

Die Trift von Verschmutzungen an der Oberfläche der Nordsee

HEINRICH NEUMANN

Deutsches Hydrographisches Institut, Hamburg

ABSTRACT: The drift of pollutants at the surface of the North Sea. The fundamentals are ascertained, which are required for predicting the transport of surface pollutants under the influence of wind and surface currents. Polluted areas are indicated by drift cards released over one year in the central North Sea. The route of 1,388 cards was tracked, employing an IBM 1620 computer of the "Deutsches Hydrographisches Institut", from the places of release to the places of recovery. Wind direction and speed were given and the best suited current system found. In the equation $v = S \frac{W}{100}$ (v = speed of the cards, W = wind speed) S was changed until this relation was best complied with by all cards. For this purpose it was assumed that drift card direction and wind direction coincided. As a result $S = 4.2$ was obtained (the cards drifted, on an average, over a distance of 4.2 nm, while the wind covered, during the same time, a distance of 100 nm). In order to ascertain the influence of ocean currents, the route of each card group, and of each single card released, was tracked on a chart-like representation, which – among other things – showed, in a table, the minimum distance between the computed card route and the place of recovery for each card retrieved. Thus, the effect of S was studied in relation to a given current system. Several surface current systems were combined with S values between 3.6 and 4.4. The current system pertaining to $S = 4.2$ is shown and discussed.

EINLEITUNG

Als im Jahre 1955 der Tanker „Gerd Maersk“ in der Elbemündung bei Neuwerk 1000 t Öl ins Meer pumpen mußte, um wieder flott zu werden, wurden erhebliche Mittel an Schiffen und Flugzeugen aufgewendet, um täglich die Grenzen der Verschmutzungen festzustellen. Auf die Gefahren solcher Verschmutzungen brauche ich hier nicht einzugehen. Zum erstenmal standen wir vor der wichtigen Frage: Wohin treiben diese Ölkumpen? Läßt sich ihr Weg vorausberechnen, so daß rechtzeitig Maßnahmen gegen die Verschmutzung eingeleitet werden können?

ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Es ist bekannt, daß 50 beziehungsweise 100 Seemeilen von den Anliegerstaaten der Nordsee entfernt heute noch ein Gebiet liegt, in dem Öl in beschränktem Ausmaß ins Meer gespült werden darf. Wir bekamen Mittel, um die Trift dieser Klumpen auf

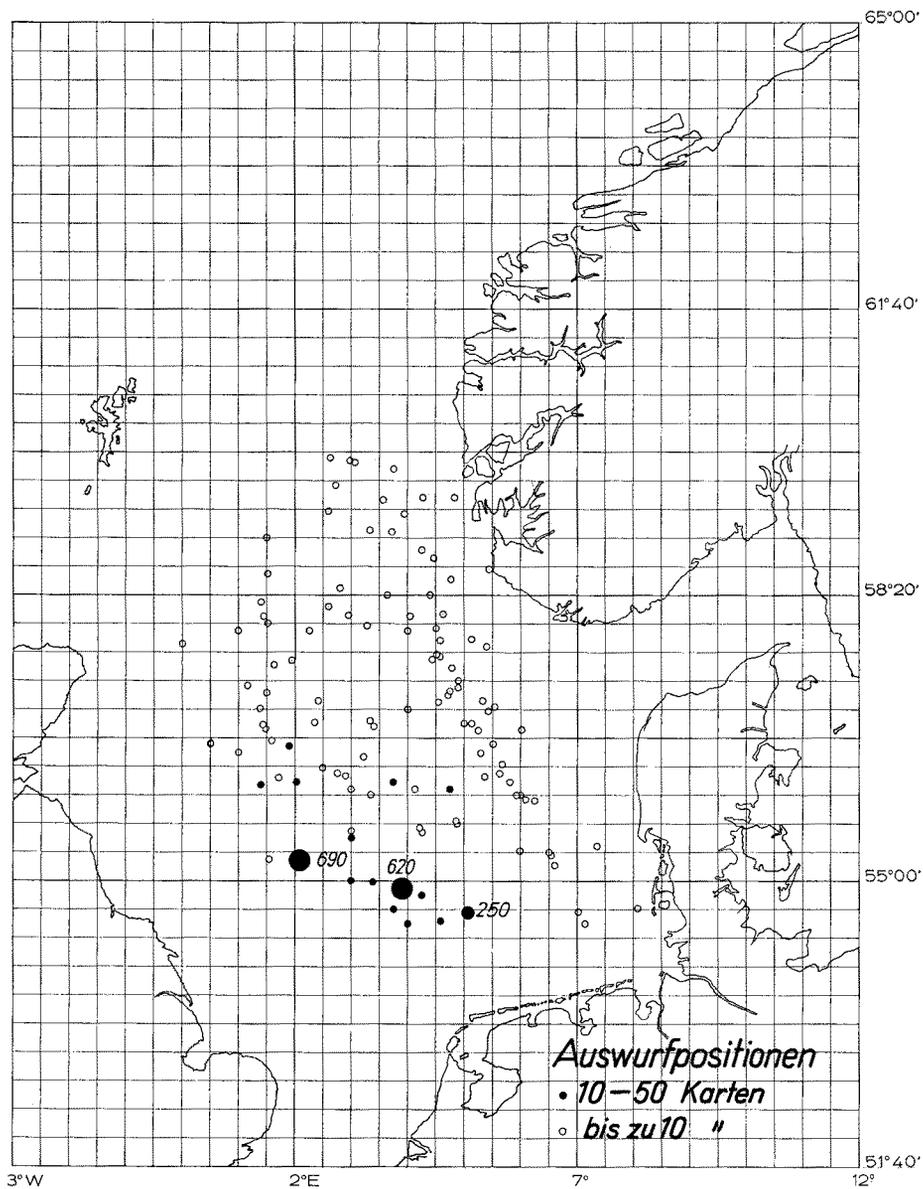


Abb. 1: Karte der Auswurforte

Gesetzmäßigkeiten zu untersuchen. Da es sich um eine Bewegung der obersten Wasserschichten handelt, nahmen wir auch die von LAW FORD (1956) verwendeten Plastikumschläge, die in den obersten 5- bis 10-mm-Wasserschichten schwimmen. Postkarten mit der Anschrift des Deutschen Hydrographischen Instituts in Plastikumschlägen mit den Fragen, wo und wann sie gefunden wurden mit dem Namen des Finders, wurden

in dem Ölablaßgebiet an 125 verschiedenen Orten und zu verschiedenen Zeiten über ein ganzes Jahr verteilt zu 50, 30, 10, 5 und einzeln ausgeworfen und ihre Trift rechnerisch verfolgt. Die ausgeworfenen Nummern und der Standort des Schiffes wurden protokolliert. Für die Hilfe bei diesen Auswürfen sind wir besonders der Bundesforschungsanstalt für Fischerei und der Argo-Reederei zu Dank verpflichtet.

Die Lage der Auswurforte zeigt Abbildung 1. In der Zeit vom 24. August 1961 bis 15. September 1962 wurden 3030 Karten ausgeworfen; davon wurden 1388 Karten gefunden und den Rechnungen zugrunde gelegt. Die folgende Übersicht zeigt die Verteilung der Fundorte auf die Küsten der Anliegerstaaten:

Norwegische Küste	546 Karten = 39,4 %
Dänische Küste	472 Karten = 34,0 %
Schwedische Küste	286 Karten = 20,6 %
Deutsche Küste	52 Karten = 3,7 %
Englische Küste	18 Karten = 1,3 %
Holländische Küste	14 Karten = 1,0 %

Auf vielen Karten machten uns auch die Finder darauf aufmerksam, daß ihr Strand durch Öklumpen verschmutzt ist.

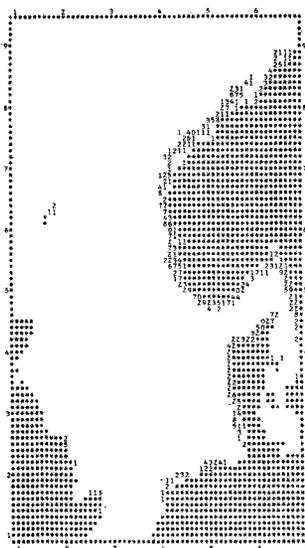


Abb. 2: Lage der Fundstellen der Triftkarten auf 10 sm genau

Abbildung 2 zeigt alle Fundorte, die auf ein Feld von 100 sm² entfallen. Die Zahl „0“ bedeutet, daß hier 10 Karten gefunden wurden, der Buchstabe „Z“ mehr als 10. Das Gesamtgebiet erstreckt sich von 51° 40' N bis 65° 0' N und von 3° 0' W bis 12° 0' E. Länge und Breite sind in Abständen von 10 sm unterteilt. Land und Seegrenzen wurden visuell geschätzt. Das Arbeitsgebiet wurde von Westen nach Osten in 60 Koordinaten (mit gleichen Abständen) 1 bis 60 und von Süden nach Norden von 1 bis 95 eingeteilt. Die Fläche wurde in Mercatorprojektion umgerechnet, so daß alle Rich-

tungsangaben – Windrichtung, Stromrichtung und Triftkartenrichtung – konform dargestellt werden konnten. Die Entfernungen stimmen um so weniger mit den wahren Entfernungen überein, je größer sie sind und umgekehrt.

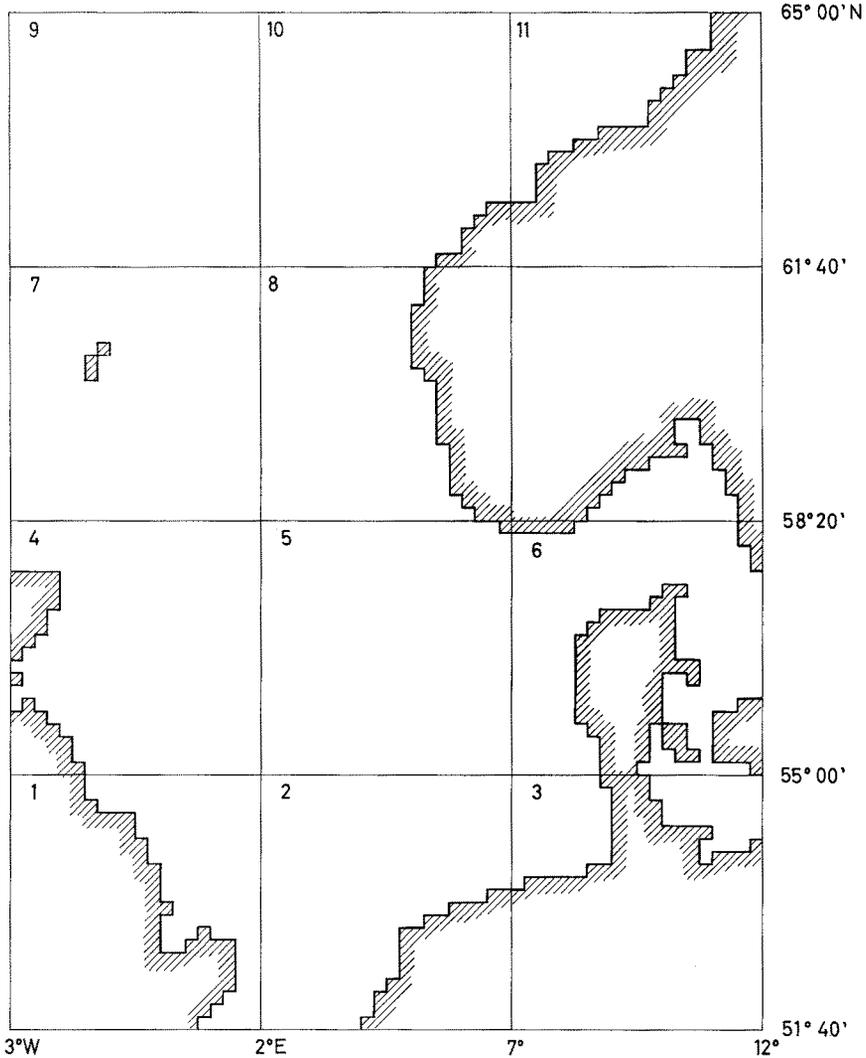


Abb. 3: Lage der Windfelder

Schon im Februar 1962 hat TOMCZAK (1964) die bis zum 31. Dezember 1961 ausgeworfenen und gefundenen Karten einer kurzen Bearbeitung unterzogen. Die Bearbeitung wurde von mir im August 1964 für den Zeitraum vom 24. August 1961 bis 15. September 1962 mit mehr Rechenmöglichkeiten auf der Rechenanlage des Deutschen Hydrographischen Instituts, einer IBM 1620, mit anderen Unterlagen und an-

deren Arbeitshypothesen fortgesetzt. Die Programmierungen führte bei dieser Arbeit Dr. MUNKELT durch.

Abbildung 3 zeigt die 11 Gebiete, für die vom Deutschen Wetterdienst, Seewetteramt Hamburg, die mittlere Windrichtung und -stärke im Abstand von 6 Stunden bis zum 15. September 1962 zur Verfügung gestellt wurde. Die Gebiete haben eine Seitenlänge von 200 sm.

Bei einer genauen Untersuchung der Kartenwege und Triftzeiten zeigte sich eine zunehmende Weglänge bei zunehmender Schwimmdauer. Die Aufeinanderfolge der Funddaten an der Küste weist auf das Zusammenbleiben der Triftkarten in einem Pulk hin. Die Ursache für dieses „Nacheinanderliegenbleiben“ in örtlicher und zeitlicher Reihenfolge sind die Winde und die Meeresströmungen. Die Berechnungen haben daher zwei Voraussetzungen: (a) Windrichtung und Triftkartenrichtung stimmen überein. (b) Die Fundzeit von zwei und mehreren Karten an derselben Stelle war für alle Karten die Fundzeit der ersten Karte.

Daß nicht alle Karten an derselben Stelle ankommen, erkläre ich mir durch eine geringe Auflösung des Pulks vor allem in der Nähe der Küste. Als Kräfte kommen in Frage die Böenhaftigkeit, die Veränderung des Windes, der unterschiedliche Einfluß der Gezeitenströme schon in geringer Entfernung, der Tidenhub und die Küstengestaltung.

Zwischen Wind- und Kartengeschwindigkeit soll eine lineare Beziehung $v = S \frac{W}{100}$ bestehen, wo v die Geschwindigkeit der Karte und W die des Windes ist. Der Parameter S wird durch Versuche für alle ausgeworfenen und gefundenen Karten solange verändert, bis die Beziehung für die meisten Karten erfüllt ist. S gibt den Weg in sm an, wenn der Wind 100 sm zurücklegt. Aus anderen Arbeiten, zuletzt aus der von TOMCZAK (1964), geht hervor, daß S zwischen 3,6 und 4,4 liegen muß. Rechnerisch unterlagen die Triftkarten dem Wind des Feldes, in dem sie ausgeworfen wurden, bei Verlassen des Feldes kamen die Winde des neuen Feldes zur Wirkung etc. Die berechneten Kartenwege müssen folgende Bedingungen erfüllen: (a) Die Entfernung zwischen dem Kartenweg und der Fundstelle soll ein Minimum sein. (b) Die Triftwege wurden bis zur zuletzt gefundenen Karte verfolgt oder bis zum Rand des Arbeitsgebietes oder bis der Triftweg an Land endete. (c) Die Differenz Fundzeit minus Anlandungszeit muß positiv sein.

Vorwiegend nach zwei Methoden wurden die Rechenergebnisse sichtbar gemacht: (1) durch die Auszählung und (2) durch die kartenbildmäßige Darstellung.

Zu (1): Ausgezählt wurde der Abstand A zwischen dem berechneten Kartenweg und dem Fundort. A wurde bezogen auf die Gesamtentfernung E zwischen Auswurfort und Fundort nach der Formel: $Q = \frac{100 A}{E}$, so daß $Q = Q(S)$ ist. Die Auszählung erfolgte für bestimmte Kartenmengen, beispielsweise die ersten 7 Auswurfzeiten oder die Auswürfe der ersten 100 Tage etc. (Abb. 4). Die Maschine schrieb das Ergebnis in folgender Weise auf: $S =$

< 1 %	1 %	2 %	2 %-3 %	. . . . .	9 %-10 %
10 %-11 %	. . . . .	. . . . .	. . . . .	. . . . .	19 %-20 %
20 %-21 %	. . . . .	. . . . .	24 %-25 %	> 25 %	

Während der ganzen Arbeit wurden die verschiedenen Kollektive auch nach Auswurfgebieten zusammengefaßt, so daß insgesamt mehr als 100 Auszählungen nach den verschiedensten Gesichtspunkten mit verschiedenen S durchgeführt wurden. Das Endergebnis der Auszählungen ist graphisch dargestellt auf Abbildung 5 zu sehen. Augenfällig ist der Faktor $S = 4,2$ der günstigste. Der größere Teil aller Triftwege, nämlich 80 %, führt in weniger als 25 % der Gesamtentfernung an den Fundorten vorbei.

ZEITEN VON 000 BIS 099

S = 40 T = 00

050 068 046 043 046 034 027 032 020 031
012 008 005 005 009 005 007 006 008 003
007 007 002 005 003 104

S = 41 T = 00

061 062 035 059 040 043 024 033 015 022
014 014 008 009 004 005 001 007 005 006
002 003 001 002 002 116

S = 42 T = 00

063 076 047 059 046 036 025 020 022 020
012 011 010 012 001 004 005 002 003 004
002 001 001 003 004 104

S = 43 T = 00

026 079 038 054 035 032 024 024 018 022
022 013 009 013 005 005 004 001 002 005
005 001 002 004 005 145

S = T =

S = 44 T = 00

044 067 064 044 034 030 019 024 017 025
010 022 012 012 008 007 002 005 004 002
001 005 005 004 003 123

Abb. 4: Original einer Auszählung der in den ersten 100 Tagen ausgeworfenen Triftkarten

Diese Auszählungen haben aber einige Mängel: (a) Sie zeigen nicht, warum die eine Karte anlandet und die andere nicht. (b) Sie enthalten keinen Zeitfaktor. Wie weitere Untersuchungen zeigen, kann eine Karte nach 30 Tagen mit $Q = 10\%$ aufgeschrieben werden und eine andere nach weiteren 20 Tagen an derselben Stelle mit $Q = 3\%$. Zu den 3 % gehört aber eine erheblich höhere Liegedauer als zu den 10 %. (c) Enden die Kartenwege rechnerisch weit vom Fundort an Land, so werden die Q sehr groß.

Zu (2): Um den Kartenweg selbst zu sehen, wurde die kartenbildmäßige Darstellung gewählt. Abbildung 6 zeigt den Kartenweg der nach 9 Tagen – 009.50 – ausgeworfenen Karten. Der Tag Null ist der 24. August 1961, an dem die ersten Karten ausgeworfen wurden. Die geographischen Koordinaten des Auswurfortes waren $N = 54^{\circ} 54'$, $E = 3^{\circ} 49'$; X und Y sind die dazugehörigen Koordinaten dieser Karte. Der Weg ist für $S = 4,20$ aufgezeichnet worden. Die Werte von T, ein quadratisches Glied, sind in dieser Arbeit nicht berücksichtigt worden. Der Auswurfort ist mit zwei konzentrischen Kreisen gekennzeichnet. Jedes Feld von 10 mal 10 sm^2 , in das die Karten auf ihrer Trift gelangen, ist mit einem Punkt gekennzeichnet. Die Reihenfolge

aber, in der die Punkte durchlaufen werden, ist nicht ersichtlich. Sobald der berechnete Kartenweg auf Land trifft, wird der Stern durch ein Komma „," ersetzt. Tritt innerhalb von zwei Tagen nach dem Auftreffen ablandiger Wind ein, geht der Kartenweg weiter. Im anderen Fall endet er, wie beispielsweise hier bei den Koordinaten $X = 51$,

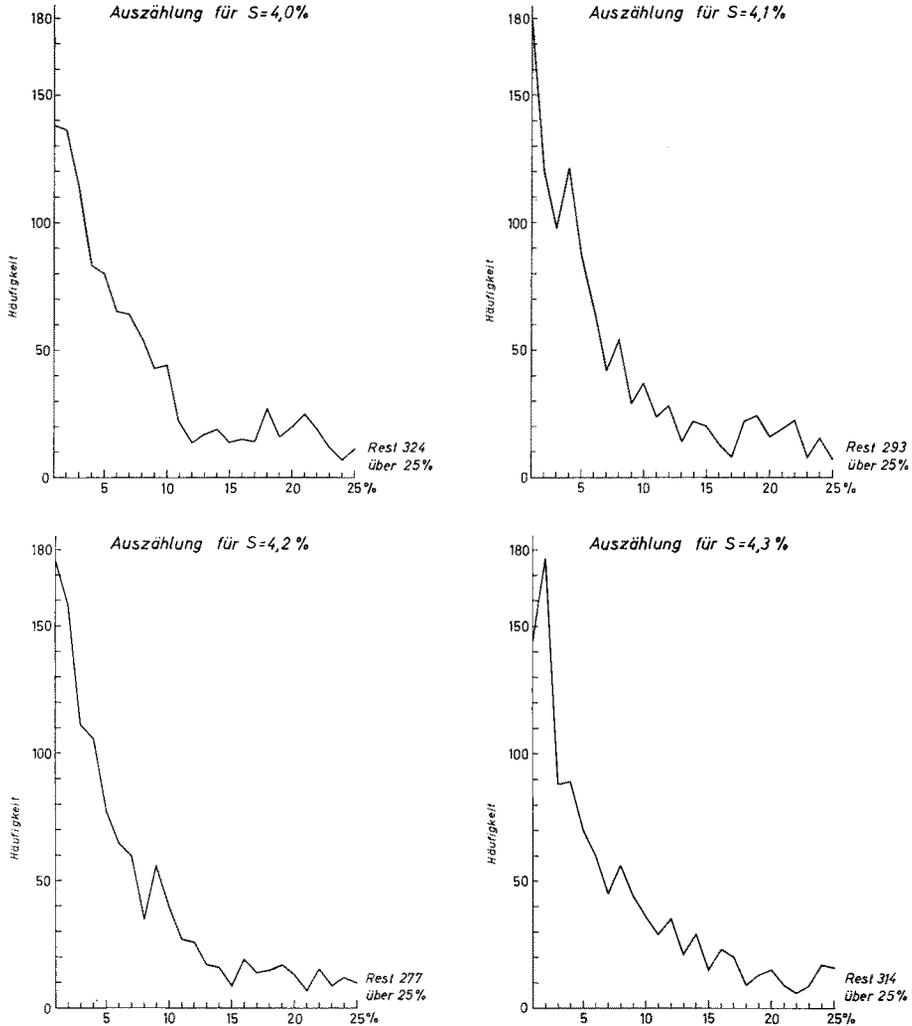


Abb. 5: Übersichtliche Darstellung der Auszählungen für $S = 4,0$ bis $S = 4,3$

$Y = 45$ nach 42 Tagen. Auf der Darstellung sind weiter die Fundorte mit der Anzahl der gefundenen Karten eingetragen. Rechts oben steht eine Zahlengruppe mit 4 Spalten. Die erste Spalte gibt in zeitlicher Reihenfolge die Fundorte in Tagen nach dem 24. August 1961 an, die beiden folgenden die Koordinaten der Fundorte und die letzte Spalte die minimale Entfernung in Seemeilen zwischen dem Fundort und dem

berechneten Kartenweg. Diese Zahlen sind hier deshalb so hoch, weil der Kartenweg so frühzeitig endete. Die weiteren 3 Kolonnen zeigen die Koordinaten des Kartenweges nach 3, 6, 9 Tagen etc. Sie zeigen, wie die Punkte etwa durchlaufen werden. Diese Karten sind ein typisches Beispiel dafür, daß alle Kartenwege vorzeitig enden



Abb. 6: Trift der am 2. 9. 1961 ausgeworfenen Karten allein unter Windeinfluß

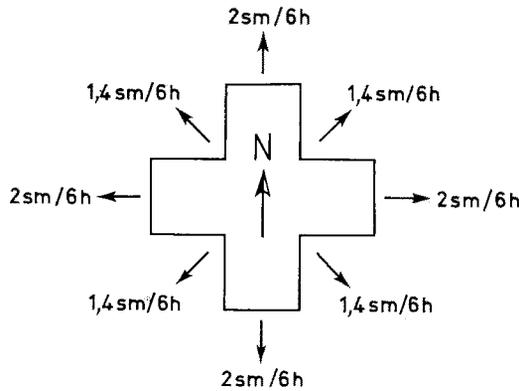


Abb. 7: Schema der ablandigen Ströme

würden, wenn keine Küstenströme angenommen werden. Es wurden 300 bis 400 Kartenwege mit anderen Faktoren S und angenommenen Strömungen verfolgt, um das in der Auszählung gezeigte Ergebnis zu erhalten. Gerade das vorzeitige Liegenbleiben der Karten auf den berechneten Wegen war die größte Schwierigkeit bei der Durchführung der Berechnungen. Drei Punkte trugen dazu bei, diese Schwierigkeiten zu vermindern:

(a) Es wurden Strömungen vorgegeben. Diese Strömungen beeinflussten den Faktor S insofern, als bei Strömungen mit dem Wind der Faktor S kleiner wird, im anderen Fall größer. Vier in ihren Geschwindigkeiten mehr oder weniger abgewandelte Strombilder wurden mit mehreren Faktoren S durch die kartenbildmäßige Darstellung untersucht, bis das endgültige Strombild erhalten wurde.

(b) Die Möglichkeit der vorzeitigen rechnerischen Beendigung des Triftweges wurde durch ablandige Ströme für alle Küsten eingeschränkt. Das Schema dieser ablandigen Ströme zeigt Abbildung 7. Es kam darauf an, dieses Schema so ausgewogen herauszufinden, daß für alle Küstenabschnitte die gleichen Ströme gelten und daß das Zusammenspiel mit den Küstenströmungen und den Winden nicht das Erreichen der Fundorte verhinderte.

(c) Die Küsten wurden geglättet. Die Karte der Fundorte zeigt deutlich, daß alle Karten, auch die in Norwegen, vor der Küste gefunden wurden und keine Karten in die Fjorde gelangten.

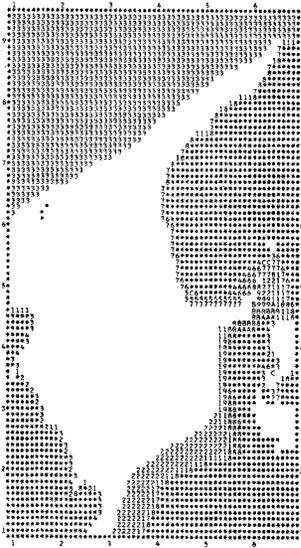


Abb. 8: Darstellung der Ströme mit Ziffern und Buchstaben

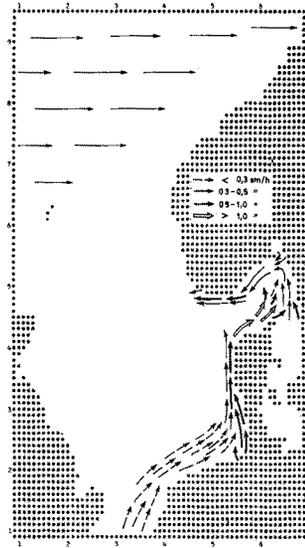


Abb. 9: Darstellung der Ströme mit Strompfeilen

Abbildung 8 zeigt die Strömungen in Ziffern, wie sie in die Modellrechnung eingegeben wurden. Die Ziffern und Buchstaben haben folgende Bedeutung:

1	N	0,3 sm/h	7	W	0,3 sm/h
2	NE	0,2 sm/h	8	NW	0,5 sm/h
3	E	0,3 sm/h	9	NNW	0,7 sm/h
4	SE	0,5 sm/h	A	ENE	0,8 sm/h
5	WSW	0,8 sm/h	B	NE	1,2 sm/h
6	SW	0,5 sm/h	C	S	0,3 sm/h

Man sieht neben den im Schema angegebenen ablandigen Strömen die Küstenströme: Im Bereich der deutschen und holländischen Küste einen mit 0,2 sm/h nach Nordosten setzenden Strom, der an der jütländischen Küste mit 0,7 sm/h nach Nordnordwesten setzt, im Skagerrak mit 1,2 sm/h an der dänischen Küste nach Nordosten setzt und



Abb. 10: Weg der am 24. August 1961 ausgeworfenen 50 Karten



Abb. 11: Weg der am 17. September 1961 ausgeworfenen 30 Karten

dann der schwedischen und norwegischen Küste folgt. An der südnorwegischen Küste haben wir einen zum Teil nach Westsüdwesten setzenden Strom mit 0,8 sm/h. Im Nordwesten der Karte sehen wir einen nach Osten setzenden Strom mit 0,3 sm/h, den wir als Ausläufer des Golfstromes deuten können. Er wird nicht immer und überall die hier angegebene Geschwindigkeit haben. Ich möchte ausdrücklich darauf hinweisen, daß die im Bereich der deutschen und holländischen Küste angegebenen Ströme besonders untersucht und bestätigt wurden.

Abbildung 9 zeigt die Küstenströme in Pfeildarstellung. Ich möchte noch darauf hinweisen, daß man die Richtigkeit des Faktors $S = 4,2$ für das angegebene Strombild prüfen kann, wenn man die Liegezeiten der Karten, das heißt die Differenz Fundzeit minus berechnete Anlandungszeit betrachtet. Das ist mit Hilfe der Zahlenangaben auf den Karten möglich. Dazu ist zu sagen, daß die Liegezeiten in Norwegen nach Norden größer werden, was unter Umständen darauf hinweist, daß die Ausläufer des Golfstromes im Nordteil des Untersuchungsgebietes zu stark angesetzt wurden. An der jütländischen, schwedischen und südnorwegischen Küste wurden die Karten oft schon am Anlandungstag gefunden, während die Liegezeiten an der holländischen und ostfriesischen Küste auffallend hoch sind. Für das Skagerrak ist die Darstellungsmöglichkeit der Ströme dadurch erschwert, daß die Felder mit 10 sm Seitenlänge für dieses Gebiet sicher zu groß sind.



Abb. 12: Weg der am 16. September 1961 ausgeworfenen 30 Karten

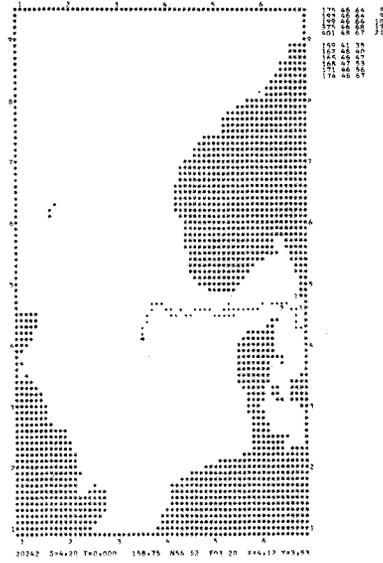


Abb. 13: Weg der am 29. Januar 1962 ausgeworfenen 10 Karten



Abb. 14: Weg der am 10. März 1962 ausgeworfenen 30 Karten



Abb. 15: Weg der am 24. Februar 1962 ausgeworfenen 30 Karten

Von den vorstehenden Abbildungen verdeutlicht Abbildung 10, daß die nach 50 Tagen auf $X = 64$, $Y = 40$ gefundene Karte nach etwa 4 Tagen gefunden wurde; die nach 60 Tagen auf $X = 71$, $Y = 45$ gefundene Karte lag dort schon etwa 9 Tage, die nach 63 Tagen auf $X = 69$, $Y = 42$ gefundene Karte lag dort schon 12 Tage etc. Abbildung 11 zeigt die Trift von Karten, die auf den Shetlands gefunden wurden. Südlich der Shetlands wurden keine Meeresströmungen vorgegeben. Es ist anzunehmen, daß die an der südnorwegischen Küste nach Westen setzenden Ströme zeitweise weiter reichen als angegeben, so daß diese Fundorte damit erklärt werden können. Der nach Osten setzende Strom war weiter im Norden zu schwach, die Karten wieder gegen die norwegische Küste zu treiben. Die Abbildungen 12, 13 und 14 geben weitere gute Ergebnisse wieder. Abbildung 15 schließlich weist auf einen an der englischen Küste nach Süden setzenden Strom hin.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Als Ergebnis dieser Arbeit ist hervorzuheben, daß wir heute in den meisten Fällen den Weg von Verunreinigungen an der Oberfläche vorausberechnen können, wenn Windrichtung und -stärke genau genug vorhergesagt werden. Bei unseren Vorhersagen haben wir im Deutschen Hydrographischen Institut mit dem Faktor $S = 4,2$ gute Erfahrungen gemacht. KOHNKE (1967) hat zum Beispiel mit diesem Faktor den Weg des ausgelaufenen Öls der „A. M. Brøvig“ mit Hilfe der Windvorhersagen richtig berechnet. Es ist zu überlegen, ob man in gemeinsamer Arbeit von einigen Feuerschiffen regelmäßig Karten auswerfen lassen sollte, deren Weg untersucht wird. Besonders für Ströme aus dem Kanal wären sicher wichtige Ergebnisse zu erwarten.

ZUSAMMENFASSUNG

1. Mit Hilfe von Triftkarten, die als Indikator von Oberflächenverschmutzungen verwendet werden, wird die Trift von Oberflächenverschmutzungen in der Nordsee untersucht.
2. Es wird festgestellt, daß sich die Trift von Verschmutzungen vorausberechnen läßt, wenn man zuverlässige Vorhersagen über Windrichtung und -stärke hat.
3. Die Windrichtung und die Richtung der triftenden Verschmutzungen stimmen überein.
4. Die Verschmutzungen legen 4,2 % des Windweges zurück; das heißt legt der Wind 100 sm zurück, trift die Verschmutzungen 4,2 sm.
5. Für die Vorausberechnung des Weges der Verschmutzungen muß ein Strömungssystem an der Oberfläche zugrunde gelegt werden, das erläutert wird.
6. Die Zuverlässigkeit dieser Bedingungen ist schon an einigen Beispielen, wo Tanker Öl verloren haben, bestätigt worden.

ZITIERTE LITERATUR

- KOHNKE, D., 1967. Öl bedrohte die deutsche Küste. *Gas- u. WassFach* **108** (22), 616–617.
- LAWFORD, A. L., 1956a. The effect of wind upon the surface drift in the north-eastern Atlantic and the North Sea. *Weather, Lond.* **11** (5), 155.
- 1956b. Postscript to operation drift card. *Trident, Lond.* **18** (208), 350–351.
- TOMCZAK, G., 1964. Investigations with drift cards to determine the influence of the wind on surface currents. *In: Studies on oceanography*. Ed. by K. Yoshida. Univ. of Tokyo Press, Tokyo, 129–139.