

Die Beziehungen zwischen verschiedenen Messungen im Meer

MAX GILLBRICHT

Biologische Anstalt Helgoland, Zentrale, Hamburg

ABSTRACT: The correlations between different measurements in the sea. The working up of the main material from modern expeditions is a serious problem, especially in obtaining the correlations between different components investigated. However, we must know something about this problem if we wish to understand what really happens in the sea. Therefore the best single and multiple correlation coefficients have been determined. These calculations were complicated by the fact that the best correlation found by testing all possibilities must not be identical with the expected logical one. In this way we obtain many complicated results. Therefore, more or less subjective selections and simplifications are necessary. Some results from the R. V. "Meteor" during the I. I. O. E. may be of some interest in this respect. In the upper layer, the changing of the different chemical components has the following atomic relation : P (phosphate) : N (nitrate) : C (pH value) : O₂ = 1 : 15 : 71 : 226. Except for the carbon which could not be adequately calculated, this result is in good agreement with the theoretical value if we expect that this changing is an effect of biological activity. The biological components themselves do not give satisfying results. There may be methodical reasons also but, primarily, this should be an effect of the complexity of living systems. For this reason it is a difficult task to determine the correlations in the biological section. It is necessary to investigate the problem under different conditions (for instance, in different regions in the open sea or in culture) and to work up the material in different ways.

EINLEITUNG

Um die physikalischen, chemischen und biologischen Verhältnisse in den Ozeanen beschreiben und verstehen zu können, werden auf modernen Expeditionen sehr viele Einzelbestimmungen von zahlreichen Komponenten durchgeführt. Da bei den physikalischen und chemischen Methoden Registrierung und Automation bereits weitgehend möglich sind, fallen entsprechende Datenmengen an. Die Ergebnisse dieser enormen Anstrengungen sind aber bei der schon lange bekannten oder zumindest vermuteten Heterogenität in der Verteilung der verschiedenen Komponenten zunächst mehr entmutigend als fördernd. Das fängt mit der Untersuchung von Temperatur und Salzgehalt an – zwei Faktoren, die eine verwirrende Feinstruktur aufzeigen. Biologische Resultate geben bei hinreichend dichter Probennahme die zu erwartenden starken Streuungen, und die durch Lebensvorgänge beeinflussten chemischen Komponenten liegen in ihrem Verhalten zwischen dem der physikalischen und der biologischen Daten. Es ist daher ein besonderes Problem, aus allen diesen Informationen ein klares Bild

herauszuarbeiten. Die Auswertung des umfangreichen Beobachtungsmaterials dürfte wohl ein, wenn nicht der, Minimumfaktor in der modernen Meeresforschung sein.

KORRELATIONEN

Ein besonderes Problem stellt in dieser Hinsicht die Korrelation¹ zwischen verschiedenen Daten dar. Wir können als sicher annehmen, daß Zusammenhänge bestehen, und um diese Verhältnisse klären zu können und so das Gesamtsystem verstehen zu lernen, sind Parallelbestimmungen möglichst vieler Komponenten wünschenswert. Jedoch vermeidet man es hierbei zumeist, mit großem Aufwand alle Korrelationen zu prüfen. Man beschränkt sich vielmehr auf bekannte, wirklich bestehende Zusammenhänge von praktischem Wert. Als Beispiel sei hier die Beziehung zwischen Chlorophyll (KALLE 1951) und dem Phytoplankton auf zwei Schnitten und einer Dauerstation bei Helgoland untersucht (Tab. 1). Wir finden so tatsächlich gute Korrelationen, aber wir

Tabelle 1

Korrelation des Chlorophylls mit allen Phytoplanktonkomponenten und mit der Temperatur

Datum	Position	Proben- zahl	Mehrfachkorre- lationskoeffizient mit allen Phytoplankton- komponenten	Detritus- chlorophyll µg/l	% des Mittelwerts	Korrela- tions- koeffizient mit d. Temperatur
5. August 1959	Dauerstation bei Helgoland	29	0,47	4,26	74	+ 0,58
1. August 1961	Helgoland- Weser	41	0,87	1,03	43	+ 0,89
5. August 1961	Büsum- Helgoland	34	0,75	3,87	48	+ 0,83

beobachten gleichzeitig viel „Detrituschlorophyll“; oder, um es korrekt zu sagen, die Rechnung mit Hilfe der hier nicht gebrachten partiellen Regressionskoeffizienten ergibt formal, daß ein großer Teil des Chlorophylls nicht an Phytoplankton gebunden ist. Trotz dieser Schwierigkeit hat man aber den Eindruck, daß die Phytoplanktonverteilung bis zu einem gewissen Grade durch Chlorophyllmessungen beschrieben werden kann beziehungsweise umgekehrt. Untersuchen wir jedoch die Korrelation des Chloro-

¹ „Korrelation“ ist ein Maß dafür, wie eng die Schwankungen zweier Meßgrößen miteinander verbunden sind, wobei sich diese gleichsinnig (positive Korrelation) oder gegensinnig (negative Korrelation) ändern können. Der Wert liegt zwischen + oder - 1 (vollständige Korrelation) und 0 (keine Korrelation). Aus dem Korrelationskoeffizienten und der Anzahl der Messungen läßt sich abschätzen, mit welcher Wahrscheinlichkeit eine Korrelation im angegebenen Sinne besteht. Entsprechend läßt sich auch die Abhängigkeit einer Größe von mehreren anderen in diesem Falle jedoch ohne Vorzeichen angeben („Mehrfachkorrelation“). „Partielle Korrelation“ bezeichnet die zwischen zwei Komponenten verbleibende Korrelation nach Eliminierung des Einflusses anderer Komponenten.

phylls mit allen anderen gemessenen Komponenten, so stellt sich heraus, daß die engste Beziehung zur Temperatur besteht (Tab. 1). Man muß sich also entscheiden, ob, um Irrtümer zu vermeiden, alle Zusammenhänge geprüft werden sollen, oder ob man sich mit einer Bestimmung der direkt interessierenden Korrelationen begnügt. Die oben geschilderte Schwierigkeit hinsichtlich der Beziehung Chlorophyll – Phytoplankton dürfte vor allem in einem mehr oder weniger homogenen Wasserkörper zu beobachten sein. Dies Problem soll hier aber nicht weiter erörtert werden. Wir können jedoch annehmen, daß bei einer Untersuchung größerer Gebiete das Chlorophyll gut die Verteilung des Phytoplanktons anzeigt, unter der Bedingung, daß eine gute Korrelation zwischen dem Plankton- und dem Detrituschlorophyll besteht.

SCHWIERIGKEITEN BEI DER KORRELATIONSBERECHNUNG

Es soll anderweitig besprochen werden, wie die besten Einzel- und Mehrfachkorrelationen für jede Komponente zu ermitteln sind. Ich möchte hier nur auf eine Tatsache hinweisen, die eine sehr aufwendige Berechnung erforderlich macht: Gelegentlich ist eine Komponente von zwei anderen abhängig, die gegensinnig wirken. In diesem Falle ergeben sich direkt keine guten Korrelationen, während die partiellen Korrelationskoeffizienten nach Eliminierung von jeweils einer Komponenten durchaus befriedigend sein können. Als Beispiel möchte ich von einer solchen Situation aus dem Frühjahr 1955 berichten (GILLBRICHT 1962a). Die Oberflächentrübung (gemessen von Herrn Dr. JOSEPH) erwies sich in diesem Falle als eine Funktion von Wassertiefe und Turbulenz, die jedoch nicht direkt gemessen, sondern nur indirekt durch die Stabilität der Schichtung angegeben werden konnte. Flaches Wasser und geringe Stabilität führen zu einer starken vom Boden aufgewirbelten Oberflächentrübung. Da jedoch die Stabilisierung zu dieser Zeit von der Küste her einsetzt, sind Wassertiefe und Stabilität stark negativ korreliert. Als Folge hiervon finden wir:

Oberflächentrübung korreliert mit	Korrelations- koeffizient	partieller Korrelations- koeffizient nach Eliminierung von Wassertiefe bzw. Stabilität
Stabilität	— 0,15	— 0,95
Wassertiefe	— 0,32	— 0,95

Diese Tatsache zwingt uns, möglichst viele Mehrfachkorrelationen zu überprüfen. Eine solche Arbeit ist daher bei einem größeren Beobachtungsmaterial mit vielen Komponenten ohne Verwendung einer modernen Datenverarbeitungsanlage praktisch nicht durchführbar.

Als Folge einer so aufwendigen Bearbeitungsmethode erhalten wir dann aber auch zumeist nicht nur eine, sondern mehrere gleichwertige Mehrfachkorrelationen zur Beschreibung der Verteilung einer Komponente. Dies gilt vor allem für den besonders komplizierten biologischen Sektor. Es ist daher gar nicht so einfach, die beste Korrelation für jede Komponente herauszufinden. Ein besonderes Problem stellt hierbei die Tatsache dar, daß manche Komponenten auf diesem Wege als Funktionen von bis zu

sechs anderen beschrieben werden. In solchen Fällen ist eine Vereinfachung aus zwei Gründen notwendig:

(1) Die sich ergebende Formel muß irgendwie noch verständlich und logisch sein; das ist aber bei sehr komplizierten Funktionen nicht mehr möglich. Die beste Methode besteht sicher darin, eine Untersuchung unter möglichst gleichen Bedingungen mehrfach durchzuführen und dann zu prüfen, von welchen anderen Faktoren hängt ein Faktor immer wieder ab. Auf diesem Wege werden zufällige Beziehungen weitgehend ausgeschaltet werden und lediglich überschaubare Zusammenhänge übrigbleiben. Ich halte es nicht mehr für richtig, nur eine Meßreihe aufzuarbeiten und dann die so erhaltenen komplizierten Korrelationen zu diskutieren, wie ich es vor ein paar Jahren einmal gemacht habe (GILLBRICHT 1961a).

(2) Wir müssen immer vor Augen haben, daß wir nur lineare Korrelationen untersuchen, während die tatsächliche Beziehung zwischen zwei Komponenten meistens komplizierter sein dürfte und am besten in der allgemeinen Form geschrieben wird:

$$y = a + bx + cx^2 + dx^3 + \dots$$

Die Konsequenz aus dieser Überlegung ist, daß wir die Verhältnisse nicht in jedem Falle mit unserer Methode richtig beschreiben können. Wir müssen vielmehr damit rechnen, daß als Kompensation für die nicht bestimmten höheren Glieder der Gleichung eine Mehrfachkorrelation durch Einbeziehung einer weiteren mit den beiden anderen irgendwie verbundenen Komponente erhalten wird. Diese rein mathematische Lösung des Problems ist aber für uns ohne Wert und vielleicht für die oft erhaltenen komplizierten Funktionen und für die Bedenken gegen die Überbewertung einzelner Meßreihen verantwortlich.

EIN BEISPIEL AUS DEM INDISCHEN OZEAN

Unter diesen Gesichtspunkten wurde einiges Material vom Forschungsschiff „Meteor“ aus dem Arabischen Meer (Dezember 1964 bis Februar 1965) bearbeitet. Die untersuchten sechs Schnitte lagen wie in Tabelle 2 und auf Abbildung 1 angegeben.

Tabelle 2

Angaben über die sechs im Arabischen Meer untersuchten Schnitte (Abb. 1)

Schnitt	Region	Stationszahl	Probenzahl	Anzahl der untersuchten Komponenten
1	beim Kap Guardafui	6	24	19
2	Somaliküste	7	27	16
3	Küste vor Kenia	6	24	14
4	Äquatorialgebiet in der Mitte zwischen Afrika und Indien	8	37	16
5	Küste bei Cochin (Südindien)	6	27	15
6	Indische Küste	7	28	15

Nun ist es immer schwierig, mehrere Schnitte mit einer großen Zahl von Komponenten aus einem Gebiet zu bekommen, und deshalb müssen gewisse Zugeständnisse gemacht werden. In diesem Falle ergab sich gelegentlich die Frage, ob es nützlicher ist, eine Komponente oder eine Station mehr zur Untersuchung zur Verfügung zu haben. Aus diesem Grunde schwankt die Zahl der Komponenten etwas von Schnitt zu Schnitt. In einigen wenigen Fällen war es auch notwendig, einzelne ausgefallene Messungen durch Interpolation zu ergänzen. Besonders unangenehm aber war die Tatsache, daß

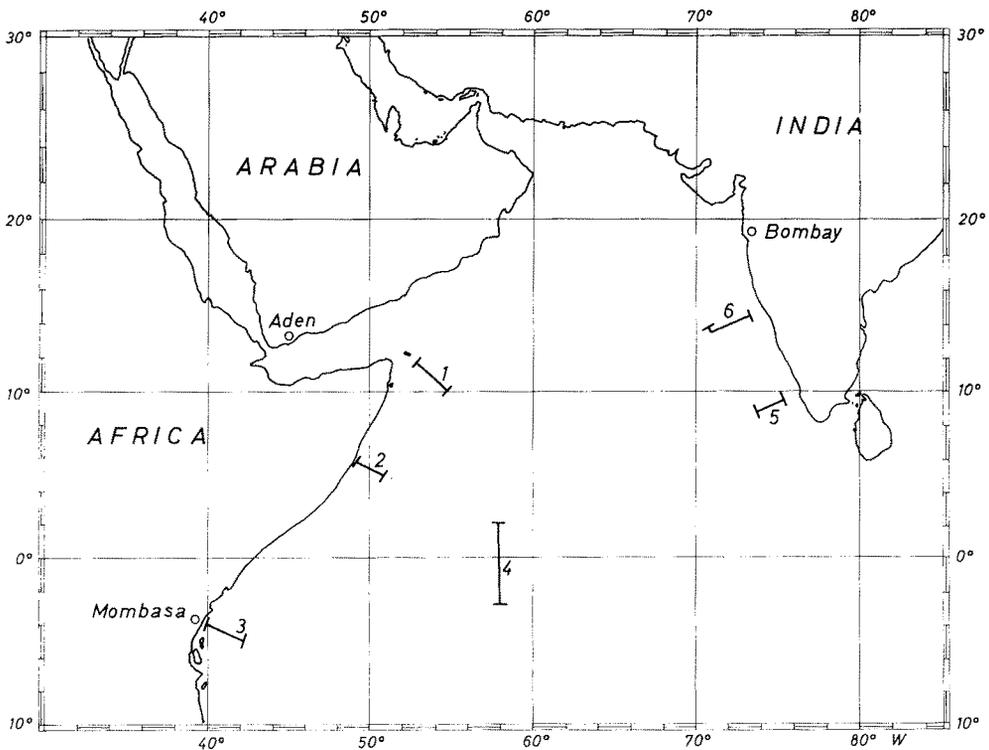


Abb. 1: Die sechs hier besprochenen Schnitte des Forschungsschiffes „Meteor“ im Arabischen Meer im Rahmen der I. I. O. E.

die biologischen Proben (Eiweiß, Seston, organische Substanz und Plankton) mit einem anderen Wasserschöpfertyp und in abweichenden Tiefen genommen wurden; dadurch wurden viele Interpolationen erforderlich. Bei der heterogenen Verteilung zumindest der Planktonkomponenten (GILLBRICHT 1962b) wäre es natürlich besser gewesen, alles Untersuchungswasser aus e i n e m Schöpfer gewinnen zu können.

Es werden hier lediglich die Oberflächenbeobachtungen bis zu 100 m Tiefe diskutiert. Für Temperatur und Salzgehalt wurden die gegenseitige Abhängigkeit und die Beziehung zu Proben-tiefe und Küstenabstand untersucht. Es bestehen zwar noch bessere Korrelationen, doch erscheint es wenig sinnvoll, die hydrographischen Komponenten als Funktionen von chemischen oder biologischen Daten zu beschreiben. Die Tem-

peratur hat so den besten Zusammenhang mit der Probentiefe, was in diesem Seegebiet auch nicht weiter verwundert, während die Salzgehaltsverteilung für die Schnitte 1 bis 3 zweckmäßig durch die der Temperatur und für die übrigen Schnitte durch die Probentiefe ausgedrückt werden. Diese Ergebnisse sind aber nur von geringem Interesse.

Die Nährstoffe wie Phosphat und Silikat (GRASSHOFF 1966), Nitrat (GRASSHOFF 1964) sowie Sauerstoff (GRASSHOFF 1962) und pH-Wert sind sehr gut untereinander, mit der Temperatur und bedingt mit Salzgehalt und Probentiefe korreliert. Unter diesen Bedingungen ist es schwer zu entscheiden, mit welcher Bestimmung dieser Gruppe

Tabelle 3

Relative atomare Änderung mehrerer biologisch wichtiger Substanzen auf den verschiedenen Schnitten. P: Phosphat = 1; Si: Silikat; N: Nitrat; C: Kohlensäure; O₂: Sauerstoff

Schnitt	P	Si	N	C	O ₂
1	1	10	13	65	190
2 + 3	1	13	16	63	213
4	1	13	18	90	256
5 + 6	1	9		70	248
Mittel	1	11	15	71	226
SVERDRUP et al. (1955)	1		16	106	212

irgendeine andere Komponente tatsächlich gekoppelt ist. Für diese Gruppe erhalten wir überraschende Ergebnisse, wenn wir die atomare Relation der Änderung der verschiedenen Komponenten bestimmen (Tab. 3).

„N“ bedeutet Nitrat, aber die Ergebnisse von Schnitt 1 zeigen, daß Ammoniak (GILLBRICHT 1961b) und Nitrit (STRICKLAND & PARSONS 1960) in dieser Hinsicht nur von untergeordneter Bedeutung sind. „C“ ist der anorganische Kohlenstoff (Kohlensäure), berechnet vom pH-Wert in Verbindung mit Temperatur und Salzgehalt als Maße für die Dissoziationskonstanten der Kohlensäure, wobei der Salzgehalt außerdem die Alkalinität anzeigt. Solche umständlichen Berechnungen können keine befriedigenden Ergebnisse liefern, und zwar besonders deshalb nicht, weil die Schwankungen der Kohlensäuremenge gering gegenüber der Gesamtmenge und daher nur ungenau nachweisbar sind. „O₂“ ändert sich im umgekehrten Sinne wie die übrigen Komponenten.

Nehmen wir an, daß Zehrung und Freisetzung der in Tabelle 3 aufgeführten Substanzen mit biologischen Prozessen verknüpft sind, so müßten die Ergebnisse mit der mittleren Zusammensetzung von biologischem Material und hinsichtlich der zur Oxydation notwendigen Sauerstoffmenge (SVERDRUP, JOHNSON & FLEMING 1955) vergleichbar sein. Die Übereinstimmung zwischen der Theorie und den tatsächlichen Beobachtungen ist erheblich besser, als wir es für die Oberflächenwerte der freien See erwarten konnten, wenn wir von den fragwürdigen Kohlenstoffberechnungen absehen. Der mittlere Silikatwert spricht für einen Diatomeenanteil von 28 %, während sich aus den Zählungen 22 % ergeben. Die einzelnen Schnitte geben keine so gute Übereinstimmung, wie dies leider immer der Fall ist, wenn direkt mit den eigentlichen biologischen Messungen gerechnet wird.

Mehr oder weniger gut mit der vorher besprochenen Gruppe korreliert ist die mit einer einfachen Permanganatmethode (GILLBRICHT 1957) bestimmte gesamte organische Substanz. Sie wird am besten als eine Funktion der Tiefe beschrieben und nimmt von der Oberfläche aus ab. Der mittlere Korrelationskoeffizient von $-0,5$ ist jedoch nicht als sonderlich gut zu bezeichnen.

Die übrigen Bestimmungen geben kein so klares Bild mehr. Die meisten biologischen Messungen sind normalerweise mit keiner anderen Komponente gut korreliert. Dies mag in erster Linie eine Folge der komplizierten Abhängigkeit der Lebewesen von vielen Umweltfaktoren sein, aber wir müssen auch berücksichtigen, daß in diesem Gebiet alle biologischen Werte sehr klein sind und so die methodische Streuung die Ergebnisse stark beeinflusst.

An der indischen Küste sind Seston (KREY 1950) und Albuminäquivalente (KREY, BANSE & HAGMEIER 1957) miteinander korreliert und zeigen einen Albumingehalt des Sestons von etwa 14 % an. Auf den anderen Schnitten besteht eine Korrelation dieser Komponenten mit der Gruppe Temperatur etc. oder mit den organischen Partikeln.

Die Planktonmenge wurde durch Zählen unter dem umgekehrten Mikroskop (GILLBRICHT 1959, 1962b) und durch Umrechnung auf Plasmavolumen und schließlich Kohlenstoff bestimmt. Ich habe auch Partikel gezählt, die ich für Reste von Planktonorganismen etc. hielt (organische Partikel), und ich habe dann die C-Menge anzugeben versucht. Eine solche Bestimmung kann natürlich nicht besonders genau sein.

Zooplankton und Diatomeen sind praktisch auf jedem Schnitt mit einer anderen Komponente korreliert, daher läßt sich hierzu überhaupt nichts sagen. Die Peridineenverteilung läßt sich noch am besten, wenn auch zumeist unbefriedigend, durch die Tiefe beschreiben (mittlerer Korrelationskoeffizient $-0,4$). Die organischen Partikel können mit dem recht schlechten mittleren Korrelationskoeffizienten von $+0,3$ als eine Funktion des Sestons angesehen werden. Der mittlere Gehalt des Sestons an organischen Partikeln als Kohlenstoff ausgedrückt ergibt sich dann zu 6 %; dies würde einen Anteil an organischer Trockensubstanz von 12 % bedeuten. Dieser Wert entspricht etwa dem Albumingehalt des Sestons an der indischen Küste.

DISKUSSION DER ERGEBNISSE

Diese vor allem im biologischen Bereich unbefriedigenden Resultate zeigen wiederum die wohlbekanntete Tatsache, daß Lebensvorgänge viel komplexer und schwerer zu analysieren sind als Entwicklungen in der unbelebten Natur. Es erhebt sich mithin die Frage, ob und unter welchen Bedingungen ein solches Auswerteverfahren überhaupt sinnvoll ist. Es kommt ja noch als Erschwerung hinzu, daß sich praktisch alle Komponenten mit Zeit, Ort und Tiefe gleichzeitig ändern. Nur die abstrakte Rechnung erlaubt es uns aber, bei Vorliegen vieler Parallelmessungen vor allem bei den stark streuenden biologischen Daten wirklich die Übersicht zu behalten; ein subjektiver Vergleich der Meßdaten ist unter diesen Bedingungen nicht hinreichend. Dies Problem tritt vor allem dann in den Vordergrund, wenn wir uns um das Aufklären noch unbekannter Zusammenhänge bemühen wollen, da einfach zu entdeckende Ergebnisse dieser Art

kaum noch zu erwarten sind. Eine solche Fragestellung erfordert die Parallelbestimmung vieler Komponenten, um so den Lebensraum möglichst gut beschreiben zu können und Fehlresultate durch indirekte Beziehungen, wenn die direkten nicht gemessen wurden, weitgehend zu vermeiden. Die Zusammenhänge sollen dann nicht zu kompliziert sein und möglichst mehrfach nachgewiesen werden (p. 196).

Wir können auch immer nur mit dem Erkennen von einer oder allenfalls einzelnen Abhängigkeiten in einer Untersuchungsreihe rechnen. Das Gesamtsystem ist uns daher nicht direkt zugänglich, sondern muß mosaikartig aus Einzelbefunden aufgebaut werden. Eine Klärung der Teilaspekte ist daher nur zu erwarten, wenn unter unterschiedlichen und möglichst extremen (etwa Phytoplanktonwucherung; GILLBRICHT 1961c) Bedingungen untersucht wird, um so die verschiedenen Zusammenhänge als Minimumfaktoren einzeln meßbar in den Vordergrund zu bekommen. Unter diesen Gesichtspunkten interessieren vor allem Ausnahmesituationen (in unserm Gebiet beispielsweise Eiswinter; GILLBRICHT 1964) und Untersuchungen in verschiedenen Klimazonen (Tropen-hohe Breiten) etc. (REDFIELD 1960). In Rand- und Nebenmeeren und in Küstengewässern laufen häufig größere biologische Umsetzungen ab als in der freien See. Diese Tatsache würde eine Auswertung von Messungen aus den Randgebieten begünstigen, wenn wir hier nicht gleichzeitig mit einer starken Beeinflussung des freien Wassers durch Boden und Süßwasserzuflüsse rechnen müßten (GILLBRICHT 1964), so daß sich unter diesen Bedingungen sicher nur einige wenige Probleme (etwa Turbulenz und Phytoplankton) lösen lassen.

Alle diese Schwierigkeiten zwingen uns, das Erkennen der Zusammenhänge auf vielen Wegen und daher auch auf dem vorliegenden zu versuchen, um die zunächst durchweg recht unsicheren Ergebnisse nach Möglichkeit mit verschiedenen Verfahren mehrfach zu finden. Aus diesem Grunde sollen hier kurz zwei Methoden skizziert werden, die sich bei der schrittweisen Aufklärung dieser schwierigen Fragen bereits bewährt haben.

Die abstrakte und dadurch etwas fragwürdige voraussetzungslose Bestimmung von Korrelationen läßt sich vermeiden, indem man mehr oder weniger komplizierte Zusammenhänge annimmt und die daraus resultierenden Überlegungen und Rechnungen anstellt (RILEY 1965). Ein solches Verfahren ist sicher nicht streng objektiv, wird aber bei wiederholter Überprüfung der Ergebnisse nach und nach zu immer besseren Vorstellungen führen.

Alle bisher erörterten Schwierigkeiten bei der Auswertung von Messungen im freien Wasser lenken die Aufmerksamkeit auf die Möglichkeit, derartige Probleme im Versuch zu lösen. Manchmal ist dies auch gar nicht anders möglich, zum Beispiel werden alle modernen Assimilationsmessungen in abgeschlossenen, kleinen Gefäßen, also unter tiefgreifend veränderten Umweltbedingungen, durchgeführt. Darin liegen nämlich die Grenzen des Experiments: Der Lebensraum des freien Wassers läßt sich nur bedingt simulieren (Turbulenz), und Kulturorganismen können ein anomales Verhalten zeigen (GILLBRICHT 1961a). Dafür vermögen Versuche aber auch Meßreihen zu liefern, wie sie in See eben nicht zu erhalten sind. Es ist dann nur erforderlich, die so gewonnenen Kurven an einzelnen Punkten durch Werte aus der natürlichen Umwelt abzusichern. Nach diesen Bemerkungen könnte man das Experiment für diese Fragestellung lediglich als Lückenbüßer ansehen. Eine solche Auffassung ist jedoch nicht gerechtfertigt. Es bleiben

noch Umweltfaktoren übrig, die in See nicht oder noch nicht serienmäßig erfaßt werden können. Hierzu gehören zum Beispiel bestimmte organische Stoffe (RAE 1960), deren praktische Bedeutung in Versuchen zu klären sicherlich lohnend sein dürfte. Leider wird aber bei solchen Experimenten zumeist mehr auf die leichte Hälterung als auf die ökologische Bedeutung der Organismen geachtet. Lassen sich Untersuchungen mit den wirklich interessierenden Lebewesen nicht durchführen, so schränkt dies den Wert von Versuchen für diese Fragestellung stark ein.

Diese Ausführungen sollen zeigen, daß es für die Klärung des Zusammenhanges zwischen verschiedenen biologischen, chemischen und physikalischen Komponenten im freien Wasser vor allem im biologischen Bereich zumeist keine direkte Lösungsmöglichkeit gibt; es muß vielmehr mit verschiedenen Meß- und Auswerteverfahren gearbeitet werden. Ich halte es für bedenklich, sich bei einem so komplexen System auf einen bestimmten Weg festzulegen, wie dies bisweilen geschieht (RAE 1960, REDFIELD 1960), da auf die Dauer sicher nur die Ausschöpfung aller Möglichkeiten Fortschritte bringen kann. Das schließt natürlich nicht aus, daß für bestimmte Teilprobleme und unter bestimmten technischen und örtlichen Voraussetzungen ein bestimmtes Verfahren zu bevorzugen ist, wie überhaupt die verschiedenen Meß- und Auswertemethoden nicht in dem bei der Unsicherheit der Einzelbefunde wünschenswerten Umfang Parallelergebnisse liefern, sondern jede Arbeitstechnik mehr oder weniger ihren eigenen Schwerpunkt hat.

Das in dieser Arbeit besprochene Material wurde nur zu einem kleinen Teil vom Verfasser selbst gesammelt. Ich möchte daher den Herren Dr. GRASSHOFF (Phosphat Nitrat, Nitrit, Ammoniak, p_{H} -Werte, Sauerstoff) und Prof. Dr. KREY (Albuminäquivalente, Seston) vom Institut für Meereskunde der Universität Kiel, Dr. JOSEPH (Trübung) und Prof. Dr. KALLE (Chlorophyll) vom Deutschen Hydrographischen Institut Hamburg für die Überlassung ihrer Daten danken. Herr Dr. MUNKELT (Deutsches Hydrographisches Institut) hat die umfangreichen Rechnungen mit Hilfe einer Datenverarbeitungsanlage durchgeführt, wofür ich auch ihm an dieser Stelle meinen Dank sagen möchte. Besonders verpflichtet bin ich der Deutschen Forschungsgemeinschaft, die mir die Arbeit an Bord des Forschungsschiffes „Meteor“ im Rahmen der I. I. O. E. ermöglichte.

ZUSAMMENFASSUNG

1. Die besten Einfach- und Mehrfachkorrelationskoeffizienten zwischen verschiedenen in See gemessenen Komponenten werden diskutiert.
2. Die so erhaltenen, zumeist sehr komplizierten Ergebnisse lassen sich oft nicht einwandfrei deuten, daher ist meistens eine Vereinfachung notwendig.
3. Die beste bei Prüfung aller Möglichkeiten erhaltene Korrelation muß nicht mit der erwarteten „logischen“ identisch sein.
4. In der Oberschicht des Indischen Ozeans ändern sich die verschiedenen Komponenten im folgenden atomaren Verhältnis: P (Phosphat) : N (Nitrat) : C (p_{H} -Wert) : $\text{O}_2 = 1 : 15 : 71 : 226$. Mit Ausnahme des anorganischen Kohlenstoffs, dessen Bestimmung und Berechnung unbefriedigend waren, ist dieses Ergebnis in guter Übereinstimmung mit den auf Grund der mittleren Zusammensetzung der Organismen zu erwartenden Werten.

5. Im biologischen Bereich sind die Korrelationen – wohl hauptsächlich wegen der komplexen Abhängigkeiten – durchweg nicht gut.
6. Die Notwendigkeit, zur schrittweisen Klärung dieser Probleme unter unterschiedlichen Bedingungen und mit verschiedenen Meß- und Auswerteverfahren arbeiten zu müssen, wird diskutiert.

ZITIERTE LITERATUR

- GILLBRICHT, M., 1957. Ein Verfahren zum oxydativen Nachweis von organischer Substanz im Seewasser. *Helgoländer wiss. Meeresunters.* **6**, 76–83.
- 1959. Das Phytoplankton im nördlichen Nordatlantischen Ozean im Spätwinter und Spätsommer 1958. *Dt. hydrogr. Z. (ErgänzHft. R. B.)* **3**, 90–93.
- 1961a. Über den Zusammenhang zwischen verschiedenen Messungen im Meer. *Helgoländer wiss. Meeresunters.* **7**, 238–251.
- 1961b. Eine Methode zum direkten Nachweis von Ammoniak im Seewasser. *Helgoländer wiss. Meeresunters.* **8**, 58–67.
- 1961c. The distribution of microplankton and organic matter in the northern North Atlantic during late winter and late summer 1958. *Rapp. P.-v. Réun. Cons. perm. int. Explor. Mer* **149**, 189–193.
- 1962a. Die Frühjahrswucherung des Phytoplanktons in einem flachen Gezeitenmeer. *Kieler Meeresforsch.* **18**, 3, 151–156.
- 1962b. Über das Auszählen von Plankton schöpfproben. *Helgoländer wiss. Meeresunters.* **8**, 203–218.
- 1964. Einwirkungen des kalten Winters 1962/63 auf die Phytoplanktonentwicklung bei Helgoland. *Helgoländer wiss. Meeresunters.* **10**, 263–275.
- GRASSHOFF, K., 1962. Untersuchungen über die Sauerstoffbestimmung im Meerwasser. *Kieler Meeresforsch.* **18**, 42–50.
- 1964. Zur Bestimmung von Nitrat in Meer- und Trinkwasser. *Kieler Meeresforsch.* **20**, 5–11.
- 1966. Zur automatischen Bestimmung von Spurenstoffen im Meerwasser. *Kieler Meeresforsch.* **22** (im Druck).
- KALLE, K., 1951. Meereskundlich-chemische Untersuchungen mit Hilfe des Pulfrich-Photometers von Zeiss. 7. Mitteilung. Die Mikrobestimmungen des Chlorophylls und der Eigenfluoreszenz des Meerwassers. *Dt. hydrogr. Z.* **4**, 92–96.
- KREY, J., 1950. Eine neue Methode zur quantitativen Bestimmung des Planktons. *Kieler Meeresforsch.* **7**, 58–75.
- BANSE, K. & HAGMEIER, E., 1957. Über die Bestimmung von Eiweiß im Plankton mittels der Biuretreaktion. *Kieler Meeresforsch.* **13**, 35–40.
- RAE, K. M., 1960. Parameters of the marine environment. *In: Perspectives in marine biology.* Ed. by A. A. Buzzati-Traverso. Univ. of Calif. Pr., Berkeley, 3–16.
- REDFIELD, A. C., 1960. The inadequacy of experiment in marine biology. *In: Perspectives in marine biology.* Ed. by A. A. Buzzati-Traverso. Univ. of Calif. Pr., Berkeley, 17–26.
- RILEY, G. A., 1965. A mathematical model of regional variations in plankton. *Limnol. Oceanogr.* **10** (Suppl.), R 202–R 215.
- STRICKLAND, J. D. & PARSONS, T. R., 1960. A manual of sea water analysis. *Bull. Fish. Res. Bd Can.* **125**, 1–185.
- SVERDRUP, H. U., JOHNSON, M. W. & FLEMING, R. H., 1955. The oceans, their physics, chemistry and general biology. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1087 pp.