

Biologische Voruntersuchungen für die Bodenseewasserversorgung in der Versuchsfilterstation Sipplingen

Von Hubert LEHN

(Aus der Anstalt für Bodenseeforschung der Stadt Konstanz)

Inhalt	Seite
A. Einleitung	17
B. Methode	18
C. Veränderungen des Wassers in der Seeleitung	20
D. Kurzfristige Veränderungen des Wasserkörpers	26
E. Mittel- und langfristige Veränderungen des Wasserkörpers	38
F. Reinigungsleistung der Schnellfilter	47
G. Zusammenfassung	53
H. Literatur	54

A. Einleitung

Vom Boot aus wurden seit 1952 in monatlichen Vertikalprofilen im Überlinger See physikalische, chemische und biologische Untersuchungen des freien Wassers für die damals geplante Bodenseewasserversorgung (von Sipplingen nach Stuttgart) durchgeführt. Die Ergebnisse sind in zwei Schriften niedergelegt (AUERBACH u. Mitarbeiter 1953; MUCKLE 1956). Aus verschiedenen Gesichtspunkten heraus wurde darin als günstigster Entnahmeort Süßenmühle bei Sipplingen und 60 m Tiefe empfohlen.

Es war nun wichtig, die Eigenschaften des gepumpten Wassers ebenfalls zu untersuchen, um es mit den Freiwasseruntersuchungen vergleichen zu können; denn oft erbringen veränderte Entnahmemethoden andere Ergebnisse.

Im Gegensatz zu den Freiwasseruntersuchungen, die monatlich nur eine bis mehrere vertikale „Momentaufnahmen“ liefern, können aus der örtlich gebundenen Versuchsfilterstation fast kontinuierlich Momentaufnahmen gewonnen und aneinandergereiht werden, allerdings nur aus den Tiefen, in denen die Seeleitungen enden. Diese Möglichkeit wurde von biologischer Seite zeitweise ausgenützt, um tiefere Einsicht in schnelle Zustandsänderungen des Tiefenwassers zu gewinnen.

Der Schwerpunkt der biologischen Untersuchungstätigkeit in der Versuchsfilterstation während der Jahre 1955 und 1956 lag bei der Erfassung der Windverhältnisse, der Wassertemperatur, des Netzplanktons (Crustaceen und größere Phytoplankter) und der einzelnen Phytoplankter. Auf die Trinkwasseruntersuchungen der Seewasserwerke von St. Gallen (HOFFMANN 1954) und Zürich (STADT ZÜRICH 1954) kann verwiesen werden.

Das gepumpte Rohwasser der 3 Seeleitungen wurde zur Ermittlung der günstigsten Entnahmetiefe miteinander verglichen. Da z. T. sehr verschiedene Fließgeschwindigkeiten herrschten, wurden deren Wirkungen in zusätzlichen Versuchen geklärt. Neben dem „Phytoplanktonangebot“ des Rohwassers wurde der „Phytoplanktongehalt“ des Reinwassers der verschiedenen Schnellfilter untersucht, um Aufschlüsse über den biologischen Reinigungseffekt zu gewinnen.

Ein summarischer Überblick über den Umfang der biologischen Untersuchungen, die im Auftrage des Zweckverbandes Bodenseewasserversorgung durchgeführt wurden, ist in Tab. 1 gegeben. Mündliche und schriftliche¹⁾ Ergebnisse waren Unterlagen für Planung, Bau und Betrieb der Bodenseewasserversorgung.

Tab. 1: Umfang der biologischen Untersuchungen in der VF Sipplingen während der Jahre 1955 und 1956.

		40 m	60 m	80 m	Gesamt
Rohwasseruntersuchungen					
Temperatur	1955	931	764	225	1920
(Ableseung in 1/10°C)	1956	490	425	212	1127
Netzplankton	1955	582	482	213	1277
(Bestimmung des Absatzvolumens)	1956	484	415	212	1111
Phytoplankton	1955	262	133	71	466
(Quantitative Auszählung der Arten)	1956	234	174	57	465
Reinwasseruntersuchungen					
Phytoplankton	1955		F ₁ : 23	F ₁ : 21	
(Quantitative Auszählung der Arten)			F ₂ : 23	F ₂ : 23	
			F ₃ : 24	F ₃ : 23	137
	1956		F ₁ : 42	F ₁ : 37	
			F ₂ : 40	F ₂ : 35	
			F ₃ : 42	F ₃ : 37	233

Parallel dazu wurden durch andere Untersuchungsstellen einerseits chemische und filtertechnische Probleme (OEHLER 1958) und andererseits bakteriologische bis zum Sommer 1956 angegangen, die GRIM ab Frühjahr 1957 weiterführte und deren Ergebnisse nach mündlicher Mitteilung zur Publikation vorgesehen sind.

B. Methode

I. Entnahmebedingungen

Die Versuchsfilterstation (= VF) Sipplingen des Zweckverbandes Bodenseewasserversorgung liegt am Nordufer des Überlinger Sees (Bodensee), etwa 3 km nordwestlich von Überlingen (Abb. 1). Die Uferlinie verläuft etwa von NW

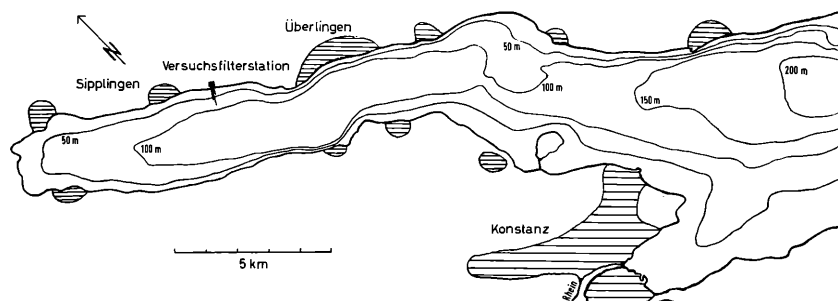


Abb. 1: Lage der Versuchsfilterstation Sipplingen am Überlinger See (Bodensee).

¹⁾ Der vorliegende Beitrag ist eine Kürzung des Berichtes vom 1. Oktober 1958 über „Biologische Untersuchungen in der Versuchsfilterstation Sipplingen des Zweckverbandes Bodenseewasserversorgung während der Jahre 1955 und 1956“

nach SE. Auf eine flache Uferbank, die im Winter teilweise trocken liegt, folgt seewärts eine steile Halde von etwa 20 m Höhe; anschließend ist die Senkung des Bodens wieder geringer. In diesem Bereich liegen die 3 Versuchs-Seeleitungen. Die erste mit 300 m Länge (Durchmesser 100 mm) endet in 40 m, die zweite mit 420 m Länge (Durchmesser 200 mm) in 60 m und die dritte 550 m lange Leitung (Durchmesser 100 mm) in 80 m Tiefe (Abb. 2).

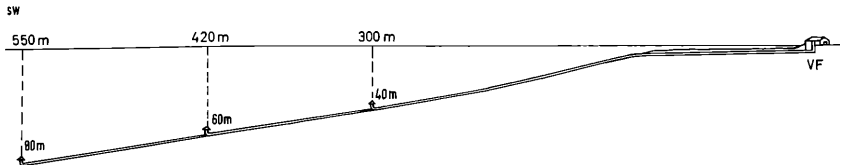


Abb. 2: Lage der drei See-Entnahmeleitungen der VF Sipplingen in 40 m, 60 m und 80 m Tiefe.

Aus bestimmten Gründen (z. B. Filtriergeschwindigkeit) wurden die Pumpleistungen während der Untersuchungszeit an allen 3 Seeleitungen einige Male mehr oder weniger stark verändert (s. Abb. 18; OEHLER 1958). Da außerdem 2 verschiedene Rohrquerschnitte vorlagen, ergaben sich große Unterschiede in den Fließgeschwindigkeiten.

Die 40 m- und 80 m-Temperaturen wurden aus mehrere Meter langen dünnen Abzweigleitungen gewonnen (geringe Angleichung an die höhere Raumtemperatur!), die 60 m-Temperatur aus einem Wasserhahn gleich hinter der Pumpe.

II. Entnahme und Verarbeitung der Proben

1. Die Temperatur wurde mit wenigen Ausnahmen von Montag bis Freitag vormittags zu bestimmten Zeiten in der Luft, an der Wasseroberfläche in etwa 10–20 cm Tiefe und an den Probeentnahmestellen der 3 Seeleitungen in der Versuchsfilterstation mit einem Quecksilberthermometer auf $1/10^{\circ}$ C genau abgelesen. Bei den Dauerserien (s. S. 26) erfolgte die Ablesung alle 2 Stunden beim Wechsel des Planktonnetzes, oft aber auch jede Stunde.

2. Das Netzplankton wurde mit Hilfe von trichterförmigen Netzen aus Müllerseide Nr. 25 (Maschenweite ca. 60 μ), an welchen unten ein Metalltrichter mit Schlauch und Klemme befestigt war, täglich von Montag bis Freitag gewonnen. Die Netze hingen unter dem Wasserhahn und tauchten gut zur Hälfte in das Wasser eines Eimers, um ihre Lebensdauer zu erhöhen und den Erhaltungszustand des Planktons zu verbessern. Innerhalb von 2 Stunden wurde 1 m³ Wasser filtriert. Der Rückstand im Netz, dessen Maschenweite sich beim Filtern durch Verstopfen verminderte, enthielt das gesamte Crustaceenplankton und die größeren, sperrigen Phytoplankter. Aus dem Netz ausgewaschen sedimentierte der mit Formaldehyd fixierte Rückstand in graduierten Röhrchen. Nach 24 Stunden wurde das Absetzvolumen, das einen Mittelwert des Planktonanfalles im Zeitraum von 2 Stunden darstellt, in ml/m³ abgelesen. Bei den Dauerserien (s. S. 26) wurden die Netze alle 2 Stunden ausgetauscht, bei den Versuchen mit variierten Fließgeschwindigkeiten (s. S. 20) teilweise auch öfters. Da in letzterem Falle teilweise weniger als 1 m³ filtriert wurde, mußte der Rückstand auf 1 m³ umgerechnet werden.

3. Das Phytoplankton ist im Netzplankton nicht vollständig enthalten. Daher wurden Schöpfproben entnommen, und zwar das Rohwasser aus den Wasserhähnen der 3 Seeleitungen wöchentlich ein bis mehrere Male, und ebenso das Reinwasser aus den untersten Wasserhähnen der 3 offenen und der 3 geschlossenen Schnellfilter, die verschiedene Quarzsandkörnung enthielten. Um

Fehler durch abgelagerte Plankter zu vermeiden, ließ man das Wasser vorher mindestens $\frac{1}{4}$ Stunde fließen. Etwa 50 ml Wasser wurden in Fläschchen abgefüllt und zur quantitativen Phytoplanktonbestimmung mit Jodjodkalium fixiert. Vor dem Auszählen wurden die Fläschchen etwa 2 Minuten geschüttelt, um den Inhalt gleichmäßig zu verteilen; sodann wurden 2 ml-Zählkammern gefüllt, die zur Sedimentierung mindestens 6 Stunden standen, ehe auf der Bodenfläche die einzelnen Zellen der verschiedenen Phytoplankter im Planktonmikroskop nach UTERMOHL ausgezählt wurden. Sie sind in Zellen je Milliliter (= Z/ml) Rohwasser bzw. Reinwasser angegeben.

4. Witterung Windrichtung und -stärke wurden etwa von Juli 1955 an vormittags von Montag bis Freitag jeder Woche, ausgenommen an Feiertagen, abgeschätzt, daneben auch Bewölkung und Regen. Besondere Witterungsverhältnisse der übrigen Tageszeiten und des Wochenendes wurden vermerkt. Leider standen die anfangs zugesagten meteorologischen Geräte, darunter ein Windschreiber, während der Untersuchungszeit nicht zur Verfügung, so daß eine Analyse vieler Veränderungen des Tiefenwassers nur mit Vorbehalt durchgeführt werden konnte oder gar unmöglich war.

An dieser Stelle sei der Dank an Herrn Dr. OEHLER und Herrn HEINZ von den technischen Werken Stuttgart ausgesprochen, die im Jahre 1955 in jeder zweiten Woche die biologischen Proben entnahmen, und an Herrn H. ZIMMERMANN von der VF Sipplingen, der dies 1956 vornahm und zudem die Durchführung der Dauerserien durch aufopfernde Mithilfe ermöglichte.

C. Veränderungen des Wassers in der Seeleitung

I. Vorbemerkung

Zu Beginn der Untersuchungstätigkeit im Jahr 1955 ergab sich öfters die den allgemeinen limnologischen Kenntnissen widersprechende Tatsache, daß in 1 m^3 Rohwasser, das aus dem Entnahmehahn der 80 m-Seeleitung gewonnen wurde, mehr Plankton enthalten war als in 1 m^3 Rohwasser der 40 m-Seeleitung. Es lag auf der Hand, diesen Effekt auf eine nachträgliche Veränderung des aus dem See gepumpten Rohwassers zurückzuführen, die in der Entnahmemethode begründet ist: Denn die Fließgeschwindigkeit in der 40 m-Seeleitung war wesentlich geringer als in den beiden andern Leitungen.

Zur Klärung der Wirkung unterschiedlicher Fließgeschwindigkeiten in der Seeleitung auf den Planktongehalt des Rohwassers am Entnahmehahn wurde eine zusätzliche Untersuchungsreihe im Zeitraum vom Juli 1955 bis Oktober 1956 durchgeführt, also vor allem in den planktonreichen Monaten. An 34 Tagen wurde die Fließgeschwindigkeit in der 40 m-Seeleitung mehrfach variiert. Die 3 Fließgeschwindigkeitsstufen waren: 5–7 cm/s (Stufe 1), 16–20 cm/s (Stufe 2) und 28–36 cm/s (Stufe 3). Die Schwankungen in jeder Stufe beruhen auf dem Wechsel des Bodenseewasserstandes im Laufe des Jahres.

Nach einer Änderung der Fließgeschwindigkeit wurde das Netz zur Probenentnahme erst wieder an den Wasserhahn gehängt, wenn das Wasser, das mit der neuen Geschwindigkeit in den Einlaufurm der Seeleitung in 40 m Tiefe gelangt war, am Entnahmehahn ankam. Bei einer Leitungslänge von etwa 350 m tritt dies bei ca. 36 cm/s nach etwa 20 Minuten, bei 20 cm/s nach etwa 40 Minuten und bei 7 cm/s nach etwa 105 Minuten ein. Während dieser „Übergangszeiten“ wurden zunächst nur Temperatur- und Phytoplanktonproben entnommen (s. Abb. 3), später jedoch auch Netzplanktonproben (s. Abb. 4).

II. Befunde

Bei unterschiedlichem Temperatur- und Planktonzustand des Sees wurden 34 Versuche durchgeführt. Die Mittelwerte der Temperatur des Netzplanktons und des Phytoplanktons wurden für jede der 3 Geschwindigkeitsstufen berechnet (Tab. 2).

Die Temperaturen der 3 Stufen liegen mit 6,5° C, 5,7° C und 5,3° C ganz beträchtlich auseinander. Die Differenzen erreichen 0,8° C bzw. 0,4° C. Die Temperatur des aus 40 m Seetiefe gepumpten Wassers steht etwa im umgekehrten Verhältnis zur Fließgeschwindigkeit.

Auch die Netzplanktonmengen sind den einzelnen Fließgeschwindigkeitsstufen entsprechend verschieden (Tab. 2): Sie liegen bei 0,33, 0,76 und 1,27 ml/m³. Das Mengenverhältnis der Stufe 1 zur Stufe 3 ist wie 1 : 4, also fast proportional zur Fließgeschwindigkeit.

Tab. 2: Mittelwerte der 34 Versuche mit variiertem Fließgeschwindigkeit in der 40m-Seeleitung in den Jahren 1955/56.

Fließgeschwindigkeitsstufe	1	2	3
Mittlere Fließgeschwindigkeit in cm/s	6.3 (5-7)	18.2 (16-20)	32.3 (28-36)
Temperaturen in °C	6.5	5.7	5.3
zu hoch bezogen auf St. 3 auf St. 2	1.2 0.8	0.4 —	— —
Zahl der Versuche (der Proben)	26 (60)	23 (55)	19 (43)
Netzplankton in ml/m ³	0.33	0.76	1.27
Defizit bezogen auf St. 3 (in %)	0.94 (74 %)	0.51 (40 %)	—
auf St. 2 (in %)	0.43 (56 %)	—	—
Zahl der Versuche (der Proben)	30 (33)	26 (33)	22 (27)
Phytoplankton in Z/ml	128	191	384
Anteil leerer Diatomeenschalen (in %)	41 (32 %)	67 (35 %)	204 (53 %)
Phytoplanktondefizit bezogen auf St. 3 (in %)	256 (67 %)	193 (50 %)	—
bezogen auf St. 2 (in %)	63 (33 %)	—	—
Zahl der Versuche (der Proben)	23 (52)	18 (38)	17 (32)

Ähnliche Unterschiede ergeben die Phytoplanktonzählungen (Tab. 2): Bei größter Fließgeschwindigkeit ist die Gesamtzellzahl 384 (der Anteil leerer Diatomeenschalen ist 53%), bei mittlerer 191 (35%) und bei geringerer 128 (32%). Die Zellzahlen der Stufen 1 und 3 verhalten sich wie 1 : 3, die der leeren Schalen wie 1 : 5.

Der Zustand des gebotenen Rohwassers, das während der 10 Stunden eines Versuchstages in den Einlauftrichter der Seeleitung gelangt, variiert im Mittel nur wenig (s. Abb. 17). Die großen Veränderungen der Planktonmengen müssen daher als sekundär angesehen werden: Bei Verminderung der Fließgeschwindigkeit stellt sich ein Planktondefizit ein. Wenn das Wasser der Stufe 3 noch das

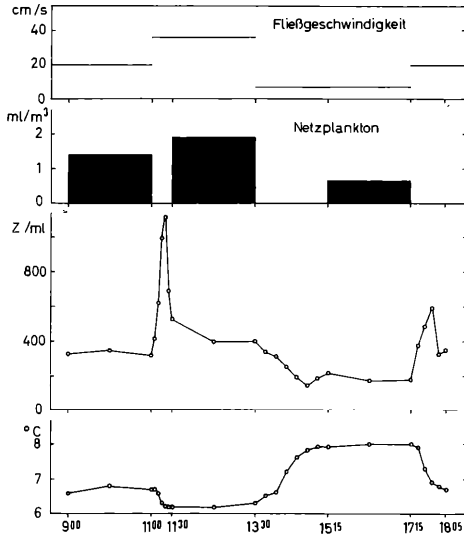
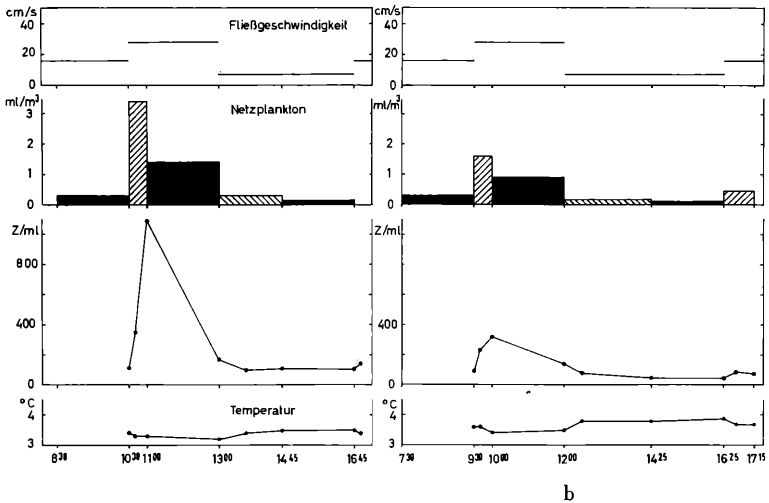


Abb. 3: Netzplankton, Phytoplankton und Temperatur bei drei verschiedenen Fließgeschwindigkeiten der 40-m-Seeleitung am 22. 8. 1955.



b

Abb. 4: Netzplankton, Phytoplankton und Temperatur bei drei Fließgeschwindigkeiten: a) am 27. 2. 1956 nach 24 Tagen, b) am 29. 2. 1956 nach 2 Tagen vorausgegangenener Fließgeschwindigkeit der Stufe 2.

gesamte Plankton enthält, dann ist im Mittelwert das Netzplanktondefizit in der Stufe 2 = 40% und in der Stufe 1 = 74%, das Phytoplanktondefizit in der Stufe 2 = 50% und in der Stufe 1 = 67% (Tab. 2).

III. Ursachen

1. Die beobachteten Temperaturverschiebungen entsprechen im allgemeinen etwa den Änderungen der Fließgeschwindigkeit des Wassers in der Seeleitung, wobei die Einstellung der Temperatur auf ein neues Niveau in der „Übergangszeit“ erfolgt (Abb. 3). Das Ausmaß der Temperaturverschiebung wechselt mit der Jahreszeit und der Wassertemperatur: Es ist groß im Sommer (Abb. 3) und klein im Winter (Abb. 4). Die Veränderungen werden wohl durch das Wärmegefälle zwischen dem Wasser in der Seeleitung und ihrer Umgebung, den oberflächlichen wärmeren Wasserschichten und dem Pumpenkeller, sowie durch die gebotene Zeitdauer dieses Wärmeaustausches hervorgerufen.

2. Das Netzplankton, das bei verminderter Fließgeschwindigkeit in geringeren Mengen je Wassereinheit vorkommt, enthält das Crustaceen- und einen Großteil des Phytoplanktons. Ersteres wurde in einigen Netzplanktonproben ausgezählt: Bei geringerer Fließgeschwindigkeit in der Seeleitung und damit auch Einströmgeschwindigkeit in den Einlauffurm ist die Zahl der Crustaceen erheblich kleiner als bei größeren Fließgeschwindigkeiten. Außerdem ist das Mengenverhältnis zugunsten der kleinen und jungen Tiere verschoben. Von der Abnahme sind vor allem die großen Tiere betroffen, die bei geringer Strömung nicht mehr alle mitgerissen werden, da es einem Teil gelingt, sich an der Eintrittsstelle des Wassers in den Einlauffurm rheotaktisch gegen den Sog einzustellen und fortzuschwimmen. Möglicherweise setzen sich auch einzelne Individuen in der Seeleitung fest. Eine weitere Auswertung des vorliegenden Netzplanktonmaterials ist vorgesehen.

Das Crustaceenplankton ist somit an der Volumenverminderung des Netzplanktons bei verminderter Fließgeschwindigkeit wesentlich beteiligt.

3. Das Phytoplankton erleidet Veränderungen, die auf ganz andere Ursachen zurückzuführen sind.

Bei Erniedrigung der Fließgeschwindigkeit macht sich schon nach wenigen Minuten ein Phytoplanktondefizit bemerkbar. (Abb. 3, 4), so daß auch die Netzplanktonwerte der Übergangszeit zwischen den vorangehenden der höheren und den nachfolgenden der nun niedrigeren Fließgeschwindigkeit liegen. Dies alsbald eintretende Defizit („Übergangsmilieu“) verdeutlicht die nachträgliche, sekundäre Veränderung desjenigen Rohwassers, das sich im Augenblick der Erniedrigung der Fließgeschwindigkeit schon in der Seeleitung befand (Tab. 3). Nach Verstreichen der Übergangszeit hält das Phytoplanktondefizit des Rohwassers weiterhin an, d. h. das Wasser, das danach in die Seeleitung gelangt, wird im gleichen Sinne verändert (Abb. 3, 4).

Jedesmal kurz nach einer Erhöhung der Fließgeschwindigkeit, also bei gesteigerter Transportkraft des Wassers, wird das in der Seeleitung abgelagerte Phytoplankton schon in der Übergangszeit aufgewirbelt und mitgerissen. Es ist um so zahlreicher, je länger die Zeit des vorangegangenen Defizits andauerte (Abb. 4a, b). Die höchsten Zellzahlen liegen am Ende der Übergangszeit, wenn also das Wasser, das sich im Augenblick der Geschwindigkeitserhöhung etwa im Krümmer des Einlauffurmes befand, am Wasserhahn für die Probenentnahme angekommen war. Dieser Zeitpunkt liegt bei größerer Fließgeschwindigkeit innerhalb der Stufe 3 früher (Abb. 3), bei geringerer später (Abb. 4).

Diese „Übergangsmilieu“ oder auch „Ausräumungsmaxima“ ergeben die höchsten Netzplanktonwerte (Tab. 3). Sie sind z. T. mehr als doppelt so groß wie die der konstanten Fließgeschwindigkeiten der Stufe 3 (Abb. 4a).

Tab. 3: Netzplankton-Mittelwerte der 34 Versuche mit variierten Fließgeschwindigkeiten.

Konstante Fließgeschwindigkeiten der Stufen 1,2 und 3	0,79 ml/m ³
Fließgeschwindigkeitsverminderungen von Stufe 3 auf 2, 2 auf 1 („Übergangsmínima“)	0,48 ml/m ³
Fließgeschwindigkeitserhöhungen von Stufe 1 auf 2, 2 auf 3 („Übergangsmáxima“)	2,15 ml/m ³

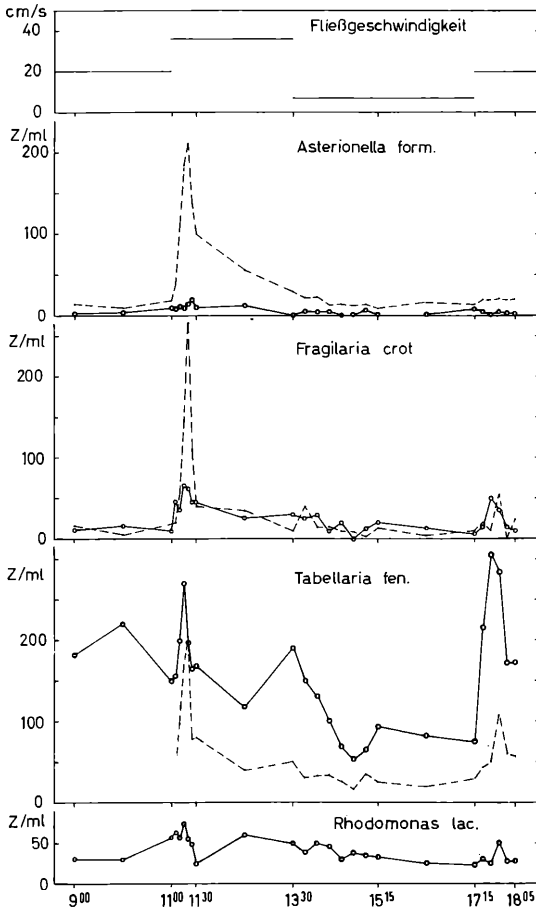


Abb. 5: Artenhäufigkeit und Erhaltungszustand von 4 zahlreichen Phytoplanktern bei 3 Fließgeschwindigkeiten am 22. 8. 1955 (s. Abb. 3);
 —○— = chlorophyllhaltige Phytoplankter,
 - - - = leere Diatomeenschalen.

4. Die Änderung der Artenverteilung des Phytoplanktons und des Abbaustandes der Diatomeen erlauben einen weiteren Einblick in die Sedimentations- und Ausräumungsverhältnisse in der z. T. schwach ansteigenden Seeleitung bei verschiedenen Fließgeschwindigkeiten. Von dem Versuch in Abb. 3, dem ein 12tägiges Planktondefizit der Stufe 2 (20 cm/s) voranging, wurde das Phytoplankton genauer analysiert (Abb. 5).

Rhodomonas lacustris PASCHER et RUTTNER reagiert nur schwach auf die veränderten Fließgeschwindigkeiten. Offenbar sedimentiert sie kaum (s. auch S. 26 und Tab. 8).

Tabellaria fenestrata (LYNGB.) KG. war im freien Wasser am Beginn einer größeren Produktionsperiode, d. h. in 40 m Tiefe also erst im Zunehmen (s. Abb. 18) und lag meist in schönen großen Kolonien vor. Anfangs ist der Anteil leerer Diatomeenschalen gering (Abb. 5), steigt aber jedesmal kurz nach Erhöhung der Fließgeschwindigkeit zusammen mit den plasmahaltigen Zellen beträchtlich an. Das erste Maximum ist relativ nieder, weil in den 12 Tagen zuvor noch nicht viel *Tabellaria* in die Seeleitung gelangt war.

Fragilaria crotonensis KITTON war im Rückgang begriffen, das Maximum lag im Juni/Juli (s. Abb. 18). Am Anfang des Versuches sind die Anteile plasmahaltiger Zellen und leerer Schalen etwa gleich groß (Abb. 5). Die Beschleunigung von Stufe 2 auf 3 hat eine beträchtliche Zunahme plasmahaltiger Zellen zur Folge, die aber von der der leeren Schalen noch weit übertroffen wird. Diese sind infolge eines langen, 12tägigen Abbaueiterraumes in großer Zahl in der Seeleitung vorhanden. Insgesamt geringer, aber in etwa gleichen Anteilen, ist die Zunahme plasmahaltiger Zellen und leerer Schalen bei der Beschleunigung zu Ende des Versuches: 4 Stunden waren zur kurz für größere Ablagerungen und für den Abbau des Zellplasmas.

Asterionella formosa HASSALL war im freien Wasser nur in geringer Zahl und zwar hauptsächlich in Form leerer Schalen anzutreffen. Ihre Produktion lag schon im Mai/Juni (s. Abb. 18). Die Beschleunigung von Stufe 2 auf 3 bringt eine gewaltige Steigerung der leeren Schalen gegenüber einer sehr geringen der plasmahaltigen Zellen mit sich (Abb. 5). Auch hier wird am ausgeräumten Material die Wirkung der Sedimentation und des Abbaues in der Seeleitung infolge der Veränderung der Fließgeschwindigkeit sichtbar. Die zweite Beschleunigung von Stufe 1 auf Stufe 2 hat nur eine geringe Zunahme leerer Schalen zur Folge, entsprechend dem nun spärlichen Vorkommen im freien Wasser und der kurzen Sedimentationsdauer.

IV Ergebnis

Die methodischen Versuche mit veränderten Fließgeschwindigkeiten in der meist schwach ansteigenden 40 m-Seeleitung können kurz zusammengefaßt werden: Das gepumpte Rohwasser erfährt in der Seeleitung sekundäre Veränderungen, die im wesentlichen von der Fließgeschwindigkeit, von der Planktonmenge und von der Planktonzusammensetzung abhängen. Sie machen sich bei Verminderung der Fließgeschwindigkeit wie folgt bemerkbar (Abb. 6): Die Temperatur erhöht sich in der Seeleitung umso mehr, je höher die Umgebungstemperatur (Oberflächenwasser, Pumpenkeller) ist. Das Zooplankton nimmt ab, wobei wohl die Rheotaxis (Flucht gegen die Einströmung) der größeren Copepoden und Cladoceren entscheidend ist. Das Phytoplankton vermindert sich ebenfalls: Die dem Defizit entsprechende Menge sedimentiert laufend in der Seeleitung und wird zunehmend abgebaut. Jede Fließbeschleunigung bewirkt eine je nach Höhe der Fließgeschwindigkeit mehr oder weniger vollständige Ausräumung des sedimentierten Materials und gleichzeitige Verhinderung weiterer Sedimentation.

Die gewonnenen Ergebnisse liefern ein grobes Maß, um die in den 3 Seeleitungen bei unterschiedlicher Fließgeschwindigkeit ermittelten Temperatur- und

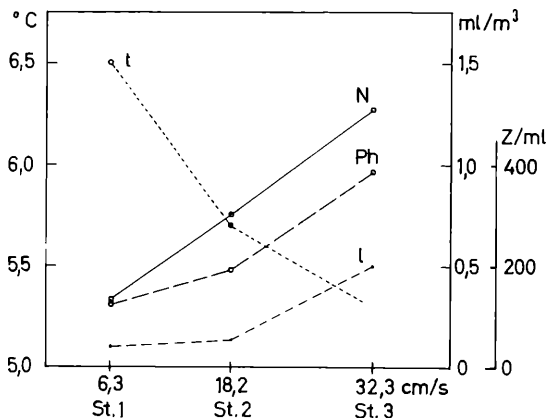


Abb. 6: Beziehung der Mittelwerte von Temperatur (t), Netzplankton (N) und Phytoplankton (Ph) mit dem Anteil leerer Diatomeenschalen (l) zu den 3 Fließgeschwindigkeitsstufen der 40-m-Seeleitung.

Planktonwerte zueinander in ein besseres Verhältnis zu setzen. Hierfür sind jedoch einzelne Werte, die infolge dynamischer Vorgänge im Tiefenwasser (s. S. 26) einer starken Streuung unterliegen, nicht geeignet.

Für die technische Seite der Bodenseewasserversorgung, insbesondere im Bereich des Seepumpwerkes und des Rohwasserbehälters vor der Schnellfilteranlage, ist diese Erscheinung nicht ohne Bedeutung. Die 2 Seeleitungen münden am Ufer in 2 Wasserzuführkanäle, deren durchflossener Querschnitt um ein Mehrfaches größer ist als der der Seeleitung, so daß die Fließgeschwindigkeit im Kanal stark zurückgeht. Gemäß den gezeigten Versuchen wird hier eine beträchtliche Phytoplanktonsedimentation einsetzen, die je nach Menge und Zusammensetzung im Jahresverlauf und in den verschiedenen Jahren (s. Abb. 18, 19; MUCKLE 1956, ANSTALT FÜR BODENSEEFORSCHUNG 1957—59) variiert. Die Sedimentation wird im Mittel auf etwa $\frac{1}{3}$ der in die Seeleitung gelangenden Phytoplanktonmenge angesetzt werden können.

D. Kurzfristige Veränderungen des Wasserkörpers

I. Vorbemerkung

1. In seltenen Fällen wurden bei den zuvor durchgeführten Versuchen innerhalb weniger Stunden sehr starke Abweichungen von der Norm beobachtet. Es erhebt sich die Frage nach der Veränderlichkeit des Wasserzustandes, bevor es in die Seeleitung gelangt.

Kurzfristige Veränderungen des Wasserkörpers wurden in neuerer Zeit verschiedentlich festgestellt. Sie betrafen jedoch vor allem die thermischen Verhältnisse: Von ELSTER (1939), LEHN (1956, 1959) und der ANSTALT FÜR BODENSEEFORSCHUNG (1957, 1959) liegen Angaben über den Bodensee, von THOMAS (1949, 1950) über den Zürichsee, von DUSSART (1954) über den Genfer See, von ECKEL (1959) über Traunsee und Fuschlsee und vor allem MORTIMER (1950, 1953, 1954) über den Lake Windermere und über Versuche an Modellen vor. Früher hat schon HALBFASS (1923) allgemeine und grundlegende Erwä-

gungen dieser Art angestellt und in einer Gesamtschau veröffentlicht. Eine kurze Zusammenstellung der Probleme, ohne die neuesten Arbeiten, ist bei RUTTNER (1952) zu finden.

Nach allen Autoren kann während der Sommerstagnation unter dem Einfluß von starken Winden das oberflächliche Wasser am Ufer gestaut und etwas in die Tiefe gedrückt werden, so daß in diesem Falle plötzlich wärmeres und planktonreicheres Wasser aus geringeren Tiefen in die Seeleitungen gelangt. Beim Abklingen der Situation drängt alsbald wieder kälteres und planktonärmeres Wasser aus größeren Tiefen nach.

Westliche Winde können im Überlinger See quer, längs oder diagonal zur Längsachse wirken, je nachdem welche Komponente überwiegt. Bei stärkeren Dauerwinden muß mit erheblichen oberflächlichen Wasserverfrachtungen, insbesondere in der Längsrichtung des Sees gerechnet werden, denen in größeren Tiefen gleichzeitig gegenläufige Wasserverschiebungen zuzuordnen sind. Seltenere östliche Winde können ebenso in der Quer- oder Längsrichtung wirken, wobei die Wasserverfrachtungen umgekehrt verlaufen. Sobald die Winde ruhen, werden die aus dem Gleichgewicht gebrachten Wasserschichten in Rückschwingungen in Form von ein- oder mehrknötigen stehenden Wellen (interne Seiches) geraten, die sich rhythmisch fortsetzen und deren Dauer sich über längere Zeiträume erstrecken kann, wenn sie nicht durch neueinsetzende Windlagen gestört werden. Dies kann leicht eintreten, so daß sich überlagernde, komplizierte Schwingungssysteme in größeren Tiefen entstehen, die erst bei kontinuierlichen Temperaturmessungen sichtbar werden. Daneben können andere Bedingungen (z. B. Luftdruck) auf den Wasserkörper einwirken.

Auch das Plankton, das in vertikaler Richtung in unterschiedlicher Dichte vorkommt (AUERBACH, M., W. MAERKER u. J. SCHMALZ 1924, 1926; GRIM 1939, 1950, 1954; RUTTNER 1929, 1952, AUERBACH u. Mitarbeiter 1953, ELSTER 1954, MUCKLE 1956) und dessen Eigenbewegung gering ist oder völlig fehlt, wird in die windbedingten Verschiebungen des Wasserkörpers einbezogen. Feststellungen dieser Art wurden von THOMAS (1949, 1950) im Zürichsee und von LEHN (1956, 1959) und der ANSTALT FÜR BODENSEEFORSCHUNG (1957, 1959) im Bodensee gemacht.

2. In den Jahren 1955 und 1956 wurde in Sipplingen die Frage nach dem Zustand des Wasserkörpers in den Entnahmetiefen von 40 m und 60 m mit Hilfe kontinuierlicher Untersuchungen, die sich im einzelnen über Zeiträume von 1—5 Tagen erstreckten, näher angegangen. Bei diesen Daueruntersuchungen wurden alle 2 Stunden die Netze gewechselt und das Absetzvolumen bestimmt, die Temperatur abgelesen (teilweise auch jede Stunde) und oft auch Phytoplanktonschöpfproben entnommen und ausgezählt. Während verschiedener Jahreszeiten und bei unterschiedlichem Planktongehalt wurden vom Juli 1955 bis Oktober 1956 22 Dauererien mit insgesamt 50 Untersuchungstagen an der 40-m- und 18 Dauererien mit 45 Untersuchungstagen an der 60-m-Seeleitung durchgeführt. Da das Wasser in der 40-m-Seeleitung immer langsamer als in der aus 60 m Tiefe floß (s. Abb. 18), müssen gemäß dem zuvor Festgestellten ihre Planktonwerte etwas zu nieder und die Temperatur zu hoch sein.

Nachfolgend soll ein Überblick über die Befunde der Dauererien im limnischen Jahresverlauf gegeben werden. Teilergebnisse wurden schon veröffentlicht (LEHN 1956, 1959). Die Dauererien sollen, auch wenn eine Analyse der Geschehnisse im Einzelnen nicht immer gegeben werden kann, einen Eindruck von den Vorgängen in den ufernahen Wassertiefen von 40 m und 60 m vermitteln, wobei versucht wird, markanten thermischen und planktischen Situationen bestimmte gleichzeitige und vorangegangene Windlagen zuzuordnen.

Leider war es nicht möglich, Windmeßgeräte mit exakter Registrierung zu benutzen, so daß die Beurteilung der Windverhältnisse auf individuellen Schät-

zungen beruht. Die Analyse der Dauererien wie auch der weiter unten folgenden Tagesuntersuchungen (s. S. 38) kann daher nicht bis zur gewünschten Klarheit vorangetrieben werden.

II. Befunde

1. **Sommerstagnation** Entsprechend der Ausbildung der thermischen Schichtung ist der Wasserkörper im Sommer in mehr oder weniger stabilem Gleichgewicht. Die Sommerstagnation umfaßt hier den Zeitraum von Anfang Mai bis Mitte Dezember. Genaue Abgrenzungen sind kaum möglich.

Querverschiebungen von Wassermassen unter dem Einfluß starker Winde können sprunghaft Planktonmengen- und Temperaturerhöhungen bewirken (LEHN 1956): Bei diesem Windstauereffekt ist der insgesamt parallele Verlauf der Temperatur- und Planktonkurven hervorzuheben, wobei die von 60 m Tiefe gegenüber denen von 40 m sehr gedämpft sind.

Weitere Beispiele mit schnell sich wiederholenden kleineren Temperatur- und Planktonsprüngen liegen vor. Teilweise sind sie in direkte Beziehung zu böigen Winden zu bringen (Abb. 7). Bei schwach ausgeprägter thermischer Schichtung, z. B. am Ende der Sommerstagnation, rufen schon geringe Winde starke Veränderungen im Tiefenwasser hervor (Abb. 8). Teilweise sind auch rhythmische Wechsel im Temperatur- und Planktonzustand ohne direkte Windbeziehung zu beobachten (Abb. 9, 10, 11), wobei wohl an die Auswirkungen vorangegangener Winde in Form transversaler interner Seiches (RUTTNER 1952) zu denken ist.

Häufig sind die zuvor festgestellten Wasserverfrachtungen mit solchen in der Längsrichtung des Sees gekoppelt. Bei anhaltenden nordwestlichen Winden wird der See durch Schrägstellung der Isothermen aus dem Gleichgewicht gebracht: Oberflächliche wärmere Wassermassen werden teilweise in den südöstlichen Obersee geschoben, so daß dort das Tiefenwasser in die Gegenrichtung abgedrängt wird. Die langsame Zunahme und das Nach-oben-dringen des Tiefenwassers im Untersuchungsgebiet Sipplingen führt zu einem meist über mehrere Tage andauernden Temperatur- und Planktonrückgang, der in beiden Tiefen etwa parallel verläuft, in 40 m aber viel ausgeprägter ist (Abb. 7, 9, 10, 11). Dieser Vorgang kann in 60 m Tiefe auch etwas später einsetzen (Abb. 8). Sowohl der parallele Rückgang wie auch die Annäherung der Kurven beider Tiefenstufen (im Tiefenwasser sind Temperatur- und Planktongefälle geringer als im oberflächlichen) deuten großräumige Veränderungen des Wassers in den untersuchten Tiefen an.

Bei plötzlichem Wechsel des Windes von West auf Ost sind in 40 m Tiefe zuweilen starke Temperatur- und Planktonerhöhungen festzustellen (Abb. 10, 11).

Sprunghafte Kurvenrückgänge können auch bei völliger Windstille eintreten (Abb. 12), was wohl nur durch interne Seiches erklärbar ist: In diesem Falle gingen vom 1.—6. 8. 55 östliche und vom 7.—9. 8. 55 westliche Winde voraus, die die thermisch geschichteten Wassermassen in Schwingungen versetzen konnten.

Bei geringer thermischer Schichtung im See, also vor allem am Ende der Sommerstagnation, ist die Gleichartigkeit der Veränderungen in beiden Tiefen und bei Temperatur und Plankton noch viel stärker ausgeprägt (Abb. 13): Ohne nennenswerte Winde wird der gesamte Wasserkörper fast gleichmäßig von den nun langsam verlaufenden internen Seiches mit 2-tägigem Intervall erfaßt.

2. **Winterzirkulation** Das Wasser ist im Vertikalprofil etwa gleich temperiert. Sie umfaßt den Zeitraum von Mitte Dezember bis Anfang Mai, ohne die inverse Winterschichtung im Februar 1956.

Die Großräumigkeit der Wasserbewegungen, wobei auch die Tiefenzonen des Sees voll einbezogen werden, ist fast nur am gering geschichteten Plankton erkennbar. Die schnelle Planktonverminderung infolge Aufwärtsbewegung von Wasser großer Tiefen und die Planktonerhöhung als Folge eines Hinunter-

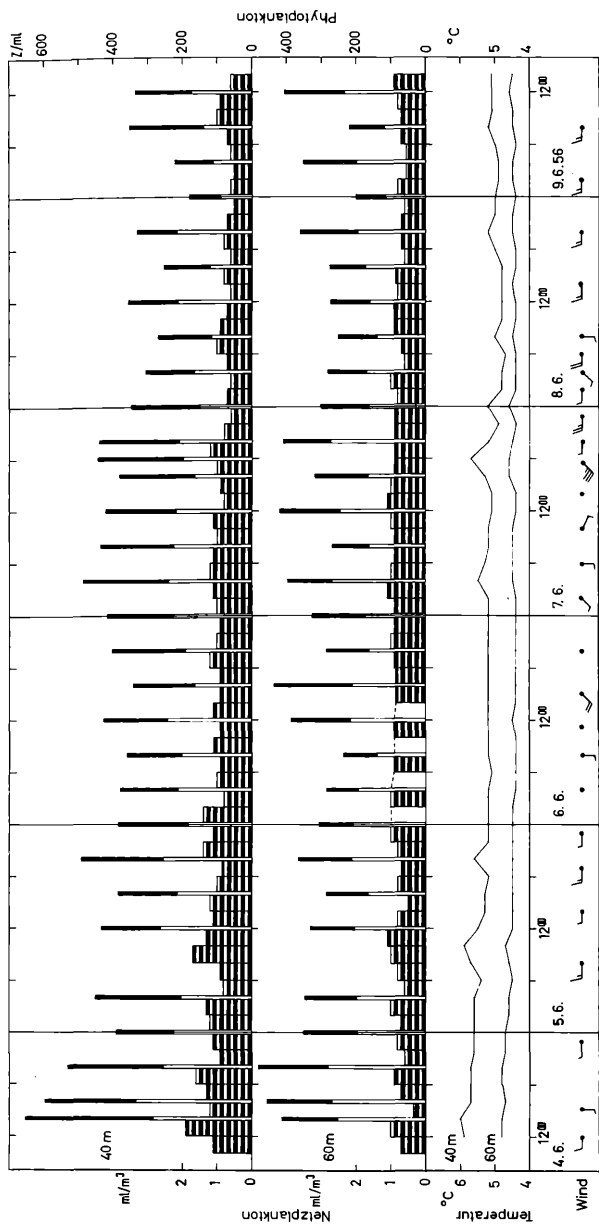


Abb. 7: Dauerserie vom 4. bis 9. 6. 1956 in 40 m und 60 m: Temperatur, Netzplankton und Phytoplankton sowie Windverhältnisse: Netzplankton = breite, schwarz-weiße Balken; Phytoplankton = dünne Balken (weißer Abschnitt = leere Schalen, schwarzer Abschnitt = plasmahaltige Zellen).

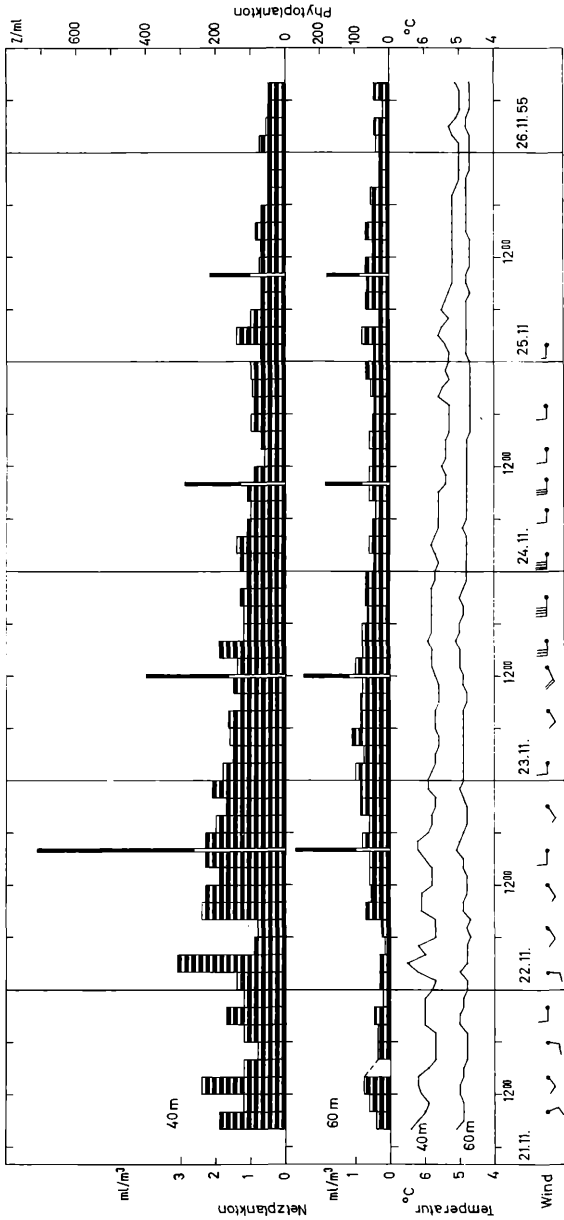


Abb. 8: Dauerserie vom 21. bis 26. 11. 1955 in 40 m und 60 m: Temperatur, Netzplankton und Phytoplankton sowie Windverhältnisse.

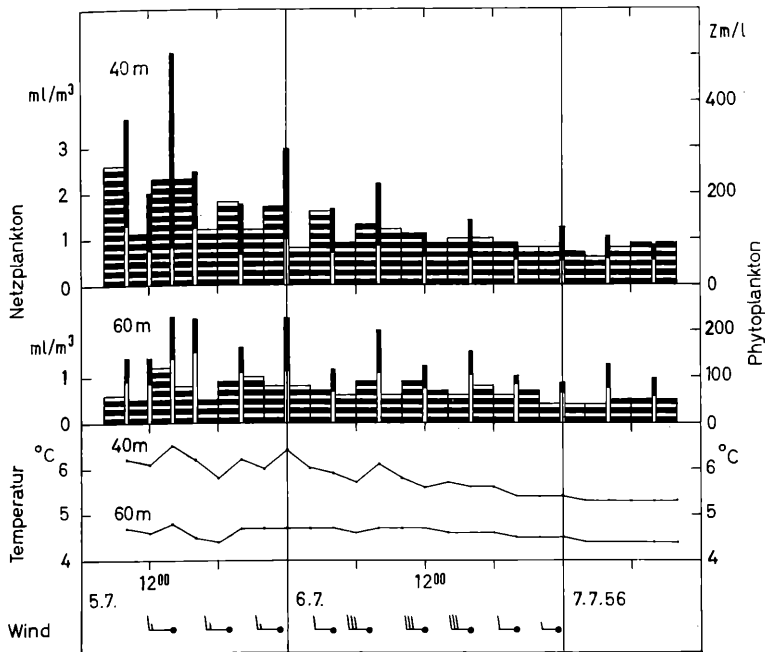


Abb. 9: Dauerserie vom 5. bis 7. 7. 1956 in 40 m und 60 m: Temperatur, Netzplankton und Phytoplankton sowie Windverhältnisse.

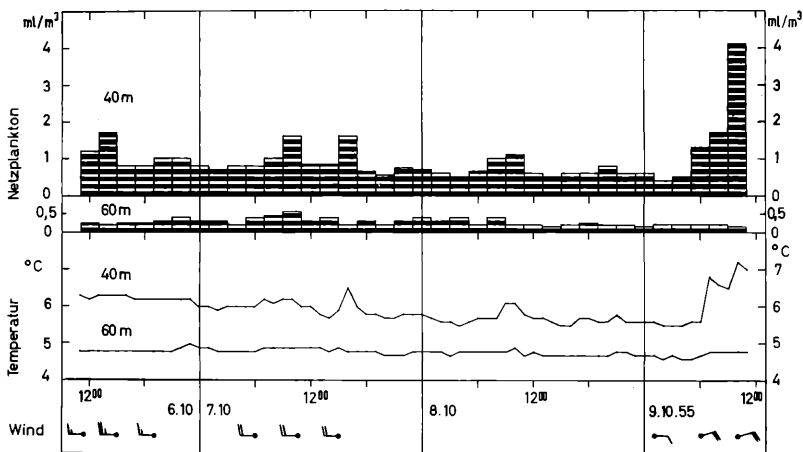


Abb. 10: Dauerserie vom 6. bis 9. 10. 1956 in 40 m und 60 m: Temperatur und Netzplankton sowie Windverhältnisse.

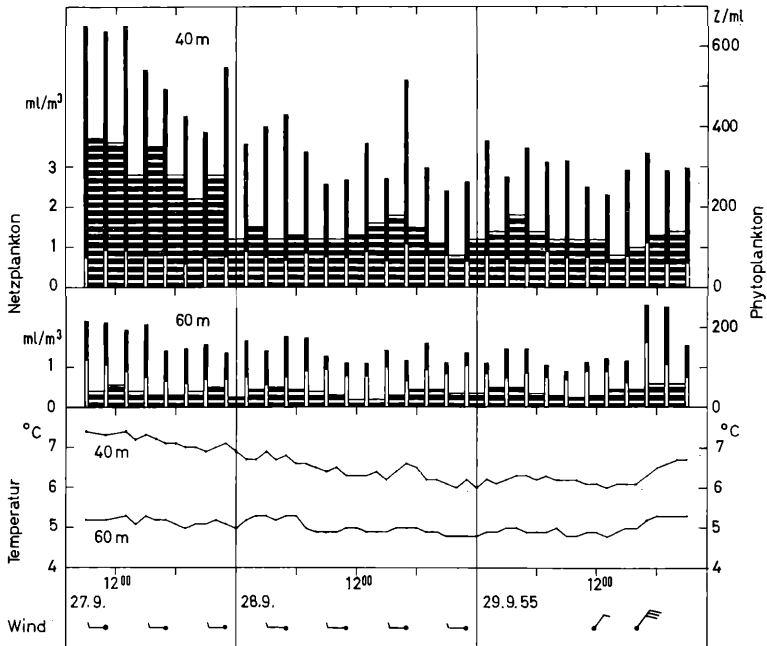


Abb. 11: Dauerserie vom 27. bis 29. 9. 1955 in 40 m und 60 m: Temperatur, Netzplankton und Phytoplankton sowie Windverhältnisse.

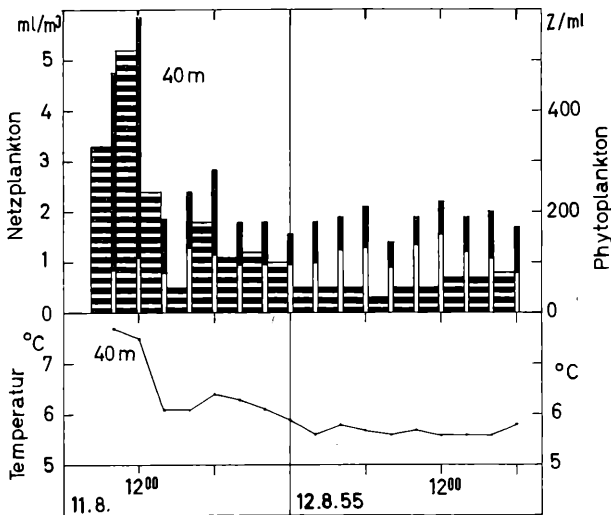


Abb. 12: Dauerserie vom 11. bis 12. 8. 1955 in 40 m: Temperatur, Netzplankton und Phytoplankton bei Windstille.

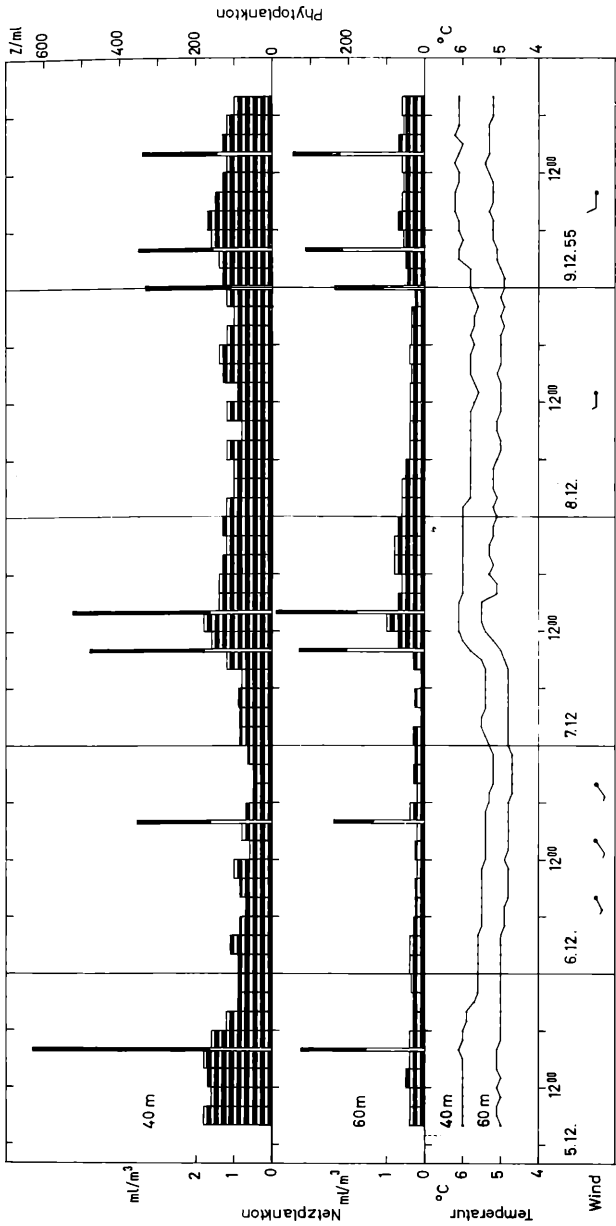


Abb. 13: Dauerserie vom 5. bis 9. 12. 1955 in 40 m und 60 m: Temperatur, Netzplankton und Phytoplankton sowie Windverhältnisse.

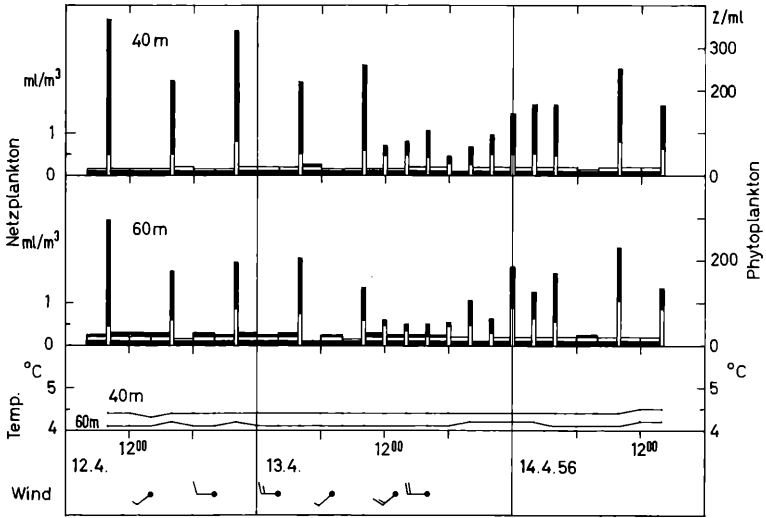


Abb. 14: Dauerserie vom 12. bis 14. 4. 1956 in 40 m und 60 m: Temperatur, Netzplankton und Phytoplankton sowie Windverhältnisse.

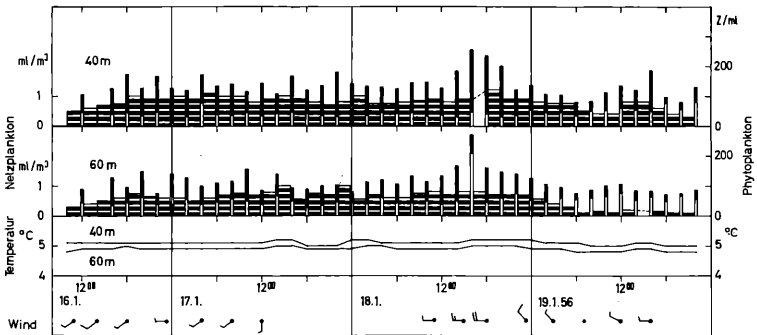


Abb. 15: Dauerserie vom 16. bis 19. 1. 1955 in 40 m und 60 m: Temperatur, Netzplankton und Phytoplankton sowie Windverhältnisse.

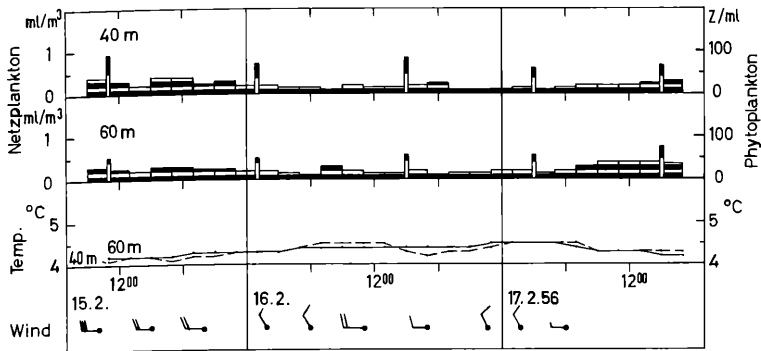


Abb. 16: Dauerserie vom 15. bis 17. 2. 1956 in 40 m und 60 m: Temperatur, Netzplankton und Phytoplankton sowie Windverhältnisse.

drückens von oberflächlichem Wasser kann in beiden Tiefen völlig parallel verlaufen (Abb. 14): Die Dynamik im Wasserkörper wird in diesem Falle durch das neuproduzierte Phytoplankton (*Rhodomonas*, *Cyclotella*) markiert. Ein Planktonrückgang kann sich aber auch zunächst allein auf die 60 m Tiefe beschränken (Abb. 15).

3. Inverse Winterschichtung: In strengen Wintern ist im Obersee und Überlinger See eine inverse Winterschichtung zu beobachten (AUERBACH 1952), die bei fehlender Eisdecke und nur 2—3°C Vertikaldifferenz nicht sehr stabil ist. Dieser Zustand trat im Februar 1956 ein.

Die Temperaturumkehr wirkt sich bis in größere Tiefen aus, so daß die Kurven der Temperatur und des spärlich vorkommenden Planktons mit seiner geringen Schichtung nun gegenläufig sind (Abb. 16): Bei tieferer Temperatur und mehr Plankton gelangt oberflächlicheres Wasser in die Einlauffürme der Seeleitungen. Die Temperatur- sowie die Planktonwerte beider Tiefen ändern sich völlig gleichsinnig, so daß eine Verschiebung der Wassermassen über große Vertikaldistanzen anzunehmen ist.

III. Mittlerer Tagesverlauf

1. Die Befunde der kontinuierlichen Untersuchungsreihen lassen in dieser Form keinerlei Beziehungen zu einer Tagesrhythmik erkennen. Sollte eine solche vorhanden sein, wie es zumindest in geringeren Wassertiefen nachgewiesen ist (RÜTNER 1929, 1952; JARNEFELT 1958), dann ist sie von den nicht- oder andersperiodischen Veränderungen im Tiefenwasser vollständig überlagert. Zur Ermittlung einer versteckten Regelmäßigkeit wurden aus allen Dauerserien die Mittelwerte 2-stündiger Tagesabschnitte (z. B. 8.00—10.00 Uhr) gebildet (Abb. 17). Da sie oft vormittags begannen und nachmittags endeten, ist die Zahl der vorliegenden Werte verschieden: Für Temperatur und Netzplankton je 41—54, für das Phytoplankton 7—14 (größere Streuung!); nur bei einem Teil der Serien wurden 2-stündige Phytoplanktonzählungen vorgenommen.

2. In 60 m Tiefe ist der mittlere Tagesablauf fast völlig gleichbleibend, sieht man von einer geringen Streuung ab. Wiederholte Probenentnahmen zu einer bestimmten Tageszeit werden durch keine Tagesrhythmik verfälscht.

In 40 m Tiefe dagegen sind alle Kurven in der lichtreichen Zeit (8.00—16.00 Uhr) höher als in der lichtarmen. Geringe Erhöhungen finden sich bei der Temperatur

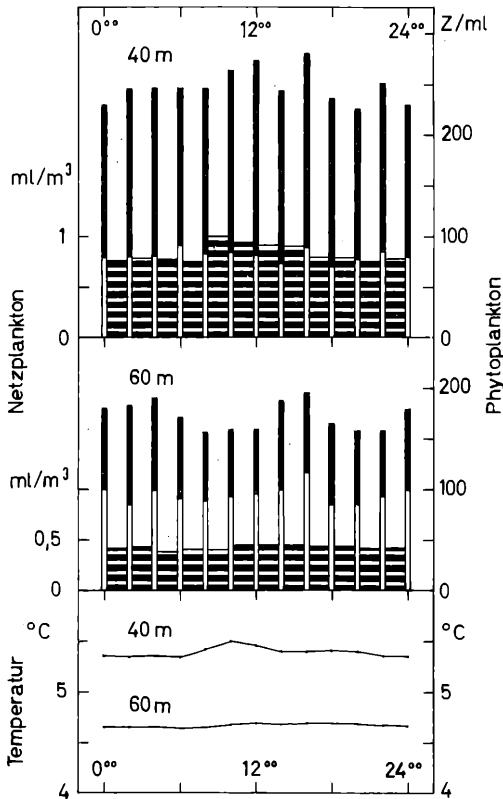


Abb. 17: Mittlerer Tagesverlauf der Dauerserien der Jahre 1955/56 in 40 m und 60 m: Temperatur (n = 577; 529), Netzplankton (n = 579; 513) und Phytoplankton (n = 141; 107).

(etwa $1/10^{\circ}\text{C}$) und dem Phytoplankton (etwa 8%), größere beim Netzplankton (etwa 18%). Die bei den täglichen Untersuchungen (s. S. 38) vormittags gewonnenen Werte sind demnach gegenüber dem Tagesmittel bezüglich der Temperatur und dem Phytoplankton nur geringfügig, beim Netzplankton dagegen um etwa 15% zu hoch.

3. Die Ursachen der festgestellten Tagesrhythmik in 40 m Tiefe sind nicht restlos klar.

Einerseits scheint es sich um geringe Vertikalbewegungen des Wasserkörpers in ufernahen Tiefen zu handeln, die vielleicht auf einer schwachen Tagesrhythmik der Winde beruhen, und die die fast parallel verlaufende geringe Erhöhung von Temperatur und Phytoplankton (Abb. 17) sowie einen entsprechenden kleinen Anteil an der starken Erhöhung des Netzplanktons bewirken.

Andererseits unterliegt der ausgeprägte Morgen-Anstieg des Netzplanktons von gut 20% größtenteils (ca. 15%) einer zweiten Ursache, die nur auf die beweglichen Zooplankter einwirkt. So löst z. B. das Licht die diurnale Vertikalwande-

rung der Crustaceen aus (RUTTNER 1929, 1952, ELSTER 1954): Nachts ist die Masse dieser Organismen in der oberen Wasserschicht anzutreffen; bei Zunahme des Tageslichtes sinken sie teilweise bis in größere Tiefen ab, von wo sie alsbald wieder beginnen langsam aufzusteigen. Die rasche Erhöhung des Netzplanktons in der Zeit von 8.00—10.00 Uhr kann auf diese Weise erklärt werden, ebenso die langsame Abnahme in den darauffolgenden Stunden bis in die Nacht hinein. Das Crustaceenplankton ist am Netzplankton im Mittel gut zur Hälfte beteiligt (AUERBACH u. Mitarbeiter 1953, ANSTALT FÜR BODENSEEFORSCHUNG 1957-59). Es muß demnach in dieser Zeit um rund 30% zunehmen, damit die 15% des Netzplanktons, die auf die zweite Ursache entfallen, erreicht werden. Eine Analyse der daran beteiligten Formen ist geplant.

IV Ergebnis

Die 23 durchgeführten 1- bis 5-tägigen Dauererien liefern Aussagen über die Dynamik im ufernahen Tiefenwasser. Diese kurzfristigen Veränderungen des Wasserkörpers sind windbedingt und erreichen bei der Temperatur, dem Netzplankton und dem Phytoplankton in 40 m Tiefe infolge des größeren Gefälles viel größere Ausmaße als in 60 m (Tab. 4). Dabei können schon senkrecht zum Ufer die Wasserverfrachtungen in etwa horizontaler Richtung 70 m/h und in vertikaler 10 m/h erreichen (LEHN 1956). Die Dynamik des Wasserkörpers ist in beiden Tiefen als gleichgroß anzusehen (LEHN 1959). Inzwischen hat GRIM in der Versuchsstation Sipplingen einer mündlichen Mitteilung zufolge noch stärkere Schwankungen beobachtet.

Tab. 4: Beobachtete maximale Schwankungen der Temperaturen, des Netzplanktons und des Phytoplanktons (Gesamtzellzahl) in 40 m und 60 m während der 23 Dauererien in den Jahren 1955/56.

Im Zeitraum von	Maximaler Anstieg				Maximaler Abfall				
		1 h	2 h	4 h	1 Tg.	1 h	2 h	4 h	1 Tg.
Bei den Temperaturen in °C	40 m	1.2	1.2	1.6	1.9	0.7	1.4	1.6	2.3
	60 m	0.3	0.4	0.6	0.8	0.4	0.4	0.4	0.6
Beim Netzplankton in ml/m ³	40 m		2.4	2.8	3.6		3.0	5.0	5.0
	60 m		0.7	0.7	1.0		0.7	0.7	0.8
Beim Phytoplankton in Z/ml	40 m		307	307	307		398	398	444
	60 m		137	185	206		137	162	198

Den in 40 m und 60 m Tiefe parallel verlaufenden, sehr ausgeprägten Temperatur- und Planktonänderungen während der Sommerstagnation stehen schwache, nur das Plankton betreffende während der Winterzirkulation gegenüber. Bei inverser Winterschichtung sind Temperatur- und Planktonänderungen sehr gering und gegenläufig. Die limnische Dynamik kann somit während des ganzen Jahres festgestellt werden.

Eine statistische Auswertung der Dauererien vermittelt die Größenordnung dynamischer Vorgänge im Wasserkörper und ist an anderer Stelle schon veröffentlicht (LEHN 1959): Während der Sommerstagnation sind schon in kurzen Zeiträumen beträchtliche thermische und planktische Veränderungen zu erwarten; die Unsicherheit bei einzelnen quantitativen Proben ist groß. So sind z. B. die Unterschiede nach 24 Std. sowie die Gesamtveränderungen innerhalb 24 Std. für das Netzplankton und für die aus der Temperatur erschlossene Vertikalverschiebung des Wasserkörpers in 40 m und 60 m Tiefe aus Tab. 5 zu ersehen.

Tab. 5:

Variabilitäts- und Dynamik-Zahlen für das Hypolimnion des Überlinger Sees vor der VF Sipplingen.

	Mittlere Netzplankton- veränderung in % der mittleren Netzplankton- menge	Mittlere Vertikalver- schiebung des Wasser- körpers, aus den Tem- peraturveränderungen interpoliert
Variabilitätszahl: Mittlere Differenz im Zeitabstand von 24 Std.	50 %	6 Meter
Dynamikzahl: Mittlere Gesamtveränderung im Zeitraum von 24 Std. (bei 2-stündiger Meßdichte)	285 %	23 Meter

Der mittlere Tagesverlauf zeigt in 40 m Tiefe einen Rhythmus: Temperatur und Phytoplankton erfahren während der hellen Tageszeit (8.00—16.00 Uhr) eine nur geringe, das Netzplankton dagegen unter wesentlicher Beteiligung der Crustaceen (wohl vertikale Tageswanderung) eine etwa 15% ige Erhöhung. Die Veränderungen in 60 m sind ohne Belang.

Windbedingte kurzfristige Wasserverschiebungen und die nachfolgenden Ausgleichsschwankungen in Form interner Seiches können sich beim Bodensee über viele Tage erstrecken (HALBFASS 1923), so daß für eine genaue thermische und planktische Analyse der dynamischen Vorgänge des Wasserkörpers mehrwöchige kontinuierliche und auf möglichst viele Orte und Tiefen ausgedehnte Untersuchungen notwendig sind. Eine experimentelle Zusammenarbeit einer schwimmenden Station mit den größeren Bodenseewasserwerken, z. B. St. Gallen, Romanshorn, Kreuzlingen, Lindau, Friedrichshafen, Meersburg, Sipplingen und Konstanz wäre äußerst wertvoll. Auf die Notwendigkeit der Windregistrierung wurde schon hingewiesen.

E. Mittel- und langfristige Veränderungen des Wasserkörpers

I. Vorbemerkung

Im Laufe der Jahre 1955 und 1956 wurden in den 3 Tiefen (40 m, 60 m, 80 m) täglich die Temperatur abgelesen und das Absatzvolumen des Netzplanktons bestimmt. Von den Phytoplankton-Schöpfproben wurden aus Zeitmangel wöchentlich nur eine bis mehrere quantitativ ausgezählt.

Vom Wasserwerk St. Gallen (HOFFMANN 1954) liegen aus den Jahren 1950 bis 1953 Untersuchungen des gepumpten Bodenseewassers und des Reinwassers der Langsam- und Schnellfilter in längeren oder kürzeren Zeitabständen vor. Der Planktongehalt des Rohwassers unterliegt z. T. sehr großen Schwankungen. Ein Vergleich mit den eigenen Untersuchungen ist kaum möglich, da andere Zählheiten verwendet wurden. Vom Zürichsee ist ebenfalls ein Bericht über Trinkwasseruntersuchungen mit starken Planktonveränderungen vorhanden (STADT ZÜRICH 1954).

Um die zuvor gezeigte Streuung der Einzelwerte zu vermindern und um repräsentative Zahlen zu erhalten, wurden aus den Tageswerten oder — bei Vorliegen von Dauerserien — den Tagesmittelwerten die Wochenmittelwerte und aus diesen die Monatsmittelwerte gebildet (Abb. 18, 19). Kurzfristige Temperatur- und Planktonschwankungen werden auf diese Weise verwischt. Beachtliche Unterschiede in den Wochenmittelwertskurven (Abb. 18) werden hier als mittelfristige Veränderungen, in den Monatsmittelwertskurven (Abb. 19) als langfristige Veränderungen bezeichnet.

II. Befunde

1. Die Kenntnis über das Vorliegen geringer Fließgeschwindigkeiten ist nicht unwesentlich für die Beurteilung der gewonnenen Temperaturen und Planktonmengen (s. Abb. 6). Ihre Wochenmittelwerte wurden in die Abb. 18 und 19 eingetragen.

In der 60 m-Seeleitung bewegten sich die Fließgeschwindigkeiten zwischen 50 und 100 cm/s.

Stärkeren Veränderungen unterlagen sie in der 80 m-Seeleitung. Während des größten Teiles der Untersuchungszeit, vom Februar 1955 bis August 1956, betragen sie 60—74 cm/s und im August/September und Mitte Oktober bis Dezember 1956 20—36 cm/s. Wesentlich geringer war die Fließgeschwindigkeit mit 5 cm/s im Januar/Februar 1955 und mit 10 cm/s vom Ende September bis Mitte Oktober, so daß die Temperaturen dieser Zeiträume als zu hoch und die Planktonwerte als zu nieder anzusehen sind (Vergl. z. B. die 80 m-Temperatur im Februar 1955!).

Das Gleiche kann von der 40 m-Seeleitung, deren Fließgeschwindigkeiten vom Februar bis September 1955 bei 5 cm/s und anschließend bis September 1956 bei 20 cm/s lagen, gesagt werden. Nur im Januar/Februar 1955 und vom September bis Dezember 1956 war sie mit 42 cm/s höher.

2. Die Oberflächentemperatur des Wassers (0 m) am Ufer vor der Versuchsfilterstation liegt ab Juli 1955 vor und ist zum Vergleich eingezeichnet. Die Abhängigkeit vom jahreszeitlichen Witterungswechsel (Lufttemperatur, Windverhältnisse) ist bei den Wochenmittelwerten stark (Abb. 18) und bei den Monatsmittelwerten sehr gedämpft (Abb. 19) ausgeprägt (Vergl. Sommer 1955 und Februar 1956).

Viel geringer ist der Witterungseinfluß auf den Temperaturablauf in den untersuchten Tiefen. Im Kurvenverlauf der Wochenmittelwerte (Abb. 18) sind immer noch ganz erhebliche Schwankungen feststellbar, insbesondere in 40 m, weniger in 60 m und 80 m Tiefe: Die Witterungseinflüsse werden mit zunehmender Wassertiefe geringer (Tab. 6). Dennoch ist der Verlauf der Temperaturveränderungen in allen 3 Tiefenstufen gleichsinnig. Die an Hand der Wochenmittelwerte sichtbar werdenden mittelfristigen Temperaturveränderungen wirken sich in der gesamten Wassersäule des ufernahen Hypolimnions meist gleichzeitig aus. Ähnliche Erscheinungen wurden bei den kurzfristigen Veränderungen des Wasserkörpers (s. S. 26) schon festgestellt.

Die Monatsmittelwertskurven (Abb. 19) der drei untersuchten Tiefen folgen stark gedämpft denen der Wochenmittelwerte. Die beiden Jahre sind einander ähnlich, sieht man von den Folgen der Februar-Kälte 1956 und der starken Fließgeschwindigkeitsverminderungen ab. Der Temperaturanstieg setzt in 40 m Tiefe früher ein (Beginn der Sommerstagnation) und erst später in 60 m und 80 m. Mit dem Beginn der Winterzirkulation im Dezember sind die Temperaturen der 3 Tiefenstufen etwa gleich. Die an Hand der Monatsmittelwerte erkennbar werdenden langfristigen Veränderungen, die nun nicht mehr von den mittel- und kurzfristigen überlagert werden, treten in den untersuchten Tiefen im allgemeinen nacheinander ein (AUERBACH, M., W. MAERKER u. J. SCHMALZ 1924, 1926; RUTTNER 1952, KIEFER 1955, MUCKLE 1956). Die Jahresmitteltemperatur liegt in 40 m Tiefe um etwa 1° C höher als in 60 m und 80 m (Tab. 7). Dabei sind die unterschiedlichen Fließgeschwindigkeiten zu beachten.

3. Die Bestimmung des Netzplanktons, das das gesamte Crustaceenplankton und einen Großteil des Phytoplanktons enthält, ist als einfache und schnelle Meßmethode zur Orientierung über die Organismenmengen geeignet. An der Färbung kann der Anteil des Phytoplanktons ungefähr abgeschätzt werden.

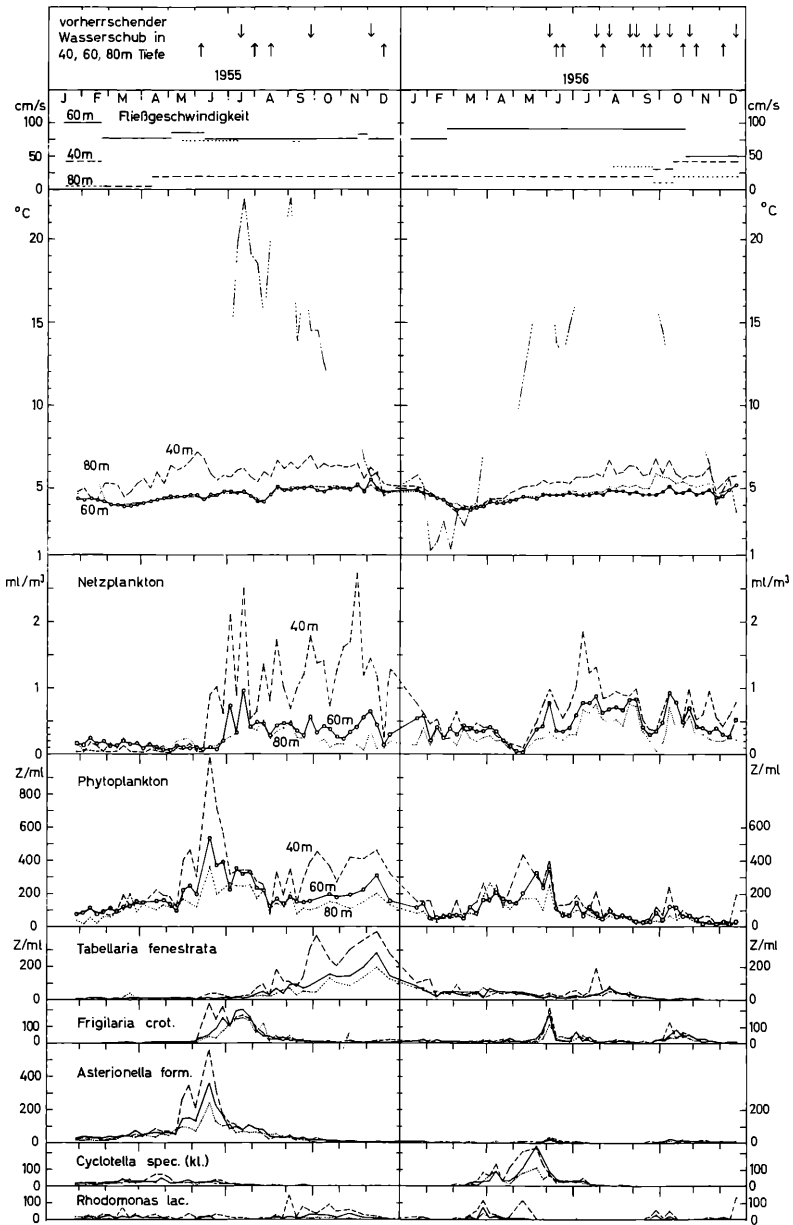


Abb. 18: Wochenmittelwerte von Fließgeschwindigkeit, Temperatur, Netzplankton, Phytoplankton und den 5 häufigsten Phytoplanktern in 40 m, 60 m und 80 m (bei der Temperatur z. T. auch aus 0 m) sowie vom gefolgerten vorherrschenden Wasserschub in diesen Tiefen während der Jahre 1955/56.

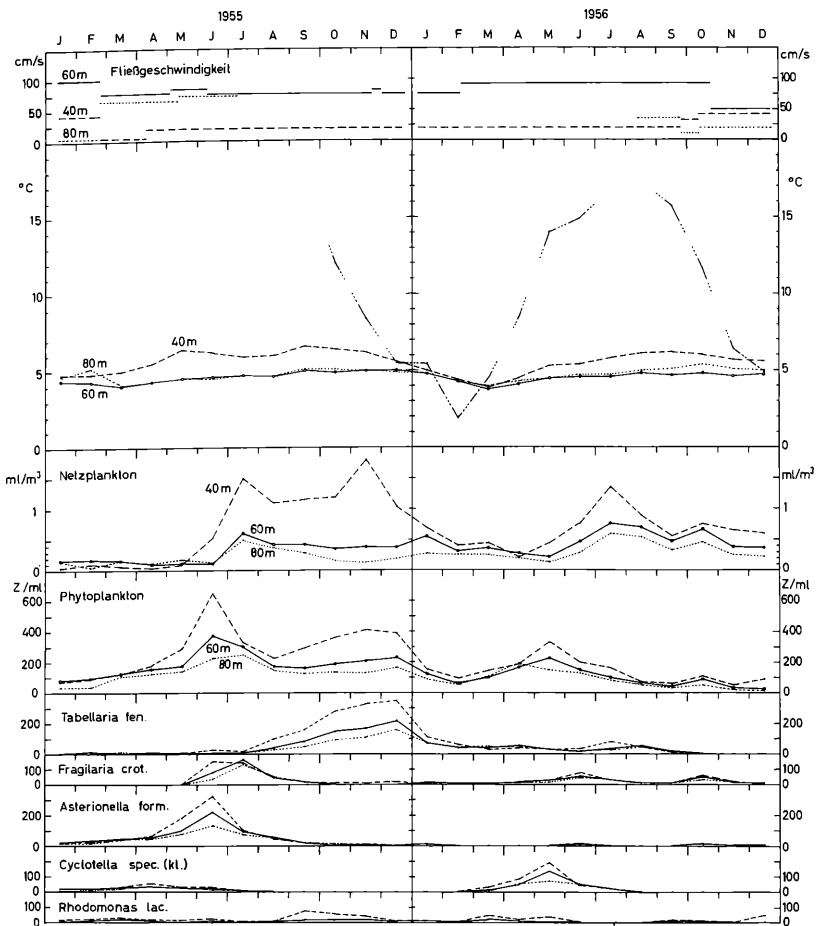


Abb. 19: Monatsmittelwerte von Temperatur, Netzplankton und Phytoplankton sowie den 5 häufigsten Phytoplanktern in 40 m, 60 m und 80 m (bei der Temperatur z. T. auch aus 0 m) während der Jahre 1955/56.

Sämtliche Kurven des Planktons zeigen eine viel größere Variabilität als die der Temperaturen. Die Wochenmittelwerte der Netzplanktonmengen (Abb. 18) sind in allen 3 Tiefen in der ersten Jahreshälfte 1955 sehr gering. Sodann beginnt in 40 m und einige Wochen später auch in 60 m und 80 m ein Anstieg, der bis in den Winter hinein anhält. Während der Winterzirkulation sind Planktonmengen in allen 3 Tiefen etwa gleich und sinken noch ab, bevor der schwächere Frühjahrsanstieg 1956 einsetzt (Tab. 6).

Die Parallelität der Planktonmengenkurven aller Tiefenstufen ist insbesondere im 2. Untersuchungsjahr augenfällig (Abb. 18). Die Schwankungen sind in 40 m Tiefe infolge der größeren Planktonmengen stärker ausgeprägt als in 60 m

Tab. 6: Maxima (mit Datum) und Minima der Temperatur, des Netzplanktons und des Phytoplanktons, sowie der 7 häufigsten Phytoplankter (ohne Minima) in 40 m, 60 m und 80 m der Jahre 1955 und 1956.

	Tiefe	Maxima		Minima	
		1955	1956	1955	1956
	0 m	25.0 (20. 7.)	20.0		
Temperaturen in °C	40 m	8.7 (30. 9.)	8.6 (10. 10.)	4.3	3.1
	60 m	5.8 (24. 8.)	5.8 (10. 10.)	3.8	3.5
	80 m	5.3 (24. 8.)	(6.6* (27. 9.))	3.9	3.7
Netzplankton in ml/m ³	40 m	> 5.2 γ (11. 8.)	2.6 (5. 7.)	0.01	0.02
	60 m	1.8 (8. 7.)	1.6 (20. 12.)	0.02	0.02
	80 m	1.4 (19. 7.)	1.1 (10. 10.)	0.02	0.02
Phytoplankton in Z/ml	40 m	1386 (13. 6.)	635 (4. 6.)	29	14
	60 m	563 (13. 6.)	482 (4. 6.)	52	16
	80 m	367 (15. 6.)	264 (4. 4.)	18	6
<i>Rhodomonas lacustris</i>	40 m	215 (8. 9.)	148 (18. 12.)		
	60 m	75 (27. 9.)	70 (28. 3.)		
	80 m	16 (25. 3.)	38 (28. 3.)		
<i>Cyclotella spec.</i> (klein)	40 m	145 (20. 4.)	382 (23. 5.)		
	60 m	45 (25. 4.)	304 (23. 5.)		
	80 m	51 (5. 4.)	133 (25. 5.)		
<i>Stephanodiscus astraea</i>	40 m	21 (25. 7.)	11 (9. 5.)		
	60 m	23 (26. 7.)	10 (4. 6.)		
	80 m	17 (29. 7.)	17 (25. 5.)		
<i>Tabellaria fenestrata</i>	40 m	633 (22. 11.)	191 (26. 7.)		
	60 m	356 (7. 12.)	125 (17. 1.)		
	80 m	193 (7. 12.)	75 (28. 3.)		
<i>Diatoma elongatum</i>	40 m	48 (13. 6.)	14 (9. 4.)		
	60 m	17 (15. 6.)	17 (9. 4.)		
	80 m	15 (7. 9.)	10 (25. 4.)		
<i>Fragilaria crotonensis</i>	40 m	408 (13. 6.)	326 (4. 6.)		
	60 m	214 (25. 7.)	302 (6. 6.)		
	80 m	203 (28. 6.)	107 (6. 6.)		
<i>Asterionella formosa</i>	40 m	676 (13. 6.)	57 (9. 6.)		
	60 m	379 (13. 6.)	40 (9. 6.)		
	80 m	241 (13. 6.)	16 (6. 6.)		

* = Fließgeschwindigkeit sehr gering.
 γ = Planktonnetz übergelaufen.

und 80 m. Die mittelfristigen Veränderungen betreffen, ähnlich den kurzfristigen (s. S. 26), den ganzen untersuchten Wasserkörper etwa gleichzeitig.

Bei den viel gedämpfter verlaufenden Monatsmittelwertskurven (Abb. 19) sind die Planktonmengenanstiege, im Gegensatz zu den Wochenmittelwertskurven, in 40 m Tiefe merklich früher als in 60 m und 80 m. Die langfristigen Veränderungen wirken auf die untersuchten Tiefen des Wasserkörpers mehr nacheinander ein.

Die Netzplanktonmengen sind, abgesehen von den Zeiten der Winterzirkulation, im Jahr 1955 in 40 m viel größer als in den beiden andern Tiefen (Abb. 19, Tab. 7); 1956 ist dieser Unterschied geringer (weniger Phytoplankton!).

4. Bei der quantitativen Auszählung der P h y t o p l a n k t o n - Schöpfproben werden alle, auch die im Netzplankton nicht enthaltenen kleinen Formen, zahlenmäßig erfaßt.

Die Gesamtzahl der Phytoplankter ist in der Darstellung der Wochenmittelwerte genau so veränderlich wie das Netzplankton (Abb. 18). Die stark ausge-

prägen mittelfristigen Veränderungen verlaufen in den 3 Tiefenstufen meist parallel, wobei bei großen Planktonzahlen (z. B. in 40 m) als Ausdruck vertikaler Schichtung die Kurven auseinandergehen und bei kleinen sehr eng beieinander liegen. Ersteres trifft vor allem im Jahre 1955 zu, dessen Phytoplanktonreichtum im Mai beginnt und — abgesehen von einem geringen Schwund im Spätsommer — bis in den Januar 1956 anhält; letzteres für das Jahr 1956, wo der Dichtezusammenbruch schon im Juni einsetzt und die Planktonzahlen bis zum Jahresende auffallend nieder bleiben.

Die Kurven der Monatsmittelwerte mit den ungestörten langfristigen Veränderungen lassen die Verschiedenheit der beiden Untersuchungsjahre klar erkennen (Abb. 19). Das Vorkommen der Phytoplankter ist in 40 m Tiefe einerseits früher und andererseits größer als in den beiden andern Tiefen (Tab. 6, 7), gemäß den Befunden von GRIM (1939) und GESSNER (1955). Auffallend selten sind sie alle in der zweiten Jahreshälfte 1956.

Das Phytoplanktonbild wird im Berichtszeitraum von 5 Formen beherrscht, deren Dichtemaxima einander im Jahresablauf meist ablösen (Tab. 6, Abb. 19).

Tabellaria fenestrata (LYNGB.) KG., vor Jahrzehnten noch eine seltene Form (AUERBACH, M., W. MAERKER u. J. SCHMALZ 1924, 1926; GRIM 1939, 1955; KIEFER 1955, MUCKLE 1956), ist im Berichtszeitraum der weitaus zahlreichste Phytoplankter. Ihr Vorkommen zeigt in den beiden Jahren größte Gegensätze (Abb. 18, 19): Maximale Entfaltung im Herbst 1955, fast völliges Fehlen im Herbst 1956. Dementsprechend sind auch die Extrem- und Mittelwerte sehr verschieden (Tab. 6, 7). Das Zahlengefälle ist in der Zeit der Hochproduktion zwischen 40 m und 60 m größer (stärkerer Abbau!) als zwischen 60 m und 80 m (Abb. 19). Absinkende Maxima treffen in geringeren Tiefen früher als in größeren ein.

Bei *Asterionella formosa* HASSAL, der zweithäufigsten Form, ist das unterschiedliche Vorkommen in den beiden Berichtsjahren noch viel stärker ausgeprägt (Abb. 18, 19). Die Verhältniszahlen der Extrem- und Jahresmittelwerte lauten etwa 10 : 1 (Tab. 6, 7). Die Höchstzahlen finden sich im Mai/Juni 1955.

Das maximale Vorkommen der *Fragilaria crotonensis* KITTON liegt im Juni/ Juli 1955, also zwischen dem der *Asterionella* und der *Tabellaria* (Abb. 18, 19). Der Verlauf der Dichtekurven zeigt im 2. Untersuchungsjahr 2 kleinere Gipfel (Juni und Oktober 1956), so daß die Unterschiede der Extrem- und Jahresmittelwerte nicht groß sind (Tab. 6, 7): Ihr Auftreten ist ausgeglichener.

Eine kleine, nicht näher bestimmte *Cyclotella*-Art verhält sich anders (Abb. 18, 19). Diese derzeitige Frühjahrsform (s. dagegen GRIM 1939, AUERBACH u. Mitarbeiter 1953) ist nur im April/Mai 1956 sehr zahlreich; im Jahre zuvor war sie unbedeutend (Tab. 6, 7).

Rhodomonas lacustris PASCHER et RUTTNER kommt nur in 40 m in beträchtlicher Zahl vor; in größeren Tiefen ist sie selten (Tab. 6, 7; Vergl. hierzu S. 47 u. Tab. 8). In beiden Jahren, die sich wenig unterscheiden, ist sie im Frühjahr und im Herbst zu finden (Abb. 18, 19).

III. Ursachen

1. Mittelfristige Veränderungen Über kurzfristige windbedingte Veränderungen, die die Tageswerte stark beeinflussen können, wurde zuvor berichtet (s. S. 26). Länger anhaltende Windlagen bringen — z. B. während der Sommerstagnation — einen See für einige Tage aus der Gleichgewichtslage. Die Isothermen verlaufen nun mehr oder weniger schräg, da sie auf der Stauseite hinabgedrückt und auf der Sogseite gehoben sind (z. B. HALBFASS 1923, THOMAS 1949, MORTIMER 1953, MUCKLE 1956, LEHN 1956, ANSTALT FÜR BODENSEEFORSCHUNG 1957/2, 1959/1). In dieser Situation gelangt z. B. in die 60 m-Seeleitung „tiefenfremdes“ Wasser. An der Stauseite gelegen

ist es möglicherweise Wasser aus 30—40 m Tiefe mit höherer Temperatur und größerem Planktongehalt, das in die Tiefe gedrückt ist (Tab. 6, Abb. 18: z. B. 2. Woche im Oktober 1956, 3. Woche im Dezember 1956). Auf der Sogseite kann es geschehen, daß Wasser aus 80—100 m Tiefe oder mehr mit niedrigerer Temperatur und geringem Planktongehalt hochgehoben wird (Abb. 18: z. B. 3. Woche im Dezember 1955, 2./3. Woche im Juni 1956). Das Crustaceenplankton hat die Möglichkeit mittels vertikaler Wanderung das veränderte Tiefenniveau teilweise zu korrigieren (ELSTER 1954, 1958), so daß abnorme Situationen bald danach verwischt sind.

Läßt nun der Wind nach oder setzt gegenläufiger Wind ein, dann kann die Situation über die thermische Gleichgewichtslage hinaus ins Gegenteil umschlagen und einige Tage andauern.

Diese mittelfristigen Veränderungen werden wie die kurzfristigen als windbedingt angesehen. Sie unterscheiden sich durch das langsamere Verlaufen und längere Zeit Anhalten der Störung des limnologischen „Normalzustandes“, da sie wohl in der Längsrichtung des Bodensees vor sich gehen.

In Abb. 18, in der obersten Reihe „vorherrschender Wasserschub in 40 m, 60 m, 80 m Tiefe“, wurde versucht, mit Pfeilen die erschlossenen, in der betreffenden Woche überwiegenden Vertikalbewegungen des Wasserkörpers darzustellen: Ein Pfeil nach unten kennzeichnet somit eine Erhöhung, einer nach oben eine Verminderung der Planktonmengen; während der Sommerstagnation gilt dies auch für die Temperatur.

2. Langfristige Veränderungen, die durch die Bildung von Monatsmittelwerten von den windbedingten kurz- und mittelfristigen Veränderungen weitgehend befreit sind, geben die Einwirkungen des klimatischen Jahreszyklus auf die Temperatur und der Planktonproduktion auf den Planktonbestand der untersuchten Tiefen wieder.

Produktionsmaxima des Phytoplanktons gelangen aus der trophogenen Schicht durch Sedimentieren in Form stark dezimierter Produktionswellen in das Tiefenwasser (GRIM 1939, 1950, 1954; RUTTNER 1952, GESSNER 1955, ANSTALT FÜR BODENSEEFORSCHUNG 1957—1959). In den einzelnen Tiefenstufen kommen sie nacheinander an, in 40 m z. T. einige Wochen früher als in 80 m (Abb. 19).

Dagegen treten Crustaceenmaxima als langfristige Veränderungen in geringen und größeren Tiefen etwa gleichzeitig in Erscheinung, da sich diese Plankter vertikal bewegen können (RUTTNER 1929, ELSTER 1954, 1958; ANSTALT FÜR BODENSEEFORSCHUNG 1957—1959).

Die jahreszeitlich wechselnde Produktion an Planktonorganismen bildet die Grundlage für die langfristigen Veränderungen des Rohwassers in den 3 untersuchten Seeleitungen (Abb. 19).

IV. Ergebnis

Die Jahresmittelwerte in Tab. 7 geben die zu erwartende Planktonbelastung des gepumpten Rohwassers der 3 Tiefen wieder, bevor es in die Schnellfilteranlage fließt.

Die mittlere Fließgeschwindigkeit (Tab. 7) ist in der 40-m-Seeleitung am geringsten und in der 60 m-Seeleitung am größten. Die aus 80 m Tiefe liegt etwa dazwischen. Die gewonnenen Temperatur- und Planktonwerte aus 40 m Tiefe bedürfen somit einer kleiner Korrektur (s. Tab. 2, Abb. 6), deren Größe aber nicht genau festliegt.

ab. 7: Mittelwerte der Fließgeschwindigkeiten, der Temperaturen, des Netzplanktons und des Phytoplanktons, sowie der 7 häufigsten Phytoplankter in den Jahren 1955, 1956 und 1955/56. Anzahl der Proben in ().

	Tiefe	1955	1956	1955/46
Fließgeschwindigkeit in cm/s	40 m	20.4	25.0	22.7
	60 m	80.5	83.4	82.0
	80 m	57.0	46.0	51.5
Temperaturen in °C	40 m	5.8 (931)	5.4 (490)	5.6 (1421)
	60 m	4.6 (764)	4.6 (425)	4.6 (1189)
	80 m	4.7 (225)	4.8 (212)	4.7 (437)
Netzplankton in ml/m ³	40 m	0.72 (582)	0.65 (484)	0.69 (1066)
	60 m	0.28 (482)	0.46 (415)	0.37 (897)
	80 m	0.20 (213)	0.31 (212)	0.26 (425)
Phytoplankton in Z/ml	40 m	284 (262)	138 (234)	211 (496)
	60 m	188 (133)	99 (174)	144 (307)
	80 m	136 (71)	81 (57)	109 (128)
davon:				
<i>Rhodomonas lacustris</i>	40 m	27	19	23
	60 m	10	6	8
	80 m	3	3	3
<i>Cyclotella spec. (klein)</i>	40 m	17	32	25
	60 m	14	23	19
	80 m	10	17	14
<i>Stephanodiscus astraea</i>	40 m	6	2	4
	60 m	6	2	4
	80 m	5	2	4
<i>Tabellaria fenestrata</i>	40 m	107	38	73
	60 m	61	30	46
	80 m	43	29	36
<i>Diatoma elongatum</i>	40 m	5	3	4
	60 m	3	2	3
	80 m	3	2	3
<i>Fragilaria crotonensis</i>	40 m	35	23	29
	60 m	28	22	25
	80 m	23	14	19
<i>Asterionella formosa</i>	40 m	70	8	39
	60 m	56	6	31
	80 m	42	4	23

Das Netzplankton beträgt 1955/56 in 40 m Tiefe fast das Doppelte des 60 m-Wertes und fast das Dreifache des 80 m-Wertes (Tab. 7). Es erfährt in 40 m eine Teilkorrektur infolge der meist vormittags entnommenen Proben (s. Abb. 17).

Die entsprechenden Zahlen beim gesamten Phytoplankton lauten das Ein- und das Doppelte. Jedoch zeigen die beiden Jahre beachtliche Unterschiede. Die Zellzahlen sind 1955 etwa doppelt so groß als 1956 (Tab. 7). Daran sind insbesondere die am zahlreichsten vorkommenden, großen kolonienbildenden Diatomeen *Tabellaria fenestrata*, *Asterionella formosa* und *Fragilaria crotonensis* beteiligt, die etwa $\frac{2}{3}$ der Gesamtzellzahl ausmachen. Nur *Cyclotella* ist im Jahre 1956 häufiger als 1955.

Die zweijährigen Mittelwerte der 3 untersuchten Tiefen können als Grundlage für die Beurteilung der Wasserentnahmetiefe für eine Trinkwasserversorgung angewandt werden, auch wenn sich Menge und Zusammensetzung des Planktons im Laufe der Jahre verändern sollten. Als günstigste Trinkwasserentnahmetiefe außerhalb 80 m (trotz der etwas geringeren Fließgeschwindigkeit!) und danach 60 m bezeichnet werden. Von der Wasserentnahme aus 40 m ist abzuraten, da bei

höhere Fließgeschwindigkeit, etwa wie in 60 m, eine noch größere Planktonmenge zu erwarten ist. Diese Ergebnisse decken sich weitgehend mit denen der eingangs erwähnten Freiwasseruntersuchungen (AUERBACH u. Mitarbeiter 1953, MUCKLE 1956).

V Vergleich

Die in Tab. 7 aufgeführten Mittelwerte 1955/56 des gepumpten Wassers der 3 Seeleitungen erlauben einen Vergleich mit den Mittelwerten der Freiwasseruntersuchungen der Jahre 1955 und 1956, die von der Anstalt für Bodenseeforschung mit dem Boot vor Sipplingen durchgeführt wurden. Ähnlich wie bei den Versuchen mit variierten Fließgeschwindigkeiten an der 40-m-Seeleitung (s. S. 20) können nun an der 40 m- und 60 m-Seeleitung Vergleiche über sekundäre Veränderungen des gepumpten Wassers angestellt werden (Tab. 8). Hierfür sind allerdings nur die Temperatur und das Phytoplankton geeignet.

Die Temperatur erfährt im gepumpten Rohwasser eine sekundäre Erhöhung (Tab. 8): Der geringere Anstieg in 60 m bei höherer und der größere in 40 m bei verminderter Fließgeschwindigkeit entspricht den eingangs angestellten Versuchen (s. Tab. 2, Abb. 6).

Auch das Phytoplankton mit seinem Defizit der Gesamtzellzahlen von 25 % in 40 m Tiefe fügt sich ein (Tab. 8). Jedoch scheint ein Defizit von 23 % für die Fließgeschwindigkeit in der 60 m-Seeleitung nach den eingangs angestellten Versuchen zu hoch zu sein. Offenbar kommt bei solch hohen Fließgeschwindigkeiten ein anderer Defizit-Faktor hinzu:

Während sich bei den großen kolonienbildenden Diatomeen das Defizit infolge Sedimentation und Abbau in der schwach ansteigenden Seeleitung bei verminderter Fließgeschwindigkeit einstellt (Abb. 8: *Tabellaria*, *Fragilaria*), werden wohl die kleinen schalenlosen Flagellaten gerade bei höheren Pump- und Fließ-

Tab. 8: Vergleich der Mittelwerte der Temperaturen und des Phytoplanktons im freien See und im Pumpwasser, sowie der Fließgeschwindigkeiten des Pumpwassers in 40 m und 60 m der Jahre 1955/56. Anzahl der Proben in ().

		Freiwasser	Pumpwasser	Sekundäre Veränderung des Pumpwassers
		1955/56	1955/56	
Fließgeschwindigkeit in cm/s	40 m		22.7	
	60 m		82.0	
Temperaturen in °C	40 m	4.8 (38)	5.6 (1421)	+ 0.8
	60 m	4.3 (38)	4.6 (1189)	+ 0.3
Phytoplankton in Z/ml	40 m	281 (38)	211 (496)	— 25 %
	60 m	188 (38)	144 (307)	— 23 %
Davon:				
<i>Tabellaria fenestrata</i>	40 m	102	73	— 28 %
	60 m	52	46	— 12 %
<i>Fragilaria crotonensis</i>	40 m	39	29	— 26 %
	60 m	30	25	— 17 %
<i>Asterionella formosa</i>	40 m	48	39	— 19 %
	60 m	37	31	— 16 %
<i>Cyclotella spec. (klein)</i>	40 m	34	25	— 26 %
	60 m	25	19	— 24 %
<i>Rhodomonas lacustris</i>	40 m	37	23	— 38 %
	60 m	24	8	— 67 %
Rechen volumina des Phytoplanktons in ml/m ³	40 m	0.35 (38)	0.29 (496)	— 17 %
	60 m	0.26 (38)	0.23 (307)	— 12 %

geschwindigkeiten mechanisch zerstört (Tab. 8: *Rhodomonas*). Dazwischen stehen kleine Diatomeen, die wohl von jedem der beiden Faktoren, aber in geringerem Maße, betroffen werden, so daß das Defizit bei verschiedenen Fließgeschwindigkeiten etwa gleich ist (Tab. 8: *Cyclotella*).

Das Defizit des Phytoplanktons, ausgedrückt durch sein Rechenvolumen (= RV), beträgt bei langsamerem Fluß durch die Seeleitung 17 ‰, bei sehr schnellem 12 ‰ (Tab. 8).

Die ermittelten sekundären Veränderungen des gepumpten Rohwassers beim Durchfluß durch die beiden schwach ansteigenden Seeleitungen erreichen eine ähnliche Größenordnung wie bei den Versuchen mit variierten Fließgeschwindigkeiten (s. Tab. 2, Abb. 6).

F. Reinigungsleistung der Schnellfilter

I. Vorbemerkung

Das Crustaceenplankton wird von den verschiedenen Schnellfiltern vollständig zurückgehalten. Es verbleibt im Filterüberstau meist schwimmend, bis es mit der nächsten Rückspülung fortgeschwemmt wird. Teile zerrissener Tiere (wohl durch die Pumpen!) und die Schalen sich im Überstau häutender Tiere jedoch setzen sich auf der Sandoberfläche der Filter ab; sie werden durch die nächste Rückspülung beseitigt. Bei starkem Anfall muß mit einer Laufzeitverkürzung der Filter gerechnet werden.

Einzelne Phytoplankter, insbesondere die kolonialen Formen (z. B. *Fragilaria*, *Tabellaria*) lagern sich teilweise an der Oberfläche ab oder dringen wenige Millimeter in die Sandschicht ein. Zudem fördert in den offenen Schnellfiltern eine gleichmäßig gute Belichtung, insbesondere während der Sommermonate, das Algenwachstum, so daß eine deutlich grün-braun gefärbte Zone sich verfilzenden Materials entsteht, die schon nach kurzer Filterlaufzeit eine weitere Filtration unmöglich macht.

Kleine Einzelformen (z. B. *Rhodomonas*, *Cyclotella*) dagegen dringen viel weiter in den Filtersand ein. Die gefärbte Oberflächzone ist nur schwach ausgeprägt und die Filterlaufzeiten, bezogen auf die anfallende Planktonmenge, sind wesentlich größer.

Die Phytoplankter gelangen teilweise durch die Sandschicht der Schnellfilter in das Rheinwasser. Die Reinigungsleistung der einzelnen Schnellfilter wird durch Vergleich quantitativer Phytoplanktonauszählungen des Rohwassers vor und des Reinwassers nach dem Filtervorgang erkennbar (vgl. auch HOFFMANN 1954, STADT ZÜRICH 1954).

Die Gruppe der 3 offenen Schnellfilter (F₁—F₃) reinigt das Wasser aus 60 m, die der 3 geschlossenen (F₄—F₆) das Wasser aus 80 m und vom 10. 10. 1956 an aus 40 m Tiefe. Infolge unterschiedlichen Phytoplanktongehaltes und -zustandes (Abb. 18, 19; Tab. 6, 7) und verschiedener Filtergeschwindigkeiten (Tab. 9; OEHLER 1958) sind die Ausgangsbedingungen für die Filter der beiden Filtergruppen ungleich.

Tab. 9: Übersicht über Filtergeschwindigkeit und Quarzsandkörnung der 6 Schnellfilter.

	Offene Filter			Geschlossene Filter		
	1	2	3	4	5	6
Filtergeschwindigkeit in m/h	7—9	7—9	7—9	7	16—18	16—18
Quarzsandkörnung in mm	0,4—0,6	0,6—0,8	0,8—1,0	1,2—1,5 (ab Aug. 1956 Magno 0)	0,6—0,8	0,8—1,0

II. Befunde

1. Die Zählergebnisse des Reinwassers der einzelnen Schnellfilter sowie des speisenden Rohwassers wurden in Monatsmittelwerte (Abb. 20) und in Jahresmittelwerte umgerechnet (Tab. 10). Letzteren fehlen bei den offenen Filtern der Januar 1955 und bei den geschlossenen Januar/Februar 1955 und der September 1956. Da die Zahl der untersuchten Reinwasserproben je Schnellfilter wesentlich

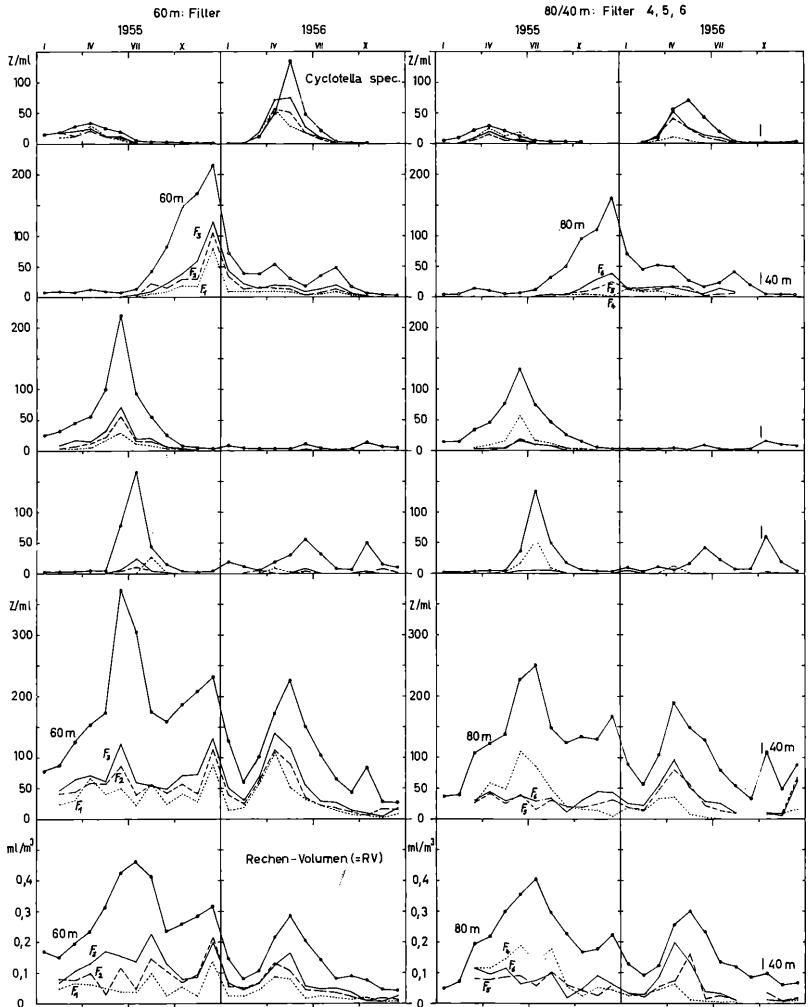


Abb. 20: Monatsmittelwerte des Phytoplanktons, der 4 häufigsten Phytoplankte und des Phytoplankton-Rechenvolumens des Reinwassers der offenen (F₁—F₄) bzw. geschlossenen (F₄—F₈) Schnellfilter und zum Vergleich des Rohwassers auf 60 m bzw. 80/40 m Tiefe während der Jahre 1955/56.

Tab. 10: Mittlere Dichte des Phytoplanktons und der 5 häufigsten Phytoplankter im Rohwasser und im Reinwasser der 6 Schnellfilter in den Jahren 1955, 1956 und 1955/56, sowie der Anteil leerer Diatomeenschalen in (). Phytoplankton des Reinwasser in % bezogen auf Rohwasser. [Filter 4: von Oktober 1956 an mit Magnomasse 0.]

		Roh-	Reinwasser aus den Filtern					
		wasser	1	2	3	4	5	6
			0,4—0,6	0,6—0,8	0,8—1,0	1,2—1,5	0,6—0,8	0,8—1,0
Quarzsand in mm Ø								
Anzahl der Proben	1955 60 m	131	23	23	24			
	80 m	63				21	23	23
	1956 60 m	174	42	40	42			
	80/40 m	52				37	34	36
	55/56 60 m	305	65	63	66			
	80/40 m	115				58	57	59
Phytoplankton in Z/ml	1955 60 m	198 (88)	43 (21)	57 (27)	73 (32)			
	80 m	155 (82)				43 (20)	28 (14)	34 (18)
	1956 60 m	99 (56)	29 (13)	37 (18)	47 (24)			
	80/40 m	99 (53)				13 (6)	32 (13)	36 (16)
	55/56 60 m	149 (72)	36 (17)	47 (22)	60 (28)			
	80/40 m	127 (67)				28 (13)	30 (14)	35 (17)
	% d. Rohw.		24 %	32 %	40 %	22 %	24 %	28 %
Davon: Rhodomonas lacustris	1955 60 m	10	7	7	9			
	80 m	3				3	4	4
	1956 60 m	6	5	5	6			
	80/40 m	9				3	8	8
	55/56 60 m	8	6	6	7			
	80/40 m	6					6	6
	% d. Rohw.		75 %	75 %	87 %	50 %	100 %	100 %
Cyclotella spec. (kl.)	1955 60 m	14 (7)	7 (4)	8 (4)	9 (5)			
	80 m	10 (7)				7 (4)	4 (2)	5 (3)
	1956 60 m	23 (16)	11 (4)	12 (6)	17 (9)			
	80/40 m	19 (11)				2 (+)	9 (4)	11 (4)
	55/56 60 m	19 (12)	9 (4)	10 (5)	13 (7)			
	80/40 m	15 (9)				5 (2)	7 (3)	8 (4)
	% d. Rohw.		47 %	53 %	68 %	33 %	47 %	53 %
Tabellaria fenestrata	1955 60 m	65 (36)	13 (9)	19 (13)	24 (16)			
	80 m	50 (33)				4 (3)	6 (5)	9 (7)
	1956 60 m	30 (20)	7 (5)	11 (8)	14 (10)			
	80/40 m	30 (21)				4 (3)	8 (7)	9 (8)
	55/56 60 m	48 (28)	10 (7)	15 (10)	19 (13)			
	80/40 m	40 (27)				4 (3)	7 (6)	9 (7)
	% d. Rohw.		21 %	31 %	40 %	10 %	17 %	22 %
Asterionella formosa	1955 60 m	58 (24)	8 (3)	13 (5)	18 (6)			
	80 m	46 (22)				12 (6)	5 (2)	5 (3)
	1956 60 m	6 (4)	+ (+)	1 (+)	1 (+)			
	80/40 m	6 (3)				1 (+)	1 (+)	1 (+)
	55/56 60 m	32 (14)	4 (2)	7 (3)	9 (3)			
	80/40 m	26 (13)				7 (3)	3 (1)	3 (2)
	% d. Rohw.		12 %	22 %	28 %	27 %	12 %	12 %
Fragilaria crotonensis	1955 60 m	30 (10)	3 (2)	2 (1)	4(1)			
	80 m	27 (10)				10 (3)	1 (+)	2 (1)
	1956 60 m	22 (10)	1 (1)	2 (1)	2 (1)			
	80/40 m	19 (8)				2 (2)	1 (+)	1 (1)
	55/56 60 m	26 (10)	2 (1)	2 (1)	3 (1)			
	80/40 m	23 (9)				6 (2)	1 (+)	2 (1)
	% d. Rohw.		8 %	8 %	12 %	26 %	4 %	9 %

geringer als die des Rohwassers sind (Tab. 1), wurden keine Wochenmittelwerte gebildet. Die Korngrößen des Quarzsandes der einzelnen Filter und die Filtergeschwindigkeit sind aus Tab. 9 zu ersehen. Weitere technische Einzelheiten bei OEHLER 1958.

Die Gesamtzahl und das Rechenvolumen (= RV) des Phytoplanktons entsprechen im Reinwasser der 3 offenen Filter etwa der Sandkörnung; Je feiner der Sand, desto kleiner sind die Zellzahlen (Abb. 20, Tab. 10). Die Kurven der 3 Filter verlaufen meist parallel und passen sich in groben Zügen an das Phytoplanktonangebot des Rohwassers an.

Ähnliche Feststellungen ergeben sich aus den Zählungen der geschlossenen Filter 5 und 6, wobei allerdings die Reinigungsleistung etwas besser ist (Abb. 20, Tab. 10). Nur der Filter 4 zeigt ein abweichendes Verhalten (s. S. 51).

2. Die einzelnen Phytoplankter verhalten sich in den Filtern sehr verschieden. Die eine Gruppe besteht aus kleinen Formen (*Rhodomonas lacustris*, *Cyclotella* spec.), die mehr oder weniger stark die Sandschicht der Filter passieren und im Reinwasser erscheinen (Abb. 20, Tab. 10; vgl. HOFFMANN 1954). Eine Beziehung zwischen der Sandkörnung und der Reinigungsleistung der Filter ist bei *Cyclotella* deutlich wahrnehmbar. Bemerkenswert ist auch der bessere Filtereffekt der geschlossenen Filter gegenüber den offenen bei gleicher Sandkörnung. Eine Verkürzung der Filterlaufzeit bei Massenvorkommen tritt kaum ein.

Wesentlich anders ist die Wirkung der großen kolonienbildenden Diatomeen. Die Reinigungsleistung ist insgesamt weit größer (vgl. HOFFMANN 1954), aber dafür die Filterlaufzeit (s. OEHLER 1958) viel kürzer. Bei *Fragilaria crotonensis* und *Asterionella formosa* ist eine direkte Beziehung zwischen dem Anteil an Zellen im Reinwasser (bezogen auf das Rohwasser) und der Sandkörnung der Filter zu erkennen (Abb. 20, Tab. 10).

Das Vorkommen von *Tabellaria fenestrata*, dem häufigsten Phytoplankter im Berichtszeitraum (Tab. 7), liegt eigenartigerweise dazwischen (Abb. 20, Tab. 10). Trotz ihrer Größe und der damit verbundenen Laufzeitverkürzung der Filter ist sie in beachtlichen Zahlen im Reinwasser, insbesondere der offenen Filter, zu finden, eine Erscheinung, die noch näher beleuchtet wird (s. S. 52). Das Auftreten im Reinwasser entspricht auch hier der Sandkörnung, sieht man vom Filter 4 ab.

3. Bei gleicher Sandkörnung haben somit die geschlossenen Filter eine etwas größere Reinigungswirkung als die offenen. Diese Tatsache wird verständlich

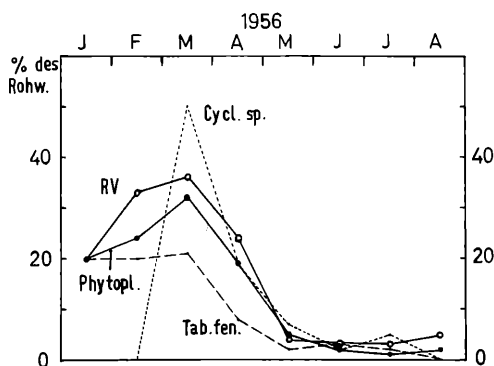


Abb. 21: *Tabellaria fenestrata*, *Cyclotella* spec. (klein), Phytoplankton-Zellen und Phytoplankton-Rechenvolumina (= RV) im Reinwasser des geschlossenen Filters 4 in % des Rohwassers während einer Laufzeit von 7 Monaten.

bei Betrachtung der Untersuchungswerte einer 7-monatigen Filterlaufzeit ohne Rückspülung an dem schon mehrmals von der Norm abweichenden geschlossenen Filter 4 (Tab. 9, Abb. 21). Dem geringen Reinigungseffekt während der ersten steht ein sehr großer während der zweiten Hälfte der Laufzeit gegenüber. Hierbei unterscheiden sich z. B. die beiden sehr verschiedenen großen Phytoplankter *Tabellaria* und *Cyclotella* nur während der ersten Hälfte.

Diese „Zeitlupenaufnahme“ über die zunehmende Verbesserung des Reinigungseffektes während einer Laufzeit gilt auch für die offenen Schnellfilter. Nur ist bei diesen der Zeitraum hoher Reinigungswirkung verkürzt, da sie im Gegensatz zu den geschlossenen Filtern bei hohen Widerständen nicht mehr betrieben werden können (s. OEHLER 1958).

4. Ein weiterer methodischer Grund fördert ebenfalls die größeren Zahlenwerte des Phytoplanktons im Reinwasser der offenen Filter. Am Entnahmehahn herrschte einige Male schon Unterdruck, so daß eine Probeentnahme auf die Zeit kurz nach der nächsten Rückspülung verschoben werden mußte. Nach Abb. 21 sind nun aber höhere Planktonzahlen zu erwarten als zu dem Zeitpunkt, da die Probeentnahme nicht möglich war.

Die Zellzahlen des Reinwassers der offenen Filter sind demnach im Mittel als geringfügig zu hoch anzusehen, d. h. der tatsächliche Reinigungseffekt dieser Filtergruppe ist etwas größer als die Zahlen in Abb. 20 und Tab. 10 angeben.

III. Ursachen

Zuvor wurde das zu reichliche Vorkommen der großen kolonienbildenden *Tabellaria fenestra* im Reinwasser der offenen Filter erwähnt. Die mit Gallerte

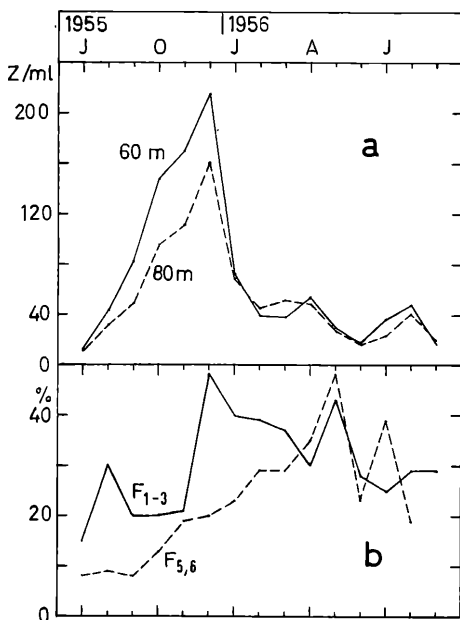


Abb. 22: Monatsmittelwerte von *Tabellaria fenestrata* im Rohwasser (a) und die %-Anteile im Reinwasser (b) der offenen (F₁—F₃) und geschlossenen (F₅, F₆) Schnellfilter.

versehenen Zickzack-Kolonien verkleben an der Oberfläche des Filters leicht mit andern Kolonien und mit den Sandkörnchen, so daß sie nach kurzer Zeit einen dichten Belag bilden und die weitere Filtration verhindern. In dieser Zeit (Abb. 20: Nov./Dez. 1955) wurden die kürzesten Filterlaufzeiten beobachtet (s. OEHLER 1958). Beim Rückspülen wird diese Schicht in Klümpchen zerrissen, die schwerer als reines Phytoplankton sind und daher teilweise in die Tiefe des Filters gelangen. Dort werden sie mit der Zeit abgebaut und die Einzelschalen gelangen dann leichter in das Reinwasser.

Vom gehäuften Rückspülen sind vor allem die feinkörnigen offenen Filter betroffen, so daß im Augenblick eines *Tabellaria*-Maximums erhöhte Zellzahlen im Reinwasser zu finden sind (Abb. 20: Dez. 1955). Dieser „aktuellen Passage“, die bei den offenen Schnellfiltern stärker in Erscheinung tritt, steht die „verschleppte Passage“, die bei den geschlossenen Filtern mehr ausgeprägt ist, gegenüber: Die Verschlechterung der Filterwirkung nimmt noch mehrere Monate nach dem Rohwassermaximum zu (Abb. 22).

Die nur bei *Tabellaria* derart ausgeprägte „verschleppte Passage“ liefert ein Maß für die Zeitdauer der inneren Filterverschmutzung, die mit Abbauerscheinungen verbunden ist. So kann z. B. der Anteil der plasmahaltigen und der leeren Schalen im Reinwasser der offenen und der geschlossenen Filtergruppe, bezogen auf das Rohwasser, berechnet werden. Das Verhältnis der leeren zu den plasmahaltigen *Tabellaria*-Schalen ist im Reinwasser der offenen Filter auf das Eineinhalbfache, in dem der geschlossenen auf das Zweifache angestiegen, während es bei *Asterionella* kaum verändert ist (Tab. 11).

Tab. 11: Plasmahaltige und leere Schalen von *Tabellaria fenestrata* und *Asterionella formosa* des Reinwassers der beiden Filtergruppen in % des Rohwassers in den Jahren 1955/56; Verhältniszahlen.

	Offene Filter 1—3		Geschlossene Filter 5, 6	
	plasmahaltig	leer	plasmahaltig	leer
<i>Tabellaria fenestrata</i>	23 %	36 %	12 %	24 %
Verhältnis etwa	2 : 3		1 : 2	
<i>Asterionella formosa</i>	22 %	19 %	12 %	12 %
Verhältnis etwa	1 : 1		1 : 1	

Außerdem sind die Koloniengrößen im Vergleich zum Rohwasser stark verkleinert, und zwar etwa im Verhältnis zur Sandkörnung der Schnellfilter. Bei gleicher Korngröße sind sie in den geschlossenen Filtern kleiner als in den offenen. Viele Einzelzellen kennzeichnen einen lange anhaltenden Abbau.

IV. Ergebnis

Vom Reinwasser der 6 Schnellfilter und dem sie speisenden Rohwasser wurden die Mittelwerte der Phytoplankton-Rechenvolumina der Jahre 1955/56 gebildet. Die im Reinwasser enthaltenen Phytoplanktonmengen verhalten sich etwa wie die Sandkörnungen (Tab. 9, 12). Sie sind in den offenen Filtern bei gleicher Körnung größer als in den geschlossenen. Denn diese letzteren können noch bei höheren Filterwiderständen mit starker Reinigungswirkung betrieben werden, wodurch auch die Zahl der Rückspülungen geringer wird. Zudem sind sie unbelichtet.

Das Phytoplankton ist am Gesamtplankton des Wassers dieser Tiefen mit etwas weniger als der Hälfte beteiligt (AUERBACH u. Mitarbeiter 1953, ANSTALT FÜR BODENSEEFORSCHUNG 1957-59). Die auf Grund der Untersuchungen und der verschiedentlich erwähnten Vorbehalte angenommene Plankton-

Tab. 12: Phytoplankton-Rechenvolumina des Reinwassers der 6 Schnellfilter im Mittelwert 1955/56, sowie deren Anteile am Phytoplankton und geschätzte Anteile am Gesamtplankton des Rohwassers in %; biologischer Reinigungseffekt in %; zum Vergleich Phytoplankton-RV und Netzplankton des Rohwassers.

	Rohwasser	Reinwasser der Schnellfilter						
		1	2	3	4	geschlossen 5	6	
Netzplankton in ml/m ³	60 m 80/40m	0,38 0,32						
Phytoplankton- RV in ml/m ³	60 m 80/40m	0,21 0,18	0,04	0,07	0,09			
in % des Rohwassers			20	32	42	0,06 32	0,05 28	0,07 36
Geschätzter Anteil des Phytoplanktons des Reinwassers (davon $\frac{1}{2}$ leere Schalen) am Gesamtplankton des Rohwassers in %			8	13	17	13	11	14
Geschätzter biologischer Reinigungseffekt .			92 %	87 %	83 %	87 %	89 %	86 %

menge im Reinwasser, bezogen auf das Rohwasser, ist aus Tab. 12 zu ersehen (vgl. HOFFMANN 1954, STADT ZÜRICH 1954).

Der geschätzte biologische Reinigungseffekt der untersuchten Schnellfilter liegt insgesamt bei 83 % bis 92 % der gebotenen Planktonmenge des Rohwassers. Dabei ist der Anteil abbaufähiger Zellen mit Cytoplasma noch erheblich geringer, da im Reinwasser ungefähr zur Hälfte leere Schalen vorkommen (Tab. 10).

G. Zusammenfassung

1. In der Versuchsfilterstation Sippligen des Zweckverbandes Bodenseewasserversorgung am Überlinger See (Bodensee) wurden in den Jahren 1955 und 1956 biologische Untersuchungen des in 3 Versuchsleitungen aus 40 m, 60 m und 80 m Tiefe gepumpten Bodenseewassers (Rohwasser), sowie des Reinwassers von 6 verschiedenen Schnellfiltern durchgeführt.

2. Versuche mit variierten Fließgeschwindigkeiten in der 40 m-Seeleitung ergeben sekundäre Veränderungen des Rohwassers: Je geringer die Fließgeschwindigkeit ist, desto stärker sind die Auswirkungen auf die Temperaturerhöhung und Planktonverminderung. Dasselbe zeigt sich beim Vergleich des gepumpten Rohwassers aus 40 m und 60 m Tiefe mit den Freiwasseruntersuchungen.

3. Eine größere Zahl von Daueruntersuchungen, die sich über einen Zeitraum bis zu 5 Tagen ausdehnten, gewähren Einblicke in windbedingte, kurzfristige Veränderungen des ufernahen Tiefenwassers im Bereich der 40 m- und 60 m-Seeleitung: Die Temperatur- und Planktonveränderungen verlaufen meist parallel und können innerhalb weniger Stunden insbesondere in 40 m Tiefe sehr beträchtlich sein, so daß sie eine schwach ausgeprägte Tagesrhythmik im allgemeinen völlig überlagern.

4. Die täglichen Untersuchungen der Jahre 1955 und 1956 wurden in Wochen- und Monatsmittelwerte umgerechnet. Erstere vermitteln Einblicke in windbedingte mittelfristige, letztere in jahreszeit- und produktionsbedingte langfristige Veränderungen der Temperatur und des Planktons im ufernahen Tiefenwasser der 40 m-, 60 m- und 80 m-Seeleitung. Planktonmaxima treten meist im Frühsommer und Spätherbst auf. Sie wirken sich in 40 m Tiefe viel stärker als

in 60 m oder gar 80 m aus. Als günstigste Trinkwasserentnahmetiefe mit geringer Planktonmenge ist die Zone von 60—80 m anzusehen.

5. Die Reinwasseruntersuchungen der 6 Schnellfilter zeigen an Hand der Phytoplanktonauszählungen den viel größeren Reinigungseffekt der feinkörnigen Quarzsande gegenüber den grobkörnigen und der geschlossenen Filter gegenüber den offenen. Sehr kleine Formen dringen weitgehend durch alle Filter, während große und koloniale, meist unter beträchtlicher Verkürzung der Filterlaufzeit, zurückgehalten werden. Nur *Tabellaria fenestrata* gelangt trotz starker Laufzeitverminderung in großen Mengen in das Reinwasser. Der biologische Reinigungseffekt der 6 Schnellfilter liegt bei 83—92 %.

Literatur

- ANSTALT FÜR BODENSEEFORSCHUNG 1957—1959: Limnologischer Monatsbericht — Überlinger See (Bodensee), 1.—3. Jg., Als Manuskript herausgegeben.
- AUERBACH, M., 1952: Indirekte Temperaturschichtung im Bodensee (Obersee) im Frühjahr 1947. Beitr. nat. Forsch. SW-Deutschl. **XI**, 72—74.
- AUERBACH, M.,
MAERKER, W. u.
SCHMALZ, J., 1924: Hydrographisch-biologische Bodenseeuersuchungen I. Arch. f. Hydrobiol./Suppl. **III**, 597—738.
- AUERBACH, M.,
MAERKER, W. u.
SCHMALZ, J., 1926: Hydrographisch-biologische Bodensee-Untersuchung. II. Verh. Naturw. Ver. Karlsruhe **30**, 1—128.
- AUERBACH, M. u.
Mitarbeiter, 1953: Wasseruntersuchungen im Überlinger See (Bodensee). Bericht über die Jahresserie 1952/53. Als Manuskript veröffentlicht.
- DUSSART, B., 1954: Température et mouvements des eaux dans les lacs. Extrait des Annales de la Station Centrale d'Hydrobiologie appliquée **V**, 1—128.
- ECKEL, O., 1959: Neue thermische Untersuchungen im Traunsee und Fuschlsee. Referat beim XIV Int. Limnol. Kongr. Wien.
- ELSTER, H.-J., 1939: Beobachtungen über das Verhalten der Schichtgrenzen nebst einigen Bemerkungen über die Austauschverhältnisse im Bodensee (Obersee). Arch. f. Hydrobiol. **35**, 286—346.
- ELSTER, H.-J., 1954: Über die Populationsdynamik von *Eudiaptomus gracilis* Sars und *Heterocope borealis* Fischer im Bodensee (Obersee). Arch. f. Hydrobiol./Suppl. **XX**, 546—614.
- ELSTER, H.-J., 1958: Zum Problem der quantitativen Methoden in der Zooplanktonforschung. Verh. Internat. Ver. Limnol. **XIII**, 961—978.
- GESSNER, Fr., 1955: Hydrobotanik: I. Energiehaushalt, 517 S., VEB Deutscher Verlag d. Wiss. Berlin.
- GRIM, J., 1939: Beobachtungen am Phytoplankton des Bodensees (Obersee) sowie deren rechnerische Auswertung. Int. Rev. d. ges. Hydrobiol. **39**, 193—314.
- GRIM, J., 1950: Versuche zur Ermittlung der Produktionskoeffizienten einiger Planktophyten in einem flachen See. Biol. Zentralblatt **69**, 147—174.

- GRIM, J., 1954: Vermehrungsleistungen planktischer Algenpopulationen in Gleichgewichtsperioden. Arch. f. Hydrobiol./Suppl. **XX**, 238—260.
- GRIM, J., 1955: Die chemischen und planktologischen Veränderungen des Bodensees-Obersees in den letzten 30 Jahren. Arch. f. Hydrobiol./Suppl. **XXII**, 310—322.
- HALBFASS, W., 1923: Grundzüge einer vergleichenden Seenkunde. 345 S. Berlin.
- HOFFMANN, E., 1954: Schnell- und Langsamfiltration von Bodenseewasser. Betriebserfahrungen des Wasserwerkes der Stadt St. Gallen. Monatsbulletin d. Schweiz. Ver. v. Gas- u. Wasserfachmännern, Nr. 4 u. 5, S. 1—15.
- JÄRNEFELT, H., 1958: Über die vertikale Tag- und Nachtverteilung des Planktons im Lohjanjärvi. Hydrobiologia **X**, 175—197.
- KIEFER, Fr., 1955: Naturkunde des Bodensees, 169 S. Jan Thorbecke Verlag, Lindau u. Konstanz.
- LEHN, H., 1956: Kurzfristige Temperatur- und Planktonschwankungen im ufernahen Hypolimnion des Überlinger Sees (Bodensee). Das Gas- und Wasserfach **97**, 222—225.
- LEHN, H., 1959: Zur Dynamik im Hypolimnion des Überlinger Sees (Bodensee). Beitr. nat. Forsch. SW-Deutschl. **XVIII**, 75—86 („Auerbach-Festschrift“).
- MORTIMER, C. H., 1950: The use of models in the study of water movement in the stratified lakes. Verh. Internat. Ver. Limnol. **XI**, 254—260.
- MORTIMER, C. H., 1953: The Resonant Response of Stratified Lakes to Wind. Schweiz. Z. f. Hydrologie **XV**, 94—151.
- MORTIMER, C. H., 1954: Models of the flowpattern in lakes. Weather **IX**, 177—184.
- MUCKLE, R., 1956: Die limnologischen Voraussetzungen für eine Groß-Trinkwasserentnahme aus dem Überlinger See (Bodensee). Das Gas- und Wasserfach **97**, 213—222.
- OEHLER, 1958: Versuchsfilteranlage Sipplingen: Filterversuche und chemische Untersuchungen, ausgeführt in der Zeit vom 1. 10. 54 bis 31. 12. 56. Leitung: Oberbaurat Gandenberger, Technische Werke Stuttgart. Manuskript.
- RUTTNER, Fr. 1929: Das Plankton des Lunzer Untersees, seine Verteilung in Raum und Zeit während der Jahre 1908—1913. Internat. Rev. d. ges. Hydrobiol. **23**, 1—138 u. 161—287.
- RUTTNER, Fr., 1952: Grundriß der Limnologie (Hydrobiologie des Süßwassers). 232 S. Walter de Gruyter u. Co., Berlin.
- STADT ZÜRICH, 1954: Geschäftsbericht der Wasserversorgung. 17 S.
- THOMAS, E. A., 1949: Sprungschichtneigung im Zürichsee durch Sturm. Schweiz. Z. f. Hydrologie **XI**, 527—545.
- THOMAS, E. A., 1950: Auffällige biologische Folgen von Sprungschichtneigung im Zürichsee. Schweiz. Z. f. Hydrologie **XII**, 1—24.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Beiträge zur naturkundlichen Forschung in Südwestdeutschland](#)

Jahr/Year: 1960

Band/Volume: [19](#)

Autor(en)/Author(s): Lehn Hubert

Artikel/Article: [Biologische Voruntersuchungen für die Bodenseewasserversorgung in der VersuchsfILTERstation Sipplingen 17-55](#)