

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 Urheberrechtinhabers. 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

Untersuchungen über den Einfluß des Salzgehaltes auf die Aktivität von Bakterienpopulationen des Süß- und Abwassers

Von KLAUS GÖCKE*

Zusammenfassung: Die mikrobielle Aktivität sowie die Saprophytenzahl in Abhängigkeit vom Salzgehalt wurden in abwasserbelastetem Flußwasser, dessen Salzkonzentration durch Zugabe von NaCl künstlich erhöht worden war, gemessen. Daneben fanden Untersuchungen über die Salzansprüche der 10 häufigsten Bakterienstämme der Probe statt. Außerdem wurde das Wachstum der natürlichen Bakterienpopulationen bei unterschiedlichen Salzkonzentrationen nach Zugabe von Nährstoffen bestimmt.

Es zeigte sich, daß die Aktivität und die Zahl der Mikroorganismen durch die Erhöhung des Salzgehaltes stark zurückgingen. Nur eine geringfügige Adaptation konnte festgestellt werden. Nach Zugabe von Nährstoffen trat dagegen eine schnelle Umstellung der Population ein.

Die Untersuchungen ergaben, daß die mit dem Flußwasser eingeschwemmten Süß- und Abwasserbakterien nur eine geringe Rolle bei der Selbstreinigung der Küstengewässer spielen.

Investigations on the influence of salt concentration on the activity of bacteria populations from fresh and waste waters (Summary): The microbial activity as well as the number of saprophytic bacteria in relation to the salt concentration was measured. The measurements were performed in river water, the salt concentration of which was raised by the addition of NaCl. Also the salinity requirements of the 10 most frequently occurring bacteria were determined. Furthermore the growth rate of the natural bacteria populations in relation to the salt concentration was measured after the addition of nutrients.

The activity and the number of bacteria were strongly affected in a negative manner with increasing salt concentrations. Only a slight adaptation could be found. With higher amounts of nutrients, rapid changes in the population were observed. The results showed that the microbial populations carried into the sea by the rivers and sewage effluents can play only a minor role in the self-purification of the coastal waters.

Einleitung

Die Verschmutzung der Binnengewässer hat bereits seit einigen Jahrzehnten erschreckende Ausmaße erreicht. Inzwischen ist nun auch die Belastung der Meere und besonders die der Küstengewässer zu einem ernststen Problem geworden. Die Zusammenhänge liegen klar auf der Hand: Die Flüsse werden weitgehend als Vorfluter benutzt, sie führen daher große Mengen an Schmutzstoffen mit sich, die letzten Endes im Meer abgelagert werden.

Mit dem Abwasser gelangen natürlich auch zahlreiche Süß- und Abwasserbakterien in das Meerwasser. Interessant und wichtig sind daher Untersuchungen über das Problem, ob diejenigen Bakterienpopulationen, die bereits im Fluß am Abbau der Schmutzstoffe teilgenommen haben, den Wechsel vom Süßwasser zum Meeremilieu überstehen können. Die konkrete Fragestellung lautet deshalb: Spielen die eingeschwemmten Süß- und Abwasserbakterien für die Selbstreinigung der Küstengewässer eine wichtige Rolle oder werden sie in dieser Funktion schnell durch marine Formen ersetzt?

Bei seinen Untersuchungen hierüber kam RHEINHEIMER (1968a) zu dem Ergebnis, daß die Süß- und Abwasserbakterienflora im Seewasserbereich des Elbe-Ästuars rasch durch halophile marine Bakteriengruppen verdrängt wird. Auch in der westlichen

* Der Autor dankt dem Bundesminister für Forschung und Technologie für die finanzielle Unterstützung der Untersuchungen.

Ostsee und ihren Förden erfolgt eine schnelle Umstellung der Bakterienpopulationen. So beträgt der Anteil der Süß- und Abwasserbakterien in den Förden trotz deren starker Beeinflussung durch das Land nur etwa 10—20% der Gesamtsaprophytenzahl (RHEINHEIMER 1966, 1968b, 1970). Bei bestimmten hydrographischen Verhältnissen können allerdings Abwasserbakterien noch in größerer Entfernung vom Abwasserzufluß festgestellt werden (WACHS 1969). Das bloße Vorhandensein dieser Bakteriengruppen sagt natürlich nichts über ihre weitere Teilnahme am Abbau der organischen Substanz aus. Hierzu liegen Untersuchungen von REIMANN (1968) vor, deren Ergebnisse vermuten lassen, daß der Abbau der Abwasserstoffe im Meerwasser durch die mit dem Abwasser eingeschwemmten Bakterienformen erfolgt. Auch SCHMUTZER (1973) fand in Laborversuchen, daß zumindest an den anfänglichen Abbauprozessen des Abwassers im Ostseewasser Süß- und Abwasserbakterien maßgeblich beteiligt sind. Beide Autoren arbeiteten allerdings mit relativ hohen Abwasserkonzentrationen im Meerwasser.

Die Untersuchungen, die auf der einen Seite nur relativ geringe Zahlen von Süß- und Abwasserbakterien im Küstenbereich erbrachten, auf der anderen Seite im Modellversuch jedoch die Bedeutung dieser Bakteriengruppen für den Abbau von Schmutzstoffen im Meerwasser ergaben, scheinen sich zu widersprechen. In der vorliegenden Arbeit wurde daher versucht, einige neue Aspekte zur Beantwortung dieser Frage aufzuzeigen.

Methoden

Größere Wasserproben (20 l) wurden am 18. 10. und am 8. 11. 1973 steril aus der Schwentine, einem kleinen, relativ stark belasteten Zufluß der Kieler Förde, entnommen. Die Entnahmestelle liegt nahe der Mündung. Meerwassereinfluß liegt infolge eines Stauwehres nicht vor.

Zur Ermittlung des Einflusses erhöhter Salzkonzentrationen auf die bakterielle Aktivität, die Saprophytenzahl und das Wachstum der Bakterienpopulationen wurden jeweils 1,5 l des grobfiltrierten (75 μ Edelstahlnetz) Schwentinewassers steril in 2 l-Schliffflaschen gefüllt. Anschließend wurden je 500 ml entsprechend konzentrierter NaCl-Lösung (NaCl, Merck, p.a., in Aqua dest.) zugegeben. Hierdurch wurden die Proben auf NaCl-Konzentrationen von 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 50 und 70⁰/₀₀ gebracht. Die Bakterienpopulationen wurden durch diese Manipulation zwar auf 75% ihrer ursprünglichen Stärke verdünnt, auf die Fragestellung ist dies jedoch ohne Einfluß. Eine Korrektur der erhaltenen Daten auf 100% wurde daher nicht vorgenommen. Die 2 l-Flaschen wurden anschließend unter Rühren mit Magnetrührern auf 20°C im Wasserbad erwärmt. Vor Beginn der ersten Messungen wurde 1 Stunde gewartet. Zur Untersuchung der Adaptation der Bakterienpopulationen an erhöhte Salzgehalte wurden die Flaschen weitere 24 Stunden im Wasserbad gerührt.

Folgende Parameter wurden an diesen Proben gemessen:

1. Die mikrobielle Aktivität wurde nach WRIGHT und HOBIE (1966) bestimmt. Einige Abänderungen der Methode sind bereits ausführlich dargestellt (GOCKE 1974), sie soll deshalb hier nur kurz beschrieben werden: 50 ml-Wasserproben des aufgesalzten Schwentinewassers (nur die Proben mit 0, 5, 10, 15, 20, 30, 40 und 50⁰/₀₀ NaCl fanden Verwendung) wurden nach Zusatz von L-[U-¹⁴C] Asparaginsäure eine Stunde bei 20°C inkubiert. Die Konzentrationen der radioaktiven Asparaginsäure betragen 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 5,0 und 10,0 μ g C/l. Von jeder Konzentration wurden Doppelproben angesetzt. Eine zu Beginn der Inkubation mit Formol fixierte Probe mit 1,5 μ g C/l diente zur Bestimmung des Blindwertes. Es wurde nur die Nettoaufnahme gemessen.

Mit dieser Methode läßt sich die maximale Aufnahmegeschwindigkeit (V_{\max}) eines Substrates durch die Bakterien bestimmen. Diese ist ein Maß für die potentielle Aktivität der heterotrophen Mikroorganismen und für die die Größe derjenigen Bakterienpopulationen, die in der Lage sind, z.B. Asparaginsäure aufzunehmen (WRIGHT und HOBBIÉ 1966).

2. Die Bestimmung der Saprophytenzahl wurde mit der Plattenmethode auf einem Hefeextrakt-Pepton-Nährmedium (5 g Pepton und 1 g Hefeextrakt/l) vorgenommen. Dieser mit Leitungswasser angesetzte Nährboden wurde durch Zugabe von Kochsalz auf Konzentrationen von 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 50 und 70‰ NaCl aufgesalzen. Zwei Verdünnungsstufen mit je 5 Parallelen wurden angesetzt. Die Auszählung der Kolonien geschah nach 7 und 14-tägiger Bebrütung bei 20°C.

3. Die Untersuchung der Salzansprüche der 10 häufigsten Bakterienstämme erfolgte nach der von MEYER-REIL (1973) beschriebenen Methode. Die getesteten Stämme wurden von einer Platte ohne NaCl isoliert, auf der infolge einer hohen Verdünnung der Wasserprobe insgesamt nur 11 Keime gewachsen waren. Die Bezeichnung „häufigste Stämme“ ist hier also gerechtfertigt.

4. Die Wachstumskurven von zweien der 10 Stämme wurden in Abhängigkeit von der Salzkonzentration aufgenommen. Hierzu wurden von jedem Stamm 1 ml einer 24 Stunden alten Vorkultur (kultiviert in Nährlösung ohne NaCl) in 6 sterile 500 ml Erlenmeyerkolben gegeben. Die Kolben wurden anschließend mit je 250 ml sterili-sierter Nährlösung, bestehend aus aufgesalzenem Schwentinewasser (s. o.) mit 1 g Pepton und 0,2 g Hefeextrakt/l, beschickt. Die Salzkonzentrationen betragen 0, 10, 20, 30, 40 und 50‰. Danach wurden die Kolben 24 Stunden bei 20°C im Wasserbad inkubiert. Eine gute Durchmischung und ausreichende Sauerstoffversorgung war durch kräftiges Rühren mit Magnetrührern gewährleistet. Die Probenentnahme zur Erfassung des Wachstums erfolgte steril. Mit dem Photometer Eppendorf (Extinktionsmessung bei 578 nm) wurde der Verlauf der Wachstumskurve an Hand der Trübung bestimmt.

5. Zur Ermittlung des Wachstumsverlaufes der natürlichen Bakterienpopulationen in Abhängigkeit vom Salzgehalt wurden jeweils 245 ml der aufgesalzenen Schwentineproben in sterile 500 ml-Erlenmeyer gegeben. Hinzugefügt wurden 5 ml sterile Nährlösung, so daß sich Nährstoffkonzentrationen von 1 g Pepton und 0,2 g Hefeextrakt/l ergaben. Die weitere Verarbeitung der Proben geschah analog zu Punkt 4. (Das Wachstum wurde nur an Proben mit 0, 10, 20, 30, 40 und 50‰ NaCl gemessen).

Ergebnisse

Die Untersuchungen wurden an zwei Proben aus der Schwentine vom 18. 10. und 8. 11. 1973 durchgeführt. Sie erbrachten grundsätzlich die gleichen Ergebnisse.

An Hand der mikrobiellen Aktivität läßt sich ein ausgeprägter Einfluß der Salzkonzentration auf die natürliche Bakterienmischpopulation des Flußwassers erkennen (Abb. 1a). Bereits die Erhöhung des Salzgehaltes auf 5‰ bewirkt eine Reduzierung der maximalen Aufnahmegeschwindigkeit (V_{\max}) um ca. 40%. Salzkonzentrationen von 15 und 20‰, wie sie in der Kieler Förde üblich sind, erniedrigen V_{\max} auf 15% bzw. 6% ihrer ursprünglichen Größe. Bei 30‰ NaCl beträgt V_{\max} nur noch 0,008 µg Asparaginsäure-C/l/h. Bei höheren Salzgehalten ist keine mikrobielle Aktivität mehr nachweisbar.

Die graphische Darstellung der maximalen Aufnahmegeschwindigkeit nach 24 stündiger Adaptionszeit zeigt, daß die mikrobielle Aktivität gegenüber der Ausgangsprobe erheblich angestiegen ist (Abb. 1b). Dieses ist ein generell zu beobachtendes Phänomen, das dann eintritt, wenn eine Wasserprobe in einem Gefäß über eine gewisse Zeit, z.B. 1—2 Tage, gehalten wird. Ein verstärktes Bakterienwachstum ist die Folge dieser Hälterung. Nach ZOBELL und ANDERSON (1936) wird die erhöhte Verfügbarkeit von Nährstoffen für die Mikroorganismen infolge Adsorption der Substrate an die Gefäßwandungen als Ursache für diese Erscheinung angesehen. Ein Vergleich der Werte für V_{\max} in den adaptierten und nicht adaptierten Proben ergibt, daß die mikrobielle Aktivität bei den einzelnen Salzkonzentrationen nicht um den gleichen Faktor angestiegen ist. Vielmehr zeigt sich eine relativ stärkere Erhöhung bei höheren Salzgehalten. So ist die maximale Aufnahmegeschwindigkeit gegenüber den nicht adaptierten Proben bei 0‰ NaCl um den Faktor 4,8; bei 10‰ NaCl um den Faktor 5,8; bei 20‰ NaCl um den Faktor 12,7 und bei 30‰ NaCl schließlich um den Faktor 40 angestiegen.

Die Saprophytenzahlen der Ausgangsproben werden durch den Salzgehalt ähnlich beeinflusst wie die mikrobielle Aktivität (Abb. 2). Salzkonzentrationen von 15 bzw. 20‰ ermöglichen nur noch 50% bzw. weniger als 40% der Bakterien die Bildung einer sichtbaren Kolonie. Während die Keimzahlen bis zu Salzgehalten von 30‰ rasch zurückgehen, fallen sie bei höheren Konzentrationen relativ langsamer ab. So sind noch etwa 1% der Saprophyten in der Lage, auf einem Nährboden mit 70‰ NaCl zu wachsen. Insgesamt gesehen erfolgt auf den mit NaCl versetzten Nährmedien zwar eine rasche Reduzierung der Keimzahlen, aber diese ist nicht so ausgeprägt wie die Erniedrigung der mikrobiellen Aktivität (Abb. 3). Diese Erscheinung kann auf zwei Ursachen beruhen. Einmal mag eine gewisse Adaptation der einzelnen Bakterien eine Rolle spielen. Diese ist natürlich bei der langen Bebrütungszeit der Platten von 7 bzw. 14 Tagen ausgeprägter als bei den kurzen Inkubationszeiten zur Bestimmung der maximalen Aufnahmegeschwindigkeit, die nur 1 Stunde betragen. Zum anderen sind für die mikrobielle Aktivität nicht allein die Saprophyten verantwortlich, die ja stets nur einen relativ kleinen Teil der gesamten Bakterienflora eines Gewässers ausmachen. Nach JANNASCH und JONES (1959) mag ihr Anteil in einem relativ stark verschmutzten Fluß wie der Schwentine maximal etwa 10% betragen. Es ist möglich, daß die Saprophyten eine größere Salztoleranz aufweisen als die nicht auf den Platten wachsenden Keime. Das muß sich in diesem Falle natürlich in der vergleichsweise stärkeren Reduzierung von V_{\max} auswirken. Aus den zuletzt genannten Gründen ist die Größe der maximalen Aufnahmegeschwindigkeit für die Fragestellung von größerer Aussagekraft als die Höhe der Saprophytenzahl. Sie steht in einer engen Beziehung zur bakteriellen Aktivität, das heißt, zur Intensität der mikrobiellen Abbauprozesse und damit zur Selbstreinigung des Gewässers (GOCKE 1974).

Um den Einfluß einer 24 stündigen Adaptation an erhöhte Salzgehalte auf die Saprophytenzahl zu untersuchen, wurden die Bakterienzahlen aus der auf 30‰ aufgesalzene Schwentineprobe bestimmt. Die Keimzählung wurde wiederum auf Nährboden mit abgestuften NaCl-Konzentrationen angesetzt. Hierdurch sollten eventuelle Änderungen in der Zusammensetzung der Bakterienpopulationen erfaßt werden, die sich in den veränderten Salzansprüchen der Keime ausdrücken. Die Ergebnisse sind in Abb. 4 dargestellt. Normalerweise steigt die Keimzahl in Wasserproben, die über 24 Stunden in Glasgefäßen gehalten werden, um 2—3 Zehnerpotenzen an. In der untersuchten Schwentineprobe trat jedoch ein allgemeiner Rückgang der Saprophytenzahl ein, der sich um so stärker auswirkte, je niedriger der Salzgehalt des Nährmediums war. Lediglich bei dem 40‰-Medium erfolgte keine Änderung gegenüber der Ausgangszahl,

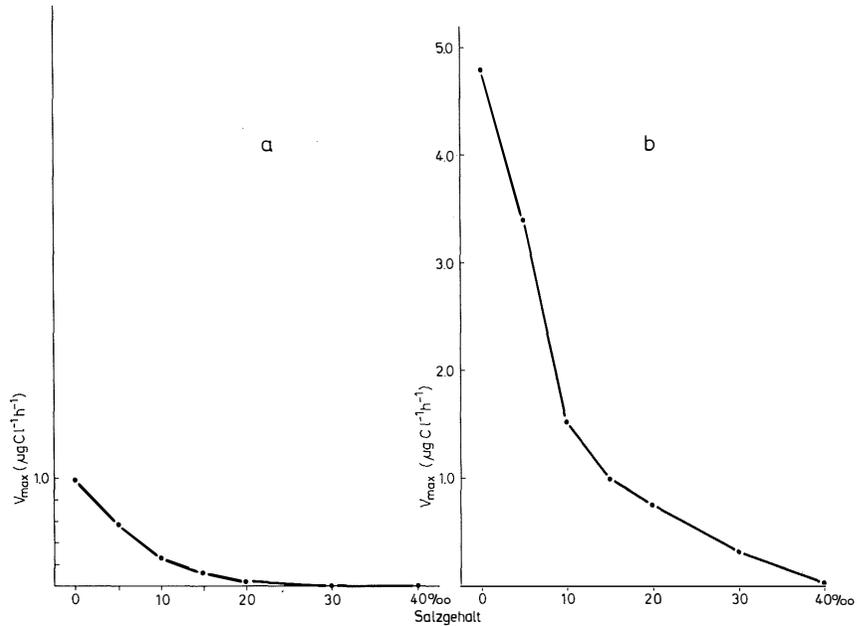


Abb. 1: Die maximale Aufnahmegeschwindigkeit (V_{max}) von Asparaginsäure durch Bakterienpopulationen aus der Schwentine in Relation zur NaCl-Konzentration.

- a) V_{max} zu Versuchsbeginn
 b) V_{max} nach 24-stündiger „Adaptation“

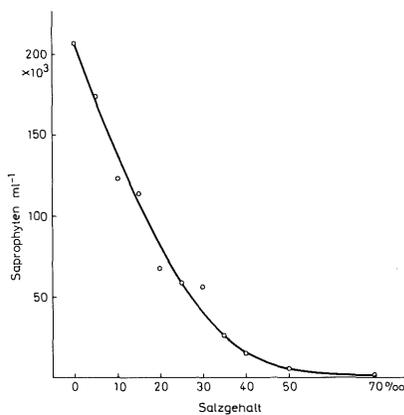


Abb. 2: Die Saprophytenzahl einer Wasserprobe aus der Schwentine in Relation zur NaCl-Konzentration.

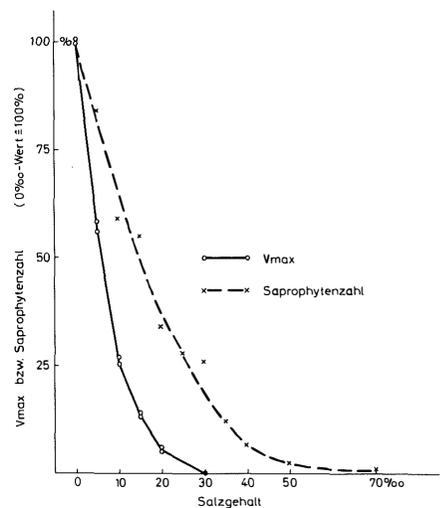


Abb. 3: Der prozentuale Rückgang der maximalen Aufnahmegeschwindigkeit und der Saprophytenzahl einer Wasserprobe aus der Schwentine in Relation zur NaCl-Konzentration.

Tafel 2 (zu K. Gocke)

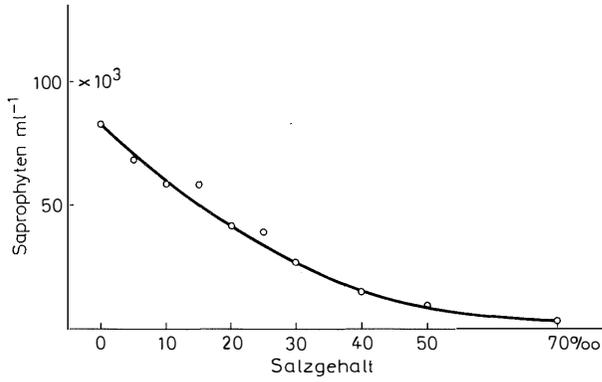


Abb. 4: Die Saprophytenzahl einer Wasserprobe aus der Schwentine in Relation zur NaCl-Konzentration. (Die Saprophytenzahl wurde nach 24-stündiger „Adaptation“ der Keime an eine NaCl-Konzentration von 30‰ bestimmt.)

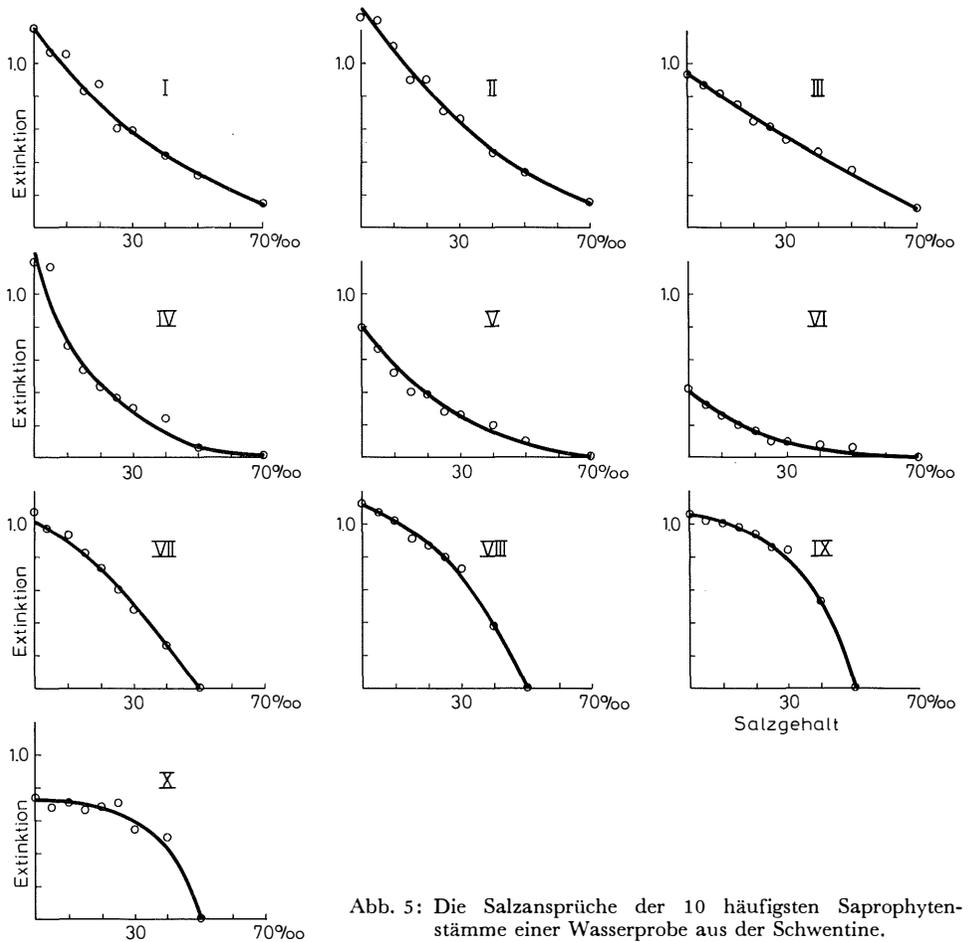


Abb. 5: Die Salzsprünge der 10 häufigsten Saprophytenstämme einer Wasserprobe aus der Schwentine.

Tafel 3 (zu K. Gocke)

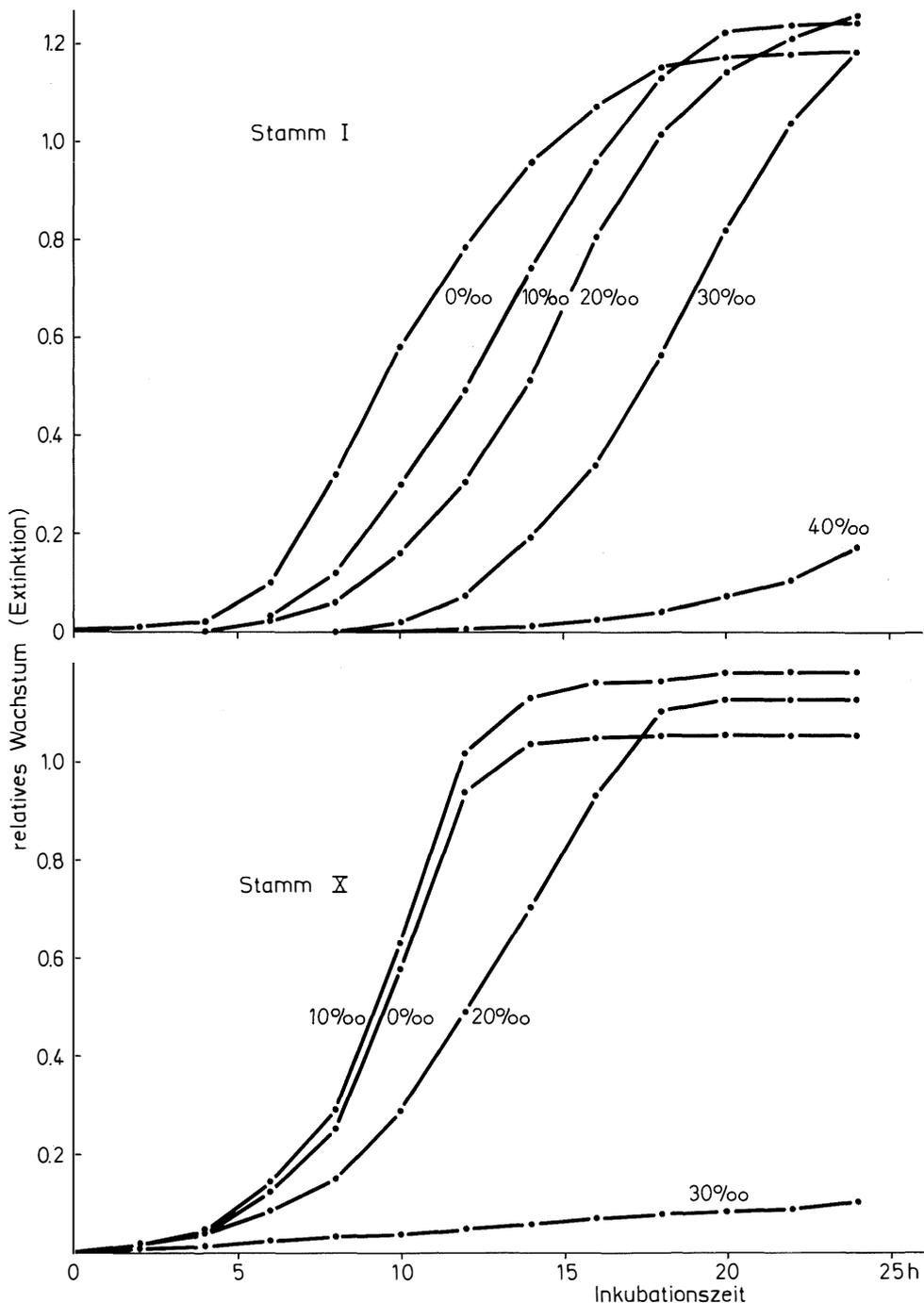


Abb. 6: Die Wachstumskurven von zweien der 10 häufigsten Saprophytenstämme einer Wasserprobe aus der Schwentine in Relation zur NaCl-Konzentration.

Tafel 4 (zu K. Gocke)

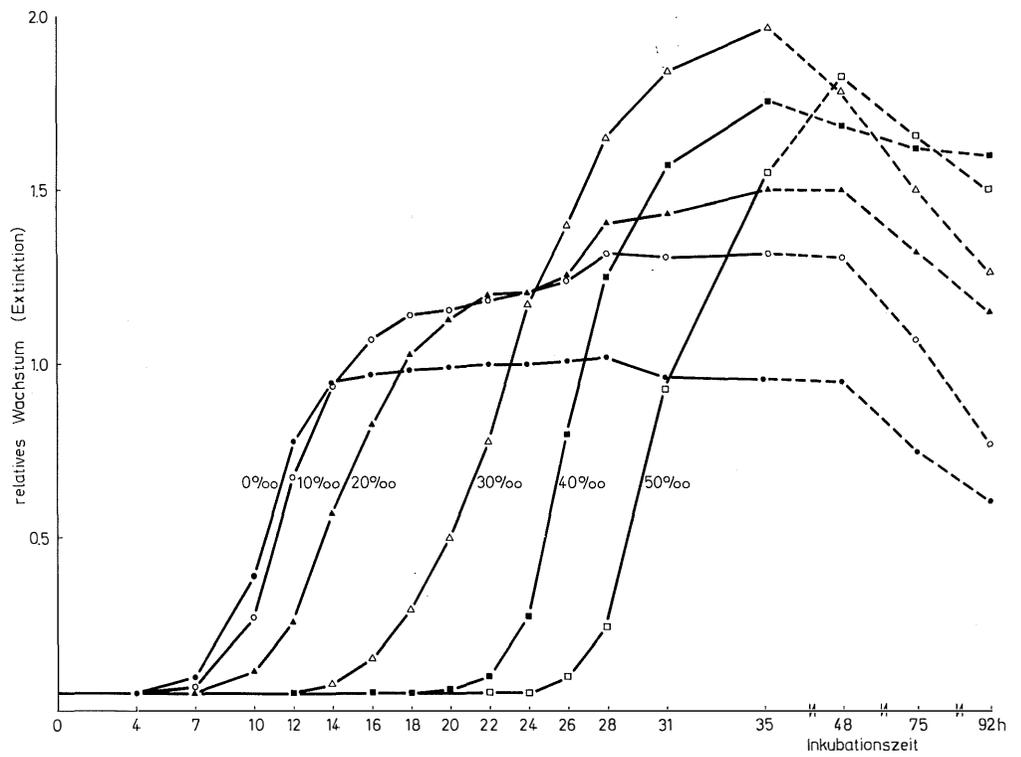


Abb. 7: Die Wachstumskurven der natürlichen Bakterienmischpopulation einer Wasserprobe aus der Schwentine in Relation zur NaCl-Konzentration.

die Keimzahlen auf den Nährböden mit höheren Salzkonzentrationen waren sogar leicht angestiegen. Dieses Ergebnis zusammen mit den bei der Bestimmung der mikrobiellen Aktivität gewonnenen Daten läßt vermuten, daß der größte Teil der Süß- und Abwasserbakterienpopulationen relativ empfindlich gegenüber Erhöhungen des Salzgehaltes ist. Andererseits befindet sich aber in jeder Probe stets eine gewisse Anzahl von Bakterien, die auf höhere Salzkonzentrationen positiv reagieren oder sie zumindest tolerieren können. Dieses ist nicht weiter verwunderlich, da bei der großen Verbreitungsmöglichkeit der Mikroorganismen eine Vielzahl der unterschiedlichsten Bakterientypen jeden Biotop infiziert (JANNASCH 1955).

Zusammenfassend läßt sich an Hand der bisher aufgezeigten Daten aussagen, daß die Erhöhung der NaCl-Konzentration einen deutlich hemmenden Einfluß auf die Aktivität und die Keimzahl der untersuchten Bakterienflora hat (Abb. 1a, 2). Es zeigten sich jedoch gewisse Anpassungserscheinungen der Mischpopulation an den Salzgehalt (Abb. 1b). Die Ergebnisse lassen allerdings nicht mit Sicherheit erkennen, ob ein großer Teil der Bakterienpopulation zu dieser „Adaptation“ befähigt ist, oder ob lediglich eine kleine Zahl halotoleranter Formen hierzu in der Lage ist.

Um über diese Frage genauere Aussagen machen zu können, wurden die Wachstumskurven von zwei isolierten Stämmen mit denen der natürlichen Mischpopulationen aus der Schwentine in Abhängigkeit vom Salzgehalt unter identischen Bedingungen verglichen. Die beiden Isolate stehen repräsentativ für die 10 häufigsten Stämme. Diese lassen sich auf Grund ihrer Salzansprüche in zwei Gruppen einteilen. In Abb. 5 sind die Salzcharakteristika dieser Bakterien dargestellt. Die Stämme I—VI zeigen als generelles Merkmal ein mehr oder weniger gleichmäßig schnell abnehmendes Wachstum bei steigendem Salzgehalt. Ein geringes Wachstum ist jedoch noch bei 70⁰/₀₀ bzw. zumindest bei 50⁰/₀₀ NaCl festzustellen. Bei den Stämmen VII—X fällt dagegen das Wachstum bis zu einem Salzgehalt von 30⁰/₀₀ relativ langsam ab, erst bei höheren Konzentrationen erfolgt ein sehr schneller Rückgang. Bei 50⁰/₀₀ NaCl konnte bereits kein Wachstum mehr nachgewiesen werden. Bei allen 10 Stämmen handelt es sich nach MEYER-REIL (1973) um Süßwasser-Bakterienstämme.

Der zeitliche Wachstumsverlauf der Stämme I und X ist in Abb. 6 dargestellt. Der Einfluß der steigenden Salzkonzentrationen zeigt sich bei beiden Stämmen deutlich in einer Verlängerung der Anlaufphase und in einer Verlangsamung der logarithmischen Wachstumsphase. Dieses macht sich bei Stamm I bei einer NaCl-Konzentration von 40⁰/₀₀ und bei Stamm X schon bei 30⁰/₀₀ bemerkbar. In der zur Verfügung stehenden Untersuchungszeit konnte bei beiden Stämmen kein Wachstum bei 50⁰/₀₀ mehr nachgewiesen werden. Diese Befunde stehen in einem gewissen Widerspruch zu den in Abb. 5 dargestellten Ergebnissen. Der Grund hierfür liegt höchstwahrscheinlich in der unterschiedlichen Methode.

Die Untersuchung der Wachstumskurven von natürlichen Mischpopulationen der Schwentineprobe in Abhängigkeit vom Salzgehalt führte teilweise zu übereinstimmenden, teilweise jedoch auch zu abweichenden Ergebnissen im Vergleich zu den Reinkulturen. In Übereinstimmung mit den an den isolierten Stämmen gewonnenen Befunden steht die Beeinflussung der Lag-Phase durch den Salzgehalt, deren zeitliche Dauer sich bei einer NaCl-Konzentration von 50⁰/₀₀ bis auf 24 Stunden verlängerte (Abb. 7). REIMANN (1968) fand bei Untersuchungen mit dem Sapromaten Anlaufphasen von 0—10 Stunden, was mit den Daten unserer Proben mit Salzgehalten von 0—30⁰/₀₀ gut übereinstimmt. Weiterhin zeigt Abb. 7, daß die Dauer der logarithmischen Wachstumsphase mit steigenden Salzkonzentrationen zunimmt. So tritt die stationäre Phase bei 0⁰/₀₀ NaCl bereits 10 Stunden nach Beginn des logarithmischen

Wachstums ein, während bei 30⁰/₀₀ trotz etwa gleicher Wachstumsintensität hierzu ca. 24 Stunden benötigt werden. Die Folge davon ist eine erheblich höhere Zelldichte in der 30⁰/₀₀ NaCl-Probe.

Abweichend vom Wachstumsverlauf der beiden isolierten Bakterienstämme, bei denen eine Verlangsamung des logarithmischen Wachstums und damit eine Verlängerung der Generationszeit bei höheren Salzkonzentrationen auftritt, zeigt die natürliche Mischpopulation der Schwentine diese Erscheinung nicht. Vielmehr erfolgt das logarithmische Wachstum über den ganzen getesteten Konzentrationsbereich mit der gleichen Intensität (Abb. 7). Die Form der Wachstumskurven deutet darauf hin, daß für den Abbau des Nährsubstrates bei erhöhten Salzgehalten die Ausgangsbakterienflora, d.h., die ursprünglich in der Probe vorhandenen dominierenden Süß- und Abwasserbakterien, keine große Rolle spielt, denn ihre häufigsten Vertreter vermögen bei diesen Salzgehalten nur verlangsamt zu wachsen, wie ja aus Abb. 6 hervorgeht. Vielmehr scheinen einige Bakterienarten, die zahlenmäßig wahrscheinlich nur einen geringen Teil der natürlichen Populationen darstellen, die jedoch höhere Salzkonzentrationen zu tolerieren vermögen oder hierdurch sogar gefördert werden, die ursprüngliche Population ersetzt zu haben. Es liegt hier also keine Adaptation der einzelnen Arten vor, sondern eine Anpassung der Mischpopulation an die veränderten Bedingungen, die mit einer einschneidenden strukturellen Veränderung einhergeht.

Diskussion

Einschränkend zu den geschilderten Ergebnissen muß hier gesagt werden, daß die Messungen an Proben durchgeführt wurden, denen zur Erhöhung des Salzgehaltes lediglich NaCl zugefügt worden war. Es ist jedoch anzunehmen, daß die Ergebnisse im Meerwasser mit seiner etwas anderen Salzzusammensetzung ähnlich ausfallen würden.

Die durchgeführten mikrobiologischen Untersuchungen an Süß- und Abwasserbakterienpopulationen zeigen grundsätzlich, daß sich ein Anstieg im Salzgehalt nachteilig sowohl auf die Zahl der Saprophyten als auch auf die Höhe der mikrobiellen Aktivität auswirkt. Nur ein geringer Teil der Saprophytenflora toleriert Salzkonzentrationen, wie sie im Brackwasserbereich von Ästuaren und im freien Meer anzutreffen sind. Die mikrobielle Aktivität, die ein Maß für die Intensität des Schmutzstoffabbaus ist, wird sogar noch stärker reduziert.

Hierzu ist zu bemerken, daß besonders der Abfall der mikrobiellen Aktivität ein guter Indikator für den schädigenden Einfluß einer Salzgehaltserhöhung auf die ursprüngliche Bakterienflora, d.h., in diesem Falle auf die in der Ausgangsprobe vorhandenen dominierenden Süß- und Abwasserbakterienpopulationen, ist. Der Grund liegt unter anderem darin, daß die zu ihrer Bestimmung verwendete Methode infolge Verwendung von ¹⁴C-markierten Substanzen außerordentlich empfindlich ist und deshalb die Untersuchung der noch weitgehend unveränderten natürlichen Mischpopulation gestattet (WRIGHT und HOBBS 1966). Die meisten anderen Methoden, mit deren Hilfe in der Regel Wachstumserscheinungen wie z.B. Anstieg der Trübung oder Verbrauch von Sauerstoff bestimmt werden, sind dagegen relativ unempfindlich. Die Meßzeit muß deshalb über einen längeren Zeitraum (zumindest einige Stunden) ausgedehnt werden. Die Bakterien reagieren jedoch unmittelbar auf Veränderungen der Umweltparameter (OVERBECK 1972), die bei jeder Untersuchung zwangsläufig auftreten und umso gravierender sind, je länger diese dauert. Das hat zur Folge, daß die Messungen letzten Endes an Populationen durchgeführt werden, die mit den ursprünglichen nur noch wenig Ähnlichkeit haben. Damit ist gemeint, daß sich aus der natürlichen Mischpopulation des Versuchsbeginns innerhalb kurzer Zeit eine Population entwickelt,

in der eine oder nur wenige Arten praktisch eine Reinkultur bilden. Dieses sind die Organismen, die auf die veränderten Umweltparameter am besten reagieren können. Hieraus kann jedoch nicht gefolgert werden, daß diese Population auch unter natürlichen Bedingungen die Oberhand gewonnen hätte.

Die strukturelle Umstellung der natürlichen Mischpopulation wird durch hohe Nährstoffkonzentrationen besonders begünstigt. Dies läßt sich an Hand von Versuchen erkennen, bei denen durch künstlich erhöhte Substratmengen eine hohe Abwasserkonzentration simuliert wurde. In diesen Experimenten ist nach 24stündiger Versuchsdauer eine praktisch vollständige Veränderung der ursprünglichen Bakterienpopulation eingetreten, d.h., es haben sich halotolerante Bakterien durchgesetzt, die zwar aus dem Süß- oder Abwasser stammen, anfänglich dort aber nur in geringer Zahl vorhanden waren. Dagegen zeigen Untersuchungen ohne Erhöhung der Nährstoffkonzentration, daß hier die Herausbildung neuer, speziell angepaßter Mikroorganismenpopulationen erheblich längere Zeit beansprucht.

In Abwasserversuchen mit ihren relativ hohen Nährstoffkonzentrationen kann also der Abbau der Schmutzstoffe trotz erhöhter Salzkonzentrationen durch einzelne Vertreter der Süß- und Abwasserbakterienflora erfolgen. Unter natürlichen Bedingungen sehen die Verhältnisse jedoch ganz anders aus. Hier tritt bei der Einleitung des Abwassers in das Meer stets eine erhebliche Verdünnung der organischen Schmutz- und damit Nährstoffe ein. Dadurch wird das Aufkommen salztoleranter Formen des Süß- und Abwassers stark beeinträchtigt. Ein Teil der bereits im Küstenbereich vorhandenen autochthonen halophilen Bakterien, die an die normalerweise vorkommenden niedrigen Nährstoffkonzentrationen angepaßt sind, wird dagegen durch die für ihren Biotop erhöhte Konzentration gefördert. Für diese Organismen tritt durch die Abwasser-einleitung gewissermaßen eine Düngung ein, auf die sie mit verstärktem Wachstum und damit erhöhter Substrataufnahme reagieren.

Die autochthonen Bakterienpopulationen des Meeres spielen also die ausschlaggebende Rolle bei der Selbstreinigung der Küstengewässer. Im Vergleich zu ihnen sind die mit dem Abwasser eingeschwemmten Bakterien außer eventuell für den unmittelbaren Bereich der Abwassereinleitung von untergeordneter Bedeutung. Die eingangs zitierten Befunde von RHEINHEIMER (1966, 1968b) finden hierdurch ihre Bestätigung.

Fräulein Flittiger und Herrn Deger danke ich für die sorgfältige Durchführung der Analysen.

Literaturverzeichnis

- GOCKE, K. (1974): Methodische Probleme bei Untersuchungen zur mikrobiellen Stoffaufnahme in Gewässern. — Kieler Meeresforsch. 30, 12—23.
- JANNASCH, H. W. (1955): Zur Ökologie der zymogenen planktischen Bakterienflora natürlicher Gewässer. — Arch. Mikrobiol. 23, 146—180.
- JANNASCH, H. W. und G. E. JONES (1959): Bacterial populations in sea-water as determined by different methods of enumeration. — Limnol. Oceanogr. 4, 128—139.
- MEYER-REIL, L.-A. (1973): Untersuchungen über die Salzansprüche von Ostseebakterien. — Botanica Marina 16, 65—76.

- OVERBECK, J. (1972): Zur Struktur und Funktion des aquatischen Ökosystems. — Ber. Deutsch. Bot. Ges. 85, 553—577.
- REIMANN, K. (1968): Der Abbau der organischen Substanz im Meerwasser. — WAF 4, 142—148.
- RHEINHEIMER, G. (1966): Einige Beobachtungen über den Einfluß von Ostseewasser auf limnische Bakterienpopulationen. — Veröff. Inst. Meeresforsch. Bremerh., Sonderbd. 2, 237—244.
- RHEINHEIMER, G. (1968a): Die Bedeutung des Elbe-Ästuars für die Abwasserbelastung der südlichen Nordsee in bakteriologischer Sicht. — Helgoländer wiss. Meeresunters. 17, 445—454.
- RHEINHEIMER, G. (1968b): Beobachtungen über den Einfluß von Salzgehaltsschwankungen auf die Bakterienflora der westlichen Ostsee. — Sarsia 34, 253—262.
- RHEINHEIMER, G. (1970): Mikrobiologische und chemische Untersuchungen in der Flensburger Förde. — Ber. Dt. Wiss. Komm. Meeresforsch. 21, 420—429.
- SCHMUTZER, C. (1973): Vergleichende Untersuchungen der Selbstreinigung von Ostsee- und Süßwasser. — Diplomarbeit, Univ. Kiel.
- WACHS, B. (1969): Probleme der bakteriellen Verschmutzung küstennaher Meeresgebiete. — WAF 3, 109—118.
- WRIGHT, R. T. and J. E. HOBIE (1966): Use of glucose and acetate by bacteria and algae in aquatic ecosystems. — Ecology 47, 447—464.
- ZOBELL, C. E. and D. Q. ANDERSON (1936): Observations on the multiplication of bacteria in different volumes of stored seawater and the influence of oxygen tension and solid surfaces. — Biol. Bull. 71, 324—342.