

# Mit Schall

## Methoden zur Kartierung von Unterwasservegetation

### Zusammenfassung

Angeregt durch die Wasserrahmenrichtlinie der EU entstand in den letzten Jahren der Bedarf nach Methoden für eine rasche, kostengünstige und einfach zu überprüfende Kartierung der Vegetation unter Wasser. Die vorliegende Arbeit stellt eine Methode vor, durch die mittels digital aufzeichnender Echosonde entsprechendes Datenmaterial aufgenommen wird. Dessen Verarbeitung erfolgt in einer eigenen Applikation mit dem Namen SonarView. Durch verschiedene Werkzeuge kann aus der Fülle der aufgezeichneten Daten jenes Material selektiert werden, dass das Vorkommen von Unterwasservegetation signalisiert. Daraus kann unschwer die flächige Ausbreitung der Unterwasservegetation eines Sees kartografisch dargestellt werden. Durch eine entsprechende Auswertung der Echogramme können sodann Bereiche für detaillierte Untersuchungen der Makrophytenvegetation festgelegt werden. Hier erfolgt mittels stichprobenartigen Betauchungen eine Erhebung des Artbestands und der mengenmäßigen Zusammensetzung der untergetauchten Vegetation. Die Ergebnisse können mit Hilfe der Echogramme wiederum auf den gesamten See übertragen werden. Hierdurch wird eine flächenmäßige Bilanzierung des Vorkommens der verschiedenen Vegetationseinheiten oder – mit eingeschränkter Genauigkeit auch von einzelnen Arten – möglich. Letztlich werden durch die Kombination von Echosonde und gezielten Betauchungen Ergebnisse erzielt, die jenen einer flächenhaften Gesamtuntersuchung des gesamten von Makrophyten bewachsenen Litorals bei weitaus geringerem Aufwand sehr nahe kommen und den Anforderungen für eine Bewertung nach EU-Wasserrahmenrichtlinie vollauf genügen.

### Einleitung und Problemstellung

Gemäß der Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG) der EU sind die Mitgliedsstaaten zur Herstellung eines „guten ökologischen Zustandes“ ihrer Gewässer verpflichtet. Gefordert wird unter anderem eine Beurteilung der Stillgewässer (Seen),

sofern diese größer als 50 ha sind. Diese Beurteilung erfolgt durch verschiedene Qualitätskomponenten. Zu diesen zählt die Makrophytenvegetation (Wasserpflanzen), die ein wesentliches Strukturmerkmal für die gesamte Biozönose<sup>1</sup> eines solchen Gewässers darstellt. Eine Kartierung emerger Makrophytenbestände (Schilf, Binsen, Schwimmblattpflanzen) stellt methodisch kein besonders Problem dar. Wesentlich schwieriger gestaltet sich die Erfassung submerser Makrophyten, also jener Vegetation, die überwiegend oder vollständig untergetaucht gedeiht.

Die bislang übliche Methode einer flächigen Erfassung durch Tauchkartierung unterteilt das Litoral in mehrere Tiefenzonen, die gleichzeitig von mehreren Tauchern bearbeitet werden (MELZER et al. 1986, PALL, 1996, 1999). Der damit verbundene Aufwand an Geräten, Zeit und Personal sowie die daraus resultierenden Kosten sind beträchtlich. Auch ist die räumliche Zuordnung der von den Tauchern kartierten Pflanzenbestände nicht unproblematisch, da sich die Taucher zwar vertikal über den Tiefenmesser, horizontal aber nur begrenzt genau orientieren können.

Seit einiger Zeit laufen Versuche, mittels Methoden der Fernerkundung Aufschlüsse über die Verbreitung submerser Makrophyten zu gewinnen. Eine auf den ersten Blick sehr interessante Möglichkeit, deren effektiver Nutzen in der Praxis allerdings durch schwerwiegende Einschränkungen deutlich reduziert wird. Informationsträger ist dabei das Licht. Am Bodensee konnte in den Jahren 2001 und 2002 im Bereich der Insel Reichenau mittels multispektraler DAEDALUS-Datensätze Vegetation bis in eine Tiefe von 4,5 Meter kartiert werden (HEEGE, HÄSE, BOGNER und PINNELL, 2004). Diese 4,5 Meter entsprechen in etwa der maximalen optischen Tiefe. Unter „optischer Tiefe“ ist der zweifache Weg des Lichtes im Wasser zu verstehen: durch den

<sup>1</sup> Biozönose [gr. bios = Leben; gr. koinos = gemeinsam]: für einen bestimmten Lebensraum (Biotop) charakteristische Lebensgemeinschaft aus Pflanzen, Tieren und Mikroorganismen.

Wasserkörper bis zu einem Objekt und von diesem wieder zurück zu Wasseroberfläche und Fernerkundungssensor. Von optischer Tiefe und Sichttiefe (Secchi-Tiefe)<sup>2</sup> zu trennen ist die tatsächliche Eindringtiefe des Lichtes in den Wasserkörper, die über dem Doppelten der optischen Tiefe liegt. Das Licht dringt also weit über jenen Bereich in das Wasser ein, den Fernerkundungssensoren üblicherweise noch zu erfassen verstehen. Nach Untersuchungen an verschiedenen Seen ist Pflanzenwachstum aber nicht an die optische Tiefe gebunden, sondern kann diese bedeutend überschreiten. Beispielsweise liegt beim Faakersee (Kärnten/Österreich) die Sichttiefe unter günstigen Umständen bei etwa 7 Meter; im Sommer 2003 wurde die untere Grenze der Vegetationsausbreitung hingegen bei 14 bis 17 Meter festgestellt. Auch am Bodensee dürften aus den genannten Gründen Ausbreitung und tiefenbedingte Wachstumsgrenze der Vegetation die Ergebnisse der Kartierung aus den DAEDALUS-Datensätzen bedeutend übersteigen. Diese Umstände, die bedeutende Reduzierung der tatsächlichen Ausbreitung der Vegetation, sowie die völlige Unkenntnis über die Vegetationsgrenze zur Tiefe hin, die eines der wichtigsten Merkmale im Hinblick auf die Biozönose dieses Lebensraums darstellt, schränken die Anwendbarkeit der Methode deutlich ein. Nicht unproblematisch ist auch der beträchtliche technische Aufwand. Zwar erfolgt die Gewinnung von FE-Daten praktisch routinemäßig, doch ist für eine eindeutige Zuordnung der gewonnenen Information zu pflanzenbestandenen Arealen die Gewinnung zusätzlicher Information vor Ort notwendig. Dazu werden etwa unter anderem die typischen spektralen Signaturen von Unterwasserpflanzen mittels unterwassertauglicher Spektralmessgeräte gemessen. Eine Übertragung dieser Messungen auf einen anderen See, mitunter auch auf andere Bereiche des gleichen Sees, ist nicht ohne weiteres

<sup>2</sup> Sichttiefe (Secchi-Tiefe): Tiefe, bis zu der eine genormte weiße Scheibe (Secchi-Scheibe) für das freie Auge sichtbar ist.

möglich, da eine Änderung bestimmter Rahmenbedingungen eine eindeutige Identifikation der Vegetationsbestände in den FE-Daten erschwert oder auch gänzlich hintertreibt.

Auf Grund der geschilderten Probleme erwuchs der Bedarf zur Entwicklung eines anderen methodischen Ansatzes, der einerseits zuverlässig und möglichst vollständig über die horizontale und vertikale Verbreitung submerser Makrophyten informiert, andererseits aber im Hinblick auf Aufwand- und Kostenstruktur deutlich unter den oben geschilderten Ansätzen liegt. Dieser neue methodische Ansatz, der nachfolgend ausführlicher erläutert wird, beruht auf einer Sondierung des Gewässerkörpers und darin befindlicher Objekte inklusive der Vegetation mit Schall und anschließenden gezielten Betauchungen zur Erfassung des Artbestandes und anderer vegetationskundlicher Daten.

### Die Gewinnung digitaler Echogramme

Informationsträger für die Erkundung des Raums zwischen Wasserspiegel und Gewässergrund ist die Ausbreitung einer Schallwelle, die als Schwingung durch das elastische Medium des Wassers verläuft. In der einfachsten Form wird so die Wassertiefe bestimmt. Moderne Echosonden arbeiten nach dem gleichen Prinzip, erfüllen aber wesentlich höhere Anforderungen. Sie messen nicht nur die Wassertiefe, son-

dern sammeln Informationen über alles, was sich zwischen Oberfläche und Gewässergrund befindet und den Weg des Signals kreuzt.

So wie die üblichen Echolote entsenden sie hochfrequente Impulse, sogenannte Pings, die als gebündelte Schallwellen durch das Wasser laufen. Treffen sie auf einen Gegenstand, etwa eine Pflanze oder den Gewässergrund, werden sie von dort reflektiert und vom Empfänger als Echo des ausgestrahlten Impulses registriert. Aus der Laufzeit berechnet sich die Tiefe bis zu den registrierten Objekten. Die Ergebnisse werden aufgezeichnet und in Form von Echogrammen graphisch dargestellt. Aus diesem Grunde ist es durchaus zutreffend von einem bildgebenden Verfahren zu sprechen.

Moderne wissenschaftliche Geräte arbeiten im Gegensatz zu den üblichen Vermessungsecholoten, die primär auf die Erfassung des Gewässergrunds ausgerichtet sind, vollständig digital. Zu ersterer Gruppe zählen beispielsweise die Geräte der Firmen SIMRAD und Biosonics, deren hochgradig verfeinertes Leistungsspektrum wissenschaftlichen Ansprüchen genügt. Das von uns verwendete Gerät der Firma SIMRAD zerlegt für die Aufzeichnung jeden einzelnen Ping in „Samples“, das sind kleine Zeitscheiben, die bei einer Frequenz von 200 kHz rund einen Zentimeter durchmessen. Sofort nach dem Aussenden eines Pings beginnt die Unterteilung seines

Zeitstrangs in diese Samples. Die zeitliche Länge der einzelnen Samples entspricht 1/4 der gewählten Impulslänge. Die metrische Länge eines einzelnen Samples ist abhängig von der Schallgeschwindigkeit und kann daher leicht variieren, liegt aber stets über der Wellenlänge bei 200 kHz von rund 7,3 mm. Die fortlaufend zum Empfänger zurückkehrenden Echos eines Pings werden als Verhältnis von ausgesendetem zu wieder empfangenem Signal dem Sample ihrer Rückkehr zugeordnet. Dieses Verhältnis wird als negativer Dezibel-Wert (dB) mit entsprechender Tiefenzuweisung des Sample gespeichert. Die Tiefenzuweisung entspricht einer einfachen Addition der metrischen Samplegröße. Bei einem Sampleintervall von 10 mm befindet sich demnach der einhundertste aufgezeichnete Samplewert in 1 m Wassertiefe, der zweihundertste Sample in 2 m Wassertiefe und so fort. Algorithmen der Betriebssoftware gleichen die Dämpfung des Signals im Wasserkörper aus. Diese Korrektur der Rohdatenwerte durch den „time varied gain“ (TVG), sorgt dafür, dass beispielsweise ein Schwebstoffteilchen oder Zooplankton gänzlich unabhängig von der Distanz zum Schwinger stets mit Werten um -90dB erfasst wird. Dies gilt gleichermaßen auch für die Erfassung, Digitalisierung und Darstellung des Gewässergrunds. Einzig seine konkrete örtliche Beschaffenheit, nicht aber die Tiefe, in der er angetroffen wird, beeinflusst den Bodenechowert, der dem entsprechenden Sample zugeordnet wird.

Um die Ping für Ping und Sample für Sample aufgezeichneten Daten geografisch zuordnen zu können, werden auf dem Messboot per GPS Positionsdaten gesammelt. Durch die Einbeziehung von GPS-Korrekturdaten, wie etwa jene des ALF<sup>3</sup>-Datendienstes des BKG (Bundesamt für Kartografie und Geodäsie), erfolgt deren „Veredelung“ zu Differential GPS-Positionsdaten (DGPS). Zur Vermeidung von Abschattungseffekten durch die Topographie oder andere Störquellen empfiehlt sich der Aufbau einer Art „Relaisstation“ mit einwandfreiem Empfang der Korrekturdaten. Von dieser werden die Korrekturda-

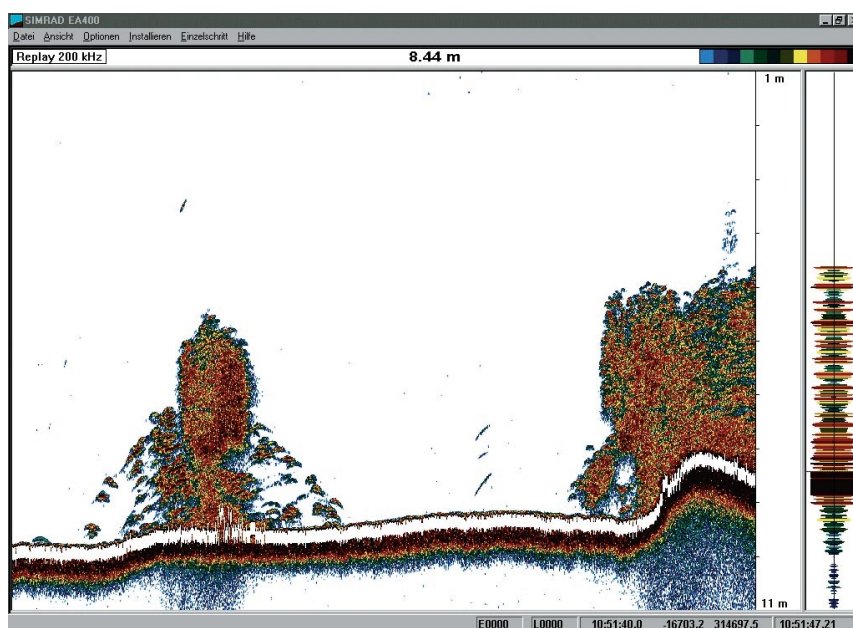


Bild 1: Szenenbild eines digitalen Echogramms. Deutlich erkennbar der Bewuchs mit mehrere Meter hohen submersen Makrophyten. Die linke Pflanze ist seitlich von Fischen flankiert. Pflanzen und Fische sind Bestandteile der litoralen Biozönose.

<sup>3</sup> ALF [Accurate Positioning by Low Frequency]: Aussendung von DGPS-Korrekturdaten über Langwelle 123,7 kHz für Echtzeit-Positionierung und Navigation, realisiert vom Bundesamt für Kartografie und Geodäsie und der Deutschen Telekom AG.

ten per GSM-Modem an das Messboot gefunkt und dort in real-time in die Berechnung der Positionen einbezogen. Eine weitere Verbesserung der Positionierungsgenauigkeit ergibt sich durch die Nutzung von GPS-Geräten, die für hydrographische Vermessungsarbeiten optimiert sind und daher auch die auf Wasseroberflächen unvermeidlichen Multipath-Effekte bzw. deren Auswirkungen berücksichtigen. Steuerung sowie Bündelung des Datenstroms aus den drei verschiedenen Gerätequellen - Echosonde, GPS, RTCM<sup>4</sup>-Empfänger der Relaisstation, der per GSM-Modem mit dem Messboot ständig verbunden ist – erfolgt durch einen handelsüblichen Laptop. Dieser nimmt alle Daten auf, führt in den Softwareprodukten der Geräte die notwendigen Berechnungen zur Bodenerkennung und Positionsbestimmung durch und passt in die digitalen Echogramme die horizontalen Positionen ein. Diese Positionsdaten werden dabei derart in die digitalen Echogramme integriert, dass auf Grund der niedrigeren Messfrequenz des DGPS (DGPS: 1 Messung pro Sekunde; Echosounder: 10 Messungen pro Sekunde) nur jeder zehnte Ping mit einer ihm zugehörigen Position verbunden wird. Nachträglich erfolgt mit deren Hilfe für alle anderen Pings die Berechnung der horizontalen Position und damit eine lückenlose räumliche Verortung der gesamten Messfahrt samt aller im Gewässerkörper befindlicher und von der Sonde erfasster Objekte, darunter auch allfällig vorhandene submerse Makrophyten.

Die vollständige digitale Aufzeichnung der gesamten Messfahrt in Form digitaler Echogramme, in deren Signale prinzipiell alle Objekte zwischen Wasseroberfläche und Gewässergrund enthalten sind, ermöglicht es, aus diesen über die bloße Feststellung des Grundes bzw. der Gewässertiefe hinaus zusätzliche Informationen zu gewinnen. Im konkreten Fall handelt es sich um eine eindeutige Identifikation von Pflanzenwuchs und dessen räumliche Verortung. Für eine konkrete Umsetzung ist es notwendig, die digitalen Echogramme aus der Spezialanwendung der Betriebssoftware des Echosounders in geeignete Software zu deren Analyse überzuführen.

### Applikation „SonarView“ zur Erfassung submerse Makrophyten in ArcView

Die digital gespeicherten Rohdaten der Sondierung liegen als binäre Daten vor. Die zeithierarchische Aneinanderreihung der Pings und deren Aufteilung in Samples bilden einen Datenraster nach. Alle Programme, die derartige Raster verarbeiten können, sind im Prinzip fähig, die Daten aufzunehmen und zu verarbeiten. Dafür besonders geeignet ist GIS-Software mit der Fähigkeit zur Rasterdatenverarbeitung. Eines der mächtigsten und am weitesten verbreiteten Programme ist das von der Firma ESRI stammende ArcView-GIS, das als Plattform für die darauf aufsetzende Applikation SonarView zur Erfassung submerse Makrophyten dient. Solche Applikationen werden in ArcView als Extensions bezeichnet. Cum grano salis handelt es sich dabei um eine Sammlung komplexer Programmfunktionen. SonarView ist vollkommen in ArcView integriert, sodass es auf jedem Computer, auf dem das einfache Basismodul von ArcView installiert ist, ohne weiteres lauffähig ist. Damit sind die Ergebnisse der Sondierung über Spezialanwendungen hinaus breit kommunizierbar - nahezu jede größere Behörde im deutschsprachigen Raum verwendet ArcView.

Wie bereits erwähnt entspricht die Aufzeichnung der Rohdaten in der Betriebs-

software des Echosounders im Wesentlichen einem bildgebenden Verfahren. Das ermöglicht SonarView ihre Konversion aus dem SIMRAD RAW-Format in ein georeferenziertes LZW<sup>5</sup>-komprimiertes TIFF<sup>6</sup>. Deseren Pixel (Bildelemente) entsprechen den bei der Sondierung aufgezeichneten Samples samt den ihnen jeweils zugehörigen Dezibel-Werten. Bei Konversion und Import der RAW-Daten in SonarView erfolgt der schon angesprochene Ausgleich der Signaldämpfung im Wasser. In Summe entspricht eine solche Darstellung der Sondierung praktisch Schnitten oder Präparaten durch den Gewässerkörper und sind einem entzerrten und georeferenzierten Foto vergleichbar. Ähnlich einem Orthofoto kann auf diesen Aufnahmen für jeden einzelnen Punkt, für jedes darauf sichtbare Objekt, die Position angegeben werden, vor allem aber auch die exakte Lage über Grund beziehungsweise unter dem Wasserspiegel sowie die diesem Objekt zugehörigen dB-Werte. Damit sind diese Aufnahmen können eindeutige Zeugen dessen, was sich zu einem gegebenen Zeitpunkt an bestimmten Positionen zwischen Wasserspiegel und Gewässergrund befand. Mit Hilfe dieser Aufnahmen die konkreten örtlichen Gegebenheiten zum

<sup>5</sup> LZW [Lempel-Ziv-Welch]: Algorithmus für eine verlustfreie Datenkompression von Bildinformation.

<sup>6</sup> TIFF [Tagged Image File Format]: Dateiformat zur Speicherung von Bilddaten.

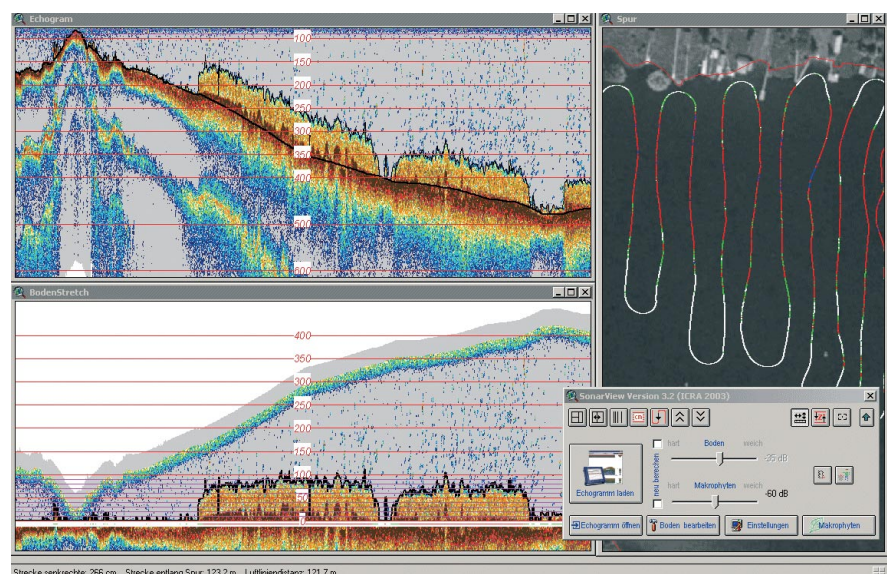


Bild 2: Beispiel eines digitalen Echogramms in der ArcView-Applikation SonarView. Links oben das „Echogrammfenster“ mit dem Ergebnis der Sondierung, den dB-Werten als Informationsträger über Objekte im Wasser. Darunter der „Bodenstretch“ mit der Streckung des steilen Gewässergrundes auf eine Gerade, von der sich nach oben hin die Unterwasservegetation deutlich abhebt. Rechts die „Spur“ mit der aufgezeichneten Messstrecke.

<sup>4</sup> RTCM [Radio Technical Commission for Maritime Service]: normiertes internationales Format zur Datenübertragung.

Zeitpunkt der Sondierung jederzeit überprüft und neu bewertet werden.

Bild 2 zeigt eine solche Aufnahme. Oben links in der Abbildung befindet sich das „Echogrammfenster“. In ihm sind die Ergebnisse der Sondierung zu sehen. Die beiden schwarzen Linien, die durch das Echogramm verlaufen, markieren den aus den Daten berechneten Gewässergrund sowie die gleichfalls daraus bestimmte obere Wuchskante der Unterwasservegetation. Die Farbwerte informieren über Größe beziehungsweise Härte der Objekte im Wasser. Je nach Zweck der Darstellung kann die Farbskala geändert und so eher kleine und schwache Ziele, wie beispielsweise planktongroße Objekte, herausgehoben werden, oder umgekehrt eine Heraushebung der effektivsten Reflektoren, also des Grundes oder submerser Pflanzen, erfolgen. Im Beispiel sieht man deutlich den Grund und einen dichten Pflanzenbewuchs. An das „Echogrammfenster“ schließt das Fenster des „Bodenstretch“ an. Der Bodenstretch streckt den Boden derart, dass der Grund als gerade Linie verläuft, von dem sich die submersen Makrophyten nach oben erstrecken. In diesem Fenster können mit speziellen Digitalisierungswerkzeugen, die SonarView zur Verfügung stellt, die erkannten Pflanzenbestände digitalisiert und attribuiert werden. Rechts außen befindet sich das „Spurfenster“. Es enthält die gefahrene Strecke des Messboots. Die Fenster sind derart miteinander verbunden, dass es jederzeit möglich ist festzustellen, wo genau sich ein im Wasserkörper befindliches Objekt auf der „Spur“ befindet. Dies erlaubt eine genaue Orientierung innerhalb der Echogramme. Es ist stets klar, wo man sich horizontal wie vertikal innerhalb des Wasserkörpers befindet. Zudem kann dadurch auch ein bestimmtes Objekt jederzeit zu einem späteren Zeitpunkt erneut aufgesucht werden (Vergleichsaufnahmen u. ä.).

Wesentlich für die Erfassung submerser Makrophyten ist die möglichst exakte Bestimmung des Bodens. Dies gilt vor allem für niederwüchsige Arten, die nur 10 oder 20 cm über diesen hinausragen. Bereits auf dem Messboot geschieht in real-time durch die Software des Echosounders eine erste Festlegung des Gewässergrunds. Nachträglich kann dies überwacht in SonarView erfolgen. Dabei werden in die Berechnung mehrere Para-

meter und Toleranzwerte einbezogen, die einerseits auf der Auswertung der erhaltenen Signalstärken jedes einzelnen Samples bzw. Pings, andererseits aber auch auf den Auswertungen benachbarter Pings beruhen. Nach Abschluss der Berechnungen liegt der Boden als Grafikobjekt vor. Dieses Objekt, der als Linie dargestellte Boden, kann bei Bedarf örtlich durch verschiedene Digitalisierungswerkzeuge korrigiert werden.

Durch eine ganz ähnliche Prozedur wie für die Definition des Bodens werden pro Ping Abweichungen vom erkannten Boden gesucht. Auch dabei fließen in die Berechnung entsprechende Parameter ein, die auf Toleranzen im Hinblick auf die für Unterwasservegetation typischen dB-Werte basieren. Wo vom System solche Abweichungen registriert werden, erfolgt die Berechnung einer vom Gewässergrund abweichenden Linie, die der Vegetationskante als Abgrenzung zum freien Wasserkörper folgt. Diese Linie beschreibt somit die horizontale Erstreckung der Unterwasservegetation entlang des Echogramms. Durch die automatische Verschneidung mit der Bodenlinie wird zugleich auch die vertikale Erstreckung der Vegetation, ihre Wuchshöhe, bestimmt. Auch diese Linie kann nachträglich digital „per Hand“ durch spezielle Digitalisierungswerkzeuge korrigiert und an konkrete örtliche Gegebenheiten angepasst werden.

### **Gezielte Betauchungen zur Erhebung des Artbestands und der mengenmäßigen Zusammensetzung der untergetauchten Vegetation**

Bei der Makrophytenkartierung ist das Vorkommen der einzelnen Wasserpflanzenarten zu erfassen. Um weiterführende Auswertungen und vor allem auch eine Bewertung nach EU-Wasserrahmenrichtlinie vornehmen zu können, ist insbesondere auch die mengenmäßige Zusammensetzung der Makrophytenvegetation von Bedeutung. Eine Erhebung dieser Parameter kann im erforderlichen Detaillierungsgrad nach wie vor nur durch Betauchung erfolgen (PALL, 2004). Bei Bearbeitung vom Boot aus mittels Rechen oder speziellen Greifern wird im Gegensatz dazu das Artenspektrum nur unzureichend erfasst und Aussagen über die mengenmäßige Bedeutung der einzelnen Arten sind nur schwer mög-

lich. Vegetationsaufnahmen mittels Betauchung sind äußerst personal- und kostenintensiv. Es war daher ein Hauptanliegen der hier vorgestellten, speziell auf die Erfordernisse der EU-Wasserrahmenrichtlinie zugeschnittenen Methode zur Makrophytenkartierung, diesen Aufwand so gering wie möglich zu halten.

Mit den Ergebnissen der Echosondierung liegen detaillierte Daten zur flächigen und vertikalen Ausdehnung der Makrophytenbestände vor. In den einzelnen Echogrammen kann nun nach für den jeweiligen Seetyp charakteristischen „Mustern“ in der räumlichen Ausdehnung der Pflanzenbestände gesucht werden. Mit Hilfe spezieller Werkzeuge der Applikation SonarView ist es möglich, auf diese Art zunächst eine Ausweisung von hinsichtlich des Wasserpflanzenbewuchses strukturell differenzierbaren Seebereichen vorzunehmen. Innerhalb dieser unterschiedlichen Zonen können sodann ganz gezielt Stellen für eine detaillierte Vegetationsaufnahme festgelegt werden. Die eigentliche Makrophytenkartierung erfolgt an diesen vorab festgelegten Stellen entlang von Transekten mittels Betauchung (PALL, 2004). Diese reichen bei einer Breite von jeweils 20 m von der langjährigen Mittelwasserlinie bis zur unteren Grenze der aquatischen Vegetation. Neben dem Artbestand und den artspezifischen Pflanzenmengen werden hierbei auch andere aus vegetationskundlicher Sicht wesentliche Parameter wie Sedimentbeschaffenheit, Choriotoptyp<sup>7</sup> etc. erhoben.

Die durch die Transektkartierung gewonnenen Kartierungsdaten werden statistisch ausgewertet und die Ergebnisse als repräsentativ für den jeweiligen Seebereich angesehen. Sie können – wiederum mit Hilfe der Applikation SonarView auf definierte Flächen übertragen werden, wodurch das Gesamtergebnis – wenngleich mit reduziertem Detaillierungsgrad – einer flächigen Tauchkartierung des gesamten Litorals nahe kommt. Bild 3 zeigt im linken Fenster die Fahrspur der Echosondierung projizierten Ergebnisse der Betauchung und im rechten Fenster die darauf basierende kartografische Darstellung der unterschiedlichen Vegetationstypen.

<sup>7</sup> Choriotoptyp: Teillebensraum, der einem bestimmten Strukturtyp zugeordnet ist; Beispiele für natürliche Choriotope sind Akal (Fein- bis Mittelkies), Psammal (Sand), Pelal (Schlamm).

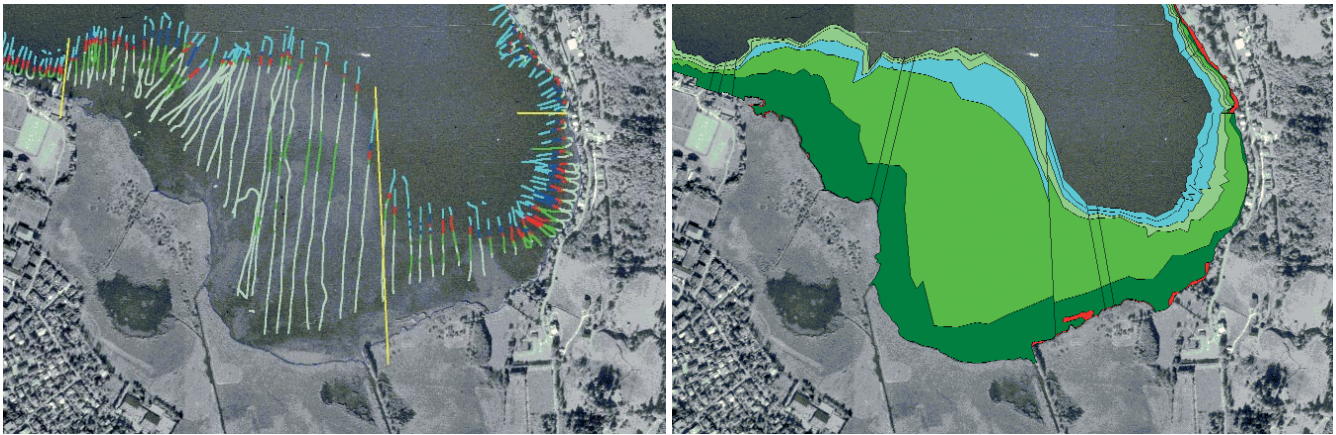


Bild 3 Links: Übertragung der Ergebnisse der Tauchkartierung zur Ausweisung homogener Vegetationszonen am Beispiel des Zellersees, die gelben Linien zeigen die Grenzen zwischen den verschiedenen Regionen.

Rechts: flächige Darstellung der unterschiedlichen Vegetationstypen am Beispiel des Zellersees: dunkelgrün = Vorkommen von verschiedenen Tausendblatt-, Laichkraut- und Wasserpest-Arten; hellgrün = der eigentliche Laichkrautgürtel; blau = Characeenwiesen; pastellgrün = dominiert von der neophytischen Art *Elodea nuttalli*; punktiert = zusätzliche Vorkommen von Characeen (modifiziert aus JÄGER et al., 2003).

Durch die Möglichkeit der flächenmäßigen Bilanzierung von Einzelarten, Artengruppen und Vegetationseinheiten können gemäß ihrer Makrophytenvegetation unterschiedliche Seentypen charakterisiert werden. Bild 4 zeigt als Beispiel die deutlich unterschiedliche Vegetationszusammensetzung im Attersee und im Obertrumer See.

Die Vitalität der Bestände, das Vorkommen gebietstypischer Arten und Vegetationseinheiten sowie ergänzende Informationen zu den abiotischen Gegebenheiten sind weitere Aspekte, die vor Ort von den Fachleuten erhoben werden. Auf Basis dieser

Daten kann in weiterer Folge eine Bewertung der Makrophytenvegetation von Seen nach ÖNORM M 6231 im Sinne der Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie vorgenommen werden.

#### Literatur

HEEGE, T., C. HÄSE, A. BOGNER und N. PINNEL (2004): Physikalisch basierte Prozessierung multispektraler Fernerkundungsdaten von Binnengewässern. – In: Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (Hrsg.): Erfassung und Beurteilung von Seen und deren Einzugsgebieten mit Methoden der Fernerkundung – Tagungsband der ANL-Fachveranstaltung vom 11. bis 12. September 2003, Laufen, S. 67-71.

JÄGER, P., PALL, K. & E. DUMFARTH (2004): A method of mapping macrophytes in large lakes with regard to the requirements of the Water Framework Directive. – In: *Limnologica* 34, S. 140-146.

MELZER, A., HARLACHER, R., HELD, K., SIRCH, R., & E. VOGT (1986): Die Makrophytenvegetation des Chiemsees. - Informationsbericht Bayer. Landesamt f. Wasserwirtschaft, 4/86, 210pp

PALL, K. (1996): Die Makrophytenvegetation des Attersees und ihre Bedeutung für die Beurteilung des Gewässerzustands. – In: *Oberösterreichischer Seeuferkataster, Pilotprojekt Attersee; Studie im Auftrag der Oberösterreichischen Landesregierung sowie des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft.*

PALL, K. (2004): *Macrophytes in Lakes – Methods for Mapping and Evaluation.* – *Aquatic Botany, in prep.*

PALL, K. & P. JÄGER (2001): Die aquatische Vegetation des Trumersees. – *Reihe Gewässerschutz* 4, Amt der Salzburger Landesregierung.

#### Autoren

Mag. Erich Dumfarth,  
ICRA Ingenieurbüro f. Geographie &  
Angewandte Geoinformatik  
Lilli-Lehmann-Gasse 4, A-5020 Salzburg  
E-Mail: dumfarth@aon.at

Mag. Karin Pall  
Systema Bio- und Management Consulting  
GmbH  
Bensasteig 8, A-1140 Wien  
E-Mail: systema@aon.at

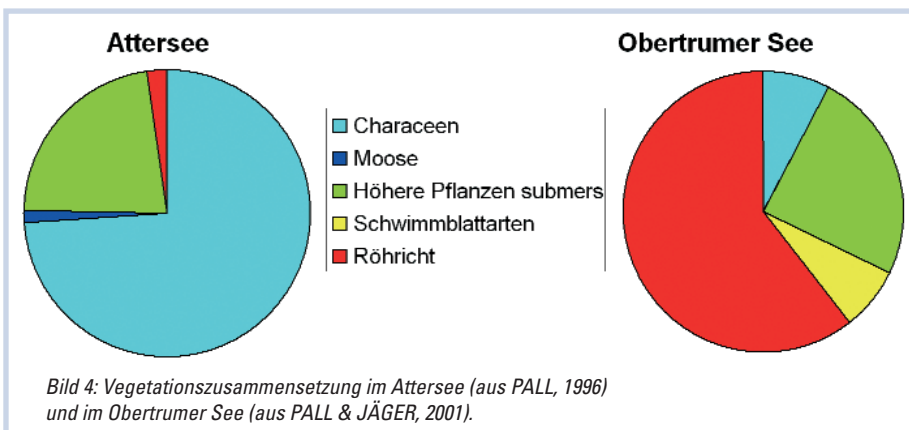


Bild 4: Vegetationszusammensetzung im Attersee (aus PALL, 1996) und im Obertrumer See (aus PALL & JÄGER, 2001).

176 x 40  
????????