

WASSERPFLANZEN- ERHEBUNGEN

METHODIK ZUR ERFASSUNG DER WASSERPFLANZEN- UND SEEGRUNDVERHÄLTNISSE

Wasserpflanzen bilden einen wichtigen Lebensraum in unseren Seen und sind gleichzeitig hoch-sensible Indikatoren für den Gewässerzustand. Durch verschiedene Passagen im Natur- und Heimatschutzgesetz steht die Unterwasservegetation unter besonders hohem Schutz. Mit «MESAV+» wird eine Methodik zur Erhebung der Wasserpflanzen vorgestellt, wie sie in der Schweiz im Verlauf der letzten 20 Jahre entwickelt und praktiziert wird. Mittlerweile ist die Erfassung mit sogenannten Tauchtransekten auch in der EU zum Standardverfahren geworden.

Klemens Niederberger*, AquaPlus AG
Matthias Sturzenegger, AquaPlus AG

RÉSUMÉ

ENQUÊTE SUR LES PLANTES AQUATIQUES – MÉTHODE D'ANALYSE DE LA SITUATION DES PLANTES AQUATIQUES ET DES FONDS DE LACS

Avec son concept d'analyse et d'évaluation des lacs en Suisse, l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) a, en 2013, jeté les bases du développement de méthodes d'évaluation de la santé écologique des lacs suisses [1]. L'une des étapes suivantes consiste à élaborer un procédé pour analyser également les plantes aquatiques (macrophytes). Développée et utilisée par AquaPlus au cours des 20 dernières années, la méthode d'analyse des plantes aquatiques au moyen de transects de plongée constitue pour cela une base déjà bien établie.

Les plantes aquatiques sont d'excellents bioindicateurs, notamment pour les éléments nutritifs présents dans les sédiments et les masses d'eau, pour les pollutions mécaniques et les répercussions des constructions dans et au bord de l'eau. La méthode «MESAV+» (*Method for the Exploration of Submersed Aquatic Vegetation*) décrite ici contient une analyse détaillée de la végétation subaquatique, des fonds aquatiques et d'autres paramètres, réalisée à l'aide de transects de plongée (plongées effectuées le long d'une ligne définie au préalable, en général depuis la rive en direction du lac en suivant la ligne de pente du fond aquatique). Les résultats de l'analyse des paramètres reflètent bien la situation réelle. Lors de la modification de la densité de la végétation, de la composition des espèces, de la

EINLEITUNG

Mit dem Konzept für die Untersuchung und Beurteilung der Seen in der Schweiz hat das Bundesamt für Umwelt (BAFU) 2013 den Grundstein für die Entwicklung von Beurteilungsmethoden des ökologischen Gewässerzustandes der Seen in der Schweiz gelegt [1]. Prioritär werden die Bereiche «Ufermorphologie» und «Nährstoffe» entwickelt. Sie stellen eine wesentliche Grundlage für die Erfüllung von Art. 38a (Revitalisierung von Gewässern) des Bundesgesetzes über den Schutz der Gewässer (GSchG) sowie von Artikel 41b (Gewässerraum) und 41d (Revitalisierungsplanung) der Gewässerschutzverordnung (GSchV) dar. In weiteren Schritten ist die Erarbeitung der Themen «Fische», «Makrophyten» (Wasserpflanzen), «Makrozoobenthos» (Wasserwirbellose), «Plankton» und «Spurenstoffe» vorgesehen. Ein wichtiger Aspekt dieses Konzeptes ist nebst der zeitlichen und inhaltlichen Priorisierung auch die Darstellung der Grundsätze einer «guten Methodik».

Mit der im Verlauf der letzten 20 Jahre von AquaPlus entwickelten und praktizierten Methode der Wasserpflanzenerhe-

Titelbild: Urnersee – eines der sieben untersuchten Teilbecken des Vierwaldstätter-sees. In stark strukturierten Seen sind die Teilbecken wie separate Seen zu behandeln

* Kontakt: klemens.niederberger@aquaplus.ch

bung mit Tauchtransekten und der damit verknüpften Modellierung des fischökologischen Potenzials besteht bereits eine etablierte Grundlage für die noch ausstehenden Entwicklungsschritte zur Untersuchung von Seen. Zum einen eignen sich Wasserpflanzen hervorragend als Bioindikatoren zur Beurteilung von Seen. Zum anderen werden die Anforderungen an ein «gutes methodisches Vorgehen» [1] vollumfänglich erfüllt. Im Zuge der vorgesehenen Seeuferrevitalisierungen (Priorisierung im Rahmen der strategischen Revitalisierungsplanung auf der Basis der ökomorphologischen Seeuferbeurteilung) bilden die Wasserpflanzen-erhebungen ein wichtiges Instrument für eine sorgfältige und den standörtlichen Gegebenheiten Rechnung tragende Umsetzung von Aufwertungsmassnahmen.

WASSERPFLANZEN

Wasserpflanzen werden unter dem Begriff «Makrophyten» oder auch «submerse aquatische Vegetation» zusammengefasst. Dazu gehören alle makroskopisch wahrnehmbaren höheren und niederen Pflanzen, die im Wasser wachsen. Es sind dies Höhere Pflanzen (Gefässpflanzen, Samenpflanzen = *Spermatophyta*), Moose (*Bryophyta*), Farne (*Pteridophyta*) sowie Armleuchteralgen (*Characeen*).

Die Beurteilung des Gewässerzustandes von Uferabschnitten oder ganzer Seen auf Basis von Wasserpflanzen kommt in der Schweiz seit über 80 Jahren zur Anwendung. So wurden z.B. in den 1930er-Jahren von *Gamma* [2] die Wasserpflanzen der Zentralschweizer Seen oder ab Mitte der 1970er-Jahre durch *Lachavanne* [3] eine Zustandsbeschreibung für die meisten grossen Schweizer Seen anhand der Unterwasservegetation vorgenommen. Die dabei verwendeten Methoden wie der Einsatz von Unterwassersichtgeräten (sog. Aquascope), das Herausheben von Pflanzen mittels Rechen oder der Einsatz von Luftbildern mit stichprobenartiger Sondierung von vermuteten Vegetationsbeständen genügen jedoch den heutigen Rahmenbedingungen und Anforderungen nicht mehr. Sie sind in qualitativer und quantitativer Hinsicht mit einigen Vorbehalten behaftet. Zudem ergeben sich heute auch andere bzw. differenziertere Fragestellungen, die eine detaillierte,

quantitativ abgestützte und reproduzierbare Zustandserfassung erfordern, unter anderem um die zeitliche Entwicklung dokumentieren zu können oder auch um eine verlässliche Grundlage zur Gewässerraum- oder Revitalisierungsplanung zu schaffen.

AquaPlus arbeitet seit 1995 bei Wasserpflanzenuntersuchungen systematisch mit Tauchtransekten (Abtauchen von vorgängig festgelegten Linien), sowohl für die Erhebung von Stichprobenprofilen als auch für flächendeckende Kartierungen, und hat diese Methodik für die Aufnahme von Wasserpflanzen massgeblich entwickelt. Sie soll im Folgenden unter der Bezeichnung «MESAV+» geführt werden – die Abkürzung steht für «Methode zur Erfassung der submersen aquatischen Vegetation» (engl. *Method for the Exploration of Submersed Aquatic Vegetation*). Das «+» weist dabei einerseits auf die zusätzlich erfassten Parameter hin und deutet andererseits das Schweizerkreuz (Schweizer Methode) an.

Die Methode wurde von AquaPlus im Jahr 2000 am Lehrstuhl für aquatische Systembiologie der Technischen Universität München vorgestellt, einer der in Europa führenden wissenschaftlichen Institutionen in Makrophytenfragen. In der Zwischenzeit hat dieses Vorgehen zur Erfassung von Makrophyten und Seegrund in der EU eine breite Akzeptanz und Anerkennung gefunden. So wird beispielsweise in der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) [4] für die Gewässerbewertung auf Basis der Qualitätskomponente «Makrophyten und Phytobenthos» verbindlich gefordert, dass die Erhebung mit Transekten erfolgt, für die meisten Fälle ist hier die tauchganggestützte Ausführung das geeignetste Verfahren [5]. Leider wird in der EU-Methode mit vordefinierten Tiefenstufen gearbeitet (statt mit Festlegen von Abschnittsgrenzen bei Änderung der Attributausprägungen, vgl. *Kap. Aufnahmemethodik*) und innerhalb dieser Bereichsgrenzen ein Mittelwert gebildet. Aus Autorensicht gehen auf diese Weise wichtige Informationen verloren. Auch werden die Kriterien für eine gute Methode nicht beachtet: Die Ausprägung soll nach tatsächlicher Ausdehnung und nicht nach vorgegebenen Einheiten erfasst werden. Aufgrund der Aufnahmemethodik nach «MESAV+» mit hoher Informationsdichte und der Einbindung der Ergebnisse in eine Datenbank lassen sich die in der EU verwendeten Tiefenstufen

aber im Rahmen eines «*Post processing*»-Verfahrens problemlos generieren. Die Vergleichbarkeit mit Erhebungen der Nachbarländer ist somit sicherstellt.

Seit einigen Jahren werden immer wieder spezielle Ansätze für die Erhebung unter Wasser liegender Vegetationsvorkommen vorgestellt, insbesondere Methoden der Fernerkundung wie Luftbildauswertung, lasergestützte Verfahren (LIDAR), hyperspektrale Fernerkundung, o.ä. Diesen Vorgehensweisen sind bisher jedoch meist enge Grenzen gesetzt. So ist zum Beispiel auch bei guter Sicht die Erfassung in grösseren Wassertiefen limitiert und über die vorkommenden Arten und ihre Häufigkeitsanteile kann nur mit begleitenden Tauchgängen Aufschluss gewonnen werden. Eine Eichung ist sehr aufwändig und objektspezifisch, d.h. kaum auf andere Gewässer übertragbar. Ähnlich verhält es sich bei Echolotaufnahmen: Strukturen können zwar erfasst werden, der Einsatz bei geringen Wassertiefen ist jedoch nur eingeschränkt möglich. Auch muss hier die Artzusammensetzung wiederum mit Tauchgängen ermittelt werden. Taucheinsätze erweisen sich also als unabdingbar, soll die Vegetationsstruktur und ihre Ausprägung entlang des Tiefenprofils bis zur unteren Verbreitungsgrenze ermittelt werden.

Zudem werden bei Tauchuntersuchungen, im Gegensatz zu anderen Erfassungsmethoden, nachweislich höhere Artenzahlen erfasst. Da heute zunehmend auch Fragen zur Biodiversität an Bedeutung gewinnen und die Ausbreitung der Vegetation im Zuge der Seensanierung wieder grössere Wassertiefen erreicht, kann vorerst keine andere Methode die gewünschte Genauigkeit und Verlässlichkeit liefern. Auch erste Versuche mit Unterwasserkameras und Tauchrobotern haben noch nicht zu befriedigenden Ergebnissen geführt (u.a. Probleme der Erkennbarkeit bei bereits leichter Trübung, keine direkte Begutachtung der Pflanzen zur sicheren Bestimmung, Hängenbleiben der Geräte in den Pflanzen). Die verschiedenen technischen Entwicklungen werden jedoch mit Aufmerksamkeit verfolgt.

Das Vorgehen zur Beurteilung von Uferabschnitten oder ganzen Seen mithilfe von Makrophytenaufnahmen wird im Folgenden anhand eines Praxisbeispiels vorgestellt. In den Jahren 2007–2011 fand mit der Untersuchung von 119 Tauchtransekten im Auftrag der Aufsichtskommission Vierwaldstättersee AKV eine

umfassende Aufnahme der Wasserpflanzenverhältnisse im Vierwaldstättersee statt [6] (Fig. 1). Im Vergleich mit den Erhebungen von 1935 [2] und 1982 [3] sollte

die Entwicklung der Unterwasservegetation dokumentiert und interpretiert werden. Hierzu wurden spezielle Verfahren entwickelt, um trotz der grossen Unterschiede

zu den früheren Methoden eine möglichst verlässliche Aussage machen zu können. Mit der aktuellen Kampagne unter Einsatz von Tauchtransekten steht künftig eine hoch differenzierte und reproduzierbare Datengrundlage zur Verfügung.

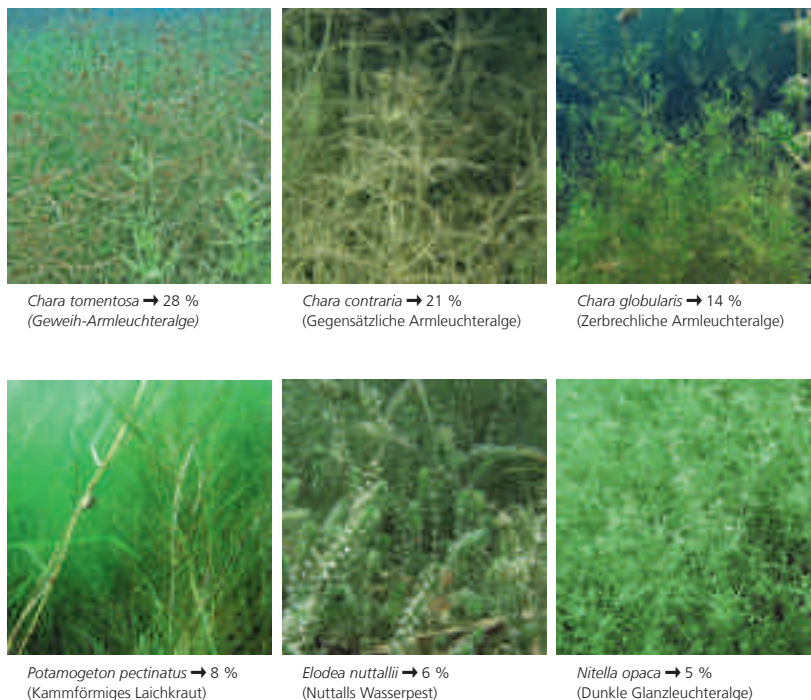


Fig. 1 Die sechs quantitativ wichtigsten Arten des Vierwaldstättersees und deren Häufigkeitsanteile. Vier dieser Arten gehören zur Gruppe der Characeen (Armeleuchteralgen)

Les six espèces les plus importantes quantitativement du lac des Quatre Cantons et leurs indices de fréquence. Quatre de ces espèces appartiennent au groupe des characées

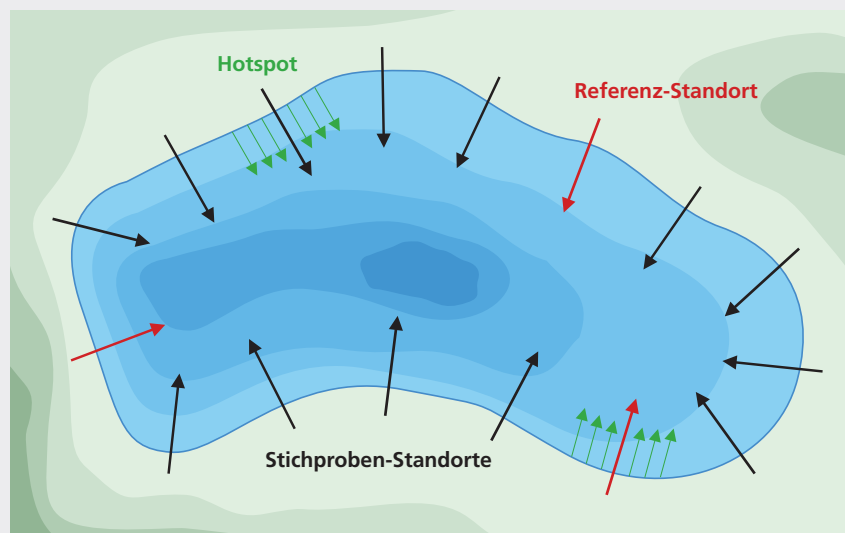


Fig. 2 Schematische Darstellung der verschiedenen Transekt-Kategorien. Einzeltransekte bei Stichproben und Referenz-Standorten, Transekt-Gruppen (Anzahl ≥ 10) zur flächendeckenden Erfassung von Hotspots. Am Vierwaldstättersee wurden für die Gesamtauswertung 119 Transekte verwendet, zu 12 Hotspot-Standorten erfolgte eine objektspezifische Auswertung

Représentation schématique des différentes catégories de transects. Transects individuels pour échantillons et lieux de références, groupes de transects (nombre ≥ 10) pour une analyse étendue de zones sensibles. Au lac des Quatre Cantons, 119 transects ont été utilisés pour l'évaluation générale, puis une évaluation spécifique de 12 zones sensibles a été effectuée

UNTERSUCHUNGSKONZEPT

Mit der Trennung von Datenerfassung und Bewertung entspricht «MESAV+» den Anforderungen, wie sie im Konzept zur Untersuchung und Beurteilung von stehenden Gewässern [1] festgehalten sind. Die Aufnahme erfolgt dabei nach realer Ausprägung der Erscheinungsformen. Informationsgehalt und Genauigkeit auf dem Tauchtransekt sind dadurch sehr hoch. Die Auflösung in der Fläche ist abhängig von der Anzahl Transekte pro Uferlänge. In die Auswertung lässt sich das Modell von Zielhierarchien und Wertfunktionen bis hin zu den Attributen gemäss BAFU-Konzept integrieren.

Als bestehende Bewertungssysteme sind der Makrophyten-Index (MI), der Referenz-Index (RI) sowie der Aspekt Makrophyten des Indice de Biodiversité des Etangs et Mares (IBEM) zu erwähnen. Alle drei Verfahren können mit den Aufnahmen gemäss Methode «MESAV+» durchgeführt werden.

TRANSEKT-KATEGORIEN

Eine Zustandserhebung auf Basis der Makrophyten für einen See nach «MESAV+» basiert auf drei Transekt-Kategorien (Fig. 2):

Stichproben-Standorte

Regelmässig über die Uferlinie verteilte Einzeltransekte, die für die Gesamtbeurteilung des Sees zusammen ausgewertet werden. Ihre Anzahl und Position ist abhängig von der Länge der Uferlinie, dem Vorkommen verschiedener Ufertypen sowie der zugrunde liegenden Fragestellung.

Referenz-Standorte (als Teilmenge der Stichprobentransekte)

Für den See typische Transekte oder bereits vorhandene historische Transekte, anhand welcher der ursprüngliche Zustand abgelesen und die Entwicklung verfolgt werden kann. Mit diesen Referenztransekten wird eine Weiterführung bestehender Datenreihen ermöglicht.

Hotspots

Ökologisch wertvolle (Ufer-)Bereiche, die mit einer detaillierten, flächendeckenden

Zustandserhebung erfasst werden. Um einer nicht repräsentativen Übergewichtung vorzubeugen, fliessen von den Hotspots nur vorgängig definierte Einzeltransekte (Stichproben-Standorte) in die Gesamtauswertung ein.

ANZAHL UND LAGE DER TRANSEKTE

Anzahl und Lage der Transekte sind entscheidend für den Detaillierungsgrad und die Repräsentativität der Untersuchungen. Sie werden nach folgendem Vorgehen festgelegt:

1. Länge Uferlinie

Für die Unterwasservegetation ist nicht die Seegrösse als Ganzes entscheidend, sondern die Ausdehnung der besiedelbaren Fläche und deren Abwicklung entlang des Ufers. Die erforderliche Zahl der Transekte für eine repräsentative Untersuchung sollte sich daher an der Länge der Uferlinie orientieren (und nicht an der Seefläche). Die Repräsentativität ist dann optimal, wenn die Transekte in regelmässigen Abständen über die Uferlinie verteilt werden. Damit werden die Ufer- bzw. die Wasserpflanzenverhältnisse statistisch proportional erfasst. Es ist nun eine Frage der gewünschten Auflösung und Aussagekraft, in welchem Abstand die Transekte gelegt werden. Für eine ausreichende Grobbeurteilung eines Gewässers wäre es angebracht, mindestens alle 500 m ein Stichproben-Transekt aufzunehmen. Auf eine «nicht zufällige» Verteilung der Transekte soll nach Möglichkeit verzichtet werden. Für Detailaufnahmen bzw. für eine hohe Auflösung (flächendeckende Erhebungen in Hotspots oder zur Beurteilung von Projekten) hat sich ein Transektabstand von 20–40 m bewährt.

2. Ufertypen

Die Anordnung eines regelmässigen Rasters kann zu Transektzahlen führen, die bei begrenzten Mitteln möglicherweise nicht realisiert werden können. Wenn von einer seeweit statistischen Verteilung abgewichen wird, sollen zumindest die Ufertypen und die Exposition des Seeufers (die «Seeseite») proportional vertreten sein. Es werden verschiedene Breitenkategorien der Uferbank bis 4 m Tiefe unterschieden (abgeleitet aus der in Entwicklung stehenden Methode des BAFU zur ökomorphologischen Untersuchung der Seeufer) und anhand des vorliegenden Seereliefs der Anteil dieser Kategorien bestimmt. Angenommen, es liegen für ein Gewässer 30% Flachufer und 70% Steilufer vor, so sollte sich dies auch in der Verteilung der Transekte widerspiegeln.

3. Strukturierung des Sees

Stark strukturierte Seen, insbesondere mit deutlich abgegrenzten Teilbecken wie beispielsweise der Vierwaldstättersee, erfordern eine spezielle Festlegung der Transekte. Die Teilbecken sollten dabei wie separate Seen behandelt und auch ausgewertet werden. Die Aufteilung der Transekte richtet sich erneut nach den Kriterien der möglichst hohen Repräsentativität.

Für den Vierwaldstättersee entstand für die seeweite Übersichtsauswertung ein Stichprobenraster aus 119 Transekten, die Anzahl und Lage der Transekte wurde von den Anrainerkantonen festgelegt [6]. Bei 16 dieser Transekte handelt es sich um Referenzstellen aus früheren Untersuchungen (1935 und 1982).

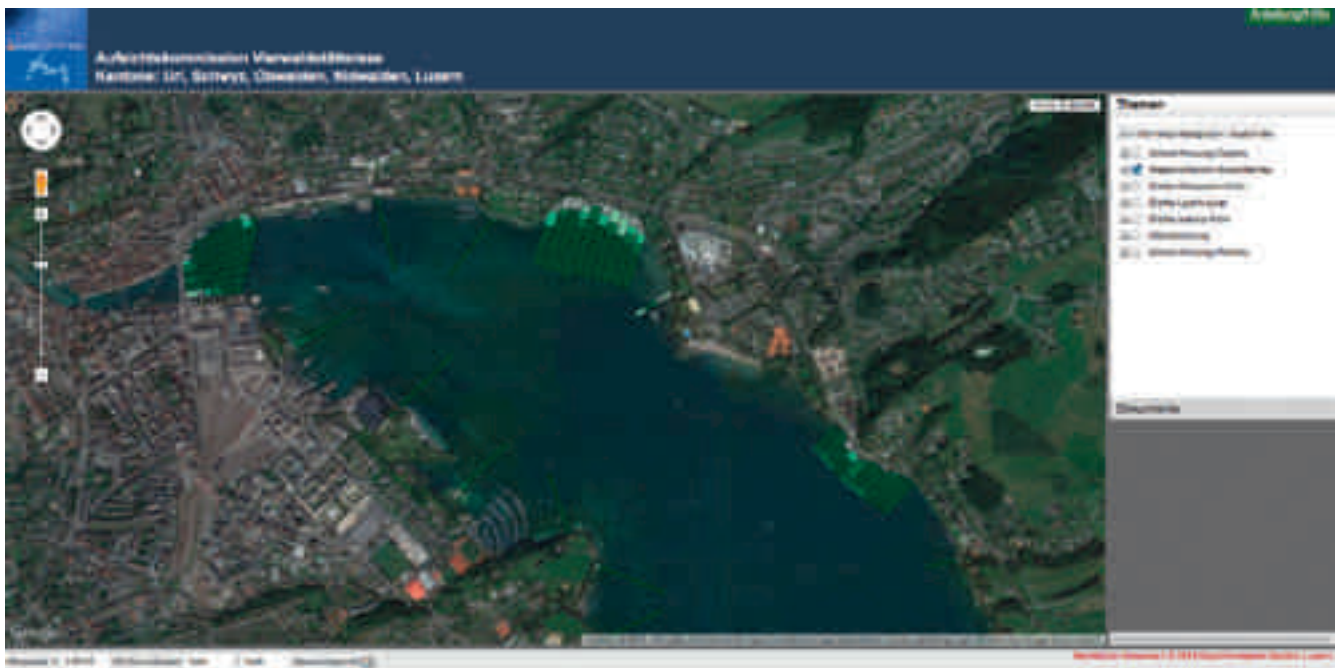


Fig. 3 Ausschnitt aus dem Untersuchungs raster des Vierwaldstättersees, Luzerner Becken mit den Stichprobenstandorten, dargestellt als Einzelstandorte, sowie den Hotspots «Trottlibucht» und «Seeausfluss». Aufgrund der geringen Wassertiefe in der Bucht wurden einzelne Transekte nach 300 m Uferdistanz abgebrochen. Alle Vegetationsdaten für den Vierwaldstättersee sind auf dem MapViewer der Aufsichtskommission Vierwaldstättersee AKV (www.geo.lu.ch/app/4wsee) abrufbar

Extrait de la grille d'analyse du lac des Quatre Cantons, du bassin de Lucerne avec les sites d'échantillonnage, représentés comme sites individuels, ainsi que les zones sensibles «Trottlibucht» et «effluent du lac». Toutes les données sur la végétation du lac peuvent être consultées grâce au visualisateur de cartes de la commission de surveillance du lac des Quatre Cantons (www.geo.lu.ch/app/4wsee)

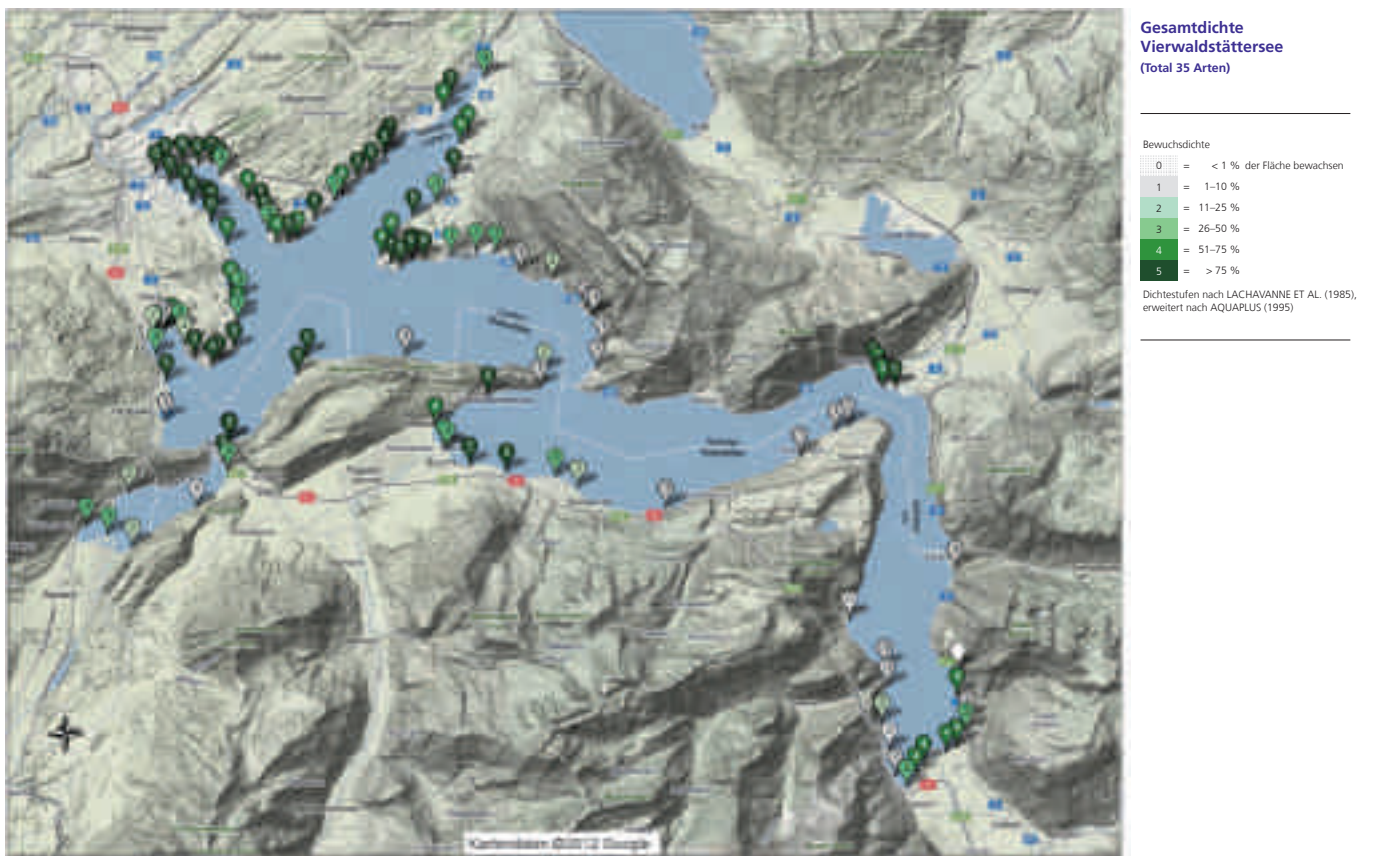


Fig. 4 Darstellung der Gesamtdichte der Unterwasservegetation (Zusammenfassung aller Arten) an den 119 Transekten am Vierwaldstättersee. Je dunkler die Farbe, desto grösser ist die Bewuchsdichte. In dieser Übersicht werden die Transekte auf einen «Punkt» reduziert. Diese Darstellung kann für jede einzelne Art erzeugt werden. Die Detailedarstellung in räumlicher Differenzierung ist beispielhaft in Figur 7 ersichtlich

Représentation de la densité globale de la végétation subaquatique (ensemble des espèces) sur les 119 transects du lac des Quatre Cantons. La couleur est plus sombre quand la densité de végétation est plus grande. Sur cette vue d'ensemble, les transects sont réduits à un «point». Il est possible de générer cette représentation pour chaque espèce. La représentation détaillée avec différenciation spatiale est visible sur la fig. 7, à titre d'exemple



Fig. 5 Links: Taucher bei der Arbeit. Die Boje befindet sich zu jeder Zeit senkrecht über dem Taucher. Sie markiert dessen Position und dient als Kommunikationsmittel zwischen Taucher und Untersuchungsleiter. Auf dem mitgeführten Cockpit befinden sich Aufnahmeprotokolle, Kompass und Tauchcomputer. Rechts: Vegetationssituation. Unterschiede in Artzusammensetzung und Wuchshöhe markieren eine Abschnittsgrenze

À gauche: plongeurs en plein travail. La balise se trouve en permanence à la verticale au-dessus du plongeur, indique sa position et sert de moyen de communication entre le plongeur et le responsable de l'étude. Le cockpit transporté contient le protocole d'analyse, le compas ainsi que l'ordinateur de plongée. À droite: situation de la végétation. Une composition en espèces et une hauteur de végétation différentes indiquent une limite de secteur

Zusätzlich erfolgte eine flächendeckende Aufnahme von 12 «Hotspots» mit jeweils mindestens 10 aufeinanderfolgenden Transekten im Abstand von 20 bzw. 40 m. Von jedem «Hotspot» wurde jeweils eines der Transekte in die Gesamtauswertung einbezogen (Fig. 3 und 4).

AUFNAHMEMETHODIK

ALLGEMEIN

Die Untersuchungen erfolgen mit Tauchgängen entlang einer vorgegebenen Linie, sogenannter Transekte. Die Lage und Richtung der Transekte werden vorgängig in einem geografischen Informationssystem (GIS) festgelegt. Auf dem Transekt (Beobachtungsbreite beidseitig ca. 2–3 m) werden Abschnittsgrenzen definiert, sobald einer der folgenden Vorgaben eintritt: Veränderung der Gesamtdichte, Veränderung der Zusammensetzung oder Häufigkeitsanteil der vorkommenden Arten, Veränderung der Untergrundbeschaffenheit oder deutliche Veränderung der Untergrundneigung. Die Abschnittsgrenzen werden per GPS eingemessen (Genauigkeit mit den aktuellen Geräten ≤ 1 m). Die Untersuchungsequipe besteht dabei aus einem Taucher, einem Untersuchungsleiter sowie einem Bootsführer im Begleitboot (Fig. 5).

Die Wasserpflanzenaufnahmen sind zum Zeitpunkt der grössten Biomasse auszuführen, in der Regel im Juli und August (frühestens ab Mitte Juni bis spätestens Mitte September [7, 8]). Dies deckt sich mit einem Zeitfenster, in dem sowohl früh verschwindende Arten als auch sich später entwickelte Arten vorhanden sind. Erhebungen im Winterhalbjahr sind nicht aussagekräftig, weil ein Grossteil der höheren Wasserpflanzen (bzw. deren oberirdischen Teile) im Herbst abstirbt und erst im nächsten Jahr wieder austreibt.

WASSERPFLANZEN

Die Erfassung der Unterwasservegetation geschieht entlang der Tauchtransekte ab Ufer bis zur unteren Bewuchsgrenze. In der Schweiz wird die maximale untere Besiedlungsgrenze bei etwa 20 m Tiefe angenommen [3]. Folgende Parameter werden erhoben: Wassertiefe, Gesamtbewuchsdichte, Artenzusammensetzung, Bestimmung des Anteils jeder Art an der Gesamtdichte, Pflanzenvitalität und Wuchshöhe (Fig. 6 und 7). Auch der aquatische Teil der Ufervegetation (z. B. Schilfvorkommen) wird aufgenommen. In der

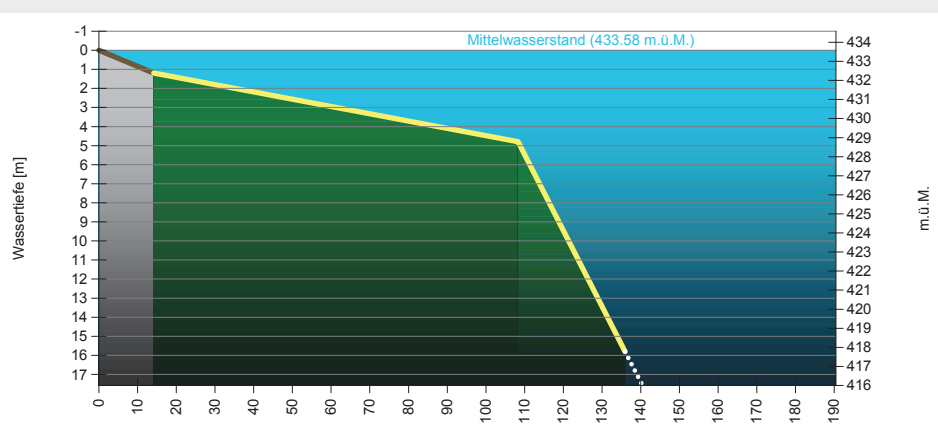


Fig. 6 Flächendeckende Wasserpflanzenaufnahme im Luzernerbecken des Vierwaldstättersees (Hotspot «Seeburg»). Darstellung der Gesamtdichte (Bewuchs aus allen vorkommenden Arten). Gleichzeitig mit der Vegetation erfolgt bei jedem Abschnitt auch die Erfassung der Wassertiefe. Daraus können das Höhenmodell des Untersuchungsperimeters sowie für jeden Transekt ein Tiefenprofil generiert werden. Unten: Transekt Nr. 5 als Beispiel: Es sind darauf die vorherrschenden Untergrundbeschaffenheit als Linie sowie die Gesamtdichte der auf dem betreffenden Abschnitt vorliegenden Bewuchsdichte als Fläche dargestellt

Analyse étendue des plantes aquatiques dans le bassin de Lucerne (zone sensible «Seeburg»). Représentation de la densité globale (végétation composée de toutes les espèces présentes). La profondeur de l'eau est mesurée en même temps que la végétation pour chaque secteur. Cela permet de générer le modèle de terrain du périmètre d'étude ainsi qu'un profil de profondeur pour chaque transect. Cela est illustré plus loin par le transect n° 5. La géologie prédominante du sous-sol est représentée par une ligne et la densité globale de la végétation présente dans le secteur concerné par une surface

späteren Auswertung kann präzise angegeben werden, wie sich die Verbreitung der Arten, u. a. Frequenz im Perimeter, präsentiert und wo gefährdete Arten (gemäss Roter Liste) vorkommen.

UNTERGRUNDBESCHAFFENHEIT/ GEWÄSSERMORPHOLOGIE/RELIEF

Die Daten der Sedimentbeschaffenheit werden im Rahmen der Wasserpflanzenaufnahme mit Verteilung auf sechs Korngrößenstufen erfasst (Blöcke, Steine, Grobkies, Feinkies, Sand, Schlamm). Die

vorherrschende Untergrundzusammensetzung kann in einem Übersichtsplan dargestellt werden. Die Untergrunddaten bilden zusammen mit jenen der Vegetation die massgebliche Grundlage für die Potenzialabschätzung der Fischhabitate. Das Gewässerrelief bis zur Vegetationsgrenze lässt sich anhand der bei den Tauchaufnahmen eingemessenen Wassertiefen modellieren. Mit den Tiefenangaben und den per GPS eingemessenen Abschnittsgrenzen können Profildarstellungen erzeugt und Höhenlinien generiert werden. Alter-

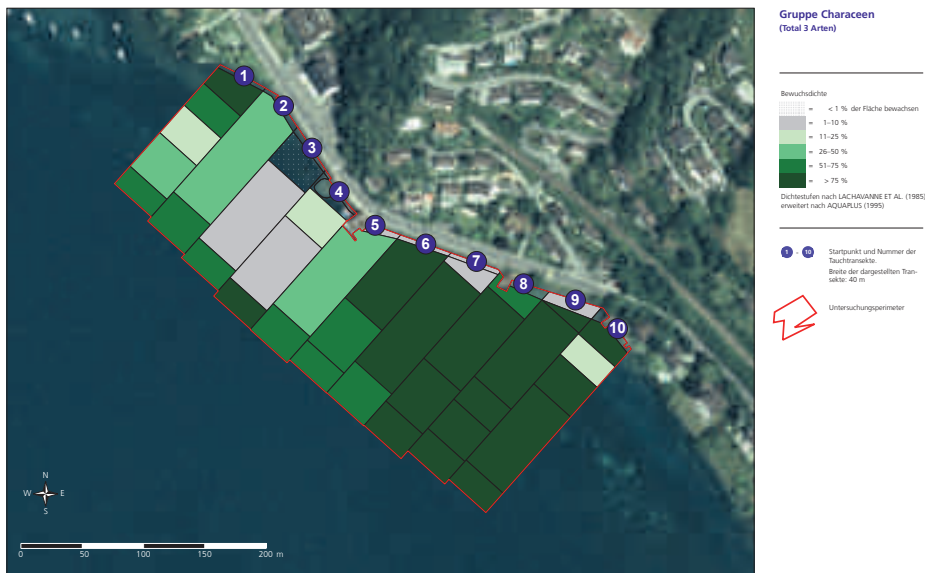


Fig. 7 Flächendeckende Wasserpflanzenerhebung im Luzernerbecken des Vierwaldstättersees (Hotspot «Seeburg»). Es wird die Bewuchsdichte der Armleuchteralgen (Characeen) dargestellt. Sie sind typisch für nährstoffarme Verhältnisse. In der linken Hälfte des Untersuchungsgebietes sind die Characeen stark ausgedünnt, dort kommen komplementär Arten auf, welche Nährstoffeinträge anzeigen. Mit Wasserpflanzen als Bioindikatoren lassen sich lokale Belastungen wie im dargestellten Uferabschnitt aufzeigen (im vorliegenden Fall liegt eine Mischwasserentlastung bei Transekt 3 vor)

Analyse étendue des plantes aquatiques dans le bassin de Lucerne (zone sensible «Seeburg»). La densité de végétation des characées est représentée. Elles sont le signe de conditions oligotrophes. Dans la partie gauche de la zone d'étude, les characées sont fortement réduites et d'autres espèces viennent s'ajouter, lesquelles indiquent des apports d'éléments nutritifs. Les plantes servant de bioindicateurs permettent de révéler les pollutions locales comme dans la représentation du secteur de la rive (dans le cas présent, le transect 3 révèle la présence d'un bassin d'orage)



Fig. 8 Flächendeckende Wasserpflanzenerhebung im Alpnachersee (Hotspot «Garnhäkni»). Darstellung der Untergrundbeschaffenheit in Form der vorherrschenden Korngrösse auf der Basis der quantitativen Verteilung der sechs Korngrössenklassen

Analyse étendue des plantes aquatiques dans l'Alpnachersee (zone sensible: «Garnhäkni»). Représentation de la géologie du sous-sol sous forme de granulométrie prédominante, sur la base de la répartition quantitative des 6 classes granulométriques

nativ steht eine ergänzende Vermessung des Seegrundes mittels GPS-gekoppelten Sonars zur Verfügung (Fig. 8).

FISCHE

Das Vorkommen von Fischen wird während der Wasserpflanzenaufnahme als Beobachtungsinformation erfasst (Häufigkeitsstufen, Fischarten, Altersklassen). Die Beobachtungen haben jedoch nur den Stellenwert einer Begleitinformation, da Störungen durch den Taucher sowie durch das Boot das Verhalten der Fische stark beeinflussen. Um dennoch die Eignung des Untersuchungsgebietes als Fischlebensraum abschätzen zu können, wird das Fischökologische Potenzial (FÖP) für Laich- und Jungfischhabitate basierend auf Untergrundbeschaffenheit, Wassertiefe und Makrophytenvorkommen modelliert (Eigenentwicklung AquaPlus) (Fig. 9).

WIRBELLOSE

Im Rahmen der Taucharbeiten zur Vegetationserhebung werden jeweils auch das Vorkommen von Grossmuscheln (*Anodonta*- und *Unio*-Arten), der Edelkrebse, das Auftreten diverser Neozoen, u. a. Wandermuschel (*Dreissena polymorpha*), Körbchenmuschel (*Corbicula fluminea*), Kamberkreb (*Orconectes limosus*) und Höckerflohkrebs (*Dikerogammarus villosus*), quantitativ in fünf Häufigkeitsstufen erfasst. Je nach vorliegender Fragestellung können zusätzlich weitere Gruppen oder Arten separat erfasst (z. B. Schnecken auf den Wasserpflanzen) oder separate Wirbellosenproben zur späteren Bestimmung entnommen werden (Fig. 10).

WEITERE PARAMETER

Zusammen mit den Tauchaufnahmen der Wasserpflanzen werden standardmässig zusätzliche Parameter erfasst (in Dichte- bzw. Häufigkeitsstufen): Vorkommen von Algen, Sedimentation, organische Ablagerungen (Totholz, Laub etc.), Abfall, Feststoffe aus der Siedlungsentwässerung, Ophrydien, Ankerschäden und ggf. weitere je nach Bedarf und Fragestellung (Fig. 11).

AUSWERTUNG

Für die Datenauswertung werden die tatsächlichen Verhältnisse im Feld in eine leicht vereinfachte, kartografische Darstellung überführt (Fig. 12). Alle Auswertungen und Darstellungen basieren auf diesem Flächenmuster, als Grundeinheit ist die Einzelfläche zu betrachten, dabei



Fig. 9 Darstellung der Eignung der Wasserpflanzenbestände als Jungfischhabitate. Berücksichtigt werden dabei die Bewuchsdichte, die Wuchshöhe, die Wuchsform sowie das saisonale Auftreten der vorkommenden Arten. In einer Verrechnung dieser Faktoren wird ein Eignungsindex generiert. Im gleichen Sinne können auch die Laichhabitate für verschiedene Substratpräferenzen (Sand/Kies/Kraut) modelliert werden.

Représentation de l'aptitude des plantes aquatiques à servir de frayères. Sont prises en compte la densité et la hauteur de la végétation, sa forme, ainsi que l'apparition saisonnière des espèces observées. La prise en compte de ces facteurs permet de générer un indice d'aptitude. De la même manière, les frayères peuvent aussi être modélisés pour les différentes préférences en terme de substrats (sable/gravier/herbe)

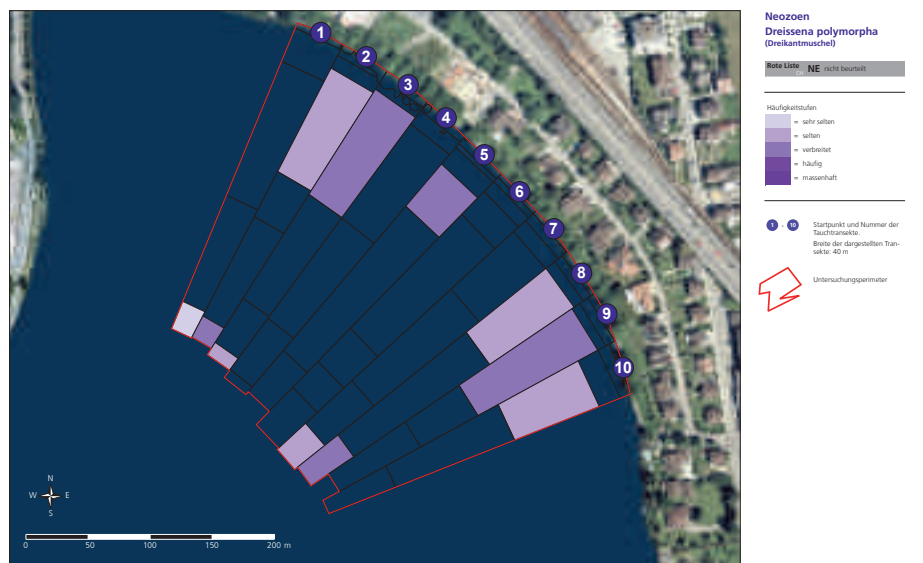


Fig. 10 Darstellung der Vorkommenshäufigkeit der eingeschleppten Dreikantmuschel (*Dreissena polymorpha*). Es ist dies ein Beispiel von einer ganzen Reihe von Zusatzparametern, die standardmässig auf dem gleichen Tauchgang zur Erfassung der Vegetationsdaten aufgenommen werden

Représentation de la fréquence de la moule zébrée importée (*Dreissena polymorpha*). Ceci est un exemple parmi toute une série de paramètres supplémentaires, qui sont habituellement utilisés au cours d'une même plongée pour recueillir des données sur la végétation

gehen die Flächengrösse, die Gesamtdichte und die Anteile jeder Art an der Gesamtdichte in die quantitative Verarbeitung ein. Dies geschieht für jede Teilfläche auf einem Transekt und kann für ganze Transekte oder eine beliebige Auswahl von Einzelflächen oder Gruppen von Transekten bis hin zu einem ganzen Gewässer verrechnet werden. Die Visualisierung einer «flächendeckenden» Erhebung

erfolgt bis zu einem Transektabstand von 40 m, bei grösseren Abständen werden die Zwischenräume nicht mehr extrapoliert, sondern auf Einzelabbildung der Transekte gewechselt. Um einen schnellen Überblick über einen ganzen See zu ermöglichen, erfolgt die «Reduktion» eines ganzen Transektes zu einem Punkt (s. Fig. 4). Die georeferenzierte flächige «Abbildung» des Transektstreifens mit ei-

ner Standardbreite von 20–40 m und den Abschnittsgrenzen wird zuerst in einem GIS erstellt und anschliessend zusammen mit den erfassten Parametern in die Datenbank übernommen. Alle quantitativen Auswertungen und Plandarstellungen können nun direkt aus der Datenbank generiert werden. Die quantitativen Auswertungen umfassen unter anderem (Tab. 1 und 2):



Fig. 11 Darstellung der Vorkommenshäufigkeit von fadenförmigen Grünalgen. Sie markieren in der Regel Bereiche mit erhöhten Nährstoffeinträgen.

Zusammen mit den Wasserpflanzen als Bioindikatoren können verlässlich unerwünschte Belastungen z. B. durch Einleitungen erkannt werden

La fréquence des algues vertes filiformes. Elles indiquent généralement des zones riches en apports d'éléments nutritifs. Les plantes aquatiques servant de bioindicateurs peuvent permettre d'identifier de manière fiable les pollutions indésirables, comme p. ex. celles dues à des déversements

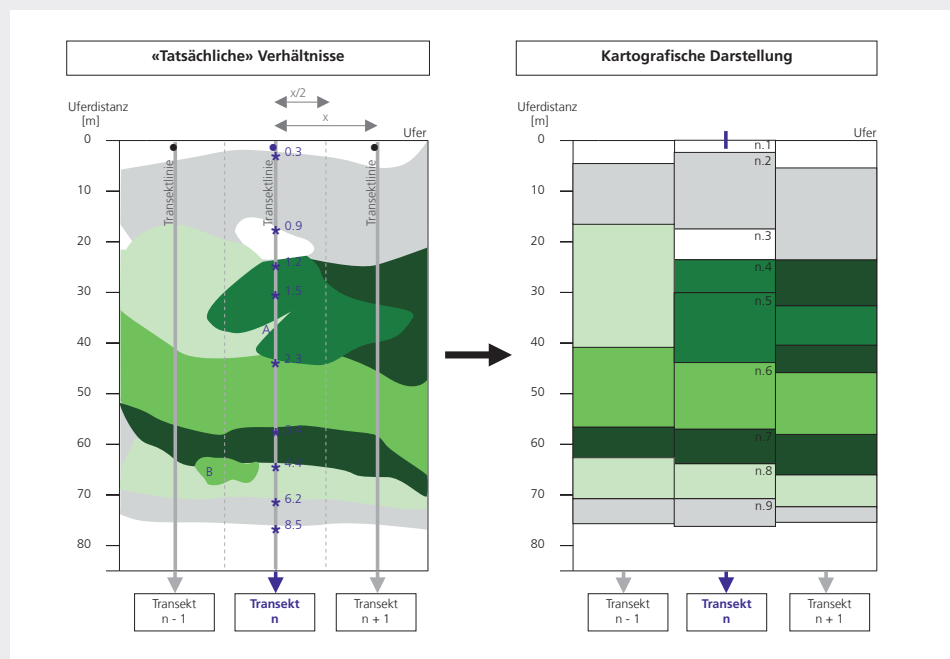


Fig. 12 Schematische Darstellung der «tatsächlichen Verhältnisse» und der daraus resultierenden kartografischen Darstellung. Die Verhältnisse zwischen den Transekten werden durch Extrapolation «modelliert». Es ist daraus leicht ersichtlich, dass die Annäherung an reale Gegebenheiten umso besser ist, je kleiner der Transektabstand gewählt wird

Représentation schématique des «conditions réelles» et représentation cartographique en résultant. Les rapports entre les transects sont «modélisés» par extrapolation. On peut constater que l'appréhension de la situation réelle est d'autant meilleure que l'écart de transects choisi est plus petit

- Gesamtdichte der Vegetation sowie Einzeldichte aller Arten oder Artengruppen (Characeen, Laichkräuter, Rote-Liste-Arten) auf allen Transektflächen
- Dichte und Abundanzanteil für jede Art pro Transekt, pro Uferabschnitt (mehrere Transekte), pro ausgewählte

Flächengruppe oder im ganzen Untersuchungsperimeter

- prozentuale Anteile der Bewuchsdichtestufen im jeweiligen Projektperimeter
- räumliche und sektorielle Frequenz der vorkommenden Arten (Verteilung der

Arten auf die besiedelte Fläche oder auf die Transekte bezogen)








- Verteilung der Untergrundbeschaffenheit, der Vorkommen von Neozoen, von Grossmuscheln, Algenbewuchs etc.

Kombinierte Wasserpflanzen- und See-grundaufnahmen beinhalten einen sehr hohen Informationsgehalt. Mit den vorhandenen Grundlagen kann ein breites Spektrum an Fragestellungen angegangen werden, unter anderem:

- IST-Zustand: Arten, Dichte und Struktur der Wasserpflanzen, Substratzusammensetzung, Algen, Neobiota, Grossmuscheln, Krebse etc. Dabei gewinnen immer mehr auch Aspekte der Biodiversität und des Gefährdungsgrades (Rote Liste) an Bedeutung.
- Grundlagenbeschaffung für die Massnahmen- und die Revitalisierungsplanung
- Feststellen und Beurteilen von Beeinträchtigungen, z.B. Einleitungen von Abwasser, Regenentlastungen, Brauchwasserrückgaben (Wärme-/Kältenutzung)
- Abschätzen des Ausmasses von Beeinträchtigungen durch Bauten im See (z. B. Stege, Hafenanlagen etc.)
- Potenzialabschätzung für Fischhabitate (Laich- und Jungfischhabitate; Habitate für Adultfische sind in Vorbereitung)
- Verfolgen von Langzeitentwicklungen (Monitoring) und Veränderungen infolge von Nutzung, Nährstoffkonzentrationen, Aufwertungen etc.

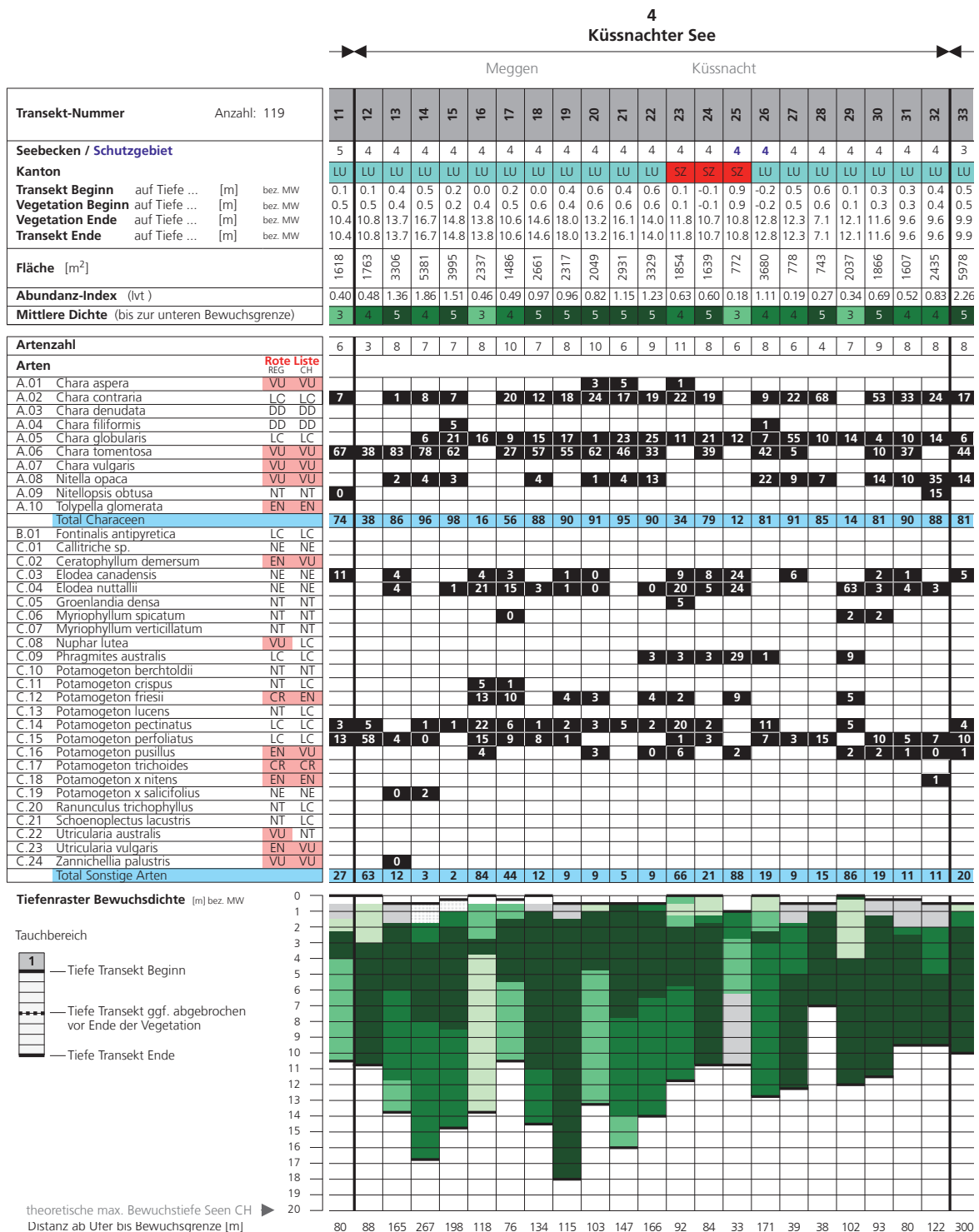
Darstellung ZUS-1: Artenliste der Wasserpflanzen im Vierwaldstättersee mit Angabe der Häufigkeit (Abundanzanteil) und der Frequenz (Auftrittshäufigkeit in den Transekten und der Fläche) sowie der mittleren Dichte. Daten von 119 Tauchprofilen (Transekten) aus dem Zeitraum 2007–2011.

Lesbeispiel: Die Art *Chara tomentosa* (Geweih-Armleuchteralge) hat einen Anteil an der Pflanzenmenge (Abundanz) von 27.6 % und ist damit die häufigste Art im Vierwaldstättersee. Sie kommt in 45 % aller 119 Transekten vor und auf 52 % der Fläche dieser Transekten (Frequenz). Auf die gesamte bewachsene Fläche bezogen hätte sie eine mittlere Dichte von 11–25 %. Sie weist gemäss der aktuellen Roten Liste einen Gefährdungsgrad «VU» (= verletzlich) auf, sowohl regional, als auch auf die ganze Schweiz bezogen. Sie gehört zu den oligotraphenten Arten (bevorzugt nährstoffarme Verhältnisse).

		«Rote Liste» REGION	«Rote Liste» CH	Abundanzanteil [%] und Nährstoffindikation	Frequenz Transekte [%]	Frequenz Fläche [%]	mittlere Dichte der Art im Untersuchungsperimeter
Lesebeispiel: Die Art <i>Chara tomentosa</i> (Geweih-Armleuchteralge) hat einen Anteil an der Pflanzenmenge (Abundanz) von 27.6 % und ist damit die häufigste Art im Vierwaldstättersee. Sie kommt in 45 % aller 119 Transekte vor und auf 52 % der Fläche dieser Transekte (Frequenz). Auf die gesamte bewachsene Fläche bezogen hätte sie eine mittlere Dichte von 11–25 %. Sie weist gemäss der aktuellen Roten Liste einen Gefährdungsgrad «VU» (= verletzlich) auf, sowohl regional, als auch auf die ganze Schweiz bezogen. Sie gehört zu den oligotraphenten Arten (bevorzugt nährstoffarme Verhältnisse).							
ARMLEUCHTERALGEN (Characeen)							
Rauhe Armleuchteralge	A.01 <i>Chara aspera</i> Willd.	VU	VU	0.6	13	5	< 1 %
Gegensätzliche Armleuchteralge	A.02 <i>Chara contraria</i> A. Braun ex Kützing	LC	LC	20.9	82	61	11–25 %
Nackte Armleuchteralge	A.03 <i>Chara denudata</i> A. Braun	DD	DD	0.1	1	0	< 1 %
Faden-Armleuchteralge	A.04 <i>Chara filiformis</i> Hertsch	DD	DD	0.6	8	6	< 1 %
Zerbrechliche Armleuchteralge	A.05 <i>Chara globularis</i> Thuillier (1)	LC	LC	14.0	79	68	11–25 %
Geweih-Armleuchteralge	A.06 <i>Chara tomentosa</i> L.	VU	VU	27.6	45	52	11–25 %
Gemeine Armleuchteralge	A.07 <i>Chara vulgaris</i> L.	VU	VU	0.4	3	1	< 1 %
Dunkle Glanzleuchteralge	A.08 <i>Nitella opaca</i> (Bruzellius) Ag.	VU	VU	7.3	37	15	1–10 %
Stern-Armleuchteralge	A.09 <i>Nitellopsis obtusa</i> (Desv. in Loi.) J. Groves	NT	NT	0.8	8	5	< 1 %
Knäuel-Armleuchteralge	A.10 <i>Tolypella glomerata</i> (Desv. in Loi.) J. Groves	EN	EN	0.3	8	4	< 1 %
				Σ 72.5	Ø 51–75 %		
MOOSE (Bryophyta)							
Fieberquellmoos	B.01 <i>Fontinalis antipyretica</i> Hedw.	LC	LC	0.0	9	1	< 1 %
				Σ 0	Ø < 1 %		
SAMENPFLANZEN (Spermatophyta)							
Wasserstern	C.01 <i>Callitriche</i> sp.	NE	NE	0.0	1	0	< 1 %
Rauhes Hornblatt	C.02 <i>Ceratophyllum demersum</i> L.	EN	VU	0.3	3	2	< 1 %
Kanadische Wasserpest	C.03 <i>Elodea canadensis</i> Michx. **	NE	NE	2.4	61	26	1–10 %
Nuttalls Wasserpest	C.04 <i>Elodea nuttallii</i> (Planchon) St. John **	NE	NE	5.8	76	46	1–10 %
Dichtes Laichkraut	C.05 <i>Groenlandia densa</i> (L.) Fourr.	NT	NT	0.4	8	4	< 1 %
Ähriges Tausendblatt	C.06 <i>Myriophyllum spicatum</i> L.	NT	NT	0.7	20	11	< 1 %
Quirliges Tausendblatt	C.07 <i>Myriophyllum verticillatum</i> L.	NT	NT	0.1	3	2	< 1 %
Gelbe Teichrose	C.08 <i>Nuphar lutea</i> (L.) Sm.	VU	LC	0.0	2	0	< 1 %
Schilf ^H	C.09 <i>Phragmites australis</i> (Cav.) Steud.	LC	LC	0.9	15	2	< 1 %
Zwerg-Laichkraut	C.10 <i>Potamogeton bertholdii</i> Fieber	NT	NT	0.0	4	2	< 1 %
Krauses Laichkraut	C.11 <i>Potamogeton crispus</i> L.	NT	LC	0.2	6	3	< 1 %
Fries' Laichkraut	C.12 <i>Potamogeton friesii</i> Rupr. (2)	CR	EN	2.0	37	22	1–10 %
Glänzendes Laichkraut	C.13 <i>Potamogeton lucens</i> L.	NT	LC	0.3	3	3	< 1 %
Kammförmiges Laichkraut	C.14 <i>Potamogeton pectinatus</i> L.	LC	LC	8.0	56	41	1–10 %
Durchwachsenes Laichkraut	C.15 <i>Potamogeton perfoliatus</i> L.	LC	LC	3.5	61	32	1–10 %
Kleines Laichkraut	C.16 <i>Potamogeton pusillus</i> L. (3)	EN	VU	2.1	55	24	1–10 %
Haarblättriges Laichkraut	C.17 <i>Potamogeton trichoides</i> Cham. & Schltdl.	CR	CR	0.0	+	+	+
Schimmerndes Laichkraut	C.18 <i>Potamogeton x nitens</i> Weber	EN	EN	0.2	9	3	< 1 %
Weidenblättriges Laichkraut	C.19 <i>Potamogeton x salicifolius</i> Wolfg. (4)	NE	NE	0.1	2	0	< 1 %
Haarblättriger Hahnenfuss	C.20 <i>Ranunculus trichophyllus</i> Chaix	NT	LC	0.1	3	1	< 1 %
Teichbinse ^H	C.21 <i>Schoenoplectus lacustris</i> (L.) Palla	NT	LC	0.0	3	0	< 1 %
Südlicher Wasserschlach	C.22 <i>Utricularia australis</i> R. Br.	VU	NT	0.2	3	2	< 1 %
Gewöhnlicher Wasserschlach	C.23 <i>Utricularia vulgaris</i> L.	EN	VU	0.0	+	+	+
Teichfaden	C.24 <i>Zannichellia palustris</i> L.	VU	VU	0.2	9	1	< 1 %
				Σ 27.5	Ø 11–25 %		
Gefährdungskategorien gem. «Rote Liste» der Farn- und Blütenpflanzen (BAFU 2002) sowie der Characeen (BAFU 2010): LC = nicht gefährdet, NT = potenziell gefährdet, VU = verletzlich, EN = stark gefährdet, CR = vom Aussterben bedroht, NE = nicht bewertet, DD = ungenügende Datengrundlage.							
+ = Zusatz-Art, kommt im See bzw. in einem Seebecken vor, aber nicht in den berücksichtigten Transekten, sondern nur in den «Hotspots».							
Bevorzugte Nährstoffverhältnisse							
	oligotraphente Art		meso-eutraphente Art		euryöke Art, aber mit Tendenz zu ...		
	oligo-mesotraphente Art		eutraphente Art				
	mesotraphente Art		keine Einstufung (fehlende Angaben oder H: Helophyt = Sumpfpflanze)				

Tab. 1 Zusammenstellung der im VWS vorkommenden Arten und eine Reihe von Detailinformationen. Im Zentrum steht der quantitative Anteil jeder Art an der Gesamtvegetation. Die häufigste Art ist beispielsweise *Chara tomentosa* mit 27,6. Diese Darstellung kann für jeden beliebigen Uferabschnitt gemacht werden und ergibt eine differenzierte Charakterisierung der Vegetationsverhältnisse. Die farbliche Markierung spiegelt die Nährstoffpräferenz wider. So haben die Armleuchteralgen (Characeen), die typisch für nährstoffarme Verhältnisse sind, im Vierwaldstättersee einen Anteil von über 70%. In der letzten grossen Erhebung aus dem Jahr 1982 kamen sie nur auf einen Anteil von 8%. Diese Entwicklung zeichnet auf eindrückliche Weise die Nährstoffkurve des VWS nach und ist ein gutes Beispiel für die Bedeutung der Wasserpflanzen als Bioindikatoren

Synthèse des espèces présentes dans le lac des Quatre Cantons et une série d'informations détaillées. Au centre se trouve la part quantitative de chaque espèce dans la végétation globale. L'espèce la plus répandue est par exemple la *chara tomentosa* avec 27,6. Cette représentation peut être réalisée pour n'importe quel secteur de rive et reproduit une caractérisation différenciée de la situation de la végétation. Les couleurs indiquent la préférence en terme d'éléments nutritifs. Les characées, signe de conditions oligotrophes, représentent une proportion de 70% du lac des Quatre Cantons. Lors de la dernière étude d'envergure de 1982, leur proportion était seulement de 8%. Cette évolution permet de suivre clairement la courbe des éléments nutritifs du lac des Quatre Cantons et constitue un bon exemple de l'importance des plantes aquatiques comme bioindicateurs



Tab. 2 Ausschnitt aus der Darstellung der 119 Tauchtransekte in Form einer «Abwicklung» rund um den ganzen See. Für jeden Standort sind die wichtigsten Parameter sofort ersichtlich, u.a. die Gesamtdichte, die vorkommenden Arten und ihr jeweiliger Anteil an der Vegetation sowie die Tiefenverteilung der Vegetationsdichte. Im vorliegenden Beispiel ist die Gesamtdichte dargestellt, es ist auch möglich, dies für jede einzelne Art zu generieren. In der quantitativen Auswertung ergeben sich dadurch die artspezifischen Tiefenpräferenzen für das betreffende Gewässer. Trotz der grossen Fülle an Detailinformationen lassen sich durch die Darstellung optisch intuitiv gewisse Muster erkennen. Diese ermöglichen eine rasche Interpretation der Situation

Extrait de la représentation des 119 transects de plongée sous la forme d'un «déroulement» tout autour du lac. Les paramètres les plus importants de chaque site sont visibles immédiatement, notamment la densité globale, les espèces présentes et leur proportion dans la végétation, ainsi que la répartition, en fonction de la profondeur, de la densité de végétation. Dans cet exemple, la densité globale est représentée, il est également possible de générer celle de chaque espèce. L'évaluation quantitative permet de rendre ainsi les préférences des espèces en matière de profondeur pour les eaux concernées. La représentation permet, malgré le foisonnement d'informations détaillées, de reconnaître intuitivement certains modèles. Ces derniers permettent d'interpréter rapidement la situation

EIN GANZER SEE IN EINER EINZIGEN TABELLE ...

Tabelle 2 zeigt alle 21 Transekte, die im VWS in der Küssnachterbucht aufgenommen wurden (gesamthaft wären es rund um den See 119 Transekte). Jede Spalte entspricht einem Tauchprofil. Betrachtet man als Beispiel den Transekt Nr. 19 und bewegt sich sukzessive in der betreffenden Spalte von oben nach unten. Nach Bezeichnung des Seebeckens und Kantonszugehörigkeit folgen vier Tiefenangaben, die letzte zeigt, bis in welche Tiefe Wasserpflanzen vorkommen (bis 18 m). Anschliessend wird die mittlere Bewuchsdichte mit einer Grünfärbung angezeigt, es ist die Dichtestufe 5, d.h. es sind entlang des ganzen Profils 75-100% der Fläche bewachsen. Es folgt die Angabe der Anzahl Arten, die hier gefun-

den wurden (es sind 8). Der ganze nächste Block von Zellen zeigt, welche Arten vorkommen und welchen Anteil sie an der Pflanzmenge haben. Daraus ist sofort ihre quantitative Bedeutung ablesbar. Erwähnt sei die wichtigste Art – *Chara tomentosa* – mit 55% Häufigkeitsanteil. Die beiden blauen Zeilen zeigen die Bedeutung der grossen Artgruppen an: Armleuchteralgen (*Characeen*) haben im Transekt 19 einen Anteil von 90%, die übrigen Arten von 10%. Am Schluss folgt der Block mit Darstellung der Bewuchsdichte im Tiefenverlauf. Ab etwa 1,5 m Tiefe ist die Vegetation bis zur unteren Verbreitungsgrenze bei 18 m durchgehend sehr dicht (Stufe 5). Der Uferabstand bis zu dieser Stelle beträgt 115 m.

– Qualitative und quantitative Vergleiche mit früheren Aufnahmen, auch wenn sie mit anderer Methodik aufgenommen wurden. Die Datenbank ist so vorbereitet, dass die verfügbaren Angaben wie eine «heutige Erhebung» eingegeben und ausgewertet werden können. Vorbehalten bleiben jedoch die Verlässlichkeit der historischen Untersuchungen und die Unsicherheiten der verwendeten Methoden. Fehlende oder unzureichende Daten sind nicht kompensierbar.

Für eine ganze Reihe von aktuellen Frage- und Problemstellungen liefert die Vegetationserhebung mit der vorgestellten Transektmethode «MESAV+» eine verlässliche, differenzierte und reproduzierbare Datenbasis. Sie ist wie beschrieben kompatibel mit dem mittlerweile auch in der EU verbindlich geforderten Standard zur Erfassung der Qualitätskomponente «Makrophyten und Phytobenthos». Für viele Schweizer Gewässer besteht ein grosser Nachholbedarf bezüglich Kenntnissen zum aktuellen Zustand der Unterwasservegetation. Oft liegen nur Daten aus einem Zeitraum vor, wo die Nährstoffkonzentrationen aufgrund der zunehmenden Gewässerbelastung aus ungeklärten Abwässern und Phosphaten in Waschmitteln noch auf einem hohen Niveau lagen. Seit den 1980er-Jahren haben die Nährstoffgehalte jedoch wieder abgenommen, was erhebliche Veränderungen in der Unterwasservegetation auslöste, wie in eindrücklicher Weise auch das Beispiel Vierwaldstättersee zeigt. Die Vegetation zeigt heute ein komplett anderes Bild (Artzusammensetzung, Arthäufigkeiten) und auch die Tiefenverbreitung hat deutlich zugenommen. Aussagen auf der Basis von früheren Daten haben keinerlei Relevanz mehr, es fehlt an der Möglichkeit für Ersteinschätzungen oder Prognosen über die

Auswirkungen von Vorhaben, Einleitungen oder auch Revitalisierungen. Auch der Stand hinsichtlich Naturnähe (Referenz-Status), Biodiversität oder Gefährdungsgrad (Rote Liste) ist völlig offen. Mit der Gesamtaufnahme des Vierwaldstättersee nach Methode «MESAV+» liegt nun ein «Instrument» vor, das sich bereits für diverse Fragestellungen bewährt hat und auch eine nachhaltige Bezugsgrundlage für künftige Erhebungen darstellt.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Schlosser, J.A. et al. (2013): Konzept für die Untersuchung und Beurteilung der Seen in der Schweiz. Anleitung zur Entwicklung und Anwendung von Beurteilungsmethoden. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1326: 38 S.
- [2] Gamma, H. (1935): Die makrophytische Uferflora des Vierwaldstättersees und ihre Veränderung in den letzten 20 Jahren. Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Luzern. 12: 91–182
- [3] Lachavanne, J.-B. (1985): Zustand, Schutz und Erhaltung der Ufer des Vierwaldstättersees. Bundesamt für Forstwesen und Landschaftsschutz. Bern. 109 S.
- [4] Europäische Union (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Massnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik
- [5] Schaumburg, J. et al. (2011): Verfahrensanleitung für die ökologische Bewertung von Seen zur Umsetzung der EG-Wasser Rahmenrichtlinie: Makrophyten und Phytobenthos. Bayrisches Landesamt für Umwelt. 124 S.
- [6] AquaPlus AG (2012): Wasserpflanzen Vierwaldstättersee. Untersuchungen 2007–2011. Im Auftrag der Aufsichtskommission Vierwaldstättersee (AKV), Kantone UR, SZ, NW, OW, LU. Bericht. 95 S., zusätzlich Plandarstellungen, Abbildungs- und Tabellendossier sowie Datenanhang
- [7] Maurer, V., Vuille, T. (1986): Untersuchungen zur Primärproduktion im Litoral des Bielersees – Diplomarbeit Universität Bern
- [8] Lehmann, A. (1994): Contribution of GIS to submerged macrophyte biomass estimation and community structure modeling, Lake Geneva, Switzerland. Aquat. Bot. 47: 99–117

> SUITE DE RÉSUMÉ

nature du sous-sol ou de son inclinaison, des limites de secteur sont tracées et les profondeurs de l'eau sont également enregistrées. L'évaluation basée sur le SIG et s'appuyant sur une base de données permet de réaliser des analyses quantitatives et qualitatives détaillées de la végétation pour toute configuration de transect ou de surface. Il est aussi possible de calculer des comparaisons de structures avec des mesures de similitude ou les indices macrophytes et de référence et de modéliser le relief avec des courbes de niveau ainsi que le potentiel ichtyoécologique. L'étude de la végétation à l'aide de la méthode du transect fournit une base de données standardisée, différenciée et reproductible pour toute une série de problématiques, par exemple l'évaluation des répercussions de déversements, l'étude de référence et la surveillance de projets sur les berges et dans l'eau, y compris la revitalisation des rives, des comparaisons entre les différentes zones d'un milieu aquatique ou entre plusieurs milieux (le tout dans un ordre chronologique) et – ce qui devient de plus en plus important – les aspects de la biodiversité et du niveau de risque (liste rouge), etc. En outre, les résultats peuvent être rendus compatibles avec le facteur qualitatif «macrophytes et phytobenthos» de la directive cadre sur l'eau de l'UE (DCE), au moyen d'une méthode de «post processing». De nombreux milieux aquatiques suisses souffrent d'un retard important à combler en matière de connaissances sur l'état actuel de la végétation subaquatique. La méthode du transect permet d'étudier un milieu aquatique de manière représentative, conformément aux exigences actuelles.