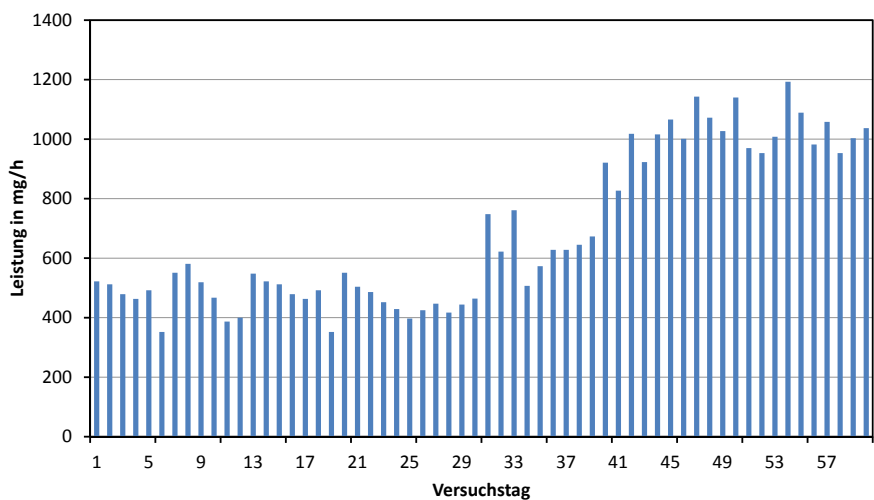


Abb. 11: Leistung des Filters über die gesamte Versuchsdauer.

Die Umstellung des Filters auf Lactose wurde überlappend vorgenommen. Noch unter Methanolzufuhr wurde Lactose als Nährstoff zur Verfügung gestellt. Nach Ausbleiben der Methanolzuführung zeigte sich nach drei Tagen ein deutlicher Nitrit- und Nitratanstieg im Auslaufwasser des Filters, worauf zunächst mit einer Erhöhung des Lactoseangebotes reagiert wurde (Tag 11). Die Messungen des Folgetages zeigten jedoch keine Verringerung des Nitrit- und Nitratspiegels im Auslaufwassers, so dass durch zusätzliche Installation einer Heizung im Filter die Temperatur auf 27 °C angehoben werden musste. Schlagartig zeigte der Filter unter der Verwendung von Lactose als Nährstoff eine deutlich bessere Leistung. Nitrit und Nitrat konnten im Auslaufwasser kaum noch nachgewiesen werden (Tag 13). Die Nährstoffumstellung konnte als abgeschlossen angesehen werden.

Um die Mindestmenge der Lactosezufuhr zu ermitteln, wurde sie täglich verringert. Bei einer Lactosezufuhr unter 400 mg/d zeigten sich wieder Nitrit- und Nitratanstiege im Auslaufwasser (Tag 26 - 28). Dieser späte Anstieg von Nitrit und Nitrat im Auslaufwasser ist gegebenenfalls auf einen Nährstoffüberhang im gesamten Aquariumwasser zurückzuführen, da in den ersten Tagen der Umstellung bis zu 3000 mg/d zugegeben worden waren.

Zur weiteren Leistungsermittlung des Filters wurden adaptiv Lactosezufuhr und Durchflussrate erhöht. Bei einer Durchflussrate von 414 ml/h und einer Lactosezufuhr von 1000 mg/d stellten sich stabile Verhältnisse ohne Nitrit und Nitrat im Auslaufwasser des Filters ein. Die Abbauleistung des Filters war bei 500 bis 700 mg/h Nitratabbau gegeben. Die Leistung lag also nur ca. ein Viertel

über der Leistung des Filters unter der Methanolanwendung. Durch eine weitere Temperaturerhöhung auf 31 bzw. 34 °C konnte die Durchflussrate des Filters auf 690 und 828 ml/h erhöht werden. Es stellten sich somit Nitrat-abbauleistungen des Filters auf bis zu 1000 mg/h bei gleichbleibender Lactosezufuhr von 800 mg/d ein. Im Vergleich zur Methanolanwendung konnte somit die Filterleistung verdoppelt werden. In den Tagen 23 bis 50 ist durch eine zu starke Fütterung der Nitratspiegel des Aquariums auf Werte bis 28 mg/l eingestellt worden, um die Kompensationsbreite des Filters zu erkennen. Trotz der hohen Nitratwerte im Einlaufwasser des Filters zeigte sich, dass ein vollständiger Nitratabbau realisiert wurde, ohne dass Nitrit entstand. Man kann davon ausgehen, dass auch ein temporärer starker Anstieg des Nitratspiegels im Aquarium durch sofortigen Leistungsanstieg des Filters kompensiert werden kann, ohne dass Nitrit im Auslaufwasser zu befürchten wäre. Eine Kompensationsbreite bis 30 mg/l Nitrat im Aquarium kann angenommen werden, womit der Filter unter den oben beschriebenen Bedingungen durchaus auch für weitaus größere Aquarien geeignet wäre.

Die mikrobiologische Analyse der Bakterien des Filters konnten keine anaeroben Bakterien nachweisen. Am ehesten ist dies mit den eingeschränkten Möglichkeiten eines medizinischen Labors im Nachweis von Umweltbakterien zu

begründen. Interessant ist jedoch der Nachweis von Vibrionen, offenbar ist diesen Bakterien ein Nitratabbau unter Sauerstoffmangel mit verschiedenen Nährlösungen möglich.

Bei der Kostenanalyse kann festgestellt werden, dass Lactose als Nährstofflieferant mit 5 € auf 375 Tage gegenüber Methanol mit 33,60 € (nach Herstellerangaben 102 € für 375 Tage bei 9 ml/d) die preiswertere Variante ist (5). Eine Wiederholung des Experimentes wäre sicher geeignet, die Ergebnisse zuverlässig zu verifizieren. Aufgrund der eindeutigen Ergebnisse und der wiederkehrenden Nitrit- und Nitratveränderungen im Auslaufwasser bei Nährstoffveränderungen kann aber mit hoher Wahrscheinlichkeit angenommen werden, dass die Ergebnisse nicht durch Zufallseffekte hervorgerufen wurden.

5 Fazit

Methanol und Lactose eignen sich als Nährstoff für einen anaeroben biologischen Nitratfilter.

Lactose ist für die Lebewesen des Aquariums als ungefährlich anzusehen und somit dem Methanol als Nährstoff für den Nitratfilter vorzuziehen.

Die Applikation der Lactose in Form einer Nährlösung ist technisch wesentlich einfacher, da Lactose nicht das hohe Verdunstungspotential besitzt wie Methanol.

Um eine reibungslose Funktion des Filters unter Verwendung von Lactose als Nährlösung zu gewährleisten, ist eine höhere Temperatur von mindestens 27 °C zu sichern.

Unter Verwendung von Lactose als Nährstoff und einer Betriebstemperatur von 34 °C kann die Leistung des Filters gegenüber der Verwendung von Methanol als Nährstoff verdoppelt werden.

Die Kompensationsbreite des Filters mit 7 – 30 mg/l Nitrat im Einlaufwasser ist als sehr gut einzuschätzen, da unter diesen Bedingungen bei gleicher Substratzufuhr kein Nitrit bzw. Nitrat in kritischen Konzentrationen im Auslaufwasser registriert werden kann. Die Verwendung von Lactose als Nährstoff stellt sich als preiswerter heraus.

Danksagung

Mein Dank für die gute Zusammenarbeit gilt auch dem Institut für Medizinische Diagnostik Oderland für die mikrobiologischen und analytischen Bestimmungen.

Mein besonderer Dank gilt meinem betreuenden Lehrer, der mich wo es nur ging unterstützt hat. Außerdem möchte ich meinem Vater danken, der mir sein Meeresbiotop zu Verfügung gestellt hat und sämtliche Chemikalien und Filteranlagen mit Zubehör. Vor allem möchte ich mich für die moralische Unterstützung von ihm und meiner Familie bedanken.

Quellenverzeichnis

- [1] Betriebsanleitung WinLabs Data Line Photometer; Windaus Labortechniken Clausthal 2005
- [2] Brockmann, D.; Das Meerwasseraquarium, Natur und Tier-Verlag GmbH Münster: 2008
- [3] Campbell N.A., Reece J.B. :Biologie, Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg Berlin 2003
- [4] Debelius, H., R. H. Kuiter: Atlas der Wirbellosenmeerestiere; Kosmos Verlag: 2009
- [5] Deltec Anleitung Nitratfilter Typ 64/2; Deltec GmbH Delmenhorst: 2005
- [6] Fossa, S. A., Nilsen, A. J.; Korallenriffaquarium Band 3; 2. Auflage; Birgit Schmettkamp Verlag, Bornheim: 1993
- [7] Fossa, S. A., Nilsen, A. J.; Korallenriffaquarium Band 4 Birgit Schmettkamp Verlag, Bornheim: 1995
- [8] Glaser, A. ; Ratgeber Meerwasserchemie Rüdiger Latka Verlag Marxzell;08
- [9] Großkopf, J.: Das Korallenriff im Wohnzimmer, Dähne Verlag, Ettlingen. 1994
- [10] Kemnitz, E.; R. Simon: Duden Basiswissen Schule – Chemie Abitur, 2. Aktualisierte Auflage; Dudenverlag Mannheim: 2007
- [11] Kunzmann, L. ;Nitratfalle im Aquarium: Jugend forscht Frankfurt/ Oder; 2012
- [12] Munk, K. ; Grundstudium Biologie-Zoologie: Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg Berlin: 2002
- [13] Sandford, G.: Aquarium, Dorling Kindersley, London; 2004