

# HYDROGRAPHISCHE NACHRICHTEN

Journal of Applied Hydrography

06/2018

HN 110

Beiträge zum DHyG Student  
Excellence Award



Consulting



# Ocean engineering from space into depth

Realise your projects in cooperation with our hydrographic services

**CTDs & SVPs**



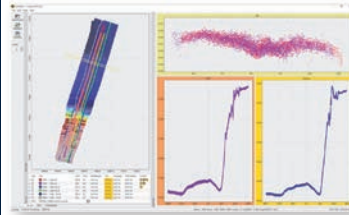
Our hydrography engineers are happy to develop systems tailored exactly to your needs and to provide professional advice and support for setting up your systems and training your staff.

MacArtney Germany benefits from being part of the MacArtney Group and enjoys unlimited access to cutting-edge engineering competences and advanced facilities.

**Acoustic sensors**



**Software**



**Auxiliary sensors**



**Integration**



**Denmark | Norway | Sweden | United Kingdom | France | Netherlands | Germany | USA | Canada  
South America | Australia | Singapore | China**



# Liebe Leserinnen und Leser,

der 32. Hydrographentag findet in Kombination mit dem 170. DVW-Seminar am Bodensee statt. Die Veranstaltung in Lindau steht unter dem Motto »Hydrographie 2018 – Trend zu unbemannten Messsystemen«. Passend zum Veranstaltungsort beschäftigt sich der erste Fachbeitrag dieser HN-Ausgabe mit geologischen Massenbewegungen im Bodensee. Im Artikel fasst Nils Brückner die Erkenntnisse seiner Masterarbeit an der Uni Bremen zusammen (siehe S. 8).

Auch Christian Mulsow von der TU Dresden hat sich mit Binnengewässern beschäftigt. Er hat UAV-Bildmaterial ausgewertet, um digitale Höhenmodelle von Unterwasserstrukturen eines Schweizer Bergsees zu erstellen (siehe S. 14).

Die nächsten beiden Beiträge wurden im Rahmen der Nominierung zum »DHyG Student Excellence Award« eingereicht. Diese Auszeichnung für eine herausragende Studienleistung erhält in diesem Jahr Simon Dreutter für seine an der HCU in Hamburg entstandene Masterarbeit zur Habitatkartierung im Bereich des Langseth Ridge mit einem tiefgeschleppten System (siehe S. 20).

Nur ganz knapp unterlegen war Jonah Geils, der an der Uni Bremen eine Bachelorarbeit zur geomorphologischen Analyse am Knipovich-Rücken geschrieben hat, für die er zuvor mehrere bathymetrische Datensätze zusammenschneiden musste (siehe S. 27).

Passend zu diesen vier an Universitäten entstandenen Beiträgen, haben wir für diese Ausgabe

Prof. Harald Sternberg zum Wissenschaftsgespräch gebeten. Er hat im November 2017 die Professur für Hydrographie an der HCU übernommen (siehe S. 40).

Doch nicht nur der Nachwuchs kommt in diesem Heft zu Wort. Dr. Patrick Goffinet, der letztes Jahr vom BSH in den Ruhestand ging, hat in akribischer Arbeit zwei Methoden zur Gezeitenvorberechnung verglichen. Eine Kurzfassung seiner Arbeit veröffentlichen wir in diesem Heft (siehe S. 35). Den gesamten Bericht veröffentlichen wir ebenfalls – und zwar in der ersten *DHyG-Sonderpublikation* (näheres dazu auf S. 5).

Und noch etwas ist neu: die DHyG-Internetseite. Das Webteam um Christian Maushake und Tobias Knapp hat den Webauftritt überarbeitet. Nicht nur die Inhalte und die Optik sind neu, sondern auch die Technik im Hintergrund. Diese Umstellung war erforderlich, um die Website sicherer zu machen und um sie für die Darstellung auf mobilen Endgeräten zu optimieren. Die neue Webpräsenz bietet zudem die Möglichkeit, die bisher erschienenen HN-Artikel besser zu finden – über die DOIs, über Schlüsselwörter oder über die Kurzzusammenfassungen (siehe dhyg.de).

Ich wünsche Ihnen neue Erkenntnisse bei der Lektüre dieser Ausgabe.

Ihr

Lars Schiller



Lars Schiller

## Hydrographische Nachrichten HN 110 – Juni 2018

### Journal of Applied Hydrography

Offizielles Organ der Deutschen Hydrographischen Gesellschaft – DHyG

#### Herausgeber:

Deutsche Hydrographische Gesellschaft e. V.

c/o Sabine Müller

Innomar Technologie GmbH  
Schutower Ringstraße 4  
18069 Rostock

Internet: [www.dhyg.de](http://www.dhyg.de)  
E-Mail: [dhyg@innomar.com](mailto:dhyg@innomar.com)  
Telefon: (0381) 44079-0

ISSN: 1866-9204

#### Chefredakteur:

Lars Schiller  
E-Mail: [lars.schiller@dhyg.de](mailto:lars.schiller@dhyg.de)

#### Redaktion:

Peter Dugge, Dipl.-Ing.  
Horst Hecht, Dipl.-Met.  
Holger Klindt, Dipl.-Phys.  
Dr. Jens Schneider von Deimling  
Stefan Steinmetz, Dipl.-Ing.  
Dr. Patrick Westfeld

#### Anzeigen:

Ganze Seite (210 mm × 297 mm): 300 Euro;  
auf dem Umschlag, innen: 400 Euro,  
auf dem Umschlag, außen: 600 Euro.  
Halbe Seite (210 mm × 148 mm): 200 Euro.

Kontakt: Stefan Steinmetz, E-Mail: [sts@eiva.com](mailto:sts@eiva.com)

© 2018

#### Hinweise für Autoren:

Der eingereichte Fachaufsatz muss in dieser Form noch unveröffentlicht sein. Reichen Sie Ihren Text bitte unformatiert und ohne eingebundene Grafiken ein. Die beigefügten Grafiken sollten eine Auflösung von 300 dpi haben. In der Textdatei sollte die automatische Silbentrennung ausgeschaltet sein; auch manuelle Trennungen dürfen nicht enthalten sein.

Über die Annahme des Manuskripts und den Zeitpunkt des Erscheinens entscheidet die Redaktion. Die Verfasser erklären sich mit einer nicht sinnentstellenden redaktionellen Bearbeitung ihres Manuskripts einverstanden.

Die mit vollständigen Namen gekennzeichneten Beiträge geben nicht unbedingt die Meinung der Redaktion wieder.

Die HN erscheinen drei Mal im Jahr, i.d.R. im Februar, Juni und Oktober. Für Mitglieder der DHyG ist der Bezug der HN im Mitgliedsbeitrag enthalten.

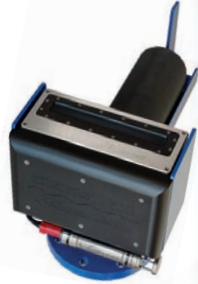


# R2SONIC

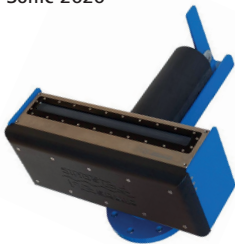
## Fächerlotsysteme



Sonic 2020



Sonic 2022



Sonic 2024



Sonic 2026

**Beispiellose Leistungsfähigkeit** mit 256 Beams und 1024

- Soundings bei 160° Öffnungswinkel (einstellbar) und einer Pingrate von 60 Hz
- **Breitbandtechnologie** mit Frequenzwahl in Echtzeit zwischen 200 bis 400 kHz sowie 700 kHz optional
- **Dynamisch fokussierende Beams** mit einem max. Öffnungswinkel von 0,5° x 1° bei 400 kHz bzw. 0,3° x 0,6° bei 700 kHz
- **Höchste Auflösung** bei einer Bandbreite von 60 kHz, bzw. 1,25 cm Entfernungsauflösung
- **Kombinierbar** mit externen Sensoren aller gängigen Hersteller
- **Flexibler Einsatz** als vorausschauendes Sonar und der Fächer ist vertikal um bis zu 30° schwenkbar
- **Zusätzliche Funktionen** wie True Backscatter und Daten der Wassersäule
- **MultiSpectral Modus™**, der es den R2Sonic-Systemen ermöglicht, Backscatter Daten mehrerer Frequenzen in einem einzigen Durchlauf zu sammeln

**Nautilus Marine Service GmbH** ist der kompetente Partner in Deutschland für den Vertrieb von R2Sonic Fächerechosystemen. Darüber hinaus werden alle relevanten Dienstleistungen wie Installation und Wartung kompletter hydrographischer Vermessungssysteme sowie Schulung und Support für R2Sonic Kunden angeboten.

**R2Sonic** ist ein amerikanischer Hersteller von modernen Fächerechosystemen in Breitbandtechnologie. Seit Gründung des Unternehmens im Jahr 2009 wurden weltweit bereits mehr als 1.500 Fächerlote ausgeliefert und demonstrieren so eindrucksvoll die außergewöhnliche Qualität und enorme Zuverlässigkeit dieser Vermessungssysteme.



# Erste DHyG-Sonderpublikation

Die Deutsche Hydrographische Gesellschaft hat die erste *DHyG-Sonderpublikation* herausgegeben. Weshalb?

Weil nicht jeder Fachbeitrag in den *Hydrographischen Nachrichten* erscheinen kann. In einer Fachzeitschrift ist nur Platz für vergleichsweise kurze Artikel von vier, fünf, sechs Seiten, vielleicht auch mal acht. Nicht aber für ein hundertseitiges Werk.

Aber auch lange wissenschaftliche Werke müssen veröffentlicht werden. Und weil nicht jede Arbeit gleich als Buch verlegt werden kann oder in einer Hochschul-Schriftenreihe erscheinen kann, braucht es etwas anderes: eben eine Sonderpublikation.

Mit den Sonderpublikationen will die DHyG Autoren von wissenschaftlichen Beiträgen die Möglichkeit bieten, ihre Arbeiten einer größeren Leserschaft näherzubringen. Viele Abschlussarbeiten, die an Universitäten entstehen, dringen nie an die Öffentlichkeit. Manchmal gibt es nur zwei Leser, nämlich die beiden Prüfer. Das soll sich ändern. Deshalb möchte die DHyG alle Wissenschaftler und Uni-Absolventen ermuntern, ihre umfangreichen Forschungsarbeiten als *DHyG-Sonderpublikation* zu veröffentlichen.

## Sonderpublikation Nr. 001

In der ersten Sonderpublikation legt Dr. Patrick Goffinet seine Gedanken zur Gezeitenvorausberechnung mit Hilfe der harmonischen Analyse dar. Der Titel lautet: »Neue Bewertung der harmonischen Analyse im Vergleich zur Darstellung der Ungleichheiten am Beispiel der Deutschen Bucht«.

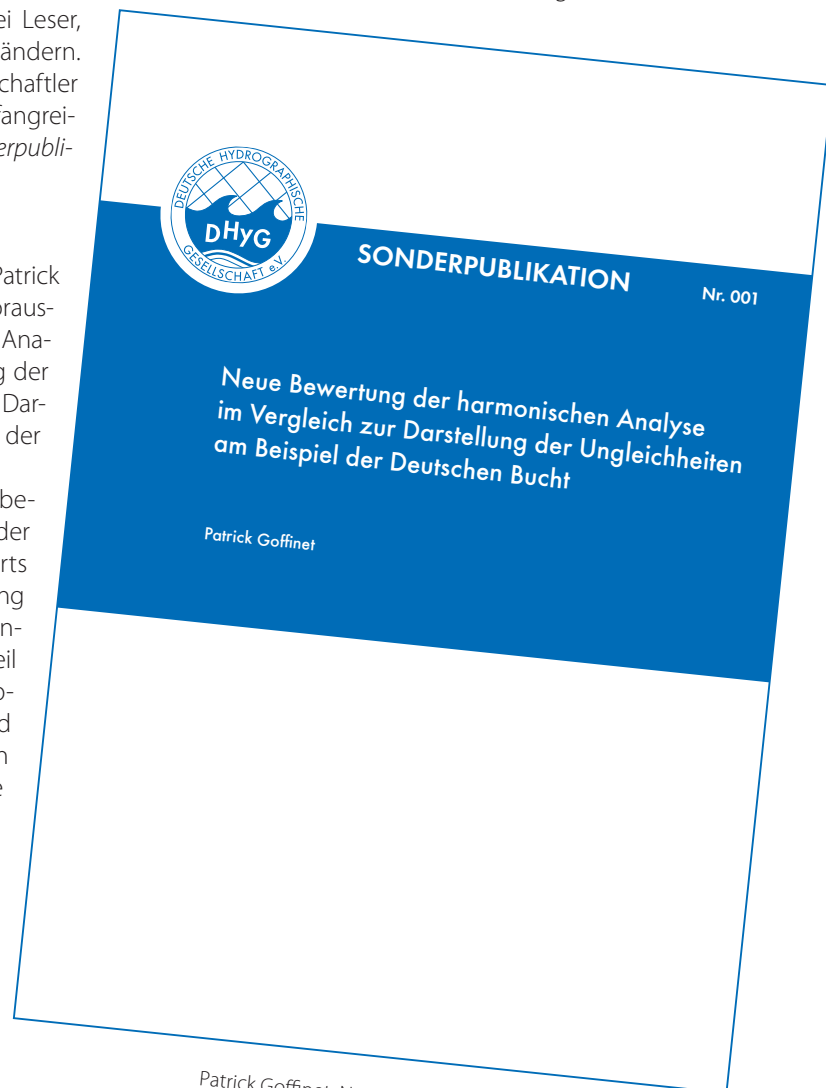
Zum Hintergrund: Zur Gezeitenvorausberechnung in den deutschen Gewässern der Nordsee wird seit Mitte des 20. Jahrhunderts das sogenannte Verfahren der »Darstellung der Ungleichheiten« verwendet. Dieses non-harmonische Verfahren ist praktisch, weil es mit wenigen Parametern präzise Ergebnisse für die Berechnung der Hoch- und Niedrigwasser liefert. Jedoch lassen sich damit nur einzelne Punkte der Tidenkurve bestimmen. Dagegen steht die Methode der harmonischen Analyse, die die Vorausberechnung der gesamten Tidenkurve ermöglicht. Für die Berechnung müssen zahlreiche Gezeitenkomponenten verwendet werden, und es wird mehr Rechenleistung benötigt. Dennoch verdient die harmonische Analyse eine neue Bewertung.

Herr Goffinet hat bis zum Jahr 2017 beim BSH in Hamburg gearbeitet. In seinem Bericht hat er die Zuverlässigkeit der harmonischen Analyse nachgewiesen. Am BSH hält man jedoch weiter-

hin an der »Darstellung der Ungleichheiten« fest. Um dem neuen Ansatz dennoch eine Chance zu geben, hat sich die DHyG entschieden, die Forschungsarbeit zu veröffentlichen.

## Weitere Sonderpublikationen

Von Zeit zu Zeit wird die DHyG weitere Sonderpublikationen herausgeben. Interessenten können bei der Geschäftsstelle oder der HN-Redaktion anfragen. Die DHyG prüft die Relevanz der vorgelegten Arbeit. Sollte das Manuskript zur Veröffentlichung angenommen werden, wird es unverändert publiziert. Das heißt, die Inhaltsseiten liegen in voller Verantwortung der Autoren, sowohl was den Inhalt anbelangt als auch die Darstellung. Lediglich die Umschlagseiten kennzeichnen die Arbeit als *DHyG-Sonderpublikation*. Zudem erhält das Werk einen DOI und es wird auf der DHyG-Website zum Download bereitgestellt.

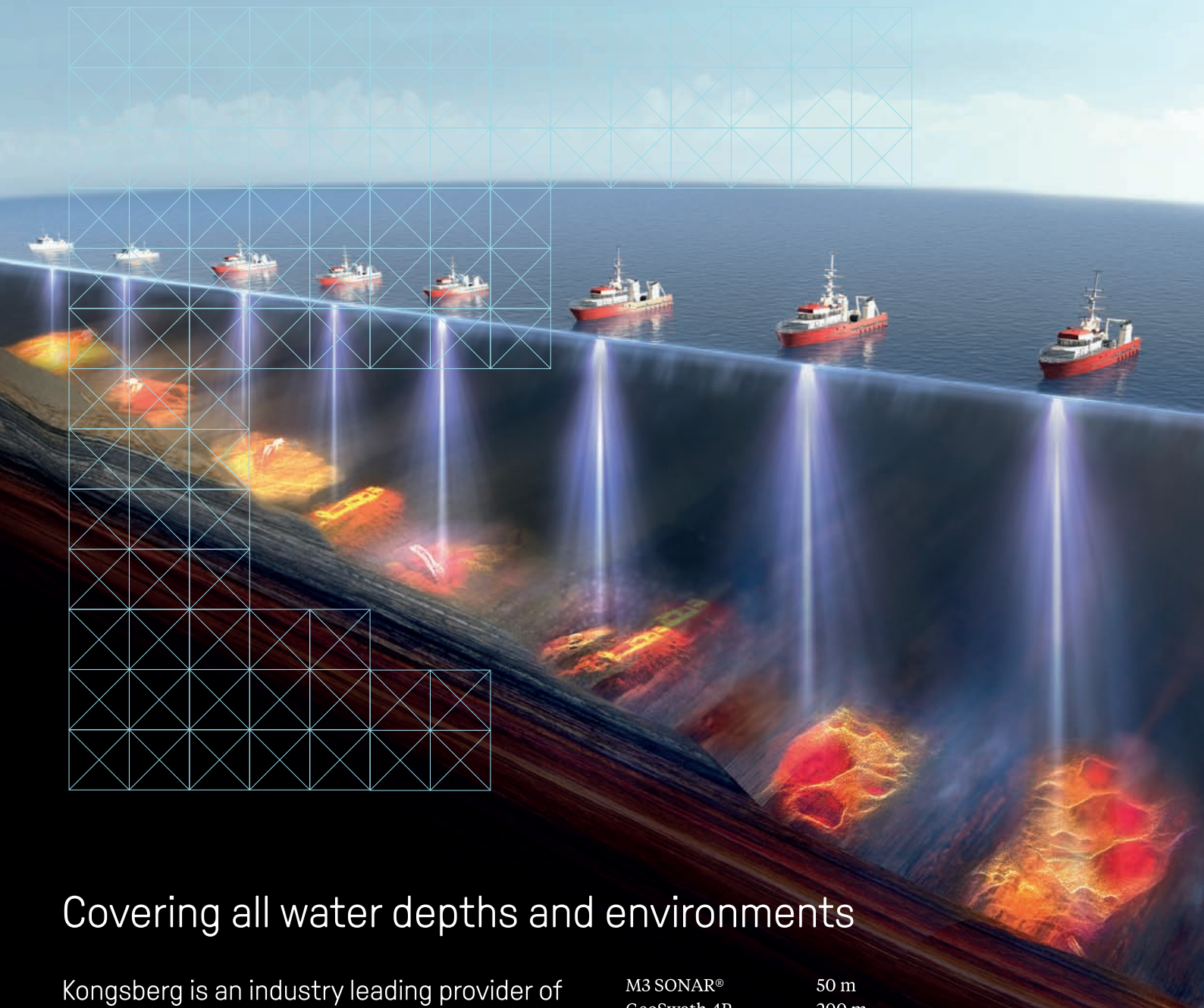


Patrick Goffinet: Neue Bewertung der harmonischen Analyse im Vergleich zur Darstellung der Ungleichheiten am Beispiel der Deutschen Bucht; DHyG-Sonderpublikation Nr. 001, DOI: 10.23784/DHyG-SP\_001

# THE MULTIBEAM ECHO SOUNDER FAMILY



KONGSBERG



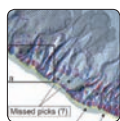
## Covering all water depths and environments

Kongsberg is an industry leading provider of multibeam echo sounder systems. The product range includes systems for all water depths and environments, providing you with the highest quality surveys.

M3 SONAR®	50 m
GeoSwath 4R	200 m
EM® 2040C	500 m
EM® 2040P	550 m
EM® 2040	600 m
EM® 712	3500 m
EM® 304	8000 m
EM® 124	11000 m



# HN 110 – Binnengewässer – DHyG Student Excellence Award

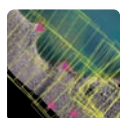


## Mass wasting

### 8 Mass wasting in Lake Constance

A GIS-based geo-morphometric reconnaissance

An article by NILS BRÜCKNER, PAUL WINTERSTELLER, MARTIN WESSELS and STEFANIE GAIDE



## UAV imagery

### 14 Digital elevation models of underwater structures from UAV imagery

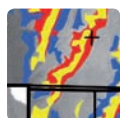
An article by CHRISTIAN MULSOW



## Habitat mapping

### 20 Multisensor microbathymetric habitat mapping with a deep-towed Ocean Floor Observation and Bathymetry System

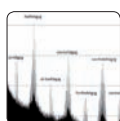
An article by SIMON DREUTTER



## Geomorphologische Analysen

### 27 Bathymetrische Kompilation und geomorphologische Analysen am Knipovich-Rücken

Ein Beitrag von JONAH GEILS



## Gezeitenvorausberechnung

### 35 Neue Bewertung der harmonischen Analyse im Vergleich zur Darstellung der Ungleichheiten am Beispiel der Deutschen Bucht

Ein Beitrag von PATRICK GOFFINET



## Wissenschaftsgespräch

### 40 »Der Hydrograph lebt davon, dass andere mit ihm im Austausch stehen«

HARALD STERNBERG im Wissenschaftsgespräch

## Veranstaltung I

### 53 Neuigkeiten vom Meeresboden

Besuch der 18. GeoHab-Konferenz

Ein Veranstaltungsbericht von JENS SCHNEIDER VON DEIMLING

## Water quality

### 54 Changing perspectives: Water quality from space

The World Water Quality Portal developed by EOMAP for UNESCO programme

An article by MARIE-LUISE WILHELM

## Veranstaltung II

### 58 Veranstaltungen für Stakeholder

Ein Beitrag von PETER DUGGE

# Mass wasting in Lake Constance

## A GIS-based geo-morphometric reconnaissance

An article by NILS BRÜCKNER, PAUL WINTERSTELLER, MARTIN WESSELS and STEFANIE GAIDE

New high-resolution hydroacoustic data from the »Tiefenschärfe« project in Lake Constance (central Europe) reveals a large amount of mass wasting events occurring on all slopes and influencing large parts of the lake floor. Within a GIS-supported geomorphologic investigation, a manual picking of mass transport deposits, as well as a digital reconnaissance were carried out, based on the visual appearance of mass transport deposits and on elevation-derived morphometric parameters, respectively. Subjective manual and objective (semi-)automatic detection strategies show the usability of the latter to be a new, easy-to-use assistive tool for identifying mass transport deposits in large bathymetric data sets and quantifying the morphological imprint of events on the lake floor. The iteratively determined algorithm divides mass wasting occurrences into the sub-features break-off edge, transport channel and depositional lobe and suggests morphometric dependencies for each sub-feature. Because Lake Constance consists of three mutually independent sub-basins the algorithm success differs somewhat, which we credit to locally changing hydrodynamic and sedimentologic patterns.

### Authors

Nils Brückner is a PhD student at UiT – The Arctic University of Norway, Tromsø, on a scholarship from Western Norway University of Applied Sciences (HVL), Sogndal. Paul Wintersteller and Stefanie Gaide work at MARUM – Zentrum für Marine Umweltwissenschaften an der Universität Bremen. Dr. Martin Wessels is head of the department »Sedimentology and Lake Physics« at the Institute for Lake Research in Langenargen which is part of the Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW)

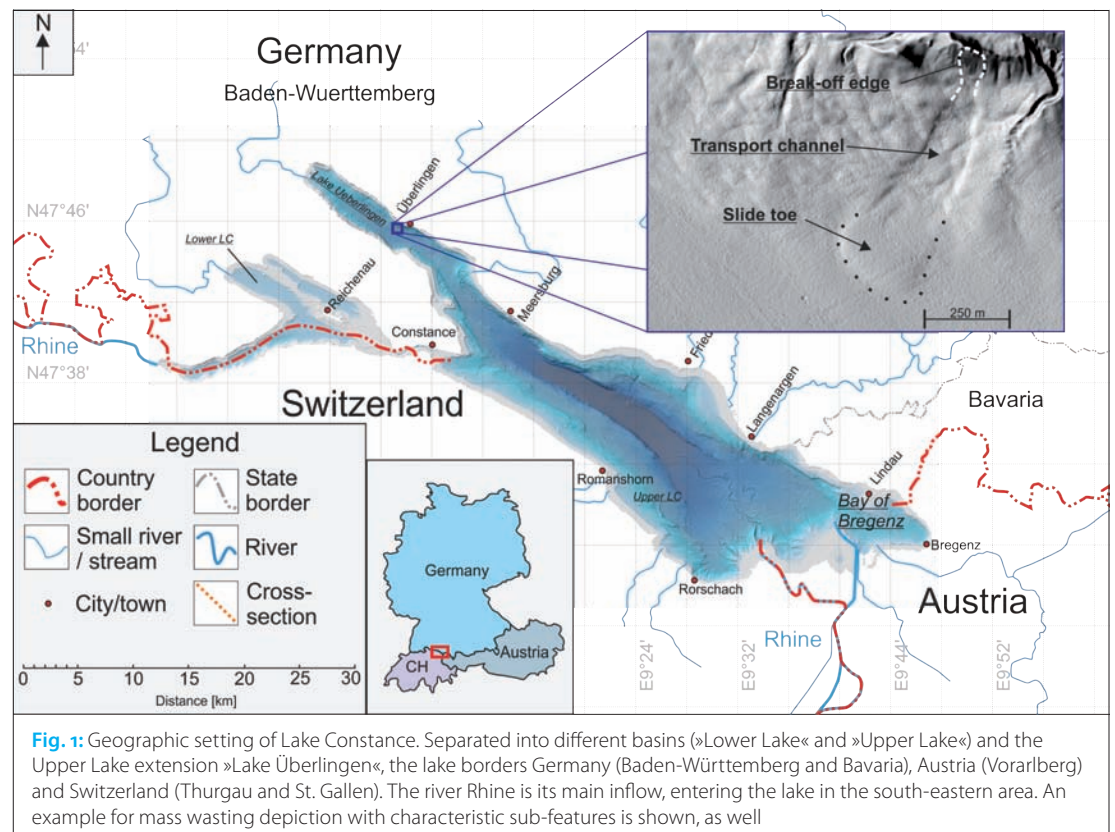
Nils.Willy.Brueckner@hvl.no

Lake Constance | bathymetry | mass wasting | morphometry | GIS

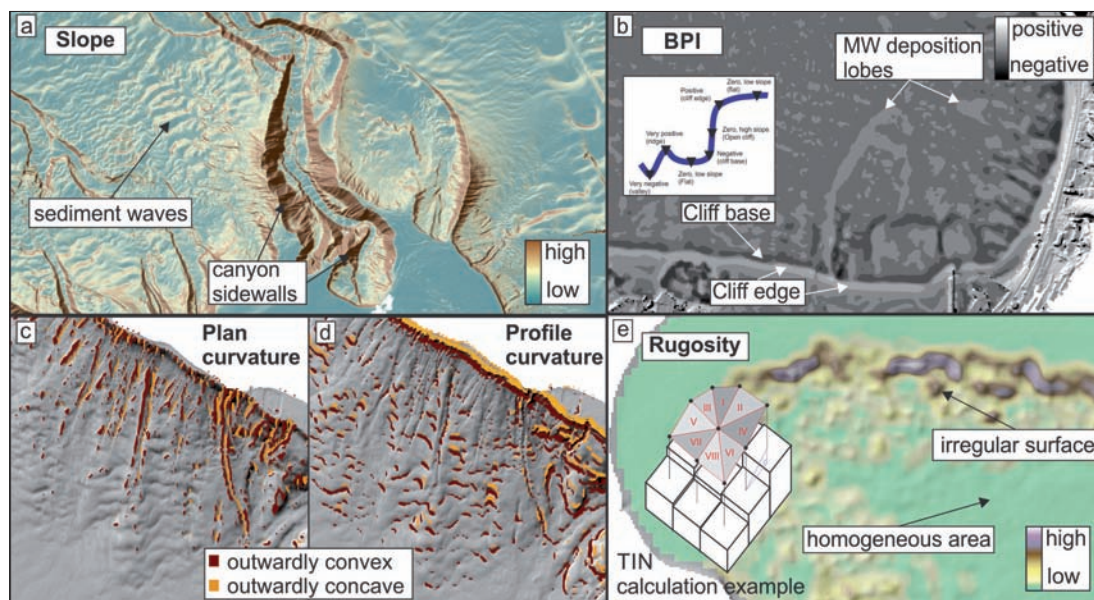
### 1 Introduction

Mass wasting (MW) is a geologic process and commonly described as the downslope movement of material under the direct influence of gravity. With the recent advent of hydroacoustic techniques accompanied by qualitatively improving bathymetrical maps, subaqueous mass transport deposits (MTD) can be (manually) detected with the help of relief-dependent hillshade maps. Depending on the size of the event and adjacent anthropogenic life and infrastructure, mass wasting events can

pose a significant threat, especially in highly populated areas, for example in the Central European, Pre-Alpine area. Here, regional MW inventories (e.g. Chapron et al. 2004; Hilbe et al. 2008; Hilbe et al. 2011; Brückner 2016) highlight unstable areas and assess different MW mechanisms. However, manually detecting all MW events remains a subjective and tedious undertaking, especially for high-resolution bathymetry and large lakes. Because MW causes well-known morphological impacts (Fig. 1) these types of elevational changes can be param-







**Fig. 2:** Morphometric parameters used in the algorithm. **a:** Slope parameter, the 1<sup>st</sup> order derivative of the surface: maximum steepness. **b:** Bathymetric Positioning Index (BPI): relation of mean elevation to the surrounding cells. **c:** 2<sup>nd</sup> order derived slope-perpendicular changes in the elevation (plan curvature). **d:** 2<sup>nd</sup> order derived slope-parallel changes in the elevation (profile curvature). **e:** Rugosity determination by triangulated irregular networks (TIN) approximation

eterised to help understand transport mechanisms and testify morphological changes with subjective quantification. By using morphometric attributes (see Fig. 2) derived from multidimensional, bathymetric surfaces, a possible ArcGIS-supported digital reconnaissance strategy will be executed, where several sub-features of MTD will be identified and compared to the outcome of a »classic« manual detection.

## 2 Geographical/geological setting

The freshwater, pre-alpine Lake Constance is in many ways a remarkable area. With approximately 536 km<sup>2</sup>, it is the third largest Central European water mass trailing Lake Geneva (Switzerland/France) and Lake Balaton (Hungary). Lake Constance has a maximum water depth of 251 m while exhibiting a surface elevation of 395 m above sea level. Due to Lake Constance's usage as the largest reservoir for drinking water in Europe and its location at the tri-border region between Austria, Germany and Switzerland (Fig. 1), the lake and its surroundings are the main place of residence for approximately 600,000 inhabitants. Therefore, it is a valuable resource which needs to be monitored in terms of maintaining excellent drinking water quality despite a high anthropogenic pressure on the lake and its shorelines.

Lake Constance is the product of extensive movement, formation and erosional excavation by water and ice activity during the last Quaternary glaciation period 20 to 18 thousand years ago, which created the elongated shape of Lake Constance (Schreiner 1979; Wessels 1998). The morphology of the lake floor is shaped by Rhine river turbidity currents along its pathway from the delta towards the deepest part in the Lakes' centre. However, the underflow potential of the Rhine

is significantly smaller since the International Rhine Regulation (Brückner 2016). The lake floor is highly influenced by mass movement, especially in the north western Lake Überlingen, where thin-channelled events dominate, the Rhine Delta and its erosive canyon landscape and the Bay of Bregenz, where large-scale sediment creep is reported (Schröder et al. 1998; Brückner 2016).

## 3 Methods

### 3.1 Data acquisition

A combined digital terrain model (DTM) acquired from a Kongsberg EM2040 multibeam echo sounder and a LiDAR RIEGL system (VQ-820G) was used. Bathymetric multibeam echo sounder data were acquired on board RV *Kormoran* (LUBW-ISF, Langenargen) during two campaigns in spring/summer of 2013 and February 2014. LiDAR green laser acquisition was carried out by the company Airborne Mapping GmbH in March of 2014, before both data sets were blended together to create a joint topo-bathymetric DTM with resolution up to 0.5 m (IGKB 2016). The investigation carried out in this contribution is based on a DTM resolution of 3 m grid cell size projected in UTM32 and ETRS89. More details in Wessels et al. (2015).

### 3.2 Morphometry

The morphologic appearance of mass transport deposits is divided into smaller sub-features, each showing characteristic depictions, as shown in Fig. 1. The beginning of a MW event is the break-off edge, where the slope is discontinued by a steep surface. This rupture generally appears in a slope parallel setting. Oppose to the break-off edge, the downslope movement of material is perpendicular to the slope and undertaken by a

## References

- Brückner, Nils (2016): Mass Transport Deposits within Lake Constance, Central Europe - GIS-based Analysis of High-Resolution Hydroacoustic Data; Master thesis at the Department of Geosciences, University of Bremen
- Brückner, Nils; Paul Wintersteller; Martin Wessels; Christian Winter; Gerhard Bohrmann (in prep.): Mass wasting in Lake Constance, Central Europe – hydroacoustic discoveries and geometric inventory
- Burrough, Peter A; Rachael A. McDonnell (1998): Principles of Geographical Information Systems; New York, Oxford University Press
- Chapron, Emmanuel; Pieter Van Rensbergen; Marc De Batist; C. Beck; Jean Henri (2004): Fluid-escape features as a precursor of a large sublacustrine sediment slide in Lake Le Bourget, NW Alps, France; Terra Nova, Vol. 16, No. 5, pp. 305-311
- Hilbe, Michael; Flavio S. Anselmetti; Raymond S. Eilertsen (2008): Spuren von Massenbewegungen auf dem Grund des Vierwaldstättersee bei Weggis: Die Ereignisse von 1601 und 1795; Bulletin für angewandte Geologie, Vol. 13, No. 1, pp. 83-85
- Hilbe, Michael; Flavio S. Anselmetti; Raymond S. Eilertsen; Walter Wildi (2011): Subaqueous morphology of Lake Lucerne (Central Switzerland): implications for mass movement and glacial history; Swiss Journal of Geosciences, Vol. 104, No. 3, pp. 425-443
- Horn, Berthold K. P. (1981): Hill shading and the reflectance map; Proceedings of the IEEE, Vol. 69, No. 1
- IGKB (2016): Tiefenschärfe – Hochauflösende Vermessung Bodensee; Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee, Blaue Reihe, Bericht Nr. 61
- Jenness, Jeff S. (2004): Calculating landscape surface area from digital elevation model; Wildlife Society Bulletin, Vol. 32, No. 3, pp. 829-839
- Schreiner, Albert (1979): Zur Entstehung des Bodenseebeckens; Eiszeitalter und Gegenwart, Vol. 29, pp. 71-76
- ...

Parameter	Calculation	Description	MW-usability	Reference
Slope (Fig. 2a)	1st order derivative of the surface	Maximum steepness of an elevational surface	Recreating break-off edges and slide toes	Horn (1981)
BPI (Fig. 2b)	2nd order derivative, relation of each cell's elevation to the mean elevation of the surrounding cells	Scale-dependent morphological variation, statistical approach of how data points in a cell are varying	Non-directional erosion and depositional areas	Weiss (2001)
Plan curvature (Fig. 2c)	2nd order derived changes in the elevation, primarily in slope perpendicular changes	Small-scale steepness variations with regards to a given direction. Alternation of convex and concave areas	Transport channels and convex/concave alterations	Zevenbergen and Thorne (1987)
Profile curvature (Fig. 2d)	2nd order derived changes in the elevation, primarily in slope parallel changes	Small-scale steepness variations with regards to a given direction. Alternation of convex and concave areas	Break-off edges and creeping structures. Non-curved slide toes	Zevenbergen and Thorne (1987)
Rugosity (Fig. 2e)	Relation of the surface area and the planar area using triangulated irregular networks (TIN) approximation	indicator of the predominant microtopography and the intensity of small-scale elevation changes	Slide toe microtopography; depositional areas of coarse material (rockfalls)	Jenness (2004)

transport channel. However, a channel-like concave incision can only be found, when transport is well directed. Noticeably, transport channels often depict the smallest width of the event and follow the aspect direction where the slope exhibits its steepest values. The end of the deposition consists of a slide toe (or »slide lobe«) marked by a funnel-like shape. This toe acts as a convex, depositional rim and features microtopography that exhibits higher rugosity than adjacent areas.

A hillshaded surface was used to evaluate the lake floor in terms of mass movement appearances. When such an event was found, a polygon was drawn around the influenced area and the depositions' geometry was attained. In order to be classified as a mass wasting event the abrasional location must be visibly linked with the depositional area at the end of the event. By manually digitising MW events a large amount of morphological information was compiled in a geomorphometric database, where parameters like initiation and deposition depth, length, width, area and others are collected.

The most important aspect for the digital reconnaissance is the detection of sub-features associated with mass movement. By a unified query, composed of a multitude of morphometric parameter increments listed in the table and shown in Fig. 2, sub-features were defined. The morphometric parameters were iteratively combined in a joint query (Fig. 3) to reflect the morphological imprint of each MW sub-feature.

## 4 Results

### 4.1 Mass wasting in Lake Constance

The (manual) detection of MTDs in Lake Constance revealed a total of 860 discrete events, which are distributed in every sub-region of the lake. Generally, it can be said the lake floor is highly influenced by mass movement. However, even though mass wasting can be found in on all associated slopes,

the overall distribution of such events is incoherent and tied to local geology (Wessels 1995; Brückner 2016; Brückner et al., in prep.).

## 4.2 Digital reconnaissance

### 4.2.1 Parametrisation

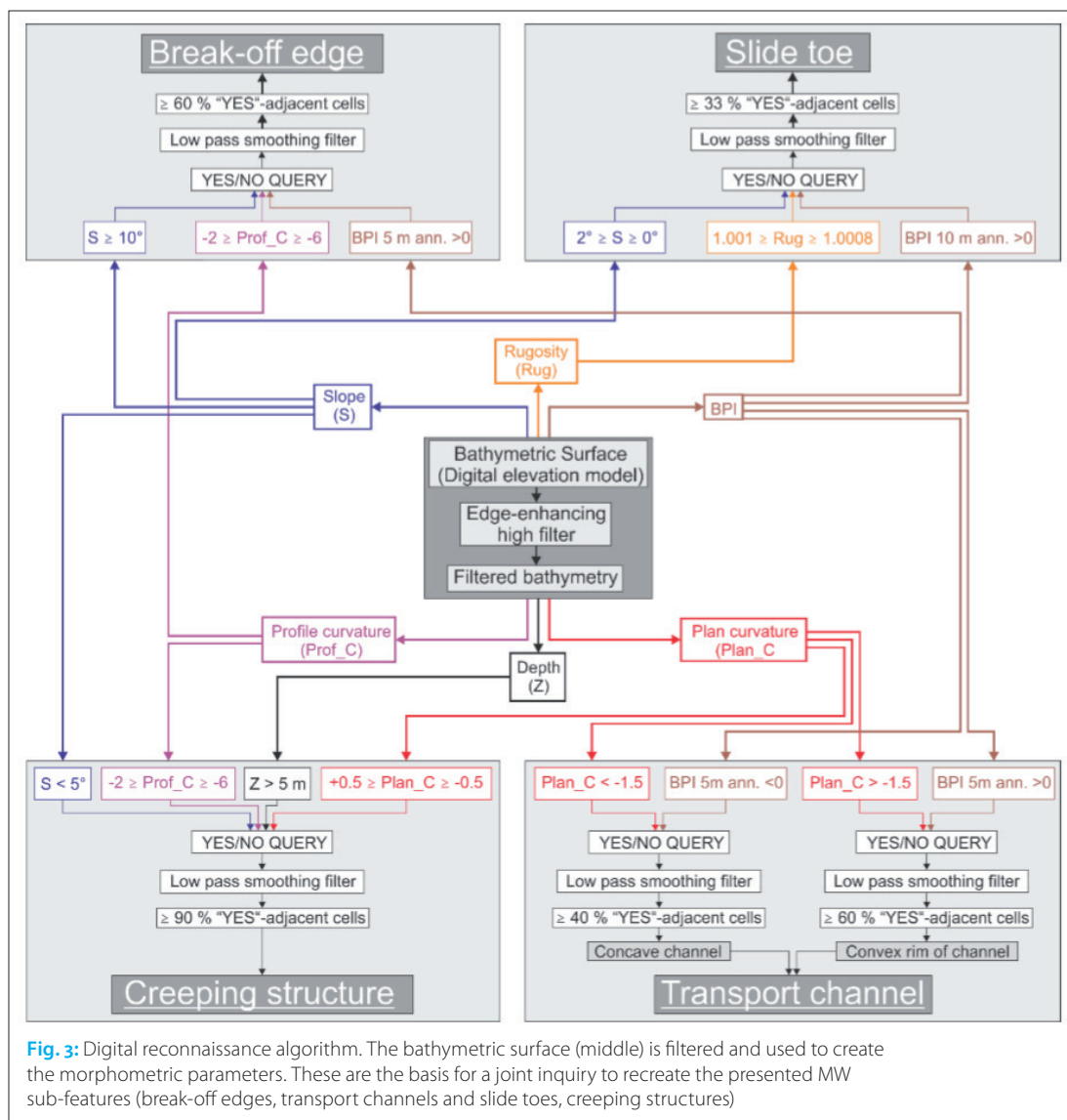
Fig. 3 shows the proposed algorithm and its chosen values and increments, which were iteratively determined and proven to be most resilient. Using Esri ArcGIS Model Builder a step-by-step algorithm was created, which defines the sub-features, where the value increment queries are carried out using the Map Algebra tool. The algorithm starts by traversing the bathymetric data set with a 3-by-3 pixel high pass to enhance the edges of target features in the raster surface data set. This filtered bathymetry is then used to create several raster data sets featuring the proposed morphometric parameters. Therefore, the analysis is pixel-based and allows for pixel-specific assignments.

For each sub-feature a joint inquiry was elaborated that relied on morphometry. For instance, a pixel which exhibits a slope value larger or equal 10 degree, a profile curvature between -2 and -6 and a BPI (5 m annulus) larger than 0 is potentially part of a break-off edge. To be assigned to this sub-feature however, every criterion must be met. All pixels that pass through this query are labelled »YES« and are put through ultimate artefact low pass smoothing filtering. As the analysis is done on a 3-by-3 pixel wireframe, the central pixel and its adjacent cells are investigated in terms of the aforementioned criteria. To be ultimately classified as part of a break-off edge, 60 % of all adjacent cells need to be labelled »YES«, as well, for the middle pixel to pass.

### 4.2.2 Sub-feature detection

The break-off edge sub-feature has an impact on the parameters slope, profile curvature and BPI. The algorithm includes an initial, edge-enhancing,





**Fig. 3:** Digital reconnaissance algorithm. The bathymetric surface (middle) is filtered and used to create the morphometric parameters. These are the basis for a joint inquiry to recreate the presented MW sub-features (break-off edges, transport channels and slide toes, creeping structures)

...  
 Schröder, Heinz Gerd; Martin Wessels; Frank Niessen (1998): Acoustic facies and depositional structures of Lake Constance; in: Erich Bäuerle and Ursula Gädke (Ed.): Lake Constance, Characterization of an ecosystem in transition, Archiv für Hydrobiologie, Vol. 53, pp. 351-368  
 Weiss, Andrew D. (2001): Topographic Positions and Landforms Analysis; ESRI International User Conference, San Diego, CA  
 Wessels, Martin (1995): Bodensee-Sedimente als Abbild von Umweltänderungen im Spät- und Postglazial; Göttinger Arbeiten zur Geologie und Paläontologie, Vol. 66, 105 pp.  
 Wessels, Martin (1998): Geological History of the Lake Constance area; in: Erich Bäuerle and Ursula Gädke (Ed.): Lake Constance, Characterization of an ecosystem in transition, Archiv für Hydrobiologie, Vol. 53, pp. 1-12  
 Wessels, Martin; et al. (2015): Bathymetry of Lake Constance – State-of-the-art in surveying a large lake; Hydrographische Nachrichten, No. 100, pp. 6-11  
 Zevenbergen, Lyle W.; Colin R. Thorne (1987): Quantitative Analysis of Land Surface Topography; Earth Surface Processes and Landforms, Vol. 12, No. 1, pp. 47-56

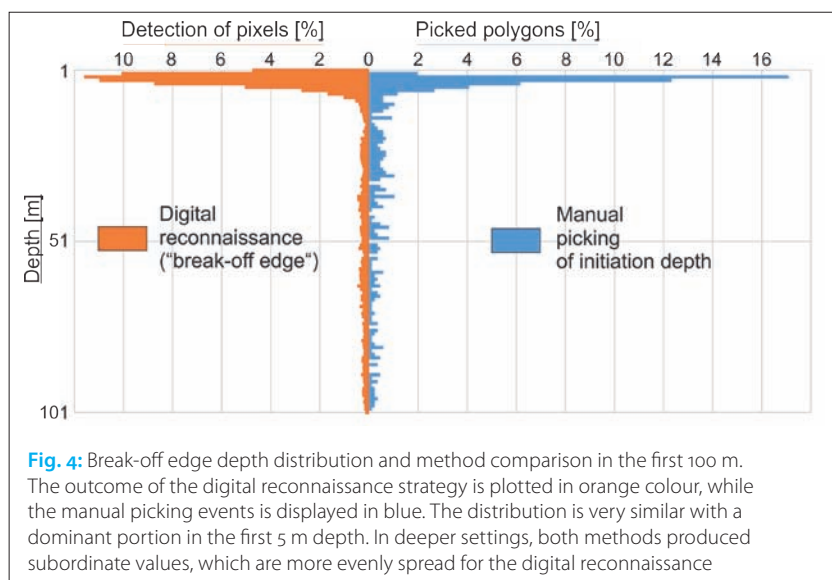
high-pass filtering of data to eliminate outer beam bending errors. The proposed algorithm was not only able to detect break-off edges but also canyon sidewalls, which exhibit a level of steepness forcing the algorithm to misjudge these features.

The detected break-off edge pixels of the digital reconnaissance strategy were compared to the manually picked initiation depth distribution of landslide events. As revealed by Fig. 4, this distribution produces a correlation coefficient of 0.86 between the two detection methods. The digital reconnaissance testifies the existence of a dominant break-off edge depth level, which was first seen in the polygons' statistics.

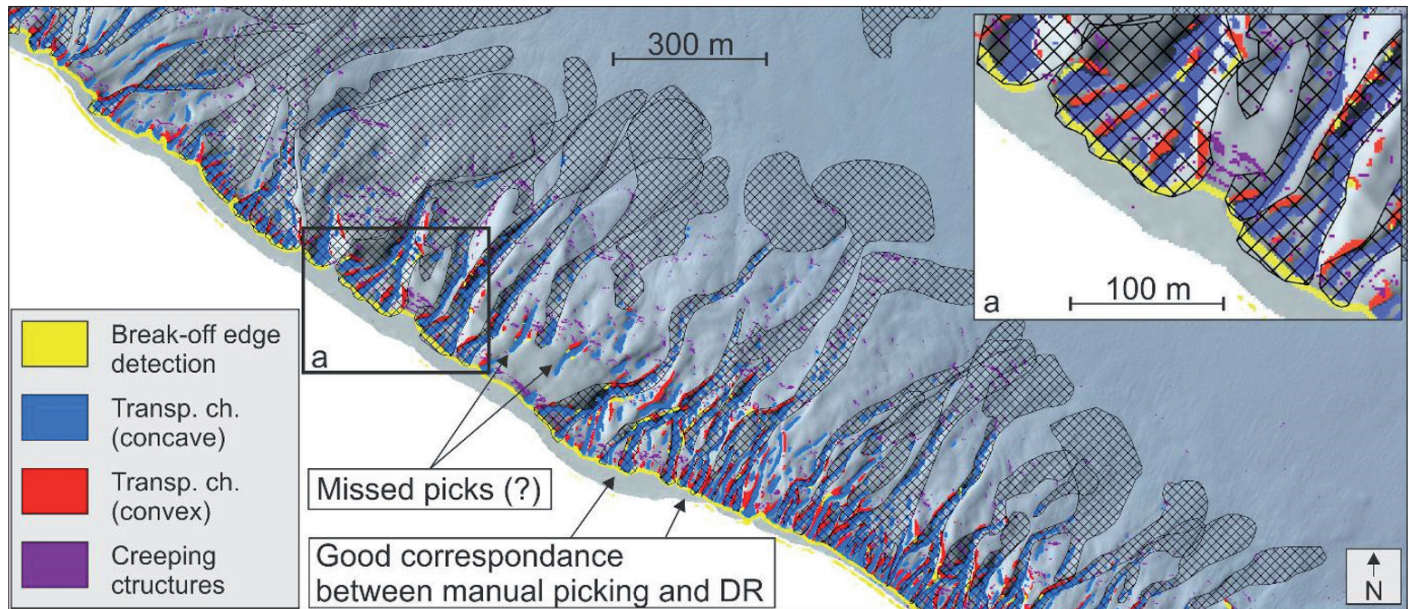
Transport channels of MW events have an impact on the parameters plan curvature and BPI. The algorithm for transport channels is split into two different parts (Fig. 5) to detect concave (blue) and convex (red) impacts individually, where the value increments are inverted for the two shape types. The algorithm for this sub-feature was very well suited to depict rounded narrow structures but struggled to detect broad channels. The convex outer rim of structures was best detected in shallower parts and higher slope positions, where-

as the concave incisions could be traced into deeper settings.

In the proposed algorithm the slide toe detection was attempted using a moderate 0 to 2 degree slope angle increment, a positive broad scale BPI and highly specific rugosity values. A



**Fig. 4:** Break-off edge depth distribution and method comparison in the first 100 m. The outcome of the digital reconnaissance strategy is plotted in orange colour, while the manual picking events is displayed in blue. The distribution is very similar with a dominant portion in the first 5 m depth. In deeper settings, both methods produced subordinate values, which are more evenly spread for the digital reconnaissance



**Fig. 5:** Comparison of picked polygons and digital reconnaissance sub-feature detection. The manually detected MW events (cross-hatched polygons) are well resembled by sub-feature detection in Lake Überlingen. a: Detailed zoom showing resemblance

#### Acknowledgments

This contribution is an outcome of a master thesis of the »Tiefenschärfe« project, which was funded by the European funds for regional development (Interreg). The project is organised by the environmental agency of Baden-Württemberg (LUBW) and the International Commission for water protection of Lake Constance (IGKB). We thank the supervisors of the thesis Prof. Dr. Christian Winter (Christian-Albrechts-Universität, Kiel) and Prof. Dr. Gerhard Bohrmann (University of Bremen/MARUM). We also thank the acquisition team on board the RV *Kormoran* for data collecting and the »Tiefenschärfe«-bathymetry editing team of the University of Bremen/MARUM for their effort in data processing.

surface area/planar area ratio of 1.0008 (difference of 0.08 %) produced the best results. The »detectional window« for slide toes is small, so that only the largest slide toes could be detected. However, the found rugosity difference is able to depict the slope/basin transition, while anomalies in the basin testify the uncertainty of the algorithm.

#### 5 Discussion

The digital reconnaissance carried out in this contribution is not able to detect mass wasting itself, yet depicts elevational changes caused by mass wasting – a seemingly trivial but essential difference. It proved to be a versatile strategy to put emphasis on these elevational changes caused by mass movement, while pixel-based highlighting is able to assist the manual detection strategy immensely by providing structural information and is able to underline and assist manual interpretations by pointing out MW occurrences which were overseen. By calculating the presented morphometric parameters and plotting them together with hillshade surfaces, the manual detection approach will be more resilient as it potentially yields better results. Especially the curvature parameters with their directional inquiries are useful to highlight certain sub-features and can be calculated quickly before manual detection. Because all sub-features (except the slide toe) exhibit a clear direction, they can be assessed with the morphometric equations presented. The slope parameter is useful to detect events associated with a certain angle and works well for creeping structures (moderate slopes) and break-off edges (high slopes). BPI information is used to generate an extra obstacle inside the inquiry, but is not the dominant factor, as it only provides general structural information. The rugosity parameter proved to be inefficient as rugosity dif-

ferences were very small, making the algorithm for slide toes difficult. Using even higher resolutions (up to 0.5 m for the Lake Constance) rugosity differences would potentially increase, yielding better results.

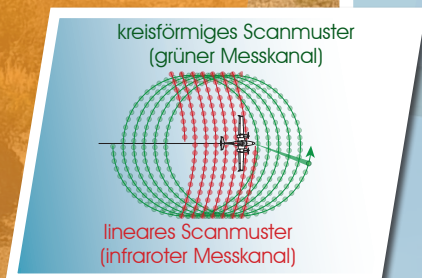
Furthermore, the used algorithms exhibited varying success for the different sub-basins. For Lake Überlingen and the Lower Lake, the algorithm produced the best reconnaissance of MW events, especially for break-off edges and transport channels. The Upper Lake proved to be more challenging and the detection of these sub-features were difficult especially in the deep, central basin and near the Rhine delta. This is very likely due to increased sedimentation rates especially in the more turbulent, hydrodynamic setting of the eastern Upper Lake. Another factor of provided structural information is that the manifestation of sub-features can possibly be presented using confidence levels of recognition. As the parametrisation involves a distinct percentage-barrier for adjacent cells to pass through the query, differences in percentage values imply varying levels for the manifestation of sub-features. For instance, stronger, well-exposed break-off edges depict a larger value than rounded equivalents. Comparing values potentially leads to a prioritisation highlighting the most prominent shapes.

The analysed Lake Constance mass wasting inventory and the inherent mass transport deposit statistics help determining mass wasting prone areas. The statement of Schröder et al. (1998) that »slope areas of Lake Constance are quite stable (with a few exceptions)« needs reevaluation, at least in some areas. Especially Lake Überlingen and the slope around Meersburg represent high mass transport deposit-densities and are largely influenced by mass wasting occurrences, which was already described by Wessels (1995).



# HYDROGRAPHIE

mit **RIEGL** LiDAR Sensoren und Systemen

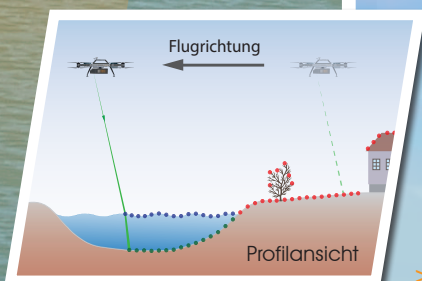
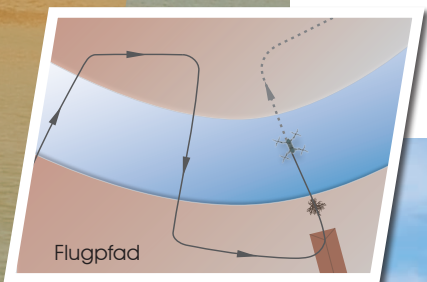


## RIEGL VQ-880-G



vollintegriertes Airborne Laserscanning System für die hydrographische und topographische Vermessung großflächiger Küstenstreifen und Flachwasserzonen

- >> hervorragende räumliche Auflösung und Messgenauigkeit basierend auf bis zu 550 kHz Messrate und 160 Scans/Sekunde Scangeschwindigkeit
- >> aussagekräftige Messdaten durch Digitalisierung des Echosignals, Wellenform-Analyse in Echtzeit und Mehrzielfähigkeit
- >> Messung bis 1,5 Secchi-Tiefe
- >> Einsatzflughöhe typ. 2000 Fuß über Grund
- >> IMU/GNSS-Einheit und hochauflösende Kamera voll integriert
- >> geeignet zur Montage auf stabilisierten Plattformen
- >> Erfassung der Wasseroberfläche durch zusätzlich integrierten Infrarot-Laserscanner
- >> **NEU RIEGL VQ-880-GH**  
Bauform optimiert für die Helikopter-Integration



## BathyCopter



UAV-basiertes Vermessungssystem für die Erfassung von Binnengewässerprofilen

- >> RIEGL's unbemannte Trägerplattform RiCOPTER mit vollintegriertem RIEGL BDF-1 Lasertiefenmesser (bis 1,5 Secchi-Tiefe)
- >> Einsatzflughöhe 10-40 m über Wasser
- >> Hochgenaue, verlässliche und aussagekräftige Bathymetriedaten basierend auf RIEGL's hydrographischer Wellenformverarbeitung
- >> Schwimmer für sicheres Abheben und Landen auf der Wasseroberfläche



Ihr QR-Code zum RIEGL VQ-880-G und BathyCopter Video auf YouTube.

[www.riegl.com](http://www.riegl.com)



Besuchen Sie uns!

Hydrographentag 2018  
Lindau am Bodensee, Deutschland  
12.- 14. Juni 2018 | RIEGL Stand #5



**RIEGL**®



# Digital elevation models of underwater structures from UAV imagery

An article by CHRISTIAN MULSOW

The paper presents a workflow for the generation of digital elevation models (DEMs) of underwater areas from aerial images. Standard software products do not provide the possibility to triangulate correctly through refractive interfaces, such as water. Known procedures are based on oriented images and known water levels with DEM determination via forward intersection based on reconstructed image ray paths (ray tracing). In this article an integrated procedure for image orientation as well as DEM extraction from aerial imagery containing both land and underwater areas is presented. The proof of concept was done by capturing UAV imagery of shallow water areas of a high-alpine lake in the Swiss Alps. The processed data set will be presented and the extraction and matching of image points observed through water are discussed. The accuracy potential as well as practical limitations of processing multimedia data are analysed.

UAV | DEM | underwater | multimedia | bundle adjustment

## 1 Motivation

The talus slope at Flüelapass was the first mountain permafrost study site in Switzerland in the Alps, and the presence of ice-rich permafrost at the foot of the slope has first been researched by Haeberli (1975). Recent investigations led to new hypotheses on the geomorphological processes at the study site (Kenner et. al 2017). One important data set for the research was a digital elevation model (DEM) of the area, which also includes the bottom of a lake named Schottensee (see Fig. 1). To survey such regions by photogrammetry, we have to account for the two different media, air and water.

## 2 UAV data set

The use of UAV imagery became standard for DEM generation of small areas in the last few years. They fill the gap between terrestrial laser scanning (TLS) as well as conventional aerial photogrammetry and airborne laser scanning (ALS). Therefore, a UAV image block was seen as suitable database for DEM generation for the study site.

In September 2016, a block of aerial images was acquired with a Sony NEX-7 camera (24 Mp, 20 mm, F/2.8 optical lens) mounted on an Ascending Technologies (AscTec) Falcon 8 octocopter (Bühler et al. 2016). About 300 images were taken from a flying height of 100 m above ground (GSD of 2 cm) with an overlap of approximately 75 % along track and 65 % across track. Initial camera positions and orientations were taken from UAV's GNSS- and IMU-system while heading was available only. Eight ground control points were signalled on land, whose coordinates were defined using a Topcon GR5 GNSS receiver in real time kinematic mode.

As Fig. 2 shows, the distribution of control points is far from ideal for a stable geo-referencing of the whole block. However, the region of interest, in that case the slope and the lobe area, is covered sufficiently. Due to the lack of suitable equipment and access, no underwater control points were installed. This limits a stable absolute orientation as well as a rigorous quality control (position and height) of images showing underwater areas mainly.

A few months after the UAV campaign, several underwater checkpoints were measured via GPS for quality control. A first set was measured through water in November 2016 and a second through ice in December 2016. Fig. 3 shows the positions of used checkpoints. Checkpoints could be measured in situ up to a water depth of 2.8 m.

### Author

Christian Mulsow works at the Institute of Photogrammetry and Remote Sensing, TU Dresden.

christian.mulsow@tu-dresden.de

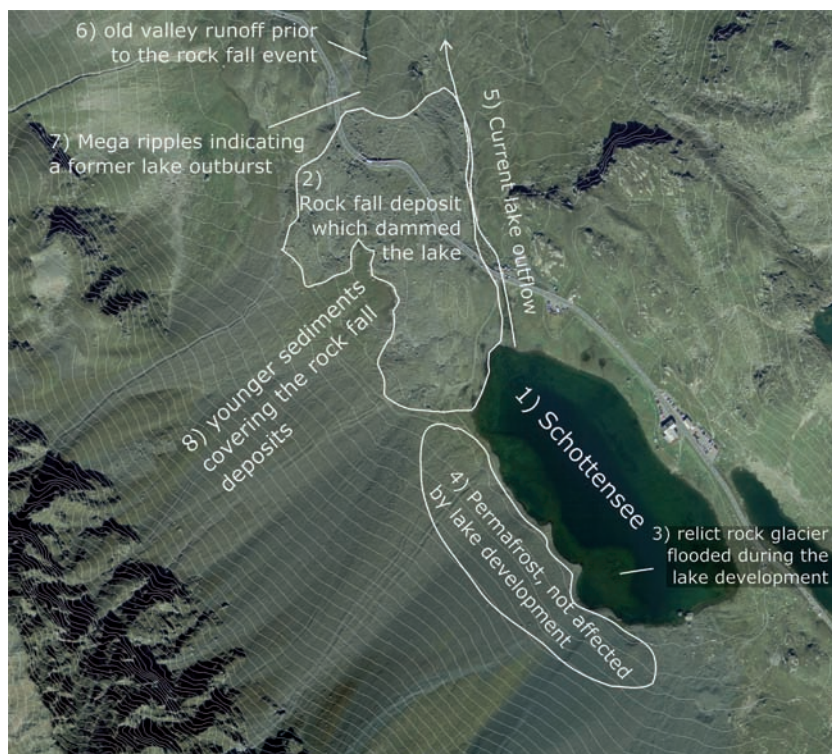
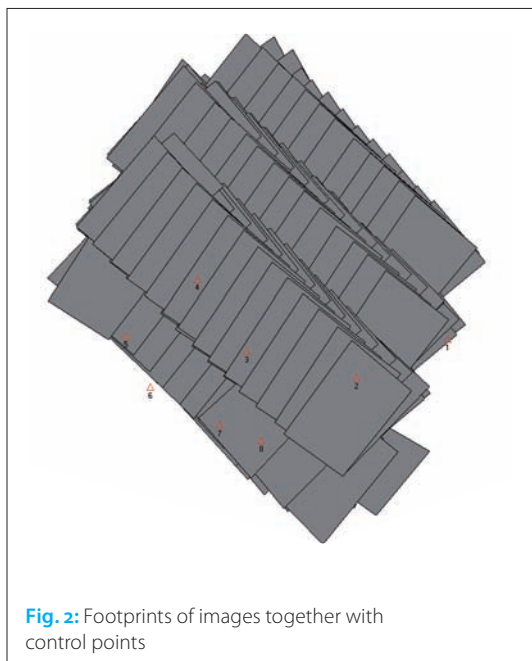


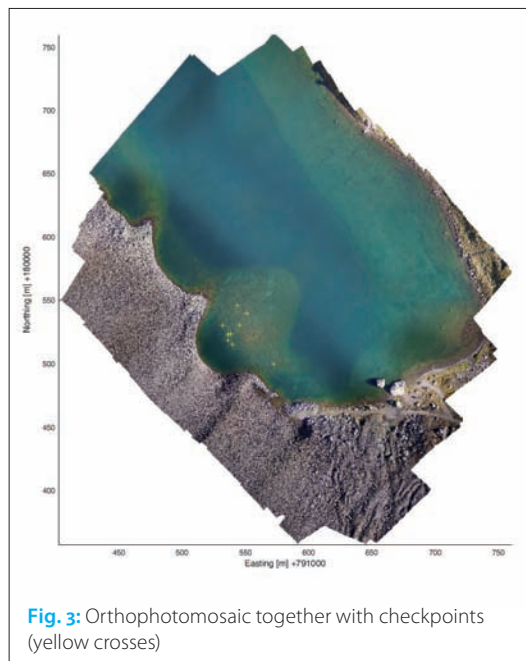
Fig. 1: Orthophoto of the Flüelapass. The labelled landforms give in their numbered order a short overview on the geomorphologic history of the site

Orthofoto: swissimage ©2014, swisstopo 5704-000-0000





**Fig. 2:** Footprints of images together with control points



**Fig. 3:** Orthophotomosaic together with checkpoints (yellow crosses)

### 3 Multimedia bundle adjustment

The refraction has to be taken into account when measuring through refracting surfaces. In contrast to the one-media case (usually air), the camera and the object of interest are not in the same optical media. Therefore, the ray between the perspective centre of the camera and an object point is not a straight line. The image ray changes direction while passing the interface between the different medias, following Snell's law. Consequently, the extension of standard photogrammetric imaging models is required.

In aerial photogrammetry, the two-media-problem (air and water) has been discussed since the 1940s. Rinner (1948) proposed the stepwise reduction of the problem down to known procedures of standard (one-media) photogrammetry on analogue instruments. First practical aspects of water depths measurements from aerial photographs were highlighted by Tewinkel (1963). Several compensation methods for refraction effects were published over the decades, like Fryer (1983) or Butler et. al. (2002). Generally, these methods just add a correction to derived underwater-point coordinates. Usually, the images had to be orientated separately and the water surface had to be known. First thoughts for an integrated bundle adjustment for multimedia imagery were published by Kotowski (1987). Maas (2015) presented a multimedia module for planar interfaces which can easily be integrated into photogrammetric standard tools such as spatial resection, spatial intersection or bundle adjustment.

An integrated bundle adjustment software was developed by Mulsow et.al. (2010) based on the work of Kotowski (1987). In Kotowski's universal model, the coordinates of the refraction point nearest to the camera ( $P_1$  in Fig. 4) defines the image ray together with the projection center  $P_0$  and the image point  $p'$  on the sensor.

The mathematical model is based on the well known collinearity equation. Here, the object point  $P$  is substituted with the refraction point nearest to the projection centre ( $P_1$ ).

$$x' = x'_0 + z' \frac{r_{11}(X_1 - X_0) + r_{21}(Y_1 - X_0) + r_{31}(Z_1 - X_0)}{r_{13}(X_1 - X_0) + r_{23}(Y_1 - X_0) + r_{33}(Z_1 - X_0)} + \Delta x'$$

$$y' = y'_0 + z' \frac{r_{12}(X_1 - X_0) + r_{22}(Y_1 - X_0) + r_{32}(Z_1 - X_0)}{r_{13}(X_1 - X_0) + r_{23}(Y_1 - X_0) + r_{33}(Z_1 - X_0)} + \Delta y'$$

with:

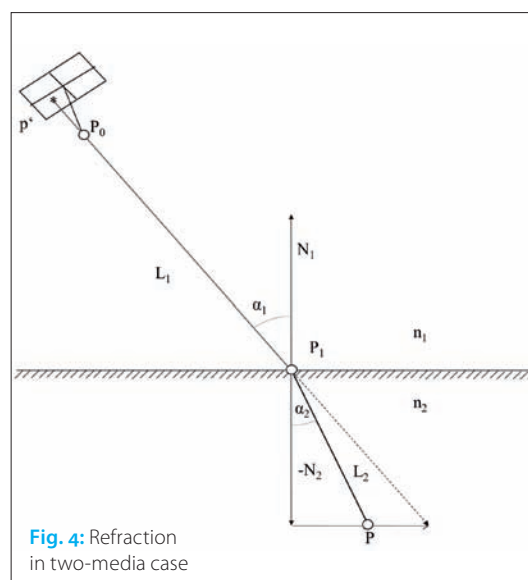
$X_1, Y_1, Z_1$ : object points of refracting point  $P_1$  nearest to the projection centre

$r_{11} - r_{33}$ : elements of  $3 \times 3$  rotation matrix  $R$

$x'_0, y'_0$ : coordinates of the principal point

$\Delta x', \Delta y'$ : axis related correction values for imaging errors (e.g. lens distortion)

The main task in this approach is the complete reconstruction of the image ray path through two or



**Fig. 4:** Refraction in two-media case

## References

- Bühler, Yves; Marc S. Adams; Ruedi Bösch; Andreas Stoffel (2016): Mapping snow depth in alpine terrain with unmanned aerial systems (UAS): potential and limitations; *The Cryosphere*, Vol. 10, No. 3, pp.1075-1088, 10.5194/tc-10-1075-2016
- Butler, Justin; Stuart Lane; Jim Chandler; Ekaterini Porfiri (2002): Through-Water Close Range Digital Photogrammetry in Flume and Field Environments; *The Photogrammetric Record*, Vol. 17, No. 99, pp. 419-439, DOI: 10.1111/0031-868X.00196
- Fryer, John G. (1983): Photogrammetry through shallow water; *Australian Journal of Geodesy, Photogrammetry and Surveying*, Vol. 38, pp. 25-38
- Fryer, John G.; C. S. Fraser (1986): On the calibration of underwater cameras; *The Photogrammetric Record*, Vol. 12, No. 67, pp. 73-85, DOI: 10.1111/j.1477-9730.1986.tb00539.x
- Glassner, Andrew S. (1989): *An Introduction to Ray Tracing*; Academic Press, London
- Haeberli, Wilfried, 1975. Untersuchungen zur Verbreitung von Permafrost zwischen Flüelapass und Piz Grialetsch (Graubünden); *Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich*, Vol. 17, 221 pp.
- ...

more optical media with different refractive indices (ray tracing):

$$(X_{1ij}^l, Y_{1ij}^l, Z_{1ij}^l) = f_{P_1}(X_{0j}, Y_{0j}, Z_{0j}, X_i, Y_i, Z_i, a^l, n^l)$$

with:

i : point index

j : image index

l : set of indexes of interfaces t

$a^l$  : set of parameters of interfaces  $a_t$

$n^l$  : set of refractive indices  $n_t$

t : index of interface

The system of collinearity equations together with the ray tracing is non-linear. For solving, the least squares estimation in the Gauss-Markov model can be used. The necessary linearisation of the collinearity equations cannot be done analytically due to the (iterative) ray tracing. Instead, the differential quotients can be determined via numerical differentiation. The computational effort for differentiation can be large, due to the iterative ray tracing for each differential quotient and for each iteration of the solving algorithm for the collinearity equation.

The main advantages of this solution are its universality and flexibility as well as the possibility to implement it into conventional bundle adjustment. The implemented multimedia-bundle was applied to several tasks (Mulsow et. al. 2010; Mulsow et. al. 2014a), where the method could prove its main advantage: as in a conventional bundle-adjustment, all parameters (interior and exterior orientation, new-point coordinates) can be treated as unknowns. Additionally, the surface parameters of interfaces between different media, new-points in other media as well as refractive indices can be computed in one integrated adjustment. An in-

depth description of the mathematical model together with different ray tracing strategies can be found in Mulsow et. al. (2010) and Mulsow (2016).

#### 4 Image orientation

In a first step, the number of images was reduced to a feasible level. Blurred images as well as overexposed and underexposed material were sorted out. Further, only images covering the region of interest (slope and lobe) were held in the block. Fig. 5 shows the block-layout for processing.

The whole block was first processed conventionally in LPS 9.3 (ERDAS, Hexagon) in order to obtain corresponding points and initial values for image orientations. Image points were measured automatically, which failed for some deeper areas due to low contrast. For this areas, some additional tie points were measured manually. In a second step, the underwater points were labelled manually.

A number of 41 images was processed, of which six images with water coverage of at least 70 %. About 8000 image measurements were handed over for further processing. Images were connected by ~900 tie points, of which ~150 were labelled as underwater points. In order to achieve best results, all manually measured image points were refined by least squares matching (LSM) in a self-written software.

In order to evaluate the best strategy for processing, several parameter settings were applied for bundle adjustment:

- I. Adjustment based on all measured image points, all labelled as onshore points.
- II. Adjustment based onshore points exclusively for camera calibration and image orientation of images with at least 70 % of onshore coverage.
- III. Adjustment with fixed camera calibration parameters as well as already oriented onshore images (from II) plus remaining un-oriented images (>30 % water coverage), underwater points together with onshore points.
- IV. Adjustment with maximum degree of freedom, all image data used, camera parameters as well as orientations were treated as unknowns, image points labelled as onshore points or underwater points.

The simultaneous estimation of water-surface parameters as well as refraction index of water failed due to high correlations between parameters caused by the near-vertical incidence angles of image rays (max angle ~20°) and the limited water depth to flight-height ratio.

The compiled results are listed in the table. When analysing the quality parameters of the processing versions, configuration III can be identified as best suited for given data based on the fit of the derived heights with underwater checkpoints speaks for that parametrisation strategy.

At first glance, the internal height-precision of the underwater points in object space is best for configuration I. Actually, this high accuracy is caused by the refraction effect which is still included in the cal-

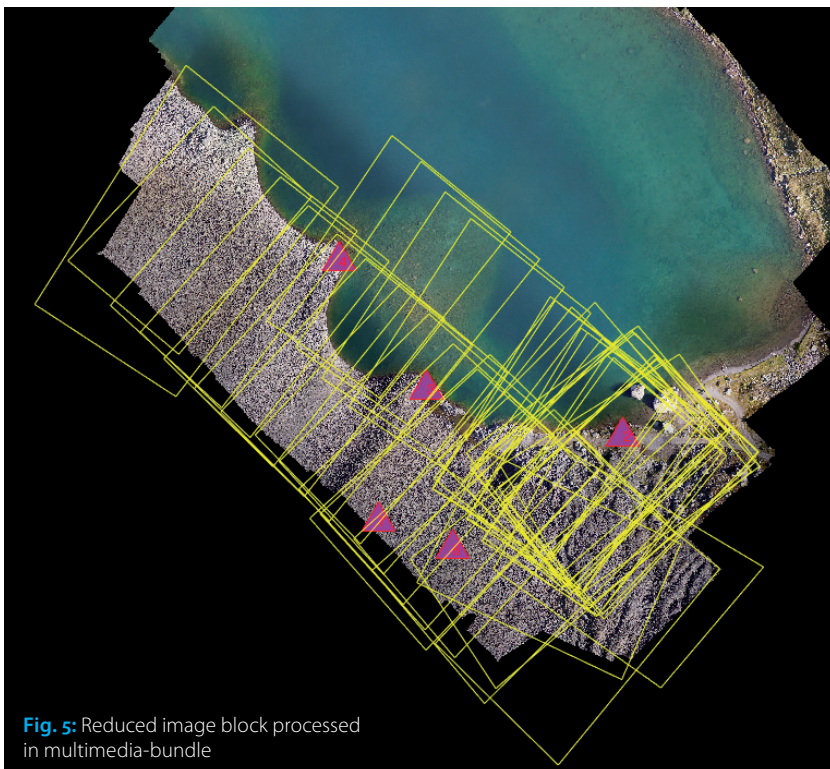


Fig. 5: Reduced image block processed in multimedia-bundle



Quality parameter	Parameter setting no.			
	I	II	III	IV
$S_o$ [px]	0.48	0.47	0.49	0.49
RMS $x'$ $y'$ land [px]	0.43/0.44	0.42/0.43	0.42/0.43	0.43/0.44
RMS $x'$ $y'$ water [px]	0.44/0.43	–	0.51/0.51	0.46/0.46
$c_k$ [mm]	20.443	20.467	20.467	20.441
$x_H$ [mm]	–0.0027	–0.0018	–0.0018	–0.0030
$y_H$ [mm]	0.0584	0.0552	0.0522	0.0587
RMS X/Y/Z land [cm]	1.7/1.4/4.4	1.5/1.2/3.8	1.5/1.2/3.8	1.7/1.4/4.4
RMS X/Y/Z water [cm]	1.0/1.7/4.4	–	0.9/1.6/5.3	1.0/1.8/6.0
		<b>Underwater checkpoints</b>		
RMS Z [cm]	2.9	–	3.5	4.0
RMS $Z_{target} - Z_{actual}$ [cm]	65.8	–	11.8	14.5

culated point heights here. Not taking the refraction into account, leads to larger intersection angles for image rays of underwater points. When considering refraction, the image ray intersection angle in the denser medium (water) becomes smaller (Maas 2015), thus degrading the accuracy. As expected, the quality of image-point measurements of underwater points is lower than of onshore points. A degrading factor of 1.4 can be derived from triangulation results (parameter setting III).

### 5 Underwater DTM extraction

The workflow for underwater DTM extraction follows the way of processing conventional data sets. First, homological point pairs in stereo images has to be identified and measured. In a second step, the corresponding image rays are intersected in order to obtain the point coordinates. Finally, the point cloud can be transformed into a TIN (triangulated irregular network).

#### 5.1 Image processing

In a first step, image pairs were defined and transformed into normal images in order to provide some kind of y-parallax-free stereo images for matching. From theory, the epipolar lines are not straight in multimedia case. However, due to the low water depth the epipolar lines can be seen as straight to a certain degree.

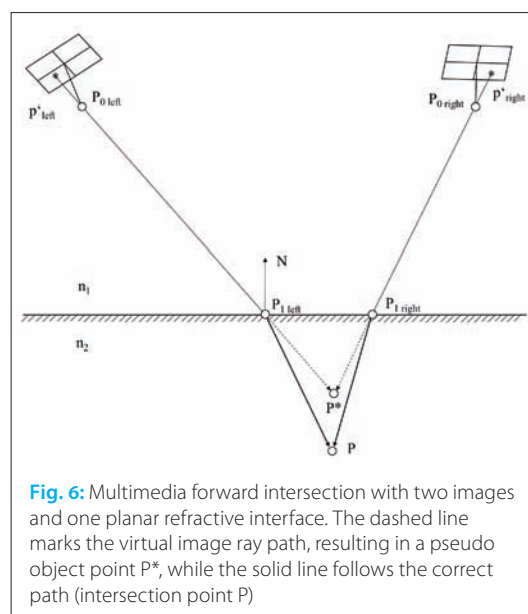
Similar to common matching-procedures, an image-pyramid strategy was implemented. Starting with lowest resolution (reducing-factor 5), points-of-interest were extracted. In order to achieve a good coverage, a raster (75x50 cells) was defined for the reference image and for each raster cell the best Harris-point was extracted. These points were searched and measured in the partner image via LSM (patch size 21x21, shift in x direction and one scale parameter only). From matched point pairs, a disparity map was computed. In the next pyramid step, again a raster was defined for the reference image and Harris-points were extracted. Thanks to the disparity map from the previous pyramid step, the search-space can be reduced significantly for matching. The iterative procedure is continued until

the finest resolution-level of the image-pyramid is reached. Finally, the matched point pairs are transferred to the original images and were matched again, but now with a full-parameter set for LSM.

#### 5.2 Multimedia forward intersection

Based on the orientations and camera parameters from aerial triangulation configuration III, the image measurements can be projected into the object space. For each image point an image ray can be computed. An automated labelling land- and underwater points can be made based on calculated point heights. Therefore, all image point pairs are processed via conventional forward intersection first. By thresholding the calculated heights by the known water level (from GPS measurements), points below the water level can be labelled as underwater points, and points above as land points. Image point pairs labelled as underwater point are to be processed via multimedia forward intersection procedure.

In a first step, the image ray is projected into the object space, as mentioned before. In a second step, the image ray has to be intersected with the known water surface (see Fig.:6). Thanks to the lev-



**Fig. 6:** Multimedia forward intersection with two images and one planar refractive interface. The dashed line marks the virtual image ray path, resulting in a pseudo object point  $P^*$ , while the solid line follows the correct path (intersection point  $P$ )

Kenner, Robert; Marcia Phillips; Christian Hauck; Christin Hilblich; Christian Mulsow; Yves Buhler; Andreas Stoffel; Manfred Buchroithner (2017): New insights on permafrost genesis and conservation in talus slopes based on observations at Flüelapass, Eastern Switzerland; *Geomorphology*, Vol. 290, pp. 101-113, DOI: 10.1016/j.geomorph.2017.04.011

Kotowski, Rüdiger (1987): Zur Berücksichtigung lichtbrechender Flächen im Strahlenbündel; *Schriftreihe der DGK, Reihe C, Vol. 330*

Kröhnert, Melanie; Robert Meichsner (2017): Segmentation of environmental time lapse image sequences for the determination of shore lines captured by hand-held smartphone cameras; in: *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. IV-2/W4*, pp. 1-8

Maas, Hans-Gerd (2015): On the Accuracy Potential in Underwater/Multimedia Photogrammetry; *Sensors 2015, Vol. 15, No. 8*, pp. 18140-18152, DOI: 10.3390/s1510818140

Mulsow, Christian (2010): A flexible multimedia bundle approach; *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVIII, Part 5, Commission V Symposium, Newcastle upon Tyne, UK*

Mulsow, Christian, Hans-Gerd Maas (2014a): A universal approach for geometric modelling in underwater stereo image processing; *Computer Vision for Analysis of Underwater Imagery (CVAUI), ICPR Workshop, Stockholm 2014*

Mulsow, Christian; R Koschitzki; Hans-Gerd Maas (2014b): Photogrammetric monitoring of glacier margin lakes; *Geomatics, Natural Hazards and Risk*

Mulsow, Christian (2016): Ein universeller Ansatz zur Mehrmedien-Bündeltriangulation; in: *Thomas Luhmann; Christian Schumacher (Hrsg.): Photogrammetrie – Laserscanning – Optische 3D-Messtechnik, Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2016, Verlag Herbert Wichmann*

Rinner, Karl (1948): Problems of two-medium photogrammetry; *Photogrammetric Engineering, Vol. 35, No. 2*, pp. 275-282

Tewinkel, G. C. (1963): Water depths from aerial photographs; *Photogrammetric Engineering, Vol. 29*, pp. 1037-1042

elling behaviour of quiet water, the surface can be seen as planar, with surface normal in plumb-line direction. The refraction index for water can be extracted from empirical tables.

In the piercing point, the direction change of the refracted image ray can be computed after the following simple formula (Glassner 1989) which was derived from Snell's law:

$$L_2 = \frac{L_1}{n} + \left( \frac{C}{n} - \sqrt{1 + \frac{1}{n^2}(c^2 - 1)} \right) N_1$$

where

$$C = -N_1 \cdot L_1 \quad n = \frac{n_2}{n_1}$$

in which:

- $L_1$  : normalised incoming direction vector
- $L_2$  : refracted direction vector (not normalised)
- $N_1$  : surface normal vector of  $T_t$  in  $P_t$
- $n$  : relative refractive index

So, for each corresponding image measurement an image ray can be reconstructed inside the water. In a final step, the corresponding image rays have to be intersected in order to determine the 3D coordinates of the underwater point. The accuracy can be estimated from the nearest distance of corresponding image vectors.

Another option for coordinate determination would be the inclusion of image measurements of point pairs into the bundle adjustment process. This would stabilise the triangulation, but means a significant increase of computing time due to multiple ray tracing for numerical linearisation inside the iterative adjustment. Therefore, as for conventional DTM extraction, the forward intersection procedure was applied.



Fig. 7: DTM computed via multimedia forward intersection. The magenta line indicates the shoreline derived from intersection of DEM with water surface

## 6 Results

The main goal of the project was the determination of an underwater DTM of the lobe area. Therefore, the analysis of results focuses on that. In order to quantify the refraction effects on the underwater point height data, two different DTM's were computed – one without and one with refraction compensation. As expected, the water depth was under-estimated when not taking the refraction into account (see Fig. 7 and Fig. 8). Fig. 9 illustrates the differences along a profile. The height offset is between 30-40%. The height accuracy was estimated from check-point data (see Table 1), resulting in a RMS to be 12cm (refraction considered). However, for the whole DEM the accuracy is heterogeneous, because of the varying imaging quality which mainly depends on water depth. As Figure 10 shows, structures in shallow water areas were imaged as sharp as onshore structures. However, with increasing water depth, the contrast as well as brightness drops drastically. Points could be successfully measured up to a water depth of ca. 3.5m when also accepting some low-quality image points.

For validation purposes, the DTM was intersected with the water level. The derived shore line was projected into the images in order to evaluate its fit. As one can see in Figure 7 and 8, the calculated shore line follows the real line very well.

## 7 Conclusion and outlook

The paper has shown a photogrammetric workflow for DEM generation from aerial images for regions that contain both land and underwater areas. An appropriate labelling of measured image points and a strict consideration of multimedia geometry in both image orientation and 3D point coordinate determination turned out to be crucial

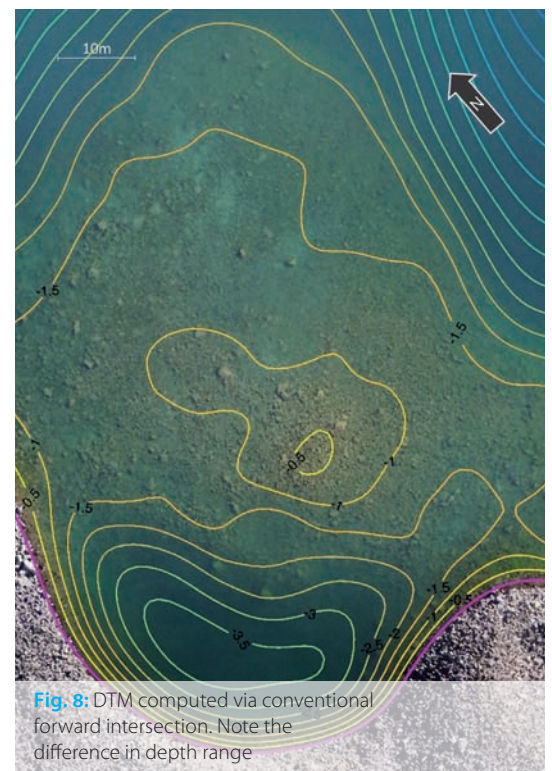


Fig. 8: DTM computed via conventional forward intersection. Note the difference in depth range



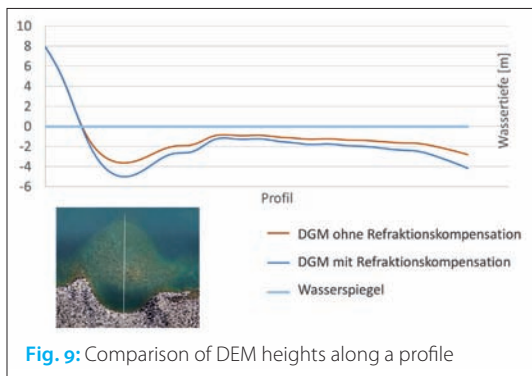


Fig. 9: Comparison of DEM heights along a profile

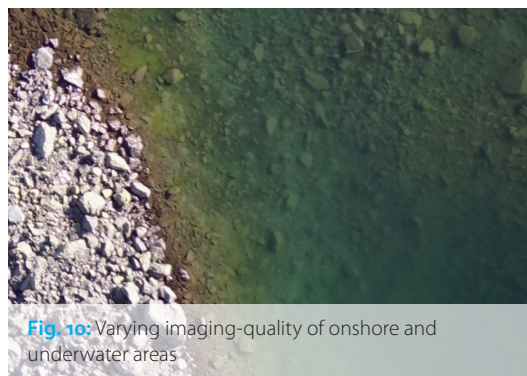


Fig. 10: Varying imaging-quality of onshore and underwater areas

to achieve good accuracy for underwater points. When neglecting these effects, water depth is significantly underestimated.

A suitable strategy for aerial triangulation has been described. Images showing mainly onshore points should be triangulated first. The derived camera-parameters as well as orientation parameters should be fixed for a second run. In this step, images showing mainly underwater areas should be oriented. The proof-of-concept could be provided by processing the data with different parameter-settings. From comparative measurements of check-points, an RMS of 12cm for heights of underwater points could be estimated.

During the project, several ideas for improvement arose. First of all, the flight planning

should be adjusted for the needs of multi-media photogrammetry. In order to improve the intersection-geometry, a camera with a larger opening-angle should be applied. Another option could be the use of oblique imagery. However, the camera axis should be tilted only slightly in order to keep the effects of water waves down to a certain level and to prevent total reflection. Furthermore, underwater control points should be installed in order to stabilize the orientation. The shore-line in the images might be extracted automatically by analysing the colour-changes (Kröhnert, et al.,2017), (Mulsow et al., 2014b). To refine the water-land transition of the generated DTM Initial values for the shore line can be derived by intersecting the DTM with the plane water-level, as already shown.

**Acknowledgments**

The author would like to thank Robert Kenner, Andreas Stoffel and Yves Bühler from WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF, Davos, Switzerland, for providing the data set.

**Covering it all with more than 50 years of multibeam know-how**

- MOBILE ARRAY SOLUTIONS
- ADVANCED TRANSMISSION BEAM STEERING
- PATENTED SWEEP BEAM™ TECHNOLOGY
- REAL-TIME WATER COLUMN IMAGING (WCI)
- FROM 600 METRES UP TO 11,000 METRES DEPTH PERFORMANCE
- MULTI-PING
- MODULAR DESIGN FOR DIFFERENT BEAM WIDTHS
- ICE RESISTANT DESIGN FOR THE COMPLETE SURVEY RANGE
- FM MODE

**WÄRTSILÄ CONNECTS THE DOTS**

Wärtsilä ELAC Nautik develops and manufactures state-of-the-art multibeam systems for precise charting of water bottom topography for customers in the field of hydrography, for survey of harbours, rivers and lakes as well as for oceanography, marine geology and marine biology. No matter what the challenges are – Wärtsilä ELAC Nautik delivers.



# Multisensor microbathymetric habitat mapping with a deep-towed Ocean Floor Observation and Bathymetry System

An article by SIMON DREUTTER

To describe the seafloor topography, a number of different bathymetric methods can be applied which show major differences in coverage, resolution and topographic uncertainty. In order to conduct high-resolution habitat mapping in the deep sea, subsea survey methods need to be utilised. One of those methods is the use of deep-towed sensors. This work presents the newly developed Ocean Floor Observation and Bathymetry System (OFOBS), a sensor frame with optical, acoustic and navigational sensors. With a developed processing workflow, different products are gained from post processing the collected data sets, namely submetre acoustic bathymetry, subdecimetre side-scan mosaics, subcentimetre photogrammetric microbathymetry and geometrically corrected, georeferenced submillimetre photo mosaics. The data was collected during the RV *Polarstern* expedition PS101 in the extreme environment of the volcanic seamounts along the Langseth Ridge in the high Arctic (87°N, 60°E).

## Author

Simon Dreutter works as Bathymetry Data Manager at the Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research (AWI) in Bremerhaven.

simon.dreutter@awi.de

Arctic | microbathymetry | underwater photogrammetry | deep-tow

## 1 Introduction

When Fridtjof Nansen produced the first chart of the Arctic Ocean in the beginning of the last century, it showed a single basin with little to no distinct seafloor features. Large-scale gravimetry and radar altimetry reveal a large abundance of features, such as ridges and seamounts. To increase the level of detail on the knowledge of the seafloor, ship-based acoustic survey methods can be applied. Yet, in research related to smaller scale features, higher-resolution techniques need to be utilised.

One of those methods is the use of towed systems to bring sensors closer to the seabed. The here presented system is the newly developed Ocean Floor Observation and Bathymetry System (OFOBS), a deep-towed frame, equipped with a sensor suite for close-range, high-resolution habitat mapping. It was first used to conduct surveys during the RV *Polarstern* research cruise PS101 in the Central Arctic in 2016. The following text will summarise the setup of the system, the data collected during the PS101 dives and the workflow developed to post-process the data in order to achieve a variety of microbathymetric results.

## 2 Ocean Floor Observation and Bathymetry System

The OFOBS setup consists of two primary components, the topside unit with power supply, network facility and control/logging computer, as well as the subsea unit. The latter is towed on a fibre-optic tether cable to enable real-time data transmission.

The original setup of the OFOBS was equipped with a set of cameras, lights, flashes, scaling lasers and a USBL transponder, and was meant for visual exploration from 1.5 to 5 m above the seabed (Purser et al. 2018). To extend the survey coverage

and to augment the original camera setup, the OFOBS was later equipped with a bathymetric side-scan sonar for lateral measurements, a forward-looking sonar and some auxiliary sensors needed for bathymetric data collection (Fig. 1).

The navigation setup is built up by an iXBlue PHINS 6000 INS, an iXBlue Posidonia transponder and an AML Micro-X pressure sensor. With its internal fibre-optic gyros and accelerometers, as well as the external inputs, the INS outputs a Kalman filtered navigation solution and creates a time reference for all other subsystems.

With regards to optical sensors, the OFOBS is equipped with a downward facing Canon EOS 5D Mark III stills camera with a 24 mm fixed lens and a Sony FCB-H11 high-definition camera for continuous video recording. Continuous LED illumination assures constant lighting conditions on the video stream while additional strobe lights aid the stills

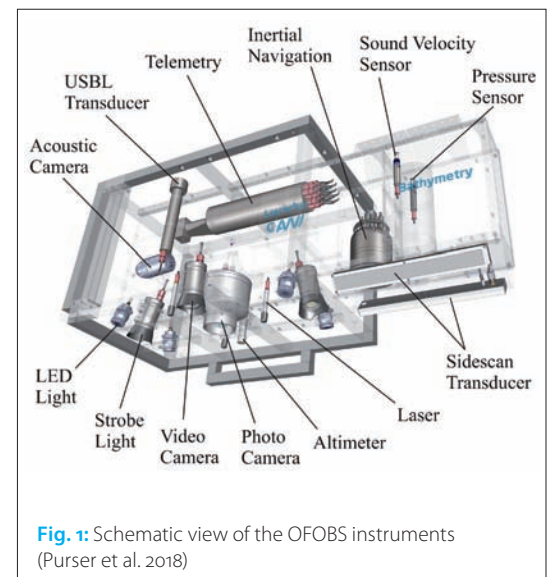


Fig. 1: Schematic view of the OFOBS instruments (Purser et al. 2018)



camera for sharper images (Purser et al. 2018). Three parallel lasers are positioned in a triangle around the stills camera with a distance of 50 cm between each laser.

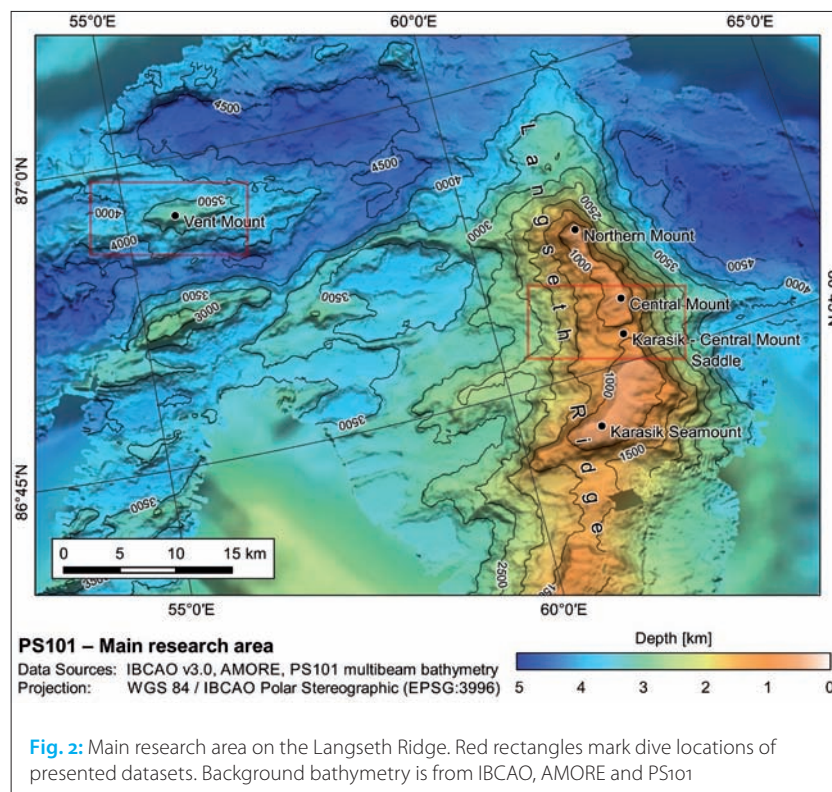
Two acoustic surveying systems are installed on the OFOBS: an EdgeTech 2205 multiphase echo-sounder (MPES) and a BlueView M900-130 forward-looking sonar (FLS). Both are aided by an AML Micro-X sound velocity (SV) probe. The MPES is based on side-scan sonar (SSS) technology, operating on 230 kHz and 540 kHz (chirped) and brings the advantage of a wide swath whilst simultaneously collecting side-scan and bathymetry data. The transducers hold an additional bathymetric receive array of ten vertically stacked staves to infer nine phase-difference measurements, which allows for statistical filtering, resulting in a relatively clean data set (Brisson and Hiller 2015). The FLS on the other hand is a pure imaging sonar, operating on 900 kHz, that creates a 2D image wedge (130°) on the front of the OFOBS with a radius of up to 100 m. It is used mainly for hazard avoidance in habitats with rough topography.

During PS101, the OFOBS was mainly launched over the A-frame of RV *Polarstern* to allow in-ice surveys with some level of manoeuvrability. During descent of the subsea unit, all systems are powered up and the INS starts the alignment process for self-calibration. Once the seafloor is visible, all sub-systems start recording and the dive commences. Flight height can be adjusted in communication with the winch operator and in clear water, altitudes can range from 1.5 m to approximately 10 m.

### 3 Study area

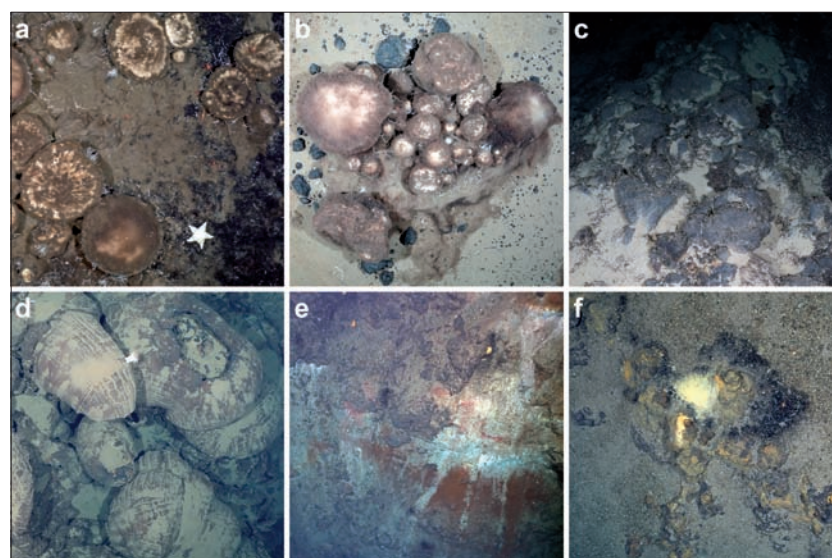
The research aim of PS101 was to investigate geophysical, geological, geochemical and biological processes at seamounts in the ultra-slow oceanic spreading zone Gakkel Ridge (Boetius 2016). The main research area was located on the Langseth Ridge, one of the axis-perpendicular smaller ridges of the Gakkel Ridge, as well as adjacent regions in the Gakkel Ridge rift valley (Fig. 2).

The Langseth Ridge rises from the Nansen Basin at 85°55'N, extends over the Gakkel Ridge and descends into the Amundsen basin at 87°40'N. The highest elevation to the surroundings basin is reached at the Karasik Seamount with 585 m below mean sea level, which marks the shallowest feature in the Eurasian Basin (Boetius and Purser 2017). The flats of the summit are almost entirely covered by mats of living sponges, sponge spicules and dead tubeworm tubes with occasional stretches of sand (Fig. 3a+b). The steep slopes show less biology, but are built up by basalt formations and rock-faced cliffs (Fig. 3c). The investigated mound in the rift valley shows steep aggregations of pillow basalts (Fig. 3d) with sedimented fields on the flatter parts of the slope. On some locations smaller hydrothermal vents and precipitates protrude the sand and gravel (Fig. 3e+f). The foot of the mound is entirely covered with volcanic talus.



**Fig. 2:** Main research area on the Langseth Ridge. Red rectangles mark dive locations of presented datasets. Background bathymetry is from IBCAO, AMORE and PS101

The steep terrain caused a number of survey challenges. Operating close-range vehicles in such terrain is a demanding task and successful hazard detection is key during the dives. Additionally, the quality of the USBL deteriorates due to multipath effects and acoustic shadowing. Yet another challenge for the dives was located much closer to the operators. At 86°40'N and higher, the research area is situated below full ice cover throughout most of the year (Fig. 4). Conducting the individual dives required detailed planning along with observations of ice drift and direction as manoeuvrability was limited, even for the icebreaker *Polarstern*.



**Fig. 3:** Seafloor photographs from the research area. **a:** Sponge cover on the Karasik Seamount summit. **b:** Solitary sponges on the Karasik - Central Mount saddle flats. **c:** Rock-faced cliffs on the Northern Mount slopes. **d:** pillow basalt aggregates on the Vent Mount summit. **e+f:** hydrothermal structures on the Vent Mount slopes (Purser et al. 2017)

References

Boetius, Antje (2016): Expedition Programme PS101. Expeditionsprogramm Polarstern; Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research, Vol. 36. DOI: 10.013/epic.48104

Boetius, Antje, Autun Purser (2017): The Expedition PS101 of the Research Vessel POLARSTERN to the Arctic Ocean in 2016; Reports on Polar and Marine Research, Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research, Vol. 706. DOI:10.2312/BzPM\_0706\_2017

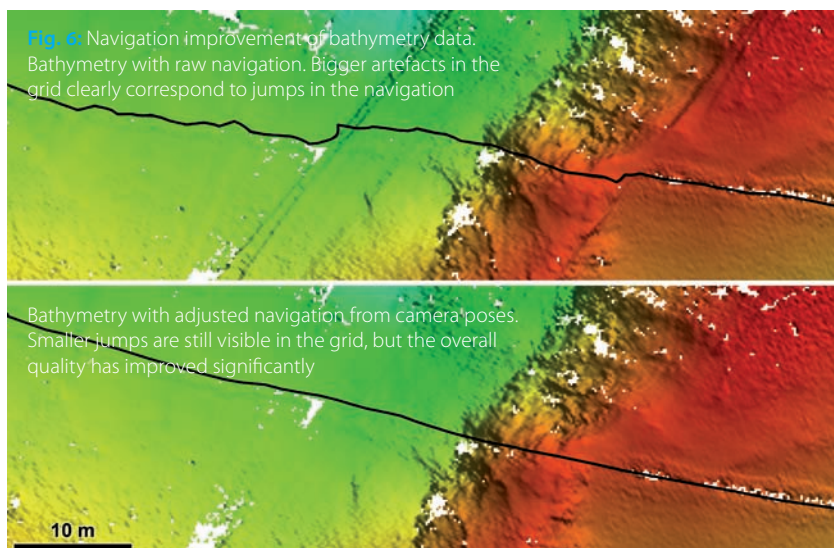
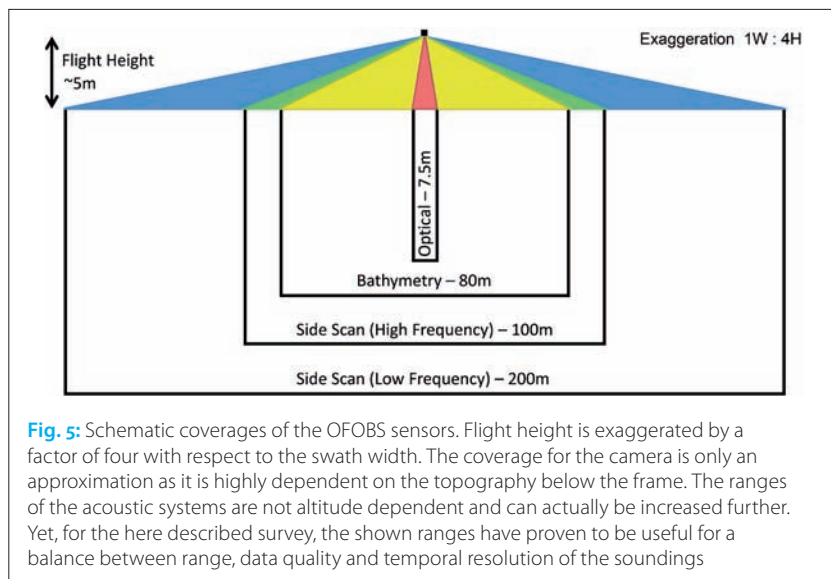
Brisson, Lisa; Tom Hiller (2015): Multiphase Echosounder to Improve Shallow-Water Surveys; Sea Technology, August 2015, pp. 10–14

Caress, David; Nancy Barr (2017): Ocean Imaging Expedition; <http://www.mbari.org/at-sea/expeditions/ocean-imaging-expedition/> (last accessed: 2017-04-29)



4 Raw data

During the OFOBS dives, a number of different raw data sets were collected as a basis for further processing. Navigation data was logged from the INS including high-precision attitude measurements. Still images were automatically triggered every 20 seconds as well as manually triggered on notable events. The video was recorded with 25 fps. The MPES data set contains dual frequency side-scan imagery with swath widths of 100 m (high frequency, 7 Hz) and 200 m (low frequency, 3.5 Hz), as well as binned bathymetry with 80 m swath width. Fig. 5 shows a schematic view of the OFOBS survey coverages. Still images and acoustic data



sets are available in the scientific data warehouse PANGAEA (Dreutter et al. 2017; Purser et al. 2017).

5 Data processing workflow

Originally, the OFOBS was intended to conduct bathymetric surveys with its onboard sonar systems, while the optical data was meant for visual interpretation and statistical mapping. However, throughout the experimental phase of the project, the optical data sets proved to be very valuable. Structure from Motion (SfM) techniques were investigated to align and georeference the imagery and to reconstruct 3D models of the captured seafloor. Combined processing approaches were incorporated in order to match the different data sets and to improve overall results.

5.1 Photogrammetric reconstruction

The reconstruction was performed with the SfM software Agisoft PhotoScan Professional, a program mainly developed for aerial photogrammetry that has already been used in underwater applications (e.g. Kwasnitschka et al. 2013). PhotoScan offers an integrated toolset for reconstruction, georeferencing and 3D modelling of the data. As input, the software takes both still images and extracted video frames as well as the navigation and attitude data from the INS, corrected for lever arms and angular bias.

The initial step is the alignment of the individual images by detecting matching points in multiple images. During this process, intrinsic camera parameters and camera poses are estimated and adjusted. The detected tie points form a sparse point cloud that can be filtered and manually cleaned for outliers, followed by further optimisation of the alignment. Once done, the adjusted camera poses can be exported for later use in the acoustic processing.

From dense stereo reconstruction PhotoScan can now compute a coloured dense cloud that gives a detailed representation of the scene. After further cleaning, this point cloud is used for creating digital elevation models (DEM) or for mesh triangulation to achieve a more coherent digital representation.

5.2 Side-scan and bathymetry

The acoustic data was processed in Caris HIPS and SIPS. Bathymetry was manually cleaned for erroneous soundings and side-scan data was corrected for slant range and beam pattern and additionally despeckled and normalised.

Yet, with the raw INS navigation the results showed unfortunate jumps in the bathymetry where navigation was obstructed by continuous false USBL readings. As mentioned above, part of the SfM process is the adjustment (improvement) of the imported camera poses along the alignment. As the exported camera poses are timestamped, they can be transformed back to the INS position and parsed onto the navigation records in the acoustic data set. This resulted in a significant improvement on the bathymetry and side-scan grids (Fig. 6).



## 6 Results

The acoustic bathymetry was sufficient to produce 20 cm cell sized raster DEMs (Fig. 7a) and the side-scan data could be mosaicked with 3 cm grid spacing for both frequency channels (Fig. 7b). For the optical data, microbathymetric grids were computed from the dense cloud (Fig. 7c). The cell size of the photogrammetry grids depends in the density of the point cloud, and for the processed scenes it came out between 2 and 6 mm. From the dense cloud a triangulated mesh was created for the digital representation (Fig. 7e) and for orthorectification of the images to achieve orthomosaics with cell sizes between 0.5 and 1 mm (Fig. 7d).

## 7 Discussion

### 7.1 Consideration of uncertainties

In land-based photogrammetry Ground Control Points (GCP) are often used to evaluate the reconstruction results. While it is theoretically possible to place GCPs under water, it is not feasible to do so in Arctic deep-sea environments. Hence, estimating the global uncertainties for the OFOBS survey results is a rather impossible task. One could calculate a total propagated uncertainty by relying on the theoretical measurement errors of the different systems. Yet, due to quality deterioration by the effects of e.g. sea ice and the missing position correction for the ships GNSS, position accuracy is very likely to be significantly lower than theoretically achievable.

Fortunately, the errors can be divided into global position errors and local errors in the results. While the global position errors have to be accepted as is, the multisensor data of the OFOBS and the described workflow offer additional possibilities to reduce the local errors and improve the relative results. Indicators for local uncertainties are, for example, the estimation of the intrinsic camera parameters, the estimation of attitude, as well as visual interpretation of the resulting products.

The cameras of the OFOBS were never intended to be used for photogrammetry and therefore never properly calibrated. Yet, camera calibration models are created within the SfM process and gave consistent results for all processed areas with only little variations. Another indicator is the distance of the laser dots in the orthomosaics. Measuring those on randomly distributed locations showed distance values within the calibration uncertainty of the position and placement angles of the lasers (49 to 54 cm).

Part of the reconstruction is the estimation of camera poses and the deviations from the initial attitude input. These can be exported and compared to the INS measurements. As the input accuracy for attitude was set to 2° in PhotoScan, reconstruction uncertainties of any kind can easily be loaded on to the attitude error. Sections with larger attitude deviations usually correspond to rapid vertical acceleration of the subsea unit or areas with higher flight height, hence, worse image quality. Yet, when

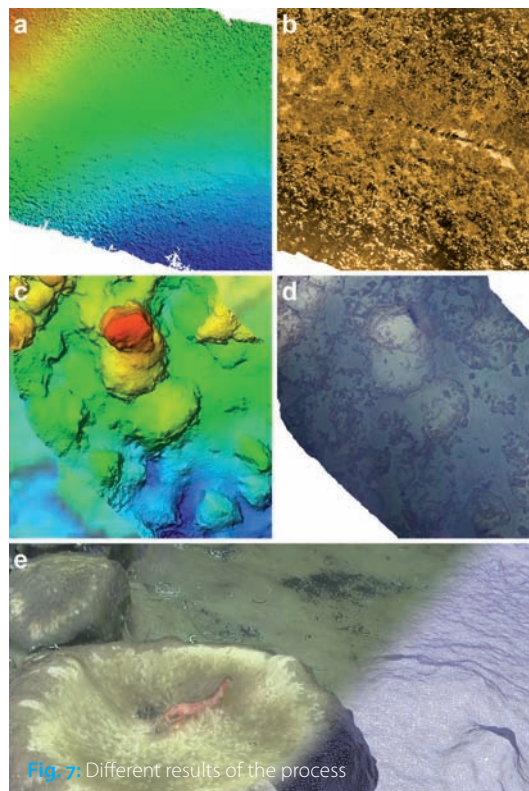


Fig. 7: Different results of the process

looking at the errors plot (Fig. 8), the overall estimation can be considered very successful.

From the video it becomes clear that the OFOBS travels in a very smooth fashion without sudden movements to either sides of the track. Reconstructed navigation compared to INS measurements tends to give a more realistic view on those travel characteristics (Fig. 9). This can additionally be verified by visual inspection of side scan and bathymetry grids (Fig. 6), as navigation errors are often visible as image distortions and sudden jumps in topography.

### 7.2. Evaluation of the survey method

While concepts of deep-towed acoustic and optical sensors and the simultaneous collection of both have been around for some time (e.g. Dorschel et al. 2009; Kwasnitschka et al. 2016; Cares and Barr 2017), the OFOBS is a novel approach for high-resolution microbathymetry habitat mapping in deep-sea environments. As navigating deep-towed sensors is comparatively complicated, it has

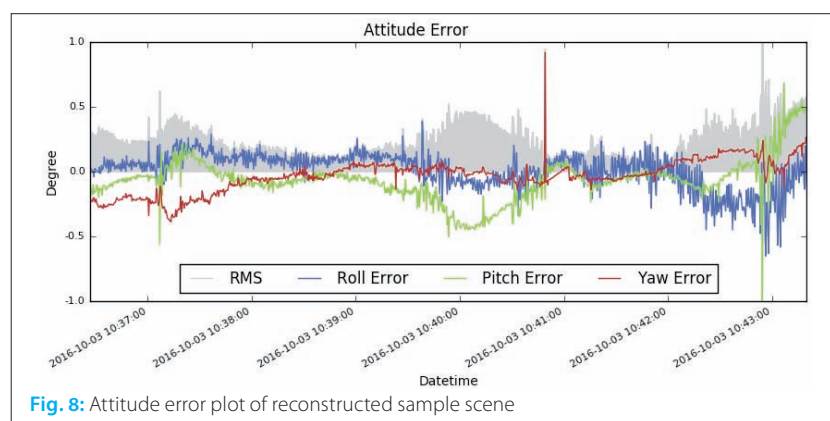
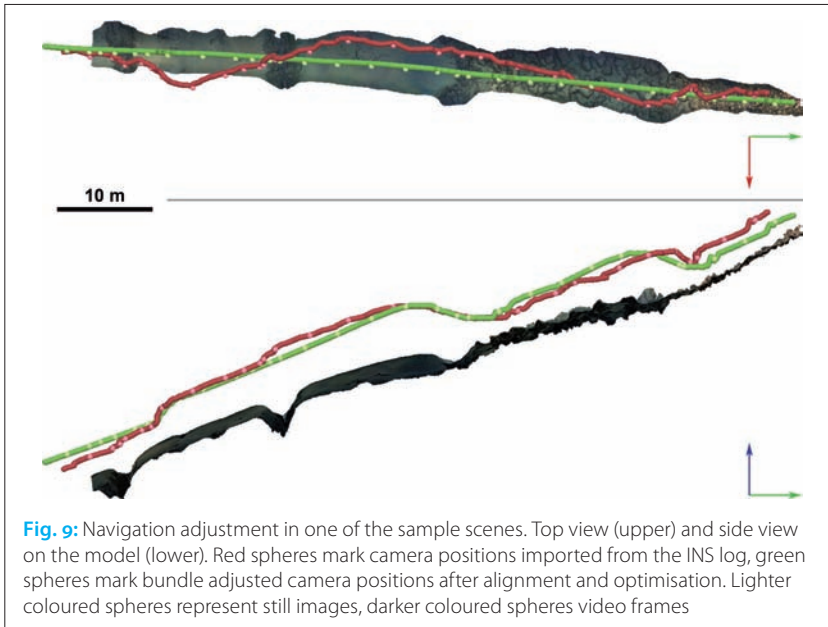


Fig. 8: Attitude error plot of reconstructed sample scene

- ....
- Dorschel, Boris; Andrew J. Wheeler; Veerle Huvenne; Henk de Haas (2009): Cold-water coral mounds in an erosive environmental setting: TOBI side-scan sonar data and ROV video footage from the northwest Porcupine Bank, NE Atlantic. *Marine Geology*, Vol. 264, No. 3–4, pp. 218–229, DOI: 10.1016/j.margeo.2009.06.005
- Dreutter, Simon (2017): Multisensor Microbathymetric Habitat Mapping with a Deep-Towed Ocean Floor Observation and Bathymetry System (OFOBS); Hafencity University Hamburg, 125 pp., DOI: 10013/epic.51433
- Dreutter, Simon; Autun Purser, Laura Hehemann; Antje Boetius (2017): Side scan sonar and swath bathymetry collected along OFOBS profiles during POLARSTERN cruise PS101 (ARK-XXX/3); PANGAEA, DOI: 10.1594/PANGAEA.873046
- Kwasnitschka, Tom; Thor H. Hansteen; Colin W. Devey; Steffen Kutterolf (2013): Doing fieldwork on the seafloor: Photogrammetric techniques to yield 3D visual models from ROV video; *Computers & Geosciences*, Vol 52, pp. 218–226, DOI: 10.1016/j.cageo.2012.10.008
- Kwasnitschka, Tom; Kevin Köser; Jan Sticklus; Marcel Rothenbeck; Tim Weiß; Emanuel Wenzlaff; Timm Schoening; Lars Triebe, Anja Steinführer, Colin W. Devey; Jens Greinert (2016): Deep-SurveyCam – A Deep Ocean Optical Mapping System; *Sensors*, Vol 16, No. 2, 164 pp, DOI: 10.3390/s16020164
- Purser, Autun; Laura Hehemann, Simon Dreutter; Antje Boetius (2017): Seabed photographs taken along OFOBS profiles during POLARSTERN cruise PS101 (ARK-XXX/3); PANGAEA, DOI: 10.1594/PANGAEA.871550
- Purser, Autun; Yann Marcon; Simon Dreutter; Ulrich Hoge; Burkhard Sablotny; Laura Hehemann; Johannes Lemburg; Boris Dorschel; Harald Biebow; Antje Boetius (2018): Ocean Floor Observation and Bathymetry System (OFOBS): A new Towed Camera/Sonar System for Deep-Sea Habitat Surveys; *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, pp. 1–13, DOI: 10.1109/OJE.2018.2794095



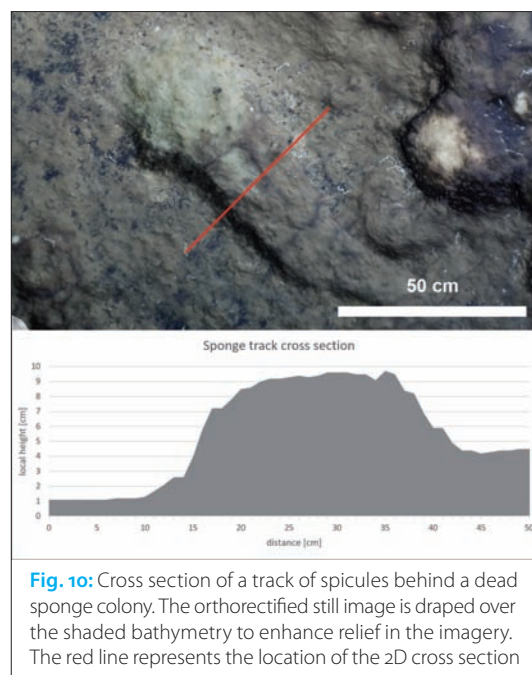
**Fig. 9:** Navigation adjustment in one of the sample scenes. Top view (upper) and side view on the model (lower). Red spheres mark camera positions imported from the INS log, green spheres mark bundle adjusted camera positions after alignment and optimisation. Lighter coloured spheres represent still images, darker coloured spheres video frames

**Acknowledgments**

I would like to thank Dr. Boris Dorschel and Prof. Dr. Karl-Peter Traub for their time, support and contribution by supervising the project. Prof. Dr. Antje Boetius for the opportunity to hop on this project and for doing an outstanding job in managing the expedition PS101. My dear OFOBS team colleagues for many great dives. And all people involved, like the PS101 ship's crew, the NUI team, and the AWI engineers. The data used was collected during RV *Polarstern* cruise PS101, Grant No. AWI\_PS101\_01, a contribution to the FRAM project.

a disadvantage regarding precision and coverage efficiency. Yet, compared to AUVs, the OFOBS has the capability to be operated in any kind of topography. Fin-steered AUVs often have a minimum speed required for manoeuvring, which limits the intensity of topographic variability of the seafloor in which the vehicle can keep a constant low flight height to avoid collision and vehicle loss. ROVs on the other hand are capable of harsh environment as well and have the additional upside of instant data feedback due to the tethered connection.

However, ROVs and AUVs tend to have high deployment costs, both in hardware and in terms of support/personnel. The OFOBS on the other hand needs a minimum of two engineers in addition to the ship's crew, and launch and recovery do not require specialised installation. The simplicity of the system keeps pre-dive preparation and post-dive maintenance to a minimum.



**Fig. 10:** Cross section of a track of spicules behind a dead sponge colony. The orthorectified still image is draped over the shaded bathymetry to enhance relief in the imagery. The red line represents the location of the 2D cross section

The sensor payload is highly customisable and at its current state very capable for the job at hand. The ability of the bathymetric side-scan sonar to keep a wide swath at low altitudes ensures high-quality optical data that can be used for instant ground truthing of acoustic results. This offers suitable data sets for a wide range of scientific analyses without the necessity of further investigation.

**7.3 Contribution to related research and outlook**

Benthic megafaunal populations are often very sensitive to slight geomorphological variations. Subjective observations made from the OFOBS video data showed that, for example, the settling behaviour of large *Geodia* sponge communities highly depends on the slope inclination of the terrain. With the high-resolution OFOBS bathymetry, it is possible to resolve very fine topographic variations, which allows a high number of habitat characterising analyses like rugosity, aspect, curvature, slope inclination, bathymetric position index, etc. These results can be combined with geostatistical observations made in the image mosaics to perform ecological niche factor analysis or similar statistical analyses.

The combination of bathymetry and imagery makes small-scale, three-dimensional shapes of features visible that can otherwise not be determined in the imagery alone. Fig. 10 shows an example for merging the two results for more advanced interpretation. The 3D models can additionally be used for volume calculations of geological features or biomass estimation by model subtraction.

**8 Conclusion**

This work has introduced the deep-towed Ocean Floor Observation and Bathymetry System as a novel survey tool for close-range, high-resolution, wide-swath habitat mapping in extreme environments of the deep sea. Throughout the project, the acquired data sets showed immense capabilities for a variety of analyses and high-resolution habitat investigation in post-dive digital fieldwork.

Despite the comparatively large overall position uncertainty of the results, the local offset between optical and acoustic data is not affected by this error as both data sets can be co-registered in post processing. In addition to the advantage of having multiple data sets for a larger number of potential analyses, the multisensor approach proved to be very beneficial for local corrections within the different processing steps and significant improvements in the overall results.

As the system is newly developed, a number of issues were identified during processing of the data sets. These issues were addressed in the thesis along with recommendations for the further improvement of the system and optimum setup of existing components for future surveys, with a particular focus on the optical data sets and the vehicle navigation scheme. After all, good scientific survey practice requires constant optimisation of the used instruments to the surveyor's best knowledge.



# Apogee Series

# NEW

## SURVEY IN ALL SEA CONDITIONS

Apogee makes very high accuracy INS/GNSS affordable for all surveying companies.

### HIGH ACCURACY INS/GNSS

- » 0.005° Roll & Pitch
- » 2 cm Delayed Heave
- » 0.02° Heading
- » 1 cm Position

*PPK accuracy*

Operational up to 200 m depth



OFFICIAL DISTRIBUTOR

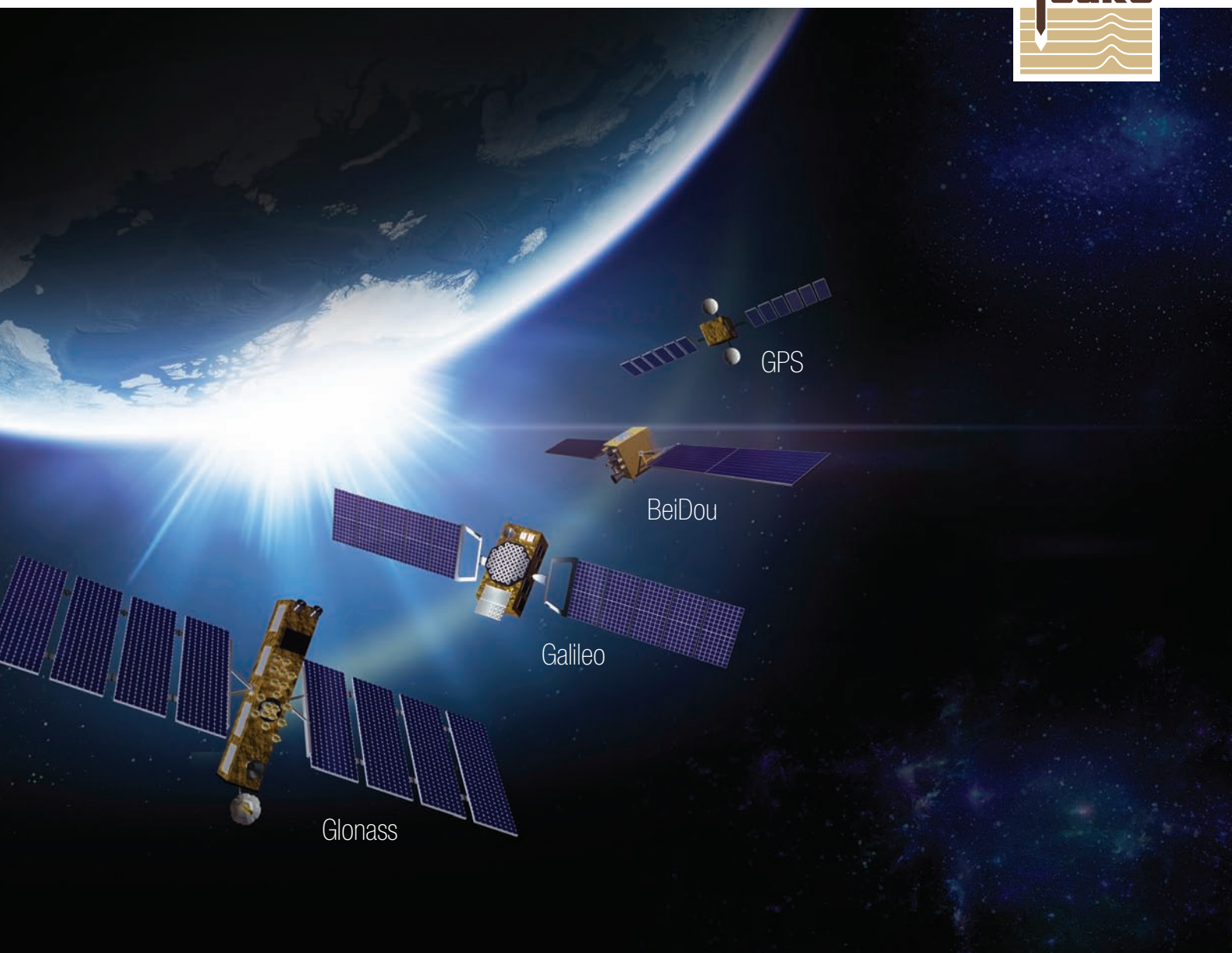
**M·B·T**   
UNDERWATER TECHNOLOGY

 **MBT GmbH**  
Wischhofstraße 1-3  
Gebäude 11  
D-24148 Kiel  
Germany

**TEL** +49 (0)431 535 500 70  
**FAX** +49 (0)431 535 500 99

**MAIL** info@m-b-t.com  
**WEB** www.m-b-t.com





# 8<sub>CM</sub>

**ACCURACY  
WORLDWIDE AND  
365 DAYS A YEAR  
AVAILABILITY**

**Multi constellation for more precision,  
more redundancy and more safety.**

- 2 x 2 NCC's and uplink stations
- 9 commercial beams
- Back-up corrections via internet (NTRIP)
- Polar options

## **MARINESTAR™**

provides high performance marine positioning systems

---

**FUGRO SATELLITE POSITIONING B.V.**

The Netherlands  
+31 70 317 09 60  
marinestar@fugro.com  
[www.fugromarinestar.com](http://www.fugromarinestar.com)



# Bathymetrische Kompilation und geomorphologische Analysen am Knipovich-Rücken

Ein Beitrag von JONAH GEILS

Mittelozeanische Rücken stellen das erste Glied im globalen Förderband von Neubildung, Abkühlung, Abdeckung und Subduktion ozeanischer Kruste dar. Eine ihrer Gattungen, die ultralangsam spreizenden Rücken, ist erst in den letzten Jahren in den Fokus der Forschungsgemeinschaft gerückt und deswegen noch nicht im Detail verstanden. Zu einem Vertreter dieser Gruppe, dem Knipovich-Rücken in der Norwegen-Grönland See, wurde deswegen eine Kompilation von hochauflösenden bathymetrischen Daten angefertigt und damit erstmals ein detailreicher, zusammenhängender Datensatz in diesem Gebiet generiert. Dieser wurde anschließend mit einer ringförmigen Nachbarschaftsanalyse in zwei Frequenzbereichen analysiert und ausgewertet. So konnten übergeordnete Strukturen wie magmatisch robustere Bauten sowie deren interne Struktur dargestellt werden. Der automatisierte und einheitliche Charakter dieser Methodik eröffnet dabei Möglichkeiten in Bezug auf objektivere und quantitativere Rückschlüsse. Festgestellt wurde dabei, dass die Orientierung der Riftachse Auswirkung auf die Ausrichtung von bestimmten tektonischen Strukturen hat. Des Weiteren kann ein Einfluss der Obliquität auf die Strukturgröße am Rücken nachgewiesen werden. Diese Abhängigkeit wird aber zusätzlich von der Magmaverfügbarkeit im jeweiligen Gebiet beeinflusst. Unterschiede

Knipovich-Rücken | Mittelozeanische Rücken | Nachbarschaftsanalyse | Obliquität

## 1 Einleitung

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Kompilation von schiffsbasierten Bathymetriedaten am Knipovich-Rücken, deren gemeinsamer Prozessierung und anschließender geomorphologischer Auswertung. Besonders ist diese Zusammenstellung deswegen, weil sie das erste Mal einen zusammenhängenden, hochaufgelösten Datensatz des Knipovich-Rückens liefert. Des Weiteren wird die geomorphologische Analyse automatisiert und damit objektiver und quantitativer durchgeführt als es bei diesen Daten gemeinhin der Fall ist. Es sollen dabei Verbindungen zwischen bedingender Geologie und geomorphologischer Ausprägung geknüpft werden und damit die Fragen »Welche Prozesse stecken hinter der Morphologie?« und im Umkehrschluss »Was sagt die Morphologie über die Geologie eines Gebietes aus?« beantwortet werden.

Alle Karten in dieser Arbeit sind im UPS-Nord-Koordinatensystem der Nummer 32661 dargestellt. Für die Kompilation standen Daten aus 31 Expeditionen des FS *Polarstern* und drei des FS *Maria S. Merian* zur Verfügung. Da die drei *Maria S. Merian*-Expeditionen großflächig Daten im Arbeitsgebiet liefern und mit einem moderneren Fächer-echolot aufgezeichnet worden sind, werden sie als Hauptdatensätze genutzt.

## 2 Einführung in das Arbeitsgebiet

Mit einer Länge von über 60 000 km stellen Mittelozeanische Rücken eine der größten Strukturen

auf unserem Planeten dar (Fowler 2005). Basierend auf ihrer Spreizungsrate, also der Geschwindigkeit, mit der die Platten sich voneinander entfernen, werden sie nach schnell (80 bis 180 mm/Jahr), intermediär (55 bis 70 mm/Jahr) und langsam spreizenden (<55 mm/Jahr) Rücken unterteilt. Weiterhin können die langsam spreizenden Rücken bei geringeren Raten als 20 mm/Jahr als ultralangsam spreizend klassifiziert werden (Dick et al. 2003). Vertreter sind das Arktische sowie das Südwest-Indische Rückensystem. Im Rahmen dieser Arbeit soll nun der Knipovich-Rücken, als Teil des Arktischen Rückensystems, genauer betrachtet werden (Abb. 1).

Der Knipovich-Rücken wird vom Mohns-Rücken im Süden und der Molloy-Störungszone im Norden eingefasst (Curewitz et al. 2010). Er erstreckt sich damit grob 550 km in Nord-Süd-Ausrichtung. Neben der geringen Spreizungsrate zeichnet er sich durch eine Obliquität, also eine Schiefe, beim Spreizungsprozess aus. Abb. 2 verdeutlicht den Sachverhalt. Aufgrund der unterschiedlichen Orientierung der Riftachse variiert diese Obliquität ( $\theta$ ) aber auch entlang der Struktur. Die Parameter Spreizungsrate und deren Richtung werden in der Literatur mit 14,7 mm/Jahr und 307° angegeben (Sella et al. 2002).

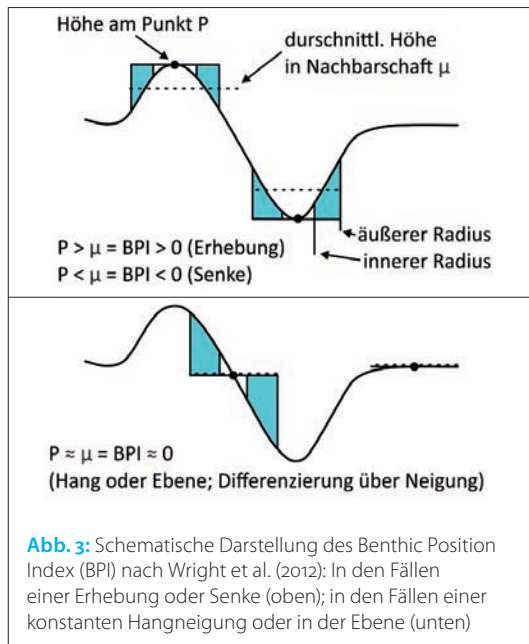
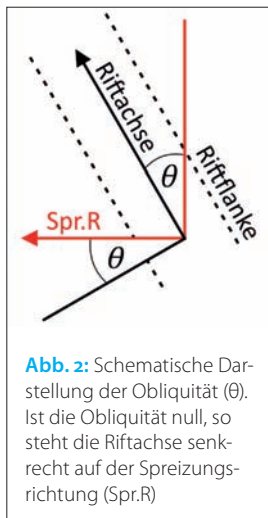
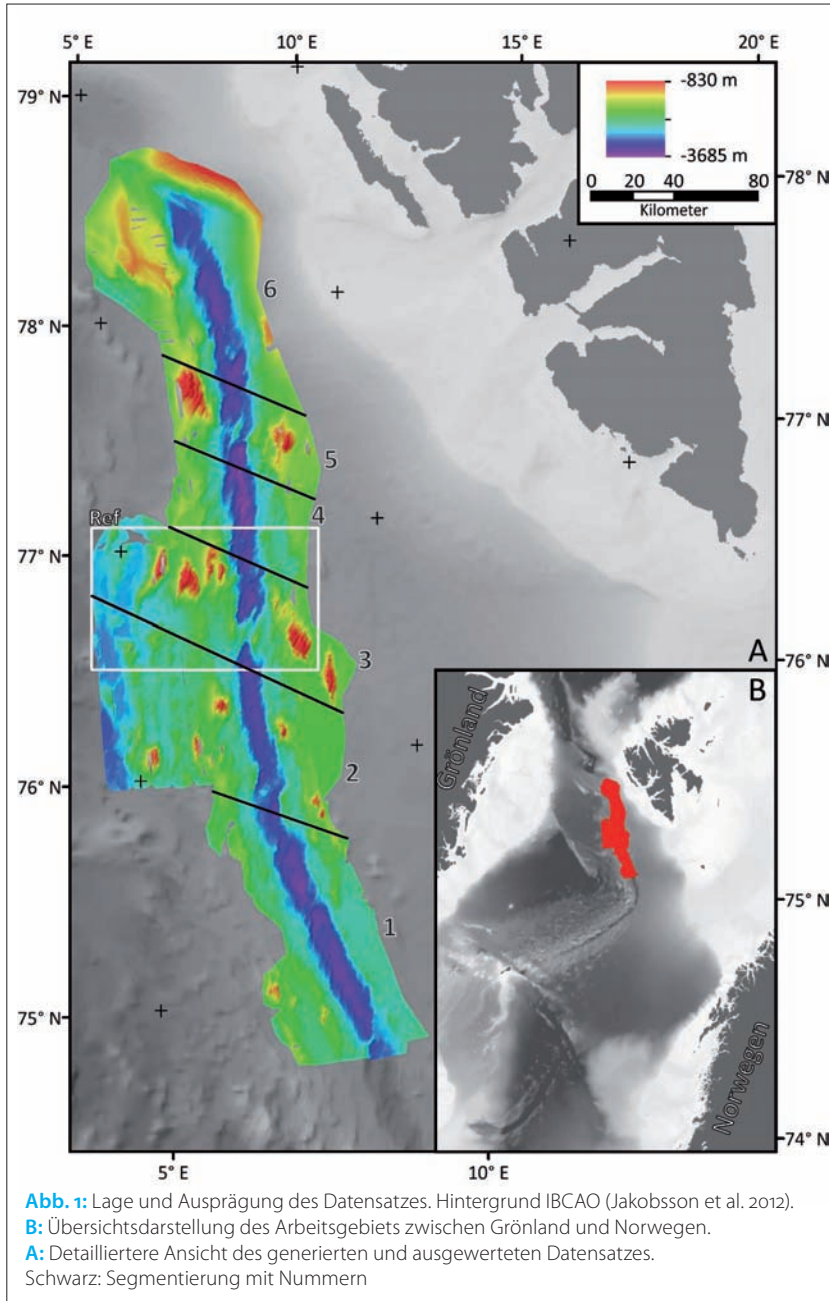
Allgemein stellt sich das Rifttal als eine Senke von ca. 3000 bis 3600 m Wassertiefe dar, welche in mehr oder weniger regelmäßigen Abständen von ca. 500 bis 1000 m hohen Seamounts unterbro-

den in der Rauigkeit des Meeresbodens weisen weiterhin auf eine zeitliche Variabilität dieser Magmaproduktion hin. Außerdem konnten morphologische Unterschiede in den zwei bekannten magmatischen Centern in diesem Gebiet aufgedeckt werden.

### Autor

Jonah Geils studiert am Fachbereich für Geowissenschaften an der Universität Bremen.

jogeils@uni-bremen.de



chen wird. Die beiden mit Abstand prominentesten Strukturen innerhalb des Rifttals liegen dabei jeweils auf einer Linie von Seamounts in Spreizungsrichtung (Curewitz et al. 2010). Die südliche dieser beiden Strukturen ist auch als Logachev Seamount bekannt.

Um Mittelozeanische Rücken zu segmentieren und so einem internen Vergleich zugänglich zu machen, werden bestimmte Unterscheidungsmerkmale gebraucht. Am Knipovich-Rücken wurde eine solche Segmentierung von Vogt et al. (1998) aufgrund von Variationen in der Gesteinsmagnetisierung getätigt. Die einzelnen Segmente entlang der Struktur werden dabei von Gebieten geringer Magnetisierung parallel zur Spreizungsrichtung getrennt. Basierend auf dieser Unterteilung, wurde der Knipovich-Rücken in sechs Segmente separiert (Abb. 1).

### 3 Methodik

Die in Abschnitt 1 erwähnten Hauptdatensätze sind an Bord des Forschungsschiffs *Maria S. Merian* produziert worden und basieren auf dem Kongsberg EM122 MBES.

Nach dem Zusammentragen der Daten wurden die Soundings in Fledermaus flächenhaft prozessiert und das editierte Grid anschließend mit der Software ESRI ArcGIS analysiert, die um die BTM-Toolbox (Benthic Terrain Modeler; Wright et al. 2012) erweitert wurde. Mit Hilfe dieser Toolbox können sogenannte fine- und broadscale Benthic Position Indices erstellt werden. Die Theorie hinter dieser Nachbarschaftsanalyse ist in Abb. 3 gezeigt.

Die zu setzenden Parameter, innerer und äußerer Radius der ringförmigen Analyse, werden dabei aus einem Referenzgebiet (Abb. 2) abgeleitet. Für den finescale BPI wurden sie auf 400 m bzw. 1000 m und für den broadscale BPI auf 1500 m bzw. 6000 m gesetzt. Während im größeren Suchgebiet übergeordnete Strukturen wie die massiven vulkanischen Rücken erkannt werden sollen, befasst sich der feinskalige BPI einerseits mit deren interner Struktur sowie allgemein mit kleineren morphologischen Merkmalen.

Die entstehenden Rücken- bzw. Trogflächen außerhalb der untergeordneten Schwankungen ( $BPI > 1$  Standardabweichung = Rücken,  $BPI < -1$  Standardabweichung = Trog) werden zu Polygonen konvertiert und anschließend gefiltert (Löschen von  $A_{Polygon} < 1 \text{ km}^2$ ). Die verbleibenden Polygone liefern die Flächenstatistik und werden anschließend durch konvexe Hüllen eingefasst, um so die anderen Attribute wie die Orientierung angeben zu können. Da in einem projizierten Koordinatensystem gearbeitet wurde, darf diese allerdings nur als Orientierung zum Bezugsmeridian und nicht zu geographisch Nord verstanden werden. Polygone, die die anschließende Aufteilung auf die Segmente zerschneiden würde, zählen in beiden angrenzenden Segmentstatistiken.

Die Riftachse wurde mit dem gleichen Arbeitsablauf bestimmt. Dabei wurden jedoch nur die



Tröge aus dem broadscale BPI mit 5 km inneren und 30 km äußeren Radius ausgewertet. Um nur den allgemeinen Trend des Rifttals darzustellen, wurde als einhüllende Form ein Rechteck gewählt.

### 4 Ergebnisse

Abb. 4 zeigt die Flächen, die als Rücken bzw. Tröge im fein- und breitskaligen Bereich erkannt werden können. Aus den Ergebnissen wurde Abb. 5 generiert. Dort sind neben einer Tabelle auch beispielhaft die Rosendiagramme für das dritte Segment, sowie die Flächenstatistik als kumulativer Plot für die breitskaligen Rücken gezeigt.

#### 4.1 Ergebnisse nach Segmenten

Das erste Segment spiegelt den südlichsten Teil des Datensatzes wider. Die Orientierung der Riftachse konnte mit 336° bestimmt werden. Die Obliquität ist somit in diesem Gebiet am größten. Die Strukturen sind eher klein. Die Orientierung derselben ist nahe Nord-Süd, wobei die breitskaligen Rücken eher Richtung Westen liegen (bis 335°) und die breitskaligen Tröge sehr starke Variationen aufweisen (325° bis 35°).

Im zweiten Segment knickt die Riftachse auf 350° ab. Dazu ändern sich auch einige Charakteris-

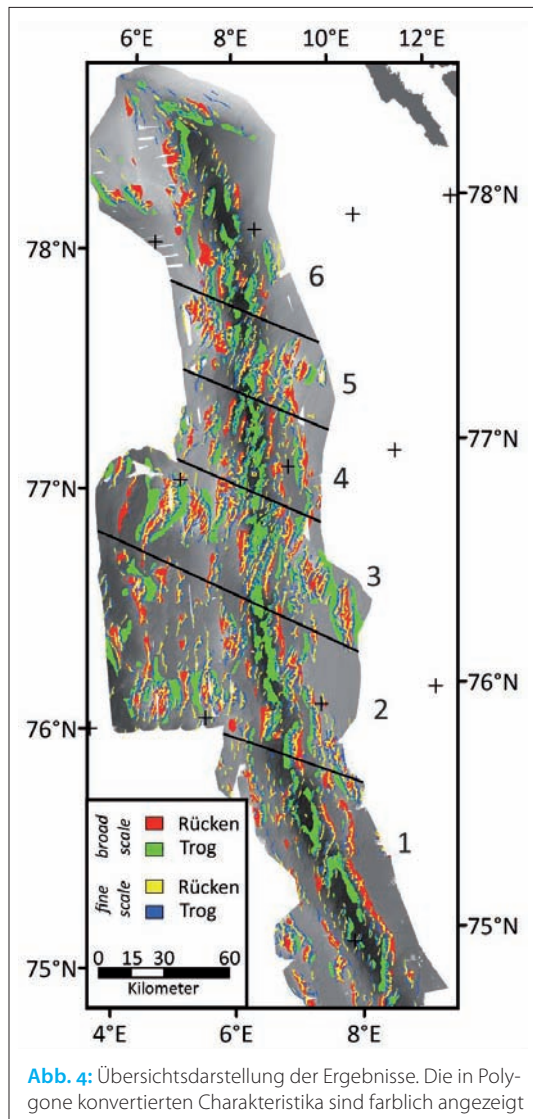


Abb. 4: Übersichtsdarstellung der Ergebnisse. Die in Polygone konvertierten Charakteristika sind farblich angezeigt

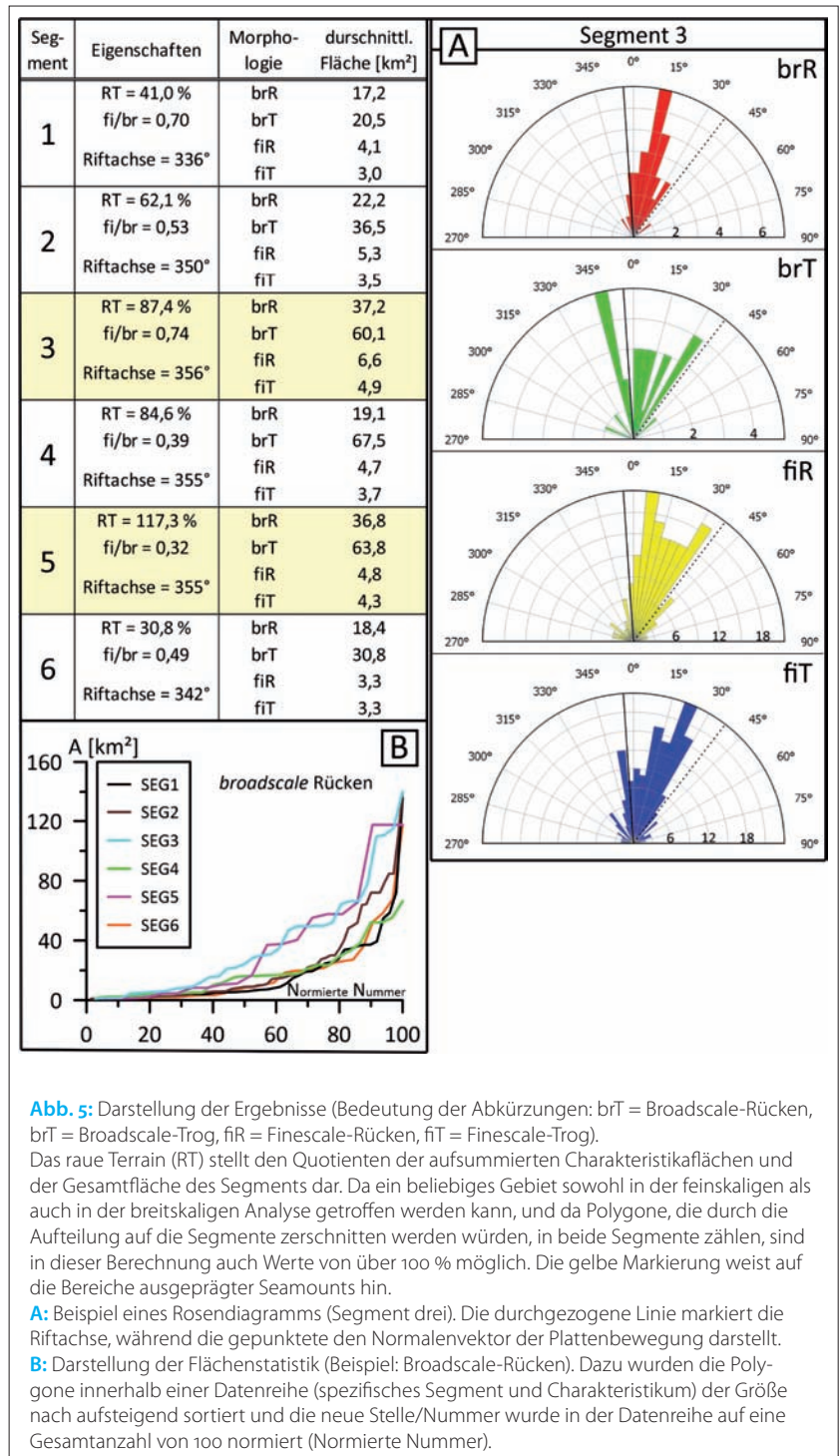


Abb. 5: Darstellung der Ergebnisse (Bedeutung der Abkürzungen: brT = Broadscale-Rücken, brR = Broadscale-Tröge, fiR = Finescale-Rücken, fiT = Finescale-Tröge).

Das raue Terrain (RT) stellt den Quotienten der aufsummierten Charakteristikaflächen und der Gesamtfläche des Segments dar. Da ein beliebiges Gebiet sowohl in der feinskaligen als auch in der breitskaligen Analyse getroffen werden kann, und da Polygone, die durch die Aufteilung auf die Segmente zerschnitten werden würden, in beide Segmente zählen, sind in dieser Berechnung auch Werte von über 100 % möglich. Die gelbe Markierung weist auf die Bereiche ausgeprägter Seamounts hin.

A: Beispiel eines Rosendiagramms (Segment drei). Die durchgezogene Linie markiert die Riftachse, während die gepunktete den Normalenvektor der Plattenbewegung darstellt.

B: Darstellung der Flächenstatistik (Beispiel: Broadscale-Rücken). Dazu wurden die Polygone innerhalb einer Datenreihe (spezifisches Segment und Charakteristikum) der Größe nach aufsteigend sortiert und die neue Stelle/Nummer wurde in der Datenreihe auf eine Gesamtanzahl von 100 normiert (Normierte Nummer).

tika. Vor allem die breitskaligen Strukturen gewinnen an Fläche. Abb. 5B zeigt ab 80 % der Polygone eine Erhöhung der breitskaligen Rücken in Bezug auf die Fläche. Die Orientierung der Strukturen neigt sich Richtung Osten. Nur die breitskaligen Rücken weisen einen Modalwert von 350° bis 355° auf.

Die geringste Obliquität wird im dritten Segment erreicht. Die Riftachse wurde auf 356° bestimmt. Die breitskaligen Strukturen vergrößern sich signifikant, die feinskaligen untergeordnet. Die Orientierung aller Charakteristika neigt sich weiter Richtung Osten und nähert sich der Normalen der Spreizungsrichtung an (Orientierung zwischen 5° und 35°, Abb. 5A). Nur die breitskaligen

**Literatur**

Crane, Kathleen; Anders Solheim (1995): Seafloor atlas of the northern Norwegian-Greenland Sea; Norsk Polarinstitut, Oslo

Curewitz, Daniel; Kyoko Okino; Miho Asada; Boris Baranov; Evgeny Gusev; Kensaku Tamaki (2010): Structural analysis of fault populations along the oblique, ultra-slow spreading Knipovich Ridge, North Atlantic Ocean, 74°30'N-77°50'N; Journal of Structural Geology, Vol. 32, No. 6, pp. 727-740, DOI: 10.1016/j.jsg.2009.08.011

Dick, Henry J. B.; Jian Lin; Hans Schouten (2003): An ultraslow-spreading class of ocean ridge; Nature, No. 426, pp. 405-412, DOI: 10.1038/nature02128

Dorschel, Boris; Vera Schlindwein (2015): Quantitative geomorphological analyses of Gakkel Ridge (Arctic Ocean) and the Southwest Indian Ridge (Southern Ocean); Alfred-Wegener-Institut für Polar und Meeresforschung, Bremerhaven, unveröffentlicht

Fowler, C. M. R. (2005). The solid earth: an introduction to global geophysics (2. Aufl.); Cambridge University Press, 728 pp.

Jakobsson, Martin; Larry Mayer; Bernhard Coakley; Julian A. Dowdeswell; Steve Forbes; Boris Fridman; Hanne Hodnesdal; Riko Noormets; Richard Pedersen; Michele Rebecco; Hans Werner Schenke; Yulia Zarayskaya; Daniela Accetella; Andrew Armstrong; Robert M. Anderson; Paul Bienhoff; Angelo Camerlenghi; Ian Church; Margo Edwards; James V. Gardner; John K. Hall; Benjamin Hell; Ole Hestvik; Yngve Kristoffersen; Christian Marcussen; Rezwan Mohammad; David Mosher; Son V. Nghiem; Maria Teresa Pedrosa; Paola G. Travaglini; Pauline Weatherall (2012): The International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean (IBCAO) Version 3.0, DOI: 10.1029/2012GL052219

Macdonald, Ken C. (1982): Mid-Ocean Ridges: Fine Scale Tectonic, Volcanic and Hydrothermal Processes Within the Plate Boundary Zone; Annual Review of Earth and Planetary Sciences, Vol. 10, No. 1, pp. 155-190, DOI: 10.1146/annurev.ea.10.050182.001103

Tröge weisen zusätzlich viele Strukturen bei 345° bis 350° streichend auf.

Im vierten Segment wurde die Riftachse auf 355° bestimmt. Eine Verkleinerung der Charakteristika ist zu erkennen. Eine Ausnahme bilden die breitskaligen Tröge. Die Orientierung der Strukturen bleibt im Vergleich zum dritten Segment weitestgehend gleich. Die breitskaligen Tröge weisen in diesem Segment allerdings keine Anomalie auf.

Auch in Segment fünf wurde die Riftachse mit 355° erkannt. Die Strukturen erreichen eine ähnliche Größe wie im dritten Segment. Die Orientierung der Charakteristika im Raum ist ähnlich der beiden vorangegangenen Segmente und liegt großteilig zwischen 15° und 30°.

Das sechste Segment weist mit einer 342° streichenden Riftachse die zweitgrößte Obliquität auf. Die Strukturgrößen fallen allesamt. Die Orientierung der Strukturen kippt wieder deutlich Richtung Westen und kann als Nord-Süd angegeben werden (großteilig zwischen 355° und 10°).

**5 Interpretation**

**5.1 Orientierung der Strukturen zur Riftachse**

Wie in Abschnitt 4 erwähnt, zeigt die Strukturorientierung eine Abhängigkeit zur Riftachsenorientierung. Bei einer Ostverschiebung der Riftachse (innerhalb des ersten und vierten Richtungsquadranten) verschiebt sich ebenfalls das Intervall der Strukturorientierung Richtung Osten. Das lässt sich einerseits auf riftparallele Strukturen zurückführen, andererseits auch auf Strukturen, die einen Winkel

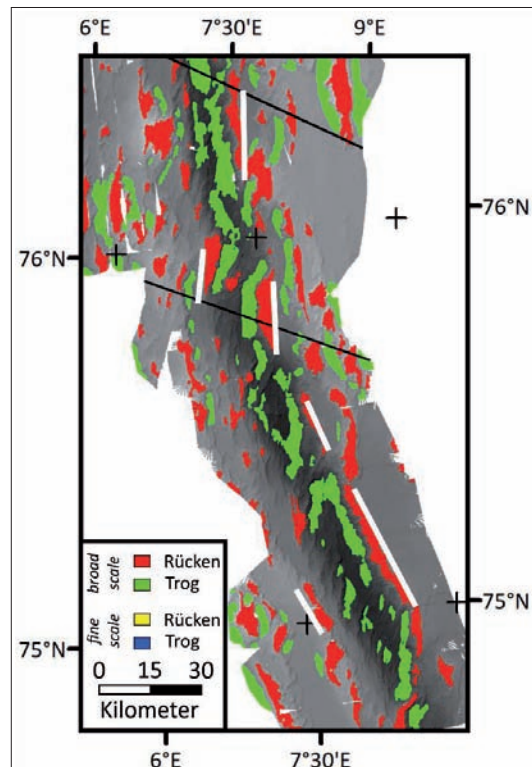
zur Riftachse aufweisen. Erstere werden vor allem durch die Riftflanken repräsentiert (Abb. 6). Diese verändern beispielsweise mit der Riftachse vom ersten Segment zum zweiten hin ihre Orientierung. Nach Dick et al. (2003) sind diese Strukturen Teil des Abschiebungssystems, das sich axial von der Rückenachse ausbreitet und als Ursache für diese Terrassierung erkannt werden kann.

Bei den feinskaligen Strukturen muss ebenfalls innerhalb des Charakteristikums differenziert werden. Ausschlaggebend ist hier die interne Struktur von größeren geomorphologischen Charakteristika (Abb. 7). Die Streichrichtung dieser feinskaligen Strukturen ist dabei senkrecht zur Spreizungsrichtung. Da die Verteilung von größeren geologischen Bauten ungleichmäßig über den Datensatz ist, ist auch die Auswirkung auf die feinskalige Orientierungsstatistik unterschiedlich. Hier muss wieder auf die Problematik eines projizierten Koordinatensystems hingewiesen werden. Die Statistik (Abb. 5A) kann dabei die visuell sehr gute Übereinstimmung zwischen der Senkrechten der Spreizungsrichtung und der Orientierung der feinskaligen Strukturen nicht klar manifestieren.

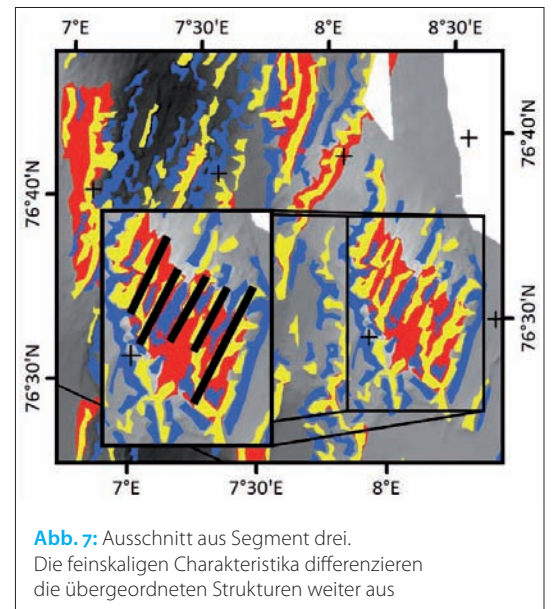
Da anscheinend die Orientierung der Riftachse über das Vorkommen von größeren geologischen Strukturen auf die Richtungsverteilung der Charakteristika wirkt, soll diese Abhängigkeit im Folgenden weiter beleuchtet werden.

**5.2 Obliquität und Strukturgröße**

Die Abb. 5 zeigt einen signifikanten Anstieg der Größe der Charakteristika in den Segmenten drei und fünf. Dieser Größenzuwachs ist vor allem bei



**Abb. 6:** Ausschnitt von Segment eins und zwei. Die weißen Balken markieren die im Fokus liegenden Flankenstrukturen



**Abb. 7:** Ausschnitt aus Segment drei. Die feinskaligen Charakteristika differenzieren die übergeordneten Strukturen weiter aus



den breitskaligen Strukturen zu erkennen. Die breitskaligen Rücken, stellvertretend für größere magmatische Bauten, zeigen stabilere, magmatische Segmente an (Okino et al. 2002). Innerhalb des Datensatzes scheint vor allem die Orientierung der Riftachse und damit die Obliquität eines Segments einen wesentlichen Einfluss auf das Vorkommen dieser Strukturen zu haben. Außerhalb der Daten lassen sich zusätzlich aber auch andere Parameter erkennen, die Einfluss auf das Auftreten haben können. So müssen die Spreizungsrate (Macdonald 1982) und der Magmanachschiebung (Sauter et al. 2011) genannt werden. Diese Parameter werden im Folgenden besprochen.

### 5.2.1 Spreizungsrate

Ausgehend von der Tatsache, dass der Knipovich-Rücken schräg spreizt, muss die effektive Spreizungsrate bestimmt werden. Von Sella et al. (2002) wurde eine Spreizungsrate von 14,7 mm pro Jahr bei 307° Ausrichtung bestimmt. Die effektive Spreizungsrate für das jeweilige Segment wird nun über einen Proportionalitätsfaktor, bestehend aus dem Kosinus der Obliquität, berechnet. Die folgende Tabelle und Abb. 8 zeigen die Ergebnisse.

Segment	Effektive Spreizungsrate [mm/Jahr]	Durchschnittliche Fläche der breitskaligen Rücken [km <sup>2</sup> ]
6	8,4	18,38
5	10,9	36,84
4	10,9	19,09
3	11,1	37,23
2	10,0	22,24
1	7,1	17,18

Hervorzuheben ist, dass sich im Falle des Knipovich-Rückens die Spreizungsrate nicht wesentlich entlang der Struktur ändert (Okino et al. 2002). Variationen in der effektiven Spreizungsrate sind also maßgeblich obliquitätsbedingt.

In Abb. 8 ist ein klarer Zusammenhang zwischen der effektiven Spreizungsrate und der durchschnittlichen Fläche der breitskaligen Rücken als Stellvertreter für größere magmatische Bauten zu

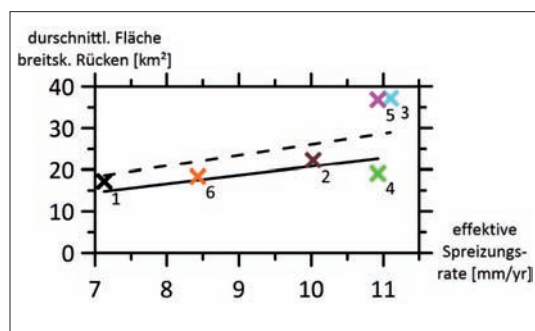


Abb. 8: Grafische Darstellung der berechneten Spreizungsraten. Die linearen Ausgleichsgeraden durch den Ursprung sind mit (gestrichelte Linie,  $R^2 = 0,41$ ), und ohne (durchgezogene Linie,  $R^2 = 0,53$ ) die Segmente drei und fünf berechnet

erkennen. Auffällig ist die Sonderstellung des dritten und fünften Segments. Diese liegen mit ihrer durchschnittlichen Fläche deutlich über dem normalen Trend aus den Segmenten eins, zwei, vier und sechs. Ein Einfluss der effektiven Spreizungsrate auf die Segmentstruktur ist somit durchaus möglich, wenn auch nicht der einzige Faktor mit Hinblick auf die Ausreißer des dritten und fünften Segments.

### 5.2.2 Magmanachschiebung

Als weitere Ursache für strukturelle Größenvariationen an Mittelozeanischen Rücken kann der Magmanachschiebung genannt werden. Dieser Faktor ist abhängig von vielen verschiedenen mantelinternen Parametern (Regelous et al. 2016). Um die Schmelzenverfügbarkeit am Rücken einschätzen zu können, wurden seismologische (Schlindwein et al. 2013), geomagnetische (Crane u. Solheim 1995) und gravimetrische Daten (Okino et al. 2002) betrachtet. Diese weisen die Segmente drei und fünf als Gebiete stark erhöhter magmatischer Aktivität aus.

### 5.2.3 Wirkungsabschätzung auf den Knipovich-Rücken

Da ein klarer Trend zwischen effektiver Spreizungsrate und durchschnittlicher Fläche der breitskaligen Rücken (stellvertretend für robuste, magmatische Bauten) innerhalb der Segmente eins, zwei, vier und sechs zu erkennen ist, wird ein Zusammenhang dieser postuliert. Hervorzuheben ist, dass die effektive Spreizungsrate in diesem Fall nur von der Obliquität abhängt, und somit die Größenvariationen der übergeordneten, magmatischen Strukturen in diesen vier Segmenten maßgeblich von dieser bestimmt werden.

Zusätzlich zu diesem Mechanismus wirkt oder dominiert in den Segmenten drei und fünf ein weiterer. Die deutlich erhöhte Schmelzenverfügbarkeit bildet hier ein großes magmatisches Center, welches auch morphologisch zu erkennen ist, aus.

Es wird also postuliert, dass, wenn der Magmanachschiebung als gering bewertet werden kann, die magmatischen Bauten hauptsächlich aufgrund der Obliquität in ihrer Größe variieren. Sobald aber die Magmaversorgung erhöht wird, dominiert die erhöhte Schmelzenverfügbarkeit. Die Verteilung der aufgrund dieses hohen Magmanachschiebung entstehenden magmatischen Center kann dabei als morphologische Ausprägung von mantelinternen Parametern erkannt werden. Zu nennen sind dabei chemische Heterogenitäten, Temperaturverteilung und Konvektion im Mantel (Dick et al. 2003; Okino et al. 2002).

Die in Abb. 9 dargestellte Wirkungskette kann erkannt werden. Die Segmente eins, zwei, vier und sechs werden dabei auf Grundlage der vorangegangenen Interpretation letztendlich dem tektonisch dominierten Regime zugeschrieben, wäh-

Okino, Kyoko; Daniel Curewitz; Miho Asada; Kensaku Tamaki; Peter Vogt; Kathleen Crane (2002): Preliminary analysis of the Knipovich Ridge segmentation: influence of focused magmatism and ridge obliquity on an ultraslow spreading system; Earth and Planetary Science Letters, Vol. 202, No. 2, pp. 275-288, DOI: 10.1016/S0012-821X(02)00790-2

Regelous, Marcel; Christoph G. Weinzierl; Karsten M. Haase (2016): Controls on melting at spreading ridges from correlated abyssal peridotite – mid-ocean ridge basalt compositions; Earth and Planetary Science Letters, Vol. 449, pp. 1-11, DOI: 10.1016/j.epsl.2016.05.017

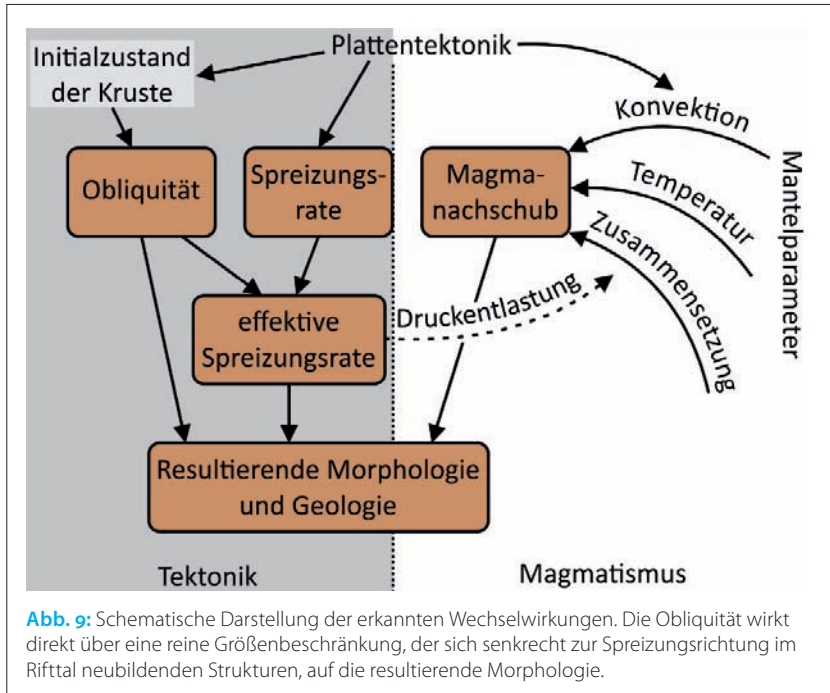
Sauter, Daniel; Heather Sloan; Mathilde Cannat; John Goff; Philippe Patriat; Marc Schaming; Walter R. Roest (2011): From slow to ultra-slow: How does spreading rate affect seafloor roughness and crustal thickness?; Geology, Vol. 39, No. 10, pp. 911-914, DOI: 10.1130/G32028.1

Schlindwein, Vera; Andrea Demuth; Wolfram H. Geissler; Wilfried Jokat (2013): Seismic gap beneath Logachev Seamount: Indicator for melt focusing at an ultraslow mid-ocean ridge?; Geophysical Research Letters, Vol. 40, No. 9, pp. 1703-1707, DOI: 10.1002/grl.50329

Sella, Giovanni F.; Timothy H. Dixon; Ailin Mao (2002): REVEL: A model for Recent plate velocities from space geodesy; Journal of Geophysical Research: Solid Earth, Vol. 107, No. B4, ETG 11-1-ETG 11-30, DOI: 10.1029/2000JB000033

Vogt, Peter R.; Woo-Yeol Jung; John Brozena (1998): Arctic margin gravity highs: Deeper meaning for sediment depocenters?; Marine Geophysical Researches, Vol. 20, No. 5, pp. 459-477, DOI: 10.1023/a:1004775228851

Wright, Dawn J.; Matt Pendleton; J. Boulware; Shaun Walbridge; B. Gerlt; D. Eslinger; D. Sampson; E. Huntley (2012): ArcGISBenthic Terrain Modeler (BTM) (Version 3.0): Environmental Systems Research Institute, NOAA Coastal Services Center, Massachusetts Office of Coastal Zone Management, <http://esriurl.com/5754>



**Abb. 9:** Schematische Darstellung der erkannten Wechselwirkungen. Die Obliquität wirkt direkt über eine reine Größenbeschränkung, der sich senkrecht zur Spreizungsrichtung im Rifttal neubildenden Strukturen, auf die resultierende Morphologie.

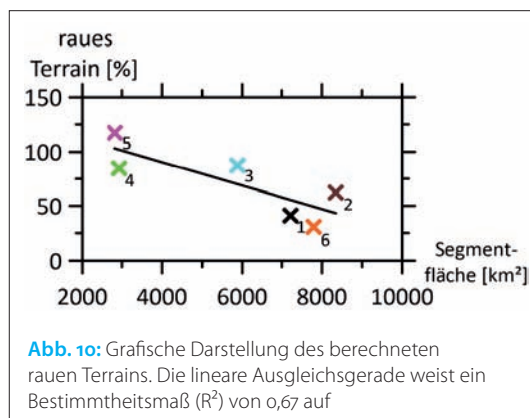
rend das dritte und fünfte Segment magmatisch dominiert sind.

### 5.3 Weitere Trends

Nachdem die breitskaligen Rücken als anomalie-reichstes Charakteristikum ausführlich behandelt wurden, soll des Weiteren auch noch stärker auf die anderen Anteile der Statistik eingegangen werden.

#### 5.3.1 Raves Terrain

Wie in [Abb. 5](#) zu sehen ist, variiert das raue Terrain von Segment zu Segment. Ein erster Gedanke ist nun, dass das raue Terrain, hier folgend auch Rauigkeit genannt, abhängig ist von der Segmentgröße. [Abb. 10](#) bestätigt dies. So sinkt die Rauigkeit mit der Fläche des jeweiligen Segments. Ein möglicher bedingender Prozess ist die Sedimentation am Knipovich-Rücken. Je länger ein bestimmter Bereich der Kruste am Meeresboden exponiert ist, desto mehr Zeit bleibt sedimentären Prozessen, Material auf diesem abzulegen. Eher schroffere vulkanische Strukturen, die der Auswertungsalgorithmus erfassen würde, werden so nach und nach abgedeckt (Okino et al. 2002). Dies wäre generell



**Abb. 10:** Grafische Darstellung des berechneten rauen Terrains. Die lineare Ausgleichsgerade weist ein Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) von 0,67 auf

bei größeren Segmenten, die mit zunehmendem Abstand von der Riftachse ältere Krustenalter widerspiegeln, der Fall.

Hervorzuheben ist aber, dass der Zusammenhang nicht das Bestimmtheitsmaß aufweist wie zu erwarten wäre. Da die beiden Größen sehr sicher zu bestimmen sind (das raue Terrain zumindest relativ zwischen den Segmenten), weist dieser Umstand auf weitere Beeinflussungen hin. Dies könnte z. B. die jeweilige magmatische Tätigkeit als Lieferant für junge, schroffe Strukturen sein. Diese Beziehung wurde in Abschnitt 5.2 erläutert und deren Wirkung auf die Rauigkeit kann deswegen relativ gut abgeschätzt werden. Auffällig ist, dass die Segmente drei und fünf oberhalb des Trends liegen. Sie weisen also höhere Rauigkeiten auf als gewöhnlich. Dies ist durch die bereits erwähnte, für den Knipovich-Rücken hohe magmatische Tätigkeit aufgrund von Magmafokussierungen im Mantel gut erklärbar.

Diesem Versatz folgt auch das zweite Segment. Dies kann zusammen mit den nach Segment drei und fünf durchschnittlich drittgrößten breitskaligen Rücken ([Abb. 5](#)) als Hinweis auf eine vergangene höhere magmatische Tätigkeit aufgefasst werden. Die größeren magmatischen Bauten liegen in diesem Gebiet weiter entfernt von der aktuellen Riftachse ([Abb. 4](#)).

Das Segment vier weist einen ähnlich geringen, rezenten Magmatismus auf wie das zweite Segment. Aussagen zu der geschichtlichen Entwicklung dieses Segments sind allerdings deutlich schwieriger, da es eine verminderte Ausdehnung parallel zur Spreizungsrichtung aufweist. Eine Erhöhung des rauen Terrains wie im zweiten Segment durch den vermehrten Auftritt von Rückenstrukturen entfernt von der Achse bleibt deswegen aus.

Das erste und das sechste Segment weisen im Einklang mit der erhöhten Obliquität und der reduzierten Magmaverfügbarkeit ein Defizit im rauen Terrain gegenüber dem Trend auf. Auch hier sei erwähnt, dass die im Vergleich zum zweiten und dritten Segment geringere Ausdehnung in Spreizungsrichtung Aussagen zu zeitlichen Strukturvariationen erschwert.

#### 5.3.2 Frequenzverteilung

Die Arbeit von Dorschel u. Schindwein (2015) legt nahe, dass magmatisch robustere Segmente erhöhte  $f_i/br$ -Verhältnisse haben. Dies kann durch die schroffe Morphologie von vulkanisch aktiven Gebieten erklärt werden, welche zusätzlich zu dem größeren magmatischen Gebäude an sich viele kleinere bzw. feinskalige Strukturen aufweist. Diesem Trend folgend, liegt das höchste  $f_i/br$ -Verhältnis mit 0,74 im dritten Segment vor. Die Bereiche zwei, vier und sechs liegen gut 20 % darunter. Besonderheiten zeigen sich dagegen im ersten sowie im fünften Segment.

Das Segment eins weist im Vergleich zu den anderen, schwächer magmatischen Gebieten ein



hohes  $f_i/br$ -Verhältnis von 0,70 auf. Dies könnte auf die markante Darstellung von sigmoidalen Störungen im Rifttal zurückzuführen sein (Curewitz et al. 2010), welche in den anderen Segmenten deutlich untergeordnet ist. Begründet werden könnte diese Besonderheit des ersten Segments durch die hohe Obliquität. Das sechste Segment, mit im Vergleich ebenfalls erhöhter Obliquität, stellt diese Beziehung untergeordnet dar.

Das Segment fünf wird dahingegen von einem  $f_i/br$ -Verhältnis von lediglich 0,32 beschrieben. Dieser Wert liegt deutlich unter den Erwartungen für ein magmatisch robusteres Gebiet. Dies könnte als Hinweis auf einen nicht zu vernachlässigbaren Unterschied zwischen den beiden vulkanischen Centern gedeutet werden, welcher sich in der geringeren internen Komplexität der magmatischen Bauten im fünften Segment manifestiert. Eine Erklärung hierfür kann allerdings nicht geliefert werden. Weitere Studien z. B. zur lokalen Seismizität am nördlichen Knipovich-Rücken könnten hier Abhilfe leisten.

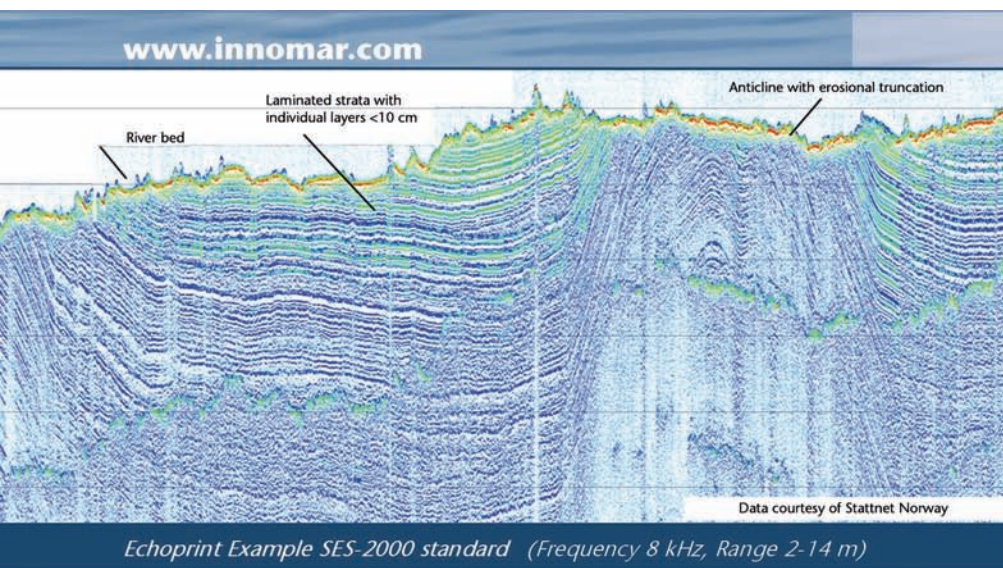
## 6 Zusammenfassung

Basierend auf der vorangegangenen Darstellung und Interpretation der Daten konnten folgende

Zusammenhänge erkannt bzw. postuliert werden:

- Die Orientierung der Riftachse bedingt die Ausrichtung von gewissen geologischen Strukturen an ultralangsam spreizenden Rücken (z. B. Riftflanken).
- Strukturgrößen werden teilweise von der Obliquität bestimmt. In Gebieten mit höherer Magmaversorgung dominiert allerdings dieser Materialnachschub, welcher als Ausdruck von mantelinternen Faktoren an der Erdoberfläche gewertet werden kann.
- Morphologien, die vom Rifttal entfernt sind, weisen auf zeitliche Variationen der Magmaversorgung an Teilen des Knipovich-Rückens hin.
- Die zwei prominenten, magmatisch robusteren Segmente entlang des Rückens weisen Unterschiede in ihrer internen Komplexität auf.

Zukünftige methodisch ähnliche Studien an anderen Mittelozeanischen Rücken könnten die hier postulierten Zusammenhänge prüfen bzw. diese unter anderen geologischen Rahmenbedingungen erweitern. Außerdem sind weitere Untersuchungen am Knipovich-Rücken erforderlich. —



## SES-2000 Parametric Sub-Bottom Profilers

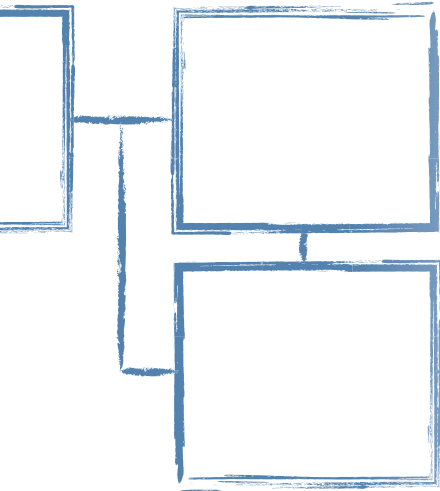
Discover sub-seafloor structures and embedded objects with excellent resolution and determine exact water depth

- ▶ Different systems for shallow and deep water operation available
- ▶ Menu selectable frequency and pulse width
- ▶ Two-channel receiver for primary and secondary frequencies
- ▶ Narrow sound beam for all frequencies
- ▶ Sediment penetration up to 200m (SES-2000 deep)
- ▶ User-friendly data acquisition and post-processing software
- ▶ Portable system components allow fast and easy mob/demob
- ▶ Optional sidescan extension for shallow-water systems





# SIMPLIFYING THE BATHYMETRIC PROCESSING WORKFLOW



## HIPS and SIPS 11.0

### Usability through Automation

HIPS and SIPS 11.0 automates the number crunching so you can focus on the quality of your data and catching up on your email.

Open a line of raw data from one of several supported sonars without the need for defining a vessel file or project. Streamline many parts of the traditional workflow to get a finished product easier and faster and share your workflow with others.

Discover more of the usability enhancements found in the 11.0 release of the world's most trusted package for bathymetric data processing.

*Visit us for a demo in Lindau (Bodensee)  
at Hydrographentag 2018 stand #8*



Get more CARIS HIPS and SIPS details  
[www.teledynecaris.com/hipsandsips](http://www.teledynecaris.com/hipsandsips)



**TELEDYNE CARIS**  
Everywhereyoulook™

Part of the Teledyne Imaging Group



# Neue Bewertung der harmonischen Analyse im Vergleich zur Darstellung der Ungleichheiten am Beispiel der Deutschen Bucht

Ein Beitrag von PATRICK GOFFINET

Zur Vorausberechnung der Hoch- und Niedrigwasser in den deutschen Gewässern der Nordsee wurde Mitte des 20. Jahrhunderts das Verfahren der Darstellung der Ungleichheiten vom ehemaligen Deutschen Hydrographischen Institut (DHI) eingeführt. Dieses Vorgehen leitet sich aus einem nonharmonischen Ansatz zur Analyse der halbmonatlichen Ungleichheiten ab, der auf die Mondtransitdaten zurückgreift (Kunze 1989). Trotz ihrer Mängel und ihrer Beschränkung auf die Ermittlung einzelner Punkte der Tidenkurve bringt diese Methode zufriedenstellende Ergebnisse für die Seeschifffahrt und wird noch heute vom Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) zur Herstellung der Gezeitentafeln verwendet. Die weithin bekannte harmonische Analyse, die die Vorausberechnung der gesamten Tidenkurve nach beliebigem Takt ermöglicht, wurde ebenfalls im DHI geprüft. Allerdings erwiesen sich die im DHI und im BSH entwickelten harmonischen Verfahren als ungenau, da sie insbesondere auf eine beschränkte Anzahl von Gezeitenkomponenten zurückgreifen. Sie wurden zu offiziellen Berechnungen nicht berücksichtigt. Seitdem ergaben sich im Bereich der harmonischen Analyse und der Weiteruntersuchung des Gezeitenpotenzials wichtige Fortschritte auf internationaler Ebene. Dadurch wurde die Anzahl der Gezeitenkomponenten erheblich erweitert. Aufgrund der Schwächen der früher im DHI entwickelten harmonischen Ansätze, legt das nachfolgende Konzept eine Verbesserung des harmonischen Verfahrens vor, das sich auf eine umfangreiche und neudefinierte Komponentenliste stützt. Dieses Konzept ist mit einer neuen Art der Datenverarbeitung verbunden, die zur Optimierung der Berechnungsprozeduren konzipiert wurde. Durch eine komparative Bewertung beider

Vorausberechnungsmethoden am Beispiel der Datenauswertung mehrerer Pegelstationen der Deutschen Bucht wurde die Zuverlässigkeit des neuen harmonischen Verfahrens bestätigt.

Gezeitenvorausberechnung | harmonische Analyse | Ungleichheiten | Tidenkurve | Gezeitenpotenzial

## 1 Problematik der in der Deutschen Bucht erprobten harmonischen Verfahren

Um die Problematik der in der Deutschen Bucht bisher erprobten harmonischen Verfahren anzugehen, muss man sich zunächst auf die Grundlagen der harmonischen Analyse beziehen. Sie ergeben sich hauptsächlich aus dem Ansatz von Laplace (1798), bei dem sich durch die Antwort des Meeres auf die erzeugende Kraft des Lunisolar-Gezeitenpotenzials der in einem Ort beobachtete Wasserstand aus der Überlagerung elementarer Schwingungen ergibt. Hinsichtlich der Gezeiten werden diese Schwingungen als Teiltiden (oder Partialtiden) angesehen. Sie bestehen einerseits aus astronomischen Tiden, die unmittelbar aus der Entwicklung des Gezeitenpotenzials genommen werden, und andererseits aus zahlreichen zusammengesetzten Seichtwassertiden kürzerer Perioden, die aus den in den Flachwassergebieten erzeugten nichtlinearen Interaktionen entstehen. Außerdem werden die Teiltiden in sogenannte Stammtiden unterteilt, die je aus einer Haupttide

und mehreren, meist unbekanntenen, Nebentiden ähnlicher Geschwindigkeiten bestehen (siehe Tab. 1). Die Teiltiden werden nach Tidenart unterschieden, von den eintägigen bis zu den zwölftätigen (und sogar vierzehntätigen) Tiden. Nach dem Laplaceschen Ansatz muss eine maximale Anzahl dieser Teiltiden bei der Ausführung der harmonischen Analyse berücksichtigt werden, um die Genauigkeit des Verfahrens zu gewährleisten.

Der Vorteil der Darstellung der Ungleichheiten (Horn 1960) liegt in ihrer einfachen Umsetzung: mit Hilfe der Monddaten und aufgrund der rechnerischen Begrenzung auf die Vorausberechnung der Scheitelpunkte liefert dieses Verfahren korrekte Ergebnisse mit einer geringen Anzahl von Gezeitenkomponenten (hier harmonische Glieder genannt).

In den achtziger Jahren wurden im DHI harmonische Verfahren entwickelt und für Pegelstationen der Deutschen Bucht geprüft. Jedoch wurden sie gegenüber den Ergebnissen der Darstellung der Ungleichheiten negativ bewertet (Pansch 1989). Die getesteten harmonischen Ansätze basieren

### Autor

Dr.-Ing. Patrick Goffinet war Wissenschaftler am BSH in Hamburg, wo er sich unter anderem mit der Gezeitenvorausberechnung und mit satellitengestützter Beschickung beschäftigte. Seit 2017 ist er im Ruhestand.

patrick.goffinet@gmx.de

auf der Formulierung von Darwin mit der Verwendung von nodalen Korrekturen, die aus der Potenzialentwicklung ermittelt werden. Sie bieten die Möglichkeit, die unbekanntes Nebentiden einer Stammtide durch die Haupttide zu ersetzen. Allerdings beziehen sich die Korrekturen auf eine ältere Entwicklung des Gezeitenpotenzials, die Doodson Anfang des 20. Jahrhunderts vorlegte und die im DHI geprüft wurde. Sie wurden in den Tafeln der astronomischen Argumente  $V_0 + v$  und der Korrekturen  $j, v$  für den Zeitraum 1900 bis 1999 veröffentlicht (DHI 1967) und beschränken sich auf 114 Teiltiden (48 astronomische Tiden und 66 Seichtwassertiden), was insgesamt mit der Anzahl der ersetzten Nebentiden einem theoretischen Betrag von 241 Partialtiden für die Analyse entspricht.

Seither brachten internationale Untersuchungen des Gezeitenpotenzials mit der Bestimmung einer viel höheren Anzahl von Gezeitenkomponenten wesentliche Fortschritte. In Simon (2005) ergibt sich eine umfangreiche Liste von ca. 2000 Partialtiden, davon zahlreiche Seichtwassertiden und deren Stammtiden, die die nichtlinearen Interaktionen bis zur vierzehnteltägigen Tidenart berücksichtigt. Am Beispiel der Stammtide  $M_2$  zeigt Tab. 1 die Fortschritte der neuesten Entwicklungen im Vergleich zu den Ergebnissen des DHI, die 1967 vorgelegt wurden. Die Tidenbezeichnung bezieht sich auf die alphabetische Klassifikation von Doodson (XDO).

DHI (1967)	Simon (2005)	Geschwindigkeit (°/St.)
	* BZZVYZZ	28.963331
	* BZZVZZZ	28.965537
	* BZZWYZZ	28.967972
	* BZZWZZZ	28.970179
	* BZZWAZZ	28.972385
	* BZZXZZZ	28.974821
	* BZZXAZZ	28.977027
* BZZXZZZ	* BZZXZZZ	28.979691
* BZZYZZB	* BZZYZZB	28.981898
** BZZZZZZ	** BZZZZZZ	28.984104
	* BZZAZZZ	28.986311
	* BZZAZZZ	28.988746
	* BZZAAZZ	28.990952
* BZZBZZZ	* BZZBZZZ	28.993388
* BZZBAZZ	* BZZBAZZ	28.995594
	* BZZCZZZ	28.998030
	* BZZCAZZ	29.000236
	* BZZDZZZ	29.002671

Tab. 1: XDO-Definition der  $M_2$ -Stammtide nach DHI (1967) und Simon (2005). Zwei Sternchen (\*\*) kennzeichnen die Haupttide  $M_2$ , ein Sternchen (\*) markiert die Nebentiden

## 2 Neue Implementierung der harmonischen Analyse

### Grundformeln

Die Grundformel des harmonischen Ansatzes ergibt sich nach

$$h(t) = z_0 + \sum_{i=1}^n h_i \cos(V_{0,i} + \sigma_i t - g_i)$$

wo der Wasserstand  $h(t)$  als Funktion der Zeit  $t$  ist und  $z_0$  dem mittleren Niveau des Meeres entspricht.  $h(t)$  wird nach einer algebraischen und finiten Summe von  $n$  trigonometrischen Gliedern ausgedrückt. Jedes Glied bezieht sich auf eine Partialtide  $P_i$  mit ihrer Phase  $V_{0,i}$ , berechnet zur Zeit  $t = 0$ , und ihre Winkelgeschwindigkeit  $\sigma_i$ . Die unbekanntes harmonischen Konstanten von  $P_i$ , die Amplitude  $h_i$  und die Phasenverschiebung  $g_i$  sind ortsabhängig und konstante Werte.

Durch die Parameter der fünf fundamentalen Argumente, die aus der Astronomie bekannt sind,

- $s$  mittlere Länge des Mondes,
- $h$  mittlere Länge der Sonne,
- $p$  mittlere Länge des Mondbahnperigäums,
- $N = -N'$  mittlere Länge des aufsteigenden Mondbahnknotens,
- $q$  mittlere Länge des Sonnenbahnperigäums,

wird die Phase (oder Argument) jeder Partialtide zur Zeit  $t$  nach

$$V_i(t) = m_1 \tau + m_2 s + m_3 h + m_4 p + m_5 N' + m_6 q + m_7 \cdot 90$$

berechnet, wo die ganzzahligen Koeffizienten  $m_1 \dots m_7$ , die jede Teiltide bezeichnen, sich aus der Potenzialentwicklung ableiten. Daher ergibt sich die Winkelgeschwindigkeit von  $P_i$ :

$$\sigma_i(t) = m_1 \dot{\tau} + m_2 \dot{s} + m_3 \dot{h} + m_4 \dot{p} + m_5 \dot{N}' + m_6 \dot{q}$$

Bei der Verwendung von nodalen Korrekturen wird der Ausdruck von  $h(t)$  zu

$$h(t) = z_0 + \sum_{i=1}^n f_i h_i \cos(V_{0,i} + \sigma_i t + v_i - g_i)$$

geändert. Die Korrekturen  $f_i$  und  $v_i$  werden auf jede betroffene Haupttide (astronomische Tiden und Seichtwassertiden) angewandt.

### Rahmenbedingungen der Analyse und Datenverarbeitung

Die für die nachfolgende Implementierung berücksichtigten Partialtiden beziehen sich auf die Haupttiden der *Standard List of Constituents* der International Hydrographic Organization (IHO), die in der oben genannten Komponentenliste von Simon (2005) mit deren Stammtiden zusammengefasst werden. Nach einer Auswahl, die nicht vollständig ist und erweitert werden kann, wurden 685 repräsentative Partialtiden bestimmt. Aufgrund dieser großen Anzahl von Teiltiden war es nicht erforderlich, auf die nodalen Korrekturen zurückzugreifen. Da bei der Analyse alle Signalfrequenzen der Partialtiden getrennt werden müssen, zeigt Tab. 2 gemäß den Werten der Koeffizienten  $m_1 \dots m_5$  die entsprechende Länge des dafür erforderlichen Beobachtungszeitraums. In der Praxis entspricht der maximale verwendete Zeitraum der Umlaufzeit des Mondbahnknotens (18,6 Jahre, auf 19 Jahre gerundet). Dadurch werden alle Teiltiden bis auf diejenigen getrennt, die die gleichen Reihenfolgen von Koeffizienten  $m_1 \dots m_5$  zeigen.



Codierung mit unterschiedlichen	Fundamentale Geschwindigkeiten	$\Delta t$
$m_2$ , gleicher $m_1$	$\dot{s}$	27,3 Tage
$m_3$ , gleicher $m_1, m_2$	$\dot{h}$	365 Tage
$m_4$ , gleicher $m_1 \dots m_3$	$\dot{p}$	8,8 Jahre
$m_5$ , gleicher $m_1 \dots m_4$	$\dot{N}$	18,6 Jahre
$m_6$ , gleicher $m_1 \dots m_5$	$\dot{q}$	20940 Jahre

Tab. 2: Trennungskriterien der Partialtiden nach Beobachtungszeitraum

Die Signalfrequenzen der Beobachtungszeitreihe werden durch Spektralanalyse hervorgehoben. Eine wichtige Eigenschaft dieser Transformation stellt das Äquivalenzprinzip dar, bei dem die Zeitreihe und ihr Frequenzspektrum dieselben Informationen enthalten. Abb. 1 zeigt als Beispiel die Spektraldarstellung des Wasserstands, der an der Pegelstation Cuxhaven von 1993 bis 2015 beobachtet wurde. Trotz des Rauscheinflusses unterscheiden sich die Spektrallinien jeder Tidenart von den eintägigen bis zu den zwölftägigen deutlich.

Wegen der hohen Anzahl der Partialtiden, bei denen jeweils eine Phase und eine Amplitude zu bestimmen sind, erfordert die Lösung des Gleichungssystems einen relevanten Rechenaufwand, wenn alle Unbekannten durch einen einzigen Lö-

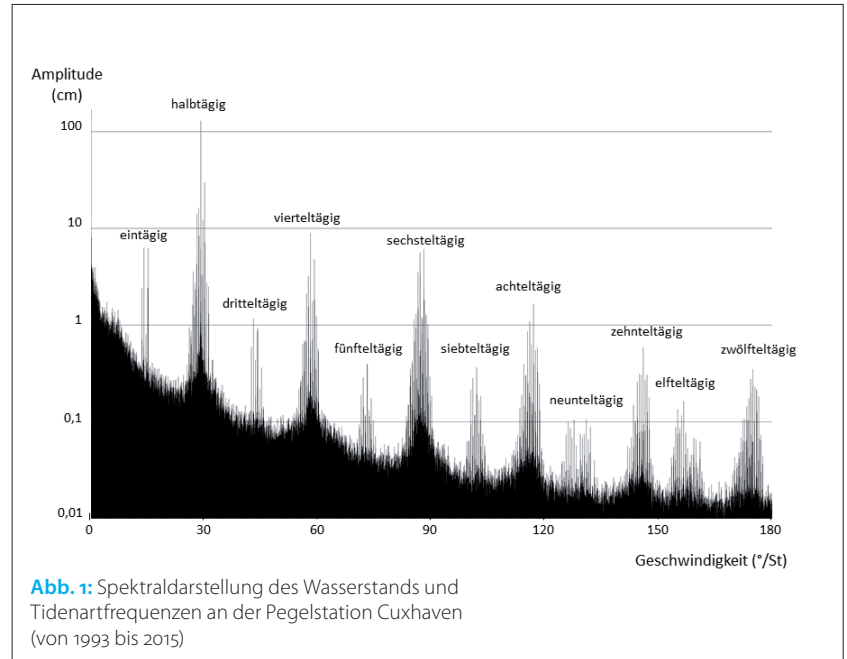
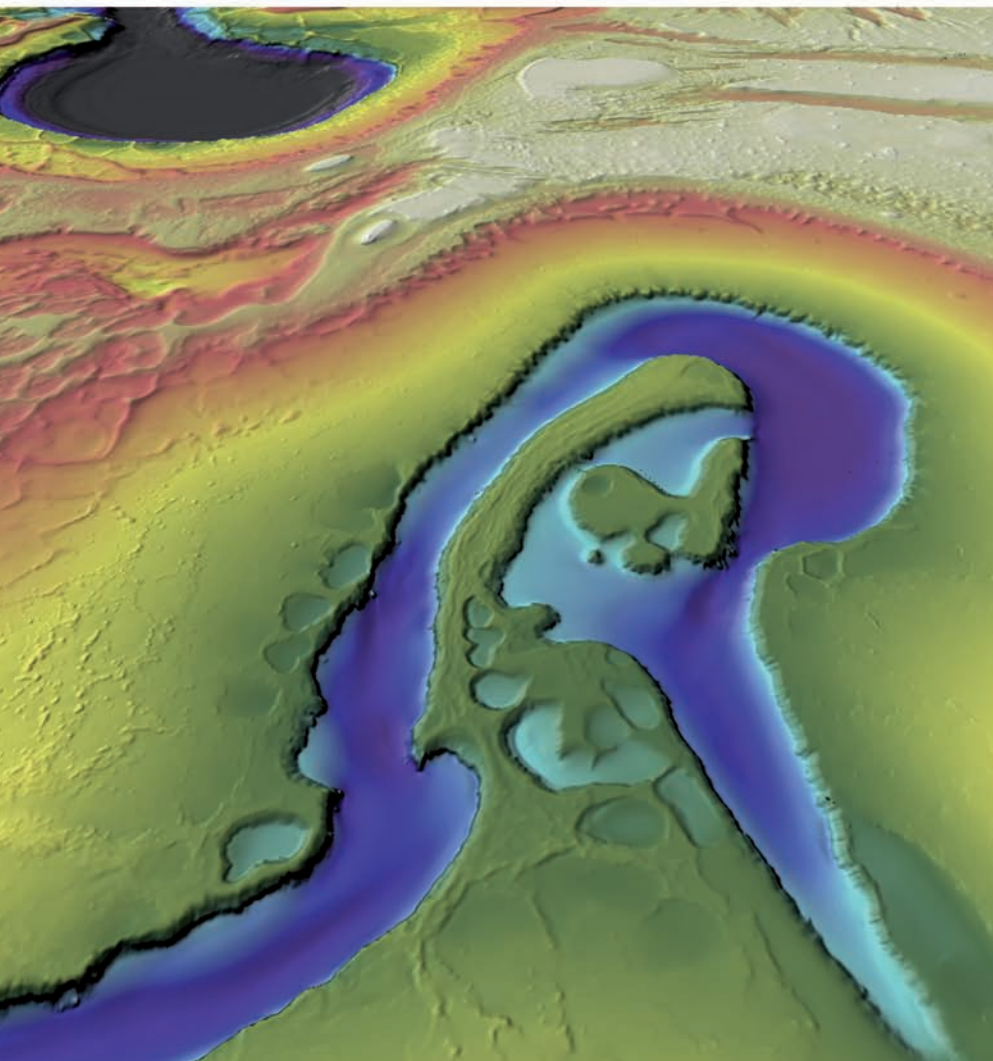


Abb. 1: Spektraldarstellung des Wasserstands und Tidenartfrequenzen an der Pegelstation Cuxhaven (von 1993 bis 2015)

sungsprozess ermittelt werden. In diesem Fall können sich die Fehler der Iterationsprozesse auf die Genauigkeit der Endergebnisse auswirken.

Nach dem oben genannten Äquivalenzprinzip stellt eine selektive Frequenzfilterung der Beobachtungsreihe nach Tidenart eine bessere Alter-



# 40+

## YEARS OF HYDROGRAPHIC EXPERIENCE

Fugro's hydrographic and geophysical surveys inform energy, construction and mining projects around the world.

Our high resolution, large area multibeam surveys - facilitated by Fugro's precise positioning services - deliver IHO compliance, whilst our desktop studies and detailed surveys of cable routes, pipelay and subsea infrastructure, enhance the safety and efficiency of your project.

Fugro Germany Marine GmbH  
+49 4212 239150  
info-fgmg@fugro.com  
www.fugro.com

native dar (Simon et al. 2013). Es werden dazu nach Fourier-Transformation, Filterung und inverser Fourier-Transformation Zeitreihen erzeugt, die jeweils nur die Signale einer ausgewählten Tidenart enthalten und die sukzessiv harmonisch analysiert werden können. Diese Option, die nachfolgend übernommen wurde, hat den Vorteil, die Anzahl der Unbekannten bei jedem Analysenprozess erheblich zu reduzieren.

### 3 Erprobung des harmonischen Verfahrens im Bereich der Deutschen Bucht

Der für die Analyse verwendete minimale Beobachtungszeitraum entspricht der obengenannten Periode von 18,6 Jahren und bezieht sich auf die Daten der folgenden Pegelstationen, deren Zeitreihen in Stundentakt als Eingangsdaten für die Erprobung des harmonischen Verfahrens bereitgestellt wurden:

- Cuxhaven von 1993 bis 2015 (23 Jahre), Küstenpegel (Elbemündung),
- Borkum von 1993 bis 2011 (19 Jahre), Küstenpegel,
- Helgoland von 1956 bis 1974 (19 Jahre), Nordseepiegel mit sinusähnlichem Verlauf,
- St. Pauli von 1996 bis 2015 (20 Jahre), Flusspegel mit kurzer Steigzeit.

Wie oben erwähnt, wurden die harmonischen Konstanten dieser vier Stationen nach Tidenart ermittelt, um jährliche Zeitreihen von Vorausberechnungen zu erstellen. Um die Ergebnisse der Darstellung der Ungleichheiten ebenfalls in die Vergleichsanalyse zu integrieren, wurden nur die Scheitelpunkte berücksichtigt. Die aus dem nonharmonischen Verfahren vorausberechneten Hoch- und Niedrigwasser beziehen sich auf die Grunddaten, die zur Herstellung der amtlichen Gezeitentafeln benutzt wurden. Die Bewertung beider Methoden erfolgte nach Analyse von Reihen in Zeit und Höhe, die aus Differenzbildung zwischen den entsprechenden Vorausberechnungen und Beobachtungen erzeugt wurden. Als Testgrößen wurden die Standardabweichung und der systematische Anteil berechnet. Da die Beobachtungen nicht nur den Gezeiten-, sondern auch einen Stauanteil enthalten, sind die Höhendaten beider Zeitreihen nicht direkt vergleichbar, weil ihre Differenzbildung den Stauanteil darstellt. Dennoch bleibt die Bewertung beider Verfahren mit Hilfe der oben genannten Testgrößen gültig.

### 4 Ergebnisse und Schlussfolgerung

Die bedeutendste Testgröße stellt die Standardabweichung dar, deren Werte nachstehend kom-

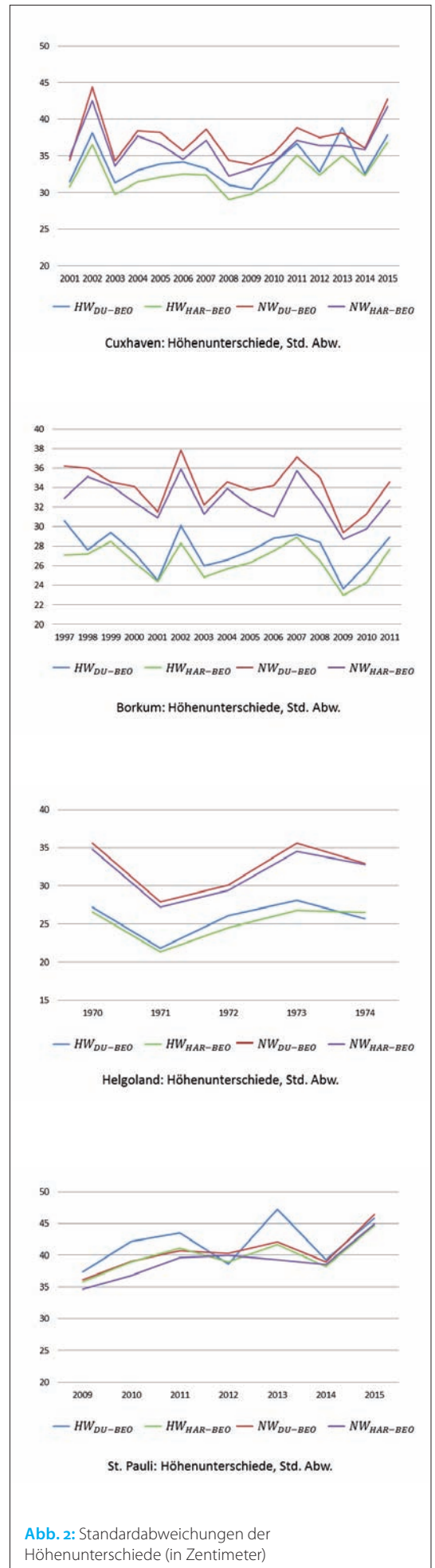


Abb. 2: Standardabweichungen der Höhenunterschiede (in Zentimeter)

#### Literatur

DHI (1967): Tafeln der astronomischen Argumente  $V_0 + v$  und der Korrekturen  $j, v$ ; Deutsches Hydrographisches Institut, Nr. 2276, Hamburg

Horn, Walter (1960): Some recent approaches to tidal problems; International Hydrographic Review, Vol. 37, Nr. 2

Kunze, Hans-Joachim (1989): Darstellung der Ungleichheiten und halbmonatliche Ungleichheit; Persönliche Kommunikation, Deutsches Hydrographisches Institut, Hamburg

Laplace, Pierre-Simon (1798): Traité de mécanique céleste; Paris

Pansch, Erich (1989): New harmonic tidal constants for some German North Sea Stations; Deutsche Hydrographische Zeitschrift, Vol. 42, Nr. 1, S. 27-39

Simon, Bernard (2005): Composantes de marée; Innerer Bericht, Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM), Brest

Simon, Bernard; Joseph Gonella; David Manley; Steven Shipman (2013): Coastal Tides; Institut Océanographique, Monaco



mentiert werden. Je niedriger der Wert ist, desto näher kommen die Vorausberechnungen an die beobachteten Daten heran. Der Zeitraum der Vergleichsanalyse beträgt 15 Jahre für Cuxhaven und Borkum, 5 Jahre für St. Pauli und 7 Jahre für Helgoland. Die Daten, die mit schweren Wetterbedingungen verbunden sind (Sturmfluten), wurden nicht berücksichtigt. In den folgenden Abbildungen beziehen sich die Abkürzungen »HAR« und »DU« auf das Verfahren der harmonischen Analyse bzw. der Darstellung der Ungleichheiten, und »BEO« auf die Beobachtungen.

Abb. 2 zeigt die Standardabweichungen der Höhenunterschiede. Sie umfassen Werte von ca. 20 bis 50 cm, die dem starken Einfluss meteorologischer Faktoren entsprechen. Beide Methoden zeigen kohärente und ähnliche Ergebnisse, die sich nur durch einige cm voneinander unterscheiden.

Abb. 3 stellt die Standardabweichungen der Eintrittszeitunterschiede dar, die die 15-Minuten-Grenze nicht überschreiten. Beide Verfahren ergeben ähnliche Werte bei Hoch- oder Niedrigwasser, deren Unterschiede kürzer als eine Minute sind. Die maximale Spanne der Abweichungsreihen beträgt ca. 6 Minuten. Dies bedeutet, dass die Zeitintervalle bzw. die Eintrittszeiten weniger von den wetterbedingten Störungen betroffen sind als die Höhen.

Als Schlussfolgerung wird am Beispiel der Datenauswertung der vier oben genannten Pegelstationen und der entsprechenden Vergleichsanalyse bestätigt, dass die in dieser Untersuchung vorgelegte neue harmonische Methode ähnlich präzise Ergebnisse wie das Verfahren der Darstellung der Ungleichheiten für die Ermittlung der Hoch- und Niedrigwasser liefert. Der Hauptfaktor dafür ist, dass für die Durchführung der harmonischen Analyse eine ausreichende Anzahl von Teiltiden (astronomische Tiden, Seichtwassertiden, und deren Nebentiden) bei jeder Tidenart eingesetzt werden müssen, die den Zugriff auf nodale Korrekturen unnötig machen, und die die komplizierte Verbreitung der Gezeiten im Küstenbereich der Deutschen Bucht realistisch darstellen. Dies betrifft insbesondere die Seichtwassertiden höherer Frequenzen, die bis zu den zwölfeltägigen Tiden berücksichtigt werden müssen.

Die oben genannten Schwächen der bisher im DHI erprobten harmonischen Verfahren entstehen prinzipiell aus folgenden Gründen: ein begrenzter Entwicklungsgrad des Gezeitenpotenzials, der zu einer ungenauen Bestimmung von nodalen Korrekturen führt, und die Verwendung einer beschränkten Anzahl von Seichtwassertiden, die für die harmonische Gezeitenvorausberechnung in Flachwassergebieten ungeeignet ist. Diese Mängel können auf die Leistung der vorherigen EDV-Prozeduren zurückgeführt werden, die in den letzten Dekaden nicht die aktuellen IT-Standards erreichte.

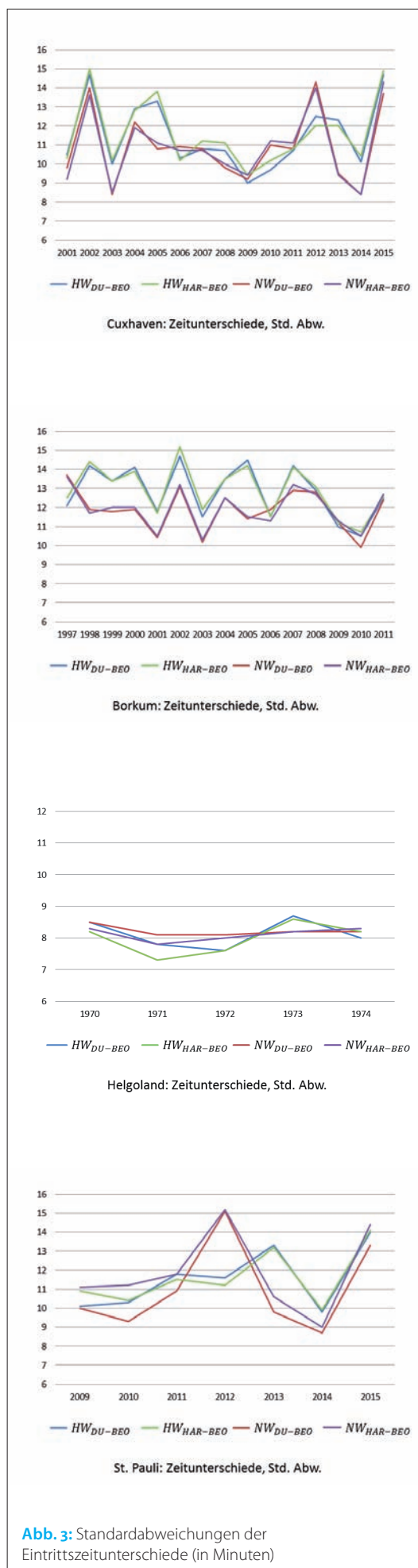


Abb. 3: Standardabweichungen der Eintrittszeitunterschiede (in Minuten)

#### Sonderpublikation

Dieser Beitrag basiert auf einer ausführlichen Untersuchung, die als DHyG-Sonderpublikation erschienen ist und auf der DHyG-Website zum Download bereitsteht (dhyg.de), DOI: 10.23784/DHyG-SP\_001

# »Der Hydrograph lebt davon, dass andere mit ihm im Austausch stehen«

Ein Wissenschaftsgespräch mit HARALD STERNBERG\*

Harald Sternberg ist seit dem Jahr 2001 Professor in Hamburg, zuerst an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften (HAW), dann an der HafenCity Universität (HCU). Seine Schwerpunkte waren bislang die Ingenieurgeodäsie und die geodätische Messtechnik. Im November 2017 übernahm er überraschend die Professur für Hydrographie und Geodäsie. Im Wissenschaftsgespräch verrät er, wie sich Studium und Lehre verändern werden, wann Hydrographen ungenauer messen sollten, was wir von lernenden Maschinen erwarten dürfen und warum Ingenieure für das Gute verantwortlich sind.

\* Das Interview mit Prof. Dr.-Ing. Harald Sternberg führte Lars Schiller am 17. Mai 2018 in Hamburg.

HCU | Hydrographieausbildung | Professur | Category A | Laserscanner | Smartphone | Technologiesprünge  
Multi-Sensor-System | künstliche neuronale Netze | persönliche Zertifizierung | E-Learning

[In den letzten Tagen berichtete die Hamburger Presse mehrfach über Proteste der Studierenden, der wissenschaftlichen Mitarbeiter, aber auch einiger Professoren gegen das HCU-Präsidium. Um was geht es bei den Vorwürfen?](#)

Bei den Protesten werden meines Erachtens persönliche und funktionale Dinge vermischt. Auf der einen Seite stehen persönliche Eigenschaften von Menschen, auf der anderen Seite steht die Funktion, die ein Kanzler, der aufs Geld achtet, haben muss. Seit die Universität 2006 gegründet wurde, verfolgt das Präsidium einen Sparkurs. Das musste es auch, weil die Gründungsphase nicht optimal lief. Diese Vermischung sieht man auch in den Presseartikeln. Einerseits wird autoritäres Verhalten angekreidet. Andererseits wird der Vorwurf laut, dass es nicht rund läuft und zu viel gespart wird. Im nun anstehenden Mediationsprozess muss erst einmal das eine vom anderen getrennt werden. Dass die Kanzlerin aufs Geld achtet, ist funktional bedingt. Wo es hingegen persönliche Ungleichgewichte gibt, muss man nachbessern.

[Wie ist die Stimmung an der HCU, wirkt sich das Ganze auf die Lehre und das Studium aus?](#)

Es ist sehr unterschiedlich. Die Ingenieurstudiengänge haben nicht das Gefühl, zu kurz zu kommen. Sie sind ganz gut ausgestattet. Dem Bauingenieurwesen und der

Geodäsie geht es, was Labore und Geräte betrifft, nicht schlecht. Manches verdankt sich zwar Eigeninitiative, wenn beispielsweise ein DFG-Großgeräteantrag bewilligt wird, dann kommen die Geräte eben allen zugute. Mittlerweile ist auch die Situation in den Lehrräumen ordentlich. Das

war 2014, als wir das neue Gebäude in der HafenCity bezogen haben, noch nicht der Fall. Ein Jahr lang mussten Mängel abgestellt werden. Auch die Lernsituation ist für den Großteil der Studierenden eigentlich ganz gut. Einige aber fordern mehr studentische Arbeitsplätze. Wir mussten einige Arbeitsplätze im Gebäude abbauen, damit wir ausreichend Unterrichtsräume haben. Mittlerweile gibt es studentische Arbeitsplätze außerhalb des Gebäudes, die 24 Stunden am Tag genutzt werden können. Manchen reicht das aber nicht. Hinzu kommt, dass nicht klar ist, welche Rollen und Anliegen die einzelnen Akteure haben. Dadurch ist die Stimmung ein bisschen eigenartig. Dennoch funktioniert das meiste auf der normalen persönlichen Ebene ganz gut.

[Inwiefern sind Sie als Vizepräsident für Lehre und Studium von den Vorwürfen betroffen?](#)

Bisweilen heißt es, das ganze Präsidium sei für die schlechten Zustände verantwortlich und solle vom Hof gejagt werden. Bisweilen richtet sich die Kritik aber differenziert an den Präsidenten und die Kanzlerin. Angeschossen fühle ich mich durchaus. Die Situation ist nicht angenehm.

[Der Posten als Vizepräsident läuft wahrscheinlich nicht nebenher. Was sind Ihre Aufgaben?](#)

Für die Tätigkeit bin ich zur Hälfte von der Lehre freigestellt. Von der Forschung kann man nicht freigestellt werden, sonst verliert man den Anschluss. Zu meinen Aufgaben gehört alles, was mit Lehre und Studium zu tun hat. Für das Studium ist hauptsächlich die Studierendenverwaltung zuständig. Die musste in den Anfangsjahren erst einmal aufgebaut werden. Mittlerweile funktioniert das personell stabil. Heute geht es noch darum, die Ordnungen mitzugestalten, die das Leben an der Hochschule für die Studierenden regelt, Immatrikulationsordnungen, besondere Studienprüfungsordnungen. Außerdem bin ich verantwortlich für die ganze Akkreditierung und Reakkreditierung der Studiengänge. Als Universi-

»Bei der Ausschreibung der neuen Professur wollten wir deutlich machen, dass wir über die Verbindung zur Geodäsie in der Messtechnik beheimatet sind. Die Messtechnik sollte im Fokus sein, nicht die Interpretation der Daten«

Prof. Harald Sternberg



tät wollen wir, dass alle unsere Studiengänge von einem Externen überprüft wurden. Deswegen streben wir immer die klassische Studienprogrammakkreditierung an, nicht die Systemakkreditierung. Dann gehört noch die sogenannte Bachelor- und Master-School dazu, wo sich alle Studiendekane treffen, um zu beratschlagen, wie das Zusammenleben der Studiengänge weiter gestaltet werden kann. Ein wichtiger Teil sind die vielen interdisziplinären Projekte, die fachübergreifenden Studienangebote (FaSt) und Regelungen, die über alle Studiengänge gemeinsam gelten sollen. Personell direkt verantwortlich bin ich für die sogenannten Programmgeschäftsführungen. Die sind eingesetzt worden, die Studienorganisation innerhalb eines jeden Studienprogramms zu regeln. Damit sind sie erster Ansprechpartner für alle Lehrenden, aber auch Schnittstelle zwischen den Lehrenden, den Studierenden und der Verwaltung.

#### Wie lange läuft Ihre Amtszeit noch?

Meine Amtszeit endet 2019, dann bin ich zehn Jahre lang VPL gewesen. Ich wollte die Übergangsphase von der Fachhochschule zur Universität mitgestalten, wollte sehen, wie Änderungen, die ich mit angeschoben habe, auch zum Wirken kommen. Nach zehn Jahren würde ich mich wieder mehr auf die Forschung konzentrieren wollen.

Seit dem tragischen Unfall von Volker Böder vor nunmehr bald sechs Jahren war die Stelle der Hydrographie-Professur fünf Jahre lang nicht mehr regulär besetzt. Eine nicht verlängerte Vertretungsstelle und zwei erfolglose Ausschreibungen später – warum ist es so schwierig, jemand geeigneten zu finden?

Hydrographie gibt es nur einmal in Deutschland und erst seit zwölf Jahren an einer Universität. Damit gibt es noch keinen eigenen akademischen Nachwuchs. Es gab noch niemanden, der promoviert hat, in der Wirtschaft gearbeitet hat und sich nun hätte bewerben können. Deshalb war auch klar, dass wir auf europäischer und internationaler Ebene suchen mussten und dabei auch die verwandten Wissenschaften mit in Betracht ziehen wollten. Bei der Ausschreibung wollten wir aber auch deutlich machen, dass wir über die Verbindung zur Geodäsie in der Messtechnik beheimatet sind. Die Messtechnik sollte im Fokus sein, nicht die Interpretation der Daten, wie es in Geologie und Geographie der Fall wäre. Die Berufungskommission hat die Ausschreibung weit gestreut, auch gezielt potenzielle Bewerber angesprochen. Aber es gab einfach nicht so viele Interessenten. Bei Volker Böder hatten wir das Glück, einen Geodäten zu haben, der schon einen Bezug zur Vermessung auf dem Wasser hatte und der sich die Unterwasser- messtechnik aus dieser Richtung erschließen konnte.

Das steht Ihnen jetzt auch bevor. Ende des letzten Jahres haben Sie die Professur für Hydrographie schließlich selbst übernommen.



Foto: HCU (Ausschnitt)

**Bisher erschienen:**

Horst Hecht (HN 82),  
 Holger Klindt (HN 83),  
 Joachim Behrens (HN 84),  
 Bernd Jeuken (HN 85),  
 Hans Werner Schenke (HN 86),  
 Wilhelm Weinrebe (HN 87),  
 William Heaps (HN 88),  
 Christian Maushake (HN 89),  
 Monika Breuch-Moritz (HN 90),  
 Dietmar Grünreich (HN 91),  
 Peter Gimpel (HN 92),  
 Jörg Schimmeler (HN 93),  
 Delf Egge (HN 94),  
 Gunther Braun (HN 95),  
 Siegfried Fahrentholz (HN 96),  
 Gunther Braun, Delf Egge, Ingo Harre, Horst Hecht, Wolfram Kirchner und Hans-Friedrich Neumann (HN 97),  
 Werner und Andres Nicola (HN 98),  
 Sören Themann (HN 99),  
 Peter Ehlers (HN 100),  
 Rob van Ree (HN 101),  
 DHyG-Beirat (HN 102),  
 Walter Offenborn (HN 103),  
 Jens Schneider von Deimling (HN 104),  
 Mathias Jonas (HN 105),  
 Jürgen Peregovits (HN 106),  
 Thomas Dehling (HN 107),  
 Egbert Schwarz (HN 108),  
 Ingo Hennings (HN 109)

In der Tat muss ich die Unterwasserwelt noch mehr kennenlernen. Ein bisschen Gelegenheit hatte ich dazu schon. Nachdem die Vertretungsprofessur ausgelaufen war, habe ich schon einige Vorlesungen übernommen. Auch Masterarbeiten habe ich schon betreut. Ich war in die Ausschreibung des neuen Bootes involviert und war beteiligt an den Überlegungen zur Neuausrichtung der Professur. Durch all das kam ich in Kontakt mit der Sensorik und Algorithmik.

**Für viele dürfte Ihre Berufung überraschend gewesen sein, da Sie bislang eher in der Ingenieur-geodäsie von sich reden gemacht haben. Wie kam es zu Ihrer Entscheidung?**

Zum einen habe ich in den letzten Jahren bereits Hydrographie-Vorlesungen gehalten, zum anderen war ich immer ein Verfechter davon, die Hydrographie in Hamburg zu halten. Mir ist es wichtig, dass wir im Masterstudium diese Vertiefungsrichtung haben. Auf keinen Fall wollte ich, dass die Vertiefung eingeht, nur weil wir keinen Professor haben. Wir brauchten dringend jemanden, der sich mehr und verantwortlich um das Programm kümmert. Der Kontakte zu anderen Universitäten oder Forschungseinrichtungen knüpft. Mittlerweile habe ich mitbekommen, dass die Überschneidungen zwischen der Geodäsie, wie ich sie bisher betrieben habe, und der Hydrographie doch sehr groß sind. Wir diskutieren über ähnliche Fragestellungen. Insofern profitiere ich sehr von meinen Vorerfahrungen.

**Wie waren denn die ersten Vorlesungen zur Bestimmung von Position und Wassertiefe im Wintersemester?**

Die eine Hälfte, die Bestimmung der Position, war ganz einfach. Schon in meiner Promotion habe ich mich mit kinematischen Messsystemen beschäftigt. Alles, was über Wasser abläuft, ist mir mehr als geläufig. Das hatte ich auch schon vorher

in der Vorlesung »Integrierte Navigation« gemacht, die ich auch jetzt wieder halte. In die Unterwasserwelt hingegen musste ich mich ein bisschen reinfinden. Aber ob ich nun sich ausbreitende Schall- oder Lichtwellen habe – das sind beides ähnliche Phänomene und man kann gut Analogien herstellen. Da es nur eine Grundvor-

lesung ist, konnte ich es gut machen. Nun muss ich mich noch in die Feinheiten vertiefen.

**Spüren Sie da selbst ein Defizit?**

Ich merke da schon ein Defizit. Aus diesem Grund bin ich im Winter auch auf der *Sonne* mitgefahren. Ich wollte einfach einmal längere Zeit ein typisches hydrographisches Arbeitsumfeld erleben, wollte sehen, was da passiert, wie es passiert, wie die einzelnen Menschen zusammenwirken. Der Hydrograph ist ja normalerweise nicht für sich selbst da, er lebt davon, dass andere Wissenschaft-

ler mit ihm im Austausch stehen. Der Biologe, der Geologe. Ich fand sehr interessant, wie das ineinander kommt. Und ich hoffe, noch mehr solcher Experimente mitmachen zu können, um das, was mir an praktischer Erfahrung noch fehlt, wettmachen zu können. Theorie kann man verstehen, aber es ist einfach gut, manches mal in der Praxis gemacht zu haben. Erst dann weiß man, wo die wirklichen Probleme liegen.

**Über das nächste Weihnachtsfest geht es also wieder auf die Sonne?**

Über den Jahreswechsel wohl eher nicht mehr, das fand die Familie nicht ganz so gut. Aber es bieten sich auch im nächsten Jahr wieder Fahrten auf der *Sonne* an, genauso wie auf unserem eigenen Forschungsschiff, das sich gerade in Bau befindet. Ich kann nur jedem empfehlen, mal auf einem Schiff mitzufahren.

**Zu Ihren Anfängen: Hatten Sie nach dem Abitur bereits eine klare Vorstellung davon, was Sie werden wollen? Was hat Sie dazu verleitet, Vermessungswesen an der Universität der Bundeswehr in München zu studieren?**

Ich hatte eine klare Vorstellung, ich wollte bei der Bundeswehr in München studieren, um von zu Hause wegzukommen. Ich wollte nicht in der Universitätsstadt Erlangen bleiben, sondern mir mein eigenes Leben aufbauen. Vermessungswesen fand ich interessant, weil es mit Mathematik zu tun hat und mit der Erde, und weil das Berufsbild auch praktische Tätigkeiten vorsieht. Die Idee, abwechselnd draußen zu arbeiten und im Büro, klang gut. Während des Studiums fand ich diese Kombination noch überzeugender. Deshalb habe ich mir während meiner Truppendiensttätigkeit überlegt, welche anderen Tätigkeiten es bei der Bundeswehr noch gibt und wie ich im Rahmen der Bundeswehrzeit wieder zurück an die Universität kommen würde.

**Zunächst waren Sie nach dem Studium aber als Artillerieoffizier unterwegs.**

Offiziell war ich Drohneneinsatzoffizier, nur dass es damals keine Drohne gab, weshalb ich Fernmeldeoffizier gewesen bin und S2-Sicherheitsoffizier. Zwischendurch habe ich eine Batterie geführt. Dadurch konnte ich andere Qualitäten ausbauen, hatte mehr mit Menschen und mit Führung zu tun. Mit Vermessung hatte ich in der Zeit wenig Berührung. Ich habe weder den Vermessungszug geführt noch den Schallmesszug. Deswegen brauchte ich etwas Zeit, als ich fünf Jahre später wieder auf der Mitarbeiterstelle bei der Bundeswehr angefangen habe, um in die Neuerungen der Vermessungstechnik einzusteigen. Am Ende meines Studiums, 1986, gab es erst zwei GPS-Satelliten, als ich nach fünf Jahren wiederkam, gab es Systeme, mit denen man auch wirklich messen konnte.

**Wie oft kommt es zu solchen Technologiesprüngen?**

Diese Sprünge gibt es immer wieder. Eines Tages war der terrestrische Laserscanner da. Durch

»Der Hydrograph ist normalerweise nicht für sich selbst da, er lebt davon, dass andere Wissenschaften mit ihm im Austausch stehen«

Prof. Harald Sternberg



Laserscanning konnte die Umwelt plötzlich ganz anders erfasst werden. Am Ende meiner Promotion hatten wir auf unserem kinematischen System gerade eine Kamera installiert. Und plötzlich war klar, dass auf jedes Mobile-Mapping-System ein Laserscanner gehört. Die nächsten Sprünge kündigen sich gerade an. Durch die Algorithmen, die aus der Computervision zurück in die Bildanalyse kommen, können wir mit den Bildern noch einmal ganz anders umgehen. Das wertet die Photogrammetrie noch einmal deutlich auf. Und dann kommen das Machine Learning oder die künstlichen neuronalen Netze auf uns zu, wie auch immer man das bezeichnen soll. Wir werden uns Verfahren überlegen müssen, wie wir mit den ganzen Massendaten umgehen, um überhaupt noch auswerten zu können.

**Das können Hydrographen doch, die haben immer schon sehr viele Daten erfasst und verarbeitet.**

Da sehe ich wieder eine Verknüpfung. Ob Laserpunktewolken oder bathymetrische Punktewolken, die Ähnlichkeiten sind frappierend. Die einen nutzen rückgestreute Intensitätswerte, die anderen den Backscatter. Beide Seiten brauchen Machine Learning, um die Datensätze automatisch auswer-

ten zu können und einen Mehrwert rauszuholen, wobei zum Beispiel Geometrie und Intensität miteinander kombiniert werden.

**Wie optimistisch sind Sie denn, dass die Maschinen neue Erkenntnisse liefern können?**

Ich glaube, dass wir diese Maschinen dazu bringen können, einfach definierte Objekte gut zu erkennen. Erste Algorithmen funktionieren schon ganz gut. Schwierig wird es, wenn die Objekte nicht mehr so einfach zu beschreiben sind, also genau da, wo auch der Mensch seine Probleme hat. Wir werden die Lernalgorithmen so konzipieren müssen, dass die Maschine mit dem unbekanntem Fuzzy-Objekt umgehen kann. Wir müssen die Lernumgebung optimieren. Doch da werden hoffentlich Grenzen bleiben. Nicht alles wird man lösen können. Die große Masse jedoch werden die Maschinen dem Menschen abnehmen können, 80, 90 Prozent sind dann sauber bearbeitet. Nur

*»Die nächsten Technologiesprünge kündigen sich gerade an. Durch die Algorithmen, die aus der Computervision zurück in die Bildanalyse kommen, können wir mit Bildern noch einmal ganz anders umgehen«*

Prof. Harald Sternberg

scan  map

**Professionelle 3D Mobile Mapping Lösungen aus einer Hand.**



 **ALLTERRA**  
AllTerra Deutschland GmbH

**Zum Beispiel mit dem Trimble MX7. Wir beraten Sie gern!**  
Tel. 05031 51780 | [www.allterra-dno.de](http://www.allterra-dno.de)

um den Rest muss sich noch jemand kümmern. Ich glaube also nicht an die Vorstellung, dass man nur einmal die Elbe entlangfahren muss und danach alles hat. Aber für bestimmte Objekte wird es funktionieren, wenn das System gut angelernt ist. Und bei einer Vielzahl von Fällen wird man sich fragen müssen, ob sie überhaupt interessant sind. Manches wird man erst im nächsten Schritt angehen. Insgesamt aber bin ich optimistisch, ich habe ja nichts zur Zeitspanne gesagt.

Zurück nach Neubiberg, an das Institut für Geodäsie, wohin Sie 1991 nach fünf Jahren als Artillerieoffizier zurückgegangen sind. Dort waren Sie gut zehn Jahre, zuerst als wissenschaftlicher Mitarbeiter, dann als wissenschaftlicher Assistent. Was ist der Unterschied zwischen Mitarbeiter und Assistent?

In der Zeit als Mitarbeiter war ich als Soldat beschäftigt, in diesen ersten Jahren hat mich der militärische Teil der Bundeswehr bezahlt. Dann bekam ich Übergangsgebühren und saß auf einer Hilfskraftstelle. Für meinen Professor war ich damals recht günstig. Nach fünf Jahren wurde ich wissenschaftlicher Assistent und saß auf einer C1-Stelle, einer richtigen Universitätsstelle. Von wem ich bezahlt wurde, hatte auf meine Arbeit inhaltlich keinen Einfluss. Ich habe das Gesamtprojekt »Kinematisches Vermessungssystem« geleitet und mich um die Trajektorie gekümmert, aber auch um die anderen fünf Mitarbeiter, die sich mit den optischen Sachen auseinandergesetzt haben und mit den Filtertechniken.

Möglicherweise haben Sie, als Sie noch wissenschaftlicher Assistent in München waren, Ihr erstes Hydrographieprojekt bearbeitet. Sie haben in Botswana das Höhenprofil eines Flusssystemes bestimmt. Um was ging es genau?

Der schöne Fluss Okavango kommt aus den Bergen und versickert in der Wüste in einem wunderschönen breiten Delta. Die Geologen sind sich nicht sicher, ob die ganze Scholle kippt. Deswegen wurden dort Messungen des Erdschwerefeldes gemacht, also Gravimetermessungen, um den Verlauf des Geoids zu beschreiben. Im Sumpfgebiet selbst und auf den Inseln konnte man diese Messungen nicht machen. Deswegen haben wir uns spezielle Messverfahren

überlegt. Wir haben GPS-Messungen, aus denen wir ellipsoidische Höhen rausbekamen, und Nivelliermessungen, aus denen orthometrische Höhenunterschiede resultierten, kombiniert. Den Flusslauf haben wir nur als Transportmittel benutzt, und um den Höhenanschluss über das Nivellement zu nehmen.

An Multi-Sensor-Systemen geht in der Hydrographie nichts vorbei. Damit kennen Sie sich aus,

seit Sie sich in Ihrer Promotion mit hybriden Messsystemen beschäftigt haben, wenn auch im Zusammenhang mit Landfahrzeugen. Lässt sich das vom Land aufs Wasser übertragen?

Von Land auf Wasser vielleicht schon. Auf dem Land lernt man, welche Probleme es bereitet, die unterschiedlichen Sensoren zu kombinieren. In der Luftfahrt ist das anders, da funktioniert alles immer wunderbar. GNSS ist immer da, nie kommt es zu Abschattung. Beim Landbetrieb hingegen, in Städten oder Waldgebieten sind nicht immer genügend Satelliten sichtbar und man benötigt vernünftige Kombinationsalgorithmen. Oder die Inertialsysteme, die sind mit ihren internen Filtern und Auswertemethoden auf eine bestimmte Umgebung optimiert, sowohl was die Stützung betrifft als auch den Dynamikbereich. Bei einem Luftfahrzeug ist das wieder kein Problem, weil sich das sehr gleichmäßig bewegt. Das hat eine hohe Geschwindigkeit bei einer ganz gleichmäßigen Dynamik. Fahrzeuge auf dem Land hingegen halten plötzlich an, fahren um die Kurve oder weichen aus, bleiben also nicht in der Spur, bekommen eine leichte Drift. In den Kurven gibt es Schwimmwinkel wie bei einem Boot, man muss dann darauf achten, wohin die Fahrzeugachse zeigt und wie die Bewegungsrichtung ist. Die Problematiken der Sensorik und der Bewegung lassen sich also durchaus aufs Wasser übertragen. Klar ist auch, dass man nicht mit zwei Sensoren auskommt. Wir brauchen weitere Sensoren für die Geschwindigkeitsmessung, optische Sensoren oder welche am Fahrzeug. Beim Schiff eben ein Doppler-Log mit Radartechnik. In jedem Fall muss klar sein, dass es verschiedenste Techniken gibt, die immer wieder andere Probleme verursachen. Und immer wieder muss man überlegen, wie man das Fehlverhalten beschreiben kann oder korrigieren kann. Meine Erfahrung zeigt, dass die Kombination GPS/INS nicht funktionieren kann, wenn ein nicht abgestimmter Filter eingesetzt wird. Das gilt fürs Land genauso wie fürs Wasser.

Zuletzt haben Sie sich – ausweislich Ihrer Publikationsliste – überwiegend mit Indoor-Navigation und Laserscanning beschäftigt. Wie lässt sich Laserscanning in der Hydrographie einsetzen?

Den Laserscanner gibt es ja schon etwas länger auf den kinematischen Systemen. Auf einem Schiff wird er eingesetzt, um zum Beispiel bei Hafenanlagen den über Wasser liegenden Teil mit aufzunehmen. Der Vorteil ist, dass bei nur einem einzigen Messlauf die Daten sowohl oberhalb als auch unterhalb der Wasserlinie aufgenommen werden und damit sehr gut zusammenpassen. Komplizierte Transformationen sind keine erforderlich. Man erhält eine viel komplettere Objektbeschreibung.

Sind Laserscanner denn auch unter Wasser denkbar?

Die sind sowohl denkbar als auch machbar. Am Fraunhofer-Institut in Freiburg werden solche

»Die Maschinen können dem Menschen eines Tages die große Masse abnehmen, Aber ich glaube nicht an die Vorstellung, dass man nur einmal die Elbe entlangfahren muss und danach alles hat«

Prof. Harald Sternberg



Unterwasserlaserscanner entwickelt, wenn auch am Anfang noch nicht für die speziellen Anforderungen einer Vermessung unter Wasser. Wir haben gute Kontakte, und ich hoffe sehr, dass wir bei den Projekten beteiligt werden, sobald sich abzeichnet, dass die Geräte sinnvoll für hydrographische Zwecke einsatzbereit sind, um sie für unsere Aufgabenstellungen zu optimieren.

**Geht es da um Kaimauerinspektionen oder um ganze Gewässervermessungen?**

Diese Laserscanner sollen dahingehend optimiert werden, dass man mit ihnen großräumig richtig flächenhaft vermessen kann. Heute werden ja schon günstige Laserscanner verwendet, luftgestützt, mit einem roten und einem grünen Laserstrahl, um die Wasseroberfläche und den Grund von Wasserläufen zu erhalten. Das funktioniert, solange das Wasser klar ist. Jetzt wird versucht, den Laserscanner *im* Wasser einzusetzen, wodurch die Grenzschicht wegfällt. Außerdem werden die Energien so gebündelt, dass man auch durch trübes Wasser mit vernünftigen Reichweiten durchkommt.

**Nachdem heute Smartphones für die Indoor-Navigation genutzt werden können – was können Hydrographen morgen outdoor von ihren Smartphones erwarten?**

Andersrum. Die Entwicklung indoor wurde durch einen anderen Sprung getrieben: Plötzlich gab es überall MEMS, günstige Sensoren, für die wir bisher viel Geld zahlen mussten. Heute enthält ein Smartphone ein komplettes inertiales Navigationssystem, drei Kreisel, drei Beschleunigungsmesser, ein Barometer. Und das Ganze in einer nicht gekannten Preisklasse. Wir haben uns gefragt, wie wir das nutzen können. Natürlich für die Navigation. Aber dann haben wir uns überlegt, dass man mit dem Gerät, mit dieser einfachen Technologie, auch unbekannte Gebäude aufnehmen kann. Zwar nur mit einfacher Genauigkeit, dafür aber sehr, sehr schnell. Diese Low-cost-Sensoren sind aber auch für andere Fragestellungen gut. Im Rahmen einer Masterarbeit hat sich ein Student damit beschäftigt, so ein Low-cost-System für Segler zu bauen, auf dass die ganz einfach die Tiefe messen können, wenn sie an der Küste entlangfahren oder in den Hafen kommen. Die Idee war, mit einem einfachen Aufzeichnungsgerät für den Massenmarkt die Tiefenmessung zu machen und die Karten aufzudatieren. Ein Smartphone wäre dafür sicherlich geeignet, weil man damit alle möglichen Sensoren steuern und überwachen kann. Aber bei der Grundidee stand nicht das Smartphone im Mittelpunkt, vielmehr wollten wir die günstigen Sensoren verwenden, die zufällig schon im Smartphone eingebaut sind.

**Wird das denn zum Beispiel im Rahmen von OpenSeaMap konkret? Da soll ja auch die Masse Daten sammeln.**

Tatsächlich war genau das die Idee, ein Gerät für OpenSeaMap zu entwickeln. Bloß im ersten Versuch hat es noch nicht funktioniert. Der Sensor,

der zur Tiefenmessung verwendet wurde, ein Fishfinder, ist vom Handling zu kompliziert gewesen. Ich setze einfach darauf, dass ein Sensor auf den Markt kommt, der noch einfacher ist. Der große Vorteil in diesem Bereich des Marktes ist, dass jeder in Richtung »open« denkt – open source, open data, open interface. Dadurch ist viel mehr möglich, die Daten sind weniger gekapselt, der Datenaustausch wird forciert. Und wenn der Preis stimmt, werden die Segler so ein System auch nutzen.

**Als Geodäten und Hydrographen sind wir es ja seit jeher gewohnt, möglichst genau zu messen. Plötzlich wird der Anspruch aufgeweicht, man schaut auf einen Massenmarkt und toleriert Daten, die ganz offensichtlich nicht mehr so genau sind.**

Ich komme ja aus der Ingenieurgeodäsie, da äußern die Kunden oft den Wunsch nach höchster Genauigkeit. Wir fragen dann nach: »Was bedeutet das für Sie, relativ, absolut, und sind Sie bereit, das zu zahlen?« Oft merken wir dann, dass für viele Anwendungsfälle eine Genauigkeit ausreichend ist, die ganz anders ist als die, nach denen Geodäten immer streben. Weil wir diese andere Genauigkeit immer außenvorgelassen haben, ist der ganze Navigationsmarkt bei den Elektrotechnikern gelandet. Das könnte auch hier passieren. Dabei haben wir die Kompetenz in Datenerfassung und Datenbeurteilung. Wir

können die gewünschte Qualität garantieren, desgleichen die Zuverlässigkeit, die Abdeckung, die Verfügbarkeit. Wir haben auch Lösungen, wenn es mal weniger genau sein darf. Es ist einfach nicht passend, sich als Geodät auf das hohe Ross zu setzen und nur die höchste Genauigkeit zu verkaufen.

**Ein paar Fragen zum gegenwärtigen Studienangebot: Wie haben sich die Studierendenzahlen seit der Umstellung auf englischsprachige Vorlesungen entwickelt?**

In der Übergangszeit von der Fachhochschule zur Universität, vom Diplom zum Bachelor und Master hatten wir bei allen Studiengängen massive Probleme und nur sehr wenige Studierende. Doch das hat sich gegeben. Ich kann nicht beurteilen, ob viele Deutsche sich von der englischen Sprache abschrecken lassen. Festzustellen ist aber, dass das Englische im ganzen Vorlesungsbetrieb viel natürlicher geworden ist. Schon im Bachelor werden einzelne Kurse auf Englisch gehalten. Und jedem ist klar, dass man die englische Sprache können sollte. In der Hydrographie sind

*»Es ist einfach nicht passend, sich als Geodät auf das hohe Ross zu setzen und nur die höchste Genauigkeit zu verkaufen. Für viele Anwendungsfälle ist eine geringere Genauigkeit vollkommen ausreichend. Weil wir diese andere Genauigkeit immer außenvorgelassen haben, ist der Navigationsmarkt bei den Elektrotechnikern gelandet.«*

Prof. Harald Sternberg



### Ingenieurvermessung

Hochbauten • Industrieanlagen • Kraftwerke

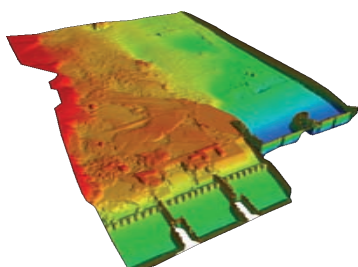
### Hydrographie

Stauseen • Talsperren • Kieswerke • Flüsse und Häfen

### UAV-/Drohnenvermessung

Georeferenzierte Orthophotos • 3D-Modelle (DGM)  
Inspektionsflüge • Infrastrukturprojekte

Besuchen Sie uns beim  
Hydrographentag in Lindau (Bodensee)  
12. bis 14. Juni  
Stand 13



## IngenieurTeam Geo GmbH

Industriestraße 3 76189 Karlsruhe

Tel. : +49 721 79072-0 Info@it-geo.de www.it-geo.de



unsere Masterstudierenden zum Großteil international.

**Wie viele Studenten sind es zurzeit?**

Momentan sitzen 13 Hydrographiestudierende in meiner Vorlesung, was ein normaler Mittelwert ist. Unser Masterstudiengang »Geodäsie und Geoinformatik« hat mit den drei Vertiefungsrichtungen »Messtechnik«, »Hydrographie« und »Geoinformationstechnologie« offiziell 30 Plätze, wir haben aber immer so ungefähr 40 Studierende. Da der Masterstudiengang nicht zulassungsbeschränkt ist, können wir mehr aufnehmen. Die Hydrographie hat immer zwischen 10 und 15 Studierende, recht konstant.

**Wie viele Hydrographiestudierende könnten denn aufgenommen werden?**

Der Kurs könnte durchaus größer werden. Ein Engpass ist das Schiff, auf dem vier Studierende mitfahren können. Bei zwölf Studierenden sind es drei Fahrten, was gut machbar ist. Bei 30 Studierenden müssten wir andere Lösungen finden. Die letzten Jahre ohne Schiff haben wir ja auch irgendwie überbrückt, indem wir HPA-Schiffe genutzt haben oder die *Ludwig Prandtl*. Diese zusätzlichen Schiffskapazitäten könnten wir sicherlich wieder nutzen, wenn plötzlich mehr Studierende da wären. Berücksichtigen müssen wir aber auch, dass manche Vorlesungen zusammen mit anderen Vertiefungsrichtungen laufen, zum Beispiel die Vorlesung über Höhere Geodäsie oder die über GNSS. Da würde es dann eng werden.

**Wäre es denn realistisch, auf einmal so viele Studierende zu haben?**

Es ist wohl nicht wirklich wahrscheinlich. Andererseits haben wir in den letzten Jahren nicht allzu viel Werbung gemacht, weil einfach nicht klar war, wie es mit dem Studiengang weitergeht. Erst auf der letzten HYDRO in Rotterdam haben wir unseren Studiengang wieder deutlicher präsentiert. Wir sind jetzt gefestigt, die Professur ist besetzt, wir haben Mitarbeiter, wir werden das Schiff haben. Nun können wir den Studiengang wieder offensiver bewerben. Auch bei den Universitätsstandorten in Deutschland, wo wir eine Klientel vermuten, die genug Verständnis für die Messtechnik mitbringt.

**Wer außer Geodäten kommt denn noch für das Studium infrage?**

Ozeanographen, die haben ein Verständnis vom Wasser und könnten sich bestimmt in die Messtechnik reindenken. Auch Maschinenbauer verfügen über Messtechnikkompetenzen. Und es gibt sicherlich noch einige andere Bereiche.

**Zum Beispiel Geologen oder Geographen?**

Wir lehnen keinen ab. Vielmehr sorgen wir mit ergänzenden Tutorien dafür, dass jeder das noch Unbekannte nachholen kann. Bei den Geoinformationstechnologen merken wir aber, dass vielen Geographen das messtechnische Verständnis fehlt. Und es ist wirklich aufwendig, denen die Basics von Geodäsie beizubringen. Das müssen wir aber tun, schließlich steht auf deren Zeugnis-

sen ja später mal »Geodäsie und Geoinformatik« drauf.

**Damit das Studienangebot der Hydrographie aufrechterhalten werden konnte, mussten in den letzten Jahren einige Lehrbeauftragte einspringen. Welche Erfahrungen haben Sie damit gemacht?**

Man muss unterscheiden. Auf der einen Seite stehen die Lehrbeauftragten, die wir immer haben. Diese echten Fachleute können mit ihrer Berufserfahrung ganz anders vermitteln, wie die Theorie in der Praxis umgesetzt wird. Das wollen wir unbedingt beibehalten. Auf der anderen Seite waren die Lehrbeauftragten, die uns ausgeholfen haben und zum Teil sehr kurzfristig eingesprungen sind. Ohne die hätten wir es nicht geschafft, den Lehrbetrieb aufrechtzuerhalten. Aber für die reine Wissensvermittlung brauchen wir einen zuständigen Professor. Auf Dauer konnte

es keine Lösung sein, die Vorlesungen von Lehrbeauftragten bestreiten zu lassen. Die sind einfach ganz anders in die Hochschulwelt eingebunden. Nur ein Verantwortlicher vor Ort kann das Wissen so zusammenführen, dass es dann an alle gut weitergegeben werden kann. Dazu gehört auch, die Lehrbeauftragten zu bündeln und in Verbindung zu bringen.

**Vor gut einem Jahr wurde das Studienangebot von der IHO erneut rezertifiziert. Und zwar nach der Neuauflage der Standards of Competence, deren Anforderungen noch einmal strenger geworden sind. Mussten Sie viel am Studienangebot ändern, damit es konform zu den IHO-Kriterien ist?**

Das Problem war, dass wir nicht nur die Inhalte anpassen mussten, sondern zugleich auch gezwungen waren, das Studienangebot zu verschlanken. Wir mussten einen Spagat machen, indem wir Kurse mit den anderen Vertiefungsrichtungen zusammengelegt haben, um die neuen Anforderungen aus der Hydrographie und aus der HCU erfüllen zu können. Nun machen wir eben mit den Geoinformationstechnologen ein hydrographisches GIS-Projekt. Hier ist ganz klar die Hydrographie der Taktgeber. Es war nicht ganz einfach, alles unter einen Hut zu bekommen. Durch die externe Zertifizierung durch die IHO wurde uns ein enger Rahmen vorgegeben, wir mussten darüber nachdenken, wie wir unser Studienangebot besser strukturieren können, und prüfen, ob wir alle Neuerungen berücksichtigt haben.

**Seit 1990 gibt es in Hamburg die Möglichkeit, einen Abschluss nach Category A zu machen. Ein paar Jahre lang hat das TECHAWI einen Category-B-Kurs angeboten, für den es allerdings nicht ge-**

*»Durch die externe Zertifizierung durch die IHO wurde uns ein enger Rahmen vorgegeben, wir mussten darüber nachdenken, wie wir unser Studienangebot besser strukturieren können, und prüfen, ob wir alle Neuerungen berücksichtigt haben«*

Prof. Harald Sternberg

nug Interessenten gab, die die Weiterbildung hätten finanzieren können. Sehen Sie in Deutschland einen Bedarf, für weitere Hydrographie-Ausbildungsstätten neben der HCU?

– Nein. Aber womöglich gibt es andere Hochschulen, die an einer Hydrographieausbildung interessiert sind. Doch ich weiß nicht, ob es sinnvoll ist, einen CAT-B-Kurs anzubieten und dafür einen Bachelor zu vergeben.

Einen Abschluss nach Category A oder auch B konnte man bisher nur an einer Institution machen, die zuvor von der IHO zertifiziert worden ist. Nun ist es auch möglich, sich persönlich zertifizieren zu lassen. Man stellt unter Beweis, dass man bereits das nötige Wissen hat. Oder holt sich das noch benötigte Wissen durch eine Weiterbildung. Was halten Sie von dem neuen Ansatz der IHO, der ein wenig auch in die Richtung des »DHyG-Anerkannten Hydrographen« geht?

Dieser Ansatz ist gut. Ich glaube, viele Menschen stehen im Berufsleben, haben längst Erfahrung und wünschen sich nur ein Zertifikat, das ihnen die Qualifikation bescheinigt. Für die wäre vielleicht eine persönliche CAT-B-Zertifizierung genau das Richtige. Die Frage ist natürlich, wie sich objektiv bewerten lässt, ob jemand das geforderte Wissen hat. Andere benötigen vielleicht noch etwas Theorie. Da müssen wir uns Gedanken machen, wie wir diese Leute in einen Weiter-

»Viele Menschen stehen im Berufsleben, haben längst Erfahrung und wünschen sich nur ein Zertifikat, das ihnen die Qualifikation bescheinigt. Für die wäre vielleicht eine persönliche CAT-B-Zertifizierung genau das Richtige«

Prof. Harald Sternberg

bildungskurs bekommen, der mit ihrem Leben vereinbar ist. Oder ob wir ein E-Learning-Angebot machen können, bei dem man nur wenige Tage für die Praxis zusammenkommt.

Eine Gesellschaft wie die DHyG oder die IFHS kann kein E-Learning-System aufbauen. Könnte sich die HCU vorstellen, einen Category-B-Kurs für persönliche Zertifizierung anzubieten?

Als staatliche Institution kann sich die Hochschule sicherlich vorstellen, sich zu beteiligen, vor allem um den Qualitätssicherungsaspekt abzudecken. Wir wären bereit, da was reinzustecken, um die Qualität sicherstellen zu können.

Gibt es denn schon E-Learning an der HCU?

Wir sind dabei, E-Learning-Systeme weiter einzuführen und auszubauen. Als kleine Hochschule sind wir leider nicht der große Vorreiter. In Hamburg gibt es eine Initiative, die »Hamburg Open Online University«, bei der E-Learning-Angebote gefördert werden, die offen für alle Interessierten sind. Wir haben da auch ein paar Kurse eingestellt, die sich in unterschiedlichen Bereichen an unterschiedliche Kundenkreise richten: an die Hamburger Öffentlichkeit, an Schüler, zu denen wir einen ersten Kontakt aufbauen wollen, an Studierende, für die eine konkrete Problemlage thematisiert

wurde. Wir haben also erste E-Learning-Erfahrungen gemacht und könnten uns vorstellen, solche Angebote weiter auszubauen. Wobei es meistens gar nicht um reines E-Learning geht, sondern um Blended Learning. Es ist ja doch meist ganz gut, manches in der Praxis vor Ort zu wiederholen und auszuprobieren.

Wird sich die Vorlesungssituation in den nächsten Jahren ändern, wird es mehr E-Learning geben, auch für Leute, die eigentlich ein Präsenzstudium absolvieren?

Ich glaube, dass sich Lehren und Lernen noch deutlich verändern werden. Im Netz ist sehr viel Wissen vorhanden, das muss nur aufbereitet werden. Früher dienten Vorlesungen vornehmlich dazu, Wissen zu vermitteln. Das ändert sich. Wissen kann über andere Plattformen erworben werden. Die Kontaktzeiten sollten dann tatsächlich eher für die Diskussion genutzt werden und für die praktische Umsetzung des frisch erworbenen Wissens. Ich glaube daher, dass wir die elektronischen Medien noch viel mehr in die ganze Wissensübermittlung einbinden müssen. Und wir sie auch für Tests nutzen sollten, damit die Studierenden überprüfen können, ob sie die Problemstellung schon ein bisschen begriffen haben. Während der Kontaktzeiten können sie den Lehrenden dann ihre verbleibenden Fragen stellen.

Sehen Sie darin auch eine Aufgabe für die Professoren, für sich selbst, solche E-Learning-Systeme mitzuentwickeln, auch aus didaktischer Sicht?

Als Vizepräsident bin ich dafür verantwortlich, dass E-Learning-Angebote entwickelt werden. Ich fördere es auch sehr, komme aber, eben weil ich Vizepräsident bin, leider viel zu wenig dazu, es tatsächlich umzusetzen. Probehälter haben wir E-Learning in ein paar Angebote eingebracht. Wir wollen rausfinden, wie die Wissensvermittlung am besten funktioniert und wie weit denn unsere Studierenden sind.

Wollen die Studierenden das denn, oder genießen sie es nicht vielmehr, in der Vorlesung zu sitzen?

Im Moment genießen sie es schon sehr. In der Vorlesung können sie einfach etwas passiver sein. Dabei wäre es gut, sie mehr zu aktivieren. E-Learning könnte das geeignete Mittel dafür sein. Die Studierenden werden aus ihrer Bequemlichkeitszone rauskommen müssen.

Das ist die Sicht des Lehrenden. Reduzieren Sie dadurch nicht das Leben an der Uni?

Das Leben an der Uni darf nicht weniger werden. Wir brauchen ja gerade den Austausch, wir brauchen den Diskurs. Aber die Vermittlung der Basics kann vorher stattfinden. Dann haben wir anschließend Zeit für das Gespräch und können in eine vertiefte Diskussion kommen. Natürlich dürfen wir es nicht übertreiben, die Studierenden neigen nicht gerade dazu, viel freiwillig zu leisten. Das merken wir immer wieder, wenn wir freiwillige Aufgaben anbieten, mit denen die Studierenden ihr Verständnis überprüfen können. Aber



nach und nach sollten wir die Zeit der gemeinsamen Vorlesung für die Diskussion nutzen.

**Beim International Board on Standards of Competence wird eine Stelle frei. Wollen Sie da nicht mitwirken?**

Diese Frage hat mir auch Thomas Dehling, der deutsche Vertreter in der IHO, gestellt. Und ja, ich habe meine Bewerbung abgegeben. Ich könnte nicht nur die Sicht des Lehrenden einbringen, sondern auch meine Erfahrung aus der Hochschulleitung. Das ist ja schon eine andere Perspektive. Bei der Zertifizierung beziehungsweise Akkreditierung unserer Programme habe ich einiges gelernt, vor allem was die Machbarkeit betrifft.

**Peter Andree, Delf Egge, Peter Bruns und Volker Böder, das waren Ihre Vorgänger. Haben Sie jemals deren Vorlesungen erlebt?**

Nein, ich wurde ja als Professor berufen, hatte also nie die Gelegenheit, eine Vorlesung mitzuerleben. Aber ich hatte schon früh engen Kontakt mit den Kollegen, hatte mit deren Geräten und Ausgleichungsmethoden zu tun. Auch damals, als die NIAH (das Northern Institute of Advanced Hydrographics) gegründet wurde, war ich als Sprecher des Fachbereichs in die Überlegungen involviert.

**Was können Sie von den Kollegen übernehmen?**

Positiv erwähnt wurden immer ihre ausgesprochen guten Beziehungen zu den Studierenden.

Sie hatten immer ein offenes Ohr. Einen solchen engen Austausch möchte ich auch hinbekommen. Das HCU-Gebäude hat zwar die verschiedenen Etagen, ist insgesamt aber doch sehr offen gestaltet, dadurch können die Studierenden viel leichter zu mir finden, als das früher in dem Gebäude in der City Nord der Fall war. Ich würde es gut finden, wenn die Studierenden

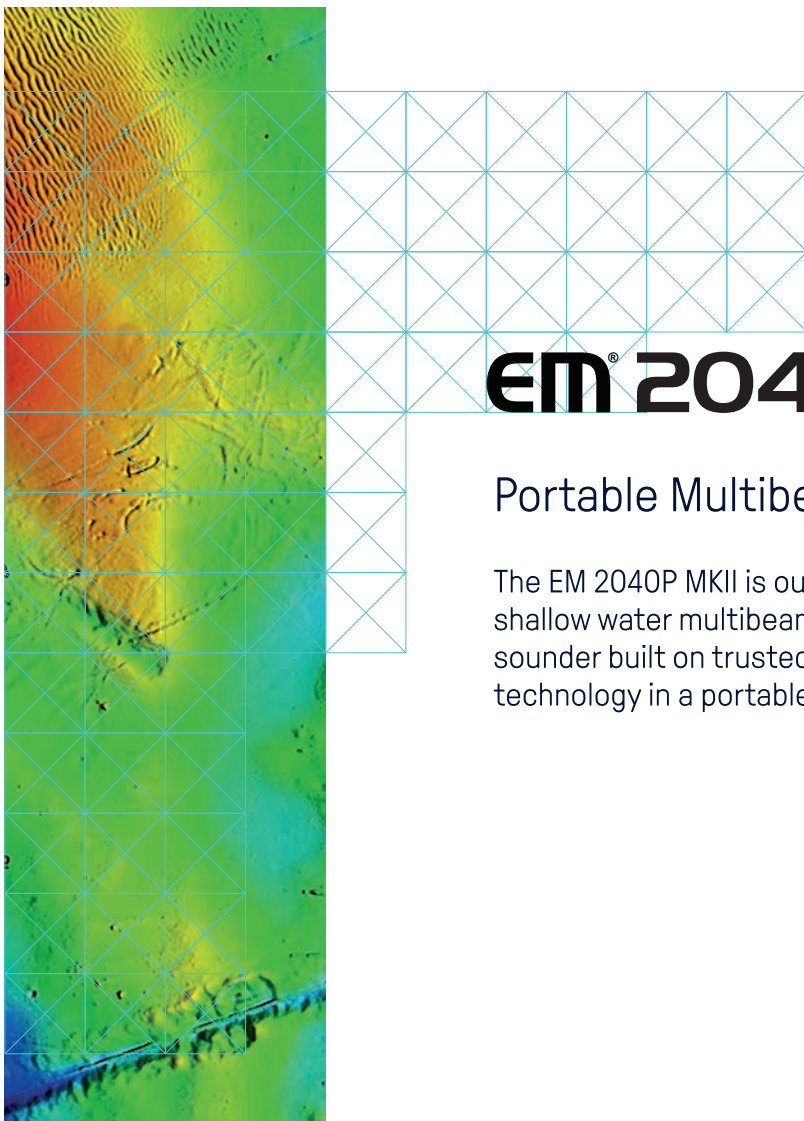
von meinem Angebot, mich zu besuchen, Gebrauch machen, sie auch ohne Terminvereinbarungen vorbeischauen. Nur so kann man direkt in die Gespräche kommen.

**Volker Böder hat das Hydrography Summer Camp eingeführt, das begeistert angenommen wurde, auch international. Haben Sie etwas ähnliches vor?**

Ja, wenn auch leider noch nicht in diesem Jahr. Im nächsten Jahr ist dann unser Boot da, und meine

*»Lernen und Lehren werden sich noch deutlich verändern. Wissen kann über E-Learning-Plattformen erworben werden. Die Kontaktzeiten sollten dann für die Diskussion genutzt werden«*

Prof. Harald Sternberg



KONGSBERG

## EM<sup>®</sup> 2040P MKII

### Portable Multibeam Echo Sounder

The EM 2040P MKII is our latest shallow water multibeam echo sounder built on trusted EM 2040 technology in a portable solution.

Suitable for any high resolution mapping and inspection application, the updated firmware and software results in less noise, giving you better quality data.

With an increased swath of up to 170°, the MKII reduces both survey time and costs.

Image: SAT EM 2040P, captured at Noumea, New Caledonia.  
Courtesy of SHOM, France

[kongsberg.com](http://kongsberg.com)

Amtszeit als Vizepräsident endet, sodass ich solch ein Projekt mit etwas Vorlauf planen kann. Durch das Summer Camp sind unsere Kontakte nach Belgien und nach Frankreich entstanden. Die Kollegen aus Ghent und aus Brest haben uns auch schon darauf angesprochen, ob wir die Zusammenarbeit wieder verstärken wollen. Im internationalen Rahmen sind institutionelle Verbindungen ja oft etwas schwieriger, aber die Teilnahme am Summer Camp können wir relativ leicht umsetzen.

»Sobald etwas erfunden und entwickelt ist, ist es in der Welt. Man kann es dann nicht mehr vom Markt zurücknehmen. Deshalb müssen wir Ingenieure behutsam damit umgehen, damit das Gute weiterhin Erfolg haben kann«

Prof. Harald Sternberg

Offenbar hängt viel von einzelnen Personen ab, damit solche Aktionen stattfinden können.

Leider ja. Nachdem Volker Böder verstorben ist und auf

der anderen Seite Nicolas Seube von Brest nach Kanada gegangen ist, schief die Verbindung für ein paar Jahre ein. Das ist eben die Gefahr, wenn solche Aktionen zu sehr mit Personen verknüpft sind. Deswegen möchte ich auch gerne, dass es in Zukunft ein institutioneller Austausch wird. Das persönliche Engagement ist weiterhin wichtig, aber die Institution soll sich verantwortlich fühlen. [Wie steht es um die Kooperation mit Industrieunternehmen?](#)

Darüber spricht man doch nicht, oder? Wir haben verschiedenste Kontakte zu Industrieunternehmen und wir sind offen, die Verbindungen weiter auszubauen und tatsächlich in echte Kooperationen umzumünzen. Wir würden nicht nur Geräte ausprobieren, sondern auch Algorithmen optimieren oder Kombinationsmöglichkeiten erforschen.

[Wann kommt das neue Vermessungsschiff?](#)

Im November dieses Jahres soll es einsatzfertig ausgeliefert werden. Die Beschaffung der Messgeräte passiert parallel, auf dass die dann auch optimiert an dem Schiff von der Werft angebracht werden. Wir wollen nicht anfangen zu basteln, sondern mit der Werft genau absprechen, welcher Schwinger wo befestigt wird. Wir hoffen sehr, dass wir das Schiff zum Ende des Jahres haben, auch wenn wir es dann nicht gleich zu Wasser lassen können.

[Sie haben vorhin die NIAH erwähnt. Gibt es die noch?](#)

Diese Institution gibt es noch. Sie wird aufrechterhalten, weil wir leider immer noch im Streit mit dem Makler der Versicherung über die Erstattung der Versicherungssumme sind. Aber wir hoffen, dass das bald zu einem guten Ende gebracht wird..

[Was machen Sie beim DIN, dem Deutschen Institut für Normung?](#)

Dort engagiere ich mich in dem Ausschuss, der sich mit Geräten beschäftigt. Wir beschreiben zum

Beispiel Prüfverfahren für Tachymeter oder für Laserscanner, achten penibel auf die Ausdrücke, auf dass die Beschreibung eindeutig ist. Außerdem betrachten wir den Fehlerhaushalt, das heißt die Unsicherheit nach dem GUM, dem *Guide of Uncertainty of Measurement*, damit man weiß, was man mit einem solchen Gerät anfangen kann, wenn man es getestet hat.

[Welche Forschungsfrage möchten Sie noch stellen?](#)

Eine Frage hatte ich vorhin schon einmal kurz angesprochen, nämlich die nach den artificial neural networks. Die Hydrographie stellt genauso wie zum Beispiel die Forstwirtschaft die Frage: Wie kommt man von Massendaten zu besseren Informationen? Dazu möchte ich hier im Hause gerne einen Bereich aufbauen. Einen weiteren Schwerpunkt möchte ich im Bereich der Low-cost-Sensorik setzen. Was ist möglich, wenn ich mehrere gleiche Systeme kombiniere oder so etwas wie Schwarmverbände-Intelligenz nutze? Wie kann ich durch geschickte Kombination der Systeme und der Daten zu einem neuen Mehrwert an Informationen kommen? Vielleicht mit einem Schwarm an AUVs, die frei umherschwirren und viele, viele Daten erfassen.

[Schwarm heißt auch künstliche Intelligenz?](#)

Oft ist dort irgendeine Art der Intelligenz drin, nicht gerade menschliche. Einfache Verfahren und Regelungsalgorithmen, es muss ja nicht gleich künstliche Intelligenz sein. Zumindest arbeiten die einzelnen Geräte nicht für sich alleine, sondern sie sind vernetzt.

[Was würden Sie gerne besser können?](#)

Ich hätte gerne mehr Zeit, auf dass ich mich in viele Dinge viel tiefer einarbeiten kann. In letzter Zeit hatte ich oft das Gefühl, bloß an der Oberfläche zu kratzen, kein Tiefenverständnis mehr zu haben. Vielleicht ist es ab einer gewissen Position einfach so, dass man nur noch mit so einem Halbwissen rumläuft. Aber es befriedigt mich nicht, wenn man immer nur an den Fragestellungen hängt. Zum Glück habe ich gute Mitarbeiter, mit denen ich im Gespräch schon auch in die Tiefe komme. Aber es verunsichert mich schon ein bisschen, wenn ich merke, von welcher Vielzahl und Bandbreite ich kein tieferes Verständnis habe.

[Was wissen Sie, ohne es beweisen zu können?](#)

Ich glaube an das Gute im Menschen, weshalb ich davon überzeugt bin, dass es eine positive Weiterentwicklung gibt. Auch wenn angesichts mancher Ereignisse Zweifel berechtigt sind, sei es im Hochschulalltag oder in der Weltpolitik. Auf Dauer aber kommt das Gute vorwärts. Damit das so bleibt, müssen wir gerade auch in der Forschung aufpassen. Sobald etwas erfunden und entwickelt ist, ist es in der Welt. Man kann es dann nicht mehr vom Markt zurücknehmen. Deshalb müssen wir behutsam damit umgehen, damit das Gute weiterhin Erfolg haben kann. Als Ingenieur muss man bewusst überlegen, was man macht.



# Providing precision navigation for Unmanned Underwater Vehicles



DVL1000, 4000 m



DVL500, 6000 m



DVL1000, 300 m



DVL500, 300 m

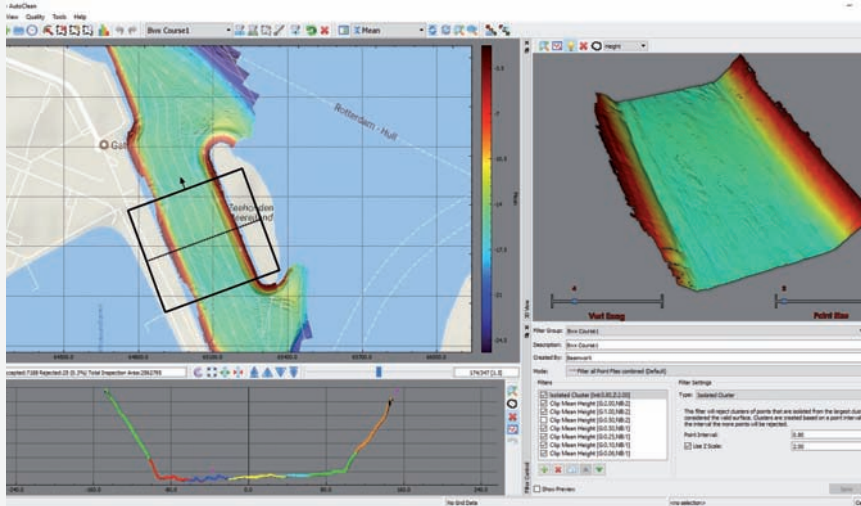
The operators of Unmanned Underwater Vehicles (UUVs) need to know where their vehicles are at all times. The greater the locational accuracy, the more extensive the scope of their missions can become. Nortek's Doppler Velocity Log (DVL) solutions are well suited to meet the highest navigation requirements.



# AutoClean

## Cleaning tool for Bathymetric and Lidar point clouds

Cleaning and validating survey results the easy way!



### Product Highlights

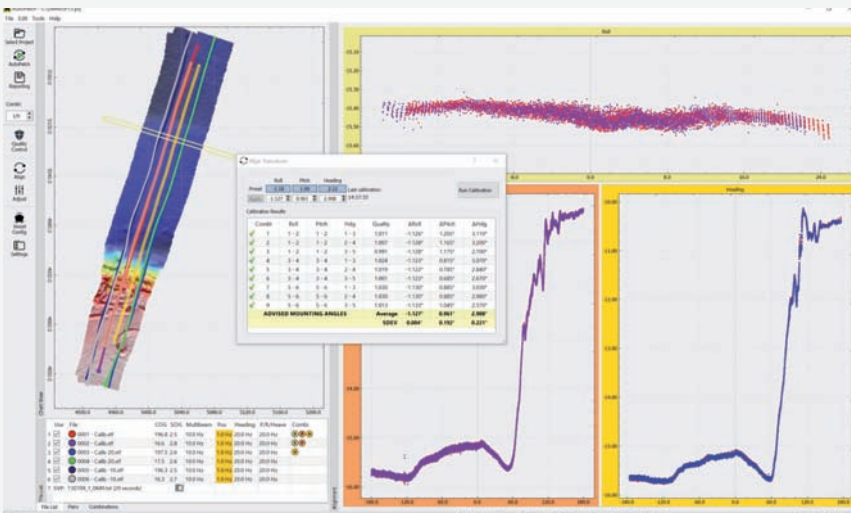
- High Speed Automatic Cleaning using spatial and statistical methods
- Manual Interactive Cleaning in 2D Slice or 3D View
- Supports import/export to various file formats, e.g. FAU/GSF/ALL/LAS/LAZ/Hypack HS2X/ASCII/Grids/PDS/MBES/WMBF/SFF
- Respects the point status as flagged by the acquisition software
- Stand-alone application, that will integrate in every workflow due its flexible imports and exports



# AutoPatch

## Fully Automated Multibeam Patch Test Calculation

Your calibration report is just a click away!



### Product Highlights

- Calculates Roll/Pitch/Heading mounting angles, various latencies, transducer offset shifts
- Automatic line and area selection
- Extensive calibration report
- Exact calculation algorithms, using full raytracing
- Supports XTF, Hypack HSX, kongsberg ALL, Teledyne PDS Format, WMBF, RDF
- Calculates the best-fit result from multiple survey lines

Official BeamworX Distributor for Germany

**BeamworX**  
Hydrographic Software & Consultancy

**M·B·T**   
UNDERWATER TECHNOLOGY

[www.beamworx.com](http://www.beamworx.com)

[www.m-b-t.com](http://www.m-b-t.com)



# Neuigkeiten vom Meeresboden

## Besuch der 18. GeoHab-Konferenz

Ein Veranstaltungsbericht von JENS SCHNEIDER VON DEIMLING, FLORIAN GAUSEPOHL und PETER FELDENS

Santa Barbara, Kalifornien, 14 °C, Nebel. Geschätzte 200 Teilnehmer trafen sich im vermeintlich sonnigen Kalifornien, um vom 7. bis zum 11. Mai die GeoHab-Konferenz zu besuchen. GeoHab, das steht für »Marine Geological & Biological Habitat Mapping«, eine

Vor knapp 20 Jahren wurde die jeweils mehrtägige GeoHab-Konferenz von Gary Greene ins Leben gerufen. Schnell hat sie sich international etabliert. In diesem Jahr wurden dem Publikum von Dienstag bis Donnerstag 14 Sessions geboten, die von der Kartierung von Tiefwasserkorallen bis zu aktuellen Fragen des marinen Managements reichten.

Ganz ähnlich wie es bei den HYDRO-Konferenzen zu beobachten ist, ist die GeoHab-Gemeinde eng verzahnt mit den Herstellern von z.B. Fächerecholoten und GIS-Software. Die meisten namhaften Hersteller aus dem Hard- und Softwaregeschäft rund um das Thema Meeresbodenkartierung waren vertreten, um Neuheiten aus ihrer Produktpalette vorzustellen und sich mit den Teilnehmern auszutauschen. Darüber hinaus sind einige Behörden sehr aktiv in der GeoHab-Gemeinde, z.B. der Geologische Dienst von Norwegen, die NOAA oder das Bureau of Ocean Energy Management (BOEM) aus den USA.

Neben dem ausgewogenen Programm rund um die Themen Meeresbodenkartierung und -klassifizierung sowie Habitatuntersuchung war die Preisverleihung zum Multispektral-Habitat-Wettbewerb von R2Sonic ohne Zweifel eines der diesjährigen Highlights. Ein knappes Jahr lang hatten die Teilnehmer Zeit gehabt, einen vorgegebenen Multifrequenz-Fächerecholotdatensatz (100, 200 und 400 kHz) bestmöglich auszuwerten. Dem Gewinner winkte ein 300 000 Dollar schweres Paket, in dem sich ein nagelneues Fächerecholotsystem 2026 befand. Bei der Preiverleihung am Donnerstagvormittag war der Gewinner Timo Gaida, ehemaliger Student aus Kiel und jetzt Doktorand an der TU Delft, sichtlich erstaunt. In seinem Vortrag erläuterte er die Methode der TU Delft zur Auswertung von Backscatterdaten. Diese basiert auf der Tatsache, dass Rückstreuung statistisch beschrieben werden kann. Über viele Datenpunkte gemittelt kann die Annahme getroffen werden, dass sich die Rückstreuwerte Gauß-verteilt abbilden. Diese Tatsache lässt sich wiederum ausnutzen, um verschiedene Meeresbodenklassen zu unterscheiden.

Motivation für unsere Gruppe aus dem Forschungsprojekt ECOMAP, zu der Konferenz zu reisen, war unter anderem auch die Teilnahme an der Backscatter Working Group (BSWG). Diese Arbeitsgruppe formierte sich vor einigen Jahren unter dem Schirm der GeoHab und der Leitung von Xa-

vier Lurton (Ifremer), der vielen als Buchautor und Koryphäe im Bereich Hydroakustik bekannt sein dürfte. Der frei verfügbare technische Bericht *Backscatter measurements by seafloor-mapping sonars – Guidelines and Recommendations* fasst die bisherigen Arbeiten der Arbeitsgruppe zusammen.

In der Dienstagabend von Xavier Lurton und Geoffroy Lamarche moderierten BSWG-Session bestand Konsens, dass dringend eine Bibliothek benötigt wird, welche das multispektrale Verhalten individueller Habitate beinhaltet. Die terrestrische Forschung ist hier den marinen Wissenschaften sehr weit voraus. Während der überwiegende Teil der Anwender mit der Qualität der bathymetrischen Messungen zufrieden zu sein scheint, verhält es sich beim Thema Backscatter aufgrund fehlender internationaler Standards zur Bearbeitung von Rückstreudaten völlig konträr. Hier wurde eingängig von Marc Roche der Ausdruck »end-user frustration« geprägt. Diese Momente – die wir auch von manchen HYDRO-Konferenzen kennen – sind es, in denen alle, die Hersteller von Hard- oder Software und die Anwender, direkt im Dialog die dringendsten Probleme und Herausforderungen identifizieren. So zumindest unser Eindruck.

Es ist sehr motivierend, die Aktivität dieser offenen Gruppe in Bezug auf die Verbesserung von Backscatterdaten zu verfolgen. In unserem aktuellen Projekt beschäftigen wir uns ebenfalls intensiv mit dem Thema Multifrequenzanalyse und Habitatkartierung. Daher bat uns Xavier Lurton, dieses Thema zu moderieren und in der angestrebten Neuauflage des BSWG-Reports federführend zu verarbeiten – eine herausfordernde Aufgabe.

Eine Ankündigung von Peter Harris ließ aufhorchen: eine Neuauflage des *GeoHab Atlas of seafloor geomorphic features and benthic habitats* befindet sich in Arbeit. Für Kurzentschlossene besteht eventuell noch die Möglichkeit, einen Beitrag zu leisten. Bis Ende des Jahres besteht außerdem die Möglichkeit, Beiträge in dem Sonderband *Geological Seafloor Mapping* (Gasteditoren: Markus Diesing, Peter Feldens) der Zeitschrift *Geosciences* einzureichen.

Unser Dank gilt den Organisatoren, welche uns diese hochinteressante Veranstaltung erst ermöglichen. Mit dem abschließenden Ausflug zu den vorgelagerten Channel Islands setzten sie der Veranstaltung noch die Krone auf. Nächstes Jahr zieht der GeoHab-Trupp weiter gen Osten nach Sankt Petersburg. Wir kommen gerne wieder. ■

Idee und Veranstaltung, die regelmäßig marine Biologen, Akustiker, Geowissenschaftler, Statistiker, und Umweltmanager aus der ganzen Welt zusammenführt.

### Autoren

Dr. Jens Schneider von Deimling ist Wissenschaftler an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU), er leitet das Forschungsprojekt ECOMAP (bonus-ecomap.eu). Florian Gausepohl, PhD, ist Wissenschaftler an der CAU. Dr. Peter Feldens vom Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW) leitet das 2. Arbeitspaket des ECOMAP-Projekts.

jens.schneider@ifg.uni-kiel.de

# Changing perspectives: Water quality from space

## The World Water Quality Portal developed by EOMAP for UNESCO programme

An article by MARIE-LUISE WILHELM

The rising number of pollutants entering our waterways are challenging our ability to monitor and maintain essential supplies of clean water. Water management teams on the ground often cover large networks of freshwater lakes, rivers or streams stretching over vast landscapes or circumnavigating through remote or inaccessible locations. With these logistical hurdles in mind, there is a pressing demand for new technologies to support water management teams as they undertake one of the biggest challenges for modern society. The UNESCO and many other users believe the answers should also lie within the resources of satellite-based earth observation (EO).

### Author

Marie-Luise Wilhelm is head of Marketing & Communications at EOMAP in Seefeld

wilhelm@eomap.de

EO – earth observation | water quality | SDB – satellite-derived bathymetry | MarSat

### Space-based monitoring

Today, numerous of vibrant images of the earth are captured daily using satellite-based technology. The exploitation of this potential requires a greater understanding of the colours that show the earth's surface and what they mean for the health of our marine and freshwater systems.

The colour of light that is scattered back out of water can be measured from space and used to derive information about what is in the water column including turbidity, phytoplankton abundance, sediments and harmful algal blooms indicators (Fig. 1). With the knowledge of these light characteristics, experts can obtain concentration levels of different water quality parameters which can then be used to employ effective management and mitigation practices.

Inland water bodies can undergo a range of natural changes over time, often exacerbated by nearby human activities such as agricultural runoff. Yet any efforts to collect data on the ground are limited in both time and space. For this reason, satellite-based observations are important in providing a global view of the earth and monitoring how the patchwork of colours change over time.

### Innovating water quality algorithms

The ability to observe water bodies from space has established earth observation (EO) as an important source of information on water quality and ecosystem condition. Earth observation based measurements are of significant value for the evaluation of water bodies, if the measurements can be provided independently to in-situ data and if globally harmonised. However, as for the wide range of optical conditions inland water bodies require very complex and concerted algorithms in global applications.

In 1996, scientists at the German Aerospace Centre (DLR) initiated the development of a unique, physics-based Modular Inversion and Processing System (MIP) to support the robust extraction of water quality parameters from raw satellite and airborne data. As well as being one of the most elite and effective EO processing systems in the world, it requires no expert knowledge about the study area, allowing a more user-friendly approach that can be applied independently from any location worldwide.

In 2006, the leading provider of optical remote sensing for the aquatic environment, EOMAP, took over the MIP development. Today, the MIP has been subject to extensive validations within international research projects such as Space-O and commercial applications including water agencies like the Environmental State Authority Baden-Württemberg (LUBW), and also industry and water environmental consultancy companies for a wide range of lakes, reservoirs and rivers.

### Use case: Access to large areas

Over the last decade, the rise of technological innovation and advancements in the accuracy and resolution of satellite data makes EO-based tools more attractive than ever to water quality and environmental managers.

There are around 260 lakes in the south of Germany which are larger than 10 hectares. These lakes must be monitored and maintained making it impossible to only rely on traditional ground methods as the area is too vast. Environmental State Authorities have been working with EOMAP closely validating successfully earth observation as a tool to measure water quality of different sized lakes.

Since 2016, EOMAP has observed a substantial growth in interest and paid services. As such they



are successfully expanding into new applications and industries including aquaculture, river management and dredge monitoring.

### Water quality from space: The World Water Quality Portal

As water quality continues to represent a major problem in both developed and developing nations, initiatives are well underway to improve water quality and wastewater management, and to find innovative tools that support global efforts in addressing this issue.

On January 22nd, 2018, the world's first global water quality portal was launched to support the International Initiative on Water Quality (IIWQ) of UNESCO's IHP (Fig. 2).

Developed by EOMAP last year, the comprehensive IIWQ World Water Quality Portal assists with global water quality assessment and capacity building for streams, lakes and rivers. The on-line interface, based on satellite-derived information, gives for the first time managers, agencies and industry users access to an easy-to-use tool providing detailed global water quality information, campaign planning support and access to remote and inaccessible areas. As a worldwide demonstrator, the World Water Quality Portal will be a key product in improving awareness, capacity building and acceptance of EO products on a global scale.

The web-based service allows users to quickly obtain measurements at freely selectable virtual stations for any location worldwide. The IIWQ Portal also combines a comprehensive range of satellite-based water quality parameters such as turbidity (Fig. 3), chlorophyll and indicators for toxic cyanobacteria blooms using EOMAP's innovative MIP system.

The IIWQ Portal also includes functionalities to select different time periods dating back over the last three decades. Historic measurements are provided at a 30 m resolution for selected regions of each continent throughout 2016, and can be con-

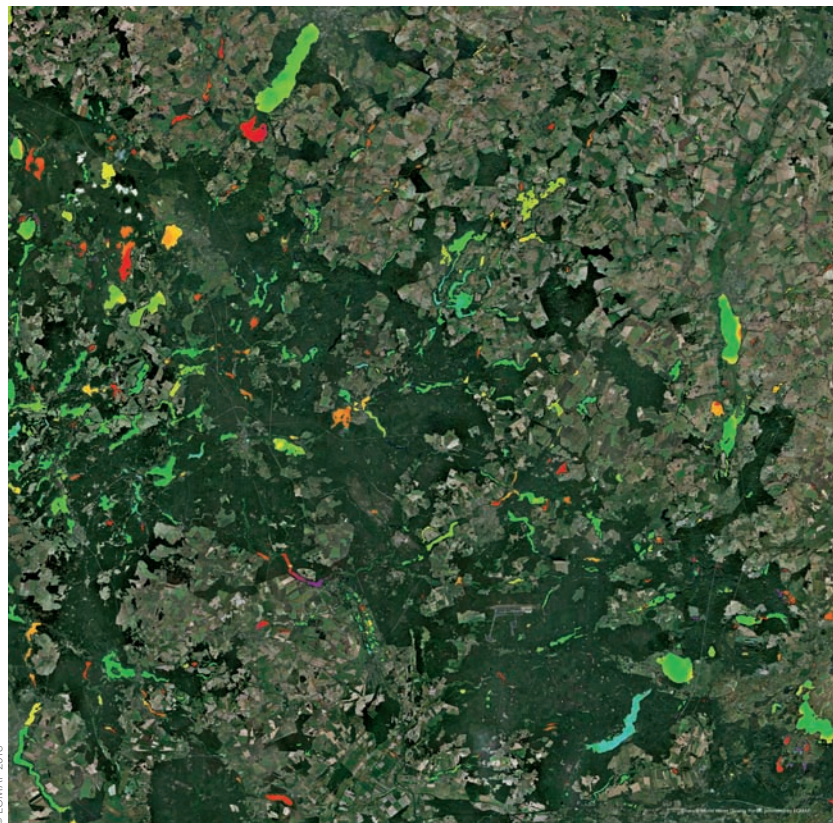


Fig. 1: Chlorophyll status indicating harmful algal bloom in Mecklenburg Lake Plateau

tinued with various spatial and temporal resolutions for every country.

A further updated web application developed by EOMAP can implement a monitoring system such as the World Water Quality Portal at a range of temporal and spatial resolutions, for any given location, worldwide. This will allow any user to deploy a customised portal for their region, monitoring synoptic water quality on an ongoing basis, with user access customised to their specific constellation of stakeholders.

### Future perspectives

Water security is crucial in achieving sustainable development and thriving economies. Remote sensing is an efficient and cost-effective tool to as-

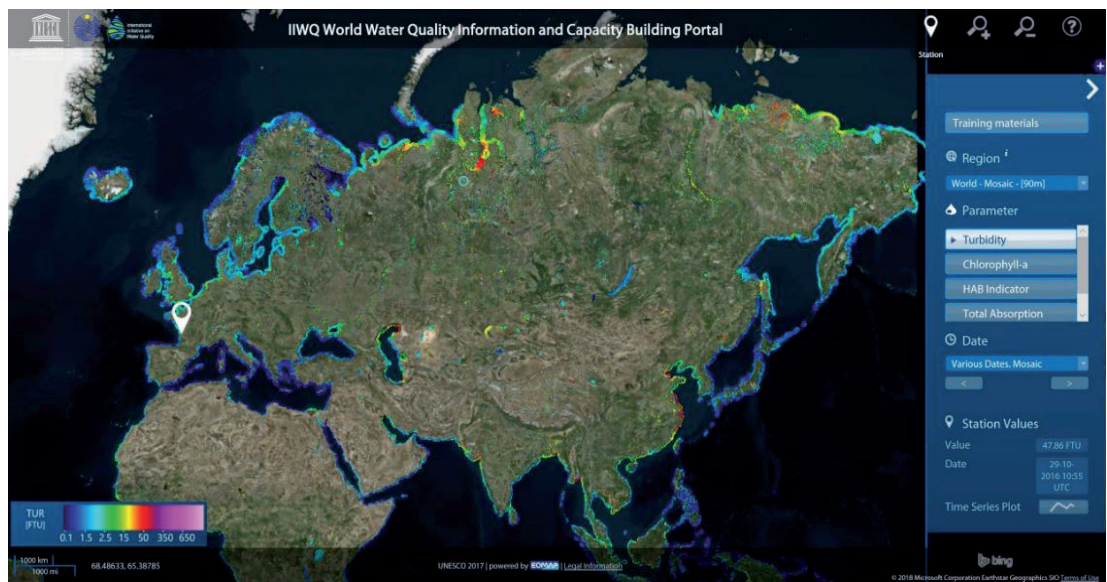
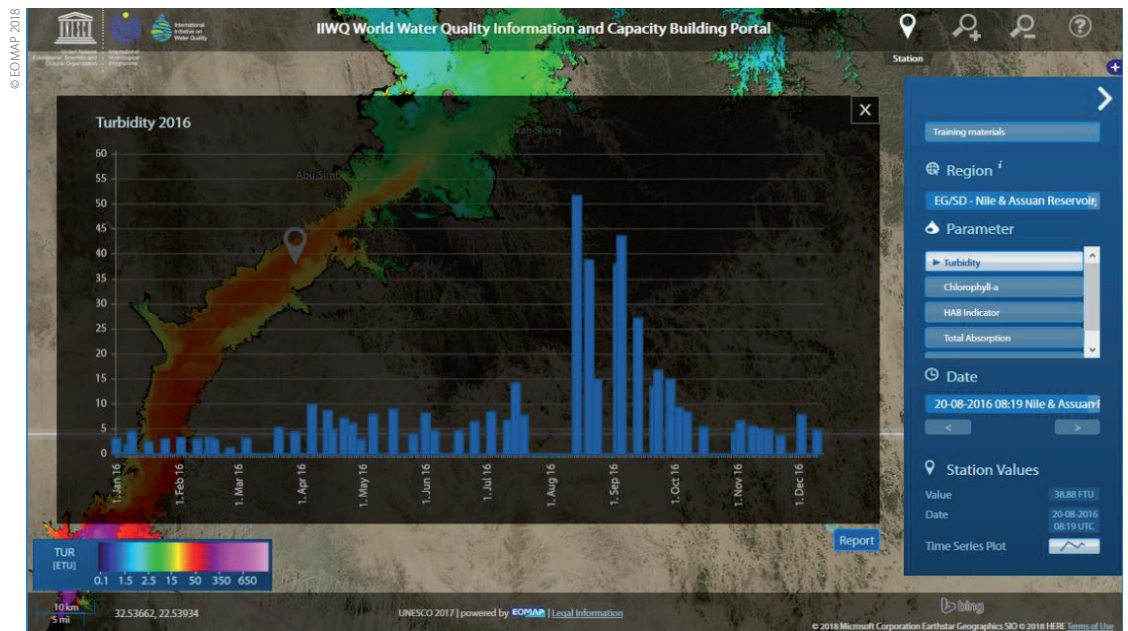


Fig. 2: The IIWQ World Water Quality Portal



**Fig. 3:** Lake Nubia, Aswan-reservoir: The IIWQ Portal shows the seasonal turbidity trend for year 2016

sess a variety of physical and biological parameters in aquatic ecosystems over small-scaled and large areas. Until now, the industry lacked a method that can support users, from managers to utilities, by removing some of the issues they have around interpretation and data access.

The satellite-based monitoring service can respond to the challenges that industry and governmental institutions have to address for effectively assessing water quality threats such as algal blooms and turbidity. The UNESCO portal, the first portal of its kind, can be used as the basis for the ongoing improvement of combining high-resolution global coverage with the range of measurements needed for effective global water quality monitoring. It provides user-friendly features encouraging the industry's adoption of EO products and helps to protect a resource that is increasingly under threat. Due to yearly improvements in spatial and temporal resolution of EO satellites the future of these tools for water quality monitoring is becoming clear.

The approach and technology will decide the achievable reliability of the data. There is no other way to provide holistic, area wide data that EO information products can offer nowadays. This will change the view on how our inland water environments are interconnected and therefore more effective water management can take place. In the near future the use of EO products and services will be a mandatory element for all environmental analyses.

### Other EO-based tools: satellite-derived bathymetry

Similar growth mechanisms have been observed for other EO services and sectors. The acceptance of satellite-derived bathymetry (SDB) services and market-take-up is expanding significantly.

Initially established as a reconnaissance tool for shallow water bathymetry only, cutting-edge sat-

ellite-derived bathymetry techniques are increasingly used when environmental conditions allow as a cost-efficient and rapid survey method for acquiring high-resolution bathymetric data down to water depths of 30 metres.

The use of the satellite-derived bathymetry technology in applications such as safety of navigation, reconnaissance surveys, coastal zone management and hydrodynamic modelling is increasing significantly and so is the demand to discuss key issues on capabilities, data integration and quality standards.

With this pressing need EOMAP organised the first international conference on satellite-derived bathymetry: The Satellite-Derived Bathymetry Technology and User Forum (SDB Day 2018, Fig. 4) which took place beginning of June 2018 attracted international speakers, panellists and participants from North America, Europe, Middle East and Asia. Topics included quality assurance and uncertainties, integration and use concepts, standards and capacity building. The next SDB Day is planned for 2019.

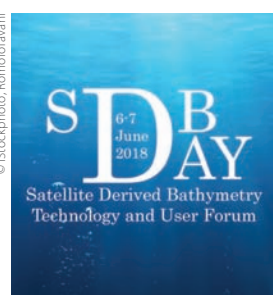
### Further EO-based innovations for the marine industry: MarSat

MarSat, a network of six private companies and a research institute, aims to provide innovative integrated satellite-based services for the maritime and coastal industry to improve safety and efficiency in shipping, offshore industries, emergency response and rescue operations.

There are many users who require current high-quality bathymetric information for the shallow-water zone, highlighting the need to fill this data gap.

MarSat plans to initiate a service chain that provides a simple and fast way to obtain current shallow-water bathymetric data, from the acquisition of satellite data to its interpretation to conversion and integration into bathymetric Electronic Nautical Charts (bENCs).

**Fig. 4:** SDB Day 2018 – Satellite-Derived Bathymetry Technology and User Forum







# Simply Smart

DriX is the new AUSV cut-out for the most advanced hydrographic surveys. Whatever the operational constraints, DriX pushes the limits to open up new possibilities.



# Veranstaltungen für Stakeholder

Ein Beitrag von PETER DUGGE

Immer wieder finden nationale und internationale Veranstaltungen statt, die für hydrographische »Stakeholder« von Interesse sein dürften. Nicht alle Veranstaltungen sind in der Community bekannt. HN-Redakteur Peter Dugge hat sich notiert, wo er gerne hingehen möchte – und was er aus Sicht der Hydrographie von einer Teilnahme erwartet.

## Autor

Peter Dugge ist bei der Atlas Elektronik GmbH in Bremen beschäftigt.

peter.dugge  
@atlas-elektronik.com

## Nähere Informationen:

SDB Day:  
[www.sdbday.org](http://www.sdbday.org)  
DGON-Arbeitsgruppe:  
[dgon.bonn@t-online.de](mailto:dgon.bonn@t-online.de)  
MarSat:  
[www.marsat-project.org](http://www.marsat-project.org)  
ISIS-MTE:  
[www.dgon-isis.org](http://www.dgon-isis.org)

## SDB Day

Satellite-Derived Bathymetry (SDB) ist ein Verfahren zur Erstellung von Tiefenkarten für Binnen- und Küstengewässer und die hohe See auf der Basis von optischen Satellitendaten. Dieses Vorgehen liefert relativ rasch Tiefen- und Hindernisinformationen, auch für große Flächen und schwer zugängliche Gebiete. Durch Nutzung von Archivdaten lassen sich zudem historische Veränderungen feststellen.

SDB stellt die »konventionelle« Hydrographie vor eine Herausforderung: Worin unterscheiden sich die Eigenschaften der SDB-Daten und der herkömmlichen Vermessungsdaten? Und wie lassen sich beide Methoden sinnvoll kombinieren? Beispielsweise bei der optimierten Planung von In-situ-Messungen auf der Basis von SDB-Daten.

Vom 6. bis zum 7. Juni (nach Redaktionsschluss) fand in Herrsching bei München ein erster »SDB Day« statt. Ziel der Veranstaltung war es, Anbieter und Bedarfsträger aus Wirtschaft und Behörden zum Gedankenaustausch zusammenzubringen.

## DGON-Arbeitsgruppe »Autonome Maritime Systeme«

Die Deutsche Gesellschaft für Ortung und Navigation (DGON) hat die Arbeitsgruppe »Autonome Maritime Systeme« eingerichtet. Deren Ziel ist es, eine Plattform für den Informationsaustausch zwischen Behörden, Anbietern und Nutzern von autonomen maritimen Systemen zu schaffen sowie nationale Empfehlungen für die Entwicklung und den Einsatz derartiger Systeme zu erarbeiten. Diese sind gedacht als Beitrag für die Entwicklung internationaler Vorschriften und Verfahren.

Für die Hydrographie besteht hier die Chance, spezielle Bedarfe bei der Nutzung von autonomen Fahrzeugen für hydrographische Zwecke in die Ergebnisse der Arbeitsgruppe einzubringen.

Die erste Sitzung der Arbeitsgruppe fand am 11. April 2018 beim Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) in Hamburg statt. Die nächste Sitzung ist vorgesehen für den 21. Juni 2018 beim Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) am Standort Neustrelitz.

## MarSat-Workshop

MarSat ist ein Förderprojekt des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) und wird gesteuert durch das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR). Es steht unter dem Motto »Satellitengestützte Dienste für die Maritime

Wirtschaft«. Eingebettet ist es in das europäische Copernicus-Programm zur satellitengestützten Erdbeobachtung, in dessen Rahmen mehrere Satelliten der Sentinel-Serie von der European Space Agency (ESA) betrieben werden. Die Sentinel-Satelliten umkreisen die Erde auf wiederkehrenden Bahnen und liefern Erdbeobachtungs-Rohdaten, die für die Nutzer kostenfrei sind.

Aufgabe von MarSat ist es, die Bereitstellung von satellitengestützten Erdbeobachtungsdiensten für den maritimen Nutzer unter anderem auf der Basis von Sentinel-Daten zu unterstützen. Dies umfasst die Erstellung, Bereitstellung und Abrechnung von z. B. Eiskarten oder bathymetrischen Karten als zumeist digitale Standardprodukte über standardisierte Bestell- und Vertriebswege (z. B. Internetportale).

Am 21. September 2017 fand in Hamburg ein erster User Workshop des Projektes MarSat statt (siehe HN 108). Zum Abschluss der zweijährigen Projektlaufzeit soll im Rahmen der SMM in Hamburg am 6. September 2018 ein zweiter Workshop stattfinden, bei dem die Projektergebnisse im Austausch mit möglichen Nutzern vorgestellt werden.

Für die Hydrographie besteht hier die Chance, neue, kommerziell angebotene Dienste kennenzulernen und in die eigenen Geschäftsfelder einzuarbeiten.

## ISIS-MTE

Die Konferenz ISIS-MTE (International Symposium Information on Ships & Marine Traffic Engineering Conference) findet in zweijährigem Turnus statt und beleuchtet aktuelle und künftige Entwicklungen der Schifffahrtsnavigation. Sie wird veranstaltet von der Deutschen Gesellschaft für Ortung und Navigation (DGON) gemeinsam mit verschiedenen Partnern, in diesem Jahr dem DLR und der Akademia Morska Szczecin.

Das Motto der Veranstaltung, die am 27. und 28. September 2018 in Berlin stattfinden wird, ist »Navigating the Oceans«. Vorgesehene Schwerpunkte sind unter anderem: autonome Wasserfahrzeuge, Cyber Risk Management, Shore-based Navigation, Big Data, ECDIS, Training.

Diese Veranstaltung betrachtet damit das künftige maritime Umfeld der Hydrographie, in der sie einerseits als Lieferant auftreten kann – z. B. mit Seekarten für ECDIS und autonome Wasserfahrzeuge –, andererseits als Kunde – z. B. für autonome Wasserfahrzeuge für die Vermessung – oder als Verkehrsteilnehmer – z. B. bei der Durchführung von Vermessungen.



# Maritime Daten in Wert setzen: Mit ArcGIS Maritime von Esri.

Für die Seefahrer vergangener Jahrhunderte waren die Tiefen der Gewässer noch bevölkert von Seeungeheuern und Riesenfischen. Die moderne Schifffahrt und Wissenschaft verlassen sich lieber auf die Seevermessung und detaillierte Seekarten. Mit ArcGIS Maritime von Esri steht ihnen eine umfassende Lösung für hydrografische Anwendungen zur Verfügung. Integriert in die Esri Plattform, teilt sich ArcGIS Maritime in die Bereiche Charting und Bathymetry. Es erleichtert das Organisieren, Prozessieren und die Weitergabe von Daten und verbessert damit die Zusammenarbeit der Akteure im maritimen Sektor – von kommerzieller Seefahrt und Marine bis zu Forschungseinrichtungen, Hafenverwaltungen oder Schifffahrtsbehörden. Damit die Seefahrer heutiger Tage immer den sicheren Hafen erreichen.

Esri Deutschland GmbH, Telefon +49 89 207 005 1200, [info@esri.de](mailto:info@esri.de), [esri.de](http://esri.de)  
Ein Unternehmen der Esri Deutschland Group







## Präzise 3D-Positionierung mit GNSS und Polarmessverfahren

Die Leica GNSS-Instrumente empfangen und verarbeiten die Signale aller aktuellen und zukünftigen Navigationssysteme.

Höchste Präzision bei voller Automatisierung der Messabläufe garantieren die Leica Polarmesssysteme.



Leica Geosystems GmbH Vertrieb  
[www.leica-geosystems.de](http://www.leica-geosystems.de)



- when it has to be **right**

**Leica**  
Geosystems