

Blick in die Tiefe

Echosonden als Werkzeuge für die Fernerkundung zwischen Wasserspiegel und Gewässergrund

Erich Dumfarth

Bei Fernerkundung wird zuerst wohl an Luft- und Satellitenbildbeobachtung gedacht. Tatsächlich sind deren Produkte Bestandteile unserer Alltagskultur: Satellitenbilder des Wettergeschehens flimmern weltweit mehrmals täglich über die Bildschirme unzähliger Fernsehgeräte. Daneben existieren aber auch Techniken, die das, was sich der üblichen Fernerkundung entzieht, offen legen: die Oberflächenstrukturen unter Wasser.

Mehr als 70 Prozent der Erdoberfläche sind von Wasser bedeckt und damit nicht nur dem Auge, sondern auch den meisten Beobachtungs- und Vermessungsmethoden kaum zugänglich. Was sich unter dem Spiegel der Wasseroberfläche befindet, ist vergleichsweise wenig bekannt. Paradoxerweise wissen wir über die Oberfläche des Mondes mehr, als über den Grund großer Gewässer. Nicht elektromagnetische Strahlung, sondern die Ausbreitung einer Schallwelle, die als Schwingung durch das elastische Medium des Wassers verläuft, ist der Informationsträger für die Fernerkundung der verborgenen Räume zwischen Wasserspiegel und Grund. Obwohl deutlich weniger einer breiten Öffentlichkeit präsent, gelangen mitunter auch hydroakustische Methoden ins weltweite Rampenlicht, wie beispielsweise bei der Entdeckung des Wracks der Titanic.

Zu den bekanntesten Geräten der Hydroakustik zählt das Echolot. In seiner einfachsten Form misst es auf den meisten Schiffen die Wassertiefe. Moderne wissenschaftliche Echolote, auch als Echosonden bezeichnet, arbeiten grundsätzlich nach den gleichen Prinzipien, allerdings für wesentlich höhere und umfassendere Anforderungen. Sie messen nicht nur die Wassertiefe, sondern sammeln Informationen über alles, was sich zwischen Oberfläche und Gewässergrund befindet: Wasserpflanzen, Fische und Fischschwärme, selbst millimetergroßes Plankton.

■ Technologie und Funktion

Jedes Echolot besteht aus Sender und Empfänger. Der Sender erzeugt im Wasser eine Folge von Geräuschimpulsen, so genannten Pings. Diese laufen als gebündelte Schwallwellen

durch das Wasser bis sie auf einen Gegenstand, etwa einen Fisch oder den Gewässergrund, treffen. Der Gegenstand reflektiert die Pings und der Empfänger registriert es als Echo des ausgestrahlten Signals. Aus der Laufzeit berechnet sich die Tiefe bis zu jenem Objekt, das den Impuls zum Lot zurückwarf. Dieser Vorgang, Senden und Empfangen eines Messimpulses, erfolgt viele Male pro Sekunde.

Die Empfindlichkeit der Empfänger wissenschaftlicher Lote ist sehr hoch. Bei dem von ICRA verwendeten Gerät der Marke Simrad umfasst sie einen dynamischen Bereich von -160 Dezibel (dB). Zum Vergleich: 0 dB markieren die menschliche Hörgrenze, 140 dB entsprechen einem Düsenjet während des Starts. Bildhaft ausgedrückt produzieren Echolote unter Wasser also einen unglaublichen „Lärm“, der allerdings weder von Mensch noch Tier wahrgenommen werden kann. Menschliche Hörfähigkeit endet bei etwa 20 000 Hertz, während die Betriebsfrequenzen von Echoloten häufig bei 38 Kilohertz beginnen und für Vermessungslote 200 Kilohertz (200 000 Schwingungen pro Sekunde) typisch sind. Durch Ankopplung einer Differential GPS (DGPS)-Empfängereinheit wird der Information, was sich in welcher Gewässertiefe befindet, noch die genaue Position hinzugefügt und damit eine genaue Einordnung in den Gewässerkörper ermöglicht (Bild 1).

Echosondierung ist im Unterschied zu anderen Fernerkundungsverfahren eine aktive Messtechnik, die das informationstragende Signal selbst produziert. Ein einzelnes Signal ist genau genommen eine Art Punktmessung. Durch die rasche Abfolge der Signale (zehn oder mehr Pings pro Sekunde) bildet der Weg des Messbootes einen vertikalen Schnitt durch den Gewässerkörper, der selbst in den Boden eindringt und alles enthält, was den Lauf der Signale kreuzt.

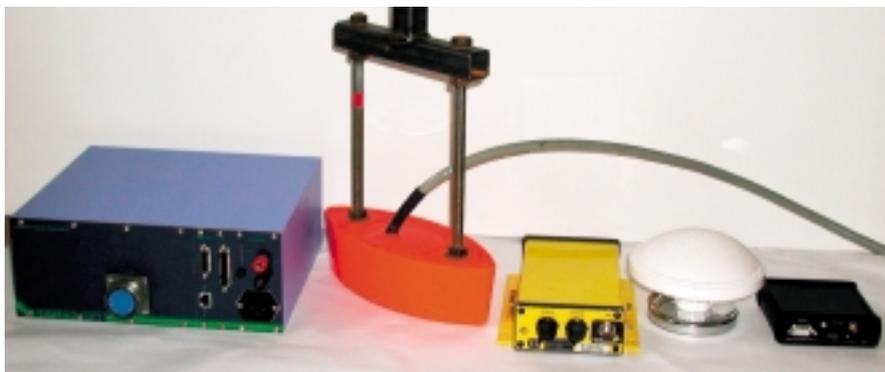


Bild 1: Komponenten der Sondierung von Gewässern: Echolot mit Schwinger (Sende- und Empfängereinheit), DGPS-Empfänger, RTCM-Empfänger, Antenne für DGPS und RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Service)

Bilder aus der Tiefe

Wissenschaftliche Echolote zeichnen die Ergebnisse der Sondierung digital auf. In Form von Echogrammen wird diese Aufzeichnung grafisch dargestellt. Dafür wird pro Ping das ausgesendete Echosignal von der Wasseroberfläche bis hinunter zum Grund in kleine Scheiben zerlegt, die bei einer Frequenz von 200 Kilohertz einen Zentimeter durchmessen. Jede Scheibe enthält die am Empfänger ankommenden Spannungswerte als Verhältnis von ausgesendetem zu wieder empfangenem Signal. Dieses Verhältnis wird als negativer dB-Wert mit entsprechender Tiefenzuweisung gespeichert. Ein 0 dB-Echo entspricht einer Stahlplatte direkt unter dem Schwinger: Praktisch das gesamte ausgesendete Signal gelangt in voller Stärke zurück zum Empfänger. Ein Echo mit der Stärke von -90 dB deutet auf ein Schwebstoffteilchen oder Plankton im Wasser hin, denn der Empfänger registriert nur einen relativ kleinen Teil des ausgesendeten Signals als dessen Echo. Ausgefeilte Algorithmen suchen in den Echos nach der für den Boden typischen „Signatur“. Durch die Aufzeichnung des gesamten Signalspektrums ist es möglich, mittels verschiedener Filter und Selektionskriterien das Echogramm für unterschiedliche Bedürfnisse auszuwerten, selbstverständlich die Gewässertiefe, aber auch Vegetation, Bodensedimente, Fischbestand und anderes mehr.

Bild 2 enthält zwei Szenen aus Echogrammen, die exemplarisch einiges

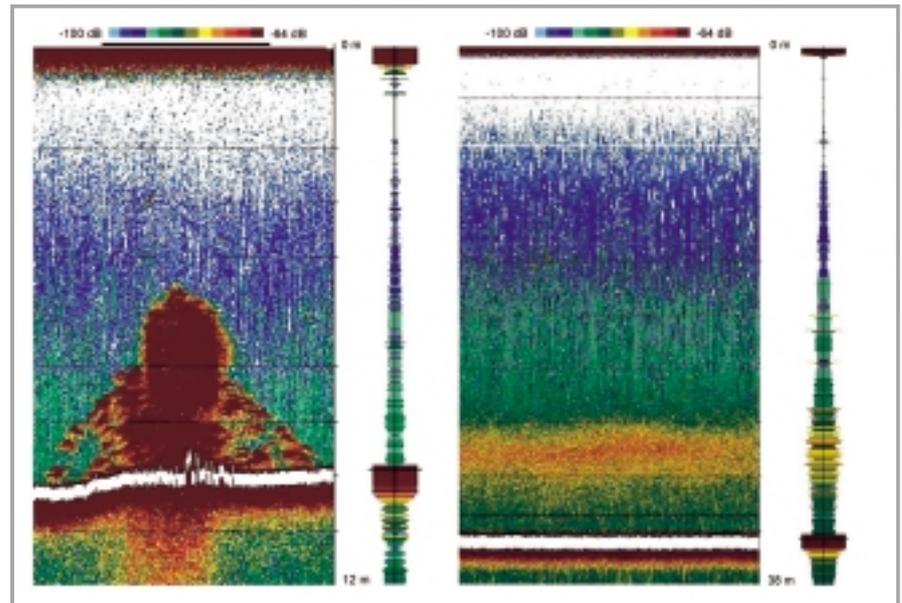


Bild 2: Szenenbilder digitaler Echogramme. Das durchlaufende weiße Band im Boden, die „White Line“, ist eine optische Hilfe zur Kennzeichnung des Grundes. Links ufernahe Bereich im Mattsee, Salzburg, mit starkem Bodenbewuchs, seitlich flankiert von Fischen; rechts ein Blick in den Obertrumersee, Salzburg.

von dem zeigen, was Echosonden unter dem Wasserspiegel zu messen im Stande sind. Die Farbwerte informieren über die Größe und Härte der Objekte im Wasser oder am Boden. Kleine, planktongroße Objekte, die ein vergleichsweise geringes Echo erzeugen, sind in blauen Tönen gehalten, größere Objekte – und selbstverständlich der Grund als effektivster Reflektor – in braunen Tönen. Das durchlaufende weiße Band im Boden, die „White Line“, ist eine optische Hilfe zu dessen Kennzeichnung. Bei Bedarf können Darstellung und Analyse der Echogramme auf bestimmte

Echostärken abgestimmt werden. Die linke Szene zeigt einen ufernahen Bereich im Mattsee, Land Salzburg, mit starkem Bodenbewuchs, seitlich flankiert von Fischen. Die Szene daneben, aufgenommen in den tiefen Bereichen des benachbarten Obertrumersees, wird durch eine mehrere Meter mächtige, sehr massive akustische Streuschicht geprägt, die über dem Boden schwebt. Eine solche Streuschicht besteht im wesentlichen aus Plankton, das einem tageszeitlichen Zyklus folgend zwischen Grund und Oberfläche schwingt. Die Stärke des am Empfänger registrierten Echos des ausgesendeten Signals ist auch aus der seitlich an das Echogramm anschließende Grafik eines einzelnen Pings ersichtlich. Deutlich hebt sich die dichte Wolke aus Kleinstlebewesen, visualisiert durch braune bis gelbe Farben, vom umgebenden Wasserkörper ab.



Bild 3: Wallersee (oben) und Mattsee (unten), zwei Seen im Salzburger Alpenvorland. Nicht nur für das menschliche Auge bildet der Wasserspiegel die Grenze der Wahrnehmung. Die Landschaft darunter, ihre Hügel, Ebenen und Steilabfälle, bleiben auch den vertrauten Methoden der Fernerkundung weitgehend verborgen.

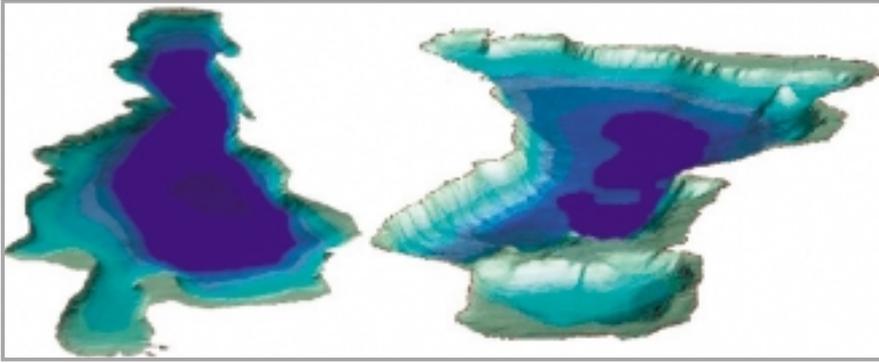


Bild 4: Die Becken zweier Voralpenseen unweit von Salzburg (links Wallersee, rechts Mattsee). Der Seegrund wurde auf Basis von 55 281 beziehungsweise 43 958 Tiefenlotungen mit Echosonden interpoliert. Die maßstabslose Darstellung, ein farblich schattiertes Relief, ist fünffach überhöht.

Salzburgs Voralpenseen – ein Anwendungsbeispiel

Die Landschaft des Landes Salzburg wird durch vier im Alpenvorland gelegene Seen (Bild 3 auf der vorigen Seite) bereichert, von denen drei durch Zu- und Abflüsse miteinander verbunden sind. Diese Seen bedecken zusammen rund 1550 Hektar der Landesfläche und umfassen ein Volumen von 233 Kubikkilometer – und damit einen vergleichsweise wenig erkundeten Raum, dessen Wahrnehmung im allgemeinen bereits an der glatten Oberfläche des Wasserspiegels endet. Angeregt durch die Wasserrahmenrichtlinie der Europäischen Union finanzierte die Salzburger Landesregierung eine breit angelegte Studie zur Untersuchung dieser Lebensräume. Einer der Schwerpunkte lag in einer umfassenden Echosondierung der Seen mit dem Ziel, aus den aufgenommenen Daten räumlich hoch auflösende Geländemodelle des Seegrunds zu berechnen und aus den gespeicherten Echogrammen Aufschlüsse über die Verbreitung submerser Makrophyten (Unterwasserpflanzen) zu gewinnen.

Echolotvermessungen dienen häufig der Berechnung stark vereinfachter, optisch fast „kastenartig“ erscheinender Modelle, deren Augenmerk nicht auf der Beschreibung örtlicher Details, sondern der Gewinnung hydrografischer Maßzahlen wie Fläche oder Volumen liegt. Eine möglichst detailgetreue Beschreibung der Landschaften unter Wasser zählte aber zu den unabdingbaren Projektvorgaben. In Hinblick darauf erfolgte die Sondierung durch zahlreiche kurze, mäan-

derartige Profile, die eine Annäherung an eine rasterartige Datenaufnahme darstellen. Von hoher Bedeutung für die Anlage der Messfahrten war die Beachtung der Anisotropie (Richtungsabhängigkeit) der Seebecken. Die Tiefenwerte von Profilen, die rechtwinkelig vom Ufer fortführen, ändern sich wesentlich rascher als jene, die uferparallel verlaufen und die daher eine unnötige Informationsredundanz aufweisen. Bestimmte lokale Umstände, denen aus Sicht der Projektziele besondere Bedeutung zukommt, wie beispielsweise hohe örtliche Reliefenergie (Bruchkanten, jähe Untiefen) oder ein gehäuftes Auftreten von Makrophyten, wurden durch Verdichtung des Messnetzes hervorgehoben.

Die Tiefenwerte, bei jedem der genannten Seen einige Zehntausend Höhen- und Lagepunkte, bildeten die Basis für die Interpolation der vom Wasserspiegel verhüllten Seebecken (Bild 4). Mit ihrer Hilfe wird eine Oberfläche aufgespannt, ähnlich einem Zelt, dessen Plane ebenfalls mittels einiger weniger Stützpunkte in Form gebracht wird. Den methodischen „Background“ zur Berechnung der Modelle lieferten Techniken aus der Familie der Kriging-Verfahren. Kriging stellt Möglichkeiten und Werkzeuge zur Verfügung, die das Zusammenspiel der Informationsredundanz entlang der Profile einerseits und dem dazu krass kontrastierenden Mangel an Information zwischen den Profilen andererseits nach Möglichkeit ausgleichen. Insbesondere Ausmaß und Reichweite des Einflusses benachbarter Datenwerte und deren spezifischen räumlichen Attribute wie Dis-

tanz- und Richtungsverhalten, flossen als Steuerungselemente der Schätzung in die Berechnungen ein. Die Zuverlässigkeit der Modelle liegt deutlich über derjenigen, die ihren über dem Wasserspiegel befindlichen Gegenständen zukommt. Die Modelle bilden die Grundlage für zahlreiche zusätzliche Analysen, unter anderem für den Vergleich zwischen potenziellem Verbreitungsgebiet submerser Makrophyten und ihrer in den Echogrammen dokumentierten tatsächlichen Verbreitung.

Fazit

Wissenschaftliche Echolote sind sehr präzise messende Instrumente, die quasi Schnitte durch das Gewässer legen. Die simultane Nutzung eines DGPS ermöglicht eine exakte räumliche Zuordnung dieser Schnitte. Durch die Aufzeichnung des reflektierten Signals werden sozusagen Präparate des Gewässerkörpers gewonnen, die bedeutend mehr enthalten, als nur die Aufzeichnung der örtlichen Wassertiefe. Der konkrete Anwendungsfall der Salzburger Voralpenseen, die aus den Daten der Sondierung berechneten Geländemodelle sowie die aus den digitalen Echogrammen abgeleiteten Verbreitungskarten submerser Makrophyten zeugen eindrucksvoll von den Möglichkeiten, die verborgene Welt unter Wasser mit diesen Instrumenten zu erfassen.

Autor

Erich Dumfarth ist Mitglied der Geschäftsleitung der Firma ICRA

Seine fachliche Zuständigkeit umfasst unter anderem Projekte im Bereich Geostatistik und Echosondierung.

ICRA
Lilli-Lehmann-Gasse 4
5020 Salzburg
Österreich
Tel. +43 (0)6 62 62 44 96
Fax: +43 (0)6 62 62 44 96 - 15
E-Mail: dumfarth@icra.at
www.icra.at