

Ausbreitung und Vermischung der Zentralwassermassen in den Tropengebieten der Ozeane. 2: Indischer und Pazifischer Ozean

Zentralwasser
Vermischung
Fronten
Tropischer Ozean

Central water
Mixing
Fronts
Tropical ocean

Eau centrale
Mélange
Fronts
Zones océaniques tropicales

M. Tomczak Jr.

Marine Studies Centre FO5, The University of Sydney, N.S.W., 2006, Australia.

Received 26/4/82, in revised form 24/10/83, accepted 10/1/84.

ZUSAMMENFASSUNG Die Arbeit setzt die in Tomczak (1984) begonnene Untersuchung der Fronten in der ozeanischen Sprungschicht der Tropen für den Indischen und Pazifischen Ozean fort. Im Indischen Ozean trifft Indisches Zentralwasser (IZW) auf Indisches Äquatorialwasser (IÄW) und im Osten auf salzarmes Wasser aus der Bandasee, das hier als Australasiatisches Mittelmeerwasser (AAMW) bezeichnet wird. IZW bildet mit AAMW im Osten und IÄW im Westen bei 15°S eine Front, die von Süden nach Norden abfällt. IZW ist dabei überall unter IÄW gelagert und im Osten bis 5°S, im Westen bis zum Äquator nachweisbar. Östlich von 60°O bildet AAMW zwischen 5°S und 10°S einen flachen Einschub im Tiefenbereich von IÄW. Die Streuung nimmt von Westen nach Osten zu, entgegen der Ausbreitungsrichtung von IZW und AAMW. Die grosse Streuung im Osten wird zurückgeführt auf die jährlichen Schwankungen im Volumentransport des AAMW, die Abnahme der Streuung nach Westen auf das relativ geringe Volumen von AAMW gegenüber IZW, wodurch der Einfluss von AAMW nach Westen schnell abnimmt. Multiparameter-Analyse führt nördlich von 10°S nicht zu schlusskräftigen Ergebnissen. Südlich von 10°S ist die Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen der isentropen Analyse und der Multiparameter-Analyse vor allem im Osten trotz der dort extremen Streuung sehr gut. Dort erfolgt die Vermischung damit isentrop, und dasselbe kann auch für das Gebiet nördlich von 10°S angenommen werden. Westlich von 80°O und südlich von 10°S geben beide Analysemethoden nur qualitative Ergebnisse, da dort alle drei Wassermassen von gleicher Bedeutung und die Voraussetzungen der Methoden nicht erfüllt sind. Im Pazifischen Ozean wird die Untersuchung nur für den Westteil durchgeführt (westlich von 140°W), wo Nordwestpazifisches Zentralwasser (NWPZW), Nordostpazifisches Zentralwasser (NOPZW) und Südostpazifisches Zentralwasser (SOPZW) auf Pazifisches Äquatorialwasser (PÄW) treffen (Anzeichen für Sverdrups Südwestpazifisches Zentralwasser konnten im tropischen Pazifischen Ozean nicht gefunden werden). PÄW dringt in scharf gebündeltem Strahl bei 0-5°S mit dem Äquatorialen Unterstrom nach Osten vor und bildet bei 5°S mit SOPZW, bei 5-10°N mit NWPZW westlich, mit NOPZW östlich von 170°W eine Front. Die nördliche Front fällt von Süden nach Norden ab, d.h. PÄW ist unter NWPZW bzw. NOPZW gelagert. Grosse Streuung in Gebieten mit zahlreichen Beobachtungen innerhalb eines einzelnen 5°-Feldes zeigt starke zeitliche Veränderlichkeit an, und die benachbarten Felder, deren Streuungsverteilungen zwei Schwerpunkte enthalten, lassen darauf schliessen, dass es sich dabei weniger um Schwankungen in der Intensität der Vermischung handelt als um periodische Verlagerungen der Front. Die südliche Front lässt keine derartigen alternativen Zustände erkennen; doch ist die Datendichte dort sehr gering. Multiparameter-Analyse führt nördlich des Äquators nicht zu schlusskräftigen Aussagen. Südlich von 5°S ist isentrope Analyse sehr unzuverlässig, da die TS-Kurven für SOPZW und PÄW sehr dicht beieinander liegen; Multiparameter-Analyse ist dagegen dort unempfindlich gegen Unsicherheiten in den TS-Definitionen. Sie bildet dort die Grundlage der Diskussion.

Oceanol. Acta, 1984, 7, 3, 271-288.

ABSTRACT

On the spreading and mixing of central water in the tropical areas of the oceans. 2: Indian and Pacific Ocean

The present work continues the investigation of subsurface fronts in the oceanic thermocline of the tropics. Data, methods and results for the Atlantic Ocean were presented in Tomczak (1984).

Analysis in the Indian Ocean covers the range 25.0-27.0 σ_t , which again spans approximately 300 m (150-450 m \pm 60 m). Indian Central Water (ICW) meets Indian Equatorial Water (IEW) and, in the Eastern Indian Ocean, low-salinity water from the Banda Sea which is referred to here as Australasian Mediterranean Water (AAMW). The front runs along 15°S, separating ICW from IEW in the west and AAMW in the east. IEW is found above ICW which can be traced to 5°S in the east and to the equator in the west. AAMW occurs as a shallow intrusion, between 5°S and 10°S, into IEW east of 60°E. Variability increases from west towards east, opposite to the direction of spreading of ICW and AAMW. Large variability in the east is believed to be the result of annual variations of the volume transport of AAMW, while reduced variability in the west is possibly due to the decreasing influence of AAMW with separation from its source, due to its small volume. Multi-parameter analysis again suffers from data quality problems, but south of 10°S it yields consistent results which are in good agreement with those of isentropic analysis, particularly in the eastern regions despite high variability in that area. It is therefore concluded that mixing is isentropic in the South-Eastern tropical Indian Ocean.

In the Pacific Ocean analysis covers the density range 25.2-26.4, spanning a depth of approximately 100 m (170-270 m, \pm 40 m). It is restricted to the western Pacific Ocean and somewhat preliminary because of uncertainties in the water mass definitions. Eastern North Pacific Central Water (ENPCW) and Western North Pacific central Water (WNPCW) were identified, but of the corresponding two water masses of the southern hemisphere, only Eastern South Pacific central Water (ESPCW) was found in the tropical belt. These three water masses meet Pacific Equatorial Water (PEW) which spreads eastward in a narrow band at 0-5°S with the Equatorial Undercurrent. The front between PEW and ESPCW is located at 5°S. Another front at 5-10°N separates PEW from WNPCW west of 170°W and ENPCW east of 170°W. The northern front rises from north towards south, i.e. WNPCW and ENPCW are found above PEW. Variability can be high even in small regions, suggesting important contributions from changes in time. Larger regions where data density is insufficient for resolution of small spatial scales show a bipolar distribution of the scatter diagrams, indicating two preferred frontal positions. No such distribution is found with the southern front, but data density is low in that area. Multi-parameter analysis suffers from low data quality north of the equator, but in the southern hemisphere, it forms the basis of the analysis. Close proximity of TS-curves for ESPCW and PEW renders isentropic analysis very unreliable in that area, while multi-parameter analysis is unaffected by uncertainties in TS-definitions.

Oceanol. Acta, 1984, 7, 3, 271-288.

RÉSUMÉ

Écoulement et mélange de l'eau centrale dans les zones océaniques tropicales. 2 : Océans Indien et Pacifique

Cette étude des fronts dans la thermocline océanique tropicale des océans Indien et Pacifique fait suite au travail présentant les données, les méthodes et les résultats relatifs à l'Océan Atlantique (Tomczak, 1984).

Dans l'Océan Indien, l'analyse s'applique à une gamme de densité de 25,0 à 27,0 en σ_t , c'est-à-dire à une couche d'environ 300 m (de 150 à 450 m, \pm 60 m). L'eau centrale indienne (IZW, dans le texte) rencontre à l'Ouest l'eau équatoriale indienne (IÄW) et, à l'est de l'Océan Indien, l'eau peu salée de la mer de Banda qui est désignée ici comme eau méditerranéenne australasienne (AAMW). Le front s'étend le long de 15°S, séparant IZW de AAMW à l'Est et de IÄW à l'Ouest, avec une pente descendante du Sud vers le Nord. IZW se trouve donc partout au-dessous de IÄW, et peut être suivie à l'Est jusqu'à 5°S, à l'Ouest jusqu'à l'équateur. À l'est de 60°E, AAMW forme une intrusion profonde dans IÄW, entre 5°S et 10°S. La variabilité augmente d'Ouest en Est, en sens contraire de l'écoulement de IZW et AAMW. La grande variabilité à l'Est est attribuée aux variations annuelles du transport en volume de AAMW, tandis que la diminution de la variabilité vers l'Ouest serait due aux volumes relativement

faibles de AAMW vis-à-vis de IZW, d'où l'effet rapidement décroissant de AAMW vers l'Ouest. L'analyse multivariable ne donne pas de résultats significatifs au nord de 10°S. Au sud de 10°S, il y a un très bon accord entre les résultats de l'analyse isentropique et l'analyse multivariable, en particulier à l'Est malgré la variabilité extrême dans cette région. Il s'ensuit que le mélange y est isentropique, et ce résultat peut être admis également au nord de 10°S. A l'ouest de 80°E et au sud de 10°S, les deux méthodes d'analyse ne donnent que des résultats qualitatifs, car les trois masses d'eau y ont la même importance et les conditions d'application des méthodes ne sont pas remplies.

Dans l'Océan Pacifique, l'analyse couvre une gamme de densité de 25,2 à 26,4 en σ_t , c'est-à-dire une couche d'une centaine de mètres (de 170 à 270 m, ± 40 m). Elle est limitée à la région occidentale (à l'ouest de 140°W), en raison d'incertitudes dans la définition des masses d'eau. L'eau centrale nord-est pacifique (NOPZW, dans le texte) et l'eau centrale nord-ouest pacifique (NWPSW) ont été trouvées dans la région étudiée, tandis que dans l'hémisphère Sud, seule l'eau centrale sud-est pacifique (SOPZW) a été identifiée (aucun indice de l'eau centrale sud-ouest pacifique de Sverdrup n'a pu être décelé dans l'Océan Pacifique tropical). Ces trois masses d'eau rencontrent l'eau équatoriale pacifique (PAW), qui s'écoule vers l'Est dans une bande étroite vers 0-5°S avec le contre-courant équatorial. Le front entre PAW et SOPZW se situe à 5°S. Un autre front à 5-10°N sépare PAW de NWPZW, à l'ouest de 170°W, et de NOPZW à l'est de 170°W. Le front Nord monte du Nord vers le Sud, c'est-à-dire que NWPZW et NOPZW se trouvent au-dessus de PAW. La grande variabilité dans de petites régions où les observations sont nombreuses montre le rôle important des variations dans le temps. Les régions plus vastes, où la densité des données est insuffisante pour une bonne résolution spatiale, montrent une répartition bipolaire des diagrammes indiquant deux positions préférentielles du front, ce qui traduit moins des variations de l'intensité du mélange que des déplacements périodiques du front. Cette alternative ne se rencontre pas avec le front Sud, pour lequel la densité des données est très faible. L'analyse multivariable souffre de la mauvaise qualité des données au nord de l'équateur, tandis qu'au sud de 5°S l'analyse isentropique est très imprécise car les courbes TS pour SOPZW et PAW sont très voisines. Par contre, l'analyse multivariable n'est pas affectée par les incertitudes dans les définitions TS. Elle est à la base de la discussion.

Oceanol. Acta, 1984, 7, 3, 271-288.

EINLEITUNG

Die Wassermassen der ozeanischen Sprungschicht, seit Sverdrup, Johnson und Fleming (1942) als Zentralwasser bezeichnet, stossen im tropischen Ozean auf Wassermassen äquatorialer Herkunft und bilden mit ihnen Temperatur- und Salzgehaltsfronten, die oft dichtekompensiert sind. Lage, Intensität und Veränderlichkeit der Front im Atlantischen Ozean wurden im ersten Teil dieser Arbeit untersucht (Tomczak, 1984). Dort wurden auch Einzelheiten über die verwendeten Methoden (isentropische Analyse und Multiparameter-Analyse) mitgeteilt, und die Aufbereitung des Datenmaterials wurde im Detail beschrieben.

Der vorliegende zweite Teil setzt die Untersuchung für den Indischen und Pazifischen Ozean fort, unter Verwendung derselben Methoden. Der historische Datensatz umfasst 15.598 Stationen in 52 Zehngradfeldern für den Pazifischen Ozean und 1.804 Stationen in 15 Zehngradfeldern für den Indischen Ozean.

Als Abkürzungen für die behandelten Wassermassen werden verwendet: im Indischen Ozean IZW oder ICW

für Indisches Zentralwasser, IÄW oder IEW für Indisches Äquatorialwasser und AAMW für Australasiatisches Mittelmeerwasser; im Pazifischen Ozean NWPZW oder WNPCW für Norwestpazifisches Zentralwasser, NOPZW oder ENPCW für Nordostpazifisches Zentralwasser, SOPZW oder ESPCW für Südostpazifisches Zentralwasser, PAW oder PEW für Pazifisches Äquatorialwasser und AAMW für Australasiatisches Mittelmeerwasser.

DER INDISCHE OZEAN

Definition der Wassermassen

In Sverdrups Darstellung der Wassermassenverteilung wird der südliche Indische Ozean vom Indischen Zentralwasser (IZW) eingenommen, der nördliche Indische Ozean vom Indischen Äquatorialwasser (IÄW). Letzteres zeigt im Osten niedrigere Salzgehalte als im Westen, und Sverdrup bemerkt dazu, "the low-salinity water of temperature higher than 10°C is probably of Pacific

Tabelle 1

Definitionswerte der Wassermassen im Indischen Ozean, Dichtebereich 25.0-27.0 σ_t .

Definition values for central, equatorial and Australasian Mediterranean water in the Indian Ocean, density range 25.0-27.0 σ_t .

Caractéristiques des masses d'eau de l'Océan Indien dans la gamme de densités 25,0 à 27,0 σ_t (IZW, eau centrale; IAW, eau équatoriale; AAMW, eau de la Méditerranée australasienne).

Die aufgeführten Werte sind teilweise Ergebnis linearer Interpolation. Die Bestimmungsgenauigkeit der Geradenendpunkte ist bei allen Parametern eine Dezimale geringer als in der Tabelle.

	σ_t	T (°C)	S (‰)	Ph ($\mu\text{g-at/l}$)	Si ($\mu\text{g-at/l}$)
IZW oben	25.75	20.00	36.273	0.20	2.5
	26.96	9.00	34.773	0.75	4.0
IAW oben	25.20	19.00	35.217	1.68	8.4
	26.80	11.20	35.054		14.6
	27.00	9.96	35.028	2.37	
AAMW oben	25.20	16.63	34.433	1.20	33.9
	26.80	9.00	34.566		52.5
	27.00	7.80	34.587	1.98	

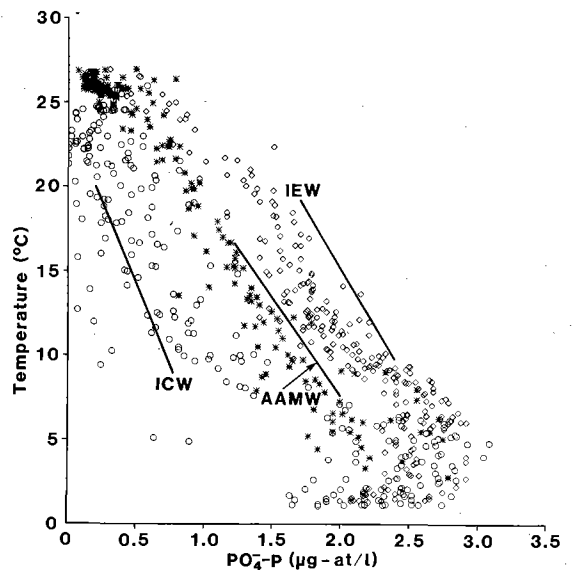
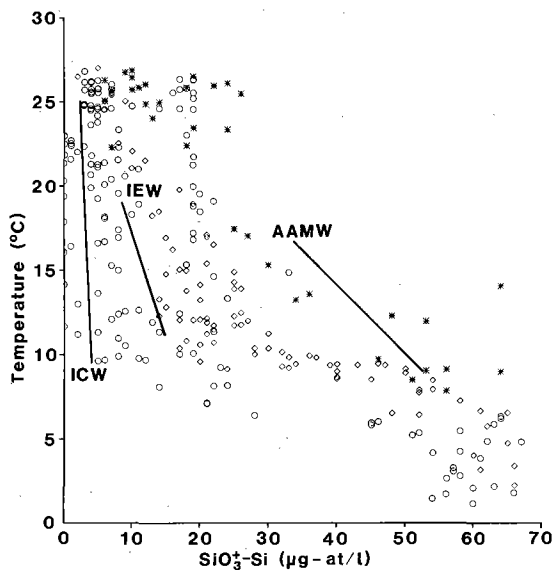
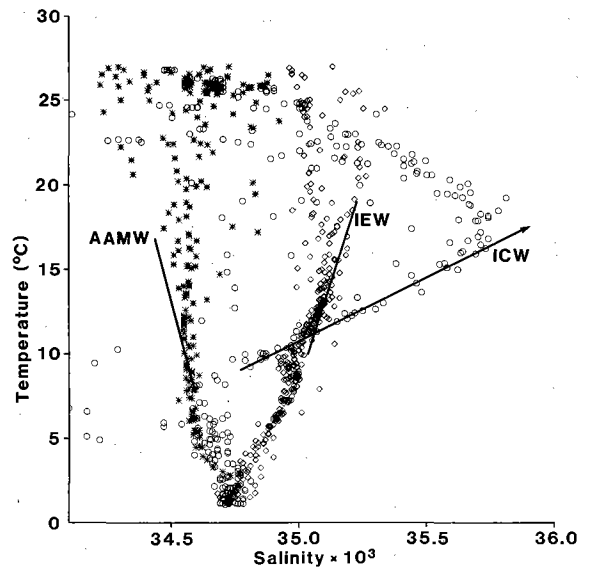


Abbildung 1

TS-, TPh- und TSi-Diagramme für den tropischen Indischen Ozean. Die Geraden zeigen die Definitionskurven für IZW, IAW und AAMW. Die Daten sind von 0-2°S, 82-87°O (□, Region 9; 16-20°S, 90-98°O (○, Region 22); und 10-15°S, 122-125°O (☆, Region 15).

Diagrams of temperature against salinity, phosphate and silicate in the tropical Indian Ocean. The lines show definition curves of ICW, IEW and AAMW. Data from are from 0-2°S, 82-87°E (squares, region 9); 16-20°S, 90-98°E (circles, region 22) and 10-15°S, 122-125°E (asterisks, region 15).

Diagrammes de salinité, phosphate et silicate en fonction de la température dans l'Océan Indien tropical. Les lignes caractérisent les eaux centrales (ICW), équatoriale (IEW) et de Méditerranée australasienne (AAMW). Les données proviennent de 0-2° Sud, 82-87° Est (carrés, région 9); de 16-20° Sud, 90-98° Est (cercles, région 22); et de 10-15° Sud, 122-125° Est (astérisques, région 15).

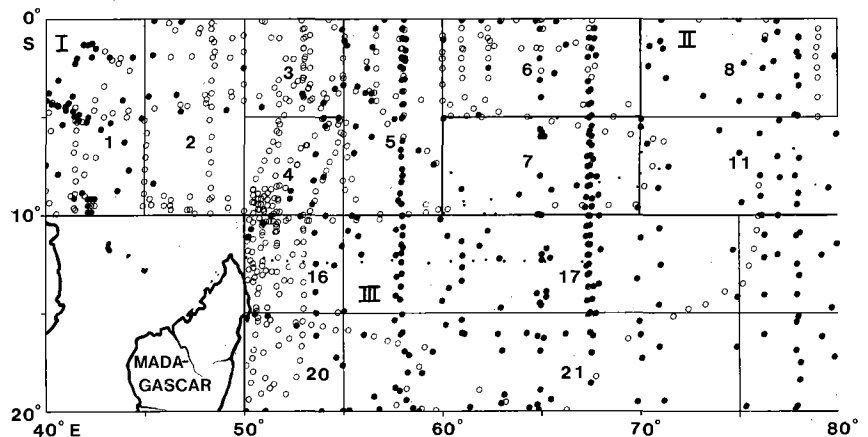


Abbildung 2

Untersuchungsgebiet, Stationsverteilung und Aufteilung in Areale I (Regionen 1-6), II (Regionen 7-15) und III (Regionen 16-23). Offene Kreise: Stationen mit Phosphatbeobachtungen. Volle Kreise: Stationen mit Silikatbeobachtungen. Gebiete, in denen die Stationsdichte für Einzeldarstellung zu gross ist, sind schraffiert.

origin, and if a more detailed study were to be made it would be necessary to subdivide the regions" (Sverdrup *et al.*, 1942 S. 692). Neuere Beobachtungen (Tchernia, Lizeray, 1960; Rochford, 1964) haben diese Auffassung bestätigt und die Existenz einer besonderen Wassermasse im östlichen tropischen Indischen Ozean nachgewiesen. In der Literatur wird sie seitdem als Bandawasser, Banda-Zwischenwasser oder Indo-australisches Wasser bezeichnet. Da ihr Entstehungsgebiet das Australasiatische Mittelmeer ist, soll sie hier, in Analogie zum Mittelmeerwasser des Atlantischen Ozeans, als Australasiatisches Mittelmeerwasser (AAMW) bezeichnet werden.

Die Definitionswerte der vier Parameter T, S, Ph und Si für IZW, IÄW und AAMW sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Abbildung 1 vergleicht die Definitionen der drei Wassermassen mit Beobachtungen vom Osten, Süden und Nordwesten des Untersuchungsgebietes. Die TS-Definitionen für IZW und IÄW sind eindeutig und entsprechen bis auf geringfügige Verschiebung den von Sverdrup angegebenen; in den volumetrischen Diagrammen des IIOE-Atlas (Wyrcki, 1971) sind IZW und IÄW als Schwerpunkte der Verteilung südlich bzw. nördlich von 10°S zu erkennen. Die TS-Definition für AAMW entspricht den Beobachtungen von Tchernia und Lizeray (1960) und Rochford (1964). TS-Diagramme von Gallagher (1966) legen eine Definition mit konstantem Salzgehalt von etwa 34,7‰ nahe, wenn man die niedrigen Salzgehalte oberhalb von 20°C als atmosphärisch beeinflusst ausschließt. Ähnliche Werte werden von Beobachtungen im östlichen Pazifischen Ozean, wo AAMW in geringen Mengen auftritt, nahegelegt. Die Definition muss deshalb als vorläufig betrachtet werden.

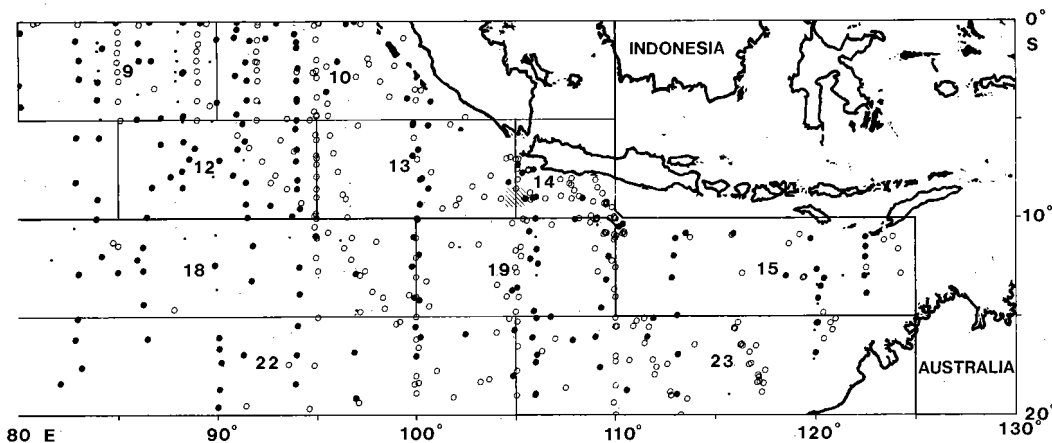
Die Datenkontrolle (vergl. hierzu Tomczak, 1984) erfolgte im Areal I mit Hilfe der Definitionen für IÄW und IZW, in Areal II mit Hilfe von IÄW und AAMW und in Areal III mit Hilfe von IZW und AAMW. Die Verschiebung der Kurven entlang der x-Achse betrug bei Phosphat 0,15 und bei Silikat 2,0 µg-at/l, beim

Salzgehalt 0,067‰ in Areal II und (wegen der starken Neigung der TS-Kurve von IZW) 0,1‰ in den Arealen I und III. Die Definition der Areale erfolgt im nächsten Abschnitt.

Datenverteilung

Geht man von Sverdrups Darstellung der Wassermassenverteilung aus, dann ist die innere Front zwischen IZW und IÄW im Gebiet 0-20°S zu erwarten. Ivanov-Franckevic (1961) bestätigt dieses Bild; Kuksa (1972) und Colborn (1975) erweitern es, indem sie das Gebiet nördlich der Front in IÄW und AAMW untergliedern, wobei die Lage der Front selbst unverändert bleibt. Der zonale Streifen 0-20°S wurde deshalb als Grundlage für diese Untersuchung gewählt. Abbildung 2 zeigt das Untersuchungsgebiet, die Verteilung der Stationen im untersuchten Dichtebereich, und die Einteilung des Gebietes in 3 Areale und 23 Regionen. Die Areale fassen Regionen zusammen, in denen eine der drei beobachteten Wassermassen gegenüber den beiden anderen von jeweils untergeordneter Bedeutung ist. Auf diese Weise wird es möglich, isentrope Analyse und Multiparameter-Analyse mit drei Parametern anzuwenden: In jedem Areal wird die jeweils untergeordnete Wassermasse vernachlässigt und die Vermischung als ein Prozess zwischen den beiden verbleibenden Wassermassen betrachtet.

Das Gebiet besonders hoher Datendichte in den Regionen 13 und 14 ist auf wiederholte Probennahme in der Nähe von 9°S, 105°E durch verschiedene Schiffe während der Jahre 1962-1964 zurückzuführen. Eine Übersicht über die Gesamtzahl der Stationen und Beobachtungen je Region gibt Abbildung 3, bei der die Skalen so gewählt sind, dass gleich hohe Säulen links und rechts eine durchschnittliche Datendichte von vier Proben je Station – oder bei einer vertikalen Ausdehnung von etwa 300 m einen mittleren Probenabstand von 75 m – anzeigen. Die Kriterien für das Ausschneiden von Beobachtungen sind in den drei Arealen ver-



The investigation area in the Indian Ocean, showing station positions and definition of areas I (sub-areas, or "regions", 1-6), II (regions 7-15), and III (regions 16-23). Open circles: stations with phosphate observations. Full circles: stations with phosphate and silicate observations. Dots: stations with silicate observations. Shaded areas are areas of very high data density where individual station positions are not shown.

Zone de travail, répartition des stations et découpage en zone I (régions 1 à 6), zone II (régions 7 à 15) et zone III (régions 16 à 23). Cercle blanc: stations de mesure de phosphate et silicate. Points: stations de mesure de silicate. Les hachures représentent des aires où les stations sont trop nombreuses pour être présentées individuellement.

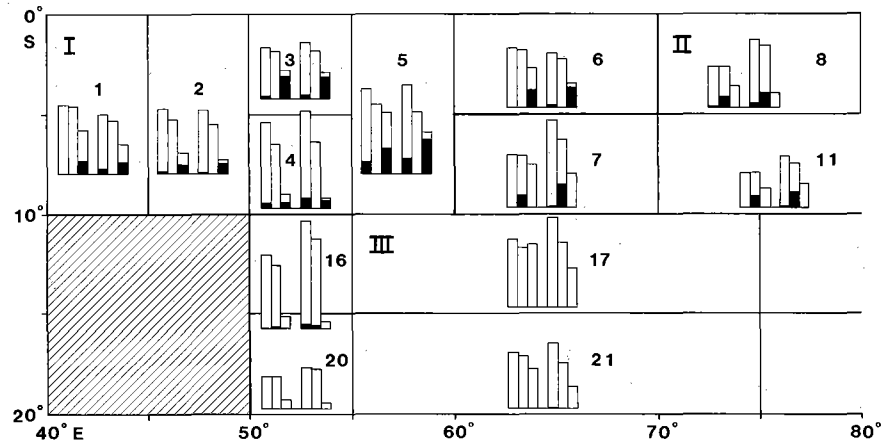


Abbildung 3

Zahl der Stationen (links) und Beobachtungen (rechts) in den Regionen. Im Qualitätstest zurückgewiesene Stationen und Beobachtungen sind als volle Säulen dargestellt; sie sind in Abbildung 2 nicht enthalten. Die Angaben beziehen sich auf folgende Dichtebereiche: Areal I: $25.74 \leq \sigma_t \leq 26.75$, Areal II: $25.2 \leq \sigma_t \leq 27.0$ für S und Ph, $25.2 \leq \sigma_t \leq 26.8$ für Si, Areal III: $25.74 \leq \sigma_t \leq 27.0$ für S und Ph, $25.75 \leq \sigma_t \leq 26.8$ für Si. Die rechte Verteilung in Region 15 ergibt sich, wenn die Datenkontrolle wie in Areal III durchgeführt wird (Den Ergebnissen liegt die linke Verteilung zugrunde).

Data distribution in regions defined for the Indian Ocean. The left columns give the number of stations with observations of temperature and salinity (S), phosphate (P) and silicate (Si), respectively, the right columns give the number of observations for the density range studied. Density ranges are defined in area I as $25.74 \leq \sigma_t \leq 26.75$; in area II as $25.2 \leq \sigma_t \leq 27.0$ for S and P and $25.2 \leq \sigma_t \leq 26.8$ for S and Si; in area III as $25.75 \leq \sigma_t \leq 27.0$ for S and P and $25.75 \leq \sigma_t \leq 26.8$ for S and Si. Data were quality-screened against IEW and ICW (i.e. assuming negligible influence of

schieden; sie folgen aus den im letzten Abschnitt beschriebenen Festlegungen für die Datenkontrolle. Die vertikale Ausdehnung des erfassten Ausschnitts der Wassersäule ist in Tabelle 2 zusammengestellt. Der vollständige Bereich $25.2 \leq \sigma_t \leq 27.0$ wird nur in Areal II erfasst; in den beiden anderen Arealen setzt die Definition von IZW die obere Grenze mit $\sigma_t = 25.75$ fest, und in Areal I laufen die TS-Kurven von

IZW und IÄW am unteren Ende zusammen, so dass die Analyse auf $\sigma_t \leq 26.75$ beschränkt bleibt. Legt man den Bereich $25.6 \leq \sigma_t \leq 26.8$ zugrunde, dann ergibt sich eine vertikale Ausdehnung von 120-170 m, mit niedrigsten Werten im Nordwesten und grösseren Werten im Osten. Die grössten Werte werden mit 190 m (Region 20) und 235 m (Region 21) im Südwesten erreicht. Ober- und Untergrenze des Untersuchungsbe-

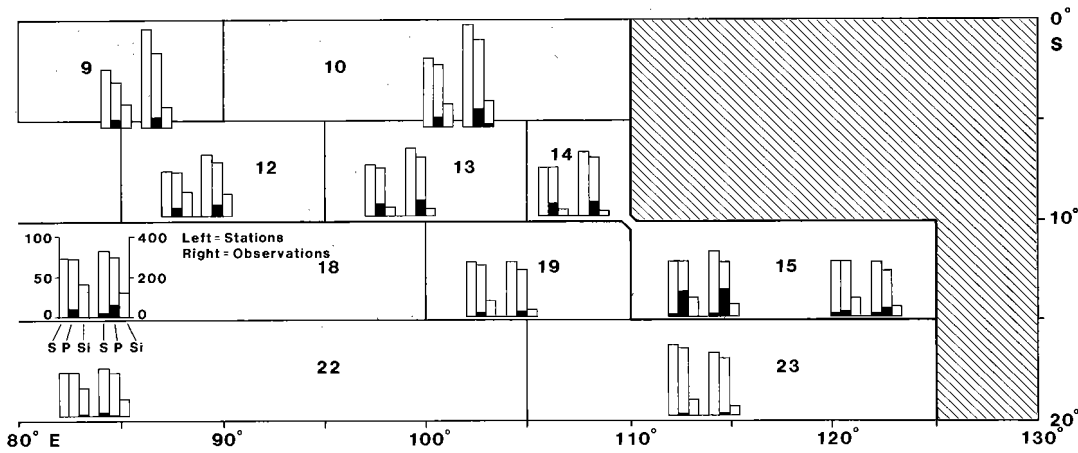
Tabelle 2

Mittlere Tiefenlage der Dichtehorizonte, Standardabweichung und Dicke Δz der Schicht mit dem grössten gemeinsamen Dichtebereich, Indischer Ozean.

Mean depth of the density layers used in the analysis, standard deviation, and thickness Δz of the largest density range common to all areas in the Indian Ocean.

Profondeur moyenne des couches isopycnes, écart-type et épaisseur Δz de la couche présentant la plus grande gamme de densité, commune à toutes les zones de l'Océan Indien.

Region	[25.2,25.4[[25.4,25.6[[25.6,25.8[[25.8,26.0[[26.0,26.2[[26.2,26.4[[26.4,26.6[[26.6,26.8[[26.8,27.0]	Δz (m)	
I	1		148 ± 40	157 ± 37	174 ± 35	189 ± 38	213 ± 38	268 ± 48		120	
	2		142 ± 29	142 ± 22	157 ± 25	176 ± 32	220 ± 32	279 ± 35		137	
	3		133 ± 28	142 ± 26	159 ± 32	191 ± 33	234 ± 44	282 ± 40		149	
	4		121 ± 20	129 ± 22	143 ± 29	168 ± 28	206 ± 31	264 ± 34		143	
	5		133 ± 30	128 ± 25	148 ± 32	174 ± 33	215 ± 37	266 ± 40		133	
	6		135 ± 22	152 ± 24	169 ± 26	191 ± 21	228 ± 32	276 ± 31		141	
II	7	94 ± 19	106 ± 21	130 ± 22	132 ± 22	161 ± 26	185 ± 30	224 ± 35	289 ± 41	411 ± 64	160
	8	131 ± 14	124 ± 17	147 ± 12	154 ± 17	163 ± 17	186 ± 24	212 ± 20	278 ± 37	399 ± 56	132
	9	133 ± 20	139 ± 13	143 ± 12	157 ± 18	172 ± 24	185 ± 24	219 ± 35	286 ± 40	412 ± 51	142
	10	133 ± 13	139 ± 14	149 ± 19	155 ± 22	166 ± 21	182 ± 26	214 ± 32	280 ± 40	413 ± 60	131
	11	114 ± 18	132 ± 18	146 ± 28	159 ± 27	189 ± 27	205 ± 30	247 ± 39	323 ± 58	438 ± 72	178
	12	135 ± 15	147 ± 16	156 ± 22	180 ± 25	192 ± 26	212 ± 29	250 ± 31	301 ± 41	421 ± 59	145
	13	183 ± 156	157 ± 34	186 ± 112	222 ± 173	193 ± 22	216 ± 40	247 ± 29	312 ± 48	436 ± 61	126
	14	141 ± 18	143 ± 9	162 ± 18	177 ± 24	190 ± 18	224 ± 36	263 ± 43	335 ± 68	464 ± 80	172
	15	176 ± 28	182 ± 28	197 ± 30	225 ± 27	230 ± 27	268 ± 27	296 ± 27	367 ± 38	453 ± 44	170
	III	16		162 ± 21	170 ± 32	199 ± 32	218 ± 39	264 ± 38	329 ± 43	448 ± 61	167
17			159 ± 25	175 ± 27	197 ± 26	224 ± 33	271 ± 38	330 ± 45	453 ± 62	172	
18			187 ± 20	198 ± 33	226 ± 32	252 ± 37	284 ± 29	356 ± 45	455 ± 54	169	
19			205 ± 16	219 ± 25	231 ± 24	269 ± 25	300 ± 30	372 ± 37	457 ± 43	167	
20			218 ± 18	229 ± 39	257 ± 29	287 ± 38	337 ± 35	407 ± 64	553 ± 73	190	
21			205 ± 16	246 ± 27	256 ± 30	291 ± 28	347 ± 34	440 ± 65	583 ± 87	235	
22			239 ± 31	218 ± 37	245 ± 36	286 ± 46	279 ± 38	373 ± 54	511 ± 72	135 (?)	
23			221 ± 30	240 ± 26	254 ± 17	284 ± 17	308 ± 32	380 ± 30	467 ± 41	159	



AAMW) in area I, against IEW and AAMW in area II and against ICW and AAMW in area III. The right distribution in region 15 is obtained if screening for the region is done as in area III (in the following, the data from the left distribution are used). Black areas in the columns indicate stations or observations rejected during screening (these stations are not included in Figure 2).

Répartition des données dans les régions considérées de l'Océan Indien. Les colonnes de gauche indiquent le nombre de stations de mesure de température et de salinité (S), phosphate (P) et silicate (Si); les colonnes de droite indiquent le nombre de mesures dans la gamme de densité considérée. Les gammes de densité vont de 25,74 à 26,75 dans la zone I; dans la zone II de 25,2 à 27,0 pour S et P et de 25,2 à 26,8 pour S et Si; dans la zone III de 25,75 à 27,0 pour S et P et de 25,72 à 26,8 pour S et Si. La répartition de droite dans la région 15 est obtenue comme pour la zone III (dans la suite, les données de la répartition de gauche sont utilisées). En noir, stations ou mesures rejetées avant l'analyse (ces stations ne sont pas représentées sur la figure 2).

reichs liegen im Norden hoch und im Süden tief, ein Zeichen, dass die Front mit kräftiger geostrophischer Strömung gekoppelt ist.

Ergebnisse

Die Ergebnisse der isentropen Analyse, zusammengefasst in Dichteklassen mit einer Klassenbreite von $\Delta\sigma_t = 0.2$ und beginnend mit $25.2 \leq \sigma_t < 25.4$, sind in Abbildung 4 dargestellt. Grundlage der Analyse sind alle Stationen der Abbildung 2. Die Zahl der Beobachtungen je Dichteklasse ist jeweils rechts angegeben (Die tatsächlichen Schranken für die erste und letzte besetzte Dichteklasse sind in den drei Arealen verschieden und entsprechen den im letzten Abschnitt angegebenen Grenzen).

Areal I wird weitgehend von IÄW beherrscht. IZW-Anteile von 15-25% in Regionen 1, 2 und 3 deuten auf Advektion von IZW entlang der Westseite des Areals hin. Am Ostrand des Areals (Regionen 5 und 6) ist IÄW praktisch die einzige vorhandene Wassermasse, und dasselbe gilt für den Westrand des Areals II (Region 8, und mit Einschränkungen Region 7). Der Wechsel von Areal I zu Areal II (d.h. die Ersetzung von IZW durch AAMW in der Analyse) ist also kontinuierlich und die Interpretation des Ergebnisses in den beiden Arealen als Darstellung der tatsächlichen Verteilung von IÄW, IZW und AAMW gerechtfertigt. Am Südrand der beiden Areale ist die Situation weniger eindeutig. In Areal I trifft man in Regionen 4 und 5 noch fast unvermishtes IÄW, und auch im Südteil von Areal II sinkt [IÄW] selten unter 50%. Es ist offensichtlich, dass in Areal III neben IZW und AAMW auch IÄW vorhanden ist. Die Darstellung von [IZW] in Areal III, die das Ergebnis isentroper Analyse unter Ausschluss von IÄW ist, kann daher nicht der Wirklichkeit entsprechen. Einen qualitativen Eindruck von der

Verteilung aller Wassermassen erhält man, wenn man berücksichtigt, dass die TS-Kurve für IÄW im betrachteten Dichtebereich zwischen den TS-Kurven für IZW und AAMW liegt (Abb. 1) und IÄW deshalb formal als isentrope Kombination aus IZW und AAMW dargestellt werden kann. Diese formale Darstellung ist in Abbildung 4 als punktierte Kurve eingetragen. Abweichungen nach rechts deuten auf Beimischungen von IZW hin, Abweichungen nach links auf Beimischungen von AAMW.

Die Streuung ist am grössten zwischen 5°S und 15°S und nimmt generell von Westen nach Osten zu. Es ist wahrscheinlich, dass die halbjährliche Umkehr des Strömungssystems im nördlichen Indischen Ozean und eine damit einhergehende Verlagerung der Grenzen zwischen den verschiedenen Wassermassen im tropischen Bereich zu der beobachteten Streuung beitragen. Dabei handelt es sich jedoch um einen regelmässigen Wechsel von einem Zustand zu einem anderen, der sich in der Streuung durch zwei Schwerpunkte der Verteilung ausdrücken sollte. Nur in Region 11 sind Anzeichen für eine solche Verteilung zu erkennen. In den übrigen Regionen scheint der halbjährliche Wechsel der Zirkulation für die Verteilung der Wassermassen von untergeordneter Bedeutung zu sein. Am geringsten ist er in Areal I, das durchgehend von IÄW beherrscht wird.

Die Ergebnisse der Multiparameter-Analyse leiden unter mangelhaften Definitionen der Nährstoffparameter in den unvermischten Wassermassen. In Areal II zeigt schon die hohe Zahl der zurückgewiesenen Phosphatdaten (Abb. 3), dass bei einer der beiden Wassermassen die Ph-Definition problematisch ist. Multiparameter-Analyse für T, S und Ph führt damit zu unbrauchbaren Ergebnissen. Dieselbe Analyse für T, S und Si ergibt gute Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen der isentropen und der Multiparameter-Analyse; für weitergehende Schlussfolgerungen ist die Zahl der Si-Beobachtungen zu gering. Eine Zusammenfassung des Ergebnisses gibt Tabelle 3.

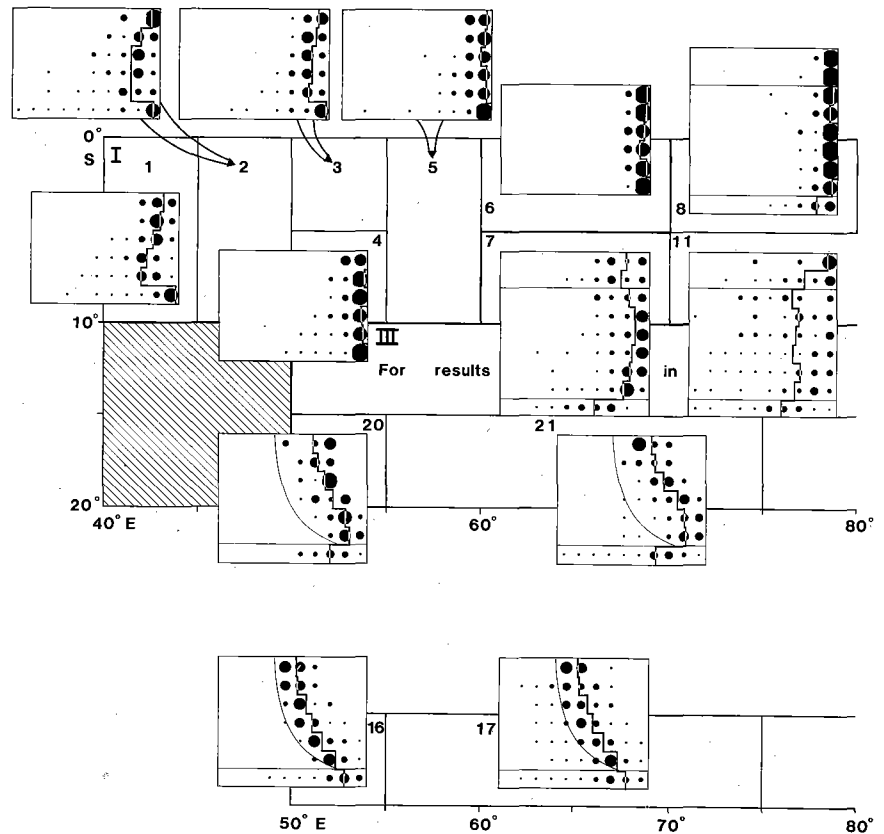


Abbildung 4

Verteilung der Anteile von IZW, IÄW und AAMW an den Beobachtungen. Dargestellt ist der Anteil der Beobachtungen je [Wassermassen]-Intervall und σ_t -Intervall in Prozent aller Beobachtungen im σ_t -Intervall. Die Analyse erfolgt in jedem Areal für jeweils zwei Wassermassen (unter Ausschluss der dritten), die sich zu 100% ergänzen: in Areal I für IÄW und IZW, dargestellt ist [IÄW]; in Areal II für IÄW und AAMW, dargestellt ist [IÄW]; in Areal III für IZW und AAMW, dargestellt ist [IZW]. Die Kurve in den Verteilungen von Areal III gibt die theoretische Lösung für IÄW an. Der grösste allen Arealen gemeinsame Dichtebereich ist durch horizontale Linien bei $\sigma_t = 25.6$ und 26.8 gekennzeichnet. Vertikale Linien geben die mittlere Wassermassenverteilung im jeweiligen Dichtebereich an.

Bivariate water mass-density diagram derived from isentropic analysis. For details of presentation, see Tomczak (1984). Analysis is done in area I for IEW against ICW (IEW is shown), in area II for IEW against AAMW (IEW is shown) and in area III for ICW against AAMW (ICW is shown). The curve in the panels of area III shows the theoretical formal representation of IEW as a mixture of ICW and AAMW. The density range 25.6-26.8, which is common to all areas, is marked by horizontal lines. Vertical lines indicate the average water mass distribution in the respective density class.

Im Areal I werden die meisten Silikatbeobachtungen zurückgewiesen, und die verbleibenden Beobachtungen reichen für eine Analyse nicht aus. Die Ursache muss wieder in Mängeln der Definition gesehen werden. Multiparameter-Analyse für T, S und Ph ergibt eine extrem niedrige Zahl an unbrauchbaren Lösungen und für beide Methoden sehr ähnliche Streuungsverteilungen aber systematische Unterschiede in der Lage der Verteilungsschwerpunkte und Mittelwerte. Tabelle 6 fasst die Ergebnisse zusammen.

In Areal III ergibt Multiparameter-Analyse sowohl für S, T und Ph als auch für S, T und Si fast durchgehend gute Lösungen. Bei Silikat ist die Zahl der Beobachtungen für einen weitergehenden Vergleich wieder zu gering. Die Ergebnisse der Analyse für Phosphat sind in Abbildung 5 einander gegenübergestellt.

Diskussion

Das Strömungssystem des tropischen Indischen Ozeans wird ganzjährig vom Südäquatorialstrom und vom

äquatorialen Gegenstrom beherrscht. Die Existenz einer hydrographischen Front im Grenzgebiet zwischen ihnen ist in zahlreichen Veröffentlichungen dokumentiert. Sie kann bis zu Tiefen von 2000 m verfolgt werden; ihr Einfluss auf das Strömungsfeld ist bis zu 1000 m Tiefe nachgewiesen worden (Ivanov-Franckevic, 1961). Für IZW und AAMW, die Wassermassen auf der Südseite der Stromgrenze, ergibt sich damit eine Bewegung von Osten nach Westen, für IÄW auf der Nordseite eine Bewegung von Westen nach Osten, in Übereinstimmung mit den Vorstellungen über den Entstehungsprozess der letzten beiden Wassermassen.

Qualitative Beschreibungen der Wassermassenverteilung im Indischen Ozean gehen von der Strömungsverteilung aus und versuchen eine Abgrenzung der Gebiete von IZW, AAMW und IÄW mit Hilfe von TS-Diagrammen. Gallagher (1966) bestimmt auf diese Weise die Grenze zwischen IZW und AAMW bei etwa 15°S, zwischen IZW und IÄW bei 5°S, zwischen IÄW

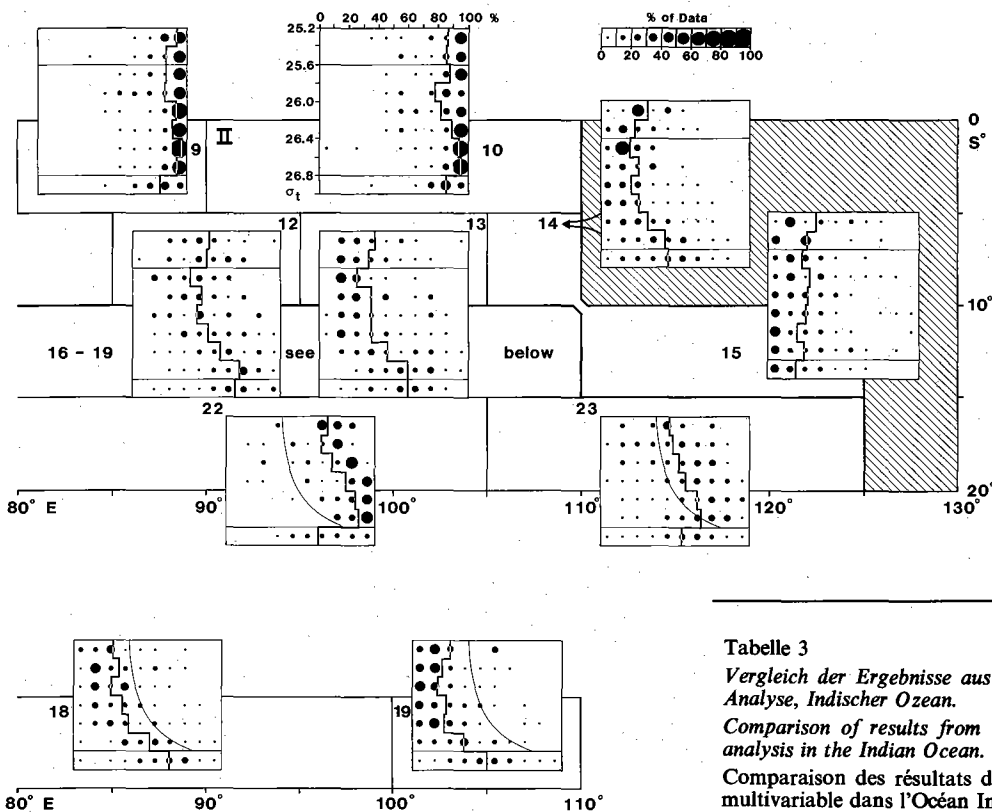


Diagramme masse d'eau-densité, d'après l'analyse isentropique. Pour les détails de présentation, voir Tomczak (1984). Dans chaque zone, l'analyse s'applique à deux masses d'eau (à l'exclusion de la troisième) qui se complètent à 100%. On a ainsi dans la zone I les eaux indiennes équatoriale (représentée sur le diagramme) et centrale; dans la zone II, les eaux équatoriale (représentée) et AAMW; dans la zone III, les eaux centrale (représentée) et AAMW. La courbe théorique de la zone III représente l'eau équatoriale comme un mélange des eaux centrale et AAMW. Les lignes horizontales correspondent à la gamme de densité 25,6-26,8, qui est commune à toutes les zones. Les lignes verticales indiquent la répartition moyenne des masses d'eau dans la gamme de densité considérée.

und AAMW bei 2-3°S, und die westliche Grenze von AAMW zu 72°O. Im Atlas der Ozeane (Gorshkov, 1977; identisch mit Kuksa, 1972) und bei Colborn (1975) befindet sich die Grenze zwischen IÄW und sowohl IÄW als auch AAMW durchgehend bei 15°S, und die westliche Grenze von AAMW verläuft von Südwesten nach Nordosten, im Atlas der Ozeane von 15°S, 65°O nach 5°S, 80°O und bei Colborn von 15°S, 90°O nach 5°S, 100°O. Innerhalb dieser Grenzen werden die Gebiete als von jeweils einer Wassermasse beherrscht betrachtet.

Isentrope Analyse erlaubt eine quantitative Darstellung der Wassermassenverteilung, wenn es gelingt, die Annahme der Isentropie zu rechtfertigen. Für Areal III ist sie durch die gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Multiparameter-Analyse (Abbildung 5) wenigstens im Osten bestätigt. Für die Areale I und II sind eindeutige Aussagen nicht möglich. Die systematischen Abweichungen zwischen den Ergebnissen beider Methoden in Areal II (Tabelle 3) können auf mangelhafte Ph-Definition in einer der beiden beteiligten Wassermassen zurückzuführen sein.

Tabelle 3
 Vergleich der Ergebnisse aus Multiparameter-Analyse und isentropischer Analyse, Indischer Ozean.
 Comparison of results from isentropic analysis and multi-parameter analysis in the Indian Ocean.
 Comparaison des résultats de l'analyse isentropique et de l'analyse multivariable dans l'Océan Indien : n₁ : nombre de données utilisées; n₂ : nombre de données rejetées; Δ[IÄW]*, différence moyenne entre l'analyse multivariable et l'analyse isentropique.

n₁ : Zahl der benutzten Beobachtungen
 n₂ : Zahl der ausgeschiedenen Beobachtungen
 Δ[IÄW]* : Mittlere Differenz Multiparameter-Analyse minus isentropische Analyse

	Region	n ₁	n ₂	Δ[IÄW]*
I	1	94	216	0
	2	57	198	-8
	3	10	112	-3
	4	1	106	14
II	5	121	55	-3
	6	90	111	-2
	7	69	91	-4
	8	116	132	-5
	9	126	493	-5
	10	52	130	-7
	11	50	132	-8
	12	24	262	-8
	13	35	183	-8

	Region	n ₁	n ₂	Δ[IÄW]*
I (T, S und Ph)	1	235	8	-42
	2	233	3	-35
	3	214	3	-28
	4	278	2	-45
	5	227	3	-41
	6	234	1	-28
II (T, S und Si)	7	126	40	7
	8	73	42	8
	9	57	47	8
	10	72	47	4
	11	79	24	6
	12	62	43	1
	13	44	13	-0
	14	1	1	1
	15	44	17	4

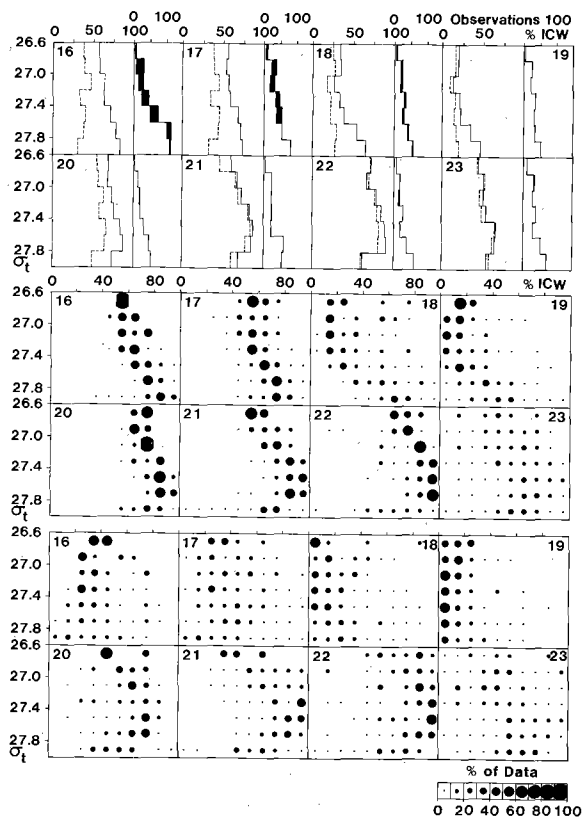


Abbildung 5

[IZW]^o und Streuung von [IZW] in Areal III. Isentrope Analyse: — und mittleres Bild. Multiparameter-Analyse: und unteres Bild. Die verwendeten Stationen sind in Abbildung 2 dargestellt. Die Zahl der von der Multiparameter-Analyse ausgeschlossenen Beobachtungen ist im oberen Bild schwarz eingetragen; die Berechnung erfolgt mit IZW und AAMW.

Comparison of results from isentropic analysis (full lines and centre part) and multi-parameter analysis (broken lines and lower part) for area III. Analysis is done for ICW against AAMW, presentation is for ICW and follows the presentations of Figure 4. The numbers refer to the regions, the stations used are shown in Figure 2. The number of observations in each density class is shown in the right parts of the upper panels; the amount of observations rejected by multi-parameter analysis is indicated in black. The large difference between results from both methods in the north-western regions is most likely due to the presence of IEW which is not accounted for in the analysis.

Comparaison des résultats de l'analyse isentropique (en trait plein, au centre) et de l'analyse multivariable (en trait interrompu, en bas) pour la zone III. L'analyse s'applique aux eaux indienne centrale et AAMW; la présentation montre l'eau centrale, comme sur la figure 4. Les nombres indiquent les régions; les stations de mesure sont présentées sur la figure 2. Le nombre d'observations dans chaque classe de densité figure sur la droite des schémas, en haut; le nombre d'observations rejetées par l'analyse multivariable est indiqué en noir. La grande différence entre les résultats des deux méthodes dans les régions du Nord-Ouest est probablement due à la présence de l'eau équatoriale, qui n'est pas prise en compte dans l'analyse.

Andererseits ist Colborn (1975) nach einer Untersuchung der Sauerstoff-Verteilung zu dem Schluss gekommen, dass die Verbreitung des IZW advektiv erfolgt, während im Norden vertikale Vermischung nicht vernachlässigbar ist. Dieses Problem bedarf näherer Untersuchung. In erster Näherung kann davon ausgegangen werden, dass die Abbildung 4 die Verteilung in Areal III quantitativ und in den beiden anderen Arealen qualitativ korrekt darstellt.

Schwierigkeiten für die quantitative Analyse stellen sich in dem Gebiet, wo die drei Areale zusammenstossen und die gleichzeitige Beteiligung aller drei Wassermas-

sen am Vermischungsprozess am wahrscheinlichsten ist. Es sind dies vor allem die Regionen 16 und 17, wo die Diskrepanz zwischen den Ergebnissen beider Methoden am grössten ist und zahlreiche Beobachtungen von der Multiparameter-Analyse zurückgewiesen werden (Abbildung 5), aber auch die Regionen 7-9, die im Areal III die grössten $\Delta[\text{IÄW}]$ -Werte aufweisen. Abbildung 6 zeigt TS-Diagramme von Stationen aus zwei dieser Regionen und der dazwischen liegenden Region 11. Region 8 wird im allgemeinen durch IÄW beherrscht. Beimischungen von AAMW werden jedoch beobachtet, und im unteren Tiefenbereich gibt es Anzeichen für Einfluss von IZW. In Region 11 ist die Situation ähnlich, aber der AAMW-Anteil ist trotz der westlicheren Lage der Region grösser, wobei hier und auch in Region 10 oft eine dreifache Lagerung, von AAMW über IÄW über IZW, beobachtet wird (IZW tritt dabei meist erst unterhalb des untersuchten Bereichs auf, so dass sich seine Gegenwart auf die Ergebnisse hier kaum auswirkt). Region 17 zeigt dagegen überwiegend TS-Kurven, die als Kombination von IZW und IÄW mit geringen Beimischungen von AAMW gedeutet werden könnten. Wie die tatsächliche Zusammensetzung ist, ist aus den vorliegenden Ergebnissen nicht erkennbar. Die Diskrepanz zwischen den Ergebnissen in Abbildung 5 zeigt jedenfalls, dass die in Abbildung 4 gezeigte formale Darstellung von IÄW durch IZW und AAMW bei der quantitativen Beurteilung nicht hilft.

Zusammenfassend muss man feststellen, dass eine quantitative Analyse in den Regionen 16 und 17, und bei Anlegung strenger Massstäbe auch in den Regionen 18 und 20, nur unter Einbeziehung aller drei Wassermassen möglich ist.

Von diesen Regionen abgesehen, ergibt die Analyse für den Indischen Ozean folgendes Bild. IZW bildet mit AAMW im Osten und IÄW im Westen eine bei etwa 15°S verlaufende, von Süden nach Norden abfallende Front. AAMW breitet sich in einem zonalen Streifen zwischen 5°S und 15°S nach Westen hin aus; Beimischungen sind bis 60°O auszumachen. Beobachtungen in Region 17 legen eine Bewegung der Reste von AAMW nach Süden hin nahe, möglicherweise beeinflusst durch das Südende des Maledivenrückens (Gallagher, 1966). Die vertikale Ausdehnung von AAMW ist gering; meistens breitet es sich oberhalb der anderen Wassermassen aus, doch sind auch Einschübe von AAMW in IÄW hinein beobachtet worden (Abbildung 6b, Station B). Unterhalb des Tiefenbereichs von AAMW setzt sich die Front zwischen IÄW und IZW fort, so dass auch nördlich von 5°S in grösserer Tiefe (oft unterhalb des hier untersuchten Bereichs) noch Beimischungen von IZW erkennbar sind (Abbildung 1, Region 9). Im Westen stossen grössere Mengen von IZW in allen Horizonten des untersuchten Bereichs bis zum Äquator hin vor (Region 1).

Die beobachtete Zunahme der Streuung von Westen nach Osten muss zu einem grossen Teil auf Schwankungen entweder in der Zusammensetzung oder im Volumentransport von AAMW zwischen Indonesien und Australien zurückzuführen sein. Nach Wyrтки (1958) ist der westwärts gerichtete Transport dort zwar beständig, schwankt aber im Volumen zwischen $10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ im

Februar und $2 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ im August. Wie sich diese periodischen Änderungen auf die Lage der Front zwischen AAMW und IÄW auswirken, muss späteren Untersuchungen vorbehalten bleiben. Im vorliegenden Datensatz, der nicht nach Jahreszeiten trennt, sind keine Anzeichen für zwei bevorzugte Zustände zu erkennen.

DER PAZIFISCHE OZEAN

Definition der Wassermassen

Der Pazifische Ozean unterscheidet sich von den anderen beiden Ozeanen unter anderem dadurch, dass Wasser subarktischer und subantarktischer Herkunft auf seiner Ostseite weit zum Äquator hin vordringt und dort noch im Tropengebiet alle hydrographischen Parameter beeinflusst. Sverdrups Darstellung der Wassermassenverteilung zeigt entlang der amerikanischen Küste breite "Übergangszonen" zwischen subarktischem beziehungsweise subantarktischem Wasser und Zentralwasser, die sich bis 20° an den Äquator heran erstrecken. Diese Zonen, die im Prinzip Ausläufer oder Verlängerungen der subtropischen Konvergenz sind, fallen nicht in das Untersuchungsgebiet dieser Arbeit und werden von der Behandlung ausgeschlossen. TS-Diagramme, in denen sich der Einfluss subarktischer oder subantarktischer Wassermassen in besonders niedrigem Salzgehalt bemerkbar macht, lassen derartigen Einfluss bis etwa 140°W nicht ausschliessen. Dieser Meridian wurde deshalb als Ostgrenze des Untersuchungsgebiets gewählt.

Tabelle 4 gibt die Definitionswerte der vier Parameter T, S, Ph und Si für die beteiligten Wassermassen; die Abbildungen 7 und 8 vergleichen die Definitionen mit Beobachtungen aus ausgewählten Bereichen des Untersuchungsgebietes. Während der Atlantische und der Indische Ozean in der Sprungschicht auf jeder Hemisphäre eine einheitliche Wassermasse aufweisen, muss das Zentralwasser des Pazifischen Ozeans auf beiden Seiten des Äquators jeweils in eine östliche und eine westliche Variante untergliedert werden. Nordostpazifisches Zentralwasser (NOPZW) und Nordwestpazifisches Zentralwasser (NWPZW) sind in den hier benutzten Beobachtungen unzweideutig auszumachen, ebenso

Tabelle 4

Definitionswerte der Wassermassen im Pazifischen Ozean, Dichtebereich $25.2\text{-}26.4 \sigma_t$,
 Definition values for central and equatorial water in the Pacific Ocean, density range $25.2\text{-}26.4 \sigma_t$,
 Caractéristiques des masses d'eau de l'Océan Pacifique dans la gamme de densités $25,2$ à $26,4 \sigma_t$ (NOPZW, eau centrale pacifique Nord-Est; NWPZW, eau centrale pacifique Nord-Ouest; SOPZW, eau centrale pacifique Sud-Est; PÄW, eau équatoriale pacifique).

	σ_t	T (°C)	S (‰)	Ph (µg-at/l)	Si (µg-at/l)
NOPZW oben	25.200	18.00	34.882	0.075	2.17
unten	26.036	10.00	33.800	0.580	12.36
(a)	26.177	7.00	33.394		
NWPZW oben	25.200	17.28	34.653	0.380	4.64
unten	26.425	9.00	34.088	1.000	20.50
SOPZW oben	25.349	21.00	36.100	0.107	
unten	25.646	18.00	35.463		0.00
PÄW oben	25.947	13.00	34.400	0.694	2.50
unten	25.200	20.20	35.621	1.560	0.00
unten	26.760	10.00	34.737	3.100	37.62

(a) extrapoliert

Die aufgeführten Werte sind teilweise Ergebnis linearer Interpolation. Die Bestimmungsgenauigkeit der Geradenendpunkte ist bei allen Parametern eine Dezimale geringer als in der Tabelle.

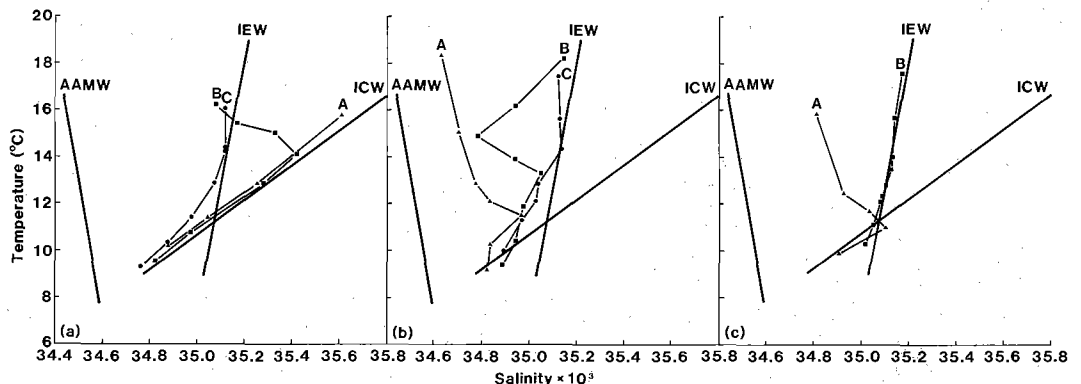
das Pazifische Äquatorialwasser (PÄW). Ihre TS-Definitionen sind mit den von Sverdrup gegebenen nahezu identisch. Masuzawa (1969) gibt ein TS-Diagramm für NWPZW, das ebenfalls den Werten der Tabelle 4 entspricht. Die TS-Definition für PÄW wird von Rougerie (1980) mit Daten aus der Salomonsee für den Temperaturbereich $7\text{-}24^\circ \text{C}$ bestätigt.

Die Beobachtungen auf der Südhalbkugel lassen sich mit bekannten Definitionen weniger in Einklang bringen. Sverdrup *et al.* (1942) unterscheiden Südostpazifisches Zentralwasser (SOPZW) und Südwestpazifisches Zentralwasser (SWPZW). Letzteres ist durch eine TS-Gerade von 7°C , 34.5‰ nach 17°C , 35.7‰ definiert und auch in neueren Untersuchungen nachgewiesen worden (zum Beispiel in Tomczak, 1981). Die im hier behandelten Datensatz beobachteten Salzgehalte im Südwestpazifik sind eindeutig niedriger; sie sind sogar niedriger als die von Sverdrup für SOPZW gegebenen, die dort die niedrigsten Salzgehalte in der Sprungschicht überhaupt sind. Es ist möglich, dass Sverdrups Abgrenzung von SOPZW und SWPZW korrigiert und die für SOPZW angegebenen Salzgehalte erniedrigt wer-

Abbildung 6

Beobachtungen aus (a) Region 17, (b) Region 11 und (c) Region 8.
 (a) Station A: 6.6.1965; $19^\circ 56' \text{S}$, $59^\circ 40' \text{O}$. Station B: 17.2.1960; $5.4.1968$; $11^\circ 04' \text{S}$, $60^\circ 17' \text{O}$.
 (b) Station A: 13.10.1962; $08^\circ 05' \text{S}$, $77^\circ 05' \text{O}$. Station B: 15.12.1960; $05^\circ 41' \text{S}$, $73^\circ 59' \text{O}$. Station C: 5.11.1965; $07^\circ 35' \text{S}$, $76^\circ 03' \text{O}$.
 (c) Station A: 8.12.1963; $04^\circ 57' \text{S}$, $77^\circ 59' \text{O}$. Station B: 10.7.1962; $00^\circ 03' \text{S}$, $76^\circ 56' \text{O}$.

Observations from a) region 17, b) region 11 and c) region 8.
 Observations de a) région 17; b) région 11; c) région 8.



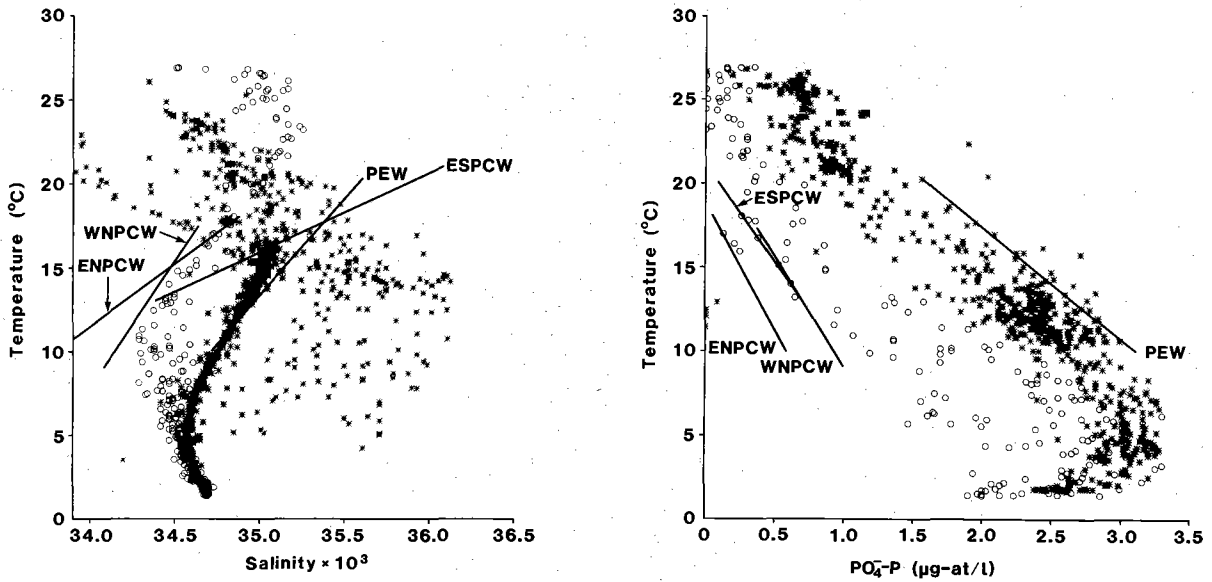


Abbildung 7

TS- und TPh-Diagramme für den tropischen Pazifischen Ozean. Die Geraden zeigen die Definitionsgeraden für NOPZW, NWPZW, SOPZW und PÄW. Die Daten zeigen Stationen mit überwiegend NWPZW (○, entnommen dem Gebiet 10-15°N, 140-145°O in Region 5) und PÄW (*, aus 0-2°S, 168-172°O in Region 12 für das TS-Diagramm und aus 5-10°S, 90-100°W – ausserhalb des hier untersuchten Gebietes – für des TPh-Diagramm).

Diagrams of temperature against salinity and phosphate in the tropical western Pacific Ocean. The lines show definition curves of ENPCW, WNPCW, ESPCW and PEW. Data shown are from stations with predominantly WNPCW (circles, taken from 10-15°N, 140-145°E in region 5) and from stations with predominantly PEW (asterisks, taken from 0-20°S, 168-172°E in region 12 for the TS-diagram and from 5-10°S, 90-100°W – outside the investigation area – for the TPh-diagram).

Diagrammes de salinité et phosphate en fonction de la température dans la partie occidentale de l'Océan Pacifique tropical. Les lignes caractérisent les eaux centrales pacifiques Nord-Est (ENPCW), Nord-Ouest (WNPCW), Sud-Est (ESPCW) et équatoriale pacifique (PEW). Les données viennent de stations où prédomine l'eau centrale Nord-Ouest (cercles, de 10-15°N, 140-145°E dans la région 5) et de stations où prédomine l'eau équatoriale (astérisques, de 0-20°S, 168-172°E dans la région 12 pour le diagramme T-S et de 5-10°S, 90-100°W – en dehors de l'aire de travail – pour le diagramme température-phosphate).

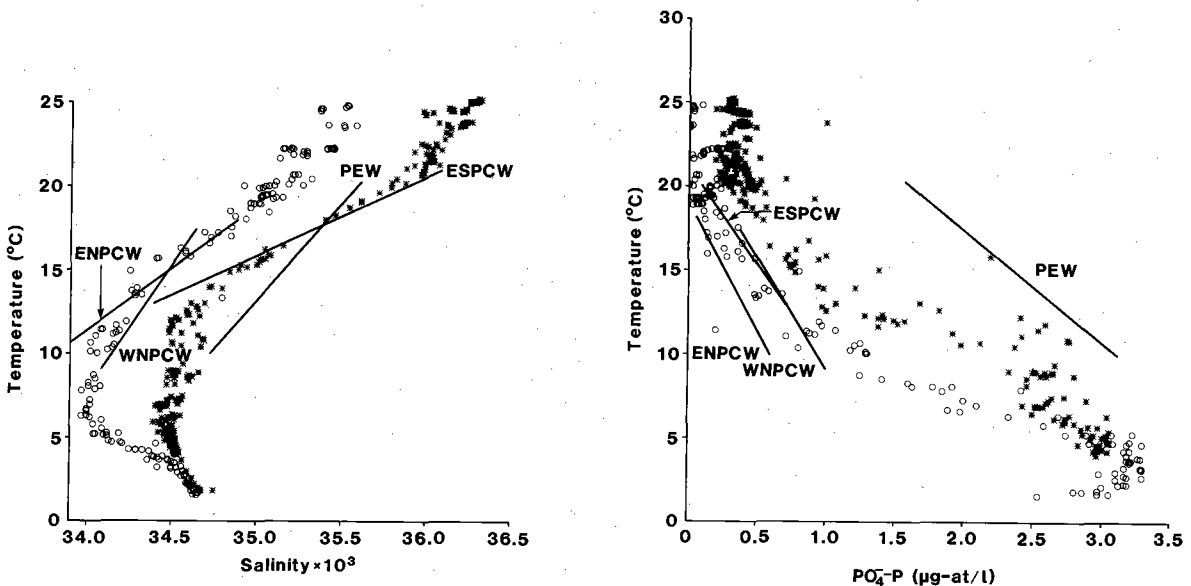


Abbildung 8

TS- und TPh-Diagramme für den tropischen Pazifischen Ozean. Die Geraden zeigen die Definitionsgeraden für NOPZW, NWPZW, SOPZW und PÄW. Die Daten zeigen Stationen mit überwiegend NOPZW (○, entnommen dem Gebiet 25-30°N, 140-145°W in Region 1) und SOPZW (*, aus 15-20°S, 100-110°W ausserhalb des hier untersuchten Gebietes).

Diagrams of temperature against salinity and phosphate in the tropical western Pacific Ocean. The lines show definition curves of ENPCW, WNPCW, ESPCW and PEW. Data shown are from stations with predominantly ENPCW (circles, taken from 25-30°N, 140-145°W in region 1) and from stations with predominantly ESPCW (asterisks, taken from 15-20°S, 100-110°W outside the investigation area).

Diagrammes de salinité et phosphate en fonction de la température dans la partie occidentale de l'Océan Pacifique tropical. Les lignes caractérisent les eaux centrales pacifiques Nord-Est (ENPCW), Nord-Ouest (WNPCW), Sud-Est (ESPCW) et équatoriale pacifique (PEW). Les données viennent de stations où prédomine l'eau centrale Nord-Est (cercles, de 25-30°N, 140-145°W dans la région 1) et de stations où prédomine l'eau centrale Sud-Est (astérisques, de 15-20°S, 100-110°W en dehors de l'aire de travail).

den müssen. Die vorliegenden Beobachtungen sprechen dafür, dass SOPZW nördlich von 20°S weit nach Westen reicht, dass also die Übergangszone zwischen der westlichen und der östlichen Variante des Zentralwassers im Südpazifik nicht meridional verläuft sondern – zumindest nördlich von 20°S – eher zonal. Das wäre in Übereinstimmung mit Muromtsev (1963 a), dessen Salzgehaltskarten für 300 und 400 m Tiefe westlich von 160°W bei 10°-30°N meridionalen Verlauf der Isohalinen zeigen, bei 10°-30°S dagegen zonalen Verlauf. Muromtsev (1963 b) verzichtet daher auch auf eine Unterscheidung von SOPZW und SWPZW und führt stattdessen eine östliche und eine westliche Variante von PÄW ein, deren Übergangsbereich er zwischen 120° und 170°W nahezu zonal verlaufen lässt. Die Salzgehaltskarten von Tsuchiya (1968) für die Dichteflächen $\sigma_t = 24.97$ und $\sigma_t = 26.44$ – bei Tsuchiya angegeben als Flächen gleicher isanostherischer Anomalie $\delta_T = 300$ und $\delta_T = 160$ cl/ton (δ_T kann in äquivalentes σ_t überführt werden; Montgomery und Wooster, 1954); die Tiefe der Flächen variiert zwischen 150 und 400 m – deuten aber darauf hin, dass es sich wohl eher um ein Vordringen von SOPZW im tropischen Bereich nach Westen handelt. Die Bezeichnung SOPZW wird deshalb hier beibehalten.

Die Datenkontrolle erfolgte in Areal I mit Hilfe der Definition für PÄW und NOPZW, in Areal II mit Hilfe von PÄW und NWPZW und in Areal III mit Hilfe von PÄW und SOPZW. Die Verschiebung der Kurven entlang der x-Achse betrug beim Salzgehalt 0.1‰, bei Phosphat 0.15 und bei Silikat 2.5 µg-at/l. Die Definition der Areale erfolgt im nächsten Abschnitt.

Datenverteilung

Unabhängig von der Definition und Benennung der verschiedenen Wassermassen besteht weitgehende Übereinstimmung bei Sverdrup (1942), Muromtsev (1963b) und Gorshkov (1974) über die Lage der Übergangszonen. Sie liegen im Westen näher am Äquator als im Osten und werden mit Sicherheit erfasst, wenn sich die

Untersuchung über 20°S - 20°N, im Nordosten bis 30°N erstreckt. Das damit festgelegte Gebiet, die Verteilung der Stationen und die Einteilung in 3 Areale und 16 Regionen sind in Abbildung 9 dargestellt.

Die Zahl der Stationen mit Silikatbeobachtungen ist im westlichen tropischen Pazifik überraschend gering; fast alle Stationen sind T-, S- und Ph-Stationen (in Areal III sind es alle Stationen). Die Areale fassen wieder Regionen zusammen, in denen der Einfluss von jeweils zwei Wassermassen den aller anderen Wassermassen überragt, so dass die Voraussetzungen gegeben sind für die Anwendung der isentropen Analyse oder der Multiparameter-Analyse mit drei Parametern.

Die Gebiete mit besonders hoher Datendichte in den Regionen 1, 2, 4, 9, 10 und 12 sind auf mehrfach wiederholte Schnitte entlang 148°W, 154°W und 170°O zurückzuführen. Auf den ersten beiden Schnitten betrug der Stationsabstand 1.5 Seemeilen, auf dem letzten 0.5 Seemeilen. Fast alle Stationen bei 170°O fallen in Region 9. Abbildung 10 gibt eine Übersicht über die Zahl der Stationen und Beobachtungen je Region. Die Skalen sind dieselben wie beim Indischen Ozean. Man erkennt, dass die durchschnittliche Datendichte nur etwa zwei Proben je Station beträgt, was im wesentlichen auf die geringere vertikale Ausdehnung des untersuchten Bereichs zurückzuführen ist. Die geringe Zahl der Silikatbeobachtungen bedeutet, dass die Si-Definitionen der Wassermassen sehr unsicher sind, was sich wiederum in einem relativ grossen Anteil zurückgewiesener Daten niederschlägt. Silikat wurde deshalb im Pazifischen Ozean für die Analyse nicht benutzt.

Die Kriterien für das Ausscheiden von Beobachtungen sind in den drei Arealen verschieden; sie folgen aus den im letzten Abschnitt beschriebenen Festlegungen für die Datenkontrolle.

Die vertikale Ausdehnung des erfassten Ausschnitts der Wassersäule ist in Tabelle 5 zusammengestellt. Der vollständige Bereich wird nur in Areal II erfasst; in Areal I setzt die Definition von NOPZW die untere Grenze mit $\sigma_t = 26.177$ fest, und in Areal III ergeben sich Einschränkungen durch den begrenzten Bereich

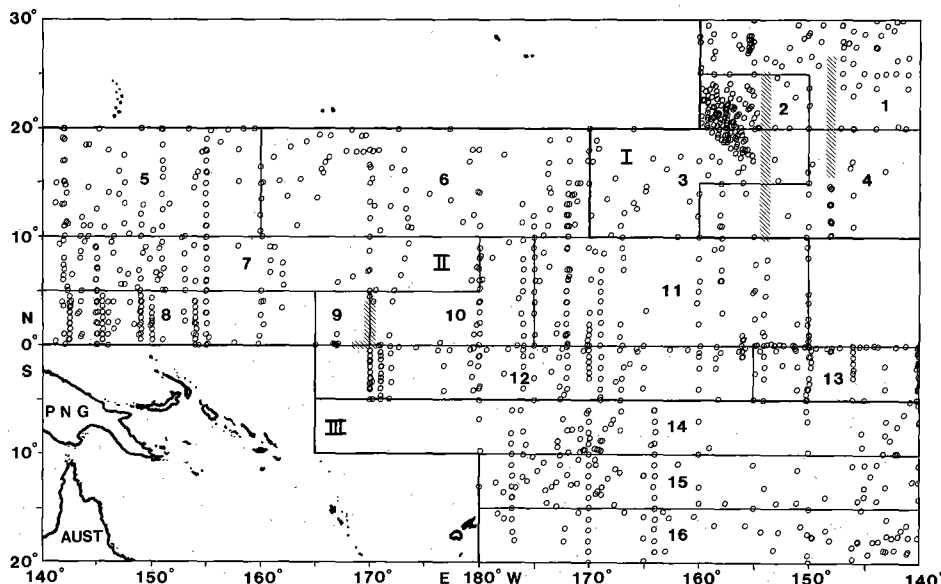


Abbildung 9

Untersuchungsgebiet, Stationsverteilung und Aufteilung in Areale I-III und Regionen 1-16. Gebiete, in denen die Stationsdichte für Einzeldarstellung zu gross ist, sind schraffiert.

The investigation area in the Pacific Ocean, showing positions of stations with phosphate observations and definitions of areas I-III and sub-areas ("regions") 1-16. Shaded areas are areas of very high data density where individual station positions are not shown. Area I = regions 1-4; area II = regions 5-13; area III = regions 14-16.

Zone de travail dans l'Océan Pacifique, positions des stations de mesure du phosphate, définitions des zones I-III et des régions 1-16. En hachures, zones où les stations sont trop nombreuses pour être représentées individuellement. Zone I : régions 1-4; zone II : régions 5-13; zone III : régions 14-16.

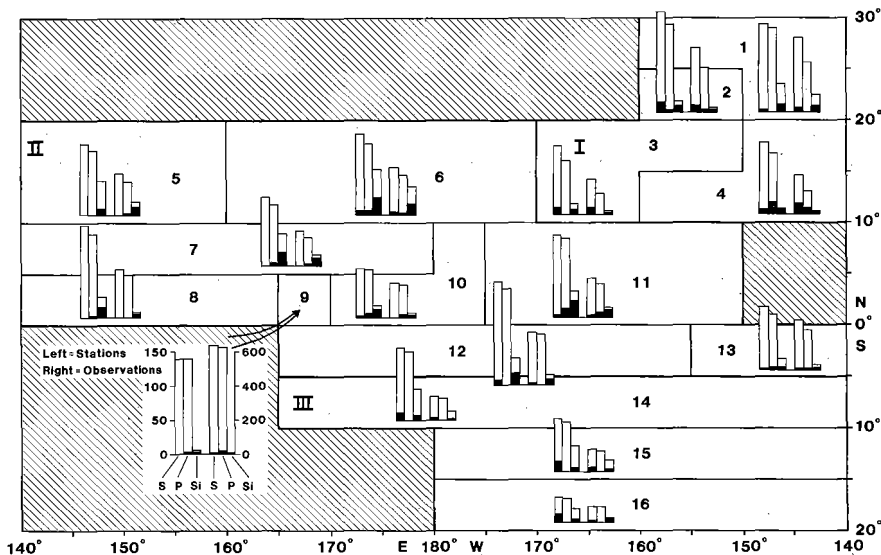


Abbildung 10

Zahl der Stationen (links) und Beobachtungen (rechts) in den Regionen. Im Qualitätstest zurückgewiesene Stationen und Beobachtungen sind als volle Säulen dargestellt; sie sind in Abbildung nicht enthalten. Die Angaben beziehen sich auf folgende Dichtebereiche: Areal I: $25.2 \leq \sigma_t \leq 26.177$ für S, $25.2 \leq \sigma_t \leq 26.036$ für Ph und Si; Areal II: $25.2 \leq \sigma_t \leq 26.4$; Areal III: $25.35 \leq \sigma_t \leq 25.62$ und $25.72 \leq \sigma_t \leq 25.947$.

Data distribution in regions defined for the Pacific Ocean. The left columns give the number of stations with observations of temperature and salinity (S), phosphate (P) and silicate (Si), respectively; the right columns give the number of observations for the density range studied. Density ranges are defined in area I as $25.2 \leq \sigma_t \leq 26.177$ for S and $25.2 \leq \sigma_t \leq 26.036$ for P and Si; in area II as $25.2 \leq \sigma_t \leq 26.4$; in area III as $25.35 \leq \sigma_t \leq 25.62$ and $25.72 \leq \sigma_t \leq 25.947$. Data were quality-screened against ENPCW and PEW (i.e. assuming negligible influence of WNPCW and ESPCW) in area I, against WNPCW and PEW in area II, and against ESPCW and PEW in area III. Black areas in the columns indicate stations or observations rejected during screening (these stations are not included in Figure 9).

Répartition des observations dans les régions considérées de l'Océan

der Definition von SOPZW und durch die Tatsache, dass sich die TS-Kurven von SOPZW und PÄW im untersuchten Dichtebereich schneiden. Die Fehlergrenzen in den Ergebnissen der isentropen Analyse wachsen bei Annäherung an den Schnittpunkt schnell an. Um diesen Effekt auszuschalten, wurde der Bereich $25.62 < \sigma_t < 25.72$ in Areal III von der Analyse ausgenommen. Legt man beim Vergleich der Areale den Bereich $25.2 \leq \sigma_t \leq 26.25$ zugrunde, dann ergibt sich eine vertikale Ausdehnung von etwa 130 m im Norden, abnehmend auf 60 m im Süden und mit einem Minimum von weniger als 40 m am Äquator. Die geringe vertikale Ausdehnung vor allem in Äquatornähe führt dazu, dass die Zahl der Beobachtungen je Station sehr gering ist und die Daten in den verschiedenen Dichteklassen wenig Stationen gemeinsam haben. Das erklärt, weshalb in mehreren Regionen die mittlere Tiefe keine monotone Funktion der Dichte ist. Ober- und Untergrenzen liegen am tiefsten im Nordwesten des Gebiets (Region 5) und steigen nach Osten und zum Äquator hin an. Südlich vom Äquator fallen beide wieder ab, wobei Mangel an Daten eine Aussage über zonales Gefälle nicht zulässt.

Ergebnisse

Die Ergebnisse der Analyse, zusammengefasst in Dichteklassen mit einer Klassenbreite von $\Delta\sigma_t = 0.15$ und beginnend mit $25.20 \leq \sigma_t < 25.35$, sind in Abbildung 11 dargestellt. Grundlage der Analyse sind die Stationen der Abbildung 9.

Pacifique. Les colonnes de gauche indiquent le nombre de stations de mesure de température et salinité (S), phosphate (P) et silicate (Si); les colonnes de droite indiquent le nombre de mesures dans la gamme de densité considérée. Dans la zone I, la gamme de densité s'étend de 25,2 à 26,177 en σ_t pour S et de 25,2 à 26,036 pour P et Si; dans la zone II, de 25,2 à 26,4; dans la zone III, de 25,35 à 25,62 et de 25,72 à 25,947. Les données sont celles des eaux centrale Nord-Est et équatoriale dans la zone I (où l'on néglige l'effet des eaux centrales Nord-Ouest et Sud-Est); elles s'appliquent aux eaux centrale Nord-Ouest et équatoriale dans la zone II, et aux eaux centrale Sud-Est et équatoriale dans la zone III. Les stations pour lesquelles les données sont rejetées avant l'analyse sont marquées en noir dans les colonnes (ces stations ne sont pas représentées sur la figure 9).

Areal I wird von NOPZW beherrscht, Areal II weitgehend von NWPZW. Der Übergang ist fließend; die Unterschiede in NOPZW und NWPZW sind gering und gegenüber der deutlich verschiedenen TS-Beziehung von PÄW unbedeutend. Dasselbe gilt für die TPh-Kurven, so dass Multiparameter-Analyse keine wesentlich bessere Trennung der beiden nördlichen Zentralwassermassen ermöglicht. Die Ergebnisse für die Regionen 3, 6 und 11 – Abbildung 11 zeigt sie für die isentrope Analyse – sind deshalb für NOPZW beziehungsweise NWPZW nur qualitativ. Wegen der Ähnlichkeit der TS-Kurven beider Wassermassen kann aber angenommen werden, dass die Ergebnisse bezüglich PÄW den tatsächlichen Verhältnissen nahe kommen.

Wesentlich besser ist die Situation beim Übergang von Areal II zu Areal III. Am Südrand von Areal II (Regionen 12 und 13) wird praktisch reines PÄW angetroffen; ein Einfluss von NWPZW auf Areal III ist damit ausgeschlossen. Am Nordrand von Areal III (Region 14) ist der Einfluss von PÄW bereits auf unter 50% zurückgefallen. Dass 5°S in der Verteilung der Wassermassen eine deutliche Grenze bildet, zeigt sich auch, wenn man versucht, die Regionen 12 und 13 bei Areal III einzuordnen. Die Zahl der im Qualitätstest mittels PÄW und SOPZW zurückgewiesenen Daten liegt für diese Regionen dann wesentlich höher als bei den Regionen 14-16. Bei den wenigen von PÄW abweichenden Beobachtungen der Regionen 12 und 13 muss es sich also um NWPZW handeln, und die Regionen müssen Areal II zugeordnet werden.

Tabelle 5

Mittlere Tiefenlage der Dichtehorizonte, Standardabweichung und Dicke Δz der Schicht $25.20 \leq \sigma_t \leq 26.25$, Pazifischer Ozean. Der Bereich $25.62 \leq \sigma_t \leq 25.72$ ist in Areal III nicht berücksichtigt.

Mean depth of the density layers used in the analysis, standard deviation, and thickness Δz of the largest density range common to areas I and II in the Pacific Ocean.

Profondeur moyenne des couches isopycnes étudiées dans l'Océan Pacifique, écart-type et épaisseur Δz de la couche de densité comprise entre 25,20 et 26,25 σ_t . La gamme de densités comprises entre 25,62 et 25,72 n'est pas prise en compte dans la zone III.

Region	[25.20,25.35]	[25.35,25.50]	[25.50,25.65]	[25.65,25.80]	[25.80,25.95]	[25.95,26.10]	[26.10,26.25]	[26.25,26.40]	Δz (m)	
I	1	171 ± 39	184 ± 36	211 ± 28	232 ± 34	261 ± 27	287 ± 23	306 ± 39	135	
	2	200 ± 26	227 ± 21	233 ± 31	250 ± 32	273 ± 28	289 ± 27	306 ± 40	106	
	3	207 ± 30	213 ± 21	222 ± 31	237 ± 29	248 ± 34	263 ± 40	267 ± 34	60	
	4	166 ± 30	206 ± 29	156 ± 57	150 ± 39	173 ± 55	177 ± 56	182 ± 63		
II	5	219 ± 40	252 ± 49	253 ± 57	280 ± 71	295 ± 69	314 ± 79	341 ± 86	361 ± 97	122
	6	218 ± 39	232 ± 40	246 ± 45	267 ± 44	268 ± 61	287 ± 58	310 ± 74	325 ± 75	92
	7	157 ± 30	156 ± 32	171 ± 30	182 ± 37	184 ± 32	189 ± 32	217 ± 32	215 ± 27	60
	8	198 ± 17	198 ± 15	204 ± 24	213 ± 22	217 ± 19	228 ± 20	236 ± 19	246 ± 19	39
	9	203 ± 16	202 ± 15	206 ± 19	217 ± 16	222 ± 16	233 ± 17	245 ± 16	263 ± 21	42
	10	191 ± 26	195 ± 30	204 ± 19	210 ± 19	216 ± 25	225 ± 25	227 ± 25	254 ± 30	36
	11	155 ± 28	156 ± 23	150 ± 27	169 ± 18	170 ± 32	168 ± 31	193 ± 26	204 ± 41	39
	12	189 ± 23	192 ± 26	201 ± 26	200 ± 27	216 ± 25	216 ± 34	234 ± 25	245 ± 30	45
	13	130 ± 23	146 ± 24	155 ± 19	151 ± 24	161 ± 23	166 ± 28	178 ± 38	187 ± 28	48
	III	14		210 ± 29	235 ± 26	248 ± 21	257 ± 31			
15			243 ± 18	260 ± 17	284 ± 14	290 ± 16				
16			255 ± 19	276 ± 21	290 ± 12	311 ± 15				

Die geringe Differenz zwischen den TS-Kurven von SOPZW und PÄW und die geringe Neigung der TS-Kurve von SOPZW gegenüber den Linien gleicher Dichte machen das Ergebnis der isentropen Analyse sehr unsicher. Bei Benutzung der in Tabelle 4 gegebenen Werte ergibt isentrope Analyse für das gesamte Areal III nahezu reines PÄW. Erhöht man die Salzgehaltsdefinition von PÄW bei $T = 20.2^\circ\text{C}$ um nur 0.1‰ also von 35.621‰ auf 35.721‰ , und lässt alle anderen Definitionen unverändert, dann erhält man in Areal III überall reines SOPZW. Das Ergebnis der Multiparameter-Analyse, berechnet mit Hilfe von T, S und Ph, ändert sich dabei – dank der grossen Unterschiede im Phosphat zwischen SOPZW und PÄW – nur sehr wenig; $[\text{SOPZW}]^\circ$ sinkt dadurch um etwa 1‰, und die Streuung bleibt dieselbe. Abbildung 11 zeigt deshalb für Areal III das Ergebnis der Multiparameter-Analyse. Da die Ph-Definitionen nicht von derselben Qualität sind wie die T- und S-Definitionen, kann das Ergebnis einen systematischen Fehler enthalten; Änderungen in der Zusammensetzung des Wassers werden aber verlässlich erfasst. In den beiden nördlichen Arealen ergeben sich mit der Multiparameter-Analyse die schon aus den anderen beiden Ozeanen bekannten Schwierigkeiten: geringe Differenzen bei den mittleren Verteilungen und ähnliche Streuungsverteilung, bei grosser Zahl zurückgewiesener Lösungen (Tabelle 6). Wahrscheinlich müssen die Definitionen der Nährstoffe verbessert werden. Die Streuung ist am grössten am Äquator und nimmt nach Norden und Süden ab. Auffallend ist, dass die kleinsten Regionen (2 und 9) vergleichsweise grosse Streuung aufweisen. Bei den Regionen 10 und 11, und in geringerem Mass auch bei 8 und 9, zeigen sich deutlich zwei bevorzugte Zustände, von denen keiner dem berechneten Mittelwert $[\text{NWPZW}]^\circ$ entspricht.

Diskussion

Der tropische Pazifische Ozean wird von einem System zonaler Strömungen beherrscht, dessen Einzelheiten von der vorliegenden Analyse nicht alle erfasst werden. Der Südäquatoriale Gegenstrom etwa, der zwischen 5° und 10°S verläuft, hat eine meridionale Ausdehnung von nur 2° (Tsuchiya, 1968) und fällt damit vollständig in die Region 14. Der Nordäquatoriale Gegenstrom ist breiter, wird aber in Region 11 auch nicht aufgelöst. Beide Strömungen reichen mit Sicherheit in den untersuchten Dichtebereich hinein (man vergleiche die Karten von Tsuchiya (1968) für $\delta_T = 300, 200$ und 160 cl/t , entsprechend $\sigma_t = 24.965, 26.017$ und 26.438). Anzeichen für Advektion durch den Nordäquatorialen Gegenstrom sind in den Daten der Region 7 zu finden, deren TS-Diagramme mit zunehmender östlicher Länge deutlich ihren Charakter verändern. Während man im Westen stets denselben Typ von TS-Beziehung, gekennzeichnet durch nur geringe Änderung des Salzgehalts mit der Tiefe, vorfindet, zeigen die TS-Kurven im Osten zunehmend Lagerung von NWPZW über PÄW. Man könnte die Diagramme bei 140°O durch gegenüber 180°O fortgeschrittenere Vermischung erklären, wenn die Beobachtungen nicht aus einem Gebiet östlicher Strömung stammen würden. Wahrscheinlicher ist, dass es sich bei den Beobachtungen bei 140°O um Advektion von Australasiatischem Mittelmeerwasser (AAMW) handelt.

Geringe Mengen von AAMW gelangen vor allem im Nordwinter in den Pazifischen Ozean (Wyrтки, 1958) und sind an der Oberfläche als Zunge niedrigen Salzgehalts bis 170°O zu verfolgen (Muromtsev, 1963a). Ein Einfluss von AAMW im Dichtebereich des Zentralwassers kann nicht ausgeschlossen werden. Wegen der geringen Zahl der Beobachtungen in Region 7 wurde

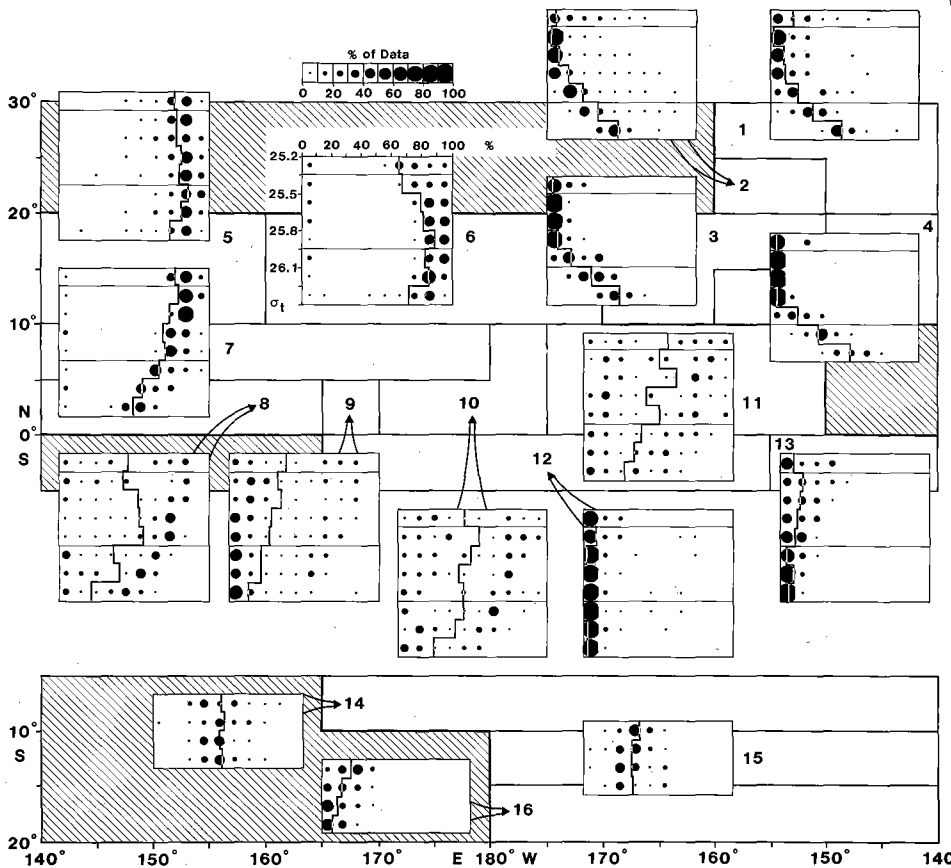


Abbildung 11
Verteilung der Anteile von NWPZW, NOPZW, SOPZW und PÄW an den Beobachtungen. Dargestellt ist der Anteil der Beobachtungen je [Wassermassen]-Intervall und σ_t -Intervall in Prozent aller Beobachtungen im σ_t -Intervall. Die Analyse erfolgt in jedem Areal für jeweils zwei Wassermassen, die sich zu 100% ergänzen: in Areal I für NOPZW und PÄW, dargestellt ist [PÄW]; in Areal II für NWPZW und PÄW, dargestellt ist [NWPZW]; in Areal III für SOPZW und PÄW (bestimmt mittels Multiparameter-Analyse), dargestellt ist [PÄW]. Der grösste allen Arealen gemeinsame Dichtebereich ist durch horizontale Linien bei $\sigma_t = 25.35$ und 25.95 gekennzeichnet. Vertikale Linien geben die mittlere Wasser-massenverteilung im jeweiligen Dichte-be-reich an.

Bivariate water mass-density diagram, derived from isentropic analysis in areas I and II, from multi-parameter analysis in area III. For details of presentation, see Tomczak (1984). Analysis is done in area I for ENPCW against PEW (PEW is shown), in area II for WNPCW against PEW (WNPCW is shown) and in area III for ESPCW against PEW (PEW is shown). The density range 25.35-25.95, which is common to all areas, is marked by horizontal lines. Vertical lines indicate the average water mass distribution in the respective density class.

Diagramme masse d'eau-densité, d'après l'analyse isentropique dans

les zones I et II, d'après l'analyse multivariable dans la zone III. Pour les détails de présentation, voir Tomczak (1984). Dans la zone I, l'analyse s'applique aux eaux pacifiques centrale Nord-Est et équatoriale (représentée sur le diagramme); dans la zone II, eaux centrale Nord-Ouest (représentée) et équatoriale, et dans la zone III, eaux centrale Sud-Est et équatoriale (représentée). Les lignes horizontales correspondent à la gamme de densité 25,35-25,95, qui est commune à toutes les zones. Les lignes verticales indiquent la répartition moyenne des masses d'eau dans la gamme de densité considérée.

Tabelle 6

Vergleich der Ergebnisse aus Multiparameter-Analyse und isentropischer Analyse, Pazifischer Ozean (T, S und Ph).

Comparison of results from isentropic analysis and multi-parameter analysis based on temperature, salinity and phosphate in the Pacific Ocean.

Comparaison des résultats de l'analyse isentropique et de l'analyse multivariable dans l'Océan Indien (température, salinité, phosphate). n_1 : nombre de données utilisées; n_2 : nombre de données rejetées; $\Delta[PÄW]^*$: différence moyenne entre l'analyse multivariable et l'analyse isentropique.

n_1 : Zahl der benutzten Beobachtungen

n_2 : Zahl der ausgeschiedenen Beobachtungen

$\Delta[PÄW]^*$: Mittlere Differenz Multiparameter-Analyse minus isentropische Analyse

	σ_t	T (°C)	S (‰)	Ph ($\mu\text{g-at/l}$)	Si ($\mu\text{g-at/l}$)
NOPZW oben	25.200	18.00	34.882	0.075	2.17
unten	26.036	10.00	33.800	0.580	12.36
(a)	26.177	7.00	33.394		
NWPZW oben	25.200	17.28	34.653	0.380	4.64
unten	26.425	9.00	34.088	1.000	20.50
SOPZW oben	25.349	21.00	36.100	0.107	
unten	25.646	18.00	35.463		0.00
PÄW oben	25.947	13.00	34.400	0.694	2.50
unten	25.200	20.20	35.621	1.560	0.00
unten	26.760	10.00	34.737	3.100	37.62

auf eine Analyse der Verbreitung von AAMW im Pazifik verzichtet.

Die Tatsache, dass wesentliche Elemente des Strömungssystems von der Analyse nicht aufgelöst werden, schränkt die Möglichkeiten der Interpretation in der Umgebung des Äquators ein. Die scharfe Bündelung von PÄW entlang des Äquators (Regionen 12 und 13) ist wohl auf ostwärtigen Transport im Äquatorialen Unterstrom zurückzuführen. Der Äquatoriale Unterstrom ist eines der Gebiete im Ozean, wo vertikale Vermischung für die Dynamik eine entscheidende Rolle spielt (Pacanowski, Philander, 1981). Tsuchiya (1968) findet Hinweise auf vertikale Vermischung in der Verteilung des Salzgehalts und des Sauerstoffs am Äquator. Andererseits zeigt die Anwesenheit nicht geringer Mengen von PÄW sowohl südlich als auch nördlich des Unterstroms, dass horizontale Vermischung nicht unbedeutend sein kann.

Ungeachtet dieser Unsicherheiten enthält die Abbildung 11 aber einige Information. So zeigt sie zum Beispiel, dass PÄW im allgemeinen unter NWPZW oder NOPZW gelagert ist, dass also die innere Front von Süden nach Norden absinkt. In dieser Hinsicht sind die Verhältnisse an der inneren Front zwischen Nordpazifischem Zentralwasser und dem Pazifischem

Äquatorialwasser ähnlich denen an der inneren Front zwischen den beiden Zentralwassermassen des Atlantischen Ozeans, deren TS-Kurven ähnlichen Abstand voneinander haben, die Linien gleicher Dichte aber in spitzerem Winkel schneiden. Man kann deshalb vermuten – auch wenn die Streuungsverteilungen nicht so grosse Ähnlichkeit zeigen wie die mittleren Verteilungen –, dass sich auch im nördlichen Pazifik an der weitgehend dichtekompensierten inneren Front Schichten der benachbarten Wassermassen ineinander schieben und mehrfache Inversionen hervorrufen. Temperatur-Inversionen von bis zu 0.5°C sind bei 11°N , 130°O , nur wenig westlich des Untersuchungsgebietes, von Korchashkin *et al.* (1979) beobachtet worden. In den vorliegenden Ergebnissen finden sich Anzeichen für starke Veränderlichkeit vor allem auf der Südseite der inneren Front (Regionen 8-11). Die in den Regionen 10 und 11 beobachteten zwei Schwerpunkte der Streuungsverteilung können im Prinzip Ergebnis einer räumlichen Mittelung über eine scharf ausgeprägte Front sein. Die extrem grosse Streuung der kleinen Region 9 lässt sich aber nur durch zeitliche Änderungen in der Zusammensetzung des Wassers erklären, und auch sie zeigt neben dem Schwerpunkt bei 0-20% [NWPZW] einen schwächeren zweiten bei 50-90% [NWPZW]. Eine mögliche Ursache für die Verteilungen aller drei Regionen sind zeitliche meridionale Verlagerungen der inneren Front im Bereich 5°S bis 5°N . Meanderbewegungen des Unterstroms mit Perioden von 2-3 Wochen sind aus dem Atlantik bekannt (Düing *et al.*, 1975). Sie werden auf Scherungsinstabilität des äquatorialen Unterstroms zurückgeführt und sind deshalb in allen drei Ozeanen wahrscheinlich. Schwankungen in der Intensität der Strömungen mit Perioden von 2 Monaten bis zu mehreren Jahren sind für den Pazifik nachgewiesen worden (Wyrтки, 1974). Sowohl die Lage der inneren Front als auch die Intensität der Vermischung werden denselben Schwankungen unterworfen sein.

Eine detaillierte Verfolgung dieser Prozesse ist mit historischen Daten nicht möglich. Anzeichen für eine scharf ausgeprägte innere Front lassen sich aber auch in den Wasserschröpfungdaten finden. Als Beispiel zeigt Abbildung 12 die TS-Kurven von Beobachtungen aus

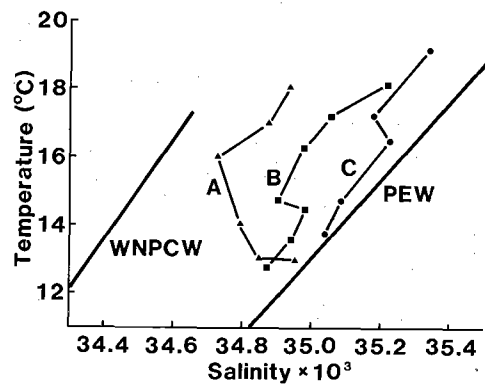


Abbildung 12

Beobachtungen aus Region 10. Station A: 26.4.1967; $01^{\circ}00'\text{N}$, $170^{\circ}08'\text{O}$. Station B: 8.5.1968; $01^{\circ}02'\text{N}$, $170^{\circ}04'\text{O}$. Station C: 5.10.1966; $00^{\circ}09'\text{N}$, $170^{\circ}01'\text{O}$.

Observations from region 10.

Observations dans la région 10.

einem Gebiet von 10×10 Seemeilen im Westteil von Region 10, gewonnen über einen Zeitraum von 18 Monaten. PÄW wird bei allen Stationen relativ unvermischt beobachtet, überlagert von einem Wasserkörper mit verschiedenen starken NWPZW-Beimischungen. Der Übergang von einem Wasserkörper zum anderen erfolgt auf verschiedenen Dichteniveaus. Periodische meridionale Verlagerungen der inneren Front in Kombination mit ihrer beobachteten Neigung können zu den vertikalen Verlagerungen führen. Die Änderungen von [NWPZW] im oberen Wasserkörper sind damit nicht zu erklären. Längerfristige Schwankungen im Strömungssystem und damit einhergehende Änderungen in der grossräumigen Wassermassenverteilung können die Ursache sein.

Danksagung

Für die Bereitstellung der Daten auf Magnetbändern danke ich dem NODC, Washington. Diese Arbeit ist Teil einer Habilitationsschrift bei der Universität Hamburg.

LITERATUR

Colborn J.G., 1975. The thermal structure of the Indian Ocean, *International Indian Ocean Expedition Oceanographic Monographs no. 2*, Univ. Hawaii, Honolulu, 173.

Düing W., Hisard P., Katz E., Meincke J., Miller L., Moroshkin K.V., Philander G., Ribnikov A.A., Voigt K., Weisberg R., 1975. Meanders and long waves in the equatorial Atlantic, *Nature*, **257**, 280-284.

Gallagher J.F., 1966. *The variability of water masses in the Indian Ocean*, Publ. G-11, National Oceanographic Data Center, Washington, 74.

Gorshkov S.G. (Herausgeber), 1974. *Atlas des Ozeane, Pazifischer Ozean*, Verteidigungsministerium der UdSSR (Marine), Moskau.

Gorshkov S.G. (Herausgeber), 1977. *Atlas der Ozeane, Atlantischer und Indischer Ozean*, Verteidigungsministerium der UdSSR (Marine), Moskau.

Ivanov-Franckevic G.N., 1961. Some peculiarities of hydrography and water masses of the Indian Ocean (in russisch), *Okeanol. Issledov.*, **4**, 7-17.

Korchashkin N.N., Lozovatskiy I.D., Ozmidov R.V., 1979. Variability of the vertical finestructure of the temperature field in the western Pacific Ocean, *Oceanology*, **19**, 121-126.

Kuksa V.I., 1972. Some peculiarities of the formation and distribution of intermediate layers in the Indian Ocean, *Oceanology*, **12**, 21-30.

Masuzawa J., 1969. Subtropical mode water, *Deep-Sea Res.*, **16**, 463-472.

Montgomery R.B., Wooster W.S., 1954. Thermocline anomaly and the analysis of serial oceanographic data, *Deep-Sea Res.*, **2**, 63-70.

- Muromtsev A. M.**, 1963 a. *Atlas of temperature, salinity and density of water in the Pacific Ocean*, Academy of Sciences of the USSR, Moskau, 120.
- Muromtsev A. M.**, 1963 b. *The principal hydrological features of the Pacific Ocean*, Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem, 417.
- Pacanowski R. C., Philander S. G. H.**, 1981. Parameterization of vertical mixing in numerical models of tropical oceans. *J. Phys. Oceanogr.*, **11**, 1443-1451.
- Rochford D. J.**, 1964. Hydrology of the Indian Ocean III. Water masses of the upper 500 m of the South-East Indian Ocean, *Aust. J. Mar. Freshwat. Res.*, **15**, 25-55.
- Rougerie F.**, 1980. Structure hydrologique dans les mers du Corail et des Salomons : permanence et variabilité, *CR Réunion groupe régional d'océanographie du Sud-Ouest pacifique, Nouméa, Nouvelle Calédonie, 22-26 août 1977, ORSTOM, Paris*, 64-69.
- Sverdrup H. U., Johnson M. W., Fleming R. H.**, 1942. *The oceans; their physics, chemistry and general biology*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1087.
- Tchernia P., Lizeray J.-C.**, 1960. Océan Indien, observations relatives à l'hydrologie du bassin nord-australien, *Cah. Océanogr.*, **12**, 371-388.
- Tomczak M. Jr.**, 1981. Bass Strait Water intrusions in the Tasman Sea and mean temperature-salinity curves, *Aust. J. Mar. Freshwat. Res.*, **32**, 699-708.
- Tomczak M. Jr.**, 1984. Ausbreitung und Vermischung der Zentralwassermassen in den Tropengebieten der Ozeane 1: Atlantischer Ozean, *Oceanol. Acta*, **7**, 2, 145-158.
- Tsuchiya M.**, 1968. *Upper waters of the intertropical Pacific Ocean*, The Johns Hopkins Oceanographic Studies No. 4, The Johns Hopkins Press, Baltimore.
- Wyrтки K.**, 1958. The water exchange between the Pacific and the Indian Oceans in relation to upwelling processes, *Proc. 9th Pacific Science Congress*, **16**, 61-66.
- Wyrтки K.**, 1971. *Oceanographic atlas of the International Indian Ocean expedition*, National Science Foundation, Washington, 531.
- Wyrтки K.**, 1974. Equatorial currents in the Pacific 1950 to 1970 and their relations to the trade winds, *J. Phys. oceanogr.*, **4**, 372-380.