

Temperaturmessungen im Jade- und Weser-Ästuar

Von Hans-Hermann Hanisch und Rudolf Höhn

Zusammenfassung

Bei den in Jade und Außenweser ausgeführten Temperaturmessungen konnten zwischen Flach- und Tiefwasserzonen (Rinnen) ausgeprägte Temperaturunterschiede beobachtet werden, die durch unterschiedlich rasche Erwärmung oder Auskühlung verschieden tiefer Wasserkörper zustandekamen und trotz Gezeitenströmungen erhalten blieben. Zudem wurde deutlich, daß bei laufendem Gezeitenstrom die Transport- und Austauschvorgänge zwischen Stromrinnen, Flachwasserzonen und Watten nicht sehr intensiv vorstatten gingen. Nur bei Strömungskenterung konnte ein verstärkter lateraler Austausch durch kurzzeitig auftretende Querströmungen beobachtet werden.

Summary

In the course of temperature measurements in the Jade and Outer Weser estuaries, marked temperature differences between shallow and deep water zones (flow channels) were observed. They resulted from the different warming and cooling rates of water bodies of different depths, and prevailed in spite of the tidal currents. In addition, it was found that, in the presence of tidal currents, the transport and exchange processes between flow channels, shallow water zones and tidal flats were not very intensiv. Only when tidal currents turned an intensified exchange due to temporary cross currents was observed.

Inhalt

1. Einführung	202
2. Geräteausrüstung und Meßtechnik	203
3. Temperaturmessungen im Jadebusen	204
4. Temperaturmessungen in der Innenjade und auf dem Hohen Weg	206
5. Temperaturmessungen in der Außenweser	210
6. Ergebnisse	213
7. Schriftenverzeichnis	213

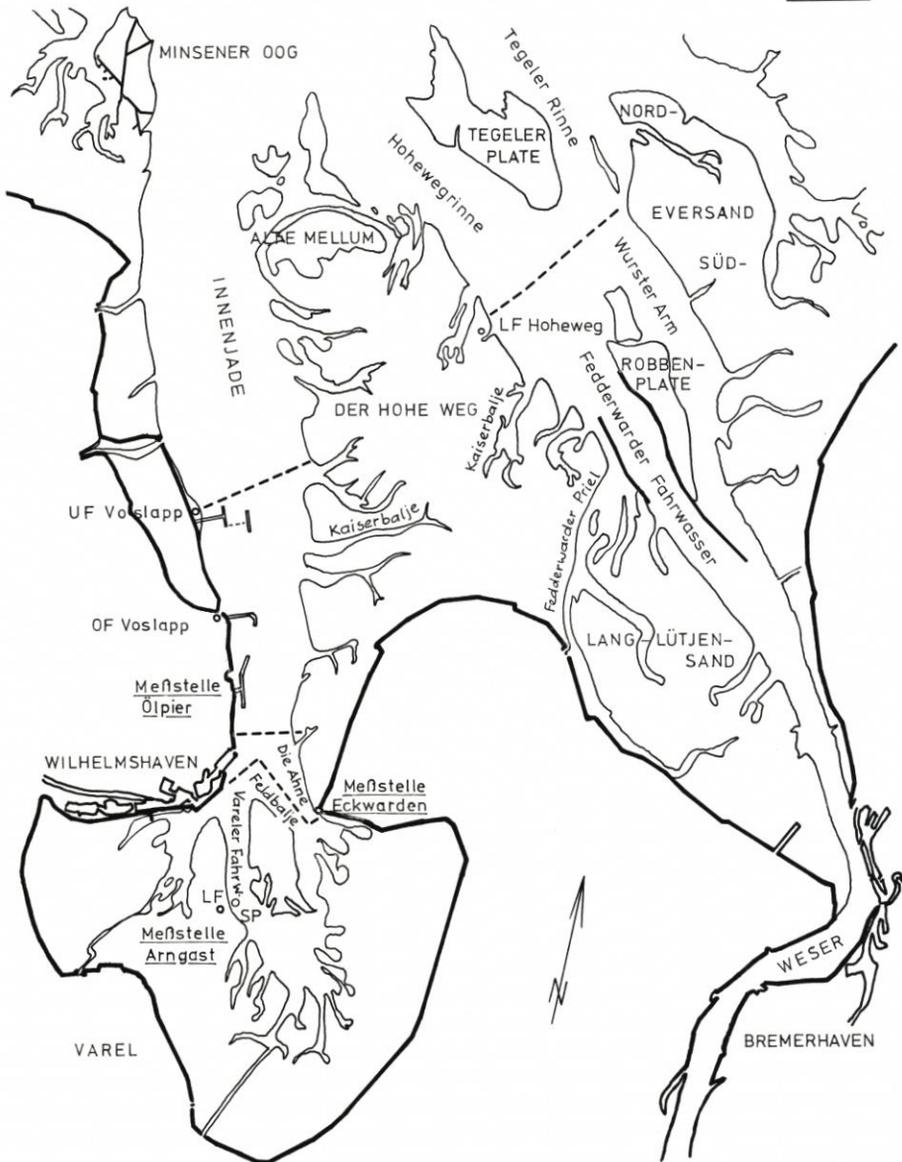
1. Einführung

Um die Wärmeverteilung in Jade und Außenweser (Abb. 1) kennenzulernen, wurden vom fahrenden Schiff aus mit Hilfe einer elektronischen Meßvorrichtung die Wassertemperaturen in den Stromrinnen und in den einmündenden Prielen und Baljen kontinuierlich als Längs- und Querprofile aufgezeichnet. Soweit möglich, wurden zuvor an ausgewählten Plätzen stationäre Dauermeßstellen für Wassertemperatur und meteorologische Parameter eingerichtet, um die meteorologisch bedingten Tag-/Nachtgänge und die gezeitenabhängigen Änderungen mit zu registrieren.*)

Die Messungen waren sowohl bei warmer als auch bei kalter Witterung vorgesehen, um die gegenseitige Beeinflussung der unterschiedlich temperierten Wassermassen von Watten, Flachwasserzonen und Rinnen anhand unterschiedlicher thermischer Verhältnisse beurteilen zu können.

*) Die Untersuchungen wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens „Wasser“ 8/69 des Bundesministeriums des Innern durchgeführt.

Abb. 1



Übersichtskarte für das Jade- und Wesergebiet

Die Lage der Temperaturquerprofile ist gestrichelt eingezeichnet

2. Geräteausrüstung und Meßtechnik

Für die kontinuierliche Temperaturmessung haben sich als Ausrüstung ein elektronisches Meßgerät, Temperaturfühler und batteriebetriebener Kompensationschreiber bewährt. Die eingesetzte Meßvorrichtung, die ursprünglich für kalorimetrische Messungen

vorgesehen war, besitzt eine äußerst geringe Ansprechzeit und dazu ein großes Auflösungsvermögen. Es können sowohl absolute Temperaturen als auch Differenzen gemessen werden.

Der Temperaturfühler, ein in Glas eingeschmolzener Thermistor, wird seitlich am Schiff an einem Galgen außenbords geführt. Damit der Fühler auch bei voller Fahrt in vorgegebener Tiefe eintaucht, wird er an einem Stahlseil, das mit einem stromlinienförmig ausgebildeten 10-kg-Gewicht beschwert ist, unter Wasser gehalten. Der Thermistor sitzt am Ende des Stahlseils unterhalb des Bleigewichtes. Die Meßwerte gelangen als Widerstandsänderungen über einen isolierten Kupferleiter zum Meßgerät.

Echolotaufzeichnungen der Sohle sowie ständige Zeit- und Positionsangaben während der Meßfahrt ermöglichen bei der späteren Auswertung die Positionierung der registrierten Temperaturwerte. Zur Ergänzung der thermischen Information werden in der Regel meteorologische Daten, wie Windgeschwindigkeiten, Lufttemperatur und Feuchte, in Abständen von zwei Stunden von Hand mitgemessen.

3. Temperaturmessungen im Jadebusen

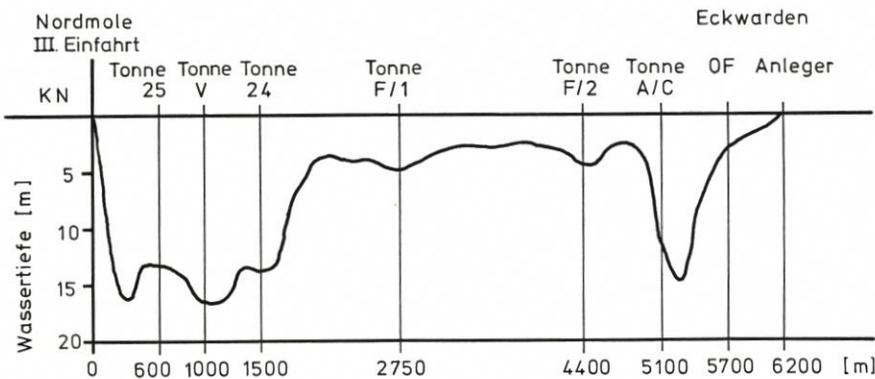
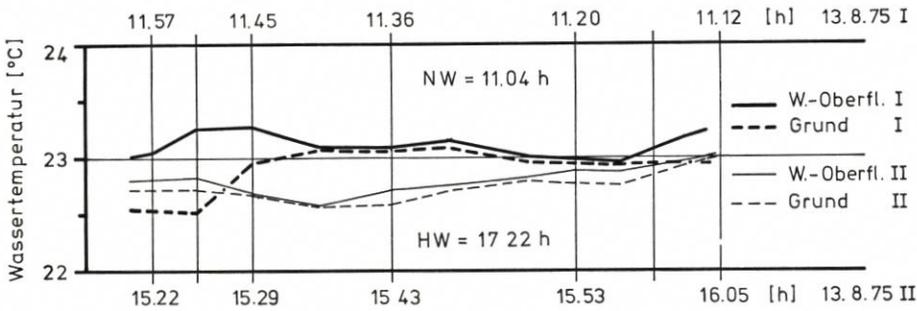
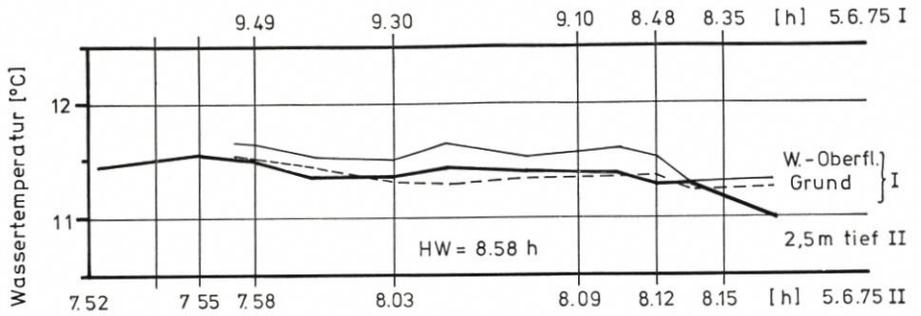
Bei mehrtägigen Temperaturmessungen, die vom Schiff aus zwischen der ehemaligen dritten Hafeneinfahrt von Wilhelmshaven und Eckwarden durchgeführt wurden, waren in der warmen Jahreszeit bei hohen Lufttemperaturen und kräftiger Sonneneinstrahlung unter dem Ostufer vor Eckwarden merkbar höhere Temperaturen als in der tiefen Wasserrinne am gegenüberliegenden Westufer anzutreffen. Umgekehrt ließen sich im Winter bei kalter Witterung die höheren Temperaturen unter dem Westufer feststellen, da dort die großen Wassermassen, die aus der tieferen Innenjade stammten, wesentlich langsamer auskühlten als im flachen Jadebusen.

Im Querprofil zwischen Wilhelmshaven und Eckwarden wurden auch an einigen Stellen Tiefenmessungen durchgeführt. Es zeigte sich, daß in den Rinnen bei sehr intensiver Sonnenstrahlung eine 6 bis 8 m mächtige Warmwasserschicht entstand, die bei Stauwasser einen besonders steilen Temperaturgradienten aufwies. Bei geringer oder gänzlich fehlender Sonnenstrahlung verblieben an der Oberfläche geringfügige Temperaturdifferenzen von 0,1 bis 0,3 K zum bodennahen Wasserkörper. Die vorhandene vertikale turbulente Diffusion reichte bei laufendem Gezeitenstrom aus, um die vom Wärmeaustausch verursachten Temperaturänderungen an den tieferen Wasserkörper weiterzugeben. In den flachen Ästuarbereichen wies der Wasserkörper eine fast gleichmäßige Temperaturverteilung auf (Abb. 2).

Als Ergänzung zu den Profilmessungen standen auch stationäre Temperaturaufzeichnungen (Abb. 3) zur Verfügung, die am Pegel Arngast, auf der NWO-Ölbrücke und auf einer Buhne bei Eckwarden gewonnen wurden. Mit Hilfe der an den drei genannten Meßstellen registrierten Daten, die für einen mehrtägigen Zeitabschnitt das thermische Geschehen beschrieben, ließ sich eine Vielzahl von Hinweisen über die Strömungsvorgänge im Jadebusen gewinnen.

Am Pegel Arngast, der mitten in den Watten des Jadebusens steht, traten bei allen Messungen Temperaturänderungen bis zu 1,5 K auf. Die beobachteten Änderungen prägte aber nicht allein der Gezeitenrhythmus. Der unregelmäßige Temperaturverlauf war auch auf den Windeinfluß zurückzuführen, durch den Wassermassen aus tieferen Bereichen des Jadebusens am Meßfühler vorbeitripteten. Eine Auswertung mehrjähriger Windmessungen an der Seeschleuse Wilhelmshaven ergab, daß infolge der vorherrschend

Abb. 2



Temperaturquerprofile in der Jade am 5.6. und 13.8.1975

Nordmole (3.Einfahrt) - Tonne 25 - Tonne F/1 - Tonne A/C - Anleger Eckwarden

Messungen in verschiedenen Wassertiefen

Hoch- und Niedrigwasserzeiten von Wilhelmshaven (Alter Vorhafen)

westlichen Windrichtungen die Wassermassen überwiegend zum Ostufer vertrifft werden.

Vor den Bühnen bei Eckwarden zirkulierten während der Sommermessungen sehr warme Wassermassen, die aus dem Stollhammer und Seefelder Watt stammten. Die Temperaturänderungen betragen bis zu 1,0 K; sie erfolgten zeitweise sehr ungleichmäßig und waren nicht allein auf das Vertriften des Wassers durch den Wind zurückzuführen. Als mitverantwortlich dürfte das ungleichmäßige Füllen und Entleeren des Jadebusens angesehen werden, das an den Hoch- und Niedrigwasserständen erkennbar wurde. Zugleich waren die unregelmäßigen Temperaturänderungen auch eine Folge der bei Kenterung ausgelösten Quervermischung.

Die Ungleichheiten der Tidebewegung verursachen im 166 km² großen Jadebusen einen beachtlichen Wasseraustausch. So gelangen z. B. mit der Flut bei einem 10 cm höheren Tidenstieg 750 m³/s als Überschuss in den Jadebusen. Die während der Messungen von Tide zu Tide aufgetretenen Änderungen der Hochwasserhöhe erreichten am Pegel Arngast Werte bis zu 80 cm.

Der überwiegend am Westufer in den Jadebusen gelangende Flutüberschuß erreichte am Ostufer bei Eckwarden, nachdem er sich über den Watten stark erwärmt hatte, wieder über Ahne und Feldbalje die Innenjade. Begünstigt wird dieser Vorgang auch durch die Erdrotation (Corioliskraft), die eine Ablenkung der Gezeitenströmung nach rechts bewirkt, so daß der Flutstrom am westlichen und der Ebbestrom am östlichen Ufer eine Beschleunigung erfährt und damit eine Zirkulation quer durch den ganzen Jadebusen auslöst.

An der dritten stationären Meßstelle, der NWO-Ölpier, prägten sich die Temperaturgänge am stärksten aus. Bei den Sommermessungen änderten sich während einer Tide die Temperaturen bis zu 2 K. Im Winter fiel der gezeitenbedingte Temperaturgang etwas geringer aus. Die bei Flut auflaufenden Wassermassen aus der tiefen Innenjade reagieren auf meteorologisch bedingte Änderungen nur sehr langsam. Dagegen sprechen die Wassermassen aus dem flachen Jadebusen wesentlich rascher auf die meteorologischen Einflüsse an. Beide meist sehr unterschiedlich temperierte Wasserkörper werden an der Ölpier durch die Gezeiten vorbeitransportiert.

4. Temperaturmessungen in der Innenjade und auf dem Hohen Weg

Die Aufzeichnungen thermischer Querprofile in der Innenjade, in Höhe der Tankerlöschbrücke der Mobil Oil, machen durch die höheren Temperaturen deutlich, daß, wie zu erwarten ist, unter dem Westufer zwischen dem eingedeichten Voslapper Groden und der Tiefwasserrinne der Flutstrom zuerst eingesetzt hat. Geringfügig verzögert folgt die Kenterung im östlichen Teil der Hauptrinne. Dieses unterschiedliche Kenterverhalten im Querschnitt wird durch die verschiedenen temperierten Wassermassen der Tiefwasserzone ersichtlich. An der Rinnenkante bleibt örtlich auch nach Kenterung eine deutliche Trennung der Wassermassen erhalten. Die vorgefundenen Temperatursprünge zeigen eine unwesentlich erhöhte laterale Quermischung an (Abb. 4). Trotz zunehmender Verengung der Innenjade tritt bis in Höhe der vierten Einfahrt keine Vermischung mit dem Wasser der Fahrrinne ein.

Auf der Ostseite der Jaderinne drückt die Flut die Wassermassen aus den ausgedehnten Flachwassergebieten, die sich zwischen Rinne und dem Hohen Weg befinden,

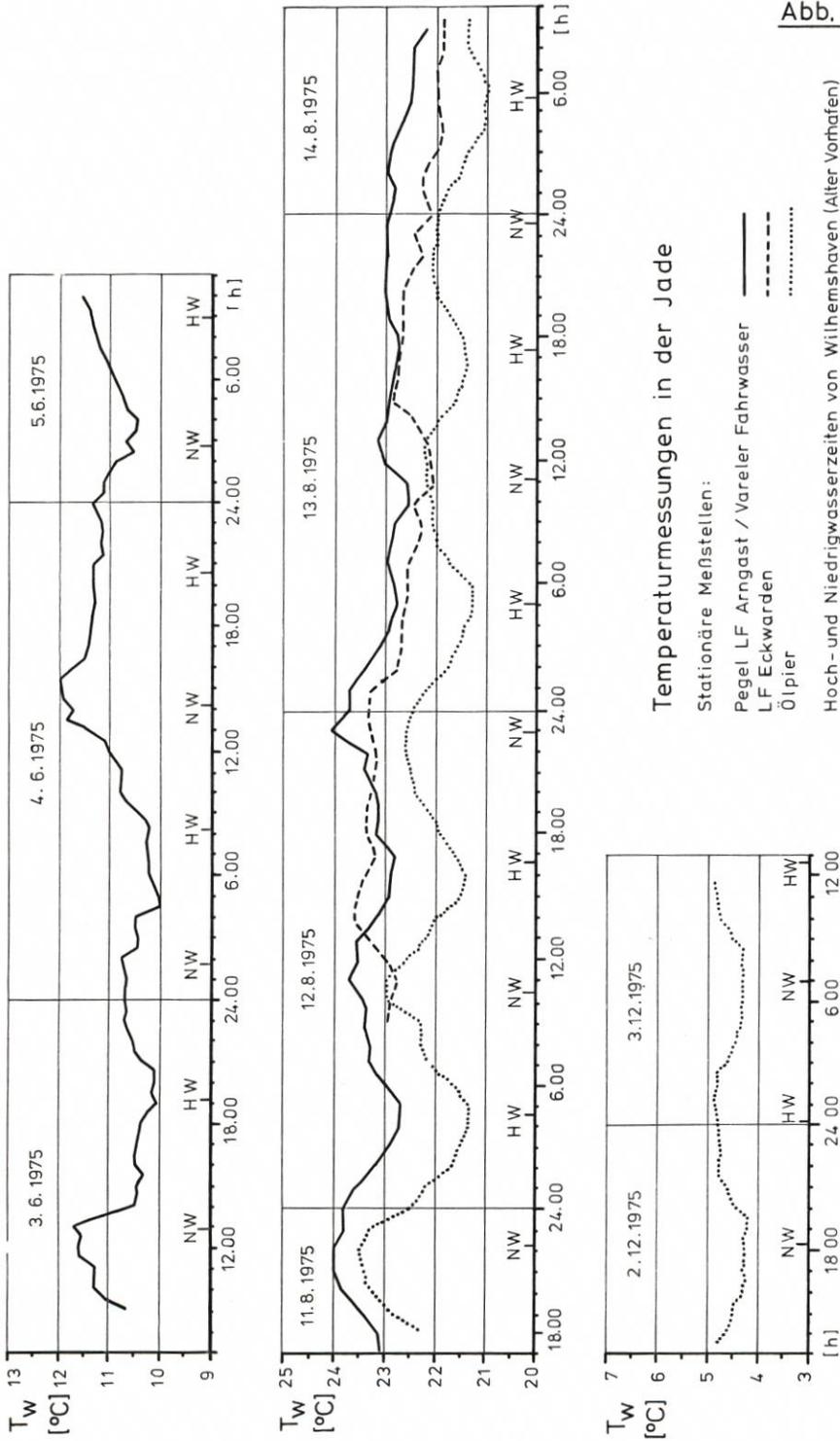
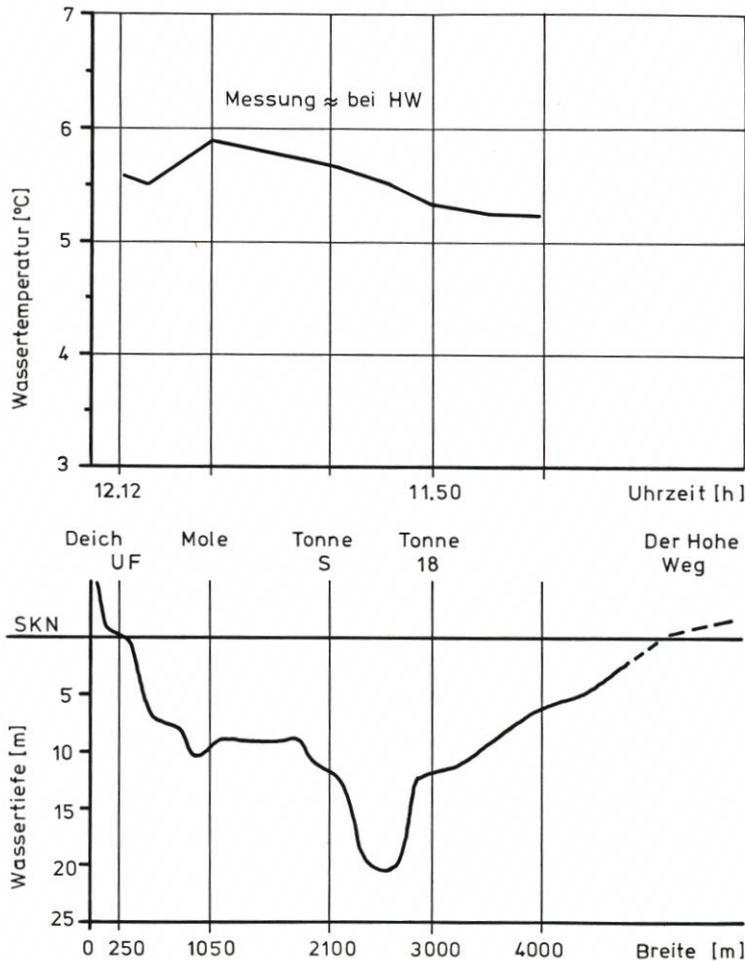


Abb. 3

Abb. 4



Temperaturquerprofil in der Innenjade am 3.12.1975

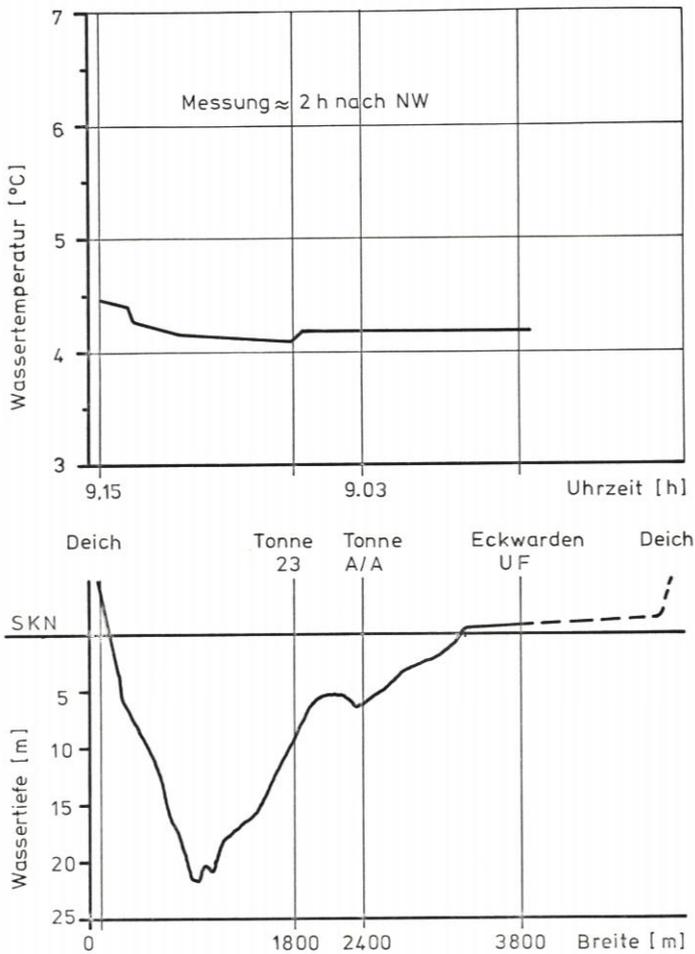
Unterfeuer Voslapp - Tonne S - Tonne 18

HW 12.38 h von Wilhelmshaven (Alter Vorhafen)

in die Baljen und überflutet allmählich das Hoheweg-Watt. Infolge der bei Flut aus den Tiefwassergebieten zugemischten wärmeren Wassermassen lagen während der Wintermessungen die Wassertemperaturen auf den Watten trotz geringer Wassertiefe über den Werten des Jadebusens. Nur in den dauernd mit Wasser gefüllten Baljen wurden bei Flut die von der vorhergegangenen Tidephase verbliebenen Wassermassen durch ihre niedrige Temperatur aufgefunden, da sich der wärmere Flutstrom nur unvollkommen mit dem an tiefen Stellen stehengebliebenen kalten Wasser vermischt hatte.

Ein Vermischen der Wassermassen vom Hohen Weg mit denen des Jadebusens ließ

Abb. 5



Temperaturquerprofil in der Innenjade am 3.12.1975

Tonne 23 - Tonne A/A

NW 6.57 h von Wilhelmshaven (Alter Vorhafen)

sich anhand der längs der Wattkante ausgeführten Temperaturmessungen nicht nachweisen. Auch das aus dem Jadebusen stammende Wasser wurde über die Ahne und die Feldbalje in die Innenjade transportiert, ohne sich merkbar mit dem Wasser vom Hohen Weg zu vermischen oder gar auf das Watt zu gelangen (Abb. 5).

In der Innenjade haben Temperaturmessungen längs der Fahrwasserrinne keinen Hinweis auf das Eindringen größerer Mengen Nordseewasser infolge des ästuarinen Längsaustausches erbracht, wie dies in Ems, Weser und Elbe der Fall ist. Im Jadegebiet fehlen merkbare Oberwasserzuflüsse. Der zwischen Nordsee und Jadebusen vorhandene

Salzgehaltunterschied, der jahreszeitlichen Schwankungen von 2 ‰ bis 10 ‰ unterliegt, genügt nicht, um eine merkbare Dichteströmung zwischen Jadebusen und Nordsee auszulösen.

Nach DORRESTEIN und OTTO (1960, S. 90) errechnet sich für die Innenjade bei Annahme eines maximalen Salzgehaltunterschiedes von 8 ‰ eine Austauschmenge von 400 bis 500 m³/s. Nach LUCHT (1974), der für die Berechnung eine Mischformel zugrundelegt, ergeben sich für die gleichen Salzgehaltunterschiede Austauschmengen bis zu 150 m³/s. Bei Verwendung des Salzgehaltlängsprofils wird nach GÜNNEBERG (1973) eine Austauschmenge von 10 m³/s ermittelt. Die letztgenannte Größenordnung entspricht wohl am ehesten den tatsächlich vorkommenden Austauschvorgängen infolge der Dichteunterschiede.

5. Temperaturmessungen in der Außenweser

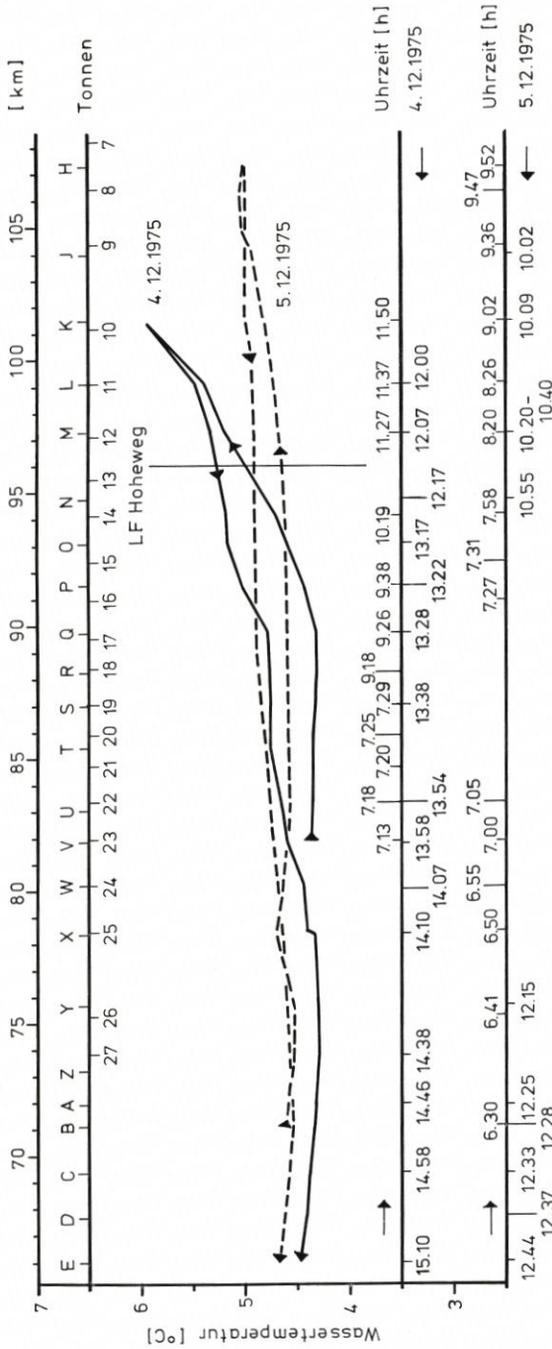
Zur Ergänzung der Jadeuntersuchungen wurde auch dem thermischen Geschehen in den Stromrinnen und den angrenzenden Wattgebieten der Außenweser nachgegangen. Anhand von Temperaturmessungen sollte die Wärmeverteilung in den Prielen sowie quer zur Stromachse erkennbar gemacht werden, um auch in diesem Ästuargebiet Hinweise über die Austauschmechanismen zwischen Watt und Stromrinnen zu erhalten.

Dem im Dezember 1975 vor Tidehochwasser zwischen Bremerhaven und Tegeler Plate kontinuierlich aufgenommenen Längsprofil kann seewärts ein allmählicher Temperaturanstieg von rund 2 K entnommen werden (Abb. 6). Das im Winter beobachtete thermische Verhalten zeigt einen gut funktionierenden ästuarinen Längsaustausch an, der aufgrund des Oberwasserzuflusses sowie der großen Dichteunterschiede zwischen See- und Flußwasser, die rund 30 ‰ betragen, vonstatten geht. Zudem werden auch bei den Temperaturlängsprofilen die vom inneren Ästuarbereich bekannten Wärmesenken und Wärmeberge vorgefunden, die die thermischen Eigenschaften des Oberwassers widerspiegeln (HANISCH, 1975).

Die zahlreichen Temperaturquerprofile, die oberhalb und unterhalb der Robbenplate (Abb. 7) aufgenommen wurden, haben die in der Jade gemachten Beobachtungen bestätigt, daß sich zwischen den tiefen Bereichen mit großen Wassermassen und den flachen Randzonen, die an die Watten angrenzen, merkbare thermische Unterschiede von 0,2 K bis 1,0 K durch meteorologische Einflüsse ausbilden. Kalte und warme Wasserströme sind bei laufendem Gezeitenstrom scharf voneinander getrennt, wobei die meist an den Schaumstreifen erkennbaren Stromkanten mit den Temperatursprüngen identisch sind. Ohne weiteres läßt sich anhand der Temperaturen feststellen, ob die Wassermassen aus flachen Bereichen oder aus tiefen Rinnen stammen.

Das von den Wattflächen des Hohen Weges beiderseits der Stromrinnen ablaufende Wasser konnte bei der Wintermessung als relativ kalter Strom zwischen Wattkante und tiefer Rinne identifiziert werden. Eine intensive Vermischung trat zwischen den unterschiedlich temperierten Wassermassen bei vollem Gezeitenstrom nicht ein. Das von den Watten stammende Wasser verblieb in den Flachwasserzonen zwischen den trockenfallenden Platen und den tiefen, durchströmten Rinnen. Nur an Stellen mit ausgeprägten konvektiven Einflüssen, wie Stromspaltungen, Buhnen oder sehr unregelmäßig ausgebildeter Flußsohle, war eine merkbare transversale Vermischung mit den Wassermassen der Rinne zu beobachten. Auch bei Kenterung zeigte sich lokal eine stärkere seitliche Ausbreitung.

Abb. 6



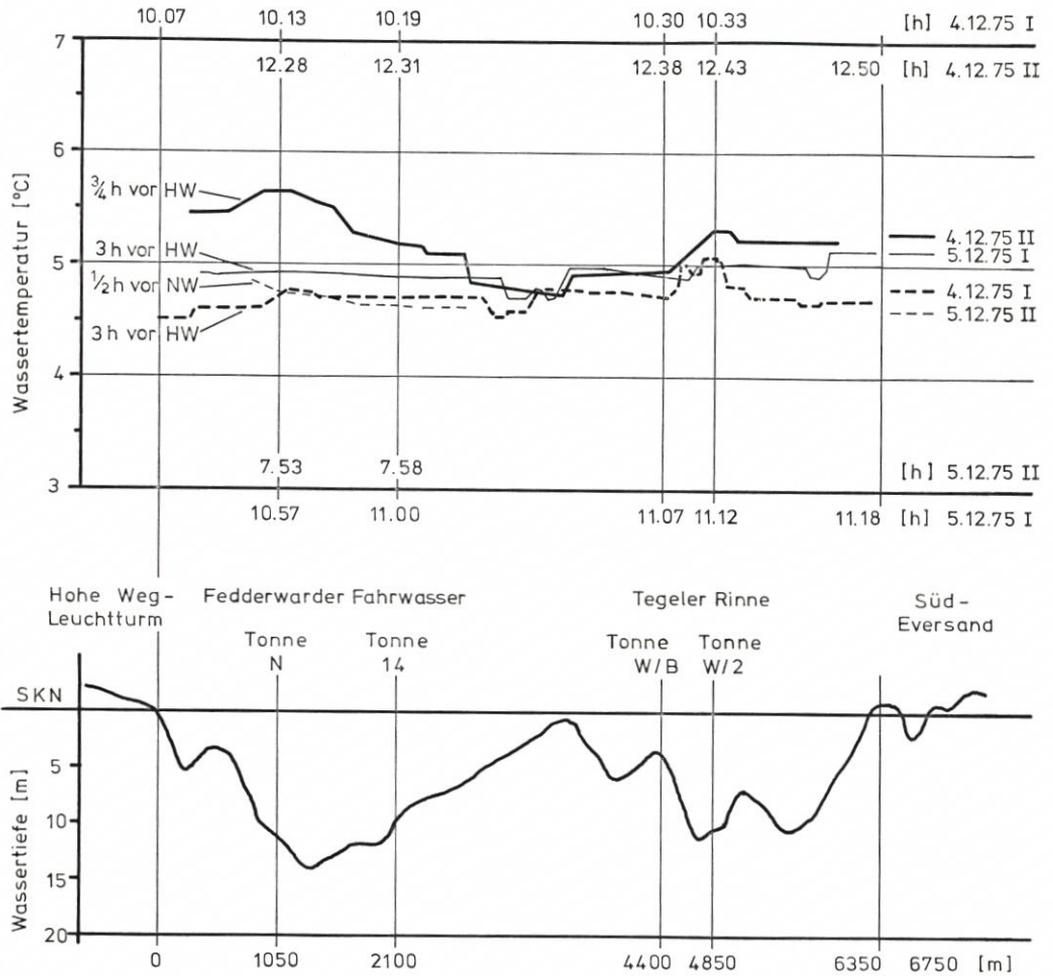
Temperaturlängsprofile der Außenwaser von Km 66 (Bremerhaven) bis Km 107 (Tegeler Plate)

Messungen am 4. und 5.12.1975

Hoch- und Niedrigwasserzeiten am Hohe Weg - Leuchtturm:

4.12.1975		5.12.1975	
H W	N W	H W	N W
00.32	13.13	07.26	19.58
		01.27	14.05
		08.31	20.40

Abb. 7



Temperaturquerprofile in der Außenweser am 4. und 5. 12. 1975

Tonne N - Tonne 14 - Tonne W/B - Tonne W/2

Die Hoch- und Niedrigwasserzeiten sind in Abb. 6 angegeben

Nach Kenterung der Ebbe gelangt ein großer Teil des von den Wattflächen abgeflossenen Wassers wieder aus den Flachwasserzonen auf die Watten. Das zurückströmende Wasser ist in seiner thermischen Geschichte überwiegend durch die vorherigen Aufenthalte im Wattgebiet geprägt. Die thermischen Einflüsse aus den Rinnen bleiben ohne merkbare Auswirkungen.

Bei den Wintermessungen, die während der Ebbe in den Prielen und Baljen erfolgten, sanken die Temperaturen mit zunehmendem Abstand von der Stromrinne. Zwischen den wattseitigen Enden und den Mündungen in die Stromrinnen traten Unterschiede von 1 K bis 2 K auf. Diese beachtlichen Temperaturdifferenzen weisen auf relativ lange Aufenthaltszeiten der Wassermassen in den flachen Wattgebieten hin. Sie sind damit auch ein Zeichen für einen nur geringfügigen Wasseraustausch mit den Stromrinnen.

6. Ergebnisse

Nach den vorliegenden Erfahrungen eignet sich die kontinuierliche Temperaturmessung vom fahrenden Boot aus, um eine qualitative Aussage über laterale und longitudinale Transport- und Austauschvorgänge im Tidegebiet machen zu können. Werden die Temperaturmessungen durch Strömungsmessungen ergänzt, sind auch quantitative Aussagen über die ausgetauschten Wassermassen (Dispersionsvorgänge) möglich.

Anhand der meßtechnisch aufgezeigten Temperaturunterschiede lassen sich auch Herkunft, Verteilung und Strömungsrichtung der Wassermassen feststellen, so daß dadurch Strömungsmessungen in vorzüglicher Weise ergänzt werden können.

7. Schriftenverzeichnis

- DORRESTEIN, R. and OTTO, L.: On the mixing and flushing of the water in the Emsestuary. Verh. Kon. Ned. Geol. Mijnb. Gen., Geol. Ser. Dl. XIX, S. 83-102, 1960.
- LUCHT, F.: Untersuchungen über die Wassergüte in der Außenelbe. Hamburger Küstenforschung, Heft 20, 1974.
- GÜNNEBERG, F.: Abwärme in Gewässern. DGM 17, H. 1, 1973.
- HANISCH, H.-H.: Warmwassereinleitungen in Tideflüsse. DGM 19, Sonderheft, 1975.