

Squat-Messung mit SHIPS

von

Andreas Gollenstede

Dipl.-Ing., Fachbereich Bauwesen & Geoinformation, Fachhochschule Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven,
e-mail: andreas@gollenstede.com

1. Einleitung

Moderne Verfahren zur Naturmessung des Squat basieren in der Regel auf differentiellen GPS-Messungen und nutzen häufig landfeste Empfänger als Referenzstationen oder ein landfestes Referenzstationsnetz. Dabei muss für eine korrekte Bestimmung des Squat zusätzlich der Wasserstand am Messort aus verfügbaren Pegeldaten durch eine räumlich-zeitliche Interpolation berechnet werden. Einflussgrößen wie Wasseroberflächentopographie und Windeinfluss bleiben dabei allerdings in der Regel unberücksichtigt.

Die SHIPS-Methode (SHore Independent Precise Squat observation) zur Naturmessung des Squat wurde gemeinsam am Institut für Mess- und Auswertetechnik (IMA) und dem Institut für Maritime Studien (IMS) der Fachhochschule Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven (FH OOW) entwickelt und in verschiedenen Experimenten auf deutschen Wasserstraßen getestet.

SHIPS nutzt ebenfalls DGPS-Messungen, bezieht sich jedoch auf eine Referenz an Bord eines kleinen Begleitbootes, das während der gesamten Revierfahrt den Wasserstand am Ort des Seeschiffes repräsentiert. Durch die kurze Entfernung zwischen den GPS-Antennen wird wegen des geringen Einflusses der atmosphärischen Refraktion die Genauigkeit der GPS-Auswertung wesentlich erhöht. Außerdem können aufwändige Pegelauswertungen und fehleranfällige Interpolationen entfallen.

2. Das Messverfahren

Zur Bestimmung des Eintauchverhaltens des Seeschiffes werden per GPS Höhendifferenzen relativ zu dem Begleitboot gemessen, das in einer Entfernung von weniger als 800 m vorausfährt.

Dazu werden an Bord des Seeschiffes drei hochpräzise geodätische GPS-Empfänger möglichst weit voneinander entfernt installiert. Dabei ist darauf zu achten, dass die Antennen nicht durch Schiffsaufbauten von den Satellitensignalen abgeschattet werden. In der Regel wird je ein Empfänger an Back- und an Steuerbordseite der Brücke und ein dritter Empfänger auf der Bugverschanzung angebracht. An Bord des Begleitfahrzeugs befindet sich ein vierter Empfänger – er dient als die für die DGPS-Messung notwendige Referenzstation.

Die Nullpunktlage des Squats wird zu Beginn oder am Ende einer Messfahrt bestimmt. Diese statische Höhendifferenz wird zur Reduktion der während der Fahrt gemessenen Höhenänderungen benutzt (Abbildung 1).

A. Gollenstede: Squat-Messung mit SHIPS

Die tideabhängigen Wasserstandsänderungen während der Fahrt werden unter der Annahme, dass das Begleitboot die ungestörte Wasseroberfläche im Nahbereich des Seeschiffs beschreibt, eliminiert.

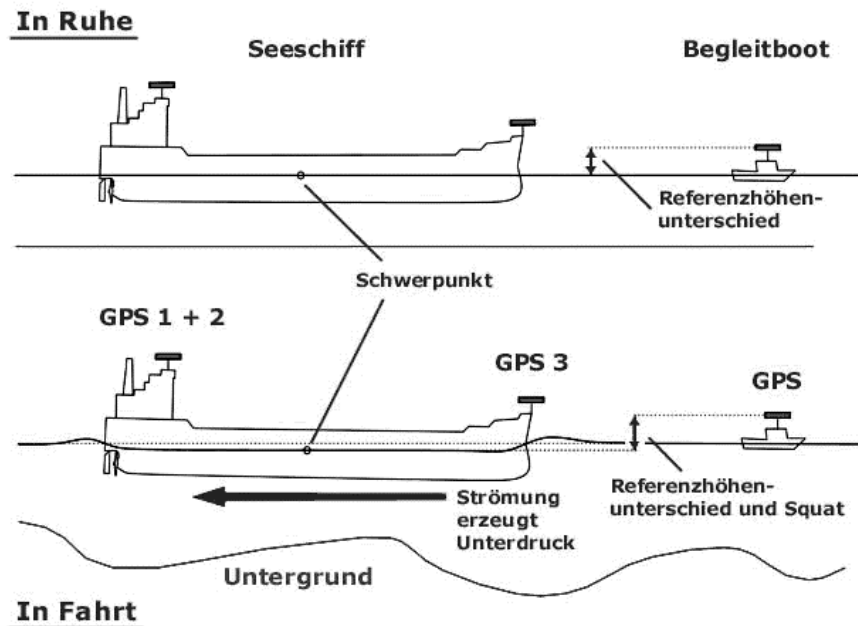


Abbildung 1: Messprinzip der SHIPS-Methode. Bestimmung des Referenzhöhenunterschieds in der Ruhelage und Messung der durch den Squat beeinflussten Höhendifferenzen während der Fahrt.

3. GPS

Im Gegensatz zu landgestützten GPS-Messverfahren arbeitet die SHIPS-Methode landunabhängig mit einer mobilen Referenzstation und somit im gesamten Messzeitraum mit kurzen Basislinien. Entfernungabhängige Fehleranteile der relativen DGPS-Positionsbestimmung, wie z. B. atmosphärische Ausbreitungsverzögerungen, werden so optimal reduziert. Durch die Nutzung von Zweifrequenzempfängern werden ionosphärische Einflüsse größtenteils beseitigt.

Andere aktuelle landgestützte GPS-Verfahren zur Positionsbestimmung in küstennahen Bereichen und auf Wasserstraßen – im Postprocessing oder in Echtzeit – nutzen häufig vernetzte Landreferenzstationen, wie z. B. den Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung (SAPOS). Dabei wird versucht, die entfernungsabhängig wirkenden systematischen Anteile durch eine geeignete Modellierung zu reduzieren.

Zu nennen ist das Konzept der Virtuellen Referenz-Stationen (VRS) [5]. Aus mehreren Referenzstationen wird hier ein virtueller, um die entfernungsabhängigen Fehleranteile korrigierter Datensatz gerechnet und für die DGPS-Positionsbestimmung genutzt. Das Verfahren eignet sich eher für statische Messungen, da bei einer kinematischen Messung die VRS nachgeführt werden muss und

A. Gollenstede: Squat-Messung mit SHIPS

somit der Rechenaufwand erheblich ansteigt. Ein auf Flächenkorrekturparametern (FKP) basierendes Verfahren, das kinematische Echtzeitanwendungen aber auch eine Auswertung im Postprocessing ermöglicht, wird in [6] und [10] beschrieben. Untersuchungen zum Potential dieser Verfahren, auch für den hydrographischen Einsatz, sind in [4] nachzulesen.

Die oben genannten Methoden stützen sich immer auf eine Modellierung der geometrischen und ionosphärischen Situation zwischen den Sensoren der verwendeten Stationen, während sich der Referenzempfänger im SHIPS-Verfahren immer direkt am Ort der Messung befindet. Eine Verschlechterung der Datenqualität ist hier nicht möglich, da keine Modellierung von Daten erfolgt.

Zahlreiche Tests haben gezeigt, dass die im SHIPS-Verfahren berechneten Höhendifferenzen eine Genauigkeit von ca. 1 cm haben. Die Genauigkeiten der anderen Methoden liegen je nach Verfahren bei rd. 3 – 4 cm bezogen auf die Höhenkomponente.

Zudem finden sich im küstennahen Bereich Deutschlands (noch) nicht immer optimale Bedingungen bzgl. der Verteilung der SAPOS-Referenzstationen, wie in Abbildung 2 zu erkennen ist. Ein Vorschlag zur Ergänzung des Netzes ist in [4] nachzulesen.



Abbildung 2: SAPOS-Stationen (Stand Januar 2004; Quelle: www.sapos.de)

4. Auswertung

Während einer SHIPS-Messfahrt werden die GPS-Rohdaten idealerweise mit einer Frequenz von 1 Hz aufgezeichnet. Die Auswertung der Daten erfolgt ausschließlich im Postprocessing mittels einer am IMA entwickelten Software, so dass u. a. intensive Untersuchungen der Datenqualität und die gezielte Eliminierung von Ausreißern möglich ist. Ebenso können anhand der GPS-Daten welleninduzierte Vertikalbewegungen des Begleitboots berechnet werden. Hierbei werden Filterverfahren eingesetzt,

A. Gollenstede: Squat-Messung mit SHIPS

um tatsächliche Vertikalbewegungen von systematischen Anteilen zu trennen. Dabei ist eine nachträgliche Bearbeitung für eine akzeptable Qualität der Ergebnisse unerlässlich.

Die Auswertung der GPS-Messungen erfolgt in mehreren Schritten. Zunächst werden die 3D-Koordinatendifferenzen zwischen den vier verwendeten GPS-Empfängern in allen Kombinationen bestimmt (siehe Abbildung 3) und einer Qualitätskontrolle unterzogen. Dazu werden zum einen die Residuen der Phasenmessungen betrachtet. Zum anderen werden die Raumstrecken der räumlich fest zueinander stehenden Empfänger an Bord des Seeschiffes mit den aus den Schiffplänen, bzw. durch Einmessung ermittelten Strecken verglichen.

Unter der Annahme, dass für kleine Änderungen von Trimm und Krängung die Rotationsachsen des Schiffskörpers durch den Wasserlinienschwerpunkt LCF (Longitudinal Centre of Floatation) verlaufen, werden die auf die einzelnen Empfängerpositionen bezogenen Koordinatendifferenzen auf den LCF transformiert. Dessen Position im Schiffskoordinatensystem kann aus den hydrostatischen Unterlagen des Seeschiffes entnommen werden. Die Lage des Schiffskörpers zur jeweiligen Epoche wird durch die ebenfalls ermittelten Roll-, Stampf- und Gierwinkel beschrieben.

Für Untersuchungen der Unterkielfreiheit ist jedoch in der Regel der Punkt der größten Tiefgangszunahme von Interesse. In Abhängigkeit von Rumpfform und Trimmwinkel des Schiffes liegt der Punkt meistens in unmittelbarer Nähe des vorderen Lotes. Dieser so genannte Bug-Squat lässt sich durch Transformation ebenfalls aus den vorhandenen Daten ableiten.

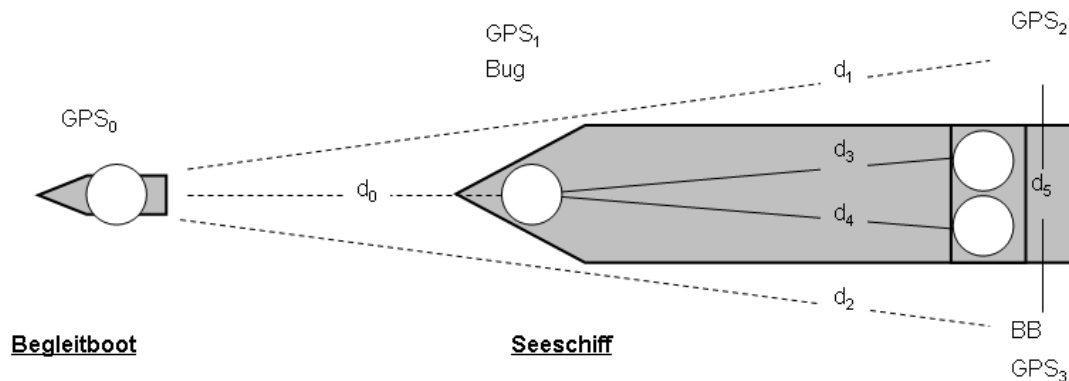


Abbildung 3: Verteilung der vier GPS-Empfänger auf den Fahrzeugen und per GPS bestimmte Raumstrecken d_i .

5. Korrekturen und Datenqualität

5.1. Geschwindigkeitsabhängige Höhenänderung des Begleitbootes

Aufgrund seines geringen Tiefgangs hängt das dynamische Eintauchverhalten des Begleitboots im Bereich der Fahrrinne in der Regel hauptsächlich von der Fahrt durchs Wasser ab.

Die geschwindigkeitsabhängige Höhenänderung des Begleitbootes wird im SHIPS-Verfahren mittels einer separaten Kalibrationsfahrt per GPS bestimmt [7, 8]. In der Nähe einer landfesten Referenzstation werden unterschiedliche Geschwindigkeiten gefahren und einige Maschine-Stopp-Manöver ausgeführt. Ergänzend wird noch eine Referenzstation, z. B. auf einem Schwimmsteg, zur Erfassung des aktuellen Wasserstandes installiert.

Im Rahmen der Auswertung werden für die einzelnen Fahrstufen die jeweiligen Eintauchtiefen ermittelt und durch eine Spline-Funktion approximiert. Als Ergebnis liegt schließlich eine Kalibrationsfunktion vor, die für das Begleitboot zu jeder Geschwindigkeit durchs Wasser eine entsprechende Höhenänderung bereitstellt.

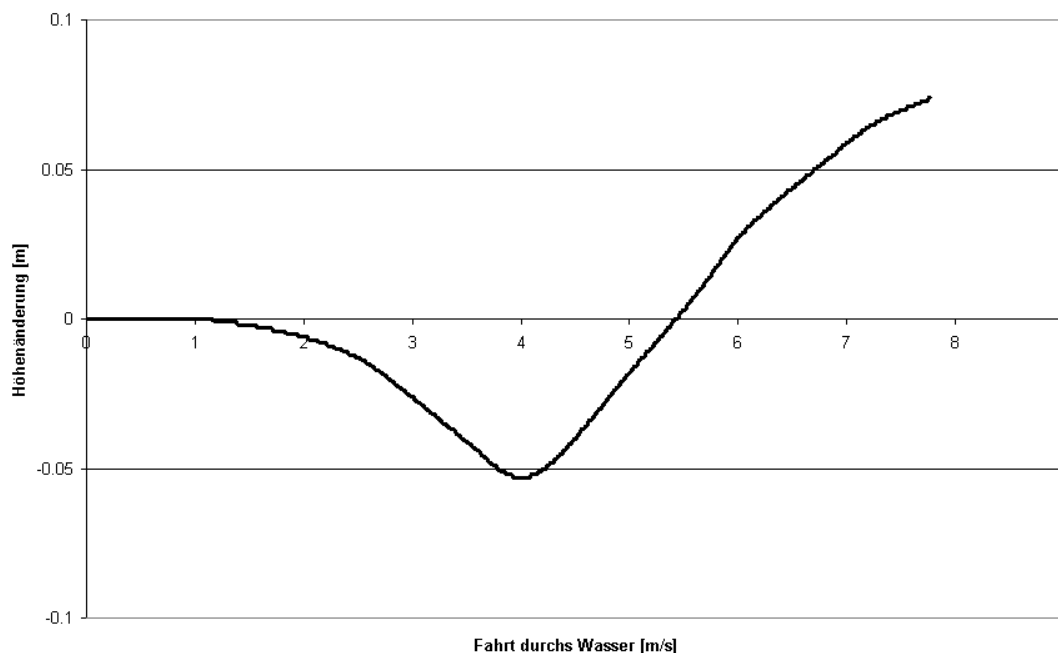


Abbildung 4: Kalibrationskurve für das Begleitboot Marvin.

5.2. Seegangskorrektur

So genannte Heave-Roll-Pitch-Sensoren leiten aus Beschleunigungen und Drehraten die dreidimensionalen Lageänderungen eines Schiffes ab. Alternativ lassen sich diese Bewegungen mittels zeitlicher Phasendifferenzen eines einzelnen GPS-Empfängers bestimmen [3]. Dieses Verfahren, das parallel zur SHIPS-Methode an der FH OOW entwickelt wurde, eignet sich in idealer Weise dazu, die durch Seegang verursachte Bewegung des Begleitbootes aus dem Datenmaterial zu eliminieren. Von besonderer Bedeutung ist dabei, dass die Hubkorrektur aus den während der Messfahrt aufgezeichneten GPS-Daten bestimmt wird und damit exakt für die Messzeitpunkte vorliegt.

Bei einer GPS-Datenaufzeichnungsrate von 1 Hz sind die zeitlichen Abstände der Epochen so klein, dass sie mit ausreichender Genauigkeit mit Null angenommen werden können. Ebenso kann die Variation der atmosphärischen Einflüsse von Epoche zu Epoche als sehr gering angesehen werden. Gleiches gilt für die Einflüsse der Uhrfehler der Satelliten. Die aus zwei aufeinander folgenden Epochen berechneten Höhenänderungen sind somit kaum durch die genannten (Stör-)Effekte beeinflusst.

Bei einer Kumulation der Höhenänderungen über einen längeren Zeitraum zeigen diese Effekte jedoch systematische Wirkungen. So wird dabei z. B. eine Integration der vernachlässigten Variation troposphärischer Einflüsse vorgenommen. Daneben führen zufällige Abweichungen in den einzelnen Höhenwerten durch die Summation zum Random-Walk, der für eine Vergrößerung der mittleren Abweichung in der Summe verantwortlich ist.

Bei der Eliminierung bzw. Reduzierung dieser systematisch wirkenden Effekte kann man sich zu Nutze machen, dass diese gegenüber den tatsächlichen Höhenänderungen einen eher langwelligen Charakter haben. Diese niedrigfrequenten Effekte lassen sich durch Hochpassfilterung eliminieren. Wird ein Filter als reines Vor- bzw. Rückwärtsfilter eingesetzt, kommt es zu einer Phasenverschiebung. Diese lässt sich nur durch eine gemeinsame Verwendung von Vor- und Rückwärtsfilter vermeiden. Eine solche Filterung ist in Echtzeit nicht realisierbar. Da bei SHIPS sämtliche Auswertungen im Postprocessing erfolgen, eignet sich die geschilderte Methode hervorragend für die Verwendung im Verfahren.

In Abbildung 5 ist der durch die Heckwelle eines Schleppers beeinflusste Squatverlauf eines Begleitbootes dargestellt. Mit Hilfe der gefilterten kumulierten Höhenänderungen (Abbildung 6) erhält man einen bereinigten Datensatz (Abbildung 7), der frei von der durch den Schlepper verursachten Bewegung ist.

A. Gollenstede: Squat-Messung mit SHIPS

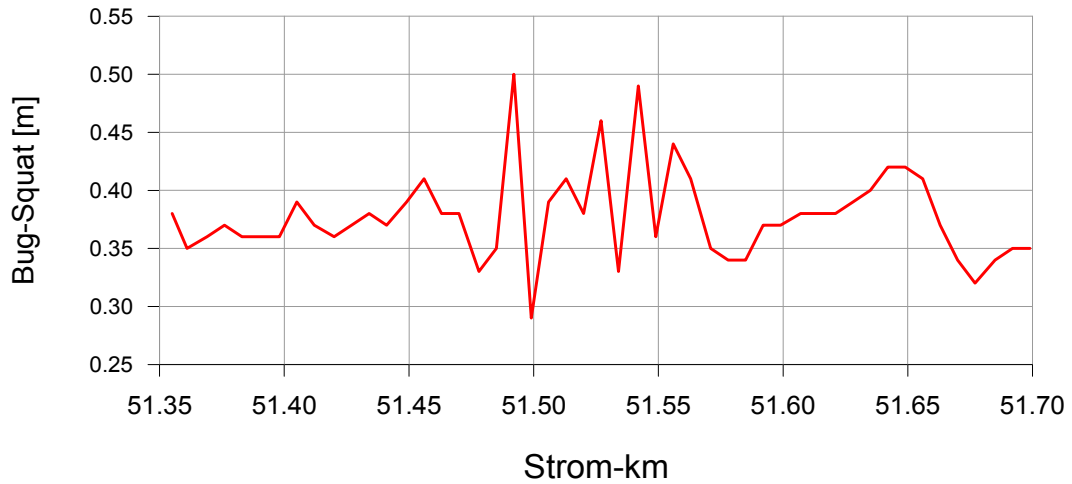


Abbildung 5: Höhenänderungen des Begleitbootes beim Durchfahren einer Schlepperheckwelle.

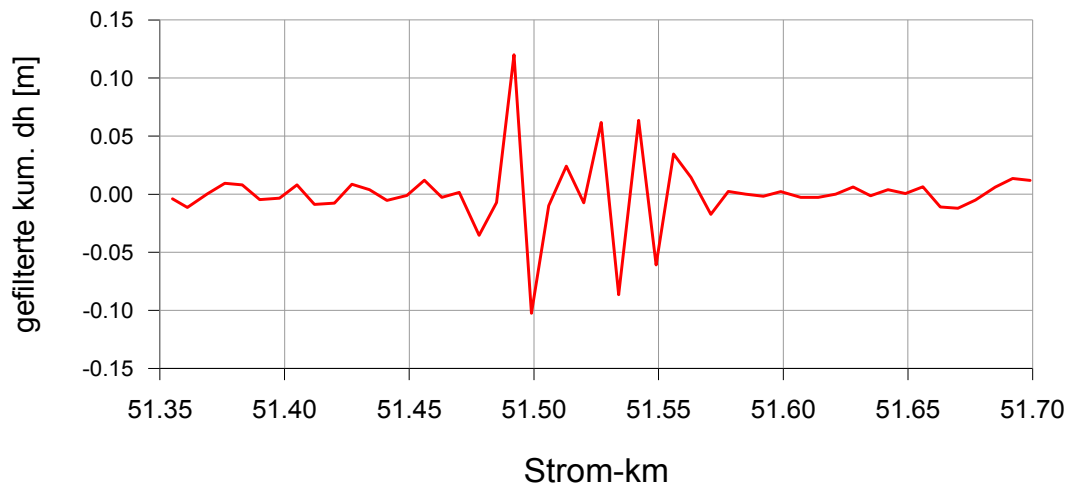


Abbildung 6: Gefilterte kumulierte Höhenänderungen des Begleitbootes.

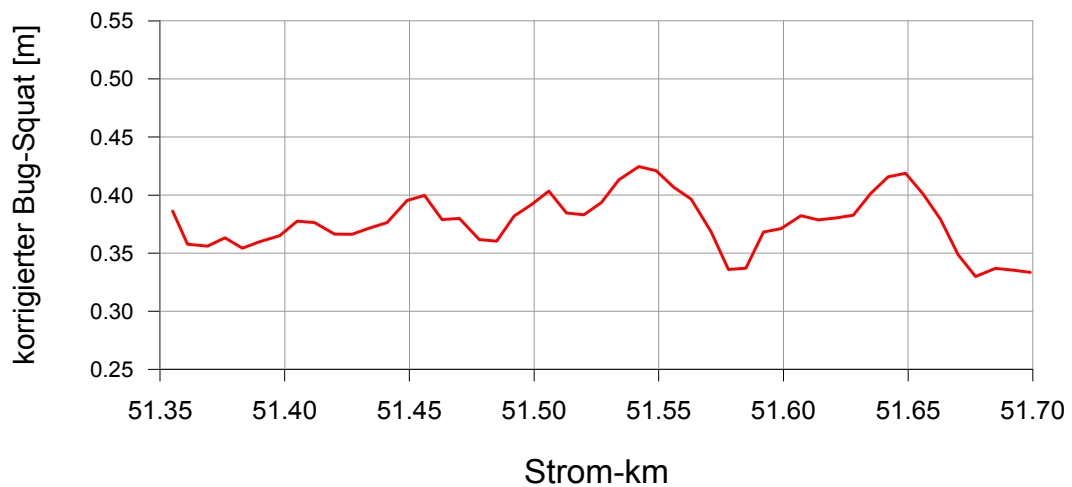


Abbildung 7: Bereinigte Squat-Daten des Begleitbootes.

5.3. Fahrt durchs Wasser

Mittels GPS-Messungen lassen sich hochgenaue Geschwindigkeiten über Grund bestimmen. Ein relevanter Parameter bei der Betrachtung des Squat ist jedoch die Geschwindigkeit durchs Wasser. Die aktuellen Strömungsverhältnisse zur Fahrtzeit werden mit einem ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) an Bord des Begleitbootes erfasst und zur Berechnung der Fahrt durchs Wasser herangezogen. Alternativ können Geschwindigkeiten durchs Wasser auch aus den GPS-Geschwindigkeiten und Strömungsprofilen aus dem Seehandbuch hergeleitet werden, allerdings nur mit einem Genauigkeitsverlust.

5.4. Salzgehalt

In Abhängigkeit von der Tide ändern sich in küstennahen Gewässern Salzgehalt und Temperatur und damit die Wasserdichte. Für das Begleitboot ergeben sich meist Korrekturen in vernachlässigbarer Größenordnung. Für das Seeschiff wird auf das Anbringen der Korrekturen in der Regel nicht verzichtet.

Wenn möglich werden eigene Messungen, die während der Fahrt an Bord des Begleitbootes durch Probennahme durchgeführt wurden, für die Bestimmung der Korrekturwerte herangezogen. Alternativ kann auf Daten vorhandener Pegelstationen der Wasser- und Schifffahrtsämter zurückgegriffen werden.

5.5. Wasseroberflächenneigung

Idealerweise repräsentiert das Begleitboot die Wasseroberfläche am Ort des Seeschiffes. Aufgrund der Wasseroberflächenneigung ergeben sich infolge des verfahrensbedingten Abstandes der beiden Fahrzeuge Höhenunterschiede im Bereich von 1 cm. Bisher wurden hierzu interpolierte Pegelablesungen genutzt, die für diese Berechnungen ausreichend genau sind. Für die Zukunft wird in Erwägung gezogen, eine mittlere Tidekurve zu verwenden, ohne dass es dabei zu einer nennenswerten Genauigkeitsminderung kommt.

5.6. Qualität der Squat-Daten

Für die SHIPS-Methode ergibt sich unter Berücksichtigung der GPS-Datenqualität (Kapitel 3) von ca. 1 cm und unter der Berücksichtigung aller Fehlerquellen eine Genauigkeit des resultierenden Squats von ca. 3 – 4 cm.

Andere Verfahren erreichen in der GPS-Höhenkomponente eine Qualität von ca. 3 – 4 cm. Der notwendigerweise aus Pegeldaten bestimmte Wasserstand lässt sich, trotz zusätzlich ausgelegter Pegel, mit einer Genauigkeit von ca. 6 cm abschätzen [11]. Als Konsequenz ergibt sich hier eine Qualität für den Squat, die mit Ihrer Größenordnung von ca. 10 cm, um den Faktor 2 bis 3 schlechter ist als die der SHIPS-Methode.

6. Ergebnisse

Im Vorfeld und im Rahmen des Projektes wurden Messfahrten mit verschiedenen Schiffstypen auf der Unter- und Außenweser, der Elbe, dem Nord-Ostsee-Kanal (NOK) und in der Ostsee durchgeführt (Abbildung 8). Die so gewonnenen Daten ermöglichen die Untersuchung und den Vergleich des Einflusses schiffsspezifischer Faktoren, wie z. B. Geschwindigkeit, Länge, Breite, Tiefgang und gewässerspezifischer Faktoren, wie Gewässertiefe, Gewässerbreite und Morphologie auf den Squat. Beispielhaft sollen anhand einiger Messfahrten spezielle Aspekte des Messverfahrens und eine Auswahl an Ergebnissen dargestellt werden.



Abbildung 8: Das SHIPS-Verfahren wurde in verschiedenen Experimenten auf deutschen Wasserstraßen getestet: Unter- und Außenweser, Elbe, Nord-Ostsee-Kanal (NOK) und Ostsee.

6.1. Vergleich des Squatverlaufs zweier Messfahrten auf der Unterweser

Verteilt über einen Zeitraum von 5 Jahren wurden auf der Unterweser aufkommende und abgehende Massengutfrachter untersucht.

lfd. Nr.	Monat Jahr	Richtung	Schiff	Typ	Lpp [m]	Breite [m]	Tiefgang [m]	Verdrängung [mt]	Begleitboot
1	Okt. 1998	Aufkommer	Maersk Taian	Massengut	215.00	32.20	10.30	59628	Geestemünde
2	Juli 1999	Abgänger	Pioneer	Massengut	217.50	23.15	10.64		Alk
3	Dez. 2000	Abgänger	Sanko Summit	Massengut	187.00	32.20	11.30	56102	Geestemünde
6	Mai 2002	Aufkommer	Weser Stahl	Massengut	185.00	32.26	10.22	54765	Marvin
10	April 2003	Aufkommer	Weser Stahl	Massengut	185.00	32.26	10.00	53762	Marvin
11	Juli 2003	Abgänger	Saga Wind	Massengut	190.00	30.50	7.07	33698	Marvin
14	Okt. 2003	Abgänger	Stamos	Massengut	213.70	32.24	11.54	64839	Marvin

Tabelle 1: Messfahrten auf der Unterweser

Stellvertretend für die durchgeführten Messfahrten zeigt Abbildung 9 den Squatverlauf der Maersk Taian und der Pioneer im Bereich Weser-km 31 - 40 und die gefahrenen Geschwindigkeiten durchs Wasser. Mit Hilfe einer quadratischen Best-Fit-Funktion (Abbildung 10) lässt sich der geschwindigkeitsabhängige Anteil des Squat aus den Datensätzen herausrechnen und ein angepasster Squatverlauf generieren, der nahezu frei vom Geschwindigkeitseinfluss ist [2]. Ein direkter Vergleich der Differenzen zwischen Squat und angepasstem Squat, also die Summe weiterer Squateinflussfaktoren, zeigt deutlich systematische Übereinstimmungen zwischen beiden Messfahrten (Abbildung 11).

Die Variationen im angepassten Squatverlauf zwischen Weser-km 31 und 40 sind zum größten Teil durch die Gewässertiefe beeinflusst. Die stärkeren Schwankungen im Squat-Verlauf ab Weser-km 36,5 sind nicht auf das Messverfahren zurückzuführen, sondern bei Betrachtung der Variationen in der Gewässersohle als Einfluss durch so genannte Rippeln zu identifizieren. Da die beiden Schiffe nicht auf einem völlig identischen Kurs über diese Strecke gefahren sind, machen sich die durch die Rippeln

A. Gollenstede: Squat-Messung mit SHIPS

hervorgehoben, relativ kleinräumigen Änderungen in der Gewässertiefe bei beiden Messungen schnell unterschiedlich bemerkbar.

Weitere Darstellungen von Ergebnissen der Unterweser-Fahrten finden sich in [1].

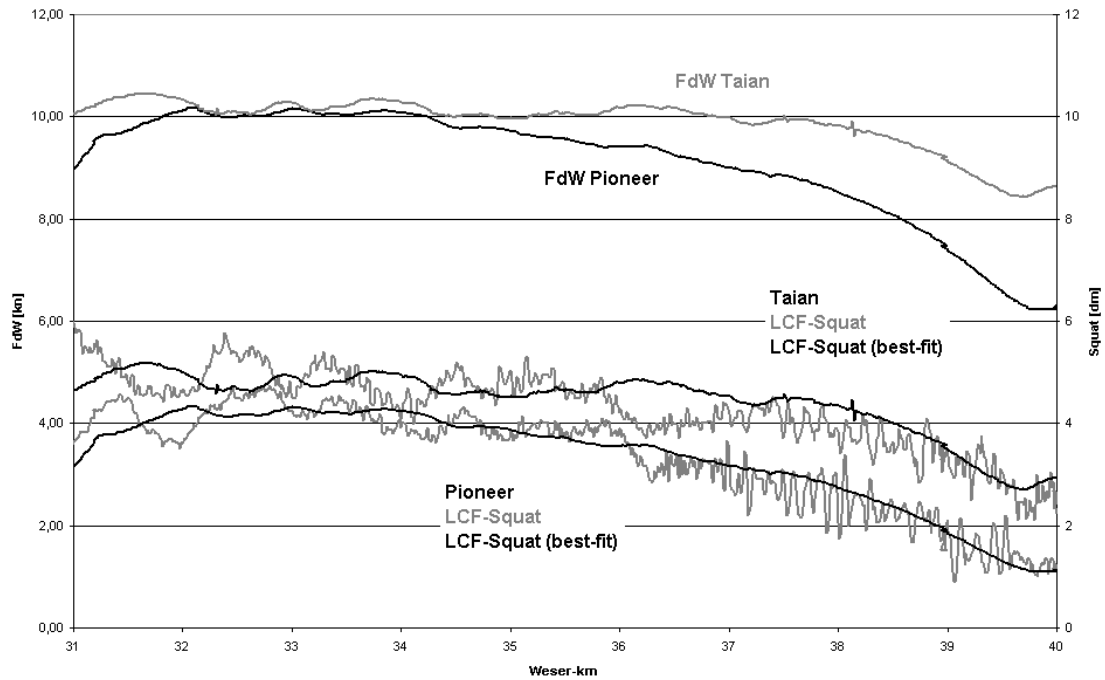


Abbildung 9: Fahrt durchs Wasser in [kn], sowie Squat-Verlauf und angepasster Squat-Verlauf der Taian und der Pioneer.

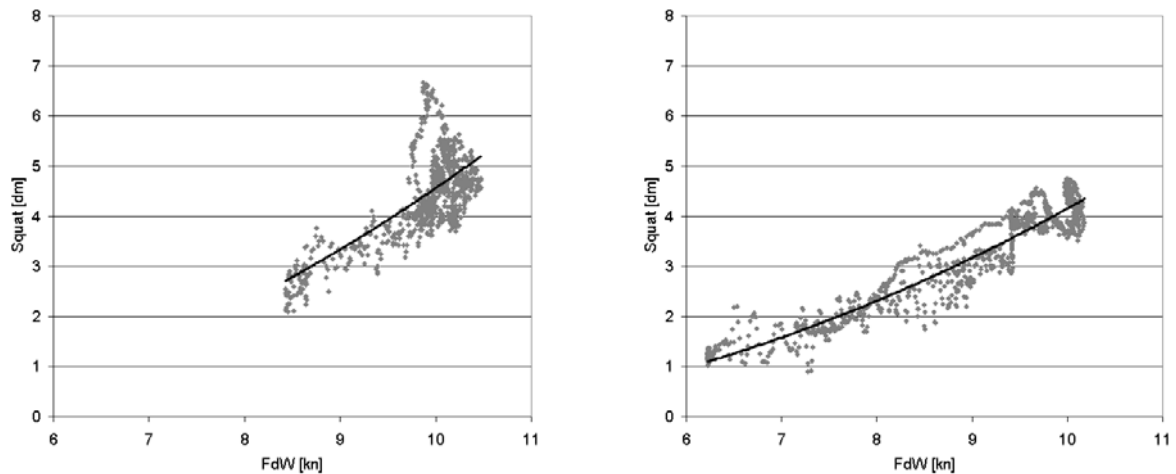


Abbildung 10: Squat in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit (grau) für die Taian (links) und die Pioneer (rechts) für die Weser-km 31 – 40. Quadratische Best-Fit-Funktionen (schwarz).

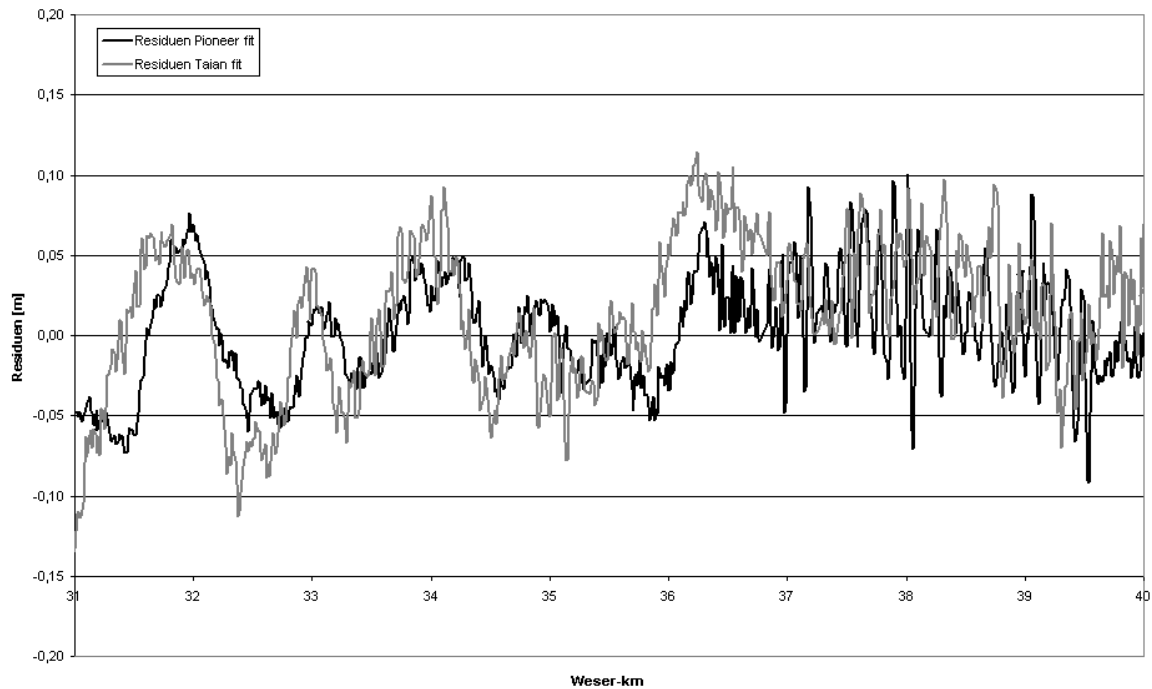


Abbildung 11: Residuenvergleich Taian Pioneer

6.2. Außenweser: Vergleich der SHIPS-Methode mit der Auswertung über eine Virtuelle Referenzstation

Auslaufend von den Containerterminals in Bremerhaven wurden zwei Containerschiffe bezüglich ihres Squatverhaltens in der Außenweser untersucht.

lfd. Nr.	Monat Jahr	Richtung	Schiff	Typ	Lpp [m]	Breite [m]	Tiefgang [m]	Verdrängung [mt]	Begleitboot
12	Juli 2003	Abgänger	Leverkusen Express	Container	281.60	32.25	11.30	73140	Geestemünde
13	Okt. 2003	Abgänger	Anna Maersk	Container	336.40	42.80	11.36	103137	Geestemünde

Tabelle 2: Messfahrten auf der Außenweser

Im Rahmen der Auswertung der Squat-Messung der Anna Maersk wurden zusätzlich zu den Berechnungen mit dem SHIPS-Softwarepaket GPS-Koordinatendifferenzen zwischen Begleitboot und

A. Gollenstede: Squat-Messung mit SHIPS

Hauptschiff mit kommerzieller Software berechnet. Dazu wurden in der Dreiecksmasche zwischen den SAPOS-Stationen Bremerhaven, Cuxhaven und Carolinensiel (Abbildung 2) entlang der Fahrtroute Virtuelle Referenzstationen (VRS) erzeugt und für die DGPS-Auswertung genutzt. Des Weiteren wurde eine nur auf die SAPOS-Referenzstation Bremerhaven bezogene Berechnung durchgeführt.

In der Abbildung 12 sind die auf die verschiedenen Arten bestimmten Höhendifferenzen zwischen Begleitboot und Bug-Empfänger der Anna Maersk für einen Zeitraum von 10 min dargestellt. Eine Korrektur wegen der Eigenbewegung des Begleitbootes wurde noch nicht angebracht. Die Entfernung zur SAPOS-Station Bremerhaven liegt ungefähr zwischen 16 und 21 km. Die Distanz zur VRS variiert von 2.6 bis 0.2 km. Das Begleitboot Geestemünde fährt zunächst in einem für die SHIPS-Methode ungewöhnlich großen Abstand von 1.6 km voraus, der sich allerdings relativ schnell verringert. Grund hierfür waren die bei diesem Experiment nicht ganz idealen technischen Rahmenbedingungen.

Trotz des zeitweise relativ großen Abstands des Begleitbootes zur Anna Maersk zeigt sich, dass systematisch wirkende, vermutlich entfernungsabhängige Effekte sich nicht so stark bemerkbar machen, wie bei den beiden anderen Verfahren. Gerade bei der Auswertung über die einzelne SAPOS-Station in Bremerhaven mit langen Basislinien führt dies zu einer Überlagerung der eigentlichen Informationen über den Squat. Die Auswirkungen kleinskaliger Squateinflussfaktoren werden so verwischt.

A. Gollenstede: Squat-Messung mit SHIPS

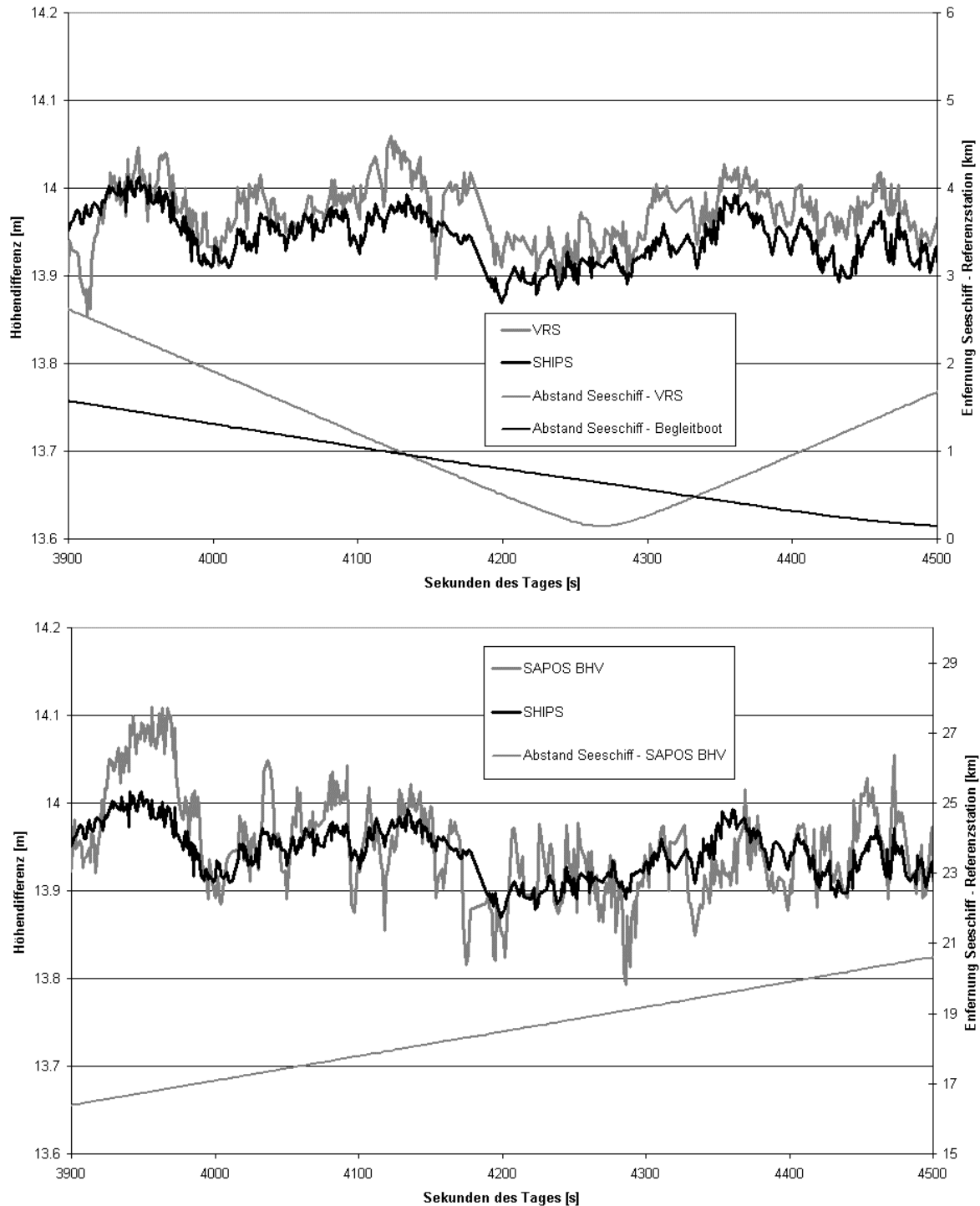


Abbildung 12: Höhendifferenzen zwischen Begleitboot und Bug-Empfänger der Anna Maersk bestimmt mit dem SHIPS-Verfahren und einer VRS (oben) und der SAPOS-Station Bremerhaven (unten).

6.3. Messfahrt mit zwei Begleitbooten auf der Elbe

Auf der Elbe wurde im Dezember 2002 eine Fahrt mit zwei Begleitbooten, der Niederelbe (Wasser- und Schifffahrtsamt Hamburg) und der Marvin (FH OOW), durchgeführt. Das Seeschiff war die Hong

A. Gollenstede: Squat-Messung mit SHIPS

Kong Express. Der Squat der Hong Kong Express wurde für beide Begleitboote unabhängig voneinander bestimmt.

lfd. Nr.	Monat Jahr	Richtung	Schiff	Typ	Lpp [m]	Breite [m]	Tiefgang [m]	Verdrängung [mt]	Begleitboot
8a und 8b	Dez. 2002	Abgänger	Hong Kong Express	Container	304.00	42.50	12.20	99950	Marvin und Niederelbe

Tabelle 3: Messfahrten auf der Elbe

In Abbildung 13 ist im oberen Teil der Grafik die Fahrt durchs Wasser (schwarz) der Hong Kong Express in Knoten aufgetragen. Im unteren Teil der Grafik findet sich der LCF-Squat der Hong Kong Express im Bezug zum Elbe-km dargestellt, in blau der LCF-Squat gemessen mittels Marvin und in rot mittels Niederelbe. Im Bereich von Elbe-km 670 – 677 kam es auf der Niederelbe zu einem Empfängerausfall.

Die beiden Squatkurven zeigen in weiten Bereichen eine gute Übereinstimmung. Erwartungsgemäß entspricht der Verlauf der LCF-Squatkurven qualitativ dem der Geschwindigkeit. Bei genauerer Betrachtung ist aber zu erkennen, dass der Verlauf der Squatkurven in einigen Bereichen vom Geschwindigkeitsverlauf abweicht. In diesen Bereichen wird der Squat nicht nur von der Geschwindigkeit beeinflusst, sondern von weiteren Faktoren, wie z.B. von gewässerspezifischen Gegebenheiten oder von Schiffsmanövern.

Während der Messung fuhr die Niederelbe der Hong Kong Express direkt voraus. Die Marvin befand sich seitlich nach Steuerbord versetzt. Zum Ende der Messung wurde die Marvin von der Hong Kong Express überholt und fuhr für den Rest der Messung im Kielwasser des Seeschiffes. Dies kann als ursächlich für den ab Elbe-km 697 nicht mehr so gut übereinstimmenden Squatverlauf zwischen Marvin und Niederelbe angesehen werden. Bis zum Elbe-km 697 beträgt die durchschnittliche Abweichung der Squatwerte rd. 2,5 cm und danach rd. 5 cm.

Bei der Betrachtung der Differenzen ist u. a. zu berücksichtigen, dass es sich bei der Niederelbe um einen speziellen Bootstyp, einen Katamaran, mit einem speziellen Antrieb handelt, der auf Grund seiner Bauform ein besonderes Eintauchverhalten, gerade in Beschleunigungsphasen, zeigt. Ein aufwändiges, separates Kalibrationsexperiment mit drei GPS-Antennen an Bord der Niederelbe half schließlich bei der Modellierung des Bewegungsverhaltens.

A. Gollenstede: Squat-Messung mit SHIPS

Trotzdem sind die Ergebnisse für den ersten Fahrtabschnitt sehr zufrieden stellend. Sie liegen mit der bereits erwähnten durchschnittlichen Differenz von nur 2.5 cm zwischen den beiden Auswertungen, wie erwartet im Genauigkeitsbereich der SHIPS-Methode.

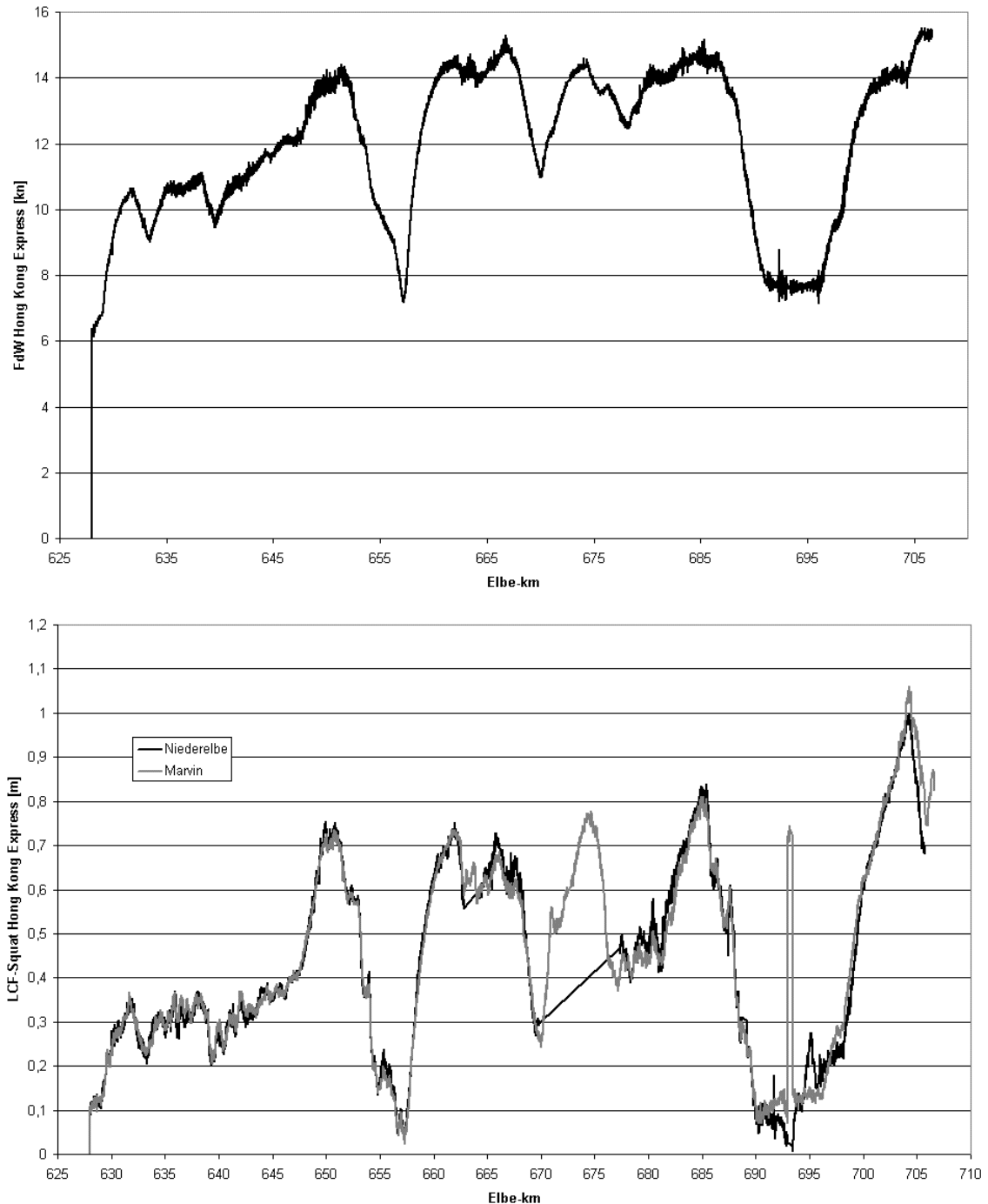


Abbildung 13: Gegenüberstellung der Fahrt durchs Wasser (FdW) und dem LCF-Squat der Hong Kong Express – gemessen mit den Begleitbooten Marvin und Niederelbe.

6.4. Untersuchung des Squatverhaltens eines Forschungsschiffes auf der Ostsee

Nicht nur für Frachtschiffe spielt die korrekte Bestimmung des Squat eine wichtige Rolle. Auch bei der Durchführung von Echolotungen ist der korrekte Bezug zur Wasseroberfläche von großer Bedeutung.

Im Frühjahr 2003 wurde daher im Rahmen einer Messkampagne das Squatverhalten des Vermessungsschiffes VWFS Deneb, des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) untersucht. Die Messungen wurden einige Seemeilen östlich von Warnemünde auf der Ostsee durchgeführt. Dazu wurden während des Experimentes die Squat beeinflussenden Faktoren Geschwindigkeit und Wassertiefe variiert. Mit einer Variation der Geschwindigkeit von 2 bis 10 kn und einem Wassertiefenbereich von 4 bis 15 m wird das während einer „normalen“ Messfahrt üblicherweise auftretende Spektrum annähernd abgedeckt.

Als Resultat der Untersuchungen liegen nun Korrekturwerte vor, mit denen zukünftige Echolotungen um einen Squatbetrag in Abhängigkeit der beiden o. g. Faktoren korrigiert werden können.

Der maximale Squat wird, wie erwartet, im Bereich maximaler Geschwindigkeit und geringster Wassertiefe erreicht. Er liegt dort bei etwa 32 cm. Die Genauigkeit des Squats ist, unter der Berücksichtigung aller in Abschnitt 5 genannten Korrekturen, besser als 2 – 3 cm.

Eine ausführlichere Beschreibung findet sich in [9].

lfd. Nr.	Monat Jahr	Richtung	Schiff	Typ	Lpp [m]	Breite [m]	Tiefgang [m]	Verdrängung [mt]	Begleitboot
9	April 2003	-	Deneb	Forschung	52	11	3.4		Tochterboot der Deneb

Tabelle 4: Messfahrten auf der Ostsee

6.5. Squat-Messungen auf dem Nord-Ostsee-Kanal

Der Vollständigkeit halber wird hier noch ein kurzer tabellarischer Überblick (Tabelle 5) über die auf dem Nord-Ostsee-Kanal (NOK) durchgeführten Messfahrten gegeben. Einzelne Ergebnisse der Fahrten sind in [1] veröffentlicht.

lfd. Nr.	Monat Jahr	Richtung	Schiff	Typ	Lpp [m]	Breite [m]	Tiefgang [m]	Verdrängung [mt]	Begleitboot
4	März 2001	W-O	Polaris	Container	115.23	20.20	6.30	10736	Friedrich Voss
5	Dez. 2001	O-W	Polaris	Container	115.23	20.20	6.20	9868	Friedrich Voss
7	Okt. 2002	O-W	Alsterstern	Tanker	153.00	23.00	8.70	22978	Marvin

Tabelle 5: Messfahrten auf dem Nord-Ostsee-Kanal

7. Zusammenfassung und Ausblick

Das SHIPS-Verfahren ermöglicht hochgenaue Naturmessungen des Squat mit einer Qualität von ca. 3 – 4 cm. Ermöglicht wird diese Genauigkeit auf der einen Seite durch die präzisen DGPS-Messungen mit kurzen Basislinien zwischen Seeschiff und der Referenzstation auf dem Begleitboot. Auf der anderen Seite trägt die exakte Bestimmung des Wasserstandes am Ort der Messung durch das Begleitboot zur guten Qualität.

Die Nachteile landgestützten GPS-Verfahren, ob mit oder ohne Vernetzung, liegen immer in der Eliminierung oder Modellierung der entfernungsabhängigen Fehleranteile. In einer noch ausstehenden Messfahrt auf der Elbe soll nochmals ein Vergleich der Qualität des SHIPS-Verfahrens mit einem auf vernetzten SAPOS-Referenzstationen basierenden Verfahren, dieses Mal unter der Nutzung von Flächenkorrekturparametern, erfolgen.

Die Ergebnisse der SHIPS-Methode zeigen beim Vergleich verschiedener Messfahrten mit unterschiedlichen Schiffstypen gute Übereinstimmungen. Die Einflüsse verschiedenster, auch kleinskaliger, Faktoren, wie z. B. Sohlstrukturen lassen sich präzise und reproduzierbar nachweisen.

Im Projekt wurden des Weiteren die Einflüsse wasserbaulicher Aspekte wie z. B. Wassertiefe, Gewässerbreite und der Einfluss von Sohlstrukturen, auf das Squatverhalten von Schiffen intensiv untersucht. Eine ausführliche Darstellung der Analysen findet sich in [2].

8. Literatur

- [1] Dunker, S., Gollenstede, A., Härting, A., Reinking, J., *Analysis and Comparison of SHIPS-derived Squat*, Proceedings Hydro 2002, Kiel (2002), pp. 434 - 449.
- [2] Dunker, S., *Analyse von wasserbaulichen Einflussgrößen auf die Unterkielfreiheit von Seeschiffen*, 2. Squat-Workshop 2004, Fachhochschule Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelms-haven, (2004).
- [3] Reinking J., Härting A., *Heave Determination by Stand-Alone GPS and/or Inertial Sensors*, Proceedings Hydro 2002, Kiel (2002), pp. 452 - 459.
- [4] Böder, V., *Zur hochpräzisen GPS-Positions- und Lagebestimmung unter besonderer Berücksichtigung mariner Anwendungen*, Dissertation, Universität Hannover, aus der Reihe: Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Vermessungswesen der Universität Hannover, Nr. 245, (2002).
- [5] Wanninger, L., *Virtuelle Referenzstationen in regionalen GPS-Netzen*, 46. DVW-Fortbildungsseminar: GPS Praxis und Trends '97, Frankfurt am Main, DVW-Schriftenreihe 35/1999, S. 199 - 212
- [6] Wübbena, G., Bagge, A., Seeber, G., Böder, V., Hankemeier, P., *Reducing Distance Dependent Errors for Real-Time Precise DGPS-Applications by Establishing Reference Station Networks*, Proceedings of 9. International Technical Meeting of The Institute of Navigation, September 1996, Kansas City, USA, S. 1845 - 1852
- [7] Härting, A., Reinking, J., *Efficient Determination of Ship Squat: First Results*, Schiff und Hafen, 3 / 1999, pp. 78 - 80
- [8] Härting, A., Reinking, J., *SHIPS: A New Method for Efficient Full-Scale Ship Squat Determination*, Proceedings PIANC congress, pp. 1805 - 1813, Sydney, 2002
- [9] Härting, A., Reinking, J., Ellmer, W., *Ship Squat in Hydrography – a Study of the Surveying Vessel Deneb*, Hydro International, submitted
- [10] Wübbena, G., *GNSS-Smart. Echtzeit-GPS genauer als 1 cm*, Vorträge des 1. SAPOS-Symposiums, Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV), 11. – 12.05.1998, Hamburg
- [11] Braun, G., Dünck-Kerst, H.-G., Wirth, H., *Messtechnische Ermittlung des schiffsdynamischen Parameters Squat*, Beiträge zum 11. Hydrographentag, Glücksburg, 1996

Das Projekt im Internet

www.SHIPS-Squat.de