

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Article, Published Version

Heine, Erwin; Kogelbauer, Ilse; Zechmeister, Thomas; Loiskandl, Willibald

Projekt GeNeSee

Hydrographische Nachrichten

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/107987>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Heine, Erwin; Kogelbauer, Ilse; Zechmeister, Thomas; Loiskandl, Willibald (2014): Projekt GeNeSee. In: Hydrographische Nachrichten 98. Rostock: Deutsche Hydrographische Gesellschaft e.V.. S. 37-41. https://www.dhyg.de/images/hn_ausgaben/HN098.pdf.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

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

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



Projekt GeNeSee

Bestimmung der Mächtigkeit und Verteilung des Schlammkörpers des Steppensees »Neusiedler See« mittels hydroakustischer und bodenphysikalischer Messsysteme

Ein Beitrag von *Erwin Heine, Ilse Kogelbauer, Thomas Zechmeister und Willibald Loiskandl*

Die hydrographische Vermessung des Neusiedler Sees, basierend auf Echolotmessungen mit Einzelstrahlecholot, Sub-Bottom-Profilier und Seitensichtsonar, liefert die Basisdaten für die Generierung der Seeboden- und Schlammoberflächenmodelle. Zur Validierung der Echolot-Schallausbreitungswerte für Schlamm und zur Bodenbeschreibung der Uferzone wurden Einzelpunktmessungen mit einem adaptierten bodenphysikalischen Messsystem durchgeführt.

Neusiedler See | Fertő | Schlammkörper | Schlammmächtigkeit | Sediment | Sub-Bottom-Profilier | SBP CSPA | Bodenphysik | Hydra Probe | Penetrometer | Schallausbreitungsgeschwindigkeit | Coresampler

Einleitung

Seichte, endorheische Gewässer wie der Neusiedler See sind besonders anfällig (gefährdet, verwundbar), wenn klimatische Parameter sich ändern. Bereits ein geringer Temperaturanstieg aufgrund einer globalen Erwärmung würde zu einer signifikanten Veränderung der Wasserflächenausdehnung führen; und die durch den Wind beeinflusste Umlagerung von Sedimenten vom Umland in das Seebecken (Schlammablagerung) führt zu einer Reduktion des Wasservolumens im See. Eine Veränderung des Wasserhaushaltes mit unabsehbaren Auswirkungen auf das Ökosystem, aber auch auf den Tourismus und die angrenzende Landwirtschaft, sind die Folge (Soja et al. 2013; Bácsatyai et al. 1997).

Für Untersuchungen zur Verwundbarkeit des Gesamtsystems und zur Risikobewertung, aber insbesondere für die Optimierung des Wassermanagements ist es notwendig, realistische Wasserspiegelszenarien zu entwickeln (Schönerkleee et al. 2006, S. 45 ff).

Ziel des im Jahr 2011 gestarteten österreichisch-ungarischen Kooperationsprojekts GeNeSee (»Geodätische Neuerfassung des Systems Neusiedler See – Hanságkanal«) ist die Bereitstellung einer homogenen topographischen Datenbasis des Beckens des Neusiedler Sees – Fertő und des Hanságkanals. Die Bestimmung der Mächtigkeit und die Verteilung des Schlammkörpers der offenen Wasserflächen wurden dabei mittels hydroakustischer und bodenphysikalischer Messsysteme vorgenommen.

Wie in diversen Studien zur Anwendung von hydroakustischen Verfahren für die Bestimmung von Schlammschichten im Flachwasser nachgewiesen wurde (Buchanan 2005, Schrottke et al. 2006, Missiaen et al. 2008), stellt insbesondere die Bestimmung des Schallgeschwindigkeitsverlaufes aufgrund der nicht konsolidierten, in der Wassersäule suspendierten Sedimentstoffe sowie der darunter liegenden konsolidierten Bodenschichten eine große Herausforderung dar.

Der Neusiedler See

Der Neusiedler See (ungarisch: Fertő) ist mit rund 320 km² der größte See Österreichs und der west-

lichste Steppensee Europas. Der See liegt auf einer Seehöhe von 115,8 m ü. A. und gehört nicht nur den zwei Staaten Österreich und Ungarn, sondern zeigt als natürlicher Grenzraum auch Einflüsse verschiedenster Landschaftsräume (pannonische, alpine, asiatische, mediterrane und nordische), was eine große Vielfalt an Pflanzen- und Tierarten bewirkt. Sein Schilfgürtel ist der größte Mitteleuropas und bedeckt mit 180 km² mehr als die Hälfte der Seefläche. Der See hat eine durchschnittliche Tiefe von 1,0 m und wird zu 80 % durch Niederschlag und zu knapp 20 % durch oberirdische Zuflüsse gespeist. Seit rund 100 Jahren ist der See durch einen künstlichen Kanal zur Wasserstabilisierung bei Hochwasser mit dem Donausystem verbunden. Der dominierende Faktor für den Wasserhaushalt stellt aber mit fast 90 % die Verdunstung dar. Ein Anstieg der Lufttemperatur von 0,7 °C im Zeitraum von 1991 bis 2004 führte zu einer Erhöhung der Verdunstung um fast 10 % (Nationalpark Neusiedler See – Seewinkel 2012).

Das Wissen über Verfrachtungen und Anlandungen von Sediment und Schlamm spielt einerseits eine große Rolle für den Wassersporttourismus, den Fährverkehr zwischen den Anrainergemeinden und die Erreichbarkeit der mehreren 100 Seehöhlen der jeweiligen Badestandorte. Andererseits ist es entscheidend für die Verlandungsprognosen im Zuge des Klimawandels und trägt zum Gesamtverständnis der langjährigen Veränderungen in der Fauna und Flora sowie der Limnologie und Hydrologie entscheidend bei.

Hydroakustische Vermessung

Für die genannte Aufgabenstellung und unter den gegebenen Rahmenbedingungen wurde die Messkampagne in folgender Form konzipiert und durchgeführt (Details siehe Heine et al. 2013):

a) Messlinienanordnung und Messfahrten

Die Vermessung erfolgte entlang von vordefinierten Profillinien (Querlinien mit 100 m Abstand; Längslinien mit 500 m Abstand) (Abb. 1, links) sowie Freifahrtlinien (Abb. 1, rechts) entlang der Uferlinien (inkl. Inseln) von insgesamt mehr als 2000 km. Die Befahrung der Messlinien erfolgte

Autoren

Prof. Erwin Heine, Ilse Kogelbauer und Prof. Willibald Loiskandl sind bei der Universität für Bodenkultur in Wien beschäftigt, Dr. Thomas Zechmeister ist Leiter der Biologischen Station Neusiedler See in Illmitz

Kontakt unter:

erwin.heine@boku.ac.at
ilse.kogelbauer@boku.ac.at
willibald.loiskandl@boku.ac.at
post.bs-illmitz@speed.at

Das Projekt mit dem Akronym »GeNeSee« wurde vom Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) im Programm zur grenzüberschreitenden Kooperation Österreich – Ungarn 2007–2013 (Reg. Nr. L00130) gefördert.

Literatur

Bácsatyai, László; Elmar Csaplovics; Istvan Márkus; Adele Sindhuber (1997): Digitale Geländemodelle des Neusiedler See-Beckens; Burgenländisches Landesmuseum, Eisenstadt

Bradford, Joe M. (1986): Penetrability; in: Arnold Klute: Methods of Soil Analysis, Part 1, S. 463–478

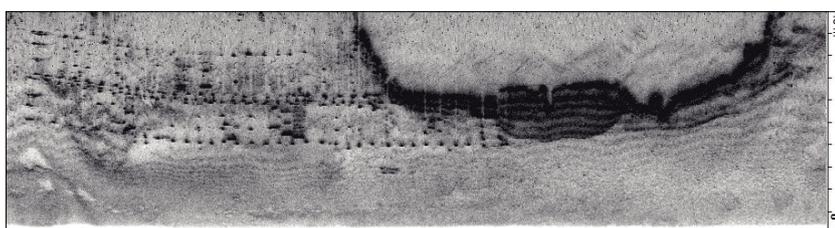
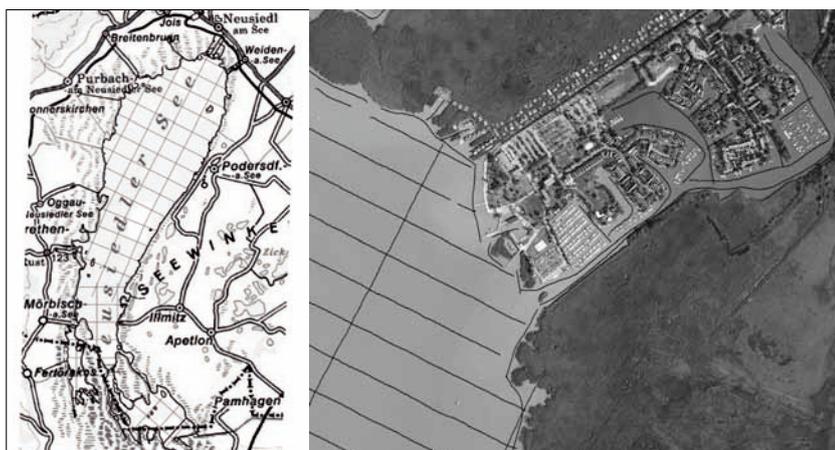
Buchanan, Larry (2005): Surveying in Fluid Mud; Hydro International, Vol. 9, No. 6, July/August 2005

D'Amboise, Christopher (2012): Development of Profile Measurements Using a Frequency Domain Reflectometry Sensor in a Soft Sludge and Calibration for Use in the Neusiedlersee; M.Sc. Thesis, University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna

Heine, Erwin; Andreas Prokoph; Ilse Kogelbauer; Willibald Loiskandl (2013): Hydroakustische Erfassung der Morphologie und Sedimentschichtung des Neusiedler Sees; in: Klaus Hanke; Thomas Weinold (Hrsg.): 17. Internationale Geodätische Woche Oberurgl, Wichmann, 2013

...

Abb. 1: Messlinienausrichtung (links) und Detailansicht der Messfahrten im Seepark Weiden (rechts)



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 erstmal durchqueren musste, doch konnte die gesamte Echolotmessung ohne längere Unterbrechung in weniger als drei Monaten durchgeführt werden.

b) Seitensichtsonaraufnahmen

Um zusätzliche Information über die Morphologie des Seebodens zu erhalten, wurden die Bereiche links und rechts der Messprofile mittels zweier am Bug angebauter Side-Scan-Sonare Kongsberg 200-0.5/49 aufgenommen (Abb. 2).

c) GNSS-RTK-Positionierung und Motion-Sensorik (IXSEA Octans III)

Die häufig auftretenden Starkwinde und die geringe Wassertiefe verursachen starken Wellengang und führen in der Folge zu nicht zu vernachlässigbaren Rollbewegungen des eingesetzten Flachwasserbootes. Durch die GNSS/INS-Positionierung wurde nicht nur das Genauigkeitspotenzial der Echolotsensorik bestmöglich genutzt, sondern die Vermessungsarbeiten konnten in effizienter Weise – nicht nur an Tagen mit ruhiger See – durchgeführt werden.

d) 710-kHz-Einzelstrahlecholot

Zur Erfassung der Topographie der großräumigen Flachwasserzonen mit weniger als 1 m Wassertiefe wurde ein Single-Beam-Echolot Kongsberg EA400 eingesetzt. Einerseits konnten dadurch die ufernahen Bereiche bereits ab einer Wassertiefe von 40 cm vermessen werden, und andererseits dienten die Daten zur Qualitätskontrolle

für die 100-kHz-Sub-Bottom-Profilermessung der Schlammoberfläche.

e) Parametrisches Sedimentecholot

Um die Schlammverteilung und den Schichtaufbau des Seebodens zu bestimmen, wurde ein Sub-Bottom-Profilier (SBP) vom Typ Innomar SES 2000 eingesetzt. Das Gerät nutzt den parametrischen Effekt, um aus zwei Primärfrequenzen um 100 kHz eine tiefe Frequenz von 10 kHz zu erzeugen. Eine Primärfrequenz wurde zur Detektion der Schlammoberfläche genutzt. Die Sekundärfrequenz von 10 kHz dringt weiter in das Sediment ein und zeigt auch Reflexionen von tiefer liegenden Schichten auf. Das Digitalisieren der tiefen Frequenz ist äußerst aufwendig und muss größtenteils von Hand erledigt werden, da der Verlauf der Sedimentschichten nicht stetig verläuft und von Fall zu Fall unterschiedlich interpretiert werden kann.

Um eine korrekte Interpretation der Sedimentschichtung und insbesondere eine genaue Höhenzuordnung der Sedimentlayer zu erzielen, wurde eine »Kalibrierung« und Validierung der angewandten SBP-Auswertung durch bodenphysikalische Messungen der vertikalen Bodenschichtung durchgeführt.

»Kalibrierung« und Validierung mittels bodenphysikalischer Messungen

a) Kombiniertes bodenphysikalisches Messsystem (CSPS)

Als Referenz für die hydroakustische Schlamm- und Seebodendetektierung (mittels Sub-Bottom-Profilier) wurde in Testregionen mit spezifischen Bodenstrukturen der Profilaufbau des Seebodens mit einem adaptierten Messsystem aus der Bodenphysik bestimmt. Dieses kombinierte bodenphysikalische Messsystem (CSPS) besteht aus

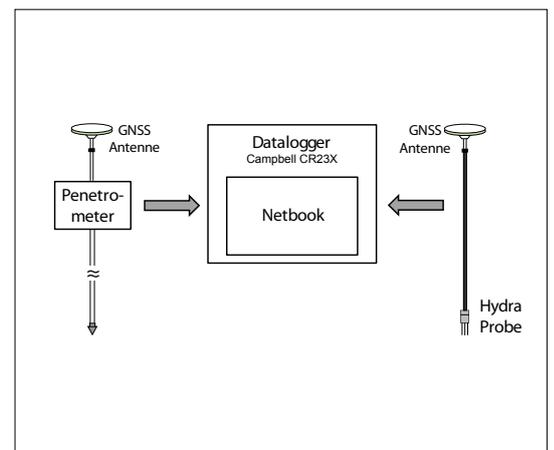


Abb. 3: Schema des kombinierten bodenphysikalischen Messsystems CSPS

Abb. 2: Seitensichtsonaraufnahme in der Hafeneinfahrt des Seeparks Weiden

einem kapazitiven Sensor, einem Penetrometer, und einer zentimetergenauen, satellitengestützten Verortungseinheit (GNSS-RTK) (Abb. 3). Eine eigens entwickelte Software synchronisiert auf Basis des GNSS-Zeitsignals alle Sensordaten und ermöglicht somit eine dynamische Messung von Schlammprofilen mit hoher Verortungsgenauigkeit. Das CSPS detektiert die Schlammoberfläche, den konsolidierten Seeboden und weitere seichte, konsolidierte Sedimentschichten. Die Vorteile des angewendeten Systems sind In-situ-Bodenparametermessungen ohne aufwendige Probenentnahme, die Aufzeichnung eines kontinuierlichen Profils mit Ausweisung signifikanter Schichtungen und die Ausgabe von reproduzierbaren physikalischen Werten.

Im Detail besteht das System aus vier Komponenten:

- der Hydra Probe (Stevens Water Monitoring System), einem kapazitiven Sensor basierend auf »Frequency Domain Reflectometry« (FDR, 50 MHz), der über die dielektrische Primitivität indirekt den volumetrischen Wassergehalt θ ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) anzeigt;
- einem modifizierten Penetrometer (Eijkelpomp), der den Eindringwiderstand in den Boden misst;
- einer GNSS-RTK-Positionierung;
- einem Datenlogger (CRX23, Campbell) und einer C#-Software, welche die Sensormessdaten mit den GNSS-RTK-Positionsdaten synchronisiert, speichert und weiterverarbeitet.

Die Hydra Probe misst direkt den Realteil der temperaturkorrigierten relativen, komplexen dielektrischen Primitivität $\epsilon_{r\text{corr}}$. Der signifikante Unterschied der dielektrischen Primitivität in den Medien Luft–Wasser–Sediment erlaubt eine eindeutige Bestimmung der Schichtgrenzen, d. h. der Wasseroberfläche und der Schlammoberfläche. ϵ_r in Luft ist 1 %, im Wasser des Neusiedler Sees 70 % bis 80 %, und im Sediment 4 % bis 7 %. Anhand von $\epsilon_{r\text{corr}}$ wird über eine Kalibrierfunktion der volumetrische Wassergehalt θ ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) ausgegeben. Die Kalibrierfunktion wurde im Labor anhand von Schlammproben aus dem Neusiedler See ermittelt. Ein Polynom 3. Grades wurde durch Korrelation vom gemessenen $\epsilon_{r\text{corr}}$ und dem gravimetrisch ermittelten vol. θ angepasst ($R^2=0,9877$) (D'Amboise 2012). Der Hydra-Probe-Messfehler beträgt $\pm 1,5$ % für $\epsilon_{r\text{corr}}$.

$$\theta = -0,087968 + 0,027307 \epsilon_r - 0,000356 \epsilon_r^2 + 2,34 \cdot 10^{-6} \epsilon_r^3$$

Der zweite angewendete bodenphysikalische Sensor, der Penetrometer, gibt den Eindringwiderstand PR_x – als erforderliche Kraft zum Eindringen in den Boden – wieder. Die Laborkalibrierung ergibt ein lineares Verhältnis der abgelesenen Ausgangsspannung y der Penetrometer-Kraftzelle mit dem aufgebrachten Gewicht (Kogelbauer et al. 2013). Die

Basisspannung y_0 , aus dem Mittel der Nullmessungen, wird von der Ausgangsspannung abgezogen. Die lineare Kalibrierfunktion wurde um den variablen Faktor des Stangengewichts $R_{p,x}$ korrigiert. $A_{p,x}$ ist die Querschnittsfläche des Konus und der Faktor 0,09807 ergibt sich aus der Umrechnung von mV zu MPa laut Bradford (1986).

$$PR_x = ((y - y_0 + R_{p,x}) / (29,82 \cdot A_{p,x})) \cdot 0,09807$$

b) Adaptierung der Systemsensorik und Messablauf

Die beiden bodenphysikalischen Sensoren, die Hydra Probe und der Penetrometer, wurden für das außergewöhnliche Einsatzgebiet am See modifiziert. Der zylindrische Körper der Hydra Probe und die GNSS-Antenne wurden jeweils an einem Ende einer Teleskopstange fixiert. Der Penetrometer wurde modifiziert, indem die Kraftmesszelle direkt mit dem Datalogger verbunden wurde, das Messgestänge auf 5 m Gesamtlänge variabel kombinierbar verlängert wurde, und die GNSS-Antenne an einem Alurahmen zentrisch über der Konusspitze angebracht wurde. Die Detektierung von seichtgründigen Sedimentschichten ist eingeschränkt durch die Gestängelänge, durch die laterale Biegung des Gestänges, den Gestängedurchmesser und durch die manuell aufzubringende physische Kraft.

Das CSPS wurde für folgende Messaufgaben am See eingesetzt:

- auf der freien Seewasserfläche als Referenz zu den Echolotmessungen,
- in ufernahen Flachwasserbereichen mit einer Wassertiefe kleiner 0,5 m zur Beschreibung der Ufertopographie,
- in Braun- und Freiwasserflächen innerhalb des Schilfgürtels,
- im Schilf.

Der Messablauf war bei allen Messgebieten gleich. Die Hydra-Probe-Messung startete oberhalb der Wasseroberfläche mit den Hydra-Probe-Messstäben noch in der Luft. Danach wurde der Sensor langsam ins Wasser eingetaucht und kontinuierlich tiefer versenkt, bis ein weiteres Eintauchen aufgrund der angetroffenen kompakten Schlammsschicht nicht mehr möglich war. Die Penetrometer-Messung startete im Wasser oder im losen Schlamm, wo kein oder nur minimaler Eindringwiderstand aufgezeichnet wurde. Ab diesem Initialisierungspunkt wurde der Penetrometer kontinuierlich weiter eingetaucht bzw. in die Schlamm- und Bodensedimentschicht mit Muskelkraft hineingepresst. Stieg der Eindringwiderstand an einer bestimmten Tiefe rapide an, so wies dies auf eine dort vorherrschende konsolidierte Sedimentschicht hin. Ist diese Schicht von nur geringer Mächtigkeit, so wird diese durchstoßen und es kann eine Messung der darunter liegenden Schichten erfolgen. Um die Variabilität innerhalb der Schlammsschicht und der Seeboden-

- ...
Kogelbauer, Ilse; Erwin Heine; Christopher D'Amboise; Christoph Müllerbner; Wolfgang Sokol, Willibald Loiskandl (2013): Adaptation of Soil Physical Measurement Techniques for the Delineation of Mud and Lakebed Sediments at Neusiedler See; Sensors 13
Missiaen, Tine; Evert Slob; M.E. Donselaar (2008): Comparing different shallow geophysical methods in a tidal estuary, Verdrongen Land van Saeftinge, Western Scheldt, the Netherlands; Netherlands Journal of Geosciences, Nr. 87, S. 151–164
Nationalpark Neusiedler See – Seewinkel (2012): www.nationalpark-neusiedlersee-seewinkel.at, Abruf vom 10.02.2014
Schönerklee, Monika; Paul Kinner; Gerhard Heiss; Gerhard Soja; Wolfgang Friesl; Roland Treitler; Julia Schindler; Anna Kleissner (2006): Neusiedler See – Tourismus mit Zukunft; Wissenschaftliche Untersuchung zur Auswirkung des Wasserstandes des Neusiedler Sees innerhalb der Region Neusiedler See. Austrian Research Center Report U-0222
Schrottke, Kerstin; Marius Becker; Alexander Bartholomä; Burghard Flemming; Diert Hebbeln (2006): Fluid mud dynamics in the Weser estuary turbidity zone tracked by high-resolution side-scan sonar and parametric sub-bottom profiler; Geo-Marine Letters 26(3), S. 185–198
Soja, Gerhard; Johann Züger; Markus Knoflacher; Paul Kinner; Anna-Maria Soja (2013): Climate impacts on water balance of a shallow steppe lake in Eastern Austria (Lake Neusiedl); Journal of Hydrology, Vol. 480, S. 115–124



Abb. 4: Beispiel der Layervalidierung durch den Vergleich des SBP-Echogramms (rechts) mit den Messungen des CSPS am Referenzpunkt P47. Die ausgewiesenen Schichtgrenzen im Echogramm stimmen sehr gut mit den detektierten Schichtgrenzen der bodenphysikalischen Messungen überein

Abb. 5: Das zweite Beispiel der Layervalidierung am Punkt P111 vergleicht das SBP-Echogramm (rechts) mit den Messungen des CSPS (links), wobei beide eine geringmächtige Schlammauflage und eine stark konsolidierte, seichtgrüne Sedimentschicht zeigen

topographie zu berücksichtigen (wie eingebettete Steine oder Wurzelstücke im vertikalen Messprofil), wurden mit jedem Sensor mindestens drei Messungen in Folge innerhalb eines Radius von rund einem Meter durchgeführt.

Zur Validierung der angewendeten Echolot-Schallausbreitungswerte für Schlamm (Sub-Bottom-Profilier) wurden an 61 vorab festgelegten Punkten CSPS-Messungen durchgeführt. Als Messplattform diente dabei eine Arbeitszelle, welche an den Messpunkten für die Zeit der Messung stabil verankert wurde. Um die Schlamm- und Seebodentopographie am Übergang vom Schilf zum See zu beschreiben, wurden im Uferbereich kurze, orthogonal auf die Uferlinie verlaufende Transekte gemessen. Dabei wurde im Schilf, an der Schilfkannte und auf der freien Seewasserfläche gemessen. Zusammen mit den Side-Scan-Sonar-Daten kann damit die Topographie des Uferbereichs beschrieben werden.

Schlamm- und Sedimentkerne wurden an den vordefinierten Referenzpunkten mit einem Coresampler gezogen, indem ein PVC-Rohr in den Schlamm gedrückt und in Lage und Höhe verortet

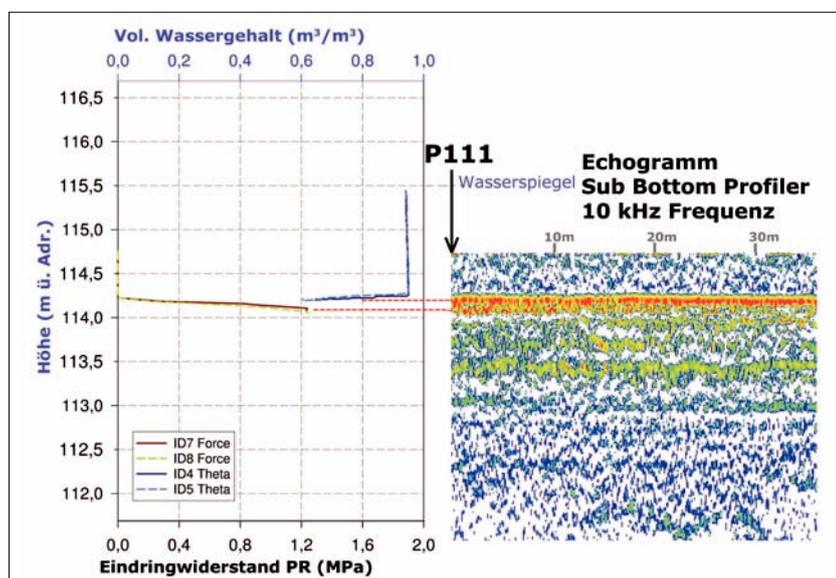
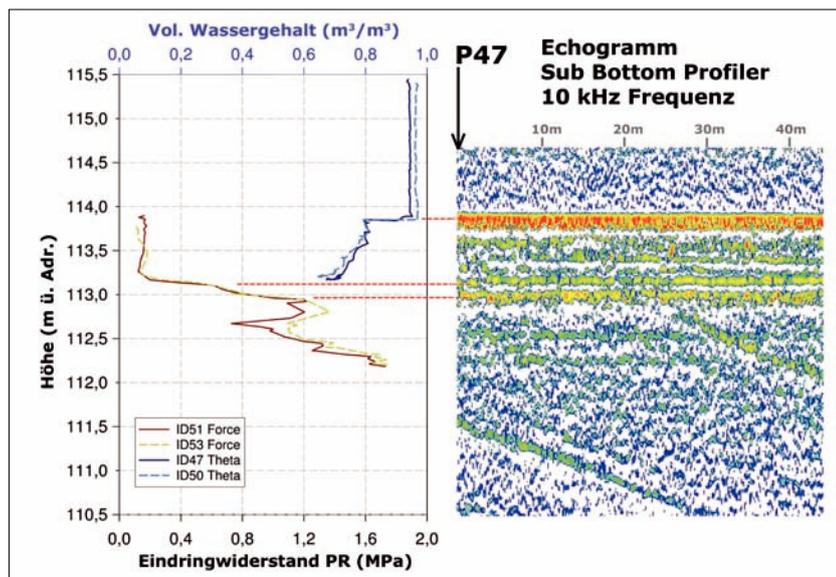
wurde. Diese Kerne wurden qualitativ (Farbe, Wurzeln) und quantitativ (Korngrößenverteilung, Textur, gesamter und anorganischer Kohlenstoff, Stickstoff, pH, elektrische Leitfähigkeit und Mineralogie) für die Kalibrierung der CSPS-Sensoren analysiert. Die Kornverteilung der gezogenen Cores an zwei ausgewählten Referenzpunkten (siehe Tabelle) zeigt generell einen sehr hohen Schluff- (0,002 mm bis 0,05 mm) und Tonanteil (kleiner 0,002 mm).

	Höhe / m ü. A.		p[S] / %	p[U] / %	p[C] / %
P47	113,40	113,56	5,6	54,6	39,8
	113,56	113,64	1,6	45,1	53,3
	113,64	113,72	2,2	41,9	55,9
P111	114,19	114,23	1,4	47,1	51,5
	114,23	114,28	4,1	44,5	51,4

c) Gegenüberstellung CSPS-Daten und 10-kHz-Sub-Bottom-Profilier-Daten für die Bestimmung der Schlammmächtigkeit

Im Vorfeld der SBP-Auswertung, also der Digitalisierung der Schichtlayer, erfolgte eine Überprüfung und iterative Anpassung der Schallgeschwindigkeitswerte an 61 Messpunkten verteilt auf zehn charakteristische Schlammdickenregionen im See. Dabei wurden sowohl die numerischen Tiefendaten von SBP und CSPS gegenübergestellt als auch die an den Messpunkten vorliegenden Echogramme von Längs- und Querfahrt visuell mit den Vertikalprofilen der CSPS-Messungen abgeglichen.

Die CSPS-Messungen (linker Teil in Abb. 4 und Abb. 5) zeigen ein vertikales Profil von Wasser-Schlamm-konsolidiertem Seeboden. Die Hydra Probe misst im Wasser einen nahezu konstanten vol. θ von 0,95, und beim Übergang von Wasser auf Schlamm fällt der Wert rapide auf ein vol. θ von 0,80. Aufgrund der Elektrodenlänge des Hydroprobe-Sensors von 5,6 cm erfolgt der Werteübergang nicht sprunghaft, sondern schleifend, bis die Messspitzen völlig im neuen Medium eingetaucht sind. Beim weiteren Eindringen in der Schlammschicht sinkt der Wert für vol. θ stark ab, bis ein weiteres Eindringen der Hydra Probe durch den bereits hohen Verdichtungsgrad des Schlammes nicht mehr möglich ist (vol. θ ~ 0,6). Ab diesem Bereich erhöhter Verdichtung beginnt der Messbereich des Penetrometers, der hier erste signifikante Signale aufgrund des Eindringwiderstandes liefert. Durch Kombination der beiden Sensoren ist somit ein durchgehender vertikaler Wasser-Schlamm-Sediment-Profilatensatz gewährleistet. Beispielhaft seien hier die Profile an zwei Orten mit unterschiedlichem Bodenaufbau angeführt. Am Referenzpunkt P47 detektiert der Penetrometer unter der Schlammschicht zwei Layer im Bereich des Seebodens, welche auch im Echogramm sehr deutlich zu erkennen sind (Abb. 4). Dabei handelt es sich um eine kompakte, noch nicht vollständig konsolidierte bodennahe Schicht. Am Referenzpunkt P111 verhindert die starke Konsolidierung der ersten Schicht ein weiteres Eindringen des Penetrometers, welche auch im Echogramm auf-



grund der starken Signalreflexion in rot-gelber Farbe erkennbar ist (Abb. 5).

Ergebnisse und Diskussion

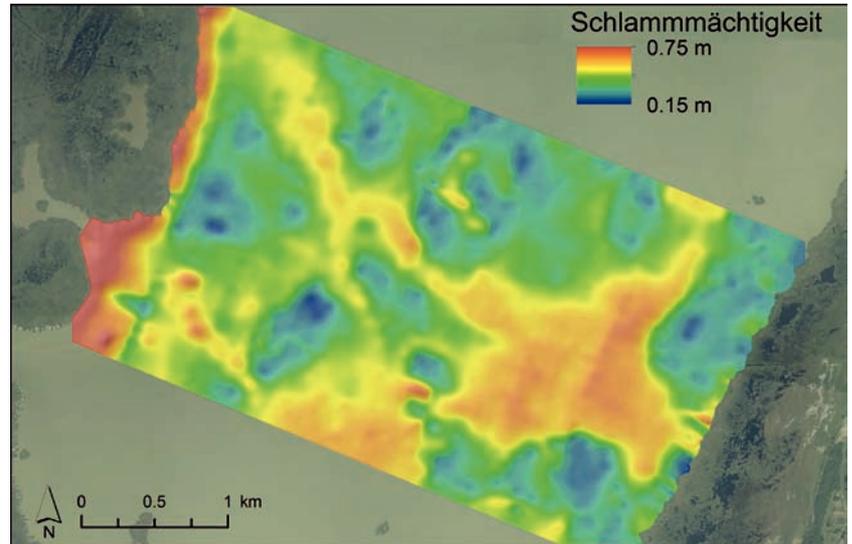
Gezeigt werden konnte, dass durch den kombinierten Einsatz von SBP- und CSPS-Messungen eine Bestimmung der Mächtigkeit und Verteilung des Schlammkörpers in seichten Seen flächendeckend und mit einer Genauigkeit im Subdezimeterbereich in effizienter Weise möglich ist.

Das parametrische Sedimentecholot lieferte ab einer Wassertiefe von einem Meter verlässliche Informationen über die Sedimentschichtung des Seebodens. Schlammsschichtdicken im Meterbereich sowie nachfolgende Bodensedimentstrukturen von mehreren Metern sind in den Echogrammen in hochauflösender Form enthalten. Das auf einem kapazitiven Sensor und einem Penetrometer in Kombination mit einer RTK-GNSS-Einheit basierende bodenphysikalische Messsystem lieferte in situ georeferenzierte, dynamische Vertikalprofile von der Wasser-Schlamm-Seebodensedimentschichtung. Die Ergebnisse an über 50 Referenzpunkten zeigen eine sehr gute Übereinstimmung in der Detektion der Schichtungen zwischen den beiden Systemen. Durch Anpassung (»Kalibrierung«) der Sedimentschallgeschwindigkeit mittels der metrisch korrekten CSPS-Schichttiefeninformationen in den jeweiligen Seebodenzonen ist

eine Genauigkeit der SBP-Tiefendigitalisierung von besser als ± 10 cm möglich.

Durch die Kombination von hydroakustischen Messmethoden mit bodenphysikalischen Messungen ist es beim GeNeSee-Projekt gelungen, einen vollständigen, qualitativ hochwertigen Datensatz höchstmöglicher Auflösung zur Generierung Digitaler Geländemodelle (DGM) der Schlammoberfläche und des Seebodens – und somit zur Bestimmung der Schlammverteilung innerhalb des Sees – zu erzeugen (Abb. 6). ↕

Abb. 6: Verteilung der Schlammmächtigkeit im Neusiedler See



www.innomar.com

Frequency 8kHz, pulse length 375 μs (SES-2000 light), Baltic Sea

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 150 m (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

SES-2000 compact

SES-2000 standard

SES-2000 light plus

SES-2000 medium
SES-2000 deep