©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

DIE ROLLE DES PHYTOPLANKTONS ALS SAUERSTOFFPRODUZENT IN EINEM EUTROPHEN BAGGERSEE

Ludwig Peichl

Summary:

This is a report an the distribution of oxygen in time and space in a eutrophic gravel pit under the influence of different phytoplankton densities and radiations. It is also shown that the shallow gravel pits are endangered during the stratification if a high phytoplankton density exists. That means: the rapid development of O_2-deficiency with all the consequences for the corresponding ecosystem.

1. Wegen ihrer geringen Tiefe sind Baggerseen bei hohem Nährstoffimport besonders gefährdet

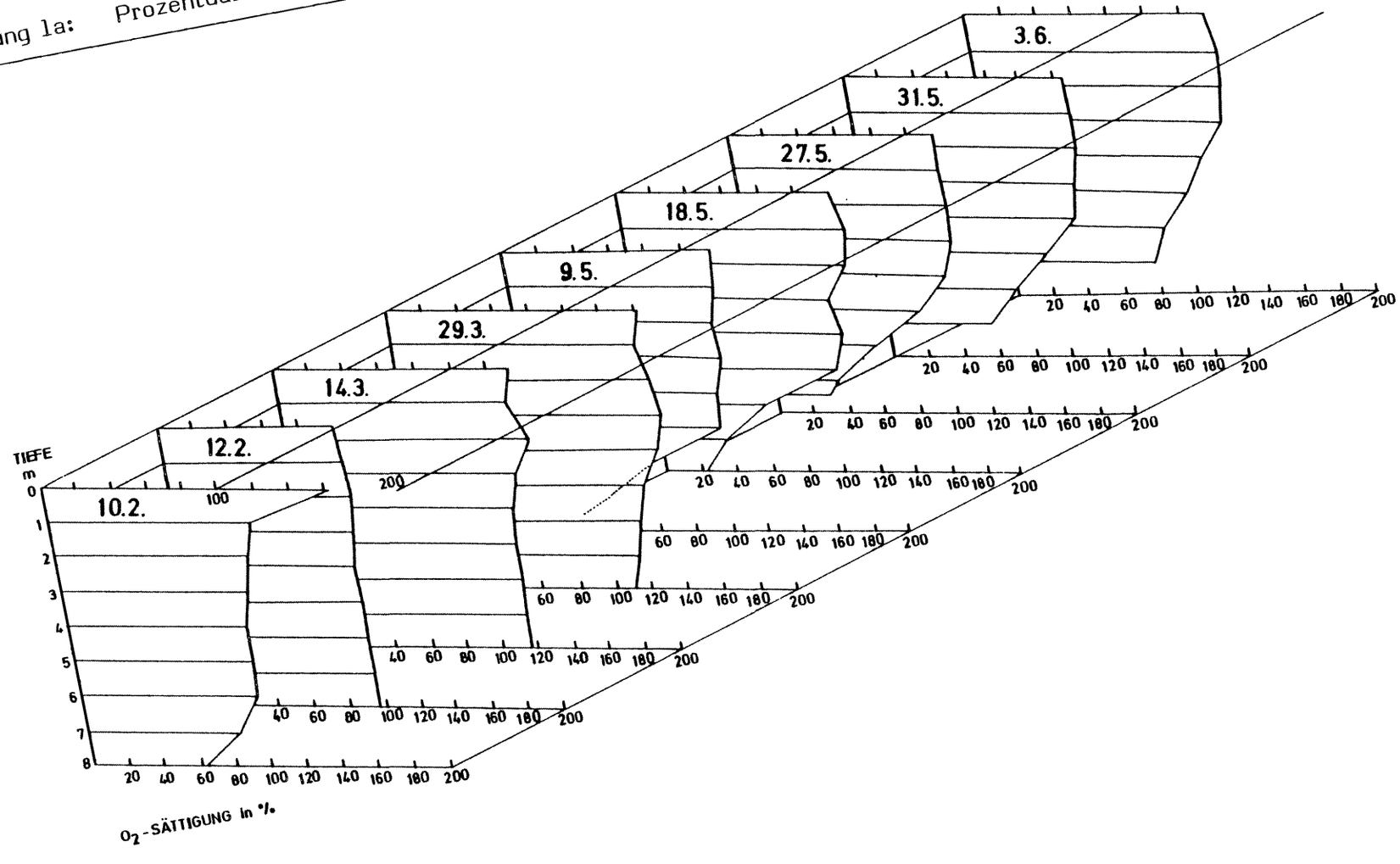
Im Referat "Der Wasseraustausch durch Grundwasserdurchfluß im Baggersee und seine Bedeutung für die Eutrophierung" (O. SIEBECK) wird bereits erwähnt, daß Seen mit geringer Tiefe bei anhaltend hohem Nährstoffimport gefährdeter sind als tiefe Seen, nicht zuletzt, weil die trophogene Zone in flachen Seen gegenüber der tropholytischen Zone besonders groß ist. Bei günstigen Einstrahlungsbedingungen werden in der trophogenen Zone hohe Phytoplanktondichten aufgebaut; das führt zu einer enormen Belastung der tropholytischen Zone. Der Sauerstoffvorrat wird angegriffen. Werden diese beiden Zonen durch die sommerliche Sprungschicht voneinander getrennt, ist es nicht mehr möglich, daß der in der trophogenen Zone im Überschuß gebildete Sauerstoff in die Tiefe verfrachtet wird. Es entstehen hohe Sauerstoffdefizite oder sogar Anaerobie mit all ihren Folgen. Da jedoch in flachen Seen die trophogene Zone oft bis in das Hypolimnion reicht, ist der Sauerstofftransport in die Tiefe auch im geschichteten See möglich. In diesem Fall hängt die Sauerstoffversorgung in der Tiefe vor allem von der Phytoplanktondichte ab. Bei sehr hoher Dichte wird die Tiefenausdehnung der trophogenen Zone verkleinert und die tropholytische Zone dehnt sich weiter nach oben aus. Bei geringer Dichte reicht die trophogene Zone manchmal sogar bis zum Seegrund.

Am Fasanerie See, einem Baggersee im Norden Münchens mit einer maximalen Tiefe von acht Metern, habe ich diese Zusammenhänge über einen längeren Zeitraum verfolgt und möchte sie hier darlegen.

2. Verlauf der Sauerstoffschichtung im eutrophen Baggersee

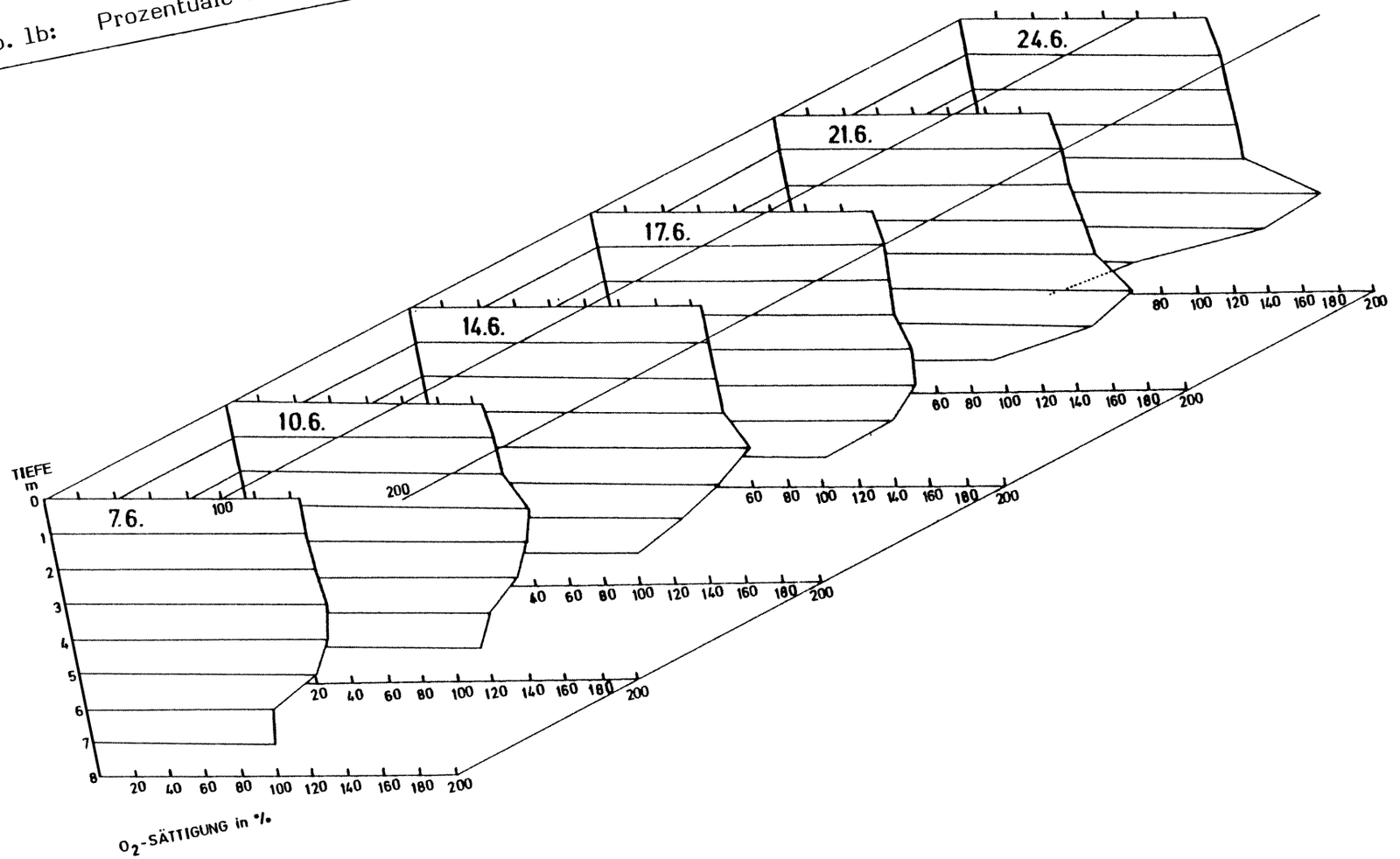
Die Abbildungen 1a bis 1d (S. 130 bis 133) zeigen den Verlauf der prozentualen Sauerstoffsättigung von Februar bis August 1978 im Fasanerie See. Nach der völligen Durchmischung des Sees im Winter beginnt sich bis Ende März langsam eine Schichtung aufzubauen. Die Sauerstoffsättigung liegt bei etwa 140 % bis vier Meter Tiefe und geht langsam zurück auf 110 % bis zum Seegrund. Das sich entwickelnde Metalimnion grenzt bereits die hohe Sauerstoffsättigung der oberen Meter von der

Abbildung 1a: Prozentuale Sauerstoffsättigung über die Seetiefe



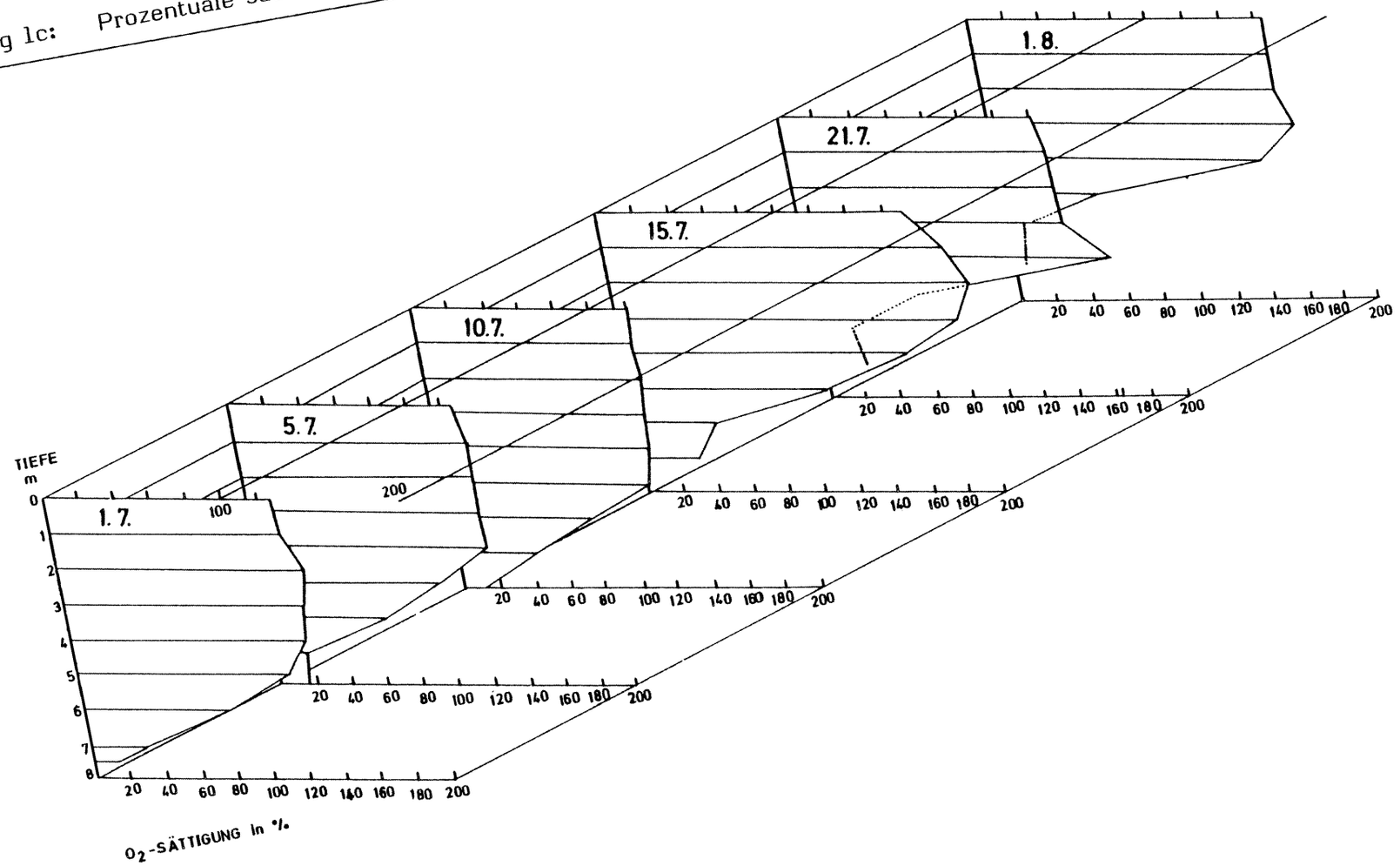
©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

Abb. 1b: Prozentuale Sauerstoffsättigung über die Seetiefe



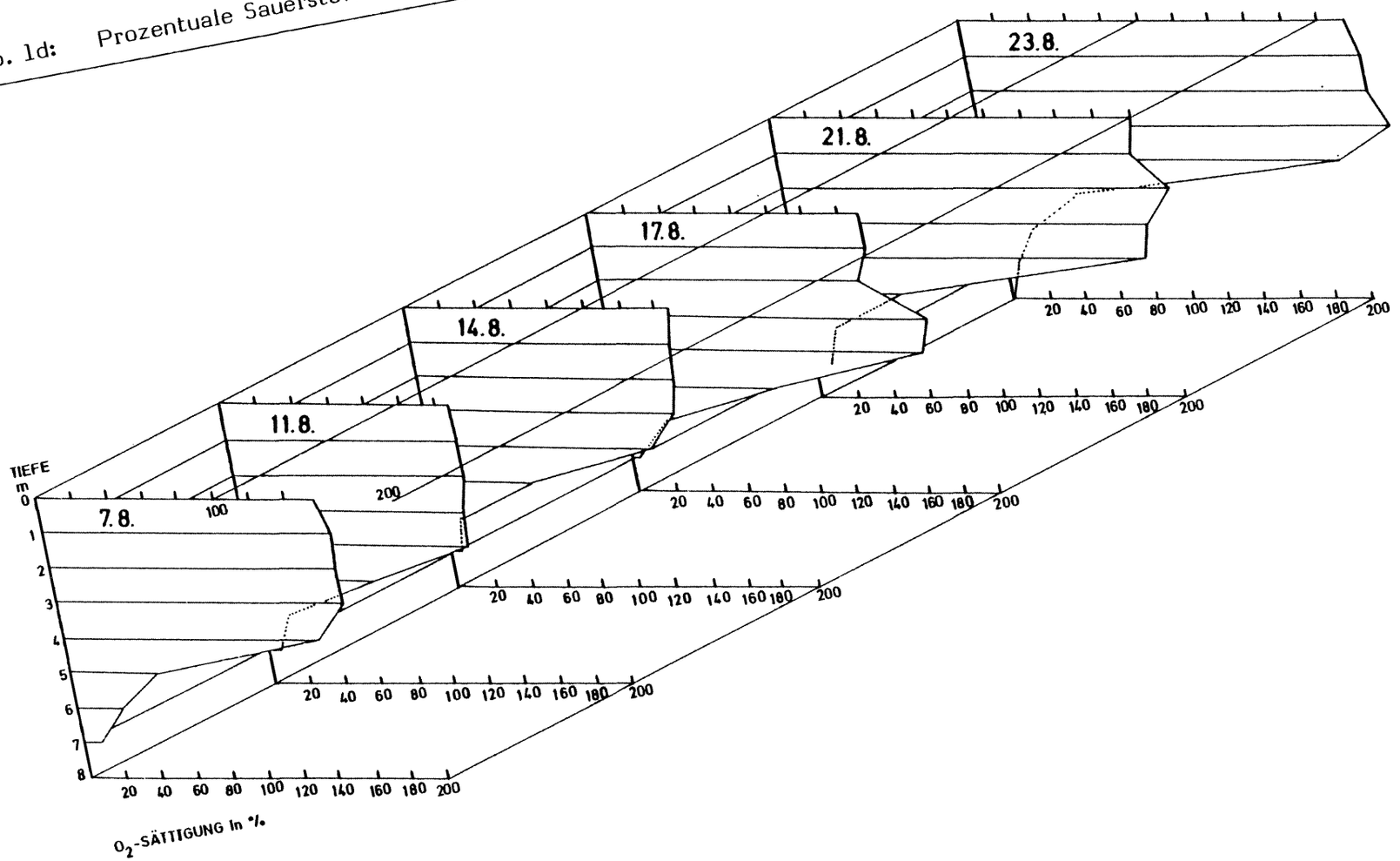
©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

Abbildung 1c: Prozentuale Sauerstoffsättigung über die Seetiefe



©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

Abb. 1d: Prozentuale Sauerstoffsättigung über die Seetiefe



©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

darunterliegenden Zone ab. Die wegen der geringen Phytoplanktondichte noch günstigen Lichtverhältnisse erlauben ausreichende Sauerstoffproduktion bis zum Seegrund. Dann jedoch ändert sich das Bild drastisch. Der Sprung von Ende März bis Anfang Mai ist typisch: Die einsetzende Frühjahrsvegetation führt zur Zweiteilung des Seeprofils in eine trophogene und eine tropholytische Zone. Der Sauerstoff schwindet fast völlig, nur die oberen Schichten werden wegen des bis fünf Meter reichenden Epilimnions ausreichend mit Sauerstoff versorgt. Erst das einsetzende Zooplanktonwachstum und die damit verbundene Phytoplanktonreduktion führen allmählich wieder zu einer Verbesserung der Sauerstoffverhältnisse. Ende Juni setzt dann die für einen stark eutrophen See so typische Sommerperiode ein, mit hohen Sauerstoffübersättigungen in der trophogenen und Sauerstoffabnahme in der tropholytischen Zone, die bis zum völligen Sauerstoffschwund über dem Seegrund führt. Drei sich in ihrer Tendenz wiederholende, aber in ihrem Ausmaß unterschiedliche Phytoplanktonzyklen, die den Verlauf der Sauerstoffverteilung entscheidend beeinflussen, möchte ich zur näheren Erklärung herausgreifen.

3. Einfluß der Phytoplanktondichte auf den Sauerstoffhaushalt

Als Parameter zur Bestimmung der Phytoplanktondichte habe ich das aktive Chlorophyll a ausgewählt. Abbildung 2a (S. 136) zeigt die Konzentration an aktivem Chlorophyll a und die Sauerstoffbrutto- und -nettoproduktion vom 3.6.78. Eine niedrige Konzentration an aktivem Chlorophyll a von ca. 3 µg/l in den oberen Metern, der orthograde Verlauf der Produktionskurven, die positive Nettoproduktion in Seegrundnähe und eine große Secchi-Sichttiefe bis fast sechs Meter zeigen deutlich, daß sich die trophogene Zone fast bis zum Seegrund erstreckt. Die Folge davon ist, daß sich die Sauerstoffsättigung trotz schlechter Witterung zu dieser Zeit in sieben Meter Tiefe von knapp 80 % am 3.6.78 auf einen Maximalwert von fast 120 % am 10.6.78 erhöht (Abb. 1a, 1b). Die deutlich ausgebildete Sprungschicht zwischen zwei bis drei Meter schließt einen Sauerstofftransport in die Tiefe aus. Die günstigen Transmissionsverhältnisse führen dazu, daß bis 10.6.78 die Konzentration an aktivem Chlorophyll a in allen Tiefen ansteigt; sie liegt nun bei 7 bis 9 µg/l. Dieser Zuwachs sei innerhalb meiner Darstellung als 1. Wachstumsperiode bezeichnet. Die Sichttiefe reicht nur noch bis knapp über drei Meter (Abb. 2b, S. 136). Die Folge ist, daß sich die trophogene Zone bei etwa gleichbleibender Wetterlage nach oben verlagert. Die Produktionskurve wird klinograd, die Sauerstoffnettoproduktion in sieben Meter Tiefe negativ, d.h. der Sauerstoffvorrat wird angegriffen, was innerhalb von 14 Tagen zu einem Sauerstoffschwund auf 70 %-Sättigung in sieben Meter Tiefe und 20 % am Seegrund führt (Abb. 1b/24.6.78). Eine Abnahme des Phytoplanktons bis ungefähr 4 µg/l aktivem Chlorophyll a am 24.6.78 (Abb. 2c, S. 137), das entspricht wieder den Verhältnissen vom 3.6.78, kann diesen Sauerstoffverlust in sieben und acht Meter Tiefe nicht mehr rückgängig machen, da durch Sedimentation die Konzentration an aktivem Chlorophyll a (Phytoplanktondichte!) in sechs Meter Tiefe auf 14 µg/l ansteigt. Das führt zu einer rapiden Verschlechterung der Lichtverhältnisse und zu einem Anstieg der Zehrung. Die trophogene Zone reicht am 24.6.78 etwa einen halben Meter in die Sprungschicht hinein. Die sich dort rapide erhöhende Phytoplanktonkonzentration (die Dichtezunahme des Wassers im Metalimnion ist dafür verantwortlich) hat, wegen der darüberliegenden guten Transmissionsbedingungen, ein Sauerstoffproduktionsmaximum in fünf Meter Tiefe zur Folge. Die Sauerstoffsättigung

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

beträgt hier 180 %; in sechs Meter Tiefe sind es noch 140 % (Abb. 1b). Diese Entwicklung wird durch die Lage des Metalimnions mit einem Temperaturgradienten von 18°C auf 14°C wesentlich begünstigt. Ein langsamer Zuwachs der Phytoplanktondichte in den oberen Metern, die 2. Wachstumsperiode, und eine für diese Jahreszeit ungewöhnliche Wetterverschlechterung verändern rasch das vorliegende Gesamtbild. Am 1.7.78 (Abb. 2d, S. 137) ist die klar ausgebildete Schichtung in Epi- und Metalimnion aufgehoben, das Sauerstoffmaximum bei fünf Meter verschwunden. Die trophogene Zone reicht nur mehr bis drei Meter Tiefe, darunter überwiegt die Sauerstoffzehrung gegenüber der Produktion. In sieben Meter Tiefe sind nur noch 30 % Sauerstoffsättigung nachweisbar, in siebeneinhalb Meter nur noch 10 %. Das sich in dieser 2. Wachstumsphase nun explosionsartig vermehrende Phytoplankton macht jede Möglichkeit der Regeneration der Sauerstoffverhältnisse in der Tiefe zunichte. Am 10.7.78 (Abb. 2e, S. 138) liegt die Konzentration an aktivem Chlorophyll a in der trophogenen Zone bei bis zu 28 µg/l, die Sichttiefe beträgt nur 1,40 m. Das Produktionsmaximum liegt einen Meter unter der Seeoberfläche und nimmt mit wachsender Tiefe rapide ab. Daß die Sauerstoffsättigung trotzdem bis fünf Meter Tiefe noch 120 % ausmacht (Abb. 1c), ist nur die Folge der völligen Durchmischung bis in diese Tiefe. Das extrem schlechte Sommerwetter hätte fast wieder zu einer Vollzirkulation geführt.

An diese 2. Wachstumsperiode schließt sich wiederum eine Abnahme der Phytoplanktonkonzentration in der trophogenen Zone an. Am 1.8.78 (Abb. 2f, S. 138) bleiben jedoch im Gegensatz zum 24.6.78 von ca. 7 µg/l aktives Chlorophyll a übrig, die "Belastung" der tropholytischen Zone wächst auf 24 µg/l an. Während die Phytoplanktonabnahme nach der 1. Wachstumsphase noch eine Ausdehnung der trophogenen Zone bis fünf, z.T. bis sechs Meter Tiefe zur Folge hatte und dort zu einer Sauerstoffregeneration, ja einem Sauerstoffüberschuß von 180 % bzw. 140 % Sättigung geführt hatte, hat die Phytoplanktonabnahme nach der 2. Wachstumsphase keine derartig positive Wirkung mehr. Die Konzentration an aktivem Chlorophyll a liegt nun bei 7 µg/l. Die Sichttiefe hat sich verbessert, reicht aber nicht weiter als 1,80 m. So bleiben die Lichtverhältnisse relativ ungünstig; die Produktion reicht daher nur bis in eine Tiefe von etwa vier Meter. Damit reicht sie bis in das Metalimnion, doch verhindert der Temperaturgradient von 22°C (3 m) auf 14°C (5 m) einen nennenswerten Sauerstofftransport in die Tiefe. In sechs und sieben Meter Tiefe hat das Sauerstoffdefizit inzwischen zu einer erheblichen Untersättigung geführt (5 % des Sättigungswertes, Abb. 1c).

In einer 3. Wachstumsperiode bis Ende August (Abb. 2g, S. 139) wird die trophogene Zone nicht weiter eingeengt, sie reicht nach wie vor bis etwa vier Meter Tiefe. Die witterungsbedingten ungünstigen Einstrahlungsverhältnisse mögen der Grund für den relativ zögernden Anstieg der Phytoplanktondichte gewesen sein (Wetterdaten siehe bei den jeweiligen Abbildungen). Enorme Sauerstoffübersättigungen bis 240 % am 23.8.78 (Abb. 1d, S. 133) in drei Meter Tiefe sind die Konsequenz aus einerseits nachwachsendem Phytoplankton, andererseits nicht weiter verschlechterten Transmissionsverhältnissen. Die hohe "Belastung" der tropholytischen Zone durch die zu fordernden großen Sedimentationsmengen aus der 2. Wachstumsperiode bedingt bereits ab fünf Meter ein Überwiegen der Atmung und daher den völligen Sauerstoffschwund am Seegrund. Penetranter Schwefelwasserstoffgeruch begleitete die Wasserproben aus siebeneinhalb bis acht Meter Tiefe.

Abb. 2a und 2b: x—x—x—x Tiefenprofil O_2-Bruttoproduktion (mg $h^{-1}l^{-1}\cdot10^{-2}$); x—x—x—x Tiefenprof. O_2-Nettoproduktion (mg $h^{-1}l^{-1}\cdot10^{-2}$); o-.-.o.--.o konz. aktives Chlorophyll a (µg/l); Temp. °C
⊥ Secchi-Sichttiefe; GS = Globalstrahlung

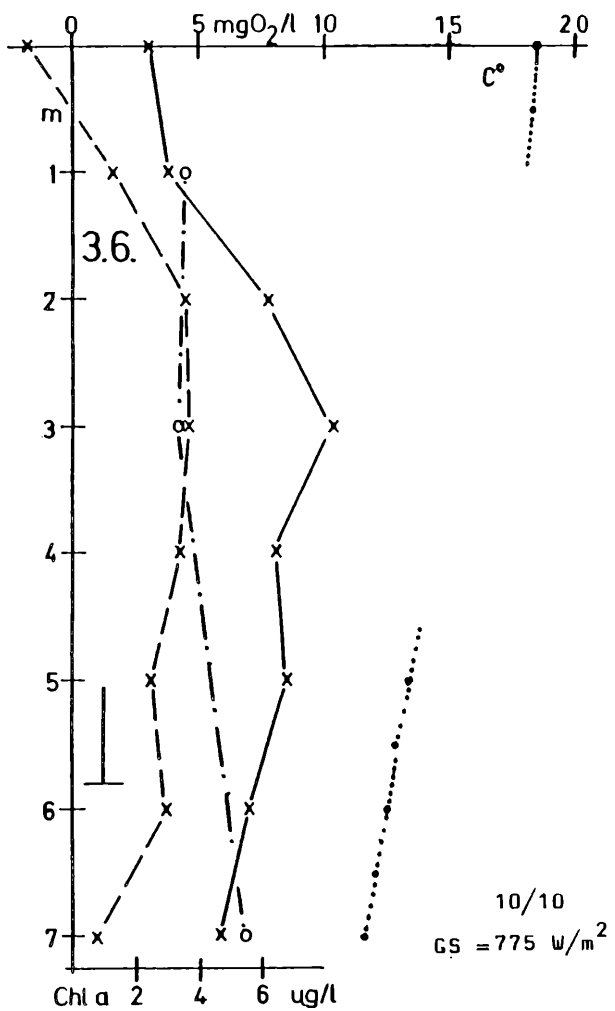


Abb. 2a

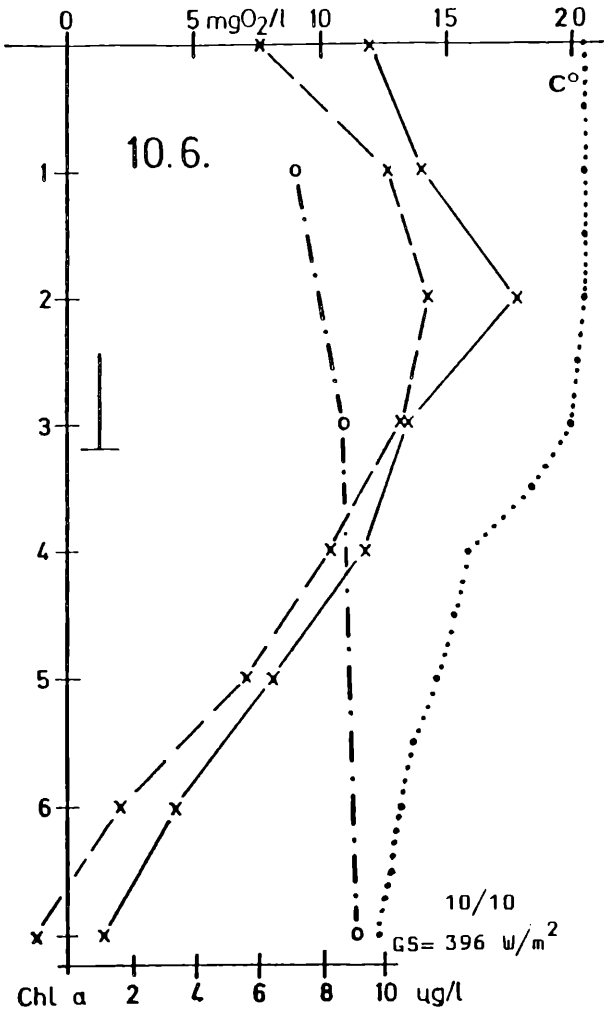


Abb. 2b

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

Abb. 2c und 2d: x—x—x—x Tiefenprofil O_2-Bruttoproduktion (mg $h^{-1}l^{-1}\cdot10^{-2}$); x—x—x—x Tiefenprof. O_2-Nettoproduktion (mg $h^{-1}l^{-1}\cdot10^{-2}$); o-.-.o.--.o konz. aktives Chlorophyll a (µg/l); Temp. °C
⊥ Secchi-Sichttiefe; GS = Globalstrahlung

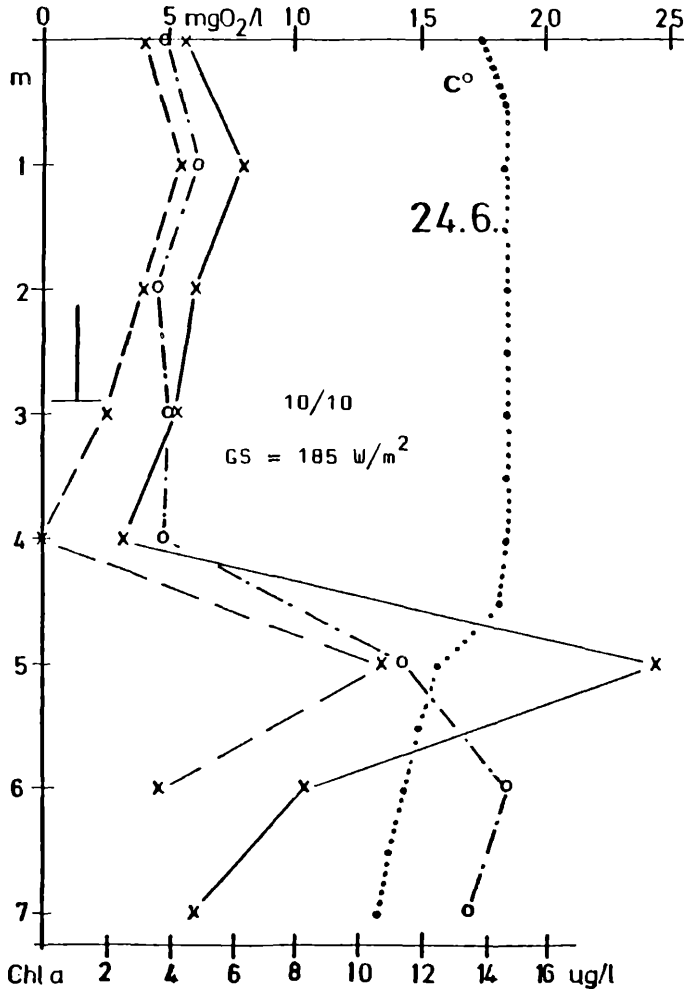


Abb. 2c

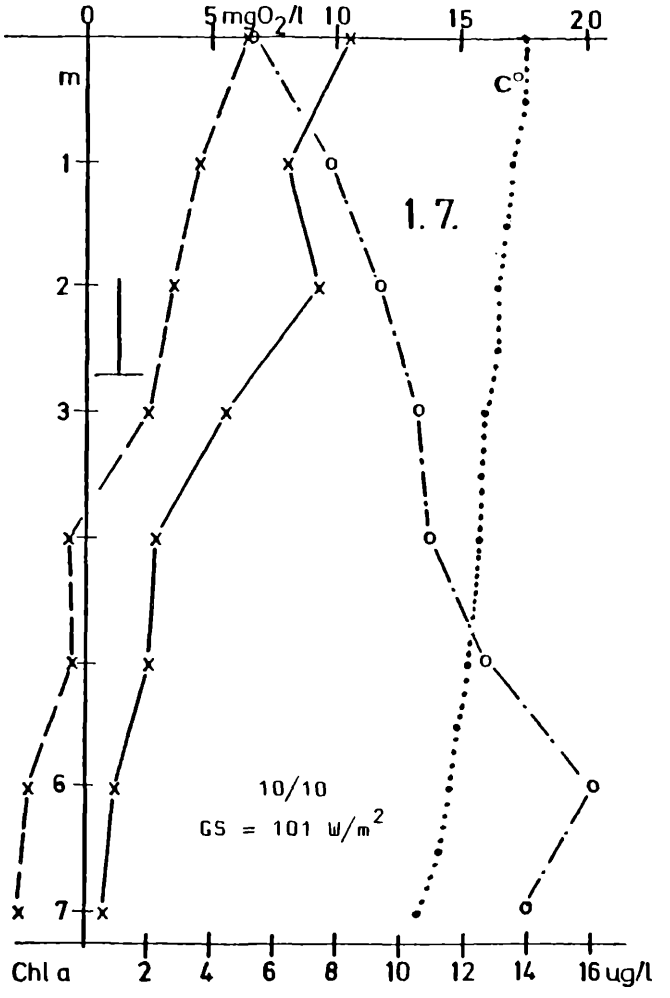


Abb. 2d

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

Abb. 2e und 2f: x–x–x–x Tiefenprofil O_2-Bruttoproduktion (mg $h^{-1}l^{-1}\cdot10^{-2}$); x–x–x–x Tiefenprof. O_2-Nettoproduktion (mg $h^{-1}l^{-1}\cdot10^{-2}$); o-.-.o.--.o konz. aktives Chlorophyll a (µg/l); Temp. °C
| Secchi-Sichttiefe; GS = Global strahlung

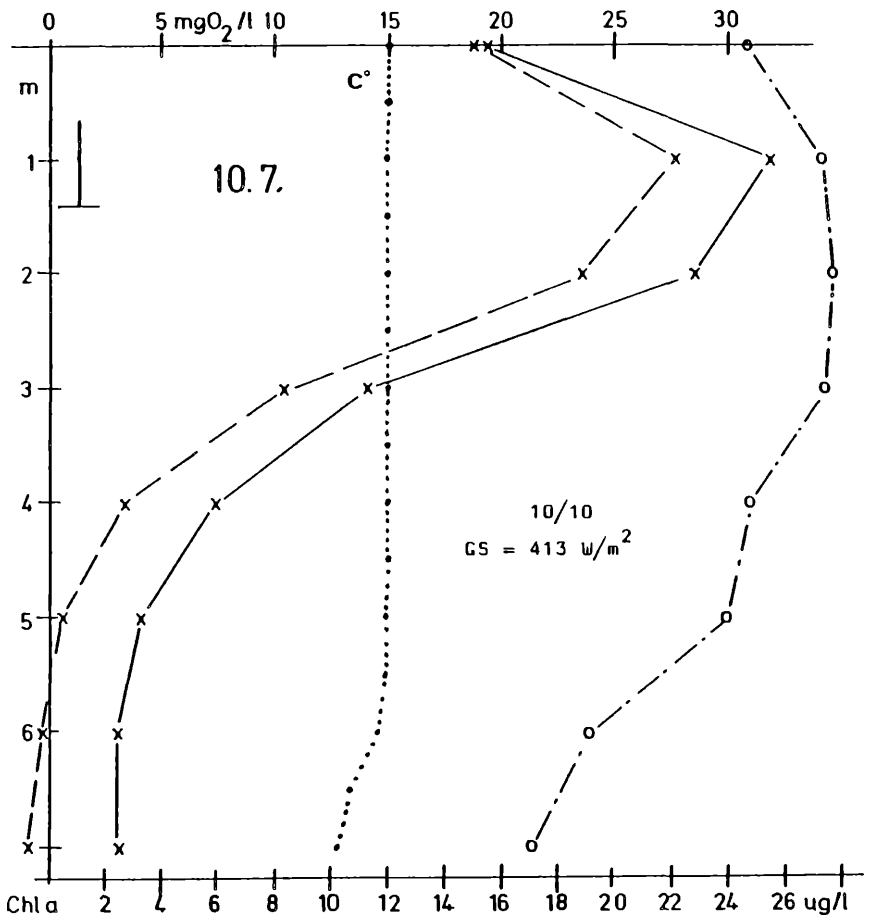


Abb. 2e

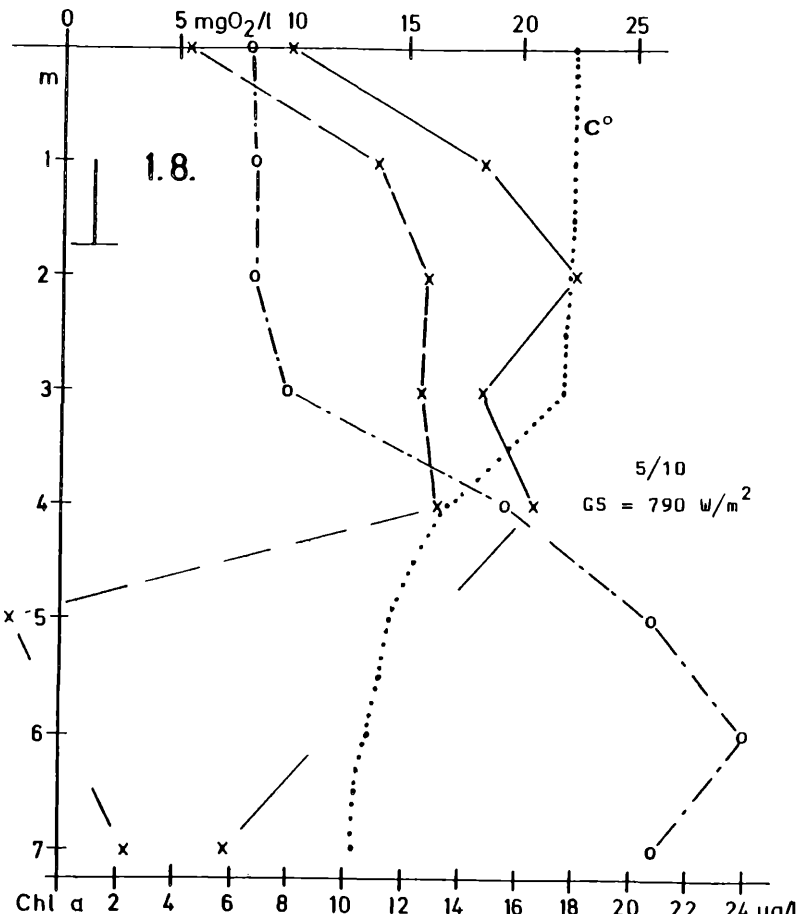


Abb. 2f

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

Abb. 2g: x–x–x–x Tiefenprofil O_2-Bruttoproduktion (mg $h^{-1}l^{-1}\cdot10^{-2}$); x–x–x–x Tiefenprof. O_2-Nettoproduktion (mg $h^{-1}l^{-1}\cdot10^{-2}$); o-.-.o.--.o konz. aktives Chlorophyll a (µg/l); Temp. °C
┴ Secchi-Sichttiefe; GS = Globalstrahlung

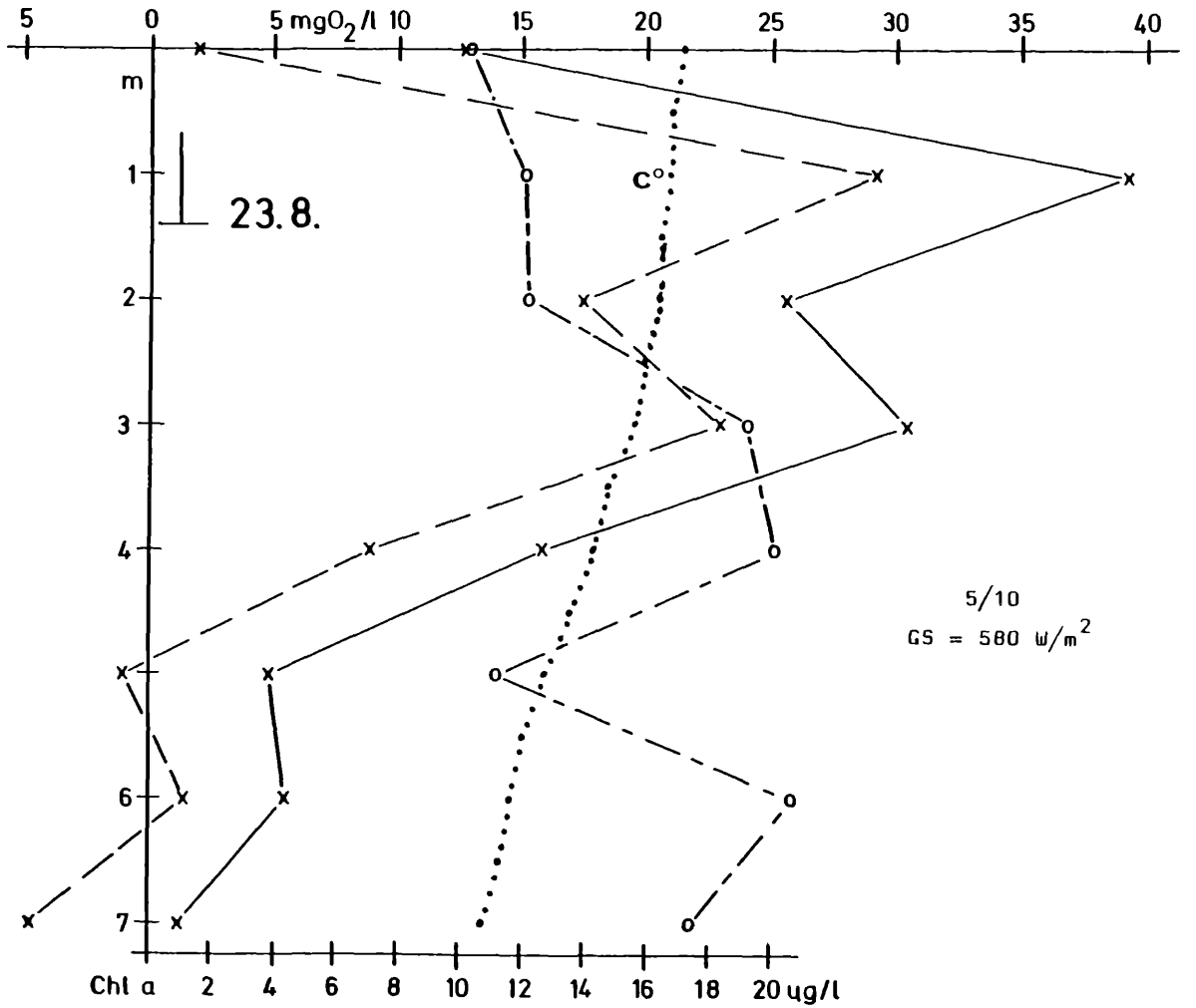


Abb. 2g

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

4. Zunehmender Sauerstoffmangel trotz periodisch abnehmender Phytoplanktondichte

Zwischen den drei aufgezeigten Wachstumsperioden nimmt zweimal die Phytoplanktondichte deutlich ab und trotzdem steuert der See unaufhaltsam einer Sauerstoffverarmung entgegen, die sich immer weiter nach oben ausdehnt. Betrachtet man die Ausgangssituation, so gibt es Anfang Juni bei einer Konzentration an aktivem Chlorophyll a von ca. 3 µg/l und einer Sichttiefe von fast sechs Meter keinerlei Probleme mit der Sauerstoffversorgung. Die trophogene Zone reicht über die ganze Seetiefe, der Schichtungsaufbau spielt keine bedeutende Rolle. Die nun einsetzende 1. Wachstumsperiode verschlechtert die Sauerstoffversorgung durch die Trennung in trophogene und tropholytische Zone. Die trophogene Zone reicht aber noch bis sechs Meter Tiefe, so daß nur der Seegrund in Mitleidenschaft gezogen wird. Ende Juni nimmt die Phytoplanktondichte in den oberen vier Metern wieder deutlich ab. Die vorher gebildeten Phytoplanktonmassen haben sich jedoch im Metalimnion unter vier Meter angereichert. So ergibt sich aus der Dichteabnahme des Phytoplanktons in der oberen Seehälfte für die Sauerstoffverhältnisse in der Tiefe (bis 2 m über Grund) keine günstigere Ausgangslage. Die Tatsache, daß die trophogene Zone immer noch etwa einen Meter in die Sprungschicht hineinreicht, ermöglicht immerhin noch eine Verbesserung der Sauerstoffverhältnisse bis in sechs Meter Tiefe. Der gleiche Vorgang, eine erneute Abnahme der Phytoplanktondichte Anfang August, hat auf den Sauerstoffhaushalt der unteren Seeschichten keinerlei positiven Effekt mehr. Durch die anhaltend hohen Nährstoffimporte ist während der 2. Wachstumsphase eine derartig hohe Phytoplanktonmasse herangewachsen, daß sich die tropholytische Zone weiter nach oben ausgedehnt hat. Das Hineinreichen der trophogenen Zone in die Sprungschicht ist nun ohne Bedeutung, da die Sprungschicht, inzwischen bei drei Meter beginnend, durch einen sehr hohen Temperaturgradienten keinen Sauerstoffaustausch mehr zuläßt. Die Zone niedriger Sauerstoffkonzentration wandert immer weiter nach oben, da die periodische Reduktion der Phytoplanktondichte von Mal zu Mal immer weniger tief reicht, was möglicherweise darauf zurückzuführen ist, daß das für die Phytoplanktonreduktion verantwortliche Zooplankton, der Sauerstoffarmut ausweichend, seine Aktivität immer weiter nach oben verlegen muß. Im sauerstoffarmen Bereich akkumuliert jedoch das absinkende Phytoplankton. Es liegt ein positiver Rückkopplungsprozeß vor, der dazu führt, daß sich die sauerstoffarme Schicht immer weiter nach oben ausdehnt. Das ist ein Vorgang, der für alle kleinen flachen Seen mit ständig hohem Nährstoffgehalt Gültigkeit hat. Aber gerade bei Baggerseen muß ihm besondere Beachtung geschenkt werden, da diese in den meisten Fällen zu Fischerei- und Erholungszwecken genutzt werden. So ist vor allem die Fischzucht auf eine gute Sauerstoffversorgung des Sees angewiesen. Wandert die sauerstoffarme Zone im Laufe des Sommers immer weiter nach oben, sind Fischsterben nicht auszuschließen. Die Tiefe bevorzugende Fische werden völlig verdrängt. Der Erholungswert wird durch immer häufiger auftauchende Fischleichen und eine immer mehr ins Braune tendierende Wasserfärbung, begleitet von dichten Algenflocken, bei gartenbaulich noch so schöner Anlage des Baggersees drastisch reduziert werden.

Die einzige Möglichkeit, diesen Ursache-Wirkungs-Kreis zu unterbrechen, ist die Eindämmung des Nährstoffimports bzw. die Schaffung der Voraussetzung für einen massiven Phytoplanktonexport, der bei Anlage oberirdischer Abflüsse möglich ist (vgl. Referat SIEBECK). Unter diesen Umständen würde sich die periodische Zu- und Abnahme des Phytoplanktons

©Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL)

auf einem niedrigeren Niveau abspielen. Die Sauerstoffversorgung der Tiefenzone würde dann kaum gefährdet sein.

Literatur

PEICHL, L. (1979):
Untersuchungen über die Abhängigkeit der Sauerstoffproduktion vom Strahlungsangebot, von der Phytoplanktonbiomasse und dem Nährstoffgehalt (NO_3-N, PO_4-P) in einem eutrophen Baggersee. Dipl.Arbeit am Zool. Institut d. Universität München, unveröffentlicht

Anschrift des Verfassers:

Dipl.-Biologe Ludwig Peichl
Zoologisches Institut
der Universität München
Abteilung Limnologie
Seidlstraße 25
8000 München 2

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Laufener Spezialbeiträge und Laufener Seminarbeiträge (LSB)

Jahr/Year: 1980

Band/Volume: 6_1980

Autor(en)/Author(s): Peichl Ludwig

Artikel/Article: Die Rolle des Phytoplanktons als Sauerstoffproduzent in einem eutrophe Baggersee 129-141