

# Fahrversuche zur Schiffsdynamik in der Moderortrinne

Christian Maushake, Klemens Uliczka, Bundesanstalt für Wasserbau – Abteilung Küste, Hamburg  
Gerhard Wübbena, Gerald Boettcher, GeoService Satellitengestützte Vermessungen GmbH, Garbsen

## Zusammenfassung

Im Auftrag des WSA Stralsund hat die BAW – AK in Zusammenarbeit mit dem Ingenieurbüro GeoService Untersuchungen zur Schiffsdynamik durchgeführt. Mit einem für das Revier typischen Motorschiff wurden Fahr Situationen unter realen Bedingungen initiiert. Durch ein begleitendes Messprogramm, das aus einem rheologisch / geotechnischen und einem schiffsdynamischen Teil bestand, konnten die dabei auftretenden Wechselwirkungen zwischen Schiff und Wasserstraße analysiert werden. Für die Messungen der Schiffsbewegung wurde das Verfahren der präzisen, differentiellen GPS – Messungen (PDGPS) eingesetzt.

## Schlüsselwörter:

Schiffsdynamik, Squat, Moderortrinne, PDGPS, nautische Sohle

Die bei der Revierfahrt auftretenden Wechselwirkungen zwischen Schiff und Wasserstraße werden durch schiffsdynamische, nautische und morphologische Prozesse bestimmt. Damit werden sowohl Aspekte der „Leichtigkeit und Sicherheit“ des Schiffsverkehrs, als auch der wirtschaftlichen Unterhaltung von Wasserstraßen berührt. Vornehmlich war die Frage zu beantworten, inwieweit einseitige Verengungen der Fahr Rinne durch Eintreiben von Weichsedimenten (Feinsand, Torfmudde

etc.) die Schiffsdynamik bei mittlerer und außermittiger Fahrt derart beeinflusst, dass die Festlegung der nautischen Sohle lokal neu definiert werden muss. Deshalb hat das WSA Stralsund die BAW – AK beauftragt, ein Untersuchungsprogramm durchzuführen, mit dem eine synergetische Beurteilung aller Einflussgrößen möglich ist, die das Fahrverhalten eines für das Revier typischen Schiffes für die lokalen Bedingungen der Moderortrinne bei mittlerer und extrem außermittiger Fahrt beein-

flussen.

Die Moderortrinne ist Teil des Peenestromes, der wiederum den Greifswalder Bodden mit dem Oderhaff verbindet (Abb.1). Sie bildet die Fahr Rinne in einer Aufweitung des Peenestromes, etwa zwischen den Städten Usedom und Lassan. Die morphologischen Verhältnisse sind von Weichsedimenten, teils mit hohen organischen Anteilen geprägt.

Als Versuchsschiff für die Untersuchungen wurde das für dieses Revier typische Einschrauben – Motorschiff „MS DÖMITZ“ gechartert, welches 1959 für die Watt- und Flussfahrt konzipiert und gebaut wurde.

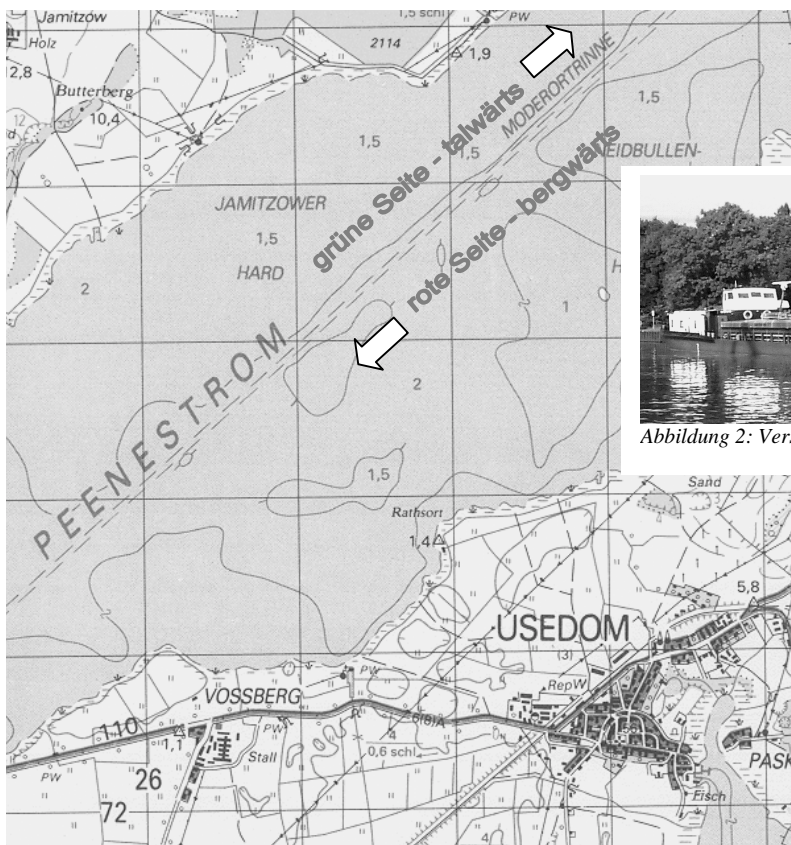


Abbildung 1: Untersuchungsgebiet „Moderortrinne“



Abbildung 2: Versuchsschiff „MS Dömitz“

Ziel des Messprogramms war es, mittige und außermittige Fahr Situationen unter realen Bedingungen zu initiieren und messtechnisch zu begleiten, wobei sich ein Teil mit den rheologisch / geotechnischen Messgrößen befasste und ein anderer Teil mit den schiffsdynamischen Parametern.

Es wurden 5 Versuchsfahrten mit der „MS Dömitz“ wie folgt durchgeführt:

Fahrt	Richtung*	Geplanter Kurs
1	Talfahrt	Mitte
2	Bergfahrt	Fahrrinne (Nullfahrt)
3	Talfahrt	Roter Tonnenstrich
4	Bergfahrt	Grüner Tonnenstrich
5	Talfahrt	Grüner Tonnenstrich

\*Anm. Die Angaben „Talfahrt“ und „Bergfahrt“ sind in der Binnenschifffahrt gebräuchlich und werden auch in diesem Revier verwendet.

Das Versuchsprogramm war so angelegt, dass zunächst 2 Nullfahrten durchgeführt wurden, die die ungestörte, mittige Passage der Fahrrinne beschreiben, so wie es gängige Praxis beim einschiffigen Befahren der Moderortrinne ist. Anschließend wurden 3 Fahrten durchgeführt, bei denen ein Ausweichen in den roten bzw. grünen Tonnenstrich initiiert wurde; eine Situation also, wie sie z.B. bei Begegnungen auftreten kann. Insbesondere die Versuchsfahrten am grünen Tonnenstrich sollten Aufschluss darüber geben, inwieweit eine sichere und leicht Schiffbarkeit der Rinne auf voller Breite trotz geloteter „Mindertiefen“ gewährleistet ist, oder ob es sich im nautischen Sinne noch um eine „schiffbare“ Sohlbeschaffenheit handelt. An diesem Punkt setzt auch das parallel durchgeführte rheologisch / geotechnische Messprogramm an. Hierbei sollten u.a. mit Echolotungen in verschiedenen Frequenzen, der Dichtesondierung mit NAUTISONDE, Tellerlotungen, Isotopensondierungen und Probennahmen Analysen zu den rheologischen und geotechnischen Eigenschaften des Sohlmaterials beigesteuert werden. Schwerpunkt der folgenden Ausführungen ist jedoch das Messprogramm zur Schiffsdynamik.

Zur Erfassung der Schiffsdynamik während der Versuchsfahrten ist die Registrierung sowohl der Schiffsbewegung, als auch der

Steuervorgänge als zwangsläufige Reaktion der Schiffsführung auf die Wechselwirkung zwischen Schiff und Wasserstraße erforderlich.

Als Messverfahren für die Erfassung der Schiffsdynamik ist das präzise differentielle GPS (PDGPS) gewählt worden. Mit der Durchführung dieses Teils der Messungen ist das Ingenieurbüro GeoService, Garbsen beauftragt worden. Der geodätische Bezug der Messungen ist zunächst lokal durch eine PDGPS - Referenzstation im WGS84 realisiert worden. Die Überführung in das Landesystem (System 42/83) erfolgte über in beiden Systemen bekannte identische Punkte. An Bord des Versuchsschiffes „MS Dömitz“ wurden 5 Antennen zur Erfassung der Schiffsbewegungen installiert, die wie folgt angeordnet wurden:

- Heck backbord und steuerbord
- Bug backbord und steuerbord
- Mittig auf dem Ruderhaus

Der Bezug der GPS – Antennen zum Schiffskoordinatensystem wurde mit Bandmaß, Zollstock und Wasserwaage so hergestellt, wie dieses in der Örtlichkeit realisiert werden konnte, also durch Fluchten über Bug, Heck, Ruderhaus usw.

Alle Antennen sind absolut und individuell kalibriert worden, so dass die Offsets und die elevations- und azimutalabhängigen Variationen der Phasenzentren bekannt waren. Die GPS – Daten wurden mit einer Frequenz von 2 Hz. in Echtzeit extern auf Laptops mit den Geo++ Empfängermodulen ASH\_IN und JAVAD\_IN erfasst.

Vor der Durchführung der Versuchsfahrten ist eine Nullmessung des Schiffes in Ruhelage durchgeführt worden. Diese Messung liefert den Referenzzustand für die spätere Ableitung der Bewegungsparameter

- Rollen
- Stampfen
- Squat.

Die weiteren schiffsdynamischen Parameter

- Position

- Kurs über Grund
- Geschwindigkeit über Grund
- Heading

beziehen sich nach der Ausgleichung der Beobachtungen im lokal realisierten WGS84 und einer sieben Parameter Transformation auf das Landesystem 42/83.

Durch die Redundanz im Messsystem (fünf Antennen !) und die strenge Verknüpfung der Beobachtungen während der Auswertung durch Verwendung einer geeigneten Software (Geo++ GEONAP, Geo++ SQUAT) konnten hohe Genauigkeiten mit realistischen und aussagekräftigen Standardabweichungen abgeleitet werden.

Geo++ GEONAP ist ein Multi-sessions-Multistations-Programm, das das strenge Konzept der simultanen Ausgleichung undifferenzierter Beobachtungsgrößen, GPS Träger- und Codephasenmessungen, unterschiedlicher Empfängertypen und Parameterschätzung erlaubt. Im Gegensatz zu der überwiegend verwendeten Technik der Differenzmethode, wird bei den undifferenzierten Beobachtungen der volle funktionale und stochastische Informationsgehalt genutzt.

Die Standardabweichung der Orientierungswinkel ergibt sich demnach im Mittel für alle Versuchsfahrten zu:

Heading	Rollen	Stampfen
±0,006°	± 0,102°	± 0,012°

Der Stampfwinkel ist genauer bestimmt als der Rollwinkel, weil der Abstand der Antennen in Längsrichtung größer ist, als in Querrichtung.

Die im Mittel aller durchgeführten Versuchsfahrten erreichten 3D - Positionsgenauigkeiten ergaben sich wie folgt:

Rechts	Hoch	Höhe	3D
[m]			
±0,009	±0,011	±0,018	±0,023

Mit diesen Werten wird die Genauigkeit nach strenger Ausgleichung im lokal realisierten WGS 84 beschrieben, die relative Genauigkeit der Positionen, das heißt

das Messrauschen während einer Versuchsfahrt ist besser als  $\pm 1$  cm! Die wichtigste fahrdynamische Kenngröße – der Squat – wird durch die Veränderung der Höhenkomponente repräsentiert und ist damit absolut besser als  $\pm 2$  cm bestimmt. Damit sind die Anforderungen an die Bestimmung der Parameter der Schiffsbewegung voll erfüllt worden.

Die Reaktion des Schiffskörpers als Teil der Schiffsdynamik wird darüber hinaus auch durch Energieeintrag des Propellers in die Wasserstraße geprägt. Daher musste auch die Drehzahl der Antriebswelle im Maschinenraum des Schiffes abgegriffen und zeitbezogen in die Beobachtungen der Schiffsbewegung eingepasst werden. Dies wurde durch ein selbstaufzeichnendes optisches Drehzahlmesssystem realisiert.

Da Abweichungen des Schiffes vom Kurs aufgrund von Wechselwirkungen mit der Wasserstraße von der Schiffsführung durch Veränderungen der Ruderlage korrigiert werden, ist es ebenfalls erforderlich die Veränderung der Ruderlage aufzuzeichnen. Da dies auf der „MS Dömitz“ elektronisch nicht möglich war, wurde die Ruderlagenanzeige mit einer Videokamera beobachtet. Durch manuelle Auswertung der Videoaufzeichnungen wurden die Veränderungen der Ruderlage in ca.  $5^\circ$  - Schritten bestimmt und über die eingblendete Uhrzeit mit den anderen Messdaten synchronisiert.

Als weitere Dokumentation und Bewertungshilfe bei der Auswertung der Versuchsfahrten wurden die auf der Tonspur der Videokamera aufgezeichneten Kommentare der Schiffsführung herangezogen. Gerade bei diesem Punkt zeigte sich, wie sehr das Manövrierverhalten eines Schiffes unter schwierigen Bedingungen auch von der subjektiven Beurteilung durch die Schiffsführung abhängt.

Abbildung 3 zeigt Diagramme der wichtigsten schiffsdynamischen Kenngrößen für die Versuchsfahrt Nr. 5. Im obersten Diagramm (Fahrachse) ist der Fahrweg entlang der Versuchsstrecke zu sehen, in den Diagrammen darunter die auf die Kilometrierung bezogene

Veränderung ausgewählter schiffsdynamischer Kenngrößen (Fahrt über Grund, Squat, Rollwinkel, Drehzahl, Ruderlage). In einem ersten Abschnitt der

extremer einseitiger Einengung fuhr, musste durchgängig hart Ruder gelegt werden. (Tonaufzeichnung zu diesem Streckenabschnitt: „Noch weiter links geht nicht, oder ??“ „Ich versuch' es,

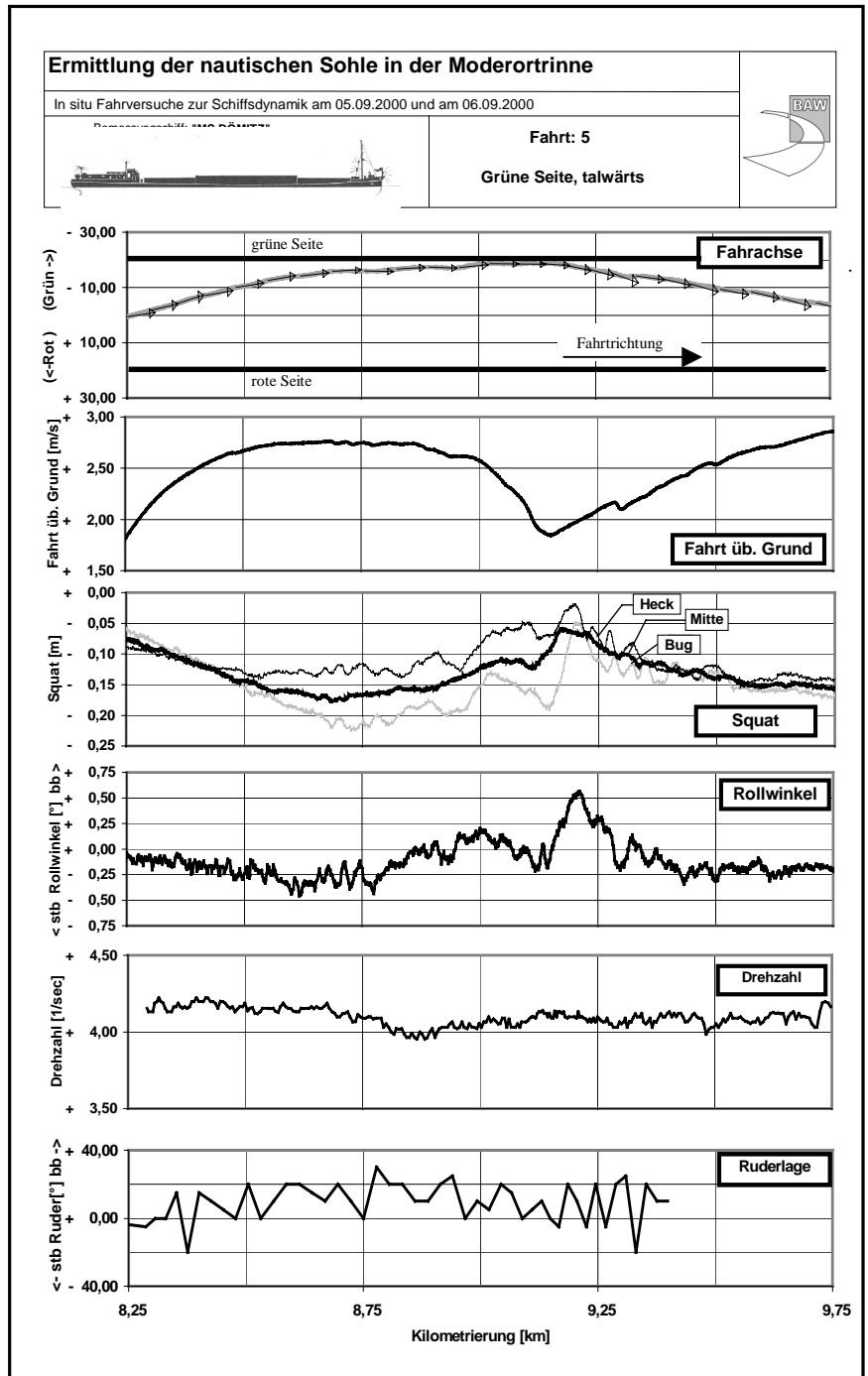


Abbildung 3: Darstellung schiffsdynamischer Kenngrößen entlang der Fahrwasserachse während der Versuchsfahrt Nr. 5

Versuchsfahrt ca. zwischen km 8,7 und 8,85 betrug die Schiffsgeschwindigkeit etwa 2,75 m/s bei konstanter Drehzahl der Antriebswelle. Da das Schiff hart am grünen Tonnenstrich mit geringer „Under keel clearance“ (UKC) und

ich versuch es...“). Der mittlere Squat lag bei ca. 0,17 m.

In einem zweiten Abschnitt – zwischen km 8,9 und km 9,2 – wurde auf dem grünen Tonnenstrich gefahren. Die Wassertiefe verringerte sich noch weiter, die Schiffs-

geschwindigkeit fiel zunächst auf ca. 2,6 m/s ab, dann weiter auf 1,8m/s, obwohl die Drehzahl konstant blieb (~ 4 U/s). Die fehlende UKC führte dann trotz starker Abnahme der Geschwindigkeit ab ca. km 9 zu einer steilen Zunahme des Bugsquats: Das Schiff hatte Grundberührung (Kommentar bei km 8,97:“*Der will nicht so, ich muss ganz schön gegedrücken...*“ – „...*jetzt wird's plötzlich schwerer...*“).

Eine detaillierte (und hier nur ausschnittweise dargestellte) Analyse der Schiffspassagen hat gezeigt, dass es - im Vergleich zu Fahrten bei „Normalbedingungen“ mittig der Fahrrinne – im Abschnitt zwischen km 8,5 bis 9,3 bei Fahrten hart am grünen Tonnenstrich (also z.B. bei Ausweichmanövern und Begegnungen) Beeinträchtigungen bis zur erschwerten Steuerbarkeit des Schiffes auftreten.

Mit den vorgestellten Untersuchungen war es möglich, die komplexen Wechselwirkungen zwischen Schiff und Wasserstraße im Untersuchungsgebiet weitgehend vollständig zu beschreiben. Einen großen Anteil hieran hatte das eingesetzte PDGPS – Verfahren. Zum einen sind mit diesem Verfahren Genauigkeiten und Datenraten erzielbar, die es ermöglichen fachwissenschaftlich gut abgesicherte Aussagen zu treffen, zu anderen ist es mit einem wirtschaftlich vertretbaren Aufwand zu realisieren.

Neben der Bearbeitung aktueller Fragestellungen des WSA Stralsund sind diese Untersuchungen weiterhin eingebunden in ein langfristiges Programm der BAW, welches sich auch mit dem fahrdynamischen Verhalten von Schiffen in Tideästuaren und mit großen Containerschiffen (POST PANMAX) beschäftigt.