©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Untersuchungen über den Einfluß der Bakterien auf die Sauerstoffschichtung in Kleingewässern *)

Von Karl Wilhelm Kuchar (Technische Hochschule Wien.)

Bei biochemischen Umsetzungen in Grossgewässern (Seen) spielt bekanntlich die Sauerstoffschichtung eine bedeutende Rolle, und diese Frage war daher auch Gegenstand eingehender Untersuchungen (vgl. Forel, Pesta, Ruttner, Thienemann).

Bei technologischen Fragen der Abwasserreinigung handelt es sich zumeist nicht um Seen, sondern um Kleingewässer, die etwa die Dimensionen von Teichen erreichen. Hier liegt die Situation insofern ganz anders, als die Tagesrhythmik eine tägliche Durchmischung des Wasservolumens mit sich bringt. Diesbezügliche Untersuchungen an Kleingewässern haben gezeigt, dass auch hier vielfach eine Sauerstoffschichtung vorliegt (Gieysztor, Weimann, Kuchar 1950).

Der Sauerstoffgehalt eines Biotopes ist bekanntlich dafür verantwortlich, ob Abbauvorgänge unter aeroben oder anaeroben Verhältnissen verlaufen sollen. Bei geschichteten Gewässern wirkt sich diese Steuerung der Abbauvorgänge noch insofern aus, als in ein und demselben Standort aerobe und anaerobe Vorgänge in verschiedenen Schichten zur selben Zeit ablaufen können. Da dies bei vielen Abbauprozessen in Abwässern wünschenswert ist — z. B. dass einem oxydativen Prozess eine anaerobe Phase mit saurer Gärung voranläuft — begegnet die Untersuchung der genannten Verhältnisse erhöhtem technologischem Interesse.

Der Sauerstoffgehalt wird in vielen Fällen massgeblich von der Bakteriozönose beeinflusst (Kuchar 1950). Daher steht bei solchen Problemen für den Technologen das Studium der Bakterienflora im Vordergrund und es müssen in erster Linie die korrelativen Verhältnisse, die zwischen der Sauerstoffschichtung und der Bakterienflora herrschen, Gegenstand eingehender Untersuchungen sein. Insbesondere kommt es darauf an, festzustellen, unter welchen biozönotischen Voraussetzungen die Bakterienflora als Regulativ für die Sauerstoffschichtung in Betracht kommt.

Die Untersuchungen haben ergeben, dass zahlreiche Standorte in bezug auf den Sauerstoff völlig ungeschichtet sind. Solche Stand-

*) Herrn Professor Dr. Alexander Janke zum 70. Geburtstag in Verehrung gewidmet.

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at
orte können in allen Schichten sauerstoffreich sein; sogar Übersättigung kommt vor. In einem speziellen Fall wurde eine gleichmässige Verteilung des Sauerstoffs ermittelt (9 mg/l), obwohl die Bakterienzahl in Bodennähe zehnmal höher war als in den höheren Schichten. In einem anderen Fall, einem ebenfalls sauerstoffreichen Gewässer, war in allen Schichten der Sauerstoffgehalt 8,2 mg/l, das Defizit entsprechend gleichmässig in allen Schichten 2,8 mg/l, obwohl in den oberen Schichten 9000, in den unteren Schichten 30.000 Bakterien pro ml gefunden wurden. Aber nicht nur bei sauerstoffreichen Gewässern kann jede unmittelbare Abhängigkeit des Sauerstoffgehaltes von der Bakterienflora fehlen, auch in sauerstoffarmen Gewässern, deren Sauerstoffgehalt unter 2 mg/l sinkt, kann dies beobachtet werden. Ein Standort mit ebenfalls gleichmässiger Sauerstoffverteilung in allen Schichten (0,9 mg/l), dem 9,3 mg/l Defizit in allen Schichten entspricht, wies in den oberen Schichten 16.000, in den bodenahen 40.000 Bakterien pro ml auf. In einem anderen (oben 20.000, unten 10.000 Bekterien pro ml), war das Wasser gleichmässig sauerstoffarm. (0,5 mg/l Sauerstoff, mit 9 mg/l Defizit).

Um welche Standorte handelt es sich da? Ihre gemeinsamen Züge sind, erstens die gleichmässige Verteilung des Sauerstoffs — die Gewässer sind also in bezug auf den Sauerstoffgehalt völlig ungeschichtet, selbst dann, wenn die Bakterienzahl in manchen Schichten auf das zehnfache ansteigt — und zweitens ihre hohe Bakterienzahl. Alle diese Standorte, sowohl die sauerstoffreichen, als auch die sauerstoffarmen dieses Typus enthalten als unterste Grenze 10.000 Bakterien pro ml. Ausgesprochen bakterienarme Gewässer sind unter ihnen bisher nicht angetroffen worden.

Zu den sauerstoffreichen Standorten zählen z. B. solche mit leicht saurem Wasser (pH 6,2—6,8). Die Analysen ergaben folgendes: Alkalinität 0,2—4,0 mval, Ammoniak 0,03—0,5 mg/l, Nitrit bis 0,12 mg/l, Nitrat bis 52,3, Phosphat bis 1,0, Ferrieisen 0,05—0,2 mg/l, Ferroeisen fehlt. Die hauptsächlichste Komponente des an sich ziemlich spärlichen Planktons ist *Simocephalus,* im übrigen sind die relativ zahlreichen Dytisciden charakteristisch, dazu kommt *Scenedesmus, Synedra* usw.

In Standorten, deren Sauerstoffgehalt unter 2 mg/l liegt, und die ebenfalls keinen Zusammenhang zwischen Defizit und Bakterienzahl erkennen lassen, haben die Biozönosen ein ganz anderes Gepräge. So sind in einem Cladozeren-Standort, einem polysaproben Gewässer mit *Simocephalus* als vorherrschendem Planktonelement Rotifer-Arten, Eristalislarven und vereinzelt *Navilcula cryptocephala* zu finden. Der Sauerstoffgehalt beträgt zwischen 0,5 und 0,6 mg/l. Die Bakterienzahl ist in den oberen Schichten doppelt so gross wie in den tieferen, und dennoch beträgt die Sauerstoffdifferenz nur 0,1 mg/l. Das Wasser ist also kaum geschichtet. Dasselbe findet man

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

allenthalben auch in anderen Gewässern, wo trotz weit höherer Bakterienzahlen die Sauerstoffbeträge dennoch in allen Schichten gleich bleiben. Der pH-Wert kann zwar ebenfalls knapp unter dem Neutralpunkt liegen, in den meisten Fällen sind jedoch pH-Werte etwas über 7 anzutreffen. Die Alkalinität liegt zumeist zwischen 4 und 6 mval, der Ammoniakgehalt bewegt sich zwischen 0,5 und 0,8 mg/l, Nitrite sind meist nachweisbar (etwa bis 0,3 mg/l), der Nitratgehalt schwankt zwischen 0,5 und 7 mg/l, der Phosphatgehalt zwischen 0,4 und 1 mg/l, der Ferrigehalt zwischen 0,4 und 0,8, der Ferrogehalt zwischen 0,1 und 0,7, der Schwefelwasserstoffgehalt zwischen 0,6 und 2,3 mg/l. Der physiographische Unterschied zwischen den sauerstoffreichen und sauerstoffarmen Typen dieser Gruppe liegt also vor allem darin, dass die ersteren frei von Ferroverbindungen und Schwefelwasserstoff sind. Die Planktonproduktion ist bei sauerstoffarmen Gewässern bedeutend und besteht zur Hauptsache aus Cladozeren, *Simocephalus exspinosus, Ceriodaphnia reticulata, longispina* und *Chydorus,* ferner aus Copepoden, allen voran *Cyclops viridis* und *Eudiaptomus graciloides.* Es gibt auch Standorte, denen die Copepoden fast gänzlich fehlen. Dann gesellen sich solchen Biozönosen öfters *Oscillatoria*-Vegetationen bei. Ganz denselben ökologischen Charakter tragen auch die Bakteriozönosen, wie ich es auch schon bei früheren Untersuchungen wiederholt gefunden habe (Kuchar 1954 a). Einer oder wenigen vorherrschenden Formen gesellen sich charakteristische gesellschaftstreue Kleinarten zu, die aber zahlenmässig zurücktreten, z. B. Pseudomonasarten (Kuchar 1954 b, c). In manchen Standorten dieser Gruppe, die weniger als 2 mg/l Sauerstoff enthalten, kann zuweilen wohl eine Schichtung auftreten; sie können auf Grund ihrer bakteriozönotischen Struktur in Bodennähe höhere Defizite aufweisen, obwohl die Bakterienzahlen in allen Schichten ziemlich gleich sind.

Sehr interessant ist der Fall bei einem Oscillatoriastandort. Hier zeigt sich nämlich, dass mit sinkender Bakterienzahl innerhalb dieses Biotopes auch der Sauerstoffgehalt sinkt. Der Bakteriengehalt der höheren Schichten kann auf das Fünf- bis Sechsfache steigen, ohne dass der Sauerstoffgehalt kleiner wird. Im Gegenteil, der Sauerstoffgehalt wird ebenfalls grösser und damit das Defizit kleiner. Allerdings sind solche Fälle nicht gerade zahlreich. Es handelt sich hier um Standorte mit grossen Defiziten (mindestens um 8 mg/l) und hohen Bakterienzahlen (zwischen 100.000 und einer halben Million); im übrigen ähneln sie den soeben beschriebenen sauerstoffarmen Gewässern, sind also leicht alkalisch; die Alkalinität nimmt Werte von etwa 4 mval an, Ammoniak ist meist etwas höher als in sonst ähnlichen Fällen, erreicht Werte bis 3 mg/l, der Nitratgehalt ist hier sogar beträchtlich, steigt bis 30 und 50 mg/l, allerdings: Nitrite und Phosphate fehlen, und was hier noch unterscheidend auftritt, ist das

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Fehlen der sonst immer anwesenden Ferroverbindungen. Biozönotisch sind solche Standorte den vorigen — aber mit entsprechenden Gattungsverschiebungen — recht ähnlich, also im Sapropel häufig Tubifex, an Vertebraten Molche und Unken, ausgedehnte Oscillatorienlager, Rückenschwimmer und Acarineen, und als hauptsächlichste Planktonkomponente Cladozeren (mit den Gattungen *Daphnia* und *Chydorus*) sowie häufig Chironomidenlarven, die Gattungen *Phacus* und *Trachelomonas*.

Alle diese Standorte sind ungeschichtet, und lassen zugleich keine unmittelbaren Zusammenhänge zwischen Defizit und Bakterienzahl erkennen. Zu dieser Kategorie würden auch alle Gewässer zählen, die zwar geschichtet sind, aber ebenfalls die unmittelbaren Zusammenhänge Sauerstoffgehalt—Bakterienzahl vermissen lassen. Hier kann ein Standort genannt werden, dessen Wasser oben 3,5, unten 0,5 mg/Sauerstoff (entsprechend den Defiziten von 7 und 10 mg/l), aber Bakterienzahlen von 300.000 in den oberen und 50.000 in den sauerstoffärmeren unteren Schichten enthält.

Sowenig also diese Verhältnisse an die Höhe des O_2-Spiegels schlechthin gebunden sind, so ändert sich die Situation, wenn durch übermässige Belastung der mittlere Sauerstoffgehalt, also das Mittel aus Messungen verschiedener Schichten, unter 2 mg/l sinkt. Durch Erhöhung der Bakterienzahl wird keineswegs die gleichmässige Verteilung des Sauerstoffes aufgehoben, eine Umstimmung auf geschichtete Biotope bleibt also in solchen Fällen aus; vielmehr erfolgt die Umstimmung in Richtung Anaerobiose. So übersteigen z. B. in einem Standort die Bakterienzahlen der bodennahen Schichten die der höheren Schichten um ein Vielfaches, und dennoch bewegt sich der Sauerstoffgehalt in allen Schichten innerhalb derselben Grössenordnung. Dies kann nur durch die biozönotischen Eigenheiten des Standortes bedingt sein. Die Untersuchung ergab eine starke Vermehrung der anaeroben Clostridien.

Soweit also Standorte, die zumeist ungeschichtet, die Relation Sauerstoffgehalt—Bakterienzahl, vermissen lassen.

In vielen anderen Fällen machen sich bereits deutliche Ansätze bemerkbar, die eine unmittelbare Abhängigkeit des Sauerstoffgehaltes von der Bakterienzahl erkennen lassen. Es handelt sich hier zumeist um sauerstoffreiche Gewässer, deren Defizite etwa von 0 bis 3 mg/l reichen, aber zuweilen auch um Standorte mit nur 3 mg/l Sauerstoff und weniger, also Gewässer mit zum Teil erheblichen Defiziten. Die Bakterienzahlen sind sehr verschieden. Es finden sich ausgesprochen bakterienarme Gewässer, aber auch Gewässer mit einigen 100.000 Keimen. Auch in bezug auf die Wasserstoffionenkonzentration und die Karbonathärte gibt es bedeutende Unterschiede und das gleiche gilt natürlich auch für alle anderen trophischen Faktoren. Allen diesen Gewässern ist indessen gemeinsam, dass in Schichten

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at
mit höheren Bakterienzahlen auch höhere Defizite auftreten. Allerdings handelt es sich hier nur um Beziehungen in erster Annäherung, die aber immerhin deutlich machen, dass in solchen Gewässern der Sauerstoffgehalt eine Funktion der Bakterienzahl ist.

Die sauerstoffarmen Gewässer dieses Typus sind entsprechend bakterienreich, das pH liegt über 7,1, die Alkalinität ist entsprechend gross (zwischen 4 und 6 mval), Ammoniak, Nitrit und Nitrat sind stets vorhanden, Phosphate in einer Menge von 1 bis 2 mg/l, Ferroeisen zwischen 0,5 und 0,7, ähnlich die Ferriverbindungen, Schwefelwasserstoff zumeist 0,6 mg/l. Ein typisches Copepodenplankton mit Dominanten wie *Eucyclops serrulatus,* Cullicidenlarven, typisches Sapropel mit Tubifex und Oscillatorien-Belägen machen solche Standorte verhältnismässig leicht einer Typisierung zugänglich, da sie sich in wesentlichen Zügen von ähnlichen polysaproben Gewässern, die aber keine sichtbare Abhängigkeit des Sauerstoffgehaltes zeigen, gut abheben. Clostridien fehlen zumeist, die Gattung *Bacillus* ist durch mehrere Arten vertreten, darunter typische Kleinarten (vgl. Kuchar 1954 c), Corynebakterien durch *Bact. latericium* und *Bact. nubilum,* Aerobacterarten, schliesslich kommen Pseudomonaden vor. Die Sauerstoffschichtung in diesen Standorten ist in den meisten Fällen ausgeprägt, das Oberflächenwasser enthält z. B. 3 mg Sauerstoff pro Liter, die bodennahen Schichten nur 0,5 — das entspricht den Defiziten 7 und 9 mg/l — die Bakterienzahlen sind in der sauerstoffreicheren Schicht 40.000, in der sauerstoffärmeren 140.000/ml. Auch bei weit geringerem mittleren Sauerstoffgehalt sind in der O_2-ärmeren Schicht die höheren Bakterienzahlen: oben 1 mg/l Sauerstoff und 1000 Bakterien/ml, unten 0,1 mg/l Sauerstoff und 50.000 Bakterien/ml. Bei so niedrigem Sauerstoffgehalt also steht die Bakterienzahl fernab von jedem quantitativen Verhältnis zum Sauerstoff, was eben darin seine Begründung hat, dass die Soziologie beider Schichten stark voneinander abweicht. Die ausgeprägt aeroben Pseudomonaden sind oben angereichert, während die fakultativ aeroben Arten vor allem in den tieferen Schichten auftreten.

Wenn unter den sauerstoffarmen Gewässern dieser Kategorie ungeschichtete vorkommen, dann sind auch die Bakterienzahlen in allen Schichten dieselben. So sind in einem Gewässer mit 2 mg/l Sauerstoff in allen Schichten — mit dem Defizit 7,5 mg/l — in den bodennahen Schichten 10.000 Bakterien gegenüber 9000 der oberen Schichten im ml gefunden worden.

Die sauerstoffreichen Gewässer nun, die sehr wohl eine Hand in Hand mit der Bakterienschichtung einhergehende Schichtung zeigen, also jene gewisse Unmittelbarkeit der Korrelationen Bakterienzahl—Sauerstoffgehalt erkennen lassen, können nun auch recht verschiedenen Charakter haben. Es gibt solche, die mit Sauerstoff übersättigt

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

sind, und solche, deren Defizit bis zu 3 mg/l reicht; solche, deren Bakterienzahlen um 1000 betragen, aber auch solche, wo 100.000 überschritten wird. Das pH kann oberhalb oder unterhalb des Neutralpunktes liegen, die Karbonathärte ist zuweilen ziemlich hoch, zuweilen aber auch gering. Stickstoffverbindungen sind zumeist vorhanden, können aber auch völlig fehlen, insbesondere waren bei den Nitraten die grössten Schwankungen anzutreffen. Ferriverbindungen sind meist vorhanden und zwar in Mengen von rund 0,1 bis 0,3 mg Fe/l, Ferroverbindungen und Schwefelwasserstoff fehlen. Bei diesen sauerstoffreichen Standorten, die also eine gewisse Abhängigkeit des Sauerstoffgehaltes von der Bakterienflora deutlich erkennen lassen, handelt es sich zumeist um oligotrophe Gewässer mit ausgeprägten Planktonspektren mit den Gattungen *Bosmina, Cyclops, Daphnia, Simocephalus* mit Desmidiaceen und Diatomeen; hier treten vor allem die Gattungen *Cymbella, Eunotia, Pinnularia, Melosira* u. a. in den Vordergrund; ferner Chlorophyceen, stellenweise auch *Pseudanabaena* und *Microcystis.* Die Gattungen *Flavobacterium, Alcaligenes* und *Pseudomonas* sind vorherrschend, Micrococcaceen und Bacillaceen treten zurück.

Selbst in sehr sauerstoffreichen Gewässern mit geringen Defiziten kann eine deutliche Schichtung auftreten, und auch hier entspricht das höhere Defizit der höheren Bakterienzahl. Als Beispiel möge folgender Fall dienen: In der oberen Schicht beträgt das Defizit 0,9 mg/l, die Bakterienzahl 120.000/ml, in der unteren Schicht ist das Defizit geringer (0,3), die Bakterienzahl mit 60.000 ebenfalls.

Dass in diesen Fällen an der Sauerstoffschichtung die Bakterien unmittelbar beteiligt sind, wird besonders dann klar, wenn man Beispiele mit indirekter Schichtung heranzieht. Solche Typen habe ich wiederholt gefunden. Es handelt sich immer nur um sauerstoffreiche oder relativ sauerstoffreiche Gewässer, deren Defizite sich also entweder in ganz bescheidenem Rahmen halten (um 0,75 mg), es kommen aber auch Gewässer vor, deren Defizit bis 2 oder 3 oder sogar etwas über 3 mg/l hinausreicht.

Die Bakterienzahlen sind hier durchaus dem Defizit entsprechend, in jenen Schichten höher, in denen höhere Bakterienzahlen vorkommen, wenn auch hier ebenso wenig die Beziehungen linear in Erscheinung treten wie in den vorhin angeführten Fällen. Als Beispiel diene ein Gewässer mit 7 mg/l Sauerstoff in den oberen Schichten, 10 in den unteren; die entsprechenden Defizite sind 3,3 und 2,5 mg/l und die Bakterienzahlen in der sauerstoffreicheren Schicht 6000, in der sauerstoffärmeren 30.000/ml. Fälle solcher Art sind nicht häufig, aber immerhin da und dort anzutreffen. Und wieder ist hier eine einheitliche Linie nicht zu erkennen. Es kommen auch solche mit kleinen Bakterienzahlen vor. (8 mg/l Sauerstoff oben, 9 unten,

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

mit den Defiziten 1,7 und 0,75, die Bakterienzahlen sind entsprechend 400 und 300). Es handelt sich also sowohl um bakterienreiche als auch um bakterienarme Biotope, deren Wasser leicht alkalisch oder auch leicht sauer sein kann, wobei die Alkalinität von 1 bis 6 reicht, der Ammoniakgehalt meist klein oder gleich Null ist, der Nitritgehalt bis 0,1 sein kann, (meistens aber wird kein Nitrit gefunden), der Nitratgehalt kann sich über einen weiten Bereich erstrecken (von Null bis 20 mg/l), Eisen fehlt oder kommt nur in der dreiwertigen Stufe bis etwa 0,2 mg/l vor, Schwefelwasserstoff fehlt. Diesen Standorten, so heterogen sie sonst sein mögen, ist aber eines gemeinsam: Sie sind indirekt geschichtet, und zwar sowohl in bezug auf den Sauerstoffgehalt als auch in bezug auf die Bakterienzahl. Es sind also in den tiefern, sauerstoffreicheren Schichten auch die geringeren Bakterienzahlen anzutreffen.

Es handelt sich hier natürlich um oligotrophe Gewässer, die z. T. völlig cladozerenfrei sein können, und in diesem Falle ausser *Cyclops*-Stadien juvenile Ostracoden-Stadien, *Asplanchna, Brouchionus, Keratella,* und Oligochäten, *Netrium-, Penium-, Closterium*-Arten, *Cyclotella-, Tabellaria-, Fragilaria*-Arten aufzuweisen haben. Vereinzelte Perliden- und Chironomidenlarven und die Gattung Assellus schliessen sich an, am Boden vereinzelt Hydren. Es kommen aber auch Typen vor, die durch die Gattungen *Closterium, Micrasterias, Cosmarium,* die Chlorophyceen *Bulbochaete, Oedogonium, Volvox* usw. nebst den Gattungen *Bosmina, Daphnia, Simocephalus* sich deutlich von den vorigen unterscheiden. Dazu tritt in diesen eine *Flavobacterium*-Gesellschaft auf, in jenen handelt es sich zumeist um Pseudomonasverbände.

Die unmittelbare Abhängigkeit des Sauerstoffgehaltes von der Bakterienzahl kann soweit gehen, dass direkte Proportionalität resultiert; also mit dem Anstieg der Bakterienzahl auf das n-fache das Defizit ebenfalls auf das n-fache steigt. Dies ist in Fällen ersichtlich, die wieder nicht einer einheitlichen biozönotischen Linie folgen, sondern verschiedener ökologischer Zugehörigkeit sind. Zumeist handelt es sich um sauerstoffreiche Gewässer, mit kleinen Defiziten (bis etwa 1 mg/l), aber auch solche finden sich darunter, deren Defizit auf 3 oder gar — in tieferen Schichten — bis 6 mg/l ansteigen kann. Bemerkenswert erscheint, dass sich unter solchen Standorten zumeist bakterienreiche gefunden haben, was aber nicht ausschliesst, dass auch bakterienarme Gewässer das Phänomen der unmittelbaren Abhängigkeit des Sauerstoffgehaltes von der Bakterienflora in Erscheinung treten lassen.

Um solche Fälle vorweg zu nehmen: Es handelt sich einerseits um Gewässertypen der leicht mesosaproben Stufe, wo aber der Sauerstoffgehalt noch sehr hoch ist, zumindest in den oberen Schichten, in denen auch Übersättigung herrschen kann. Anderseits kommen

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

hier noch Typen in Betracht, die bei geringer Bakterienzahl relativ hohe Defizite aufzuweisen haben. Zunächst die erste Gruppe der bakterienarmen Gewässer: Sie sind zumeist schwach sauer und weisen höchstens mittlere Alkalinitätswetre auf (um 3—4 mval), der Ammoniakgehalt und Nitratgehalt ist relativ hoch (etwa von 2—7 mg/l), auch der Eisengehalt ist eher etwas höher als in ähnlich gelegenen Fällen. Nitrite, Phosphate, Schwefelwasserstoff und zweiwertiges Eisen fehlen. Das Auffallendste daran ist nun, dass selbst bei Übersättigung der oberen Schichten in Bodennähe verhältnismässig hohe Defizite auftreten, und diese Unterschiede im Sauerstoffgehalt durchaus im Einklang mit den Bakterienzahlen stehen. In solchen Standorten fand ich öfters Rotatorien tonangebend, von Entomostraken sowohl Cladozeren als auch Copepoden, zahlreiche Ephemeridenlarven und Chlorophyceen. Die Proteusgruppe ist mehrfach vertreten, desgleichen einige Bacilllusarten, *Bac. fusiformis, megaterium, sphaericus*; *Bacterium bruneum, Corynebacterium helvolum* kommen vereinzelt vor.

Die andere Gruppe von bakterienarmen Gewässern ist davon grundsätzlich verschieden durch das fast völlige Fehlen von Entomostraken. Es liegen hier Fälle ausgeprägter Mesosaprobie in der β-Stufe vor, mit leicht alkalischem Wasser, ziemlich hoher Alkalinität (um 5 mval), Stickstoffverbindungen sind stets vorhanden, auch Nitrite, Phosphate (um 0,1 mg/l); Eisen fehlt. Sie überraschen durch ihre unerwartet kleine Bakterienzahl, im übrigen ist aber der Sauerstoffgehalt der Bakterienzahl konform. Soweit also Standorte mit niedriger Bakterienzahl, in denen die unmittelbaren Zusammenhänge zwischen Bakterien und Sauerstoffgehalt deutlich zutage treten.

Wie bereits erwähnt, sind Standorte, die eine nahezu lineare Abhängigkeit des Sauerstoffgehaltes vom Bakterioplankton zeigen, zumeist bakterienreich. Die Standorte, die hier in Betracht kommen, können viel oder wenig Sauerstoff enthalten. Zunächst sollen die sauerstoffreichen Wässer behandelt werden:

Das Defizit dieser Standorte erreicht kaum mehr als 1 mg/l, bewegt sich zumeist um 0,2. Das pH liegt immer im alkalischen Bereich (bis 7,4), die Alkalinität reicht von 3,5 bis 5 mval. Ammoniak fehlt oder es sind höchstens 0,05 mg/l vorhanden, Nitrite fehlen, Nitrate fehlen oder sind bis 2 mg/l vorhanden. Auch Phosphate fehlen oder erreichen 0,4 mg/l, zweiwertiges Eisen fehlt, dreiwertiges ist von 0,03 bis 0,5 mg/l nachweisbar. Es handelt sich hier um ausgesprochene *Spirogyra*-Standorte, mit zuweilen auch stärkerem Cormophytenbewuchs; von Cladozeren tritt vor allem *Daphnia longispina* auf. *Bacterium disciformans, Bact. cloaceae, caeruleum, Pseudomonas fluorescens, caudata, punctata* sind fast immer vorhanden.

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Bei den bakterienreichen Standorten mit geringen Sauerstoffmengen handelt es sich um α-mesosaprobe Gewässer, deren Defizite bis 8 und 9 mg/l reichen. Das pH ist um 7,5, die Alkalinität ziemlich hoch (um 7 mval), der Ammoniakgehalt kann bis 7 mg/l steigen, der Nitritgehalt ist rund 0,1 mg/l, der Nitratgehalt bis 1 mg/l, der Phosphatgehalt bis 0,75 mg/l, Ferroeisen ist von 0,2 bis 1,2, Ferrieisen um 0,4 mg/l nachweisbar; Schwefelwasserstoff bis 1,7 mg/l. Hierzu zählen ökologisch sehr verschiedene Typen und zwar können es sowohl ausgesprochene Desmidiazeen- und Cyanophyceenstandorte, als auch Cladozerenstandorte sein; die Gattungen *Micrococcus, Sarcina, Proteus* und *Escherichia* kommen immer wieder vor.

Ebenso wie bei den Standorten mit nur angenäherter Relation Bakterienzahl-Sauerstoffgehalt, illustrieren auch hier vielleicht solche Fälle die Situation am besten, die durch eine indirekte Schichtung ausgezeichnet sind. An diesen Fällen nämlich tritt die direkte Abhängigkeit am deutlichsten hervor. Indirekte Schichtung ist verschiedentlich anzutreffen. Als Beispiel wäre ein Standort zu nennen mit alkalischem Wasser, einer Alkalinität von 3 bis 4 mval, Ammoniakverbindungen bis 0,05 mg/l; Nitrite, Phosphate, Ferroverbindungen fehlen, Nitrate zwischen 1 und 3 mg/l, Ferrieisen unter 1 mg/l. Im Plankton häufig *Daphnia longispina,* auch Cyclopiden, Desmidiazeen, häufig Dytisciden. *Bac. aquatilis, annulatus, zopfii, vulgare* vereinzelt. Der Sauerstoffgehalt ist deutlich geschichtet, und hier kehrt nun die strenge Abhängigkeit von der Bakterienzahl wieder. Der Anstieg der Bakterien auf das fünffache wird vom Anstieg des Defizits auf das fünffache begleitet. Der technologisch interessante Schluss, den diese Beobachtungen zulassen, ist aber der, dass auch bei stärkerer Bakterienentwicklung die Schichtung erhalten bleibt und gerade solche Biotope, die einer stärkeren Bakterienentwicklung gewachsen sind, in besonderem Masse dann verwendbar erscheinen, wenn es darum geht, dass die Wasseraufbereitung beide Phasen, die anaerobe und die aerobe in einem Standort durchlaufen soll.

Zusammenfassung.

Die für Abbauprozesse technologisch interessanten Kleingewässer können in bezug auf die Sauerstoffverteilung geschichtet oder ungeschichtet sein.

Das Auftreten der Schichtungen ist nicht an bestimmte mittlere Werte des Sauerstoffspiegels gebunden, vielmehr als Funktion der Bakteriozönosen grundsätzlich in der Biozönotik des betreffenden Standortes begründet. Eine gegebene Schichtung kann selbst dann bestehen bleiben, wenn die Bakterienzahl auf ein vielfaches ansteigt, d. h. gewisse Standorte mit ausgeprägter Schichtung sind auch bei stärkerer Belastung für anaerobe wie aerobe Abbauprozesse verwendbar.

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Die homogene Verteilung des Sauerstoffes in den untersuchten ungeschichteten Gewässern bleibt selbst bei starker partieller Bakterienentwicklung gewahrt und solche Standorte sind entweder nur für aerobe oder nur für anaerobe Prozesse geeignet. Sie sind stets bakterienreich, der Sauerstoffgehalt kann unter 2 mg/l sinken. Eine Umstimmung in geschichtete Biotope scheint in weitem Rahmen nicht möglich zu sein.

Literatur.

Forel, F. A. Handbuch der Seenkunde. Stuttgart, Engelhorn. 1901.

Pesta, O. Hydrobiologische Studien über Ostalpenseen. Arch. f. Hydrob. Suppl.-Bd. **3**, 1923.

Ruttner, F. Grundriss der Limnologie. 2. Aufl. 1952.

Thienemann, A. Der Sauerstoff im eutrophen und oligotrophen See. Ein Beitrag zur Seetypenlehre. Binnengewässer. 4. Stuttgart 1928.

Gieysztor, M. Limnologische Untersuchungen an einigen Kleingewässern. Arch. d'Hydrobiologie et d'Ichthyologie. Suwalki. 8. 1934.

Weimann, R. Hydrobiologische und hydrographische Untersuchungen an zwei teichartigen Gewässern. Beiheft Bot. Zbl. **51**, Abt. II. 1933.

Kuchar, K. Bakterien und Sauerstoff in Kleingewässern. Arch. f. Hydrobiol. **44**, 1950.

— Bakteriologische und limnologische Untersuchungen an einem Lemnagewässer. Arch. f. Hydrobiol. **49**, 1954 a.

— *Pseudomonas jankei* n. sp., eine nichtverflüssigende Art mit Ringbildung in Peptonwasser. Zbl. f. Bakt. I. **160**, 1954 b.

— Der Formenkreis von *Pseudomonas punctata* (Zimm.) Chester. Zur Fassung der Gattung *Pseudomonas* in Bergeys Manual. Zbl. f. Bakt. I. **160**, 1954 c.

— Zur Differentialdiagnose der Megaterium-Cereus-Gruppe. Zbl. f. Bakt. II. **107**, 1940 c.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Sydowia

Jahr/Year: 1957/1958

Band/Volume: 11

Autor(en)/Author(s): Kuchar Karl Wilhelm

Artikel/Article: Untersuchungen über den Einfluß der Bakterien auf die Sauerstoffschichtung in Kleingewässern 327-336