Triftströmungen vor der Küste zwischen Eider und Elbe

Von Winfried Siefert, Fritz Mießner, Hans-Henning Richter und Peter Wieland

Zusammenfassung

Als Ergänzung einer früheren Veröffentlichung über die Reststromverhältnisse vor der schleswig-holsteinischen Westküste werden überwiegend die gleichzeitig gewonnenen Erkenntnisse über die Triftströmungen bei auflandigen Windrichtungen dargestellt. Die Messungen sind im Rahmen eines KFKI-Programms vorgenommen worden. Frühere Erkenntnisse aus anderen Gebieten werden bestätigt, wonach die Triftströmungen auf den Wattrücken stärker als in den zwischenliegenden Rinnen und weitgehend nach dem Wind ausgerichtet sind. Es wurden Werte bis 10 km/Tide gemessen.

Summary

Recently a publication about the residual current conditions off the Schleswig-Holstein west coast (southeastern North Sea) was presented. Now the wind induced current conditions during westerly winds are given as a supplement. The measurements were carried out as a programme of the German Coastal Engineering Board (KFKI). Earlier knowledge about the behaviour of wind induced currents from other coastal areas was endorsed: The currents on top of the tidal flats are stronger than in the tidal gullies, and in very shallow water their direction corresponds fairly well with the wind direction. The highest values measured reached 10 km/tide.

Inhalt

1.	Vorbemerkung	21
2.	Durchführung und Aufbereitung der Messungen	222
3.	Ergebnisse	26
	3.1 Küstenvorfeld nach Göhren	226
	3.2 Wattenmeer von Eiderstedt bis Blauort	226
	3.3 Wattenmeer Blauort bis Hakensand	30
	3.4 Wattenmeer Hakensand bis Elbe	38
4.	Schlußfolgerungen	38
5.	Schriftenverzeichnis	40

1. Vorbemerkung

Schon Ende der 1960er Jahre wurde in einer Denkschrift des damaligen Küstenausschusses Nord- und Ostsee auf die Notwendigkeit großräumiger Strömungsuntersuchungen im Küstenvorfeld hingewiesen. Seit 1974 befaßte sich eine Projektgruppe des Kuratoriums für Forschung im Küsteningenieurwesen (KFKI) mit einem detaillierten Strömungsmeßprogramm, das 1975/79 durchgeführt wurde. Über die Ergebnisse bei windunbeeinflußten Tiden wurde inzwischen berichtet (Siefert et al., 1980). Hiermit werden die Ergebnisse aus dem Teilgebiet südlich von Eiderstedt, die sich unter Windeinfluß ergaben, dargestellt.

2. Durchführung und Aufbereitung der Messungen

Das Programm mit Schwerpunkt vor der Westküste Schleswig-Holsteins wurde noch 1974 vom KFKI verabschiedet und dann vom Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT) ab 1975 finanziell gefördert. Bezüglich der Triftströmungen war die Zielsetzung eine Erweiterung der Kenntnisse über die unter Windeinfluß entstehenden und maßgebend durch die topographische Struktur der Küste beeinflußten Triftstromsysteme.

Unter Berücksichtigung des bereits vorhandenen jüngeren Datenmaterials (GÖHREN, 1974) umfaßte die ursprüngliche Konzeption Messungen an insgesamt 250 Stationen (jeweils über 2 bis 3 Wochen).

Man ging bei der Auslegung des Programms davon aus, die Messungen mit dem damals vorhandenen, aus dem Flachsee-Strommesser entwickelten und von der Fa. Hydrowerkstätten gebauten "Wattdauerstrommeßgerät" – kurz: Wattstrommesser – durchzuführen. Dieses Gerät hatte sich sehr gut bewährt und kann in verschiedenen Geräteträgern in flachem Watt und in Prielen eingesetzt werden (Göhren, 1968). Neben etwa 10 von den beteiligten Dienststellen bereitgestellten Geräten wurden 16 über das KFKI beschaffte und vom BMFT finanzierte Geräte verwendet.

Abb. 1 zeigt die Meßprofile, in denen in dem Gebiet südlich der Halbinsel Eiderstedt 1975 bis 1977 die Strömungen gemessen wurden, ergänzt durch einige vom Wasser- und Schiffahrtsamt Cuxhaven 1979 durchgeführte Meßprofile in der Elbe. Die Stationen, für die Triftstromdaten vorliegen, sind besonders hervorgehoben.

Die Wattstrommesser wurden an den Flachwasserstationen in den Prielen vom Schiff aus in korbförmigen Geräteträgern mit einer Meßhöhe von 1,0 m über Grund abgesetzt. An den Wattstationen dienten neben diesen hauptsächlich dreipfählige, leicht an Ort und Stelle zusammensetzbare Gestelle als Geräteträger. Um längere Fußwege in dem teils sehr schlickigen Gelände zu vermeiden, wurden Geräte und -träger bei Thw mit Schlauchbooten an die Positionen transportiert, dort deponiert und dann später im trockenen Watt aufgebaut. Die Standortbestimmung erfolgte über Hi-Fix.

1971 bis 1973 hatte Göhren (1974) bereits im Rahmen des Schwerpunktprogramms "Sandbewegung im deutschen Küstenraum" der Deutschen Forschungsgemeinschaft umfangreiche Messungen vor dem Wattgebiet zwischen Amrum und Trischen durchgeführt. 1975 begannen die Untersuchungen im hier behandelten Gebiet, und zwar mit gemeinsamen Einsätzen des Amtes für Land- und Wasserwirtschaft Heide/Büsum, der Wasser- und Schiffahrtsämter Cuxhaven und Tönning und der damaligen Forschungs- und Vorarbeitenstelle Neuwerk.

Die im Rahmen des KFKI-Strömungsmeßprogramms vor der schleswig-holsteinischen Westküste und im Mündungsgebiet der Elbe gewonnenen Meßwerte wurden bei der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) aufbereitet und verarbeitet.

Für die automatische Ablesung werden die Meßwerte (Stromrichtung und Umdrehungen des Propellers) auf dem Film durch einen Hell-Dunkel-Code dargestellt. Sowohl für die Zählung der Umdrehungen als auch für die Richtungen stehen je sieben Spuren zur Verfügung, die eine Zählung von 000 bis 127 ermöglichen. Für die Richtung ergibt sich daraus eine Unterteilung der 360°-Teilung des Kompasses in 128 Teile zu jeweils 2,8°. Bei der Geschwindigkeit entspricht ein Teil der 128er-Teilung 3,18 cm/s.

Bei der BAW-Außenstelle Küste in Hamburg wurden die Meßwerte vom Film durch ein speziell von den Hydrowerkstätten für diese Zwecke entwickeltes Gerät abgelesen und mit Hilfe eines Facit-Lochers auf einen Lochstreifen übertragen.

Für die Aufbereitung der Meßwerte mußte zunächst ein Erstausdruck zur Erkennung der

Fehler angefertigt und dieser dann von Hand korrigiert werden. Dazu wurden die Zählerstandsdifferenzen zwischen den einzelnen Bildern errechnet. Der Differenz zwischen zwei Bildern wurden die Strömungsrichtung und die Nummer des zweiten Bildes zugeordnet und diese Werte dann ausgedruckt sowie als Plattendatei im Rechner gespeichert. Danach war es möglich, die im Ausdruck erkennbaren fehlerhaften Werte über ein Datensichtgerät in der Plattendatei von Hand zu korrigieren.

Um Zusammenhänge zwischen den Strömungswerten und den Wasserstands- sowie Windwerten bei der späteren Auswertung erkennen zu können, wurden Thw- und Tnw- Höhen und -Zeiten sowie Windrichtungen und -stärken, soweit sie über 4 Bft lagen, ebenfalls abgelocht und im Rechner gespeichert. Schließlich wurde automatisch ein Ganglinienplott gefertigt, in dem Tidewasserstände, Strömungsgeschwindigkeiten und -richtungen über die gesamte Meßphase enthalten sowie neben den MThw- und MTnw-Linien die Vektoren und in Ziffern $v_{e_{max}}$ und $v_{f_{max}}$ ausgedruckt sind. In der bereits vorliegenden Arbeit wurden mittlere und maximale Flut- und Ebbeströmungsgeschwindigkeiten sowie die Reststromverhältnisse dargestellt (SIEFERT et al., 1980).

Der Reststrom wird definiert als vektorielles Integral über die Strömung einer vollen Tidephase:

$$\overline{V} = \int\limits_{K_{*}}^{K_{e}} \overline{v} \ dt$$

 \overline{V} ergibt sich aus der vektoriellen Addition des Flut- und Ebbestromvektors:

$$\overline{V} = \overline{V}_f + \overline{V}_e$$

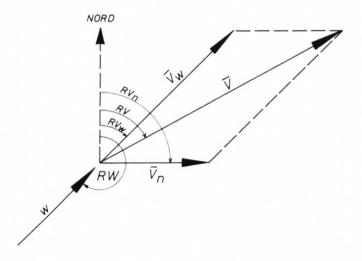
Der Triftstrom wird nach GÖHREN (1968) als vektorielle Differenz zwischen dem Reststrom der mittleren Tide und dem Reststrom der windbeeinflußten Tide ermittelt. Nach der folgenden Definitionsskizze gilt:

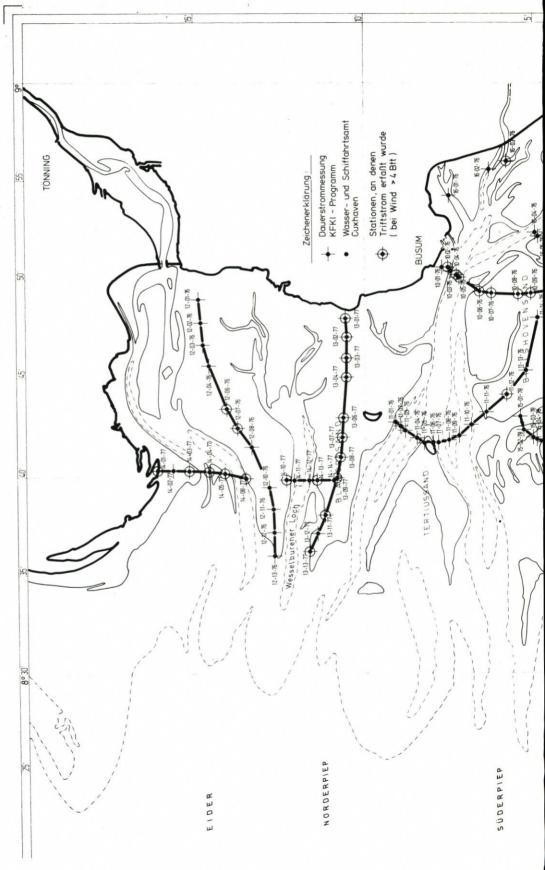
$$\overline{V}_{w}\,=\,\overline{V}\,-\,\overline{V}_{n}$$

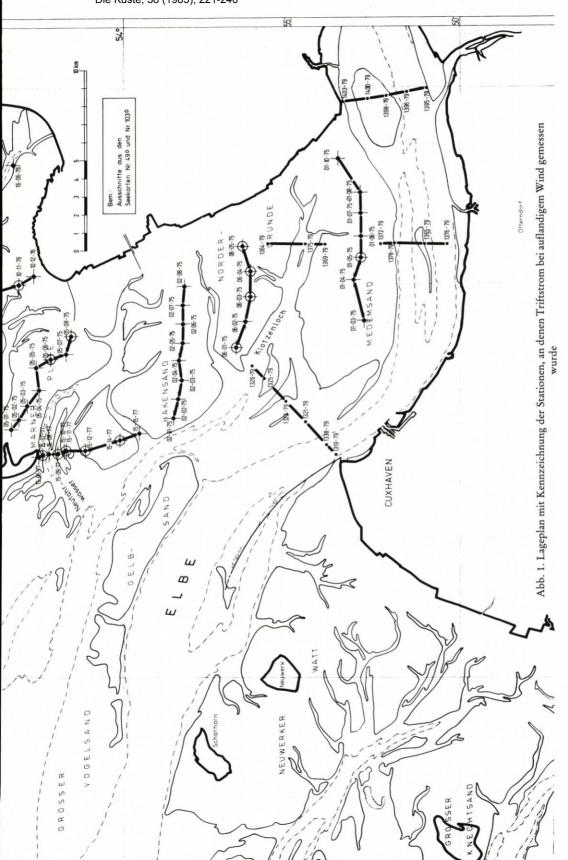
 $\overline{V}_w = Triftstromvektor$

 $\overline{\overline{V}}^w = \text{resultierender Stromvektor der windbeeinflußten Meßtide}$

 \overline{V}_n = resultierender Stromvektor der mittleren Tide







3. Ergebnisse

3.1 Küstenvorfeld nach GÖHREN

Die Triftstromverhältnisse vor Amrum, Eiderstedt und Trischen bei Nordwestwind von 5 bis 7 Bft erläutert Göhren (1974) nach seinen Messungen von 1971 und 1972 (Abb. 2) u. a. so:

"Während der ersten Profilmessung vor Amrum herrschte am 26. und 27. 4. 72 über mehrere Tiden hinweg Nordwestwind mit Windstärke 6, zeitweise Windstärke 7. In den Gangliniendarstellungen erkennt man auf den ersten Blick noch keinen sonderlichen Einfluß auf die Strömungen. Die V_{max} sind praktisch nicht größer als bei den ungestörten Tiden. Es ist jedoch zu erkennen, daß die Flutstrom-Geschwindigkeitskurven (Richtung Südsüdost) fülliger geworden sind, die Ebbestromgeschwindigkeiten dagegen geringer.

Die vektorielle Elimination des Gezeitenstromanteiles nach dem oben angegebenen Verfahren ergibt für beide Stationen einen einheitlich nach Südosten gerichteten Triftstrom (ermittelt für drei

aufeinanderfolgende Tiden) von 7,6 km/Tide bzw. 5,7 km/Tide.

Eine Nordwest-Windlage mit Windstärken zwischen 5 und 6 Bft wurde während der Profilmessung vor Eiderstedt zwischen dem 11. und dem 13. 9. 1971 erfaßt. Der Windeinfluß ist unmittelbar an den Geschwindigkeitsganglinien zu erkennen; die maximalen Ebbestromgeschwindigkeiten (Richtung Südsüdwest) sind wesentlich höher als bei ungestörter Gezeitenbewegung. Die Bildung des Differenzvektors zwischen dem Reststrom der Normaltide und dem Reststrom von drei windbeeinflußten Tiden ergibt auch in diesem Meßprofil einen eindeutigen und in der Richtung fast einheitlichen, nach Südsüdost gerichteten Triftstrom zwischen 2 und 5 km/Tide.

Die Meßserie vor Trischen schließlich enthält eine Starkwindperiode vom 14. bis 17. 7. 1971 mit Wind aus Nordwest (teilweise West) mit Windstärken 6 bis 7 Bft. Wie in den anderen Profilen sind auch hier nur zum Teil in den einzelnen Gangliniendarstellungen signifikante Veränderungen der V_{max} festzustellen, dagegen ausgeprägte Veränderungen der Restströmungen, die nach Elimination des Gezeitenstromanteils Triftstromkomponenten in Richtung Südost zwischen 4 und 7 km/Tide ergeben (Abb. 2).

Außer den drei genannten Nordwest-Windlagen sind während der durchgeführten Dauerstrommessungen 1971/73 keine länger anhaltenden Starkwinde aufgetreten. Insofern beschränken sich die Ergebnisse auf den nordwestlichen Windsektor; sie sind jedoch – wie die zusammenhängende Darstellung in Abb. 2 zeigt – bemerkenswert eindeutig und bestätigen in vollem Umfang die von Göhen (1968) bereits aus den Messungen im Neuwerker Wattgebiet entwickelten Zusammenhänge. Die Triftströmung setzt auch in den hier untersuchten Flachwassergebieten vor der nordfriesischen Küste etwa in Richtung der wirksamen Windschubkräfte. Es handelt sich demnach um die sog. "primären Triftströmungen". Dabei ist zu beachten, daß es sich mit einer Ausnahme in allen Fällen um Messungen dicht über der Sohle (1,0 m) handelt. Die ermittelten Triftstromgeschwindigkeiten sind also nicht mit den in der Literatur zu findenden zu vergleichen, die nach Treibkörpermessungen ermittelt worden sind.

3.2 Wattenmeer von Eiderstedt bis Blauort

Das Wattgebiet zwischen den Mündungen der Elbe und Eider wird gegliedert durch den dominanten Wattstrom Piep mit seinen landnahen Prielzweigen Wöhrdener Loch, Kronenloch und Sommerkoog-Steertloch, die bis in die Dithmarscher Bucht hineinreichen. Das nördlich anschließende Wesselburener Watt wird geteilt durch das Wesselburener Loch.

Südlich der Piep folgen nach dem Bielshövensand der Flackstrom, die Insel Trischen mit der Marner Plate, das Neufahrwasser, dann Mittelplate und Hakensand.

Die Meßstandorte wurden so gewählt, daß möglichst die Wattrücken erfaßt und von diesen Verbindungen durch die Wattströme zwischen den Außensänden hergestellt wurden. Darüber hinaus wurde ein Profil zur seewärtigen Begrenzung der Dithmarscher Bucht

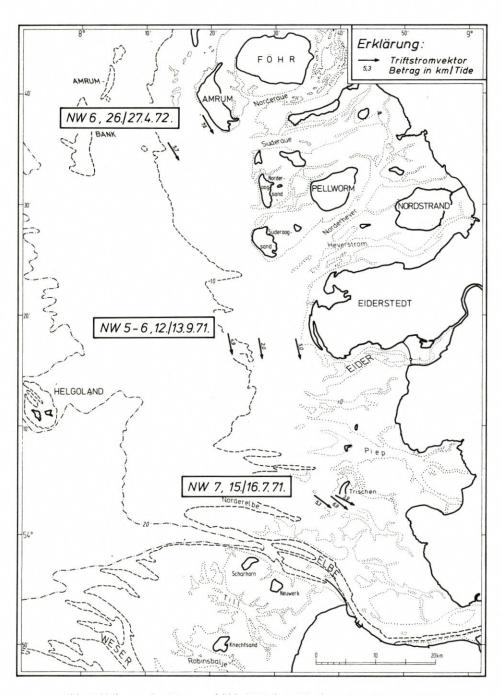


Abb. 2. Triftstrom im Küstenvorfeld bei Wind aus Nordwest (aus Göhren, 1974)

zwischen Büsum und Friedrichskoog-Spitze gelegt, und es wurden die Prielenden im Inneren der Dithmarscher Bucht erfaßt (Abb. 1).

Südlich von Eiderstedt sollten die Strömungsverhältnisse in einem gemeinsamen Querprofil durch Außeneider und Wesselburener Loch mit anschließenden Watten gemessen werden. Die Außeneider ist als stark veränderlich bekannt; das Wesselburener Loch gilt dagegen als ziemlich stabil.

Die Ergebnisse für mittlere Strömungsverhältnisse wurden a. a. O. bereits veröffentlicht (SIEFERT et al., 1980, Abb. 20 bis 24). Triftströmungen wurden an rd. 20 Positionen in der Außeneider, auf dem Wesselburener Watt und dem Blauortsand erfaßt, ferner an rd. 20 Orten in Piep, Norder- und Süderpiep, Flackstrom und Neufahrwasser sowie auf dem Bielshövensand und den Wattrücken der Dithmarscher Bucht. Damit liegt ein bisher einmaliges Datenmaterial aus diesem Gebiet vor (Tab. 1 und 2 sowie Abb. 3 bis 5). (Es sei vermerkt, daß nur solche Messungen berücksichtigt wurden, bei denen über mindestens zwei Tiden der Triftstrom erfaßt werden konnte.)

Bei Südwestwind stimmt auf dem Blauortsand die Richtung des Triftstromvektors etwa mit dem Weg des Windes von Südwesten nach Nordosten überein; dabei sind Unterschiede zwischen den einzelnen Meßstationen hinsichtlich Richtung und Weglänge des Wassers topographisch bedingt (Abb. 3). An der küstennahen Meßstation weist der Triftstromvektor nach Nordwesten. Hier wird der Windstau an der Küste dahingehend wirksam, daß er eine Gefälleströmung in die genannte Richtung verursacht. Die vom Wind an die Küste gedrückten Wassermassen können hier nur nach Norden zum Wesselburener Loch hin ausweichen.

Auf dem Wesselburener Watt, dem Wattrücken zwischen dem Wesselburener Loch und der Außeneider, ist die Situation ähnlich wie auf dem Blauortsand. Der Triftstromvektor hat jedoch eine etwas mehr nördliche Richtung zur Eiderrinne hin. In der Nähe der Stromrinne und nördlich davon bis an die Halbinsel Eiderstedt heran wird der Triftstrom erheblich von der Topographie geprägt. Die Vektoren weisen nördlich der Rinne stromaufwärts oder zur Rinne hin, dagegen fließt am Südufer der Eiderrinne eine starke Ausgleichsströmung mit rd. 5,7 km/Tide in Ebberichtung. Daraus ist zu schließen, daß der stromaufwärts gerichtete Triftstrom in der Außeneider durch einen westwärts gerichteten Strom am Leehang des Wesselburener Watts ausgeglichen wird.

Auch bei Westwindlagen (Abb. 4) folgen die Triftstromvektoren im großen und ganzen dem Weg des Windes von See her in östliche Richtung auf die Küste zu, teils mit Abweichungen in die nördliche, teils in die südliche Richtung. Auf dem Blauortsand weist bei der Meßstation in Deichnähe der Vektor in südwestliche Richtung und deutet damit auf eine Gefälleströmung hin, wie sie auch beim Südwestwind festgestellt wurde. Auffallend sind die verhältnismäßig großen Wasserwege am seeseitigen Ende des Blauortsandes und am Südufer des Wesselburener Watts zum Wesselburener Loch hin mit 7,0 bzw. 5,9 km/Tide.

Auf den Watten nördlich der Eiderrinne ist der Triftstromverlauf ähnlich dem bei Südwestwind. Die Vektoren sind stromaufwärts bzw. zur Rinne hin gerichtet, und der Wasserweg ist über 5 km/Tide lang. Leider liegen für Westwindlagen keine Meßergebnisse vom Wesselburener Watt vor, es ist jedoch zu vermuten, daß ein Triftstrom zum Wesselburener Loch hin vorhanden ist, denn der Gegenstrom am Südufer der Eiderrinne als Ausgleichsströmung hat nicht die gleiche Stärke wie beim Südwestwind.

Am stärksten ist die Auswirkung der Windrichtung auf den Triftstrom bei Nordwestwind ausgeprägt (Abb. 5). Die Vektoren weisen sehr einheitlich in südöstliche bis südliche Richtung. Aus der vektoriellen Darstellung ist auf einen großflächigen Triftstrom über die Watten hinweg zur Norderpiep hin zu schließen. Der größte Triftstrom wurde bei der westlichsten Meßstation des Blauortsandes mit 10 km/Tide ermittelt. In der Eiderrinne am

 $\label{eq:Tabelle 1} T \, a \, b \, e \, l \, l \, e \, 1$ Triftstrom bei Wind aus SW, W und NW ≥ 5 Bft sowie Reststrom bei ruhigen Tiden

Meßpunkt		Trif	sstrom bei Wind ≥ 5 Bft aus R		Restst	eststrom			
(Abb. 1)	SW	7	W		NV	V			
	km/Tide	Ri.	km/Tide	Ri.	km/Tide	Ri.	km/Tide	Ri.	
12-06	1,63	26					0,72	307	
-07	1,59	18					0,22	277	
13-01	0,45	324	0,88	233	3,84	172	0,17	160	
-02	1,82	33	1,03	58	1,08	146	0,33	183	
-03	1,08	67	1,95	98	0,87	133	0,43	315	
-04	1,41	78	1,01	112	1,53	150	0,46	324	
-06	2,96	50	1,46	45	1,35	188	0,79	221	
-07	2,78	84			0,90	97	2,45	353	
-08	0,99	53	0,33	71	1,25	308	0,17	205	
-09	1,75	63	1,63	85	1,31	120	0,11	219	
-11	0,43	298	1,09	213	2,44	216	1,37	74	
-13			7,00	115	10,00	145	0,91	34	
14-01	3,73	126	5,32	135	5,40	133	0,91	300	
-03	4,20	56	2,80	115	3,28	123	1,90	194	
-04	2,04	110	5,76	111	4,76	132	3,09	209	
-05	1,36	164					2,88	146	
-08	5,74	236	4,28	234	1,56	219	3,20	70	
-10	1,19	351	5,90	144	5,02	162	0,49	110	
-13	3,09	45					0,55	297	
-14	1,28	74	2,88	80	3,28	46	0,45	287	
10-02			1,4	136			2,9	143	
-04					1,2	132	6,5	272	
-05			2,6	100	2,6	127	1,6	100	
-06	1,9	95	3,4	97	3,9	90	0,9	155	
-07			2,4	77			2,3	298	
-08			2,0	38	2,1	65	2,6	280	
-09	1,3	15			1,5	86	2,4	289	
-11			1,8	12	2,3	85	3,7	218	
16-01					5,2	89	6,5	266	
-03					3,1	205			
11-12	6,0	54					3,9	248	
15-07	4,0	60					5,3	242	
-09	1,2	36					1,4	200	
-10	1,5	141					0,6	312	
-12	0,3	63	2,4	350			2,5	41	
-14	4,7	109	3,7	115			1,9	257	
-15	2,3	252					1,6	289	
05-06					1,0	239	1,9	230	
-08					0,3	320	2,1	200	
06-01	0,5	320	5,1	90			1,2	195	
-03	0,6	320	2,9	90			0,8	175	
-04	0,8	60	2,6	70			2,1	190	
-05	0,6	20	2,6	105			0,5	180	

 $\label{eq:controller} T\,a\,b\,e\,l\,l\,e\,\,2$ Triftstrom bei Wind aus N, O, SO und S \geq 5 Bft

Meßpunkt			Triftst	rom bei	Wind ≥ 5 Bft	aus			
(Abb. 1)	N		O		SO		S		
	km/Tide	Ri.	km/Tide	Ri.	km/Tide	Ri.	km/Tide	Ri.	
10-01			0,6	252					
-02					1,7	288	0,9	277	
-04	0,9	132							
-05	2,7	86							
-06	2,3	103							
-07			0,2	205	0,1	118	1,9	27	
-08	1,4	40							
-09	1,9	157							
-11	1,9	11							
-12			0,4	4	0,3	258			
16-03	1,2	287							
15-07			4,2	60					
-08			0,5	288					
-09			1,2	347					
-10					2,1	57	1,4	192	
-12					1,7	105	1,1	106	
-14					0,4	102	4,2	109	
05-01	1,8	205							
-02	2,2	165							
-03	2,0	195							
-04	2,5	175							
02-04	1,8	225							
-05	2,0	300							
-07	1,4	315							
01-03	1,6	120							
-04	1,0	180							
-05	2,0	145							
-06	1,2	160							
-08	1,3	170							
-10	2,0	130							

Ufer des Wesselburener Watts ist der Ausgleichsstrom schwächer als bei West- oder Südwestwind. Leider liegen auch für diese Windrichtung keine Meßergebnisse von Stationen in Küstennähe auf dem Wesselburener Watt vor.

In dem Wattengebiet südlich von Eiderstedt bis zum Blauortsand ist mit Triftströmen von Bedeutung nur bei Winden aus westlichen Richtungen zu rechnen, weil die Tiden hier dann höher als normal auflaufen und die Voraussetzungen dafür verbessert werden. Das ist bei Winden aus östlichen Richtungen nicht der Fall.

3.3 Wattenmeer Blauort bis Hakensand

Die Triftstromvektoren an den einzelnen Meßstationen zwischen Blauort und Hakensand, die sowohl auf den Wattrücken als auch in den Wattströmen aufgestellt waren, sind auch

hier im wesentlichen Ausdruck der vielgestaltigen und stark zergliederten Morphologie dieses Gebietes mit vorgelagerten, teilweise über MThw heraufreichenden Außensänden (Blauort, Trischen), Landvorsprüngen (Büsum, Friedrichskoog) und tiefen Buchten (Dithmarscher Bucht).

Ganz allgemein ist die stärkere Reaktion der rel. geringen Wasserschicht über den Wattrücken auf tangentialen Windschub erkennbar. In den Wattströmen dagegen wirkt sich die Windrichtung auf den Triftstrom weniger aus, der Triftstrom folgt auch dann überwiegend dem vorgegebenen Prielverlauf und der normalen Flut- bzw. Ebbestromrichtung. Das wird deutlich insbesondere an der Station 10–02–76 auf dem Büsumer Watt, der höchstgelegenen auf dem Bielshövensand (Nr. 10–09–76) sowie auf der Südspitze der Insel Trischen (Nr. 15–06–77) (Abb. 1). Hier beugt sich der Triftstrom etwa der Windrichtung. Dagegen bleibt gewöhnlich in den Wattströmen, wie z. B. in der Piep querab Büsum und im Neufahrwasser (Stat. 15–07–77), auch bei östlichen Winden die westliche Stromrichtung erhalten.

Bei Südwind folgen die Triftstromvektoren nur auf hohen Watten dem Weg des Windes. Offensichtlich kann die fast rechtwinklig zum normalen Tidestrom gerichtete Windkraft erst bei hohen Stärken meßbaren Einfluß auf die Strömungsrichtung gewinnen. Unmittelbar südlich der Insel Trischen scheint sich infolge Stauwirkung eine Richtungsumkehr zu vollziehen. Bei Südwestwind und Westwind folgen die Triftstromvektoren dem Windweg am engsten mit den höchsten Werten der Wasserwege bis 6 km/Tide auf dem Bielshövensand bei Südwestwind. An der seeseitigen Peripherie der Dithmarscher Bucht wird ein Windstaueffekt vermutet, der die Stromrichtung zur Piep hin ablenkt.

Sowohl Westwinde wie Nordwest- und Nordwinde lassen nördlich Friedrichskoog-Spitze einen Gefällestromeinfluß erkennen, so daß der Triftstromvektor von der Küstenlinie jeweils in nordöstliche Richtungen umgelenkt wird. Diese Erscheinung ist auch bei Ostwind festzustellen (Station 10–12–76). An den Wattstationen folgt der Triftstromvektor der herrschenden Windrichtung, andernfalls ist der Windweg kurz, in den Wattströmen ist er überwiegend entgegengesetzt gerichtet. Das gilt auch für Südostwinde.

Auf der Marner Plate wurde in Küstennähe an zwei Positionen Triftstrom bei auflandigem Wind gemessen. Der Windweg erreichte bei der seewärtigen Station 1,0 km/Tide, bei der landnahen 0,3 km/Tide. Die Richtung war an ersterer Südwest, an der anderen (nahe des Dammkopfes Friedrichskoog-Spitze) wurde der Triftstrom infolge Stauwirkung nördlich umgelenkt.

Folgende maximale	e Einzelwerte	(Windweg pro	Tide)) wurden ermittelt:
-------------------	---------------	--------------	-------	---------------------

Triftstrom						
Windrichtung	Windweg km/Tide	Windrichtung	Station Nr.			
S	7,5	89°	15–14–77			
SW	8,0	130°	15-14-77			
W	8,0	45°	15-12-77			
NW	8,3	112°	10-06-76			
N	3,0	247°	10-11-76			
O	7,0	283°	15-06-77			
SO	3,1	297°	10-07-76			

Stellenweise sind strahlenförmig abweichende Richtungen der Triftstromvektoren an nahe beieinanderliegenden Standorten festgestellt worden. Diese Erscheinung ist morphologisch bedingt.

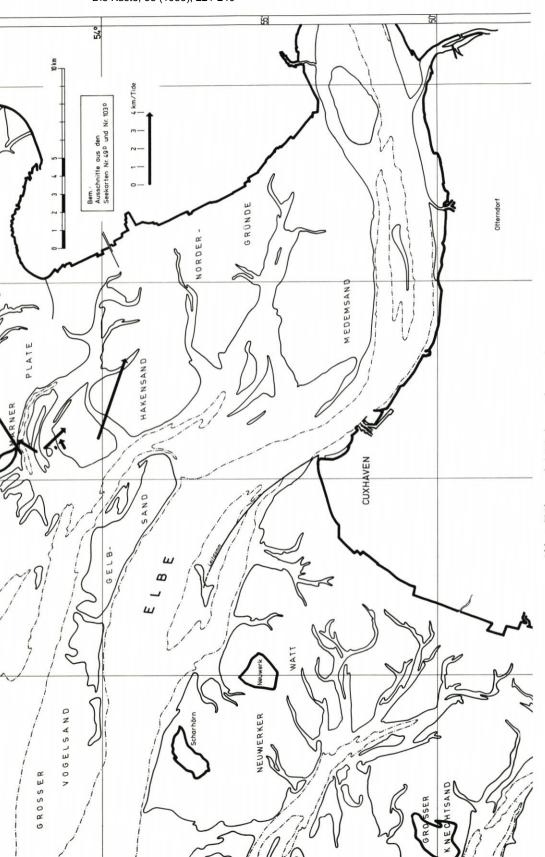
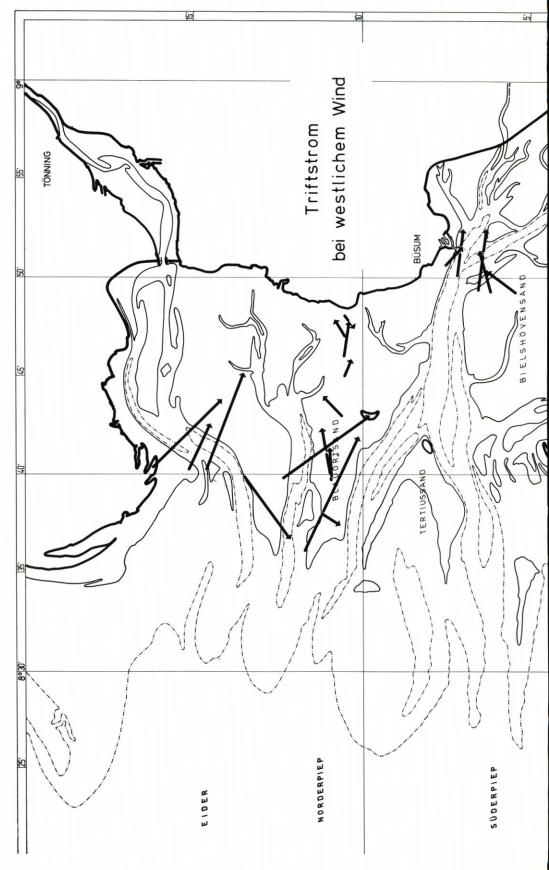
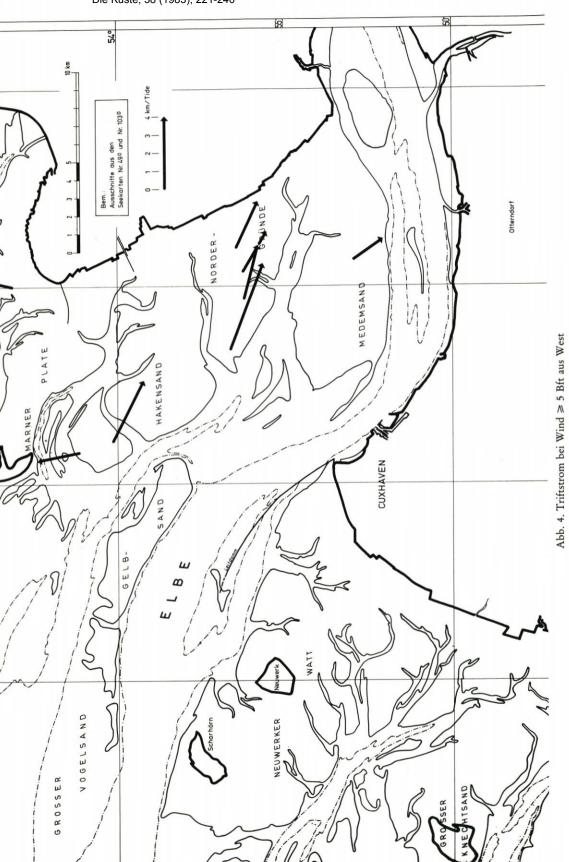


Abb. 3. Triftstrom bei Wind ≥ 5 Bft aus Südwest





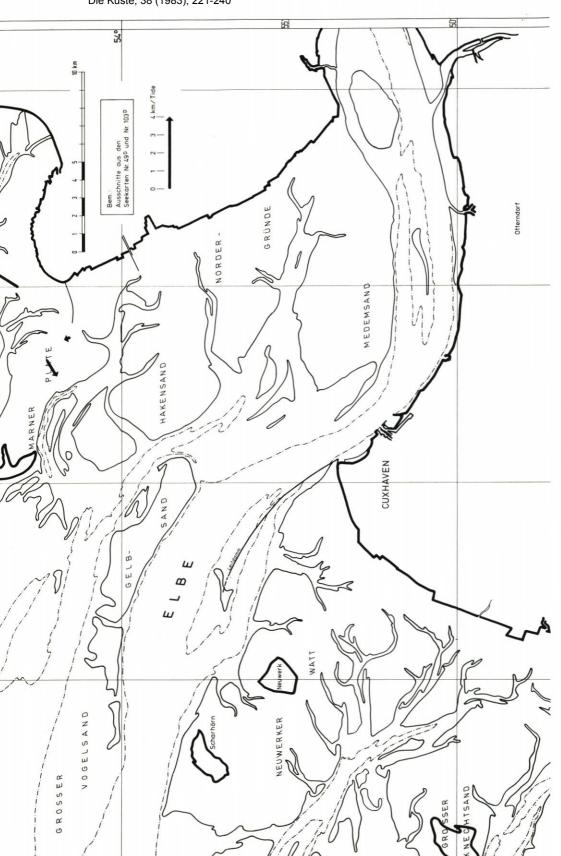


Abb. 5. Triftstrom bei Wind ≥ 5 Bft aus Nordwest

Bei Windstärken ab 8 Bft konnte der Triftstromvektor an zwei Meßstationen ermittelt werden (südlich Trischen: 15–12–77 und 15–14–77) mit mittleren Windwegen von 1,9 und 2,5 km/Tide. Hierbei zeigt sich deutlich die stärkere Wirkung im Vergleich mit den Wirkungen mittlerer Windtiden an gleicher Stelle anhand der hier dem Wind weitgehend folgenden Richtung der Triftstromvektoren.

3.4 Wattenmeer Hakensand bis Elbe

Auf dem Hakensand, den Nordergründen und dem Medemsand wurden die Strömungsverhältnisse jeweils auf den Wattwasserscheiden gemessen (Abb. 1). Ergänzend dazu waren Ergebnisse aus drei Profilen in der Unterelbe aufgenommen worden, die freundlicherweise vom Wasser- und Schiffahrtsamt Cuxhaven zur Verfügung gestellt wurden. Die Ergebnisse für Normaltiden finden sich in der o. g. Quelle.

Südlich des Hakensandes wurden nur noch auf den Nordergründen bemerkenswerte Triftströmungen erfaßt; die übrigen Messungen fanden bei ruhigen Wetterlagen statt. Bei Westsüdwestwind bis Stärke 8 Bft stellten sich Triftstromvektoren in Richtung Ostsüdost ein, also in den Elbetrichter hinein gerichtet. An der Westspitze der Nordergründe wurde der größte Triftstrom mit 5,1 km/Tide gemessen. Richtung und Größe des Triftstromes bestätigen die schon bei der Kommentierung der Reststromvektoren gemachte Aussage, daß das Watt südlich der Marner Plate hydrologisch zum Elbeästuar zu zählen ist. Bei Starkwindlagen und bei Sturmfluten wird über diese Watten ein Teil des gestauten Wassers nach Südosten transportiert, und der örtlich entstehende Windstau macht sich in der Elbe bemerkbar. Insoweit ist bei allen auflandigen Windrichtungen mit Triftstromvektoren zu rechnen, die auf dem Hakensand, den Nordergründen, dem Medemsand und dem Neufelder Sand nach Südosten gerichtet sind.

Die immer mit Seegang verbundenen Triftströmungen überlagern die in der gleichen Richtung verlaufenden Reststromvektoren. Bei Starkwindlagen aus westlichen Richtungen muß deshalb mit einem verstärkten Sedimenttransport über die Sände in den Elbemündungstrichter hinein bis in den Raum vor Brunsbüttel gerechnet werden.

Das WSA Cuxhaven beabsichtigt, die auf den Sänden des Elbeästuars bei ruhigen Wetterlagen durchgeführten Messungen bei Starkwindlagen schwerpunktmäßig zu wiederholen. Über die dann auch in diesen Gebieten abgesicherten Triftstromwerte werden zusätzlich Aussagen über Sandeintreibungen in die Fahrrinne erwartet.

4. Schlußfolgerungen

In seinen Untersuchungen hat GÖHREN (1968) bereits auf große Streuungen bei den Ergebnissen der Triftstromermittlungen hingewiesen und mögliche Ursachen dafür genannt. Seine Aussage wird bei der Bearbeitung der vorhandenen Triftstromdaten bestätigt. Als Beispiel dafür sind in Abb. 6 einige Extremwerte von Triftstrombeträgen und Mittelwerte aus insgesamt 38 Einzeldaten in Abhängigkeit von der Windstärke für Meßstationen auf dem Watt südlich von Eiderstedt eingetragen. Die Ergebnisse gelten für auflandige Winde, d. h. für Winde aus westlichen Richtungen. Eine weitergehende Unterscheidung wurde nicht vorgenommen. (Die im Gebiet zwischen Blauort und Elbe bei nördlichen, östlichen und südlichen Winden gemessenen Triftströme sind nur tabellarisch aufgeführt.) Aus der Darstellung kann geschlossen werden, daß nur bei systematischer Auswahl unter Berücksichtigung der bekann-

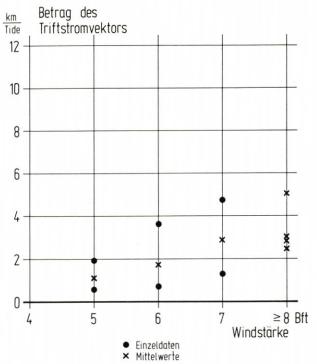
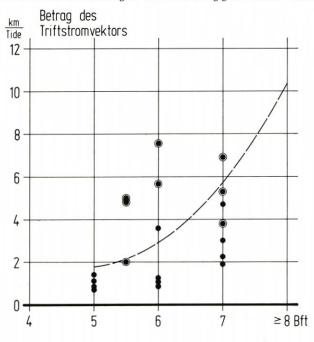


Abb. 6. Triftstrom bei auflandigem Wind in Abhängigkeit von der Windstärke



— Aus Mittelwerten im Neuwerker Watt (nach GÖHREN 1968)

 Im Küstenvorfeld der schleswig-holsteinischen Westküste (nach GÖHREN, 1974)

Abb. 7. Triftstrom bei Wind aus Nordwest in Abhängigkeit von der Windstärke

ten (oder vermuteten) Einflußfaktoren die Beziehung zwischen Triftstrom und Windstärke einigermaßen schlüssig dargestellt werden kann.

Aus diesem Grunde wurde versucht, den Triftstrom für verschiedene Meßstationen bei etwa gleicher Windrichtung und gleichen Tidehochwasserständen für unterschiedliche Windstärken ab 5 Bft zu ermitteln. Bei den relativ kurzen Meßperioden von jeweils etwa 3 Wochen Dauer war die Anzahl geeigneter zusammengehörender Werte sehr gering, und so gelang es nur, für nordwestliche Winde und für Tidehochwasserstände um PN + 700 cm (ca. 50 cm über MThw) am Bezugspegel entsprechende Daten für wenige Meßstationen zu erhalten. Das Ergebnis ist in Abb. 7 mit den Resultaten von Göhren (1968, 1974) dargestellt. Dabei muß betont werden, daß es sich bei den Stationen des gleichen Meßprofils natürlich um die gleichen Tiden bei gleichen Windstärken handelt.

Die zusammengehörenden Daten für die benachbarten Stationen 13–03 und 13–04 auf dem Blauortsand stimmen bei allen Windstärken recht gut überein. Es wäre allerdings zu vermuten gewesen, daß der Triftstrom bei Station 13–03 etwas größer gewesen wäre als bei Station 13–04, weil auf der erstgenannten Station das Meßgerät rd. 50 cm tiefer lag als bei Station 13–04 und daher Strömung und Windeinfluß entsprechend länger dauerten. Im anderen Profil unterscheiden sich die einzelnen Werte für die Stationen 14–03 und 14–14 erheblich. Auch hier ist bemerkenswert, daß bei der knapp 2 m tiefer liegenden Station auf einer Sandbank nordwestlich der Eiderrinne (14–03) der Triftstrom schwächer ist als auf dem Blauortsand bei Station 14–14. Der stärkere Triftstrom hier gegenüber den beiden anderen Stationen kann mit der mehr exponierten Lage begründet werden.

Die gezeigten Beispiele machen deutlich, daß bei nur relativ kurzen und damit wenigen Messungen die Abhängigkeit zwischen dem Triftstrom und der Windstärke nicht ausreichend zu erkennen ist, weil andere Einflußfaktoren nicht deutlich genug berücksichtigt werden können.

5. Schriftenverzeichnis

Göhren, H.: Triftströmungen im Wattenmeer. Mitt. des Franzius-Inst. der TU Hannover, H. 30,

Göhren, H.: Über Strömungsverhältnisse und Sandtransport in den Flachwassergebieten vor der südöstlichen Nordseeküste. Hamb. Küstenf., H. 29, 1974.

SIEFERT, W., FAHSE, H., MIESSNER, F., RICHTER, H.-H., TAUBERT, A. u. WIELAND, P.: Die Strömungsverhältnisse vor der Westküste Schleswig-Holsteins – Ergebnisse eines KFKI-Meßprogramms. Die Küste, H. 35, 1980.