

Die Beziehung zwischen Wind und Oberflächenströmung auf Grund von Triftkartenuntersuchungen

Von Heinrich Neumann

UDC 551.465.54; ANE North Sea

Zusammenfassung. Es wurden mehrere Tausend Triftkarten ausgeworfen. Ihr Weg vom Auswurfort zum Fundort wurde mit Hilfe einer elektronischen Rechenanlage durch Modellrechnungen verfolgt, bei denen das Windfeld über der Nordsee vorgegeben war. Die Rechnung wurde so variiert, daß tatsächliche und rechnerische Fundorte der Karten möglichst gut übereinstimmten. (Abb. 3.). Hiernach treiben die Triftkarten in Windrichtung mit 4,2 v. H. der Windgeschwindigkeit. Das nur aus dem Wind gewonnene Bild des Triftweges läßt sich verbessern, wenn zusätzlich Oberflächenströmungen angenommen werden. Durch rechnerische Experimente wurde ein zu diesem Windfaktor passendes Stromfeld für die Nordsee ermittelt (Abb. 15).

Relation between wind and surface current derived from drift card investigations (Summary). Several thousands of drift cards were released. Their route from the place of release to the place of retrieval was traced on an electronic computer by means of model computations where the wind field over the North Sea was preset. The computation was varied so to achieve the best possible agreement of actual and computational places of retrieval (Fig. 3). According to this, the cards are drifting in wind direction at 4.2 per cent of the wind velocity. The drift route exclusively derived from the wind can be improved by assuming, in addition, surface currents. Computational experiments delivered a current distribution in the North Sea corresponding to this wind factor (Fig. 15).

Les relations entre vent et courant superficiel déduites des études par cartes-flotteurs (Résumé). Plusieurs milliers de cartes-flotteurs ayant été lancées, leur trajet du point de lancement au point de récupération a été établi à l'aide d'une calculatrice électronique avec un programme de calcul dans lequel était introduit le champ des vents en mer du Nord. Le calcul était si détaillé que le meilleur accord possible a été trouvé entre les lieux réels et calculés de découverte des cartes (fig. 3). On constate que les cartes sont poussées dans la direction du vent avec une vitesse égale à 4,2% de celle du vent. La représentation obtenue pour les trajets de dérive à partir du vent seul peut être amélioré si on considère en plus les courants superficiels. La représentation calculée montre pour la mer du Nord un champ de courant en accord avec ce facteur de vent (fig. 15).

Einleitung. Im Jahre 1961 wurde das Deutsche Hydrographische Institut mit der Untersuchung von Ölvertriftungen auf See beauftragt (s. a. Jahresbericht d. Deutschen Hydrographischen Instituts Nr. 16, 1961 [1962]).

Öl durfte zu dieser Zeit noch in der Nordsee in einem Abstand von 100 bzw. 50 sm von den Küsten entfernt abgelassen werden. Die Ölreste in klumpiger Form verschmutzten die Küsten, und die Seevögel erlitten schwere Schäden. Es sollte untersucht werden, unter welchen Voraussetzungen und mit welcher Geschwindigkeit Ölkumpen die Küsten erreichen. Das flüssige Öl dagegen bildet auf der Wasseroberfläche einen dünnen Film und kann nach einer gewissen Zeit nicht mehr festgestellt werden.

Die Ausbreitung von 8000 t Öl hat Hansen 1955* feststellen lassen, als der Tanker „Gerd Maersk“ in der Elbmündung bei Neuwerk auf Grund gelaufen war und diese Ölmengen ablassen mußte, um wieder frei zu kommen. Damals wurden Weg und Ausbreitung des Öls mit Schiffen und Flugzeugen verfolgt und dabei die von Tomczak [1964] veröffentlichte Karte entworfen.

Da es sich bei Öltrift (Trift der Ölkumpen) im wesentlichen um eine Bewegung der obersten Wasserschichten handelt, bot sich eine Triftuntersuchung mit Plastikkarten (s. Lawford [1956]; Hughes [1956]) an.

Diese enthielten auf der einen Seite die Anschrift des Deutschen Hydrographischen Instituts, auf der anderen Seite eine laufende Nummer und folgende Fragen in sechs Sprachen: Name und Anschrift des Finders, Fundort, Name der nächstgelegenen Stadt und Fundzeit.

* Vgl. Hansens Karte bei Tomczak [1964], Fig. 1.

Untersuchung über Ölverschmutzung

Deutsches Hydrographisches Institut

Karte Nr.

Name und Anschrift des Finders Name and address of finder Votre nom et votre adresse Naam en adres van de vinder Finderens navn og adresse Finnereens navn og adresse	
Wo wurde der Umschlag gefunden? Place at which envelope was found Lieu où l'enveloppe a été trouvée Plaats waar de enveloppe gevonden werd Stedet, hvor konvolutten blev fundet Stedet hvor konvolutten ble funnet	
Name der nächstgelegenen Stadt Name of the nearest town Nom de la ville la plus proche Naam van de stad dichtbij Navn af nærmest by Navn af nærmest by	
Wann wurde der Umschlag gefunden? Date when envelope was found Date de la trouvaille Datum waarop de enveloppe gevonden werd Dato, da konvolutten blev fundet Dato da konvolutten ble funnet	

BELOHNUNG. Öffne durch Aufschneiden des Umschlags.

REWARD. Open by cutting plastic envelope.

ATTENTION. Ouvrir en déchirant l'enveloppe.

BELONING. Snijd de plastic envelop open.

DUSØR. Åben plastik-konvolutten ved at skære den op.

BELØNNING. Skjær plastic-konvolutten opp.

Untersuchungen über die Verschmutzung durch Öltreibstoff

Dieser Umschlag ist einer von vielen tausenden, die vom Deutschen Hydrographischen Institut ins Meer geworfen wurden, um die Gebiete ausfindig zu machen, von denen Öltreibstoff, der aus Tankern über Bord gelassen wurde, an die Küsten der Nordsee treibt.

Bitte helfen Sie mit, indem Sie die vier Fragen auf der Rückseite der Postkarte beantworten und die Karte an das Deutsche Hydrographische Institut schicken. Schreiben Sie bitte deutlich in Blockschrift.

Eine Belohnung im Gegenwert von DM 1,50 wird für jede zurückgesandte Karte bezahlt.

Oil pollution investigation

This envelope is one of many thousands dropped into the sea by Deutsches Hydrographisches Institut in order to discover the areas from which oil, jettisoned by tankers, drifts on the coasts of Europe.

You are asked to help by writing the answers to four questions in the spaces provided on the back of the postcard and sending it to Germany. Please write clearly and use capital letters.

A reward of DM 1.50 will be paid for every card returned.

Enquête sur la pollution par les huiles minérales

Le Deutsches Hydrographisches Institut a jeté à la mer plusieurs milliers d'enveloppes comme celle-ci afin de déterminer les zones d'où l'huile minérale, vidangée par les pétroliers dérive sur les côtes d'Europe.

Vous êtes prié d'apporter votre concours à cette enquête en répondant à quatre questions, à l'emplacement prévu au verso de la carte postale et en envoyant celle-ci en Allemagne.

Prière d'écrire lisiblement et en majuscules d'imprimerie.

Une récompense de l'équivalent de DM 1,50 sera adressée pour chacune des cartes renvoyées.

Onderzoek naar verspreiding van olie op zee

Dit is een van de vele duizenden enveloppen die door het Deutsche Hydrographische Institut in zee zijn geworpen om uit te vinden uit welke zeegebieden olie, die door tankers in zee gestort wordt, naar de kusten van Europa toedrijft.

U wordt vriendelijk gevraagd mee te helpen door van vier vragen de antwoorden op te schrijven op de achterkant van de briefkaart en deze naar Duitsland te sturen. Schrijf asjeblijft duidelijk, met hoofdletters.

Een beloning ter waarde van DM 1,50 zal worden uitbetaald voor elke kaart die terug komt.

Undersøgelse over forureninger ved spildeolie

Denne konvolut er en af mange tusinde, som er kastet i havet paa foranledning af Det Deutsche Hydrographische Institut for at finde de områder, hvorfra spildeolie udtømmet af tankskibe driver ind til Europas kyster.

De bedes hjaelp ved at udfylde rubrikkerne paa bagsiden af postkortet og sende det til Tyskland. Skriv venligst tydeligt og med blokbogstaver.

En dusør paa et beløb svarende af DM 1,50 vil blive udbetalt for hvert tilbagesendt kort.

Undersøkelse av olje-forurensning

Denne konvolutt er en blant mange tusen som det Deutsche Hydrographische Institut har sluppet i sjøen. Hensikten er å finne ut hvorfra det olje kommer, som forurenser Europas kyster.

Man ber Dem hjelpe til ved å besvare de fire spørsmål på brevkortet og postlegge dette. Vennligst skriv tydelig og bruk store trykte bokstaver.

En belønning svarende af DM 1,50 utbetales for hvert kort som kommer inn.

Abbildung 1 zeigt Vor- und Rückseite dieser Karte. Die in doppelter Plastikhülle eingeschmolzenen Karten klärten außerdem auf einem Merkblatt in sechs Sprachen kurz über den Zweck der Untersuchung auf. Zwei Korkplatten sorgten außer der Luft in der Plastikhülle für ausreichenden Auftrieb. Diese Triftkarten wurden vorwiegend im erlaubten Ölablaßgebiet zu je 50 Stück, oft auch 30 Stück, später zu 10 und teils auch einzeln ins Wasser geworfen. Die ausgeworfenen Nummern, Standort des Schiffes und die Zeit wurden protokolliert.

Die Auswurfzeiten wurden auf ¼ Tag genau angegeben. Als Fundzeit wurde 12 Uhr am Fundtag angenommen. Der Tag Null ist der 24. August 1961. An diesem Tag wurden die ersten Karten ausgeworfen. Von den bis zum 15. September 1962 ausgeworfenen Karten wurden 1388 gefunden und hier bearbeitet.

Die Bearbeitung sollte die notwendigen Voraussetzungen für ein rechnerisches Verfolgen des Kartenweges bis zum Fundort feststellen. Das Ergebnis sollte die Vorausberechnung des Einflusses von Wind und Meeresströmungen auf den Weg von Oberflächenverschmutzungen in der Nordsee ermöglichen. Im Anlandungsgebiet der Verschmutzungen wären dann rechtzeitige Abwehrmaßnahmen möglich.

Windtrift. Schon im Februar 1962 hat Tomczak [1964] die bis zum 31. Dezember 1961 ausgeworfenen und gefundenen Karten einer kurzen Bearbeitung unterzogen. Die Bearbeitung wurde im August 1964 für den Zeitraum vom 24. 8. 61 bis 15. 9. 62 vom Verfasser mit mehr Rechenmöglichkeiten, anderen Unterlagen und anderen Arbeitshypothesen fortgesetzt.

Das Untersuchungsgebiet erstreckte sich von 51° 40' N bis 65° 0' N und von 3° 0' W bis 12° 0' E. Länge und Breite wurden in Einheiten von 10 sm Länge unterteilt. Alles wurde in eine Mercatorprojektion umgerechnet, so daß alle Richtungsangaben – Windrichtung, Stromrichtung und Triftkartenrichtung – konform dargestellt werden konnten. Die Entfernungen stimmen umso weniger mit den wahren Entfernungen überein, je größer sie sind und umgekehrt. Zur leichteren Orientierung in dem Untersuchungsgebiet wurden neue Koordinaten X und Y mit der Längeneinheit 10 sm eingeführt. Die Koordinaten werden von West (1 = 3° W) nach Ost von 1 bis 69 und von Süden (1 = 51° 40' N) nach Norden von 1 bis 95 gezählt.

Wie bei Tomczak war das ganze Arbeitsgebiet in 11 gleich große Flächen von etwa 200 sm Seitenlänge eingeteilt (Abb. 2). Für jedes dieser Gebiete wurden vom Deutschen Wetterdienst, Seewetteramt Hamburg, die mittleren Windrichtungen und -stärken im Abstand von 6 Stunden bis zum 15. 9. 62 weiter zur Verfügung gestellt. In den Gebieten mit Landbeteiligung gelten die Windangaben vorzugsweise für den Seeanteil. Die Angaben erfolgten in der Richtung auf 10° und in der Geschwindigkeit auf 1 sm/h genau.

Entsprechend der Koordinateneinheit von 10 sm konnte die Landbegrenzung genauer als bei Tomczak festgelegt werden.

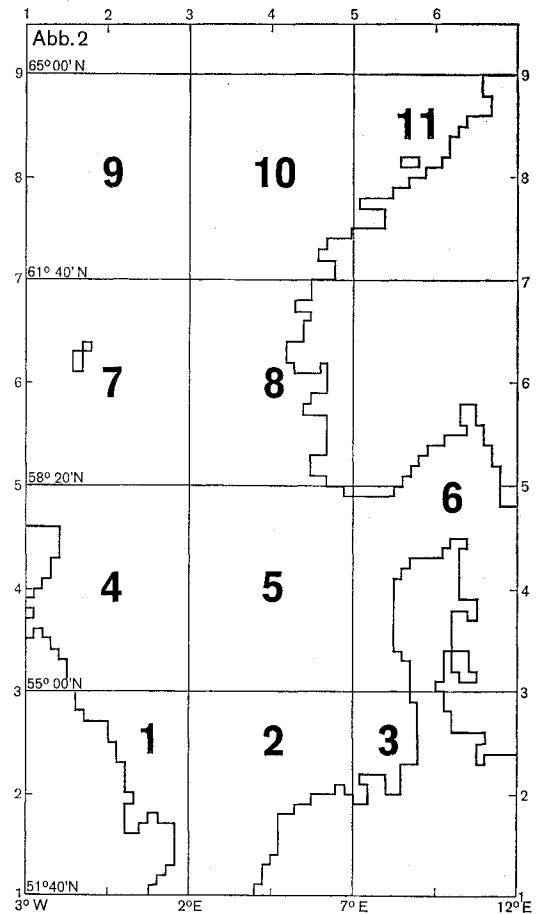


Abb. 2. Lage der Gebiete 1–11 mit Angaben von Windrichtung und -stärke

Vor Durchführung der Rechnungen wurden Überlegungen über die Kartenwege und Triftzeiten angestellt. Die Wege der Triftkarten wurden mit zunehmender Zeitdauer des Schwimmens immer länger. Die Aufeinanderfolge der Funddaten an der Küste weist auf das Zusammenbleiben der Triftkarten in einem Pulk hin. Die Ursachen für dieses „Nacheinanderliegenbleiben“ in örtlicher und zeitlicher Reihenfolge sind die Winde und die Meeresströmungen. Alle Berechnungen haben zur Voraussetzung, daß Windrichtung und Richtung des Triftkartenweges übereinstimmen. Wurden zwei Karten an derselben Stelle zu verschiedenen Zeiten gefunden, so wurde angenommen, daß die zweite (und alle folgenden) gleichzeitig mit der frühesten Karte angekommen waren.

Aus der Tatsache, daß nicht alle gleichzeitig ausgeworfenen Karten an einem Ort gefunden wurden, ist auf eine geringe Auflockerung des Pulks vor Erreichen der Küsten zu schließen. Dies kann seinen Grund in der Böenhaftigkeit des Windes und der Turbulenz des Wassers haben. Aussagen über die Größenordnung der dadurch bedingten Verteilung können nicht gemacht werden. Waren die Küsten erreicht, unterlagen in geringer Entfernung voneinander schwimmende Karten ganz verschiedenen Kräften. Diese sind:

1. die Gezeitenströme. Sie üben schon bei geringen Lageunterschieden der Karten einen verschiedenen Einfluß in bezug auf Richtung und Geschwindigkeit aus.
2. die Winde. Die über freiem Seegebiet ermittelten Winde werden in Landnähe sowohl in Richtung als auch in Geschwindigkeit verändert. Auflandige Winde werden schwächer und drehen etwas, ablandige Winde entwickeln erst mit zunehmender Entfernung von der Küste die volle Wirkung.
3. der Tidenhub. In Gebieten mit Tidenhub können Karten am ehesten zur Hochwasserzeit anlanden, da sie vor und nach Niedrigwasser an der Strandlinie nur kurze Zeit liegenbleiben können und dann vom steigenden Wasser wieder erfaßt werden. Bei Wasserständen unter dem Hochwasser können nur auflandige Winde Karten weit genug auf das Land treiben.
4. die Küstengestaltung. Karten in Norwegen und Schweden liegen länger, bis sie gefunden werden, als z. B. Karten in Dänemark oder an deutschen Küsten. Lange Liegezeiten entstehen dadurch, daß die Karten in den Felsnischen oft nur zufällig gefunden werden oder zu einem späteren Zeitpunkt wieder weiter treiben. Weiter ist zu berücksichtigen, daß die Karten durch Fischer während der ganzen Jahreszeit gefunden werden, durch Strandwanderer aber vorzugsweise im Sommer.

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 so lange verändert, bis die Beziehung für die meisten Karten erfüllt ist. Die Kartenwege müssen rechnerisch den folgenden Bedingungen genügen: 1. Die Entfernung zwischen dem Kartenweg und der Fundstelle soll ein Minimum sein. Wäre nur eine Karte ausgeworfen worden, so müßte der Weg an der Fundstelle enden. Bei Auswurf mehrerer Karten kann nur gefordert werden, daß der errechnete Kartenweg möglichst nahe an der Fundstelle vorbeiführt. 2. Die Triftwege sollen nur bis zu der zuletzt gefundenen Karte verfolgt werden oder bis zum Rand des Arbeitsgebietes. 3. Die Differenz Fundzeit minus Anlandungszeit muß positiv sein und soll sich für die an einer Stelle zuerst gefundene Karte noch in gewissen Grenzen bewegen. Als Anlandungszeit ist die Zeit zu verstehen, zu der der errechnete Kartenweg seine minimale Entfernung vom Fundort erreicht.

In der Gleichung gibt S den Weg in Seemeilen an, wenn der Wind 100 Seemeilen zurücklegt. Auf Grund der Ergebnisse von Tomczak war bekannt, daß S in der Größenordnung von 3,6 bis 4,4 liegen muß.

Bei den Arbeiten wurde mit Erfolg die Rechenanlage des Deutschen Hydrographischen Instituts, eine IBM 1620, eingesetzt. Die Programme wurden, wie bei Dr. Tomczak, von Dr. Munkelt aufgestellt. Bei der Programmierung wurden die Windangaben der 11 Windfelder verwendet. Rechnerisch unterlagen die Triftkarten dem Wind des Feldes, in dem sie

ausgeworfen wurden. Bei Verlassen dieses Feldes kamen die Winde des neuen Feldes zur Wirkung, bis die Karten Land erreichten oder das Arbeitsgebiet verließen. Vorwiegend nach zwei Methoden wurden die Rechenergebnisse sichtbar gemacht: 1. durch Auszählung und 2. durch kartenbildmäßige Darstellung.

Zu 1. Ausgezählt wurde der Abstand zwischen dem berechneten Kartenweg und dem tatsächlichen Fundort. Der Abstand A wird bezogen auf die Entfernung E zwischen Auswurf-ort und Fundort:

$$Q = \frac{100 A}{E}$$

Der Parameter S wird rechnerisch variiert, so daß $Q = Q(S)$ ist. Die Auszählung erfolgt für jedes S ; z. B. $S = 3,6$; $S = 3,8$; usw. (Siehe Tabellen S. 257, 264, 265), und zwar wird die Häufigkeit der Q_1, Q_2, \dots in folgender Weise von der Maschine aufgeschrieben:

$S =$

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

Ein praktisches Beispiel sei an den 111 Karten gezeigt, die zu den ersten 7 Zeiten ausgeworfen wurden:

$S = 3,6$

4	6	5	2	3	5	5	7	2	1
4	1	1	0	4	2	1	0	0	1
2	0	1	0	1	53				

$S = 3,8$

5	2	3	3	3	3	3	1	1	3
1	4	0	0	0	1	1	2	0	0
0	1	3	0	2	69				

$S = 4,0$

2	1	0	2	3	2	2	1	4	4
2	0	1	1	1	0	2	0	0	0
1	0	0	1	2	79				

$S = 3,4$

6	2	3	4	6	3	6	9	2	6
3	3	1	1	0	2	3	0	1	0
1	1	3	2	0	43				

$S = 3,2$

1	4	7	1	2	4	5	5	7	7
4	2	4	0	0	0	1	3	3	0
0	0	2	1	3	45				

Der Faktor $S = 3,4$ lieferte das günstigste Ergebnis. Nur 43 Karten schwammen rechnerisch in mehr als 25% ihrer Gesamtentfernung an ihrem Fundort vorbei, und 6 Karten kamen bis auf weniger als 1% Entfernung an ihren Fundort heran.

Nach langen Berechnungen unter den verschiedensten Bedingungen, denen die Karten auf ihrem Weg unterworfen waren, wurde das endgültige Ergebnis $S = 4,2$ durch eine solche Auszählung der 1388 gefundenen Karten ermittelt.

Diese Auszählung befriedigte nicht, weil sie keine Aussagen darüber zuläßt, welche Karten ihr Ziel erreichten und warum die anderen nicht anlandeten. Aus diesem Grunde wurden für die weitere Bearbeitung die Ergebnisse der Rechnung kartenbildmäßig dargestellt.



Abb. 3. Darstellung des berechneten Kartenweges mit $S = 4,20$ für die am 24. 8. 61, 6 Uhr, ausgeworfenen Karten. Das Original ist 195 mal 280 mm groß, und die Abb. gibt die kartenbildmäßige Darstellung wieder, wie sie die elektronische Rechenanlage ausdrückt. Die weiteren kartenbildmäßigen Darstellungen (Abb. 4-15) wurden aus redaktionellen Gründen umgezeichnet

Zu 2. Abbildung 3 zeigt eine Darstellung des Kartenweges mit dem Faktor $S = 4,20$ für die am 24. 8. 61 um 6 Uhr auf der Position $54^{\circ} 30' N$; $4^{\circ} 0' E$ ausgeworfenen 50 Karten. Die Sternchen geben die Landgebiete an. Die Zahlen am Rand sind die Koordinaten X und Y .

Der Auswurfort mit den Kartenkoordinaten $X = 2,70$; $Y = 3,80$ ist mit zwei Kreisen kenntlich gemacht. Die daran anschließenden Punkte geben den Weg der Karten an. Stößt der Kartenweg an Land, werden die Punkte durch ein Komma ersetzt. In der Abbildung ist ein Komma bei den Koordinaten $X = 36$; $Y = 55$ und ein zweites bei den Koordinaten $X = 49$; $Y = 50$. Die Ziffern an den Küsten weisen auf die Anzahl der dort gefundenen Karten hin. Am rechten Rand der Darstellung wird in den oberen vier Kolonnen Fundzeit, Fundort und die kürzeste Entfernung des Fundortes vom Kartenweg in Seemeilen tabelliert. Die erste Zeile sagt, daß die am 50. Tag nach dem 24. 8. 61 bei den Koordinaten $X = 64$; $Y = 40$ gefundene Karte vom Kartenweg einen Abstand von 167 sm hat. Die darunter stehende Tabelle mit 3 Kolonnen gibt die Koordinaten der Punkte um 0 Uhr 3 Tage, 6 Tage, 9 Tage usw. nach dem Auswurf an. Die Punkte können nur einmal in einem Gebiet von 10 sm^2 markiert werden, wenn die Karten nach je 6 Stunden in ein solches Feld kommen. Wird ein Feld innerhalb von 6 Stunden übersprungen, fällt der Punkt aus. Daher ist die Reihenfolge, in der die Punkte durchlaufen werden, oft nur mit Hilfe der Tabelle in dreitägigen Intervallen zu übersehen. Eine bessere Übersicht kann dann nur noch mit Hilfe der Windtabellen erfolgen.

Die vorzeitige rechnerische Landberührung des Kartenweges an einer Stelle ohne Kartenfund hat wegen der dadurch bedingten vorzeitigen Beendigung der Rechnung erhebliche Schwierigkeiten verursacht: Der Kartenweg durfte z. B. erst an Land enden, wenn zwei Tage lang aufländiger Wind herrschte. Diese Bedingung konnte variiert und für einzelne Kartenhäufen die Zeitdauer bis zum Eintritt abländiger Winde untersucht werden. In der Abb. 3 trat an der jütländischen Küste innerhalb von 2 Tagen abländiger Wind ein, so daß die Karten weiter trieben. In Südnorwegen herrschte aber so lange aufländiger Wind, daß die Rechnung hier abgebrochen wurde. Diese Wirkung der Küsten wurde bei vielen Rechnungen festgestellt.

Meeresströmungen. Das Anlanden ist, wie oben geschildert wurde, nicht nur vom auf- bzw. abländigen Wind abhängig, sondern auch vom Küstenstrom. Es ist zu erwarten, daß eine zusätzliche Berücksichtigung der Meeresströmungen – nicht nur der Küstenströme – die Analyse, d. h. den Zahlenfaktor S beeinflussen wird. Fließt z. B. der Strom in Richtung des Windes, so erreicht die Karte schneller ihren Fundort, und der Faktor S wird kleiner. Fließt der Strom gegen die Windrichtung, so erreicht die Karte langsamer ihr Ziel, und der Faktor S muß größer werden. Auf diese Weise besteht eine Wechselbeziehung zwischen den Meeresströmungen und dem Faktor S , die im Endergebnis dadurch bestätigt wird, daß möglichst viele Karten an ihren Fundort gelangen.

Um die Strömung bei der Rechnung berücksichtigen zu können, muß sie vorgegeben werden. Benutzt wird ein Strombild nach den Angaben in Seehandbüchern, die allerdings bei den Geschwindigkeitsangaben sehr unsicher sind. An der jütländischen Küste setzt schwacher Strom nach Norden, der im Skagerrak der dänischen Küste nach Osten folgt, bei Skagen entweder nach Osten setzt oder nach Norden der schwedischen Küste und später der norwegischen Küste folgt und so wieder aus dem Skagerrak herausführt.

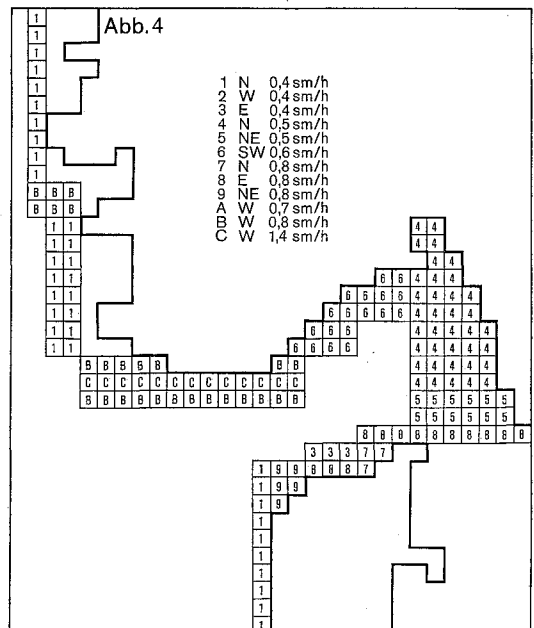


Abb. 4. Muster für die Eingabe der Meeresströmungen in die Rechnung

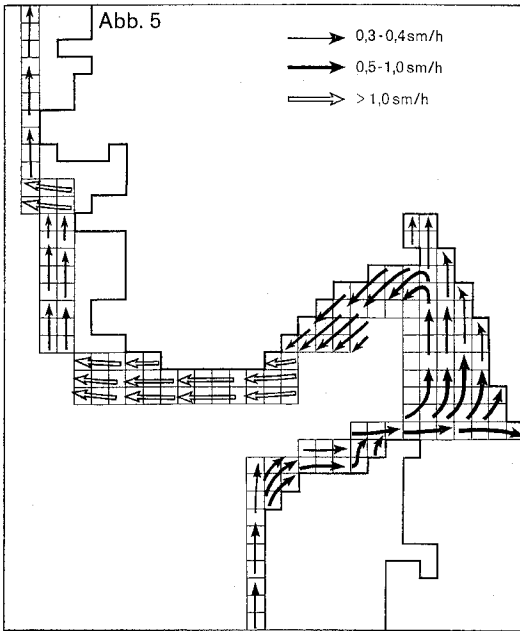


Abb. 5. Ströme der Abb. 4 in Pfeildarstellung

der verschiedenen Auswürfe untersucht. Abbildung 4 zeigt, in welcher Weise die Ströme in das Programm eingegeben wurden. Für jedes Feld von 100 sm² wurde der Strom nach Richtung und Geschwindigkeit festgelegt. Abbildung 5 zeigt dieses Strombild, wie es in Pfeildarstellung aussehen würde. Auf Abbildung 6 - der gleiche Auswurf wie bei Abb. 3 - ist die Wirkung der Meeresströmung für $S = 3,8$ zu erkennen. In Südnorwegen ist eine Verbesserung eingetreten, dagegen endeten die Kartenwege in Mittelnorwegen sehr häufig in den Fjorden, obwohl überraschenderweise innerhalb der Fjorde nur sehr wenige Karten liegengeblieben sind. Die meisten wurden vor der Küste am Strand der Schären, den kleinen Inseln, vielleicht auch noch schwimmend im freien Wasser gefunden. Daher wurde untersucht, wie weit man die Küsten rechnerisch glätten konnte, ohne daß die Fundorte ins Landesinnere rückten. Abbildung 7 zeigt für alle gefundenen Karten die Lage der Fundorte bei der bisherigen Küste; Abbildung 8 zeigt die geglättete Küste und die Lage der Fundorte. Der Buchstabe „Z“ bedeutet, daß an

Wo die norwegische Küste im wesentlichen nach Norden verläuft, setzt auch schwacher Strom nach Norden.

Die elektronische Modellrechnung gestattet, auch die Meeresströmungen zu variieren. Allen Versuchen lag mehr oder weniger dieses Strombild zugrunde, nur die Stromgeschwindigkeiten wurden dauernd verändert, auf ihre Zuverlässigkeit untersucht und anhand von Auszählungen und kartenbildmäßigen Darstellungen der Erfolg der Rechnung beurteilt. Im wesentlichen wurden 4 Arten von Küstenströmungen mit etwa 50 bis 60 Abbildungen

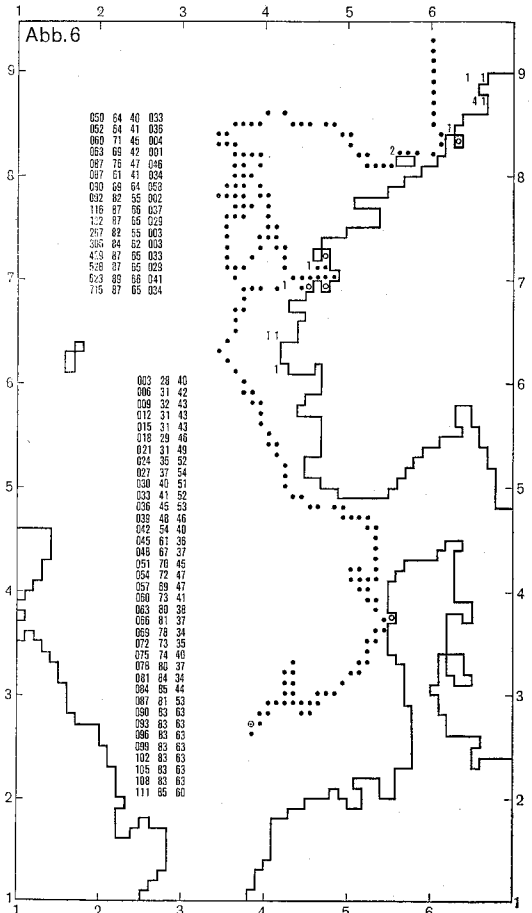


Abb. 6. Darstellung des berechneten Kartenweges mit $S = 3,8$ für die am 24. 8. 61, 6 Uhr, ausgeworfenen Karten unter der Einwirkung der in Abb. 5 dargestellten Strömungen

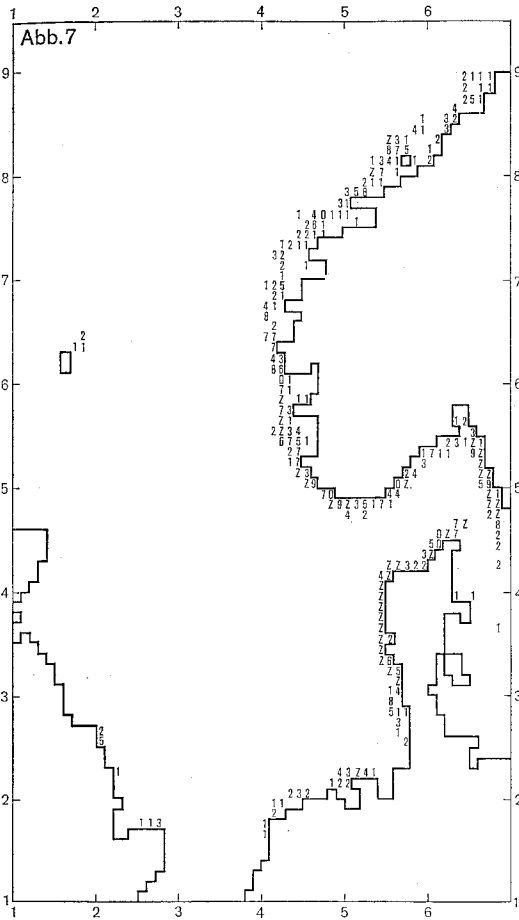


Abb. 7. Lage der Fundorte bei der stark gegliederten Küste



Abb. 8. Lage der Fundorte bei der geglätteten Küste

dieser Stelle mehr als 10 Karten, die Ziffer „0“, daß 10 Karten gefunden wurden.

Aber auch bei den geglätteten Küsten endeten Kartenwege oft noch vorzeitig an denselben Stellen. Es wurden daher zusätzlich ganz neue Strömungen angenommen, die die Triftwege ablandig beeinflussen. Diese Ströme mußten rechnerisch so stark angesetzt werden, daß durch sie das Anlanden der Karten zwar erschwert wird, die Kartenwege aber doch noch dicht unter Land weiter führten. Es mußten verschiedene Versuche mit geeigneten Stromstärken gemacht werden. So wurde z. B. ein abstoßender Strom von 2 sm/6 h angenommen. Abbildung 9 zeigt ein Schema: Eine nach Norden offene Küste hatte vor der Küste einen Strom von 2 sm/6 h nach Norden; eine nach Nordosten offene Küste von 10 sm Seitenlänge

Abb. 9

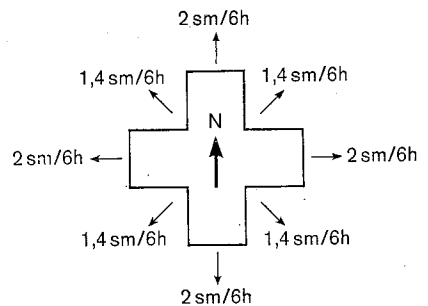


Abb. 9. Schema der landabweisenden Ströme

hatte einen nach Nordosten setzenden Strom von 1,4 sm/6 h, eine nach Osten offene Küste von 10 sm Länge hatte einen nach Osten setzenden Strom von 2 sm/6 h usw. Abbildung 10 zeigt ein Beispiel für die abweisenden Ströme der ganzen Küste.

Es folgten noch viele Versuche über das Zusammenspiel der abstoßenden Ströme und der Küstenströme, deren Zweckmäßigkeit an immer größeren Kollektiven mit verändertem Faktor *S* erprobt wurde. Ein auffallend besseres Ergebnis wurde erst durch die rechnerische Einführung eines nach Osten setzenden Stromes in der freien See erreicht, der am Westrand der Karte mit einer Stärke von 2 sm/6 h beginnt, bis etwa 30 sm an die norwegische Küste heranreicht und dort in den folgenden 20 sm in eine nach Nordosten setzende Strömung übergeht. Diese Ströme dürften etwa dem Ausläufer des Golfstromes entsprechen.

Die kartenbildmäßige Darstellung des Triftweges mit dieser Meeresströmung zeigt zwar bei allen weiteren Untersuchungen, daß die Minimalentfernungen sehr klein werden, daß aber die Fundorte sehr früh erreicht werden, auch wenn man im Süden den nach Norden setzenden Strom fortläßt. Abbildung 11 zeigt als Beispiel den Auswurf der 50 Karten am 24. 8. 61 um

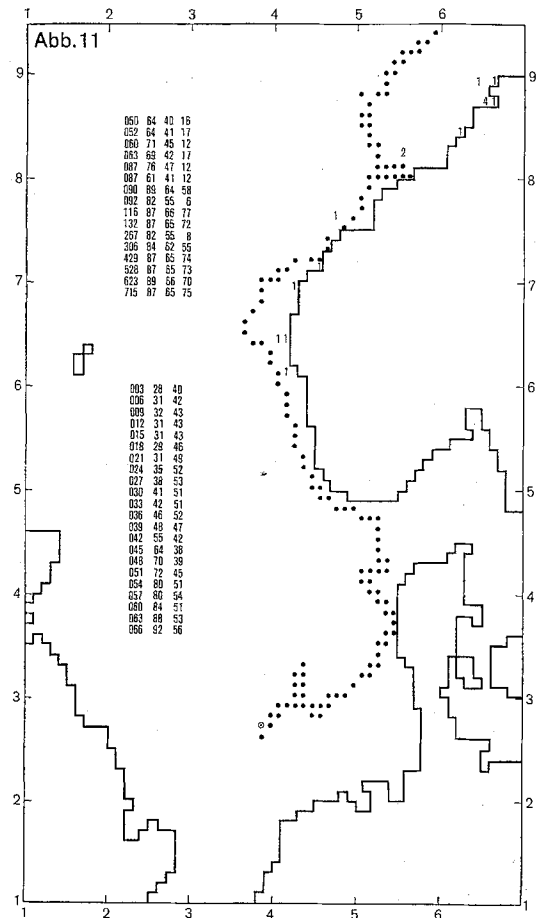
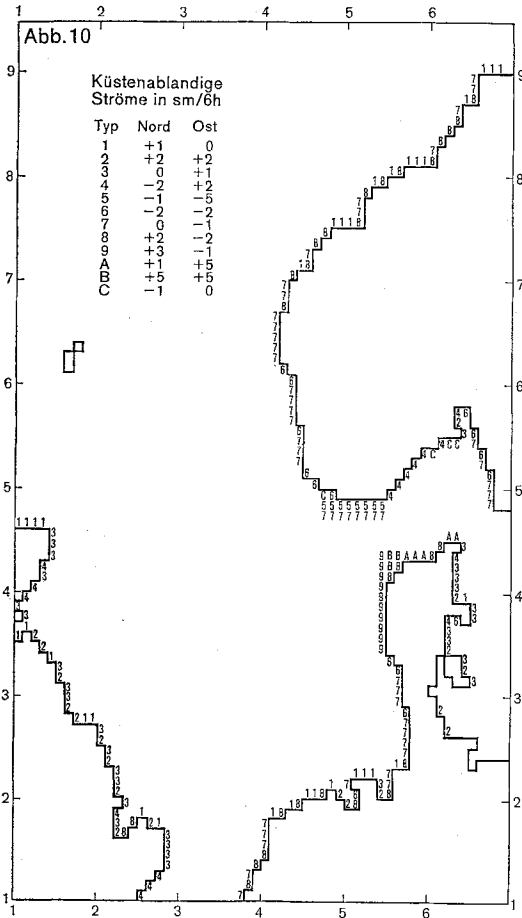


Abb. 10. Darstellung der landabweisenden Ströme für die ganze Küste

Abb. 11. Darstellung des berechneten Kartenweges mit $S = 3,80$ für die am 24. 8. 61, 6 Uhr, ausgeworfenen Karten unter der Einwirkung von Strömungen in freier See

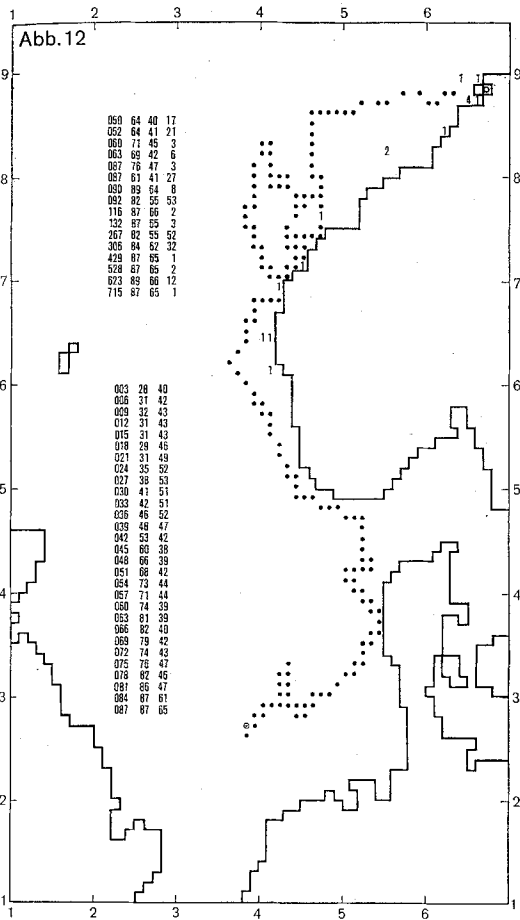


Abb. 12. Darstellung des berechneten Kartenweges mit $S = 3,80$ für die am 24. 8. 61, 6 Uhr, ausgeworfenen Karten unter der Einwirkung der in Abb. 13 dargestellten Ströme

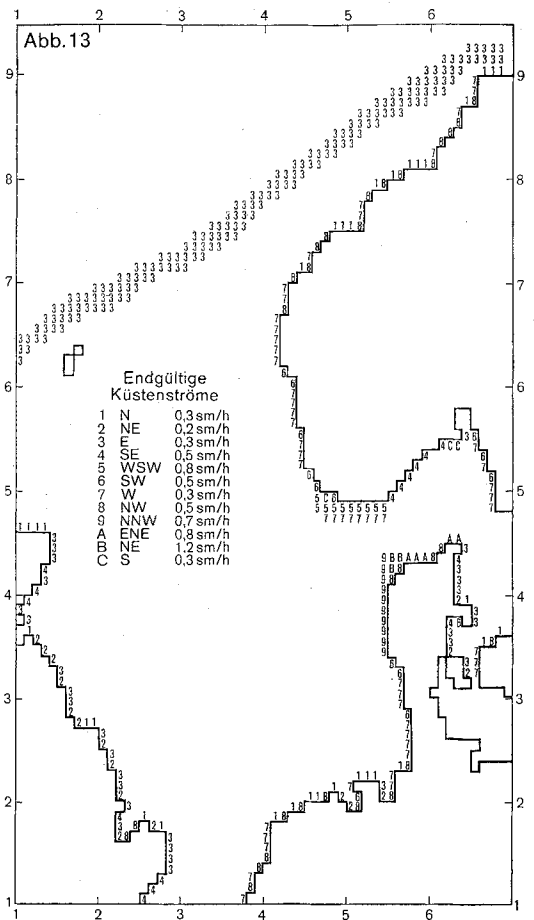


Abb. 13. Darstellung der verwendeten Ströme nach Abschluß der Untersuchungen im Bereich von Norwegen in Ziffern und Buchstaben

6 h. Die Karte bei $X = 64$; $Y = 40$ wird erst am 50. Tag nach dem Auswurf gefunden, liegt aber schon 4 Tage da. Die weiter im Norden am 60. Tag gefundene Karte liegt dort schon seit 11 Tagen, und die am 92. Tag bei $X = 82$; $Y = 55$ gefundene Karte liegt dort schon seit 34 Tagen. Es wurden noch viele Versuche gemacht, die Differenz zwischen Fundzeit und Anlandungszeit herabzusetzen und gleichzeitig die Minimalentfernung zu halten. Diese Versuche wurden bei einem guten Ergebnis abgebrochen (Abb. 12). Das zugehörige Strombild für Norwegen zeigt Abb. 13.

Die gewonnenen Erfahrungen wurden bei der anschließend vorgenommenen Untersuchung im Gebiet der südlichen Nordsee und des Skagerrak verwertet. Dieser Seeraum stand für die Ölverschmutzung im Vordergrund des Interesses. Eine Auszählung von 91 Karten, die im Bereich der Deutschen Bucht einmal mit „Strom 2“ und das andere Mal ohne „Strom 2“ (Abb. 14) ausgezählt wurden, zeigt die folgende Tabelle:

Ohne „Strom 2“:

$S = 3,80$

0	0	2	0	0	0	4	0	1	1
3	0	0	1	0	2	1	1	2	1
0	1	2	1	3	65				

Mit „Strom 2“:

$S = 3,80$

5	20	1	5	3	0	2	0	1	1
0	0	4	0	0	1	0	1	3	2
1	1	2	1	3	34				

$S = 3,90$

5	23	1	2	3	3	2	1	2	0
1	0	0	0	0	3	0	3	1	1
2	0	0	4	0	34				

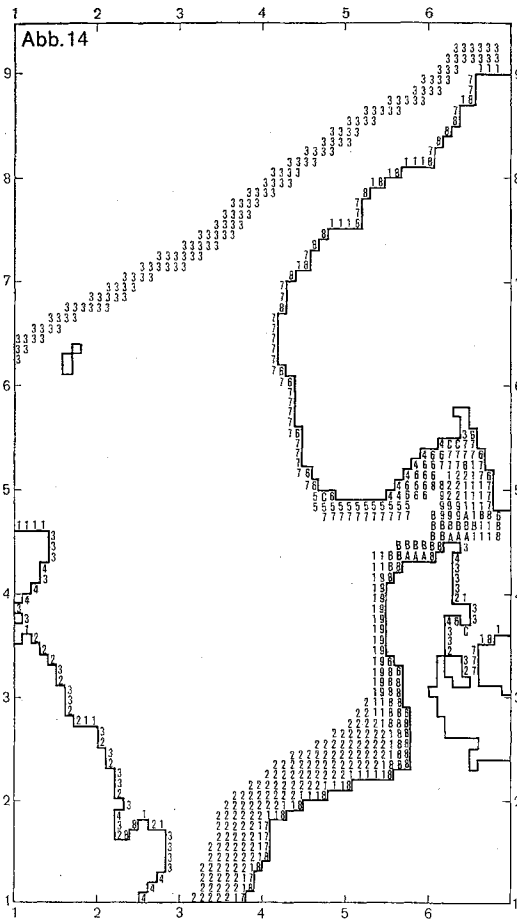


Abb. 14. Darstellung der im Endergebnis verwendeten Ströme für das gesamte Untersuchungsgebiet in Ziffern und Buchstaben

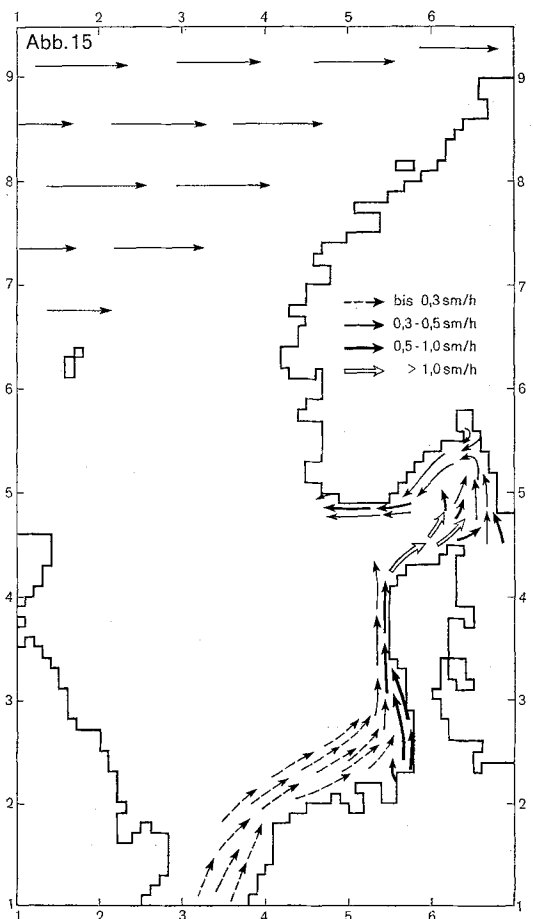


Abb. 15. Darstellung der im Endergebnis zugrunde gelegten Ströme in Strompfeilen für das gesamte Untersuchungsgebiet

$$S = 4,00$$

5	5	5	17	5	1	3	0	0	1
0	0	1	1	1	2	0	1	1	1
6	2	2	0	0	31				

$$S = 4,10$$

16	12	3	2	3	2	2	0	0	0
0	1	1	2	2	1	1	3	3	1
1	1	0	1	1	32				

Mit den Untersuchungen in der südlichen Nordsee, an der englischen Küste und im Skagerrak wurde die Suche sowohl nach dem Faktor S als auch nach den Strömungen abgeschlossen. Das günstigste Strombild zeigt Abb. 14, in Stromvektoren Abb. 15.

Mit diesem Strombild wurde für alle ausgeworfenen Karten mit den Faktoren $S = 4,0$; $4,1$; $4,2$; $4,3$ und $4,4$ die prozentuale Verteilung der Minimalentfernungen ermittelt, die die Abb. 16 veranschaulicht. Augenfällig ist der Faktor $S = 4,2$ der günstigste. Hierfür

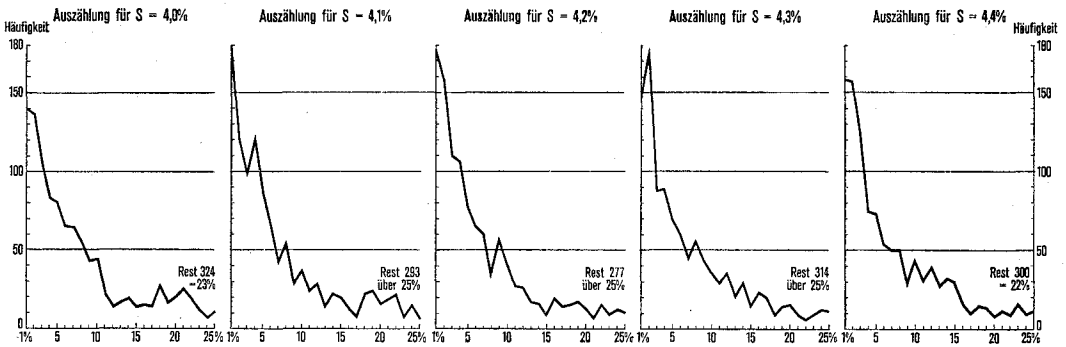


Abb. 16. Ergebnis der Auszählung für $S = 4,0$ bis $S = 4,4$

spricht die prozentuale Verteilung und die Tatsache, daß der größte Teil aller Triftwege, nämlich 80%, in weniger als 25% der Gesamtentfernung an den Fundorten vorbeiführt.

Schlußbemerkungen. Mit dem Faktor $S = 4,20$ sind die angenommenen Meeresströmungen eng gekoppelt. Sie waren zwar in den Richtungen schon angenähert bekannt, nicht aber in den Geschwindigkeiten. Über die Geschwindigkeiten werden erstmals in dieser Arbeit Aussagen gemacht, die, obwohl durch Probieren indirekt erschlossen, eine Karte der Oberflächenströmungen der Nordsee zu zeichnen gestatten (Abb. 15).

Es ist zu beachten, daß die Karte nur für den Faktor $S = 4,20$ gilt und durch Auszählen festgestellt wurde, wobei die Differenz zwischen Anlandungszeit und Fundzeit unberücksichtigt bleibt. Das Ergebnis wäre umso überzeugender, wenn auch etwas über diese Differenz ausgesagt würde. Sie ist aber nur der kartenbildmäßigen Darstellung zu entnehmen, die allgemein folgendes aussagt: In Norwegen wird die Differenz mit zunehmender Entfernung nach Norden größer, was aber auch damit erklärt werden kann, daß die Wahrscheinlichkeit für das Auffinden der Karten immer geringer wird. Geht man aber von der Annahme aus, daß die Ausichten für das Auffinden der Karten unmittelbar nach der Anlandung in allen Gebieten gleich sind, so ist die Liegedauer zu hoch, was in Mittel- und Nordnorwegen damit zu erklären wäre, daß der Oststrom (Ziffer 3), der hier als Ausläufer des Golfstromes gedeutet werden kann, zu stark angesetzt wurde. An der gesamten jütländischen Küste sind die meisten Karten unmittelbar nach dem Anlanden gefunden worden oder anders ausgedrückt: die Strömungen sind rechnerisch so gut angesetzt, daß der Triftweg am Fundtag am Fundort vorbeiführte. Das gleiche gilt auch für die schwedische und südnorwegische Küste. Auffallend hoch sind die

Liegezeiten an der holländischen und ostfriesischen Küste. Ob daraus der Schluß berechtigt ist, daß der Nordoststrom (Ziffer 2) mit 0,2 sm/h zu stark ist, ist fraglich. Für das Skagerrak ist der Einfluß der Strömungen besonders schwierig zu erfassen, da für ein so kleines Gebiet die Darstellungsmöglichkeit von Strömen in so großen Feldern von 10 sm Seitenlänge nicht genau genug ist.

Auf einen weiteren Punkt über die Stromverteilung sei hingewiesen. Der an der süd-norwegischen Küste rechnerisch mit 0,8 sm/h nach Westsüdwest setzende Strom (Ziffer 5) wird sicherlich nicht so plötzlich Null werden, wie das auf der Karte dargestellt ist. Aus den Triftkarten, die auf den Shetlands gefunden wurden, ist zu schließen, daß sich dieser Strom mindestens zeitweise in den zentralen Teil der Nordsee nach Westnordwesten fortsetzt. Die Triftwege für die auf den Shetlands gefundenen Karten wären sonst nicht zu erklären. Es ist denkbar, daß der nördlich der Shetlands vorbeisetzende Ausläufer des Golfstroms die norwegische Küste in Höhe der Shetlands erreicht und sich dort in zwei schwache nach Nordosten und Südosten setzende Ströme teilt. Die Trift der weit im Nordosten gefundenen Karten würde dann schneller und mit besseren Minimalentfernungen festzulegen sein.

Die Untersuchung der Strömungsverhältnisse in der Nordsee mit Hilfe von Triftkarten hat gezeigt, daß in erster Annäherung auch Aussagen über Meeresströmungen gewonnen werden können. Mit unseren heutigen Mitteln können wir noch keine lückenlosen Strömungsmessungen über ein ganzes Jahr großräumig ohne großen Aufwand an Schiffen und Geld durchführen. Daher ist diese einfache Methode, die vorwiegend vom Schreibtisch aus gemacht werden kann, zu begrüßen. Es wäre sicher sehr interessant, für ein räumlich begrenztes Gebiet mit Triftkarten Strömungsuntersuchungen vorzunehmen, bei denen die Richtigkeit des Faktors $S = 4,20$ vorausgesetzt wird und auf diese Weise das dazugehörige Strömungsbild ermittelt wird.

Die Programmierungen dieser Arbeit wurden von Dr. Munkelt durchgeführt. Er hat mit großem Einfühlungsvermögen die Programme für die Versuche aufgestellt und unermüdlich entsprechend den Ergebnissen abgewandelt. Seine Anregungen und schnellen Deutungen der Ergebnisse haben das Interesse an dieser Arbeit wachgehalten und sie stets gefördert.

Schrifttum

- Hughes, P., 1956: A determination of the relation between wind and sea-surface drift. Quart. J. r. met. Soc. 82, 494.
 Jahresbericht. Deutsches Hydrographisches Institut, 16, 1961 (1962). 37.
 Lawford, A. L., 1956: The effect of wind upon the surface drift in the northeastern Atlantic and the North Sea. Weather. 11, 155.
 Lawford, A. L., 1956: Postscript to operation post card. Trident. 18, No. 208, 350.
 Tomczak, G., 1964: Investigations with drift cards to determine the influence of the wind on surface currents. In: Studies on Oceanography. Tokyo. 129.

Eingegangen im März 1967.

Berechnung der Vertikaldiffusion von natürlichen Stoffen und Abfallstoffen in der Iberischen Tiefsee-Ebene aus der vertikalen Konzentrationsverteilung der natürlichen Stoffe über dem Meeresboden

Von Günter Weichart

UDC 551.465.15:551.464.6 + Pollution; ASE 146

Zusammenfassung. Im Jahre 1966 wurden in der Iberischen Tiefsee-Ebene Untersuchungen durchgeführt, die klären sollten, ob dort besonders gefährliche Abfallstoffe, z. B. radioaktive Abfälle, versenkt werden dürfen, ohne die Menschheit zu gefährden. Die Kernfrage der Untersuchungen war: „Wie schnell können Abfallstoffe, die im Zentrum der Iberischen Tiefsee-Ebene auf dem Meeres-