

Erfahrungen über das Verhalten künstlich vertiefter Fahrrinnen in Tideästuarien am Beispiel der Wasserstraße Jade

Von Volkhard Wetzel

Summary

This contribution deals with the behaviour of specially-deepened shipping channels in mainly sandy tidal estuaries, for example in the Jade waterway.

The following points are characterized:

- *widespread fluctuation characteristics of the tidal estuary in question*
- *the influence of the deepening measures on the complete estuary*
- *the behaviour of the deepened bed of the channel and its adjacent areas (underwater slopes).*

Special attention is drawn to the last point.

The Jade waterway has been deepened from a fairly uniform depth of approximately 12 metres in 1957 at mean low water to an overall depth of approximately 19 to 20 metres at mean low water springs up to the period 1973/74 to permit, at the end of 1973, the passage of 250 000 ton deep water tankers with a draught of 20 metres. The sea bed soil conditions varied from fine grained sand and medium grained sand to marl and clay. As a result of these conditions the excavations were carried out exclusively with the aid of bucket ladder dredgers and suction dredgers. The resulting underwater slopes vary from 1:20 until more than 1:100, mainly 1:40.

Finally, the paper is intended to demonstrate the comparatively minor effects of the deepening of the Jade on the tidal water levels, and a comparison of the results of mathematical predictions and experiments carried out on models.

Im Bereich der Deutschen Bucht mit ihren vorwiegend sandigen Tideästuarien stellt die Jade eine geschlossene Meeresbucht dar, die maßgeblich durch die Sturmfluten im Verlaufe des 11.-16. Jahrhunderts geschaffen wurde. Sie mündet in einem verhältnismäßig engen Bereich, zusammen mit den Flüssen Elbe und Weser in die südöstliche Nordsee und bildet die Zufahrt zum Hafen Wilhelmshaven. Die Ästuarien dieser beiden Flüsse mit der Meeresbucht Jade stellen im äußeren Küstenbereich einen zusammenhängenden Raum dar, der unter dem periodischen Gezeitenwechsel ständigen, zum großen Teil in ihrem Zusammenhang und insbesondere in ihrer Quantität noch nicht voll bekannten Veränderungen unterliegt.

Die Jade mit ihrem charakteristisch langgestreckten Zulauf zu dem großen Tidewasserbecken, dem Jadebusen, ist mit der Entscheidung, sie sich Ende des 19. Jahrhunderts als Hafenzufahrt zunutze zu machen, bis zum Jahre 1960 nicht entscheidend verändert worden, wenn man von den Befestigungen am Übergang vom inneren zum äußeren Ästuar bei der Wattinsel Minseneroog und den laufenden, aber verhältnismäßig geringen Baggerungen bis zu diesem Zeitpunkt absieht. Die Veränderungen der Jade sind daher auch südlich der Linie Schillig-Mellum verhältnismäßig gering.

Die Außenjade ist in ihrer morphologischen Änderung, die sich vorwiegend in einer Sandbankwanderung von Südwest nach Nordost bemerkbar macht, eingehender untersucht. Über die Menge des transportierten Sandes besteht bisher allerdings auch hier noch keine Klarheit. Es ist aber zu erwarten, daß durch die künstlichen Eingriffe im äußeren

Jadebereich, verbunden mit den dabei erforderlichen laufenden Peilungen und Baggerungen, auch über die Quantität der Sandbewegung im Mündungsbereich der Jade und Weser weitere Erkenntnisse gewonnen werden.

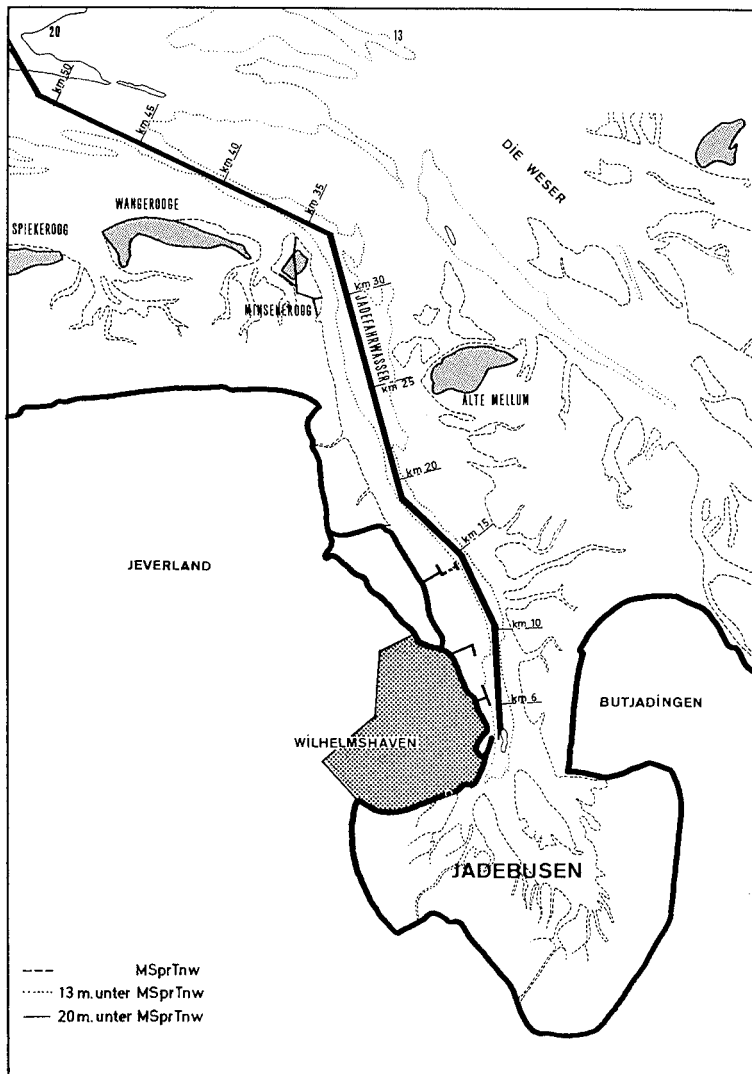


Abb. 1. Die Jade

Die Tideverhältnisse der Jade

Von besonderem Wert für das Frei- und Tiefhalten der Rinnen in der Innen- und Außenjade ist der Jadebusen. Die Tidewassermenge, die bei einer mittleren Tide bei Flut ein- und bei Ebbe ausströmt und damit den engsten Querschnitt am nördlichen Ausgang des Jadebusens im Bereich Wilhelmshaven-Eckwarderhörn passiert, beträgt rd. 450 Mill.

m³. Wichtig ist u. a. die Feststellung, daß die natürliche Sedimentation der Watten im Jadebusen offensichtlich bis ca. 1960 schneller vor sich ging, als die säkulare Veränderung der Wasserstände. Als mittleren Wert kann man dabei ein Abnehmen der Wassermenge in 50 Jahren um ca. 1 % annehmen. Parallel dazu ist zu beobachten gewesen, daß sich der Tidehub in dem genannten Profil bei Wilhelmshaven in einem Zeitraum von 50 Jahren um ca. 1 cm verminderte.

Der Tideverlauf in der Jade unterscheidet sich von den deutschen Tideflüssen insofern, als die Tidewelle am Jadebusen praktisch total reflektiert wird, im Gegensatz zu den bei Tideflüssen sonst auftretenden laufenden Teilreflexionen.

Daher treten folgende Erscheinungen auf:

1. Der Tidehub wächst von See bis zum Rand des Jadebusens von 2,65 m auf 3,75 m.
2. Die Flutdauer nimmt von Wangerooge bis in den Jadebusen von 5,47 Std. auf 6,12 Std., d. h. um 25 Min. zu.
3. Flut- und Ebbestrom kentern bei Wilhelmshaven 10–15 Min. nach Tidehochwasser und Tideniedrigwasser.

In der Außenjade kentern die Ströme etwa 45 Min. später als Tidehochwasser bzw. Tideniedrigwasser. Örtlich kann das allerdings erheblich unterschiedlich sein. Diese Verhältnisse beeinflussen die Strömungen in der Jade maßgeblich. Da in der Innenjade die Tidewassermengen in etwa gleichen Zeiten und mit ungefähr gleich hohen mittleren Wasserständen ein- und ausströmen, sind die Strömungsgeschwindigkeiten bei Ebbe- und Flutstrom weitgehend gleich. Oberwassereinflüsse sind bei den geringen Zuflüssen in die Meeresbucht praktisch auszuschließen.

Aus diesen Strömungsverhältnissen heraus ergibt sich, daß keine starken, einseitig überwiegenden Restströme vorhanden sind.

In der Außenjade werden die Flutströmungen durch die kürzere Flutstromdauer zwar vergrößert, aber durch den größeren Querschnitt beim Flutstrom wieder verkleinert.

Von besonderer Schwierigkeit für die Nutzung der Jade als Hafenzufahrt war der Übergang von der Außen- in die Innenjade. In diesem Bereich lösten sich aus der küstenparallelen Sandbewegung heraus stets Sandbänke, die in periodischen Abständen die Mündung der Jade durchwanderten und somit eine ständige Veränderung der Fahrrinne verlangten.

Um die zunächst für eine Regulierung und später für eine Vertiefung des Fahrwassers notwendige konstante Lage zu erreichen, entschloß man sich bereits frühzeitig (etwa 1910) zur Anlage von Strombauwerken auf der Wattinsel Minseneroog.

Hierdurch konnte zwar die Wanderung des Sandes nicht verhindert werden, aber mit wirtschaftlich vertretbaren Mitteln eine Räumung der Fahrrinne von wieder eingetriebenem Sand durchgeführt werden.

Die Wanderung der Sandbänke im weiteren Bereich der Außenjade wurde durch Strombaumaßnahmen mit festen Bauwerken nicht beeinflusst. Als Anhaltswert können dabei Wanderungsgeschwindigkeiten der Sandbankschwerpunkte von ca. 30–120 m pro Jahr angegeben werden.

Die Vertiefung der Jade

Vom Beginn der Nutzung der Jade als Fahrwasser Ende des 19. Jahrhunderts bis 1945 reichten die natürlichen Tiefen weitgehend aus, so daß insgesamt mit geringen Baggerungen von rd. 40 Mio. m³ und Strombaumaßnahmen bei Minseneroog die erforderlichen Wassertiefen gehalten werden konnten. 1957 entschloß man sich, verbunden mit der

Ansiedlung einer Ölumschlaganlage bei Wilhelmshaven, die Jade den wachsenden Schiffstiefgängen in der Tankerfahrt anzupassen.

Das Jadefahrwasser hatte sich über mehr als ein Jahrzehnt auf Tiefen von 10–11 m unter Tideniedrigwasser gehalten und wurde bis 1974 auf eine Tiefe von im Mittel 19 bis 20 m unter Mittelspringtideniedrigwasser ausgebaut. Diese Maßnahmen wurden ausschließlich mit Baggerungen durchgeführt.

Neben den hydrologischen Faktoren haben die Bodenverhältnisse einen wesentlichen Einfluß auf die Vertiefung der Tiderinne. Maßgebend für die Beschaffenheit des Jadeuntergrundes sind die Sedimente des Pleistozäns mit Überlagerungen aus jüngsten Meeresüberflutungen, wobei sich im Fahrwasserbereich überwiegend grobe Bestandteile, Sande und Kiese ablagern, während in dem angrenzenden Raum Feinsande und Schluffe an der Oberfläche liegen.

Der tiefere Untergrund, der bei den Baggerungen auf 20 m unter MSpTnw erreicht wurde, besteht zum Teil aus Mittelsand, in dem örtlich mächtige Tonschollen eingelagert sind, die durch eiszeitliche Gletscherbewegungen aus größerer Tiefe z. T. senkrecht aufgefaltet sind.

Das Gefüge solcher Fahrinnenbereiche ist nicht einheitlich, da die Bruchstellen der Tonschollen häufig mit Sanden und Schluffen gefüllt sind.

Bei dem Ton handelt es sich zum Teil um den sogenannten Lauenburger Ton, meist hoch vorbelastet.

Die Lagerungsdichte der anstehenden pleistozänen Sande ist sehr hoch, mit Spitzen-druckwerten von 200 kg pro cm².

Um neben anderen Methoden, wie Isotopenuntersuchungen, einen Überblick über die Bewegung der Sande an der Fahrwassersohle zu erreichen, wurden Untersuchungen über Korngrößenverteilung der Sande in der Jade und ihren Sortierungsgrad angestellt. Die Dichte des Probenentnahmenetzes, Durchmischung des Materials durch Baggerungen und die mögliche Erfassung älterer Ablagerungen beeinflussen allerdings die Genauigkeit dieser Ermittlungen negativ.

Bei der Untersuchung der Korngrößenverteilung ergab sich, daß großflächige Feinsandgebiete nur im äußeren Teil des Wangerooger Fahrwassers auftreten und daß die nach Süden angrenzenden groberen Sedimente diesen Bereich nicht erreichen.

Im Übergangsbereich von der Außen- zur Innenjade tritt eine deutliche Vergröberung des Materials auf mit Schwankungen in den Mittel- und Grobsandbereich, z. T. mit kiesigem Charakter. In diesem Bereich bilden sich überwiegend auch Großriffe (Sanddünen) mit Höhen bis zu 5–6 m.



Im Verlauf der Vertiefungsbaggerungen, besonders in der Innenjade, trat insgesamt eine breitere Streuung und Vergröberung der Sande ein. Nach den Analysen und Vergleichen einzelner Proben scheint es charakteristisch zu sein, daß entlang der Fahrrinne ein rhythmischer Wechsel von gröberem und feinerem Material besteht, wobei zeitliche Schwankungen um einen Mittelwert auftreten.

Gröberes Bodenmaterial ist weitgehend ortskonstant. Feinsande sind leicht in Bewegung zu setzen und überqueren Gebiete mit gröberem Bodencharakter. Sie führen zu kurzfristigen Wiedereintreibungen und versuchen vorwiegend Ungleichförmigkeiten in der Sohle, bzw. das natürliche Gleichgewicht, sofern es durch Baggerungen gestört ist, wiederherzustellen.

Während der Vertiefungsbaggerungen wurden kontinuierlich die Querprofile des Fahrwassers und der angrenzenden Bereiche aufgetragen.

Es sollten hierbei der Einfluß der Baggerungen auf die Morphologie der Gewässer-

Querprofile im Jedefahrwasser
Crossprofiles Jade - Waterway

1973 - rot - red 
 1967 - braun - brown 

Ost - Seite
 East - Side
 Böschungen 1: X
 Slopes 1: X

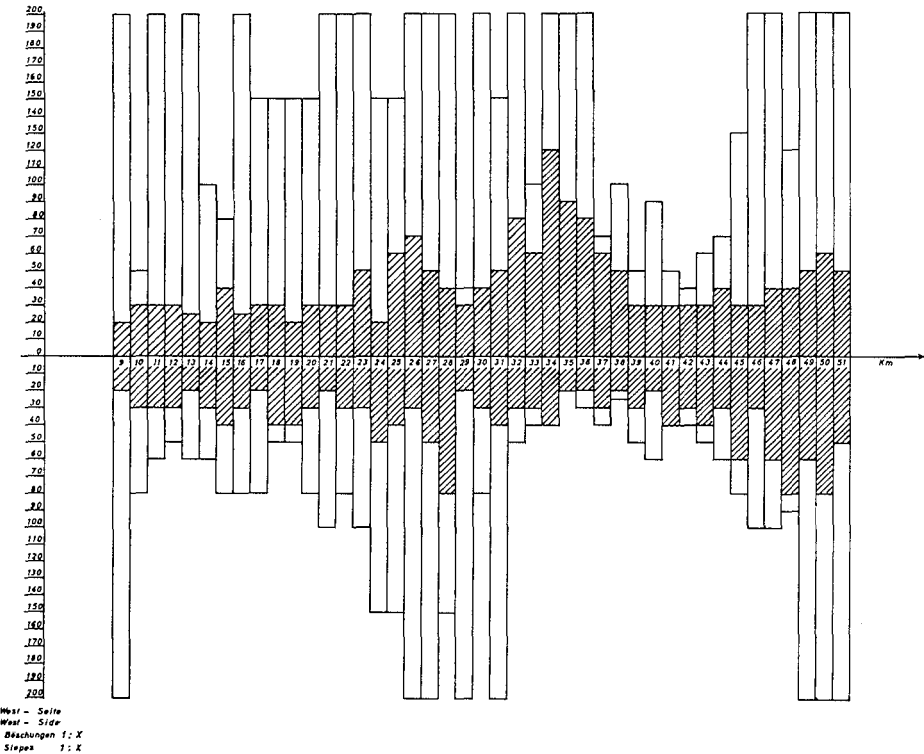


Abb. 2

sohle und die Aufweitung des Durchflußquerschnittes beobachtet werden. Für die verschiedenen, zeitlich aneinanderschließenden Vertiefungsstufen war zudem eine Abschätzung der erforderlichen Baggermenge von Wichtigkeit.

Gutachterliche Äußerungen vermuteten dabei, daß sich die Unterwasserböschungen auf ein Maß von 1:5 einstellen würden. In keinem der betrachteten Querschnitte konnte jedoch ein solch steiles Profil gemessen werden.

Vergleiche mit konzentrierten Sandentnahmen auf engen Bereichen in Tiefen bis zu 40 m unter Gewässersohle zeigten allerdings, daß sich bei ähnlichen Strömungs- und Bodenverhältnissen wie in der Fahrrinne über Zeiträume von mehreren Monaten Böschungen mit einem Verhältnis von 1:3 bis 1:4 hielten. Bei dem Fortschritt der Fahrwasserbaggerungen, wobei überwiegend große Schleppkopfsaugbagger eingesetzt wurden, blieben die Unterwasserböschungen stets flacher als 1:20. Nähere Untersuchungen in Einzelbereichen ergaben, daß langfristig überwiegend mit natürlichen Böschungen von 1:30/1:50 zu rechnen ist. Dieses Maß kann erheblich unterschritten werden, sofern durch künstliche Strombauwerke (Buhnen) eine Festlegung der Böschungsbereiche erfolgt. Bei der Watt-

insel Minseneroog wurden hierbei Böschungen bis nahe an 1:10 gemessen. Es stellte sich aber heraus, daß diese Verhältnisse sehr instabil sein können.

Im Bereich der Strombauwerke und in ihrem nördlichen Anschluß zeigen langfristige morphologische Vergleiche keine gravierenden Unterschiede. Kurzfristig innerhalb von 1–3 Jahren bauen sich jedoch in diesem Bereich räumlich relativ engbegrenzte Unterwassersandbänke auf. Parallel zu einer solchen Sandablagerung von 3–4 m Mächtigkeit in den Jahren von 1970–1973 erfolgte im benachbarten Fahrwasserbereich eine künstliche Vertiefung durch Baggerungen von etwa 3 m gegenüber dem Zustand von 1970.

Da über diese Jahre hinweg bis zum Winter 1973 keine größeren Sturmfluten oder stark erhöhten Kettentiden mit entsprechenden Strömungs- und Wellenverhältnissen aufgetreten waren, hatten sich die aus Ablagerung und im angrenzenden Fahrwasserbereich parallel erfolgten Vertiefung resultierenden Böschungen lange gehalten. Infolge der Sturmfluten im November/Dezember 1973 gerieten diese Unterwasserböschungen bzw. Sandplatten im Bereich der Strombauwerke in Bewegung und führten zu außerordentlich schwerwiegenden Wiedereintreibungen in die Fahrrinne.

Von besonderer Bedeutung ist es dabei, daß in den äußeren Fahrwasserbereichen die Seevermessung der Fahrrinne durch Schlechtwetterperioden stark eingeschränkt werden kann, wodurch solche Wiedereintreibungen unter Umständen erst sehr spät festgestellt werden.

Aus den vergleichenden Auftragungen der verschiedenen Fahrrippenzustände während der Vertiefung ergibt sich, daß man bei den Baggerungen den Böschungsbereich stets intensiv mit beobachten sollte und den u. U. relativ schnell erfolgenden Wiedereintreibungen aus den zu steilen Böschungsbereichen durch Vorratsbaggerungen an den Fahrrippenseiten oder durch Baggerungen auf den Böschungen begegnen sollte. Dies gilt allerdings vorwiegend für Fahrwasserbereiche, in denen durch den Einsatz mit Schleppkopfsaugbaggern allein eine Vertiefung erreicht wurde. War der Einsatz von Eimerkettenbaggern erforderlich zur Beseitigung bindiger Bodenarten, sollte untersucht werden, ob die eingelagerten Tonschichten nicht eine Stabilisierung der Böschung hervorrufen.

Bei den Verhältnissen an der Jade stellte sich allerdings bei den Profilvergleichen heraus, daß Bereiche, in denen bindige Bodenarten, Tone, Mergel gebaggert wurden, trotzdem vergleichbar flache Böschungen zu Fahrwasserbereichen mit reinen Sandhorizonten aufwiesen. Ein Grund hierfür liegt wahrscheinlich in der geringen Mächtigkeit der Tonschichten, z. T. weniger als 1 m, wodurch die darunter liegenden Sande ausgewaschen wurden, was zum Ausgleich der Böschungen geführt haben kann.

Bei der Vertiefung der Fahrrinne zeigte sich bei näheren Untersuchungen in einem Stromspaltungsbereich, daß – wie bereits vermutet – die um mehr als 10 m vertiefte Fahrrinne die Strömungen an sich zog, wodurch die ursprünglich stromteilende Bank überströmt wurde. Obwohl in diesem Bereich noch andere Ursachen für die zunehmende Wanderung dieser stromteilenden Bank zu vermuten sind, wird ein Grund maßgeblich in der Vertiefung des Fahrwassers gesehen. Die Wanderung der hier auch feineren Sedimente über die Bank und die Beseitigung der Wiedereintreibung aus dem Fahrwasser durch Baggerungen führt zu verhältnismäßig steilen Böschungen von 1:20. Diese maßgeblich während der vier letzten Vertiefungsjahre erfolgte Aufsteilung und zugleich Erhöhung der Sandbank zeigt – ähnlich wie bei den Verhältnissen von Minseneroog – eine Neigung zu intervallmäßigen Veränderungen bei höheren Strömungsgeschwindigkeiten und Wellenangriff, was bis zu einem neuen Gleichgewichtszustand in diesem Fahrwasserbereich zu unregelmäßigen stärkeren Wiedereintreibungen führt.

Verlagerung des Heppenser Fahrwassers und der Geniusbank
von 1909 bis 1973

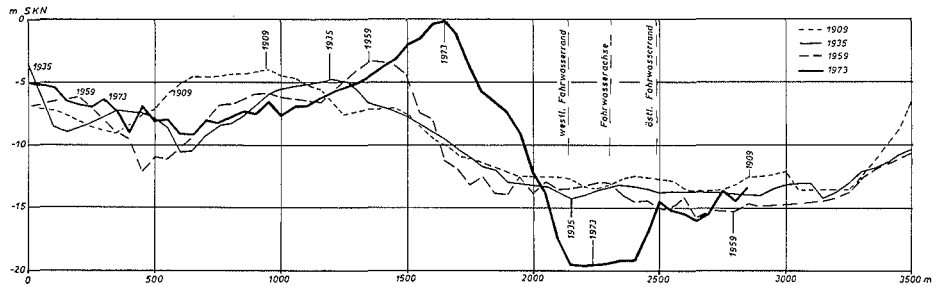


Abb. 3

Veränderungen der Tideverhältnisse infolge der Vertiefung

Zur Abschätzung der voraussichtlichen Veränderungen der Tideverhältnisse in der Jade wurde eine Tidewellenberechnung durchgeführt. Hierbei wurden auch die Einflüsse einer Watteindeichung am westlichen Jadeufer berücksichtigt. Die theoretischen Veränderungen gegenüber einem angenommenen Ausgangszustand von 1965 (13-m-Ausbau der Jade) zeigten ein Absinken der mittleren Tide bis zu 8 cm im Bereich Mellum und eine Erhöhung der gleichen Tide um etwa 2 cm ohne Watteindeichung und bis zu 4 cm mit Watteindeichung (Abb. 4).

In einem wasserbaulichen Versuchsmodell (M. d. L. 1:500, M. d. H. 1:100) der Innenjade wurden die Tideverhältnisse infolge des Ausbaues vergleichsweise untersucht. Veränderungen infolge Ausbaues bzw. Eindeichung konnten nicht festgestellt werden. Weitere Untersuchungen werden an einem Großmodell (M. d. L. 1:750, M. d. H. 1:100), das den Bereich der Jade und Weser umfaßt, z. Z. angestellt, sind aber bisher noch nicht endgültig ausgewertet.

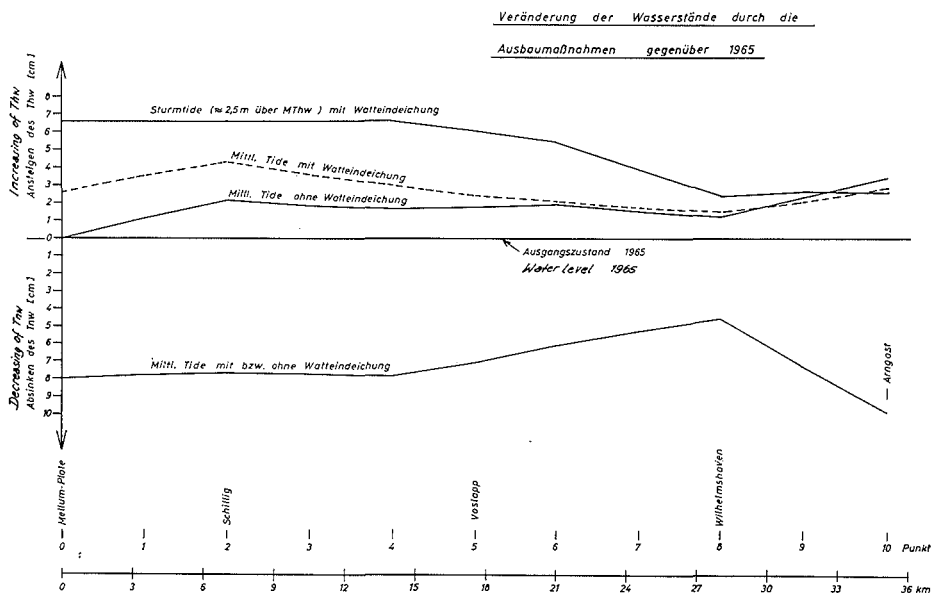


Abb. 4