

Hydroakustische Erfassung der Morphologie und Sedimentschichtung des Neusiedler Sees

Erwin HEINE¹, Andreas PROKOPH², Ilse KOGLBAUER¹, Willi LOISKANDL¹

¹Universität für Bodenkultur Wien; ²HafenCity Universität Hamburg

Diese Publikation ist unserem geschätzten Kollegen Prof. Volker Böder gewidmet, welcher im September 2012 bei einem tragischen Schiffsunglück ums Leben kam. Volker Böder war maßgeblich an der Konzeption und Durchführung der Echolotmessungen im Projekt GeNeSee beteiligt.

Zusammenfassung

Im Rahmen des Dreijahresprojektes GeNeSee (Geodätische Neuerfassung des Systems Neusiedler See – Hanságkanal) wurde im Herbst 2011 mittels Echolotmessungen das Oberflächenprofil des Seebodens aller offenen Wasserflächen (inkl. der Hauptkanäle) erfasst.

Einzelstrahlecholotungen mit Frequenzen zwischen 710 kHz und 35 kHz liefern dabei ein Bild des Aufbaus des Wasserkörpers und der oberen Schlammschichten. Die Stratifizierung der tieferen Sedimentschichten und des Seebodens wurde unter Einsatz eines parametrischen Echolots („Sedimentecholot“) erfasst. Die Gesamtlänge der vermessenen Profile beträgt rund 2.000 km. Informationen über die Morphologie des Seebodens zwischen den Profillinien liefern Seitensichtsonar-Aufnahmen, welche die Bodenstruktur bildhaft wiedergeben.

Zur Kalibrierung der Echolotdaten wurde der Profilaufbau des Seebodens in Regionen mit spezifischen Bodenstrukturen mit einem adaptierten Messsystem aus der Bodenphysik bestimmt. Dabei werden im Schlamm und dem anstehenden Seeboden der Wassergehalt mit einem kapazitiven Sensor und der Eindringwiderstand mit einem Penetrologger entlang eines vertikalen Profils gemessen.

1 Einleitung/Motivation

1.1 Das Projekt GeNeSee

Der Neusiedler See und sein Schilfgürtel bestimmen das Landschaftsbild, begünstigen das regionale Klima (Weinbau), und werden durch Tourismus, Wassersport, Schifffahrt und Fischerei genutzt. Er ist mit 321 km² Gesamtfläche, mit 233 km² österreichischem und 88 km² ungarischem Anteil, der größte See Österreichs. Die Schwankungen des Wasserstandes führten zum letzten Male in den Jahren 1865-1870 zu vollkommener Austrocknung. Erst mit dem Beginn der Regulierungsmaßnahmen, wie dem Bau des Einserkanals und einer Schleuse bei Pamhagen Ende des 19. Jahrhunderts, aber insbesondere seit der Inbetriebnahme der neuen Wehranlage in Mekszikópusta 1965, konnte eine gezielte Regelung der Wasserstände des Neusiedler Sees erreicht werden. Das mit der Zeit abnehmende Seevolumen bei gleichen Pegelständen ist sowohl auf die sukzessive Ablagerung von Schlamm im Seebecken, als auch auf die zunehmende Verschluffung des Sees zurückzuführen. Durch die häufigen Windereignisse gelangen die am Seeboden abgelagerten Sedimente in Schwe-

be und werden vorwiegend durch die ebenfalls windbeeinflusste Strömung verlagert (ÖUGK, 1996). So hat sich das im österreichischen Teil des Sees befindliche Schlammvolumen im Zeitraum 1963 bis 1988 nahezu verdoppelt (Csaplovics et al., 1989). Diese Zunahme sowie das Ausmaß strömungsbedingter Sedimentverfrachtungen sind aufgrund der unterschiedlichen Messmethoden nur bis zu einem gewissen Maße als Vergleichsmaß gültig und bedarf zukünftiger, ausführlicher Recherchen (Csaplovics, 1997). Erst in der grenzüberschreitenden, ganzheitlichen Systembetrachtung mit exakter Kenntnis der Topographie des Seebodens und der Schlammverteilung können Auswirkungen von Maßnahmen auf Natur, Umwelt, regionales Klima und wirtschaftliche Nutzung erkannt und bewertet werden (GeNeSee, 2011).

Das im Jahr 2011 gestartete österreichisch-ungarische Kooperationsprojekt GeNeSee („Geodätische Neuerfassung des Systems Neusiedler See – Hanságkanal“) zielt darauf ab, eine homogene topographische Datenbasis des Beckens des Neusiedler Sees – Fertő und des Hanságkanals zur Verfügung zu stellen.

In vier Arbeitspaketen werden die historischen Datenbestände aufbereitet und in einen gemeinsamen europäischen Referenzrahmen (ETRS89/EVRF2007) transformiert, das Umland sowie der Schilfgürtel mit Airborne Laserscanning aufgenommen, der Bodenaufbau der Schilfzonen mit Messmethoden aus der Bodenphysik punktuell erfasst, sowie die Schlammoberfläche und der feste Untergrund der offenen Wasserflächen mittels hydroakustischen Messmethoden vermessen.

Im Folgenden werden die zur hydroakustischen Erfassung der Morphologie und Sedimentschichtung des Neusiedler Sees angewandten Messmethoden und Auswertestrategien beschrieben und die Ergebnisse behandelt, die im bis 2014 laufenden Projektes bis dato (11/2012) erzielt wurden.

2 Aufgabenstellung/Methodik

Ziel dieser Arbeit ist eine erstmalige, einheitliche, beide Staatsgebiete umfassende hydrographische Vermessung der Schlammoberfläche sowie des festen Untergrunds der offenen Wasserflächen des Neusiedler Sees, dessen Hauptkanäle sowie des Hanságkanals bis zur (Schleusen-) Wehranlage. Die besonderen Herausforderungen bestehen dabei in den geringen Wassertiefen von maximal 1,7 m und dem, durch den häufig auftretenden Starkwind und der geringen Wassertiefe verursachten starken Wellengang mit brechenden Wellenkämmen und kurzen, durch Überlagerung deutlich überhöhten Wellen.

Voruntersuchungen im Jahr 2010 zur Anwendbarkeit hydroakustischer Vermessungssysteme für die genannte Aufgabenstellung und unter den gegebenen Rahmenbedingungen haben folgende Mess- und Systemkonfiguration ergeben, die dann nach der Projektbewilligung im Sommer 2011 zur Anwendung kam:

- a) Ausrüstung eines eigenen Flachwasser-Messbootes für Dreimann-/ Zweischnitt-/ 7 Tage - Vermessungsbetrieb
- b) Rasterförmige Vermessung entlang von vordefinierten Profillinien
- c) GPS-RTK-Beschickung zur Positionierung und Einsatz von Motion-Sensorik für die Lagewinkeldefinition

- d) Einzelstrahl-Echolote (*single beam echo sounder*, SBES) liefern Informationen über die oberste Bodenschicht
- e) Parametrische Sedimentecholote (*sub bottom profiler*, SBP) dringen in die Sedimentschichten ein und liefern Informationen über den Schichtaufbau und der Lage des Seebodens (=Übergang zum kompakten Schlamm bzw. kompakten Sediment).
- f) Seitensicht-Sonaraufnahmen (*side scan sonar*, SSS) dienen zur Beschreibung der Morphologie des Seebodens zwischen den gemessenen Längs- und Querprofilen.
- g) Kalibrierung der SBES-Messungen in Gebieten mit Weichschlamm sowie der schichtdurchdringenden SBP-Messungen an repräsentativen Stellen des Sees durch bodenphysikalische Messungen der vertikalen Bodenschichtung.

3 Bootsaufbau, Messlinien, Navigation

3.1 Messvorbereitung / Systemeinbau

Am 22.8.2011 begannen am Neusiedler See die Vorortarbeiten der Echolotmessung mit der Anreise der dafür zuständigen BOKU-Mitarbeiter und der Kollegen von der HCU-Hamburg. Die "Biologische Station Neusiedlersee" in Illmitz dient in diesem Projekt als Vorort-Stützpunkt, an dem durch die beteiligte Arbeitsgemeinschaft Gesamtkonzept Neusiedler See (AGN) neben Büro und Werkstatträumlichkeiten auch eine unersetzliche personelle Unterstützung gegeben ist. Der aufwendigste Teil der Vorbereitungen betraf dabei die Adaption des Kajütbootes der biologischen Station, um aus dem Multifunktions-Arbeitsboot ein hochtechnisiertes Messboot für die Echolotvermessung zu machen (Abb.1a).



Abb.1: Außen- und Innenansicht des zum hydrographischen Vermessungsboot umgebauten Kajütbootes der Biologischen Station Neusiedler See

Die bestehende Inneneinrichtung wurde ausgebaut, und es wurden Zwischenböden für die Aufnahme der Bewegungssensorik (XSEA Octans & Novatel IMU-CPT), Regale für die Aufnahme der Messsensorik und Steuerungscomputer sowie Computerarbeitsplätze für eine Dreimannbesatzung plus ein Navigations- und Bootsführerstand (Abb.1b) eingebaut. Zur Aufnahme von fünf Echolotschwingern wurde basierend auf 3D-CAD-Konstruktionsplänen eine, auf die Bootsgeometrie angepasste, Trägerkonstruktion aus Aluminium gefertigt. Um so viel wie möglich der Flachwasserzonen vermessen zu können, kann die Eintauchtiefe der Sensoren individuell in der Höhe verstellt werden, je nach Wellengang und Bootsbelastung. Weiters können die Sensoren für die Fahrten mit höherer Geschwindigkeit vom und zum Messgebiet hochgeklappt und gesichert werden. Sowohl im Bug- als auch Heckbereich des Bootes wurden entlang der Mittelachse des Sensorträgergerüsts

Halterungen für GPS-Antennen platziert. Auf eine Höhe von 4m-ausfahrbaren Teleskopstangen wurden steuerbordseitig bzw. backbordseitig angebracht, um die für den GPS-Korrekturdatenempfang vorgesehenen GSM- bzw. Funk-Antennen aufzunehmen.

Die installierte Echolotausrüstung bestand aus:

Zwei Seitensichtsonare Kongsberg 200-0.5/49: im vorderen Bootsbereich an Back- und Steuerbordseite

Zwei Vertikalecholote Kongsberg EA400 mit 200 kHz und 710 kHz: im mittleren Bootsbereich an der Steuerbordseite

Ein Sedimentecholot Innomar SES mit einem Frequenzbereich von 4-12 kHz: im mittleren Bootsbereich an der Backbordseite.

Die Stromversorgung des Messequipments erfolgte über zwei unabhängige Stromgeneratoren von je 1 KW mit dazwischengeschalteter USV-Einheit. Spezielle, für raue Arbeitsumgebungen ausgerichtete Industrie-PCs wurden als Steuerungscomputer für die Echoloteinheiten eingesetzt, die als Primary-Secondary-System - bestehend aus zwei absolut identen PC-Einheiten mit permanent synchronisierten Datenbeständen - konfiguriert wurden. Zur Funktionsüberwachung des Gesamtsystems sowie zur dynamischen Messdatenvisualisierung und Vorort-Verifikation dienten Vierfachport-Grafikkarten mit Anzeigen auf drei frei konfigurierbaren Monitoren. Ein vierter Monitor diente zur Darstellung der für den Bootsführer notwendigen Navigationsinformation in grafischer, numerischer und kartographischer Form. Die gesamten Umbau-, Aufbau- und Einrichtungsarbeiten sowie die Installation und Konfiguration des Messelektronik und Sensorik wurden in weniger als einer Woche durchgeführt, und am Freitag den 26.8.2011 konnte die erste Fahrt mit der hydroakustischen Messausrüstung durchgeführt werden.

3.2 Geographische Ausdehnung, Messlinienanordnung und Messfahrten

Die Längsausdehnung der offenen Wasserfläche des Sees beträgt 33 km und die Querausdehnung erreicht ihr Maximum auf der Höhe von Podersdorf mit 7 km (Abb.2). Die von der Schlammoberfläche gebildete zentrale Seewanne (Höhen tiefer als 114,00 m ü.A.) verläuft analog zur Hauptausdehnung des Sees in nord-südlicher Richtung.

Um die Topographie des Seebodens möglichst gut zu erfassen, wurden die Hauptmesslinien – wie auch schon in den vorangegangenen Seevermessungen - quer zur Seemittelachse definiert. Der Abstand der Querprofile wurde mit 100 m festgelegt. Längsprofile im 500 m Abstand, Umfahrungslinien der Inselgebiete sowie uferparallele Umfahrungslinien inkl. der Hafenecken verdichteten das Messliniennetz (Abb.3). Insgesamt beträgt die Gesamtlänge der Messlinien mehr als 2.000 km.



Abb.2: Messlinienausrichtung



Abb.3: Messfahrten Detailansicht: Seepark Weiden

Die Befahrung der Messlinien erfolgte jedoch nicht chronologisch sondern nach wetterbezogenen Bearbeitungsgebieten. Je nach vorherrschenden Windrichtungen entwickeln sich auf dem See Zonen mit unterschiedlichem Wellengang. Dadurch kam es zwar oftmals zu Anfahrtszeiten von über einer Stunde, da man die Zone mit hohem Wellengang und kabbeliger See erstmal durchqueren musste, doch konnte die gesamte Echolotmessung entlang der Messlinien ohne längere Unterbrechung in weniger als drei Monaten durchgeführt werden.

3.3 GNSS/INS-Navigation und ETRS-Referenzsystem

Der durch die gegebene Windsituation häufig erzeugte starke Seegang mit kurzen, sich gegenseitig überlagernden Wellen bewirkt ruckartige Beschleunigungen und starke Lagewinkeländerungen des Messbootes.

GNSS/INS-Integration

Der Einsatz eines RTK-GPS-Ortungssystems ermöglichte eine absolute Bestimmung der Tiefenwerte, bei der höhenkritische Einflüsse, wie Wasserspiegel und Hub, verursacht durch Wellenbewegung sowie Sunk und Schwall vorbeifahrender Schiffe direkt und mit einer Genauigkeit von wenigen Zentimetern erfasst und in Echtzeit mit dem aktuellen Messdatensatz des Echolotes verknüpft werden (Heine, 2009). Durch Integration einer IMU (Inertial Measurement Unit) und gemeinsamer Verarbeitung von GPS/INS-Messungen kann einerseits die GPS-basierte Positionsbestimmung stabilisiert, und andererseits die Raumlage der exzentrisch zur GPS-Antenne montierten Echolotschwinger für jeden Zeitpunkt präzise erfasst werden.

Zum Einsatz kamen zwei unabhängig arbeitende Systeme mit unterschiedlichem, methodischen Ansatz:

Ein RTK-GNSS-System der Firma Leica (Systeme 1200 / Viva / GS25) in Kombination mit dem High-End-Bewegungssensor OCTANS III der Firma IXSEA (Wiederholgenauigkeit von $\pm 0.025^\circ$) sowie ein kombiniertes GNSS-IMU-System der Fa. Novatel (SPAN-SE Dual board mit IMU-CPT). Bei der Novatel-Einheit erfolgt die Bestimmung des

Gierwinkels (Azimut; engl.: Yaw) durch Kombination der IMU-Daten mit Messungen zweier GNSS-Antennen, welche in Bootslängsachse im Abstand von 2 m installiert sind.

Durch die GNSS/INS-Positionierung wurde nicht nur das Genauigkeitspotenzial der Echolotsensorik für die Seebodenvermessung genutzt, sondern die Vermessungsarbeiten konnten in effizienter Weise – nicht nur an Tagen mit ruhiger See – durchgeführt werden.

GNSS-RTK-Korrekturdatenlieferung und ETRS89-Koordinatenrahmen

In den ersten Projektwochen erfolgte die GNSS-RTK-Lösung durch Nutzung des VRS-Dienstes APOS des österreichischen Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesens (BEV).

Die Übertragung der Korrekturdaten mittels GSM/UMTS war jedoch unabhängig vom jeweiligen Provider enorm unsicher, da instabil, lückenhaft und oftmals über einen Zeitraum von bis zu einer Stunde nicht realisierbar. Aufgrund dieser unüberbrückbaren, massiven Übertragungsprobleme wurde ein eigener Basisstationsbetrieb mit UKW-Funkdatenübertragung eingerichtet.

GNSS-Basisstationen in Breitenbrunn, Illmitz und Fertőrákos lieferten dabei die RTK-Korrekturdaten im RTCM3.0-Format. Leistungsstarke Funkanlagen ausgerüstet mit Richtfunkantennen mit 15m-Abstrahlhöhe übernahmen die Übertragung zu den GNSS-Rovern. Eine ebensolche Ausrüstung, wurde auch von den ungarischen Kollegen der Universität Sopron für die Projektarbeiten auf ungarischem Gebiet angeschafft und die Genehmigung für den GPS-Korrekturdatenbetrieb eingeholt, jedoch ist die zugewiesene Frequenz von der österreichischen verschieden, und die Frequenzen der Funkanlagen mussten beim Betrieb in Ungarn entsprechend umgestellt werden.

Aufgrund der vorhandenen Einbindung von Referenzstationen in Sopron und Bratislava im APOS-Netz des BEV konnten die um den See verteilten, projektseigenen Basisstationen auf einfache Weise in das ETRS89-System eingemessen werden. Dieses Netz realisiert den Koordinatenrahmen für sämtliche im Rahmen des GeNeSee-Projektes durchgeführten Arbeiten, so auch für die Einzelpunktmessung mit bodenphysikalischen Methoden am Schilfrand oder im Schilfgürtel (siehe Kap. 5).

4 Hydroakustische Messung

4.1 Software / Schallgeschwindigkeit

Die Daten sämtlicher Sensoren wurden unter der Nutzung der GPS-Signale als gemeinsame Zeitreferenz synchronisiert. Für die Zusammenführung der Navigations-, Echolot-, Sonar- und Schallgeschwindigkeitsdaten zur Datenauswertung und Visualisierung wurden die Softwarepakete EA 400, Innomar SES sowie QINSy-Survey verwendet. Dabei wurden Messeinstellungen, wie die verschiedenen Sensorkonfigurationen, Grundlage- und Kartendaten, Messbildschirmeneinstellungen, Transformationen etc. direkt in die Software übernommen. Die Seitensichtsonar-Rohdaten wurden über die Sidescan Sonar Mosaiking Software (EASSM) der Firma Kongsberg georeferenziert.

Der Einfluss der Wasserschallgeschwindigkeit auf die Tiefenmessung wurde durch direkte Messung von dieser mittels einer Valeport-SVP-Sonde mit Temperatur- und Drucksensor berücksichtigt. Insbesondere da der See nur eine geringe Wassertiefe aufweist, ändert sich die Wassertemperatur sehr stark innerhalb kürzester Zeit. So sank die Temperatur innerhalb von nur 4 Tagen (6. - 10.10.2011) von 20°C auf 9°C ab. Die Temperaturextrema lagen

während der Messkampagne 2011 bei 29°C am 26.8. und 4° C am 17.11.2011. Dies bewirkt bei Nichtberücksichtigung bei 2 m Wassertiefe bereits eine Tiefendifferenz im Dezimeterbereich.

4.2 Einzelstrahl-Echolotung SBES

Während tiefe Frequenzen (<15 kHz) tiefer in den Untergrund eindringen, reflektieren die hohen Frequenzen besser auf leichtem, weichen Untergrund, wie Schlack oder Schlamm. Für den Neusiedler See unterteilt Preisinger (1979) die obersten Seebodenschichten entsprechend deren Wassergehalt in Weichschlamm (> 60 %vol.) und Schlamm (30 %vol.-60 %vol.). Die Tiefenlage dieser Schichtgrenzen wurde durch Einzelstrahl-Echolotmessungen (SBES) mit 710 kHz und 200 kHz entlang der vorab definierten Profillinien erfasst.

4.3 Sedimentecholot Innomar SES 2000

Sedimentecholote, auch bekannt als Sub Bottom Profilers (SBP), sind in ihrer Struktur einem Einzelstrahlecholot sehr ähnlich, arbeiten allerdings mit wesentlichen niedrigeren Frequenzen. Ziel ist es ein Querschnittsprofil des Gewässerbodens zu erfassen, dass die Struktur der Sedimentschichtungen aufzeigt (Abb.4).

Um die Sedimentmächtigkeiten im Neusiedler See zu bestimmen wurde ein Sedimentecholot vom Typ Innomar SES 2000 eingesetzt. Das Gerät nutzt den parametrischen Effekt um eine tiefe Frequenz zwischen 4 kHz und 12 kHz zu erzeugen. Parametrischen Arrays beruhen auf dem Konzept der nicht-linearen Erzeugung von akustischen Wellen. Dabei werden gleichzeitig zwei Schallwellen mit Frequenzen die dicht beieinanderliegen generiert und in die Wassersäule emittiert. Ebenfalls aufgezeichnet wird eine der primären hohen Frequenzen von 100 kHz. Die hohe Frequenz liefert eine eindeutige Reflexion von der Schlammoberfläche und dem festen Untergrund. Die 10 kHz Frequenz dringt weiter in das Sediment ein und zeigt auch Reflexionen von tiefer liegenden Schichten auf. Diese beiden Datensätze sollen helfen, sich einen Überblick über die Schlammmächtigkeit und dem Bodenaufbau im Neusiedler See zu verschaffen.

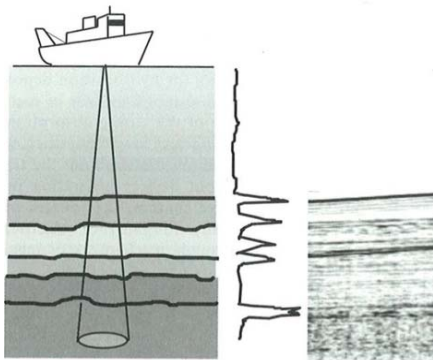


Abb.4: Funktionsweise eines Sedimentecholots

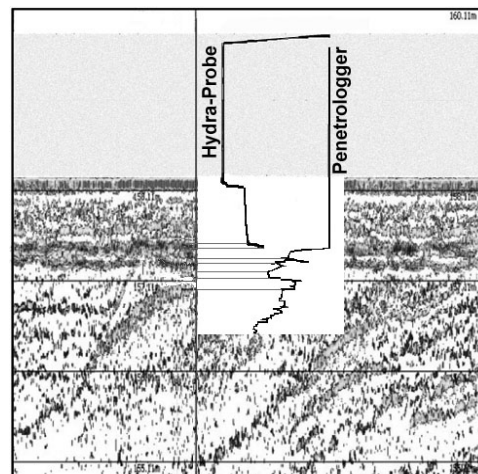


Abb.5: Vergleich der Echolotmessung mit Daten aus bodenphysikalischen Messungen (s. auch Farbtafel 6, S. 321)

Um die erfassten Daten für die Schichtenauswertung nutzen zu können war es nötig diese im Vorfeld zu prozessieren, wie fehlerhafte Positionsdaten zu eliminieren oder das Signal / Rausch Verhältnis des Echogramms durch Anpassung von Power und Gain zu verbessern. Anschließend konnten die Tiefenlinien digitalisiert werden, die wiederum die Basis für die digitale Geländemodellierung darstellen. Gerade das Digitalisieren der tiefen Frequenz ist äußerst aufwendig, da der Verlauf der Sedimentschichten von Fall zu Fall unterschiedlich interpretiert werden muss. Für diese Aufgabe gibt es leider noch keinen Algorithmus, die Arbeit muss also von Hand erledigt werden.

Um die Interpretation der Sedimentschichtung zu validieren, wurden die Echolotdaten mit Messungen aus bodenphysikalischen Geräten verglichen. Ziel ist es, die entsprechenden Schichten im Echogramm über die bodenphysikalischen Untersuchungsergebnisse zu „kalibrieren“. Bei den bodenphysikalischen Geräten handelt es sich einerseits um einen Sensor für Leitfähigkeit, andererseits um einen Drucksensor (siehe Kap.5). Die Koordinaten der Probenpunkte wurden so gewählt, dass sie sich auf zwei sich kreuzenden Profilen der Echolotmessungen befinden und sich möglichst gut über den See verteilen. Die bodenphysikalischen Messwerte wurden in die Echogramme integriert und graphisch repräsentiert:

Bei ersten Vergleichen konnte bereits festgestellt werden, dass die Ergebnisse aus den Sedimentecholotdaten sehr gut mit den Ergebnissen der bodenphysikalischen Proben übereinstimmen (s. auch Farbtafel 6, S. 321). Der Sensor für die Leitfähigkeit zeigt sehr deutlich die Mächtigkeit der Schlammschicht, während der Drucksensor gute Informationen über die Lage der ersten Sedimentschicht liefert. Dies ist in folgendem Beispiel gut zu erkennen: Die obere Schicht ist deutlich im Echogramm zu erkennen. Gleichzeitig ist aber auch eine ausgeprägte Änderung der Leitfähigkeit zu beobachten. Verfolgt man die Probe nun weiter, zeigt sich, dass das Ende der Leitfähigkeitsmessung mit dem ersten Ausschlag des Drucksensors übereinstimmt. Dies markiert die erste Sedimentschicht im Boden. Auf gleicher Höhe zeigt sich auch im Echogramm eine Reflexion.

Die Validierung zeigt, dass die Schichtungen im Echogramm der Realität sehr nahe kommen und im geforderten Genauigkeitsbereich liegen, zumindest sofern dies im Rahmen der bodenphysikalischen Messungen untersucht werden konnte.

4.4 Seitensichtsonaraufnahme

Um zusätzliche Information über die Morphologie des Seebodens zu erhalten, wurden die Bereiche links und rechts der Messprofile mittels Seitensichtsonaraufnahmen (SSS) abgebildet (Abb.6).

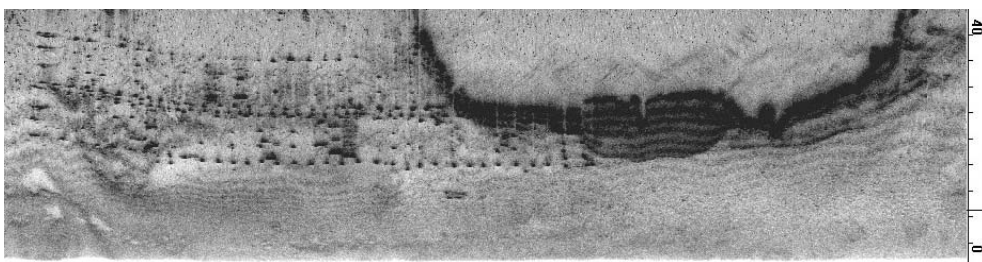


Abb.6: Seitensichtsonaraufnahme in der Hafeneinfahrt des Seepark Weiden

Eine besondere Herausforderung stellte dabei die Abstimmung der Pulsaussendungen („Triggern“) der einzelnen Schwinger dar. Im nichtgetriggerten Zustand sind die Sidescan-aufnahmen nahezu unbrauchbar, da durchsetzt von „Störsignalen“. Da die hydroakustischen Systeme von zwei unterschiedlichen Herstellern stammen, konnte hier nicht auf eine Routineprozedur zugegriffen werden, sondern es mussten Adaptionen die „Kommunikation“ der beiden Typen betreffend getätigt werden, was sich jedoch aufgrund vorgeschobener „Firmengeheimnis“-Argumente als äußerst mühsam herausstellte. Mit Unterstützung von Mitarbeitern des Elektroniklabors der Fachhochschule Wiener Neustadt konnte das Problem schließlich gelöst werden und die SSS-Aufnahme ohne Störsignale erfolgen. Je nach Wassertiefe und Morphologie konnte eine nutzbare Breite von 25 m – 40 m nach jeder Seite der Profillinie erfasst werden (Abb.6).

Mit dem Auswerteprogramm EASSM (Side Scan Mosaicing) werden die einzelnen Streifenelemente georeferenziert und durch Mosaikierung zu einer kompletten Sidescan-Karte des Seebodens zusammengeführt.

5 Bodenphysikalische Messmethodik

Zur Kalibrierung der Echolotdaten wurde in Regionen mit spezifischen Bodenstrukturen (10 Punktgruppen zu 140 Punkten) der Profilaufbau von Schlamm- und Bodenhorizonten mit einem adaptierten Messsystem aus der Bodenphysik erfasst (Abb.7).

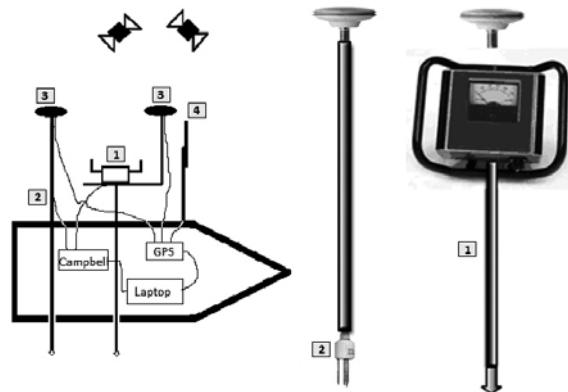


Abb.7: Systemaufbau mit RTK-GPS (3,4) und Sensoren zur Erfassung der Schlamm- und Bodenhorizonte: Penetrologger (1), kapazitiver Sensor HydraProbe (2) (Müllechner, 2012; Sokol, 2012)

Entlang eines vertikalen Profils wird der Schichtenaufbau mittels 2 bodenphysikalischen Sensortypen erfasst und mittels RTK-GNSS (siehe Kap. 3.3) in Lage und Höhe verortet. Ein Wasseranteilssensor auf kapazitiver Basis (Hydra-Probe) wird für die Erfassung des Wasserspiegels zum Zeitpunkt der Messung und für die Mächtigkeit der Schlammschicht mit höherem Wasseranteil verwendet. Beim Übergang zum kompakten Schlamm mit geringerem Wassergehalt beginnt der Messbereich des Penetrologgers mit einer Kraftmesszelle als Kernstück. An die Kraftmesszelle wird ein Gestänge mit einem Konus definierter Größe aufgesetzt. Dabei wird der Kraftaufwand zum Vortreiben des Gestänges, dessen Länge je nach Untergrundbeschaffenheit und Wasserüberstau variiert, gemessen bis ein definierter Widerstand – der Seeboden – erreicht wird. Beide Sensoren sind an einen Datalogger angeschlossen und werden mit den GPS-Positionsdaten, die im Intervall 0,1sec gesendet werden, mit einer eigens entwickelten Software synchronisiert. Dieses Messsystem ermöglicht eine dynamische Messung, die zur serienmäßigen Durchführung der Messungen erforderlich war. Die ersten Feldversuche wurden in einem ausgebaggerten Bootsanlegeplatz in

Illmitz durchgeführt. Sie zeigen einen rund 2 m mächtigen Schlammkörper mit einem Wassergehalt von 60 – 70 % (volumsbezogen). Der Übergang vom Wasser zum Schlamm ist durch eine deutlich ausgeprägte Sprungschicht - Abnahme im Wassergehalt – abgrenzbar und wiederholt sich in allen Messungen (Abb.8b; siehe Farbtabelle). Geringfügige Abweichungen im Kurvenverlauf sind bedingt durch räumliche Heterogenitäten im Schlammaufbau. Schichtübergänge in Bereiche mit geringerem Wassergehalt werden durch einen starken Anstieg des Eindringwiderstands vom Penetrologger angezeigt (Abb.8a). Im Frühling 2012 wurden dann von einem kleinen Messboot (Zille) aus die, für die Kalibrierung der Echolotdaten notwendigen Punktmessungen durchgeführt. Die Messpositionen wurden mittels GPS-Navigation angefahren, wo dann die Zille während des Messvorganges mit in den Boden gerammten Alustangen stabilisiert und fixiert wurde. An jedem Punkt wurden zur Überprüfung der Ergebnisse und Auffindung von räumlichen Heterogenitäten im Schlammaufbau zumindest zwei bis drei Messwiederholungen mit jedem Sensor durchgeführt.

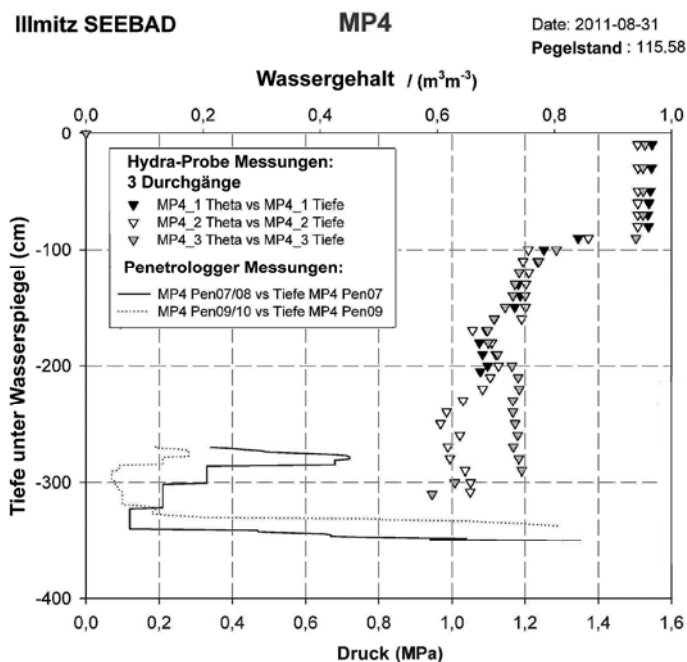


Abb.8a: Profilaufbau von Schlamm- und Bodenhorizonten am Bootsanlegeplatz (Seebad Illmitz) (Sokol, Kogelbauer, 2011)

Zusätzlich wurden Schlammproben mittels eines Coresamplers an repräsentativen Punkten zur Bestimmung der Kornverteilung und visuellen Schlammbeurteilung genommen. Die Schlammproben unterscheiden sich vor allem im Wassergehalt, Textur als auch in der Farbe von bräunlich bis zu hell- und dunkelgrau. Die Textur variiert in der Korngrößenzusammensetzung und deren Massen und deckt den Bereich der Feinanteile von Sand (2 mm – 0,063 mm), Schluff (0,063 mm – 2 µm) bis zum Ton (<2 µm) ab. Diese Feinanteile haben ein schlechtes Absetzverhalten und bilden den Schlammkörper des Neusiedler Sees mit Mächtigkeiten bis rund 1,5 m (Preisinger, 1979).

Weitere Punktmessungen erfolgen in Flachwasserbereichen mit Wassertiefen unter 60 cm aber vor allem im Übergangsbereich der freien Wasserfläche zum Schilf und im Schilfgürtel selbst.

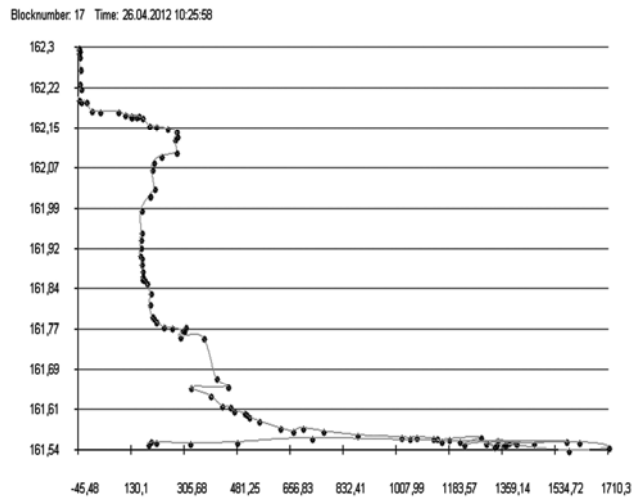


Abb.8b: Penetrologger Messung vor Schotterinsel Neusiedlersee, 2012: x-Achse entspricht der ausgegebenen Spannung und die y-Achse der Höhe in m ü.A., jedoch noch ohne Höhenkorrektur um die Länge des verwendeten Messgestänges

6 Ausblick

Nach Fertigstellung der Kalibrierung der Echolotauswertprozesse mit den bodenphysikalischen Messergebnissen der Referenzpunkte erfolgt die Digitalisierung der Boden- und Schlammschichten für das gesamte Echolotmessnetz von mehr als 2.000 km Länge.

Für die digitale Geländemodellierung (DGM) des Seebodens der gesamten freien Wasserfläche werden in der Folge die Bodenpunkte aus den Echolotmessungen mit den Einzelpunktmessungen der Flachwasserbereiche zusammengeführt. Diese umfassen die Flachwasserzonen mit Wassertiefen von weniger als 60 cm und den Übergang zum Ufer bzw. Schilfgürtel. Der Abschluss dieser Arbeiten inklusive der Geländemodellierung ist für Mitte 2013 anberaunt.

Parallel zu diesen Auswertarbeiten erfolgt weiters für den vom Schilf bedeckten Seeuferbereich eine Bestimmung des Seebodenaufbaus durch den Einsatz des bodenphysikalischen Messsystems. Diese Messungen erfolgen dabei entlang von Profilen, wobei die Einzelpunkte einerseits mit der Zille über die vorhandenen Kanäle, und andererseits mit einem umgebauten Schilfschneidefahrzeug über Land angefahren werden.

Das endgültige Ergebnis dieser Arbeiten stellt ein einheitliches, grenzüberschreitendes digitales Geländemodell des Seebodens und der Schlammverteilung/Schlamm-tiefen der offenen Wasserflächen und des Schilfgürtels des Neusiedler Sees dar.

Unter Einbeziehung der aus bodenphysikalischen Messungen gewonnenen vertikalen Dichteverlaufsprofilen (Wasser- Schlamm-Boden) wird weiters auch eine Bestimmung des Nettoseewasservolumens, d. h. unter Berücksichtigung des Wasseranteils im Schlammkörper, ermöglicht. Somit setzt das Projekt das Potenzial einer raumbezogenen Datenbank des Seebeckens für Folgenutzungen wie Schutzgebietsmanagement, Management von Schilfschnitt und Tourismuslenkung nachhaltig in Wert.

Literatur

- CSAPLOVICS, E. (1989): Die geodätische Aufnahme des Bodens des Neusiedler Sees. Wiss. Arbeiten aus dem Burgenland, Band 84. Burgenländisches Landesmuseum. Eisenstadt.
- CSAPLOVICS E., Bácsatyai L., Márkus I., Sindhuber A. (1997): Digitale Geländemodelle des Neusiedler Seebeckens. Wissenschaftliche Arbeiten aus dem Burgenland, Band 97. Burgenländisches Landesmuseum. Eisenstadt.
- GeNeSee (2011): Geodätische Neuerfassung des Systems Neusiedler See – Hanságkanal. Projektantrag, Projektnummer L00130. Programm zur grenzüberschreitenden Kooperation Österreich - Ungarn 2007-2013. Universität für Bodenkultur Wien.
- HEINE, E. (2009): Einsatz von Mehrfrequenz- und Multibeam-Echolotsystemen für die Seegrundaufnahme des Bodensee-Rheindeltas. In: Chesi G., Weinold Th. (Hrsg.): 15. Internationale Geodätische Woche Obergurgl. S. 39-48. Herbert Wichmann Verlag. ISBN:978-3-87907-485-3
- MÜLLEBNER, C. (2012): Adaption eines Penetrologgers zur Seebodendetektierung im Neusiedlersee. Masterarbeit, BOKU Wien. Dezember 2012.
- ÖUGK, 1996: 40 Jahre Österreichisch-Ungarische Gewässerkommission (1956-1996). Jubiläumsschrift. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien.
- PREISINGER, A. (1979): Sediments. In: Löffler, H.(ed): Neusiedlersee: The limnology of a shallow lake in central europe. Monographiae Biologicae, Vol. 37. W. Junk. London.
- SOKOL, W., KOGELBAUER, I. (2012): Erfassung von Schlamm- und Bodenhorizonten für die Erstellung von digitalen Geländemodellen. Abstract. Innovation Messtechnik – 3.Tagung 2013. Wien. Oktober 2012.

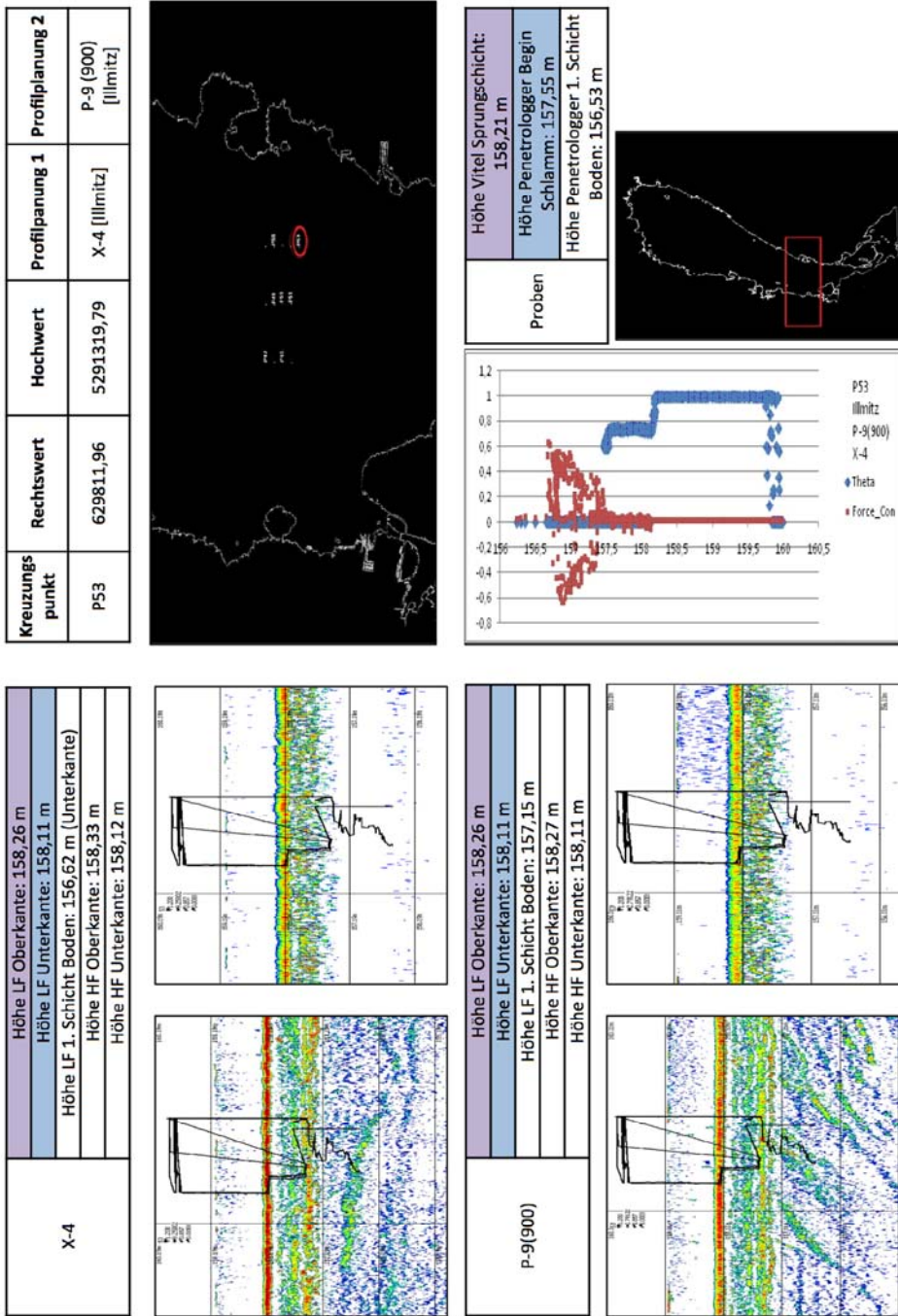
Autoren

HEINE, Erwin, Ass. Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn.
Institut für Vermessung, Fernerkundung und Landinformation
Universität für Bodenkultur Wien

LOISKANDL, Willibald, Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn.
Institut für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft
Universität für Bodenkultur Wien

KOGELBAUER Ilse, Dipl.-Ing.
Institut für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft
Universität für Bodenkultur Wien

PROKOPH, Andreas, M.Sc.
Labor Marine Geodäsie
HafenCity Universität Hamburg



Farbtafel 6: Vergleich der Echotmessungen mit Daten aus bodenphysikalischen Proben