

GPS-gestützte Seegangskorrektur hydrographischer Messungen aus Einzelempfänger-Daten

Jörg Reinking und Alexander Härting

Zusammenfassung

Seegangsinduzierte Höhenvariationen werden in der Hydrographie häufig durch den Einsatz von Heave-Roll-Pitch-Sensoren, die Hub-Bewegungen aus Beschleunigungs- und Drehratenmessungen ableiten, korrigiert. Diese Variationen können allerdings auch aus Messungen mitgeführter, hochgenauer GPS-Empfänger bestimmt werden. Besonders für Gebiete mit schlechter Abdeckung durch vorhandene Referenzstationen eignet sich dabei die Bestimmung der Höhenänderung aus zeitlichen Phasendifferenzen eines einzelnen Empfängers. Die daraus berechneten Höhenänderungen zwischen aufeinanderfolgenden Epochen sind bei kurzen Zeitabständen der Epochen kaum durch Störeffekte beeinflusst. Erst bei einer Kumulation dieser Höhenänderungen über längere Zeiträume zeigen die Effekte systematische Wirkungen, die jedoch durch eine geeignete Filterung reduziert oder eliminiert werden können. Das Verfahren wurde bei verschiedenen Testmessungen angewendet und zeigte eine gute Qualität der daraus bestimmten Seegangskorrekturen.

Summary

Wave induced height variations in hydrographical measurements are frequently corrected by using heave-roll-pitch sensors, which compute heave from acceleration and angular rate data. Height variations can also be determined using precise on-board GPS-receivers. This paper introduces a method of determining short-term changes in height from epoch-to-epoch phase differences of a single receiver. This technique is therefore particularly suitable for areas with poor reference station coverage. Given a sufficiently high measurement frequency, the computed height changes between successive epochs are hardly affected by perturbations. Cumulating these height changes over time makes noise and perturbations become apparent as long-term variations which, however, can be reduced or eliminated by appropriate filtering. The method has been applied to several test measurements. A good quality of the resulting wave corrections is demonstrated.

1 Einleitung

Bei hydrographischen Messungen ist es häufig notwendig, die durch Seegang verursachte Bewegung eines Schiffes aus dem Datenmaterial zu eliminieren. Echotmessungen auf See, bei denen der Bezug zu Seekarten-null mittels Wasserstandsbeschickung realisiert wird, sind besonders durch die seegangsinduzierte Variation der Schwingerhöhe verfälscht (Andree et al. 2000). Eben-

so sind Messungen der hydrodynamisch bedingten Tiefgangsänderungen von fahrenden Schiffen, des so genannten Squat-Effektes, durch Wellen und Seegang beeinflusst (Härting u. Reinking 1999). Um diese Einflüsse zu eliminieren oder zu reduzieren, werden vielfach Heave-Roll-Pitch-Sensoren eingesetzt, die aus Beschleunigungen und Drehraten die dreidimensionalen Lageänderungen in Form des Stampfens und Rollens sowie die Hubbewegung eines Schiffes ableiten.

Allerdings ist der Einsatz solcher Sensoren mit erheblichen Kosten verbunden. Daher liegt die Frage nahe, inwieweit hochgenaue GPS-Empfänger, die in vielen Fällen zur genauen Positionsbestimmung bereits schon an Bord von Messschiffen vorhanden sind, zur Bestimmung von Seegangskorrekturen eingesetzt werden können.

Wenn die Messungen in der Nähe von festen GPS-Referenzstationen ausgeführt werden, dann ist die Bestimmung von Seegangskorrekturen unproblematisch. Aus differentiellen Phasemessungen können, in Echtzeit oder im post-processing, Höhen und damit Höhenänderungen des bewegten Empfängers berechnet werden. Durch Hochpassfilterung der Höhen lassen sich langwellige Effekte wie Tidestandsänderungen o. ä. reduzieren. Der aktuelle Stand der Auswertetechnik bietet dabei – entsprechend der Angaben von GPS-Hard- und Softwareanbietern – bei Entfernungen unter 20 bis 25 km von der Referenzstation Genauigkeiten von ca. 1,0 cm bis 5,0 cm für die Höhen.

Als problematisch erweisen sich jedoch Situationen, in denen die Entfernung zu Referenzstationen größer als 25 km sind oder keine Referenzstationsdaten zur Verfügung stehen. Im ersten Fall wird die Höhengenaugkeit schnell so schlecht, dass eine Seegangskorrektur die Echotmessungen verschlechtern kann. Im zweiten Fall ist keine Bestimmung der Höhen aus Phasemessungen möglich. Dennoch beinhalten GPS-Phasemessungen auf dem Schiff Informationen über die Änderung der Position. Bildet man die Phasendifferenzen aufeinanderfolgender Epochen, so müssen sowohl Lage-, als auch Höhenänderungen zwischen den Epochen diese zeitlichen Differenzen beeinflussen.

2 Zeitliche GPS-Phasendifferenzen aus Einzelempfängerdaten

Eine einzelne Phasemessung eines Empfängers i zu einem Satelliten k kann bekanntlich vereinfacht beschrieben werden durch (Hofmann-Wellenhof et al. 2001)

$$\begin{aligned} \phi_i^k(t_j) = & \rho_i^k(t_j)/\lambda + \Delta Uhr_i(t_j) - \Delta Uhr^k(t_j) \\ & + \Delta ion_i^k(t_j) + \Delta trop_i^k(t_j) + N_i^k + \varepsilon_i^k(t_j) \end{aligned}$$

mit

- $\phi_i^k(t_j)$ Phasensmessung zur Epoche t_j
- $\varepsilon_i^k(t_j)$ zufällige Messabweichung zur Epoche t_j
- $\rho_i^k(t_j)$ Raumstrecke zwischen Satellit zum Sendezeitpunkt und Empfangsantenne zum Empfangszeitpunkt zur Epoche t_j
- λ Wellenlänge des Signals
- $\Delta Uhr_i(t_j), \Delta Uhr^k(t_j)$ Einfluss des Uhrfehlers des Empfängers i bzw. des Satelliten k zur Epoche t_j
- $\Delta ion_i^k(t_j), \Delta trop_i^k(t_j)$ ionosphärische und troposphärische Einflüsse zur Epoche t_j
- N_i^k Phasemehrdeutigkeit

Bildet man die fast ausschließlich für die Untersuchung von Phasensprüngen genutzten Phasendifferenzen zweier aufeinander folgender Epochen j und $j+1$, dann verschwinden – unter der Voraussetzung, dass keine Phasensprünge aufgetreten sind – die unbekannt Phasemehrdeutigkeiten. Werden die zeitlichen Abstände der Epochen klein genug gewählt (z.B. 1 Sekunde), dann können die Variationen der troposphärischen und ionosphärischen Einflüsse als sehr gering angesehen werden. Die zeitlichen Differenzen können mit ausreichender Genauigkeit mit Null angenommen werden. Ebenso kann davon ausgegangen werden, dass die Einflüsse der Uhrfehler des Satelliten sich innerhalb kurzer Zeiträume nur unerheblich ändern. Damit reduziert sich die zeitliche Phasendifferenz mit ausreichender Näherung zu:

$$\begin{aligned} \phi_i^k(t_{j+1}) - \phi_i^k(t_j) = & (\rho_i^k(t_{j+1}) - \rho_i^k(t_j))/\lambda + \Delta Uhr_i(t_{j+1}) \\ & - \Delta Uhr_i(t_j) + \varepsilon_i^k(t_{j+1}) - \varepsilon_i^k(t_j) \end{aligned}$$

Neben der Änderung der Position des Satelliten k enthält die Differenz der Raumstrecken die Positionsänderung der Antenne des Empfängers i . Die Koordinaten des Satelliten k können aus broadcast-Ephemeriden oder präzisen Bahnen z.B. des IGS berechnet werden. Für die Anfangslösung zur Epoche j kann die Position der Empfangsantenne und der zugehörige Einfluss des Uhrfehlers aus der Code-Lösung, ggf. mit phasengeglätteten Pseudo-Range-Messungen, genutzt werden. Die zeitliche Änderung der Antennenkoordinaten und des Einflusses des Uhrfehlers kann aus den Phasenbeobachtungen zweier Epochen zu mindestens vier Satelliten berechnet werden.

Für einen Test wurden am 7. Mai 2001 auf einer festen Station an der Fachhochschule in Oldenburg Zwei-

Frequenz-Phasenbeobachtungen über einen Zeitraum von ca. 12,5 h im 1-Sekunden-Intervall mit einem Empfänger des Typs TRIMBLE 4700 aufgezeichnet. Die Resultate der Auswertung der zeitlichen Phasendifferenzen sind für die Höhe in Abb. 1 dargestellt. Die Höhenänderungen zwischen den Epochen und der PDOP sind über den Sekunden des Tages (SOD) in GPS-Zeit aufgetragen. Die durchschnittliche Höhenänderung der mehr als 44000 Daten beträgt 1,4 mm, was dem wahren Wert der Höhenänderung der festen Station – also Null – nahe kommt. Die berechneten Höhenänderungen können als zufällige Abweichungen vom wahren Wert angesehen werden, die damit berechnete Standardabweichung liegt bei 6,1 mm für die Höhenänderungen. Bleiben die Höhenänderungen für den Zeitraum, in dem der PDOP mehr als 7,5 beträgt, unberücksichtigt, dann überschreiten die Beträge der Höhenänderungen nur in ca. 5 % aller Fälle 1 cm.

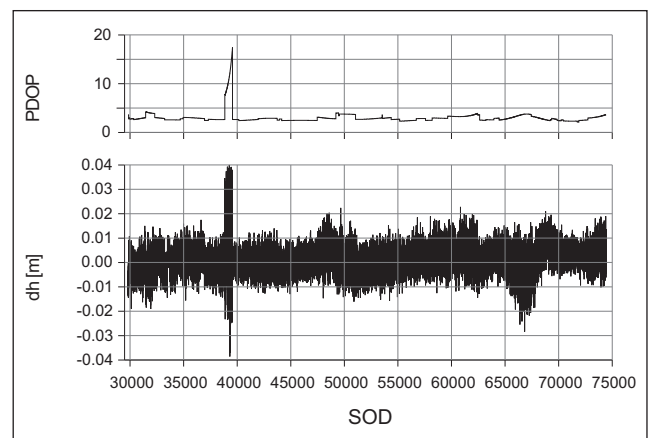


Abb. 1: berechnete Höhenänderungen (dh) zwischen Epochen und PDOP für eine feste Station aufgetragen über Sekunden des Tages (SOD)

Geht man von der Annahme aus, dass die Höhenänderungen nur zufällige Abweichungen vom wahren Wert Null darstellen, dann müssten die kumulierten Höhenänderungen zur Epoche j die Gesamthöhenänderung seit der Epoche 1 widerspiegeln. Für die Testmessung müssten also diese in Abb. 2 dargestellten kumulierten Höhenänderungen um Null variieren.

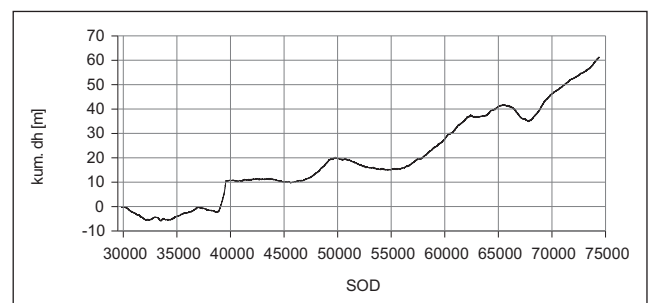


Abb. 2: kumulierte Höhenänderungen zwischen Epochen für eine feste Station

Dass die kumulierten Höhenänderungen nicht um Null variieren, sondern sogar sehr große Werte annehmen, liegt an der Überlagerung mehrerer Effekte. Zunächst muss festgestellt werden, dass die Annahme der geringen Veränderung troposphärischer Einflüsse nur zwischen aufeinander folgenden Epochen gültig ist. Werden die Höhenänderungen kumuliert, so wird dabei eine Integration der vernachlässigten Variation troposphärischer Einflüsse vorgenommen. Daneben führt eine ungenaue Position für die Epoche j zu systematischen Effekten. Zusätzlich wirkt der bei Summation von zufälligen Abweichungen nicht vermeidbare random-walk, der zu einer Vergrößerung der mittleren Abweichung in der Summe führt. Ferner treten noch weitere Effekte nicht berücksichtigter Einflüsse, wie z. B. Mehrwegausbreitung, auf.

Die vollständige Identifikation und korrekte Berücksichtigung aller einer systematischen Drift verursachender Effekte ist kaum möglich. Es stellt sich die Frage, ob eine Identifikation überhaupt zwingend notwendig ist. Offensichtlich wirken diese Effekte erst über längere Zeiträume systematisch, wie die gute Qualität der einzelnen Höhenänderungen zeigt. Daher sollte es realisierbar sein, diese Effekte durch eine geeignete Filterung zu eliminieren oder zu reduzieren.

3 Hochpassfilterung der kumulierten Höhenänderungen

Die systematisch wirkenden Effekte zeigen gegenüber den tatsächlichen Höhenänderungen – im Beispiel keine –, die zwischen den Epochen berechnet werden, einen eher langwelligen Charakter. Solche niedrigfrequenten Effekte können mittels digitaler Hochpassfilterung eliminiert oder reduziert werden. Hochpass-Filter haben die Eigenschaft, Frequenzen unterhalb der so genannten cut-off-Frequenz aus dem Datenmaterial zu filtern. Indes erzeugt jedes Filter, neben seiner Amplituden-Antwortcharakteristik, eine Phasenverschiebung, wenn es als reines Vorwärts- bzw. Rückwärtsfilter genutzt wird. Erst durch gemeinsame Anwendung von Vorwärts- und Rückwärtsfilterung kann diese Phasenverschiebung vermieden werden (Wenzel 1999). Eine solche Filterung ohne Phasenverschiebung ist allerdings nicht in der Echtzeitanwendung möglich.

Für diese Untersuchung wurde ein Butterworth-Filter gewählt, das als rekursives Filter einen scharfen cut-off bei relativ niedriger Filterordnung ermöglicht (Parks and Burrus 1987). Die Filterung wurde mit Hilfe der Signalverarbeitungs-Toolbox von MATLAB vorgenommen. Dabei wurden nach empirischen Versuchen eine cut-off-Frequenz von 0,05 Hz und eine Filterordnung von 8 als optimale Filterparameter gewählt. Bei der hier vorliegenden Datenrate von 1 Hz entspricht dies 1/10 der Nyquist-Frequenz.

Durch die Wahl der cut-off-Frequenz wurden entsprechend alle systematischen Effekte gefiltert, die über Zeiträume von 20 Sekunden und mehr wirksam werden. Die damit verbundene Annahme scheint sinnvoll, dass die Effekte, die besonders stark die systematische Drift der kumulierten Höhenänderungen beeinflussen, nämlich die Änderungen troposphärischer Einflüsse, die ungenaue Position für die Epoche j und der random-walk-Effekt, in Zeiträumen von weniger als 20 Sekunden kaum oder nur unbedeutend wirken.

In Abb. 3 sind die hochpassgefilterten kumulierten Höhenänderungen dargestellt. Wie zu erwarten war, sind die langwelligen Effekte verschwunden. Die resultierenden kumulierten Höhenänderungen entsprechen der tatsächlichen »Bewegung« der festen Station auch über den Gesamtzeitraum und variieren nur gering um Null. Ihr Mittelwert ist jetzt Null, ihre Standardabweichung beträgt 3,7 mm. Auch bei Berücksichtigung des Zeitraums, in dem der PDOP mehr als 7,5 beträgt, liegen nur ca. 1,3% aller Höhenänderungen über 1 cm und ca. 12,1% über 5 mm. Offensichtlich lässt sich also mit den gefilterten kumulierten Höhenänderungen das Bewegungsverhalten dieser festen Station mit hoher Genauigkeit beschreiben.

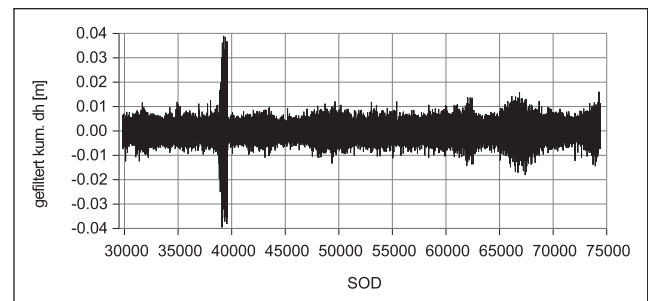


Abb. 3: gefilterte kumulierte Höhenänderungen zwischen Epochen für eine feste Station

4 Testmessung auf VS KOMET

Zur Verifikation der guten Ergebnisse für die feste Station wurden Daten eines bewegten Empfängers nach dem gleichen Schema ausgewertet. Dazu konnten Zwei-Frequenz-GPS-Rohdaten eines Leica SR530 einer 10-minütigen Versuchsfahrt mit dem Boot Nr. 2 des Vermessungsschiffs *Komet* des BSH vom 4. Oktober 2001 genutzt werden. Dabei handelt es sich um Rohdaten im 0,1-Sekunden-Intervall, die auf der Jade in der Nähe Wilhelmshavens unter Beteiligung eines der Autoren (A. H.) aufgenommen wurden. Zusätzlich wurden die neben den Rohdaten ebenfalls im 0,1-Sekunden-Intervall aufgezeichneten Koordinaten aus einer RTK-Messung mit der SAPOS-Referenzstation Wilhelmshaven der LGN bereitgestellt. Diese Koordinaten können als Soll-Werte der Bewegung angesehen werden, da die Entfernung zur Referenzstation unter 5 km lag.

In Abb. 4 sind die Höhen aus der RTK-Lösung – über den Sekunden des Tages (SOD) aufgetragen – dargestellt. Deutlich sichtbar sind die kurzperiodischen starken Höhenvariationen, die aus dem Seegang resultieren und im Maximum ca. 50 cm betragen. Daneben sind noch langperiodische Höhenänderungen erkennbar, die sich aus der Tidestandsänderung sowie aus Geschwindigkeits- und Lageänderungen des Messfahrzeugs ergeben.

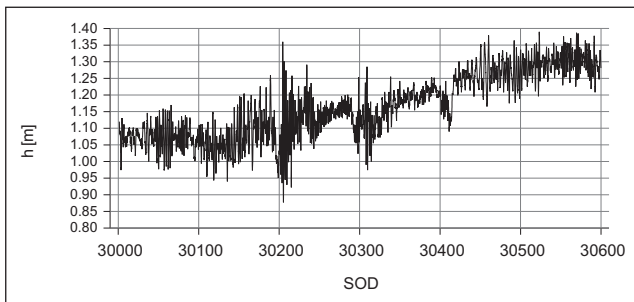


Abb. 4: aus RTK-Messungen resultierende Höhen des Messfahrzeugs

Die Rohdaten der Phasemessungen wurden einer zeitlichen Phasendifferenz-Auswertung unterzogen. In Abb. 5 sind die daraus resultierenden kumulierten Höhenänderungen für die Messfahrt dargestellt. Offenkundig ist auch hier der relativ große systematische Einfluss unberücksichtigter langwelliger Effekte, der zu einer Drift der Höhenänderungen führt. Allerdings sind daneben noch deutlich große, kurzperiodische Variationen erkennbar, die augenscheinlich zeitlich mit den Variationen in den RTK-Höhen in Abb. 4 korrelieren. Daher wurden auch diese Daten einer Hochpassfilterung unterzogen. Dabei wurde wiederum in MATLAB ein Butterworth-Filter mit Hochpasseigenschaften und einer cut-off-Frequenz von 0.05 Hz (hier 1/100 der Nyquist-Frequenz) gewählt. Der Ansatz dieser cut-off-Frequenz deckt sich mit Ergebnissen von Goffinet (2000), der für den Seegang aus Testreihen unter ähnlichen Bedingungen Frequenzen größer als 0,06 Hz ermittelt hat. In den so gefilterten Daten muss entsprechend der Seegang enthalten sein. Abb. 6 zeigt jetzt die mit den gefilterten kumulierten Höhenänderungen korrigierten Höhen der RTK-Lösung.

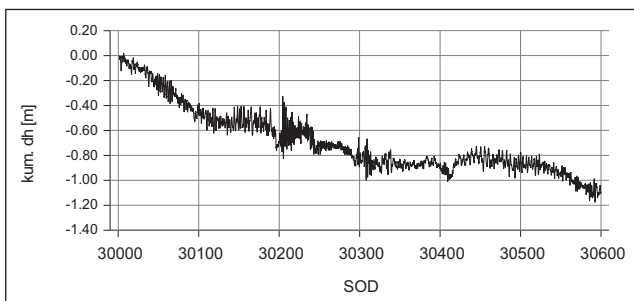


Abb. 5: kumulierte Höhenänderungen aus einer zeitlichen Phasendifferenz-Auswertung

Gegenüber den originären Höhen der RTK-Lösung hat sich die seegangsinduzierte Höhenvariation erheblich reduziert. Es verbleiben langwellige Bewegungen, die aus Tidestandsänderungen sowie aus Geschwindigkeits- und Lageänderungen des Messfahrzeugs resultieren. Besonders offensichtlich wird dies bei einem Vergleich der korrigierten Höhen mit der Geschwindigkeit des Messfahrzeugs (Fahrt über Grund, FÜG). Anders als in den originären Höhen sind auch kleinskalige Einflüsse von Geschwindigkeiten und Beschleunigungen in den korrigierten Höhen deutlich identifizierbar. Anhand eines Vergleiches der dargestellten Höhen- und Geschwindigkeitsänderungen lässt sich z.B. erkennen, dass das dynamische Fahrverhalten des Messfahrzeugs bei Geschwindigkeiten über 5-6 m/s eher als »Gleitfahrt«, denn als »Verdrängerfahrt« zu beschreiben ist.

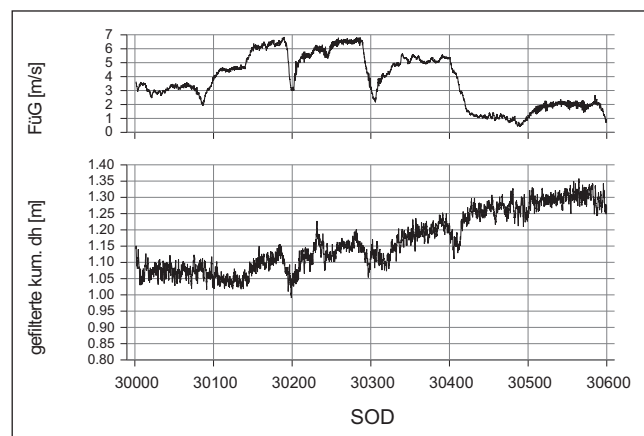


Abb. 6: mit gefilterten kumulierten Höhen korrigierte Höhen der RTK Lösung und Fahrt über Grund (FÜG) des Bootes

Zur Abschätzung der Qualität der Korrektur wurden die korrigierten Höhen in MATLAB mit dem identischen Filter bearbeitet, mit dem bereits die kumulierten Höhenänderungen gefiltert wurden. Wenn die gefilterten kumulierten Höhenänderungen das Bewegungsverhalten des Messfahrzeugs korrekt beschreiben, dann stellen die aus dieser Filterung resultierenden Werte – bei Annahme fehlerfreier Höhen aus der RTK-Lösung – die zufälligen Abweichungen der Höhenkorrektur dar. Daraus ergibt sich eine Standardabweichung der Höhenkorrekturen von 1,3 cm. Berücksichtigt man noch, dass Höhen aus der RTK-Lösung in der Regel eine Standardabweichung von ca. 1 cm und mehr aufweisen, dann dürfte die Genauigkeit der Höhenkorrekturen bei ca. 3 bis 5 mm liegen. Gefilterte kumulierte Höhenänderungen aus zeitlichen Phasendifferenzen eines einzelnen Empfängers eignen sich offensichtlich auch unter realistischen Bedingungen zur Seegangskorrektur.

5 Anwendung auf Squat-Messungen

Im Rahmen eines vom BMBF finanzierten Projektes wird z. Zt. an der FH Oldenburg / Ostfriesland / Wilhelmshaven in Kooperation der Fachbereiche Vermessungswesen und Seefahrt ein neues Verfahren zur Natur-Messung der hydrodynamisch bedingten Tiefgangsänderung von fahrenden Seeschiffen (Squat) entwickelt. Dabei wird der Squat des Seeschiffes unabhängig von Pegeldata aus Relativmessungen dreier GPS-Empfänger an Bord des Seeschiffes und einem GPS-Empfänger auf einem kleineren Begleitboot abgeleitet (Härtling u. Reinking 1999). Abb. 7 stellt das Messprinzip des Verfahrens dar.

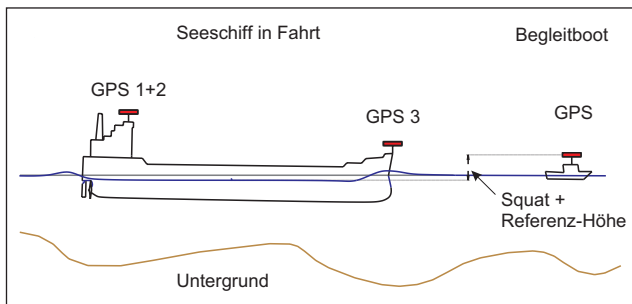


Abb. 7: neues Prinzip für Squat-Messungen auf realen Schiffen

Die Höhendifferenzen zwischen den GPS-Antennen an Bord des Begleitbootes und des Seeschiffes werden bei diesem Verfahren unabhängig von landfesten Referenzstationen bestimmt. Dadurch ist dieses Verfahren äußerst flexibel einsetzbar. Neben dem Squat des Begleitbootes und einigen anderen Einflüssen ist die Qualität der Bestimmung des Squat des Seeschiffes allerdings besonders von der kurzperiodischen Eigenbewegung des Begleitbootes abhängig. Seegang und Wellen wirken sich unmittelbar auf die Größe des Squat aus.

Nach diesem Messprinzip wurde am 22. Dezember 2000 eine Messfahrt auf der Unterweser zwischen dem Hafen Brake (ca. Strom-km 41 der Unterweser) und Bremerhaven (Strom-km 72) durchgeführt. Bei dem Seeschiff handelte es sich um einen Massengutfrachter von 190 m Länge und 32 m Breite, der statische Tiefgang betrug 11,3 m. Als Begleitboot wurde das Arbeitsboot *Geestemünde* des WSA Bremerhaven eingesetzt, dessen Squat-Verhalten aus Voruntersuchungen bekannt war. In Abb. 8 ist der aus der Auswertung resultierende Bug-Squat, also die Tiefgangszunahme am Bug des Seeschiffes, sowie die Geschwindigkeit des Seeschiffes (Fahrt durch Wasser FdW in kn) über den Strom-km der Unterweser aufgetragen. Man erkennt deutlich die Abhängigkeit des Squat von der Geschwindigkeit des Seeschiffes. Ab ca. Strom-km 60 verbreitert sich die Weser erheblich, die Tiefe des Gewässers nimmt ebenfalls zu. Daher ist der Squat auch bei größeren Geschwindigkeiten geringer als in den flacheren und engeren vorhergehenden Fahrwasserabschnitten. Neben diesen langperiodischen Erschei-

nungen sind noch kleinere, kurzperiodische Variationen im dm-Bereich erkennbar. Diese Variationen sollten auf die Untergrundstruktur der Weser in diesem Abschnitt zurückzuführen sein. Allerdings kann nicht ausgeschlossen werden, dass hier auch die Höhe der Antenne auf dem Begleitboot durch Seegang und Wellen beeinflusst wurde.

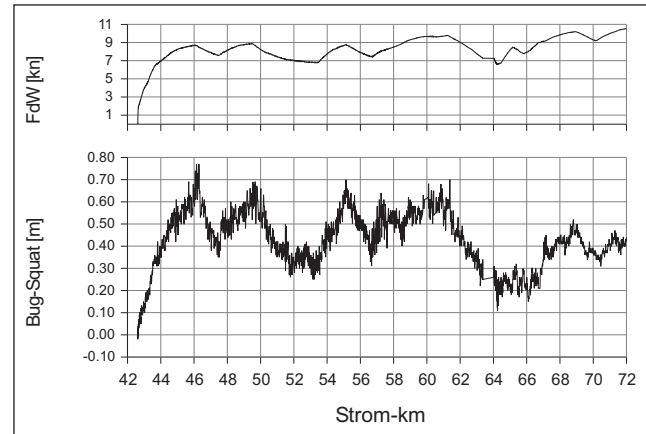


Abb. 8: Bug-Squat und Fahrt durch Wasser (FdW) für die Messfahrt auf der Unterweser

Eine besonders deutliche kurzperiodische Squat-Änderung ist bei Strom-km 51,5 sichtbar. Das Messprotokoll für das Begleitboot weist für diese Stelle den Durchgang des Begleitbootes durch die Heckwelle eines Schleppers aus. Abb. 9 zeigt dazu die Detailansicht. Es ist deutlich erkennbar, dass hier der Bug-Squat durch die Bewegung des Begleitbootes erheblich beeinflusst ist. Eine Analyse der so beeinflussten Daten bezüglich diverser Einflussfaktoren ist nicht ohne weiteres möglich.

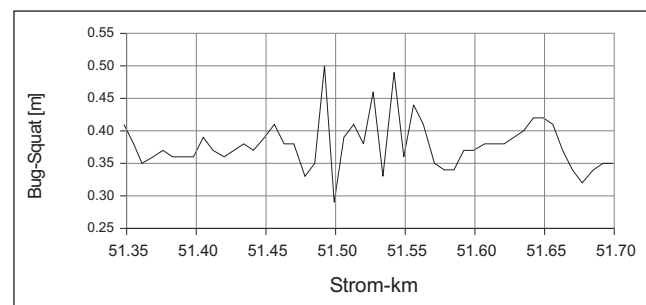


Abb. 9: Detailansicht des Bug-Squat bei Durchgang des Begleitbootes durch die Heckwelle eines Schleppers

Zur Korrektur dieser kurzperiodischen Bewegung wurden aus den GPS-Daten des Begleitbootes mittels zeitlicher Phasendifferenzlösung die Höhenänderungen zwischen den Epochen berechnet. Die kumulierten Höhenänderungen wurden wie beschrieben wieder mittels eines Butterworth-Filters mit Hochpasseigenschaften und einer cut-off-Frequenz von 0,05 Hz in MATLAB gefiltert. Die Ergebnisse dieser Filterung sind in Abb. 10 wiedergegeben.

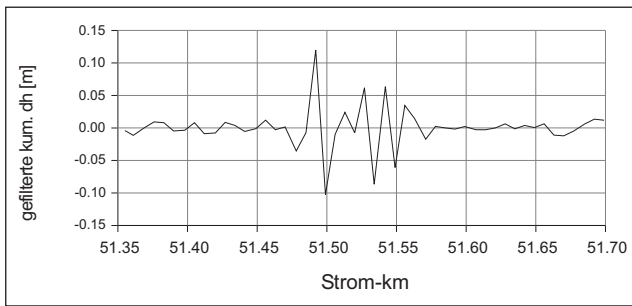


Abb. 10: gefilderte kumulierte Höhenänderungen aus epochenweiser Auswertung

Deutlich sichtbar ist, dass die gefilderten kumulierten Höhenänderungen dem Einfluss des Durchgangs durch die Heckwelle in Abb. 9 entsprechen. Die mit diesen Werten korrigierten Squat-Daten sind frei von dieser Bewegung (Abb. 11). Erst nach Anbringen dieser Korrekturen ist eine weitere Analyse der Squat-Daten sinnvoll.

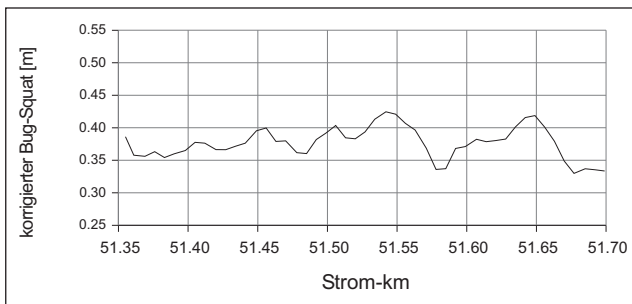


Abb. 11: korrigierte Squat-Daten

6 Fazit

Die Hubbewegungen einer einzelnen, bewegten GPS-Antenne lassen sich unabhängig von Referenzstationsdaten aus zeitlichen Phasendifferenz-Auswertungen bestimmen. Die daraus resultierenden Höhenänderungen der Antenne zeigen z. B. für eine feste Station bei kurzen Epochenabständen eine gute Qualität. Werden diese Höhenänderungen kumuliert, dann machen sich nichtmodellierbare Effekte als systematische, aber langwellige Einflüsse deutlich. Durch eine geeignete Hochpassfilterung können diese Systematiken eliminiert oder reduziert werden, sodass die gefilderten kumulierten Höhenänderungen auch langfristig das Bewegungsverhalten der Antenne gut beschreiben. Die so gewonnenen Informationen über Hubbewegungen können daher grundsätzlich für die Korrektur von Seegangseinflüssen in hydrographischen Daten genutzt werden.

Bei Routineanwendungen in der Hydrographie werden Seegangskorrekturen in der Regel in Echtzeit angebracht, was mit dem hier verwendeten Filterverfahren nicht möglich ist. Inwieweit eine Echtzeit-Korrektur erforderlich ist, bzw. inwieweit die in diesem Aufsatz vorgestellten Ansätze auf Echtzeit-Systeme übertragbar sind, bleibt zu untersuchen. Seegangskompensatoren, die auf der Basis von Beschleunigungsmessung arbeiten (Hubsensoren), enthalten ebenfalls Hochpass-Filter, die, wegen der geforderten Echtzeit-Ausgabe, nicht unter allen Bedingungen zufriedenstellende Ergebnisse liefern. Ein direkter Vergleich der aus GPS- und Hubsensor-Daten feststellbaren Höhenvariation wird zur Zeit bearbeitet und soll an anderer Stelle veröffentlicht werden.

Dank

Die Autoren sind dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie und insbesondere der Besatzung des Vermessungsschiffes *Komet* zu Dank verpflichtet.

Literatur

- Andree, P., Läger, R., Schmitz, M., Wübbena, G.: Bestimmung von Schiffsbewegungen und anderen hochfrequenten Bewegungen mittels GPS. In: W. Lechner (Hrsg.), *Ortung und Navigation 2000 – GALILEO: DGON Symposium, Tagungsband Freising/Weihenstephan 2000*, DGON, Düsseldorf, 2000.
- Goffinet, P.: Qualitätssteigerung der Seevermessung und Navigation durch neuartige Beschickungsverfahren. *Wiss. Arbeiten der Fachrichtung Verm.wesen der Universität Hannover*, Nr. 235, Hannover, 2000.
- Härtling, A. und Reinking, J.: Test eines neuen Verfahrens zur Naturmessung des Squat-Phänomens auf Seeschiffen. *Hansa* 8: 68–72, 1999.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., Collins, J.: *Global Positioning System. Theory and Practice*. Springer, Wien, New York, 2001.
- Parks, T.W. and Burrus, C.S.: *Digital Filter Design*. John Wiley & Sons, New York, 1987.
- Wenzel, L.: *Digitale Signalverarbeitung ist keine Hexerei*, Teil 5. *Elektronik* 5: 60–66, 1999.

Anschrift der Autoren

Prof. Dr.-Ing. Jörg Reinking
 FB Vermessungswesen
 Institut für Mess- und Auswertetechnik
 FH Oldenburg / Ostfriesland / Wilhelmshaven
 Ofener Str. 16/19
 26121 Oldenburg

Prof. Dr. rer. nat. Alexander Härtling
 FB Seefahrt
 FH Oldenburg / Ostfriesland / Wilhelmshaven
 An der Kaje 3
 26931 Elsfleth