

Copyright ©

Es gilt deutsches Urheberrecht.

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

German copyright law applies.

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

Aus dem Oceanography Department, Alexandria University und
dem Institut für Meereskunde der Universität Kiel.

Die Verteilung des Salzgehaltes im Suez-Kanal¹⁾

VON SELIM ANTOUN MORCOS

Zusammenfassung: An 13 Längsschnitten, die vom Verfasser in elf verschiedenen Monaten der Jahre 1953—1955 aufgenommen worden sind, wird die vertikale Verteilung des Salzgehalts für die gesamte Kanalstrecke Port Said—Suez dargestellt und zugleich eine erste Vorstellung von ihren jahreszeitlichen Schwankungen gewonnen. Einen tieferen Einblick in den jährlichen Gang gewähren Jahreskurven des Salzgehalts an ausgewählten Stationen für die drei natürlichen Regionen des Kanals: Das Gebiet um Port Said, das Bitter-See-Gebiet und das Gebiet um Suez. Isoplethendiagramme des Salzgehalts veranschaulichen die jahreszeitlichen und regionalen Veränderungen des Salzgehalts in 0,6 und 12 m Tiefe. Die 44‰ Isohaline erweist sich hierbei als eine klare Abgrenzung der zentralen Wassermassen des Bitter-See-Gebietes gegenüber den peripheren des Suez- bzw. Port-Said-Gebietes.

The distribution of the salinity in the Suez Canal (Summary): Thirteen monthly cruises were made by the author in the Suez Canal from Port Said to Suez from November 1953 to November 1955. The longitudinal hydrographical sections represent the distribution of salinity along the Canal at eleven different months (Tabelle 1 u. Tafel 2). The comparison between the salinity data at corresponding stations obtained from the observations of 1924—1925, 1933—1934 and 1954—1955 shows that the monthly change of salinity at the three main natural regions of the Canal: The Port Said, the Bitter Lakes and the Suez regions follow a definite trend which repeats itself with few irregularities from one year to another. The salinity at Port Said drops to a minimum in summer (Tafel 7) due to the effect of the Nile flood (Tafel 8). The salinity in the Great Bitter Lake changes very regularly from a minimum in spring (44‰) to a maximum in Autumn, while it changes in the Little Bitter Lake and in the southern part of the Canal from less than 43‰ ($46,75\text{‰}$) in spring to about 48‰ in autumn, thus exceeding the maximum salinity of the Great Bitter Lake itself (Tafel 4). The highest value of salinity along the Canal appears normally in the Great Bitter Lake but it tends to move northwards in spring and southwards in autumn (Tabelle 2). The salinity at Suez remains less than 43‰ except in late summer when it exceeds 44‰ (Tafel 6).

The isoplate diagrams at 0,6 and 12 meters (Tafel 9 a, b and c) show the seasonal changes taking place in the three distinct water masses, the Port Said (less than 39‰), the Bitter Lakes (more than 44‰) and the Suez Bay (less than 43‰). Mixed waters appear inbetween. In summer the Port Said waters diluted by the Nile flood invades the northern part of the Canal when the current sets in a southward direction and the water level at Port Said exceeds that at Port Tewfik. In the rest of the year the current has a northward direction and the sea level at Port Tewfik is remarkably higher than Port Said. The northern part of the Canal is fed with water coming from the Bitter Lakes and the 39‰ isohaline is pushed north of Port Said. The Bitter Lakes water mass has a minimum volume and salinity of about 44‰ in April. This is due to the relatively strong northward current in winter which allows less contact between the salt bed and the waters of the Lake and results in continuous transport of salts from the Lake. This water mass starts to increase in volume and salinity. Due to the very feeble southward current in summer which allows some sort of stagnation it shifts gradually to the south and increases to its maximum volume and salinity in September. It appears then as a

¹⁾ Teil einer Doktor-Dissertation (Univ. Kiel), 1959, „Über die Veränderungen der Schichtung und Zirkulation im Suez-Kanal auf Grund eigenen Beobachtungsmaterials 1953—1955“.

An dieser Stelle möchte ich meinem verehrten Lehrer Herrn Prof. Dr. A. F. MOHAMED, Professor of Physical and Chemical Oceanography und Vizerektor der Universität in Alexandria für seine Anregungen und Ratschläge während der einleitenden und experimentellen Untersuchungen herzlich danken.

Ganz besonderen Dank gebührt meinem verehrten Lehrer Herrn Prof. Dr. G. Wüstr, dem früheren Direktor des Instituts für Meereskunde an der Universität Kiel, der mir in seinem Institut einen Arbeitsplatz zur Verfügung stellte und dessen ständige Anteilnahme und Förderung wesentlich zur Durchführung dieser Untersuchungen beigetragen haben.

mass of water mass with a central nucleus of more than 47.5‰ salinity south of the Bitter Lakes. By the reversal of the current the water mass starts to degenerate and to shift to the north to regain its normal position in the Great Bitter Lake. The Suez Bay water mass (less than 43‰) appears in the southern part of the Canal and the Little Bitter Lake all the year except in summer when it is pushed south of Port Tewfik by the more saline water coming from the Great Bitter Lake.

Vorwort

Im Jahre 1953 begann die Ozeanographische Abteilung der Universität Alexandria mit einem umfangreichen Programm zur Untersuchung der Hydrographie, Chemie und Biologie des Suez-Kanals. Ganz besonderer Dank gebührt den früheren Direktoren Herrn Prof. Dr. H. FAOUZI und Herrn Prof. Dr. A. F. MOHAMED für die Bemühungen um dieses Vorhaben. Während der Zeit vom November 1953 bis zum November 1955 konnten dreizehn Ausfahrten von Port Said bis Suez unternommen werden. Die ersten sechs Exkursionen wurden mit Schiffen des Küstenschutzes durchgeführt, deren Verwaltung, Kapitänen und Mannschaften in Alexandria und Port Said ich herzlich danke. Ebenso bin ich der Suez-Kanal-Behörde, die mir Kartenmaterial und hydrographische Daten bereitwillig zur Verfügung stellte, zu großem Dank verpflichtet. Mein besonderer Dank gehört auch der Alexander-von-Humboldt-Stiftung für das zweijährige Stipendium im Kieler Institut für Meereskunde, in welchem ich — unter Leitung des damaligen Direktors, Herrn Prof. Dr. G. Wüster, die Ergebnisse des aus dem Kanal neu gewonnenen Beobachtungsmaterials bearbeitet habe.

A) Beschreibung des Kanals (Tafel 1)

a) Der eigentliche Kanal: Die Erdarbeiten für den Suezkanal begannen im Jahre 1859. Der Kanal wurde am 17. November 1869 offiziell für die Schifffahrt eröffnet.

Der Kanal erstreckt sich zwischen 31°20' N und 29°55' N. Sein nördlicher Teil liegt zwischen 32°20' E und 32°25' E und sein südlicher Teil zwischen 32°35' E und 32°40' E. Die Bitterseen verbinden die beiden Teile. Die Seen erstrecken sich von NW nach SO.

Die Länge des Kanals, eingeschlossen die Seen, beträgt vom Leuchtturm in Port Said bis Port Tewfik 162 km. Vom Leuchtturm in Port Said aus gemessen ist der Kanal auf dem westlichen Ufer kilometriert. Hier finden sich auch Signalstationen in gleichmäßigen Abständen von ungefähr 10 km. Der Kanal erstreckt sich von Port Said-Leuchtturm bis zur Leuchtboje weitere 11 km in das Mittelmeer hinein. Diese Entfernung ist in den Seekarten der Kanalverwaltung in Hektometer, am Leuchtturm angefangen, unterteilt. Die Gesamtlänge des Kanals beträgt daher 173 Kilometer.

Die Breite des Kanals in der Höhe des Wasserspiegels ist 150 m und zwischen den Bojen 75 m. Die minimale Breite des Kanals in 11 m Tiefe beträgt 60 m. 1957 lag die Kanalsole zwischen 13,50 und 14 m Tiefe, Anfang 1956 ungefähr in 13 m. Das Maximum des zugelassenen Tiefgangs für Schiffe ist 10,67 m (35 Fuß). Der Kanal war 1869 nur 8 m tief und am Boden lediglich 22 m breit. Sieben aufeinander folgende „Projekte für die Kanalverbesserung“ vertieften und verbreiterten den Kanal. Das jetzt in Arbeit befindliche achte Verbesserungsprogramm wird die nasse Fläche von 1250 m² auf 1800 m² steigern, so daß Schiffe bis zu 37 Fuß Tiefgang den Kanal passieren können.

Der Kanal durchläuft eine Anzahl von Seen, die von Norden nach Süden aufgezählt Timsah-See, Großer und Kleiner Bitter-See heißen. Diese Seen waren vor dem Bau des Kanals teils trockene, teils sumpfige Becken. Auf seinem Wege durchschneidet der Kanal im ganzen drei Höhenzüge: El Guisr nördlich des Timsah-Sees, Serapium und Shalloufa nördlich und südlich der Bitter-Seen. Sie alle sind von geringer Höhe. Der bedeutendste von ihnen ist der El-Guisr, dessen höchster Punkt 23 m über dem Wasserspiegel liegt.

Legende zu der nebenstehenden Abbildung (Tafel 1)

Karte und Stationen des Suez-Kanals

Legende zu der nebenstehenden Abbildung (Tafel 2)

Monatliche Längsschnitte des Salzgehaltes durch den Suez-Kanal 1953—1955.

Nachdem der Kanal die Höhen von Shalloufa durchzogen hat, durchquert er ausgedehnte schlammige Flächen östlich von Suez. Diese treten bei Ebbe hervor. Der Kanal endet nun im Golf von Suez bei Port Tewfik, welches auf einem Untergrund erbaut wurde, der von gebaggertem, hier aufgeschüttetem Erdreich künstlich geschaffen ist.

b) Die angrenzenden und angeschlossenen Seen: Von Port Said bis km 50 passiert der Kanal den Menzala-See. Der Teil des Sees, der östlich vom Kanal liegt, ist jetzt trocken und kann in einigen Regionen bei hoher Tide geflutet werden; westlich vom Kanal ist der See sehr ausgedehnt und flach. Die Tiefe schwankt zwischen ein und zwei Metern. Der See enthält brackisches Wasser und ist vollständig vom Kanal getrennt, ausgenommen bei km 3,5, wo der sogenannte „Internal Canal“ beide verbindet. Der Timsah-See erstreckt sich über 4 km zwischen km 77 und km 81. Die Maximalbreite dieses Sees beträgt 4,7 km bei km 78,5. Vor dem Kanalbau war das Becken des Sees eine sumpfige Vertiefung. In Jahren starker Hochflut flossen die Wasser des Nils durch den Wadi Tumilat in dieses Becken. Der See wurde das erste Mal 1862 vom Mittelmeer aus geflutet. Die Vertiefung war 1867 bis zur Höhe des Wasserspiegels aufgefüllt. Die natürliche, ungebaggerte Tiefe des Sees beträgt in der Mitte 6 m. Am Rande ist er meistens nur 2—3 m tief. Der See ist von Sanddünen umgeben. Das Wasser drang in die Täler zwischen ihnen ein, und es bildeten sich hier zahlreiche Lagunen, die mit dem See zusammenhängen. Das Becken der Bitter-Seen war ein trockenes Tal, ehe der Kanal gegraben wurde. Im Nordteil dieses Tales befand sich ein ausgedehntes Salzlager, welches durch Austrocknung eines früher nach Norden reichenden Teiles des Golfs von Suez entstanden war. Das Becken wurde 1869 von Norden und Süden her mit Wasser gefüllt. Die Bitter-Seen, die so entstanden, sind durch die Höhe von Kabret bei km 120 in zwei Teile geteilt. Der Große Bitter-See dehnt sich zwischen km 97,5 und km 120 aus (22,5 km), der Kleine Bitter-See zwischen km 120 und km 134,5 (14,5 km). Die Maximalbreite in Höhe des Wasserspiegels ist für den Großen Bitter-See 11,5 km bei km 108 und für den Kleinen Bitter-See 4,8 km bei km 126. Noch in den frühen pharaonischen Zeiten war das Becken der Bitter-Seen ein Teil des Golfs von Suez und mit Meerwasser gefüllt. Später wurde das Becken durch eine Bodenerhebung bei Shalloufa vom Meere abgeschnitten. Man schätzte die Erhöhung auf 3 Meter, indem man die Höhe des ausgetrockneten Bettes des pharaonischen Suez-Kanals mit der Seehöhe bei Suez verglich (FOX 1926). Nach DE LESSEPS (1874 u. 1876) bestand der mittlere Teil des Beckenbodens aus einem Salzlager, das 13 km lang und 5 km breit war. Das Salzlager war durch Verdunstung entstanden, nachdem in der oben beschriebenen Weise das Gewässer vom Golf abgetrennt wurde. Das Salzlager besteht aus zahlreichen Schichten von Salzkristallen, die durch dünne, mit Kalziumsulfatkristallen vermischte Sandschichten voneinander getrennt sind (ALLIAUD 1868). Die Dicke der Salzsichten variiert von 5 bis 25 cm. Die meisten sind 10 cm stark. DE LESSEPS berechnete, daß ein Salzlager von nur einem Zehntel der tatsächlich vorhandenen Schichtdicke entstehen würde, wenn Wasser vom Roten Meer in den Bitter-See eindringen und verdunsten würde. Deswegen erklärte DE LESSEPS die geschichtete Beschaffenheit des Salzlagers auf folgende Weise: Nachdem der isolierte Arm des Roten Meeres ausgetrocknet und das gesamte Salz abgelagert war, muß sich das Becken wiederum gefüllt haben und anschließend ausgetrocknet sein; derselbe Prozeß muß sich mehrere Male wiederholt haben. Während der Flutung des Beckens mit Wasser aus dem Mittelmeer und dem Roten Meer in der Zeit von März bis Oktober 1869 erreichte der Salzgehalt einen extrem hohen Wert. Im Juni 1869, als die Wasserhöhe über dem Salzlager noch nicht mehr als 1,14 m war, betrug der Salzgehalt 168 g/l (Bestimmung durch Verdunstung, VOISIN BEY 1904). Nachdem das Becken bis zur Meeresspiegelhöhe gefüllt worden war, wurde dieses konzentrierte Seewasser langsam und stufenweise mit Wasser aus dem offenen

Meer durch den Kanal vermischt. Folglich fiel der Salzgehalt im Bitter-See, obgleich ständig Salz an den Bodenschichten in Lösung ging und der See stufenweise tiefer wurde.

B) Bisherige Untersuchungen

Die vorbereitenden Studien für das Projekt des Kanalbaues, durch den zwei bedeutende Meere verbunden werden sollten, erweckten großes Interesse für die Erforschung des Isthmus in praktischer und wissenschaftlicher Hinsicht. Die Ergebnisse wurden in einer Anzahl von Werken in den letzten Jahrzehnten des vergangenen Jahrhunderts veröffentlicht. Sie behandelten hauptsächlich das Salzlager des Großen Bitter-Sees und seinen Einfluß auf das Wasser des Sees und des Kanals. Großes Interesse fand auch der Unterschied zwischen dem Wasserstand des Mittelmeeres und des Roten Meeres.

Die Salzgehaltswerte von DURAND-CLAYE (1874) lenkten zum ersten Male die Aufmerksamkeit auch auf die Verteilung des Salzgehaltes im Suez-Kanal. PICOTTI (1927) veröffentlichte Temperatur- und Salzgehaltsdaten, die von Damietta bis Suez im Oktober 1923 durch das italienische Vermessungsschiff „Ammiraglio Magnaghi“ gemessen wurden. Es gelang VERCELLI (1927) auf Grund von Informationen über die Strömungen im Kanal und verschiedenen anderen Daten über den Salzgehalt, darunter den italienischen, für die jahreszeitlichen hydrographischen Verhältnisse eine allgemeine Beschreibung zu geben. Die Kanalgesellschaft bestimmte monatlich die Wasserdichte (bei 20° C) entlang des Kanals von Port Said bis Suez von Februar 1924 bis Januar 1925. Die Proben wurden ungefähr in 10 km Abstand, in 3 und 10 m Tiefe, außerdem bei 12 m Tiefe im Großen Bitter-See, gemessen. FOX (1926) gab dieses Material heraus und benutzte es, um die jahreszeitlichen hydrographischen Verhältnisse zu beschreiben. WÜST (1934) konstruierte zum ersten Mal auf Grund der Dichtewerte der Kanalgesellschaft und der Salzgehaltswerte der „Cambridge“ und der „Ammiraglio-Magnaghi“-Expedition vierteljährliche Längsschnitte für die Salzgehaltsverteilung des Kanals. Er beschrieb die Änderungen in den jahreszeitlichen hydrographischen Verhältnissen und die Beziehung zum Wasserstand, den Strömungen und den vorherrschenden meteorologischen Bedingungen.

WIMPENY (1930) gab hydrographisches Material, insbesondere Temperaturwerte, vom Suez-Kanal 1928—1929 heraus. GHAZZAWI (1939) besprach die Ergebnisse von Temperatur- und Salzgehaltsbeobachtungen während seiner Fahrten zum Studium des Phytoplanktons im Kanal. Das Hydrobiologische Institut in Alexandria bestimmte von März 1933 bis Februar 1934 den Salzgehalt und die Temperatur in null, fünf und zehn Meter Tiefe. FAOUZI (1936, 1951), der die Wanderung der Organismen durch den Kanal studierte, benutzte dieses Material, um monatliche Längsschnitte aufzustellen. WÜST (1951) stellte auf Grund von 1937 gesammelten Salzgehaltsdaten fest, daß die Salzgehaltsabnahme von 1935 bis 1937 deutlich geringer war als in den vorangegangenen Jahrzehnten und daß die Salzgehaltsabnahme nicht linear, sondern asymptotisch verläuft. KRAUSS (1958) kam zu dem Schluß, daß die beobachtete asymptotische Angleichung dieses überhöhten Salzgehaltes an den Endwert, welcher sich nach der Auflösung des Salzlagers einstellen wird, auch vom theoretischen Standpunkt aus erwartet werden kann. Eine lineare Abnahme würde mit den bekannten Grundlösungen der Diffusionsgleichung nicht in Einklang stehen. Zur Zeit ist der Endwert praktisch bereits erreicht.

C) Spezielle Problemstellungen

a. Die letzte Analysen des Kanalwassers wurde 1937 gemacht, und es waren daher neue Bestimmungen des Salzgehaltes sehr notwendig, um seine Abnahme in den letzten 20 Jahren festzustellen.

Das Material von 1935 und 1937 ist außerdem von der Oberfläche entnommen. Hier ist durch Süßwasserzuström an einigen Stellen das Wasser verdünnt. Eine genaue Prüfung der Salzgehaltsabnahme erfordert die monatliche Bestimmung des Salzgehaltes in verschiedenen Tiefen, um damit das vollständige Material der monatlichen Beobachtungen von 1924—1925 und 1933—1934 zu vergleichen.

b. Die früheren Längsschnitte des Salzgehaltes stammen von Wüstr (1934) und von FAOUZI (1936 u. 1951). Da diese Schnitte von Salzgehaltmaterial gemacht wurden, das in Zeiten starker Abnahme des Salzgehaltes (1924—1925) und (1933—1934) entnommen worden war, sollten neue Längsschnitte durchgeführt werden. Die Abnahme des Salzgehaltes ist zur Zeit vergleichsweise sehr klein oder unmerklich, und es scheinen annähernd stabile Bedingungen im Kanal erreicht zu sein. Man darf annehmen, daß die neuen Längsschnitte aus den Jahren 1953—1955 (d. h. 20 Jahre nach FAOUZI) zum großen Teil die Salzgehalts-Verhältnisse im Kanal auf Jahre hinaus darstellen.

Außerdem erfüllen die früheren Reihenmessungen noch nicht alle Anforderungen, welche für eine vollständigere Bearbeitung der Schichtungsverhältnisse zu stellen sind, und zwar aus folgenden Gründen:

Das Material von 1924—1925 wurde nach der Kanalwasserdichte bei 20° C berechnet. Diese Dichtewerte wurden mit vier Dezimalstellen gegeben (z. B. $\rho_{20} = 1.0349$), während das ozeanographische Material mit der 6. Dezimalstelle gegeben wird (z. B. $\rho_{20} = 1.034957$ oder $\sigma_{20} = 34.957$). So ist der kleinste Unterschied, der durch Dichtewerte mit vier Dezimalstellen festgestellt werden kann $= 0.0001 \rho_{20} = 0.1 \sigma_{20} = 0.135 \text{ S } \%$. Das heißt, daß der kleinste Unterschied, der mit diesem Material festgestellt werden kann, 0.135 ‰ beträgt, während die Titrationsmethode von MOHR-KNUDSEN eine Fehlergrenze von $\pm 0.02 \text{ ‰}$ im Salzgehalt einzuhalten gestattet. Daher sind die Beobachtungsdaten von 1924 nicht so verläßlich wie die von 1933 und 1954. Andererseits, wenn man die Fehlergrenzen in Betracht zieht, kann man das Material von 1924 zum Vergleich mit Ergebnissen von 1933 und 1954 ohne weiteres benutzen, da die Änderung im Salzgehalt mit Zeit und Ort im Kanal erheblich größer ist als im offenen Meer.

Die Salzgehaltswerte von 1933—1934 konnten nur an 8 Stationen des Kanals bestimmt werden. Eine so geringe Zahl von Beobachtungen kann naturgemäß nicht ausreichen, um die Grenzen der verschiedenen Wassermassen in dem 173 km langen Kanal genau zu fixieren, da sie ihre Lage von Monat zu Monat ändern. Darum müssen mehr Stationen an solche Positionen gelegt werden, an denen man eine Grenze zwischen zwei Wassermassen vermutet.

c. Aus früheren Untersuchungen geht klar hervor, daß ein monatlicher Wechsel im Salzgehalt des Großen Bitter-Sees und der verschiedenen Punkte des Kanals stattfindet. Wüstr (1934) fand, daß der höchste Salzgehalt im Bitter-See vom Oktober bis Dezember zu finden ist und nicht während des Sommers, wenn ein Maximum an Wärme und Verdunstung vorhanden ist. Er erklärte dies damit, daß eine Art von Stagnation des Wassers über dem Salzlager herrscht. Die Strömungsmessungen, die später gemacht wurden, zeigten indessen, daß ein starker nordwärts gerichteter Strom im südlichen Teil des Kanals in dieser Jahreszeit vorhanden ist. FAOUZIS Längsschnitte zeigten einen höheren Salzgehaltswert im Großen Bitter-See in den Sommermonaten. GHAZAWI (1939) vertritt die Auffassung, daß die hohe Wassertemperatur im Sommer zur Lösung der Salze vom Salzlager beiträgt. Aus dieser Divergenz der Auffassungen erhebt sich die Frage, ob die monatliche Veränderung an einer bestimmten Stelle in den Bitter-Seen oder dem Kanal einen bestimmten Ablauf hat, der sich jährlich wiederholt, und welche

Faktoren diesen Ablauf zur Hauptsache hervorrufen oder beeinflussen. Die Beantwortung dieser Fragen erfordert einen Vergleich zwischen den zwei letzten Beobachtungsreihen und dem neuen Material.

D) Das Quellenmaterial

a. Die Untersuchungsfahrten: Von November 1953 bis November 1955 wurden dreizehn Ausfahrten durch den Suez-Kanal von Port-Said nach Suez unternommen. Tafel 2 und Tabelle 1 zeigten die Termine der Messungen. Die römischen Zahlen bedeuten die Nummern der Profile, bezeichnet nach dem entsprechenden Monat. Die ersten sechs Ausfahrten von November 1953 bis Mai 1954 (Ausfahrten XI b, II, III a, IV und V) wurden mit Schiffen des Ägyptischen Küstenschutzes durchgeführt. Die anderen Ausfahrten wurden mit gemieteten, kleinen Motorbooten gemacht.

Die dreizehn Ausfahrten geben die monatlichen Bedingungen über zwei Jahre wieder. Nimmt man an, daß jeder Monat charakteristische hydrographische Verhältnisse aufweist, welche sich in den verschiedenen Jahren praktisch in ausreichender Annäherung wiederholen, und daß es keine scharfen Sprünge zwischen den einzelnen aufeinanderfolgenden Monaten gibt, so können diese Beobachtungen in erster Annäherung als aus einem Jahr fortschreitend angesehen werden.

Auf diese Weise stellen wir fest:

1. Alle Ausfahrten sind in verschiedenen Monaten gemacht. Ausnahmen bilden März und November mit je einer Ausfahrt am Anfang und Ende des Monats und der Oktober ohne Ausfahrt.

2. Die Zeit zwischen zwei Ausfahrten beträgt etwa 30 Tage, außer zwischen IX und XI a (51 Tage) sowie zwischen XII und I (17 Tage).

3. Die Ausfahrten sind meist in den ersten zehn oder in den letzten zehn Tagen eines Monats unternommen und tendieren deshalb dahin, mehr die Übergangsverhältnisse zwischen zwei Monaten zu zeigen als die Verhältnisse in der Mitte eines bestimmten Monats.

b. Die Beobachtungen: Tafel 1 und Tabelle 1 zeigen die Stationen der Reihenbeobachtungen. Die Stationen wurden im allgemeinen alle zehn Kilometer gelegt. Im Falle des Hafens von Port Said, von Suez, des Timsah- und der Bitter-Seen liegen die Stationen enger, um mehr ins einzelne gehende Untersuchungen durchzuführen, die dann ein genaueres Bild der Situation geben können und die lokalen Faktoren, wie Süßwasserzufuhr, einbeziehen. Wie in den Karten der Suez-Kanal-Organisation wurde der Leuchtturm von Port Said als Nullpunkt gewählt, und alle Entfernungsangaben in südlicher Richtung bis Port Tewfik beziehen sich auf diesen Punkt und werden in Kilometern angegeben. Die Stationen nördlich des Leuchtturms (1A', 1A, 1A—1B, 1B, 1B') sind in Hektometern vom Nullpunkt bestimmt. Für die Wasserproben wurden eine Handwinde, galvanisierte Stahltrösse, ein Meterzählrad und ein Petersson-Nansen-Isolierwasserschöpfer aus Kopenhagen (Charlottenlund) benutzt. Die Probenentnahme wurde an jeder Station in 0,6 und 12 Meter Tiefe durchgeführt, außer den Proben während der ersten Ausfahrt XI b (0,5 und 10 Meter). Folgende Beobachtungen wurden durchgeführt: 1. Wassertemperatur, 2. Salzgehalt, 3. Sauerstoff, 4. Durchsichtigkeit, 5. Luftfeuchtigkeit und Lufttemperatur.

Tabelle I
Salzgehaltswerte (S ‰) des Suezkanals (1953—1955)

Station	Entfernung von Port Said, Leuchtturm	Tiefe	I	II	IIIa	IIIb	IV	V	VI	VII	VIII	IX	XIa	XIb ²⁾	XII
			Januar	Februar	März		April	Mai	Juni	Juli	August	September	November		Dezember
			3.—5./1954	3.—6./1954	6.—8./1954	24.—27./1955	19.—23./1954	24.—26./1954	19.—23./1955	21.—23./1955	19.—23./1955	24.—29./1954	11.—14./1955	26. XI.—1. XII. 55	17.—20./1954
1 A' bzw. 1 A	hm 110	0	38,69	38,73 ¹⁾		38,55	38,75 ¹⁾		38,96	39,25 ¹⁾	33,15	—	37,09	33,51 ¹⁾	36,33
		6	38,60	38,39		38,55	38,71		38,96	39,16	38,06	36,62	37,27	36,91	37,70
		12	38,73	38,46		38,77	39,74		39,18	39,29	38,96	38,33	37,45	40,97	39,16
1 A—1 B	hm 57	0		39,11	37,52		40,10	38,95	39,00	32,03	28,37	31,96		33,04	
		6		—	37,81		40,17	39,43	38,98	37,23	35,48	36,29		38,10	
		12		—	40,48		41,31	39,29	39,07	38,49	37,81	40,75		42,70	
1 B	hm 22	0	39,51	39,61	38,77	38,82	40,59	40,57	39,16	38,60	34,00	30,57	33,30	35,46	35,73
		6	40,52	40,41	40,71	39,78	41,77	41,20	39,27	38,62	36,26	33,60	36,08	35,90	39,13
		12	—	42,14	42,74	42,79	43,39	42,25	39,56	38,68	38,49	36,89	41,38	40,35	43,06
2	km 3,5	0	40,08	42,34	37,48	40,34	43,53	42,09	39,36	39,29	36,73	31,78	33,05	31,82	34,72
		6	42,92	43,33	42,76	41,42	43,67	42,86	39,85	38,98	36,25	33,12	39,56	38,96	41,96
		12	43,26	44,25	43,62	43,66	43,64	42,25	40,57	39,27	41,09	35,41	42,54	44,22	43,35
2—3	km 14,2	0		44,16	43,71	43,75	42,08	44,09	41,22	39,29	36,91	33,55	42,34		43,64
		6		44,11	43,46	43,78	43,12	43,93	41,31	39,31	37,16	33,78	42,36		43,77
		12		44,14	43,53	43,82	43,08	43,87	41,47	39,31	37,65	34,16	42,41		43,78
3	km 24,8	0	43,48	44,14	43,17	43,58	42,81	43,77	42,50	39,60	38,66	34,99	41,28	43,93	43,86
		6	43,55	44,11	43,30	43,58	42,81	43,78	42,56	39,60	38,91	34,51	41,98	—	43,86
		12	43,53	44,14	43,22	43,62	42,81	43,77	42,58	39,60	39,00	34,52	42,00	—	43,82
3—4	km 35,4	0		44,13		43,53	43,37	43,15	43,71	39,78	39,27	34,48	42,02		43,67
		6		44,07		43,51	43,51	43,22	43,89	39,78	39,27	33,53	42,23		43,66
		12		44,13		43,51	43,42	43,24	43,89	40,28	39,25	33,57	42,13		43,69
4	km 45,1	0	43,28	43,69	42,79	43,44	43,95	43,10	44,02	40,14	39,76	33,13	42,63	44,02	43,66
		6	43,30	43,66	42,95	43,44	43,62	43,12	44,04	40,23	39,32	33,15	42,65	44,05	43,58
		12	43,30	43,69	43,01	43,48	43,57	43,12	44,11	40,46	39,36	33,17	42,67	44,13	43,60
5	km 54,8	0	44,07	43,55	42,61	43,08	45,53	43,35	43,77	41,00	39,36	33,87	43,12	44,27	43,67
		6	44,13	43,57	42,74	43,06	43,48	43,44	43,75	41,31	39,51	33,80	43,06	44,31	43,66
		12	44,14	43,66	43,06	43,26	43,53	43,42	43,78	41,22	39,52	33,60	43,12	44,31	43,66
5—6	km 64,9	0	43,93	43,28		42,22	42,92	42,90	43,22	41,96	39,65	34,87	43,98		43,58
		6	43,95	43,28		42,79	43,35	43,03	43,10	41,96	39,61	34,51	44,05		43,69
		12	44,00	43,31		43,13	43,69	42,81	43,12	41,96	39,63	33,23	44,07		43,64
6	km 76,0	0	43,17	42,50	40,01	41,35	43,01	43,12	42,18	40,17	38,73	35,68	43,49	44,83	38,82
		6	44,56	43,62	44,11	42,95	43,31	43,19	42,47	40,61	39,45	36,24	44,22	45,88	44,47
		12	45,17	43,60	44,18	43,21	43,64	43,19	42,58	41,47	39,52	37,74	45,30	46,29	44,76
9	km 78,0	0	24,75	37,88	40,28	40,16	38,51	39,60	41,93	39,11	33,40	33,78	39,79	41,89	28,78
		6	45,17	43,75	44,09	43,30	43,49	43,33	42,31	40,59	38,77	36,29	44,18	45,44	44,60
		12	45,32	43,89	44,22	43,67	43,75	43,80	43,10	41,00	39,72	39,11	45,43	46,33	44,78
11	km 82,0	0	45,43	42,94	41,80	42,72	43,42	42,99	41,27		34,31	29,05	36,56	44,60	30,95
		6	45,44	43,57	44,25	44,13	43,80	44,83	41,78		38,75	37,56	45,48	46,36	44,94
		12	45,41	43,96	44,27	44,13	43,89	44,90	41,91		38,89	41,75	45,70	46,49	45,01
11—12	km 86,8	0		44,27	44,07		42,94	40,84		35,30		45,91		44,99	
		6		44,54	44,11		43,10	42,09		37,88		46,00		45,14	
		12		44,56	44,07		43,13	42,43		39,22		46,00		45,41	
12	km 97,8	0	45,16	44,58	44,60	44,23	43,98	44,88	45,23	45,16	39,02	37,57	46,29	46,05	45,21
		6	45,17	44,51	44,61	44,23	44,02	44,94	45,23	45,62	45,75	45,97	46,29	46,73	45,21
		12	45,21	44,49	44,96	44,23	44,09	44,96	45,28	45,77	45,82	46,06	46,27	46,82	45,21
13	km 103,4	0	45,43	44,49	44,49	44,05	44,00	44,78	45,46	46,06	46,17	45,05	45,08	46,74	45,62
		6	45,44	44,49	44,88	44,23	44,05	44,87	45,44	45,99	46,18	45,95	45,95	46,80	45,35
		12	45,52	44,87	44,83	44,23	44,34	44,79	45,80	46,56	46,20	46,20	46,38	46,98	45,34
13 B	km 118,9	0		44,47	43,95	43,84	44,41	45,08	46,49	46,15	46,09	45,50		44,05	
		6		44,72	43,82	44,05	44,41	45,16	—	46,36	46,11	45,95		44,92	
		12		44,13	44,04	44,22	44,52	45,19	47,01	46,27	46,60	46,29		—	
18	km 120,8	0	42,67	42,95	42,65	42,50	43,48	44,76	46,51	46,09	46,87	43,82	43,67	43,01	
		6	42,70	43,08	42,67	42,61	43,48	44,76	46,92	47,36	47,07	44,25	44,47	43,15	
		12	43,78	43,91	42,72	42,70	43,49	44,65	47,16	46,92	47,30	44,88	45,62	43,28	
19	km 125,0	0	42,85	42,63	42,56	42,47	43,08	44,51	47,23	46,87	47,68	43,17		43,13	
		6	43,03	42,83	42,58	42,47	43,10	44,51	47,48	47,09	47,70	—		42,79	
		12	43,58	43,01	42,59	42,47	43,10	44,51	47,47	47,32	47,81	43,55		42,81	
21	km 134,0	0		42,45	42,16	42,31	42,43	42,83	43,75	47,45	47,32	47,90	42,50	42,77	42,61
		6		42,40	42,16	42,38	42,41	42,79	43,78	47,47	47,36	47,88	42,56	42,61	42,68
		12		42,34	42,16	42,32	42,41	42,88	43,67	47,52	47,34	47,88	42,50	42,77	42,70
22	km 146,1	0	42,27	42,32	42,11	42,34	42,20	42,67	42,76	46,04	47,61	47,88	42,77	42,83	42,85
		6	42,36	42,31	42,13	42,32	42,22	42,63	42,72	46,06	47,59	47,90	42,74	42,83	42,85
		12	42,38	42,31	42,18	42,34	42,16	42,65	42,79	46,08	47,61	47,93	42,70	42,10	42,81
23	km 157	0	42,22	42,43		42,32	42,27	42,63	42,74	43,46	44,23	43,87	42,76	42,86	42,77
		6	42,23	42,70		42,36	42,23	42,73	42,83	44,32	45,21	44,18	42,74	42,81	42,94
		12	42,25	42,36		42,34	42,27	42,63	42,79	43,51	47,54	45,16	42,77	42,76	42,72
24	km 162,3	0	42,00	42,43		42,34	42,14	42,47	42,61	43,21	43,55	43,31	42,43	43,01	42,76
		6	42,04	42,36		42,34	42,14	42,41	42,54	43,24	43,57	43,40	43,10	43,94	42,86
		12	42,67	42,36		42,36	—	42,40	42,59	43,35	46,94	43,96	42,95	43,03	42,76

1) Probe von Station 1 A.

2) Bei Untersuchungsfahrt XIb wurden die Proben von St. 1 A bis St. 13 von 0,5 und 10 m Tiefe entnommen.

c. Bestimmung des Salzgehaltes: Die Proben wurden in 150 ml-Flaschen gefüllt, und nach Alexandria geschickt, wo in der Ozeanographischen Abteilung der Salzgehalt durch Chlortitration von mir bestimmt wurde. Die Titration wurde nach der Methode von MOHR-KNUDSEN durchgeführt. Es wurde eine automatische 15-ml-Pipette und eine automatische Bürette mit einer Skala von 18—26 Doppel-ml, die in 0.02 Doppel-ml unterteilt war, benutzt, so daß die Ablesung auf 0.005 Doppel-ml möglich war. Zur Einstellung des Silbernitrate wurde das „Eau de Mer Normale“ Charlottenlund/Dänemark benutzt. Die Einstellung wurde nach jeweils drei Proben (meist einer Station entsprechend) überprüft. Alle Proben wurden zweimal titriert. War die Differenz größer als 0.01‰ Doppel-ml, wurde eine dritte Titration durchgeführt.

Im Großen Bitter-See beobachtet man die höchsten Werte des Salzgehaltes, die überhaupt in Weltmeeren einschließlich der Seekanäle auftreten. Der höchste Salzgehalt, den wir festgestellt haben, betrug ungefähr 48‰ im Sommer. In den meisten Teilen des Kanals und an einigen Stellen der Bucht von Suez (zu bestimmter Jahreszeit) beträgt der Salzgehalt mehr als 41.55‰ (d. h. $\text{Cl} = 23\text{‰}$). Der höchste Wert auf der Titriertabelle von KNUDSEN (1901) beträgt für die Bürettenablesung 23 Doppel-ml. Darum sind die Hydrographischen Tabellen, die international in der Ozeanographie benutzt werden, für die Gewässer des Suez-Kanals nicht ausreichend. Der Gebrauch der Originalformeln für die Berechnung von Salzgehaltswerten aus den Bürettenablesungen ist zu zeitraubend für eine so große Anzahl von Proben. Außerdem empfindet man diese Schwierigkeit als ein ständiges Hindernis bei allen Fischerei- und ozeanographischen Untersuchungen für diesen Teil der ägyptischen Gewässer. Um diese Schwierigkeit zu überwinden, wurden die Hydrographischen Tabellen für die Chlorgehaltswerte über 23‰ hinaus erweitert. Es erhebt sich die Frage, ob die Hauptformel für die Zusammensetzung des Meerwassers $\text{S}\text{‰} = 0.030 + 1.8050 \text{Cl}\text{‰}$ für diese Gewässer gelten und wie groß die Abweichungen der erhaltenen Werte von den erweiterten Tabellen sein würde. Die Salzgehaltsverteilung im Suezkanal wird durch die Auflösung der am Grunde des Großen Bitter-Sees befindlichen Salzlager stark beeinflusst, und es erhebt sich die Frage, ob hierdurch die Relation SO_4/Cl im Kanalwasser gegenüber dem für das Ozeanwasser gültigen Wert stark abweicht. Durch Analysen von Proben aus dem Salzlager und aus den Wassermassen des Bitter-Sees wird das Ausmaß dieser Abweichung wie folgt ermittelt: Der Verhältniswert SO_4/Cl wurde im Salzlager zu 0.02523, im Wasser des Großen Bitter-Sees im Mittel zu 0.14077 (mit einer jahreszeitlichen Schwankung) festgestellt, während im Ozeanwasser bekanntlich der Wert 0.13991 gültig ist. Daraus erkennt man, daß die Konstanz der Zusammensetzung des Meereswassers auch in erster Annäherung für die Wassermassen des Suezkanals gültig ist, besonders wenn man die relativ großen jahreszeitlichen und regionalen Schwankungen des Salzgehalts im Kanal berücksichtigt. Daher konnte die den Hydrographischen Tabellen zugrunde liegende Relation $\text{S}\text{‰} = 0.030 + 1.8050 \text{Cl}\text{‰}$ benutzt und rechnerisch auf die höheren Chlorgehalte von 23—26‰ erweitert werden. (MORCOS 1960a).

d. Die Unterlagen für den Salzgehalt: In Tabelle 1 sind die Unterlagen für den Salzgehalt im Suez-Kanal von St. 1A' im Mittelmeer bis Station 24 in der Bucht von Suez in 0,6 und 12 m Tiefe zusammengestellt. Es werden aber nur die Stationen entlang der Hauptachse des Kanals wiedergegeben, die auch während der meisten Ausfahrten aufgesucht wurden. Der Salzgehalt von solchen Stationen, die nicht auf der Hauptachse des Kanals gelegen sind, und von denjenigen, bei denen nicht regelmäßig bei jeder Ausfahrt eine Probe genommen wurde, werden zusammen mit anderen hydrographischen Informationen von diesen Ausfahrten im Archiv des „Oceanography Department, Faculty of Science, University of Alexandria“ aufbewahrt.

E) Die Längsverteilung des Salzgehalts im Suez-Kanal

Die Längsschnitte in Tafel 2 zeigen die Verteilung des Salzgehaltes im Kanal während der dreizehn Ausfahrten (I bis XII). Die Darstellungen sind im Verhältnis 1 : 1500 überhöht. Der Boden des Kanals wird in den Längsschnitten nicht wiedergegeben, da er praktisch eben ist, indem er von der Kanalbehörde immer wieder ausgebaggert wird.

a. Allgemeine Beschreibung: Der Suezkanal verbindet zwei Meeresgebiete, die verschiedene Salzgehalte aufweisen: das östliche Mittelmeer mit 38—39‰ und den Golf von Suez mit einem Salzgehalt von mehr als 42‰, der aber kaum 43‰ erreicht. Man sollte annehmen, daß der Suezkanal ein gemischtes Wasser mit einem Salzgehalt von 38—43‰ enthält, wie es bei allen Meeresstraßen entsprechend der Fall ist. Alle früheren und die eigenen Beobachtungen ergeben aber ein ganz andersartiges Bild über die Verteilung des Salzgehaltes im Suezkanal.

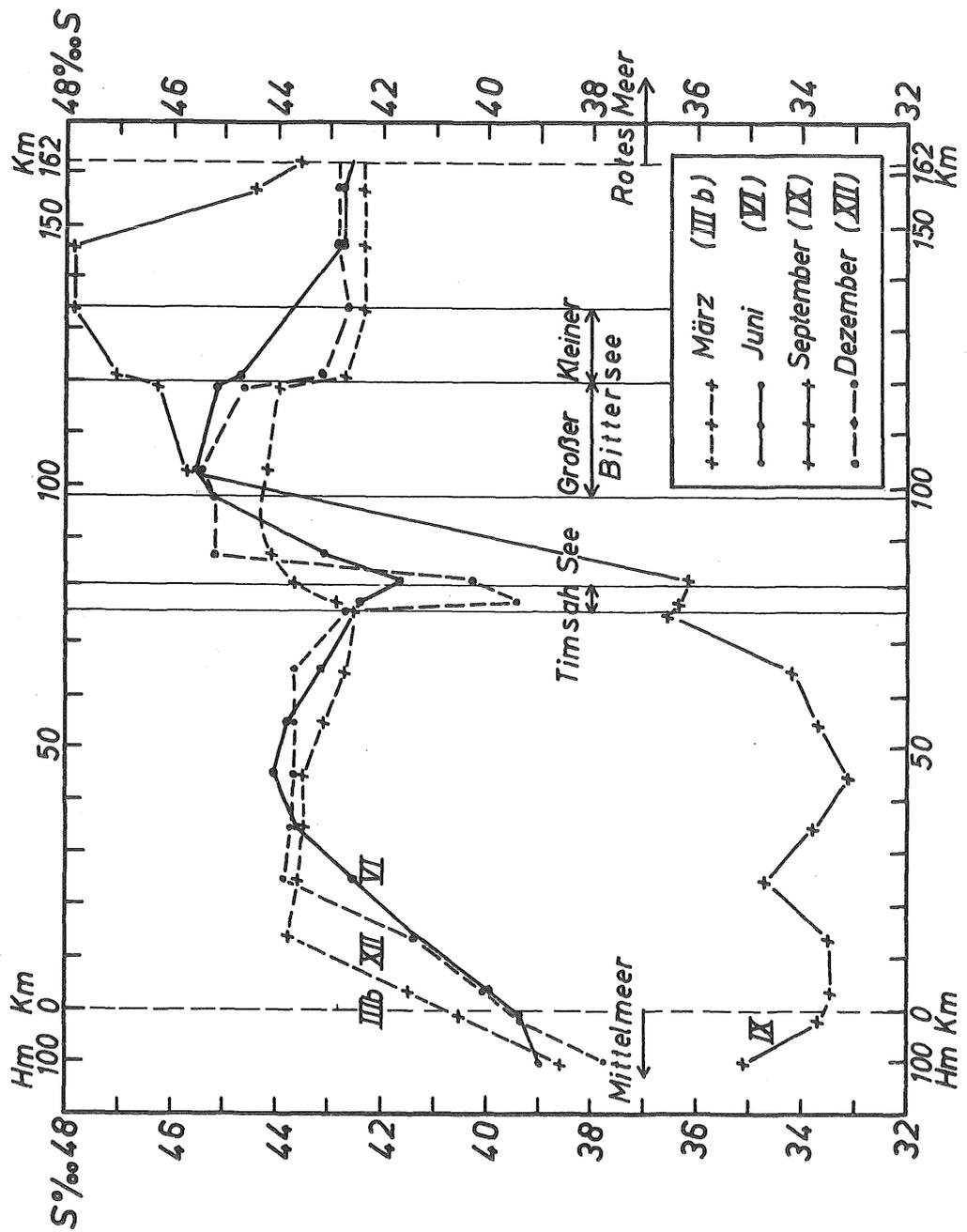
In Tafel 3 ist der durchschnittliche Salzgehalt der Wassersäulen in der Längserstreckung des Kanals von St. 1A' im Mittelmeer außerhalb von Port Said bis St. 24 im Golf von Suez dargestellt (Durchschnittswerte der drei Messungen jeder Station). Die Beobachtungen von nur vier Monaten sind in den Kurven für IIIb (März), VI (Juni), IX (September) und XII (Dezember) wiedergegeben, um die jahreszeitlichen Unterschiede zu zeigen. Es sind die Durchschnittswerte und nicht die Oberflächenwerte gewählt, da diese es erlauben, den örtlichen Einfluß der Süßwasserzufuhr in größerem Umfange zu vernachlässigen. An Hand dieser Abbildungen kann die allgemeine Längsverteilung des Salzgehaltes im Kanal wie folgt beschrieben werden:

1. Der Salzgehalt schwankt im Kanal zwischen 33 und 48‰ und erreicht seine Höchstwerte im Inneren und zwar im Bereich der Bitter-Seen. Diese Höchstwerte betragen im Bereich der Bitter-Seen oder etwas südlich 44‰ im März, 45‰ im Juni und Dezember und 48‰ im September. Südlich davon fällt der Salzgehalt zum Golf von Suez hin ab, wo er die normalen Werte des Golfs von Suez annimmt. Im September ist also der Salzgehalt in den Bitter-Seen höher als in den anderen drei Monaten, er steigt nach Süden hin, um erst bei km 146.1 sein Maximum mit 47.90‰ zu erreichen und fällt dann schnell auf 44.40‰ bei km 157. Das entspricht einem Abfall von 3.50‰ auf 11 km (ungefähr 0.32‰/km). Die Werte für den Salzgehalt fallen weiterhin, bis sie in der Bucht von Suez 43.40‰ erreichen, wo höhere Werte im allgemeinen nur im Spätsommer und frühen Herbst angetroffen werden.

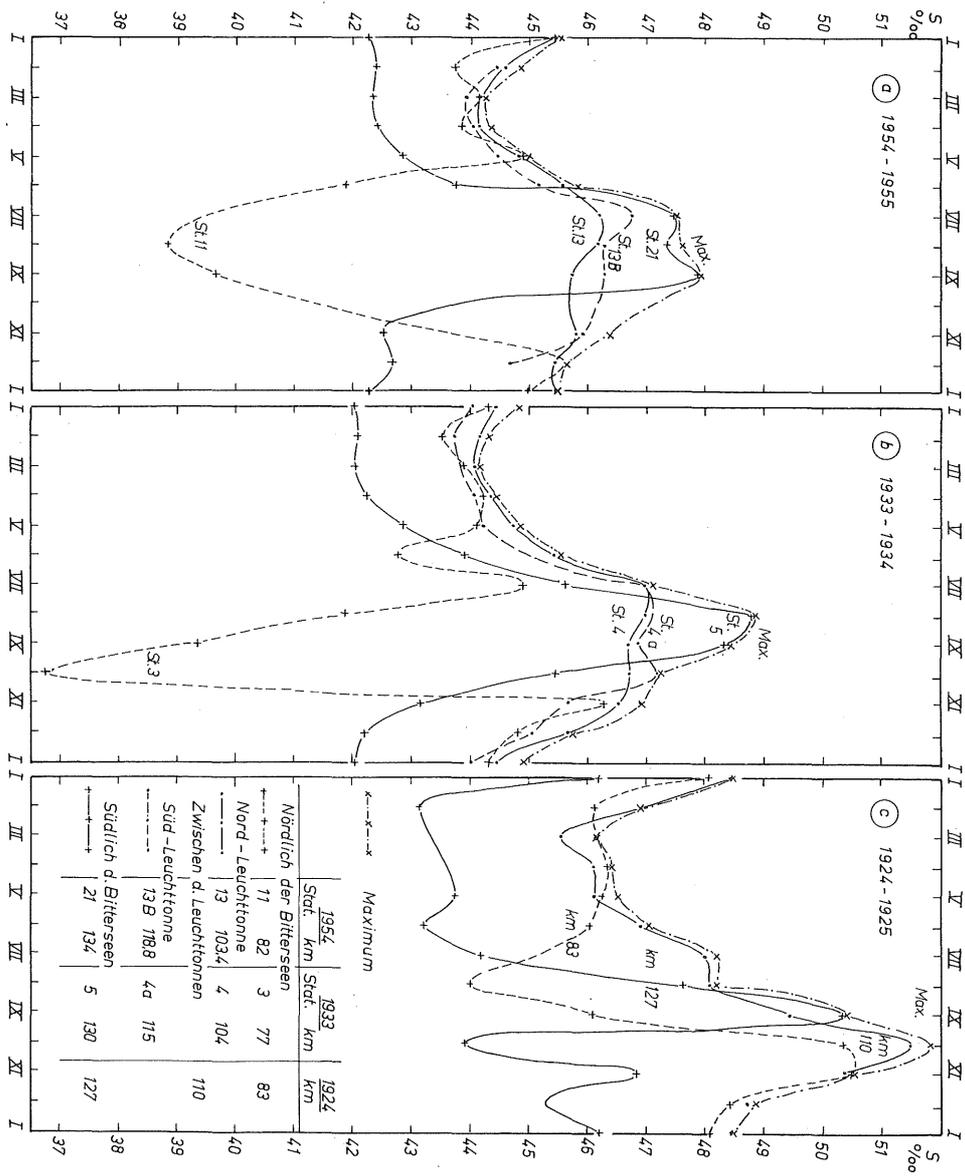
2. Auch im nördlichen Teil des Kanals unterscheidet sich die Verteilung des Salzgehaltes im September sehr stark von der der anderen Monate, jedoch im umgekehrten Sinne. Im September liegt der Salzgehalt bei Port Said unter 35‰ und fällt kontinuierlich, bis er bei km 3.5 sein Minimum mit 33.44‰ erreicht, wo Brackwasser aus dem Menzalla-See durch den Internal-Kanal in den Suezkanal einfließt. Ein weiteres Minimum entsteht bei km 45 mit etwa 33.15‰. Der Salzgehalt steigt dann langsam auf 36.55‰ bei km 76. Im Timsah-See sinkt der Salzgehalt schwach, um dann schnell von 36.12‰ bei km 82 auf 45.73‰ bei km 103.4 (St. 13; Nordleuchttonne im Großen Bitter-See), also um 9.61‰ auf 21.4 km (etwa 0.45‰/km) zu steigen. Im März, Juni und Dezember liegt der Salzgehalt bei Port Said zwischen 38 und 39‰, wie er normalerweise in diesem Teil des Mittelmeeres gefunden wird. Südlich von Port Said ist ein stetiges Steigen des Salzgehaltes zu beobachten, bis mehr als 43‰ südlich von

Legende zu der nebenstehenden Abbildung (Tafel 3)

Mittlerer Salzgehalt (Mittel 0—12 m Tiefe) der Wassersäulen im Suez-Kanal in den Monaten März (III b), Juni (VI), September (IX) und Dezember (XII).



Tafel 3 (zu S. A. Morcos)



Tafel 4 (zu S. A. Morcos)

II. Im März, Juni und Dezember liegen die Verhältnisse umgekehrt. Das Wasser im nördlichen Teil des Kanals ist salzreicher als das Wasser des Mittelmeeres. Das kann nur durch eine entgegengesetzte Zirkulation im Kanal erklärt werden. Das Wasser tritt in nördlicher Richtung in den Kanal ein, strömt über die Salzablagerungen der Bitter-Seen, wodurch es salzreich wird, und dringt in den nördlichen Teil des Kanals vor. Durch den Zufluß von Süßwasser in den Timsah-See und an anderen Stellen im nördlichen Teil des Kanals sinkt zwar der Salzgehalt ein wenig nördlich der Bitter-Seen, aber er bleibt höher als der des Mittelmeeres und erhöht diesen noch bei Port Said, besonders in tieferen Schichten, da sich das Kanalwasser dem Mittelmeerwasser bei Port Said unterschichtet.

F) Der jährliche Gang des Salzgehaltes im Suezkanal

a) Das Bitter-See-Gebiet:

Der Bitter-See, dessen Salzgehalt sich von Monat zu Monat ändert, nimmt fast eine zentrale Position im Kanal ein. Da die Wassermassen durch den Salzgehalt, der höher als der des Mittelmeeres und der des Roten Meeres ist, gekennzeichnet sind, können ihre Verbreitung und Bewegung ohne Schwierigkeit ermittelt werden.

1. Der jährliche Gang des mittleren Salzgehaltes:

In Tafel 4 ist der Jahresgang des mittleren und maximalen Salzgehaltes im Großen Bitter-See und nördlich und südlich davon nach Beobachtungen aus den Jahren

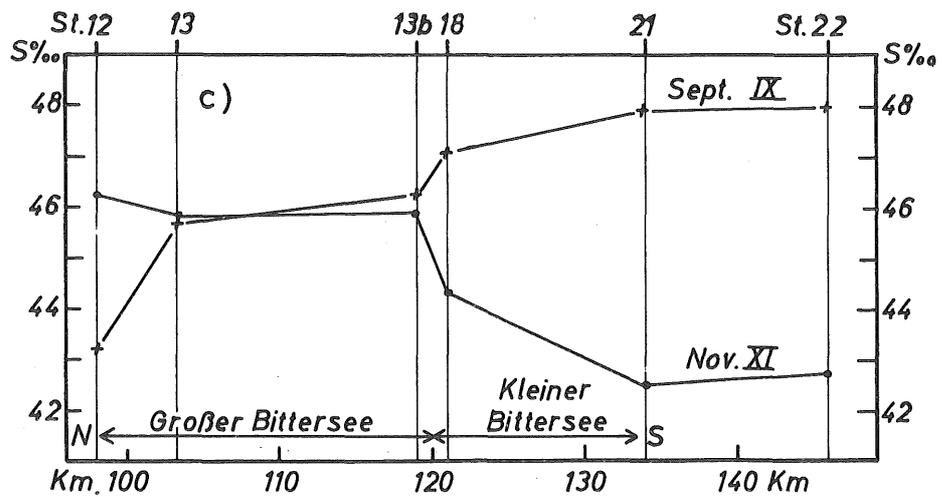
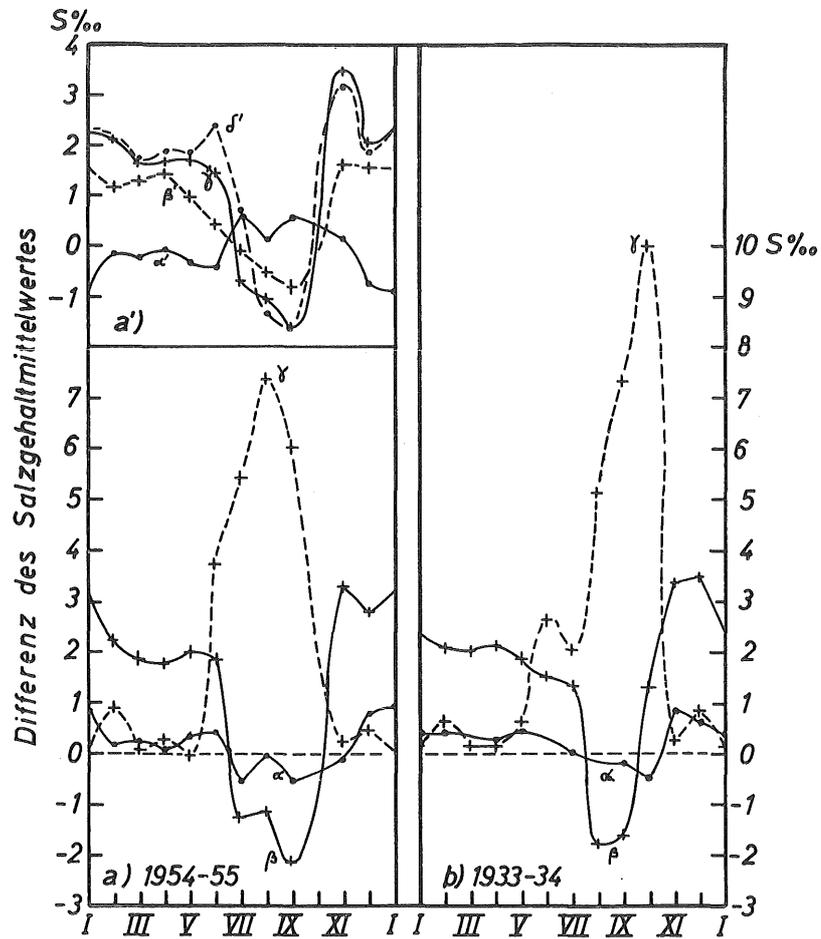
a) 1954—1955 b) 1933—1934 c) 1924—1925 dargestellt. Der durchschnittliche Salzgehalt ist aus den Werten für die drei Tiefen für die Jahre 1954 und 1933 und aus den Tiefen 3 und 10 m für das Jahr 1924 berechnet. Nur die Werte für Station 11 (km 82, 1954) und Station 3 (km 77, 1933) sind aus den Werten für 6 und 12 m berechnet, um die Fehler auszuschalten, die durch den Zufluß des Süßwassers in den Timsah-See bei den Oberflächenproben entstehen konnten. Aus dem Vergleich der Kurven für 1954/55, 1933/34 und 1924/25 kann unschwer ermittelt werden, in wie weit sich die Verteilung des Salzgehaltes in den verschiedenen Jahren ähnlich verhalten hat, so daß sich ihre eingehende Beschreibung erübrigt.

2. Der durchschnittliche Salzgehalt bei der Nord-Leuchtonne im Vergleich zu den nördlichen und südlichen Stationen

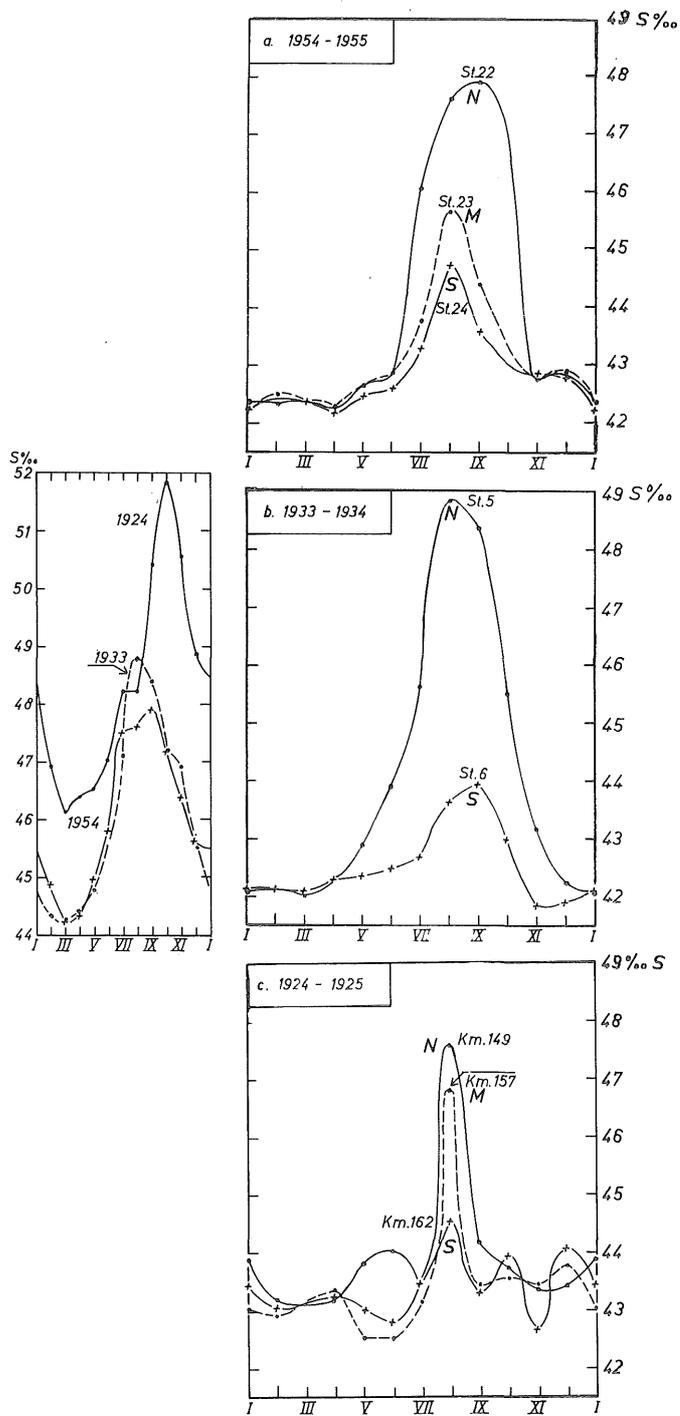
Die Station bei der Nord-Leuchtonne ist die einzige Station über dem Salzlager, von der sowohl Messungen aus dem Jahre 1954 als auch aus 1933 vorliegen. Die Differenzen des durchschnittlichen Salzgehaltes zwischen der Station Nord-Leuchtonne und den anderen, weiter nördlich bzw. südlich gelegenen Stationen vermitteln folgende

Legenden zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 5)

- obere Abb. a) und b): Differenz des Salzgehaltsmittelwertes (0—12 m) zwischen der nördlichen Leuchtonne (St. 13, 1954, bzw. St. 4, 1933) und
 α) der südlichen Leuchtonne (St. 13B bzw. St. 4a)
 β) dem Südteil des Kleinen Bitter-Sees (St. 21 bzw. St. 5)
 γ) nördlich der Bitter-Seen (St. 11 bzw. St. 3)
- obere Abb. a'): Differenz des Salzgehaltsmittelwertes (0—12 m) zwischen der südlichen Leuchtonne (St. 13 B, km 118,9) und
 α') St. 13 (km 103,4)
 β') St. 18 (km 120,8)
 γ') St. 21 (km 134,0)
 δ') St. 22 (km 146,1)
- untere Abb. c): Änderung des mittleren Salzgehaltes (0—12 m) vom Sommer (September — IX) zum Winter (November — XI) in der Region des großen Bitter-Sees.



Tafel 5 (zu S. A. Morcos)



Tafel 6 (zu S. A. Morcos)

weiteren Einblicke in die jährlichen Gänge des Salzgehalts in den beiden Beobachtungsjahren:

Die Unterschiede zwischen St. 13 und 13 B und St. 4 und 4a (Tafel 5 oben Abb. a und b) zeigen, daß die durchschnittlichen Salzgehalte bei der Nord- und der Süd-Leuchttonne einander sehr ähnlich sind und sich mehr oder weniger regelmäßig von Monat zu Monat verändern. Sie weisen niedrige Werte im Winter und hohe Werte im Sommer auf, jedoch ist der Salzgehalt im Spätsommer und zu Beginn des Herbstes im südlichen Teil des Sees ein wenig höher als im Norden und etwas niedriger während der anderen Monate des Jahres. Diese Umkehr des Salzgehaltsgradienten kann nur durch den Wechsel der Strömungsrichtung und -stärke erklärt werden. Die Salzlager im Großen Bitter-See erstrecken sich über etwa 13 km zwischen km 101 und km 114. Die Nord-Leuchttonne liegt am nördlichen Ende bei km 103,4, und die Süd-Leuchttonne bei km 118,9, also etwas südlich der Ablagerung. Es ist anzunehmen, daß im Spätsommer und zu Beginn des Herbstes schwach salziges Wasser aus dem Mittelmeer in den Kanal und den nördlichen Teil des Sees eindringt, welches beim Vordringen durch den See nach Süden salzhaltiger wird. Während der anderen Jahreszeiten liegen die Verhältnisse gerade umgekehrt: die Strömungsrichtung verläuft von Süden nach Norden, so daß schwach salziges Wasser aus dem Golf von Suez von Süden her in den See eindringt und beim Durchströmen des Sees langsam einen höheren Salzgehalt annimmt. Aus Tafel 5 Abb. a) wird deutlich, daß der Salzgehalt südlich der Nord-Leuchttonne um so höher ist, je weiter wir nach Süden kommen. Das bezieht sich auf die Monate August und September für St. 22, auf Juli, August und September für St. 21 und St. 18. Es ist bemerkenswert, daß die Entfernung zwischen der Süd-Leuchttonne (St. 13B) und St. 18 (Kabrit, zwischen dem Großen und dem Kleinen Bitter-See) keine 2 km beträgt. Ähnliche Verhältnisse zeigen die Beobachtungen aus dem Jahre 1933. Die Stationen 5 (km 130) und 4b (km 122) haben ein Salzgehaltsminimum, das mit dem der Stationen 4 und 4a im Großen Bitter-See korrespondiert. Vom Juni/Juli an steigt der durchschnittliche Salzgehalt bei St. 5 und 4b, bis er Werte erreicht, die im August und September höher liegen als bei den Stationen 4 und 4a. Der durchschnittliche Salzgehalt fällt im August und September nach Norden hin von St. 5 über St. 4b und 4a bis St. 4 und im Oktober von St. 4b bis St. 4. Mit Ausnahme des durchschnittlichen Salzgehaltes bei km 127 im September zeigen die Beobachtungen von 1924 im Spätsommer und zu Beginn des Herbstes nicht das Ansteigen des Salzgehaltes nach Süden hin.

3. Die Veränderungen der Salzgehaltsverteilung vom Sommer zum Winter

Die Veränderungen der Verteilung des Salzgehaltes im Bereich der Bitter-Seen finden vom Winter zum Sommer, verglichen mit der rapiden Änderung vom Sommer zum Winter, sukzessive statt. Es wird deutlich aus Tafel 5 Abb. a), daß die größten negativen Differenzen im durchschnittlichen Salzgehalt zwischen St. 13B und St. 18, St. 21 und

Legenden zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 6)

linke Abb.: Jahresgang des maximalen Salzgehaltes des Suez-Kanals in den Jahren 1924, 1933 und 1954.

rechte Abb.: Jahresgang des mittleren Salzgehaltes (0—12 m) im Südteil des Suez-Kanals in den Jahren a) 1954—1955, b) 1933—1934, c) 1924—1925

auf ausgewählte Stationen:

	N: nördl. Station	M: mittl. Station	S: südl. Station
1954	St. 22: km 146	St. 23: km 157	St. 24: km 162,3
1933	St. 5: km 130	— —	St. 6: km 162
1924	km 149	km 157	km 162

St. 22 im September liegen, während bei der nächsten Ausfahrt zu Anfang November die größten positiven Werte erreicht werden. Diese Umkehrung der Verhältnisse in so kurzer Zeit kann nur durch die in der Zwischenzeit stattfindende Umkehr der Strömung aus der Süd- in die Nordrichtung erklärt werden. Dadurch wird die salzreiche Wassermasse, die sich im September südlich der Bitter-Seen angesammelt hat, nach Norden verschoben, und weniger salzhaltiges Wasser dringt aus dem Golf von Suez nach. Aus dem Beobachtungsmaterial des Jahres 1954 sind die Kurven IX und XIa gezeichnet (Tafel 5 unten), die Änderungen des durchschnittlichen Salzgehaltes zwischen km 97.8 und km 146.1 nach den Messungen im September (IX) und im November (XIa) wiedergeben.

Die Kurve IX für September zeigt, daß der Salzgehalt zwischen St. 22 (km 146.1) und St. 18 (km 120.8) von Süden nach Norden leicht und zwischen St. 18 und der Süd-Leuchttonne (St. 13B, km 118.9) stark fällt. Für den Großen Bitter-See wiederholt sich dasselbe: einem schwachen Abfall von 13B zu 13 folgt ein starker Abfall zwischen der Nord-Leuchttonne (km 103.4) und St. 12 (km 97.8). Die Kurve XI für November weist ein hierzu völlig inverses Verhalten auf.

Das weist auf den besonderen Charakter des Wassers des Großen Bitter-Sees hin, der besonders durch zwei Faktoren bestimmt wird: 1. die Salzablagerung des Bodens, 2. die große Kapazität des Sees verglichen mit der des Kanals.

Meteorologische oder hydrographische Faktoren, die für eine Durchmischung der Wassermassen sorgen, haben einen großen Einfluß auf den Kanal, besonders in seinem südlichen Teil, aber nur eine relativ schwache Wirkung auf die Vermischung des Kanalwassers mit dem des Sees.

Nur eine vorherrschende Strömung könnte einen langsamen Austausch der Wassermassen bewirken. Dafür bildet jedoch der Große Bitter-See ein großes Hindernis, da er die nördlichen und südlichen Wassermassen des Kanals voneinander isoliert, d. h. er spielt die Rolle eines Puffers.

4. Das monatliche Maximum des Salzgehalts.

Tabelle 2 ist in Tafel 6 links graphisch dargestellt und gibt die Maximalwerte des Salzgehaltes eines jeden Monats, seine Position und die Tiefe für die Jahre 1954, 1933 und 1924 wieder. Aus dem Beobachtungsmaterial von 1924 habe ich die Werte für den Salzgehalt aus 12 m bei km 110 im Großen Bitter-See nicht berücksichtigt, weil an den anderen Stationen des Kanals nur in 3 und 10 m Proben genommen worden waren. Man erkennt, daß die monatlichen Höchstwerte im Kanal sich von Monat zu Monat verändern und ein Minimum in den Jahren 1924, 1933 und 1954 im Februar besitzen. Von da ab beginnen die Werte zu steigen, bis sie ihr Maximum im August (1933), im September (1954) und im Oktober (1924) erreichen. Ein anderes bemerkenswertes Phänomen zeigt Tabelle 2. Die Höchstwerte des Salzgehaltes treten meist im Großen Bitter-See bei der Nord-Leuchttonne (in den Jahren 1954 und 1933) oder (1924) bei km 110 zwischen der Nord- und der Süd-Leuchttonne auf. Diese Lage zeigt die Tendenz, sich in den Wintermonaten nach Norden zu verschieben.

Von Juli bis September 1954, von Juli bis Oktober 1933 und im September 1924 haben die höheren Werte dagegen die Tendenz, sich südwärts zu verschieben.

Der höchste Maximalwert von 1924 ist höher als der von 1933, welcher wiederum höher liegt als der von 1954. Auch alle monatlichen Maximalwerte von 1924 sind höher als die Werte von 1933, außer im August, in dem der höchste Wert früher erreicht wird als 1924 (Oktober). Die Werte von 1933 liegen denen von 1954 sehr nahe. Mit Ausnahme des April sind die Maximalwerte des Salzgehaltes von Januar bis Juli 1954 noch etwas höher als die von 1933. Dieser Fall stimmt nicht mit der allgemeinen Ten-

Tabelle: 2
Monatliche Maximalwerte und ihre Lage im Kanal

Monat	1954—1955			1933—1934			1924—1925		
	Max. S ‰	Station und Tiefe	km	Max. S ‰	Station und Tiefe	km	Max. S ‰	Tiefe	km
I	45,52	13 : 12 m	103,4	44,83	4 : 10 m	104	48,47	10 m	110
II	44,87	13 : 12	103,4	44,31	4 : 10	104	46,91	3	110
III	44,23*	12 : 12	98,0 (N)	44,16*	4 : 10	104	46,13*	10	83 (N)
IV	44,34	13 : 12	103,4	44,45	4 : 10	104	46,39	10	83 (N)
V	44,96	12 : 12	98,0 (N)	44,85	4 : 0	104	46,52	10	83 (N)
VI	45,80	13 : 12	103,4	45,53	4 : 10	104	47,04	10	110
VII	47,52	21 : 12	134,0 (S)	47,12	4a : 0	119 (S)	48,21	10	110
VIII	47,61	22 : 12	146,1 (S)	48,84	5 : 10	130 (S)	48,21	10	110
IX	47,93	22 : 12	146,1 (S)	48,40	5 : 10	130 (S)	50,42	10	127 (S)
X	47,19	4b : 10	122 (S)	51,84	10	110
XI	46,38	13 : 12	103,4	46,92	4 : 5	104	50,56	10	83 (N)
XII	45,62	13 : 0	103,4	45,71	4 : 0	104	48,86	10	110

denz des kontinuierlichen Sinkens des Salzgehaltes im Kanal mit der Zeit überein (Fox, 1926 und Wüstr, 1935). Aber nach späteren Ansichten von Wüstr (1951) kann angenommen werden, daß sich die Abnahme in gleichen Zeiträumen mit der Zeit verringert.

b) Das Gebiet um Suez:

Das Wasser des nördlichen Teils des Golfs von Suez mit einem Salzgehalt von 42 bis 43‰ bildet im Spätherbst bis zum Beginn des Sommers, wenn die Strömung nordwärts von Suez nach Port Said verläuft, die Hauptquelle für die Wasserversorgung des Kanals. Außerdem gibt es eine halbtägige Gezeiten-Strömung während des ganzen Jahres im Golf und im Kanal zwischen Port Tewfik und dem Großen Bitter-See. Diese Strömung bewirkt einen dauernden Austausch von Wasser zwischen Golf und Kanal. Da der Salzgehalt im See wesentlich höher ist als der in der Bucht von Suez, ist zu erwarten, daß er in diesem Teil des Kanals einen mittleren Wert zwischen den Salzgehalten dieser beiden Gebiete einnimmt und daß die Verteilung des Salzgehaltes von der Natur, der Geschwindigkeit, der Dauer und der Richtung der Stömung zwischen der Bucht und dem See abhängig ist. (MORCOS 1960 b).

In Tafel 6 rechts sind die jährlichen Gänge der Durchschnittswerte des Salzgehaltes für eine Anzahl von Stationen zwischen km 162 (bei Port Tewfik) und km 130 (im südlichen Teil des Kleinen Bitter-Sees) für die Jahre 1924, 1933 und 1954 dargestellt. In diesen drei Beobachtungsreihen liegen die Maxima fast alle im August, einige auch im September. Das Minimum tritt in den ersten vier Monaten des Jahres ein.

c) Das Gebiet um Port Said

1. Der Jahresgang des Salzgehaltes; Das Mittelmeer bildet eine wesentliche Quelle für die Wasserversorgung des Suezkanals im Spätsommer und zu Beginn des Herbstes, wenn die Strömung südwärts gerichtet ist. Die Daten entstammen den Terminbeobachtungen aus den Jahren 1953/55 (St. 1A' und 1A, St. 1B und St. 2), 1933/34 (St. 1) und 1924/25 (hm 65 und km 0.89). Die Beobachtungen von 1954 sind in Tafel 7 graphisch dargestellt. Das Minimum liegt für alle Stationen im September. Das Maximum findet sich im April mit Ausnahme der St. 1A, für die es in den Juli fällt. Tabelle 3 zeigt die Jahreszeit an, in der schwacher (unter 39‰) und starker Salzgehalt (über 40‰) gefunden wird, sowie für die oben erwähnten Stationen die Dauer dieser Perioden in Monaten in der Reihenfolge der geographischen Positionen von Norden nach Süden (außer St. 2 bei km 3.5; 1954). Tabelle 3 zeigt ferner, daß die Periode mit einem Salzgehalt (Mittelwert) unter 39‰ kontinuierlich von Norden nach Süden kürzer, die mit über 40‰ ebenso länger wird. Allgemein liegt das Maximum in den Gewässern von Port Said im April und das Minimum im September. Es muß hervorgehoben werden, daß das Maximum bei Port Said mit dem Minimum des durchschnittlichen Salzgehaltes in den Bitter-Seen zeitlich zusammenfällt. Ebenso stimmt die Zeit des Minimums bei Port Said mit der des Maximums in den Bitter-Seen überein. Es ist zu erwarten, daß das Minimum des durchschnittlichen Salzgehaltes der Bitter-Seen in den März und April fällt, da eine starke Strömung in Südnordrichtung einen längeren Kontakt des Wassers mit den Salzlagern nicht gestattet. Weiter muß angenommen werden, daß die

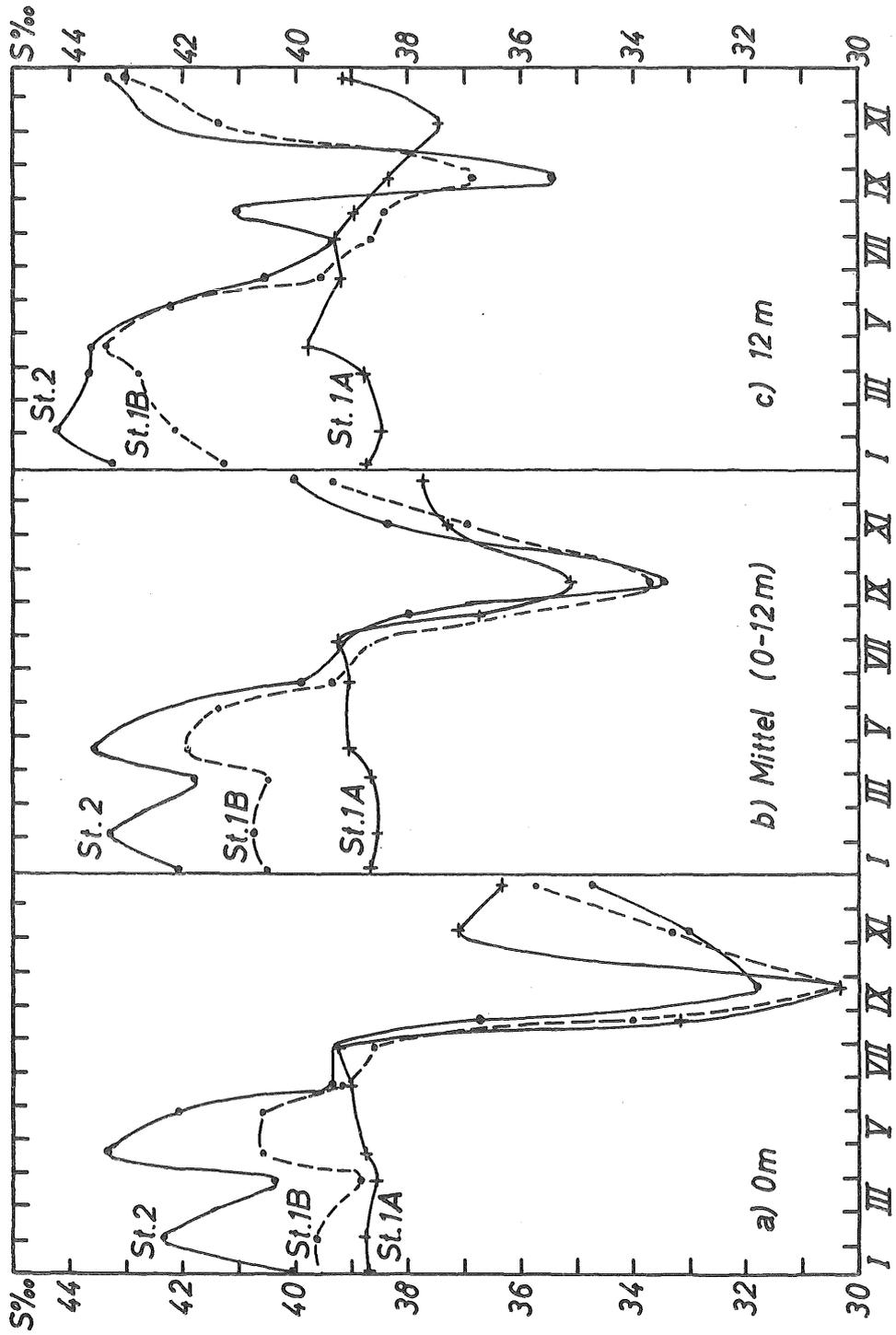
Legenden zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 7)

Jahresgang des Salzgehaltes bei Port Said (St. 1 A, 1 B, und 2) 1954—1955.

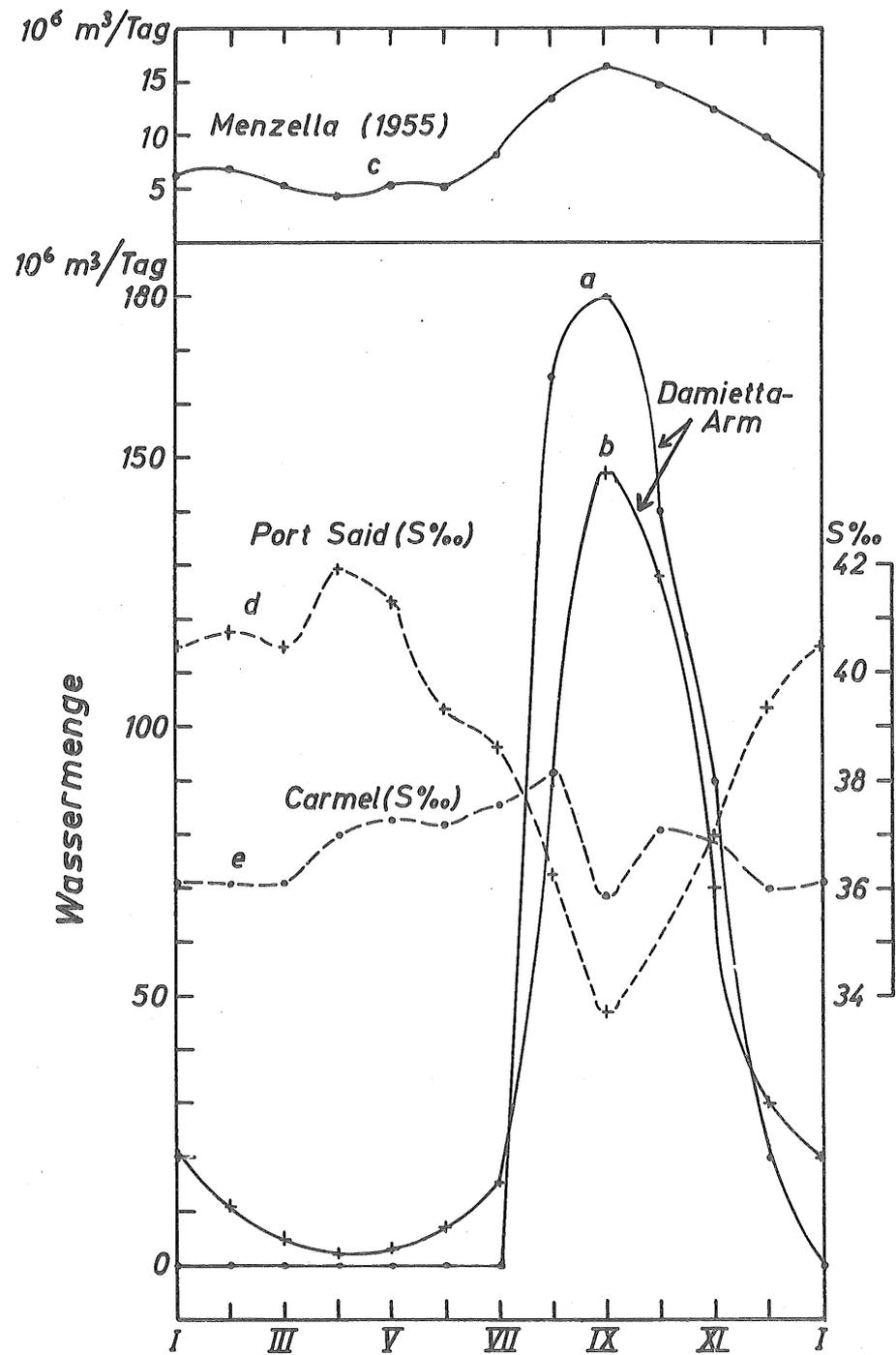
Abb. a) an der Oberfläche,

Abb. b) Mittelwert (0—12 m),

Abb. c) am Boden (12 m).



Tafel 7 (zu S. A. Morcos)



Tafel 8 (zu S. A. Morcos)

Tabelle 3: Perioden niedrigen Salzgehaltes (weniger als 39‰) und hohen Salzgehaltes (mehr als 40‰) in Port Said

Station	Position	weniger als 39‰		mehr als 40‰	
		Periode (Monat)	Dauer in Monaten	Periode (Monat)	Dauer in Monaten
1 A (1954)	hm 110	VIII—III	8	—	0
1 (1933)	70	VIII—II	7	—	0
hm 65 (1924)	65	IX —I(+III)	6	IV —V	2
1 B (1954)	22	VII —XI	5	I —V	5
2 (1954)	km 3,5	VIII—XI	4	XII —V	6
km 0,89 (1924)	0,89	IX —X	2	XI —VIII	10

Strömung stark genug ist, um das Wasser der Bitter-Seen nach Port Said zu treiben, wo es sich dem Mittelmeerwasser unterschiebt und ein Steigen des durchschnittlichen Salzgehaltes in dieser Jahreszeit bewirkt. Aber je stärker die Strömung, um so mehr Wasser wird nach Port Said transportiert. Dadurch wird jedoch gleichzeitig das Wasser der Bitter-Seen salzärmer, welches besonders den nördlichen Teil des Kanals und das Gebiet von Port Said versorgt. Dieses umgekehrte Verhältnis zwischen Salzgehalt und Geschwindigkeit der Strömung sowie die Tatsache, daß dem Wasser beim Passieren des Kanals von den Bitter-Seen zum Mittelmeer im Timsah-See und an verschiedenen anderen Stellen Süßwasser zufließt, sind der Grund dafür, daß man für die erste Hälfte des Jahresganges des Salzgehaltes bei Port Said ein unregelmäßiges Kurvenbild erhält. Weiterhin muß angenommen werden, daß das Salzgehalts-Maximum des Großen Bitter-Sees im September durch die schwache Strömung vom Mittelmeer nach Süden bedingt wird, da das Wasser für längere Zeit mit den Salzlagern in Kontakt treten kann. Für das Gebiet von Port Said ist es nun nicht nur wichtig, daß das Wasser der Bitter-Seen keinen Einfluß ausüben kann, sondern dazu kommt noch die Tatsache, daß die Flutwelle im Nil ihr Maximum erreicht und auf diese Weise große Mengen von Süßwasser ins Mittelmeer vorstoßen. Folgende Faktoren bestimmen also die Verteilung des Salzgehaltes in diesem Gebiet:

- a. salzreiches Wasser aus den Bitter-Seen, das durch die starke Strömung vom Spätherbst bis zum Frühsommer nach Norden transportiert wird;
- b. das Süßwasser aus dem Damietta-Zweig des Nils, besonders während der Flutzeit von August bis Dezember;
- c. das Wasser des östlichen Mittelmeeres.

Legenden zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 8)

Abb. a) Monatliche Mittelwerte der transportierten Wassermenge ($10^6 \text{ m}^3/\text{Tag}$) im Damietta-Arm (Mittel 1912—1942).

Abb. b) Abfluß durch den Damietta-Arm im Jahre 1955 ins Mittelmeer $19^6 \text{ m}^3/\text{Tag}$.

Abb. c) Zufluß im Jahre 1955 in den Menzalla-See ($10^6 \text{ m}^3/\text{Tag}$).

Abb. d) Mittlerer Salzgehalt (0—12 m) bei Port Said (1 B) (‰).

Abb. e) Oberflächensalzgehalt bei Kap Karmel, Palästina (‰).

Tabelle 4: Wassermenge in Millionen m³/Tag

- a) Abfluß in die Nil-Arme bei El-Kanater
 b) Zufuhr in das Mittelmeer bei Damietta
 c) Zufuhr in den Menzalla-See

Monate	a				b		c
	Nil-Arme				Damietta		Menzalla
	Rashid	Damietta			1954 ²⁾	1955 ²⁾	1955 ²⁾
Mittel (1912—1942) ¹⁾	1954 ²⁾	1955 ²⁾					
I	73	20	1,7 ^{x)}	5,9 ^{x)}	0	0	6,03
II	14	11	10,9	14,3	0	0	6,79
III	4	5	7,5	18,0	0	0	5,22
IV	2 ^{x)}	2 ^{x)}	7,7	10,2	0	0	4,44
V	2 ^{x)}	3	8,7	14,4	0	0	5,23
VI	2 ^{x)}	7	16,3	25,6	0	0	5,06
VII	7	15	31,1	32,5	0	0	8,03
VIII	193	89	168,0	112,8	170	165	13,34
IX	325	147	255,5	176,4	200	180	16,33
X	276	128	179,4	141,5	175	140	14,62
XI	155	70	97,5	65,9	95	90	12,32
XII	63	30	25,0	20,0	25	20	9,90
Jahresdurchschnitt	93	44	67,4	53,1	55,4	49,4	8,86
VIII—XII	202,4	92,8	145,1	101,3	133,0	119,0	13,30
%	90,6	88	89,6	81,04	100	100	62,5

2. Der Ausstrom aus dem Nil in das Mittelmeer: Bei Al Kanater, 23 km nördlich von Kairo, teilt sich der Nil in zwei Arme: den Damietta, der weiter östlich, und den Rashid, der weiter westlich verläuft. Um die Bewässerung des bebauten Landes im Delta zu regulieren, wurde bei Al Kanater in jedem der Arme ein Staudamm errichtet. Tabelle 4 gibt die monatlichen Durchschnittswerte (1912—1942) in Millionen Kubikmeter pro Tag der Wassermenge beider Arme und die monatlichen Werte für den Transport durch den Damietta-Arm für 1954 und 1955 wieder. Diese Werte zeigen, daß von August bis November Nil-Hochwasser herrscht und das Maximum des Abflusses in den September fällt. Die Wassermassen, die Al Kanater passieren, wachsen Ende Juli beträchtlich an. Bildet man die Mittelwerte für jeweils zehn Tage während der Flutzeit für die Jahre 1954 und 1955, so zeigt sich, daß der Wasserzufluß in die Nilarme von der letzten Dekade des Juli an gleichmäßig ansteigt, vom 11. bis 20. September sein Maximum erreicht und dann bis zur letzten Dekade des Dezember wieder fällt. Die Niedrigwasserzeit des Nils beginnt im Januar und dauert bis zum Juli. Das

¹⁾ Nach Hurst, 1944.

²⁾ Berechnet nach täglichen Messungen des Department of Irrigation, Ägypten.

Minimum liegt im April, Mai und Juni (Durchschnitt des Rashid-Armes), im April (Durchschnitt des Damietta-Armes) oder im Januar (Damietta-Arm 1954 und 1955) In der Periode von Februar bis Juni, die als „Al Taharik“ bezeichnet wird, reicht das zuströmende Wasser kaum zur Bewässerung aus. Daher werden in jedem Jahr am Ende beider Arme Erddämme gegen das Mittelmeer gebaut, um kein Wasser zu verlieren, das in dieser Zeit fast vollständig zur Bewässerung verwendet wird. Nach der Ausnutzung des Wassers für die Bewässerung wird durch eine spezielle Drainage das Wasser in brackige Küstenseen des Deltas geleitet, die in der Reihenfolge von Ost nach West aufgeführt, Menzalla, Brulles, Edkou und Mariout heißen. Diese Seen stehen in Verbindung mit dem Meer, so daß überschüssiges Wasser dorthin abgegeben werden kann. Einige Drainagen führen auch zu den Westufern des Timsah-Sees und der Bitter-Seen, wodurch der Oberflächensalzgehalt besonders in den westlichen Teilen herabgesetzt wird. Zu Beginn der Flutzeit, etwa in der ersten Augustwoche, werden die Dämme vom Nilwasser zerstört und ins Meer getragen. Neuerdings wurde der Erddamm des Rashid-Armes durch eine Sperrmauer bei Idfina ersetzt. In der folgenden Übersicht sind die Öffnungs- und Schließungsdaten des Damietta-Armes zur See hin während der Beobachtungsperiode 1953—1955 zusammengestellt:

Öffnung	Schließung
8. 8. 1953	9. 12. 1953
5. 8. 1954	4. 1. 1955
14. 8. 1955	3. 1. 1956

Tabelle 4 gibt auch die Wassermenge in Millionen Kubikmetern/Tag, die 1954 durch den Damietta-Arm ins Mittelmeer flossen, worauf das Anwachsen im August, das Maximum im September und das gleichmäßige Sinken des Wasserstandes bis zum Dezember zu ersehen ist. Von den erwähnten Küstenseen ist der Menzalla-See der größte; er übt den stärksten Einfluß auf das Gebiet von Port Said aus. Westlich von Port Said öffnet er sich ins Mittelmeer und hat durch den Internal-Kanal eine Verbindung zum Suez-Kanal, die bei km 3.5 (St. 2) in diesen einmündet. Tabelle 4 zeigt auch die monatlichen Durchschnittswerte der Wassermenge in Millionen Kubikmetern pro Tag, die in den Menzalla-See abfließt. Das Maximum liegt ebenfalls im September und das Minimum im April. Durch das zufließende Wasser steigt der Wasserstand im See, bis Wasser in das Mittelmeer abströmt. Außerdem haben Stärke und Richtung des Windes einen Einfluß auf den Wasserstand in den verschiedenen Gebieten des Sees und des angrenzenden Meeres und damit auf den Austausch von Wasser zwischen See und Meer.

In der Flutzeit des Nils werden dem Menzalla-See die größten Wassermengen durch die Drainage zugeführt. Trotzdem spielt dieses Wasser für die Erniedrigung des Salzgehaltes im Gebiet von Port Said nur eine untergeordnete Rolle, da die Wassermassen, die in dieser Zeit vom Nil direkt ins Mittelmeer abgegeben werden, wesentlich größer sind. Während der anderen Periode sind die Verhältnisse umgekehrt, da das ganze Nilwasser für die Bewässerung genutzt und in den See abgeleitet wird. Die Abnahme des Salzgehaltes bei Port Said ist dementsprechend relativ gering.

Vergleicht man den täglichen Durchschnitt des Wassertransportes der beiden Nil-Arme während eines ganzen Jahres, wie er am Ende der Tabelle 4 aufgeführt ist, so zeigt sich, daß der Rashid-Arm mehr als doppelt so viel wie der Damietta-Arm transportiert¹⁾. Da aber der Damietta-Arm nur knapp 60 km (35 englische Meilen) westlich

¹⁾ CARTER (1956) kam zu einem gegensätzlichen Ergebnis, obwohl seine Werte nach den Angaben desselben Autors (HURST, 1944) berechnet worden sind.

von Port Said ins Mittelmeer mündet — wesentlich näher als der Rashid-Arm— hat er auf das Gebiet von Port Said doch den größeren Einfluß.

3. Der Einfluß des Nils auf den Salzgehalt des östlichen Mittelmeeres. Sehr wenig weiß man bisher über die Verbreitung des Nilwassers im östlichen Mittelmeer und über den Einfluß auf die Verteilung des Salzgehaltes. Einige Wochen nach dem Öffnen der beiden Nilarme in das Mittelmeer ist die Auswirkung des Nilwassers an den Küsten von Palästina, Syrien und Kleinasien nachzuweisen, da es durch die vorherrschende Oberflächenströmung in entgegengesetzter Richtung des Uhrzeigers transportiert wird.

LIEBMANN (1935) hat 1930 beobachtet, daß das Nilwasser 35 Tage nach dem Öffnen der Dämme beider Arme Atbit in Palästina erreicht. Er schätzt die Geschwindigkeit der Strömung in dieser Zeit auf 6 englische Meilen pro Tag. Legt man für die Entfernung von 35 englischen Meilen von der Mündung des Damietta-Armes bis nach Port Said die Berechnung von LIEBMANN zugrunde, so erreicht das Nilwasser Port Said in weniger als sechs Tagen. Die Beobachtungen am 19. 8. 1955 in Port Said, fünf Tage nach der Öffnung des Damietta-Dammes, zeigen ein merkliches Fallen des Salzgehaltes. Als Versuch, diesen Einfluß aufzuzeigen, ist Tabelle 5 zusammengestellt. In ihr finden sich neun Durchschnittswerte des Salzgehaltes von St. 1 von verschiedenen Tagen im Juli, August und September, allerdings aus vier Jahren: 1931 bis 1935, zusammen mit dem jeweiligen Öffnungstag des Damietta-Dammes. Die Tabelle zeigt, daß der Salzgehalt vor der Öffnung des Dammes über 39‰, aber deutlich unter 39‰ nach dessen Öffnung liegt.

Tafel 8 zeigt, daß die Menge des Wassers im Damietta-Arm im April ein Minimum aufweist, das mit dem geringsten Wasserzufluß in den Menzalla-See, mit dem Maximum des durchschnittlichen Salzgehaltes bei St. 1B und mit dem höchsten Oberflächensalzgehalt bei Kap Karmel (Palästina) zusammenfällt.

Die Tatsache, daß der Ausfluß aus dem Damietta-Arm und dem Menzalla-See ins Meer von August bis Dezember mehr als 90% des Jahresausflusses beträgt, wird klar ersichtlich aus einem Vergleich der Kurve der Durchschnittswerte für die Wassermenge, die durch den Damietta-Arm fließt, mit der des durchschnittlichen Salzgehaltes bei St. 1B. Der Verlauf dieser Kurven ist von Monat zu Monat einander entgegengesetzt. Der Oberflächensalzgehalt bei Kap Karmel steigt von März bis zum Maximum im August, dem das Minimum im September folgt. Nach LIEBMANN (1935) wird durch

Tabelle 5: Mittlere Salzgehaltswerte in Port Said im Juli, August und September der Jahre 1931, 1933, 1934 und 1935 und Tag der Öffnung des Damietta-Dammes ((...))

	1931	1933	1934	1935
3. 7. 1934			39,15	(12. 7. 35)
23. 7. 1933		39,39		
24. 7. 1935			(26. 7. 34)	37,59
3. 8. 1931	39,25			
4. 8. 1934			37,42	
23. 8. 1933	(13. 8. 31)	(12. 8. 33)		
5. 9. 1934		38,46		
24. 9. 1933		37,18	35,48	
27. 9. 1931	33,18			

die starke Verdunstung der Oberflächensalzgehalt gehoben. Dieses Anwachsen wird durch den Einfluß der Nilflut im September unterbrochen. Niedrige Werte für den Oberflächensalzgehalt werden in der Zeit mit starken Regenfällen, von Dezember bis März, gemessen.

Tabelle 6: Abnahme des Salzgehalts in der Umgebung von Port Said von Juli bis August und von August bis September

	Periode (Monate)	St. 1A	St. 1B	St. 2
Oberfläche	VII — VIII	6,10	4,60	2,56
	VIII — IX	2,84	3,43	4,95
Mittel	VII — VIII	2,51	2,38	1,16
	VIII — IX	1,63	2,56	4,58
12 m	VII — VIII	0,33	0,19	—1,82
	VIII — IX	0,63	1,60	5,68

Tabelle 6 zeigt das Fallen des Salzgehaltes von Juli bis August und von August bis September für 1954/1955. Aus Tabelle 6 und Tafel 7 wird deutlich, daß bei den zwei nördlicheren Stationen 1A und 1B das Fallen des Oberflächensalzgehaltes vom Juli bis August größer ist als das von August bis zum Minimum im September. Die weiter südlich gelegene St. 2 ist mehr von der nordwärts gerichteten Strömung abhängig, die aus den Bitter-Seen kommt, und daher liegen hier die Verhältnisse umgekehrt: der Einfluß des Nils wird abgeschwächt und bis zum September verzögert. Das Sinken des Salzgehaltes am Boden (12 m) von Juli auf August ist geringer als von August bis September. Bei St. 2 steigt er im August schwach an. Hieraus wird ersichtlich, daß der Einfluß des Nils auf den Oberflächensalzgehalt bei Port Said plötzlich und deutlich wahrnehmbar, auf das Bodenwasser aber langsam und verhältnismäßig gering ist. Diese Auswirkung auf das Oberflächenwasser findet wenige Tage nach der Öffnung des Damietta-Dammes statt, während sie für das Bodenwasser mit dem Maximum des Wasserausflusses aus dem Nil in das Meer zusammenfällt, also mehr als einen Monat später liegt.

G) Die Verbreitung der Wassermassen im Kanal

a) Definition der Hauptwassermassen

Aus der Verteilung des Salzgehaltes im Kanal und seinem Jahresgang lassen sich die folgenden Wassermassen unterscheiden:

1. Die Wassermasse des östlichen Mittelmeeres mit einem Salzgehalt unter 39‰ wird bei Port Said auf der einen Seite durch die Nilflut im Sommer und den Zufluß aus dem Menzalla-See und auf der anderen Seite durch das salzreichere Wasser des Kanals in den anderen Jahreszeiten in großem Ausmaß beeinflusst. Diese beiden Faktoren bedingen starke monatliche Schwankungen. Das Verhalten dieser Wassermasse (I) wird von Juli bis Oktober im Kanal fühlbar, da sie in dieser Zeit bis südlich des Timsah-Sees vordringt. Während der anderen Jahreszeiten ist der Einfluß auf den Bereich bei Port Said beschränkt.

2. Die Wassermasse des Golfes von Suez hat in seinem nördlichen Teil in der Umgebung von Port Tewfik einen Salzgehalt von 42 bis 43‰ . Bedingt durch die Nord-

strömung wird sie während des größten Teils des Jahres in den Kanal bis km 120 verschoben, zieht sich im Mai, Juni und Juli nach Süden zurück und wird von August bis Oktober durch die Südströmung, die in dieser Jahreszeit vorherrscht, sogar aus dem Bereich von Port Tewfik verdrängt.

3. Die Wassermassen der Bitter-Seen findet man hauptsächlich im Großen Bitter-See. Sie reichen aber im Spätsommer und Frühherbst bis in den Kleinen Bitter-See und sogar in den südlichen Teil des Kanals und in den Wintermonaten bis zum Timsah-See. Diese Wassermasse zeigt im März und April einen Salzgehalt von mindestens 44‰ , der ansteigt und von August bis Oktober bei über 47.5‰ liegt.

4. Die Mischwassermassen, die aus der Mischung der oben erwähnten Wassermassen entstehen, können in zwei Kategorien eingeteilt werden:

Eine Wassermasse, mit $43\text{—}44\text{‰}$ zwischen der Wassermasse des Golfs von Suez und der Wassermasse der Bitter-Seen, die durch Mischung aus II und IV entsteht.

Das Wasser der Bitter-Seen fließt nach Norden und trifft auf das Wasser, das von Juli bis Oktober aus dem Mittelmeer in den Kanal eindringt und vermischt sich mit ihm. Außerdem wird es durch verschiedene Süßwasserzuflüsse, besonders im Timsah-See, verdünnt.

Diese Definition der Wassermassen im Kanal zeigt die Bedeutung der Isohalinen von 39‰ , 43‰ und 44‰ als Trennungslinien für die verschiedenen Wasserkörper.

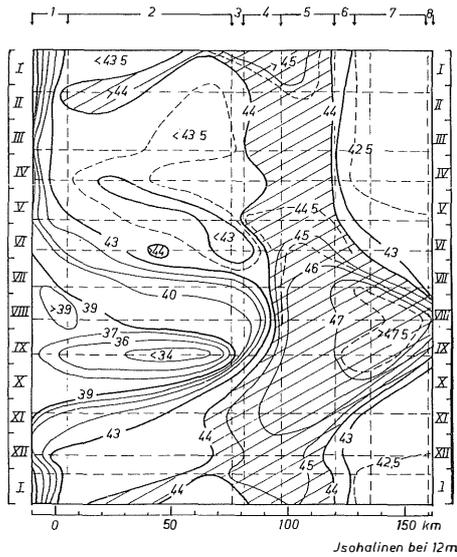
b) Isoplethendiagramme des Salzgehalts für 0,6 und 12 m Tiefe.

Eine besonders klare Vorstellung von den räumlichen und zeitlichen Änderungen des Salzgehalts im ganzen Kanal und im Verlauf des Jahres geben die Isoplethendiagramme für 0,6 und 12 m Tiefe, in welchen durch Isohalinen dieser Indikator als Funktion des Ortes (Abzisse) und des Monats (Ordinate) dargestellt ist (Tafel 9a, b und c). In dieser Isoplethendarstellung sind drei Isohalinen, und zwar für 39‰ , 43‰ und 44‰ , durch dicke Kurven hervorgehoben als die für die Begrenzung der Hauptwassermassen wesentlichen, und zugleich sind die Flächen von mehr als 44‰ schraffiert. Wir erkennen deutlich, wie im Spätsommer (d. h. August und September) die „Port Said-Wassermasse“, welche durch das Nilhochwasser relativ salzarm ($<39\text{‰}$) ist, von Norden her in den Kanal vordringt. Dieser Einbruch erreicht sein Maximum im September, wo Salzgehaltswerte von weniger als 37‰ in allen drei Niveaus bis km 98,9, d. h. bis zum Nordende des Großen Bittersees reichen — als Folge der nach Süden setzenden Strömung und des Gefälles des Wasserstandes von Port Said nach Port Tewfik. In den übrigen Monaten des Jahres, d. h. von Januar bis Juli und Oktober bis Dezember ist die Strömung im Kanal nach Norden gerichtet und der Wasserstand in Port Tewfik ist beträchtlich höher als in Port Said. In dieser Periode weicht die 39‰ -Linie nach N bis Port Said zurück, da der nördliche Teil des Kanals Zufluß von den hochsalzigen Wassermassen des Bittersees empfängt. Diese Bittersee-Wassermasse ($>44\text{‰}$) nimmt im April

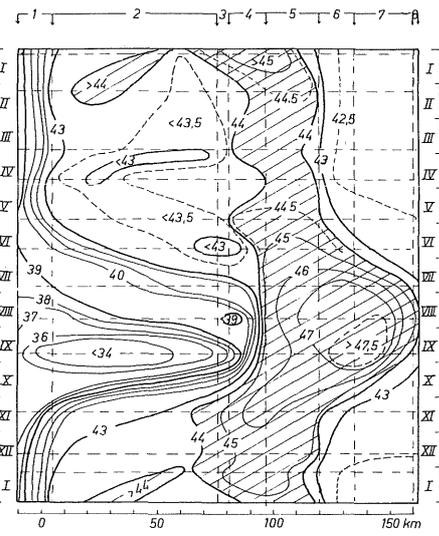
Legende zu der nebenstehenden Abbildung (Tafel 9)

Isoplethen der Verteilung des Salzgehaltes nach Ort und Monat.

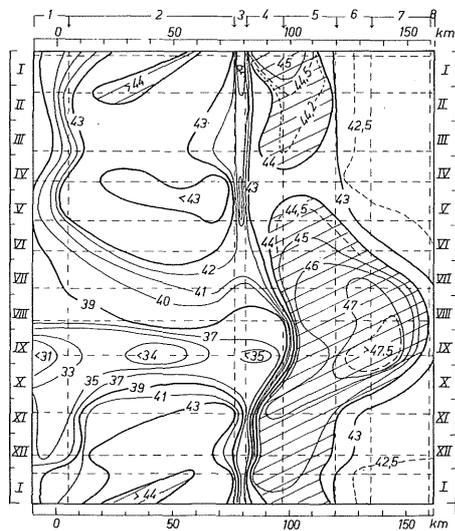
- | | |
|--------------------|-----------------------|
| 1. Port Said | 5. Großer Bitter-See |
| 2. Nördlicher Teil | 6. Kleiner Bitter-See |
| 3. Timsah-See | 7. Südlicher Teil |
| 4. Mittlerer Teil | 8. Suez |



Jsahalinen bei 12m



Jsahalinen in 6 m



Jsahalinen in 0m

Isoplethendarstellung
des Salzgehaltes bei

a) 0m b) 6m c) 12m

Ordinate: Monate

Abzisse: Kilometer

1. Port Said
2. Nördlicher Teil
3. Timsah-See
4. Mittler Teil
5. Großer Bitter-See
6. Kleiner Bitter-See
7. Südlicher Teil
8. Suez

Tafel 9 (zu S. A. Morcos)

das geringste Volumen im Jahresablauf ein, weil die starke nach Norden setzende Strömung im Winter sie nur relativ kurze Zeit in Kontakt hält mit dem Salz-
lager am Boden. Im Sommer hingegen, wo die Strömung gering ist, kann man
eher von einer Stagnation der „Bittersee-Wassermasse“ sprechen, wodurch sowohl
der absolute Betrag ihres Salzgehalts als auch ihr Volumen zu Höchstbeträgen an-
steigt mit einem Kern von $>47,5\%$ im August und September. Der Kern erscheint
ein wenig nach Süden verschoben. Durch die Stromumkehr tritt ab Oktober eine
Degeneration der „Bittersee-Wassermasse“ ein und zugleich verlagert sich ihr Kern
mit Werten $>45\%$ wieder nach Norden, um seine normale Lage im Großen Bittersee
wieder einzunehmen. Neben der primären Rolle der Salzlager am Boden haben also die
jeweils herrschenden Strömungen einen starken Einfluß auf diese Wassermassen, was
in den regelmäßigen Schwankungen des Salzgehaltes vom Maximum im Spätsommer bis
zum Minimum im April zum Ausdruck kommt. So erklärt sich die zentrische Struktur
dieses Wasserkörpers in Raum und Zeit aus dem Vorhandensein der Salzlager und
dem Wasseraustausch im Bittersee. Schließlich bleibt aus den drei Isoplethendiagrammen
noch das Verhalten der „Suez-Wassermasse“ zu entnehmen: dieser Wasserkörper
von weniger als 43% Salzgehalt tritt von Januar bis Ende Juni und von Oktober bis
Dezember ziemlich unverändert zwischen dem Kleinen Bittersee und Suez auf, ledig-
lich im Hochsommer (August bis September) wird er durch die Ausbreitung des salz-
reichen Bittersee-Wassers nach Süden bis Port Tewfik verdrängt.

Im großen Überblick besteht also eine Art Gleichgewicht zwischen dem nördlichen
und dem südlichen Teil des Kanals: das Sinken des Salzgehaltes im nördlichen Teil im
Sommer wird von einem Steigen im südlichen Teil begleitet. Den umgekehrten Fall
finden wir im Winter. Das könnte zu dem Gedanken führen, daß der Gesamtsalz-
gehalt im Kanal konstant ist, da das Sinken in dem einen Teil durch das Steigen in
dem anderen kompensiert wird. Das würde bedeuten, daß das Zunehmen der einen
Wassermasse an Volumen und Salz auf Kosten der anderen Wassermasse geschieht,
die zur gleichen Zeit an Volumen und Salz verliert. Dazu ist aber zu bemerken, daß
sich die angeführten Überlegungen auf das Volumen einer Wassermasse beziehen, die
sich mit dem Wechsel der Entfernung zwischen zwei Isohalinen verändert. Das kann
nur mit einer gewissen Einschränkung gefolgert werden, da der Kanalquerschnitt in
den Seen, besonders im Großen Bittersee, stark zunimmt.

Literaturverzeichnis

- ALLIAUD, L. (1868): „Les eaux des Lacs Amers et du Lac Timsah“, Journal „L'Isthme de Suez“,
No. 294 du 14 Octobre 1868. — CARTER, D. B. (1956): „The water balance of the Mediterranean
and Black Seas“ Publications in Climatology, 9, No. 3, Drexel Inst. of Tech., Lab. of Climatology,
Centerton, New Jersey. — DURAND-CLAYE, L. (1874): „Essai des 21 échantillons d'eau salée du
canal maritime de Suez“. Ann. de Chim. et de Phys., sér. 5, 3, p. 188, 1874. — FAOUZI, H. (1936):
„Régime des Courants dans le Canal de Suez“. Hydrobiological and Fisheries Directorate, No. 23,
Government Press, Cairo 1936. — FAOUZI, H. (1951): „Le Canal de Suez, voie d'échanges biologiques
entre la Méditerranée et la Mer Rouge“, Annales du centre Universitaire Méditerranées, 5
(1951—1952), p. 23—30. — FOX, M. H. (1926): „Cambridge Expedition to the Suez Canal“, 1924 I:
General Part Trans. Zoolog. Soc. of London, 22, Part 1, No. 1. — GHAZZAWI, F. M. (1939):
„A Study of the Suez Canal Plankton (A) The Phytoplankton“, Hydrobiological and Fisheries
Directorate, Notes and Memoirs No. 24, Government Press, Cairo 1936. — KRAUSS, W. (1958):
„Eine Bemerkung zur Abnahme des Salzgehaltes im Suezkanal“, Deutsche Hydrographische Zeit-
schrift, 11, Heft 3, 1958. — LESSEPS, F. DE (1874): „Communication sur les Lacs Amers de
l'Isthme de Suez“, Comptes Rendus de l'Académie 78, p. 1740. — LESSEPS, F. DE (1876):
Deuxième Note sur les lacs amers de l'isthme de Suez“, Ibid. 82, p. 1133. — LIEBMAN, E. (1935):
„Oceanographic observations on the Palestine coast“, Comm. Int. pour l'Explor. de la Mer Méditerr.

Rapports et Procès-Verbaux des Réunions. 9 (nouvelle série, Annex 1, p. 181). — MORCOS, S. A. (1960a) „Hydrographical Tables for high Salinities (From 41.5⁰/₀₀ to 47⁰/₀₀)“. Bull. Inst. océanogr. Monaco, No. 1180. — MORCOS, S. A. (1960b): „The tidal currents in the Southern part of the Suez Canal“ Symposium on Tidal Estuaries, XIII General Assembly of the International Association of Physical Oceanography. XII General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics, Helsinki 1960. PICOTTI, M. (1927): „Ricerche di oceanografia chimica“, Part I, Tabelle generali delle analisi clorometriche e dei dati de Temperatura, salinite e densita. Campagna Idrografica del Mar Rosse della Regia Nave, „Ammiraglio Magnaghi“ 1923—24. — VERCELLI, F. (1927): „Osservazioni Exequite del Canale di Suez“, Campagna Idrografica nel Mar Rosso della Regia „Nave Ammiraglio Magnaghi“ 1923—24. — VOISIN BEY (1902—1904): „Le Canal de Suez“ Six volumes, Dunod, Paris 1902—1904. — WIMPENNY, R. S. (1930): „Some Hydrographic data from the Suez Canal 1928—1929“, Coastguards and Fisheries Service Fisheries Research Section, Bull. No. 1, Government Press, Cairo 1930. — WÜST, G. (1934): „Salzgehalt und Wasserbewegung im Suezkanal“, Naturwissenschaften, 22, p. 446. — WÜST, G. (1935): „Fortschreitende Salzgehaltsabnahme im Suezkanal“, Ann. Hydrogr. u. Maritime Meteorol. 63, H. 10, p. 391. — WÜST, G. (1951): „Über die Abnahme des Salzgehaltes im Suezkanal von 1869—1937“, Erdkunde 5, p. 241. — Tabellenwerke und Seehandbücher: Red Sea and Gulf of Aden Pilot, Admiralty, Hydrographic Department, London, 9th ed., 1944. — Handbuch für das Rote Meer und den Golf von Aden, Oberkommando der Kriegsmarine, 3. Aufl., Berlin 1937.