

Warmluft, sondern eine Wolkenbildung in der Aufgleitunterlage. Ihre Untergrenze ist sehr oft nicht scharf ausgeprägt. Bei Niederschlag und zunehmendem Dunst erfolgt auf den beiden diskutierten Flügen mit wachsender Höhe ein allmählicher Übergang zur Wolke.

Die Aufgleitbewegung ist in stabil geschichteter Warmluft nur auf eine wenige Kilometer breite Zone beschränkt. Mit Nachlassen der Aufwärtsbewegung geht die Wolkenmasse in der Warmluft allmählich in Dunst über. Es fehlt dann nach rückwärts eine scharf ausgeprägte Wolkengrenze. Ist die aufgleitende Warmluft dagegen feuchtlabil geschichtet, so löst sich ihre Bewölkung nach rückwärts nicht so rasch auf. Sie zeigt dann auch schärfere Begrenzungen.

Wassertemperaturmessungen an Deck und im Maschinenraum

von E. Wahl, Hamburg

Zusammenfassung: Gelegentlich einer meteorologischen Studienfahrt mit einem Fischdampfer in die Barentssee im Sommer 1947 konnten etwa 160 gleichzeitige Wassertemperaturbeobachtungen an der Oberfläche und in 4 m Tiefe gewonnen werden, deren Auswertung nach verschiedenen Gesichtspunkten im folgenden besprochen wird. Es zeigt sich neben einer kleinen systematischen Differenz zwischen den beiden Temperaturen eine deutlich ausgesprochene Abhängigkeit der Differenzen von der Windstärke, was auf das Vorhandensein einer gewissen Temperaturschichtung in den obersten Metern des Meeres bei geringer Durchmischung zurückgeführt wird. Es wird damit auch die Frage nach dem Wert von Wassertemperaturmessungen in der Maschine, d.h. am Eintritt des Kühlwassers für den Kondensator angeschnitten.

1. Das Beobachtungsmaterial.

Im Rahmen der maritim-meteorologischen Arbeiten des Meteorologischen Amtes für Nordwestdeutschland konnte ich gelegentlich einer Studienfahrt mit dem Fischdampfer "Neptun" vom 24.6. bis 17.7.1947 in die Barentssee bei der Bestimmung der meteorologisch wichtigen Größe der Temperaturdifferenz Luft minus Wasser gleichzeitige Messungen der Wassertemperatur der Oberfläche und des Wassers in etwa 4 m Tiefe unter dem Schiff anstellen. Der Vergleich dieser beiden Meßreihen zeigt einige interessante systematische Unterschiede.

Die Oberflächentemperatur wurde gemessen mit Hilfe eines "Marineschöpfthermometers" mit neu eingebautem Spezialthermometer, das auf $\frac{1}{5}$ Grad geteilt war; als dieses durch Stoß am 2.7. zerbrach, wurde ein auf $\frac{1}{2}$ Grad geteiltes Ersatzthermometer eingesetzt. Die Meß-Stelle lag meist an Backbord mitschiffs, noch mehrere Meter vor dem ersten Ausfluß des Kondenswassers aus der Maschine. Da die Messung der Oberflächentemperaturen außerdem noch durch Versuchsmessungen mit einem anderen Spezialinstrument des öfteren kontrolliert wurden, sich auch dabei keine Unterschiede zeigten, können sie als die zuverlässigsten Werte dieser Fahrt angesehen werden.

Die Messung des Temperaturverlaufs in etwa 4 m Tiefe geschah folgendermaßen: Am dem Einlaufstutzen für das Kühlwasser befindet sich ein Hahn, der im Maschinenraum geöffnet werden kann, und damit ist dort die Möglichkeit gegeben, durch Wasserentnahme und Messung der Temperatur dieses Wassers die Tiefentemperatur zu bestimmen. Die Messung in der Maschine wurde jeweils -- meist in zweistündigem Abstand -- vom wachhabenden Maschinisten in folgender Weise durchgeführt: Der Hahn am Einlaufstutzen wurde geöffnet und in den Wasserstrahl dann ein normales, in Holz gefaßtes Wasserthermometer gehalten; nach einer Minute der Abkühlung wird dann das Thermometer schnell abgelesen. Zu beachten ist allerdings, daß das Thermometer in der Zeit zwischen den Messungen im warmen Maschinenraum hängt, und daß aus diesem Grunde die Schwierigkeit der ausreichenden Austemperierung besonders stark ist. Die Unterschiede zwischen den Oberflächen- und Maschinenmessungen zeigen auch einen dementsprechenden Effekt.

Das auf diesem Wege erhaltene Material umfaßt nun rund 160 gleichzeitig angestell-

te Messungen; hierbei ist allerdings eine strenge Gleichzeitigkeit nicht in jedem Falle verbürgt, da ich die Messungen in der Maschine nicht selbst gemacht habe und daher über die genaue Meßzeit keine volle Garantie besitze; immerhin aber zeigte sich doch, daß im allgemeinen keine wesentlichen Zeitunterschiede bestehen. Die Unterschiede nun zwischen den Oberflächentemperaturen - gemessen mit dem Marineschöpfer - und den "Maschinenmessungen" bilden die Grundlage der folgenden Untersuchung. Sie sind gebildet im Sinne:

"Maschine" minus "Schöpfer"; bei positiven Werten ist also das Oberflächenwasser kälter als das in der Maschine gemessene Tiefenwasser.

2. Die Häufigkeitsverteilung der Differenzen "Maschine - Schöpfer".

In Abb. 1 sind die Meßergebnisse in Abhängigkeit von der Zeit aufgezeichnet, darunter die aktuellen Werte der Wasser- und Lufttemperaturen und evtl. andere zur Beurteilung des Unterschiedes interessierende Wettererscheinungen, wie z.B. Niederschlag. Ein damit gegebener erster Überblick über das zur Verfügung stehende Material läßt allerdings nicht viel erkennen; die Streuung der Differenzen scheint ziemlich regellos zu sein, jedenfalls ist sie nicht von der Größe der Temperaturen abhängig. Allerdings erkennt man recht gut eine andere Abhängigkeit der Größe der Streuung, nämlich von dem Schiffsort. Während des Aufenthalts auf dem Fangplatz zwischen dem 1.7. und dem 10.7. ist die Streuung wesentlich geringer als vor- und nachher, in welcher Zeit das Schiff in Fahrt war und dadurch dauernd in neue Gegenden kam, während auf dem Fangplatz der Ortswechsel nur gering ist. Daß diese an sich verständliche Streuungsverminderung bei dem geringen Ortswechsel sich aber derart deutlich in den Beobachtungen ausprägt, ist ein gutes Zeichen auch für die Verlässlichkeit der Maschinenmessungen, und man kann nach diesem Ergebnis auch hoffen, weitere Ergebnisse bei einem intensiven Vergleich zu erhalten.

Zeichnet man nun aus den verfügbaren Differenzen eine Häufigkeitsverteilung, so ergibt sich Abb. 2. Die Einzelpunkte stellen die ausgezählten Häufigkeitswerte für jedes Zehntel der Differenz dar, die durchgezogene ausgeglichene Kurve verbindet die daraus gebildeten einfachen Dreiermittel. Zwei Besonderheiten fallen bei der Betrachtung der Abbildung sofort ins Auge; einmal zeigt die Verteilung eine deutliche Schiefe, indem die größeren Werte der negativen Seite häufiger sind, und zum anderen liegt der Scheitel der Kurve deutlich bei positiven Werten und nicht bei Null, so anzeigend, daß in den Differenzen noch typisch systematische Einflüsse enthalten sind.

Bildet man den einfachen Mittelwert aller Differenzen, dann erhält man als Ergebnis

$$M = + 0.16^{\circ}$$

Der Medianwert, also der Wert, der die Häufigkeits-

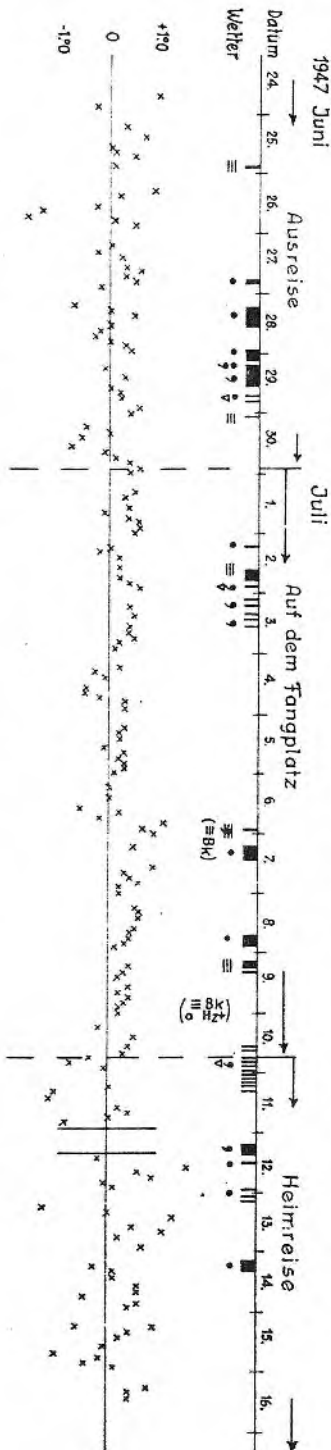


Abb. 1. Differenzen der T_w Messungen δT im Sinne "Maschine minus Schöpfer".

verteilung in zwei gleichstark besetzte Hälften teilt, liegt dagegen zwischen 0.2 und 0.3 Grad, also noch weiter rechts. In diesem Unterschied macht sich eben die deutliche Schiefe der Verteilungsfunktion bemerkbar.

Die Erklärung für diese positive Differenz zwischen der Maschinen- und der Oberflächenmessung ist verhältnismäßig einfach zu geben; sie liegt nämlich in der systematisch zu hohen Temperatur in der Maschine. Wenn in der Maschine das Thermometer für eine Minute - und zwar wegen seiner Größe nur mit der Thermometerkugel - in den Strahl des einlaufenden Wassers gehalten wird, vorher aber im meist

30 - 40 Grad warmen Maschinenraum gegangen hat, dann reicht diese Zeit zur völligen Abkühlung des Thermometers nicht aus, so daß es eigentlich erstaunlich ist, daß trotzdem die Temperaturen weitgehend denen der Oberfläche angeglichen sind. Jedenfalls bestehen wohl keine Bedenken, diese wenigen Zehntel Grad Differenz auf diese Art und Weise zu erklären.

Die Schiefe der Verteilungsfunktion andererseits wird im wesentlichen durch die größere Häufigkeit der größeren negativen Werte erzeugt. Die Breite der Funktion, also die Streuung ohne Berücksichtigung der Schiefe, wird zum Teil durch die reellen Unterschiedsschwankungen, wie sie im folgenden weiter untersucht werden sollen, zum Teil aber auch durch die Meßfehler bedingt sein, die besonders bei den Maschinenmessungen nicht sehr klein sein werden. Aber die Breite der Funktion ist auch wieder nicht so, daß man an einem Erfolg einer eingehenderen Untersuchung von vornherein zweifeln müßte. Die nun deutlich nach der negativen Seite herausfallenden Werte -- die ja dem Mittelwert entsprechend noch mehr nach links verschoben wären, wenn kein systematischer Fehler vorhanden wäre -- stellen also, jedenfalls im statistischen Mittel, besonders interessante Abweichungen von dem normalen Verhalten der Differenz dar.

3. Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit.

Wenn man nach einem Grunde sucht, der zu systematischen reellen Unterschieden zwischen Oberflächen- und Tiefentemperaturen führen könnte, dann ergeben sich verschiedene Möglichkeiten. Im ungestörten Falle, u.a. bei fehlender Wasserbewegung, wird sich sicherlich eine gewisse

Schichtung der Wassermassen, besonders in den obersten Metern einstellen. Die aller-obersten Schichten werden sich durch die Einstrahlung oder die Wärmeabgabe der untersten Luftschichten - wenn diese wärmer sind als das Wasser - erwärmen, aber diese Erwärmung wird sich nicht weit nach unten durchsetzen. Erst wenn durch stärkeren Wind und den dadurch erzeugten Wellengang eine erhebliche Durchmischung stattfindet, wird die oben zugeführte Wärme auch tieferen Schichten mitgeteilt. Man hat also zunächst einmal diesen Einfluß der Durchmischung in Rechnung zu stellen. Ich habe deshalb die Differenzen auf die verschiedenen Windstärken verteilt und für jede Windstärke das Mittel gebildet. In der Abb. 3 sind diese Mittel in Abhängigkeit von der Windstärke

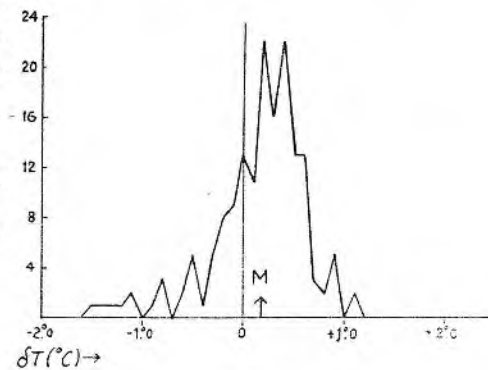


Abb. 2 Häufigkeitsverteilung der Differenzen ΔT

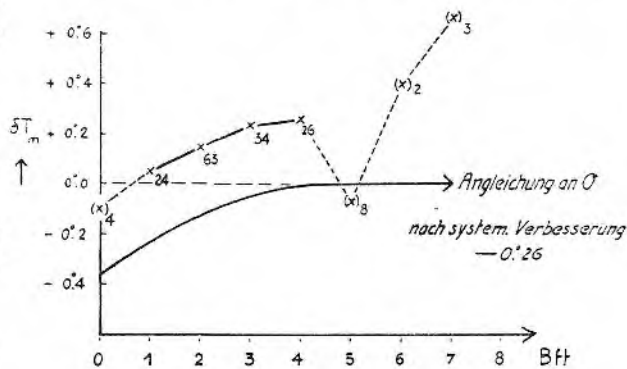


Abb. 3 Abhängigkeit der mittleren ΔT_m von der Windstärke

aufgetragen. Als Anzeichen für die Durchmischung hätte man vielleicht besser den ebenfalls beobachteten Seegang benutzen sollen; aber da beim Seegang zwischen Windsee und Dünung unterschieden wurde und es im Einzelfalle zweifelhaft war, inwieweit nun die Durchmischung nach der jeweils eingetragenen Windsee oder Dünung zu ordnen war, habe ich die Benutzung der Windstärke vorgezogen. Es ist auch noch die Frage, ob gerade bei langer und verhältnismäßig niedriger Dünung eine wesentliche Durchmischung der obersten Schichten stattfindet oder ob nicht dann die bestehende Schichtung ziemlich weitgehend erhalten bleibt und die Wassermasse als Ganzes rhythmisch schwingt.

Abb. 3 zeigt nun folgendes: Die Mittelwerte bei geringen Windstärken liegen alle niedriger als die bei Windstärke 4 - die höheren Windstärken sind zu selten beobachtet worden, um noch einen wesentlichen Beitrag liefern zu können - und somit erscheint hier die Tatsache als bemerkenswert, daß bei geringen Windstärken die Temperaturen in etwa 4 m Tiefe niedriger liegen als an der Oberfläche. Der Anstieg läßt sich bis Stärke 4 verfolgen; es sieht so aus, als ob dann etwa eine asymptotische Annäherung an einen konstanten Wert der Differenz Maschine - Schöpfer erfolgt. Fasse ich diesen Grenzwert als den systematischen Unterschied durch die oben besprochenen Ein-

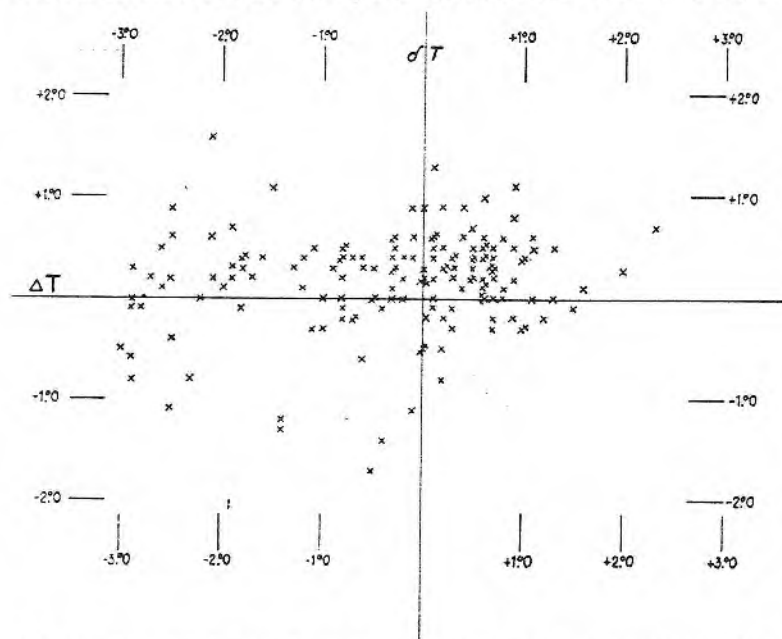


Abb. 4 Abhängigkeit der δT von der Differenz „Luft minus Wasser“ ΔT

stellt, daß die obersten Schichten erwärmt werden und damit im Mittel um 0.2 Grad wärmer als das Wasser in 4 m Tiefe werden. Wird der Wind und damit die Durchmischung stärker, dann wird die oben zugeführte Wärme immer mehr verteilt, und die Unterschiede zwischen Oberfläche und 4 m Tiefe verschwinden immer mehr.

4. Weitere Einflüsse.

Es liegt nun nahe, anzunehmen, daß auch die Temperaturdifferenz zwischen der Luft und der Wasseroberfläche einen Einfluß auf die Temperaturschichtung haben wird. In Abb. 4 ist die Differenz Maschine minus Schöpfer (δT) gegen die Temperaturdifferenz Luft minus Wasser (ΔT) aufgetragen, wobei jeder Punkt einer Einzelmessung entspricht. Man erkennt aber schon aus dem Anblick dieser Figur - und genauere Häufigkeitsauszählungen bestätigen diesen Befund - , daß eine derartige Abhängigkeit in diesem Material nicht ausgesprochen vorhanden ist. Zu erwarten wäre wohl ein solcher Effekt auch nur bei erheblich größeren ΔT , vor allem im Winter, wo dann der abkühlende Einfluß der untersten Luftschichten eine Schichtung begünstigen könnte. Wesentliche posi-

Einflüsse bei den Maschinenmessungen auf, dann kann ich diese Kurve um etwa 0.26 Grad tiefer legen und erhalte so die Einflüsse der fehlenden Durchmischung als negative Differenzen. Berücksichtigt man hierbei, daß ja diese Messungen dem Sommer entstammen und daß häufig die Luft über der Wassertemperatur lag, dann ist es erklärlich, daß der Effekt tatsächlich auf diesem Wege gefaßt werden kann. Man muß sich also vorstellen, daß sich bei geringer Windstärke eine derartige Schichtung im Oberflächenwasser ein-

tive ΔT werden in offener See ja sowieso selten auftreten.

Auch ein Versuch, den Einfluß direkter Strahlung auf die Oberflächenschichten zu erfassen, durch Anordnung der Differenzen ΔT nach dem Bedeckungsgrad, ergab keine eindeutigen Resultate; es liegt dies wohl hauptsächlich daran, daß während dieser Fahrt fast ausschließlich viel Bewölkung vorhanden war und dadurch die Klassen der geringen Bewölkung völlig unzureichend besetzt sind. Die für jede Bewölkungsstufe gebildeten Mittelwerte der Differenzen ΔT liegen regellos um den allgemeinen Mittelwert verteilt.

5. Zusammenfassung.

Als wesentliches Ergebnis kann man also feststellen, daß die Differenzen zwischen den Messungen der Wassertemperatur an der Oberfläche und in 4 m Tiefe erzeugt werden durch eine Schichtung des Wassers in den obersten Schichten; diese Schichtung wird durch stärkeren Seegang oberhalb etwa Windstärke 4 derart gestört bzw. verhindert, daß damit dann beide Temperaturen einander gleich werden. Der noch verbleibende Unterschied in den hier verarbeiteten Messungen ist auf die noch vorhandene systematische Unvollkommenheit der Maschinenmessungen zurückzuführen; bei Verwendung eines Thermometers, welches schneller austemperierte, können unter den normal auf See angetroffenen Verhältnissen auch die in der Maschine gemessenen Temperaturen als weitgehend repräsentabel für die Fragen des Wärmeaustauschs zwischen Wasser und Luft angesehen werden; denn im allgemeinen wird man mit ausreichender Bewegung im Meere rechnen können. Dieses Ergebnis steht auch in Übereinstimmung mit den Erfahrungen, welche C.F. BROOKS in einer eingehenden Studie (1) über die Messung von Wassertemperaturen mitgeteilt hat. Selbstverständlich müssen die Beobachtungen ebenso genau angestellt werden wie auch sonst die anderen Messungen, und dieser Vorbehalt ist wohl der schwerwiegendste der heutzutage bei einer Auswertung von alten Wassertemperaturbeobachtungen, die in der Maschine angestellt worden sind, zu machen ist. Die in Abb. 2 gezeichnete Häufigkeitsverteilung beweist aber, daß bei sorgfältiger Vornahme der Beobachtung in der Maschine auch dort die Genauigkeit nicht unwesentlich gesteigert werden kann, so daß in gewissen Fällen auch die vom Maschinenpersonal gemessenen Werte für eine wissenschaftliche Bearbeitung der Wassertemperaturen herangezogen werden können. Man wird nur in jedem Falle den häufig vorhandenen systematischen Fehler infolge der Wärme des Maschinenraumes durch einige Parallelmessungen bestimmen müssen. Es ist aber nach meinen Erfahrungen nicht einzusehen, warum die an Deck normal bestimmten Wassertemperaturen - durch Schöpfen mit einer Pütz und Messen der Temperatur mit einem normalen Wasserthermometer - wesentlich besser sein sollten; denn auch dort wird man häufig erhebliche Fehler vermuten müssen, z.B. wegen längeren Stehenlassens des aufgeholten Wassers an Deck u.U. sogar in der Sonne, oder durch starke Verdunstungsabkühlung bei größeren Windgeschwindigkeiten. In jedem Falle kommt es wohl weniger auf die Methode als vielmehr darauf an, ob die Beobachtung sorgfältig oder nachlässig angestellt worden ist. Bei den Wassertemperaturen allerdings kann man das nur in seltenen Fällen direkt entscheiden und wird es im allgemeinen erst bei einer eingehenderen Bearbeitung merken, z.B. durch Streuungsuntersuchungen in Gebieten, wo sich die Wassertemperatur erfahrungsgemäß nur wenig ändert. Die allgemeine Führung des Tagebuches wird meist kein Urteil gerade über die Güte der Wassertemperaturen gestatten, da diese Messungen an Deck wohl meist von Matrosen, in der Maschine vom dortigen Personal und nur in seltenen Fällen von dem eigentlichen Beobachter, der das Tagebuch führt, gemacht werden.

Bei der hohen meteorologischen Bedeutung der Temperaturdifferenz Luft minus Wasser ist es notwendig, dem behandelten Problem mit weiteren Vergleichsmessungen nachzugehen.

Schrifttum:

- (1) C.F. BROOKS: Observing Water-surface Temperatures at Sea. Monthly Weather Review, Vol 54 (1926) pg. 241 ff.