

Copyright ©

Es gilt deutsches Urheberrecht.

Die Schrift darf zum eigenen Gebrauch kostenfrei heruntergeladen, konsumiert, gespeichert oder ausgedruckt, aber nicht im Internet bereitgestellt oder an Außenstehende weitergegeben werden ohne die schriftliche Einwilligung des Urheberrechtlichsinhabers. Es ist nicht gestattet, Kopien oder gedruckte Fassungen der freien Onlineversion zu veräußern.

German copyright law applies.

The work or content may be downloaded, consumed, stored or printed for your own use but it may not be distributed via the internet or passed on to external parties without the formal permission of the copyright holders. It is prohibited to take money for copies or printed versions of the free online version.

Aus dem Institut für Meereskunde an der Universität Kiel

Auswirkungen einer Ozonisierungsanlage auf den Bakteriengehalt des Wassers eines Schauaquariums

VON HEINZ SCHLESNER und GERHARD RHEINHEIMER

Zusammenfassung: Die vorliegende Arbeit sollte klären, welchen Einfluß die Seewasser-Reinigungsanlage im Aquarium des Instituts für Meereskunde in Kiel auf den Bakteriengehalt des Aquariumwassers hat. Es wurde festgestellt, daß wesentliche Unterschiede in der Belastung des Wassers im Vergleich zum Fördewasser bestehen, insbesondere weist das Wasser des Aquariums eine sehr hohe Konzentration an Phosphat und Nitrat auf.

Es wurden die auf Grund ihres Salzanspruches auf verschiedenen Nährböden wachsenden saprophytischen Bakterien gezählt. Es zeigte sich, daß die Saprophytenzahlen starken Schwankungen unterlagen; die Gründe hierfür konnten weitgehend analysiert werden.

Die Saprophytenzahlen nehmen beim Durchlauf des Wassers durch die Reinigungsanlage ab, wenn Ozon eingeleitet wird. Es handelt sich aber in diesem Falle nicht um eine unmittelbare Wirkung des Ozons durch dessen oxydierende Wirkung, sondern um eine mittelbare, indem die Schaumbildung gefördert wird. Mit dem Schaum werden neben anderen partikulären Verunreinigungen auch Bakterien dem Wasserkreislauf entzogen. Zur Keimtötung reichen die verfügbaren Ozonmengen nicht aus. Die Anlage erfüllt zwar ihre Aufgabe, indem sie das Wasser von löslichen Proteinen und partikulären Verunreinigungen befreit und das giftige Nitrit zu unschädlichem Nitrat oxydiert, jedoch ist die Nutzung der Anlage nicht optimal.

Zusätzliche Versuche mit Ozon zeigten, daß zur Keimtötung im belasteten Aquarienwasser mit den gegebenen Ozonmengen lange Einwirkungszeiten erforderlich sind. Es konnte auch gezeigt werden, daß der Wirkungsgrad des Ozons von der Belastung des Wassers mit oxydierbaren organischen und anorganischen Stoffen abhängig ist.

Influence of an ozonisation plant on the bacterial content in water of a demonstration aquarium. (Summary): The purpose of this investigation was to study the effect of a sea water purifying installation on the concentration of bacteria in the aquarium of the Institut für Meereskunde in Kiel.

It was found that the aquarium water differed greatly from that of the Kiel Fjord, particularly in that the aquarium water contained very high phosphate and nitrate concentrations.

The saprophyte counts were made on three types of nutrient media which differed in salinity because it was necessary to meet the requirements of a large group of bacteria. It was shown that the counts varied greatly; the reasons for most of these differences could be explained.

The saprophyte counts decreased when water was purified and ozone added. The decrease in bacteria, however, was not due directly to the oxidizing effect of ozone but rather indirectly due to increase in surface tension of bubbles producing foam which acted as a collecting agent for pollutants as well as bacteria. The amount of ozone was not strong enough to act as a germicidal agent. The plant, indeed, performed its function; the soluble protein and the pollutants were extracted from the water and the poisonous nitrite was converted to harmless nitrate. However, the full utilization of the plant was not optimal.

Additional experiments indicated that a long period of time was necessary for the germicidal action of the given quantity of ozone in polluted aquarium water. The efficiency of the ozone depended on the oxidizable contents of organic and inorganic matter.

Die Autoren danken dem technischen Leiter des Aquariums, Herrn H. H. Trekel, für seine Unterstützung.

1. Einleitung

Am 10. Mai 1972 wurde im Neubau des Instituts für Meereskunde an der Kieler Christian-Albrechts-Universität ein Schauaquarium in Betrieb genommen. Da sich wegen des hohen Grundwasserspiegels am Standort der Einbau von Kiesbettfiltern als zu kostspielig erwies, entschied man sich für ein anderes Verfahren zur Reinigung des

Aquariumwassers, nämlich die Ozonisierung und die Eiweißabschäumung nach dem Rotationsprinzip.

Es sollte daher die Auswirkung der Ozonisierung auf den Bakteriengehalt des Wassers untersucht werden, also in welchem Maße eine Abnahme der Keimzahlen erfolgt, wodurch diese bewirkt wird und welche Änderungen einige chemische Parameter erfahren.

2. Eigenschaften von Ozon

Ozon ist ein äußerst starkes Oxydationsmittel. Es wird in seiner Oxydationskraft nur noch vom Fluor übertroffen. Alle natürlich vorkommenden organischen Verbindungen werden vom Ozon angegriffen. Auch lebende Organismen werden oxydativ zerstört, besonders Mikroorganismen.

Bereits vor der Jahrhundertwende wurde Ozon zur Desinfektion von Trinkwasser angewendet, aber um 1920 durch das billigere Chlorgas verdrängt. Erst nach dem zweiten Weltkrieg fand es wieder Eingang in die Wasserwerkspraxis und wurde in immer stärkerem Maße eingesetzt. Es wird nicht nur zur Desinfektion von Trinkwasser verwendet, sondern auch zur Reinigung und Desinfektion von Schwimmbeckenwasser, und es stellt ein geeignetes Mittel zur Abwasserreinigung dar.

Ozon ist in Wasser nur sehr wenig löslich. Die Löslichkeit nimmt mit steigender Temperatur stark ab und folgt recht genau dem Henry-Daltonschen Gesetz, das heißt die Menge Ozon, die in Wasser unter gegebenen äußeren Bedingungen in Lösung gebracht werden kann, hängt linear vom Partialdruck ab, den das Ozon in der mit dem Wasser in Berührung stehenden Gasatmosphäre besitzt:

$$c_{O_3} = k \cdot p_{O_3}$$

Das im Wasser gelöste Ozon ist nicht stabil. Durch viele organische und anorganische Stoffe wird der Zerfall katalytisch beschleunigt. STUMM (zitiert bei HOLLUTA 1963) ermittelte die Abhängigkeit des Ozonzerfalls von der Temperatur sowie von der Hydroxylionenkonzentration (Abb. 1).

Sehr häufig, besonders bei der Oxydation anorganischer Stoffe, gibt Ozon nur ein Sauerstoffatom ab. Gewöhnlicher Sauerstoff bleibt im Wasser zurück. Oxydiert werden u. a. Fe^{2+} , Mn^{2+} , CN^- , NO_2^- , SO_3^{2-} , jedoch nicht NH_4^+ .

Schwieriger und wesentlich komplizierter ist der Mechanismus, nach dem Ozon mit organischen Stoffen reagiert. In vielen Fällen wird das ganze Ozonmolekül gebunden, manchmal tritt Ozonidbildung ein. Teiloxydiert werden: Ungesättigte Verbindungen (z. B. Alkene und deren Derivate), Stoffe mit den Gruppen -OH (auch Phenole), -SH (Merkaptane), =S (Thioäther), N-haltige Heterozyklen, Aldehyde, Ketone u. a.

3. Wirkung des Ozons auf Bakterien

Einer der wichtigsten Gründe für den Einsatz des Ozons in der Wasserchemie ist seine starke keimtötende Wirkung. Es tötet sowohl Pilze und Bakterien als auch deren Sporen. Wahrscheinlich vernichtet es auch Viren. Das ist z. B. bekannt bei Poliomyelitisviren (HAVEMEISTER und JENTSCH 1971). Die erforderliche Ozonkonzentration ist stark vom Zustand des Wassers abhängig. Abb. 2 zeigt den Keimtötungsverlauf in zehrungsfreiem bidestilliertem Wasser. Man erkennt, daß schon geringe Ozonmengen in kurzer Zeit eine 99,99%ige Keimtötung bewirken. Ganz anders ist der Keimtötungsverlauf

Tafel 1 (zu H. Schlesner u. G. Rheinheimer)

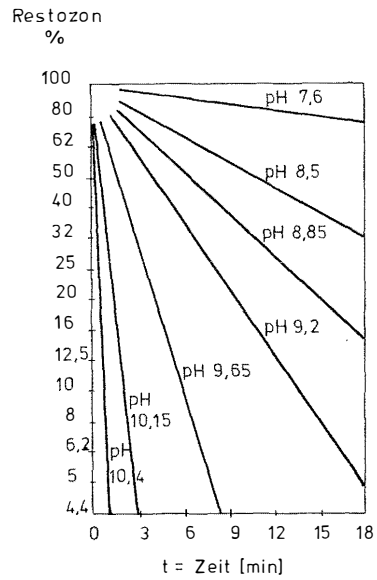


Abb. 1: pH-Abhängigkeit des Ozonerfalls in dest. Wasser bei 14,6°C (nach STUMM, zitiert bei HOLLUTA 1963).

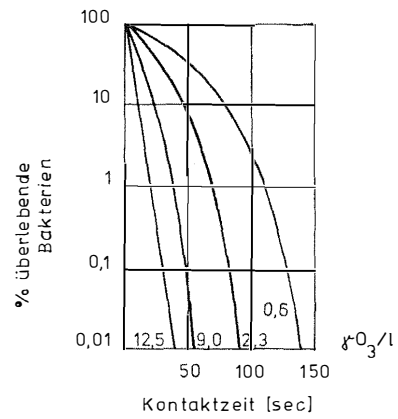


Abb. 2: Keimtötungsverlauf in zehrfreiem bidestilliertem Wasser mit E. coli (nach WUHRMANN und MEYRATH, zitiert in HOLLUTA 1963).

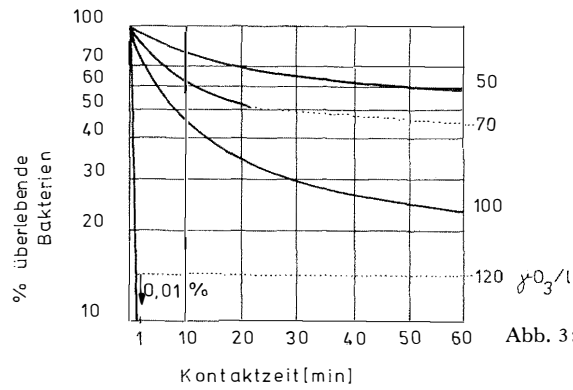


Abb. 3: Keimtötungsverlauf in ozonzehrendem Leitungswasser mit E. coli (nach HOLLUTA 1963).

Tafel 2 (zu H. Schlesner u. G. Rheinheimer)

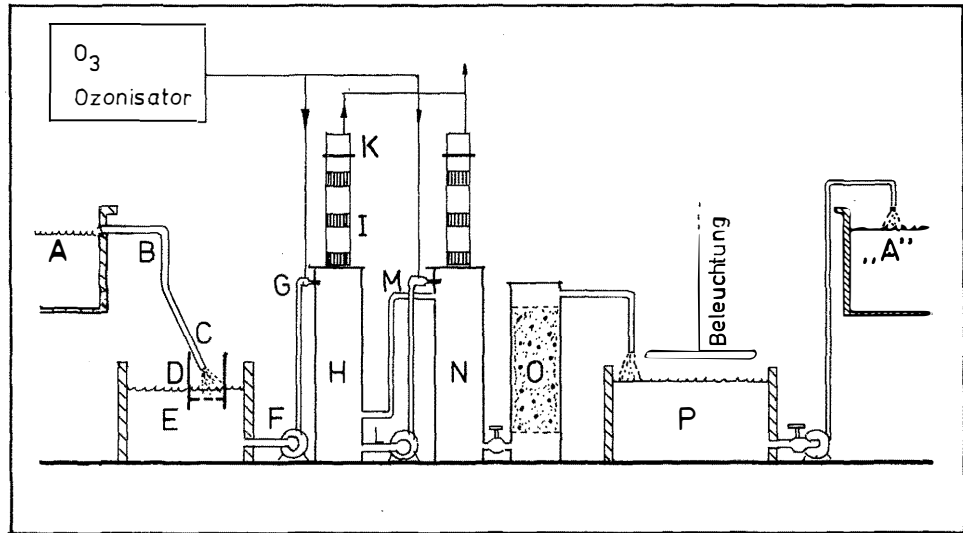


Abb. 4: Schema der Seewasser-Reinigungsanlage. Erklärung im Text (nach SANDER, verändert).

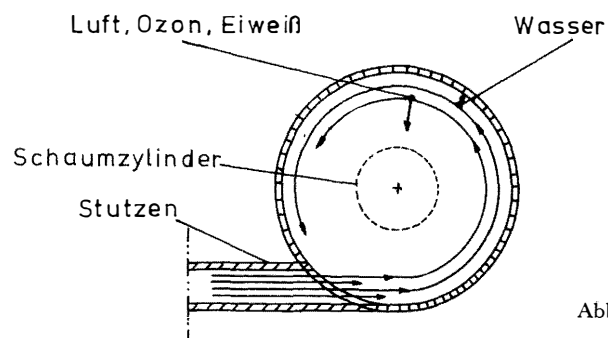


Abb. 5: Funktionsprinzip des Abschämers (aus SANDER (1968)).

bei ozonzehrendem Leitungswasser. Abb. 3 verdeutlicht, daß die Keimtötungsgeschwindigkeit trotz wesentlich höherer Ozonkonzentrationen erheblich geringer ist als in destilliertem Wasser. Besonders auffällig ist der unterschiedliche Kurvenverlauf bei 100 µg Ozon pro Liter Wasser und bei 120 µg/l. Während bei 100 µg/l nach 60 Minuten noch mehr als 20% der Keime überleben, werden bei 120 µg/l in weniger als 1 Minute alle Keime getötet. Die Ursache dieser verzögerten Keimtötung kann nach HOLLUTA (1963) keine andere sein als die Bindung des Ozons an im Wasser vorhandene organische Stoffe. Erst wenn Ozon im freien Zustand über das gebundene hinaus im Wasser vorhanden ist, wirkt selbst ein geringer Überschuß sofort keimvernichtend.

Der Wirkungsmechanismus des Ozons auf die Bakterienzelle ist bisher nur wenig erforscht. SCOTT und LESHER (1962) sind bei ihren Versuchen mit *Escherichia coli* zu dem Resultat gekommen, daß der erste Angriff des Ozons auf die Zellwand erfolgt. Wahrscheinlich reagiert Ozon hier mit den Doppelbindungen ungesättigter Lipide.

Eine Rolle für die Widerstandsfähigkeit der Bakterien gegen oxydative Agenzien scheint ihre Pigmentierung zu spielen. ZOBNINA und MORKOVINA (1970) untersuchten die Wirkung von Ozon auf *Mycobacterium carothenum* und eine farblose Mutante. Sie stellten fest, daß die pigmentierten Bakterien länger überlebten, weil zuerst der Farbstoff oxydativ zerstört wurde. Jedoch blieb der Enzymmechanismus zur Reproduktion der Pigmente intakt und die entfärbten Zellen bildeten den Farbstoff neu.

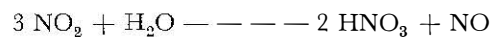
4. Problematik der Ozonisierung

Ozon kann weder im gasförmigen noch im flüssigen Zustand gefahrlos gelagert werden. Deshalb muß es am Orte der Verwendung hergestellt werden.

Wird für die Gewinnung von Ozon Luft verwendet, können erhebliche Mengen von Stickoxiden entstehen, wenn die Luft nicht einwandfrei aufbereitet worden ist oder die Elektrodenabstände innerhalb der Ozonröhren nicht der Spannung und dem Dielektrikum angepaßt sind. Es kommt zum Ozonzerfall nach folgender Gleichung:

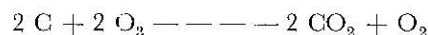


Das NO_2 verbindet sich spontan mit Wasser zu Salpetersäure (HOFMANN-RÜDORFF 1969):



Dies führt zu einer erheblichen Nitratanreicherung im Wasser sowie einer pH-Verschiebung in den sauren Bereich, wie eigene Messungen zeigen (s. Ergebnisse).

Da Ozon ein starkes Gift ist, darf kein Restozon im Wasser bleiben, wenn dieses die Reinigungsanlage verläßt. Als besonders günstig zur Entfernung von überschüssigem Ozon hat sich Aktivkohle erwiesen. Sie reagiert mit dem Ozon unter Bildung von Kohlendioxid:



Wegen der geringen Löslichkeit von Ozon in Wasser bedarf es besonderer Vermischungseinrichtungen, um das Luft-Ozon-Gemisch in möglichst feinverteilter Form mit dem Wasser in Kontakt zu bringen und so eine optimale Lösung zu erreichen. Eine Ozonisierungsanlage besteht also aus:

1. Luftaufbereitungsanlage
2. Ozonerzeuger
3. Vermischungseinrichtung
4. Aktivkohlefilter

5. Das Aquarium und die Seewasserreinigungsanlage

Das Aquarium des Instituts für Meereskunde umfaßt 23 Schaubecken in Größen zwischen 200 und 11000 Litern. Es werden etwa 150 Tierarten aus Nordsee, Ostsee, Mittelmeer, tropischen Meeren und den Seen und Flüssen Schleswig-Holsteins gehalten. Naturgemäß tritt die Fauna von Nord- und Ostsee stark in den Vordergrund. So beträgt die Wassermenge der beiden Hauptkreisläufe „Ostsee“ bzw. „Nordsee“ 35 bzw. 45 m³. Im folgenden wird nur auf diese beiden Kreisläufe eingegangen werden.

Das Wasser der beiden Kreisläufe wird mit einer Leistung von 40 m³/h umgewälzt und durch die von der Firma Erwin Sanders, Elektroapparatebau, Eltze, entwickelte und installierte Seewasser-Reinigungsanlage gepumpt. Zum Nordseewasserkreislauf gehört außerdem noch ein kleines Kiesbettfilter.

Die Temperatur wird im Ostseewasserkreislauf auf 13—15°C, im Nordseewasserkreislauf auf 10—12°C gehalten.

Zum Ausgleich von Wasserverlusten wird in 11 Hochbehältern ein Wasservorrat von insgesamt 182 m³ gehalten. Das Wasser wird aus der Kieler Förde aus 9 m Tiefe hochgepumpt und etwa 4 Wochen abgelagert, ehe es dem Kreislauf zugeführt wird. Für den Nordseewasserkreislauf wird dieses Wasser mit Meersalz auf 32—34⁰/₁₀₀ Salzgehalt aufgesalzen.

Die Abbildung 4 zeigt das Schema der Seewasser-Reinigungsanlage. Das Seewasser, das aus den Aquarien (A) über den Überlauf (B) kommt, wird in der Rohrleitung (C) gesammelt. Diese führt das Wasser über ein Sieb (D) mit der Maschenweite von 0,1 mm, das größere Verunreinigungen wie Futterreste, tote Tiere und Algen zurückhält, in den Sammelbehälter (E). Von hier wird es mittels einer Kreiselpumpe (F) über den Injektor (G) in den Abschäumer (H) gepumpt. Hierbei wird Luft, vermischt mit Ozon, angesaugt und mit dem Wasser vermischt. Die ausgeschäumten Eiweißstoffe treten durch Schaumsiebe (I), die die Turbulenz beseitigen sollen, in den Schaumsammelbecher (K) und werden mit Leitungswasser in den Abfluß gespült. Auch die zugeführte Luft entweicht durch den Schaumbecher. Aus dem unteren Teil des Rotationsabschäumers wird das Wasser von der Kreiselpumpe (L) angesaugt, im Injektor (M) mit Luft-Ozon vermischt und in den Sterilisationsturm (N) gegeben. Auch hier findet eine Abschäumung statt, jedoch in geringerer Maße als im Abschäumer. Der Ozonüberschuß soll hier die Keime abtöten. Aus dem Sterilisator wird das Wasser durch zwei parallel geschaltete Ozonadsorber geführt, die Aktivkohle enthalten und überschüssiges Ozon entfernen sollen, und gelangt in das Algenbecken (P). Das ist ein flaches Wasserbecken mit den Ausmaßen 4 × 2,9 × 0,7 m, das künstlich beleuchtet wird. Die hier angesiedelten Algen sowie denitrifizierenden Bakterien sollen die angesammelten Nitrate und Phosphate reduzieren. Vom Algenbecken wird das Wasser von der Kreiselpumpe (Q) wieder in die Aquarien („A“) zurückgepumpt.

Im Laufe des Jahres 1972 wurden an der Seewasser-Reinigungsanlage entscheidende Änderungen vorgenommen. Wegen der großen Durchströmungsgeschwindigkeit des Wassers wurde die Aktivkohle im Ozonadsorber (O) sehr schnell so fein zerrieben, daß sie die Filter passierte und zu einer erheblichen Trübung des Wassers in den Schaubecken führte. Deshalb wurde die Aktivkohle aus dem Ozonadsorber entfernt. Um der Gefahr vorzubeugen, daß überschüssiges Ozon in den Wasserkreislauf gelangte, wurde einmal die Leistung des Ozonerzeugers von 30 g O₃/h auf 17 g O₃/h reduziert, zum anderen die Ozonzufuhr zum Injektor (M) unterbunden. Ozon wird also nur noch durch den

Injektor (G) in den Abschäumer (H) zugegeben. Der Sterilisationsturm (N) ist damit praktisch funktionslos geworden. Hier soll nur noch eventuell im Wasser vorhandenes Ozon entweichen.

6. Die Eiweißabschäumung

Es ist allgemein bekannt, daß Meerwasser Schaum bilden kann, besonders an Felsenküsten und in der Brandung. Der Schaum entsteht, weil durch den hohen Salzgehalt des Meerwassers die Oberflächenspannung des Wassers sich dergestalt verändert, daß durch Luftuntermischung ein instabiler, d.h. schnell zusammenfallender Schaum entsteht. Diese Art von Schaum entsteht auch im Abschäumer und wird hier als Normalschaum bezeichnet.

Der Abschäumer arbeitet nach dem Flotationsprinzip (flottage = das auf dem Wasser Schwimmende). Die in einem Aquarium entstehenden Verunreinigungen sind überwiegend Eiweiß-Kolloide und somit abschäumfähig. Dieser „Eiweißschaum“ ist die eigentliche „flottage“, die auf dem Normalschaum schwimmt.

Das Hauptmerkmal der Flotation ist die Anreicherung. Diese Anreicherung entsteht durch einen sogenannten Potentialgang: Der aus einem Medium gewonnene Schaum ist stets saurer als das Medium, aus dem er gewonnen wurde. Der Schaum hat also eine andere Ladung als das Wasser (HÜCKSTEDT 1970).

Die Rolle des Ozons bei der Eiweißabschäumung ist noch unbekannt. Vielleicht bewirkt es eine Denaturierung der Proteine. SCHUBERT (mündlich) ist allerdings der Ansicht, daß Ozon nur indirekt eine verstärkte Abschäumung bewirkt, indem es Schaumgifte zerstört. Jedenfalls werden viele wasserlösliche Proteine beim Abschäumprozeß denaturiert, d.h. die Sekundärstruktur und höhere Strukturen werden zerstört.

Die im genuinen Zustand wasserlöslichen Proteinmoleküle, vorwiegend Albumine und Globuline, gehören meist zu den Sphäroproteinen, d.h. sie sind annähernd kugelförmig und bestehen aus Peptidketten, die zu α -Spiralen zusammengerollt sind. Die Spiralen ihrerseits sind gefaltet oder geknickt oder durch Bereiche geringerer Ordnung unterbrochen. Bei der Denaturierung strecken sich die Peptidketten, so daß fadenförmige Moleküle entstehen. Diese Veränderung in der Gestalt der Moleküle hat eine Abnahme der Löslichkeit zur Folge.

In diesem Zusammenhang dürfte der Erscheinung der Spreitung eine besondere Rolle zukommen. Hierunter versteht man die Anreicherung der Proteinmoleküle an der Grenzfläche von Luft und Wasser, die zur Bildung monomolekularer Filme an der Oberfläche führt. Hierbei erfolgt eine Streckung der geknäuelten Peptidketten und eine Ausrichtung der Peptidkette derart, daß die hydrophilen polaren Gruppen gegen das Wasser, die hydrophoben Kohlenwasserstoffreste aber gegen die Luft gerichtet sind, während die Peptidbindungen in die Mittelschicht zu liegen kommen (WALDSCHMIDT-LEITZ 1957).

Durch die Ausbildung solcher „Adsorptionsschichten“ sind Proteine befähigt, ebenso wie Seifen und Lipoide, versteifte stabile Schäume zu bilden (NETTER 1959). Die Adsorptionsschichten binden kleine Partikel, die somit vom Schaum eingeschlossen werden.

Bei der Eiweißabschäumung nach dem Rotationsprinzip wird das vorgereinigte Wasser mit einer Kreiselpumpe durch den Injektor über einen Stutzen in den Abschäumzylinder gepreßt. Im Injektor wird es mit dem Luft-Ozon-Gemisch vermischt. Der Stutzen mündet seitlich in den Zylinder ein. Dadurch gerät das Wasser-Luft-Ozon-Gemisch in Rotation und durch die auftretenden Zentrifugalkräfte wird das schwerere Wasser vom Luft-Ozon-Gemisch und vom Eiweiß getrennt. Das Wasser wird an die Wand des Zylinders gedrückt, während Luft-Ozon und Eiweiß sich als Schaum in der Mitte sammeln und nach oben in den Schaumsammeltopf gedrückt werden.

7. Methoden

Die Probennahme für die bakteriologischen Untersuchungen erfolgte in sterilen Jenaer Glasflaschen (Babyflaschen), für die chemischen Untersuchungen in 200 ml Meplatsflaschen. Die Entnahme von Proben blieb im wesentlichen auf zwei Punkte im Kreislauf beschränkt, in denen sich die Auswirkungen der Seewasser-Reinigungsanlage am deutlichsten zeigte, nämlich direkt vor dem Eintritt des belasteten Wassers in die Reinigungsanlage, also im Sammelbehälter (Entnahmepunkt A) und unmittelbar nach dem Austritt des Wassers aus der Anlage am Rohrstutzen, der das Wasser vom Ozonadsorber in das Algenbecken leitet (Entnahmepunkt B). Bei A wurde die Probe von Hand aus etwa 30 cm Wassertiefe genommen. Bei Punkt B gestaltete sich die Probennahme deshalb schwieriger, weil der Rohrstutzen vom Ozonadsorber 10—15 cm unter der Wasseroberfläche des Algenbeckens einmündet. Um zu vermeiden, daß das frisch gereinigte Wasser mit dem Wasser des Algenbeckens vermischt in die Probe gelangte, wurde das Probenwasser mittels eines Trichters mit angesetztem Gummischlauch (beides autoklaviert) in die Probenflaschen gefüllt. Der Rohrstutzen wurde vor jeder Probennahme sorgfältig mit einer Stielbürste gereinigt.

Die bakteriologische Untersuchung mußte sich aus Zeitgründen auf die Keimzahlbestimmung nach dem Plattengußverfahren nach KOCH beschränken. Es wurde das Nährmedium für Meeresbakterien nach ZOBELL in drei Salzgehaltsstufen verwendet. Dieses setzt sich folgendermaßen zusammen:

5 g	Pepton
1 g	Hefeextrakt
0,01 g	FePO ₄ · 4 H ₂ O
15 g	Agar

gelöst in 1 Liter Wasser. Die Reaktion wurde vor dem Autoklavieren auf pH 7,4 eingestellt. Zur Nährbodenherstellung fand gealtertes Helgoländer Meerwasser Verwendung, das einen ziemlich konstanten Salzgehalt von 32⁰/₀₀ hat.

Die Salzgehaltsstufen der Nährmedien haben folgende Bezeichnungen:

Seewassermedium (ZS)	24 ⁰ / ₀₀
Brackwassermedium (ZB)	8 ⁰ / ₀₀
Leitungswassermedium (ZL)	0 ⁰ / ₀₀

Die Salzgehalte von ZS und ZB wurden durch entsprechendes Ersetzen des Helgoländer Meerwassers durch destilliertes Wasser erhalten, für ZL wurde nur Leitungswasser verwendet.

Da die Keimzahlen starken Schwankungen unterlagen, mußte jedesmal mit mehreren Verdünnungsstufen gearbeitet werden. Für die Nährmedien ZS und ZB wurden die Proben in jeweils drei Konzentrationen auspipettiert, nämlich 10⁻³, 10⁻² und 10⁻¹; für ZL genügten zwei Konzentrationen, nämlich 10⁻¹ und unverdünnt. Zur Verdünnung diente sterilisiertes Leitungswasser.

Um eine weitgehende Vereinzelnung und möglichst gleichmäßige Verteilung der Bakterien zu erreichen, wurden die Proben vor dem Verdünnen zwei Minuten lang kräftig geschüttelt, die verdünnten Proben vor dem Auspipettieren eine Minute.

Es wurden jeweils fünf Parallelen gegossen, um statistisch auswertbare Ergebnisse zu erhalten. Die Platten wurden bei 20°C bebrütet, und nach 14 Tagen wurden die Makrokolonien gezählt.

Tafel 3 (zu H. Schlesner u. G. Rheinheimer)

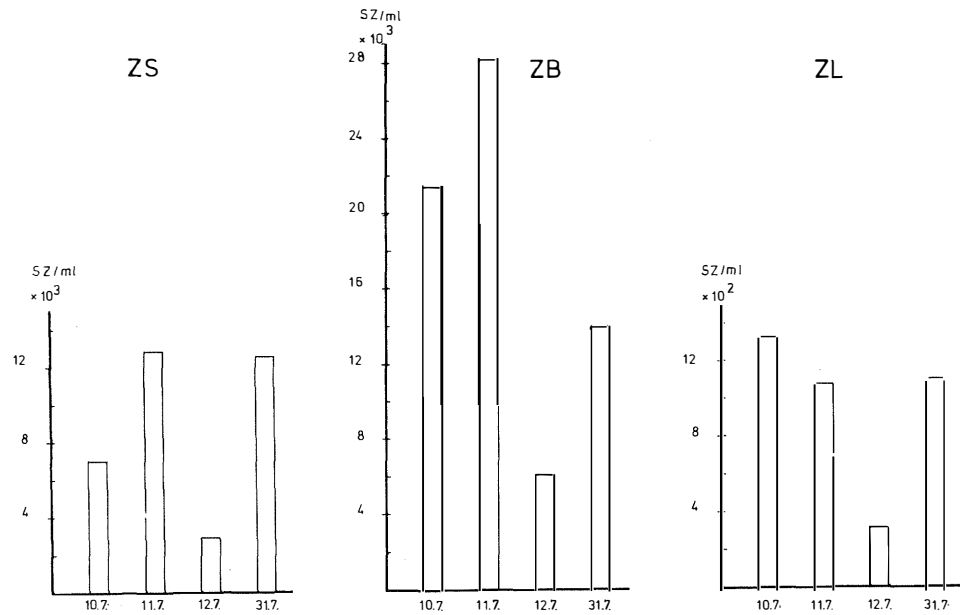


Abb. 6: Saprophytenzahlen im Reservewasser des Ostseewasserkreislaufs an vier Tagen auf den Nährböden ZS, ZB und ZL.

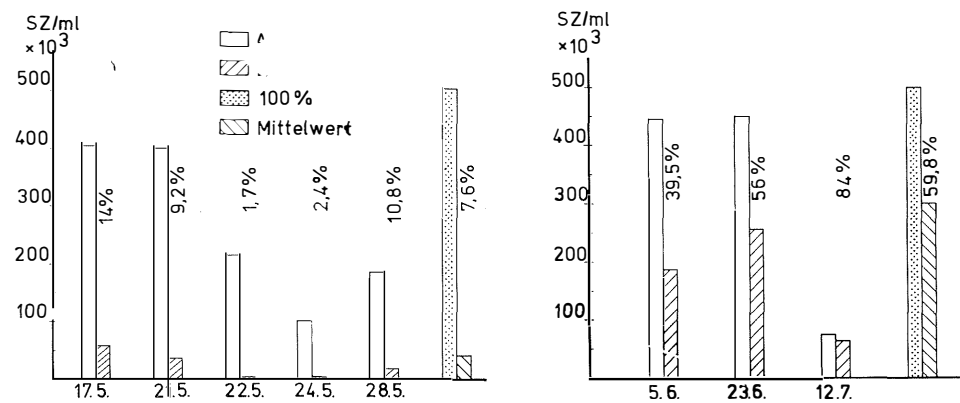


Abb. 7 und 8: Saprophytenzahlen im Ostseewasserkreislauf auf ZS-Agar bei Ozoneinleitung (Abb. 7) und ohne Ozoneinleitung (Abb. 8). Die A-Proben wurden im Sammelbehälter, die B-Proben im Algenbecken genommen. Über den Säulen der B-Proben ist jeweils der Prozentsatz der in den B-Proben gefundenen Saprophytenzahlen gegenüber der A-Probe angegeben.

Tafel 4 (zu H. Schlesner u. G. Rheinheimer)

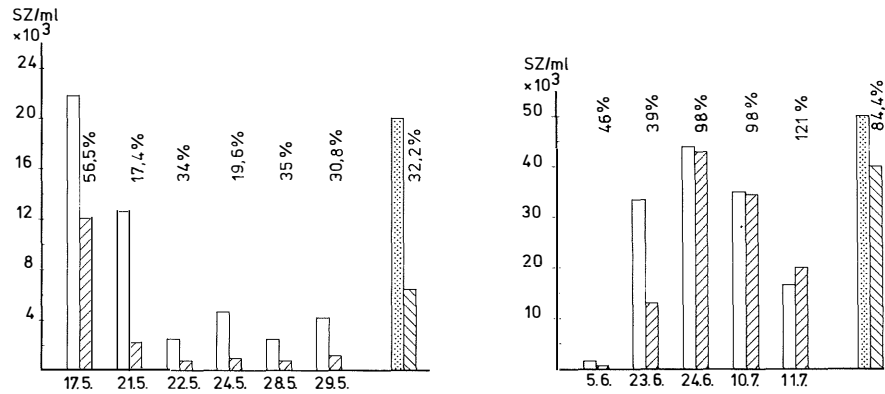


Abb. 9 und 10: Saprophytenzahlen im Ostseewasserkreislauf auf ZB-Agar bei Ozoneinleitung (Abb. 9) und ohne Ozoneinleitung (Abb. 10). Bemerkenswert sind die starken Schwankungen der Ergebnisse der B-Proben bei fehlender Ozoneinleitung (Abb. 10).

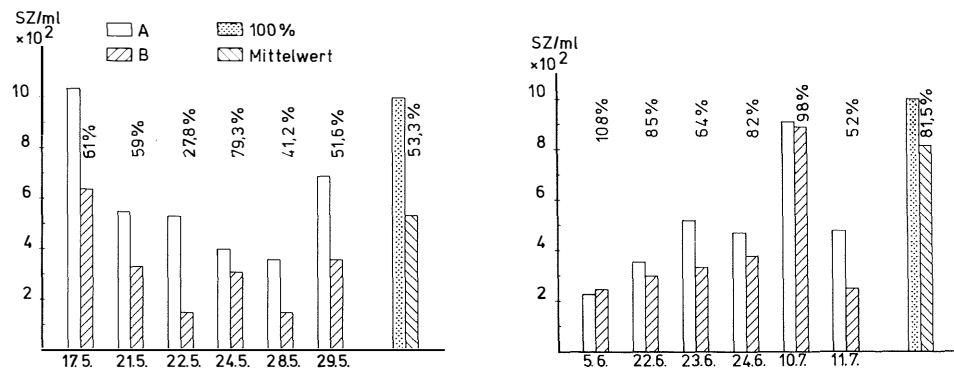


Abb. 11 und 12: Saprophytenzahlen im Ostseewasserkreislauf auf ZL-Agar bei Ozoneinleitung (Abb. 11) und ohne Ozoneinleitung (Abb. 12).

Abb. 13 auf Tafel 8!

Die Bestimmung von gelöstem anorganischen Phosphat erfolgte nach dem Verfahren von MURPHY und RILEY (1962). Nitrit wurde nach der Methode von BENDSCHNEIDER und ROBINSON (1952) bestimmt. Zur Bestimmung des Nitratgehaltes wurde das Verfahren nach GRASSHOFF (1964) angewandt.

8. Ergebnisse

Das Wasser im Aquarium kann nicht mit dem Fördewasser verglichen werden. Auffällig ist der hohe Gehalt an Nitrat (ca. 20 mg $\text{NO}_3\text{-N}/1$) und Phosphat (ca. 2,5 mg $\text{PO}_4\text{-P}/1$). Der pH-Wert liegt zwischen 7,6 und 7,9. Bemerkenswert sind die großen Schwankungen sowohl der chemischen Parameter als auch der Saprophytenzahlen.

Als guter Anhaltspunkt für die oxydierende Wirkung des Ozons erwies sich die Messung des Nitritgehaltes. Die Messung des Nitratgehaltes erbrachte Ergebnisse von geringerem Aussagewert. Bedingt durch die hohe Nitratkonzentration im Wasser mußte das Probenwasser 1 : 100 verdünnt werden. Der aufoxydierte Anteil des Nitrits betrug weniger als 0,5% der vorhandenen Nitratmenge, war also mit den gegebenen Methoden nicht einwandfrei meßbar. Umso erstaunlicher war die Tatsache, daß sich in den B-Proben (im Algenbecken) deutlich höhere Nitratwerte ergaben als in den A-Proben (im Sammelbehälter). Auf diesen Punkt wird noch eingegangen werden.

8.1 Ostseewasserkreislauf

Schon ein Vergleich der Untersuchungsergebnisse des Reservewassers aus dem Hochbehälter zeigt eine verhältnismäßig große Schwankung der Keimzahlen, sogar an drei aufeinanderfolgenden Tagen (Abb. 6). Auffällig ist die geringere Keimzahl am 12. 7., die sich auf allen drei Nährmedien ausdrückt. Die Saprophytenzahlen/ml auf ZS-Agar (zwischen 3.000 und 13 000) liegen niedriger als die auf ZB-Agar (zwischen 6 000 und 28 000). Die Keimzahlen auf ZL-Agar (zwischen 350 und 1 350) betragen etwa 10% derjenigen auf ZS.

Ganz anders sehen die Ergebnisse der Proben aus dem Ostseekreislauf aus. Die Schwankungen sind bei ZS und ZB wesentlich größer (ZS zwischen 70 000 und 450 000 Keime/ml, ZB zwischen 3 000 und 45 000 Keime/ml), während sie bei ZL zwischen 200 und 1 000 liegen, also etwa die gleiche Schwankungsbreite haben wie im Reservewasser. Das ist auf eine erhebliche Zunahme der Keimzahlen auf ZS-Agar im Kreislauf gegenüber dem Reservewasser zurückzuführen.

Die Abb. 7—12 zeigen im Säulendiagramm die Ergebnisse der Untersuchungen über die Auswirkungen der Reinigungsanlage auf die Saprophytenzahlen (Nährböden ZS, ZB und ZL). Die Abb. 7, 9 und 11 zeigen die Ergebnisse bei 100%iger Leistung des Ozonisators (17 g O_3/h). Die Abb. 8, 10 und 12 zeigen die Ergebnisse bei fehlender Ozoneinleitung. Über den Säulen der B-Proben ist jeweils der Prozentsatz der noch in der B-Probe gefundenen Saprophytenzahlen gegenüber der A-Probe angegeben.

Die Betrachtung der Abb. 7—12 läßt sofort zwei Fakten klar hervortreten:

- a) Selbst bei 100%iger Leistung des Ozonisators kommt es zu keiner Sterilisation des Wassers.
- b) Auch ohne Ozoneinleitung nimmt die Saprophytenzahl des Wassers beim Durchlauf durch die Reinigungsanlage ab. In zwei Fällen allerdings kommt es zu einem Anstieg der Keimzahlen (ZB am 11. 7., ZL am 5. 6.).

Am größten ist die Keimabnahme auf ZS-Agar. Die Keimzahlen betragen bei 100% Ozon für B zwischen 1,7% und 14%, im Mittel 7,6%. Ohne Ozoneinleitungen schwanken die B-Werte zwischen 39,5% und 84%, der Mittelwert liegt bei 59,8%.

Auf ZB-Agar liegen die Werte für 100% Ozon zwischen 17,4% und 56,5% (Mittelwert 32,2%) und ohne Ozon zwischen 39% und 121% (Mittelwert 80,4%).

Auf ZL-Agar zeigte sich die geringste Keimabnahme. Die B-Werte liegen für 100% Ozon zwischen 27,8% und 79,3% bei einem Mittelwert von 53,3% und ohne Ozon zwischen 52% und 108% bei einem Mittelwert von 81,5%.

Die Ergebnisse der Nitritmessungen sind auf Abb. 13 dargestellt. Die Zahl über der den Wert der B-Probe repräsentierten Säule gibt die Differenz zum Ergebnis der A-Probe an, steht also für den aufoxydierten Anteil des Nitrits. Dieser Wert bewegt sich bei 100% Ozon (am 16. 5., 23. 5., und 30. 5.) zwischen 41,8 und 53,3 $\mu\text{g NO}_2\text{-N/Liter}$. Bei 60% Ozon am 31. 7. beträgt die Nitritabnahme 20,8 $\mu\text{g NO}_2\text{-N/Liter}$.

8.2 Nordseewasserkreislauf

Die Untersuchungsergebnisse beim Reservewasser weisen nur relativ geringe Schwankungen auf. Wie zu erwarten, wachsen die meisten Keime auf ZS-Agar. Ihre Zahlen liegen etwa doppelt so hoch wie die auf ZB-Agar. Die ZL-Keimzahlen betragen etwa 10% der ZB-Keimzahlen. Erstaunlich ist, daß die Anzahl der terrestrischen bzw. Süßwasserkeime im Reservewasser des Nordseewasserkreislaufs größer ist als in dem des Ostseewasserkreislaufs (Abb. 6 und 14).

Abb. 15 zeigt die Keimzahlen auf ZS-Agar bei 100% Ozon, Die B-Werte liegen zwischen 5,3% und 21,2% bei einem Mittelwert von 13,8%. Ohne Ozoneinleitung schwanken die B-Werte zwischen 38,3% und 143,3%. Als Mittelwert ergibt sich 103,9% (Abb. 16).

Die B-Werte für ZB-Agar liegen bei 100% Ozon zwischen 12,3% und 26% (Mittelwert 19,2%) und ohne Ozon zwischen 45,5% und 168,3% (Mittelwert 106,2%) (Abb. 17 und 18).

Für ZL-Agar endlich ergeben sich Werte bei 100% Ozon zwischen 9,8% und 21,8% (Mittelwert 14,8%) und ohne Ozon zwischen 61% und 147% (Mittelwert 100,3%) (Abb. 19 und 20).

Im Vergleich mit dem Ostseewasserkreislauf ergibt sich, daß die Mittelwerte für ZB und ZL bei 100% Ozon im Nordseewasserkreislauf niedriger liegen, bei ZS ist es umgekehrt. Bei fehlender Ozoneinleitung liegen die Mittelwerte im Nordseewasserkreislauf erheblich höher.

Die nachfolgende Tabelle zeigt einen Vergleich der Mittelwerte:

	Ostseewasserkreislauf		Nordseewasserkreislauf	
	kein Ozon	100% Ozon	kein Ozon	100% Ozon
ZS	59,8	7,6	103,9	13,8
ZB	80,4	32,2	106,2	19,2
ZL	81,5	53,3	100,3	14,8

Die Nitritmessungen ergaben bei 100% Ozon eine Abnahme zwischen 61,2 und 63,9 $\mu\text{g NO}_2\text{-N/Liter}$ und bei 75% Ozon von 28,7 $\mu\text{g NO}_2\text{-N/Liter}$. Bei 55% Ozon lag die Abnahme bei 18 und 20 $\mu\text{g NO}_2\text{-N/Liter}$ (Abb. 21).

Tafel 5 (zu H. Schlesner u. G. Rheinheimer)

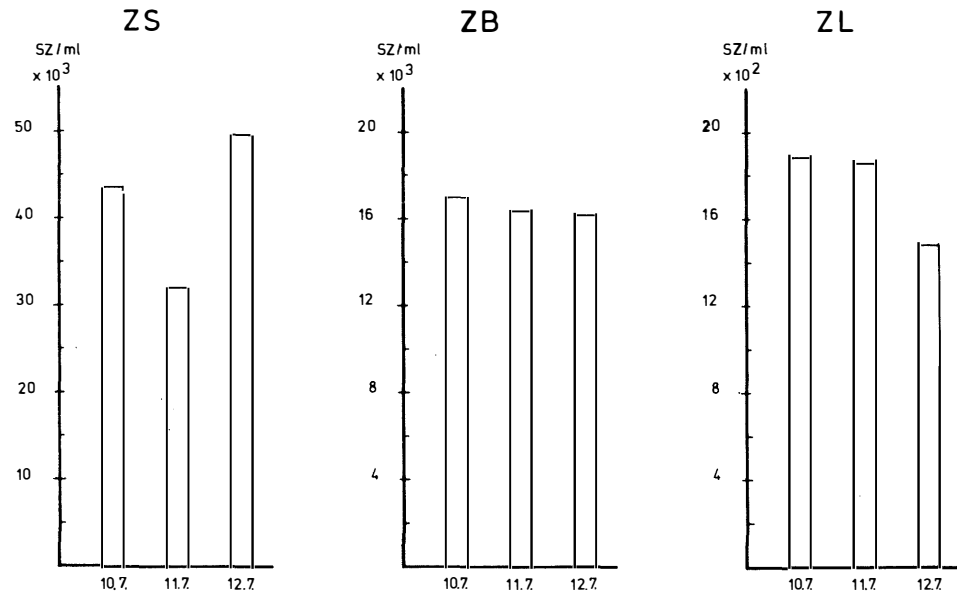


Abb. 14: Saprophytenzahlen im Reservewasser des Nordseewasserkreislaufs an drei aufeinanderfolgenden Tagen auf den Nährböden ZS, ZB und ZL.

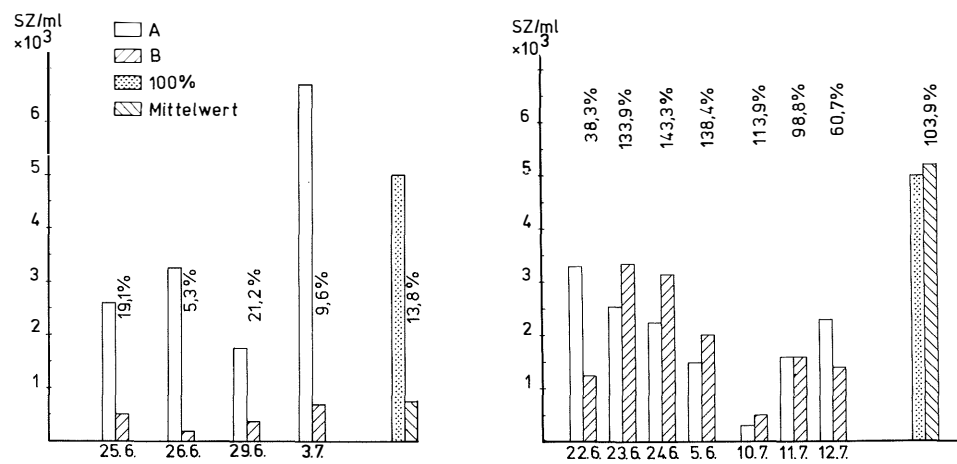


Abb. 15 und 16: Saprophytenzahlen im Nordseewasserkreislauf auf ZS-Agar bei Ozonleitung (Abb. 15) und ohne Ozonleitung (Abb. 16).

Tafel 6 (zu H. Schlesner u. G. Rheinheimer)

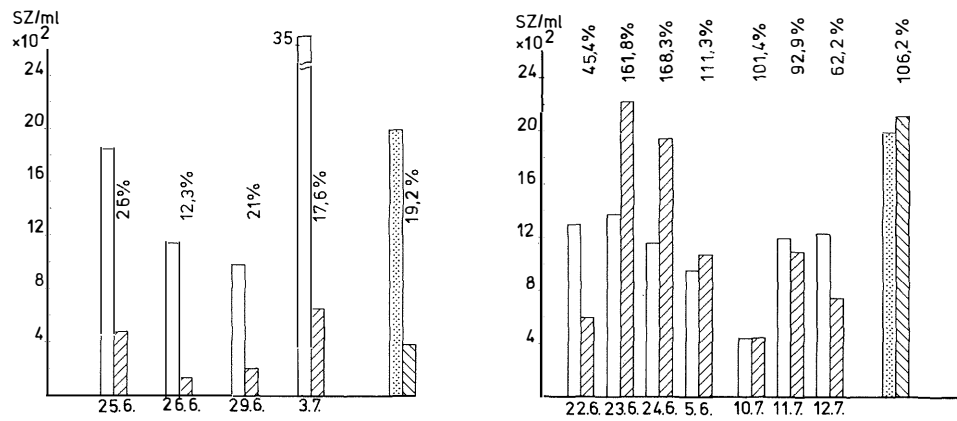


Abb. 17 und 18: Saprophytenzahlen im Nordseewasserkreislauf auf ZB-Agar bei Ozonleitung (Abb. 17) und ohne Ozonleitung (Abb. 18).

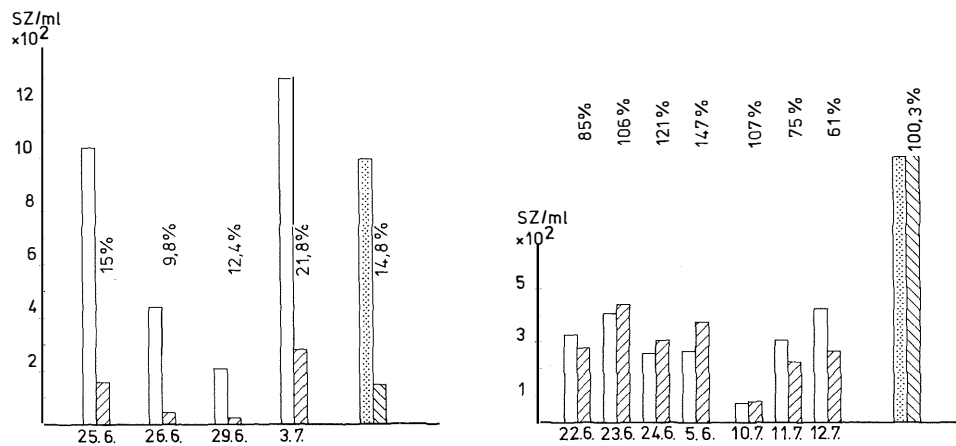


Abb. 19 und 20: Saprophytenzahlen im Nordseewasserkreislauf auf ZL-Agar bei Ozonleitung (Abb. 19) und ohne Ozonleitung (Abb. 20).

Tafel 7 (zu H. Schlesner u. G. Rheinheimer)

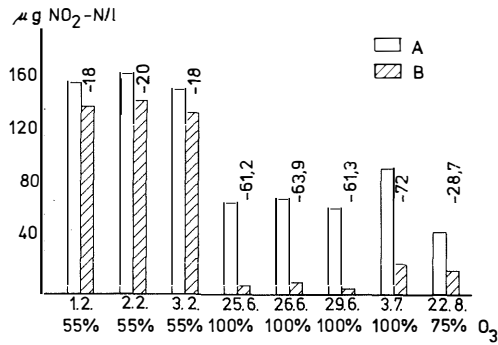


Abb. 21: Nitritkonzentration im Nordseewasserkreislauf bei verschieden starker Ozon-einleitung. Es ist deutlich eine Abhängigkeit der aufoxydierten Nitritmenge von der eingeleiteten Ozonmenge zu erkennen.

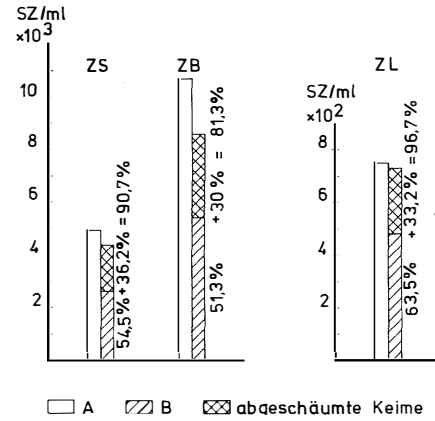


Abb. 22: Bakteriologische Schaumuntersuchung im Ostseewasserkreislauf. Die im Schaum gefundenen Saprophytenzahlen wurden zu den Saprophytenzahlen der B-Probe addiert. Aus dem Ergebnis läßt sich schließen, daß durch die eingeleitete Ozonmenge (hier 60%) kaum Bakterien abgetötet werden. Die dem Wasserkreislauf entzogenen Bakterien werden abgeschäumt.

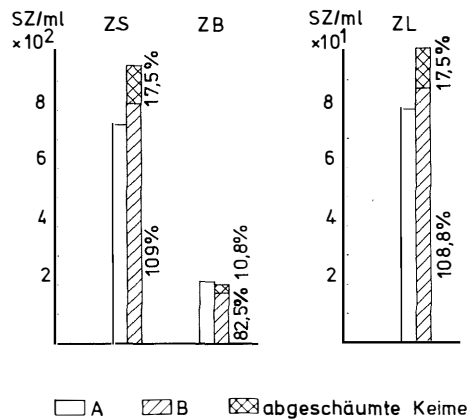


Abb. 23: Bakteriologische Schaumuntersuchung im Nordseewasserkreislauf. Es wurde kein Ozon eingeleitet.

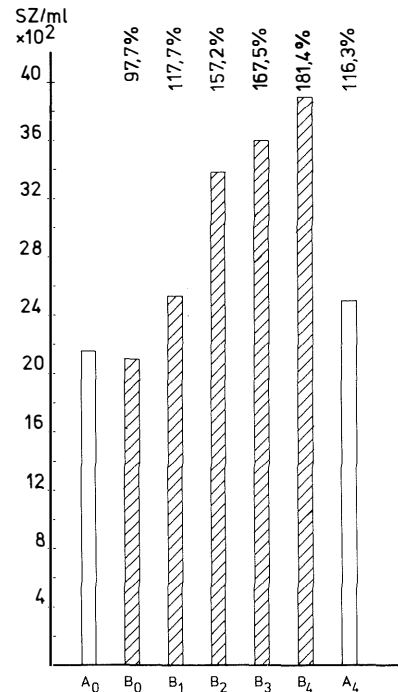


Abb. 24: Saprophytenzahlen auf ZB-Agar nach einem künstlich erzeugten Schaumzusammenbruch im Abschäumer des Ostseewasserkreislaufs. Der Ozonisator lief mit einer Leistung von 75%. Durch den in das Wasser gelangenden Schaum steigt die Saprophytenzahl beträchtlich an.

Tafel 8 (zu H. Schlesner u. G. Rheinheimer)

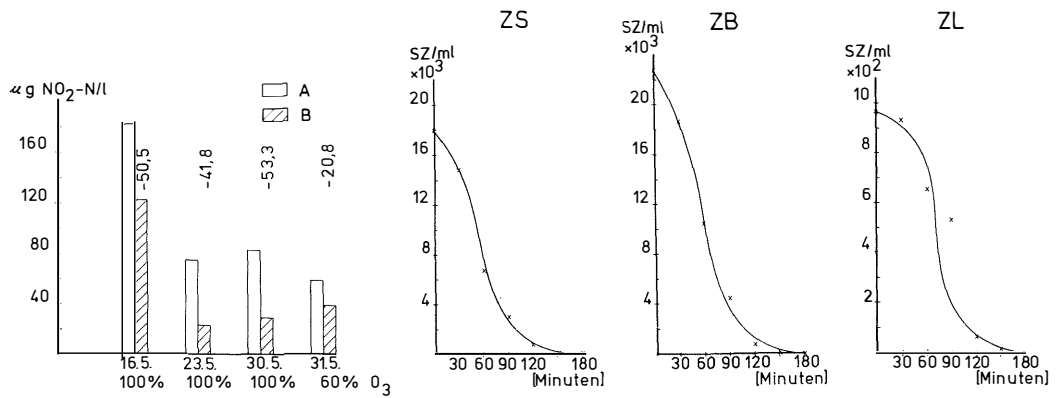


Abb. 13: Nitritkonzentrationen im Ostseewasserkreislauf. Die Differenzen der Konzentrationen zwischen A-Proben und B-Proben sind über den Säulen der B-Proben angegeben.

Abb. 25: Keimtötungsverlauf bei Ozoneinleitung in Wasser aus dem Ostseewasserkreislauf.

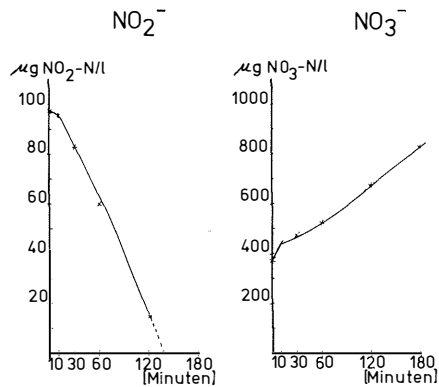


Abb. 26: Effekt von Ozon auf die Nitrit- bzw. Nitratkonzentration in aufgesalzenem destilliertem Wasser.

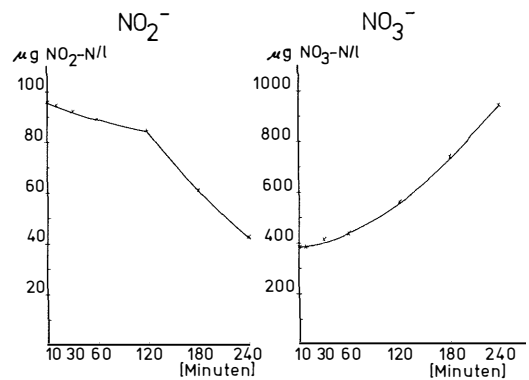


Abb. 27: Effekt von Ozon auf die Nitrit- bzw. Nitratkonzentration in aufgesalzenem destilliertem Wasser mit Peptonzusatz.

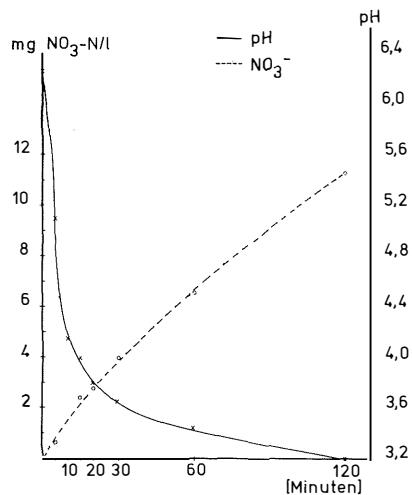


Abb. 28: Änderung des pH-Wertes und der Nitratkonzentration bei Ozoneinleitung in destilliertes Wasser.

8.3 Schaumuntersuchungen

Die Abnahme der Keimzahlen beim Durchlauf des Wassers durch die Reinigungsanlage auch bei fehlender Ozoneinteilung deutet darauf hin, daß ein erheblicher Anteil der Bakterien bei der Schaumbildung mit dem Schaum wegtransportiert wird. Das wurde durch den Versuch vom 31. 7. bestätigt:

Es wurde genau zwei Minuten lang Schaum aus dem Schaumtopf des Ostseewasserkreislaufs in eine sterile 2 l-Steilbrustflasche geleitet und mit einem Liter sterilisiertem Seewasser aufgenommen. Von dieser Lösung wurden die Keimzahlen bestimmt. Der Ozonisor lief zur Zeit der Probenahme mit einer Leistung von 60%. Die gefundenen Keimzahlen wurden auf 1 ml Wasser des Kreislaufs bezogen.

Abb. 22 zeigt, daß zwischen 30% und 36,2% der in der A-Probe vorhandenen Keime im Schaum wiedergefunden wurden. Addiert man diese Werte zu den B-Werten, so macht die Summe zwischen 81,3% und 96,7% der Keimzahlen von A aus.

Die am 20. 8. im Nordseewasserkreislauf durchgeführten Schaumuntersuchungen litten darunter, daß an diesem Tage die Keimzahlen extrem niedrig lagen. Trotzdem sind die Ergebnisse aufschlußreich.

Im 1. Versuch wurde Schaum bei fehlender Ozoneinleitung aufgefangen. Die Schaumbildung war sehr gering. Der in 14 Minuten aufgefangene Schaum hatte nach der Verflüssigung nur ein Volumen von 225 ml. Er war von schmutziger grau-grüner Farbe.

Im Versuch 2 wurde Schaum bei 100% Ozon aufgefangen. Die Abschäumung war wesentlich stärker als in Versuch 1. Hier lieferte der in einer Minute aufgefangene Schaum 310 ml Flüssigkeit, also das Neunzehnfache der im Versuch 1 erhaltenen Menge. Der Schaum war auch wesentlich heller, er hatte eine gelblich -weiße Farbe.

Das mikroskopische Bild der beiden Schäume zeigte viele Diatomeen, Protozoen und Bakterien, jedoch nur wenige Grünalgen. Diatomeen und Bakterien waren teilweise beweglich, während die beobachteten Protozoen alle beweglich waren.

Abb. 23 zeigt die im 1. Versuch gefundenen Werte. Man sieht, daß die Menge der abgeschäumten Bakterien, umgerechnet auf 1 ml Kreislaufwasser, durchaus in der Größenordnung liegt, um die Differenz zwischen A und B zu erklären.

Beim 2. Versuch lagen die Keimzahlen noch niedriger als im 1. Versuch. Deshalb kamen keine auswertbaren Ergebnisse zustande, so daß auf eine weitere Beurteilung dieses Versuches verzichtet werden muß.

Der Versuch vom 22. 8. sollte zur Klärung der Frage beitragen, weshalb die B-Werte bei fehlender Ozoneinleitung so stark schwanken und zum Teil erheblich über 100% hinausgehen. Zu diesem Zweck wurde künstlich der Zusammenbruch des gebildeten Schaums herbeigeführt. Das geschah dadurch, daß der Schieber im Verbindungsrohr vom Sterilisator zum Ozonadsorber ganz geöffnet wurde. Dadurch wurde der Wasserwiderstand verringert, was zur Folge hatte, daß der Schaum aus dem Steigrohr verschwand.

Es wurden in verschiedenen Zeitabständen Proben genommen, und zwar A_0 und B_0 vor dem Öffnen des Schiebers, B_1 10 Sekunden nach dem Öffnen des Schiebers, B_2 , B_3 und B_4 in je 30 Sekunden Abstand. A_4 wurde im Anschluß an B_4 genommen. Es konnte ein deutlicher Anstieg auf allen drei Nährböden festgestellt werden. Abb. 24 zeigt die Verhältnisse auf ZB-Agar. Die Zahlen über den Säulen geben die Keimzahlen in Prozenten, bezogen auf A_0 , an. Ein Vergleich von A_0 und A_4 zeigt zudem, wie sich die Keimzahlen innerhalb kurzer Zeit im Kreislauf verändern können.

8.4 Versuche mit Ozon

Für die folgenden Versuche wurde Ozon aus einer Leitung entnommen, die die nicht den beiden Kreisläufen angeschlossenen Becken mit Ozon versorgt. Dieses Ozon wird in einem Ozonisator der Firma Erwin Sanders, Eltze, erzeugt. Der Ozonisator hat eine Kapazität von 3 g Ozon pro Stunde. Durch den Ozonisator wird Preßluft geschickt, diese wird vorher nicht aufbereitet. Über die bei den Versuchen eingeleiteten Ozonmengen können keine Angaben gemacht werden, da gleichzeitig immer in mehrere Becken Ozon eingeleitet wurde.

Der Versuch vom 19. 7. sollte den Keimtötungseffekt in Abhängigkeit von der Ozonisierungsdauer aufzeigen. Es wurde 60 l Wasser aus dem Ostseewasserkreislauf in einen Plastikbottich gefüllt und Ozon über einen Silikonschlauch mit aufgesetztem Luftverteiler eingeleitet. Durch einen zweiten Schlauch wurde Preßluft eingeleitet, um für eine gute Durchmischung des Wassers zu sorgen. Wasserproben wurden vor der Ozon-einleitung und in jeweils halbstündigen Abständen nach Beginn der Ozonisierung entnommen. In der folgenden Tabelle sind die ermittelten Keimzahlen zusammengestellt:

In Abb. 25 ist der Keimtötungsverlauf graphisch dargestellt.

Ozonisierungsdauer in Minuten	Saprophytenzahlen/ml		
	ZS	ZB	ZL
0	17.000	33.200	962
30	14.900	18.880	938
60	6.880	10.470	659
90	3.028	4.440	532
120	799	806	65
150	140	109	17
180	43	24	7

Der Versuch vom 30. 7. sollte klären, wie sich die Ozonisierung auf die chemischen Parameter Nitrit und Nitrat auswirkt. In 60 l Leitungswasser, dem 30 mg NaNO_2 zugegeben waren, wurde Ozon eingeleitet. Eine Probe wurde vor der Ozoneinleitung genommen, die weiteren 10, 30, 60, 120 und 180 Minuten nach Beginn der Ozonisierung. Abb. 26 zeigt, daß der Nitritgehalt nach einer langsameren Anfangsphase konstant abnahm. Nach 180 Minuten war von der eingesetzten Menge von 96 $\mu\text{g NO}_2\text{-N/l}$ kein Nitrit mehr nachweisbar. Der Nitratgehalt stieg in dieser Zeit ständig an, und zwar in einem Maße, daß die Nitratzunahme durch die Nitritabnahme allein nicht erklärt werden kann. Sie stieg von 374 auf 834 $\mu\text{g NO}_3\text{-N/l}$, also 460 μg .

Am 2. 8. wurde ein ähnlicher Versuch durchgeführt, jedoch wurden dem Wasser zusätzlich 6 Gramm Pepton zugegeben. Der Kurvenverlauf der NO_2 -Abnahme ist ein ganz anderer als im vorigen Versuch. Wie Abb. 27 zeigt, ist die Abnahme in den ersten 120 Minuten sehr gering, dann macht die Kurve einen Knick und fällt steiler ab. Jedoch ist nach 240 Minuten immer noch eine Nitritkonzentration von 43 $\mu\text{g NO}_2\text{-N/l}$ vorhanden. Da die ursprüngliche Konzentration 96 $\mu\text{g NO}_2\text{-N/l}$ betrug, hat sie also in vier Stunden nur um 53 μg abgenommen. Auch in diesem Versuch zeigt sich, daß die Nitratzunahme sehr viel größer ist als die Nitritabnahme. Die Nitratkonzentration steigt in 180 Minuten von 395 auf 743 $\mu\text{g NO}_3\text{-N/l}$, also um 348 μg , in 240 Minuten auf 942 $\mu\text{g NO}_3\text{-N/l}$, also um 547 μg .

Die obigen Befunde legten die Vermutung nahe, daß eine Nitratbildung nicht vom Vorhandensein einer stickstoffhaltigen Verbindung im Wasser abhängt, sondern durch das Ozon-Luft-Gemisch verursacht wird, etwa durch die Anwesenheit von Stickoxiden. Diese Vermutung erfuhr ihre Bestätigung durch den Versuch vom 15. 8.:

Es wurde in eine mit vier Litern destilliertem Wasser gefüllte Steilbrustflasche Ozon eingeleitet. Dann wurden Proben vor sowie 5, 10, 15, 20, 30, 60 und 120 Minuten nach Beginn der Ozoneinleitung genommen. Es wurde der pH-Wert gemessen, denn wenn wirklich Stickoxide im Luft-Ozon-Gemisch vorhanden waren, mußten sie sich im Wasser unter Säurebildung lösen. Der pH-Wert fiel von 6,25 auf 3,2. Die Nitratkonzentration stieg von 0 auf 11.270 $\mu\text{g NO}_3\text{-N/l}$ an. Die Nitritmessung verlief bei allen Proben negativ. In Abb. 28 sind der Anstieg der Nitratkonzentration sowie die Abnahme des pH-Wertes über die Versuchsdauer dargestellt.

9. Diskussion

Die Untersuchungen haben ergeben, daß sowohl die Keimzahlen als auch der Nitritgehalt des Aquariumwassers starken Schwankungen unterliegen. Folgende Faktoren dürften für den Bakteriengehalt des Aquariumwassers eine besonders wichtige Rolle spielen:

- der Zustand des Reservewassers,
- die Menge des zugesetzten Reservewassers,
- mit dem Futter eingeschleppte Bakterien,
- das Nahrungsangebot durch im Wasser verbliebene Futterreste,
- von den Tieren ausgeschiedene Bakterien sowie von den Ausscheidungen der Tiere lebende Bakterien.

Bei Berücksichtigung dieser Punkte läßt sich die starke Fluktuation der Saprophytenzahlen erklären:

- schon im Reservewasser kann es zu erheblichen Unterschieden im Bakteriengehalt kommen.
- die Menge des zugeführten Reservewassers beträgt zwar im Durchschnitt nur 2 m³ pro Tag, jedoch können erheblich größere Wassermengen nachgefüllt werden, um Wasserverluste auszugleichen, die bei notwendigen Reinigungs- oder Reparaturarbeiten entstehen,
- die Fütterung erfolgt nach einem festen Plan, hierbei sind Art und Menge des täglich zugesetzten Futters unterschiedlich.

Eine wichtige Rolle dürfte bei der Keimzahlbestimmung der Zufall gespielt haben. Darauf deutet auch der Versuch vom 22. 8. hin, bei dem sich die Keimzahlen in der Entnahmestelle A innerhalb von etwa 3 Minuten um 16,3% änderten.

Das aus den Aquarienbecken kommende Wasser wird ja im Sammelrohr nicht vollkommen durchmischt, zudem wird auch nicht zu jedem Zeitpunkt die gleiche Wassermenge aus den einzelnen Becken abgegeben, da der Überlauf nur Oberflächenwasser erfaßt und es durch Wasserbewegungen im Becken zu Unregelmäßigkeiten im Ablauf kommt.

Bei der Interpretation der Ergebnisse zeigte sich, daß die Änderungen der Keimzahlen beim Durchlauf des Wassers durch die Reinigungsanlage auf mehrere Effekte, die sich teilweise überlagern, zurückzuführen ist. Dieser Umstand hat die Deutung der Ergebnisse sehr erschwert.

Als Ursachen für die Änderung des Bakteriengehaltes kommen in Betracht:

- a) die Abschäumung und damit verbunden, die Instabilität des Schaums bei geringen Ozonmengen,
- b) ein Vereinzlungseffekt bei Bakterienaggregaten und bei Bakterien, die auf Partikeln aufsitzen,
- c) eine Keimtötung durch die Einwirkung von Ozon.

Den weitaus größten Effekt hat die Abschäumung, wie die Abb. 22, 23 und 24 zeigen.

Der Vereinzlungseffekt konnte nicht quantitativ erfaßt werden. Er ist aber sicherlich vorhanden; denn das Wasser wird mit einer Leistung von 40 m³/h durch eine enge Injektordüse von 3 cm Durchmesser gepreßt und dabei mit Luft vermischt und anschließend im Abschäumer herumgewirbelt. Beim Durchtritt durch den Sterilisator wiederholt sich dieser Vorgang. Die hierbei auftretenden Kräfte können durch Schütteln der Proben in den Flaschen keinesfalls erzeugt werden.

Wie Abb. 3 zeigt, kann sich die volle Wirksamkeit des Ozons als Keimtötungsmittel erst entfalten, wenn es als Überschuß im Wasser gelöst vorliegt, also nicht von Reduktionsmitteln (z. B. Nitrit) verbraucht oder von organischen Stoffen gebunden wird.

Bei voller Leistung erzeugen die Ozonisatoren 17 g O₃/h, das entspricht bei einem Wasserdurchlauf von 40 cbm/h einer Konzentration von 0,425 mg O₃/l. Der in der Praxis erreichte Wert dürfte aber erheblich niedriger liegen, denn auch mit der besten Vermischungseinrichtung läßt sich keine 100%ige Lösung des Ozons im Wasser erreichen, außerdem deuten die Ergebnisse der Nitratmessungen darauf hin, daß ein Teil des Ozons schon bei der Bildung von Stickstoffdioxid verbraucht wird.

Die folgende Tabelle zeigt einige Beispiele für Nitrat- und Nitritwerte bei jeweils maximaler Ozoneinleitung:

Datum	Kreislauf	Entnahmestelle	µg NO ₃ -N/l	µg NO ₂ -N/l
23. 3.	Nordsee	A	23.900	144
		B	24.500	84,5
25. 3.	Nordsee	A	25.000	176
		B	25.600	129,5
30. 5.	Ostsee	A	18.230	82,2
		B	19.350	28,9

Die entstehenden Nitratmengen sind physiologisch unbedenklich, da man in der Aquaristik davon ausgeht, daß Nitratkonzentrationen bis zu 100 mg NO₃-N/l unschädlich sind, und auch die Erniedrigung des pH-Wertes ist relativ gering.

Durch die Bildung von Stickoxiden wird jedoch die Leistungsfähigkeit der Reinigungsanlage stark beeinträchtigt. Die Bildung von Stickoxiden ließe sich vermeiden, wenn man statt Luft reinen Sauerstoff durch den Ozonisator schicken könnte. Dies ist jedoch aus Kostengründen nicht möglich.

Die Tatsache, daß auch bei maximaler Ozoneinleitung die Nitritkonzentration nicht auf Null zurückgeht, läßt den Schluß zu, daß die verfügbare Ozonmenge nicht ausreicht, um einen Ozonüberschuß im Wasser zu erzeugen. Dieser ist bei der relativ kurzen Einwirkungsdauer im Abschäumer (geschätzt max. 2 Minuten) aber erforderlich, um einen Keimtötungseffekt zu erzielen. Das wäre vielleicht möglich, wenn man die Anlage nach dem ursprünglichen Prinzip arbeiten lassen könnte, indem man nämlich

einen Teil des Ozons im Abschäumer dafür verwendet, die Hauptmenge der organischen Belastungsstoffe abzuschäumen und dann im Sterilisator die Restmenge Ozon überwiegend für die Keimtötung zur Verfügung hat. Dazu müßte natürlich ein Aktivkohlefilter installiert werden, das den gegebenen Belastungen standhält. Aber das ist ein technisches Problem, das nicht unlösbar erscheint.

Nachteilig wirkt sich das „Stoßen“ der Schaumsäule aus, das heißt ihre ruckartigen Auf- und Abwärtsbewegungen. Wie die Keimzahlbestimmungen gezeigt haben, gelangt hierbei auch wieder Schaum in den Wasserkreislauf zurück. Nach den Untersuchungen von HÜCKSTEDT (zitiert in SANDER 1970) ist jedoch Schaum, der ins Aquariumwasser zurückfällt, giftig. Offenbar reichen die Schaumsiebe nicht aus, die Turbulenz zu beseitigen.

Literatur

- BENDSCHNEIDER, K. und ROBINSON, R. J. (1952): A new spectrophotometric method for the determination of nitrite in sea water. — *Journal of Marine Research*, 11, 87—96.
- GRASSHOFF, K. (1964): Zur Bestimmung von Nitrat in Meer- und Trinkwasser. — *Kieler Meeresforsch.* 20, 5—11.
- HAVEMEISTER, G. und JENTSCH, F. (1971): Ozon-Aktivkohle-Behandlung von Schwimmbad-Meerwasser. — *Arch. f. Hygiene und Bakteriologie* 5/71.
- HOFFMANN-RÜDORFF (1969): *Anorganische Chemie*. — Vieweg-Verlag, Braunschweig.
- HÜCKSTEDT, G. (1970): Eiweißabschäumer — pro und contra. — *Aquarien-Magazin* 4, 330ff.
- MURPHY, J. und RILEY, J. P. (1962): Eine modifizierte Methode zur Bestimmung von Phosphat in natürlichen Wässern mit einer einzigen Reagenslösung. — *Anal. chim. Acta* 27, 31—36.
- NETTER, H. (1959): *Theor. Biochemie*. — Springer Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg.
- SANDER, E. (1968): Das Eiweiß muß raus. — *Aquarien-Magazin*, August 1968, 311—315.
- SANDER, E. (1970): Der geschlossene Seewasserkreislauf. — *Aquarien-Magazin* 2/70, Sonderabdruck.
- SANDER, E. Beschreibung der Seewasserreinigungsanlage des Aquariums im Institut für Meereskunde zu Kiel. — *Schaltungsbuch A 1020 Blatt 3*.
- SCOTT, D. B. McNAIR und LESHER, E. E. (1962): Effect of ozone on survival and permeability of *Escherichia coli*. — *Journ. Bact.* 85, 567.
- WALDSCHMIDT-LEITZ, E. (1957): *Chemie der Eiweißkörper*. — Ferd. Enke Verlag, Stuttgart.
- ZOBNINA, V. P. und MORKOVINA, E. A. (1970): Effect of ozone on survival of carotinoid strain of *Mycobacterium carotenum* and its white mutant obtained with nitroguanidine. — *Mikrobiologiya*, 40, 93—95.