

Copyright ©

Es gilt deutsches Urheberrecht.

Die Schrift darf zum eigenen Gebrauch kostenfrei heruntergeladen, konsumiert, gespeichert oder ausgedruckt, aber nicht im Internet bereitgestellt oder an Außenstehende weitergegeben werden ohne die schriftliche Einwilligung des Urheberrechtinhabers. Es ist nicht gestattet, Kopien oder gedruckte Fassungen der freien Onlineversion zu veräußern.

German copyright law applies.

The work or content may be downloaded, consumed, stored or printed for your own use but it may not be distributed via the internet or passed on to external parties without the formal permission of the copyright holders. It is prohibited to take money for copies or printed versions of the free online version.

Aus dem Institut für Meereskunde an der Universität Kiel

Zur Methode der Sestonbestimmung

Von JÜRGEN LENZ

Zusammenfassung: Die Sestonbestimmung hat den Vorteil, eine einfache, vielseitig anwendbare Methode in der biologischen Meereskunde zu sein. Ihre Genauigkeit hängt in erster Linie von der Beschaffenheit des Filtermaterials, der Größe der Filter und den Wägebbedingungen ab. In diesem Zusammenhang werden drei Filtersorten miteinander verglichen: Papierfilter (Schleicher & Schüll 575), Sartorius-Membranfilter (SM 11304) und Glasfaserfilter (Whatman GF/C). Die Glasfaserfilter wurden hierbei, soweit bekannt, zum ersten Mal für die Sestonbestimmung benutzt. In der Filtrationsleistung sind sie den Membranfiltern vergleichbar. Aus voneinander unabhängigen Doppelbestimmungen wird die Standardabweichung der Methode bei der Verwendung der verschiedenen Filtersorten ermittelt. Die größte Genauigkeit erreichten Whatman-Glasfaserfilter (\varnothing 2,5 cm) mit $\pm 0,15$ mg auf der 95% Wahrscheinlichkeitsebene. Zum Schluß wird eine neue Filtrationsapparatur beschrieben und eine ausführliche Arbeitsvorschrift gegeben.

On the method of seston determination (Summary): Seston determination has the advantage of being a simple method with a wide range of application in biological oceanography. Its accuracy depends mainly on the quality of the filter material, the size of the filters and the weighing conditions. Under these aspects three filter types are compared: paper filters (Schleicher & Schüll 575), Sartorius membrane filters (SM 11304) and glassfibre filters (Whatman GF/C). The glassfibre filters have been used here, as far as is known, for the first time for seston determination. Their filtration efficiency is comparable to that of the membrane filters. By means of independent double determinations the standard deviation of the method shown by the three filter types tested is calculated. The highest accuracy was attained by Whatman glassfibre filters (\varnothing 2.5 cm) with ± 0.15 mg on the 95% probability level. Finally, a new filtration apparatus is described and detailed directions for determining seston given.

Einleitung

Unter Seston versteht man in der biologischen Meereskunde die Summe aller abfiltrierbaren Partikel einer Wasserprobe. Es wird als Trockengewicht in mg/l oder g/m^3 angegeben. Die untere Größe der erfaßten Partikel wird durch die Filtrationseigenschaften und die Porengröße des benutzten Filtertyps bestimmt. Die obere Größengrenzung kann man je nach dem Inhalt der Wasserprobe entweder dem Zufall überlassen oder durch eine Vorfiltration, z. B. durch ein 300 μ -Sieb, annähernd exakt definieren.

Man muß sich darüber im klaren sein, daß man mit der hier beschriebenen Methode der Sestonbestimmung immer nur einen Ausschnitt aus dem breiten Größenspektrum der im Meerwasser suspendierten Teilchen erfaßt. Die Grenzen dieses Ausschnittes müssen der Fragestellung angepaßt werden. Bei planktologischen Untersuchungen wählt man in der Regel 0,5—1 μ als untere Grenze, um auch die aller kleinsten Vertreter des Nanoplanktons (1—20 μ) mit zu erfassen. Die obere Grenze wird meist offen gelassen. Von wenigen Ausnahmen abgesehen, z. B. bei Massentwicklungen von ausgesprochen großen Phytoplanktonarten, wird der Hauptanteil des Sestongewichts von Partikeln unter 300 μ Größe gebildet. Obwohl der Sestonbegriff theoretisch noch viel größere Teilchen und Organismen umfaßt, ist er in der Praxis, bedingt durch das geringe Filtriervolumen, auf diesen Größenbereich beschränkt.

Den Herren K. Bach, H. Büll, H. Klaeschen, W. Kiel und W. Roock danke ich für die Anfertigung der Filtrationsapparatur und der Zubehörteile. Fräulein M. Karl und Herrn P. Fritsche gilt mein Dank für die Ausführung zahlreicher Filtrationen und Wägungen.

Die erste Beschreibung der Sestonbestimmung für die Anwendung in der Planktologie stammt von KREY (1950). Sie erfolgte damals noch ganz unter dem Eindruck, hiermit eine schnelle und genaue Methode zur Bestimmung des Planktontrockengewichtes gefunden zu haben. Bald jedoch wurde durch verschiedene Arbeiten, die aus dem Kieler Planktonlabor hervorgingen, deutlich, daß häufig der weitaus größere Teil des Sestongewichtes nicht abfiltrierten Planktonorganismen, sondern Detritusteilchen zuzuordnen ist. Sogar in ausgesprochenen Hochseegebieten ohne Landeinfluß beträgt der Anteil des Planktons am Seston selten mehr als 50% (vergl. z. B. HAGMEIER 1962, 1964a, b, KÖRTE 1966, KREY, HANTSCHMANN u. WELLERSHAUS 1960, KREY 1964). Die Bestimmung des Sestongehaltes in verschiedenen Meeresgebieten wurde damit zusammen mit der optischen Teilchengrößenanalyse zum Ausgangspunkt der quantitativen Detritusforschung. Neben der oben zitierten Literatur sind dazu noch die folgenden Arbeiten zu nennen: KREY 1961 a, b, LENZ 1968.

Die Sestonbestimmung kann für verschiedene Fragestellungen mit Erfolg eingesetzt werden. An erster Stelle steht die Erfassung der partikulären Substanz im Rahmen von produktionsbiologischen Untersuchungen. Das Sestongewicht setzt sich aus drei Anteilen zusammen, aus den Trockengewichten des Phytoplanktons, des heterotrophen Planktons und des Detritus. Unter Detritus werden hier in weitgefaßtem Sinn alle Teilchen verstanden, die nicht zum Plankton gehören. Die beiden ersten Komponenten erhält man mit Hilfe von Umrechnungsfaktoren aus gleichzeitig vorgenommenen Chlorophyll a- und Eiweißmessungen. Aus dem Eiweißgehalt wird das Trockengewicht des Gesamtplanktons errechnet. Die Differenz zwischen diesem und dem Sestongewicht ergibt den Anteil des Detritus.

Zum anderen kann die Sestonbestimmung zur Messung des Trübstoffgehaltes bei sedimentologischen und optischen Untersuchungen des Meerwassers eingesetzt werden. Schon die Färbung des Rückstandes gibt an, ob sich das Seston z. B. zur Hauptsache aus grünlich oder braungelb gefärbten Phytoplanktern oder aus dunkelbraunen Sedimentteilchen zusammensetzt. In klaren Gewässern eignet sich die Sestonbestimmung zweifellos auch dazu, die Einleitung von partikulären Verschmutzungsstoffen zu kontrollieren. In schlickreichen Gewässern dagegen, wie im Elbe- und Weserästuar, wäre eine solche optische Kontrolle nur möglich, wenn die eingeleiteten oder verklappten Partikel eine deutlich hervortretende Eigenfärbung hätten.

Die Sestonbestimmung hat ferner den Vorteil, eine relativ einfache und schnelle Methode mit einem geringen apparativen Aufwand zu sein. Notwendig sind eine Filtrationsapparatur, ein Trockenschrank und eine Halbmikrowaage. Die verwendeten gewichtskonstanten Filter waren in den ersten Jahren allein schon aus Kostengründen ausschließlich gehärtete Papierfilter (Schleicher & Schüll Nr. 575 und 1575). Später traten Membranfilter hinzu. Eine entsprechende Modifikation der Methode für die Verwendung von Membranfiltern (Millipore HA-Filter) haben BANSE, FALLS und HOBSON (1963) beschrieben.

Die vorliegende Arbeit befaßt sich neben der Diskussion einiger methodischer Fragen mit dem Vergleich verschiedener Filtersorten. Als neuer Filtertyp für die Sestonbestimmung werden Glasfaserfilter (Whatman GF/C-Filter) eingeführt. Zusammen mit der Beschreibung einer neuen Filtrationsapparatur wird eine ausführliche Arbeitsvorschrift gegeben.

Prinzip der Sestonbestimmung

Die Sestonbestimmung ist nichts weiter als ein gravimetrisches Bestimmungsverfahren. Die Filtration der Sestonpartikel wird auf vorgewogenen Filtern vorgenommen. Nach der Trocknung des Rückstandes werden die Filter unter möglichst gleichen Bedin-

gungen wie bei der Vorwägung erneut gewogen. Die Differenz beider Wägungen ergibt das Trockengewicht des Sestons. Da die Wägebedingungen infolge wechselnder Umwelteinflüsse wie Temperatur und Luftfeuchtigkeit meist nicht ganz konstant gehalten werden können, muß jeweils zur Kontrolle eine Gruppe von Vergleichsfiltern (3—5 Stück) mitgewogen werden. Die aufgetretenen Gewichtsänderungen der Vergleichsfilter werden dann als Korrekturwert für die Vollfiltergewichte benutzt. Das Filtriervolumen richtet sich nach dem Sestongehalt und dem Filterdurchmesser. Es beträgt in der Regel zwischen 0,5 und 5 Litern.

Fehlerquellen

Bei der Betrachtung der Meßgenauigkeit muß man zwischen den folgenden beiden Fehlerquellen unterscheiden, der inhomogenen Verteilung der Sestonpartikel und den methodisch bedingten Fehlern in den einzelnen Arbeitsgängen. Die Inhomogenität der Partikelverteilung tritt nicht nur im natürlichen Milieu auf, sondern findet sich bereits im Wassers schöpfer oder häufig trotz gründlicher Durchmischung in der Probenflasche, aus der eine Teilprobe für die Filtration entnommen wird. Ihre Variationsbreite läßt sich nur durch Doppel- oder Mehrfachproben annähernd bestimmen.

Die methodisch bedingten Fehlerquellen liegen vor allem in der zweifachen Wägung der Sestonfilter und der Vergleichsfilter, in der Gewichtskorrektur aufgrund der Vergleichsfilterwägung und in der Abmessung der Filtrationsmenge.

Wichtige, aber in ihren Ausmaßen schwierig zu beurteilende Punkte sind ferner die manchmal nicht ganz konstanten Filtrationseigenschaften der verwendeten Filter und die eventuellen Substanzverluste bei der abschließenden Spülung der Filter mit destilliertem Wasser. Diese Substanzverluste können dadurch entstehen, daß zarthäutige Organismen infolge der plötzlichen Änderung des osmotischen Drucks zerplatzen und der Zellinhalt durch das Filter hindurchgesaugt wird. Die Spülung der Sestonfilter am Ende der Filtration ist erforderlich, um die Salzwasserreste zu entfernen, die die Wägung stören würden.

Zu dieser Gruppe der schwierig abwägbaren Faktoren gehört auch die bislang gehandhabte Vorbehandlung der Filter. Sie besteht darin, daß die Filter vor der ersten Wägung zur Herauslösung von auswaschbaren Bestandteilen in Aqua des. gewässert und abschließend bei 60° getrocknet werden.

Verwendete Filtersorten

Die wichtigste Voraussetzung für die Sestonbestimmung sind gewichtskonstante Filter. Diese Bedingung erfüllen viele Filtersorten. Im Folgenden beschränken wir uns auf drei Filtertypen, die auf ihre Eignung für die Sestonbestimmung untersucht werden: Papierfilter (Nr. 575, später = Nr. 1575) der Fa. Schleicher & Schüll, 3345 Dassel, Membranfilter (SM 11304, früher MF 100) der Fa. Sartorius-Membranfilter, 34 Göttingen, vormals Membranfiltergesellschaft, und Whatman-Glasfaserfilter (GF/C) der Fa. H. Reeve Angel & Co. Ltd., London, zu beziehen über Fa. L. Hormuth, 6908 Wiesloch. Es folgt eine Beschreibung und Begutachtung dieser Filter.

Papierfilter

Die Papierfilter bestehen aus einem besonders gehärteten Hartfilterpapier, das sich durch eine glatte Oberfläche und geringe Faserabgabe auszeichnet. Die mittlere Porenweite wird von der Herstellerfirma mit 1,5 μ angegeben. Die Filtrationsgeschwindigkeit ist erfahrungsgemäß meist etwas geringer als bei den beiden anderen Filtertypen. Außerdem reagieren Papierfilter relativ stark auf die Luftfeuchtigkeit. Dies führt bei wechselnden Umweltbedingungen zu größeren Differenzen bei der Vergleichsfilter-

wägung. Die Filter haben dagegen den Vorzug, sehr robust zu sein. Man kann sie gut mit einem Bleistift numerieren, und sie kosten im Vergleich zu den anderen Filtern sehr wenig.

Membranfilter

Die Membranfilter bestehen aus Celluloseestern. Sie entsprechen den in den USA hergestellten Millipore-Filtern. Aufgrund ihrer Filterstruktur werden sie als Oberflächen- oder Siebfilter bezeichnet, d. h. sie scheiden die abfiltrierten Partikel direkt auf ihrer Oberfläche ab und nicht im oberflächennahen Fasergestüt wie die beiden anderen Filtertypen. Ihre Porenweite ist mit $0,8 \mu$ definiert. Membranfilter müssen vorsichtig gehandhabt werden, da sie leicht zerbrechen. Für die Beschriftung ist ein sehr weicher Bleistift nötig. Kugelschreiberschrift ist manchmal ungeeignet, wenn nach der Sestonwägung an denselben Filtern noch eine weitere Analyse mit einer colorimetrischen Messung ausgeführt werden soll. Membranfilter stehen an der Spitze der Preisskala (100 St. \varnothing 4 cm rd. 39,— DM, \varnothing 2,5 cm rd. 31,— DM, Preisstand 1971).

Ein Nachteil der Membranfilter besteht darin, daß sie sich leicht elektrostatisch aufladen und dadurch kein reproduzierbares Gewicht mehr ergeben. Abb. 1a zeigt elektrostatisch aufgeladene Vergleichsfilter. Der zeitliche Abstand von Wägung zu Wägung beträgt rd. 15 Minuten. Diese störende Aufladung kann mit Hilfe eines sogenannten Staticmasters vermieden werden, der von einer amerikanischen Firma (Hollywood Films International, 812 $\frac{1}{2}$ —814 North La Brea, Hollywood 38, California) hergestellt wird (vergl. auch BANSE et al. 1963). Der Staticmaster besteht aus einem kleinen, gebogenen Stativ mit einem α -Strahler aus dem radioaktiven Element Polonium 210. Er kann direkt in die Waage gestellt werden, um die Filter während der Wägung zu bestrahlen. Leider beträgt die Halbwertszeit des Poloniums nur 128 Tage, so daß eine häufige Erneuerung des Strahlers notwendig ist. Die Radioaktivität des Gerätes erfordert für die Aufstellung außerdem eine Genehmigung des zuständigen Gewerbeaufsichtsamtes. Die elektrostatische Aufladung der Filter kann jedoch auch mit einem sehr einfachen Mittel, nämlich einem guten Antistatiktuch für Schallplatten, verhindert werden. Dazu streicht man mit dem Filter, das in der Pinzette gehalten wird, mehrmals vorsichtig leicht über das Antistatiktuch hinweg. Die Abb. 1b zeigt die auf diese Weise erreichte Gewichtskonstanz der vorher aufgeladenen Vergleichsfilter.

Glasfaserfilter

Die Whatman-Glasfaserfilter sind ohne chemische Zusätze aus reinen Mikroglassfasern hergestellt. Die mittlere Porenweite liegt nach Angabe der Herstellerfirma bei $0,5 \mu$. Sie benötigen ebenso wie die Membranfilter eine ausgesprochen vorsichtige Behandlung. Die weiche Oberflächenstruktur gestattet keine Beschriftung. Man muß die Filter daher zur Identifizierung in nummerierten Briefmarkensammlertüten oder speziell angefertigten Filterplatten aufbewahren. Da die Filter nicht selbst, sondern nur durch ihren Platz gekennzeichnet sind, besteht leicht die Gefahr der Verwechslung. Der Vorteil der Glasfaserfilter liegt neben der großen Filtriergeschwindigkeit in ihrer vielseitigen Verwendbarkeit für die verschiedensten Analysen z. B. Chlorophyll-, Eiweiß- und CN-Bestimmung. Ausgenommen ist bislang die ^{14}C -Bestimmung, für die nur Membranfilter verwendet werden. Der obige Gesichtspunkt ist dann wichtig, wenn man die Sestonwerte zu anderen Analyseergebnissen in Beziehung setzen will. Denn da die verschiedenen Filtertypen trotz gleicher Porenweite häufig etwas andere Filtrationseigenschaften haben, ist die Benutzung derselben Filtersorte bei aufeinander bezogenen Untersuchungen sehr empfehlenswert. Glasfaserfilter kosten etwa ein Drittel so viel wie Membranfilter.

Homogenität des Filtermaterials

Ein weiteres Kriterium für die Eignung der Filter für die Sestonbestimmung ist ihre Gewichtsgleichheit oder Homogenität innerhalb einer Serie. Denn diese beeinflußt nicht nur das Wägeverhalten der Filter bei verschiedenen Umweltbedingungen, sondern auch die Filtrationseigenschaften. Ein dickeres Filter wird in der Regel eine langsamere Filtrationsgeschwindigkeit aufweisen und vermutlich mehr Teilchen zurückhalten als ein dünneres.

Maßzahlen für die Homogenität der verwendeten Filtersorten sind in Tab. 1 dargestellt. Es sind jeweils drei Serien von 100 fortlaufend gewogenen Filtern herausgegriffen worden. Die Variationsbreite ist die Differenz zwischen dem höchsten und niedrigsten Wert innerhalb einer Serie. Alle Filtersorten zeigen beträchtliche Gewichtsschwankungen. Am größten sind sie bei den Membranfiltern von 4 cm \varnothing , am geringsten bei den Papierfiltern. Die homogenste Filterserie findet sich bei den Glasfaserfiltern. Es ist technisch bilang offenbar noch nicht möglich, hundertprozentig gewichtsgleiche Filter herzustellen. Für ein genaues Arbeiten empfiehlt es sich deshalb, bei der Leerfilterwägung auf die Homogenität der Filter zu achten und solche mit extremen Gewichten fortzulassen.

Tabelle 1
Die Gewichtsschwankungen von verschiedenen Filtersorten (Leerfiltergewichte)

Filter	\varnothing (cm)	Mittelwert	Standardabweichung		Variationsbreite		
		(mg)	(mg)	(%)	(mg)	(%)	n
Papierfilter	4	104,77	2,11	2,0	11,85	11,3	100
Schleicher & Schüll	4	105,13	2,10	2,0	11,24	10,7	100
575	4	105,10	2,00	1,9	9,64	9,2	100
Membranfilter	4	56,00	4,02	7,2	17,88	31,9	100
MF 100	4	51,11	3,42	6,7	12,85	25,1	100
	4	57,34	1,95	3,4	8,63	15,0	100
Sartorius-Membran-	2,5	21,63	0,80	3,7	3,47	16,0	100
filter SM 11304	2,5	18,84	1,16	6,2	4,21	22,4	100
	2,5	23,35	0,95	4,1	4,20	18,0	100
Glasfaserfilter	2,5	27,89	1,15	4,1	4,76	17,1	100
Whatman GF/C	2,5	25,77	0,34	1,3	1,56	6,1	100
	2,5	26,43	0,70	2,7	4,21	16,0	100

Vorbehandlung der Filter

In den Arbeiten von KREY (1950) und BANSE et al. (1963) wird das Einweichen der Filter in destilliertes Wasser vor der ersten Wägung empfohlen, um die auswaschbaren Bestandteile der Filter herauszulösen. Wie bereits erwähnt, ist eine solche Vorbehandlung der Filter nicht unproblematisch, weil durch das Wässern und anschließende Trocknen bei 60°C die Filterstruktur und damit die Filtrationseigenschaften in unbekannter Weise verändert werden können. Einen Hinweis dafür bietet die bei Papierfiltern häufig gemachte Beobachtung, daß Sestonfilter unter gleichen Filtrationsbedingungen eine höhere Filtrationsgeschwindigkeit haben als die nicht vorbehandelten Chlorophyllfilter.

Der durch das Wässern hervorgerufene Gewichtsverlust kann recht unterschiedlich sein. In einem Fall wurden 4 Papierfilter (S & S 575, \varnothing 4 cm) um durchschnittlich

0,02 mg leichter, in einem anderen Fall nahmen dagegen 15 Filter derselben Sorte um durchschnittlich 0,35 mg ab. Die Werte für die in derselben Weise behandelten Membranfilter (MF 100, \varnothing 4 cm) betragen — 0,09 und — 0,33 mg. Beide Filterarten verhielten sich also in dieser Beziehung etwa gleich.

Tabelle 2
Filtration von je 500 ml (Kieler Außenförde, Nov. 66)

Papierfilter (S&S 575, \varnothing 4 cm)		Membranfilter (MF 100, \varnothing 4 cm)	
gewässert (mg)	nicht gewässert (mg)	gewässert (mg)	nicht gewässert (mg)
0,64	1,08	1,14	1,44
0,67	1,10	1,22	1,45
0,83	1,11	1,56	1,60
0,85	1,28	1,97	1,62
0,75	1,14	1,47	1,53

Die Tab. 2 zeigt die Ergebnisse einer Vergleichsfiltration mit vorbehandelten und nicht vorbehandelten Filtern. Die Sestonwerte der vorbehandelten Papierfilter sind rd. 30% niedriger als diejenigen der nicht vorbehandelten Filter. Bei den Membranfiltern zeigt sich dagegen kein nennenswerter Unterschied. Insgesamt ergeben die nicht gewässerten Filter gleichmäßigere Sestonwerte als die gewässerten.

Tabelle 3
Filtration von je 1000 ml (Kieler Förde, März 67)

Papierfilter (S&S 575, \varnothing 4 cm)		Membranfilter (MF 100, \varnothing 4 cm)	
1 \times gewässert (mg)	2 \times gewässert (mg)	1 \times gewässert (mg)	2 \times gewässert (mg)
0,83		0,96	
0,91		1,09	
0,98	0,87	1,18	1,62
1,16	0,99	1,36	1,64
1,47	1,04	1,47	2,15
1,07	0,97	1,21	1,80

In der Tab. 3 sind die unterschiedlichen Filtrationsleistungen von einfach und doppelt gewässerten Filtern wiedergegeben. Die letzteren wurden nach der ersten Vorbehandlung erneut gewässert und getrocknet. Diesmal weisen nur die Membranfilter eine Veränderung auf. Die doppelte Wässerung hat ihre Filtrationsleistung erhöht. Gleichzeitig wurde bei ihnen eine wesentlich erniedrigte Filtrationsgeschwindigkeit festgestellt.

Zusammenfassend läßt sich aus diesen Beobachtungen der Schluß ziehen, daß das Wässern und Trocknen der Filter vor der Sestonfiltration zu schwierig kontrollierbaren Veränderungen der Filtrationseigenschaften führen kann. Es wird deshalb empfohlen, auf das Wässern der Filter zu verzichten. Dies ist besonders dann notwendig, wenn man mit gleichen, aber nicht gewässerten Filtern Parallelbestimmungen von anderen Faktoren ausführt, um sie später mit den Sestonwerten zu korrelieren.

Filtrationsvorgang

Die wichtigste Voraussetzung für die Proben der Sestonfiltration besteht darin, daß sie die originale Teilchenzusammensetzung des zu untersuchenden Wassers haben.

Deshalb empfiehlt sich gleich bei der Probennahme die sofortige Abfüllung der vorgesehenen Filtrationsvolumina. Wird nämlich eine Teilprobe erst einige Zeit nach der Probennahme aus einem größeren Behälter entnommen, so ist wegen der inzwischen eingetretenen Sedimentierung und damit verbundenen Verklumpungsgefahr häufig auch trotz einer gründlichen Durchmischung keine vollständig homogene Verteilung der Plankton- und Detritusteilchen mehr zu erreichen. Das Filtriervolumen wird in einem Meßzylinder oder in vorher geeichten Flaschen abgemessen. Der entstehende Fehler beträgt in der Regel nicht mehr als 1—2%.

Die Filtration der Sestonproben erfolgt normalerweise mit Hilfe einer Vakuumpumpe bei einem Unterdruck zwischen 0,4 und 0,6 kp/cm². Den gleichen Unterdruck empfiehlt das von der UNESCO (1966) herausgegebene Methodenheft für die Chlorophyllbestimmung. Aber auch höhere Unterdrucke brauchen sich nicht nachteilig auszuwirken, wie dort beschriebene Versuchsreihen zeigen.

Der naheliegende Gedanke, die Filtrationszeit einer Probe als Maß für die vorhandene Sestonmenge zu verwenden, läßt sich nur mit mittelmäßigem Erfolg in die Praxis umsetzen. Nach den bisherigen Erfahrungen erhält man lediglich mittlere Anhaltswerte, da neben der Heterogenität der Filter die Unterschiede in der Art und Größenverteilung der abfiltrierbaren Teilchen von maßgebender Bedeutung für die Filtrationsgeschwindigkeit sind. Zur Kontrolle des Filtrationsablaufes ist das Messen der Filtrationszeit jedoch durchaus geeignet.

Der mögliche Gewichtsverlust durch Auswaschung von Filtermaterial während der Filtration wurde schon von KREY (1950) an Papierfiltern (Schleicher & Schüll 575) untersucht. Die Gewichtsabnahme war so gering, daß sie vernachlässigt werden konnte. Eine Versuchsreihe mit vorbehandelten Papier- und Membranfiltern, durch die verschiedene Mengen von quartzdestilliertem Wasser filtriert wurden, bestätigt dieses Ergebnis (Tab. 4). Es überwiegt sogar eine leichte Gewichtszunahme. Auch bei dem relativ locker gefügten Material der Glasfaserfilter spielt die Auswaschung in der verwendeten Filtrationsapparatur eine so geringe Rolle, daß sie bei der Filtration von kleineren Wassermengen bis zu 1 l nicht berücksichtigt zu werden braucht (Abb. 2 a).

Tabelle 4
Filtration von Aqua dest., Mittelwerte (mg) von je 3 Filtern

	Filtrationsmenge in ml						
	100	250	500	750	1 000	1 500	2 000
Papierfilter (S & S 575, Ø 4 cm)	— 0,01	0,05	— 0,12	— 0,18	0,13	0,20	0,41
Membranfilter (MF 100, Ø 4 cm)	0,10	0,11	0,12	0,13	0,23	0,13	0,23

Nach den Empfehlungen der vorhergenannten Autoren soll man zum Abschluß der Filtration den freien Rand des noch auf der Filterplatte festgesaugten Filters vorsichtig mit Aqua dest. abspülen, da dieser noch Reste von Salzwasser enthalten könnte. Diese Prozedur bringt jedoch die Gefahr mit sich, daß man Teile des Sestonrückstandes hinunterspült. Bei den hier verwendeten Filtrationsapparaten erfolgt die seitliche Abdichtung des Filters durch einen in den Filteraufsatz eingelassenen O-Ring. Die Auflagefläche dieses O-Ringes ist im Vergleich zu den früher benutzten Dichtungsringen so klein, daß das destillierte Wasser bei der Spülung des Filters sehr wahrscheinlich

bis an den Filterrand hindurchtreten kann. Aus diesem Grund und wegen der oben genannten Abspülfahr wurde hier auf die gesonderte Spülung des Filterrandes ver-
richtet.

Wägung der Filter

Die Genauigkeit der Sestonbestimmung wird in entscheidendem Maße von der Genauigkeit der Filterwägung bestimmt. Alle Wägungen wurden auf der Sartorius Halbmikrowaage T 11 ausgeführt. Die Wägegenauigkeit dieser Waage beträgt $\pm 0,01$ mg. Die Reproduzierbarkeit der Filtergewichte liegt bei konstanten Wägebedingungen im Bereich von $\pm 0,05$ mg für große Filter ($\varnothing 4$ cm) und von $\pm 0,03$ mg für kleine Filter ($\varnothing 2,5$ cm). Da jedes Sestonfilter zweimal gewogen werden muß, verdoppelt sich dieser Fehlerbereich.

Dasselbe gilt für die Vergleichsfilterwägung, die zur Kontrolle über eingetretene Gewichtsveränderungen der Filterserie und zur Überwachung der Wägebedingungen durchgeführt wird. Die annähernde Gewichtskonstanz solcher Vergleichsfilter während der Wägung einer Filterserie ist in den Abb. 1b und 2b dargestellt. Die Gewichtsveränderungen der Vergleichsfilter zwischen der Leerfilter- und Vollfilterwägung dienen als Korrekturwerte für die Vollfiltergewichte unter der Annahme, daß sich das Gewicht aller Filter in der gleichen Weise zwischen den beiden Wägungen verändert hat. Die Gewichtsschwankungen der einzelnen Vergleichsfilter werden hierbei durch eine Mittelwertbildung weitgehend eliminiert. Die Übertragung des Korrekturwertes auf die vollen Sestonfilter ist allerdings problematischer, obwohl 30 Membranfilter (MF 100, $\varnothing 4$ cm) mit Sestonrückstand, die nach längerer Zeit wiedergewogen wurden, eine recht gleichmäßige Gewichtszunahme von $0,12 \pm 0,04$ mg zeigten.

Auf jeden Fall erhöhen möglichst gleiche Wägebedingungen und damit kleine Korrekturwerte die Genauigkeit der Sestonbestimmung. Addiert man zu dem doppelten Wägefehler noch einen Korrekturfehler verursacht durch die Gewichtskorrektur der Vollfilter in Höhe des Wägefehlers hinzu, so erhält man einen vertretbaren Schätzwert für die erreichbare Genauigkeit des Wägevorgangs. Dieser beträgt bei großen Filtern ($\varnothing 4$ cm) $\pm 0,15$ mg und bei kleinen Filtern ($\varnothing 2,5$ cm) $\pm 0,09$ mg.

Gewichtsgleiche Filterpaare

Bei der Verwendung von gewichtsgleichen Filterpaaren lassen sich die doppelte Wägung der Sestonfilter und die damit verbundenen Fehlerquellen umgehen. Das eine der beiden Filter dient als Referenz- oder Blindfilter. Gegen dieses wird das volle Filter gewogen, und aus der Differenz erhält man sofort das Sestongewicht. Solche gewichtsgleichen Filterpaare werden von der Fa. Millipore angeboten. Die Toleranzen betragen allerdings $0,10$ mg. Außerdem sind sie sehr kostspielig.

Diese Methode des unmittelbaren Gewichtsvergleichs zwischen Leer- und Vollfiltern wurde in einem Versuch mit Membranfiltern (MF 100, $\varnothing 2,5$ cm) getestet. Aus annähernd gewichtsgleichen Filtern wurden 30 Filterpaare zusammengestellt. Die maximale Gewichts-differenz innerhalb eines Paares betrug $0,09$ mg. Für den Versuch wurde Ostseewasser verwendet, das durch ein 20μ -Sieb vorfiltriert war. Um beide Filter eines Paares der gleichen Behandlung auszusetzen, wurden sie übereinandergelegt als Doppelfilter eingespannt. Bei der Filtration folgte nach jedem Doppelfilter zum Vergleich ein Einzelfilter, durch das die gleiche Wassermenge filtriert wurde. Bei den Doppelfiltern machten sich mitunter kleine Luftblasen, die zwischen den Filtern eingeschlossen waren, störend bemerkbar. Die Doppelfilter hatten eine wesentlich geringere Filtrationsgeschwindigkeit als die Einzelfilter. Die Filtrationszeit war im Durchschnitt um 80% erhöht.

Die Ergebnisse dieses Versuchs zeigt die Tab. 5. Die Einzelfilter und die einzeln gewogenen Oberfilter der Filterpaare weisen die gleiche Sestonmenge auf mit einer etwas geringeren Standardabweichung bei den Doppelfiltern. Auf den Unterfiltern findet sich ebenfalls ein kleiner Sestonbetrag, der rd. 10% von dem der Oberfilter

Tabelle 5
Filtration von je 250 ml (Kieler Außenförde, März 69), Mittelwerte (mg von je 30 Filtern (MF 100, \varnothing 2,5 cm))

Einzelfilter (Parallelfiler)	Doppelfilter		Differenzwägung
	Einzelwägung Oberfilter	Unterfilter	
0,45 \pm 0,06	0,45 \pm 0,04	0,04 \pm 0,03	0,41 \pm 0,04

beträgt. Die Differenzwägung, Oberfilter gegen Unterfilter, ergibt infolgedessen einen entsprechend erniedrigten Sestonwert. Dieser Versuch wäre wahrscheinlich noch günstiger ausgefallen, wenn das Referenzfilter nicht unterlegt, sondern als normales Vergleichsfilter behandelt worden wäre.

Die Verwendung von gewichtsgleichen Filterpaaren scheint demnach eine zwar aufwendige, aber dafür genaue und schnelle Methode zu sein, sofern die Filter mit einer hinreichenden Toleranzgrenze kommerziell zu erhalten sind. Diese vereinfachte Methode der Sestonbestimmung ist vor allem dann zu empfehlen, wenn keine Gelegenheit für eine Vorwägung besteht oder Leerfilter- und Vollfilterwägung unter sehr verschiedenen Umständen ausgeführt werden müssen.

Vergleich zwischen Papier- und Membranfiltern

Die unterschiedliche Porenweite beider Filtersorten (1,5 μ bei S & S 575 und 0,8 μ bei MF 100) ist wahrscheinlich die Hauptsache dafür, daß die Membranfilter in der Regel beträchtlich höhere Sestonwerte aufweisen als die Papierfilter (vergl. Tab. 2 und 3). Es ist schwierig, generelle Umrechnungsfaktoren für die Filtrationsleistung beider Filtersorten zu geben, da sie entsprechend der Sestonzusammensetzung von Fall zu Fall variieren werden. Membranfilter haben ferner meist den Vorteil einer höheren Filtrationsgeschwindigkeit und eines gleichmäßigeren Filtrationsverlaufes. Die übrigen Vor- und Nachteile wurden bereits genannt.

Vergleich zwischen Membran- und Glasfaserfiltern

Diesem Vergleich wird mehr Raum gewidmet, da die Glasfaserfilter hier erstmals für die Sestonbestimmung verwendet werden. Auf einer Ausfahrt im Januar 1971 in die Kieler Bucht wurden je 20 Sartorius-Membranfilter (SM 11304, \varnothing 2,5 cm) und Whatman-Glasfaserfilter (GF/C \varnothing 2,5 cm) in einer Vergleichsfiltration getestet. Von dem einheitlichen, durch ein 300 μ -Sieb vorfiltrierten Probenwasser wurden jeweils 0,5 l filtriert. Die Membranfilter ergaben einen mittleren Sestongehalt von 0,44 \pm 0,12 mg, die Glasfaserfilter 0,38 \pm 0,11 mg. Nach dem t-Test ($t = 1,63$) besteht zwischen beiden Filtersorten kein signifikanter Unterschied.

Auf mehreren weiteren Ausfahrten im Winter 1970/71, die der Aufnahme des vertikalen Wasseraufbaus in der Kieler Bucht galten, wurden im Rahmen des Untersuchungsprogramms insgesamt 94 Parallelfiltrationen mit beiden Filtersorten ausgeführt. Bei dem Filtrivolumen von 0,5 l variierte das Sestongewicht zwischen 0,25 und 1,08 mg. Es zeigte sich praktisch kein Unterschied zwischen beiden Filtersorten. Im Mittel

wiesen die Glasfaserfilter lediglich einen um 0,004 mg höheren Sestonwert auf als die Membranfilter. Die Gewichtsunterschiede der einzelnen Filterpaare schwankten zwischen 0 und 0,26 mg. Aus diesen Ergebnissen läßt sich der Schluß ziehen, daß 0,8 μ Sartorius-Membranfilter und 0,5 μ Whatman-Glasfaserfilter aufgrund ähnlicher Filtrationsleistungen vergleichbare Sestonwerte ergeben.

Häufig findet man Vergleiche zwischen Whatman GF/C-Filtern und Millipore HA-Filtern, die eine Porenweite von 0,45 μ haben, mit dem Ergebnis, daß die Whatman-Filter eine geringere Filtrationsleistung hatten (z. B. UNESCO 1966). Es ist nach dem obigen Ergebnis offensichtlich angemessener, die Whatman-Filter aufgrund der unterschiedlichen Filterstruktur mit den etwas größeren Membranfiltern von 0,8 μ Porenweite zu vergleichen. Dieser Vorschlag steht allerdings im Widerspruch zu den Versuchsergebnissen von SMETACEK (1971). Bei der Bestimmung von Chlorophyll a als Leistungsvergleich dieser Filter ergaben die Whatman-(Filtern) in einer Versuchsreihe im Mittel um 15% niedrigere Werte als die Membranfilter.

Auf den genannten Ausfahrten wurden nicht nur Parallelfiltrationen zwischen Membran- und Glasfaserfiltern ausgeführt, sondern auch Doppelbestimmungen mit beiden Filtersorten. Die Variationsbreite dieser Doppelbestimmungen zeigt Tab. 6. Die Unterschiede zwischen den Filtern sind gering. Bei beiden ist die Variationsbreite in gut $\frac{2}{3}$ aller Messungen geringer als 0,10 mg. Bei den Glasfaserfiltern liegen sogar über 90% der Doppelbestimmungen innerhalb der Variationsbreite von 0,15 mg. Aus der Tabelle geht trotz der wenigen diesbezüglichen Werte gleichzeitig hervor, daß die Variationsbreite offensichtlich mit steigendem Sestongewicht zunimmt.

Tabelle 6

Größe der Variationsbreite bei Seston-Doppelbestimmungen. Anzahl der Filterpaare in den verschiedenen Variationsbereichen, aufgegliedert nach Gewichtsbereichen. In Klammern der Prozentanteil

Variationsbereich (mg)	0	0,01—0,05	0,06—0,10	0,11—0,15	0,16—0,20	> 0,21	Σ der Filterpaare
Sartorius-Membranfilter (SM 11304, \varnothing 2,5 cm)							
0—1,00 mg	1	24	21	6	3	6	61
1,00—2,00 mg			1	1	2	3	7
	1 (1,5)	24 (35,1)	22 (32,4)	7 (10,3)	5 (7,4)	9 (13,3)	68
Whatman-Glasfaserfilter (GF/C, \varnothing 2,5 cm)							
0—1,00 mg	8	65	27	31	5	5	141
1,00—2,00 mg		1		1		1	3
> 200 mg			1		1	1	3
	8 (5,4)	66 (44,9)	8 (19,0)	3 (1,8)	6 (4,1)	7 (4,8)	147

Zusammenfassende Betrachtung

Alle drei erprobten Filterarten eignen sich für die Sestonbestimmung. Welche Bedeutung man den feststellbaren Unterschieden beimißt, richtet sich in erster Linie nach der Fragestellung, die mit der Bestimmung des Sestongehalts im Wasser verfolgt wird. Geht man allein von den Filtrations- und Wägeeigenschaften aus, so ergibt sich

die folgende Reihenfolge in der Eignung: Glasfaserfilter, Membranfilter, Papierfilter, Die Whatman GF/C-Glasfaserfilter haben den weiteren Vorzug, daß sie in der Analytik der chemischen und biologischen Meereskunde sehr vielseitig verwendbar und auch international weit verbreitet sind. Für die mit diesen Filtern gewonnenen Meßergebnisse bieten sich daher besonders gute Vergleichsmöglichkeiten.

Eine Vorbehandlung der Sestonfilter ist nicht erforderlich. Die Konstanz der Wägebedingungen ist von entscheidendem Einfluß auf die Genauigkeit der Methode. Ihr muß deshalb besondere Beachtung geschenkt werden. Aufmerksamkeit verdient auch die Homogenität des Filtermaterials. Die Abmessung des Filtriervolumens spielt dagegen als Fehlerquelle eine untergeordnete Rolle.

Kleine Filter eignen sich für die Sestonfiltration besser als größere. Denn man benötigt geringere Probenvolumina für die Filtration und erreicht zweitens eine größere Genauigkeit, da das Gewichtsverhältnis zwischen Filter und Sestonrückstand günstiger ist.

Die Größe der insgesamt vorhandenen Variation bei der Sestonbestimmung, deren Ursache die methodisch bedingten Fehler und die inhomogene Verteilung der Sestonpartikel sind, kann aus Doppelproben abgeleitet werden. Die Streuung oder Standardabweichung der Beobachtungswerte läßt sich nach WEBER (1967) aus der Variationsbreite (w_i) der einzelnen Stichproben und der Anzahl (n) der Beobachtungspaare

nach folgender Formel berechnen: $s = \sqrt{\frac{\sum w_i^2}{n}}$. Voraussetzung ist, daß mindestens 10 voneinander unabhängige Stichproben vorliegen, die nicht mehr als 12 Glieder umfassen.

Tabelle 7

Streuungswerte der Sestonbestimmung bei verschiedenen Filtertypen, berechnet aus voneinander unabhängigen Doppelbestimmungen (n)

Filter	s (mg)	2 s (mg)	n
Papierfilter \varnothing 4 cm (Schleicher & Schüll 575)	$\pm 0,17$	$\pm 0,34$	50
Membranfilter \varnothing 2,5 cm (Sartorius-Membranf. SM 11304)	$\pm 0,09$	$\pm 0,18$	34
Glasfaserfilter \varnothing 2,5 cm (Whatman GF/C)	$\pm 0,08$	$\pm 0,15$	69

Die Tab. 7 enthält die nach dieser Formel berechneten Streuungswerte (s entspricht der Wahrscheinlichkeitsgrenze von etwa 68%, $2s$ der von etwa 95%) für die drei verschiedenen Filtersorten. Auch hier bestätigt es sich wieder, daß kleine Filter den größeren in der Genauigkeit überlegen sind. Die Unterschiede zwischen den Membran- und Glasfaserfiltern sind gering. Die Whatman-Filter erreichen mit der Streuung von $\pm 0,15$ mg auf der 95% Signifikanzebene eine zufriedenstellende Genauigkeit. Damit stellen sie ihre Eignung für die Sestonbestimmung unter Beweis.

Eine häufig auftauchende Frage muß noch beantwortet werden. Wie verhält man sich größeren Organismen wie z. B. Copepoden gegenüber, die bei der Filtration auf dem Filter zurückbleiben? Nach ROBERTSON (1968) beträgt das Trockengewicht kleiner Copepodenarten von 1 mm Größe (*Pseudocalanus*, *Centropages*, *Temora*) 0,01—0,02 mg. Ein *Calanus finmarchicus* wiegt dagegen schon je nach Ernährungszustand 0,10—0,30 mg.

Tafel 1 (zu J. Lenz)

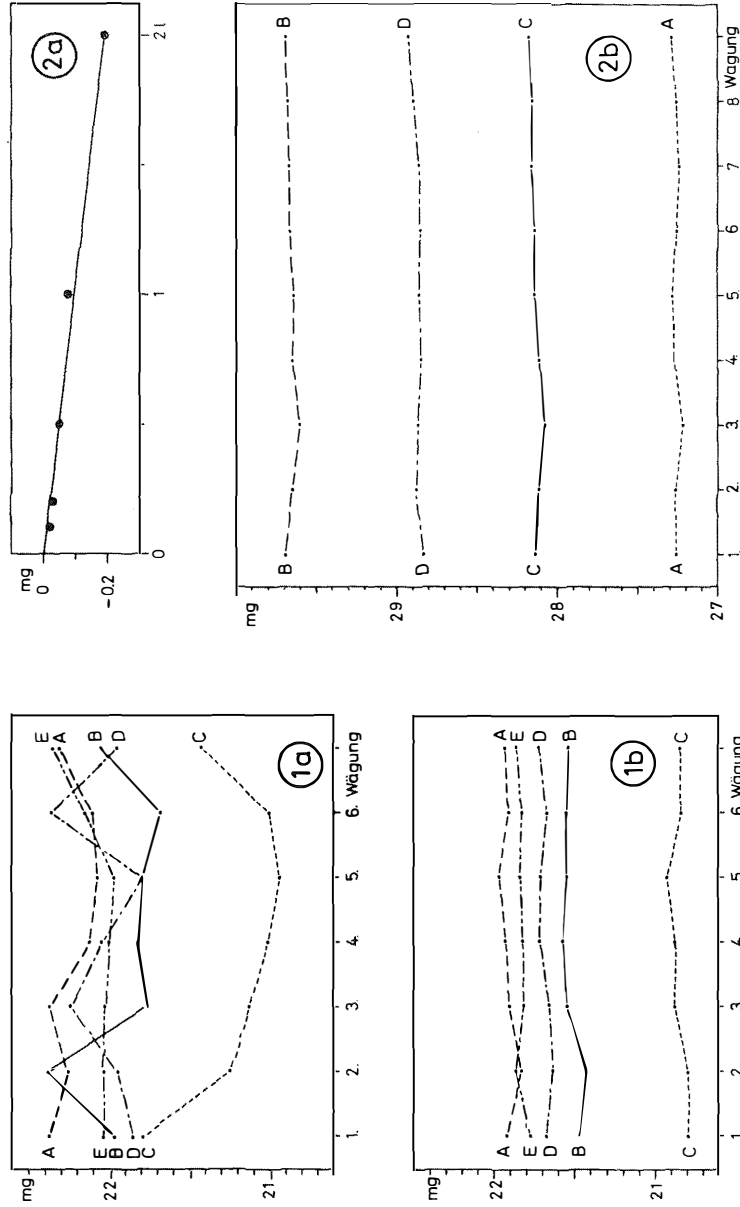


Abb. 1: Vergleichsfilterwägung von Sartorius-Membranfiltern (SM 11304, \varnothing 2,5 cm)
 a) Vergleichsfilter mit elektrostatischer Aufladung
 b) Dieselben Vergleichsfilter in entladenem Zustand
 Abb. 2: Whatman-Glasfaserfilter (GF/C, \varnothing 2,5 cm)
 a) Auswascheffekt bei der Filtration von Aqua bidest.
 b) Wägung von Vergleichsfiltern

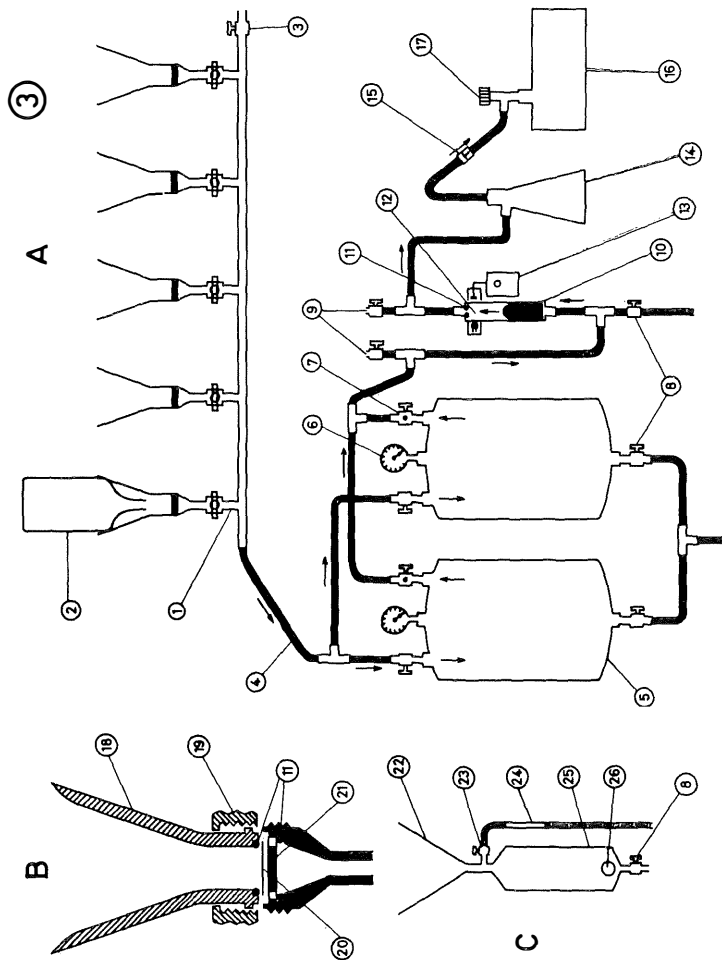


Abb. 3: Schema einer Filtrationsanordnung:

A Filtrationsanordnung, B Aufbau eines Filterhalters, C Dosimeter.

Erklärung der Einzelteile:

- (1) Filtriereinheit, (2) Probenflasche, (3) Anschlußhahn für weitere Filtriereinheiten, (4) Schlauchverbindung (Vakuum-
- schlauch), (5) Saugbehälter, (6) Unterdruckmanometer, (7) Hahn mit Belüftungsbohrung, (8) Ablaufhähne, (9) Belüftungs-
- hähne, (10) Schwimmerventil, (11) O-Ring, (12) Lichtsperre (Glühbirne und Fotowiderstand), (13) Optische und akustische
- Warnanlage, (14) Sicherheitssaugflasche, (15) Rückschlagventil, (16) Vakuumpumpe, (17) Vakuumreduzierventil, (18) Trichter-
- aufsatz, (19) Überwurfmutter, (20) Filter, (21) Filterplatte, (22) Trichter, (23) Überlaufhahn, (24) Sichtrohr, (25) Plexiglas-
- zylinder, (26) Schwimmer (Tischtennisball)

Kleine Copepoden kann man demnach unbesorgt auf dem Filter belassen, während es bei großen Exemplaren besser ist, sie als Zufallsergebnis der Filtration zu betrachten und deshalb mit einer Pinzette zu entfernen.

Beschreibung der Filtrationsapparatur

Die Filtrationsapparatur (Abb. 3) besteht im wesentlichen aus drei Teilen, dem Filtriergestell mit fünf Saugstellen, den zwei Saugbehältern für einen kontinuierlichen Betrieb und der Vakuumpumpe. Zwischen die Saugbehälter und die Vakuumpumpe ist ein Sperrventil mit Alarmanlage geschaltet, um einen Wasserüberlauf in die Vakuumpumpe zu verhindern. Die Saugflasche dient als zusätzliche Sicherung.

Das Filtriergestell und die Saugbehälter sind aus PVC gefertigt. Als Hähne eignen sich Kunststoffkugelhähne mit Teflondichtungen besonders gut. Das Fassungsvermögen der Saugbehälter beträgt rd. 8 l. Der Trichteraufsatz mit der Überwurfmutter erleichtert das Einspannen des Filters. Das Filter wird mit einem O-Ring aus Gummi abgedichtet, der in den Trichteraufsatz eingelassen ist. Eine plangeschliffene Filtrierplatte aus Glas (Porosität 2) mit verschmolzenem Rand von der Fa. Schott, Mainz, dient als Unterlage für das Filter.

Das Sperrventil besteht aus einem Schwimmer in einem Plexiglasrohr. Der Schwimmer ist eine in Schaumstoff eingefügte Kunststoffkugel. Das längliche Schaumstoffstück sorgt für eine gute Führung im Plexiglasrohr. Verschließt der Schwimmer die Saugöffnung, so unterbricht er eine Lichtstrecke und löst über ein Relais ein optisches und akustisches Signal aus, das den Wasserüberlauf anzeigt. Gleichzeitig wird die Vakuumpumpe abgeschaltet.

Als Vakuumpumpe hat sich die kleine Medvak-Pumpe der Fa. Balzers/Pfeiffer, Wetzlar, bewährt. Mit Hilfe des Leistungsreglers und des Vakuumreduzierventils läßt sich der gewünschte Unterdruck einstellen. Ein Rückschlagventil verhindert, daß beim Abschalten der Anlage durch ein noch vorhandenes Vakuum Öl aus der Pumpe herausgesaugt wird.

Das Dosimeter (Abb. 3C) ist ein einfaches Hilfsgerät, das die genaue Abmessung des Filtriervolumens erleichtert und sich auch bei Seegang bewährt hat. Es besteht aus einem durchsichtigen Kunststoffrohr mit einem Tischtennisball als Schwimmer. Die Abfüllgenauigkeit beträgt bei einem Volumen von $0,51 \pm 5$ ml gleich 1%.

Arbeitsanleitung

1. Vorbereitung der Filter: Neben gewichtskonstanten, gehärteten Papierfiltern eignen sich Membranfilter und Whatman GF/C-Glasfaserfilter für die Sestonbestimmung. Die Membranfilter unterliegen der Gefahr der elektrostatischen Aufladung. Für die Filtergröße werden 2,5 cm Durchmesser empfohlen, da mit kleinen Filtern eine größere Genauigkeit erreicht wird. Die Papier- und Membranfilter können mit einem feinen Bleistift am Rand numeriert werden. Die Glasfaserfilter werden am besten dadurch gekennzeichnet, daß sie in numerierte Aufbewahrungsplatten für die Filter, die aus Plexiglas oder Kunststoff gefertigt sind, eingelegt werden. Von jeder Filterserie sollen vier Filter als spätere Vergleichsfilter extra gekennzeichnet werden. Die Filter dürfen nur mit einer Pinzette gehandhabt werden. Eine feine Pinzette mit gebogener Spitze ist dafür am geeignetsten.

2. Leerfilterwägung: Die gekennzeichneten Filter werden eine Stunde bei 60°C getrocknet und bei größeren Filterserien, die nicht in einem oder mehreren Exsikkatoren Platz finden, anschließend mehrere Stunden lang offen im Wägeraum ausgelegt, damit sie sich an das Raumklima anpassen. Der Wägeraum soll so staubfrei

wie möglich sein. Ein möglichst gleiches Raumklima bei der Leer- und Vollfilterwägung ist eine Grundvoraussetzung für genaue Ergebnisse. Die Wägung erfolgt am besten auf einer Halbmikrowaage mit einer Wägegenauigkeit von 0,01 mg. Bei der Wägung wird mit den Vergleichsfiltern begonnen, die dann regelmäßig nach jeweils 10 Filtern erneut gewogen werden. Die Vergleichsfilter sollen, so weit möglich, die gleiche Behandlung erfahren wie die übrigen Filter.

3. Filtration: Das Filtrivolumen richtet sich nach dem Sestongehalt und der Filtergröße. Bei 2,5 cm großen Filtern reicht in den meisten Fällen ein Volumen von 0,5 bis 2 l aus. Das Volumen wird entweder in einem Meßzylinder, in vorher geeichten Flaschen oder mit Hilfe eines Dosimeters abgemessen. Werden Teilproben aus einem größeren Behälter entnommen, so muß dieser vorher sehr gut durchmischt werden. Das Einspannen der Filter erfordert einige Sorgfalt, damit sie zentrisch liegen und nicht beschädigt werden. Ein leichtes Anfeuchten der aufgelegten Filter mit Aqua dest. und gleichzeitiges Einschalten des Unterdrucks erleichtern das Einspannen. Der Unterdruck während der Filtration soll zwischen 0,4 und 0,6 kp/cm² betragen. Zum Schluß werden die Filter dreimal mit 10—20 ml Aqua dest. gespült. Falls das destillierte Wasser sofort weggesaugt wird und dabei eventuell nur Teile des Filters benetzt, wird der Unterdruck an der Saugstelle vorübergehend vermindert oder abgeschaltet. Vor dem Herausnehmen müssen die Filter ganz trocken gesaugt werden, damit sie später nicht auf ihrer Unterlage kleben bleiben und dadurch beschädigt werden. Die Filter werden anschließend 2 Stunden lang bei 60°C getrocknet. Danach können sie, gegen Feuchtigkeit und Lichteinwirkung geschützt, beliebig lange aufbewahrt werden.

4. Vollfilterwägung: Bei einem größeren Zeitabstand zwischen Filtration und Wägung empfiehlt es sich, die vollen Filter zusammen mit den Vergleichsfiltern erneut eine Stunde lang bei 60°C zu trocknen, bevor sie zur Akklimatisation im Wäge-

Tabelle 8
Berechnung des Sestongewichts

Filter Nr.	Leergewicht (mg)	Vollgewicht (mg)	Korrektur (10 ⁻² mg)	Korrigiertes Vollgewicht (mg)	Sestongewicht (mg)
A	27,27	27,18	- 9	} - 7	
B	29,65	29,58	- 7		
C	28,11	28,05	- 6		
D	28,88	28,82	- 6		
11	28,63	28,92	+ 7	} 28,99	} 0,36
12			+ 6		
13			+ 6		
14			+ 5		
15			+ 5		
16			+ 5		
17			+ 4		
18			+ 4		
19			+ 3		
20	28,41	28,83	+ 3		
A	27,22	27,19	- 3	} - 3	
B	29,60	29,56	- 4		
C	28,07	28,07	0		
D	28,87	28,83	- 4		

raum ausgelegt werden. Die Wägung wird in der gleichen Weise vorgenommen wie die der Leerfilter.

5. Berechnung des Sestongewichtes: Vor der Errechnung des Sestongewichtes aus der Differenz Vollgewicht — Leergewicht werden die Vollgewichte aufgrund der Vergleichsfilterwägung korrigiert. Dazu wird für jeden Vergleichsfilterblock die durchschnittliche Differenz zwischen Leer- und Vollfilterwägung berechnet. Dieser Korrekturwert wird jedoch, bevor er mit umgekehrtem Vorzeichen zu den Vollfiltergewichten hinzuaddiert wird, noch einer weiteren Korrektur unterworfen. Diese besteht darin, daß jeweils die Differenz zwischen den Korrekturwerten zweier aufeinander folgender Vergleichsfilterblocks gleichmäßig auf die dazwischen liegenden Filter verteilt wird. Dieser zweiten Korrektur liegt die Annahme zugrunde, daß die eingetretene Gewichtsveränderung zur nächsten Vergleichsfilterwägung, deren Ursache eine Feuchtigkeitsänderung oder Nullpunktverschiebung der Waage sein kann, kontinuierlich erfolgt ist. So werden die Vollfiltergewichte gewissermaßen mit einem individuellen Korrekturwert versehen. Die Tab. 8 verdeutlicht durch ein Beispiel dieses Berechnungsschema. Aus dem Filtriervolumen ist dann der Sestongehalt pro Liter zu berechnen.

Literaturverzeichnis

- BANSE, K., P. FALLS and L. A. HOBSON (1963): A gravimetric method for determining suspended matter in seawater using millipore filters. *Deep Sea Res.*, **10**, 639—642.
- HAGMEIER, E. (1962): Das Seston und seine Komponenten. *Kieler Meeresforsch.* **18**, 189—197.
- HAGMEIER, E. (1964a): Zum Gehalt an Seston und Plankton im Indischen Ozean zwischen Australien und Indonesien. *Kieler Meeresforsch.* **20**, 12—17.
- HAGMEIER, E. (1964b): Zum Gehalt an Seston und Plankton im tropischen Atlantik. *Helgol. Wiss. Meeresunters.* **11**, 270—286.
- KÖRTE, F. (1966): Plankton- und Detritusuntersuchungen zwischen Island und den Färöer im Juni 1960. *Kieler Meeresforsch.* **22**, 1—27.
- KREY, J. (1950): Eine neue Methode zur quantitativen Bestimmung des Planktons. *Kieler Meeresforsch.* **7**, (58—75).
- KREY, J., D. HANTSCHMANN, St. WELLERSHAUS (1960): Der Sestongehalt entlang eines Schnittes von Kap Farvel bis zur Flämischen Kappe im April und September 1958. *Dtsch. Hydrogr. Zeitschr. Erg. Heft Reihe B*, **3**, 73—81.
- KREY, J. (1961a): Der Detritus im Meere. *J. Cons. perm. int. Explor. Mer* **26**, 263—280.
- KREY, J. (1961b): Beobachtungen über den Gehalt an Mikrobiomasse und Detritus in der Kieler Bucht 1958—1960. *Kieler Meeresforsch.* **17**, 163—175.
- KREY, J. (1964): Die mittlere Tiefenverteilung von Seston, Mikrobiomasse und Detritus im nördlichen Nordatlantik. *Kieler Meeresforsch.* **20**, 18—29.
- LENZ, J. (1968): Die Teilchengrößenanalyse und Mengenbestimmung des Detritus in Seewasserproben. *Kieler Meeresforsch.* **24**, 85—94.
- ROBERTSON, A. (1968): The continuous plankton recorder: a method for studying the biomass of calanoid copepods. *Bull. Mar. Ecol.* **6**, 185—223.
- SMETACEK, V. S. (1971): Zur Leistungsfähigkeit der bei produktionsbiologischen Untersuchungen verwendeten Filtersorten. *Kieler Meeresforsch.* **27**, 171—179.
- UNESCO (1966): Determination of photosynthetic pigments in sea water. Monographs on oceanographic methodology 1. UNESCO, Paris. 69 pp.
- WEBER, E. (1967): Grundriß der biologischen Statistik. 6. Aufl. G. Fischer Verlag, Jena. 674 pp.