

SONDERDRUCK AUS DER



ZEITSCHRIFT FÜR

FISCHEREI

UND DEREN

HILFSWISSENSCHAFTEN

BAND I N. F. · HEFT 1/2 · JULI 1952

NEUMANN VERLAG · RADEBEUL UND BERLIN

Veröffentlicht unter der Lizenz Nr. 1161
des Amtes für Literatur und Verlagswesen der Deutschen Demokratischen Republik
Neumann Verlag . Radebeul 1 . Dr.-Schmincke-Allee 19
Druck VEB Landesdruckerei Sachsen Werk II Königsbrück . III-17-2

Rhythmische Veränderungen im Chemismus von Aquarienwässern



P199

Von

Heinrich K ü h l und Hans M a n n

I. Fragestellung

Da Aquarien für die Haltung von Wassertieren zu den verschiedensten Zwecken eine außerordentlich große Rolle spielen, ist es verständlich, daß man der Beschaffenheit des Aquarienwassers seit jeher eine große Bedeutung zugemessen hat. Außer der Wassertemperatur spielen für Süßwasseraquarien die Wasserstoffionenkonzentration und der Kalkgehalt bzw. die Härte des Wassers eine bedeutende Rolle, während für Seewasseraquarien naturgemäß in erster Linie der Salzgehalt beachtet wurde. Daher liegen über diese Fragen außerordentlich viele Untersuchungen vor, die einzelne dieser Faktoren behandeln (Zusammenfassung bei Fr ö m m i n g 1941). Trotzdem gibt es aber kaum Untersuchungen, die den Chemismus des Aquarienwassers in seiner Rhythmik und den Zusammenhang der einzelnen Komponenten erfassen. Diese Fragen sind bisher nur für große Gewässer, Seen, Talsperren, Teiche usw. hinsichtlich der jahreszeitlichen Schwankungen genau untersucht. (Zusammenfassende Darstellungen u. a. bei Th i e n e m a n n, R u t t n e r, M i n d e r, O h l e u. a.) Für Kleingewässer, Tümpel, Weiher und andere Seichtgewässer sind diese Verhältnisse dagegen weniger genau bekannt. (B r a n d t 1934, C z e r n y 1948, G e ß n e r 1932, W e i m a n n 1942.)

Je kleiner das Gewässer ist, um so mehr ist es von den Einflüssen der Umgebung, wie Witterung, Temperatur, Licht usw. abhängig, im ganz besonderen Maße aber gilt dies für Aquarien. Sie jedoch unterscheiden sich auch von den Kleingewässern noch erheblich darin, daß sie nicht nur an der Oberfläche das Licht empfangen, sondern auch von den Seiten her durchleuchtet werden. Es konnte daher erwartet werden, daß die Schwankungen der chemischen Faktoren noch wesentlich größer sein werden, als sie es an und für sich bei Seichtgewässern sind. Es erschien daher lohnend, die Rhythmik der chemischen Faktoren in Aquarienwässern einmal in kürzeren Abständen zu verfolgen, da hier offensichtlich manche Mißverständnisse besonders in der Aquarienkunde dadurch aufgetreten sind (Fr ö m m i n g 1941), daß Punktwerte, z. B. Temperatur, pH-Wert, Kalk verallgemeinert wurden. Die Kenntnis insbesondere der täglichen Schwankungen erschien uns auch wichtig zum Verständnis mancher biologischer Vorgänge, wie Laichspiele, Laichabgabe, Entwicklung der Brut u. ä. Außerdem besteht die Möglichkeit, mit Aquarien zu experimentieren, wodurch man leicht die eine oder andere Komponente abändern oder unterdrücken kann.

Es ist klar, daß die hier geschilderten Untersuchungen und Versuche keineswegs vollständig sind, sondern sie stellen nur einen Anfang dar, der aber zeigt, in welch mannigfaltiger Weise die Untersuchungen fortgesetzt werden können. So wurde z. B. die Frage des Bodengrundes, die für den Gesamtstoffwechsel des Aquarienwassers von großer Bedeutung ist, experimentell nicht behandelt. Ebenso wurde die Frage der künstlichen Beleuchtung und der Einfluß verschiedener Spektrallichter auf die Assimilation nicht näher untersucht.

Der Zweck der Untersuchungen war lediglich, den Tagesrhythmus des Stoffhaushaltes im Aquarium unter Berücksichtigung der wichtigsten Faktoren und der verschiedenen Bedingungen zu untersuchen.

II. Methodik

Die Untersuchungen wurden nach folgenden Gesichtspunkten vorgenommen:

1. Die Beziehung zwischen Sauerstofferzeugung und Sauerstoffverbrauch:
 - a) Aquarien mit Pflanzen, ohne Tiere;
 - b) Aquarien mit Pflanzen und Tieren;
 - c) Aquarien ohne Pflanzen, ohne Tiere.
2. Tag-Nacht-Rhythmus.
3. Der Lichteinfluß:
 - a) Bedeutung des Standortes;
 - b) Verdunklung;
 - c) künstliche Beleuchtung;
 - d) jahreszeitliche Veränderungen.
4. Einfluß des Wasserwechsels.
5. Bedeutung der Wasseroberfläche.
6. Pufferung.
7. Künstliche Durchlüftung.

Es wurden folgende Daten bestimmt:

1. Witterung, 2. Lufttemperatur, 3. Wassertemperatur, 4. Wasserstoffionenkonzentration, kolorimetrisch nach Czerny, 5. Alkalität, Verbrauch n/10 HCl auf 100 ccm Wasser, Indikator Methylorange, 6. Calcium, Fällung als Oxalat, titrimetrische Bestimmung mit Kaliumpermanganat, 7. Sauerstoff mg/l nach Winkler, 8. Sauerstoffzehrung nach 24 Stunden.

Für die chemischen Untersuchungen kamen die Methoden von Czerny in Anwendung. Für alle Versuche wurden einheitlich Vollglasaquarien von den Ausmaßen 31×21×19 cm genommen. Sie enthielten, wenn nicht anders erwähnt, 8 l Cuxhavener Leitungswasser. Eine Ausnahme machten die Aquarien, die für die unter Punkt 5 erwähnten Versuche gelten, hier standen uns flache Aquarien von 7,9×28×28 und Hochaquarien von 44×13,5×8,8 cm zur Verfügung, beide Aquarien mit je 5 l Wasser. Alle Aquarien waren mit Glasplatten abgedeckt. Der Bodengrund bestand aus einer 2 cm hohen Schicht gewaschenen Seesandes. An Pflanzen wurden eingesetzt: *Elodea Canadensis*, *Ceratophyllum spec.* und *Fontinalis spec.* Im allgemeinen wurden die Versuche ohne Fischbesatz durchgeführt, in dem besonderen Versuch (1b) wurden Stichlinge (*Gasterosteus aculeatus*) und Guppi (*Lebistes reticulatus*) eingesetzt.

Die Wasserproben wurden dreimal täglich entnommen, und zwar morgens 8 bis 9 Uhr, mittags 12 bis 14 Uhr und abends 17 bis 18 Uhr. Das durch die Probenentnahme fehlende Wasser, etwa 250 ccm, wurde täglich ergänzt. Die Versuche begannen Anfang Mai 1949 und erstreckten sich bis Januar 1950. Aus Raumgründen war es nicht möglich, sämtliche Versuche ausführlich mit Protokollen zu schildern, wir beschränkten uns daher darauf, die charakteristischen Kurven immer nur von wenigen Versuchstagen anzuführen.

III. Ergebnisse

1. Beziehungen zwischen Sauerstofferzeugung und Sauerstoffverbrauch

Die Beziehungen zwischen Wasserstoffionenkonzentration, Alkalität, Härte und Kalk sind seit längerer Zeit häufig Gegenstand eingehender Untersuchungen gewesen, so daß es sich erübrigt, auf diese Fragen noch einmal genauer einzugehen. Es seien lediglich die wichtigsten Daten erwähnt, soweit sie für das Verständnis der nachfolgenden Versuche nötig sind. Bei Belichtung findet durch die Assimilation der Pflanzen ein Verbrauch an Kohlensäure bei gleichzeitiger Produktion von Sauerstoff statt. Reicht die im Wasser gelöste Kohlensäure hierfür nicht aus, so wird auch die in den Bikarbonaten gebundene

Kohlensäure angegriffen, wodurch Kalk als Folgeerscheinung in Form der biogenen Entkalkung ausgefällt und der pH-Wert in Richtung auf den alkalischen Bereich erhöht wird. In der Dunkelheit läuft der Prozeß umgekehrt, d. h. der pH-Wert sinkt, der Kohlensäuregehalt steigt, Bikarbonate werden neu gebildet, und das Säurebindungsvermögen nimmt zu. Parallel mit diesen Erscheinungen bildet sich ein Rhythmus im Sauerstoffgehalt in der Weise aus, daß er im Laufe des Tages ansteigt und in der Nacht zum Morgen hin abnimmt.

Betrachten wir unter diesen Gesichtspunkten ein Normalaquarium mit Pflanzen, die normal atmen und assimilieren, aber ohne Tiere, die als Sauerstoffkonsumenten auftreten würden.

a) Aquarien mit Pflanzen ohne Tiere

Das Aquarium mit einer Grundfläche von 21×19 cm und einer Höhe von 23 cm und 8 l Wasserinhalt war am Boden mit einer 2 cm dicken Schicht gewaschenen Seesands bedeckt, bepflanzt war es in üblicher Weise mit *Elodea* und *Ceratophyllum*, auf dem Boden hatte sich eine dünne Algenschicht entwickelt. Das Aquarium stand am Südfenster und war bei heiterem Wetter von 12 bis 14.30 Uhr voll in der Sonne. Das Leitungswasser, das zum Füllen benutzt wurde, zeigte folgenden Charakter: Temperatur $16,2^\circ$, pH 7,3, Säurebindungsvermögen 1,5, Kalk 38,7 mg/l, Sauerstoff 9,66 mg/l, Sättigung 97%. Eingerichtet und aufgefüllt wurde das Aquarium am 16. August. Aus Versuchen, die später noch genauer besprochen werden sollen, wußten wir, daß die Aquarien 2–4 Tage benötigen, um sich einzustellen. Abb. 1 zeigt den Verlauf der untersuchten Faktoren vom 22. bis 26. August 1946.

Während der Versuchszeit war das Wetter im allgemeinen warm, des Morgens oft bedeckt und diesig. Die Lufttemperaturen schwankten zwischen $17,2$ morgens und $24,8$ abends. Die Wassertemperaturen folgten im großen und ganzen denen der Luft, wobei aber zu beachten ist, daß das Wasser stets wärmer als die Luft ist. Der bekannte Rhythmus der Abkühlung in der Nacht und der Erwärmung im Laufe des Tages wird innegehalten. Bei starker Sonneneinstrahlung können die Morgen- und Abendwerte der Temperatur im Wasser 10° auseinanderliegen, wie z. B. am 24. August.

Besonders interessant sind die Sauerstoffverhältnisse, da sie ein Ausdruck für die Stärke der Assimilation sind, als deren Folge auch Veränderungen in allen anderen Werten auftreten. Eine bekannte Tatsache ist es, daß in den Nachmittagsstunden starke Sauerstoffübersättigungen auftreten, die um so höher sind, je intensiver die Bestrahlung ist. So steigen in diesem Versuch die Sättigungswerte gegen Abend bis auf 200% an, durch die Dissimilationsvorgänge während der Nacht sinken sie wiederum auf 95%. Daß die Sättigung nicht wesentlich unter 100% heruntergeht, ist nicht verwunderlich, da außer den Pflanzen keine Sauerstoffzehrer in den Aquarien vorhanden sind. Parallel zu den Veränderungen des Sauerstoffgehaltes verlaufen auch die Schwankungen im Kalkgehalt. Mit zunehmendem Kohlensäureentzug im Verlauf der Assimilation steigt die biogene Entkalkung im Laufe des Tages zum Abend hin, z. B. am 26. August, d. h. die Menge des im Wasser gelösten Kalkes nimmt ab. Allerdings kann durch zu intensive Bestrahlung der Prozeß auch unterbrochen werden, worauf Czerny und Merker hingewiesen haben, so daß der niedrigste Kalkgehalt schon mittags und nicht abends am Ende des Assimilationsvorganges gefunden wird (z. B. am 24. 8. starker Sonnenschein bei hoher Luft- und Wassertemperatur). In der Nacht verlaufen die Vorgänge im umgekehrten Sinne (vgl. auch Versuchsreihe 2). Das Säurebindungsvermögen zeigt im Laufe des Tages nur geringe Veränderungen, wohingegen über den Gesamtverlauf des Versuches gesehen aber eine Abnahme im Laufe der Zeit festzustellen ist, und zwar wird der Anfangswert am 16. 8. von 1,5 bis zur Einstellung nach 4 bis 5 Tagen gehalten, dann aber sinkt er vom 20. 8. an allmählich auf 1,0. Offenbar hängt diese Abnahme mit den Stoffwechselvorgängen im Wasser eng zusammen, die wiederum durch die Stärke der Belichtung beeinflußt werden, wie später gezeigt werden wird (Versuchsreihe 2). Im Gegensatz zum Kalkgehalt, der im Laufe des Tages abnimmt, steigt die Wasserstoffionenkonzentration zum Abend an. Bei intensiver Bestrahlung und hoher Temperatur können Werte von über 9 erreicht werden. Ebenso wie bei allen anderen Faktoren wird auch hier in der Nacht der Normalzustand wiederhergestellt.

b) Aquarium mit Pflanzen und Tieren

In das gleiche mit *Fontinalis antipyretica* bepflanzen Aquarium wurden 5 Guppi (2 Weibchen und 3 Männchen) als Sauerstoffverbraucher eingesetzt, und der Rhythmus in der üblichen Weise über längere Zeit verfolgt. Abbildung 2 zeigt die typischen Ver-

hältnisse für mehrere Tage (vgl. hierzu auch Abb. 1). Bemerkenswert gegenüber dem nicht mit Fischen besetzten Aquarium ist die Beobachtung, daß die Sauerstoffsättigungen am Morgen weit unter 100% absinken und dabei Werte von 40% und weniger erreichen

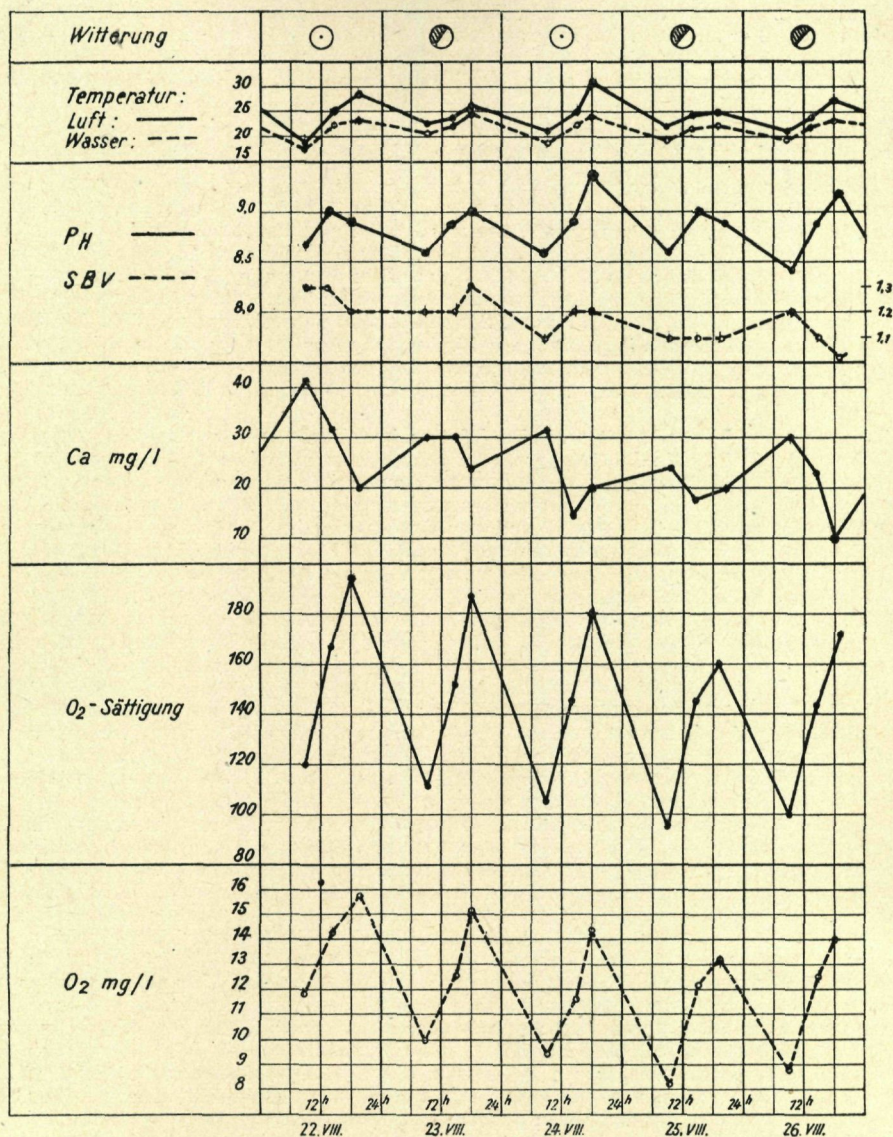


Abb. 1. Aquarium mit Pflanzen, ohne Tiere.

Zeichenerklärung: ☉ sonnig ☁ wechselnd bewölkt ☁ bedeckt

können, während in „Normalaquarien“ die Sauerstoffsättigung kaum unter 100% absank. Trotz des Sauerstoffverbrauches durch die Fische steigen die Werte im Laufe des Tages durch die Assimilation der Pflanzen stark an, sogar bis über 240%. Dadurch ist die Höhe der Amplitude wesentlich größer als in Normalaquarien.

Am 29. 6. wurde der Bestand an Fischen durch 10 neugeborene Guppi erhöht. Am 30. 6. wurden lebende Daphnien als Futter eingesetzt. Dadurch wird das Bild im Stoffwechsel wesentlich verändert, wie aus der Abbildung hervorgeht. Am Tage erreicht die Sättigung nur noch 130‰ und sinkt nachts bis auf 25‰ herunter.

Die erhöhte Stoffwechsellätigkeit, insbesondere die Kohlensäureproduktion, macht sich in der Änderung der Wasserstoffionenkonzentration bemerkbar, indem der pH-Wert bis

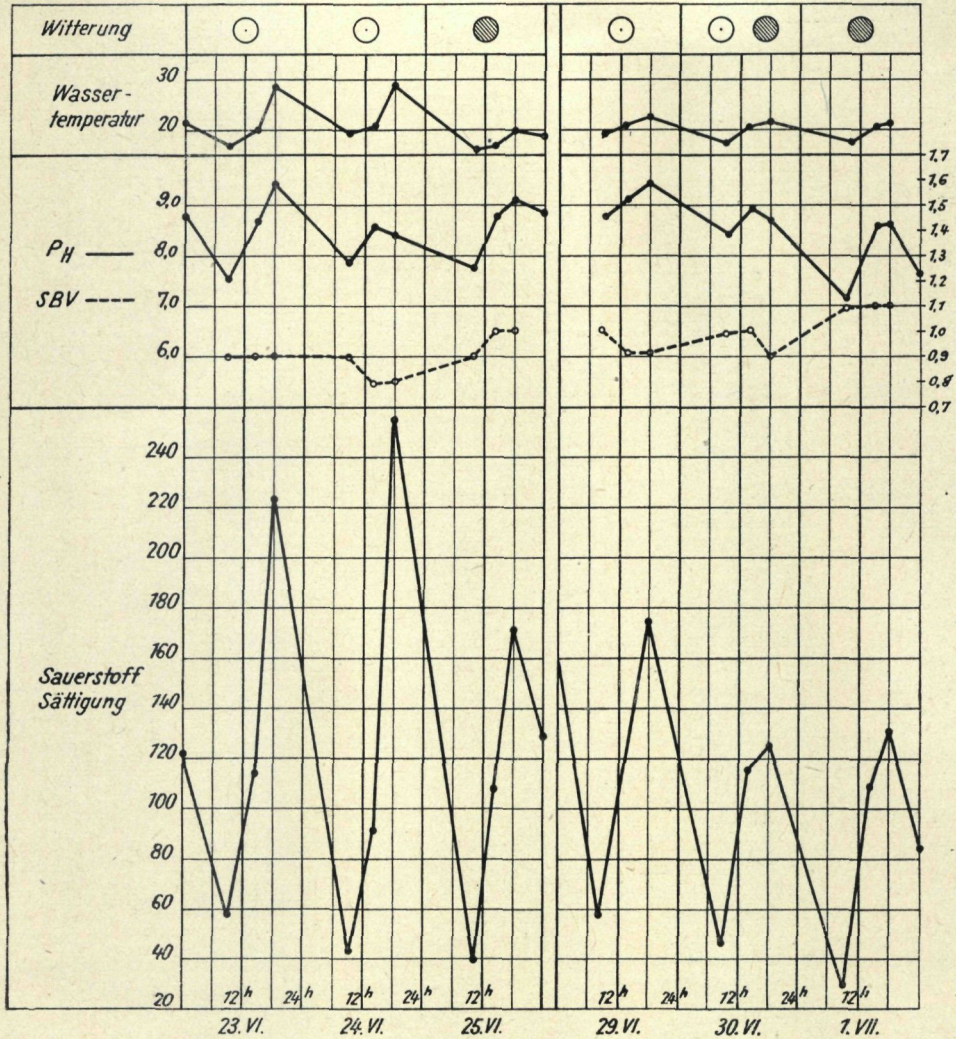


Abb. 2. Aquarium mit Pflanzen und Tieren.

23.—25. 6. 49 5 Guppi, 29. 6.—1. 7. 49 10 Guppi, 30. 6. 49 lebende Wasserflöhe eingesetzt.

auf 7,5 bzw. 7,0 absinkt. Im Säurebindungsvermögen tritt dies im Tagesrhythmus nicht so klar zutage, doch zeigt sich im allgemeinen eine Tendenz zum Anstieg, während im tierfreien Aquarium ein ständiges Abnehmen zu verzeichnen war. Vermutlich beruht die Steigerung des Säurebindungsvermögens in der Abgabe der Stoffwechselprodukte der Tiere. Aus den Kurven geht auch sehr deutlich hervor, wie stark der Witterungseinfluß (heller Sonnenschein oder bewölkter Himmel) sich auf den Stoffhaushalt auswirkt.

c) Aquarium ohne Pflanzen, ohne Tiere

Als Gegenversuch zu den bisherigen Versuchen wurde ein Aquarium beobachtet, das weder Pflanzen noch Tiere enthielt und mit Leitungswasser — also verhältnismäßig sterilem Wasser — gefüllt war. Hier zeigen sich in allen Werten praktisch keine Veränderungen, abgesehen davon, daß der Sättigungswert des Sauerstoffes sich auf einen

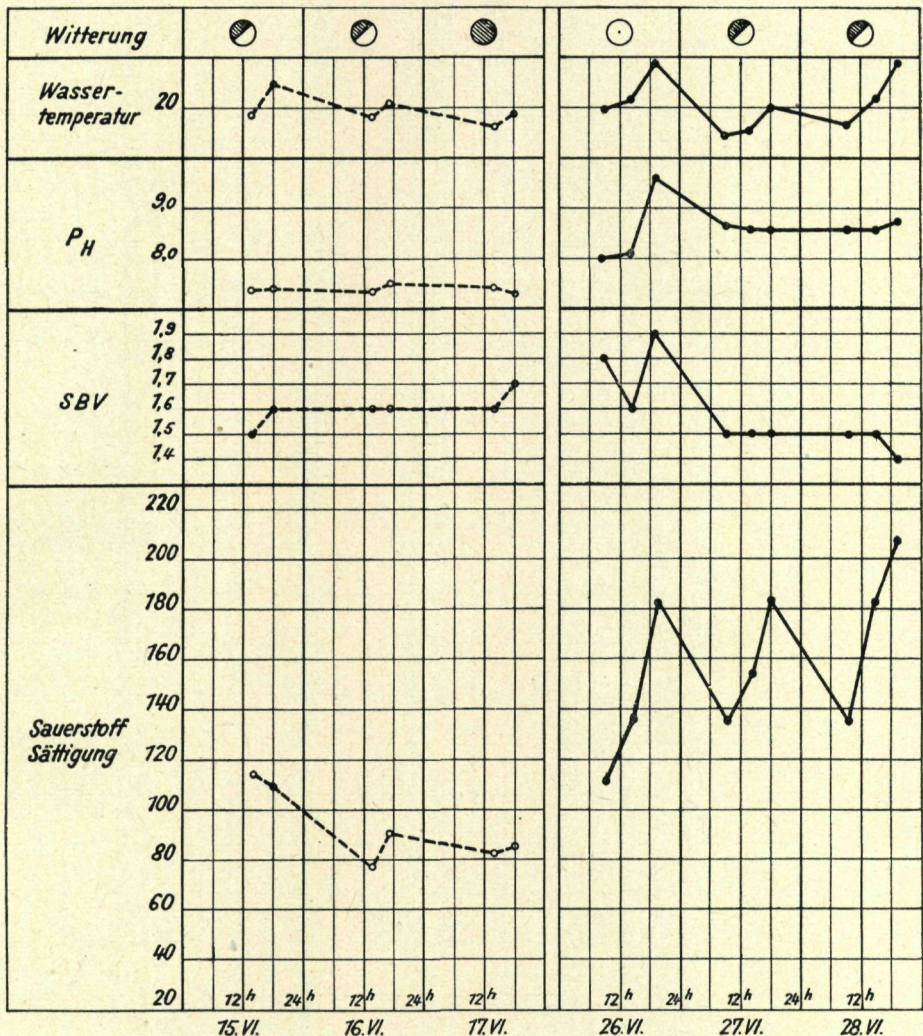


Abb. 3. Aquarium ohne Pflanzen, ohne Tiere.

25. 6. 49 beginnender Grünalgenbelag.

Normalwert von 80% im Laufe von 2 Tagen einstellt (Abb. 3). In dem Augenblick, wo sich der erste schwache Grünalgenbelag (am 23. 6.) am Boden und an den Wänden bildet, beginnt die Rhythmik, wie wir sie oben kennengelernt haben. Das gleiche gilt für einen Versuch mit Seewasser, auf den an dieser Stelle nicht eingegangen werden soll.

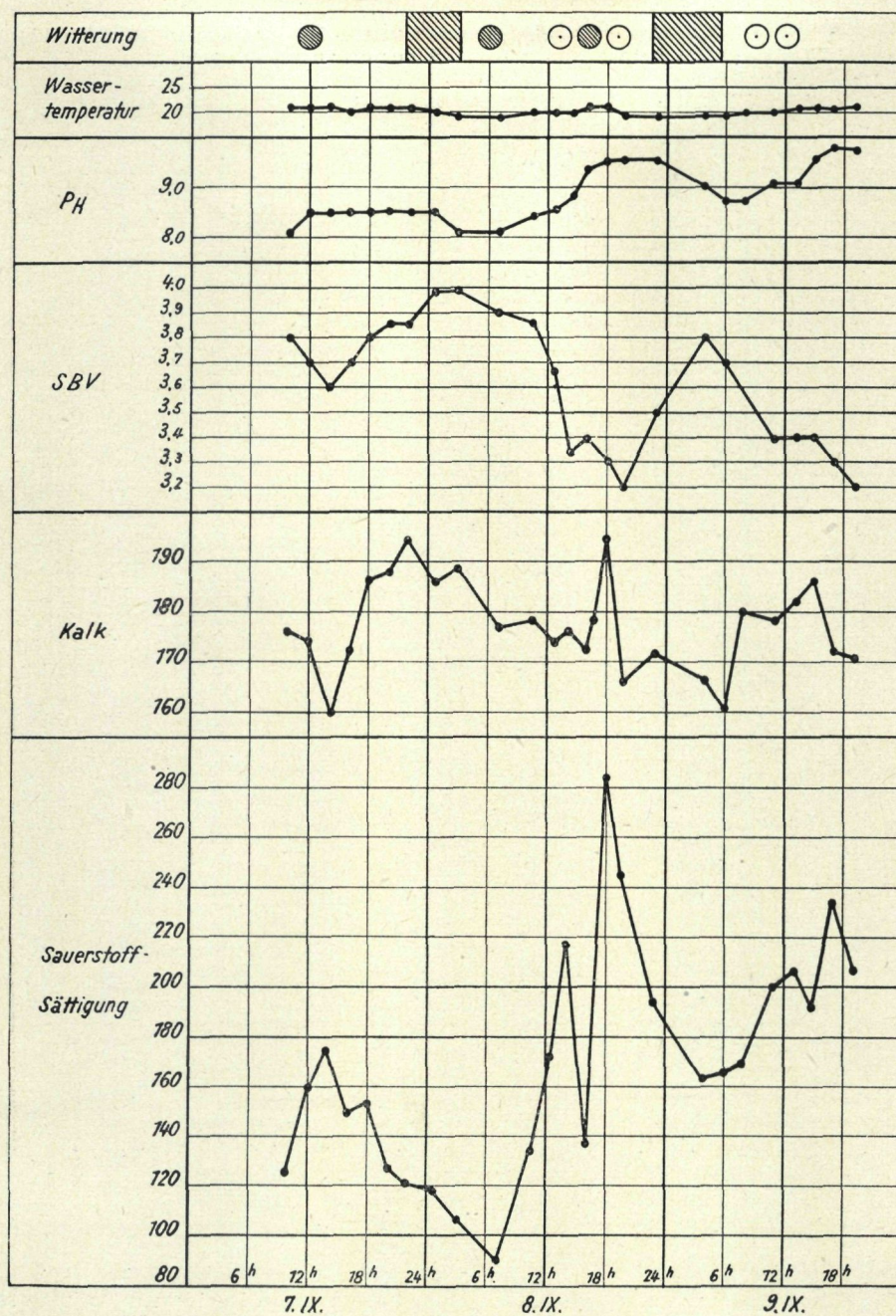


Abb. 4. Tagesrhythmus in einem Aquarium mit *Spirogyra antipyretica*.

2. Tag-Nacht-Rhythmus

In den bisher beschriebenen Versuchen konnten aus Zweckmäßigkeitsgründen täglich nur drei Wasserproben entnommen werden. Um nun zu prüfen, ob die hierbei festgestellten Maximal- und Minimalwerte dem tatsächlichen Verlauf entsprechen, wurden in einigen weiteren Versuchen die Proben in kürzeren Abständen (von 1—4 Stunden) tags

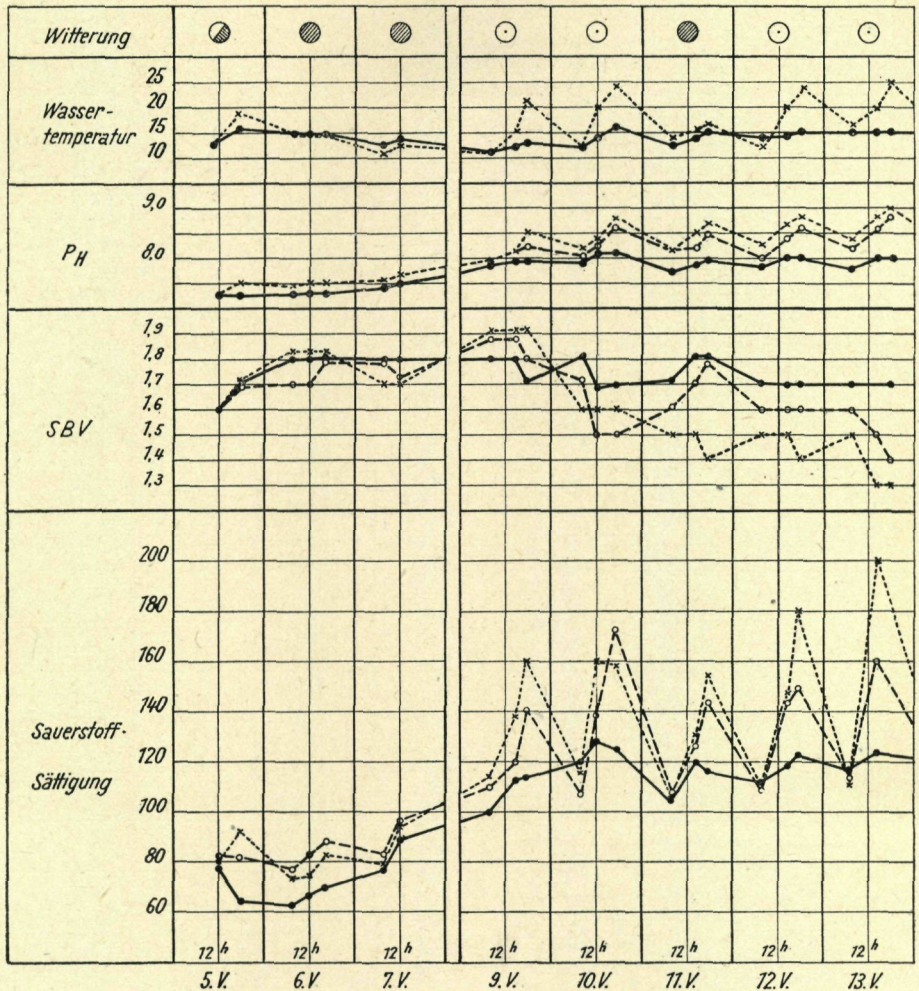


Abb. 5. Bedeutung des Standortes.

● — ● Nordseite ○ — — ○ Südseite mit kürzerer Belichtung × — — × Südseite mit längerer Belichtung

und nachts durchgehend entnommen. Wie Abb. 4 zeigt, liegen in einem Aquarium ohne Tiere und mit *Spirogyra* tatsächlich für den Sauerstoff die niedrigsten Werte morgens gegen 9 Uhr. Der höchste Wert wird einige Zeit nach der stärksten Insolation gefunden, was meistens am frühen Nachmittag der Fall ist. Die Kurven des Säurebindungsvermögens und der Wasserstoffionenkonzentration verhalten sich gegenläufig, wie schon oben be-

schrieben. Der Kalkgehalt im Wasser gibt ein gutes Abbild des Assimilationsvorgangs mit allen seinen Schwankungen. Bei kurzfristigen Veränderungen in der Belichtung, die sich im Sauerstoffgehalt sofort auswirken, wie z. B. im vorliegenden Fall am 8. 9. nachmittags, als plötzlich das Aquarium von der Sonne beschienen wurde, kann der Kalkspiegel diese Schwankungen nicht so schnell mitmachen und hinkt deshalb stets etwas nach. In anderem Zusammenhang werden noch weitere Beispiele für den Tag-Nacht-rhythmus erwähnt, auf die hier nur hingewiesen sein soll (vgl. Abb. 11, Hochaquarium).

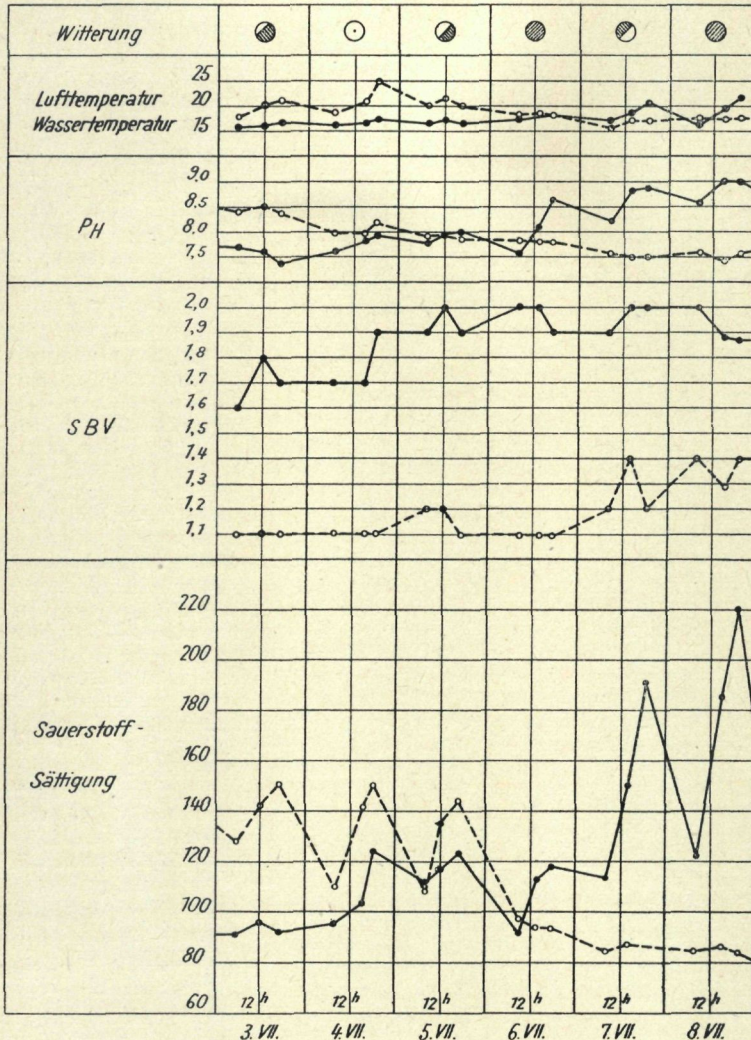


Abb. 6. Standortwechsel.

- — ● 3.—5. 7. 49 am Nordfenster, 6.—8. 7. 49 Südfenster Aquarium ohne Tiere, mit Fontinalis und Blaualgen (Aquarium 1).
 ○ — ○ 3.—4. 7. 49 am Südfenster, 6.—8. 7. 49 Nordfenster Aquarium ohne Tiere, nur mit Grünalgenbelag (Aquarium 4).

3. Der Lichteinfluß

a) Bedeutung des Standortes

Aus den vorstehenden Versuchen ging schon hervor, daß die Witterung bzw. die Stärke der Sonneneinstrahlung von großer Bedeutung für die Veränderungen der chemischen Faktoren war. Es mußte sich also auch der Standort des Aquariums im Verhalten des Wassers bemerkbar machen. Um diese Frage zu prüfen, wurden 3 Aquarien benutzt, die in gleicher Weise mit 8 l Leitungswasser beschickt und mit *Fontinalis* bepflanzt waren. Aquarium 1 wurde am Nordfenster des Raumes aufgestellt, wo es kein direktes Sonnenlicht bekam, während die Aquarien 2 und 3 am Südfenster standen. Dabei unterschieden sich diese beiden wiederum darin, daß Aquarium 3 bei hellem Wetter etwa 1 Stunde früher von Sonnenlicht getroffen wurde. Die Befunde sind in Abb. 5 für die Tage vom 5. 5. bis 13. 5. zusammengestellt.

Die Kurven zeigen eindringlich, in welchem hohem Maße der Stoffwechsel von der Belichtung abhängig ist. Bei Aquarium 1 sind die Ausschläge aller Kurven nur sehr schwach ausgeprägt, also die Schwankungen äußerst gering. Die Zunahme der Wassertemperaturen beträgt am Tage nicht mehr als 3°, während sie bei Aquarium 3 bis zu 12° betragen kann. Der pH-Wert beträgt am Anfang 7,3, der höchste Wert am 15. 5. liegt bei 8,1. In der gleichen Weise steigt er bei Aquarium 3 bis auf 9.

Das Säurebindungsvermögen liegt im Aquarium 1 zunächst bei 1,6, steigt auf 1,7 bzw. 1,9 und pendelt dann zwischen diesen Werten. Ganz anders bei Aquarium 3, hier fällt es stetig ab bis auf 1,3 (13. 5.), um im weiteren Verlauf sogar bis auf 0,8 am 25. 8. zu sinken.

Am deutlichsten jedoch kommt die Bedeutung des Standortes zum Ausdruck in der Assimilation der Pflanzen, durch die ja auch alle anderen Faktoren beeinflusst werden. Während bei Aquarium 1 die Sauerstoffsättigung die 100%-Linie nicht wesentlich übersteigt — der höchste Wert wurde bei hellem, sonnigem Wetter am 10. 5. mit 129% erreicht —, steigt sie bei Aquarium 3 bis auf 200% an. Dementsprechend sind auch die Schwankungsbereiche verschieden groß. Interessant ist ferner, daß sich bei den zwei Aquarien, die nebeneinander unter sonst gleichen Bedingungen stehen, schon deutliche Unterschiede zeigen können. So liegen bei Aquarium 2 alle Werte etwas niedriger als bei 3, da hier die direkte Sonnenbestrahlung etwa 1 Stunde kürzer war. Auf Einzelheiten braucht nicht eingegangen zu werden, da die Kurven das unterschiedliche Verhalten deutlich zeigen. Es sei an dieser Stelle schon darauf hingewiesen, wie das neu eingefüllte Leitungswasser sich nach etwa 3 bis 4 Tagen auf den normalen Rhythmus einstellt.

Vergleichsweise seien noch zwei weitere Versuche erwähnt, die die durch Standortwechsel bedingten Veränderungen in einem Aquarium deutlich zeigen, wodurch Ungleichheiten in der Bepflanzung usw. in mehreren Aquarien ausgeschlossen wird. Aquarium 4 (Abb. 6), das nur mit Grünalgen bewachsen war, wurde am 6. 7. um 10 Uhr vom Südfenster an das Nordfenster gestellt. Die Veränderungen im Stoffwechselrhythmus zeigt Abb. 6. Wassertemperatur, pH- und Sauerstoffwerte gehen sowohl in ihren höchsten Werten wie in ihren Schwankungsbereichen zurück, während das Säurebindungsvermögen ansteigt. Der Algenbelag verfärbt sich, wobei allerdings nicht festgestellt wurde, ob es sich um Absterbevorgänge oder Auftreten neuer Arten handelte. Umgekehrt wurde Aquarium 1 am 6. 7. um 10 Uhr vom Nordfenster an die Südseite gestellt (Abb. 6). Hier konnte das umgekehrte Verhalten im Stoffwechsel beobachtet werden, wobei allerdings das Säurebindungsvermögen sich viel langsamer, nämlich erst nach 12 Tagen, den neuen Verhältnissen anpaßte. Bei diesem Aquarium waren die Pflanzen sehr stark mit Blaualgen überzogen, die am Südfenster bei stärkerer Belichtung abstarben.

b) Verdunklung

Die oben beschriebenen Versuche zeigen, daß schon geringe Unterschiede in der Belichtung deutliche Veränderungen im Stoffwechsel hervorrufen. Es lag daher nahe, einmal längerdauernde Verdunklung bzw. künstliche Dauerbeleuchtung zahlenmäßig zu erfassen. Ein „Normalaquarium“ mit drei Stichlingen, das schon längere Zeit, vom 5. 5. an, am Südfenster zur Beobachtung gestanden hatte (vgl. Abb. 2), wurde für 10 Tage, vom 3. bis 11. 6., durch Einhüllen in lichtundurchlässiges schwarzes Papier verdunkelt. Die Proben wurden in derselben Weise entnommen und die Zahlenwerte in Abb. 7 dargestellt. Wie diese zeigt, fällt der Sauerstoffgehalt am ersten Tage bereits von 8,5 mg/l auf 4,4 mg/l entsprechend von 87 auf 50%. Am nächsten Tage sinkt er noch weiter ab auf 1–3 mg/l, was einer Sättigung von 20–30% entspricht. Auf dieser Höhe bleibt er während der ganzen Zeit der Verdunklung ziemlich konstant. Am 13. 6., als das Aquarium wieder dem

normalen Licht ausgesetzt wurde, entnahmen wir am ersten Tage die Wasserproben für die Untersuchung in zweistündigen Abständen, um das Ansteigen genauer verfolgen zu können. Die Sauerstoffbildung nahm bei Lichteinwirkung genau so schnell wieder zu, wie sie bei Verdunklung aufgehört hatte. Während der Verdunklungszeit hatten sich die Pflanzen braun verfärbt.

Das Säurebindungsvermögen lag zu Anfang des Versuches bei 0,8 bis 0,9 und stieg vom Tage der Verdunklung an langsam bis auf 1,8. Der rückläufige Vorgang bei Wiederherstellung der normalen Verhältnisse ging ebenfalls langsam vor sich und erreichte am

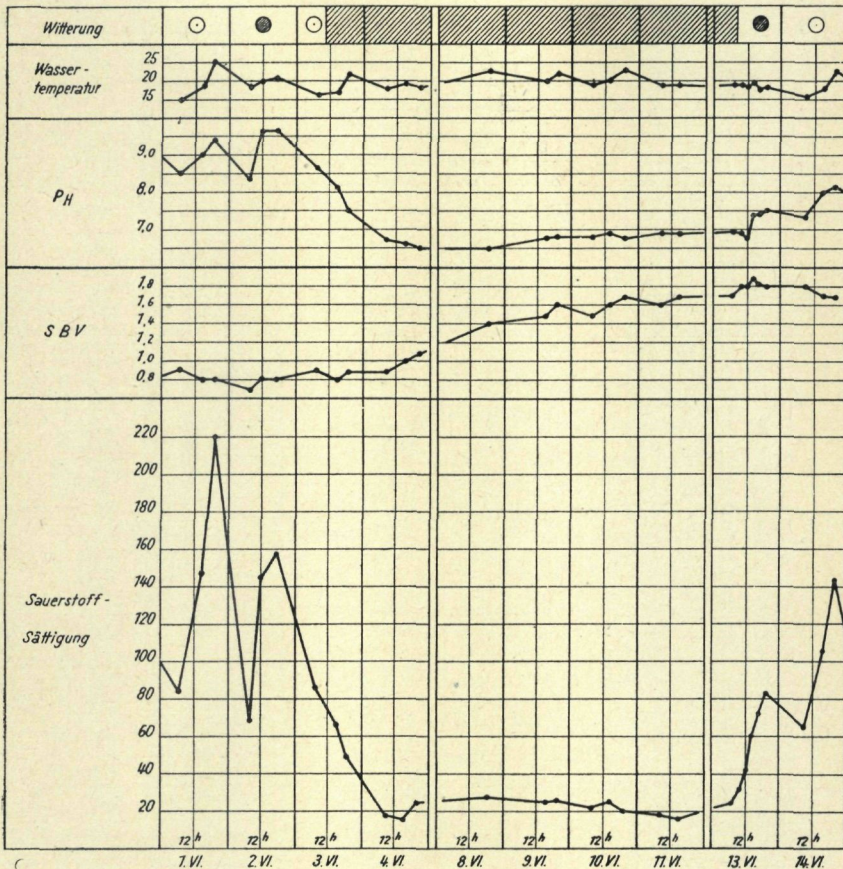


Abb. 7. Einfluß der Verdunklung.
Am 3. 6. 11 Uhr bis 13. 6. 9 Uhr verdunkelt.

28. 6., also erst nach 14 Tagen, den alten Ausgangswert. Die Wasserstoffionenkonzentration dagegen reagierte sehr schnell auf die Veränderung, indem sie schon am ersten Tage von 8,7 auf 7,4 absank und sich dann bei etwa 6,4 bis 6,8 hielt. Die Zunahme bei Belichtung folgte langsamer als der Abstieg, ging aber doch wesentlich schneller als beim Säurebindungsvermögen. Am 17. 6., also nach 4 Tagen, waren die Verhältnisse wie beim Anfang des Versuches.

Es sei noch darauf hingewiesen, daß die Wassertemperatur trotz der Verdunklung den normalen Rhythmus mitmachte. Insgesamt zeigte der Versuch, daß durch den Ausfall der Assimilation der Sauerstoffgehalt auf einen niedrigeren Wert absank und alle anderen Faktoren sich darauf einstellten, wobei die charakteristische Rhythmik aufgehoben wurde.

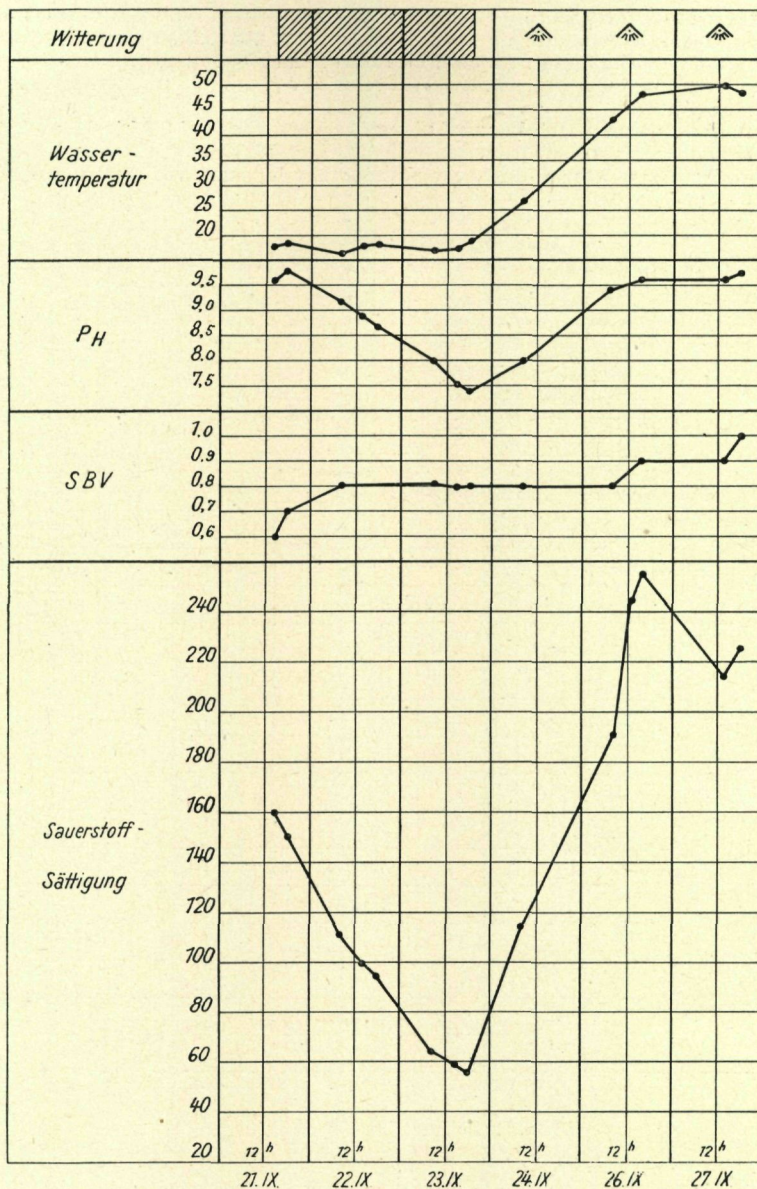


Abb. 8. Einfluß künstlicher Beleuchtung.

Vom 21. 9. bis 23. 9. 15 Uhr verdunkelt, am 23. 9. 15 Uhr bis 27. 9. 49 ständig beleuchtet.

////// Verdunklung ☀ Beleuchtung

c) Künstliche Beleuchtung

In einem weiteren Versuch wurde nach einer zweitägigen Verdunklung das Aquarium ständig beleuchtet. Es handelt sich hierbei um ein Hochaquarium von 44 cm Höhe, das von oben mit einer 60-Watt-Lampe belichtet wurde. Die Bepflanzung bestand aus *Elodea*

und *Ceratophyllum*, ohne Tiere. Wie nicht anders zu erwarten, fiel durch die Verdunklung der Sauerstoffwert ab und stieg bei dauernder Belichtung rapide auf 260% an. Das Säurebindungsvermögen wurde ebenfalls beeinträchtigt, die Veränderungen gehen aber aus der Abbildung nicht so klar hervor, weil sie sich über sehr lange Zeit erstreckten. Charakteristisch dagegen war der Verlauf der pH-Kurve. Die Wassertemperaturen stiegen bei Einschaltung der Beleuchtung sehr stark an und erreichten durch Wärmestau 50° C (Abbildung 8).

Aus den eingangs beschriebenen Versuchen (Versuch 1) ging hervor, daß die Stoffwechselvorgänge durch das Tageslicht einem täglichen Rhythmus unterliegen, in dem die Sauerstoffwerte vom Morgen bis zum Nachmittag anstiegen und zur Nacht abfielen, wäh-

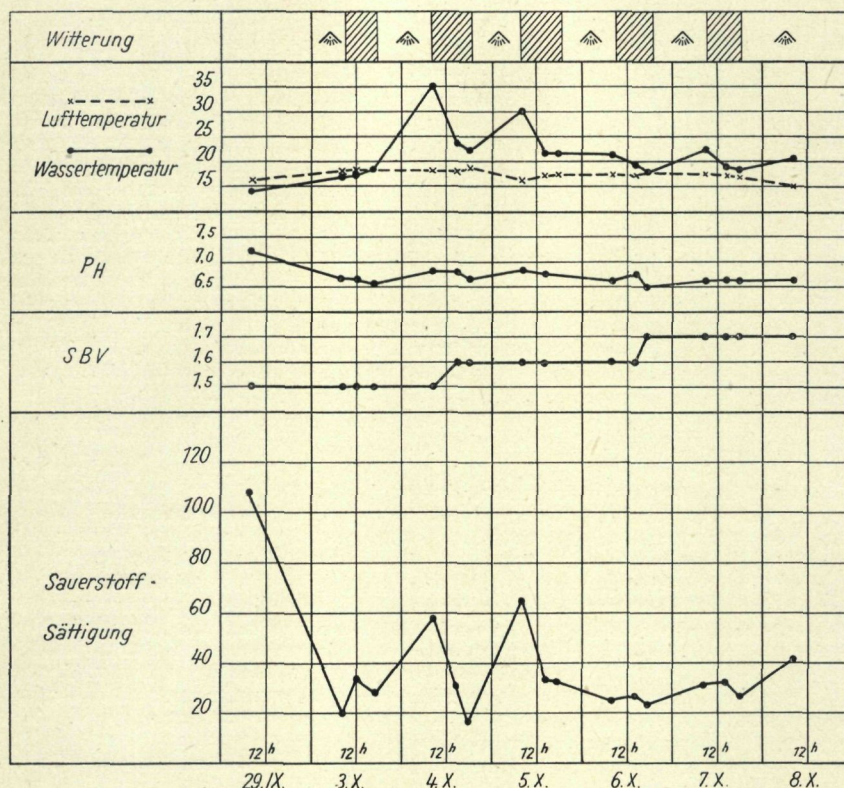


Abb. 9. Umkehr des Tagesrhythmus, Aquarium ohne Tiere und Pflanzen.

Von 9.00—17.00 Uhr verdunkelt, von 17.00—9.00 beleuchtet.

rend die übrigen Werte entsprechend rhythmische Schwankungen machten. Durch Verdunklung am Tage und künstliche Belichtung in der Nacht wurde der normale Rhythmus umgekehrt, wie aus Versuchen, die in Abb. 9 dargestellt sind, hervorgeht. Für diese Versuche wurde wiederum ein Hochaquarium benutzt. Die Belichtung erfolgte im Gegensatz zum vorhergehenden Versuch mit einer 60-Watt-Lampe von der Seite her, wobei die Beleuchtung in der Zeit von 17 Uhr abends bis 9 Uhr morgens eingeschaltet war. In der Zeit vom 3. bis 5. 10. befand sich die Lichtquelle in einer Entfernung von 10 cm vom Aquarium, in der Zeit vom 6. bis 8. 10. wurde die Entfernung auf 40 cm vergrößert, um das Aquarium vor zu hoher Erwärmung zu schützen. Die Wassertemperaturen zeigen auch deutlich den Unterschied im Grad der Erwärmung während dieser beiden Versuchsperioden.

Bei starker Beleuchtung stieg der Sauerstoffgehalt von 20 auf 60% an, während die schwächere Beleuchtung wohl auch noch einen Einfluß auszuüben vermag, der aber nicht

mehr allzu starke Schwankungen hervorrufen konnte. Das Säurebindungsvermögen zeigt in seinem Verhalten eine gewisse Ähnlichkeit zu den Versuchen mit dauernder Verdunklung, doch war der Anstieg wesentlich geringer. In gleicher Weise nahm auch der pH-Wert etwas ab, doch waren seine Schwankungen ziemlich unbedeutend, so daß ein Rhythmus kaum mehr noch zu erkennen war.

Bei diesem Versuch hat sich eindeutig ergeben, daß in unserm Fall das Tageslicht nicht durch künstliches Licht ersetzt werden kann. Die Sauerstoffwerte erreichen z. B. nach einer 16stündigen Beleuchtung nur 66%, während sie, wie frühere Versuche zeigten, bei Tageslicht weit über 200% ansteigen können. Die übrigen Faktoren zeigten ein Verhalten ähnlich einer Dauerverdunklung, was insofern bemerkenswert ist, als die Beleuchtungszeit doppelt so lang (16 Stunden) wie die Verdunklungszeit (8 Stunden) war.

d) Jahreszeitliche Schwankungen

Der größte Teil unserer Untersuchungen wurde in den Monaten Mai bis Oktober durchgeführt. Die höchsten Sättigungszahlen im Sauerstoffgehalt ebenso wie die stärksten Schwankungen in den anderen Werten finden wir natürlich in den Zeiten intensiver und lang andauernder Beleuchtung. Umgekehrt war zu erwarten, daß in den kurzen Wintertagen diese Extreme meist nicht erreicht werden konnten. So lagen z. B. am 19. und 20. September die Morgenwerte für die Sauerstoffsättigung bei 40–50%, die höchsten Sauerstoffwerte wurden um 14 Uhr mit 160% erreicht, während sie um 17.30 Uhr schon wieder auf 130% abgesunken waren, wohingegen in den Sommermonaten um diese Zeit häufig erst der höchste Wert erreicht wurde. Die pH-Werte bewegten sich in dieser Zeit zwischen 6,8 und 8,8. Die Ergebnisse beleuchten also wiederum die Tatsache, daß die Schwankungen in dem Rhythmus von der Stärke und der Dauer der Belichtung abhängig sind. Die Temperaturen spielen nur eine untergeordnete Rolle, denn durch die Heizung des Raumes stieg die Wassertemperatur in unserem Versuchsaquarium ähnlich wie im Sommer bis auf 23° C an. Bei hellen und sonnigen Tagen können die Werte am Südfenster auch im Winter bis auf 216% (z. B. am 24. Januar 1950) ansteigen.

4. Einfluß des Wasserwechsels

In der Versuchsreihe 2a wurde gezeigt, daß ein bepflanzttes Aquarium etwa 3 bis 4 Tage braucht, um den normalen Rhythmus auszubilden. Hierbei handelt es sich um ein neu-eingerichtetes Aquarium, bei dem sowohl Pflanzen und Boden wie das Wasser neu eingefüllt waren. Dabei tauchte die Frage auf, in welcher Weise sich der Rhythmus verändert, wenn nur das Wasser teilweise oder ganz gewechselt wird, dagegen die Bepflanzung mit dem Untergrund erhalten bleibt. Zu diesem Zweck wurden verschiedene Aquarien, die teils mit Stichlingen, teils mit Guppi besetzt und mit *Fontinalis* bepflanzt waren, entweder zur Hälfte oder ganz entleert und mit Leitungs- bzw. destilliertem Wasser aufgefüllt (Abb. 10). Die pH-Werte des frischen Wassers weichen z. T. ganz beträchtlich von dem alten Wasser ab, ähnlich wie auch beim Säurebindungsvermögen. pH-Werte 7,2 bzw. 6,1 gegen 8,4 bis 8,6 und Säurebindungsvermögen 0,2 bzw. 1,7 gegen 1,1 bzw. 1,9. Die alten Werte werden sehr schnell wiederhergestellt, wie auch in Abb. 10 für die vier angeführten Versuche dargestellt ist. Schon am ersten oder zweiten Tage wird der normale Rhythmus erreicht, gleichgültig, ob Leitungs- oder destilliertes Wasser ganz oder halb nachgefüllt wurde. Lediglich bei dem Säurebindungsvermögen geht das Einspielen etwas langsamer vor sich.

Ein Vergleich zu Versuchsreihe 2a und den jetzigen Untersuchungen zeigt, daß die Pflanzen sehr schnell ihre normalen Funktionen wiederaufnehmen, wenn lediglich das Wasser gewechselt wird. Etwas längere Zeit von 3 bis 4 Tagen wird benötigt, wenn Pflanzen neu eingesetzt werden oder der Bodengrund ausgewechselt wird.

5. Bedeutung der Wasseroberfläche

Bekanntlich spielt die Oberfläche des Gewässers für den Austausch der Gase eine große Rolle, je größer die Oberfläche im Verhältnis zum Inhalt ist, um so intensiver ist die Aufnahme von Sauerstoff aus der Luft oder die Abgabe von überschüssigem Sauerstoff aus dem Wasser in die Luft. Aus diesem Grunde ist es zweckmäßig, Aquarien mit möglichst großer Oberfläche zu verwenden im Gegensatz zu früheren Jahren, als man gern die bekannten kugelförmigen Goldfischgläser mit äußerst ungünstigem Oberflächeninhaltsverhältnis benutzte.

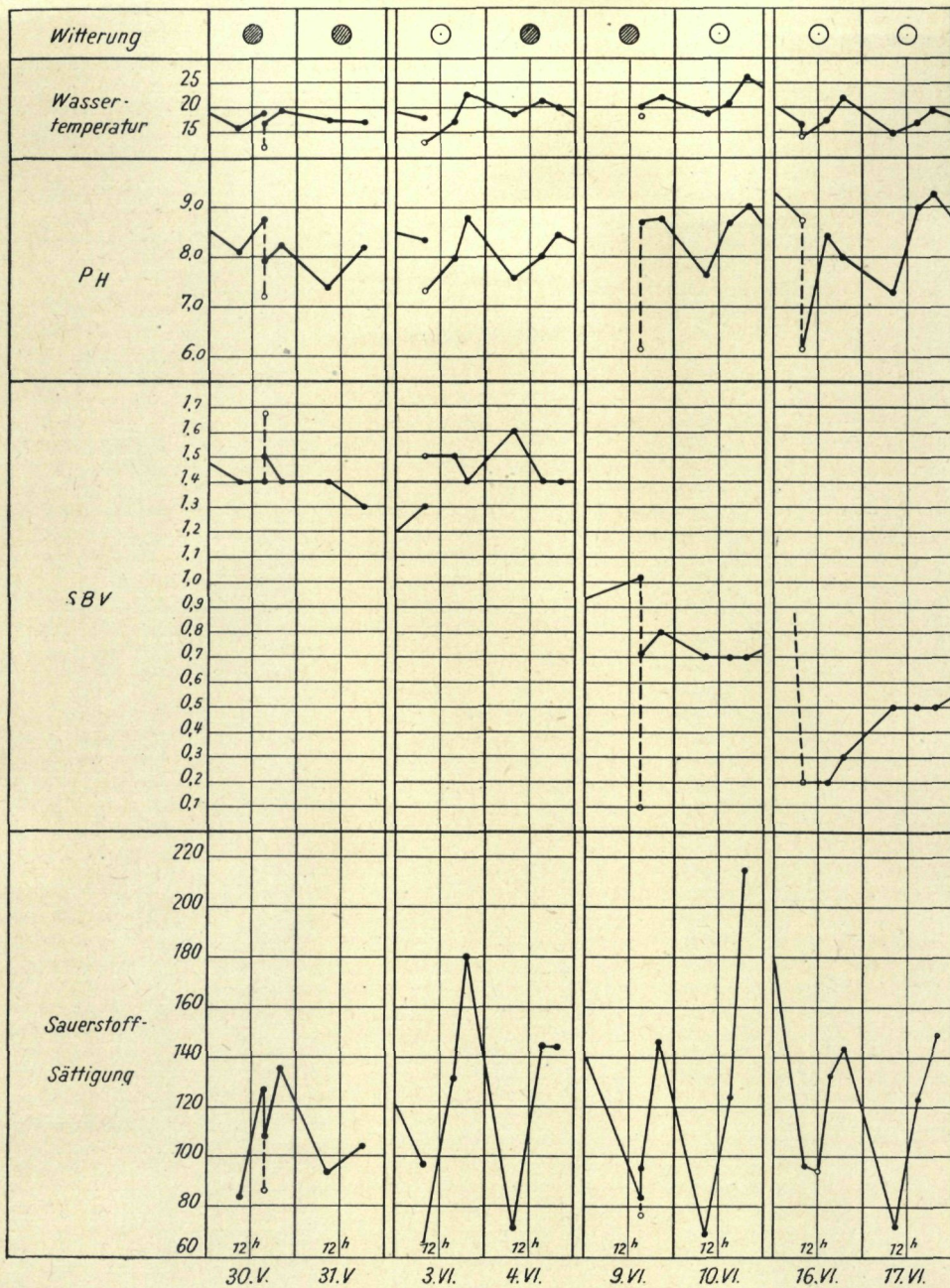


Abb. 10. Einfluß des Wasserwechsels auf den Rhythmus.

30.—31. 5. Wasserwechsel mit Leitungswasser 1 : 1. 3. u. 4. 6. Wasserwechsel mit Leitungswasser 7,5 : 0,5. Bepflanzung Fontinalis, 3 Stichlinge.

9.—18. 6. Wasserwechsel mit dest. Wasser 1 : 1. 16.—17. 6. Wasserwechsel mit dest. Wasser 1 : 0. Bepflanzung Fontinalis, 5 Guppi. Die Werte für zugefülltes Wasser sind durch O dargestellt.

Nachdem wir die normalen Vorgänge in den vorhergehenden Versuchen kennengelernt hatten, war es von Interesse, auch diese Frage näher zu behandeln. Uns standen zwei Aquarien von 5 l Inhalt zur Verfügung, von denen das eine sehr hoch (44 cm), das andere sehr flach (7,9 cm) war. Bei gleichem Inhalt verhielten sich die Oberflächen wie 119 qcm zu 784 qcm, das bedeutet etwa 1:6,5. Beide Aquarien enthielten keine Tiere, waren aber gleichmäßig mit *Elodea* und *Ceratophyllum* bepflanzt.

Nach dem oben Gesagten wäre zu erwarten gewesen, daß die Sauerstoffverhältnisse in dem Flachaquarium mit großer Oberfläche sich günstiger gestalten würden. Tatsächlich sind die Ergebnisse aber gerade umgekehrt (Abb. 11). Im Flachaquarium werden Sättigungswerte bis zu 180% im Höchstfall erreicht, während im Hochaquarium diese bis auf 240% steigen. Dementsprechend sind auch die Kalkwerte beim Flachaquarium höher und das Säurebindungsvermögen ziemlich gleichbleibend. Die pH-Werte bewegen sich zwischen 7,6 und 8,7. Im Hochaquarium liegen die Kalkzahlen insgesamt niedriger, was auch in dem Abfall des Säurebindungsvermögens (nach 5 Tagen von 1,5 auf 0,9) zum Ausdruck kommt. Der pH-Wert steigt langsam an, wobei die Schwankungen zwischen 8,6 und 9,7 liegen.

Das gleiche Bild, wie es sich an mehreren Tagen darstellte, fanden wir auch im Tagesrhythmus dieser beiden Aquarien wieder (Abb. 12), wobei sich zeigte, daß die Extreme in den untersuchten Werten, insbesondere Säurebindungsvermögen und pH, noch größer waren. Daß die Sauerstoffsättigungswerte im Flachaquarium etwas höher gingen (Abb. 11), lag daran, daß die Belichtungsverhältnisse in beiden Versuchsreihen verschieden stark waren, worauf bereits des öfteren hingewiesen wurde.

Die unerwarteten Ergebnisse sind ganz offensichtlich dadurch zu erklären, daß in dem langen Hochaquarium die Belichtungsverhältnisse für die Pflanzen wesentlich günstiger waren, als in dem niedrigen Flachaquarium. Im Hochaquarium wurde die g a n z e F l ä c h e durchlichtet, wodurch der gesamte Stoffwechsel intensiviert wurde. Somit ergibt sich für Aquarien, die Pflanzen einschließlich Algen enthalten, daß nicht so sehr die Oberfläche als vielmehr die gesamte durchleuchtete Fläche von Bedeutung für die Assimilation ist.

6. Pufferung

In zwei Aquarien wurde versucht, die Wasserstoffionenkonzentration durch Zusatz von Pufferlösungen konstant zu halten. In einem Aquarium wurde eine Pufferlösung nach Liebmann (DATZ)*), die aus einem Gemisch von 2/10 n Na_2HPO_4 und 1/10 n Zitronensäure für pH = 7,2 bestand, verwendet. Im zweiten Fall eine Lösung nach Sørensen (Na_2HPO_4) für pH = 5,9. Im Aquarium mit dem „Liebmann-Puffer“ hielt sich der pH-Wert auf 7,5 bis 7,7. Nach 6 Tagen wurde das Wasser trüb und die Pflanzen gingen an abzustarben. Nach einem halben Jahr wurde das Wasser noch einmal untersucht, wobei ein pH-Wert von 9,5 gefunden wurde. Eine Trübung durch Algen war erhaltengeblieben, dagegen alle höheren Pflanzen abgestorben. Unbeeinflusst war die Tierwelt; die folgenden Formen waren während der ganzen Untersuchungszeit erhaltengeblieben: Cyclopiden, Schnecken, Chironomiden, Planarien, *Hydra*, Daphniden, Gammariden, *Asellus* und als Fische Guppi. Interessant war aber, daß die Pufferwirkung im Laufe der Zeit verlorengegangen war.

Anders war der Verlauf in dem Aquarium mit dem Puffer nach Sørensen. Der pH-Wert stieg langsam von 6,9 auf 7,3 an, wobei auch hier, ebenso wie bei dem Liebmann-Puffer, geringe tägliche Schwankungen von 7,1 bis 7,4 zu verzeichnen waren. Nach 9 Tagen wurden die höheren Pflanzen braun, das Wasser blieb aber klar. Im weiteren Verlauf starben allerdings die Pflanzen nicht ganz ab, sondern kümmernten. Hierbei zerfielen sie in kleine Stücke, die Vegetationspunkte wurden gelb, und das Wachstum hörte auf. Bemerkenswert ist, daß der pH-Wert von 7,3 von dem Zeitpunkt an langsam zu sinken begann, als die Pflanzen braun wurden. Nach 14 Tagen war pH 6,8 erreicht. Bei einer Kontrolle nach einem halben Jahr wurde 6,6 gemessen. Die Tiere in diesem Aquarium hielten sich während der ganzen Versuchszeit wie im obigen Aquarium. Ein Vergleichsaquarium mit der bekannten gleichen Bepflanzung zeigte während der gesamten Versuchszeit das übliche Bild mit den rhythmischen Schwankungen im Chemismus und dem üppigen Wachstum der höheren Pflanzen.

Die beiden verwendeten Puffer verhinderten also die üblichen großen Tagesschwankungen, wenn diese auch noch in geringem Maße erkennbar waren, doch beeinträchtigten sie das Wachstum der höheren Pflanzen.

*) Deutsche Aquarien- und Terrarien-Zeitung, Jhg. 2, 1949, S. 82.

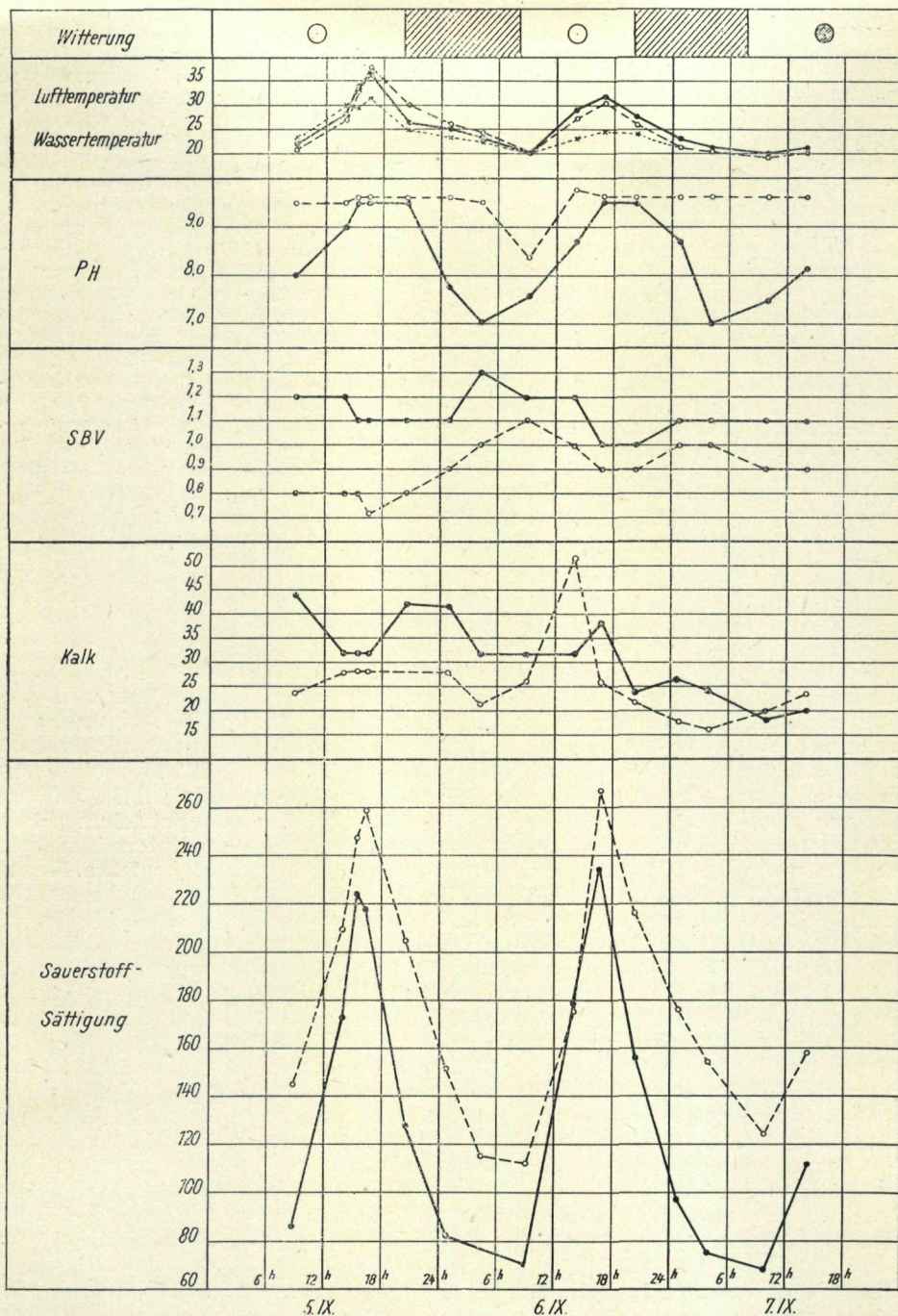


Abb. 11. Bedeutung der Gestalt des Aquariums für die Ausbildung des täglichen Rhythmus.

×---× Lufttemperatur ●---● Flachaquarium ○---○ Hochaquarium
Aquarien am Südfenster mit Elodea und Ceratophyllum ohne Tiere.

7. Künstliche Durchlüftung

Bei unseren Versuchen konnten wir Sauerstoffsättigungen von über 200%, gelegentlich 270%, in einem Extremfall sogar 300% feststellen. Derartige Übersättigungen werden wir in der Natur nur selten, und zwar zwischen Pflanzen bei hoher Temperatur und keinerlei Wasserbewegung finden. Sauerstoffübersättigungen in dieser Höhe stellen also einen labilen Zustand dar, der zum Ausgleich drängt. Mit anderen Worten bedeutet dieses, daß der überschüssige Sauerstoff als Gas abgegeben wird, bis der normale Sättigungsgrad erreicht ist. Da in bewegten Gewässern im Gegensatz zu den obenerwähnten stagnierenden Stellen kaum sehr viel höhere Sättigungen als 100% gefunden wurden, lag es nahe, zu untersuchen, wie sich eine Wasserbewegung bzw. eine Durchlüftung auf unsere Verhältnisse auswirken würde. Ein normales Aquarium, wie es bei allen Versuchen verwendet wurde, zeigte z. B. eine Sauerstoffsättigung von 186%, nach einem Umrühren der gesamten Wassermenge betrug die Sättigung nur noch 166%. Der Sauerstoffgehalt war also durch eine kurze Wasserbewegung um 12% verringert. Wesentlich größer wurde die Verminderung, wenn man übersättigtes Wasser längere Zeit durchlüftete. So betrug z. B. in einem Aquarium im Januar um 14.10 Uhr die Sättigung 216%, um 14.30 Uhr, nach einer Durchlüftung von 20 Minuten, 196% und um 15.00 Uhr, nach 50 Minuten Durchlüftung, nur noch 113%. Bei einem anderen Versuch waren die Werte in gleicher Versuchsanordnung 202, 193 und 117%. Ähnliche Verhältnisse konnten beliebig oft wiederholt werden. Bei Dauerdurchlüftung über mehrere Tage schwankten die Werte zwischen 100 und 116%. Diese Zahlen entsprechen den normalen Verhältnissen, wie wir sie auch bei bewegten oder fließenden natürlichen Gewässern kennen.

Diese Versuche haben also das an sich wohl zu erwartende, aber doch überraschende Ergebnis gebracht, daß eine Belüftung entlüftend wirkt.

IV. Besprechung der Ergebnisse

Betrachtet man einen Wasserkörper in seinem biologisch-chemischen Bestehen als ein Ganzes, so kann man seine Dynamik als eine Wechselwirkung zwischen Stoff und Energie auffassen. Bei dem Stoff handelt es sich um die im Wasser gelösten Nährsalze, die durch Sonnenenergie (Licht und Wärme) natürlicherweise mobilisiert werden. In Tiefengewässern dringen Licht und Wärme nur bis zu einer geringen Tiefe ein, so daß es zu der Ausbildung der bekannten Erscheinungen, wie Sprungschicht, Frühjahrs- und Herbstzirkulation und Entstehung einer trophogenen und tropholytischen Schicht, kommt. Auf diesen Unterschieden in den Schichtungsverhältnissen beruht ja die Aufstellung der Seetypenlehre. Flache und seichte Gewässer können bis zum Grunde durchleuchtet werden, so daß die obenerwähnten jahreszeitlichen Rhythmen bereits im Laufe eines Tages ablaufen. Dadurch haben die kurzfristigen meteorologischen Verhältnisse in flachen Gewässern eine viel größere Bedeutung als in tiefen. Aquarien müssen zu den Seichtgewässern gerechnet werden, da ihre Wassersäule nur äußerst gering ist. Sie stellen aber insofern noch einen Extremfall dar, als sie im allgemeinen nicht nur von oben beleuchtet, sondern auch von den Seiten her durch die Glaswände durchleuchtet werden. In Seichtgewässern verändern sich alle chemischen Faktoren, z. B. pH, Sauerstoffsättigung usw., sehr schnell unter dem Einfluß der äußeren Bedingungen und erreichen häufig hohe Werte. Im Aquarium werden diese, wie aus dem Vorstehenden hervorgeht, noch weiter bis ins Extrem gesteigert. Aus dem gleichen Grund machen sich auch schon geringfügige Veränderungen in der Besonnung, wie z. B. vorüberziehende Wolken, auf die natürliche Kleinstgewässer noch nicht ansprechen dürften, in erheblichen Schwankungen bemerkbar. Daraus folgt auch, daß die von uns gefundenen Werte für die chemischen Faktoren nur für die von uns gegebenen Bedingungen gelten. Jede, auch die geringfügigste Veränderung in den Bedingungen, wie z. B. Größe, Form, Standort des Aquariums, ferner Verhältnis von Sauerstoffproduzent zu Konsument, Dauer der Belichtung usw., rufen entsprechende Änderungen in der Dynamik des Aquariumwassers hervor. An Hand unserer Unterlagen ist

— Flachaquarium
 - - - - - Hochaquarium
 Elodea und Ceratophyllum ohne Tiere

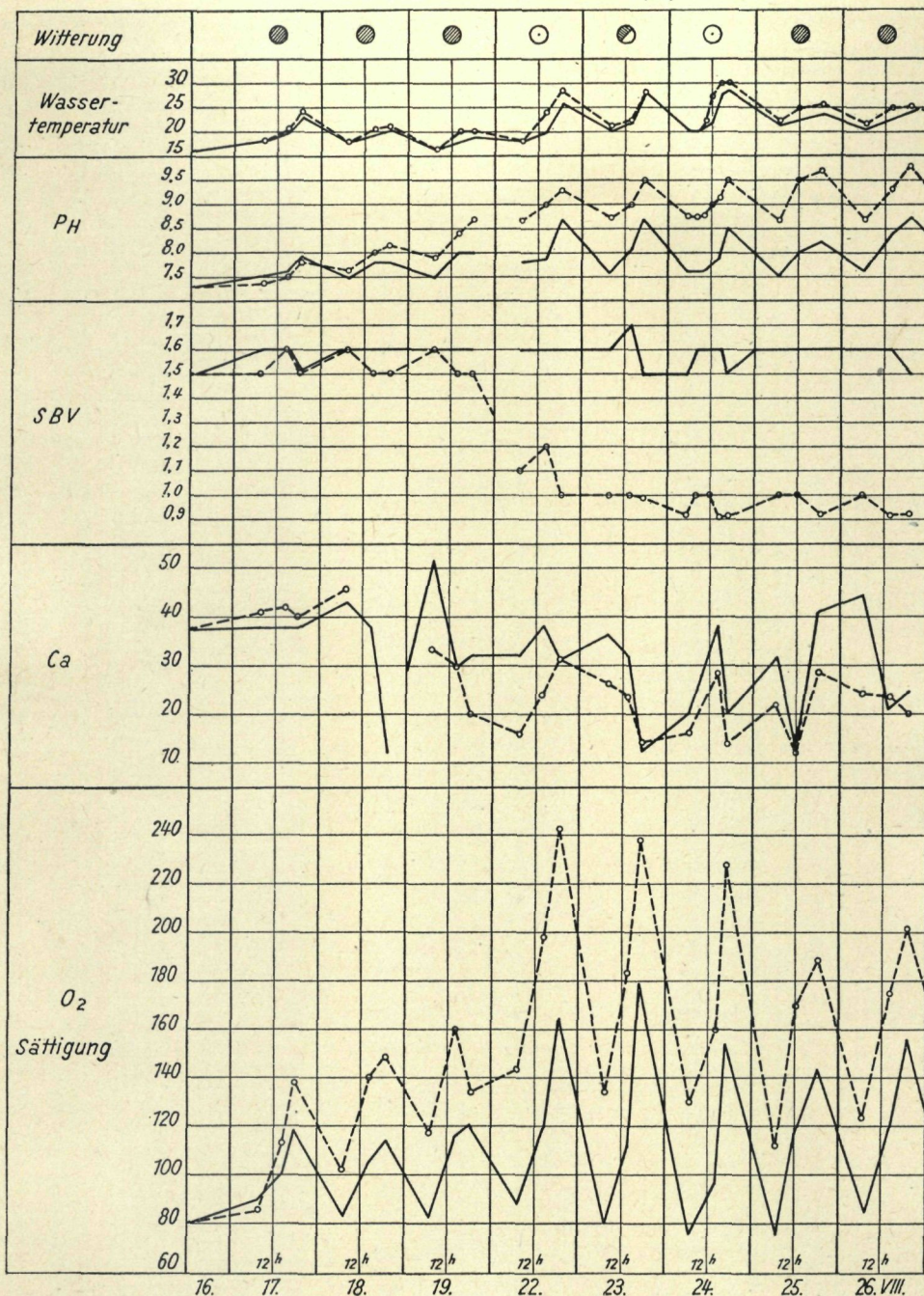


Abb. 12.

man aber in der Lage, für alle gewünschten Milieuverhältnisse die erforderlichen Bedingungen zu schaffen. Die Variationsbreite der Schwankungen in den chemischen Faktoren bei Aquarienwässern ist ebenfalls größer, als in natürlichen Seichtgewässern, so daß auch hier noch einmal die Sonderstellung der Aquarienverhältnisse dokumentiert wird, z. B. sind in Aquarien Sauerstoffübersättigungen von 300% und mehr keine Seltenheit, während in flachen Tümpeln 200% nicht allzu häufig sein werden.

Selbstverständlich werden diese extremen Bedingungen auch nicht ohne Einfluß auf die Bewohner von Aquarien sein. M e r k e r hat bereits in seinen Untersuchungen über Lichtschädigungen an Süßwasserorganismen auf diese Fragen hingewiesen. Unter Umständen sind die Schädigungen nicht auf das Licht allein zurückzuführen, sondern indirekt über die gesamten chemischen Faktoren zu erklären. Direkte Schädigungen durch Sauerstoffübersättigungen sind als Gasblasenkrankheit an Fischen und Erstickten durch Sauerstoff- und Kohlensäureüberschuß im Blut bekannt. Vielleicht werden auch die morphologischen und physiologischen Veränderungen bei Wassertieren durch erhöhten Gasdruck hervorgerufen, so daß auf diese Frage beim Züchten von Organismen im Wasser in erhöhtem Maße geachtet werden muß. Ebenso ist der pH-Wert des umgebenden Wassers bei der Befruchtung von Bedeutung. Desgleichen wissen wir durch die Untersuchungen von B a n d t u. a., daß hohe pH-Werte von manchen Fischarten nur schwer vertragen werden. Bisher wurden bei früheren Untersuchungen häufig nur einzelne dieser Faktoren berücksichtigt, wie z. B. Härte und pH, es darf aber nicht vergessen werden, daß bei allen diesen Beobachtungen die Gesamtheit der Faktoren in Betracht gezogen werden muß, wobei die Gesamtheit größere Bedeutung hat als die Summe der einzelnen Faktoren, wie chemische Versuche von B a n d t, allerdings unter anderen Gesichtspunkten, ergeben haben. Außerdem haben unsere Versuche gezeigt, daß man Untersuchungen des Aquarienwassers kurzfristig längere Zeit hindurch zu verschiedenen Tageszeiten durchführen muß, um den Charakter des Rhythmus im Aquarium zu erfassen.

V. Zusammenfassung

1. In Aquarien von einheitlicher Größe wurden die Schwankungen im Chemismus des Wassers untersucht.
2. Für alle von uns bestimmten chemischen Faktoren, wie pH, Säurebindungsvermögen, Kalk, Sauerstoffgehalt, ist ausschlaggebend der Stoffwechsel der Organismen, d. h. die Assimilation bzw. die Dissimilation.
3. In allen Fällen tritt eine ausgeprägte Rhythmik auf, die sich besonders in der Sauerstoffsättigung zeigt, die ihren Höhepunkt mittags bzw. am frühen Nachmittag, ihr Minimum in den Morgenstunden hat.
4. Enthalten die Aquarien lediglich Pflanzen als Sauerstoffproduzenten, so zeigt die Rhythmik besonders starke Ausschläge. Durch zusätzlichen Besatz mit Tieren wird der Sauerstoffverbrauch und die Kohlensäureproduktion erhöht, wodurch die Kurve ein anderes Bild erhält, besonders ausgeprägt ist das morgendliche Minimum, weit unter der Sättigungsgrenze.
5. Aquarien ohne Organismen zeigen naturgemäß keine Rhythmik, die aber sofort ganz ausgeprägt bei der ersten Ausbildung von Algen auftritt. Der pH-Wert zeigt die Tendenz, in den alkalischen Bereich anzusteigen, während das Säurebindungsvermögen abnimmt.
6. Der Standort des Aquariums ist von Bedeutung, da durch ihn die Belichtungsintensität und auch die Größe der Rhythmik bestimmt wird.

7. Durch dauernde Verdunklung wird der allgemeine Rhythmus aufgehoben, der pH-Wert fällt, das Säurebindungsvermögen steigt.
8. Durch künstliche Beleuchtung und Verdunklung kann die Rhythmik entsprechend der Belichtungsintensität beliebig verändert werden.
9. Die jahreszeitlichen Unterschiede sind lediglich bedingt durch die Belichtungsdauer; Maxima und Form der Kurven verändern sich entsprechend.
10. Nach Wechsel des Wassers stellt sich die Rhythmik sehr schnell wieder ein.
11. Für das Ausmaß des Stoffwechsels in einem Aquarium ist nicht so sehr die Oberfläche, als die Größe der durchleuchteten Wassermenge von Bedeutung.
12. Auch bei Verwendung zweier definierter Pufferlösungen ließ sich eine Rhythmik, allerdings nur von geringem Ausmaß, feststellen.
13. Die für Aquarien typische Sauerstoffübersättigung (extrem bis zu 350%) läßt sich durch künstliche Wasserbewegung (Durchlüftung oder Umrühren) schon nach kurzer Zeit aufheben.

Literatur

- Bandt, H. J. (1936): Der für Fische „tödliche pH-Wert“ im alkalischen Bereich. Z. f. Fischerei 34.
- (1946): Über verstärkte Schädwirkungen auf Fische, insbesondere über erhöhte Giftwirkung durch Kombination von Abwassergiften. Beiträge zur Wasser-, Abwasser- und Fischereichemie. Flußwasseruntersuchungsamt Magdeburg 1.
- Brandt, A. v. (1935): Hydrographische Untersuchungen an kleinen Waldgewässern unter besonderer Berücksichtigung der jahreszeitlichen Schwankungen. 57. Ber. d. Westpreuß. Bot. Zool. Vereins.
- Cernajew, W. P., und W. Nowak (1930): Ein Beitrag zur Frage des Gasstoffwechsels im Wasser, mit besonderer Berücksichtigung des Sauerstoffgehaltes und der Kohlensäuremenge in ihren Beziehungen zu den Änderungen des Bikarbonatvorkommens, des Härtegrades und auch der Schwankungen in der Wasserstoffionenkonzentration Arch. Hydrobiol.
- Czensny, K. (1943): Untersuchungsverfahren zur chemischen Wasseranalyse. Stuttgart.
- Czerny, A. (1948): Zur Dynamik von Seichtgewässern. Z. f. Hydrologie. Bd. X.
- Frömming, E. (1941): Untersuchungen über den Chemismus des Aquariumwassers. Int. Rev. Ges. Hydrobiol. 40.
- Geßner, F. (1932): Schwankungen im Chemismus kleiner Gewässer in ihrer Beziehung zur Pflanzenassimilation. Arch. Hydrobiol. 24.
- Ladiges, W. (1951): Der Fisch in der Landschaft. 2. Aufl. Braunschweig.
- Merkel, E. (1939): Der Lichtschutz im belebten Wasser. Int. Rev. Ges. Hydrobiol. 40.
- (1942): Die Wirkung des Lichtes auf die Tierwelt. Biologica Generalis 15.
- Minder, L. (1926): Biologisch-chemische Untersuchungen im Zürichsee. Z. f. Hydrologie 3.
- Pichler, W. (1939): Unsere derzeitigen Kenntnisse von der Thermik kleiner Gewässer. Int. Rev. Ges. Hydrobiol. 38.
- Ruttner, F. (1937): Limnologische Studien an einigen Seen der Ostalpen. Arch. Hydrobiol. 32.
- Schäperclaus, W. (1926): Die örtlichen Schwankungen der Alkalinität, des pH, ihre Ursachen, ihre Beziehungen zueinander und ihre Bedeutung. Z. f. Fischerei 24.
- (1926): Neue Anschauungen über die Gasstoffwechselanalyse natürlicher Gewässer und ihre fischereiliche Bedeutung. Arch. Hydrobiol. 17.
- Sedelmeyer, K. (1931): Ein Beitrag zur Klimatologie des Teiches. Z. f. Fischerei 29.
- Weimann, R. (1935): Chemische und biologische Untersuchungen an einem Teich. Arch. Hydrobiol. 28.
- (1936): Über Schwankungen des Sauerstoffgehaltes in schlesischen Karpfenteichen. Z. f. Fischerei 34.
- (1942): Zur Gliederung und Dynamik der Flachgewässer. Arch. Hydrobiol. 38.

