

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Article, Published Version

Schubert, Reiner; Rahlf, Holger

Hydrodynamik des Weserästuars

Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/102631>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Schubert, Reiner; Rahlf, Holger (2003): Hydrodynamik des Weserästuars. In: Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau 86. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 49-53.

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.



Hydrodynamik des Weserästuars

DR.-ING. REINER SCHUBERT, DIPL.-ING. HOLGER RAHLF, BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU, DIENSTSTELLE HAMBURG, REFERAT ÄSTUARSYSTEME I

Unter- und Außenweser

Als Unterweser wird der Bereich der Weser zwischen Bremen (km -4, Weserwehr) und Bremerhaven (km 65) bezeichnet. Sie ist tidebeeinflusst und als Seeschiffahrtsstraße ausgebaut. Schutzdeiche und Sturmflutsperrwerke begleiten die Weser in diesem Abschnitt. Ab Bremerhaven erhält die Weser die Bezeichnung Außenweser (km 65 bis 126). Wattwasserscheiden stellen in der Außenweser die seitlichen Begrenzungen dar und grenzen sie zur Jade und zum allgemeinen Wattenmeer ab. Zwei Leitwerke auf Langlütjensand und Robbenplate sowie zahlreiche Buhnen legen in diesem Bereich den Verlauf der Fahrrinne fest. Bevor zu Anfang des 20. Jahrhunderts diese Festlegung durchgeführt wurde, gab es signifikante morphologische Änderungen der Rinnen der Außenweser, die die Schifffahrt mehr oder minder behinderten. Bild 1 zeigt die Topographie (Stand: 2000) der Unter- und Außenweser.

Der 9 m–Ausbau der Unterweser (1973 - 1979) sowie der SKN–14 m Ausbau der Außenweser (1998 - 1999) stellen die beiden letzten größeren Eingriffe in die Unter- bzw. Außenweser dar, mit denen das Ästuar an die heutigen Erfordernisse einer modernen Wasserstraße angepasst wurde. Dabei waren und sind neben den beiden bedeutenden Seehäfen Bremen und Bremerhaven auch die Seehäfen Nordenham (1998: 2,0 Mio. t) und Brake (1998: 4,8 Mio. t) zu berücksichtigen. In den bremischen Häfen wurden 2002 erstmals über 3 Mio. TEU abgewickelt. Bemerkenswert sind dabei die hohen Zuwachsraten, z. B. im 5-Jahresvergleich von +77,8 %, was für den Zeitraum 1997 bis 2002 einer durchschnittlichen Zuwachsrate von 12,2 % entspricht. Der Anteil der Container am gesamten Stückgutumschlag beträgt nunmehr 84,4 %. Der im Jahre 1991 fertiggestellte Containerterminal CT III wurde verlängert (CT III a). Die Übergabe erfolgte im November 2003. Eine weitere Verlängerung der Kaje (CT IV) ist in Planung.

Die Entwicklung der Containerschifffahrt und zahlreiche Studien zeigen, dass der Gütertransport durch größere Schiffseinheiten wirtschaftlicher ist. Die Reedereien haben entsprechende Schiffseinheiten in der Planung bzw. schon im Bau. Um die Wettbewerbsfähigkeit der Seehäfen an der Weser weiterhin zu gewährleisten, besteht der dringende Wunsch der Hafenwirtschaft und der Länder für eine weitere Anpassung der Unter- und Außenweser. Daher wird in der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung über weitere Ausbau-

maßnahmen nachgedacht. Die Politik, die Verbände aber auch die Öffentlichkeit fordert eine „ganzheitliche Betrachtung“ von Unter- und Außenweser. Dabei sind auch die Änderungen der Hafenstrukturen und die damit verbundenen Baumaßnahmen (z. B. Verfüllung des Überseehafens in Bremen) und folgende Besonderheiten der Weser sind zu betrachten:

- Die Fahrrinne der Außenweser ist im Bereich von km 79 bis 90 durch Leitwerke festgelegt. Es ist zu untersuchen, ob deren geometrischen Abmessungen (Höhe und Länge) den heutigen und auch zukünftigen Erfordernissen entspricht.
- Die Buhnenfelder der Unterweser sind bis km 48,5 fast vollständig aufgeschlickt. Auch aus diesem Grund ergibt sich ein Trend zur Eintiefung in der Unterweser, die mit der Ausbildung großer Sohlformen (Transportkörper) verbunden ist. Die morphologische Reaktion des Systems auf eine weitere Vertiefung muss daher detailliert untersucht werden.

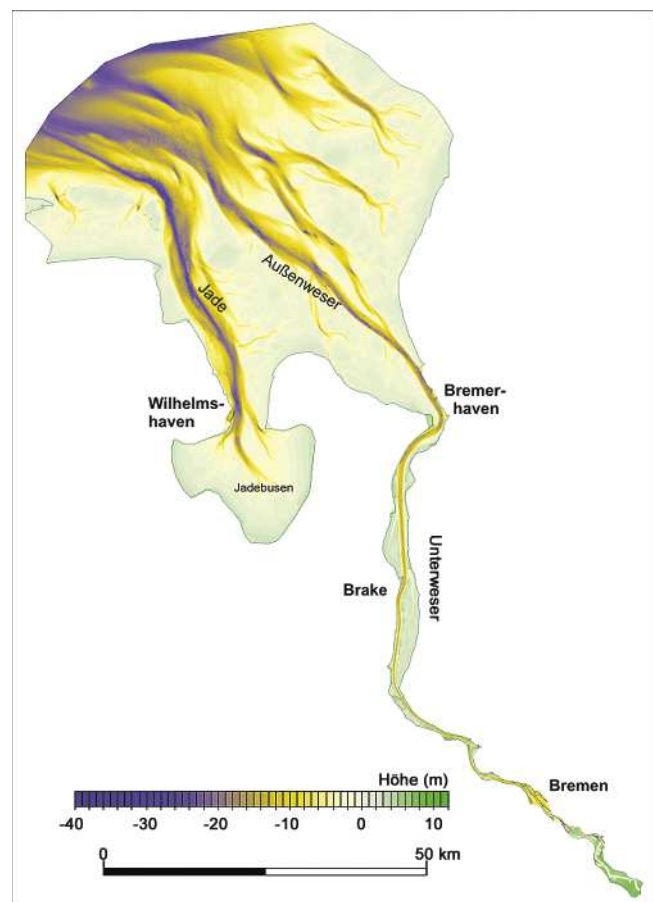


Bild 1: Topographie der Außen- und Unterweser

Die Forderungen der heutigen Umweltgesetzgebung in Kombination mit dem Klagerecht der Umweltverbände nach dem Bundeswasserstraßengesetz (BWStrG) und zunehmend auch wirtschaftliche Aspekte (Unterhaltung der Seeschiffahrtsstraße) erfordern neben einer detaillierten Planung des Ausbaus auch eine vertiefte fachwissenschaftliche Untersuchung der hydrodynamischen und morphologischen Änderungen. Problembereiche sind hierbei der möglicherweise verstärkte Stromauftransport von (Fein-)Sedimenten und die Ausbildung und Dynamik der Transportkörper. Im Bereich der Brackwasserzone eines Ästuars kann dieses nur auf Basis eines dreidimensionalen, hydrodynamisch-numerischen Modells untersucht und bewertet werden.

Die Bundesanstalt für Wasserbau, Dienststelle Hamburg, betreibt ein derartiges Modell, welches ständig weiterentwickelt und an die gestiegenen Anforderungen der Auftraggeber angepasst wird. Eingesetzt wird derzeit das Programmsystem UNTRIM/Sedimorph. Das Programm UNTRIM berechnet auf einem unstrukturierten Gitter die hydrodynamischen Grundgleichungen, aus denen sich in jeder Gitterzelle der Wasserstand und über die Tiefe verteilte Strömungsgeschwindigkeiten ergeben. Mit Hilfe der Transportgleichung wird gleichzeitig der Transport und damit die zeitlich variable Verteilung gelöster und suspendierter Stoffe berechnet. Alle notwendigen Daten werden an das Programm Sedimorph übergeben, welches

- auf Basis der lokalen Verteilung der Sedimente und Sohlformen die Bodenreibung,
- auf Basis der abgeleiteten Bodenschubspannungen die Erosion und Sedimentation von Sedimenten an der Gewässersohle,
- auf Basis der sohlnahen Strömungsgeschwindigkeiten den Transport der Sedimente an der Sohle
- und daraus insgesamt die Bodenevolution, d. h. die zeitliche morphologische Entwicklung des Bodens,

berechnet.

Zum Betrieb des Modells sind für das gesamte Modellgebiet Eingangsdaten (Topographie, Sedimentverteilung u. a.), für die Modellränder Steuerdaten (Wasserstände, Zuflüsse, Windfelder u. a.) und im Modellgebiet Kalibrierungsdaten (Wasserstände, Strömungen, Konzentrationen u. a.) notwendig.

Neben der Erfassung der standardisierten gewässerkundlichen Größen, Pegelkurven und Oberwasserabflüsse, wurde ein Sondermessprogramm konzipiert und durchgeführt. Dieses beinhaltete zur Steuerung des Modells Sondermessungen auf dem seeseitigen Rand sowie ADCP-Strömungsmessungen zur Kalibrierung des Modells. Mit ihnen wurden an ausgewählten Positionen vertikale Strömungsprofile (Workhorse-Messungen) und über ausgewählte Querschnitte

te die Strömungsverteilung (schiffsgestützte Messungen) erfasst. In Bild 2 sind die Positionen der stationären Geräte mit Wh1 bis Wh4 bezeichnet. Die vertikalen Geschwindigkeitsprofile wurden vom 31. Mai 2002 bis zum 12. Juni 2002 als 1-minütige Mittelwerte abgelegt.

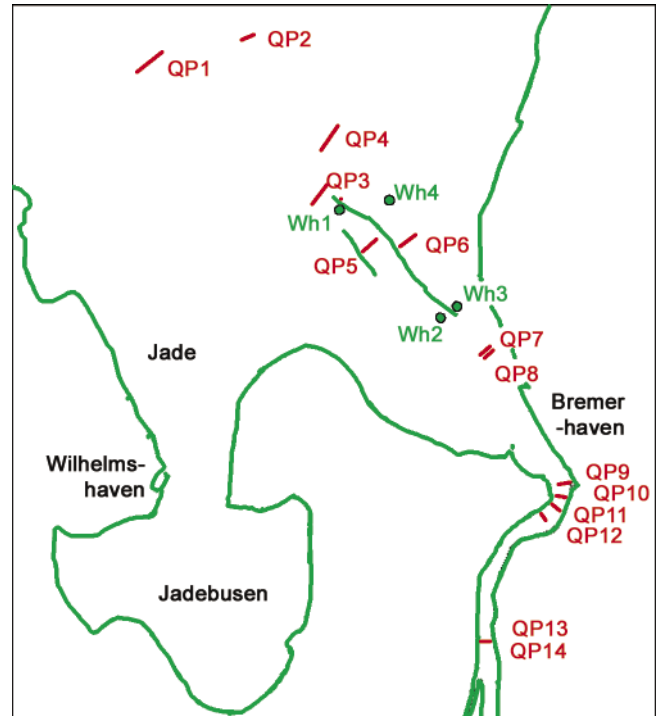


Bild 2: ADCP – Messungen 2002

Die Positionen der Querprofilmessungen sind mit QP1 bis QP14 bezeichnet (Bild 2). Diese Messungen wurden mit zwei Schiffen vom 6. Juni 2002 bis 19. Juni 2002 durchgeführt, wobei jeweils zwei Querschnitte (QP1 + QP2, QP3 + QP4 usw.) für den gleichen Zeitraum und für eine volle Tide erfasst wurden.

Modellierung

Für das Jade–Weser–Ästuar wurde ein dreidimensionales, hydrodynamisch–numerisches Modell auf Basis eines unstrukturierten Gitters aufgebaut. Die laterale Auflösung orientiert sich an den modelltechnischen und topographischen Gegebenheiten, die vertikale Auflösung wurde zu 1 m gewählt. Die aktuellen Peildaten wurden soweit berücksichtigt, wie sie zurzeit der Modellerstellung vorlagen.

Eine erste, vorläufige Kalibrierung erfolgte durch den Vergleich der berechneten und gemessenen Wasserstände an den Pegelpositionen des Ästuars. Anhand des Vergleichs zwischen gemessenen und berechneten Strömungsgeschwindigkeiten soll die Kalibrierung weiter verbessert werden. Auf Basis dieser ersten Ergebnisse werden im Folgenden die komplexen Strömungsverhältnisse in der Außenweser dargestellt.

Bild 3 oben zeigt einen Ausschnitt von zwei Tiden der an Position WH2 gemessenen Strömungsgeschwindigkeiten in einer Zeit–Tiefen–Darstellung. Die vertikale Auflösung beträgt 0,5 m, die horizontale (zeitliche) Auflösung 10 Minuten. Die gleiche Darstellung für die Modellergebnisse zeigt Bild 3 in der Mitte, wobei allerdings die vertikale Auflösung 1 m und die zeitliche 20 Minuten beträgt. Als erstes ist zu erkennen, dass die Modellergebnisse zurzeit noch einen „glatteren“ Verlauf haben. Zu bemerken ist aber, dass das prinzipielle Systemverhalten vom Modell gut wiedergegeben wird.

Auffällig ist die Flutstromdominanz an dieser Position. Die Flutströmungen sind sowohl in den Messungen als auch in den Modellergebnissen höher und ausgeprägter. Deutlich ist der zeitliche Unterschied der Kenterung der Ebbeströmung zwischen Sohle und Wasseroberfläche. Die Zeiträume mit geringen Geschwindigkeiten sind in Sohlnähe wesentlich länger als an der Gewässeroberfläche. In den Messungen sind speziell bei einsetzender Flutströmung signifikante Einflüsse barokliner Kräfte zu erkennen. Der Transport von gelöstem Salz führt infolge der Verteilung des Salzgehalts und der Strömungsgeschwindigkeiten über die Wassersäule zu instabilen Schichtungen, die durch Durchmischungsprozesse abgebaut werden. Von einer instabilen Schichtung wird dann gesprochen, wenn schwereres Wasser (z. B. infolge einer höheren Substanzkonzentration) sich über leichterem Wasser befindet. Es findet bereichsweise eine turbulente Durchmischung über die Wassersäule statt, wodurch auch Geschwindigkeitsgradienten abgebaut werden. Dies ist in Bild 3 zu erkennen. Die Tagesungleichheit der Tiden ist in den Strömungen abzulesen. Ein höherer Tidenhub bewirkt eine Zunahme der Strömungen und damit der Transportwege. Das Bild 3 unten zeigt in der Zeit–Tiefen–Darstellung den berechneten Salzgehalt an der gleichen Position. Spezielle Messungen, die eine derartige Darstellung erlauben, liegen nicht vor. Die höher auflaufende Flut am Abend (06.06.2002, 22:00 Uhr) zeigt höhere Salzgehalte als die am Vormittag (09:30 Uhr) des gleichen Tages.

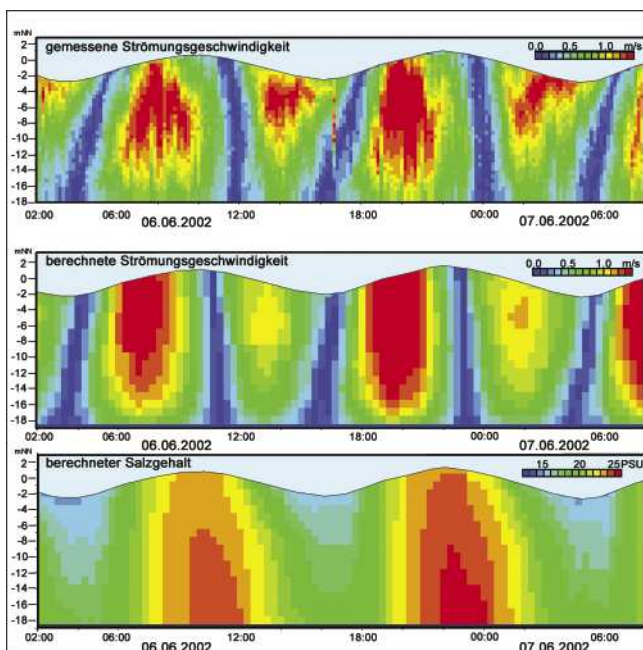


Bild 3: Bei Weser-km 79,5 (querab Robbensüdsteert) gemessene (oben) bzw. berechnete (Mitte) Strömungsprofile und berechnete Salzgehaltsprofile (unten)

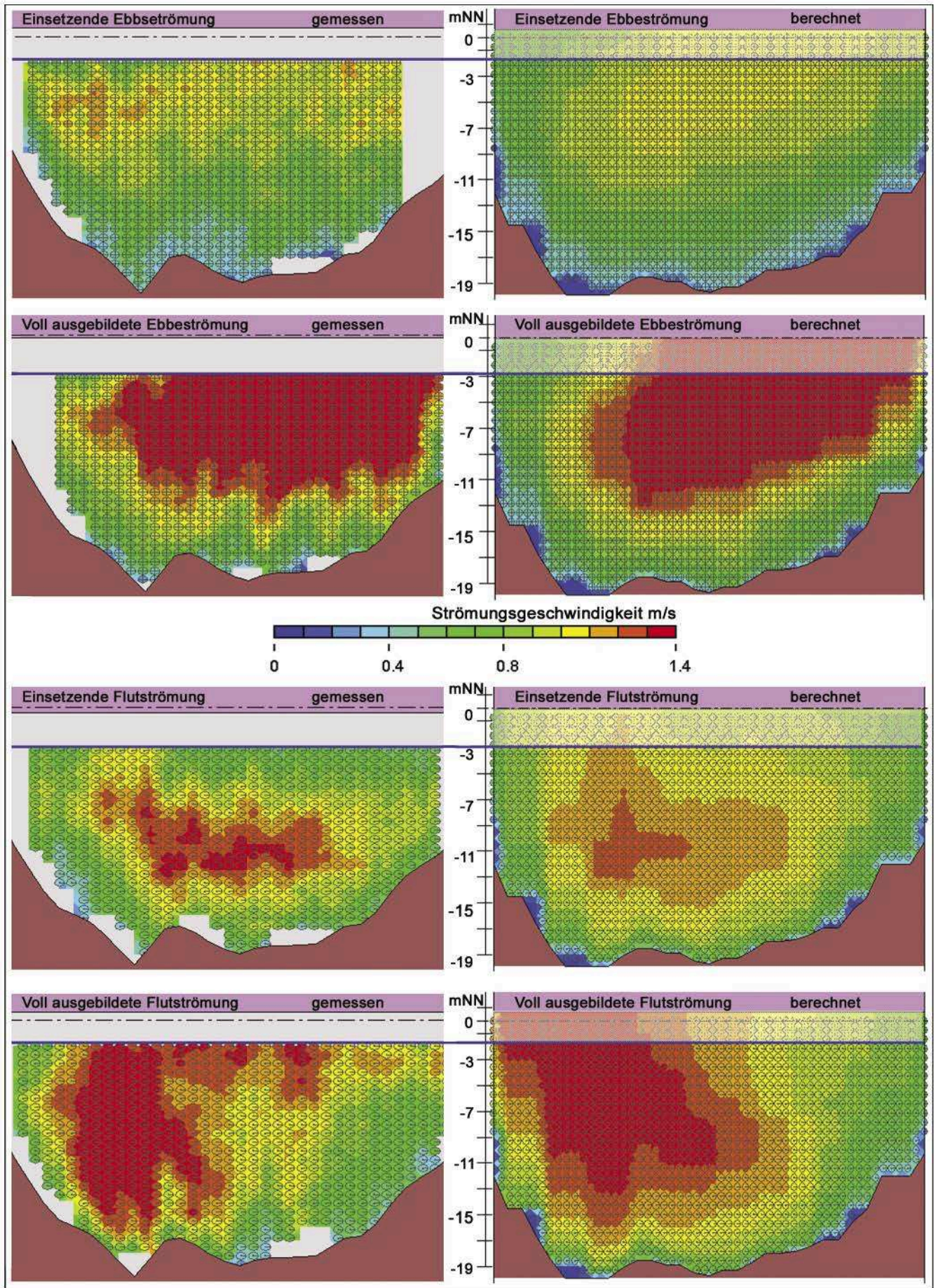


Bild 4: Stromab Bremerhaven (QP8) gemessen (links) und berechnete (rechts) Strömungsprofile für ausgewählte Zeitpunkte der Ebbe- (oben) bzw. Flutphase (unten)

Bild 4 zeigt eine Gegenüberstellung stromab von Bremerhaven gemessener und berechneter Flut- bzw. Ebbeströmungen (Querschnitt QP8, siehe Bild 2). Beispielhaft sind folgende vier Zeitpunkte dargestellt: einsetzende und voll ausgeprägte Ebbeströmung, einsetzende und voll ausgeprägte Flutströmung. Sowohl die Messungen als auch die Berechnungen zeigen, dass

- die Ebbeströmung ihr Schwergewicht am östlichen (rechten) und die Flutströmung am westlichen (linken) Ufer hat.
- die Ebbeströmung sich von der Oberfläche aus entwickelt, während sich die Flutströmung im Bereich der halben Wassertiefe entwickelt.

Wenn auch die Messungen deutlich turbulenter Strömungen zeigen als die zurzeit vorliegenden Berechnungsergebnisse, so ist doch schon von einer guten Übereinstimmung zu sprechen. Eine Optimierung der Modellparameter (örtliche Diskretisierung, Kalibrierungsparameter usw.) dürfte eine weitere Verbesserung im Vergleich Messung / Rechnung bringen.

Ausblick

Es wurden erste Ergebnisse des im Aufbau befindlichen 3D–HN–Modells des Jade–Weser–Ästuars gezeigt. Basis des Modells ist das Programmsystem UNTRIM/Sedimorph. Die Berechnungsergebnisse wurden Messdaten gegenübergestellt, die bei einer speziellen Messaktion im Untersuchungsgebiet gewonnen wurden. Ein detaillierter Vergleich mit den Messungen speziell in den Problembereichen zwischen den Leitwerken und im Blexer Bogen steht noch aus. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen aber, dass die spezifischen Charakteristika der komplexen, durch barokline Effekte beeinflussten Strömungen durch das Modell wiedergegeben werden. Nach der endgültigen Verifikation des Modells steht in absehbarer Zeit ein Werkzeug zur Verfügung, mit dem die aktuellen, aber auch zukünftige Aufgaben der Optimierung und Anpassung bearbeitet werden können. Es ist insbesondere davon auszugehen, dass infolge der guten Approximation der Strömungen auch eine den fachlichen Anforderungen entsprechende Modellierung des Sedimenttransportes durchgeführt werden kann und damit

- die ausbaubedingten Wirkungen geplanter Maßnahmen untersucht,
- die geplanten Maßnahmen hinsichtlich der ausbaubedingten Wirkungen und der zukünftigen Unterhaltung optimiert,
- aber auch Strombaukonzepte zur Minimierung der aktuellen Unterhaltungsaufwendungen untersucht

werden können.

Es zeigt sich, dass die Entwicklung und der Betrieb eines derartigen Modells auf umfangreiche, hochwertige Naturmessungen angewiesen ist. Nur die Kombination von Naturmessungen und Modellberechnungen kann zu einem vertieften Systemverständnis führen.