

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Article, Published Version

**Jürges, Jens; Winkel, Norbert**

## **Ein Beitrag zur Tidedynamik der Unterems**

Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/102628>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Jürges, Jens; Winkel, Norbert (2003): Ein Beitrag zur Tidedynamik der Unterems. In: Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau 86. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 29-31.

### **Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:**

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



## Ein Beitrag zur Tidedynamik der Unterems

DIPL.-ING. (FH) JENS JÜRGES, DR. RER. NAT. NORBERT WINKEL, BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU, DIENSTSTELLE HAMBURG, REFERAT ÄSTUARSYSTEME II

Das Ems-Ästuar bildet den Unterlauf der Ems, der dem Gezeiteneinfluss der Nordsee sowie dem Oberwassereinfluss unterliegt. Das Gebiet des Ems-Ästuars (Bild 1) lässt sich in folgende Teilgebiete gliedern (BfG, 2001): Äußere Emsmündung, Osterems, Außenems, Emders Fahrwasser, Dollart, Unterems und Dortmund-Ems-Kanal sowie Leda-Jümme-Gebiet.

Im Küstenvorfeld der Nordsee vor den Inseln Borkum, Rottumeroog und Rottumerplaat liegt die Äußere Emsmündung. Die Osterems bildet den flacheren Mündungsarm der Ems östlich der Insel Borkum. Die nord-süd ausgerichtete Außenems erstreckt sich vom See-gat Ems bis zur Knock. Von der Knock bis zum Emders Vor- bzw. Außenhafen schließt sich das Emders Fahrwasser an. Für das Emders Fahrwasser sowie im weiteren Verlauf stromauf auch für die Unterems bis Pogum bildet der Geiserücken mit dem Geiseleitdamm die südliche Grenze zum Dollart, ein etwa 100 km<sup>2</sup> großes Becken. Die großen Wattflächen des Dollarts werden durch ein komplexes Prielsystem ent- und bewässert, das über das Grote Gat und den Gatjebogen mit der Außenems verbunden ist. Von Pogum bis Papenburg verläuft die Unterems, in die bei Leer die Leda mündet. Von Papenburg bis zum Wehr bzw. bis zum Schleusenvorhafen Herbrum wird der obere Teil des Ems-Ästuars Dortmund-Ems-Kanal genannt. Bei mittleren Abfluss- und Tideverhältnissen endet der Gezeiteneinfluss am Wehr Herbrum.



Bild 1: Das Ems-Ästuar (Original Data © Landsat 7 ETM, 15.07.2002, Distributed by Eurimage. Dataprocessing by Brockmann Consult). Die Farbe des Wassers gibt die Oberflächentrübung von hellbraun (hohe Trübung) bis schwarzblau (geringe Trübung) wieder.

Die Tideems ist als wichtige Bundeswasserstraße in den letzten 20 Jahren laufend den Bedürfnissen des Schiffsverkehrs angepasst worden (Bild 2). In diesem Zusammenhang sind die Ausbauten für das 5,70 m, 6,30 m und 7,30 m tiefgehende Werftschiff zu nennen. Hierbei ist die Unterems wegen des größeren Tiefganges der Schiffe vertieft worden, um eine Überführung neugebauter Werftschiffe von Papenburg in die Nordsee in einer sogenannten Zwei-Tidenfahrt mit Zwischenstop in Leerort zu ermöglichen. Im Rahmen dieser Ausbauten erfolgte u. a. eine Abflachung der Stapelmoorer Bucht, der Ausbau des Weekeborger Durchstichs, Fahrrinnenverlagerungen sowie Strombau durch neue Buhnen und Leitwerke. Gleichzeitig sind Begradigungen der Deichlinie entlang der Unterems durchgeführt worden. Mit der Indienststellung des Emssperrwerkes bei Gandersum im Jahre 2002 konnten an der Ems Belange des Küstenschutzes und der Schifffahrt verbessert werden. Durch das geschlossene Sperrwerk werden Sturmfluten mit Wasserständen, die höher als NN +3,70 m auflaufen, gekehrt und dringen nicht mehr flussaufwärts vor. In diesen Schutz gelangt auch das Leda-Jümme-Gebiet, das bislang durch das Ledasperrwerk vor Sturmfluten geschützt wird. Das Ledasperrwerk wurde 1954 in Betrieb genommen und entspricht hinsichtlich seiner Torkonstruktion nicht mehr den heutigen Sicherheitsanforderungen. Gleichzeitig besteht nun die Möglichkeit, zur Überführung von Schiffen mit einem Tiefgang bis 8,50 m, die Ems mit Hilfe des Sperrwerkes kurzzeitig anzustauen.

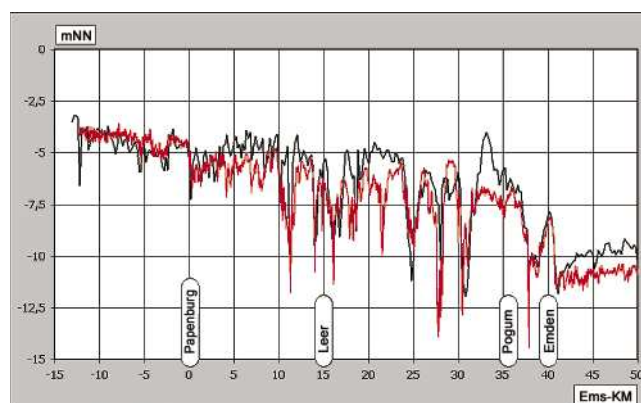


Bild 2: Sohllage des Emsfahrwassers (Fahrrinnenmitte) von Herbrum bis Dukegat für den Zustand im Jahre 1981 in Schwarz und in Rot für den Zustand 1998. Bezug Normal Null (NN).

Durch den Ausbau der Unterems hat sich die Tidedynamik in den letzten 20 Jahren stark verändert (BAW 1996). So stellte sich 1981 am Pegel Papenburg bei mittleren Tideverhältnissen und bei einem

Oberwasserzufluss der Ems von etwa  $25 \text{ m}^3/\text{s}$  ein Tidehub von rd.  $2,90 \text{ m}$  ein (Bild 3). Dagegen betrug 1998 der Tidehub rd.  $3,70 \text{ m}$  bei vergleichbaren Verhältnissen. Die Veränderung des Tidehubes ist in erster Linie darauf zurückzuführen, dass das Tideniedrigwasser (Bild 4) ausbaubedingt sehr stark abgesunken ist. Als Folge der veränderten Tidedynamik hat sich in der Ems eine Asymmetrie der Tideprozesse in der Flut- und Ebbephase entwickelt, die zu einer ausgeprägten Flutstromdominanz (im Bild 5 bezogen auf die maximalen Strömungen) führte.

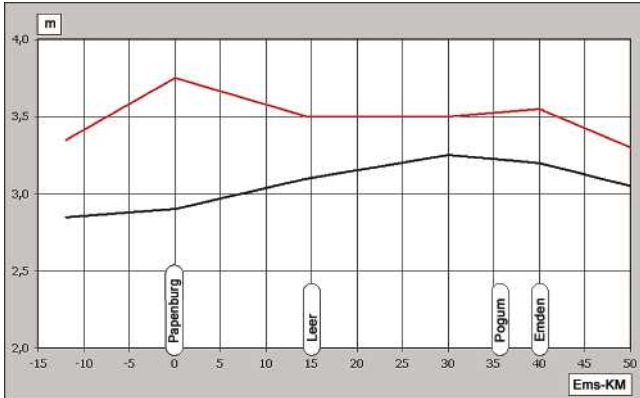


Bild 3: Schematisierte Darstellung des Tidehubes für 1981 in Schwarz sowie für 1998 in Rot bei mittleren Tideverhältnissen und bei einem Oberwasserzufluss der Ems von rd.  $25 \text{ m}^3/\text{s}$ .

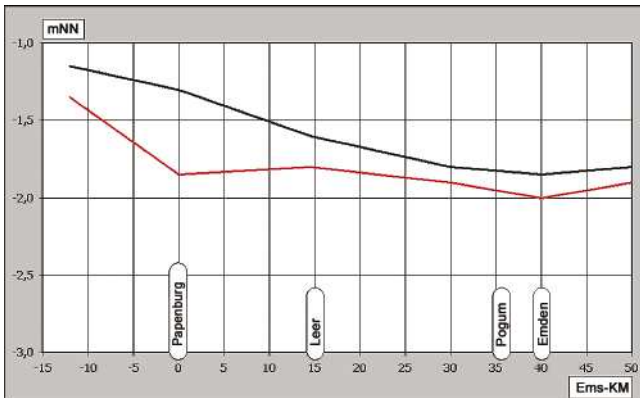


Bild 4: Schematisierte Darstellung des Tideniedrigwassers für 1981 in Schwarz sowie für 1998 in Rot bei mittleren Tideverhältnissen und bei einem Oberwasserzufluss der Ems von rd.  $25 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Die Asymmetrie der Tidekurve (Wasserstandsverlauf) hat nicht nur die Amplitude der Tidewelle und den Anstieg des Wasserstandes insbesondere in der ersten Flutphase verändert, sondern auch die Laufzeit der Tidewelle. Die Veränderung in der Laufzeit der Tidewelle macht sich dadurch bemerkbar, dass die Unterschiede der Eintrittszeiten z. B. des Tidehochwassers von einem Pegel zum anderen abgenommen haben. Diese Abnahme entwickelte sich aber nicht erst durch die Ausbauten der Unterems, sondern schon lange vor 1981 (BAW 2000).

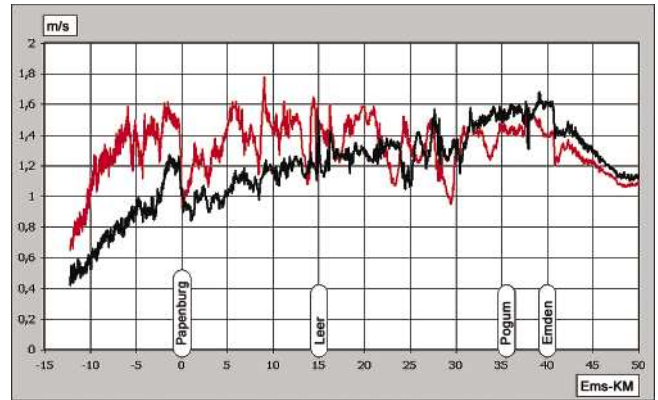


Bild 5: Die maximale Flut- (rot) und Ebbestromgeschwindigkeit (schwarz) für den topographischen Zustand 1998 bei mittleren Tideverhältnissen und bei einem Oberwasserzufluss der Ems von rd.  $25 \text{ m}^3/\text{s}$ . Diese von einem zweidimensionalen mathematischen Modell berechneten Geschwindigkeiten stellen die Mittelwerte über die Wassersäule in der Fahrrinnenmitte dar.

Um dies zu verdeutlichen sind exemplarisch für den Pegel Pogum die Eintrittszeitdifferenzen des Tidehochwassers bezogen auf den Pegel Papenburg für den Zeitraum 01/50 bis 12/95 in Bild 6 aufgetragen. Hierfür wurde jeweils für dieselbe Tide die entsprechende Eintrittszeit des Hochwassers am Pegel Pogum und am Pegel Papenburg ermittelt. Anschließend wurde die Differenz durch Subtraktion der Eintrittszeit

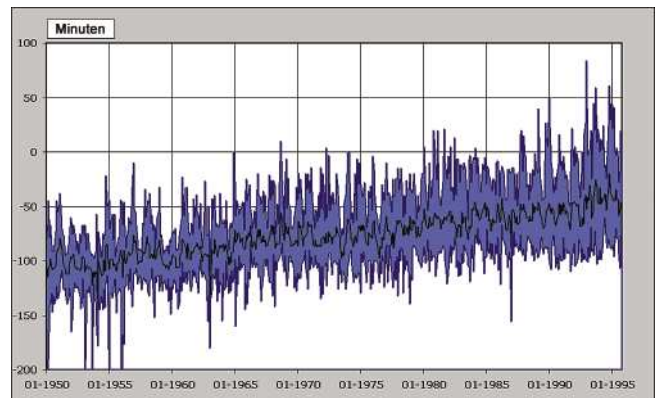


Bild 6: Die Eintrittsdifferenzen (in Minuten) des Tidehochwassers (blau) zwischen dem Pegel Pogum und dem Pegel Papenburg von 1950 bis 1995. Hierbei bilden die minimalen und maximalen Differenzen für jeden Monat die untere bzw. die obere Berandung (dunkelblau). Die schwarze Kurve in dem blauen Bereich stellt den monatlichen Mittelwert dar. Eine negative Differenz gibt an, um wie viele Minuten das Hochwasser in Pogum früher eintritt als in Papenburg. Ist die Differenz gleich Null bedeutet dies, dass das Hochwasser an den Pegeln zeitgleich eintritt. Ist die Differenz größer Null, tritt das Hochwasser in Papenburg früher ein als in Pogum (Eintrittszeitverspätung).

am Pegel Pogum von der am Pegel Papenburg berechnet. Die minimalen und maximalen Eintrittszeitdifferenzen für jeden Monat bilden die untere bzw. die obere Berandung der Menge aller Eintrittszeitdifferenzen, die in blau aufgetragen ist. Die schwarze Kurve in dem blauen Bereich stellt den monatlichen Mittelwert dar. Eine negative Differenz gibt an, um wie viele Minuten das Hochwasser in Pogum früher eintritt als in Papenburg. Ist die Differenz gleich Null bedeutet dies, dass das Hochwasser an den Pegeln zeitgleich eintritt. Ist die Differenz größer Null, tritt das Hochwasser in Papenburg früher ein als in Pogum (Eintrittszeitverspätung). Es ist deutlich eine kontinuierliche Abnahme der Eintrittszeitdifferenzen zu sehen. Während 1950 das Tidehochwasser in Pogum im Monatsmittel ca. 100 Minuten früher als in Papenburg eintrat, liegt dieser Wert 1995 bei ca. 50 Minuten.

Wird das Tidehochwasser als der Kamm einer Welle angesehen, grenzt es sicherlich an ein Wunder, dass der Wellenkamm früher am Ende eines Weges zu sehen ist als davor. Erklärbar wird dieses Phänomen dadurch, dass die Tidewelle keine Einzelwelle ist, sondern sich aus vielen Teilwellen, den sogenannten Partialwellen oder Partialtiden, zusammensetzt. Die Partialtiden der Gezeiten des Meeres werden im Wesentlichen durch die Wirkungen der orts- und zeitabhängigen Gravitationskräfte von Sonne und Mond sowie der Rotation der Erde bestimmt. Neben den astronomischen Einflüssen, welche die Hauptfrequenzen der Gezeiten bestimmen, treten insbesondere in den Flachwassergebieten der Schelfmeere und küstennahen Meeresbereiche zusätzliche Partialwellen auf, die Linearkombinationen der Hauptfrequenzen sind und deren Entstehung (in der Regel) ausschließlich den nichtlinearen dynamischen Prozessen zugeschrieben werden kann. Die nichtlinearen dynamischen Prozesse bestimmen die Amplitude und die Phasenlage der Partialtiden. Das Amplitudenverhältnis und die Phasenlage der Partialtiden untereinander bestimmen wiederum den Einfluss auf die Gezeitenwelle.

Ändern sich die nichtlinearen dynamischen Prozesse, ändert sich damit auch die Konstellation der Partialtiden untereinander. Dies kann zu einer Vorverlagerung der Phasenlage des Maximums (Tidehochwasser) der aus den Partialtiden zusammengesetzten Tidewelle führen, sodass das Tidehochwasser z. B. eher in Papenburg eintritt als in Pogum.

Eine mögliche Ursache dieses Phänomens kann eine plötzliche Änderung der Sohlrauheit sein, die über die Bodenreibung (dynamischer Prozess) das Amplitudenverhältnis und die Phasenlage der Partialtiden beeinflusst. Der hohe Schwebstoffgehalt der Ems führt zu hohen Konzentrationen von feinkörnigem

Material (Schlick) an der Sohle. Dieses durch die bodennahe Strömung in Bewegung gesetzte Material setzt der Strömung weniger Widerstand entgegen als grobes konsolidiertes Material. Dadurch bildet sich im Wasserkörper kein typisches Geschwindigkeitsprofil mehr aus, sondern das Wasser kann mit größeren Strömungsgeschwindigkeiten auf dem Schlick gleiten.

Zusammenfassend muss festgestellt werden, dass die Tidekurve im Bereich des Emders Fahrwasser und der Unterems asymmetrisch verformt ist. Diese Verformung nimmt nach stromauf zu. Die Flutdauer ist verkürzt (folglich Ebbdauer verlängert) und die Steiggeschwindigkeit des Wasserstandes ist insbesondere in der ersten Flutphase erhöht. Durch die Asymmetrie der Tideprozesse in der Flut- und Ebbe-phase ist in der Ems eine ausgeprägte Flutstromdominanz entstanden. Diese Dominanz wird durch den Dichtegradienten in der Brackwasserzone gestärkt. Die Flutstromdominanz, die aus verkürzter Flutstromdauer und hohen Steiggeschwindigkeiten des Wasserstandes in der ersten Flutphase resultiert, führt in der Feststoffbewegung zu einem größeren Übergewicht der Transporte in der Flutstromphase gegenüber der Ebbestromphase. Durch das zeitweilig auftretende Phänomen der Eintrittszeitverspätung (s. o.) des Tidehochwassers wird dieser Effekt noch verstärkt. Denn in dieser Zeit kann beobachtet werden, dass der Tidehub durch Absinken des Tideniedrigwassers größer wird und gleichzeitig die Flutstromdauer abnimmt (BAW 2000). Dies führt zu sehr großen Flutstromgeschwindigkeiten. Die Ems hat folglich das Bestreben, die Feststoffe unablässig periodisch stromauf zu pumpen. In der vergangenen Jahrzehnten hat sich durch die Veränderung der Tidedynamik und den damit gekoppelten Transportprozessen das System Ems mehr und mehr mit Feststoffen „aufgeladen“ (Bild 1).

## Literaturverzeichnis

BAW (1996): Gutachten zur Beweissicherung – Änderung der Tidedynamik – Bedarfsweise Vertiefung der BWS Ems an das 5,70 m tiefgehende Bemessungsschiff. Gutachten BAW 98 53 3455, Bundesanstalt für Wasserbau - Außenstelle Küste. Unveröffentlicht.

BAW (2000): Verifikation des Emsmodells sowie die Analyse und Synthese des Wasserstandes in der Unterems. Sachstandsbericht BAW 93 53 3390, Bundesanstalt für Wasserbau - Außenstelle Küste. Unveröffentlicht.

BfG (2001): Bagger- und Klappstellenuntersuchungen im Ems-Ästuar – Klappstellen 1 bis 7 -. BfG-1329, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz.