

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Article, Published Version

**Dobler, Wolfgang; Baran, Ramona; Steinbacher, Frank; Ritter, Marcel;
Niederwieser, Manfred; Bengler, Werner; Aufleger, Markus**

Die Verbindung moderner und klassischer Gewässervermessung

Hydrographische Nachrichten

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/108026>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Dobler, Wolfgang; Baran, Ramona; Steinbacher, Frank; Ritter, Marcel; Niederwieser, Manfred; Bengler, Werner; Aufleger, Markus (2013): Die Verbindung moderner und klassischer Gewässervermessung. In: Hydrographische Nachrichten 95. Rostock: Deutsche Hydrographische Gesellschaft e.V.. S. 16-22.

https://www.dhyg.de/images/hn_ausgaben/HN095.pdf.

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.



Die Verbindung moderner und klassischer Gewässervermessung

Airborne Hydromapping und Echolotvermessung entlang der Ostseeküste nordöstlich von Kiel

Ein Beitrag von Wolfgang Dobler, Ramona Baran, Frank Steinbacher, Marcel Ritter, Manfred Niederwieser, Werner Benger und Markus Aufleger

Airborne Hydromapping ist eine neue Technologie für die hochgenaue Vermessung von Binnengewässern. Die Technik wurde innerhalb eines Forschungsprojekts zwischen der Universität Innsbruck und RIEGL entwickelt. Dieses luftgestützte System, dessen Laserstrahlen in das Wasser eindringen, revolutioniert die Vermessung flacher Gewässer. In Kombination mit der klassischen Echolotvermessung lassen sich sowohl das Gewässer als auch der Uferbereich vollständig erfassen. Anhand der Ergebnisse einer solchen kombinierten Vermessung in der Ostsee werden die Potenziale der Technologie vorgestellt.

Airborne Hydromapping | Laserscanning | Flachwasservermessung | Wasserrahmenrichtlinie | HydroVISH

1 Abstract

Airborne Hydromapping is a new technology for the very detailed survey of rivers, lakes and reservoirs. This technique was developed within the scope of a research project between the University of Innsbruck and RIEGL (Horn, Lower Austria). This airborne-operated, water-penetrating laser system is considered as a technical revolution for the comprehensive and simultaneous monitoring

of shallow water bodies (depths down to 8 m), and the adjacent foreland with an accuracy of less than 10 cm. In contrast, sonar measurements are traditionally utilised to determine the deeper bathymetry of rivers, deltas, lakes, and reservoirs (depths of 2 m down to more than 100 m). The combination of these two survey approaches is straightforward in order to efficiently capture the bathymetry of inland waters across a broad depth range due to their overlap (between 2 m and 8 m). The combined results of an Airborne Hydromapping campaign and a sonar survey from July 2012 along a 25 km long section of the Baltic Sea coast north-east of Kiel city in Schleswig-Holstein, Germany, are presented. The major challenge in this context is to bridge the gap between the new and traditional data in terms of quality (high vs. low resolution), quantity (high vs. low point density), data format and size (giga- vs. megabytes). We successfully merged the Hydromapping and sonar data of the Baltic Sea coast by using the software HydroVISH. The results show the great potential of such data merging for water-engineering related economic and scientific issues.

Autoren

Die Autoren sind bei der Airborne HydroMapping OG (AHM), bei der Universität Innsbruck sowie bei der Louisiana State University beschäftigt

Kontakt unter:

info@ahm.co.at

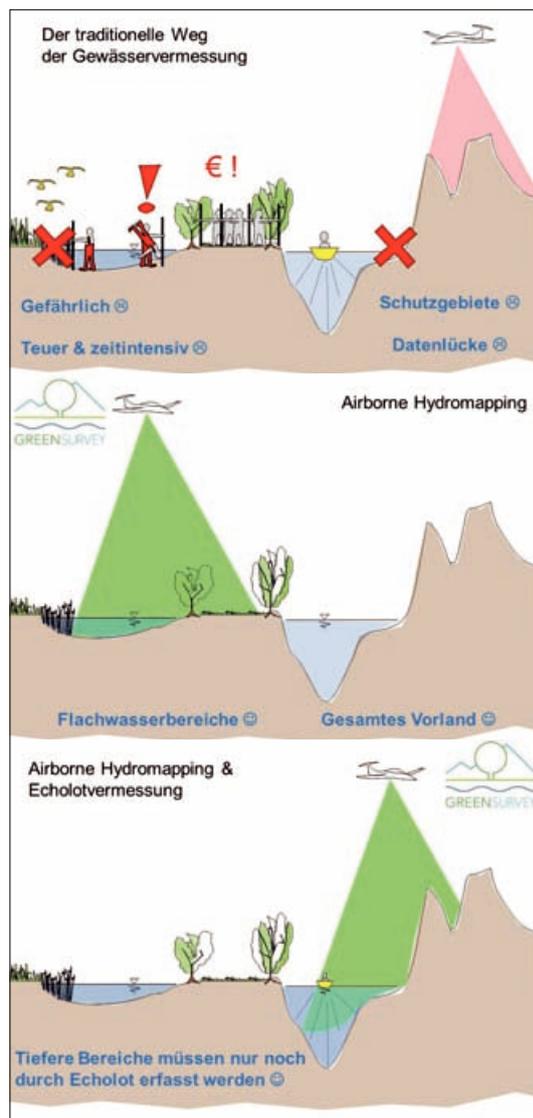


Abb. 1: Komplexität der klassischen Gewässervermessung (oben). Ansatz von Airborne Hydromapping (Mitte). Zusammenspiel von Airborne Hydromapping und Echolotvermessung (unten)

Laserscanner zur Aufnahme hochaufgelöster Bathymetriedaten vorgestellt, der speziell für die Vermessung von Binnengewässern und flachen Küstenzonen entwickelt wurde. Um tiefere Bereiche von Gewässern möglichst vollständig abzubilden, eignen sich besonders klassische Echolotvermessungen (siehe Abb. 1, unten).

In diesem Beitrag werden einerseits Daten und Ergebnisse vorgestellt, die mit dem kompakten Lasersystem an der Ostsee erhoben wurden. Dabei wurden Bereiche entlang der Küste bis in eine Tiefe von ca. 8 m erfasst, Unterwasserdünen und Auebereiche im Küstenhinterland konnten detailliert dokumentiert werden. Zum ersten Mal ermöglichen diese Daten einen detaillierten und räumlich hochaufgelösten Blick (ca. 10–20 Punkte/m²) auf den küstennahen Grund der Ostsee (siehe Abb. 2).

Andererseits wurden die neuartigen Daten mit zeitgleich aufgenommenen Echolotdaten verglichen, und dabei konnte allgemein eine gute räumliche Übereinstimmung erzielt werden.

Wenn man die bathymetrischen Laserdaten mit hochaufgelösten Luftbildern (< 10 cm/Pixel) oder spektralen Bilddaten zusammenführt, eröffnen sich vielfältige, neue Möglichkeiten für weitreichende Analysen. Die Kombination der genannten Datensätze, die alle während eines einzigen Vermessungsfluges erhoben werden können (Topographie, Bathymetrie, Luftbilder und Spektralbilder z. B. in Form von Thermalaufnahmen), stellt eine umfassende und homogene Datenbasis für die präzise Beschreibung von hydraulischen, morphologischen und ökologischen Prozessen in Fließgerinnen und Küstenbereichen dar. Die hohe Dichte und Genauigkeit der gewonnenen Informationen bietet weitreichende Möglichkeiten zu Aspekten der Überwachung von Binnen- und Küstengewässern.

2.1 Anwendungsgebiete

Die Topographie von Flussbetten, Überschwemmungsebenen, Mündungsbereichen und Küsten-

zonen möglichst genau wiederzugeben, ist eine der wichtigsten Arbeitsgrundlagen innerhalb des Wasserbaus. Obwohl verschiedene Faktoren die hydraulische Situation in Gewässern beeinflussen, müssen Unterschiede im hydraulischen Setup (2-D- und 3-D-Modellierung) bezüglich räumlicher Auflösung für eine Modellierung derart kombiniert werden, dass realistische numerische Modelle erzeugt werden können.

Hochwasser- oder auch Wellenmodelle basieren auf digitalen Höhenmodellen, die in den letzten zehn Jahren zumeist aus hochaufgelösten topographischen, flugzeuggestützten Laserscandaten gewonnen wurden (Heritage u. Large 2009). Das digitale Höhenmodell der Gewässersohle dagegen basiert dabei normalerweise auf vereinfachten und interpolierten Daten zwischen Querprofilen, die durch manuelle terrestrische Vermessung oder mit Sonar gewonnen wurden. Aufgrund fehlender hochaufgelöster Information ist die Modellierung flacher Bereiche wie in Flussmündungen, Kiesbänken oder Dünenstrukturen sehr zeitaufwendig oder gar unmöglich. Die wiederholte Überflutung von Stadt- und Küstengebieten in den letzten Jahrzehnten hat deutlich gezeigt, dass die Modellierung solcher Ereignisse wesentlich verbessert werden muss (Hilker et al. 2009). Der Fokus muss dabei auf der Untersuchung der Unsicherheiten von Simulationen liegen, die durch die Inputdaten hervorgerufen werden. Die Gesellschaft verlangt vertrauenswürdige und detaillierte Informationen hinsichtlich der Magnitude und Wahrscheinlichkeit katastrophaler Flutereignisse, um Hochwasserschutzmaßnahmen planen zu können. Dafür werden Modelle benötigt, die auf realen Daten beruhen und nicht auf einer Annahme über die Gestalt der Gewässersohle, gewonnen aus der Interpretation einzelner Daten. Des Weiteren sind zusätzliche Informationen über die Oberflächenrauigkeit des Gewässerbettes und die Wasserspiegellage relevant, um numerische Modelle zu kalibrieren. Airborne Hydromapping ist hierbei eine

Literatur

- Benger, Werner (2004): Visualization of General Relativistic Tensor Fields via a Fiber Bundle Data Model; Lehmanns Media-LOB.de, Berlin 2005
- Benger, Werner; Georg Ritter; René Heinzl (2007): The Concepts of VISH; Lehmanns Media-LOB.de, Berlin 2007
- Benger, Werner; Marcel Ritter; Sumanta Acharya; Somnath Roy; Feng Jijao (2009a): Fiberbundle-based visualization of a Stir Tank Fluid; Proc. of WSCG09, Plzen 2009
- Benger, Werner; Georg Ritter; Simon Su; Dimitris Nikitopoulos; Eamonn Walker; Sumanta Acharya; Somnath Roy; Farid Harhad; Wolfgang Kapferer (2009b): Doppler Speckles – A Multi-Purpose Vectorfield Visualization Technique for Arbitrary Meshes; Proc. of CGVR 2009, Nevada 2009, S. 221–230
- Benger, Werner; Markus Haider; Harald Höller; Dominik Steinhauser; Josef Stöckl; Biagio Cosenza; Marcel Ritter (2012): Visualization Methods for Numerical Astrophysics; in: Ibrahim Kucuk (Hrsg.): Astrophysics; www.intechopen.com/books/astrophysics/visualization-methods-for-numerical-astrophysics
- EU (2000): Water Framework Directive, 2000/60/EC; Official Journal of the European Union (OJL) 327
- HDF-Group (2013): The HDF5 Home Page; www.hdfgroup.org/HDF5, Aufruf vom 08.06.2013
- ...

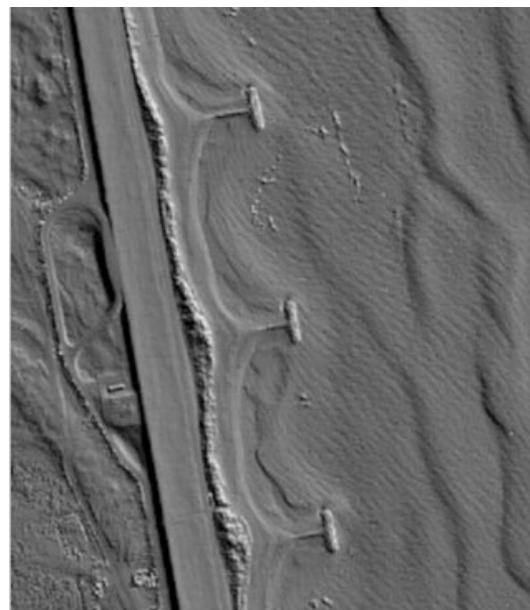


Abb. 2: Wellenbrecher im Bereich des Projektgebietes im Luftbild (links; AHM, Juli 2012). Höhenmodell auf Basis von Hydromapping-Daten von Unterwasserstrukturen (rechts)

- Heritage, George; Andrew Large (2009): Laser Scanning for the Environmental Sciences; John Wiley, Chichester 2009
- Hilker, Nadine; Alexandre Badoux; Christoph Hegg (2009): The Swiss flood and landslide damage database 1972–2007; Natural Hazards and Earth System Sciences 9, S. 913–925
- NASA (2013): NASA's Earth Observing System; <http://eosps0.gsfc.nasa.gov>, Aufruf vom 08.06.2013
- Pfennigbauer, Martin; Frank Steinbacher; Markus Aufleger (2010): A Novel Approach to Laser-Based Hydrographic Data Acquisition; European LiDAR Mapping Forum, Salzburg
- Pfennigbauer, Martin; Andreas Ullrich; Frank Steinbacher; Markus Aufleger (2011): High resolution hydrographic airborne laser scanner for surveying inland waters and shallow coastal zones; Proc. of SPIE 8037, Orlando 2011
- Pinz, Katharina (2011): 10 Jahre Wasserrahmenrichtlinie: Sachstand zwischen Erwartung und Befürchtungen, Anspruch und Realität; in: Warnsignal Klima: Genug Wasser für alle?; Potsdam Institut für Klimafolgenforschung, S. 545–551
- Ritter, Marcel (2009): Introduction to HDF5 and F5; CCT Technical Report Series, Baton Rouge, Louisiana, CCT-TR-2009-13
- Ritter, Marcel; Werner Bengler (2012): Reconstructing Power Cables From LIDAR Data Using Eigenvector Streamlines of the Point Distribution Tensor Field; Journal of WSCG, S. 223–230
- Steinbacher, Frank; Martin Pfennigbauer; Markus Aufleger; Andreas Ullrich (2010): Airborne HydroMapping – Area wide surveying of shallow water areas; Proc. of 38th ISPRS Congress, Calgary

Technologie, die unter anderem dazu entwickelt wurde, diese Probleme zu lösen (Steinbacher et al. 2010; Pfennigbauer et al. 2010; Pfennigbauer et al. 2011). Beispielsweise kann die Wasserspiegel-lage zum Zeitpunkt der Messung direkt aus den Hydromapping-Daten abgeleitet werden, oder die geometrische Sohlinformation kann dazu genutzt werden, die Oberflächenrauigkeit näher zu charakterisieren.

2.2 Die EU-Wasserrahmenrichtlinie

Die Wasserrahmenrichtlinie der EU (WRRL) ist eine ambitionierte Agenda, um die Qualität aquatischer Ökosysteme in Europa zu bewahren und zu verbessern. Es ist ein interdisziplinäres Programm, da es die Ökologie ins Zentrum der verantwortlichen Behörden und Ministerien stellt (EU 2000). Um diese Richtlinie zu verwirklichen und den ökologischen Status von Gewässern zu definieren, müssen die komplexen Interaktionen zwischen hydromorphologischen, physiko-chemischen, biologischen und anthropogenen Prozessen verstanden werden. Für die effektive und nachhaltige Implementierung der WRRL bedarf es der Verpflichtung zur Entwicklung neuer Monitoringkonzepte und eines besseren Verständnisses für die biophysikalischen Verknüpfungen zwischen anthropogenen Einflüssen und deren ökologischen Auswirkungen. Viele EU-Mitgliedsstaaten haben Schwierigkeiten, ihre Verpflichtung zum Monitoring und zur Einführung von Programmen für Sanierungsmaßnahmen an Stellen, wo Gewässer nicht den WRRL-Kriterien entsprechen, zu erfüllen (Prinz 2011).

Hydromapping-Daten führen zu einem besseren Verständnis von ökologisch-hydromorphologischen Prozessen, auch in Bezug auf das übergeordnete Ziel der WRRL nach einer kosteneffektiven Durchführung von Schutzmaßnahmen. Dabei werden zusätzliche Indikatoren detektierbar (z. B. Wasserspiegellage) und damit können verbesserte oder neue Methoden mit Modellen, Software und Services kombiniert werden. Dies ist eine Grundvoraussetzung für die Entwicklung nachhaltiger Sanierungsstrategien für geschädigte Ökosysteme und verbessert den Schutz vor den Einflüssen, die mit dem Klimawandel einhergehen und Gewässer in ganz Europa beeinflussen werden.

2.3 Entwicklung der Technologie von Airborne Hydromapping

Aufgrund der Komplexität eines bathymetrischen Laserscannersystems wurde die Zusammenarbeit zwischen einem industriellen Partner (RIEGL Laser Measurement Systems) und einem akademischen Partner (Arbeitsbereich Wasserbau, Universität Innsbruck) notwendig. Während der industrielle Partner für die Hardware-Entwicklung des Lasersystems verantwortlich war, übernahm der akademische Partner gewässerbezogene Aufgabenstellungen und deren Verifikation. Hierbei wurden unter anderem die benötigte Eindringtiefe, Auflösung und Genauigkeit definiert, wobei ein spezieller Fokus darauf gelegt wurde, dass das System in flachen Gewässern angewendet werden kann.

Dieser Ansatz ist einzigartig und wird auch die zukünftige Basis für eine weiterführende Forschungskoooperation sein. Diese beinhaltet die weitergehende Hardware-Entwicklung des Laserscannersystems, die experimentelle Verifikation, die Datenprozessierung und Software-Entwicklung sowie die Verbesserung der Vermessungsprozedur selbst.

Der qualitative Sprung in der Dichte und Auflösung der Daten, im Schnitt werden 10–20 Punkte/m² für den Bereich der Gewässersohle erreicht, bietet die Basis für eine Reihe von Folgeprojekten hinsichtlich der Forschung an Fragestellungen der Hydraulik, des Sedimenttransportes und der Gewässerökologie. Darüber hinaus wird von den Beteiligten ein stark verbessertes Verständnis von Sedimenttransportprozessen und Möglichkeiten der Habitatmodellierung erwartet.

2.4 Motivation und bestehende Verhältnisse

Ziel der Befliegung war die zusammenhängende Vermessung der Bathymetrie entlang der Ostseeküste im Bereich Stein und Schönberger Strand bis in eine Tiefe von ca. 6–7 m. Die Vermessung erfolgte im Auftrag des Landesbetriebes für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein mit Sitz in Husum. Der ca. 25 km lange zu vermessende Küstenabschnitt der Ostsee liegt im Bereich Stein und Schönberger Strand nordöstlich von Kiel in Schleswig-Holstein (siehe Abb. 3).



Abb. 3: Projektgebiet

Die Küstenlinie der Ostsee in diesem Bereich ist stark gegliedert aufgrund des Vorhandenseins zahlreicher Wellenbrecher und einer kleinen Hafenanlage im Hinterland (siehe Abb. 2, links, und Abb. 3). Die Morphologie des Meeresbodens wird von kleinräumigen Dünenstrukturen dominiert (siehe Abb. 2, rechts).

3 Messkampagne

3.1 Befliegung

Die Befliegung fand am 15. Juli 2012 statt. Als Flugplattform wurde die TECNAM P2006T verwendet (siehe Abb. 4). Zur Erfassung der Gewässersohle der Ostsee und der Topographie des angrenzenden Hinterlandes wurde die Gemeinschaftsentwicklung des hydrographischen Laserscanners VQ-820-G mit dem österreichischen Hersteller RIEGL verwendet (siehe Abb. 4). Der Mechanismus dieses neu entwickelten Sensors beruht auf einem rotierenden Multifacettenspiegel, wobei die Scanachse um 20° relativ zur nominalen Flugrichtung geneigt ist. Das Sichtfeld des Scanners beträgt 60°, sodass das Scanmuster am Boden eine Bogenform aufweist. Der Laserscanner emittiert einen schmalen grünen Laserstrahl (sichtbare Wellenlänge von 532 nm) von 1 cm Durchmesser. Damit ist bei einer Wiederholungsrate von bis zu 250 kHz und einer hohen Scangeschwindigkeit von bis zu 200 Linien pro Sekunde eine hohe räumliche Auflösung gewährleistet. Zur Vermessung der Ostsee wurde eine Flughöhe von ca. 600 m über Grund gewählt. Dies entspricht einer Scanstreifenbreite von ca. 450 m.

Während der Befliegung wurden 44 Scanstreifen erfasst, welche als Übersicht in Abb. 5 farblich aufgeschlüsselt dargestellt sind. Unter der Einbeziehung aller Scanstreifen konnte eine Punktdichte von ca. 20–40 Punkten/m² erreicht werden, wobei insgesamt ca. 387 000 000 Punkte aufgezeichnet wurden. Die Gewässersohle konnte bis in eine Tiefe von ca. 8 m erfasst werden. Zum Zeitpunkt der Vermessung herrschten klare Wasserverhältnisse (siehe Abb. 2, links).



3.2 Echolot

Die Echolotvermessungen im Projektgebiet wurden durch den Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein vorgenommen (LKN). Die Vermessungen erfolgten im Juli 2012 und die Gewässersohle konnte dabei bis in eine Tiefe von ca. 10 m erfasst werden.

4 Aufbereitung der Punktwolke

4.1 Georeferenzierung der Laserdaten

Um eine bestmögliche Genauigkeit der Kalibrierung der Laserscanaufnahmen der Ostseeküste zu gewährleisten, erfolgte die terrestrische Aufnahme von Passpunkten im Bereich des Projektgebietes durch den Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein. Die Positionen der Passpunkte wurden zuvor anhand der Laserdaten festgelegt. Diese Punkte sind über das gesamte Projektgebiet verteilt und ihre Einmessung erfolgte mittels GPS (siehe Abb. 6). Die Koordinaten der Passpunkte wurden im Gauß-Krüger-Zone-3-Format ausgegeben.

Die verschiedenen Scanstreifen aus Abb. 5 wurden mit einem sogenannten Streifenabgleich zueinander angepasst. Die verbleibende Restabweichung für diese relative Kalibrierung liegt im Bereich von 0,04 bis 0,09 m (Standardabweichung). Anschließend wurde die gesamte Punktwolke auf mehreren Passflächen eingepasst. Diese wurden anhand der eingemessenen Passpunkte definiert. Die Standardabweichung für die absolute Kalibrierung beträgt $\leq 0,08$ m.

4.2 Filterung und Klassifikation der Laserdaten

Nach der Korrektur der Wassertiefe für alle Gewässersohlpunkte (Refraktion) erfolgte im nächsten Schritt eine Punktfilterung und Klassifizierung aller

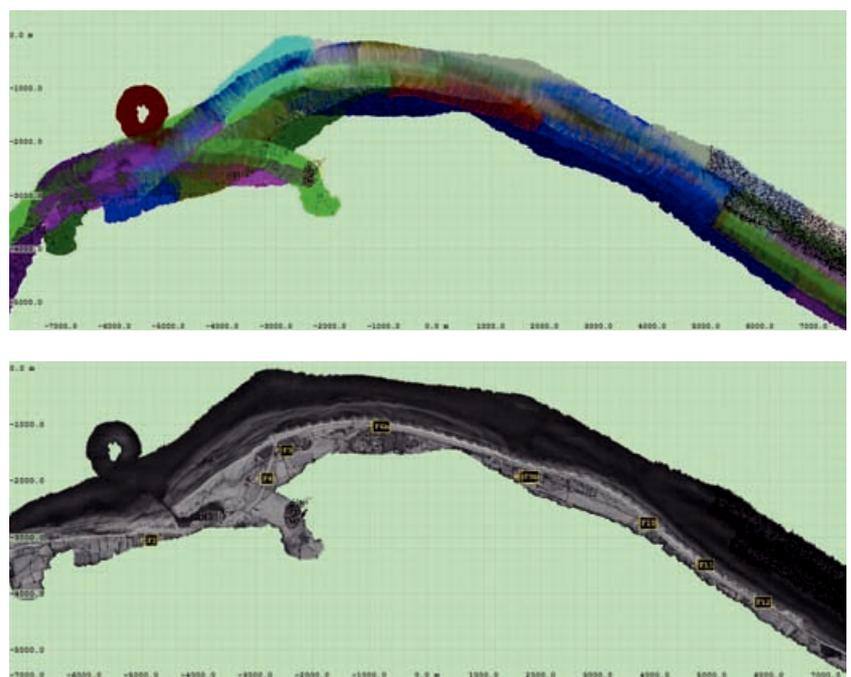


Abb. 4 (links): Flugzeug TECNAM P2006T mit der Messeinrichtung; Detailsicht der Öffnung in der Bodenplatte; Laserkopf

Abb. 5 (rechts oben): Scanstreifen, farblich sortiert. Durch Längs- und Querstreifen ergibt sich ein wesentlich besserer Streifenabgleich

Abb. 6 (rechts unten): Verteilung der Passflächen im Projektgebiet

Punkte nach Boden (Land), Boden (Gewässersohle), Vegetation/Bebauung im Hinterlandbereich, Uferbebauung (Steganlagen) und Wasserspiegel. Zunächst wurde ein Filter eingesetzt, der Vegetationspunkte (z. B. Bäume und Nicht-Gewässersohlpunkte wie Gebäude oder die Wasseroberfläche) erkennt. Danach erfolgte die endgültige Klassifizierung der Punkte in die oben genannten fünf Klassen.

4.3 Datenexport

Für die weitere Datenbearbeitung im Rahmen von HydroVISH wurden die Laserdaten vom ursprünglichen ETRS 89-Koordinatensystem in das Gauß-Krüger-System mittels der offiziellen Sieben-Parameter-Transformation für Norddeutschland des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie überführt. Die angegebene Genauigkeit dieser Transformation liegt bei 0,1 m. Die Daten wurden dabei im ASCII-Format ausgespielt.

5 Datenauswertung mit HydroVISH

Die visuelle Aufbereitung numerischer Daten wird mit zunehmender Datenmenge und -komplexität immer wichtiger. Die wissenschaftliche Visualisierung ist ein eigenes Forschungsgebiet, das sich mit der nicht-photorealistischen Darstellung von Daten (im Unterschied zur Computergraphik) beschäftigt.

Leider werden gerade im Forschungsbereich zwar oftmals vielversprechende Methoden entwickelt, nach der Veröffentlichung eines Artikels dann aber verworfen. Um dem entgegenzu-

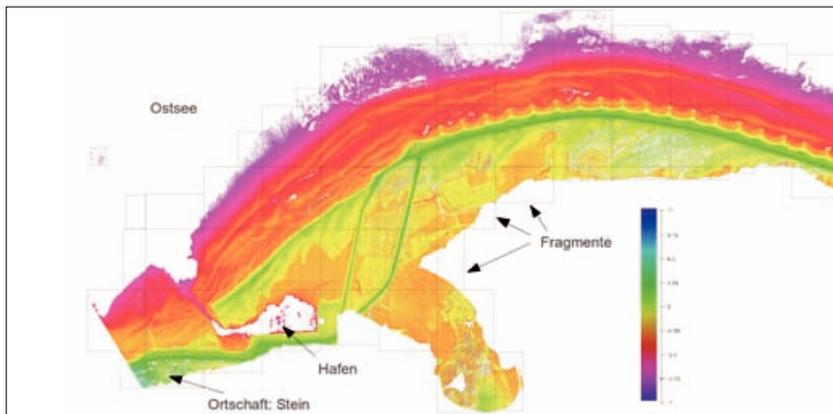
wirken, wurde die VISH – Visualisation Shell – als eine Infrastruktur entwickelt, die es ermöglicht, hardware-nahe und damit direkt an der Forschungsfront gelegene Algorithmen in einer Softwareumgebung zu implementieren und direkt an den Endanwender weiterzugeben. Ursprünglich als privates Programmierprojekt – basierend auf mehrjähriger Erfahrung mit der Visualisierung wissenschaftlicher Daten aus dem Bereich des High Performance Computing – entstanden, wird VISH derzeit im wissenschaftlichen Bereich vielfältig angewendet (Benger et al. 2007), mit Einsatzbereichen unter anderem in der Astrophysik (Benger et al. 2012), der Computational Fluid-Dynamik (CFD) (Benger et al. 2009a; 2009b), der Moleküldynamik und den Geowissenschaften (Ritter u. Benger 2012). VISH zeichnet sich dabei durch eine Infrastruktur aus, die auf die systematische Bearbeitung und Darstellung großer, komplexer Datenmengen ausgelegt ist – Datensätze von mehreren hundert Gigabyte können noch nahezu interaktiv von einer gewöhnlichen Workstation oder sogar vom Laptop aus verarbeitet werden (je nach Visualisierungsparametern und Anforderungen). Im akademischen Bereich steht VISH zur Weiterentwicklung in verschiedenen, herausfordernden Anwendungsgebieten zur Verfügung; HydroVISH ist dabei der von AHM weiterentwickelte und speziell auf von AHM gewonnene Daten abgestimmte Ableger der allgemeinen Visualisation Shell.

5.1 Datenverwaltung – F5-Format

Nach erfolgreicher Klassifizierung der Punktwolke werden die Daten vorerst in Form einer ASCII-Datei exportiert. Der Inhalt dieser Datei besteht aus den Positionsangaben (x, y und z) sowie, z. B., Amplitudenstärke, Reflektanz, Echozahl und Pulsweite des Signals. Die Größe der Datei kann dabei ohne weiteres mehrere hundert Gigabyte annehmen, weshalb eine effiziente Datenverwaltung notwendig ist. Als Lösung für die Handhabung großer Datenmengen ist das binäre Hierarchical-Data-Format-Version-5 (HDF5) gewählt worden (HDF-Group 2013). Dieses Datenformat ist eigens für eine effiziente und flexible Speicherung von Massendaten am National Center for Supercomputing Applications entwickelt worden und ist das vorgeschriebene Datenformat für das NASA

Abb. 7 (oben): Aufteilung der Punktwolke in Fragmente. Farbliche Darstellung der Punktwolke in Abhängigkeit der Höhe

Abb. 8 (unten links und rechts): Darstellung der Konturlinien (Höhenlinienintervall 0,1 m) aus den Bodenpunkten der ALS-Daten. Zusätzlich ist die Vegetation mit abgebildet

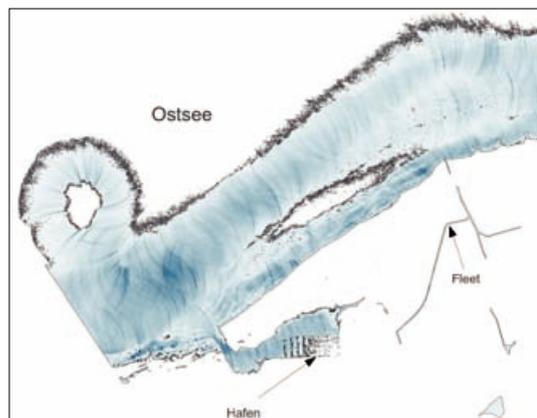


Earth Observing System (NASA 2013). HDF5 ist ein Containerformat, das keine Organisation innerhalb des Containers vorschreibt. Um eine einheitliche und konsistente Speicherung zu definieren, ist im letzten Jahrzehnt das Datenformat F5 – basierend auf HDF5 – entwickelt worden (Benger 2004). F5 definiert ein hierarchisches Schema, in dem raum- und zeitabhängige Daten nach Eigenschaften, inspiriert von den mathematischen Konzepten der Faserbündel, der Topologie, der Differenzialgeometrie und der geometrischen Algebra, organisiert werden. Datenfelder (Fields) werden auf Geometrie (Grids) gespeichert. So können z. B. Skalarfelder auf adaptiven uniformen Gittern, Vektorfelder auf Punktwolken, Tensorfelder auf Finiten-Element-Gittern oder Wellenformen auf Strahlen in verschiedenen Koordinatenrepräsentationen gespeichert werden. Das Konzept konnte bisher auf eine Vielzahl von Simulationsdatensätzen aus den Bereichen der Kontinuumsmechanik, der numerischen Relativitätstheorie und der Moleküldynamik erfolgreich angewandt werden, ebenso auf Datensätze aus Messungen aus den Bereichen der Geowissenschaften und der Medizin (Benger et al. 2009a; 2012; Ritter u. Benger 2012). Dabei wurden bisher Datensätze mit bis zu 10 Terabyte prozessiert und visualisiert. Out-of-core-Datenprozessierung – für den Speicher zu große Datenblöcke – wird durch eine Fragmentierung von Datenfeldern ermöglicht (siehe Abb. 7).

Das Datenmodell erlaubt eine einheitliche und stark wiederverwertbare Softwareentwicklung und erleichtert den Datenaustausch mit einem hocheffizienten, offenen und transparenten Dateiformat. Eine C-Bibliothek steht zum Lesen und Schreiben einer F5-Datei mittels weniger Funktionsaufrufe zur Verfügung (Ritter 2009). Dies ist unsere Ausgangslage, um nachfolgende Auswertungen effizient und nachhaltig durchführen zu können.

5.2 Erstellen von Kontur- und Wasseranschlagnlinien

Eine wichtige Aufgabe der Visualisierung ist das Darstellen von Konturlinien auf Grundlage der ALS-Daten allein bzw. der miteinander verschnittenen Echolot-ALS-Daten. Für die Berechnung der Konturlinien wird der Algorithmus Marching



Square auf ein gerastertes Gitter angewendet. Das Ergebnis für die Ostsee ist in Abb. 8 (links und rechts) dargestellt und zeigt sehr übersichtlich den Meeresboden (blau-türkise Höhenlinien) und das darauffolgende Terrain. Ein nicht zu unterschätzender Vorteil ergibt sich durch das Reduzieren der enormen Datenmengen auf relativ wenige Konturlinien. Diese Konturlinien können dann ohne weiteres in jedes gängige CAD-Programm importiert und weiter bearbeitet werden.

Für die Darstellung des Wasserspiegels wurden die umhüllenden Linien aus den Punkten der Klasse Wasseroberfläche berechnet (siehe Abb. 9). Somit ist eine ganzheitliche Betrachtung der hydraulischen Gegebenheiten der Buhnen möglich. Der so bestimmte Wasserspiegel reicht nicht bis ganz an die Küste heran, da bei Gewässertiefen < 15 cm für die empfangenen Lasersignale keine klare Trennung zwischen Boden und Wasserspiegel vorgenommen werden kann. Im Rahmen eines aktuellen Forschungsprojektes zwischen der Universität Innsbruck, der Technischen Universität Wien, den Unternehmen AHM und RIEGL sowie verschiedenen Wasserkraftbetreibern (Comet K-Projekt) wird unter anderem versucht, die Wasserspiegellage korrekt mit dem Gelände zu verschneiden.

5.3 Verschneidung von Echolot- und ALS-Daten

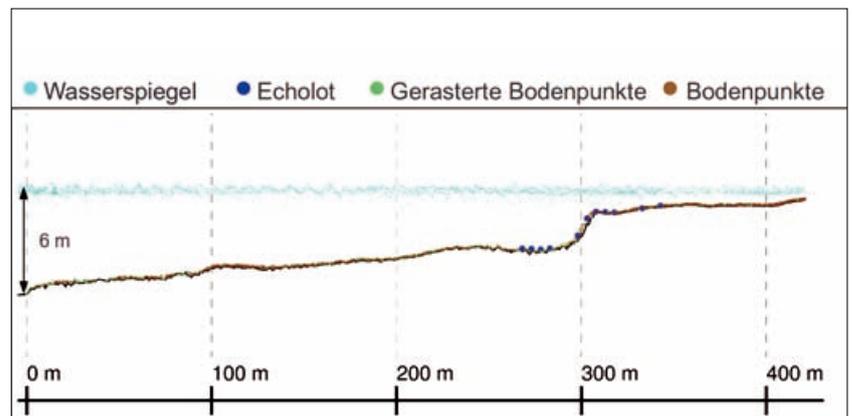
Eine Besonderheit des Ostsee-Projektes ist die Verschneidung von Echolotdaten mit Laserscandaten (ALS-Daten). Der Laserstrahl dringt bei sehr guten Bedingungen bis zu 8 m tief in den Wasserkörper ein. Tiefere Gewässersohlpunkte wurden mit einem Echolot vermessen, wie in Abb. 10 dargestellt. Der Vergleich zeigt, dass Echolot- und ALS-Daten sehr gut übereinstimmen. Eine Korrektur des Laserstrahls aufgrund der Brechung und der unterschiedlichen Laufzeiten im Wasser ist bereits vorab durchgeführt worden.

5.4 Vergleich der ALS-Daten mit terrestrischen Daten

Neben den schon erwähnten Qualitätskriterien für die Genauigkeit der ALS-Daten wurde zusätzlich noch ein älterer Datensatz einer terrestrischen Vermessung herangezogen (LKN: Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz

Abb. 9 (links): Wasserspiegellage, basierend auf dem Lasersignal der reflektierten Wasseroberfläche

Abb. 10 (rechts): Vergleich der Echolot-ALS-Daten. Die Punkte sind entsprechend der Klassifikation eingefärbt. Zusätzlich sind noch gerasterte Punkte (abgeleitet von den Bodenpunkten) dargestellt



Schleswig-Holstein), um die Verlässlichkeit der Daten zu überprüfen. Für den Vergleich wurden ausschließlich terrestrische Bodenpunkte auf einer asphaltierten Straße ausgesucht, wie in Abb. 11 dargestellt. Die ALS-Daten und die terrestrischen Daten wurden dann jeweils auf ein gleiches, gerastertes Gitter abgebildet, um damit eine Differenzbildung der Höhen zu ermöglichen. Die Differenzbildung wird dann anschließend als Histogramm dargestellt und zeigt eine annähernde Normalverteilung mit einem Mittelwert von 0,023 m und einer Standardabweichung von 0,066 m (siehe Abb. 12). Die geringe mittlere Abweichung zwischen den terrestrischen LKN- und den ALS-Daten spiegelt die Verlässlichkeit der ALS-Daten wider. Eine ähnliche Vorgehensweise wurde auch für die Echolot-ALS-Daten durchgeführt und lieferte ebenfalls gute Ergebnisse (siehe auch Abb. 10).

Küste nach einer erneuten Befliegung zu dokumentieren.

6 Ausblick

Die Auswertungen mit der Software HydroVISH im Rahmen des Ostsee-Projektes haben deutlich gezeigt, dass eine ingenieurkonforme Aufbereitung der hydraulischen Gegebenheiten auf Grundlage von ALS-Echolot-Daten – selbst bei großen Punktwolken – möglich ist. Im gerade angelaufenen Forschungsprojekt (Comet K-Projekt) in Österreich ist zudem angedacht, einen Großteil der Auswertungen direkt an der Punktwolke selbst durchzuführen, ohne den Umweg über eine gerasterte Punktwolke gehen zu müssen.

Ein weiterer wichtiger Meilenstein in diesem Forschungsprojekt ist die Auswertung der Full-Wave-Form. Bisher wird das Signal der Lasermessung in der Messeinheit selbst sofort ausgewertet und als diskretes Messergebnis abgespeichert (Online-Processing der Daten). Das Ziel ist es daher, das komplette Lasersignal (Full-Wave-Form) abzuspeichern und für weitere Untersuchungen wie die Klassifizierung zu verwenden.

Für Computational Fluid Dynamics (CFD)-Simulationen ist ein detailliertes Rechennetz besonders wichtig. Daher sollen in Zukunft Rechennetze für gängige CFD-Pakete generiert werden, auf deren Grundlage Hochwasser-, Geschiebesimulationen usw. berechnet werden können. Die Herausforderung liegt vor allen Dingen in der Balance zwischen hoher Detailtreue und einer möglichst geringen Datenmenge. □

5.4 Plastische Darstellung der Punktwolke

Eine sehr anschauliche Visualisierung der Ostsee konnte durch eine halbtransparent, eingefärbte Darstellung der Punktwolke erreicht werden (siehe Abb. 13, links und rechts). Anhand dieser beiden Abbildungen ist es auch für ungeschulte Augen leicht nachvollziehbar, wie die hydraulischen Gegebenheiten (Dünen, Buhnen, Fleet usw.) mit dem restlichen Gelände zusammenwirken. Diese Ergebnisse sind auch hervorragend dazu geeignet, um ein Rechennetz für hydraulische Simulationen zu erstellen oder die zeitliche Veränderungen der

Abb. 11 (links oben): Vergleichspunkte einer früheren Vermessung vom LKN: Nur Messpunkte auf der asphaltierten Straße (rot eingefärbt) sind für den Vergleich verwendet worden

Abb. 12 (rechts oben): Differenzbildung der ALS-Daten und der Daten vom LKN: Im Mittel ist die Differenz der Höhen 0,023 m

Abb. 13 (unten links und rechts): Plastische Darstellung der Punktwolke mit transparenter Wasserspiegeloberfläche und nach Klassen gefärbte Punkte

