

Seevermessungsprojekt Wörthersee als zukunftsweisendes Beispiel für Sensorfusion

THOMAS PIECHL¹, HERBERT DÖLLER²

Zusammenfassung: Für den Wörthersee sollte ein zukunftsweisendes 3D-Modell nach den modernsten Methoden der hydrographischen Vermessung geschaffen werden. Es kamen verschiedenste Sensortechniken zum Einsatz, der Ergebnisse zu den nunmehr vorliegenden 3D-Modell zusammengeführt wurden. Mit diesen hochauflösenden Daten ist sohin die Basis für eine Vielzahl von Aufgaben geschaffen worden. Eine neugewonnene Planungssicherheit ist das Ergebnis dieser Sensorfusion.

1 Einleitung - Motivation

Im Jahr 1976 wurde die letzte Tiefenvermessung des Wörthersees als „Neuauslotung des Wörthersees mit Hilfe eines Echographen“ (SCHULZ & SCHULZ 1976) durchgeführt. Aus den 49 Tiefenprofilen wurde eine Karte mit Tiefenlinien (10m Isolinien) im Maßstab 1:25.000 abgeleitet.

40 Jahre später soll nunmehr das „integrale Seevermessungsprojekt Wörthersee“ einerseits ein detailgenaues 3D-Modell des Seebeckens liefern, andererseits auch der Seeuntergrund sowie die Ufer- bzw. Flachwasserbereiche untersucht werden. Das neu erstellte digitale Unterwassergeländemodell des Wörthersees soll im Uferbereich nahtlos an das bestehende digitale Geländemodell aus Laserscandaten anschließen. Bei der Erfassung des Seeuntergrundes wird nun auch die Art und Mächtigkeit der Sedimentauflage dokumentiert. Die Einsatzbereiche der neuen Daten sind vielfältig und sicher noch nicht zur Gänze absehbar.

1.1 Wörthersee

Mit einer Fläche von 19,39 km² und 16,5 km Länge ist der Wörthersee der größte See Kärntens. Er liegt in einer Talfurche im Kärntner Zentralraum, die vom eiszeitlichen Gletscher überformt wurde. Der See erstreckt sich in Ost-West Richtung und ist topographisch in drei Becken unterschiedlicher Tiefe gegliedert. Das westliche und tiefste reicht von Velden bis Pörschach (Fläche 7,9 km², max. Tiefe ca. 85 m), das mittlere von Pörschach bis Maria Wörth (Fläche 3,5 km², max. Tiefe ca. 40 m) und das östliche von Maria Wörth bis Klagenfurt (Fläche 8,0 km², max. Tiefe ca. 73 m).

Den Zufluss des Wörthersees bilden eine Vielzahl kleinerer Bäche, die von allen Seiten in den See einmünden. Der größte von ihnen ist der Reifnitzbach mit einer mittleren Wasserführung von 0,63 m³/s. Der Abfluss, die Glanfurt/Sattnitz, verlässt den See im Osten und entwässert über die Glan und die Gurk zur Drau. (SCHULZ et al. 2004)

¹ Land Kärnten, Abteilung Umwelt, Energie und Naturschutz, Flatschacherstraße 70, A-9020 Klagenfurt, E-Mail: thomas.piechl@ktn.gv.at

² Dr. Döller Vermessung ZT GMBH, Johannesgasse 15/1, A-1010 Wien, E-Mail: office.wien@doeller.biz

2 Ziele & Nutzen

Die exakte Erfassung von See-Einbauten oberhalb und unterhalb des Wasserspiegels (Einleitungen, Wasserentnahmen, Seedruckleitungen, Stege, ...) stellt die Basis für die Erarbeitung von Notfallplänen für die Betreiber von Leitungen im Seen dar. Für die Detailplanung von neuen Seedruckleitungen werden genaue Tiefenkarten und die exakte Lage bestehender Leitungen benötigt. Mit zeitgemäßer Echolot-Technologie (Single-Beam-Aufnahmen im Uferbereich und Multi-Beam-Aufnahmen im Tiefenbereich) wird der exakte 3D Verlauf der bestehenden Seedruckleitungen erfasst. Mit Hilfe der Ergebnisse können z.B. Tauchgänge für Reparaturarbeiten oder der Verlauf von zusätzlichen Leitungen exakt geplant werden

Neben der schon genannten Planungssicherheit werden die gewonnenen Daten auch für die Bereiche Sicheres Tauchen, Beobachtung von Hangrutschungen im See mit neuen Methoden (Faseroptische Systeme), Kartengrundlagen für Kampfmittelbeseitigung, Wracks und historische Einbauten, Grundwasserzutritte, Trinkwasserentnahmen und Dokumentation des Sedimenttransports benötigt.

Die EU-Wasserrahmenrichtlinie sieht bei der Erhebung des ökologischen Zustandes stehender Gewässer nicht nur chemisch-physikalische bzw. biologische Parameter vor, sondern auch die Bewertung morphologischer Parameter im Bereich der Seeufer. Ein wesentlicher Parameter dabei ist der Verbauungsgrad der Gewässer. Dazu sollen die überbauten Seeflächen und Uferbereiche detailliert erfasst werden. Für diese Kartierung der Morphologie werden hochauflösende Orthofotos aus einer Drohnenbefliegung eingesetzt und mit den Daten aus der Echolotaufnahme verschnitten (Sensorfusion).

3 Methodik & Sensoren

Die 3D-Tiefenerfassung erfolgte im Zeitraum 3./4. Quartal 2017 sowie mit Ergänzungsmessungen im 2. Quartal 2018. Die Erfassung der Gewässersohle wurde mit einer hochpräzisen Sensorgruppe bestehend aus einem Fächerlot der neuesten Generation SeaBat, einem GNSS Heading System Aste RX-U Marine und einem Wasserschallprofilmessgerät VALEPORT Swift SVP durchgeführt. Die Positionierung erfolgte über RTK-DGNSS. Die Sedimentecholotmessung (Sub Bottom Profiling) erfolgte mit System SES-2000. Die Durchführung der Singlebeam-Echolotung wurde mit der neuesten Generation des Admodus Sonar durchgeführt. Für die Bestimmung der 3D-Koordinaten der Messschiffe wurde ein einheitliches homogenes Bezugssystem realisiert.

3.1 Subbottom Echolot

Für die Erfassung des Seeuntergrundes wurde das parametrische Sedimentecholotsystem SES-2000 light der Innomar Technologie GmbH benutzt, welches den parametrischen akustischen Effekt zur Schallerzeugung nutzt. Zwei hochfrequente Schallwellen werden abgestrahlt, interagieren in der Wassersäule und bilden eine tieffrequente Komponente. Das SES-2000 System benutzt Primärfrequenzen um die 100 kHz und kann Differenzfrequenzen zwischen 5 kHz und 15 kHz erzeugen. Die hohen Frequenzen können zur Wassertiefenbestimmung

verwendet werden und die tiefen Frequenzen sind in der Lage in den Boden einzudringen. Die reflektierten tiefen Frequenzen geben Informationen über Bodenstrukturen, Sedimentschichten und eingebettete Objekte.

Für die konkrete Messung wurde das S-2000 light System an Bord eines elektrischen Motorbootes installiert. Der Schallwandler wurde mit einer Tauchtiefe von 27 cm installiert, damit keine Blasen die Aufzeichnung stören. Zur Positionierung wurde eine Leica GS 16 GPS Antenne 2 m direkt über dem Schallwandler montiert. Alle Höhenangaben basieren auf dem offiziellen Wasserpegel, publiziert vom Hydrographischen Dienst des Landes. Für den Wörthersee liegt der Pegelnullpunkt bei 439.01 m (müA). Der Pegelstand während der Messperiode lag durchgehend bei 1.26 m. Die Wassertemperatur war mit 14.3° C angegeben, was in einer gemittelten Wasserschallgeschwindigkeit von 1469 m s⁻¹ resultiert und welche für die gesamte Laufzeit-Tiefenumrechnung benutzt wurde.

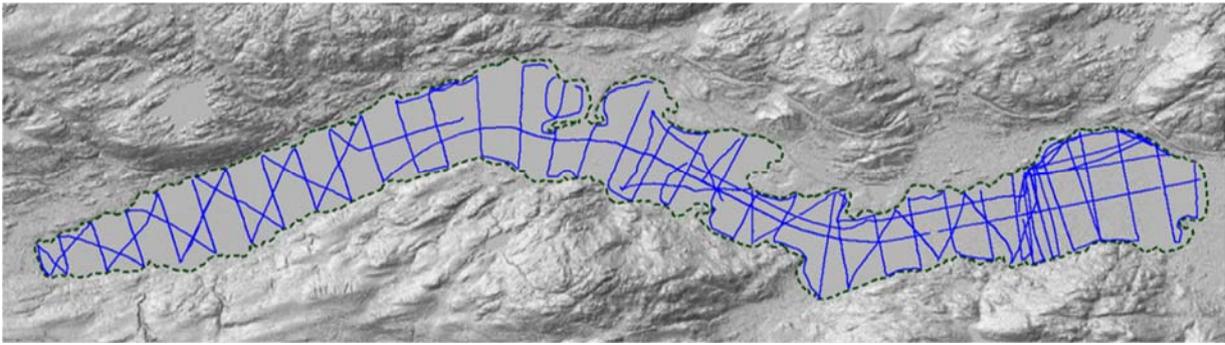


Abb. 1: Wörthersee mit Profilsuren – Subbottom -Echolot

3.1.1 Ergebnisse

Nur in flachen Bereichen des Wörthersees ist die erste Multiple sichtbar (Eigenschaft 9 – ein scheinbares Echo, welches von Schallwellen herrührt, die mehrfach zwischen Boden und Seeoberfläche hin und her laufen). Sehr weiche Sedimente können überall im See gefunden werden und resultieren in guter akustischer Eindringung bis zum festen Seegrund (Basement oder auch Grundgebirge) oder älteren kompakten Sedimenten (Eigenschaft 5) mit unebener Morphologie. Das Basement ist mit parallel geschichteten, weichen Sedimenten verfüllt (Eigenschaften 2 und 4), welche feine parallel Reflektoren ausbilden. Helle Schichten wechseln sich im Echogramm mit dunkleren Schichten höherer Reflektivität ab. Einige große Rutschungen, wie z.B. Eigenschaft 3, können im ganzen See beobachtet werden und schneiden und überdecken die fein geschichteten Sedimente. Die Sedimente einiger Rutschungen sind akustisch transparent, andere zeigen chaotische und kissenförmige Strukturen. Einige jüngere Rutschungen (Eigenschaft 1) sind noch nicht von parallel geschichteten Sedimenten überdeckt.

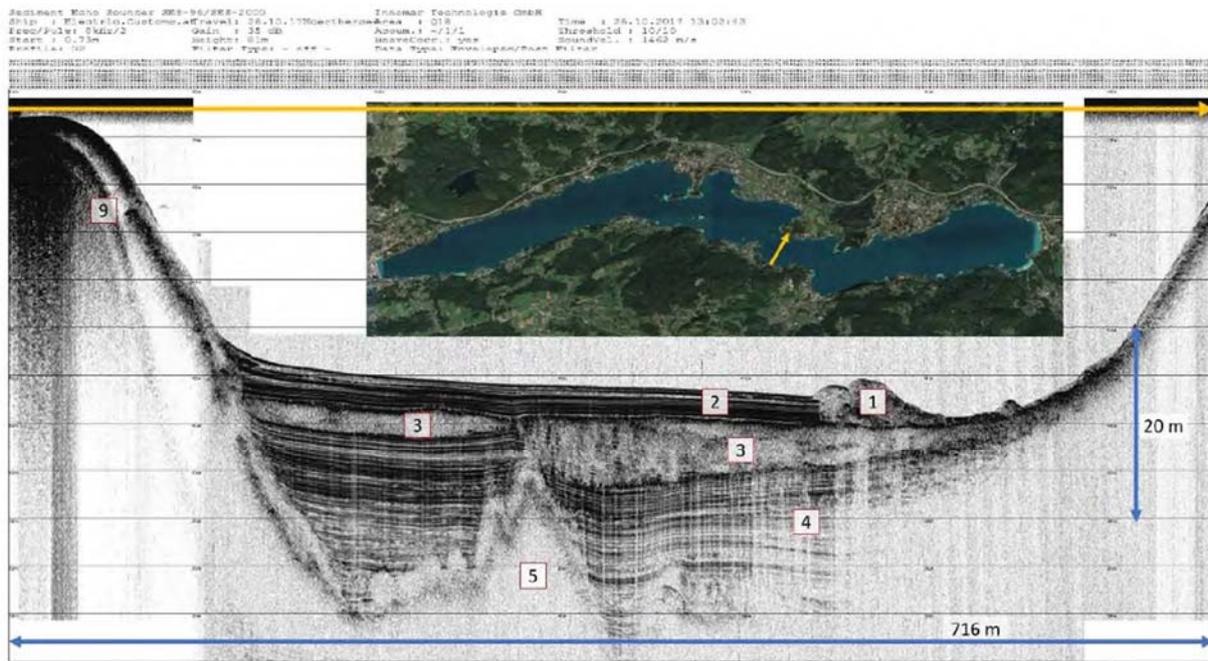


Abb. 2: 2D Sektion von Profil Q18_20171026_130243LF mit einigen akustischen und geologischen Eigenschaften (1-9), der gelbe Pfeil gibt die Lage und Richtung des Profils an

Der Auslöser für die Rutschungen ist wahrscheinlich verbunden mit tektonischer Aktivität.

3.2 Fächerecholot und ergänzende SingleBeam Messungen

Alle Messungen erfolgten mit einem Fächerlot der neuesten Generation SeaBat T50-P. Dieses System arbeitet mit einer Frequenz von 400kHz. Der Öffnungswinkel variiert zwischen 150° und 165°. Die entsprechende Beamöffnung beträgt quer 0,5° und längs 1°. Die Tiefenauflösung kann mit 6mm angenommen werden. Die maximale Ping Rate beträgt 50Hz. Als Inertialsystem wird die Messeinheit Octans V mit einer Richtungsgenauigkeit von 0,1° und von 0,01° bei Roll, Pitch und Yaw sowie einer Auflösung von 0,001° verwendet.

Für die exakte Positionsbestimmung wurde ein GNSS Heading System der AsteRx-U Marine von Septentrio zum Einsatz. Die Temperatur und das Wasserschallgeschwindigkeitsprofil wird mit der VALEPORT Swift SVP Sonde gemessen. Die Messfahrten wurden bei idealem Herbstwetter bei extrem ruhiger Seeoberfläche in den ersten beiden Novemberwochen 2017 durchgeführt.

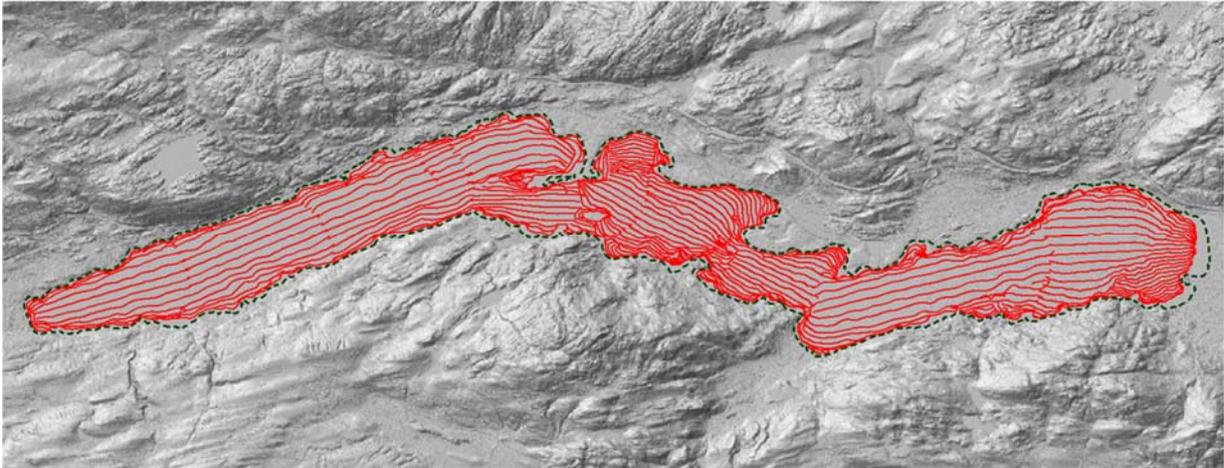


Abb. 3: Spuren der Fächerecholotmessungen

Die Daten aus der Fächerecholotmessung, die flächendeckend bis zu einer Wassertiefe von minimal zwei Metern durchgeführt wurden stellen die Basis für ein hochauflösendes Unterwassergeländemodell des Wörthersees dar. Für die Erfassung der Flachwasserzonen wurden ergänzenden SingleBeam Messungen durchgeführt.



Abb. 4: Spuren der ergänzenden Singlebeam Messungen

Das berechnete Unterwassergeländemodell ist in den Flachwasserzonen war aufgrund der wesentlich geringeren Punktdichte im Vergleich zu den Fächerecholotdaten natürlich ungenauer, eine wesentlicher Verbesserung wird durch die zusätzliche Verwendung des, aus der Drohnenbefliegung berechnete Oberflächenmodell erwartet.

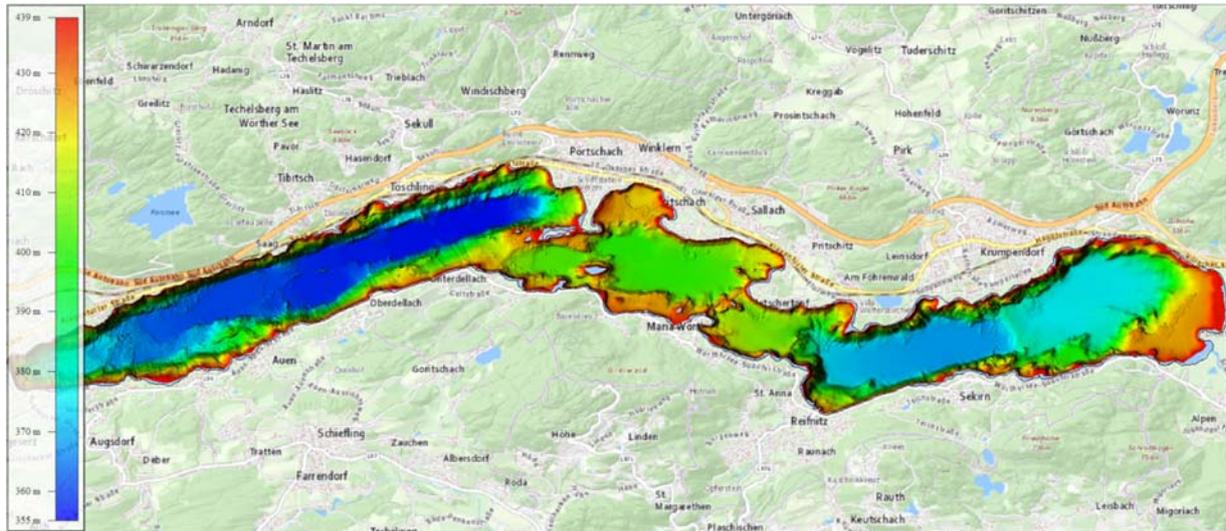


Abb. 5: Unterwassergeländemodell des Wörthersees (Auflösung 2×2m)

3.2.1 Erste Auswertungen

Der Wasserverband Wörthersee Ost betreibt ein weiterverzweigtes Netz an Abwasserleitung im Kärntner Zentralraum. Die exakte Verortung von See-Einbauten unterhalb des Wasserspiegels (Einleitungen, Wasserentnahmen, Seedruckleitungen) wird für die Erarbeitung von Notfallplänen dringend benötigt. Bisher konnte die Lage der bestehenden Seeleitung nur punktuell im Rahmen von Tauchgängen ermittelt werden. Mit Hilfe des hochauflösenden Tiefenmodells konnte der genaue Verlauf der Leitungen ermittelt werden.

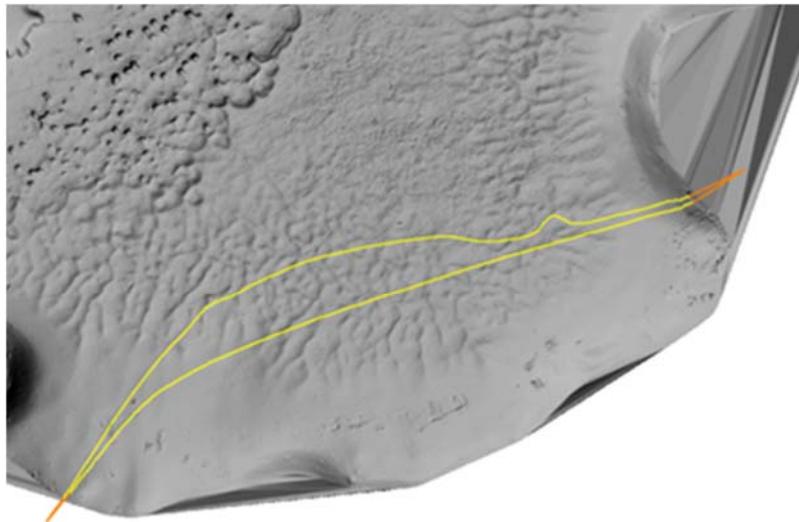


Abb. 6: Bestehende Druckleitung in der Wörthersee Ostbucht

3.3 Orthofoto und Oberflächenmodell aus Drohnenbefliegung

Im Rahmen einer Forschungs Kooperation zwischen dem Land Kärnten und der FH Kärnten - Studiengang Geoinformation und Umwelttechnologien wurde eine hochauflösende photogrammetrische Auswertung des gesamten Wörtherseeufers und ausgewählter Flachwasserbereiche auf Grundlage einer Drohnenbefliegung durchgeführt. Erfasst wurde dabei ein ca. 100m breiter Uferstreifen sowie die anschließende Flachwasserzone. Im Zuge dieses Projektes wurden einerseits Orthofotos (Auflösung 5×5cm) und ein Oberflächenmodell (Auflösung 10×10cm) berechnet. (Eigener Beitrag im Rahmen dieser Tagung).



Abb. 7: Orthofoto Ostufer des Wörthersees



Abb. 8: Oberflächenmodell Ostufer des Wörthersees

3.4 Produkte

Als solche liegen derzeit vor bzw. sind abrufbar:

- Hochauflösendes Tiefenmodenmodell mit nahtlosem Übergang zum bestehenden Höhenmodell
- Auswertungen des Tiefenmodells (Isohypsenkarte, Mächtigkeit der Weichauflage, Sedimenttypen, Grundwasserzutritte, Wracks, historische Einbauten ...)
- Erfassung von See-Einbauten oberhalb und unterhalb des Wasserspiegels (Einleitungen, Wasserentnahmen, Seedruckleitungen, Stege, ...)
- Erfassung von ökologisch wertvollen Flächen im Uferbereich, Change Detection zu bestehenden Daten
- Räumliche Darstellung der Sedimentmächtigkeit

Die Präzision der 3D-Tiefendaten hat mit den verwendeten Messgeräten einen beeindruckenden Level erreicht. Die Aufgabenstellung verschiedene Sensoren zu fusionieren, darf als gelungen bezeichnet werden. Für Nachfolgeprojekte ist sohin ein zukunftsweisender Weg aufgezeigt worden.

4 Literaturverzeichnis

- DÖLLER, H., JACHS, W. & NEUNTEUFEL, G., 2016: New Concepts and Applications for Geodetical Monitoring with Fibre optic Sensing (FOS). Joint International Symposium on Deformation Monitoring (JISDM), TU Wien. https://www.fig.net/resources/proceedings/2016/2016_03_jisdm_pdf/nonreviewed/JISDM_2016_submission_106.pdf
- SCHULZ, L., FRESNER, R., AMBROS, M., REICHMANN, M., MAIRITSCH, M. & HOLAREK, C., 2004: Der Wörthersee Limnologische Langzeitentwicklung des Wörthersees und limnologische Untersuchungen des Jahres 1999 unter besonderer Berücksichtigung der Planktonbiocönosen. Publikationen des Kärntner Instituts für Seenforschung, **24**, 1-58. https://www.zobodat.at/pdf/Pub-Kaerntner-Institut-fuer-Seenforschung_24_0001-0058.pdf
- SCHULZ, N. & SCHULZ, L. 1976: Neuauslotung des Wörthersees mit Hilfe eines Echographen. Carinthia II, **86**, 463-466. https://www.zobodat.at/pdf/CAR_166_86_0463-0466.pdf