

Mehr als 30 m Sichtweite im Riffaquarium des Afrikarium Wroclaw (Breslau, Polen, Volumen: 900 m³, turn-over der Sandfilter 60 min., turn-over des Abschäumers 120 min.)
Foto: AquaCare

Ultra- und Mikrofiltration für die Meerwasseraquaristik

Text: Burkhard Ramsch* und Beate R. Sellner*

Neben der seit Jahrzehnten bekannten Umkehrosmose-technik könnte eine zweite Membrantechnik in der Zukunft eine Rolle in der Aquaristik spielen. Mit der Ultra- bzw. Mikrofiltration ist es möglich, Wasser von Partikeln einschließlich Bakterien, Protozoen und großen Viren weitestgehend zu befreien.



Die mechanische Filtration dient zum Entfernen von Partikeln, die ansonsten eine Trübung im Wasser verursachen würden. Dabei spielt der ästhetische Aspekt von kristallklarem Wasser eine größere Rolle als die Nachbildung der natürlichen Verhältnisse. Jeder Taucher weiß, dass durch sehr trübes Wasser – Trübungen durch Flusssedimente einmal ausgenommen – Korallenriffe gedeihen. In den Trübungen sind nämlich zahlreiche Planktonorganismen enthalten, die eine wichtige Rolle bei der Ernährung azooxantheller und zooxantheller Arten spielen. Auch die als Reef-Snow bezeichneten Agglomerate aus abiotischer und biotischer Materie sind für Korallenriffe ausgesprochen wichtig.

Mechanische Filtration

In großen Schauaquarien werden die Partikel aus dem Wasser entfernt, um dem Be-

trachter eine klare Sicht auf die Lebewesen zu ermöglichen. Selbst geringe Schwebstoffkonzentrationen, die im Hobbyaquarium überhaupt nicht auffallen, können in Großaquarien mit mehreren Metern Sichtweite unschöne Trübungen hervorrufen. In Hobbyaquarien mit geringen Sichttiefen ist eine derart aufwendige Filtration also nicht nötig, um einen klaren Durchblick zu bekommen. Meist stellt sich klares Wasser auch ohne zusätzliche Filtration ein, indem Partikel in das Sediment einsinken, durch Co-Abschäumung entfernt oder zusammen mit organischen Verbindungen als Konglomerat am Riffgestein angelagert werden.

Einige Filtrationsverfahren sind schon lange bekannt und werden standardmäßig eingesetzt: einfache Siebe, Rechen und

Filter mit automatisch transportiertem Filtervlies. Hier ein Modell, das ausschließlich mit Wasserkraft betrieben wird. Foto: Genesis

Faserfänger werden zumeist verwendet, um Pumpen zu schützen. Die Filtrationsgrenze liegt im Bereich einiger Millimeter. Im Hobbybereich finden Filterschwämme, Ansaugkörbe oder einfache Vliese Anwendung. Auch in gröberen Filterschichten (Filterkies, Kalkbruch etc.) findet aufgrund der geringen Fließgeschwindigkeit eine Grobfiltration durch Sedimentierung statt.

Um das Wasser von feineren Stoffen zu befreien, werden in der Aquaristik Filtervliese verwendet, teilweise mit automatischem Transport von einer Spender- zur



Hydrophober Sterilfilter zur Luftfiltration
Foto: AquaCare

Empfängerrolle. Bei größeren Aquarien können Trommelsiebe bis ca. 30 Mikrometer (μm) herunterfiltrieren. Wenn die Filtersiebe mit Mikroorganismen bewachsen sind, kann ein 30er-Mikrometersieb sogar noch 50 % der Partikel mit einer Größe bis 10 μm herausfiltern.

Noch feinere Filtration ist mit Sand- oder Mehrschichtfiltern möglich. Einfache Sandfilter schaffen im eingefahrenen Zustand ca. 5 μm , Filter mit Spezialfüllungen können bis ca. 3 μm filtern.

Mikrofiltration

Doch selbst unterhalb von 3 μm können Partikel im Wasser noch störend sein. Auch Bakterien werden bei dieser Feinheit noch hindurchgelassen. Um auch erheblich kleinere Partikel entfernen zu können, wird mit der sogenannten Mikrofiltration gearbeitet. Unterhalb von 0,2 μm kann mit einem sterilen Medium gerechnet werden, in dem Bakterien nicht mehr enthalten sind.

So kann z. B. mit kleinen Sterilfiltern die Zuluft von Algenkulturen filtriert werden, um unerwünschte Organismen fern zu halten, die ansonsten durch Aerosole durch die Luft gelangen können. Für Was-

ser sind diese Filter aber nur für geringe Mengen einsetzbar, z. B. als Vorfiltration von Wasserproben, bei denen Partikel oder Bakterien die Analyse beeinflussen würden.

Ultrafiltration

Ab diesem Bereich kann bereits von Ultrafiltration gesprochen werden. All diesen erläuterten Filtrationsbereichen ist eines gemein: Es spielen nur hydrodynamische Prozesse eine Rolle, während osmotische Phänomene für die Filtrationsleistung entweder gar keine oder eine vernachlässigbar geringe Rolle spielen. Es ist also nahezu gleichgültig, ob Süß- oder Meerwasser filtriert wird.

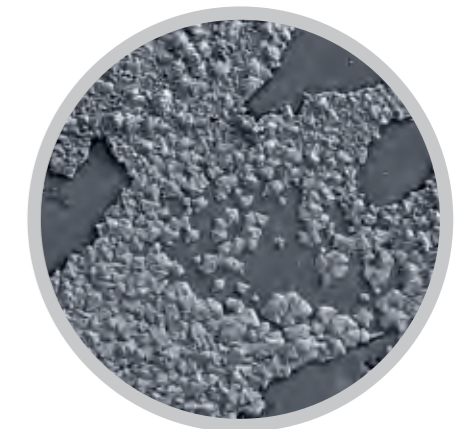
Bewegen wir uns bezüglich der Partikelgröße noch weiter abwärts, ist jedoch das osmotische Verhalten (siehe dazu RAMSCH 1997) der ausschlaggebende Faktor für die Filtrationsleistung. Für die aquaristisch wohlbekannteste Umkehrosmose-technik muss Druck an die Membran angelegt werden, der deutlich über dem osmotischen Druck des Konzentrats liegt. Es würde sonst kein Wasser durch die Membran fließen. Der Übergang von Ultrafiltration zur Umkehrosmose wird Nanofiltration genannt. In diesem Bereich werden bereits einige Salze zurückgehalten, aber die besonders kleinen wie z. B. Natrium- und Chlorid-Ionen gelangen fast ungehindert durch die Membran hindurch.

Aufbau von Membranen

Die beiden wichtigsten Typen von Membranen sind Wickelmodule („spiral wound



Teilweise abgewickelte Membran eines Wickelmoduls („spiral wound module“).
Foto: AquaCare

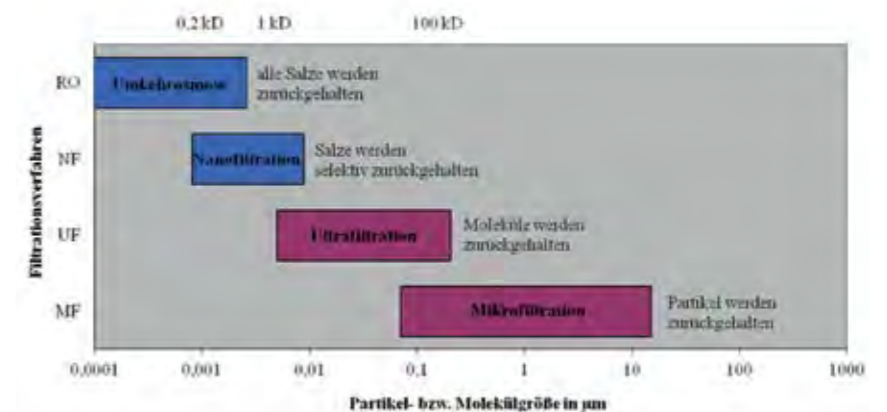


Flächenmembran, die mit Kalziumkarbonatkristallen verblockt ist, unter einem Rasterelektronenmikroskop. Diese Umkehrosmosemembran kann nicht mehr verwendet werden.
Foto: Advanced Ceramics

module“) und Hohlfasermodule („hollow fibre module“). Dickere Hohlfasermodule werden auch „Tubular-Module“ genannt. Für beide Typen werden im gesamten Bereich von Mikrofiltration bis Umkehrosmose Membranen angeboten.

Das in der Hobbyaquaristik fast ausschließlich verwendete Wickelmodul soll hier nur kurz angesprochen werden. Die

Unterscheidung der Filtrationsverfahren anhand der Partikel- bzw. Molekülgröße. Die Grenzen sind sehr fließend und werden unterschiedlich gesetzt. Teilweise werden Umkehrosmose und Nanofiltration zusammengefasst, weil überwiegend Diffusionseigenschaften eine Rolle spielen. Auch können Ultrafiltration und Mikrofiltration zusammengefasst werden – bei diesen Verfahren spielen hydrodynamische Prozesse die Hauptrolle. Grenzen nach RAUTENBACH 1997.





Hohlfasermodul mit transparentem Gehäuse während der chemischen Reinigung mit Säure. Deutlich sind die einzelnen Hohlfasern – in diesem Beispiel 650 Stück - zu erkennen.
Foto: AquaCare

Flächenmembran wird zur Platzersparnis auf dem Permeatsammelrohr aufgewickelt. Das Wasser strömt an dieser Fläche entlang, wobei ein Teilstrom durch die Membran dringt und im Permeatsammelrohr abgeleitet wird. Diese Teilstromfiltration wird auch als „Cross-Flow-Filtration“ bezeichnet.

Hohlfasermodule sind gänzlich anders aufgebaut. Die lang gestreckte Einzelfaser ist ein Hohlzylinder, bei dem das zu filtrierende Wasser von außen nach innen fließt. Im Gegensatz zu Wickelmembranen darf das Wasser auch in der entgegengesetzten Richtung, also von innen nach außen fließen. Um die Leistung zu steigern, werden viele – bisweilen mehr als 10.000 – Einzelfasern in einem Modul zusammengefasst. Hohlfasermodule zur Mikrofiltration müssen nicht unbedingt im Cross-Flow-Verfahren betrieben werden. Sie können ebenfalls im sogenannten Dead-End-Modus arbeiten. Das heißt, hier wird nicht nur ein Teil des Wassers filtriert, sondern die gesamte Wassermenge wird durch die Membran geleitet. Hat die Filtrationsleistung aufgrund von Verschmutzung der Oberfläche deutlich abgenommen, wird gereinigtes Wasser in entgegengesetzter Richtung durch die Membran gepresst, und die Partikel auf der Oberfläche der Membran werden weggespült (Rückspülzyklus). Wickelmodule dürfen dieser Prozedur nicht unterworfen werden.

Aufbau von Membrananlagen

Der prinzipielle Aufbau von Membrananlagen ist simpel. Zuerst kommt die Vorfiltration, die große Partikel entfernt. Bei

Mikrofiltrationsanlagen reichen meist 500 µm aus, bei Umkehrosmoseanlagen sollten schon 5-µm-Filter eingesetzt werden. Bei kritischem Wasser haben sich 1-µm-Filtereinsätze bewährt. Für den Betriebsdruck wird eine Pumpe benötigt, die das vorfiltrierte Wasser in das Membranmodul drückt. Kleinanlagen können auch mit dem Leitungswasserdruck betrieben werden.

Im Membranmodul wird das Wasser in einen Abwasserstrom und einen Reinwasserstrom aufgeteilt (außer beim Dead-End-Betrieb). Spüleinrichtung (Wickelmodul) oder Rückspüleinrichtung (Hohlfasermodul oder Tubular-Module) erleichtern die Wartung der Anlage. Vorbehandlungsschritte wie Enthärtung oder die Zugabe von Antiscalings-Substanzen werden bei ungünstigem Rohwasser gewählt. Eine chemische Reinigung der Membranmodule ist nur bei größeren Anlagen vorgesehen. Abhängig davon, für welchen Anwendungszweck das Reinwasser benötigt wird, können Nachfolgebehandlungen notwendig sein. Dazu gehören: Desinfektion, Remineralisierung, pH-Wert-Anpassung oder weitergehende Entsalzung durch Vollentsalzer oder Elektrodialyse.

Anwendungsbeispiele der Ultra- bzw. Mikrofiltration

Mikro- und Ultrafiltration wird in vielen sehr unterschiedlichen Bereichen eingesetzt. In der Milchwirtschaft wird Rohmilch mittels Ultrafiltration entfettet. Feinste Partikel werden aus Fruchtsäften oder Weinen gefiltert, um kristallklare Produkte zu erzeugen. In der metallverarbeitenden Industrie wird Mikrofiltration u. a.



Große Mikrofiltrationsanlage MF20 mit einer Leistung von 20 m³/h. Eine SPS-Steuerung sorgt für einen automatischen Betrieb. Sobald die Filtrationsleistung unter ein Minimum abfällt, werden die Membranen mit Filtrat rückgespült. Mit dem gelben CIP-Tank können die Mikrofiltrationsmembranen chemisch gereinigt werden; auch eine Desinfektion ist möglich. Das SPS-Programm führt schrittweise durch die Reinigungsprozedur.
Foto: AquaCare



Kleine Mikrofiltrationsanlage MF0020 mit Vorfilter, Wickelmodul und Pumpe. Die Leistung beträgt bis 40 l/h. Foto: AquaCare

zur Standzeitverlängerung von Tauchbädern verwendet. Öl-Wasser-Emulsionen können aufkonzentriert werden. In der Pharmazie werden Impfstoffe, Enzyme und Antibiotika mittels Membrantechnik gereinigt. In der Aquaristik kann eine Aufbereitung mittels Mikrofiltration einige Vorhaben erheblich erleichtern, wie die folgenden Beispiele zeigen.

Wiederverwendung von Filterspülwasser

Schauaquarien haben aufgrund ihrer Größe einen enormen Wasserbedarf. Allein schon, um die Sandfilter zu spülen, können pro Tag mehrere hundert Kubikmeter Wasser benötigt werden. Gerade bei Meerwassersystemen sind die Kosten für Wasser, Abwasser und Salz nicht zu vernachlässigen. Pro Tag können schnell Kosten von 1.000,- Euro zusammenkommen.



Experiment zur Veranschaulichung der Filtrationsleistung einer Mikrofiltrationsanlage. Die Aquarien links und rechts wurden mit normalem Wasser aus dem zentralen Aquariumfilterkreislauf versorgt, das Aquarium in der Mitte mit mikrofiltriertem Wasser aus demselben Kreislauf. Dass Partikel entfernt werden, hat hier zu geringerem Bewuchs von filtrierenden Organismen auf der Scheibe geführt. Auch Trübungen durch Reinigungsarbeiten im restlichen System gelangen nicht in das mittlere Aquarium.
Foto: AquaCare

Europas größtes Schauaquarium „Afrarium“ in Wrocław (Breslau), Polen, hat nun mit einer Mikrofiltrationsanlage den Wasserverbrauch der Süßwasserkreisläufe erheblich reduziert. Das Spülwasser der Sandfilter wird in einem Sedimenttank gesammelt. Der größte Anteil der Verschmutzungen setzt sich ab und wird regelmäßig abgepumpt. Der erheblich gesäuberte Überstand wird zur Mikrofiltrationsanlage gefördert. Die Mikrofiltration filtert das Wasser bis auf ca. 0,2 µm (200 nm) Partikelgröße. So ist gewährleistet, dass Partikel, Ciliaten, Bakterien und große Viren nicht mehr im Filtrat vorhanden sind. Das Wasser kann wieder für Filterspülprozesse verwendet werden, ohne dass sich eventuell vorhandene Krankheitserreger von einem Aquariumssystem zum anderen ausbreiten können.

Mikro- bzw. Ultrafiltration in der Hobby-Meerwasseraquaristik

Im Hobbybereich kann eine Mikro- bzw. Ultrafiltration für den Zuchtbereich eine große Hilfe darstellen. Kleine Larven sind sehr empfindlich gegenüber schwankenden und schlechten Wasserbedingungen. Um eine Anreicherung mit Stickstoffverbindungen (Ammoniak, Nitrit, Nitrat)

und Phosphat zu vermeiden und die Bakterien- und Ciliatenkonzentration zu minimieren, werden im Normalfall täglich große Teilwasserwechsel durchgeführt. Das ist mit viel Arbeit verbunden und birgt Risiken. Das Wechselwasser muss in puncto Temperatur, pH-Wert, Salz- und Sauerstoffkonzentration genau mit dem Aufzuchtwasser übereinstimmen, andernfalls sind hohe Sterblichkeitsraten bei den Nachzuchtieren zu erwarten.

Alternativ zur Wasserwechselmethode kann mit einer Mikrofiltration gearbeitet werden. Dazu wird Wasser aus einem eingefahrenen Aquarium über eine Mikrofiltration geführt. Das gereinigte Wasser weist chemisch die exakt gleichen Bedingungen auf wie das Ursprungswasser, ist jedoch von Protozoen, Bakterien, großen Viren und Trübstoffen befreit. Dieses Wasser kann kontinuierlich dem Larvenaufzuchtbecken zugeführt werden, während das Abwasser aus dem Larvensystem wieder der Filtration des Hauptaquariums zugeführt wird. Mit diesem System lässt sich den Larven eine konstante Wasserqualität mit niedrigen Ammoniakwerten bieten.

* Diplombiologen der Firma AquaCare GmbH & Co. KG



Mikrofiltrationsmodul MF090-100 mit Hohlfasermodul und Durchflussmessern. Die Leistung beträgt bei 2 bar Druck ca. 1.000 l/h.
Foto: AquaCare.

Literatur:

- RAMSCH, B. (1998): Wasseraufbereitung - Beeinflussung der Zusammensetzung des Wassers. – D. Aqu. u. Terr. Z. (DATZ), Praxis 11: 84–85.
RAUTENBACH, R. (1997): Membranverfahren: Grundlagen der Modul- und Anlagenauslegung. – Springer, Berlin, Heidelberg, New York, Barcelona, Budapest, Hongkong, London, Mailand, Paris, Santa Clara, Singapur, Tokio.

Wir bedanken uns bei der AIF, Berlin, und beim ILAR-Forschungsteam (ZMT, Bremen; Advanced Ceramics, Bremen; Mikrobiologisches Labor, Münster) für die Unterstützung, ohne die dieser KORALLE-Artikel nicht möglich geworden wäre.