

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Steinbacher, Frank; Baran, Ramona; Dobler, Wolfgang; Niederwieser, Manfred; Wessel, Martin

Projekt Tiefenschärfe - Die Neuvermessung des Bodensees

Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:

Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103401>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Steinbacher, Frank; Baran, Ramona; Dobler, Wolfgang; Niederwieser, Manfred; Wessel, Martin (2015): Projekt Tiefenschärfe - Die Neuvermessung des Bodensees. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Messen und Überwachen im Wasserbau und am Gewässer. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 53. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 425-434.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Projekt Tiefenschärfe - Die Neuvermessung des Bodensees

Frank Steinbacher
Ramona Baran
Wolfgang Dobler
Manfred Niederwieser
Martin Wessels

Bei der Neuvermessung des Bodensees im Rahmen des Projektes *Tiefenschärfe* werden zwei räumlich hochaufgelöste Datensätze – hydromapping Daten (topobathymetrische Laserscandaten) der Flachwasserzone und des angrenzenden Vorlandes sowie Fächerecholotung der tieferen Seebereiche – miteinander derart kombiniert, dass daraus ein detailliertes Gelände- und Seebodenmodell abgeleitet werden kann. Der Bodensee ist weltweit das erste größere Binnengewässer, das auf diese Art lückenlos vermessen wurde. Wir fassen hier die Durchführung der Vermessungsarbeiten und erste Ergebnisbetrachtungen zusammen.

Stichworte: Tiefenschärfe, Bodensee, Airborne Hydromapping, Echolotung, Geländemodell, Seebodenmodell

1 Einleitung

Institutionen, die mit hydrographischen Flächeninformationen umgehen und Unternehmen, die Werkzeuge zur Erhebung, Sammlung und Prozessierung dieser Daten entwickeln, fokussieren sich zumeist auf marine Bereiche. Darüber hinaus werden seit langem aber auch bathymetrische Flächendaten für Binnengewässer wie Flüsse und Seen erfasst. In diesem Beitrag fassen wir einige Ergebnisse der hochauflösenden Neuvermessung der Topobathymetrie des Bodensees im Rahmen des Projektes *Tiefenschärfe* zusammen, welche als Blaupause für künftige Vermessungen ähnlich großer Binnengewässer dienen kann.

1.1 Die *Tiefenschärfe* des Bodensees

Der Bodensee als einer der größten Binnenseen Europas (536 km², 254m tief) liegt im Dreiländereck zwischen Deutschland, Österreich und der Schweiz nördlich der Alpen. Bereits seit dem späten 19. Jh. gibt es eine grenzüberschreitende Zusammenarbeit zwischen diesen Ländern. Im Jahr 1959 wurde die Internationale

Gewässerkommission für den Bodensee (IGKB) gegründet, nachdem eine zunehmend problematisch werdende Eutrophierung des Sees beobachtet wurde.

Trotz der langen Historie bathymetrischer Vermessungen des Bodensees bis zurück ins 19. Jh. (z.B. Zeppelin 1893; Braun & Schärpf, 1994), verdeutlichten hochauflösende lokale Vermessungen des Seegrundes in den letzten Jahren (z.B. Böder & Wessels, 2009) die Notwendigkeit einer Neuvermessung des gesamten Sees mittels moderner Technologien. Um Prozesse wie Erosion oder Klimawandel und deren Auswirkungen auf den See besser und im Detail zu verstehen, braucht es eine räumlich hochaufgelöste Datengrundlage. Diese wurde und wird derzeit im Rahmen des Projektes *Tiefenschärfe* realisiert (finanziert über IGKB und das Programm INTERREG IV der Europäischen Union). Zunächst wurde im Frühjahr-Sommer 2013 eine hochaufgelöste Fächerecholotung für die Bereiche tiefer als 5 m durchgeführt. Im Frühjahr 2014 erfolgte dann die topobathymetrische Laserscanvermessung der Flachwasserzone bis in eine Tiefe von ca. 7m sowie des angrenzenden Vorlandes. Aus der Kombination beider Datensätze wird ein vollständiges und detailliertes Geländemodell des Bodensees und seiner direkten Umgebung abgeleitet.

2 Methodik

2.1 Hydromapping (topobathymetrische Laserscanvermessung)

Das luftgestützte topobathymetrische Laserscanning (Airborne Hydromapping, Abb. 1) stellt ein neues und sehr effektives Konzept für die schnelle und ökonomische Kartierung großer Gebiete dar. Hierbei werden hochqualitative und hochauflösende Vermessungsdaten erfasst, die auf Grund der Informationsdichte (> 45 Punkte/m²) einen entsprechend detaillierten räumlichen Blick auf den Seeboden erlauben. Diese Daten kombinieren wir zudem mit hochaufgelösten Luft- (GSD < 10 cm/Pixel) und Wärmebildern.

Die topobathymetrische Befliegung entlang des Bodenseeufers wurde innerhalb von drei Tagen im März und Juni 2014 unter Verwendung des hydrographischen Scanners VQ820-G (Riegl LMS) abgeschlossen. Über einen Streifenabgleich wurde zuerst eine in sich konsistente Punktwolke erzeugt (Abb. 2 links). Hierbei wurden Versätze zwischen den einzelnen Scanstreifen mit einer relativen Genauigkeit von 0.07-0.10 m (Standardabweichung) korrigiert. Im Anschluss wurde die Punktwolke über terrestrisch vermessene und um den gesamten See verteilte Referenzflächen georeferenziert (absolute Genauigkeit 0.08-0.09 m, Standardabweichung). Bei Kombination aller Scanstreifen wurde eine Gesamtpunktdichte von 40-50 Punkten/m² erreicht. Die Punktdichte für die Gewässersohle

allein liegt dabei bei 20-30 Punkten/m² nahe der Uferlinie und fällt auf 10-20 Punkte/m² in 4-5 m Tiefe ab.

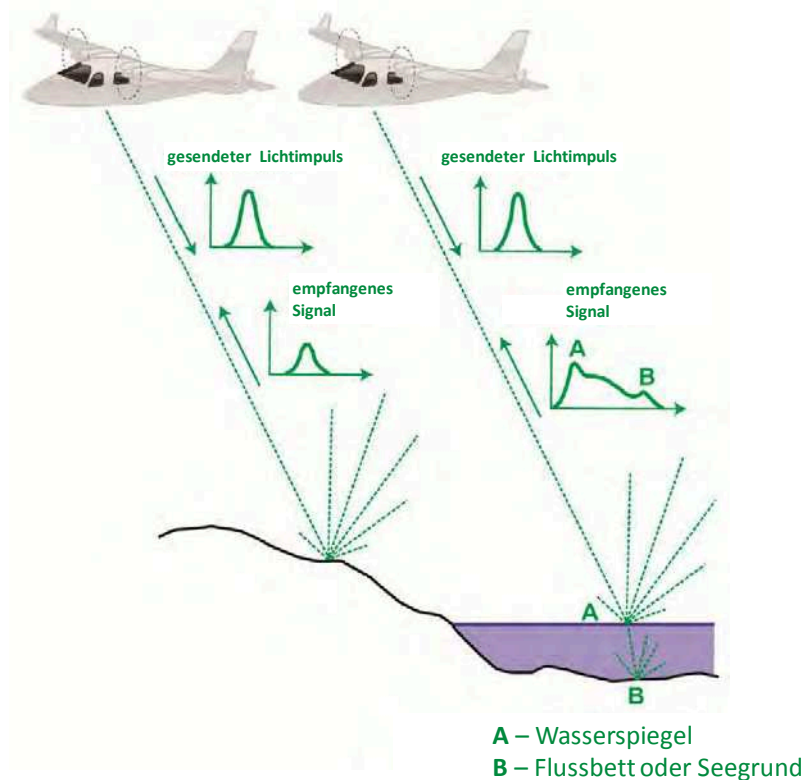


Abbildung 1: Darstellung der Geländevermessung, sowohl topographisch als auch bathymetrisch mittels der Laserscanmethode von Airborne Hydromapping

Die gesamte Punktwolke wurde nun in 11 Klassen (fester Boden, Gewässersohle, Vegetation etc.) klassifiziert und wo nötig werden Lücken interpoliert. In einem ersten Schritt wurden zunächst Fehlechos aus der Punktwolke automatisch herausgefiltert und die verbleibenden Fehlechos dann manuell korrigiert. In einem ca. 50 m breiten Streifen entlang der Uferlinie erfolgt die Punktklassifizierung manuell, um eine korrekte Kartierung der Uferlinie und korrekte Klassifizierung komplexe Bereiche wie Hafenanlagen zu gewährleisten. Das verbleibende Hinterland bis in eine Entfernung von 300 m zur Uferlinie und die Wasserseite wurden automatisiert klassifiziert. Hierfür wurden Algorithmen und Module verwendet, die in die Software HydroVISH implementiert sind. Die Korrektur der Laufzeit und Wassertiefe (Refraktion) wurden ebenfalls mit HydroVISH durchgeführt.

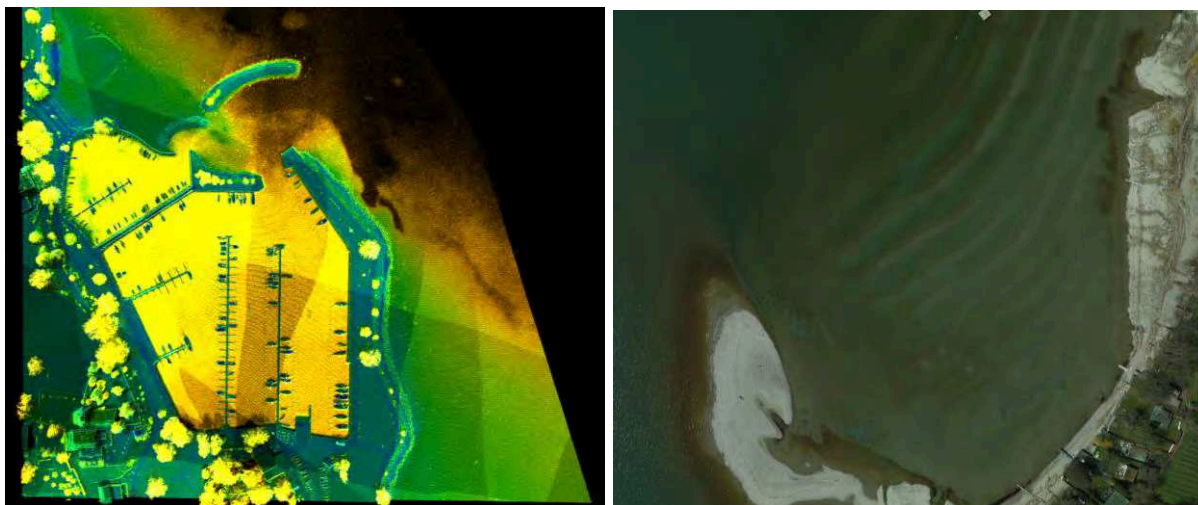


Abbildung 2: Ausschnitt topobathymetrische Laserpunktewolke visualisiert in HydroVISH, Hafen Romanshorn, Schweiz (links). Hochaufgelöstes Luftbild mit Megaripeln bei Wasserburg, Deutschland (rechts).

Während der Befliegung wurden ebenfalls ca. 22.000 ($\pm 2\%$) Luftbilder mit einer Mittelformatkamera aufgenommen (Hasselblad H3DII-39; Abb. 2 rechts). Aus diesen Bildern wurde ein digitales Orthophotomosaik für die Uferzone des Bodensees abgeleitet. Die Luftbilder wurden mittels Aerotriangulation orientiert. Dafür wurden 60 Referenzpunkte und 20 Kontrollpunkte definiert, deren Koordinaten aus der Laserpunktewolke extrahiert wurden. Nach der Orthorektifizierung der Luftbilder auf Grundlage des offiziellen 1x1 m Geländemodells für Österreich, Schweiz, Bayern und Baden-Württemberg wurden die Bilder radiometrisch korrigiert, um die Farbverteilung des gesamten Bildblocks zu homogenisieren. Die Mosaikierung erfolgte entlang natürlicher Grenzen und eine Korrektur von Seamlines wurde nur für Bildgrenzen über Gebäude hinweg durchgeführt. Die Bodenauflösung der so erzeugten Orthophotos beträgt 7 cm/Pixel mit einer Genauigkeit von weniger als 1 m (CE90).

2.2 Fächerecholotung

Die tiefere Bathymetrie des Bodensees (ab ca. 5 m Tiefe) wurde mittels Fächerecholot über 76 Tage von April bis August 2013 erfasst (Abb. 3). Die Messungen wurden von F. Anselmetti und seinen Kollegen von der Universität Bern durchgeführt. Hierbei wurde ein Kongsberg EM2040 Multibeam Echosounder verwendet ($1^\circ \times 1^\circ$ Strahlbreite, 300 kHz Standardmessfrequenz), der auf einem R/V Kormoran angebracht war. Energietransformatoren und weitere Sensoren wie Antennen zur RTK-GNSS-Positionierung oder GPS-Kompass waren auf einer tragbaren Vorrichtung am Bug des Schiffes befestigt. Für alle Bereiche tiefer als 40 m war eine doppelte Abdeckung nötig ($\sim 110\%$), um eine optimale Datenqualität zu erreichen. Für die Vermessung wurde der Dual-Swath-Mode

des EM2040 verwendet, um eine angemessene Geschwindigkeit der Vermessung, eine optimale Punktdichte und Abdeckung des Seebodens zu gewährleisten. Insgesamt wurde ein Gebiet von 460 km² abgedeckt. Es wurden 2961 Linien mit einer Gesamtlänge von 6001 km abgefahren, um in Summe ca. 7.21 Mrd. Peilungen zu erfassen.

Eine starke räumliche und zeitliche Variabilität der thermischen Schichtung der Wassersäule des Bodensees erschwerte die Verwendung eines allgemein gültigen Schallgeschwindigkeitsmodells für die Wassersäule. Daher musste eine große Zahl (602) individueller Schallgeschwindigkeitsprofile während der Echolotung ermittelt werden. Bei der Prozessierung der Daten stellte sich dann heraus, dass die Korrektur der Schallgeschwindigkeit ein kritischer Schritt innerhalb der Datenprozessierung ist. Zu Anfang sollten dabei Echtzeit-Positionskorrekturen verwendet werden, deren Bezug über eine netzwerkbasierete Internetverbindung mit NTRIP bewerkstelligt werden sollte. Auf Grund der unzureichenden Stabilität der Internetverbindung wurden dann aber postprozessierte RTK-Positionen verwendet.

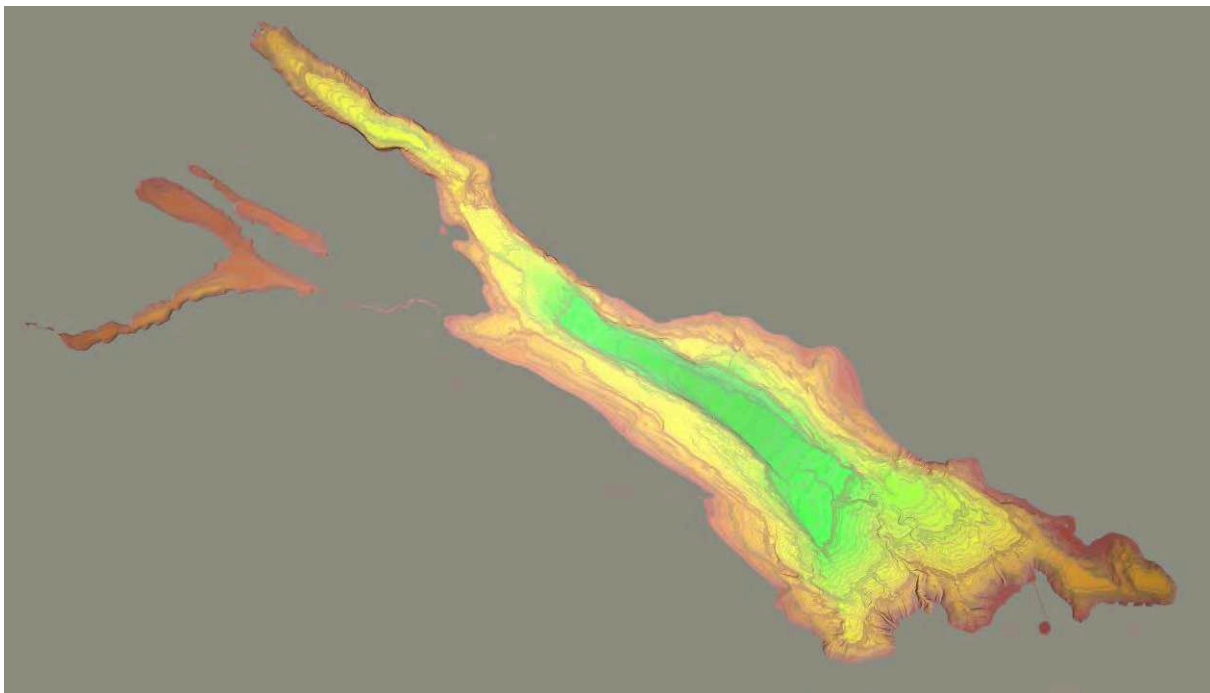


Abbildung 3: Visualisierung vorläufiger Echolotergebnisse des Bodensees in HydroVISH.

3 Erste Ergebnisse zur *Tiefenschärfe*

Schon jetzt erlauben die Daten einen vielversprechenden Blick auf Details am Seeboden. Im Folgenden gehen wir auf ausgewählte Beispiele ein, da derzeit noch die finale Datenprozessierung läuft und die weitere Evaluation eine gewisse Zeit benötigt.

3.1 Indikatoren für Bodensee-Grundwasser Wechselwirkungen

In tieferen Bereichen (80-100 m) des Überlinger Sees, dem fjord-ähnlichen Becken im nordwestlichen Teil des Bodensees, gibt es große und unregelmäßig geformte Mulden (Abb. 4). Der Rand dieser Mulden ist dabei unterschiedlich ausgeprägt. Der untere, seewärtige Rand ist eher diffus definiert, wohingegen der obere landwärtige Rand scharf hervor tritt (Abb. 4). Die Eintiefungen scheinen nicht durch Felsrutschungen oder Massenbewegungen verursacht zu sein. Derzeit gehen die Fachstellen davon aus, dass sie durch Grundwassereintrag in den See entstehen. In Rahmen eines Folgeprojektes soll untersucht werden, ob tatsächlich Grundwasserquellen (z.B. in den Molassesedimenten) zum Wasserhaushalt des Bodensees beitragen. Obwohl es zahlreiche Quellen in der Molasse gibt, ist ihr Beitrag zum Wasserhaushalt des Bodensees nicht bekannt. Die Eintiefungen sind auch deshalb von Bedeutung, da sie auch ein neues Licht auf den öffentlichen Diskurs zum Thema Fracking in der Umgebung des Bodensees werfen könnten.

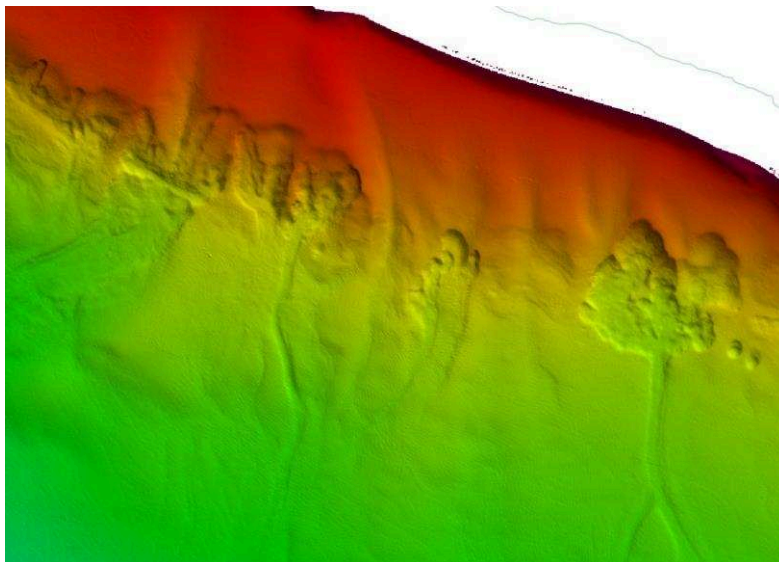


Abbildung 4: In den Echolotdaten sichtbare Eintiefungen des Seebodens im Hangbereich als Hinweis auf Grundwassereintrag in den Überlinger See am NW-Ende des Bodensees.

3.2 Topobathymetrie der Flachwasserzone

Der Wasserspiegel des Bodensees variiert gewöhnlich um 1.5 m, maximal 3 m. Wellen können eine Höhe von bis zu 2.5 m erreichen. Dies bewirkt einen hohen Grad an Erosion und Akkumulation am Seeboden, welcher durch Schiffswellen erhöht wird. Erosions- und Akkumulationsprozesse bedrohen dabei akut das kulturelle Erbe, das mit dem Bodensee verbunden ist (z.B. historische Pfahlsiedlungen). In den neuen Daten erkennt man deutlich die große morphologische Komplexität des Seebodens in der Flachwasserzone – beispielsweise Megarippln nahe der Rheinmündung (Abb. 5). Diese Rippln sind zwar bekannt und in Orthophotos sichtbar (Vergleich auch mit Abb. 2 rechts), aber ihre Dimensionen wurden nie im Detail untersucht. Die topobathymetrischen Daten des Bodensees werden wesentlich dazu beitragen, das Verständnis für Prozesse in der Flachwasserzone und deren Auswirkungen auf den gesamten See zu verbessern.

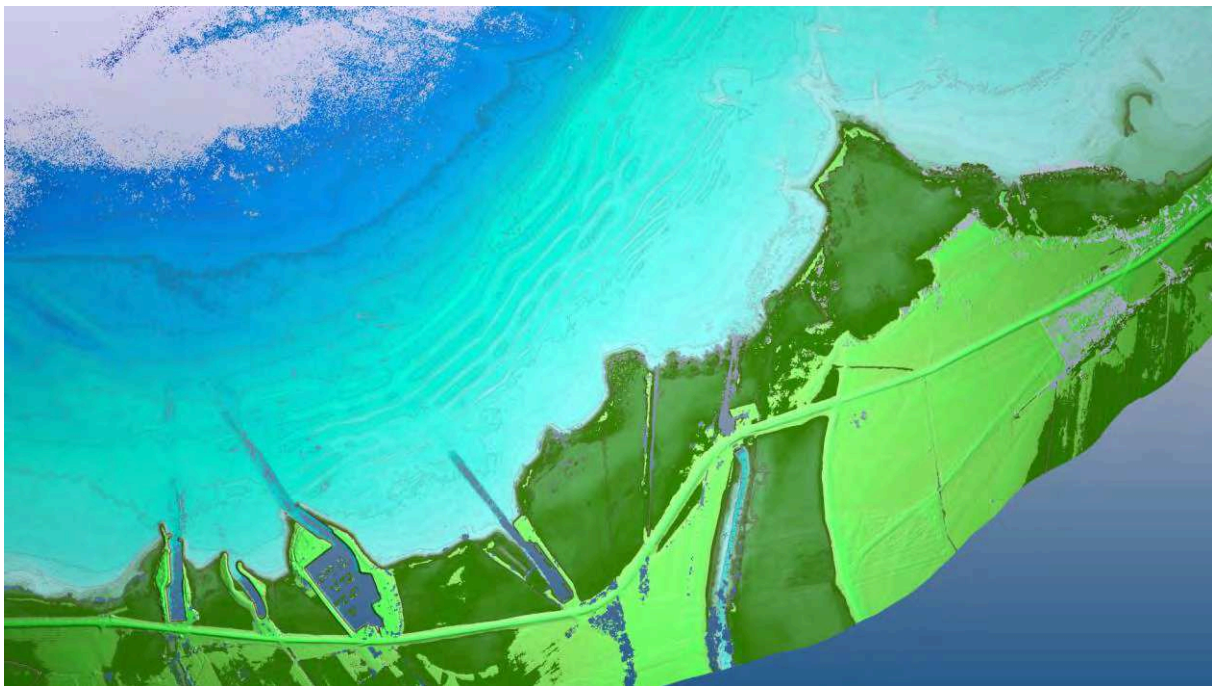


Abbildung 5: Topobathymetrische Daten der Flachwasserzone bei Rohrspitz westlich der Rheinmündung visualisiert in HydroVISH. Die komplexe Morphologie des Seebodens wird gut sichtbar und ist hier charakterisiert durch langgezogene, uferparallele Megarippln (Vergleich mit Luftbild in Abb. 2 rechts).

4 Erfahrungen und Herausforderungen

Von der technischen Seite her betrachtet, bleibt festzuhalten, dass ein Projekt wie Tiefenschärfe schwer zu handhaben ist. Dies ist vor allen Dingen darauf zurückzuführen, dass sich Binnengewässer viel variabler darstellen als marine Systeme. So treten insbesondere im Frühling und Frühsommer im nahen Uferbereich des Bodensees starke zeitliche und räumliche Temperaturunterschiede auf, wenn sich der See zu dieser Zeit sehr schnell erwärmt. Daher mussten während der Echolotung insgesamt 602 Schallgeschwindigkeitsprofilen erfasst werden, deren geeignete Prozessierung mit leistungsfähigen Softwarepaketen wie CARIS Hips&Sips immer noch nicht ganz geklärt ist.

Mit topobathymetrischen Laserdaten lässt sich der Seegrund unterhalb dicht wachsender Unterwasservegetation neu abbilden, weshalb beispielsweise die Aussagekraft ökologischer Studien zu Makrophytenbeständen im Bodensee beeinflusst sein kann.

Auf Grund der Erfahrungen zur Neuvermessung des Bodensees im Rahmen des Projektes *Tiefenschärfe* können zukünftige nationale und internationale Vermessungen von ähnlich großen Gewässern besser geplant und durchgeführt werden. Gerade der Umgang, die Aufbereitung und vorallem die Visualisierung der Massendaten (Laserscandaten >4TB) stellt Hard- und Softwaresysteme vor neue Aufgabenstellungen. Gerade die Verwaltung und Kategorisierung topobathymetrischer Datensätze steht am Anfang seiner Entwicklungsgeschichte und wurde z.B. im Rahmen des Tiefenschärfeprojektes durch die Bereitstellung einer neuen Datenschnittstelle im HDF5-Format mit Blick in die zukünftige Datenweiterverarbeitung gelöst.

Die Projektblaupause „Tiefenschärfe“ scheint geglückt – so gibt es bereits Planungen in der Schweiz weitere topobathymetrische Laserdaten und Fächerecholotungen in hochaufgelöster Form zu kombinieren.

5 Literatur

- Böder, V. & Wessels, M. (2009), Einsatz hydrographischer Sensoren und Verfahren zur Untersuchung von Pockmark-Strukturen im Bodensee. In: Geoinformationen für die Küstenzone, Band 2, 159 – 164.
- Braun, E.; Schärpf, K. (1994): Internationale Bodensee-Tiefenvermessung 1990. - Landesvermessungsamt Baden-Württemberg (ed.), Stuttgart, pp. 1-98.
- Zeppelin, E. (1893): Ältere und neuere Bodensee-Forschungen und –Karten mit Einschluß der Arbeiten der für die Herstellung der neuen Karte und die wissenschaftliche Erforschung des Sees von den fünf Ufer-Staaten eingesetzten Kommissionen nebst zwei Originalberichten. Schrr. Ver. Gesch. Bodensee, 22: 21-45.

Autoren:

Dipl. Ing. Frank Steinbacher
Dr. rer. nat. Ramona Baran
Dr. Wolfgang Dobler
MSc Manfred Niederwieser

Airborne HydroMapping GmbH
Technikerstr. 21a
A - 6020 Innsbruck

Tel.: +43 512 50737800
Fax: +43 512 50737899
E-Mail: f.steinbacher@ahm.co.at
r.baran@ahm.co.at
w.dobler@ahm.co.at
m.niederwieser@ahm.co.at

Dr. Martin Wessels

Landesanstalt für Umwelt, Messungen und
Naturschutz Baden-Württemberg
Institut für Seenforschung
Argenweg 50/1
88085 Langenargen

Tel.: +49 7543 304171
Fax: +49 7543 304299
E-Mail: martin.wessels@lubw.bwl.de