

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 der Universität Kiel
und aus der Mikrobiologischen Abteilung des Staatsinstituts für allgemeine Botanik
in Hamburg

Beobachtungen über den Einfluß des strengen Winters 1962/63 auf das Bakterienleben eines Flusses

VON GERHARD RHEINHEIMER

Zusammenfassung: Während des in Norddeutschland ungewöhnlich kalten Winters 1962/63 trug die Elbe oberhalb von Hamburg mehrere Wochen lang eine 40—50 cm dicke Eisdecke, unterhalb der Stadt herrschte in dieser Zeit ständiges Eistreiben. Im Rahmen einer mehrjährigen mikrobiologischen Untersuchung wurde der Einfluß der anhaltenden Eisbedeckung auf das Bakterienleben im Strom studiert.

Es zeigte sich, daß der Bakteriengehalt des Flußwassers wesentlich stärker als in normalen Wintern anstieg. Er belief sich besonders in dem Abschnitt oberhalb von Hamburg bei allen Stationen auf ein Mehrfaches der in der gesamten etwa 8 jährigen Untersuchungszeit vorher und nachher gewonnenen Maximalwerte. Die Ursache hierfür dürfte in erster Linie in dem Zusammentreffen von sehr geringer Wasserführung und anhaltend niedriger Temperatur liegen. Unter der Eisdecke kam es zu einer starken, vor allem von Mikroorganismen bewirkten Sauerstoffzehrung.

Bedingt durch die anaeroben Verhältnisse erfolgte im Fluß eine lebhaft bakterielle Nitratreduktion (Denitrifikation). Diese wurde durch den kräftigen Rückgang des Nitratgehalts deutlich, der zunächst von einem starken Nitritanstieg begleitet wurde. Da die Nitratreduktion über Nitrit bis zum freien Stickstoff führte, fand sich im Februar 1963 bei den meisten Stationen anorganisch gebundener Stickstoff fast nur noch in Form von Ammoniak.

Laborversuche bestätigten, daß auch bei winterlichen Wassertemperaturen die Bakterientätigkeit noch stark genug ist, um den gesamten Sauerstoff in O₂-gesättigtem Elbwasser innerhalb von 1 Woche zu verbrauchen. Das in der Elbe befindliche Nitrat kann dann ebenfalls in wenigen Tagen durch denitrifizierende Bakterien völlig über Nitrit zu freiem Stickstoff reduziert werden.

Observations about the influence of the cold winter 1962/63 on the bacterial life of a river (Summary): During the unusually cold winter of 1962/63 the river Elbe above Hamburg for several weeks carried a 40—50 cm icecover, below the town there was a strong ice-drift. The low temperature in coincidence with very small water transport caused extremely high bacteria counts. At all stations above Hamburg much more bacteria could be recognized than in all winters before and afterwards, since the beginning of the observations in 1956.

Beneath the icecover of the river the microbes caused a deficiency of oxygen. From the anaerobic conditions resulted a significant bacterial reduction of nitrate (denitrification). This caused a great decrease of the nitrate concentration and a temporary increase of nitrite. Because the nitrate-reduction went to free nitrogen via nitrite, ammonia was the only inorganic nitrogen compound at most stations of the river.

Investigations in the laboratory revealed that at winter temperatures the activity of the microbes is great enough to use up all oxygen of O₂-saturated river water within 1 week, and a few days later all nitrate of the river can be reduced to free nitrogen by denitrifying bacteria.

Einleitung

Extreme Witterungsverhältnisse wirken sich nicht nur nachteilig auf die Flora und Fauna des Landes aus — sondern ebenso auf die der Gewässer. So bleiben vor allem ungewöhnlich strenge Winter nicht ohne Folgen für das Lebensgeschehen in unseren Seen, Flüssen und Meeren. Diese bedecken sich bei anhaltenden Frostperioden größtenteils mit einer dicken Eisschicht, die die Wasseroberfläche für Wochen oder Monate von der Luft abschließt. Das kann besonders in eutrophen Gewässern zu einer Sauerstoffverknappung führen, die dann eine schwere Schädigung vor allem des Fischbestandes nach sich zieht. Die starke Sauerstoffzehrung wird in erster Linie durch Mikroorganis-

men bedingt, die auch bei Wassertemperaturen um 0°C noch eine bemerkenswerte Aktivität besitzen. Es dürfte sich dabei vor allem um heterotrophe Bakterien handeln.

In dem kalten Winter 1962/63 ergab sich die Gelegenheit, im Rahmen einer mehrjährigen mikrobiologischen Untersuchung in der Elbe (s. RHEINHEIMER, 1964) den Einfluß der wochenlangen Eisbedeckung eines unserer großen Ströme auf dessen Bakterienleben zu studieren.

Die Probeentnahme

Die Entnahme der Wasserproben erfolgte bei den monatlich von der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Hamburg durchgeführten Elbe-Profilfahrten. Bei offenem Wasser wurden die Proben in der Strommitte vom Schiff aus mit sterilisierten Jenaer-Glasflaschen unter Verwendung eines Probennehmers aus Blei entnommen. Bei starkem Eistreiben mußte die Entnahme von Buhnenköpfen aus erfolgen. In der Zeit, in der ein großer Teil des oberhalb Hamburgs gelegenen Flußabschnittes eine feste Eisdecke trug (Januar und Februar 1963), wurden die Wasserproben dann mit sterilisierten Glasflaschen aus in das Eis geschlagenen Löchern — etwa in der Strommitte — geholt.

Die Gesamtkeimzahl- und Colizahl-Bestimmungen nach der Plattenmethode wurden in jedem Falle noch am gleichen Tage, spätestens 3 bis 6 Stunden nach der Entnahme, angesetzt. Die angewendeten Methoden wurden bereits beschrieben (RHEINHEIMER, 1964), sodaß auf diese Arbeit verwiesen werden kann.

Als Untersuchungsgebiet diente der Elbeabschnitt zwischen Schnackenburg (Km 474) und der Störmündung (Km 678).

Der Winter 1962/63 im Gebiet der unteren Elbe

Im Winter 1962/63 bewegten sich die Temperaturen in ganz Norddeutschland wesentlich unter dem langjährigen Mittel. Vom 20. Dezember bis 4. März lagen die täglichen Durchschnittstemperaturen fast stets unter 0°C . Eine derartige langanhaltende Frostperiode kommt in diesem Teil Deutschlands nur etwa alle 8 bis 10 Jahre vor. Der letzte vergleichbare Winter war 1953/54. In Abb. 1 sind die für die Meßstation Hamburg-Fuhlsbüttel ermittelten durchschnittlichen Wochentemperaturen für die Winter 1961/62, 1962/63 und 1963/64 einander gegenübergestellt. Sie lassen deutlich erkennen, daß die Monate Januar und Februar im Jahre 1963 im Ganzen gesehen erheblich kälter waren als in den Jahren 1962 und 1964. Durch die starke Abkühlung in der zweiten Dezemberhälfte 1962 froh die Elbe Ende des Monats in dem Flußabschnitt oberhalb von Hamburg zu und trug den ganzen Januar über eine 40 bis 50 cm dicke Eisdecke. Im Laufe des Monats Februar wurde das Eis dann allmählich von Geesthacht (Km 586) bis kurz oberhalb von Damnitz mit Eisbrechern aufgebrochen. Diese erreichten am 28. Februar den Elbekilometer 507 und setzten Anfang März ihre Tätigkeit noch weiter fort. Vom 21. Dezember bis 5. März lag die Wassertemperatur in der Elbe ständig bei etwa 0°C . Vom 5. März an herrschte dann mildere Witterung, sodaß sich das Wasser langsam etwas erwärmte. Mitte des Monats kam es dann als Folge der Schneeschmelze und stärkerer Niederschläge zu einer Hochwasserwelle, die aber das Abflußmittel des Monats März für die Jahre 1926 bis 1960 noch nicht ganz erreichte. Im April ging die Wasserführung dann wieder auf etwa 60% des langjährigen Monatsmittels zurück (s. Monatsberichte der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Hamburg). In dem Flußabschnitt unterhalb von Hamburg herrschte von Ende Dezember bis Mitte März mehr oder weniger starkes Eistreiben. Die Bildung größerer Eisflächen wurde durch Eisbrecher verhindert. In der Außenelbe und in der Nordsee kam es zur Bildung von Packeis, das zeitweise die Schifffahrt behinderte. Die Wassertemperaturen in der Deutschen Bucht sanken nach GILLBRICHT (1964) stellenweise bis auf $-1,8^{\circ}\text{C}$ ab.

In normalen Jahren herrscht in der Elbe zwar auch zeitweise mehr oder weniger starkes Eistreiben und es kann sich oberhalb Hamburgs vorübergehend auch eine Eisdecke bilden, doch bleibt der Fluß nur selten einmal länger als einige Tage geschlossen. Entsprechend sinkt die Wassertemperatur auch nicht oft bis auf 0°C ab. Im Winter 1961/62 lag sie oberhalb von Geesthacht nur 12 Tage und im Winter 1963/64 32 Tage bei etwa 0°C — im Winter 1962/63 dagegen rund 70 Tage. Nach LUCHT (im Jahresbericht der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Hamburg) belief sich das 10 Jahresmittel 1951/60 der Wassertemperatur in der Elbe bei der Station Hohnstorf (Km 569) für Dezember auf 3,3, Januar 1,6, Februar 1,7 und März 3,8 $^{\circ}\text{C}$.

Der anhaltend starke Frost im Winter 1962/63 brachte für die Elbe Verhältnisse mit sich, die dort nur recht selten, d. h. in jedem Jahrzehnt höchstens einmal, beobachtet werden können. Eis, ungewöhnlich niedrige Wassertemperaturen und geringer Abfluß führten zu extremen Bedingungen im Strom, die dessen Lebenshaushalt auf das stärkste beeinflussen mußten.

Der Bakteriengehalt des Flußwassers.

Während des strengen Winters 1962/63 wurde in der Elbe — vor allem in dem Flußabschnitt oberhalb von Hamburg — eine außergewöhnlich starke Zunahme des Bakteriengehaltes beobachtet.

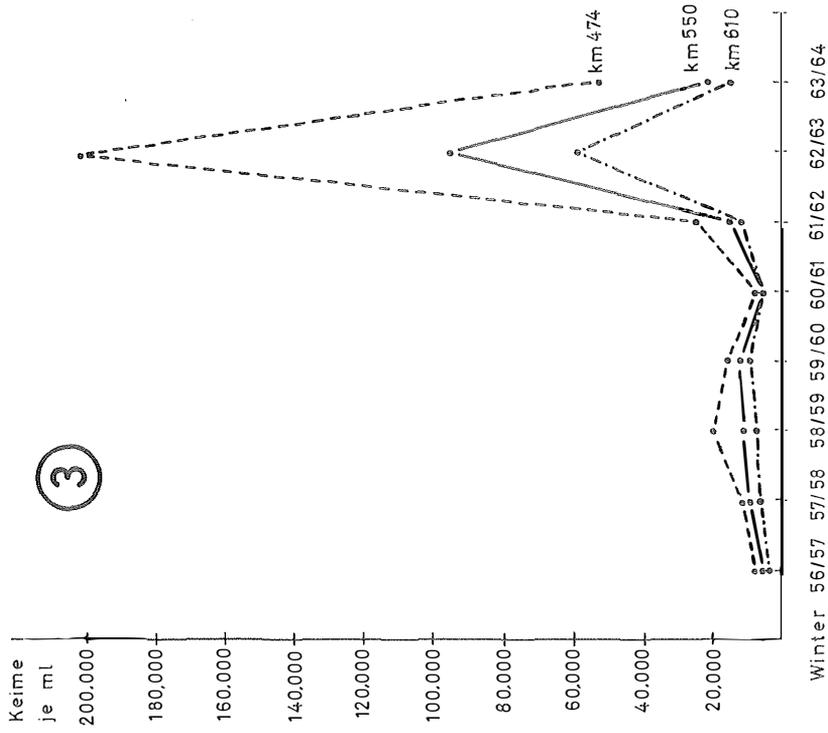
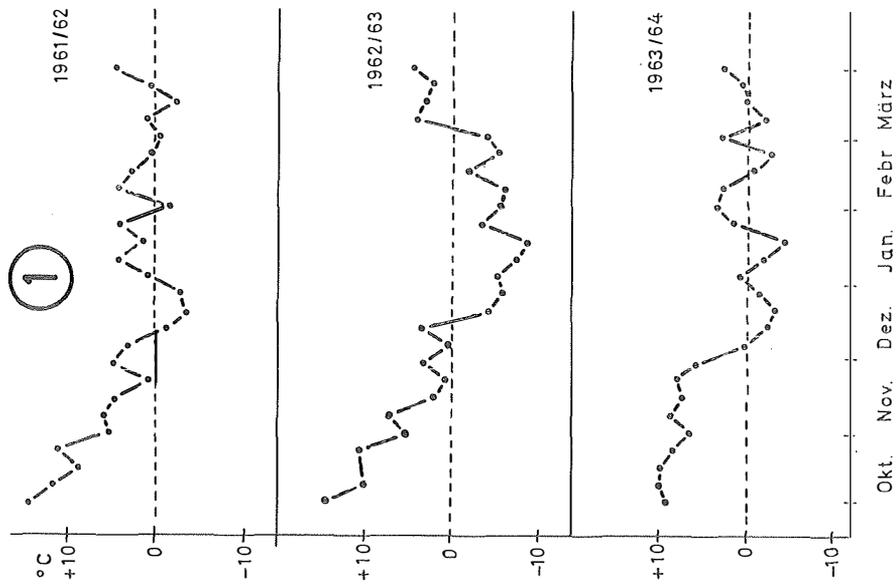
Die mit Hilfe der Plattenmethode bestimmten Gesamtkeimzahlen erreichten bei allen Untersuchungsstationen auch in normalen Jahren regelmäßig in den Wintermonaten, also in der Zeit von Dezember bis März, ihr Maximum. Spätestens im April kam es dann zu einem starken Rückgang und die Minima fanden sich stets im Sommerhalbjahr (s. RHEINHEIMER 1960, 1964). Abb. 2 zeigt aber, daß die Gesamtkeimzahl in dem Flußabschnitt zwischen Schnackenburg (Km 474) und Bunthaus (Km 610) im Winter 1962/63 weit höher war als im vorangegangenen und nachfolgenden Winter. Auch die für die Station Bleckede (Km 550) durch Multiplikation der Gesamtkeimzahl mit der Abflußmenge ermittelte Keimfracht des Flusses überstieg die Maxima der normalen Jahre um ein Mehrfaches. Besonders deutlich wird die gewaltige Zunahme des Bakteriengehaltes durch den Vergleich der seit 1956/57 ermittelten Winterdurchschnittswerte der Gesamtkeimzahlen (jeweils für die Monate Oktober bis März) in dem oberhalb Hamburgs gelegenen Elbeabschnitt. Die in Abb. 3 dargestellten Kurven zeigen sehr eindrucksvoll, daß die durchschnittliche Gesamtkeimzahl im Winter 1962/63 das 4 bis 5 fache der entsprechenden Maximalwerte beträgt, die in der gesamten übrigen Untersuchungszeit vorher und nachher bei den einzelnen Stationen gefunden wurden.

Sehr interessant ist nun die Gesamtkeimzahlentwicklung bei den Stationen Schnackenburg, Damnatz, Bleckede, Tesperhude und Bunthaus in den verschiedenen Monaten des Winterhalbjahres 1962/63: im Oktober 1962 waren die Gesamtkeimzahlen bei allen 5 Stationen mit 2000 bis 4200 noch völlig normal. Im November erfolgte bereits ein kräftiger Anstieg, der mit 12000 bis 94000 bei einigen Stationen bereits zu verhältnismäßig hohen Werten führte. Im Dezember kam es dann zu einer weiteren Zunahme der Gesamtkeimzahl auf 39000 bis 222000. Im Januar 1963, dem kältesten Monat des

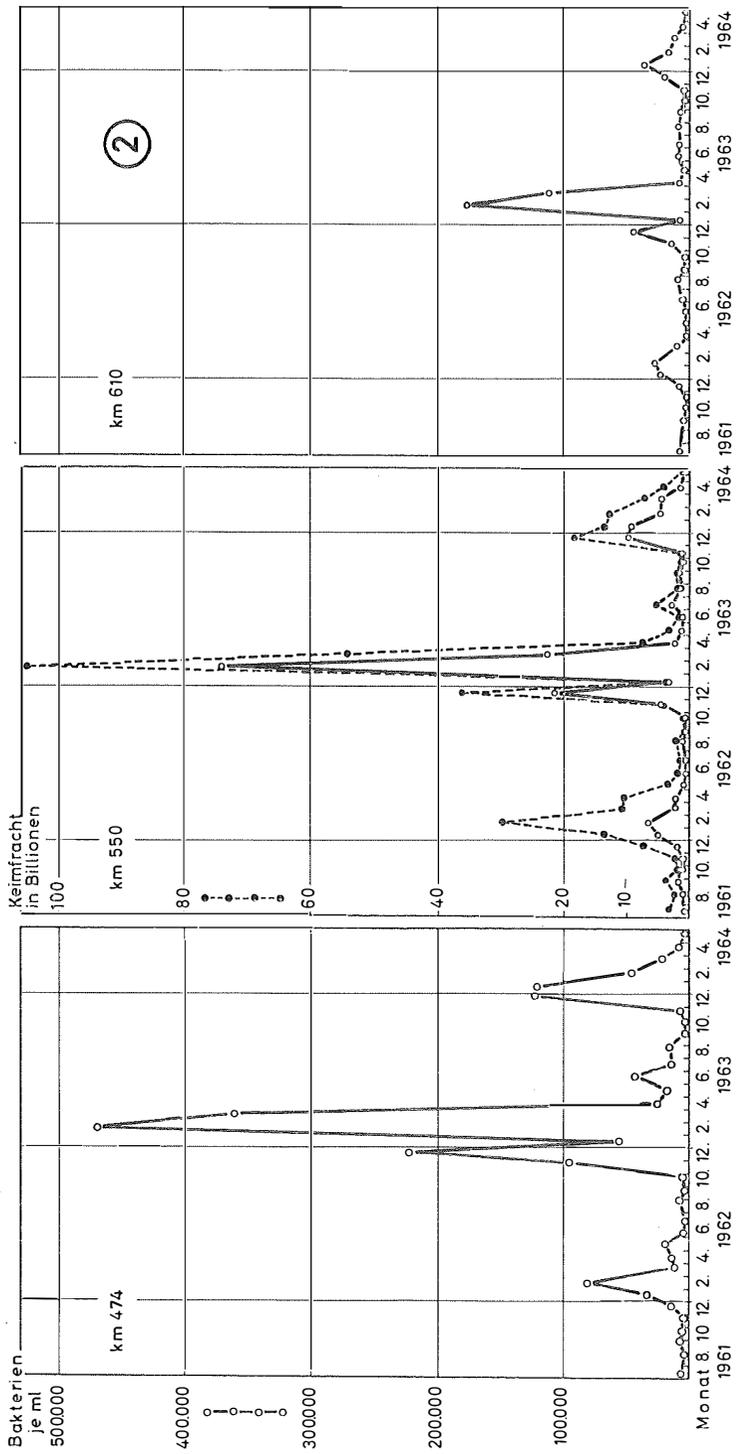
Legenden zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 1)

Abb. 1: Wochendurchschnitt der Lufttemperaturen für Hamburg-Fuhlsbüttel in den Wintern 1961/62, 1962/63 und 1963/64. (Die Werte wurden aus den vom Klimaschnellmeldedienst des Deutschen Wetterdienstes entnommenen Tagesdurchschnittswerten berechnet).

Abb. 3: Winterdurchschnittskurven 1956/57 bis 1963/64 der Gesamtkeimzahl für die Stationen Schnackenburg, Bleckede und Bunthaus. Das Maximum findet sich bei allen Stationen im Winter 1962/63.



Tafel 1 (zu G. Rheinheimer)



Tafel 2 (zu G. Rheinheimer)

Winters, wurde dann eine kräftige Abnahme auf 5400 bis 54000 und im Februar ein abermaliger, diesmal noch größerer Anstieg auf 176000 bis 470000 (bei Berücksichtigung aller untersuchten Stationen sogar auf 623000) beobachtet. Die in diesem Monat gefundenen Gesamtkeimzahlen stellen damit die höchsten Werte der ganzen fast 8 jährigen Untersuchungszeit dar und belaufen sich auf das 10 bis 15 fache der unter Anwendung der gleichen Methode von 1956/57 bis 1961/62, und das 4 bis 9 fache der 1963/64 ermittelten Maximalzahlen. Im März gingen die Gesamtkeimzahlen dann etwas zurück — sie blieben aber mit 107000 bis 360000 noch beträchtlich über den normalen Winterwerten. Erst im April, nachdem das durch die Schneeschmelze hervorgerufene Hochwasser abgeklungen war, normalisierten sich die Verhältnisse wieder und die Gesamtkeimzahlen näherten sich mit 6200 bis 24000 dem normalen Stand. Die im Sommerhalbjahr 1963 bestimmten Werte bewegten sich dann wieder im gewohnten Rahmen (s. Abb. 2). Im Winter 1963/64 waren die Gesamtkeimzahlen wieder erheblich niedriger als 1962/63 — doch lagen sie über denjenigen aller vorhergegangenen Untersuchungsjahre. Das entspricht den Temperaturverhältnissen, denn es gab 1963/64 mehrere längere Frostperioden, die ein vorübergehendes Zufrieren des Flusses bzw. starkes Eistreiben bewirkten (s. Abb. 1). Außerdem war die Wasserführung auch in diesem Winter außerordentlich gering, so daß das Maximum der Keimfracht doch noch unter dem von 1961/62 blieb.

Auch in dem Flußabschnitt zwischen Hamburg (Km 623) und der Störmündung (Km 678) waren die Gesamtkeimzahlen im Winter 1962/63 höher als in der übrigen Untersuchungszeit. Die Zunahme war hier aber erheblich geringer als bei der Flußstrecke oberhalb von Hamburg und betrug nur das 2 bis 5 fache der vorher und nachher gefundenen Maximalzahlen. Nach GÜNKEL (1964) lagen auch in der Außenelbe und in der Nordsee bei Helgoland die Gesamtkeimzahlen im Winter 1962/63 wesentlich höher als im Vorjahr.

Da die unter Anwendung der Plattenmethode gewonnenen Gesamtkeimzahlen wegen der Auswahlfunktion des Nährbodens nur einen Teil der tatsächlich im Flußwasser vorhandenen Bakterienmenge erfassen, wurden zur Sicherung dieser Ergebnisse von den Wasserproben verschiedener Stationen noch Membranfilterpräparate hergestellt. Dazu wurden jeweils 5 ml Elbwasser mit 50 ml steril filtriertem Leitungswasser aufgeschüttelt und auf Membranfilter der Gruppe 6 mit Hilfe eines Filtriergerätes Coli 5 der Membranfiltergesellschaft in Göttingen filtriert und nach JANNASCH (1953) mit Methylenblau gefärbt. Da wegen des hohen Schwebstoffgehaltes im Elbwasser eine hinreichend genaue Auszählung der auf den Membranfiltern befindlichen Bakterien in den meisten Fällen unmöglich war (s. RHEINHEIMER, 1964), wurden jeweils repräsentative Ausschnitte der Präparate mit dem Zeiss-Photomikroskop aufgenommen. Diese Photoprotokolle erlauben einen optischen Vergleich der einzelnen Proben.

Die Abb. 4 zeigt die Aufnahme der Membranfilterpräparate die von bei der Station Bleckede (Km 550) in den Monaten August und Oktober bis Dezember 1962, Januar bis März, Mai und Juli 1963 und Februar 1964 entnommenen Wasserproben hergestellt wurden. Sie geben eine grundsätzliche Bestätigung der mit der Plattenmethode bestimmten Gesamtkeimzahlen: Die Photoprotokolle der Sommer- und Herbstmonate lassen neben Phytoplankton und Detritusteilchen nur relativ wenige, meist kokken-

Legende zu der nebenstehenden Abbildung (Tafel 2)

Abb. 2: Gesamtkeimzahl von Juli 1961 bis Mai 1964 des Elbwassers bei den Stationen Schnackenburg (Km 474), Bleckede (Km 550) und Bunthaus (Km 610) und Keimfracht für die Station Bleckede. Die Werte des Winters 1962/63 liegen durchweg erheblich über denen des vorausgegangenen und nachfolgenden Winters.

förmige Mikroben erkennen. Im November und Dezember 1962 nehmen die Bakterien dann deutlich zu — neben Kokken findet man nun auch mehr andere Formen, wie Stäbchen, Sarcinapakete und Fadenbakterien (vor allem *Sphaerotilus natans*). Auch der Detritusgehalt hat sich erhöht — während Phytoplankton kaum mehr vorhanden ist. Das Präparat vom Januar 1963 zeigt neben den verschiedenen Bakterienformen, deren Zahl geringer als im Dezember ist, nur sehr wenig Detritus. Im Februar hat die Zahl der verschiedensten Bakterien ungewöhnlich stark zugenommen und die Menge der Detritusteilchen hat sich nur geringfügig erhöht. Das Märzpräparat zeigt noch reichlich Mikroben und sehr viel Detritus (s. auch Abb. 5) — eine Folge der beginnenden Schneeschmelze. Im Mai sind dann nur noch wenig Bakterien vorhanden und auch der Detritusanteil ist zurückgegangen. Dafür finden sich aber wieder Planktonalgen. Das Membranfilterpräparat vom Februar 1964 zeigt dann die normalen Winterverhältnisse: Zahlreiche Bakterien, deren Menge aber doch deutlich geringer als im Februar des Vorjahres ist, sowie Detritus und kaum Phytoplankton.

Der ungewöhnlich hohe Bakteriengehalt im Elbwasser während des kalten Winters 1962/63 dürfte seine Ursache vor allem im Zusammenwirken von anhaltend niedriger Wassertemperatur und sehr geringer Wasserführung des Stromes haben. Seit Mitte Juni 1962 lag der Abfluß stets unter dem langjährigen Mittel des jeweiligen Monats (s. Monatsberichte der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Hamburg). Im Herbst ging die Wasserführung dann noch weiter zurück und erreichte in den Wintermonaten ihren Tiefpunkt. Dazu kam das frühzeitige Absinken der Wassertemperatur, die dann von Mitte Dezember bis Anfang März ständig bei etwa 0° C lag (s. S. 219). Hierdurch kam es zunächst zu einer starken Konzentrierung der aus Abwässern stammenden Mikroben und Nährstoffe und gleichzeitig wurde die Lebenstätigkeit der Bakterien verlangsamt und damit auch deren Nahrungsbedarf verringert. Das läßt sich sehr deutlich aus dem schnellen Anstieg des Bakteriengehaltes im November 1962 ersehen, der sich dann im Dezember noch verstärkte. Durch dieses Zusammentreffen von frühzeitig beginnendem und langanhaltendem Rückgang der Wassertemperatur mit einer ungewöhnlich niedrigen Wasserführung des Flusses summierten sich die Faktoren, die auch normalerweise eine Zunahme des Bakteriengehaltes im Flußwasser bewirken und führten so zu den extrem hohen Gesamtkeimzahlen dieses Winters. Dazu scheint allerdings der vorübergehende Rückgang der Gesamtkeimzahlen im Januar 1963, der von einer noch stärkeren Abnahme der Zahl der Coliformen und der Thiobacillen begleitet wurde, in Widerspruch zu stehen. Nun war der Januar der kälteste Monat des Winters 1962/63 und durch den strengen Frost war ein Teil der Abwasserzuläufe vom Fluß zeitweise abgeschnitten. Das führte dann zu einer Abnahme des Bakteriengehaltes und ebenso der im Wasser enthaltenen Schwebstoffe. Der Rückgang des Detritusgehaltes ist aus den in Abb. 5 dargestellten Kurven des gravimetrisch bestimmten Detritustrockengewichtes je Liter Flußwasser zu ersehen. Die Gesamtkeimzahl ging im Januar etwa auf das übliche winterliche Maß zurück — bei einigen Stationen sogar noch weiter. Die Zahl der coliformen Bakterien war aber die geringste, die in der gesamten Untersuchungszeit je während des Winters in der Elbe gefunden wurde. Das deutet darauf hin, daß gerade die Zuläufe von häuslichen Abwässern, die ja stets sehr große Bakterienmengen mit sich führen, durch das Eis vom Fluß abgeschnitten waren. Der geringfügige Temperaturanstieg im Februar 1963 genügte bereits, um die Verbindungen der Zuflüsse mit der Elbe unter

Legende zu der nebenstehenden Abbildung (Tafel 3)

Abb. 4: Photoprotokolle der von Wasserproben der Station Bleckede hergestellten Membranfilterpräparate. Im Sommer sind relativ wenig — im Winter viele Bakterien vorhanden, wobei das Maximum auf den Februar 1963 fällt. Vergrößerung 1:600

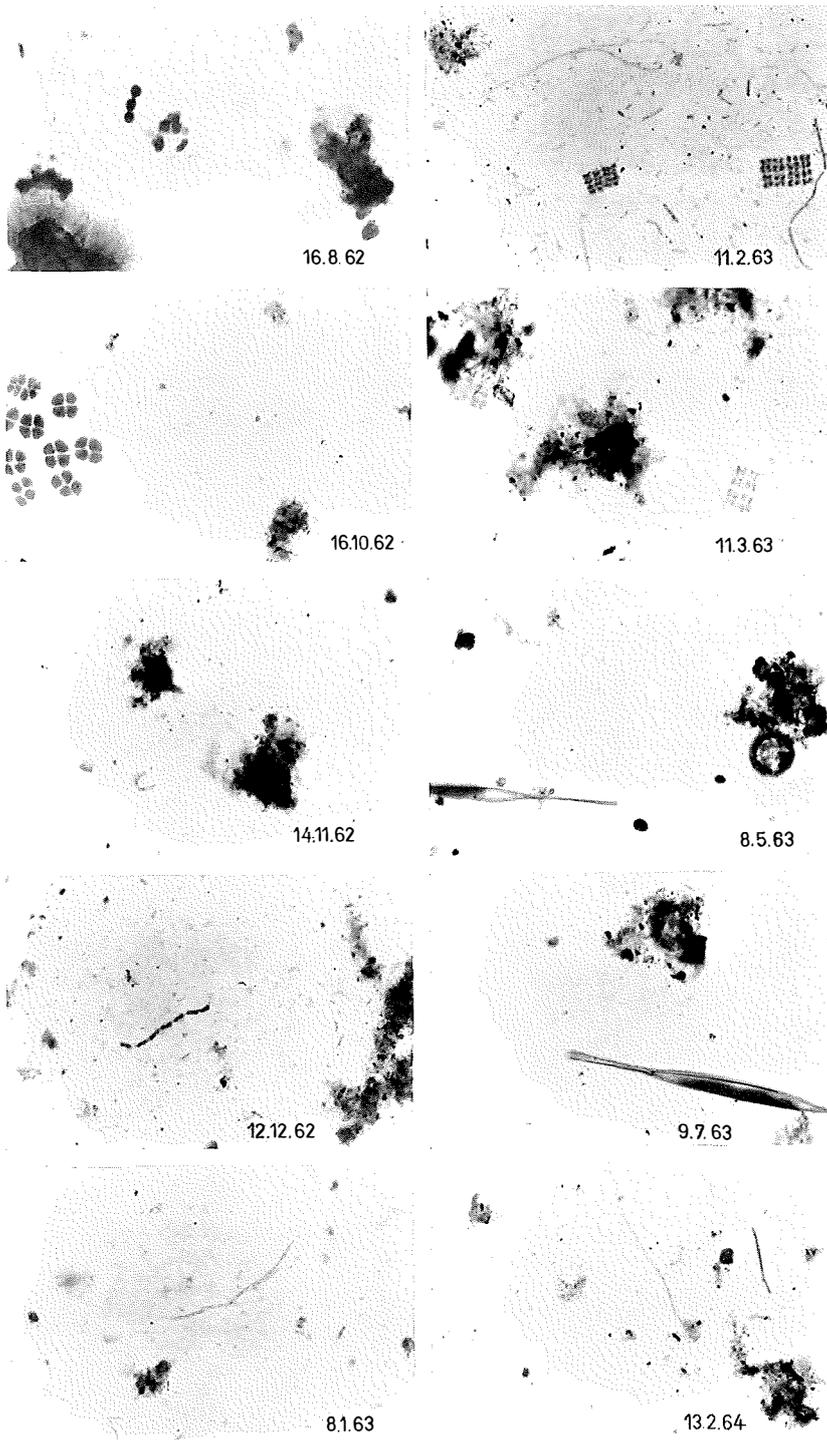
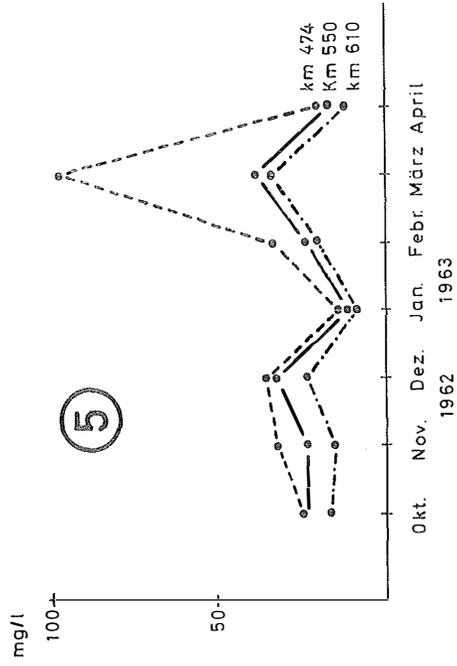
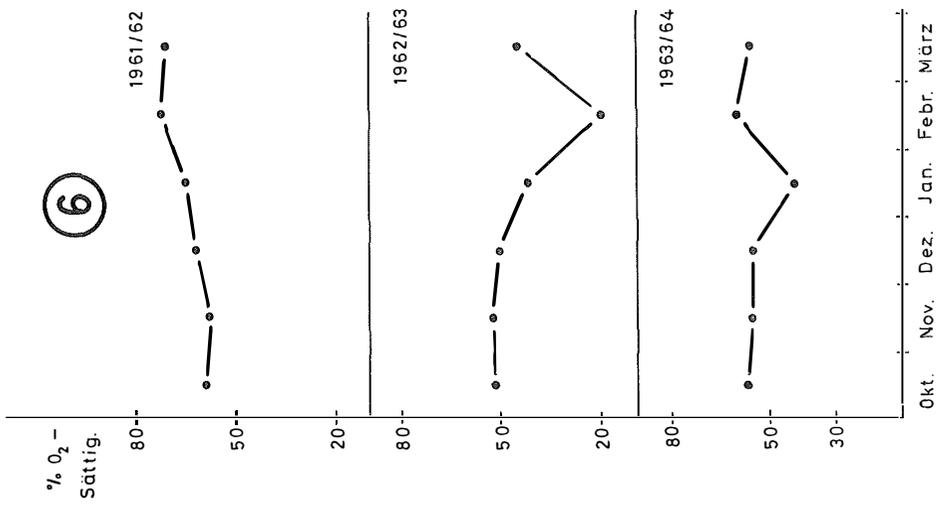


Abb. 4

Tafel 3 (zu G. Rheinheimer)



Tafel 4 (zu G. Rheinheimer)

der Eisdecke wieder herzustellen. Neben den laufend anfallenden Abwässern konnten nun auch noch die durch das Eis angestauten Abwassermengen in den Strom gelangen, sodaß es bei dessen geringer Wasserführung zu den beschriebenen Höchstwerten der Gesamtkeimzahlen kam. Bei dem ungewöhnlich starken Anstieg des Bakteriengehaltes im Wasser der Elbe, der sicher ebenso in den meisten anderen Flüssen unserer Gegend auftrat, spielte auch das bei längeren Frostperioden ungenügende Funktionieren vieler Biologischer Kläranlagen eine nicht geringe Rolle. In sauberen Flüssen, die frei von aus menschlichen Siedlungen stammenden Verunreinigungen sind, dürfte es dagegen auch bei längerer Eisbedeckung nicht zu einem nennenswerten Anstieg des Bakteriengehaltes mit all seinen nachteiligen Folgen kommen.

Die Sauerstoffzehrung des Flußwassers

Der hohe Gehalt des Elbwassers an Bakterien und Nährstoffen führte zu einer verstärkten Sauerstoffzehrung (s. LUCHT in Monatsberichte der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Hamburg). Da durch die Eisdecke für den größten Teil des Stromes der Gasaustausch mit der Atmosphäre mehrere Wochen lang unterbrochen war, führte das naturgemäß zu einem starken Sauerstoffdefizit im Flußwasser. Die Abb. 6 zeigt den kräftigen Rückgang der Sauerstoffsättigung des Elbwassers im Winter 1962/63 für die Station Gorleben (Km 492). Eine Folge der starken Sauerstoffabnahme waren große Verluste des Fischbestandes. Das Absterben zahlreicher Fische förderte wiederum die Bakterientätigkeit und bewirkte damit eine weitere Erhöhung der Sauerstoffzehrung. Nach BEHNING (1928) nahm dagegen der Sauerstoffgehalt des Wassers der damals noch relativ wenig verunreinigten Wolga bei Saratow nach etwa 4 monatiger Eisbedeckung nur von rund 14,3 auf 8,6 mg O_2 /l ab.

Um die Geschwindigkeit der bakteriellen Sauerstoffzehrung bei niedrigen Wassertemperaturen zu ermitteln, wurden 10 l Glasflaschen mit je 7,5 l Elbwasser von der Station Hamburg-Teufelsbrück (Km 630) gefüllt, mit einer kleinen Nährlösungsmenge versetzt, die als organischen Nährstoff Glucose enthielt (110 mg/l in den Versuchsflaschen), und bei 21,0 und 4,5° C gehalten. Wie aus Abb. 7a deutlich wird, war der im Wasser gelöste Sauerstoff bei 21° C schon nach 2 Tagen und bei 4,5° C erst nach 7 Tagen völlig verschwunden. Der Sauerstoffgehalt nimmt demnach bei den niedrigen Wassertemperaturen viel langsamer ab aber die Bakterientätigkeit ist noch stark genug, um gegebenenfalls in wenigen Tagen den im Flußwasser gelösten Sauerstoff zu verbrauchen. Es kann also in abwasserbelasteten Flüssen schon nach relativ kurzer Zeit unter einer Eisdecke zu einem kräftigen Sauerstoffdefizit kommen, daß sich dann entsprechend schädlich auf den Fischbestand auswirken muß.

Der Einfluß des kalten Winters auf den Stickstoffkreislauf in der Elbe

Der hohe Bakteriengehalt und die dadurch bedingte starke Sauerstoffzehrung des Elbwassers beeinflussten naturgemäß auch sehr nachhaltig den Stickstoffhaushalt des eisbedeckten Flusses.

Normalerweise ist in den Wintermonaten — bei der dann relativ hohen Sauerstoffsättigung — der Stickstoffkreislauf weitgehend auf die Ammonifikation, also die bak-

Legenden zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 4)

Abb. 5: Gravimetrisch bestimmter Detritusgehalt des Elbewassers für die Stationen Schnackenburg, Bleckede und Bunthaus im Winter 1962/63.

Abb. 6: Monatsdurchschnitt der Sauerstoffsättigung des Elbewassers bei der Station Gorleben in den Wintern 1961/62, 1962/63 und 1963/64 (zusammengestellt nach LUCHT, 1961/64).

terielle Freisetzung von NH_4^+ aus Eiweißstoffen und auf die Ammoniakaufnahme durch die Mikroben beschränkt. Die Nitrifikation, also die bakterielle Oxydation von Ammoniak über Nitrit zu Nitrat, kommt bei Temperaturen unter 10°C fast völlig zum Erliegen (RHEINHEIMER, 1959 und 1964) und die Denitrifikation, d. h. die bakterielle Reduktion von Nitrat, ist im eigentlichen Strom infolge des geringen Sauerstoffdefizits unbedeutend. (RHEINHEIMER, 1964).

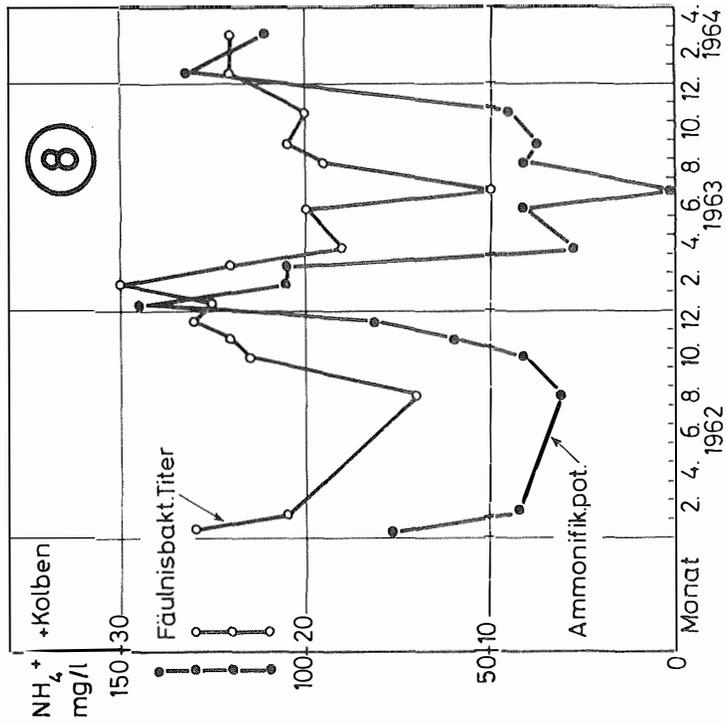
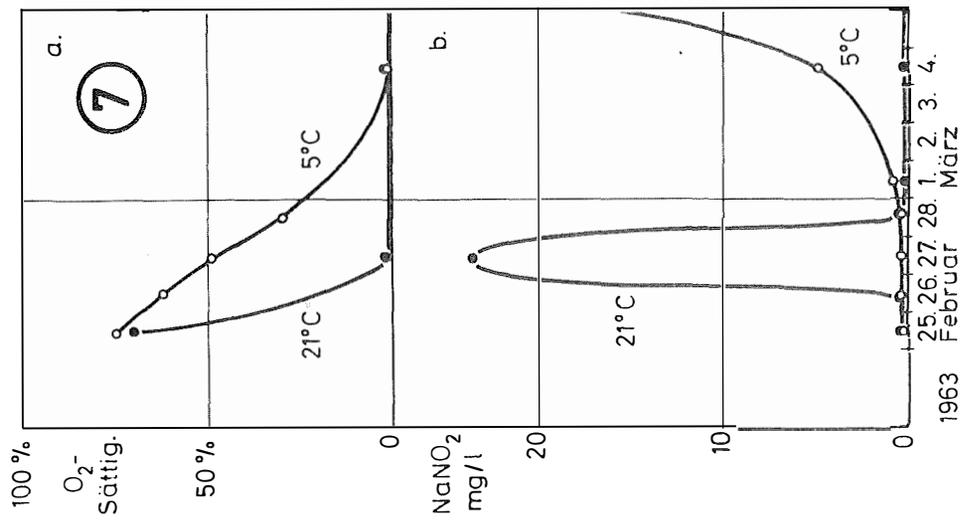
Im Winter 1962/63 kam es dagegen in dem sauerstoffarmen Wasser unter der Eisdecke neben Ammonifikationsvorgängen auch zu einer lebhaften Denitrifikation. Diese kann nur dort stattfinden, wo Sauerstoffmangel herrscht und genügend organische Substanz vorhanden ist, die den nötigen Reduktionswasserstoff liefert. Die bakterielle Nitratreduktion verläuft stets über Nitrit zu freiem Stickstoff. Zu dem ersten Schritt sind zahlreiche Bakterienarten, zu dem zweiten hingegen nur relativ wenige Mikroben befähigt. Daher wird bei lebhafter Denitrifikation zunächst immer reichlich Nitrit gebildet (S. ENGEL, 1958). Das war auch in der Elbe der Fall, denn mit dem Rückgang des Nitratgehaltes ging ein deutlicher Nitritanstieg einher. Während sich der normale winterliche Nitratgehalt in dem Flußabschnitt oberhalb von Hamburg zwischen 5 und $15\text{ mg NO}_3^-/\text{l}$ bewegt, ließ sich hier im Februar 1963 bei den meisten Stationen kein Nitrat mehr nachweisen. (LUCHT in Monatsberichte der W.S.D. Hamburg). Der Nitritgehalt, der bei offenem Wasser normalerweise in den Wintermonaten unter $0,1\text{ mg NO}_2^-/\text{l}$ bleibt, stieg im Januar 1963 auf der Flußstrecke zwischen Schnackenburg und Lauenburg auf $0,2$ bis $1,0\text{ mg NO}_2^-/\text{l}$ an. Im Februar 1963 kam es dann bereits wieder zu einem Rückgang auf $0,05$ bis $0,12\text{ mg NO}_2^-/\text{l}$. Die Denitrifikation war also in diesem Bereich des Stromes trotz des noch weiter gestiegenen Sauerstoffdefizits schon wieder weitgehend zum Erliegen gekommen, da nun das Nitrat fehlte. Unterhalb von Lauenburg, wo auch im Februar noch Nitrat — bis zu $3\text{ mg NO}_3^-/\text{l}$ — vorhanden war, wurde dann auch wieder eine deutliche Zunahme des Nitritgehaltes festgestellt. Ein ähnlicher winterlicher Nitritanstieg fand sich auch in früheren Jahren immer dann, wenn die Elbe längere Zeit eine Eisdecke trug. Im Winter 1963/64 kam es bei starkem Eistreiben ebenfalls zu erhöhten Nitritwerten, wobei das Maximum $0,33\text{ mg NO}_2^-/\text{l}$ betrug.

Interessanterweise war aber die Denitrifikationspotenz, die normalerweise vor allem ein Ausdruck für die Zahl der im Flußwasser vorhandenen, zur Denitrifikation befähigten Mikroben ist (s. RHEINHEIMER, 1964), im Januar und Februar 1963 trotz der lebhaften bakteriellen Nitratreduktion im Fluß nicht größer als in normalen Jahren, während sie in den übrigen Monaten des Winters sehr hoch lag. Nun braucht natürlich eine lebhafte Denitrifikation nicht mit einer ebenso lebhaften Zunahme der Denitrifizierer einherzugehen. Denn diese Mikroben sind — wie früher schon nachgewiesen werden konnte (RHEINHEIMER, 1959, 1964) — stets reichlich in der Elbe vorhanden; zur Denitrifikation kommt es aber nur, wenn Sauerstoffmangel herrscht. Nur dann stellen sich die fakultativ anaeroben Denitrifizierer auf die „Nitratatmung“ um. Unabhängig davon hat aber ein starker Anstieg des Bakteriengehaltes in der Regel auch einen solchen der Denitrifizierierzahl — und damit auch der Denitrifikationspotenz im Gefolge. Es hätte also wenigstens im Februar 1963 — wie die Gesamtkeimzahl — auch die Denitrifikationspotenz kräftig zunehmen müssen. Das Ausbleiben des zu erwartenden Anstieges deutet

Legenden zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 5)

Abb. 7: Sauerstoffzehrung (a) und Nitratreduktion (b) in Elbewasserproben der Station Hamburg-Teufelsbrück nach Zusatz einer Glucose-Nitratnährlösung bei $4,5$ und 21°C .

Abb. 8: Ammonifikationspotenz und Fäulnisbakterien-Titer von Januar 1962 bis März 1964 für die Station Bleckede. Beide Kurven sind im Großen und Ganzen gleichgerichtet, nur im Winter 1962/63 zeigen sich größere Abweichungen.



Tafel 5 (zu G. Rheinheimer)

nun daraufhin, daß in diesem Falle die Denitrifikationspotenz nicht mehr ein hinreichend sicherer Ausdruck für die Zahl der im Flußwasser vorhandenen Denitrifizierer war. Durch die zeitweise Blockierung der Abwasserzuflüsse (s. S. 222) und die durch die Eisdecke herabgesetzte Abflußgeschwindigkeit des Stromes waren die Bakterien wesentlich länger den niedrigen Temperaturen ausgesetzt als sonst, sodaß offenbar eine entsprechende Temperaturadaptation erfolgte. Das mußte sich dann auf die Denitrifikationspotenz auswirken, deren Bestimmung nach einer zweitägigen Bebrütung bei 25° C erfolgt. Bei dieser Temperatur wird die Denitrifikation nun etwas langsamer in Gang kommen als normalerweise, so daß dann die gleiche Bakterienmenge in der gleichen Zeit weniger Nitrat reduziert. Ganz entsprechend blieb auch im Winter 1962/63 der Anstieg der Ammonifikationspotenz hinter demjenigen der Fäulnisbakterienzahl zurück. Das läßt sich sehr gut aus dem Vergleich der Kurven von Ammonifikationspotenz und Fäulnisbakterienzahl für den Zeitabschnitt von Januar 1962 bis März 1964 ablesen. Während beide Kurven in normalen Jahren im Großen und Ganzen gleichgerichtet sind, ergeben sich im Winter 1962/63 größere Abweichungen (Abb. 8). So fand sich die höchste mit Hilfe von Verdünnungsreihen ermittelte Fäulnisbakterienzahl erwartungsgemäß im Februar 1963 — nicht aber die größte Ammonifikationspotenz. Diese wurde im Januar 1963 bestimmt — obwohl die Fäulnisbakterienzahl gerade in diesem Monat, wie die Gesamtkeimzahl nur die normale winterliche Höhe erreichte. Die Potenzbestimmungen ergeben also in extremen Wintern mit anhaltend starken Frostperioden wahrscheinlich durch Kälteadaptation der Bakterien zu niedrige Werte. In normalen Jahren scheint dagegen die Temperaturadaptation der Mikroben infolge der relativ kurzen Zeit, während der sich diese im Fluß befinden, keine große Rolle zu spielen.

Einige im Winter 1962/63 durchgeführte Laborversuche sollten nun klären, welchen Umfang die Denitrifikation im Elbwasser bei niedrigen Temperaturen erreichen kann. Dazu wurden 10 l Glasflaschen mit je 7,5 l Wasser von der Station Hamburg-Teufelsbrück (Km 630) bei 4,5° C und bei 21° C aufgestellt und jeweils eine geringe Menge Nährlösung mit NaNO_3 , K_2HPO_4 und Glucose zugegeben, sodaß das Wasser in den Kolben 30 mg NO_3/l enthielt. Wie Abb. 7b zeigt, kam es bei 21° C nach 2 Tagen zu einer kräftigen Nitratbildung. Das Nitrit wurde dann sehr schnell weiter zu freiem Stickstoff reduziert, so daß Gasblasen aufstiegen und schon einen Tag später kaum noch Nitrit und überhaupt kein Nitrat mehr nachzuweisen war. Nach dem Verschwinden des Sauerstoffs fand also eine außerordentlich kräftige Denitrifikation statt. In den Kolben bei 4,5° C stieg dagegen der NO_2^- -Gehalt zunächst sehr langsam an. Vom 5. Versuchstag an kam es aber auch hier zu lebhafter Denitrifikation, wobei zunächst ebenfalls reichlich Nitrit gebildet wurde. Bei den niedrigen Wintertemperaturen erfolgt die Denitrifikation im Elbwasser zwar langsamer als bei sommerlichen Wassertemperaturen, sie reicht aber aus, um bei starkem Sauerstoffdefizit nach einigen Tagen den gesamten Nitratgehalt des Flußwassers über Nitrit zu freiem Stickstoff zu reduzieren. Dieses scheint auch regelmäßig bei längerer Eisbedeckung des Stromes der Fall zu sein.

Die Untersuchungen wurden in der Mikrobiologischen Abteilung des Staatsinstituts für Allgemeine Botanik in Hamburg ausgeführt. Für ihre Mithilfe möchte ich Fräulein B. v. Appen und den Herren G. H. Schön, E. Bock und H. Hanert bestens danken. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft unterstützte die Arbeiten durch eine Sachbeihilfe.

Literaturverzeichnis

- BEHNING, A. (1928): Das Leben der Wolga. Die Binnengewässer **5**, 1—162. Schweizerbart, Stuttgart.
- DEUTSCHER WETTERDIENST, (1961—1964): Klima-Schnellmeldedienst, Offenbach. — ENGEL, H. (1958): Die Stickstoffentbindung. Handbuch der Pflanzenphysiologie **VIII**, 1083—1106, Springer-Verlag Berlin, Göttingen, Heidelberg. — GILLBRICHT, M. (1964): Einwirkungen des kalten Winters 1962/63 auf die Phytoplankton — Entwicklung bei Helgoland. — Helgoländer wissensch. Meeresuntersuchungen. Sonderb. 4. Meeresbiol. Symp. (im Druck). — GUNKEL, W. (1964): Einwirkungen des kalten Winters 1962/63 auf die Bakterienpopulation der Nordsee. — Helgoländer wissensch. Meeresuntersuchungen. Sonderb. 4. Meeresbiol. Symp. (im Druck). — JANNASCH, H. W. (1953): Zur Methodik der quantitativen Untersuchung von Bakterienkulturen in flüssigen Medien. — Arch. Mikrobiol. **18**, 425—430. — LUCHT, F. (1961—1964): in Qualitative Untersuchungen des Elbewassers. — Monatsberichte der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Hamburg. Verteiler. — LUCHT, F. (1961 bis 1963): in Qualitative Untersuchungen des Elbewassers. Jahresberichte der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Hamburg. Verteiler. — RHEINHEIMER, G. (1959): Mikrobiologische Untersuchungen über den Stickstoffhaushalt der Elbe. — Arch. Mikrobiol. **34**, 358—373. — RHEINHEIMER, G. (1960): Jahresrhythmus der Bakterienkeimzahl in der Elbe zwischen Schnackenburg und Hamburg. — Arch. Mikrobiol. **35**, 34—43. — RHEINHEIMER, G. (1964): Mikrobiologische Untersuchungen in der Elbe zwischen Schnackenburg und Cuxhaven. — Arch. Hydrobiol./Suppl. Elbe-Aestuar. (im Druck).