

Copyright ©

Es gilt deutsches Urheberrecht.

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

German copyright law applies.

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

Zur Frage stationärer Verhältnisse in der Makrostruktur der Kaltwassersphäre des Atlantischen Ozeans^{1) 2)}

Von GEORG WÜST

Beim Studium der großmaßstäbigen Zirkulation des Atlantischen Ozeans wird von der Annahme ausgegangen, daß wir es in der Makrostruktur der Kaltwassersphäre in weitgehender Annäherung mit stationären Verhältnissen zu tun haben (1, 2). Die klassischen Reihemessungen (mit Wasserschöpfer und Kippthermometer) der Tiefsee-Expeditionen deuten in dieser Sphäre auf praktisch beständige Schichtungen der Wassermassen, so daß der Faktor Zeit bei der Konstruktion von Horizontalkarten und Vertikalschnitten in erster Annäherung vernachlässigt werden kann. In Nähe derselben Position zeigen die Temperatur- und Salzgehaltswerte verschiedener Expeditionen dieser Epoche in der Kaltwassersphäre nur relativ geringe Differenzen, obwohl sie zu verschiedenen Zeitpunkten (Tag, Monat, Jahr) gewonnen sind. Man spricht von einem „mean steady state“, d. h. von einem angenäherten Gleichgewicht zwischen den Effekten der horizontalen Ausbreitung der Wassermassen (horizontale Advektion einschließlich horizontaler Diffusion) und des vertikalen Austauschs. Bei der Konstruktion von Horizontalkarten (in Standardtiefen) und Vertikalschnitten, in denen man eine Äquidistanz der Isothermen, Isohalinen und Isopyknen für alle Zehntel der Einheiten (d. h. $\Delta t = 0.1^\circ$, $\Delta S = 0.1/_{\text{‰}}$, $\Delta \sigma_t = 0.1$) innezuhalten pflegt, vernachlässigt man die feineren Differenzen und betrachtet die Wellungen der Isolinien als räumlich bedingt. Bei einem optischen Vergleich der korrespondierenden Querschnitte der Temperatur und des Salzgehaltes, die annähernd auf denselben Breitengraden des Südatlantischen Ozeans von der „Meteor“-Expedition 1925/27 und des Atlantic IGY-Program 1957/58 („Crawford“ und „Atlantis“) durchgeführt sind, kommt FUGLISTER (3, Preface) zu dem Schluß: „Such comparison provides dramatic evidence for the steady state character of large scale Atlantic Ocean dynamics“.

Auf der anderen Seite haben die Ankerstationen bzw. die Wiederholungsserien des Forschungsschiffes „Meteor“ auf derselben Position gelehrt, daß vertikale Oszillationen der Wassermassen in der ganzen Wassersäule auftreten, die wahrscheinlich in der Hauptsache auf interne Wellen zurückzuführen sind. Bei diesen Oszillationen heben und senken sich rhythmisch sowohl die isothermen und isohalinen Flächen als auch die durch intermediäre Maxima bzw. Minima ausgezeichneten Kernschichten und

¹⁾ Die vorliegende Untersuchung wurde durch eine Sachbeihilfe der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert.

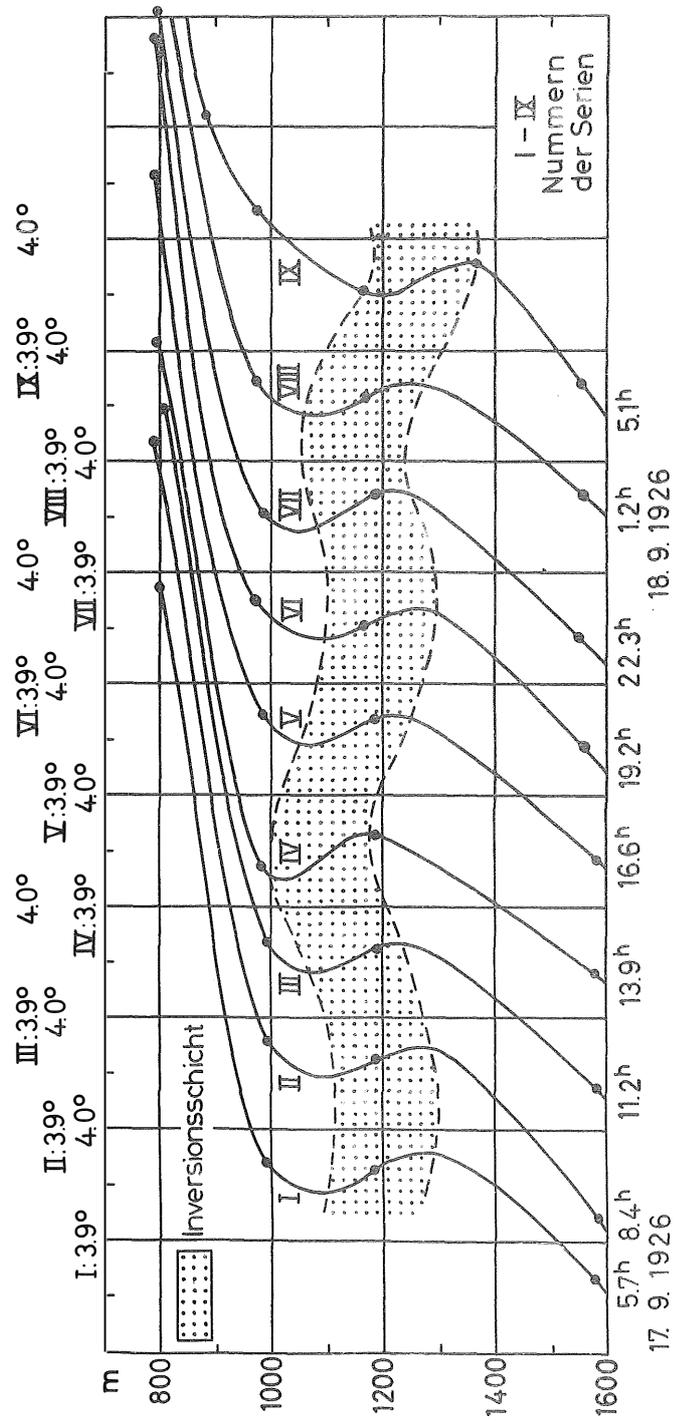
²⁾ Zusammenfassung und engl. Summary am Schluß des Aufsatzes.

Legende zu der nebenstehenden Abbildung (Tafel 1)

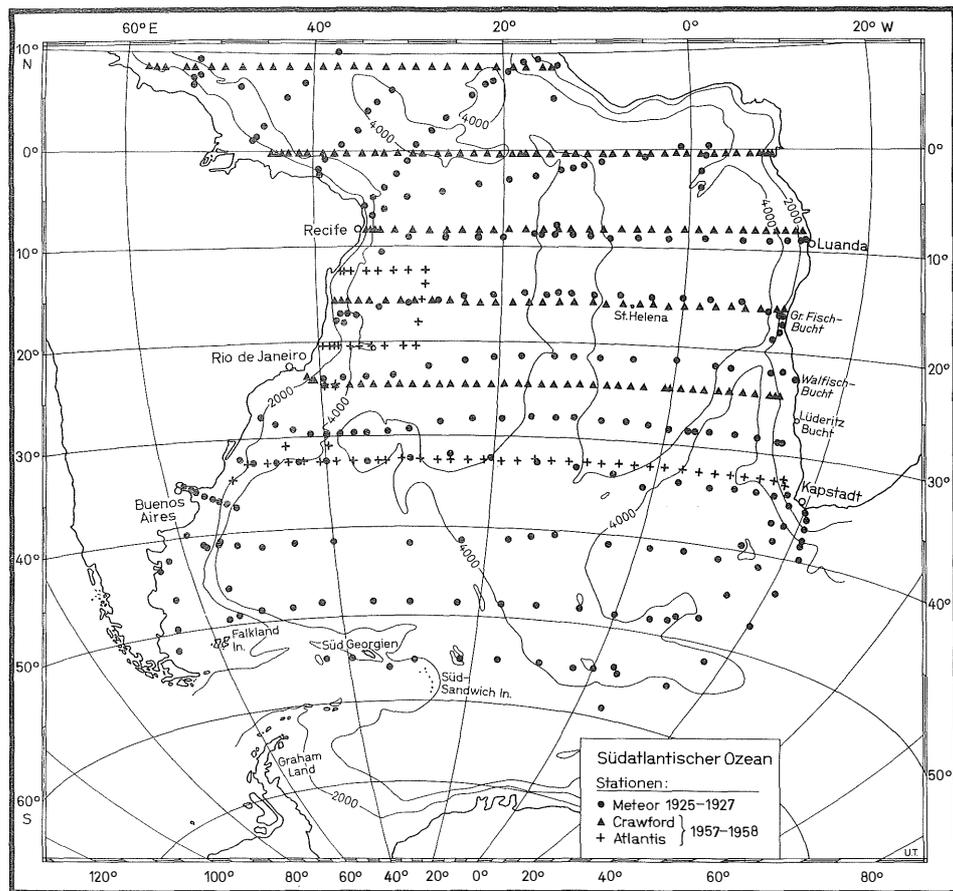
Vertikale Kurven der Temperatur bei den Wiederholungsserien der „Meteor“-Station 197
(nach Wüst 1948)

Legende zu der nebenstehenden Abbildung (Tafel 2)

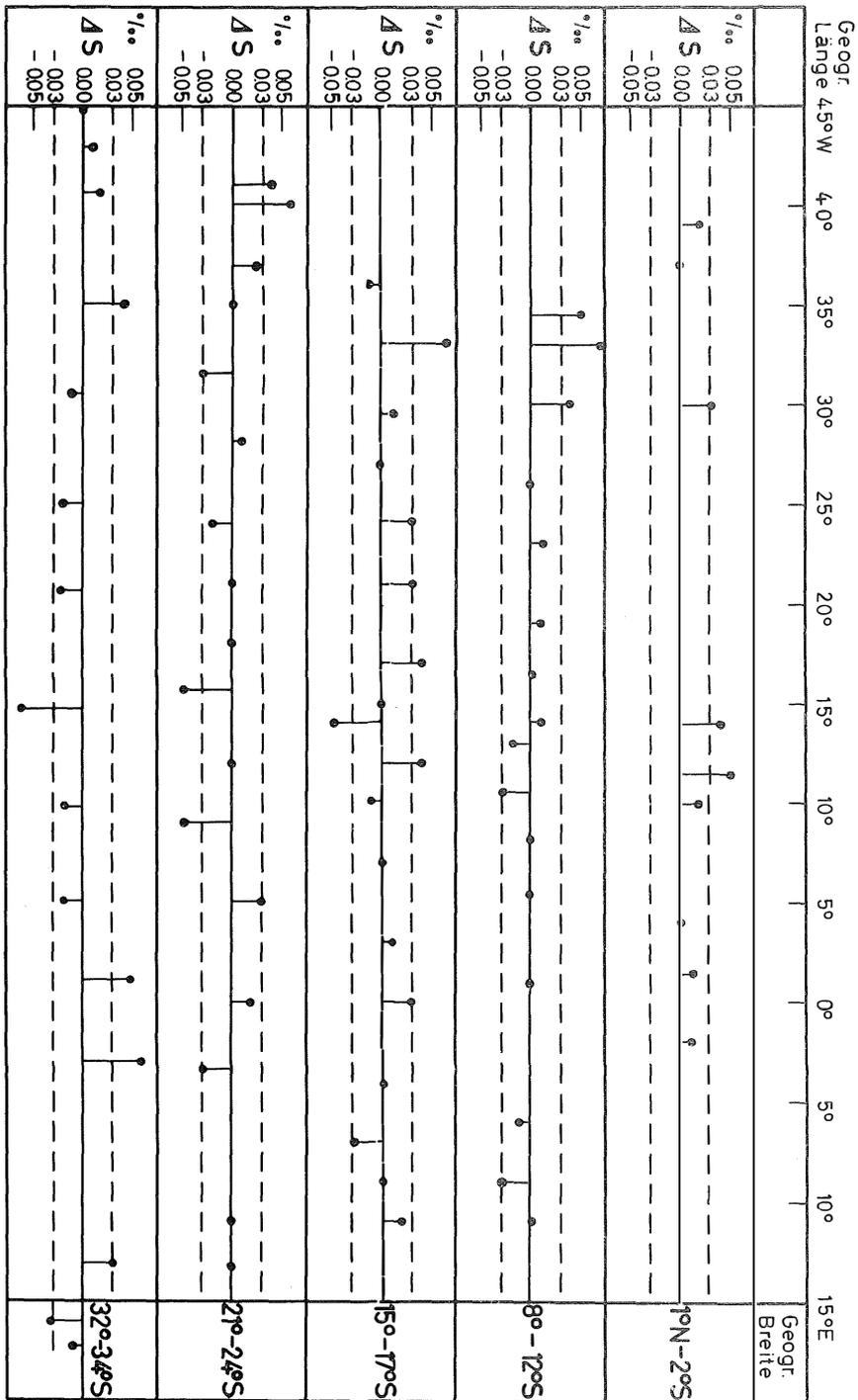
Stationen der Forschungsschiffe „Meteor“ (1925—1927) sowie „Crawford“ und „Atlantis“ (1957 bis 1958) im Südatlantischen Ozean.



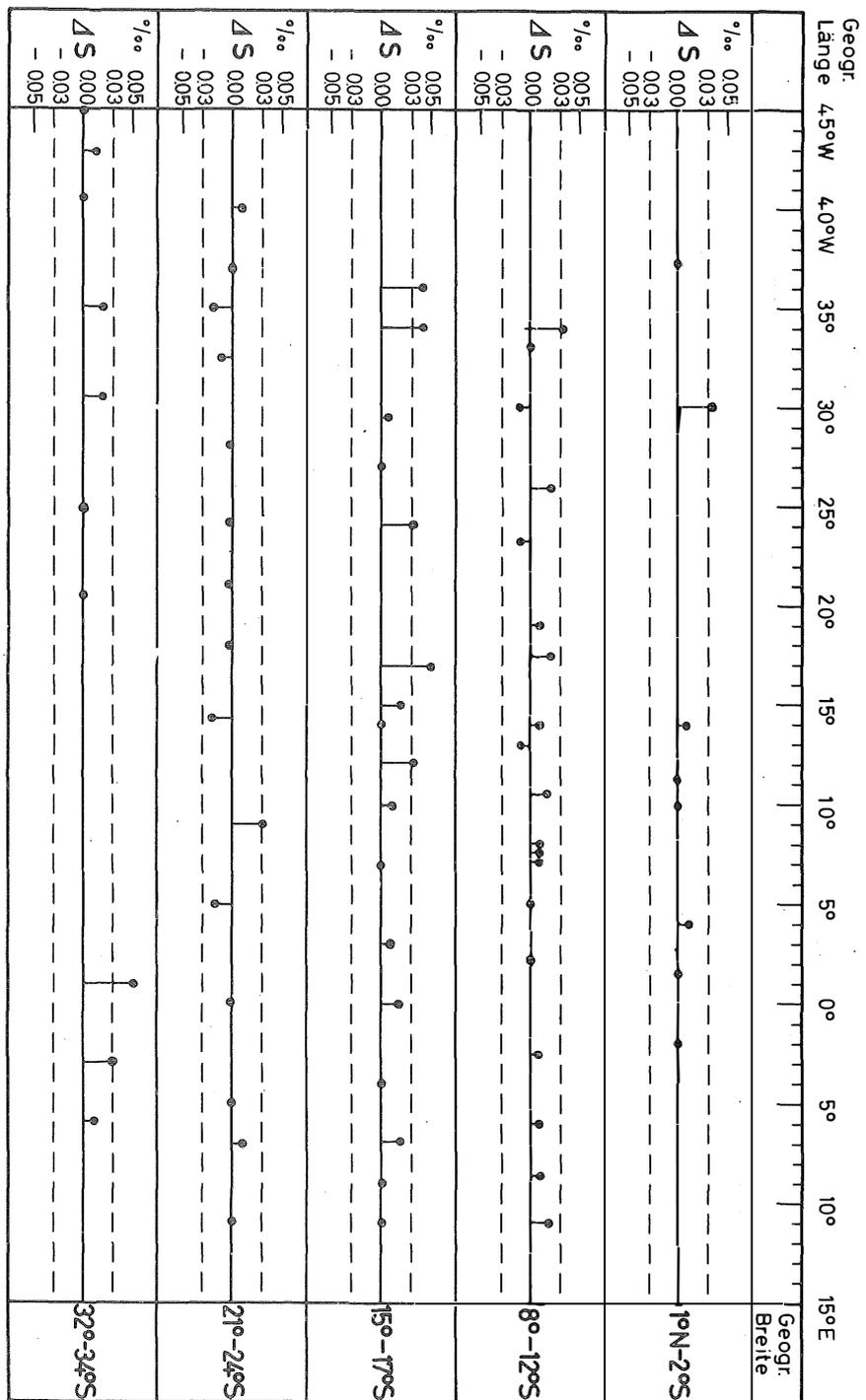
Tafel 1 (zu G. Wüst)



Tafel 2 (zu G. Wüst)



Tafel 3 (zu G. Wüst)



Tafel 4 (zu G. Wüst)

überlagern den „mean steady state“. Daher liegt es nahe, zu versuchen über den optischen Vergleich FUGLISTERs hinaus zu einer exakteren quantitativen Erfassung der Differenzen in Temperatur und Salzgehalt zu gelangen unter Berücksichtigung der kurzperiodischen Schwankungen, die infolge der internen Wellen im Massenfeld auftreten. Für diese Aufgabe sind die Kernschichten der Temperatur und des Salzgehaltes (aber nicht die Horizontalkarten für Standardtiefen) geeignet (siehe S. 14).

Zur ersten Prüfung dieser Frage hat 1948 der Verfasser (4) die Temperaturinversion in der Kaltwassersphäre des Südatlantischen Ozeans, d. h. die Kernschichten des intermediären Temperaturminimums (in ca. 800—1750 m Tiefe) und des intermediären Temperaturmaximums (in ca. 1000—2250 m Tiefe) benutzt. Er hat hierzu die Wiederholungsserien auf „Meteor“-Station 197 (vom treibenden Schiff) und auf „Meteor“-Station 241 (vom verankerten Schiff) herangezogen, bei denen über einen Zeitraum von 24 bzw. 26 Stunden in 3—4stündigen Abstand die Schichtung in der Inversion bestimmt wurde. Von der damaligen Studie wiederholt Tabelle 1 die Ergebnisse der 9 Temperatur-Reihen auf „Meteor“-Station 197 vom treibenden Schiff aus, das innerhalb der 26 Beobachtungsstunden mit einer Geschwindigkeit von 24 cm/sec verlagert wurde. DEFANT (5) hat gezeigt, daß bei dieser treibenden Station „eine Analyse der Schwankungen genau wie bei Beobachtungen vom verankerten Schiff aus möglich

Tabelle 1

Wiederholungsserien auf „Meteor“-Station 197 vom 17.—18. IX. 1926

Anfangslage: = 8°49.0' S, = 16°40.0' W
Endlage: = 8°36.9' S, = 16°36.1' W

Solltiefe	5.7h	8.4h	11.2h	13.9h	16.6h
800 m	4.49° (794)	4.52° (787)	4.47° (804)	4.40° (793)	4.46° (790)
1000 m	3.97 (990)	3.98 (991)	3.97 (996)	3.94 (988)	3.97 (988)
1200 m	3.96 ₅ (1185)	3.97 (1185)	3.96 (1190)	3.97 (1185)	3.97 (1185)
1600 m	3.87 (1580)	3.82 (1580)	3.84 (1580)	3.84 (1580)	3.84 (1580)
Temperatur Differenz 1200—1000 m	— 0.005	— 0.01	— 0.01	+ 0.03	— 0.00

Solltiefe	19.2h	22.3h	1.2h	5.1h
800 m	4.48° (785)	4.41° (794)	4.40° (783)	4.56° (777)
1000 m	3.98 (970)	3.95 (988)	3.97 (975)	4.02 (970)
1200 m	3.96 (1165)	3.97 (1185)	3.96 (1170)	3.95 (1165)
1600 m	3.85 (1555)	3.84 (1575)	3.87 (1560)	3.87 (1550)
Temperatur Differenz 1200—1000 m	— 0.02	+ 0.02	— 0.01	— 0.07

Legende zu der nebenstehenden Abbildung (Tafel 3)

Differenzen S in den Salzgehalten der Kernschicht des Subantarktischen Zwischenwassers (Salzgehaltsminimum) zwischen den Reihenmessungen des Atlantic IGY-Program 1957—1958 und der „Meteor“-Expedition 1925—1927 („Crawford“ bzw. „Atlantis“ minus „Meteor“).

Legende zu der nebenstehenden Abbildung (Tafel 4)

Differenzen S in den Salzgehalten der Kernschicht des Nordatlantischen Tiefenwassers (Salzgehaltsmaximum) zwischen den Reihenmessungen des Atlantic IGY-Program 1957—1958 und der „Meteor“-Expedition 1925—1927 („Crawford“ bzw. „Atlantis“ minus „Meteor“).

ist.“ Bildet man die Temperaturdifferenz $t_{1200} - t_{1000}$ (letzte Zeile von Tab. 1), so könnte man annehmen, daß das Ausmaß der Inversion mit der internen Welle schwankt, ja daß die Inversion zeitweilig ganz verschwindet. Doch das wäre ein Fehlschluß. Taf. 1 macht es wahrscheinlich, daß sich die Tiefenlage der Temperaturinversion in einer Phase von 11,6^h hebt und senkt im Rhythmus der internen Welle, daß aber das Ausmaß der Inversion angenähert unverändert bleibt. Die vertikalen Verlagerungen belaufen sich im Durchschnitt auf 120 m.

Ganz ähnliche Verhältnisse zeigen — wenn auch im abgeschwächten Ausmaße (etwa 50 m) — die periodischen Verlagerungen der Temperaturinversion im Rhythmus der nahezu halbtägigen internen Welle in den Wiederholungsserien der „Meteor“-Ankerstation 241 (4, S. 122/123). Hieraus folgt sinngemäß, daß auch langwährende Veränderungen im „mean steady state“ nicht an Standardtiefen, sondern erfolgreich nur an den auf- und abschwankenden Kernschichten studiert und durch Differenzbildung quantitativ abgeschätzt werden können.

In den Jahren 1957/58 haben die Woods Hole-Forschungsschiffe „Crawford“ und „Atlantis“ im „Atlantic International Geophysical Year Program“ (3) vier Querprofile der „Meteor“-Expedition 1925—27 in 8°—12°S, 15°—17°S, 21°—24°S und 32°—34°S wiederholt und auch in 1°N—2°S an 9 „Meteor“-Stationen die Schichtung der Wassermassen durch Reihenmessungen noch einmal aufgenommen (Taf. 2). Da innerhalb der Kernschichten sich die Werte des Salzgehalts nur sehr allmählich ändern, sind die Positionsunterschiede an den korrespondierenden Stationen bis zu ca. 2° Länge und Breite für unsere Frage von untergeordneter Bedeutung. Andererseits ergeben sich bei einem solchen quantitativen Vergleich der Makrostruktur der Kernschichten infolge des vertikalen Abstands der Meßpunkte (100 m im subantarktischen Zwischenwasser, 200—250 m im Nordatlantischen Tiefenwasser) und aus den Fehlerquellen der Salzgehaltswerte durch Chlortitration (im Mittel $\Delta S = \pm 0,02$ bzw. $\pm 0,03\text{‰}$) der „Meteor“-Expedition merkliche Streuungen (bis 3 hm) in der Tiefenlage D der Kernschichten des Subantarktischen Zwischenwassers und des Nordatlantischen Tiefenwassers. Hingegen halten sich die Salzgehaltsdifferenzen, wie wir sehen werden, in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle in bescheidenen Grenzen (d. h. zwischen $-0,03\text{‰}$ und $+0,03\text{‰}$).

Für alle korrespondierenden Stationspaare haben wir die Differenzen der Kernschicht-Charakteristika berechnet, und zwar für die 3 Hauptkernschichten der Kaltwassersphäre: Subantarktisches Zwischenwasser (intermediäres Salzgehaltsminimum), Nordatlantisches Tiefenwasser (intermediäres Salzgehaltsmaximum) und Antarktisches Bodenwasser (Bodensalzgehalt und pot. Bodentemperatur), d. h. die Differenzen in der Tiefenlage und im Salzgehalt bzw. potentieller Bodentemperatur. Tabelle 2 enthält die Differenzen ΔD in hm und ΔS in ‰ für das Subantarktische Zwischenwasser an den korrespondierenden Stationen in den 5 Profilen: 1°N—2°S, 8°—12°S, 15°—17°S, 21°—24°S und 32°—34°S. Die Streuung in den ΔD -Werten ist, wie bei den Fehlerquellen der Methode zu erwarten, beträchtlich und übersteigt gelegentlich ± 1 hm. In Bezug auf ΔS ‰ bleibt in den 75 korrespondierenden Stationspaaren die Streuung in bescheidenen Grenzen. In 79% der Fälle übersteigt die Differenz ΔS nicht die $\pm 0,03\text{‰}$ -Grenze, d. h. bleibt innerhalb der Fehlergrenze, die aus dem vertikalen Abstand der Meßpunkte und der Chlortitration resultiert. Jedoch in 16 Fällen, d. h. in 21% der korrespondierenden Werte, erreicht ΔS Beträge zwischen 0,04 und 0,07‰ sowohl nach der positiven als auch nach der negativen Seite (Abb. 3). Zusammenfassend können wir sagen, daß wir es in der Salzgehalts-Kernschicht des Subantarktischen Zwischenwassers nur in annähernd ein Fünf-

Tabelle 2
 Subantarktisches Zwischenwasser (S⁰/₀₀-Minimum)
 Tiefe, Salzgehalt und Differenzen zwischen ATLANTIC IGY- und
 Meteor-Expedition

Cf = Crawford }
 At = Atlantis } 1957—58
 Mt = Meteor } 1925—27

Geogr. Länge	Schiff Stat.-Nr.	Tiefe D hm	S ‰	Δ D hm	Δ S ‰	Geogr. Länge	Schiff Stat.-Nr.	Tiefe D hm	S ‰	Δ D hm	Δ S ‰
Profil 1° N—2° S											
W						2°	Cf 99	7.0	34.50	} 0.0	0.00
39°	Cf 498	6.9	34.50	} 0.9	0.02	2°	Mt 191	7.0	34.50		
39°	Mt 257	6.0	34.48			6°	Cf 94	8.0	34.50	} 0.1	—0.01
37°	Cf 496	7.0	34.50	6°	Mt 189	7.9	34.51	9°	Cf 92		
37°	Mt 258	6.7	34.50	} 0.3	0.00	9°	Mt 188	7.9	34.48	} 0.0	0.03
30°	Cf 491	5.9	34.51			11°	Cf 89	7.9	34.51		
29°	Mt 212	7.5	34.48	} —1.6	0.03	11°	Mt 186	7.9	34.51	} 0.0	0.00
14°	Cf 478	6.9	34.50			11°					
14°	Mt 245	6.9	34.46	} 0.0	0.04	Profil 15°—17° S					
11°	Cf 476	6.9	34.51			W					
12°	Mt 244	7.0	34.46	} —0.1	0.05	36°	Cf 124	6.5	34.36	} —1.3	0.01
10°	Cf 475	6.7	34.50			36°	Mt 160	7.8	34.35		
10°	Mt 243	6.5	34.48	} 0.2	0.02	33°	Cf 126	7.9	34.43	} 0.4	0.07
4°	Cf 471	7.9	34.50			33°	Mt 159	7.5	34.36		
4°	Mt 242	6.9	34.50	} 1.0	0.00	29°	Cf 128	6.9	34.40	} —0.4	0.01
2°	Cf 469	6.7	34.51			30°	Mt 158	7.3	34.39		
1°	Mt 233	7.5	34.50	} —0.8	0.01	27°	Cf 129	7.3	34.40	} 0.0	0.00
E						27°	Mt 157	7.3	34.40		
2°	Cf 466	6.7	34.51	} —0.3	0.01	24°	Cf 131	7.0	34.45	} —0.8	0.03
2°	Mt 240	7.0	34.50			24°	Mt 156	7.8	34.42		
Profil 8°—12° S											
W						21°	Cf 133	7.4	34.42	} —0.4	0.03
34°	Cf 118	6.0	34.46	} —1.0	0.05	21°	Mt 155	7.8	34.39		
35°	Mt 203	7.0	34.41			17°	Cf 135	7.4	34.44	} —0.5	0.04
33°	Cf 117	8.0	34.48	} 1.0	0.07	15°	Mt 154	7.9	34.40		
33°	Mt 202	7.0	34.41			15°	Cf 136	6.9	34.44	} —0.6	0.00
30°	Cf 115	6.9	34.46	} 0.6	0.04	14°	Cf 137	6.8	34.45		
30°	Mt 201	7.5	34.42			14°	Mt 152	7.0	34.40	} —0.2	—0.05
26°	Cf 113	8.0	36.48	} 0.0	0.00	12°	Cf 138	6.4	34.46		
26°	Mt 200	8.0	36.48			12°	Mt 151	7.2	34.44	} —0.8	0.04
23°	Cf 111	6.9	34.48	} 0.0	0.01	10°	Cf 139	6.6	34.46		
23°	Mt 199	6.9	34.47			10°	Mt 150	7.7	34.47	} —1.1	—0.01
19°	Cf 109	7.6	34.47	} 0.6	0.01	7°	Cf 141	7.3	34.48		
19°	Mt 198	7.0	34.46			7°	Mt 149	7.0	34.48	} 0.3	0.00
16°	Cf 107	7.6	34.48	} 0.3	0.00	3°	Cf 143	7.7	34.48		
17°	Mt 197	7.9	34.48			3°	Mt 148	7.3	34.49	} 0.4	0.01
14°	Cf 106	7.8	34.47	} —0.1	0.01	0°	Cf 145	7.0	34.49		
14°	Mt 196	7.9	34.46			0°	Mt 147	7.8	34.46	} —0.8	0.03
13°	Cf 105	7.4	34.49	} —0.4	—0.02	E					
13°	Mt 195	7.8	34.51			4°	Cf 147	7.5	34.48	} —0.3	0.00
11°	Cf 104	8.2	34.48	4°	Mt 146	7.8	34.48				
10°	Mt 194	6.9	34.51	} 1.3	—0.03	7°	Cf 149	7.9	34.49	} 0.4	—0.03
8°	Cf 102	7.4	34.50			7°	Mt 145	7.5	34.52		
8°	Mt 193	7.5	34.50	} —0.1	0.00	9°	Cf 150	7.4	34.49	} —0.5	0.00
W						9°	Mt 144	7.9	34.49		
6°	Cf 101	7.4	34.49	} —0.1	0.00	11°	Cf 151	7.6	34.49	} —0.3	0.02
5°	Mt 192	7.5	34.49			11°	Mt 143	7.9	34.47		

Geogr. Länge	Schiff Stat.-Nr.	Tiefe D hm	S ‰	Δ D hm	Δ S ‰	Geogr. Länge	Schiff Stat.-Nr.	Tiefe D hm	S ‰	Δ D hm	Δ S ‰
Profil 21°—24° S						Profil 32°—34° S					
W						13°	Cf 456	8.5	34.47	} 1.5	0.00
41°	Mt 165	7.7	34.30	} 1.1	0.04	13°	Mt 183	7.0	34.47		
41°	Cf 417	8.8	34.34					Profil 32°—34° S			
40°	Mt 166	8.0	34.31	} 1.1	0.06	50°	At 5808	9.8	34.30	} 1.2	0.01
40°	Cf 419	9.1	34.37					50°	Mt 89		
37°	Mt 167	7.9	34.34	} 1.0	0.02	45°	At 5809	9.5	34.23	} 0.0	0.00
37°	Cf 421	8.9	34.36					46°	Mt 88		
35°	Mt 168	8.0	34.35	} 0.2	0.00	43°	At 5810	9.9	34.24	} 0.4	0.01
35°	Cf 422	7.8	34.35					43°	Mt 87		
33°	Mt 169	8.8	34.38	} 0.5	-0.03	41°	At 5811	9.1	34.24	} -0.6	0.02
33°	Cf 424	9.3	34.35					40°	Mt 86		
28°	Mt 170	8.0	34.39	} 0.0	0.01	35°	At 5814	9.9	34.28	} 0.0	0.04
28°	Cf 427	8.0	34.40					35°	Mt 85		
24°	Mt 171	7.7	34.40	} 0.0	-0.02	31°	At 5816	8.0	34.26	} -0.8	-0.01
24°	Cf 430	7.7	34.38					30°	Mt 84		
21°	Mt 172	7.8	34.40	} 0.4	0.00	25°	At 5819	9.7	34.25	} 1.5	-0.02
21°	Cf 432	7.8	34.40					25°	Mt 83		
18°	Mt 173	7.3	34.40	} 1.5	-0.05	21°	At 5821	9.5	34.25	} 0.3	-0.02
18°	Cf 434	7.7	34.40					20°	Mt 82		
15°	Mt 174	7.3	34.41	} 0.04	(-0.08)	15°	At 5824	9.8	34.32	} 0.0	(0.07)
15°	Cf 436	8.8	34.36					14°	Mt 81		
14°	Mt 175	7.5	34.40	} -1.1	0.00	9°	At 5827	7.6	34.29	} -0.6	-0.02
14°	Cf 437	7.9	(34.32)					10°	Mt 80		
12°	Mt 176	7.7	34.42	} 0.9	-0.05	5°	At 5829	7.8	34.27	} -1.3	-0.02
12°	Cf 438	6.8	34.42					5°	Mt 79		
9°	Mt 177	7.0	34.41	} 0.4	-0.03	1°	At 5831	9.5	34.32	} 1.3	0.05
9°	Cf 440	7.9	34.36					1°	Mt 78		
5°	Mt 178	6.5	34.40	} 0.1	-0.02	E					
5°	Cf 443	6.9	34.37					3°	At 5843	9.9	34.33
0°	Mt 179	6.6	34.41	} 0.5	-0.03	3°	Mt 77	8.0	34.27	} 2.1	0.03
0°	Cf 446	6.7	34.39					13°	At 5838		
5°	Mt 180	6.0	34.39	} -0.2	(-0.07)	13°	Mt 74	7.0	34.36	} -1.4	-0.04
5°	Cf 450	6.5	34.36					16°	At 5836		
7°	Mt 181	7.0	(34.44)	} 0.0	0.00	16°	Mt 73	7.4	34.35	} 1.7	-0.01
7°	Cf 454	6.9	34.44					17°	At 5835		
11°	Mt 184	6.9	34.44			17°	Mt 72	5.3	34.37		

Tabelle 3
Nordatlantisches Tiefenwasser (S⁰/₀₀-Maximum)
Tiefe, Salzgehalt und Differenzen zwischen Atlantic IGY- und Meteor-Expedition

Cf = Crawford 1957—58
At = Atlantis 1957—58
Mt = Meteor 1925—27

Geogr. Länge	Schiff Stat.-Nr.	Tiefe D hm	S ‰	Δ D hm	Δ S ‰	Geogr. Länge	Schiff Stat.-Nr.	Tiefe D hm	S ‰	Δ D hm	Δ S ‰
Profil 1° N—2° S						Profil 1° N—2° S					
W						30°	Cf 491	17.2	34.98	} -1.6	0.03
37°	Cf 496	17.0	34.98	} 1.0	0.00	29°	Mt 212	18.8	34.95		
37°	Mt 258	16.0	34.98					14°	Cf 479	17.0	34.97
						14°	Mt 245	17.5	34.96		

Geogr. Länge	Schiff Stat.-Nr.	Tiefe D hm	S ‰	Δ D hm	Δ S ‰	Geogr. Länge	Schiff Stat.-Nr.	Tiefe D hm	S ‰	Δ D hm	Δ S ‰
11°	Cf 476	17.7	34.97	} -1.8	0.00	29°	Cf 128	21.4	34.93	} -1.1	0.01
12°	Mt 244	19.5	34.97			30°	Mt 158	22.5	34.92		
10°	Cf 475	17.7	34.97	} -0.3	0.00	27°	Cf 129	18.8	34.91	} -3.0	0.00
10°	Mt 243	18.0	34.97			27°	Mt 157	21.8	34.91		
4°	Cf 471	17.7	34.97	} -1.8	0.01	24°	Cf 131	21.1	34.92	} -3.8	0.03
4°	Mt 242	19.5	34.96			24°	Mt 156	24.9	34.89		
2°	Cf 469	18.8	34.97	} -0.2	0.00	17°	Cf 135	18.1	34.94	} -1.9	0.05
1°	Mt 233	19.0	34.97			17°	Mt 154	20.0	34.89		
E						15°	Cf 136	20.1	34.94	} -2.6	0.02
2°	Cf 466	17.9	34.96	15°	Mt 153	17.5	34.92				
2°	Mt 240	17.5	34.96	} 0.4	0.00	14°	Cf 137	20.3	34.91	} -0.3	0.00
						14°	Mt 152	20.0	34.91		
Profil 8°—12° S						12°	Cf 138	22.6	34.93	} -3.1	0.03
W						12°	Mt 151	19.5	34.90		
34°	Cf 118	19.9	34.98	} 0.9	0.03	10°	Cf 139	17.2	34.92	} -1.3	0.01
35°	Mt 203	19.0	34.95			10°	Mt 150	18.5	34.91		
33°	Cf 117	20.0	34.96	} -1.5	0.00	7°	Cf 141	20.6	34.92	} 2.6	0.00
33°	Mt 202	21.5	34.96			7°	Mt 149	18.0	34.92		
30°	Cf 115	17.1	34.96	} -2.7	-0.01	3°	Cf 143	21.8	34.92	} 2.3	0.01
30°	Mt 201	19.8	34.97			3°	Mt 148	19.5	34.91		
26°	Cf 113	19.8	34.98	} 0.8	0.02	0°	Cf 145	23.4	34.93	} -1.2	0.02
26°	Mt 200	19.0	34.96			0°	Mt 147	24.6	34.91		
23°	Cf 111	18.8	34.95	} 0.8	-0.01	E					
23°	Mt 199	18.0	34.96			4°	Cf 147	22.6	34.92		
19°	Cf 109	18.1	34.95	} -1.8	0.01	4°	Mt 146	25.0	34.92	} -2.4	0.00
19°	Mt 198	19.9	34.94			7°	Cf 149	23.4	34.93		
18°	Cf 108	17.5	34.96	} -0.4	0.02	7°	Mt 145	24.6	34.91	} -1.2	0.02
17°	Mt 197	17.9	34.94			9°	Cf 150	21.4	34.93		
14°	Cf 106	15.8	34.94	} -2.2	0.01	9°	Mt 144	21.2	34.93	} 0.2	0.00
14°	Mt 196	18.0	34.93			11°	Cf 151	21.6	34.93		
13°	Cf 105	16.3	34.94	} -2.7	-0.01	11°	Mt 143	21.0	34.93	} 0.6	0.00
13°	Mt 195	19.0	34.95								
11°	Cf 104	18.5	34.95	} -1.3	0.02	Profil 21°—24° S					
10°	Mt 194	19.8	34.93			W					
8°	Cf 102	20.2	34.94	} 0.3	0.01	40°	Cf 419	20.4	34.96	} -2.1	0.01
8°	Mt 194	19.9	34.93			40°	Mt 166	22.5	34.95		
8°	Cf 103	20.2	34.94	} 0.2	0.01	37°	Cf 421	21.7	34.95	} 2.0	0.00
8°	Mt 193	20.0	34.93			37°	Mt 167	19.7	34.95		
5°	Cf 101	19.3	34.94	} -0.5	0.00	35°	Cf 422	21.5	34.95	} -0.1	-0.02
5°	Mt 192	19.8	34.94			35°	Mt 168	21.6	34.97		
2°	Cf 99	20.2	34.94	} 0.3	0.00	33°	Cf 424	24.6	34.94	} 0.0	-0.01
2°	Mt 191	19.9	34.94			32°	Mt 169	24.6	34.95		
E						28°	Cf 427	23.7	34.94	} 1.5	0.00
3°	Cf 96	18.3	34.94	28°	Mt 170	22.2	34.94				
2°	Mt 190	18.9	34.93	} -0.6	0.01	24°	Cf 430	22.7	34.94	} 1.7	0.00
6°	Cf 94	19.9	34.94			24°	Mt 171	21.0	34.94		
6°	Mt 189	19.9	34.93	} 0.0	0.01	21°	Cf 432	23.1	34.94	} 0.8	0.00
9°	Cf 92	17.8	34.94			21°	Mt 172	22.3	34.94		
9°	Mt 188	19.0	34.93	} -1.2	0.01	18°	Cf 434	22.5	34.94	} 0.5	0.00
11°	Cf 89	18.7	34.94			18°	Mt 173	22.0	34.94		
11°	Mt 186	19.0	34.92	} -0.3	0.02	15°	Cf 436	23.9	34.90	} 1.6	-0.05
						16°	Mt 174	22.3	34.95		
Profil 15°—17° S						14°	Cf 437	23.8	34.88	} 2.3	-0.02
W						14°	Mt 175	21.5	34.90		
36°	Cf 124	20.2	34.98	} -0.3	0.04	9°	Cf 440	30.2	34.88	} (1.1)	(0.03)
36°	Mt 160	22.5	34.94			9°	Mt 177	(29.1)	(34.91)		
33°	Cf 126	19.5	34.96	} -2.4	0.04	5°	Cf 443	20.8	34.89	} -1.1	0.02
33°	Mt 159	21.9	34.92			5°	Mt 178	21.9	34.91		

Geogr. Länge	Schiff Stat.-Nr.	Tiefe D hm	S ‰	Δ D hm	Δ S ‰	Geogr. Länge	Schiff Stat.-Nr.	Tiefe D hm	S ‰	Δ D hm	Δ S ‰	
0°	Cf 446	(38.9)	(34.89)	} (9.4)	(0.00)	31°	At 5816	28.8	34.90	} -1.0	0.02	
0°	Mt 179	29.5	(34.89)			30°	Mt 84	29.8	34.88			
E						25°	At 5819	29.5	34.90	} 0.6	0.00	
5°	Cf 450	21.4	34.89	} -0.04	0.00	25°	Mt 83	28.9	34.90			
5°	Mt 180	21.8	34.89			21°	At 5821	28.4	34.88	} -0.6	0.00	
7°	Cf 451	21.4	34.90	} -0.7	0.01	20°	Mt 82	29.0	34.88			
7°	Mt 181	22.1	34.89			9°	At 5827	32.1	34.89	} (5.0)	(0.04)	
11°	Cf 454	24.4	34.90	} 0.6	0.00	10°	Mt 80	(27.1)	(34.85)			
11°	Mt 184	23.8	34.90			5°	At 5829	33.6	34.88	} (5.1)	(0.04)	
Profil 32°—34° S						5°	Mt 79	(28.1)	(34.84)			} 0.7
W						1°	At 5831	32.0	34.88			
45°	At 5809	25.3	34.94	} 0.7	0.00	1°	Mt 78	31.3	34.83	E		
46°	Mt 88	24.6	34.94			3°	At 5843	28.7	34.86	} -0.3	0.03	
43°	At 5910	24.6	34.93	} -2.4	0.01	3°	Mt 77	29.0	34.83			
43°	Mt 87	27.0	34.92			7°	At 5841	(35.4)	34.87	} (9.9)	(0.01)	
41°	At 5811	26.1	34.92	7°	Mt 76	25.5	34.86					
40°	Mt 86	29.0	34.92	} -2.9	0.00	13°	At 5838	26.4	34.87	} -0.2	0.04	
35°	At 5814	28.9	34.92			13°	Mt 74	26.6	34.83			
35°	Mt 85	29.2	34.90	} -0.3	0.02							

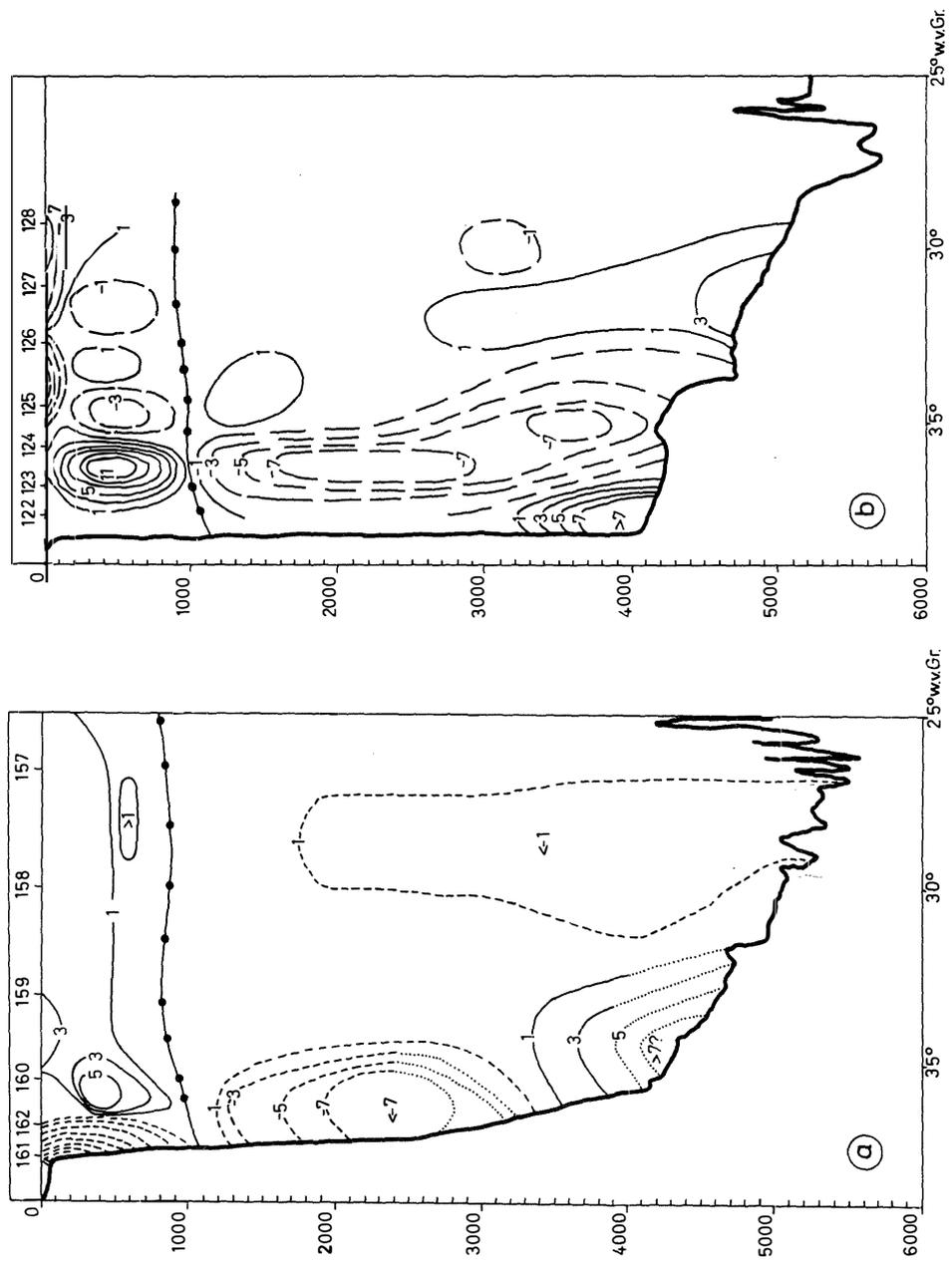
tel der Fälle während des Zeitraumes von 30—32 Jahren nicht mit stationären Verhältnissen im strengeren Sinne zu tun haben (Taf. 3).

Günstiger liegen die Ergebnisse, die wir in Tab. 3 für das Nordatlantische Tiefenwasser erzielt haben. Entsprechend dem weiteren Abstand der Meßpunkte (2 bzw. 2,5 hm) ist zwar die Streuung in den ΔD -Werten größer und übersteigt zwangsläufig in einzelnen Fällen ± 3 hm. Hingegen ist, wie Tab. 3 und Taf. 4 lehren, die Streuung der ΔS -Werte merklich geringer. In 93% der Fälle übersteigt die Differenz ΔS nicht die $\pm 0,03\text{‰}$ -Grenze, welche die aus Vertikalabstand der Meßpunkte und aus Chlortitration zu erwartende Fehlergrenze kennzeichnet. Nur in 7% der Fälle erreicht in „Ausreißern“ ΔS Beträge zwischen 0,04 und $0,07\text{‰}$ nach beiden Seiten. Zusammenfassend können wir feststellen, daß wir es in der Schicht des Nordatlantischen Tiefenwassers während der 30—32 Jahre offenbar und ganz überwiegend mit stationären Verhältnissen des Salzgehalts zu tun haben. Denn in den 3 Profilen 1°N — 2°S , 8° — 12°S und 21° — 24°S liegt ΔS innerhalb der Fehlergrenze der Methode ($\pm 0,03\text{‰}$), und in 15° — 17°S haben wir nur 3 Ausreißer ($+ 0,04$ bis $+ 0,05\text{‰}$) und in 32° — 34°S nur 1 Ausreißer ($+ 0,05\text{‰}$). Bemerkenswert ist, daß in diesen Fällen die positive Seite der Fehlerkurve bevorzugt ist.

In einem noch strengeren Sinne können wir im Antarktischen Bodenwasser von stationären Verhältnissen in der potentiellen Bodentemperatur und im Bodensalzgehalt sprechen (Tab. 4). Abgesehen von 2 Ausreißern in tp und 2 Ausreißern in $S\text{‰}$ liegen alle Δtp - und ΔS -Differenzen innerhalb der Fehlergrenze der Messungsmethoden, besonders im Salzgehalt, wo ΔS die Grenze von $\pm 0,02\text{‰}$ nicht übersteigt. Δtp ist in der Regel zwischen $\pm 0,01$ und $\pm 0,03$ gelegen. Zusammenfassend

Legenden zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 5)

- Geschwindigkeitsverteilung in 16°S in der Atlantischen Westmulde nach „Meteor“ 1925—1927.
- Geschwindigkeitsverteilung in 16°S in der Atlantischen Westmulde nach „Crawford“ 1957—1958.



Tafel 5 (zu G. Wüst)

Tabelle 4

Vergleich der pot. Bodentemperatur und des Bodensalzgehalts an benachbarten Stationen der "Meteor"- Expedition 1925/27 und des Atlantic IGY-Program 1957/58 im Südatlantischen Ocean (in Tiefen von 4000 m und mehr)

Station	Geographische		Tiefe m	tp	S ‰	Becken
	Breite	Länge				
Meteor 201	9°5 S	30°0 W	5290	0.14	34.73	Brasilianisches Becken
Crawford 115	8°2 S	29°6 W	5295	0.15	34.71	
C—M	—	—	—	0.01	— 0.02	
Meteor 199	8°9 S	22°5 W	5588	0.18	34.73	(~ 9° S)
Crawford 111	8°3 S	22°7 W	5445	0.18	34.72	
C—M	—	—	—	0.00	— 0.01	
Meteor 192	9°0 S	5°4 W	4440	1.94	34.88	Angola- Becken
Crawford 101	8°3 S	5°8 W	4390	1.93	34.89	
C—M	—	—	—	— 0.01	0.01	
Meteor 191	9°1 S	2°0 W	4475	2.01	34.88	Angola- Becken
Crawford 99	8°2 S	2°4 W	4490	1.98	34.89	
C—M	—	—	—	— 0.03	0.01	
Meteor 190	9°0 S	2°0 E	5501	1.94	34.88	(~ 9° S)
Crawford 96	8°2 S	2°7 E	5625	1.92	34.88	
C—M	—	—	—	— 0.02	0.00	
Meteor 189	9°0 S	6°0 E	4992	1.96	34.89	Angola- Becken
Crawford 94	8°3 S	6°0 E	4970	1.95	34.88	
C—M	—	—	—	— 0.01	— 0.01	
Meteor 188	9°0 S	9°0 E	4401	1.99	—	Angola- Becken
Crawford 92	8°2 S	8°8 E	4375	1.98	34.89	
C—M	—	—	—	— 0.01	—	
Meteor 148	15°0 S	3°5 W	5157	1.94	34.88	Angola- Becken
Crawford 143	15°7 S	3°3 W	5230	1.96	34.88	
C—M	—	—	—	0.02	0.00	
Meteor 146	15°1 S	3°0 E	5543	1.96	—	Angola- Becken
Crawford 147	15°7 S	3°6 E	4970	1.94	34.90	
C—M	—	—	—	0.02	—	
Meteor 145	15°3 S	6°6 E	5162	2.00	34.89	(15°—16° S)
Crawford 149	15°6 S	7°0 E	5135	1.96	34.90	
C—M	—	—	—	(— 0.04)	0.01	
Meteor 144	16°1 S	9°5 E	4336	2.03	—	Argentinisches Becken (33° S)
Crawford 150	15°7 S	8°8 E	4620	1.99	34.89	
C—M	—	—	—	(— 0.04)	—	
Meteor 88	32°7 S	46°0 W	3915	— 0.24	34.67	Argentinisches Becken (33° S)
Atlantis 5809	32°5 S	44°7 W	3930	— 0.14	34.68	
A—M	—	—	—	(0.10)	0.01	
Meteor 76	34°1 S	7°2 E	5281	0.66	(34.73)	Kap-Becken (32°—34° S)
Atlantis 5841	32°5 S	7°2 E	4910	0.69	34.77	
A—M	—	—	—	0.03	—	
Meteor 75	33°9 S	10°3 E	4679	0.69	34.69	Kap-Becken (32°—34° S)
Atlantis 5839	32°3 S	11°0 E	4565	0.71	(34.91)	
A—M	—	—	—	0.02	—	

können wir feststellen, daß in den 2 tieferen Kernschichten der südatlantischen Kaltwassersphäre die Bedingungen stationärer Verhältnisse in einer mit der Tiefe wachsenden Annäherung und in Bezug auf den thermo-halinen Makroaufbau erfüllt sind.

Können wir auch hinsichtlich des dynamischen Aufbaus, d. h. im Sinne von FUGLISTER (3) von einem „steady state character of the large scale Atlantic Ocean dynamics“ sprechen? Das ist unwahrscheinlich, da bereits bei den dynamischen Berechnungen (6) der geostrophischen Komponenten (senkrecht zu den Querschnitten) infolge der Summation von der Oberfläche zur Tiefe die zweifellos in der Warmwassersphäre vorhandenen starken periodischen und unperiodischen Veränderungen eingehen. Dies beweist Taf. 5, in der die Geschwindigkeitsverteilungen in 16°S in der Atlantischen Westmulde auf Grund unserer dynamischen Berechnungen a) der „Meteor“-Stationen und b) der „Crawford“-Stationen durch Isotacheen dargestellt sind. Infolge der verschiedenen Stationsabstände und wegen Unterschiede im thermo-halinen Aufbau der Warmwassersphäre bestehen auch in der Kaltwassersphäre bemerkenswerte Unterschiede der Geschwindigkeitsverteilungen; lediglich in den Kernen der maximalen Geschwindigkeiten (von mehr als 7 cm/sek) besteht Übereinstimmung in Bezug auf die meridionalen Komponente des Nordatlantischen Tiefenstroms und des Antarktischen Bodenstroms. (Abb. 4a und 4b). Oberhalb der Bezugsfläche unterscheiden sich die Isotacheendiagramme wesentlich, und auch unterhalb derselben sind seitliche Verschiebungen der Maxima und Minima festzustellen. Wir können daher nicht von stationären Verhältnissen (mean steady state) in Bezug auf die „Atlantic Ocean dynamics“ sprechen, sondern lediglich in Bezug auf die Makrostruktur des Salzgehalts und der pot. Bodentemperatur in zwei von den 3 betrachteten Kernschichten. Dieses Ergebnis war bereits nach den kritischen Ausführungen, welche der Verfasser in Kapitel IV und VI seiner Arbeit über die „Stromgeschwindigkeiten und Strommengen in den Tiefen des Atlantischen Ozeans“ 1957 (6) gemacht hat, zu vermuten.

Die vorliegenden Ergebnisse beruhen auf der klassischen Methode der punktweisen, d. h. stichprobenhaften Serienmessungen (mit Wasserschöpfern und Kippthermometern), die nur eine angenäherte Bestimmung der Hauptcharakteristika der Kernschichten gestattet. In der Gegenwart ist es möglich, kontinuierliche und exaktere elektronische Registrierungen von Temperatur¹⁾ und Salzgehalt längs der ganzen Vertikalen von der Oberfläche bis zum Boden mit neuen Meßmethoden durchzuführen und dadurch eine Verfeinerung der Kernschichtanalyse und des Studiums der Frage, in welcher Annäherung der thermohaline „mean steady state“ in den Hauptwasserkörpern der Kaltwassersphäre erfüllt ist, zu erreichen. Die wenigen aus größeren Tiefen des Atlantischen Ozeans bisher bekannt gewordenen Stationen (des Kieler Instituts für Meereskunde) mit kontinuierlichen elektronischen Registrierungen von Salzgehalt und Temperatur (Bathysonde) lassen bereits erkennen, daß die von uns betrachtete Makrostruktur und die Großinversionen zwischen den Kernschichten der quasi-homogenen Hauptwasserkörper überlagert werden von einer Feinstruktur der Schichtung mit zahlreichen linsenartigen Rücksprüngen 2. Ordnung. Einige „Ausreißer“ in unserer Studie über den „mean steady state“ in den Haupt-Kernschichten dürften sich aus solchen bisher unerwarteten Klein-Inversionen erklären.

¹⁾ Die ersten nahezu kontinuierlichen Messungen des vertikalen Temperaturgradienten wurden zwischen 2000 und 8000 m vom Lamont Geological Observatory bereits 1959 im tropischen Nordatlantischen Ozean an 15 Stationen mit dem sog. Thermograd-Recorder durchgeführt, welche unerwartete Feinstrukturen der thermischen Schichtung innerhalb der Hauptwassermassen ergaben (Journal of Geophysical Research Vol. 67, No. 2, 1962, S. 785 ff.).

Zusammenfassung: Bei einem Vergleich der südatlantischen Querprofile (t° und $S \text{ ‰}$) von „Meteor“ 1925/27 und „Crawford“-„Atlantis“ 1957/58 ist FUGLISTER (1960) zu dem Schluß gekommen: „Such comparison provides dramatic evidence for the steady state character of large scale Atlantic dynamics.“ In der vorliegenden Studie wird gezeigt, daß infolge der periodischen und unperiodischen vertikalen Verlagerungen der Wassermassen nur in den Kernschichten des Subantarktischen Zwischenwassers, des Nordatlantischen Tiefenwassers und des Antarktischen Bodenwassers in Bezug auf die Salzgehaltswerte (im Bodenwasser auch in Bezug auf die potentielle Bodentemperatur) von stationären Verhältnissen gesprochen werden kann. Vom dynamischen Standpunkt ist ein steady character nicht zu erwarten, wie der Vergleich der aus dem Massenfeld berechneten Isotacheenprofile auf Grund der „Meteor“- und der „Crawford“-Profile in 16° S in der Atlantischen Westmulde beweist.

On the Steady State Character in the Macrostructure of the Atlantic Coldwater-sphere (Summary): By the comparison of the South Atlantic cross sections of temperature and salinity of “Crawford”-“Atlantis” 1957/58 with the corresponding profiles of “Meteor” 1925/27 F. C. FUGLISTER (1960) concludes: “Such comparison provides dramatic evidence for the steady state character of the large scale Atlantic dynamics.” In the present study it is demonstrated, that only in the core layers (Subantarctic Intermediate Water, North Atlantic Deep Water, Antarctic Bottom Water) stationary conditions exist in $S \text{ ‰}$ (in the bottom water also in t_p). From the dynamical point of view we cannot expect a steady state character. This result is confirmed by a comparison of the dynamic computations of the geostrophic currents perpendicular to the “Crawford”- and “Meteor”-profiles in 16° S .

Literaturverzeichnis

1. WÜST, G. (1936): Schichtung und Zirkulation des Atlantischen Ozeans. Das Bodenwasser und die Stratosphäre. „Meteor“-Werk Bd. VI, 1, Berlin.
2. WÜST, G. (1964): Stratification and circulation in the Antillean-Caribbean basins I. Vema Research-Series II. New York.
3. FUGLISTER, F. (1960): Atlantic Ocean atlas of temperature and salinity. Profiles and data from the International Geophysical Year of 1957—1958, Atlas Ser. Vol. 1, Woods Hole.
4. WÜST, G. (1948): Die Temperaturinversion im Tiefenwasser des Südatlantischen Ozeans. Deutsch. Hydrogr. Zeitschr. 1, 4, Hamburg.
5. DEFANT, A. (1932): Die Gezeiten und inneren Gezeitenwellen des Atlantischen Ozeans. „Meteor“-Werk, Bd. VII, 1, Berlin.
6. WÜST, G. (1957): Stromgeschwindigkeiten und Strommengen in den Tiefen des Atlantischen Ozeans. „Meteor“-Werk Bd. VI, 2, 6. Berlin.