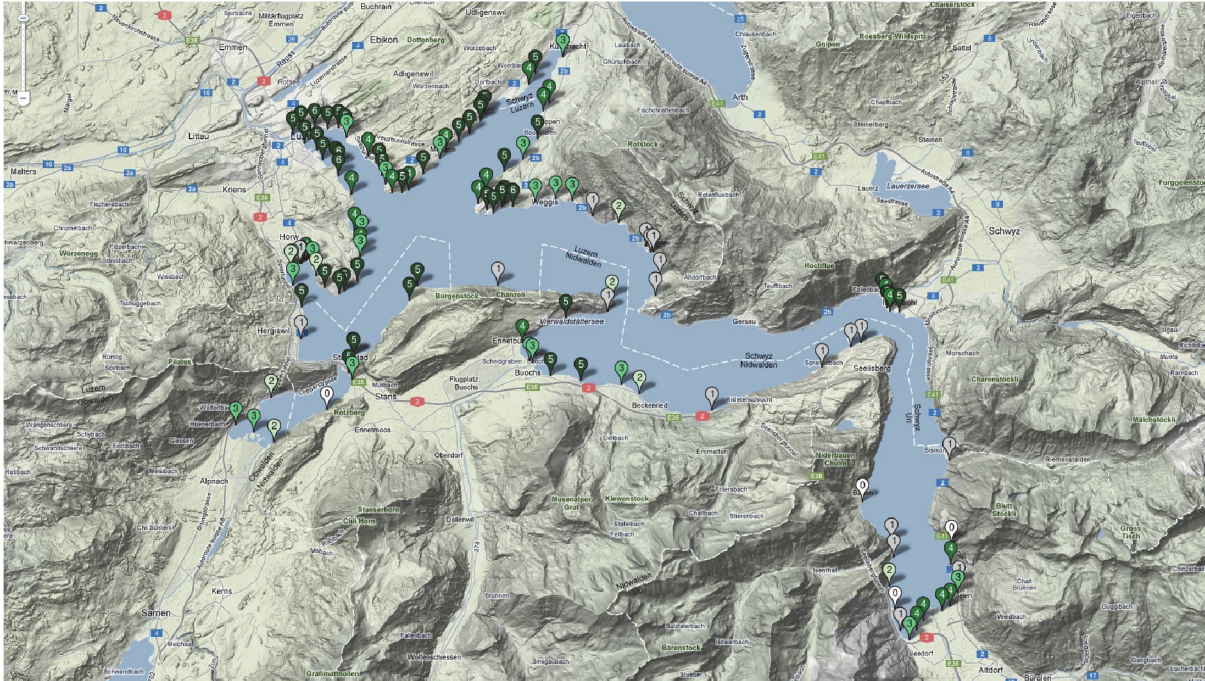


KANTONE
URI, SCHWYZ, OBWALDEN
NIDWALDEN, LUZERN



AUFSICHTSKOMMISSION
VIERWALDSTÄTTERSEE



Erhebung Wasserpflanzen Vierwaldstättersee

Untersuchungen 2007–2011

Bericht

Dokument Nr. 960-B-01
Datum 30.12.2012



Bundesstrasse 6 · CH-6300 Zug
Fon +41 41 729 30 00 · Fax +41 41 729 30 01
admin@aquaplus.ch · www.aquaplus.ch

Impressum

Auftraggeber: Aufsichtskommission Vierwaldstättersee (AKV) · c/o Amt für Umwelt Nidwalden · Engelbergstrasse 34 · CH-6371 Stans

Auftragnehmer: AquaPlus Elber Hürlimann Niederberger
Bundesstrasse 6 · CH-6300 Zug

Projektleitung: Klemens Niederberger

Mitarbeiter: Arno Schwarzer · Tino Stäheli · Flurina Burkhardt

Zitiervorschlag: AQUAPLUS 2012: Wasserpflanzen Vierwaldstättersee. Untersuchungen 2007–2011. Im Auftrag der Aufsichtskommission Vierwaldstättersee (AKV), Kantone UR, SZ, NW, OW, LU. Bericht 95 S., Auswertungsdossier, Plandarstellungen und Anhang.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
. Zusammenfassung	1
1 Einleitung	7
2 Methodik	9
3 Ergebnisse	11
3.1 Charakterisierung der Wasserpflanzenverhältnisse im See	12
Nährstoffsituation	12
Geeignete Wuchsorte (Flachuferzonen)	12
Lichteindringtiefe	13
Artenzusammensetzung und -verbreitung	13
Vegetationsstruktur und Ähnlichkeitsmass	15
Vergleich mit anderen Seen	15
Darstellung der quantitativ wichtigsten Arten	16
<i>Chara contraria</i>	17
<i>Chara globularis</i>	21
<i>Chara tomentosa</i>	20
<i>Nitella opaca</i>	21
<i>Nitellopsis obtusa</i>	23
<i>Elodea nuttallii</i>	24
<i>Potamogeton pectinatus</i>	26
<i>Potamogeton pusillus</i>	27
Seltene, gefährdete und geschützte Arten	28
3.2 Vegetationsverhältnisse in den einzelnen Seebecken	30
3.2.1 Urner See	32
3.2.2 Gersauer Becken	36
3.2.3 Weggis-Vitznauer Becken	40
3.2.4 Küssnachter See	43
3.2.5 Luzerner See	47
3.2.6 Horw-Hergiswiler See	50
3.2.7 Alpnacher See	53
3.3 Charakterisierung der Aufwuchsbedingungen	57
3.4 Vergleiche mit früheren Untersuchungen	62
3.4.1 Vergleich ganzer See und Seebecken 1982 - 2007ff	62
3.4.2 Vergleich ausgewählte Beispielgebiete	66

	Seite
3.4.3 Vergleich Referenzprofile	74
3.4.4 Vergleich Neophyten	80
3.5 Weitere Auswertungen	81
Fischökologisches Potenzial	81
Referenzindex	81
Abschätzung kurzfristiger lokaler Schwankungen	82
Auswirkungen der Klimaerwärmung auf die Wasserpflanzen	83
4 Schlussfolgerungen und Empfehlungen	84
5 Literatur	88

AUSWERTUNGSDOSSIER - Abbildungen und Tabellen

PLANDARSTELLUNGEN

ANHANG

Anhang A: Methodik

Anhang B: Daten

Zusammenfassung

Im Auftrag der Aufsichtskommission Vierwaldstättersee (AKV) erfolgte im Zeitraum von 2007–2011 eine Erhebung zur Aktualisierung der Wasserpflanzenverhältnisse im Vierwaldstättersee. Der letzte Stand stammt aus dem Jahr 1982 und gibt die Situation am Ende der Eutrophierungsphase wieder. In der Zwischenzeit haben sich die Nährstoffverhältnisse markant verändert, so dass keinerlei aktuelle Kenntnisse der jetzigen Zusammensetzung und Verbreitung der Unterwasservegetation mehr zur Verfügung standen und für die kantonalen Fachstellen jegliches Instrumentarium fehlte, eine Einschätzung der Auswirkungen möglicher Vorhaben, insbesondere von Bauprojekten im Uferbereich, entsprechend den gesetzlichen Vollzugsvorgaben vornehmen zu können.

Insgesamt wurden in der über 4 Jahre dauernden Untersuchung 119 Profile abgetaucht und dabei die Unterwasservegetation in ihrer Zusammensetzung und Struktur sowie ihrer Ausbreitung im Tiefenverlauf untersucht. Auch eine Reihe weiterer Parameter, u.a. Untergrundbeschaffenheit, Vorkommen von Algen, Fischen, Grossmuscheln, Neozoen etc. wurde dabei erfasst. Die letzte grössere Erhebung fand in den 1980er Jahren statt und beruhte hauptsächlich auf der Interpretation von Luftbildern und stichprobenweiser Verifizierung vor Ort. Für die aktuelle Kampagne sollten genaue, geografisch sowie im Tiefenverlauf differenzierte und vor allem für spätere Vergleiche robuste und reproduzierbare Daten gewonnen werden. Die dafür geeignete Methode ist die Erfassung mit Taucheinsätzen entlang von vorgängig definierten Linien, sogenannten Transekten. Mit der vorliegenden Untersuchung wurde ein Grundstein gelegt, um in bestimmten Zeitabständen an der gleichen Stelle die Vegetation erneut zu untersuchen und mit dem heutigen Zustand vergleichen zu können. Im Zusammenhang mit der zeitlichen Vegetationsentwicklung ergeben sich dabei auch wichtige Erkenntnisse über den Verlauf der Wasser- und Lebensraumqualität des Sees.

Die aktuellen Bewuchsverhältnisse im Vierwaldstättersee ergaben einen Bestand von 35 Arten (siehe Darstellung ZUS-1). Fast ein Drittel davon, nämlich 10 Spezies, sind Armelechteralgen (Characeen). Mit Abstand die häufigste Art ist *Chara tomentosa* (Hornblättrige Armelechteralge), auf sie entfällt allein ein Anteil von fast 28 %. Weitere bedeutende Arten sind *Chara contraria* (Gegensätzliche Armelechteralge, 21 %) und *Chara globularis* (Zerbrechliche Armelechteralge, 14 %). Zusammen haben diese 3 Armelechteralgen einen Anteil von 63 % an der Pflanzenmenge im ganzen See und prägen damit das Vegetationsbild in entscheidendem Masse. Aufgrund dieser Dominanzverhältnisse sind viele der übrigen Arten nur mit geringen Häufigkeitsanteilen vertreten, rund 25 Arten erreichen seeweit-höchstens 1 % und haben daher Seltenheitswert. 14 Arten (= 26 % des Artenspektrums) weisen einen erhöhten Gefährdungsgrad gemäss «Roter Liste» auf, 5 gehören zur Gruppe der Armelechteralgen, 9 zu den Blütenpflanzen (Phanerogamen oder Spermatophyta). Die mittlere Tiefengrenze der Vegetation beträgt 10.4 m, das derzeitige Maximum liegt bei 18 m. Die Bewuchsdichte des durch Wasserpflanzen besiedelten Litorals erreicht 51–75 %, grosse Anteile davon sind flächendeckend bewachsen. Grosse Unterwasserwiesen aus Characeen-Beständen sind dabei ein typisches und häufiges Erscheinungsbild.

Hinweise Abbildungen und Tabellen

Für die Zusammenfassung wurde eine Übersichtsdarstellung in den Bericht übernommen (Seite 6, Bezeichnung «ZUS-1»).

Sie ermöglicht einen schnellen Zugang zu einer Auswahl wichtiger Ergebnisse.

Alle anderen im Bericht erwähnten Abbildungen und Tabellen beziehen sich auf das separat vorliegende AUSWERTUNGSDOSIER, welches parallel zum Bericht geöffnet sein soll, um gezielt zur betreffenden Darstellung zu gelangen und die textliche Erläuterung nachzuvollziehen.

Der Vierwaldstättersee lässt sich aufgrund seiner Form in 7 Teilbecken unterteilen, welche zwar zusammenhängen, aber doch aufgrund ihrer geografischen Lage oder ihrer morphologischen Ausprägung eine eigene oder sogar eigenständige Charakteristik aufweisen. Dies spiegelt sich auch in der Vegetationszusammensetzung wieder. Im Strukturvergleich für die ganzen Seebecken sind sich Luzerner-, Küssnacher- und Horw-Hergiswiler See untereinander ähnlich. Den höchsten Vergleichswert mit 82 % Übereinstimmung zeigt die Paarung Küssnacher See – Weggis-Vitznauer Becken. Isoliert präsentieren sich der Urner See (nur mit dem Gersauer Becken eine strukturelle Gemeinsamkeit) und der Alpnacher See (keine Ähnlichkeit mit einem anderen Teil des Vierwaldstättersees).

Aus der vergleichenden Gegenüberstellung der Vegetationsverhältnisse lässt sich weiter erkennen, dass in der besiedelbaren Flachwasserzone von 5 der 7 Seebecken eine Bewuchsdichte von durchschnittlich 51–75 % besteht, der Urnersee zeigt mit 26–50 % die geringste Dichte und der Luzerner See ist praktisch vollständig bewachsen. Die mittlere Bewuchstiefe ist mit 5.5 m im Alpnachersee am kleinsten und im Luzerner- bzw. im Küssnacher See mit über 12 m am grössten. Die übrigen Seeteile weisen Werte zwischen 9 und 11 m auf. In 6 der 7 Seebecken dominieren die Armeleuchteralgen mit einem Anteil von 64–83 %, einzig der Alpnacher See zeigt ein konträres Bild mit lediglich 36 % (der Bestand wird hier von den Blütenpflanzen dominiert). Die Unterschiede lassen sich mit spezifischen aufwuchsrelevanten Faktoren in Verbindung bringen, wie dies nachfolgend am Beispiel der Abundanz dargestellt wird. Auch bezüglich der Artenzahl zeigen sich gewisse Differenzen. Mit 14 Arten weist der Urner See die geringste, das Horw-Hergiswiler Becken und der Alpnacher See mit 26 die höchste Artenzahl auf (Mittelwert: 20 Arten).

Anhand eines speziell für die Auswertung der Vierwaldstätterseedaten entwickelten Verfahrens kann aus den einzelnen (nicht systematisch verteilten) Untersuchungstransekten die Pflanzenmenge (Abundanz) auf jeweils das gesamte Seebecken hochgerechnet werden. Damit sind Rückschlüsse auf die Aufwuchsbedingungen in den verschiedenen Seeteilen möglich. So weisen der Küssnacher See und der Luzerner See einen deutlich überproportionalen Wert auf, der Urner See, das Weggis-Vitznauer Becken und das Gersauer Becken sind klar unterdotiert. Die Gründe für diese unterschiedliche Ausprägung der Vegetation liegen einerseits in der Ausdehnung der besiedelbaren Flächen (diese können im Verhältnis zur Uferlinie unter- oder überrepräsentiert sein), andererseits in der Ausrichtung des Beckens und Landschaftsformationen am Ufer, welche die Lichtverfügbarkeit und die Richtung der Winde beeinflussen, bei anderen spielen die Zuflüsse eine wichtige Rolle, unter anderem durch Sedimenteinträge und den daraus entstehenden mehr oder weniger anhaltenden Trübungen. Oder es sind verschiedene Aspekte in Kombination von Bedeutung, indem beispielsweise durch die Anteile von Besonnung und Beschattung die Temperatur geprägt wird oder sich durch die Stärke der windbedingten Wellen je nach Exposition die Untergrundbeschaffenheit entsprechend ausbildet. So sind beispielsweise im Urner See die Aspekte eingeschränkte Lichtbedingungen, starke Winde und Wellen, häufige Trübungen, Sedimenteinträge durch die Reuss wichtig, im Luzerner See hingegen vor allem die überproportional vertretenen ausgedehnten Flachwasserzonen und generell günstige Licht- und Wellenbedingungen.

In einem weiteren Schritt erfolgte eine spezifische Analyse der besonderen Vegetationsverhältnisse auf schmalen und breiten Uferbänken (Kategorien < 100 m und > 100 m Breite bis 4 m Wassertiefe). Es lassen sich dadurch für die einzelnen Seebecken und für jeweils die beiden Ufertypen differenzierte Aussagen zur Vegetationszusammensetzung mit den entsprechenden Anteilen der Arthäufigkeiten, Verbreitungstiefe, Uferabstand bis zur unteren Bewuchsgrenze, den Aufwuchsbedingungen etc. machen. Hinsichtlich der Abundanz pro m² weist der Alpnachersee bei den schmalen Uferzonen die schlechtesten Bedingungen auf, der Luzerner See die besten, bei den ausgedehnten Uferbänken bildet der Urner See das «Schlusslicht», während das Vitznauer Becken und der Luzernersee die Spitze einnehmen. Mit all diesen Grundlagen haben die kantonalen Vollzugsinstanzen ein aktuelles und detailliertes Instrument, um rasch eine grobe Einschätzung möglicher Auswirkungen von Massnahmen im Uferbereich treffen zu können, auch wenn am betreffenden Standort selbst keine Angaben zur Vegetation vorliegen.

Ein zentraler Teil der Studie war die Darstellung der Wasserpflanzenentwicklung im Laufe der Zeit. Dazu wurden die Daten der wichtigsten früheren Erhebungen aufbereitet, um einen möglichst aussagekräftigen Vergleich mit dem heutigen Zustand zu erreichen. Aufgrund der stark unterschiedlichen Methodik der verschiedenen Untersuchungen bleiben jedoch gewisse Vorbehalte bestehen. Erste bedeutende Angaben liegen aus dem Jahr 1935 (GAMMA) vor. Darin integriert ist eine Rückschau auf die «letzten 20 Jahre», so dass ein Ausgangszustand aus der Zeit um 1915 als erste «Referenz» vorliegt. Erst mehr als fünf Jahrzehnte später in den Jahren 1982–83 erfolgte die nächste bedeutende Aktualisierung des Kenntnisstandes zur Vegetation im Vierwaldstättersee (LACHAVANNE ET AL.). Mit diesen Daten war eine quantitative Gegenüberstellung mit den heutigen Verhältnissen möglich. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Vegetation in diesem Zeitraum komplett geändert hat, nicht in erster Linie bezüglich der Zusammensetzung, sondern vor allem in den Häufigkeitsanteilen der Arten. Die Armleuchteralgen haben sich von 8 % auf 74 % fast verzehnfacht. Zuvor dominierten die nährstoffliebenden Blütenpflanzen mit 92 %, insbesondere die Laichkräuter, allen voran *Potamogeton pectinatus* (Kamm-Laichkraut) mit 44 %. Die gegenwärtig mit 28 % am häufigsten vorkommende Art *Chara tomentosa* wurde 1982 im See nicht vorgefunden. Heute liegt wieder ein Zustand vor, wie er um 1935 und davor geherrscht hat, soweit dies aus früheren Arbeiten abgeleitet werden kann. Der wichtigste Faktor für diese «Berg- und Talfahrt» der Vegetation ist der Verlauf der Nährstoffentwicklung, vor allem des Phosphorgehaltes, welcher als «Minimumstoff» einen massgeblichen Einfluss auf die pflanzliche Produktion ausübt. Dank verschiedener Massnahmen zur Phosphatreduktion seit 1975 (v.a. Kläranlagen, Phosphatverbot in Waschmitteln) ist der See wieder in seinem ursprünglichen nährstoffarmen Zustand, was durch die Vegetation eindrücklich nachgezeichnet wird. Nicht nur sind die für nährstoffarme Verhältnisse typischen Armleuchteralgen zur absolut dominierenden Wasserpflanzengruppe geworden, es hat sich auch die Lichteindringtiefe durch den Rückgang der Planktondichte deutlich verbessert und dadurch ist die untere Grenze der Besiedlung seit 1982 von durchschnittlich 5.5 m auf heute 10.4 m Tiefe angewachsen. Damit einher ging auch eine massive Vergrösserung der Bewuchsfläche und der Pflanzenmenge um jeweils mindestens einen Faktor 10. Dadurch hat auch der Lebensraum für viele

spezifisch an die Vegetation gebundenen Organismen eine starke Ausweitung erfahren. So bieten unter anderem die Wasserpflanzenbestände für viele pflanzenlaichende Fischarten und allgemein für Jungfische äusserst wertvolle Habitate. Aus dem Rahmen fällt nur noch der Alpnacher See, in dem sich zwar wie in den übrigen Seecken ein substantielles Aufkommen der Characeen zeigt, aber lediglich von 0 auf 36 %, wodurch die übrigen Arten die grösseren Anteile am Pflanzenbestand bilden. Damit wird ein immer noch anhaltender Nährstoffeinfluss manifestiert (Phosphor und Stickstoff liegen etwa doppelt so hoch wie in den übrigen Seebecken). Zusätzlich dürften die lichtempfindlichen Characeen auch durch die in diesem Seebecken häufig auftretenden Trübungen beeinträchtigt werden. Im Vergleich dazu ist der Küssnacher See hervorzuheben, welcher seeweit den grössten Anstieg der Characeen von 3 auf 83 % aufweist. Anhand der unteren Besiedlungsgrenze der Wasserpflanzen und der Phosphorkonzentrationen lassen sich für 6 der 7 Seebecken ein klar oligotropher (nährstoffarmer) Zustand indizieren, im Alpnacher See liegen noch mesotrophe (mässig nährstoffreiche) Verhältnisse vor.

Im Artenspektrum des Vierwaldstättersees kommen zwei neophytische (nicht einheimische) Arten vor: *Elodea canadensis* (Kanadische Wasserpest, Anteil 2 %) und *Elodea nuttallii* (Nuttalls Wasserpest, Anteil 6 %). Letztere gehört gemäss Anhang der schweizerischen Freisetzungsverordnung (FrSV; SR 814.911) zu den verbotenen invasiven, d.h. sich aggressiv ausbreitenden Neophyten. In der Untersuchung von 1982 kam erst *Elodea canadensis* vor (Anteil 4 %). Bereits in der Beschreibung des Zustandes von 1935 ist diese Art verzeichnet, es wird vermerkt, dass sie stark zurückgegangen sei. Inwieweit die beiden *Elodea*-Arten in Ausbreitung oder allenfalls invasiver Ausbreitung begriffen sind, insbesondere die erst in der aktuellen Untersuchung festgestellte und mittlerweile deutlich häufigere *Elodea nuttallii*, kann nicht abschliessend beurteilt werden. Immerhin liegt bei dieser Art ein Vorkommen in 74 % der Transekte vor. Dies zeigt eine Ausbreitung innerhalb von 30 Jahren auf praktisch den ganzen See. Beide Arten kommen in allen Seebecken vor, der höchste Anteil weist der Alpnachersee mit 16 % auf, aber auch im Urner See und Gersauer Becken machen die Neophyten über 10 % an der gesamten Wasserpflanzenpopulation aus.

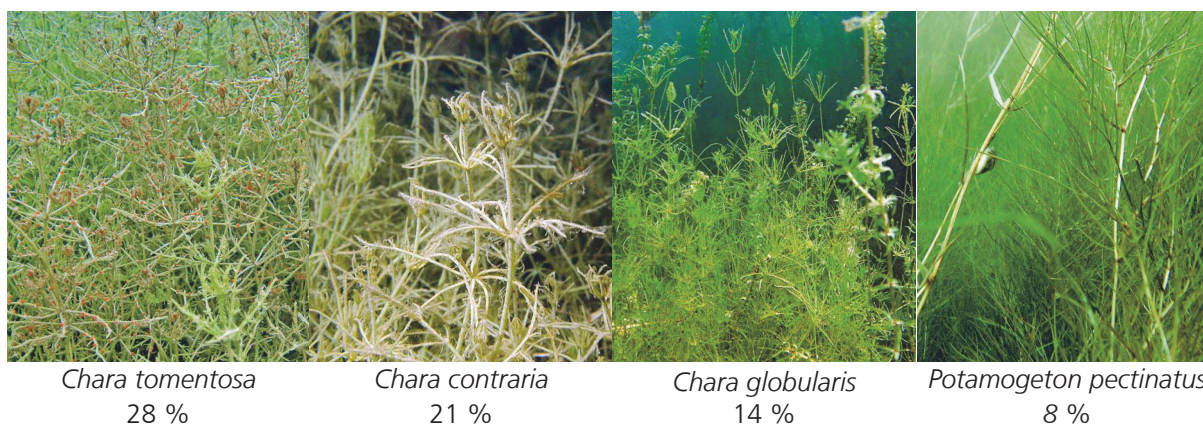
Aufgrund der Ergebnisse der Wasserpflanzenuntersuchung 2007–2011 ist der Vierwaldstättersee als ausgesprochenes «Characeen-Gewässer» zu bezeichnen. Morphologische Charakteristika und verschiedenartige Umwelteinflüsse in den einzelnen Seebecken führen jedoch dazu, dass deutliche Unterschiede in der Wasserpflanzenzusammensetzung der einzelnen Seebecken bestehen. Insgesamt ist festzuhalten, dass sich die langjährigen Bemühungen zur Nährstoffreduktion im Besiedlungsbild der Wasserpflanzen gut widerspiegeln. Waren noch in den 1980er Jahren die Auswirkungen der Eutrophierung deutlich anhand der Artenzusammensetzung und deren Häufigkeitsverteilung ablesbar, hat sich eine an nährstoffarme Verhältnisse angepasste Flora wieder eindrucksvoll etabliert. Damit liegt ein Zustand vor, der nahe an der «Referenz» liegt, wie sie ungefähr am Anfang des 20. Jahrhunderts aus den vorhandenen Unterlagen abgeleitet werden kann und wo man davon ausgehen kann, dass die antropogenen Einflüsse, insbesondere die Verschmutzung durch ungeklärte Abwässer, noch wenig ausgeprägt waren. Obwohl die Wasserqualität und die Besiedlung der Flachwasserzonen wie-

der einen erfreulichen Stand aufweisen, besteht ein grosser Handlungsbedarf im sogenannten Eulitoral, also an der Uferlinie im Bereich der Wasserstandsschwankungen. Über 80 % der Vierwaldstätterseeufer sind verbaut, was ein grosses Defizit an ökologisch sehr wertvollen Lebensräumen darstellt. Diverse Arten oder Vegetationstypen, welche spezifisch an diese Lebensräume angepasst sind, fehlen heute oder zeigen sich nur noch in Restbeständen.

Es wird empfohlen, bestehende intakte Litoralbereiche zu erhalten, zu schützen und weiter aufzuwerten wo dies möglich und sinnvoll erscheint. Es sollte auch in Betracht gezogen werden, die insgesamt vergleichsweise geringe Litoralfäche gezielt wiederherzustellen oder vorhandene Kleinflächen schonend durch Schüttungen zu vergrössern, insbesondere in Gewässerabschnitten mit fehlendem oder schwach ausgebildetem Litoral. Im Rahmen von Revitalisierungen (gemäss Revision des Gewässerschutzgesetzes seit 2011 eine verbindliche Aufgabe der Kantone) sind prioritär Wasserwechselzonen zu schaffen und ehemals vorhandene, aber mittlerweile im See ausgestorbene oder stark zurückgegangene Arten zu fördern bzw. wiederanzusiedeln (unter anderem verschiedene Arten der Strandlingsgesellschaft sowie generell Röhricht- und Schwimmblattgesellschaften). Das vorgesehene Monitoringkonzept mit periodischer Aktualisierung der Wasserpflanzenverhältnisse (z.B. alle 10 Jahre) an den gleichen Stellen und mit der gleichen Methodik ist umzusetzen. Insbesondere sind dabei auch die Entwicklungen hinsichtlich Klimaerwärmung und Ausbreitung der Neophyten zu verfolgen sowie Erfolge von Revitalisierungsmassnahmen und Förderprogrammen zu kontrollieren. Zur besseren Charakterisierung der Vegetationsverhältnisse in den einzelnen Seebecken bzw. der dort vorhandenen Typen von Flachwasserzonen sind zusätzliche Transekte aufzunehmen.

Als Ergänzung oder Komplettierung der vorliegenden Studie käme auf der Basis des in den angrenzenden Ländern praktizierten Referenzindex' die Entwicklung eines Bezugssystems in Betracht, um den Stand der «Naturnähe» der aktuellen Verhältnisse beurteilen zu können. Zudem könnte den Gründen nachgegangen werden, warum gewisse Arten ihre frühere Bedeutung nicht wieder erreicht haben oder sich in einzelnen Seebecken nicht erneut etablieren konnten.

Die 4 quantitativ wichtigsten Wasserpflanzen-Arten im Vierwaldstättersee



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



Lesebeispiel: Die Art *Chara tomentosa* (Geweih-Armeleuchteralge) hat einen Anrteil an der Pflanzenmenge (Abundanz) von 27.6 % und ist damit die häufigste Art im Vierwaldstättersee. Sie kommt in 45 % aller 119 Transekte vor (Frequenz). 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 [%]
ARMLEUCHTERALGEN (Characeen)					
Rauhe Armeleuchteralge	A.01 <i>Chara aspera</i> Willd.	VU	VU	0.6	13
Gegensätzliche Armeleuchteralge	A.02 <i>Chara contraria</i> A. Braun ex Kützing	LC	LC	20.9	82
Nackte Armeleuchteralge	A.03 <i>Chara denudata</i> A. Braun	DD	DD	0.1	1
Faden-Armeleuchteralge	A.04 <i>Chara filiformis</i> Hertsch	DD	DD	0.6	8
Zerbrechliche Armeleuchteralge	A.05 <i>Chara globularis</i> Thuillier (1)	LC	LC	14.0	79
Geweih-Armeleuchteralge	A.06 <i>Chara tomentosa</i> L.	VU	VU	27.6	45
Gemeine Armeleuchteralge	A.07 <i>Chara vulgaris</i> L.	VU	VU	0.4	3
Dunkle Glanzleuchteralge	A.08 <i>Nitella opaca</i> (Bruzelius) Ag.	VU	VU	7.3	37
Stern-Armeleuchteralge	A.09 <i>Nitellopsis obtusa</i> (Desv. in Loi.) J. Groves	NT	NT	0.8	8
Knäuel-Armeleuchteralge	A.10 <i>Tolypella glomerata</i> (Desv. in Loi.) J. Groves	EN	EN	0.3	8
				Σ 72.5	
MOOSE (Bryophyta)					
Fieberquellmoos	B.01 <i>Fontinalis antipyretica</i> Hedw.	LC	LC	0.0	9
				Σ 0	
SAMENPFLANZEN (Spermatophyta)					
Wasserstern	C.01 <i>Callitriche</i> sp.	NE	NE	0.0	1
Rauhes Hornblatt	C.02 <i>Ceratophyllum demersum</i> L.	EN	VU	0.3	3
Kanadische Wasserpest	C.03 <i>Elodea canadensis</i> Michx. **	NE	NE	2.4	61
Nuttalls Wasserpest	C.04 <i>Elodea nuttallii</i> (Planchon) St. John **	NE	NE	5.8	76
Dichtes Laichkraut	C.05 <i>Groenlandia densa</i> (L.) Fourr.	NT	NT	0.4	8
Ähriges Tausendblatt	C.06 <i>Myriophyllum spicatum</i> L.	NT	NT	0.7	20
Quirliges Tausendblatt	C.07 <i>Myriophyllum verticillatum</i> L.	NT	NT	0.1	3
Gelbe Teichrose	C.08 <i>Nuphar lutea</i> (L.) Sm.	VU	LC	0.0	2
Schilf ^H	C.09 <i>Phragmites australis</i> (Cav.) Steud.	LC	LC	0.9	15
Zwerg-Laichkraut	C.10 <i>Potamogeton bertholdii</i> Fieber	NT	NT	0.0	4
Krauses Laichkraut	C.11 <i>Potamogeton crispus</i> L.	NT	LC	0.2	6
Fries' Laichkraut	C.12 <i>Potamogeton friesii</i> Rupr. (2)	CR	EN	2.0	37
Glänzendes Laichkraut	C.13 <i>Potamogeton lucens</i> L.	NT	LC	0.3	3
Kammförmiges Laichkraut	C.14 <i>Potamogeton pectinatus</i> L.	LC	LC	8.0	56
Durchwachsenes Laichkraut	C.15 <i>Potamogeton perfoliatus</i> L.	LC	LC	3.5	61
Kleines Laichkraut	C.16 <i>Potamogeton pusillus</i> L. (3)	EN	VU	2.1	55
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
Weidenblättriges Laichkraut	C.19 <i>Potamogeton x salicifolius</i> Woflg. (4)	NE	NE	0.1	2
Haarblättriger Hahnenfuss	C.20 <i>Ranunculus trichophyllus</i> Chaix	NT	LC	0.1	3
Teichbinse ^H	C.21 <i>Schoenoplectus lacustris</i> (L.) Palla	NT	LC	0.0	3
Südlicher Wasserschlauch	C.22 <i>Utricularia australis</i> R. Br.	VU	NT	0.2	3
Gewöhnlicher Wasserschlauch	C.23 <i>Utricularia vulgaris</i> L.	EN	VU	0.0	+
Teichfaden	C.24 <i>Zannichellia palustris</i> L.	VU	VU	0.2	9
				Σ 27.5	

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		euröke Art, aber mit Tendenz zu ...
	oligo-mesotraphente Art		eutraphente Art		
	mesotraphente Art		keine Einstufung (fehlende Angaben oder H: Helophyt = Sumpfpflanze)		

1 Einleitung

Im Jahr 2006 gab die Aufsichtskommission Vierwaldstättersee (AKV) der Firma AquaPlus den Auftrag, ein Konzept über das weitere Vorgehen für die Wasserpflanzenuntersuchungen im Vierwaldstättersee zu entwickeln. Die letzten grösseren Erhebungen fanden im Jahr 1982 durch die Gruppe LACHAVANNE ET AL. der Universität Genf (1985) statt. Die damals erhobenen Resultate sind aufgrund der seither erfolgten Veränderungen insbesondere der Nährstoffgehalte nicht mehr aktuell und daher nicht mehr geeignet für Beurteilungen durch die kantonalen Amtsstellen hinsichtlich möglicher Auswirkungen von geplanten Massnahmen, Projekten, Vorhaben etc. im Uferbereich des Gewässers. Auch bestehen in der Interpretation der Daten aus den 1980er Jahren gewisse Unsicherheiten aufgrund der eingesetzten Methodik mit Luftbildinterpretation und stichprobenweisen Verifizierung anhand von punktuellen Probeentnahmen (mit Rechen) und einigen wenigen Tauchgängen.

Im Konzept «Erhebung Wasserpflanzen Vierwaldstättersee», welches im November 2007 im Entwurf vorlag und im März 2008 definitiv durch die AKV verabschiedet wurde, kamen verschiedene Varianten zur Darstellung (AQUAPLUS 2008). Es wurde seitens der beteiligten Anrainerkantone schliesslich folgendes Modell gewählt:

- Flächendeckende Untersuchung verschiedener wertvoller Gebiete (sogenannte «ökologische Hotspots») mit hoher Auflösung durch Tauchtransekte im Abstand von 20 oder 40 m.
- Erhebung mit Stichprobentransekten im restlichen Gebiet des Sees zur Gewinnung grober Anhaltspunkte über die Verteilung der Vegetation (Abstand der Transekte ca. 1 km).
- Nachführung der 1933 erstmals von GAMMA (1935) und später von LACHAVANNE ET AL. (1985) und BURRI (1994 / 1995) erhobenen sogenannten Referenz-Profilen an verschiedenen Stellen des Vierwaldstättersees.

Es besteht der Vorschlag, die Aufnahmen in einem Turnus von rund 10 Jahren, unter Anwendung der gleichen Methodik, zu wiederholen und zu aktualisieren und damit Gewähr zu haben für eine sehr differenzierte Interpretation der Vegetationsentwicklung im Laufe der Zeit.

Der Vierwaldstättersee gehört in mehrfacher Hinsicht zu den bemerkenswertesten Stillgewässern der Schweiz. Er stellt nicht nur einen der grössten und tiefsten Naturseen dar, sondern ist auch hinsichtlich seiner Entstehungsgeschichte und seiner Lebensraumqualitäten einzigartig.

Erste nennenswerte Untersuchungen zur Litoralflora stammen von BACHMANN (1903, 1905) und GAMMA (1935). Ein weiterer Schwerpunkt der Wasserpflanzenuntersuchungen wird erst 50 Jahre später durch die Arbeiten von LACHAVANNE ET AL. (1982–85) markiert, bei denen flächendeckend Seeufer und Litoral untersucht und bewertet wurden. Im Zentrum der Datenerhebung stand die Auswertung von Luftbildern in Kombination mit Stichprobenerhebungen vor Ort, meist vom Boot aus mit Hilfe eines Rechens oder auch mit vereinzelt Tauchgängen.

Im Gegensatz zu den früheren Erhebungen hat die vorliegende Untersuchung nicht zum Ziel, erneut eine flächendeckende Erfassung der Makrophytenvegetation im Litoral des Vierwaldstättersees durchzuführen. Vielmehr stand im Vordergrund, repräsentative Stellen auszuwählen, an denen Tauchtransekte bis zur Vegetationsgrenze durchgeführt werden sollten. Auf Basis dieser Transekte bzw. Transektgruppen wird der momentane Entwicklungsstand der Makrophytenbesiedlung in den untersuchten Uferzonen detailreich erfasst. Gleichzeitig bilden die Transekte aufgrund ihrer eindeutig markierten Positionen gute Langzeitbeobachtungs-Linien, die in regelmässigen Abständen über Jahre die Litoralentwicklung des Vierwaldstättersees sehr präzise dokumentieren können. Auf diese Weise wird ein einfaches und effektives Monitoringsystem etabliert.

In der Erfassungsmethode wurde ausschliesslich auf Tauchgänge gesetzt, weil damit die grossen Nachteile der Luftbildauswertung vermieden werden können. So sind auch ein geringer Bewuchs sowie kleinwüchsige bzw. durch Kalkinkrustation kaum vom Untergrund unterscheidbare Pflanzenvorkommen sicher erfassbar und es erschliessen sich auch jene Bestände, die unterhalb der maximal einsehbaren Wassertiefe von 4–5 m liegen. Da die Vegetation im Vierwaldstättersee zur Zeit bis auf eine Tiefe von 18 m vordringt und auch unterhalb von 5 m dicht und artenreich auftreten kann – und als neuer Aspekt auch die Biodiversität zunehmend Gewicht bekommt – gibt es keine wirklich valable Alternative zur Taucherhebung. Auch nicht durch Vorgehensweisen mit Echolot oder Fernerkundung via Flugzeug oder Satellit (u.a. mit Spektralanalyse), wie sie zur Zeit in Entwicklung bzw. in Erprobung stehen. Auf die Methodik wird kurz in Kapitel 2 eingegangen, die Detailbeschreibung ist in ANHANG B enthalten.

Mit der Untersuchung der Wasserpflanzenverhältnisse im Vierwaldstättersee verbunden waren folgende Arbeitsschritte:

- Positionierung und Durchführung von 119 Tauchtransekten, verteilt über die gesamte Uferzone des Vierwaldstättersees (12 Transekte stammen aus flächendeckenden Erhebungen von sogenannten «ökologischen Hotspots», 6 Transekte aus Projektperimetern),
- Erfassung und Beschreibung der auf den Transektlinien vorkommenden Vegetation in ihrer Zusammensetzung und Struktur (qualitative und quantitative Datenauswertung),
- Vergleich der Ergebnisse mit früheren Untersuchungen,
- Beurteilung der aktuellen Wasserpflanzenverhältnisse und der bisherigen Entwicklung sowie daraus abgeleitet die Erarbeitung von Empfehlungen betreffend eines künftigen Monitorings und spezifischer Massnahmen zur Erhaltung, Wiederherstellung und Förderung der gewässertypischen Vegetationsausprägung.

2 Methodik

Die Tauchuntersuchungen in Seen gewinnen in jüngster Zeit zunehmend an Bedeutung, da in den angrenzenden EU-Ländern die Gewässerbewertung auch auf der Basis einer Qualitätskomponente «Makrophyten und Phytobenthos» verbindlich gefordert wurde (EU 2000). Zudem werden bei Tauchuntersuchungen, im Gegensatz zu anderen Erfassungsmethoden, nachweislich höhere Artenzahlen erfasst (vgl. WEYER 2007). AQUAPLUS arbeitet seit 1995 bei Wasserpflanzenuntersuchungen systematisch mit Tauchtransekten, sowohl für die Erhebung von Stichprobenprofilen als auch für flächendeckende Kartierungen, und hat diese Methode massgeblich entwickelt (vorgestellt im Jahr 2000 an der TU München).

Allgemein: Die Untersuchungen erfolgen mit Tauchgängen entlang einer fest vorgegebenen Linie, sogenannten Tauch-Transekten. Die Lage und Richtung der Transekte werden vorgängig im GIS festgelegt. Auf dem Transekt (Beobachtungsbreite ca. 4-5 m) werden Abschnittsgrenzen festgelegt, sobald einer der folgenden Vorgaben eintritt: Veränderung der Gesamt-Dichte, Veränderung der Artenzusammensetzung, Veränderung der Untergrundbeschaffenheit, deutliche Veränderung der Untergrundneigung. Die Abschnittsgrenzen werden per GPS eingemessen (Genauigkeit mit den aktuellen Geräten ≤ 1 m). Die Einhaltung der Tauchlinie wird laufend kontrolliert und der Taucher ggf. hinsichtlich seiner Position korrigiert.

Die Untersuchungssequipe besteht aus einem Taucher, sowie im Begleitboot einem Untersuchungsleiter und einem Bootsführer.

Wasserpflanzen: Die Erfassung der Unterwasservegetation geschieht mit Tauchtransekten ab Ufer bis zur unteren Bewuchsgrenze. Folgende Parameter werden erhoben: Wassertiefe, Gesamt-Bewuchsdichte, Artzusammensetzung, Bestimmung des Anteils jeder Art an der Dichte, Pflanzen-Vitalität, Bewuchshöhe. Auch die eigentliche Ufervegetation (z.B. Schilfvorkommen) ist Teil der Erhebung. In der späteren Auswertung kann präzise angegeben werden, wo gefährdete Arten (gemäss Roter Liste) vorkommen und wie sich die Verbreitung der Arten, u.a. Frequenz im Perimeter, präsentiert (Darstellung anhand von Plänen im Format DIN A3).

Die Wasserpflanzenaufnahmen erfolgen per Konvention zum Zeitpunkt der grössten Biomasse, frühestens ab Mitte Juni bis spätestens Mitte September.

Untergrundbeschaffenheit / Gewässermorphologie / Relief: Die Daten der Sedimentbeschaffenheit werden im Rahmen der Wasserpflanzenaufnahme (Tauchtransekte) mit Verteilung auf 6 Korngrössenstufen erfasst (Blöcke, Steine, Grobkies, Feinkies, Sand, Schlamm). Die vorherrschende Untergrundzusammensetzung wird in einem Übersichtsplan dargestellt. Die Daten zur Untergrundbeschaffenheit sind (zusammen mit der Art und Dichte der Vegetation) eine entscheidende 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 werden Profildarstellungen erzeugt, welche sowohl die Untergrundbeschaffenheit als auch die Vegetationsdichte im Querschnitt zeigen.

Fische: Das Vorkommen von Fischen wird während der Wasserpflanzenaufnahme als Beobachtungsinformation erfasst (Häufigkeitsstufen, Differenzierung der Fischarten).

Wirbellose: Im Rahmen der Taucharbeiten werden auch das Vorkommen von Grossmuscheln (diverse geschützte Arten) und der Edelkrebse quantitativ erfasst (5 Häufigkeitsstufen), ggf. zusätzlich Schnecken auf den Wasserpflanzen. Weiter wird das Auftreten diverser Neozoen ebenfalls in Häufigkeitsstufen festgehalten (u.a. Wandermuschel *Dreissena polymorpha*, Grosskrebse wie roter Sumpfkrebs *Procambarus clarkii*, Kamberkrebse *Orconectes limosus* oder Signalkrebs *Pacifastacus leniusculus*, Körbchenmuschel *Corbicula fluminea*, Höckerflohkrebs *Dikergammarus villosus*).

Weitere Parameter: Zusammen mit den Tauchaufnahmen für die Wasserpflanzen werden zusätzliche Parameter erfasst (in Dichte- bzw. Häufigkeitsstufen): Vor-

kommen von Algen, Sedimentation, Abfall, Ophrydien, ... (und ggf. weitere). Darüber hinaus erfolgt eine Aufnahme der Uferbeschaffenheit (u.a. Uferverbau, künstliche Strukturen etc.) und es wird für jeden Standort die Situation detailliert mit Fotos dokumentiert.

Insgesamt wurden 119 Transekte für die vorliegende Untersuchung der Wasserpflanzenverhältnisse im Vierwaldstättersee berücksichtigt. Zusätzlich erfolgte eine Aufnahme von 12 «Hotspots» mit flächendeckender Untersuchung von je mindestens 10 Transekten. Von jedem der «Hotspots» wurde einer der 10 Transekte für die seeweite Analyse einbezogen.

Die Taucharbeiten fanden Ende Juni bis Anfang September der Jahre 2007–2011 statt. Dies deckt sich mit der Phase der optimalen Makrophytenentwicklung, ei-

nem Zeitfenster, in dem sowohl früh verschwindende Arten als auch sich später entwickelte Arten vorhanden sind.

Alle Aufnahmedaten werden in eine Datenbank eingegeben (Eigenentwicklung auf MS ACCESS-Basis). Die georeferenzierte flächige «Abbildung» des Transektstreifens mit einer Standardbreite von 20 m und den Abschnittsgrenzen erfolgt zuerst in einem GIS (ESRI ArcGIS 10) und wird anschliessend ebenfalls in die Datenbank übernommen. Alle quantitativen Auswertungen und Plandarstellungen können nun direkt aus der Datenbank generiert werden.

Für die Detailspekte der Methodik, insbesondere der Auswertungen, wird auf ANHANG A verwiesen.

Handhabung des Berichtes

In diesem Berichtsteil sind im Wesentlichen nur die textlichen Erläuterungen zur Wasserpflanzenauswertung enthalten. Es werden Bezüge gemacht zu Abbildungen, Tabellen, Plandarstellungen, Methoden- und Datenanhang. Diese sind in separaten Dokumenten enthalten, welche parallel zum Bericht geöffnet sein sollen, um gezielt zur betreffenden Darstellung zu gelangen und die textliche Erläuterung nachzuvollziehen.

Es liegen folgende Dokumente vor:

- 1 **BERICHT** (vorliegendes Dokument)
- 2 **AUSWERTUNGSDOSSIER** mit Abbildungen und Tabellen
- 3 **PLANDARSTRELLUNGEN**
- 4 **ANHANG** mit Methodik und Detaildaten

3 Ergebnisse

Die Ergebnisse der 119 für die Untersuchung der Wasserpflanzenverhältnisse im Vierwaldstättersee berücksichtigten Transekte sind im **AUSWERTUNGSDOSSIER** in Form von Tabellen und Abbildungen zusammengestellt. Alle Hinweise auf Tabellen und Abbildungen in der nachfolgenden Kommentierung der Ergebnisse beziehen sich auf dieses Dossier.

In den **PLANDARSTELLUNGEN** sind alle Transekte mit ihren relevanten Daten (Artenspektrum, Bewuchsdichte und davon die Häufigkeitsanteile jeder vorkommenden Art, untere Verbreitungsgrenze, Tiefenraster mit Angabe der Bewuchsdichte für jede Tiefenstufe) in einer Abwicklung rund um den ganzen See aufgeführt. Weiter ist jeder Transekt mit seinem Querprofil (mit den auftretenden Abschnittsgrenzen und der Gesamtdichte) abgebildet und für jede Art liegt eine Verbreitungskarte mit der Einzeldichte an allen 119 Standorten vor.

In **ANHANG A** wird die allgemeine Methodik der Wasserpflanzenaufnahme dargestellt und erläutert.

In **ANHANG B** sind die erhobenen Parameter übersichtsmässig aufgeführt sowie die detaillierten Ergebnisse für jeden Transektabschnitt mit den zugehörigen Administrativdaten aufgeführt. Hier sind zusätzlich Angaben zur Untergrundbeschaffenheit, Vorkommen von Muscheln, Algen etc. enthalten.

Eine Vegetations-Analyse der im gleichen Zeitraum untersuchten 12 «ökologischen Hotspots» (flächige Kartierungen mit mindestens je 10 aufeinanderfolgenden Transekten) ist in diesem Bericht nicht enthalten, dazu werden separate Teilberichte verfasst. Eine Gesamtschau dieser Transekte erfolgt jedoch überblicksmässig in den PLANDARSTELLUNGEN. Aus jedem dieser 12 speziellen Untersuchungsgebiete wurde ein Transekt für die vorliegende Auswertung ganzen Vierwaldstättersees einbezogen.

In verschiedenen Tabellen kommen Arten mit der Bezeichnung «+» vor. Damit wird ein Vorkommen im betreffenden Seebecken markiert, aber nicht in einem der für die Auswertung berücksichtigten Transekte, sondern in den nicht für diesen Bericht berücksichtigten Erhebungen der «ökologischen Hotspots».

Für allgemeine Angaben zum Vierwaldstättersee (Einzugsgebiet, Kenngrössen, physikalische und chemische Prozesse, weitere Organismengruppen wie Fische oder Plankton, Ökomorphologie des Seeufers, etc.) wird auf entsprechende Begleitliteratur verwiesen (z.B. STADELMANN 1984 und 2007, TEIBER-SIESSEGGER 2010). Eine Auswahl wichtiger Parameter ist in Tabelle 1 sowie den Abbildungen 33–38 enthalten.

Eine Darstellung der Wasserpflanzenverhältnisse mit hohem Detailgrad (Transekte, Transektabschnitte, Artenzusammensetzung, Untergrundbeschaffenheit) ist auch online verfügbar über die Webseite der Aufsichtskommission Vierwaldstättersee (Stichwort «Karte»):

<http://www.4waldstättersee.ch>

3.1 Charakterisierung der Wasserpflanzenverhältnisse im See

Nährstoffsituation

Die Besiedlung des Vierwaldstättersees mit Wasserpflanzen hat eine wechselvolle Geschichte. Dies ist im Wesentlichen darauf zurückzuführen, dass sich innerhalb der letzten fünf bis sechs Jahrzehnte der anthropogene Einfluss auf das Vorkommen und die Verbreitung der Makrophyten verstärkt ausgewirkt hat. An erster Stelle ist hierbei die Eutrophierung (anthropogen verursachte Nährstoffanreicherung) zu nennen. Dabei spielten vor allem pflanzenwirksame Nährstoffe, insbesondere Phosphor eine grosse Rolle. Der Anstieg der Phosphorkonzentration fand bis Ende der 1970er statt und erreichte einen Maximalwert von ca. 30 µg P/l (siehe Abb. 53). Mit der Verbesserung der Reinigungsleistung der Kläranlagen (Phosphatfällung, eingeführt 1975) und dem Verbot von Phosphat in Waschmitteln (eingeführt 1986) ist der Gesamt-Phosphorgehalt im Seewasser stark gesunken (siehe Abb. 35, 52 und Tab. 1). Mittlerweile ist der Vierwaldstättersee mit einer mittleren Konzentration von 6.5 µg P/l Gesamtphosphor wieder weitgehend als nährstoffarm bzw. oligotroph zu bezeichnen. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Seebecken sind gering, einzig der Alpnacher See weist einen erhöhten Wert von 10.6 µg P/l auf. In diesem Seeteil sind auch die Nitratwerte fast doppelt so hoch (siehe Tab. 1).

Phosphor, in Form von pflanzenverfügbaren Ortho-Phosphat, ist der wichtigste Pflanzennährstoff im Vierwaldstättersee, da er von allen verfügbaren Nährstoffen der produktionsbegrenzende Minimumstoff ist. Insbesondere das Vorkommen der Characeen (Armleuchteralgen) ist stark mit dem Phosphatgehalt im See gekoppelt. Dabei besteht jedoch kein ursächlicher Zusammenhang, physiologische bzw. allenfalls toxische Auswirkungen konnten nicht nachgewiesen werden (vgl. BLINDOW 1986). Vielmehr ist die Wirkung eine indirekte: Durch hohe Konzentrationen dieses Nährstoffes kommt es zur Algenentwicklung (Phytoplankton) im Wasser, wodurch eine Trübung hervorgerufen wird, welche die Photosynthese der Characeen beeinträchtigt. Es ist demnach eher der Aspekt «Licht», welcher für diese Vegetationsgruppe limitierend wirkt. Im Weiteren spielen auch Konkurrenzeffekte mit höheren Wasserpflanzen und fädigen Grünalgen eine wichtige Rolle.

Das Vorhandensein bzw. Fehlen von Wasserpflanzen sowie auch ihre Vitalität stehen im Zusammenhang mit einem Wirkungsgeflecht mehrerer, sehr unterschiedlicher Lebensraumfaktoren, die von Gewässer zu Gewässer – und auch innerhalb eines Sees – stark variieren können. Im Vierwaldstättersee sind neben den Nährstoffverhältnissen vor allem die beiden folgenden Faktoren von Bedeutung:

Geeignete Wuchsorte (Flachuferzonen)

Charakteristisch für den Vierwaldstättersee ist der grosse Anteil von Fels- und Steilufern, sie machen rund 35 % der Uferlinie von 151 km aus, 13 % allein die Felsufer (siehe Tab. 1). Breite Flachwasserzonen sind allgemein im Luzerner- und Küssnacher See vorhanden und durch Deltabildung bei den Hauptzuflüssen Reuss, Muota, Engelbergeraas und Sarneraas entstanden. Abgesehen von den Felsabschnitten besteht rund 47 % des übrigen Ufers aus einer schmalen Flachwasserzone, die weniger als 50 m breit ist (vgl. TEIBER-SIESSEGGER 2010).

Als eigentliche, potentiell besiedelbare Flachwasserzonen in einem Tiefenbereich von 0–20 m können nach LACHAVANNE ET AL. (1982) nur gerade 12.7 km² oder 11 % der Seeoberfläche betrachtet werden. Davon war 1982 lediglich ein kleiner Teil, insgesamt 1.4 km², mit Wasserpflanzen bewachsen, die Bewuchstiefe beschränkte sich auf durchschnittlich 5–6 m. Die besiedelte Fläche hat sich in der Zwischenzeit deutlich vergrössert, die mittlere Bewuchstiefe beträgt aktuell mit 10–11 m rund das Doppelte. Der heutige Anteil der Potenzialausnutzung kann jedoch nicht direkt aus den Daten abgeleitet werden, da keine flächendeckende Aufnahme erfolgte. Mit einer Extrapolation ergibt sich eine Fläche, welche verglichen mit dem Stand vor 30 Jahren in der Grössenordnung um etwa einen Faktor 10 höher liegt (siehe Tab. 22).

Eine wichtige Grösse für das Aufkommen der Wasserpflanzen ist die Beschaffenheit der Ufer bzw. der Uferlinie. Aktuell sind rund 64 % der Ufer ausserhalb der Felsabschnitte beeinträchtigt, naturfremd oder künstlich (vgl. TEIBER-SIESSEGGGER 2010).

Die Angaben zu den morphologischen Gegebenheiten des Vierwaldstättersees und der einzelnen Seebecken sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Lichteindringtiefe

Makrophyten betreiben Photosynthese und sind daher abhängig von der Lichtintensität, die in den jeweiligen Wuchszonen der Pflanzen im Gewässer herrscht. Die wurzelnden Makrophyten stehen somit mit den im Freiwasser schwebenden Algen (Phytoplankton) in direkter Konkurrenz.

Ein einfaches Mass für die Lichtintensität ist die Messung der Sichttiefe. Da es einen engen Zusammenhang zwischen Phosphorgehalt, Algenbiomasse und Sichttiefe gibt, ist eine geringe Sichttiefe ein Hinweis auf nährstoffreiche Bedingungen im See (vgl. CARLSON 1977). Je mehr Phytoplankton im Freiwasser vorhanden ist, desto weniger höhere Wasserpflanzen kommen im Gewässer vor.

Viele Armelechteralgen sind hinsichtlich der Lichtverhältnisse sehr empfindlich. Generell wird ein Grenzwert von 2.5–3 m Sichttiefe als Minimum für das Vorhandensein von Characeen angegeben (vgl. KRAUSE 1981).

Die Entwicklung der Sichttiefe zwischen 1967 und 2004 zeigt für den Vierwaldstättersee, dass dieser Grenzwert bis zu Anfangs der 1980er Jahre regelmässig unterschritten wurde (Messstelle Seeburg, vgl. STADELMANN 2007, siehe Abb. 35).

Artzusammensetzung und -verbreitung

Die im Zeitraum von 2007–2011 durchgeführten Untersuchungen zu den Bewuchsverhältnissen in der Litoralzone ergaben einen Bestand von 35 Arten (siehe Tab. 2), fast ein Drittel davon, nämlich 10 Spezies, sind Armelechteralgen. Sie weisen zusammen einen Abundanzanteil von 72.5 % auf (Abundanz = Dichte, Häufigkeit oder Mengengrad, bezeichnet die Individuen einer Art oder Artgruppe bezogen auf ihr Habitat). Mit Abstand die häufigste Art ist *Chara tomentosa* (Hornblättrige Armelechteralge), auf sie entfällt allein ein Anteil von fast 28 %.

In der quantitativen Bedeutung innerhalb der Characeen kommen 3 Arten in einem Häufigkeitsanteil von ≥ 10 % vor, sie sind als «Hauptarten» oder dominante

Arten zu bezeichnen: Neben *Chara tomentosa* (Hornblättrige Armleuchteralge, 28 %) sind dies *Chara contraria* (Gegensätzliche Armleuchteralge, 21 %) und *Chara globularis* (Zerbrechliche Armleuchteralge, 14 %). Im subdominanten Bereich liegt *Nitella opaca* (Dunkle Glanzleuchteralge, 7 %). Alle anderen Arten haben geringe Abundanzanteile von ≤ 1 % und gehören zur Gruppe der «Begleitarten» oder zum rezedenten Spektrum. Die Hälfte der Characeen-Arten weist gemäss Roter Liste (siehe Tab. 2) einen erhöhten Gefährdungsgrad auf: *Chara aspera*, *Chara tomentosa*, *Chara vulgaris* und *Nitella opaca* werden in der Kategorie «VU» (= verletzlich) geführt, *Tolypella glomerata* gar in «EN» (= stark gefährdet).

Unter den 25 höheren Wasserpflanzen, welche aktuell im Vierwaldstättersee festgestellt wurden, gibt es keine Art, die in ähnlich grossen Abundanzanteilen und mit ähnlicher Frequenz vorkommt wie die drei häufigen Characeen. Mit insgesamt 27.5 % spielt diese Artengruppe mengenmässig eine untergeordnete Rolle. Am häufigsten (im subdominanten Bereich von 3–10 %) treten noch *Elodea nuttallii* (6 %) sowie *Potamogeton pectinatus* (8 %) und *P. perfoliatus* (4 %) auf. Die übrigen Arten liegen im rezedenten Bereich unter 3 %, häufig auch unter 1 % (subrezedent). Es kommen 9 Rote Liste-Arten vor (siehe Tab. 2), unter denen *Potamogeton friesii* die höchste Gefährdungsstufe einnimmt (Status «CR» = vom Aussterben bedroht). 6 Arten fallen in die Kategorie «EN» (= stark gefährdet, mindestens regional) und 3 Arten in «VU» (= verletzlich).

Ein wichtiger Parameter zur Beschreibung der Artverbreitung ist die Frequenz, also die Häufigkeit des Auftretens in den Transekten (sektoriell) oder in der Fläche (räumlich). Die entsprechenden Angaben sind aus Tabelle 2 und 3 sowie Abbildung 39 zu entnehmen. Dabei wird deutlich, dass die beiden häufigen Armleuchteralgen *Chara contraria* und *Chara globularis* in etwa 80 % der Transekte auftreten, also praktisch im ganzen See verbreitet sind und gleichzeitig auch hohe Abundanzanteile aufweisen. Ein anderes Muster zeigt hingegen *Chara tomentosa*, obwohl sie die quantitativ wichtigste Art im See ist, kommt sie in weniger als 50 % der Transekte vor. Dies bedeutet, dass sie nur in Teilbereichen des Sees auftritt (vor allem im Luzerner- und Küssnachtsee sowie im Weggis-Vitznauer Becken und Horw-Hergiswiler See, siehe Plandarstellungen, Tab. 4 und 5 sowie Abb. 40–46), dort aber offenbar grossflächig, mit sehr hoher Dichte und bestandesbildenden Anteilen. Beispiele für ein spezielles Verbreitungsbild von quantitativ eher unbedeutenden Arten sind *Elodea canadensis* und *Potamogeton pusillus* (jeweils weniger als 3 %). Sie kommen in über 50 % der Transekte vor (sind also relativ weit verbreitet), aber jeweils mit kleinen Häufigkeitsanteilen und nur auf beschränkter Fläche. Dies könnte auf eine Tiefenpräferenz hindeuten. Dies gilt generell für deutliche Unterschiede in den beiden Frequenzkategorien, auch wenn sie sich anteilmässig auf tiefem Niveau abspielen. Erwähnenswert sind hier (unter anderem) *Chara aspera* und *Nitella opaca*. Beide weisen gegenüber dem Vorkommen in den Transekten eine um mehr als die Hälfte geringere Flächenverbreitung auf. Die nähere Analyse der Daten bestätigt, dass *Chara aspera* vor allem in den seichten ufernahen Zonen auftritt und *Nitella opaca* die grösseren Tiefen bis zur Bestandesgrenze bevorzugt.

Vegetationsstruktur und Ähnlichkeitsmass

Ein weiteres Instrument zur Charakterisierung der Vegetationsverhältnisse besteht in der Analyse der Struktur. Dazu wird die sogenannte Dominanzidentität als Ähnlichkeitsmass verwendet und in Kombination dazu auch die Unterschiede der Dichte einbezogen. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 12–21 dargestellt. In der Betrachtung des ganzen Sees zeigt sich eine sehr heterogene Struktur (Tab. 12). Nur 7 % aller Transekte sind sich ähnlich und weisen auch eine vergleichbare Bewuchsdichte auf. Rund 50 % zeigen in keiner der beiden Kriterien eine Übereinstimmung. Das für den ganzen See «repräsentativste» Profil ist Nr. 2204 (bei Meggen im Küssnacher See) und weist eine Ähnlichkeit in der Zusammensetzung der Vegetation sowie der Häufigkeitsanteile der vorkommenden Arten mit 30 % aller übrigen Transekte auf. Die Gesamtübersicht in Tab. 12 veranschaulicht grob bei einer Anhäufung von gelben und grünen Punkte eine Ähnlichkeit in der Vegetation. So zeigen beispielsweise der Luzerner und der Küssnacher See viele ähnliche Transekte. In Tabelle 21 ist der Strukturvergleich für die ganzen Seebecken dargestellt. Der Luzerner-, Küssnacher- und Horw-Hergiswiler See weisen zu je der Hälfte der anderen Seebecken eine Ähnlichkeit auf. Gänzlich isoliert präsentiert sich der Alpnacher See, zu keinem anderen Teil des Vierwaldstättersees besteht eine strukturelle Gemeinsamkeit. Den höchsten Vergleichswert zeigt die Paarung Küssnacher See – Weggis-Vitznauer Becken, hier liegt mit 82 % eine hohe Ähnlichkeit vor. Die Kreuztrichter-Becken mit Luzerner-, Küssnacher- und Horw-Hergiswiler See sind sich untereinander alle ähnlich.

Der Luzerner- und Küssnacher See sowie das Weggis-Vitznauer- und Gersauer Becken bilden eigentliche Characeen-«Schwergewichte», die Häufigkeitsanteile liegen bei 74 % und mehr. Im Mittelfeld – aber immer noch mit dominierenden Anteilen um 65 % – bewegen sich das Gersauer Becken und der Urner See. Im Alpnacher See ist der Vegetationscharakter deutlich anders, es dominieren die Gefässpflanzen, der Characeen-Anteil beträgt nur noch 36 %.

Vergleich mit anderen Seen

Dass die Vegetation wie eingangs erwähnt von See zu See sehr verschieden sein kann, zeigt in der nachstehenden Tabelle eine Gegenüberstellung mit dem Genfersee und dem Zürichsee. Die betreffenden Untersuchungen wurden mit der gleichen Methodik der Tauchtransekte durchgeführt (AQUAPLUS seit 1995).

Der Vergleich mit dem Genfersee (Untersuchungen von 2009 mit 50 Transekten, vgl. AQUAPLUS 2010) zeigt deutliche Unterschiede in der Artzusammensetzung. Nicht nur, dass der Vierwaldstättersee sehr artenreich ist und mit insgesamt 35 Arten fast doppelt so viele Wasserpflanzen aufweist wie der deutlich grössere Genfersee, auch der Bewuchscharakter der beiden Seen unterscheidet sich grundlegend. Während der meso-eutrophe Genfersee als «Laichkraut-See» zu betrachten ist, kann der oligotrophe Vierwaldstättersee als ausgesprochenes «Characeen-Gewässer» bezeichnet werden. In Abhängigkeit des Nährstoffgehalts korrespondieren die Besiedlungstiefen. Im mittlerweile wieder sehr transparenten Vierwaldstättersee wachsen die lichtunabhängigsten Arten gegenwärtig bis in eine Tiefe von rund 18 m. Im Genfersee, der eine deutlich geringere Sichttiefe aufweist, erreichen die Wasserpflanzen lediglich eine Tiefe von 13.5 m.

Vergleich	Vierwald- stättersee	Genfersee	Zürichsee *
Anzahl Transekte	119	50	179
Artenzahl Makrophyten	35	17	23
Artenzahl Armleuchterlagen	10	4	4
Artenzahl Übrige	25	13	19
Abundanzanteil Armleuchteralgen	74 %	34 %	31 %
Abundanzanteil Übrige	26 %	66 %	69 %
Maximale Bewuchstiefe	18.0 m	13.5 m	11.9 m
Mittlere Bewuchstiefe	10.4 m	8.2 m	7.1 m
Phosphor-Gehalt (Gesamt-P) **	5 µg P/l	22 µg P/l	20 µg P/l

* Zusammenstellung aus diversen Projekten 2007–2011. ** Stand 2011.

Darstellung der quantitativ wichtigsten Arten

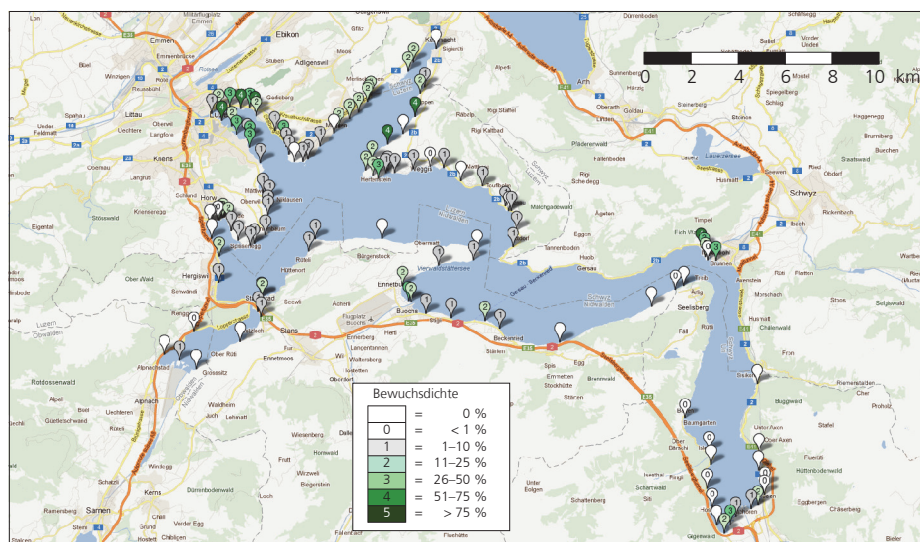
Nachfolgend werden jene Wasserpflanzenarten dargestellt, die am häufigsten im Vierwaldstättersee vorkommen (Abundanzanteil von $\geq 10\%$ in einem der 7 Seebecken). Es sind dies:

- *Chara contraria* (21% im VWS, max. 31 % im Luzernersee)
- *Chara globularis* (14 % im VWS, max. 19 % im Horw-Hergiswilersee)
- *Chara tomentosa* (28 % im VWS, max. 44% im Küssnachter See)
- *Nitella opaca* (7 % im VWS, max. 33 % im Urner See)
- *Nitellopsis obtusa* (1 % im VWS, max. 16 % im Alpnacher See)
- *Elodea nuttallii* (6 % im VWS, max. 16 % im Alpnacher See)
- *Potamogeton pectinatus* (8 % im VWS, max. 14 % im Alpnacher See)
- *Potamogeton pusillus* (2 % im VWS, max. 10 % im Alpnacher See)

Von dieser Gruppe sind 3 Arten in gewissen Seebecken nicht oder kaum repräsentiert: *Chara tomentosa* im Urner- und Alpnacher See / *Nitella opaca* im Luzerner- und Alpnacher See / *Nitellopsis obtusa* in allen ausser dem Alpnacher See.

Chara contraria (Gegensätzliche Armluchteralge) **NICHT GEFÄHRDET (LC)**

Foto: LINKS: <http://freenet-homepage.de/suesswassertauchen>. RECHTS: Bestimmungsschlüssel für die aquatischen Makrophyten in Deutschland (Weyer & Schmidt 2007).



Grossansicht der Verbreitungskarte aus PLANDARSTELLUNGEN

Die Gegensätzliche Armluchteralge gilt als mässig anspruchsvolle Art, die auch eine begrenzte Verschmutzung in ihrem Lebensraum tolerieren kann und für mesotrophe Verhältnisse charakteristisch ist. Sie wird in der Schweiz praktisch in allen Höhenregionen gefunden, am häufigsten ist sie jedoch in der collinen (bis 500 m) und in der montanen Stufe (1000–2000 m).

Die Art gehört zu den wenigen, weit verbreiteten Characeen-Arten in der Schweiz. Sie besiedelt Kleingewässer, Sumpfgebiete, Kanäle und Seen, wobei sie eindeutig ihren Verbreitungsschwerpunkt in Seen hat. Sie kommt praktisch in allen grossen Seen der Schweiz vor (Bodensee bis Genfersee) und besiedelt dort bevorzugt Gewässertiefen bis vier Meter Tiefe. Zudem kommt sie in Weihern des Rheintal- und Genferseebeckens, im Jura, auf der Nordalpenflanke sowie in den Zentralalpen vor. Im Lac des Taillères, im Sempachersee, Lauerzersee und Schwarzsee (FR) konnte sie in den letzten Jahren jedoch nicht mehr gefunden werden.

Im Vierwaldstättersee kommt *Chara contraria* in 82 % der Transekte und auf 61 % der untersuchten Fläche vor. Mit 21 % Anteil an der Gesamtabundanz ist

sie die zweithäufigste Wasserpflanzenart. Sie kommt mit grösserer Dichte (\geq Stufe 3) im Luzerner See, am Ostufer des Küssnacher Sees bis Hertenstein sowie in Nähe der Flussmündungen Muota («Hopfräben»), Reuss («Seedorferbucht») und Engelbergeraa (Buochs) vor. In den übrigen Uferzonen ist sie nur schwach vertreten, es herrschen ungünstige Bedingungen, insbesondere beschattete Steilufer (Urner See, Gersauer- und Weggis-Vitznauer Becken) oder dann stärkere bzw. anhaltende Gewässertrübungen (u.a. Alpnacher See).

Die grösste Einzeldichte in einem Transekt erreicht *Chara contraria* mit Stufe 4 (51–75 %) im Luzerner See, Küssnacher See und Gersauer Becken. Im Weggis-Vitznauer Becken sowie Urner See kommen Transekte mit immerhin Stufe 3 (26–50 %) vor.

Weitere Angaben aus der Literatur: *Chara contraria* tritt häufig mit anderen Characeen-Arten vergesellschaftet auf und kommt meist in einer Tiefe zwischen 2 und 5 m vor (Mittelwert 3.6 m, Bereich 0.1–12 m, gem. BAFU 2012). Sie breitet sich aufgrund der Reduktion der Nährstoffeinträge durch Sanierungsmassnahmen in vielen Seen wieder aus (KRAUSE 1997). Die Art ist als schwacher Nährstoffzeiger eingestuft (= oligo-mesotroph) und reagiert auf eine geringe Nährstoffbelastung etwas weniger empfindlich als beispielsweise andere Characeen-Arten wie *Chara aspera*, *Chara delicatula* oder *Chara tomentosa*. Indikatorgruppe Makrophyten-Index = 2.5 (MELZER & SCHNEIDER 2001; Gruppe 1 = Arten mit Anzeige geringster Nährstoffbelastung, Gruppe 5 = Anzeige sehr hoher Nährstoffkonzentrationen).

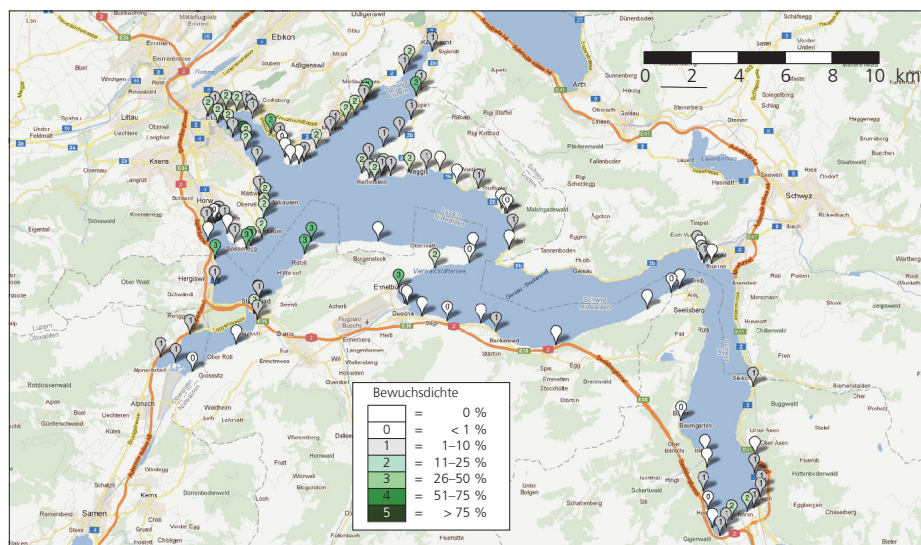
Chara globularis (Zerbrechliche Armleuchteralge) **NICHT GEFÄHRDET** (LC)



Foto: LINKS: A. Schwarzer (Vierwaldstättersee, Küssnacher See 2008, im Auftrag von AquaPlus). RECHTS: Bestimmungsschlüssel für die aquatischen Makrophyten in Deutschland (Weyer & Schmidt 2007).

Die Zerbrechliche Armleuchteralge ist weit verbreitet und auch in der Schweiz seit langem bekannt. Bereits BRAUN (1849) erwähnt sie als eine «gemeine» Art. Sie weist eine breite ökologische Amplitude auf und besiedelt in grossen Beständen die Seen des Mittellands und des Juras, aber auch eine Vielfalt von weiteren aquatischen Lebensräumen von der kollinen bis in die subalpine Stufe. Aufgrund ihres enormen Ausbreitungsvermögens besiedelt sie auch schnell neu angelegte Gewässer. Sie wächst in Kleingewässern und Seen gleichermassen und kommt

von ufernahen Bereichen bis zur Vegetationsgrenze vor. Die Art ist wenig empfindlich gegenüber Eutrophierungseinflüssen.



Grossansicht der Verbreitungskarte siehe PLANDARSTELLUNGEN

Im Vierwaldstättersee tritt *Chara globularis* in 79 % der Transekte und auf 68 % der untersuchten Fläche auf (praktisch gleich wie *Chara contraria*, die beiden Arten sind fast überall vergesellschaftet). Mit 14 % Anteil an der Gesamtabundanz ist sie die dritthäufigste Wasserpflanzenart. Je nach Standortqualität kann sie sowohl im Flachwasserbereich (z.B. im Alpner See oder im Küssnacher See) oder aber in grösseren Tiefen häufig vorkommen. Oft dringt sie, zusammen mit *Nitella opaca*, bis zur Vegetationsgrenze vor. Grössere Dichten (\geq Stufe 3) wurden insbesondere im Luzerner-, Küssnacher- und Horw-Hergiswiler See festgestellt.

Die grösste Einzeldichte in einem Transekt erreicht *Chara globularis* mit Stufe 4 (51–75 %) im Luzerner See. Im Küssnacher See, Gersauer Becken sowie Horw-Hergiswiler See kommen Transekte mit immerhin Stufe 3 (26–50 %) vor.

Weitere Angaben aus der Literatur: *Chara globularis* wird hinsichtlich ihrer Standortansprüche allgemein als wenig wählerisch charakterisiert (CORILLION 1972, KRAUSE W. 1981, MELZER ET AL. 1986, MELZER 1988, KONOLD 1987). Auch PIETSCH (1982) gibt weitere Toleranzbereiche als für die meisten übrigen *Chara*-Arten an. Sie ist gegenüber geringer Nährstoffbelastung tolerant (KRAUSE 1981), besitzt ein kräftiges Ausbreitungsvermögen und besiedelt schnell frisch entschlampte oder neu angelegte Gewässer. Sie gilt als ausgesprochene Pionierpflanze (kann sich aber auch in Dauergewässern gut halten). Die Tiefenverbreitung entspricht weitgehend jener von *Chara contraria* (meist zwischen 2 und 5 m, Mittelwert 3.3 m, Bereich 0.1–12 m, gem. BAFU 2012). Indikatorgruppe Makrophyten-Index = 2.5 (MELZER & SCHNEIDER 2001; Gruppe 1 = Arten mit Anzeige geringster Nährstoffbelastung, Gruppe 5 = Anzeige sehr hoher Nährstoffkonzentrationen).

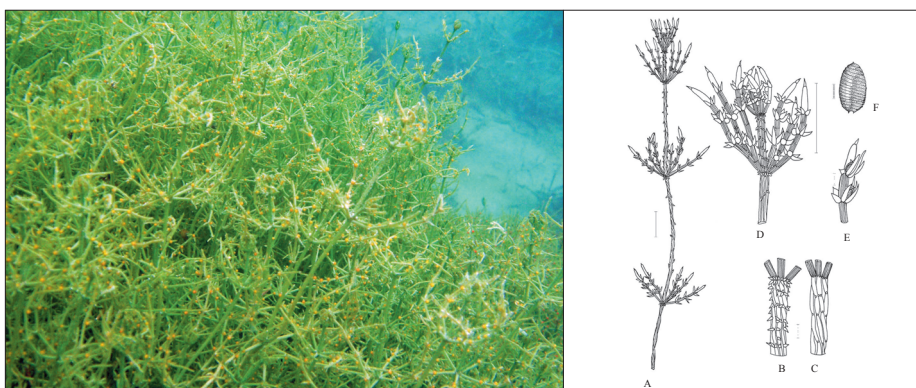
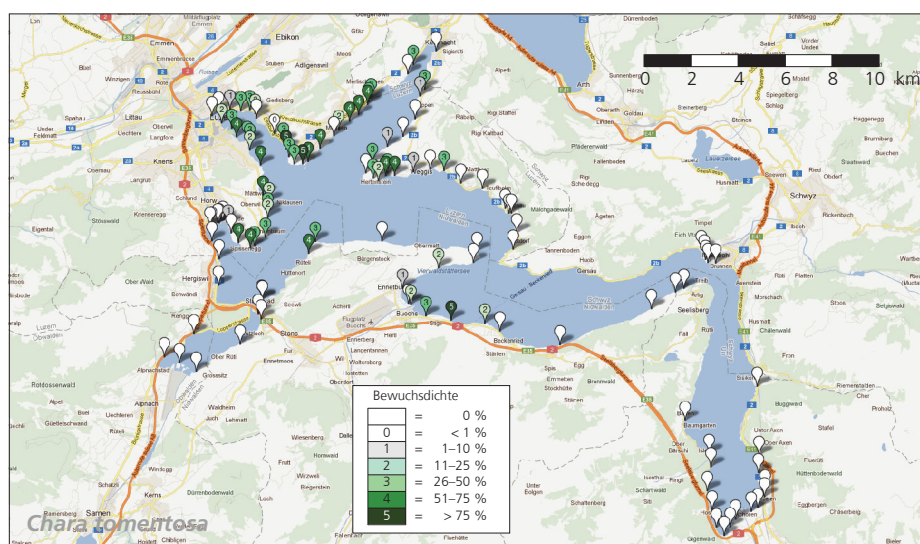
Chara tomentosa (Geweih-Armluchteralge)**VERLETZLICH (VU)**

Foto: LINKS: A. Schwarzer (Vierwaldstättersee, Luzerner See 2007, im Auftrag von AquaPlus). RECHTS: Bestimmungsschlüssel für die aquatischen Makrophyten in Deutschland (Weyer & Schmidt 2007).



Grossansicht der Verbreitungskarte siehe PLANDARSTELLUNGEN

Die Geweih-Armluchteralge (auch Hornblättrige oder Filzige Armluchteralge genannt) kommt typischerweise in grossen Seen vor. In der Schweiz war sie noch im 19. Jahrhundert häufig im Bodensee, Zürichsee, Neuenburgersee, Murtensee oder Genfersee zu finden und baute dort im Flachwasser artenarme Massenbestände auf (vgl. BRAUN 1849). Durch zunehmende Eutrophierung, die ab der Mitte des 20. Jahrhunderts verstärkt einsetzte, ist die oligotrophente Art aus den meisten dieser Seen verschwunden.

Gegenwärtig finden sich die grössten Vorkommen der Schweiz im Vierwaldstättersee, wo *Chara tomentosa* für weite Litoralbereiche als Charakterart gelten kann. Die Art siedelt bevorzugt im Flachwasser zwischen 0.5 und 5 m Tiefe. Weitere, aber deutlich individuenärmere Vorkommen sind gegenwärtig aus dem Sarnersee, dem Silsersee und dem Ägerisee bekannt, auch im Bodensee hat sie sich mittlerweile wieder vereinzelt eingefunden. Aufgrund ihrer Lebensraumsprüche gilt *Chara tomentosa* als guter Zeiger für oligotrophe (bis mesotrophe) Verhältnisse.

Im Vierwaldstättersee tritt *Chara tomentosa* in 45 % der Transekte und auf 52 % der untersuchten Fläche auf. Sie ist damit deutlich weniger verbreitet als die beiden oben genannten Arten *Chara contraria* und *Chara globularis*, nimmt jedoch mit 28 % Anteil an der Gesamtabundanz quantitativ den Spitzenplatz ein. Die Art weist innerhalb der untersuchten Transektlinien einen deutlichen Verbreitungsschwerpunkt im flachen Luzerner See auf. Hier dominiert sie über weite Strecken den Gewässergrund und verdrängt nahezu alle anderen Makrophyten. Grössere Dichten (\geq Stufe 3) sind im Küssnacher See, am Nordufer des Vitznauer Beckens (Hertenstein bis Weggis), im Horwer See und am Südufer des Gersauer Beckens (Beckenried bis Buochs) vorhanden. Im Urner- und Alpnacher See fehlt die Art vollständig (siehe auch Tab. 3 mit Kennzeichnung von Arten mit besonderem Verbreitungsmuster).

Die grösste Einzeldichte in einem Transekt erreicht *Chara tomentosa* mit Stufe 5 (76–100 %) im Luzerner See und Gersauer Becken. Im Küssnacher See, Weggis-Vitznauer Becken sowie Horw-Hergiswiler See kommen Transekte mit immerhin Stufe 4 (51–75 %) vor. In den übrigen beiden Seebecken fehlt diese Art praktisch vollständig (siehe auch Tab. 3 mit Kennzeichnung von Arten mit besonderem Verbreitungsmuster).

Weitere Angaben aus der Literatur: *Chara tomentosa* ist sehr empfindlich gegenüber mechanischer Belastung und auch gegenüber Verschmutzung (= oligotraphente Art). In der Eutrophierungsphase der grossen Seen ist die Art sukzessive zurückgegangen und praktisch verschwunden (KRAUSE 1997). In kalten Quell- und Bergseen treten Reinbestände dieser Art auf und sie sind durch ihre charakteristische rötlich braune Färbung bereits von Land aus zu erkennen. Bezüglich Tiefenverbreitung wird ein Bereich von 0.2–6 m bei einem Mittelwert von 4.0 m angegeben (BAFU 2012). Indikatorgruppe Makrophyten-Index = 2.0 (MELZER & SCHNEIDER 2001; Gruppe 1 = Arten mit Anzeige geringster Nährstoffbelastung, Gruppe 5 = Anzeige sehr hoher Nährstoffkonzentrationen).

Nitella opaca (Dunkle Glanzleuchteralge)

VERLETZLICH (VU)

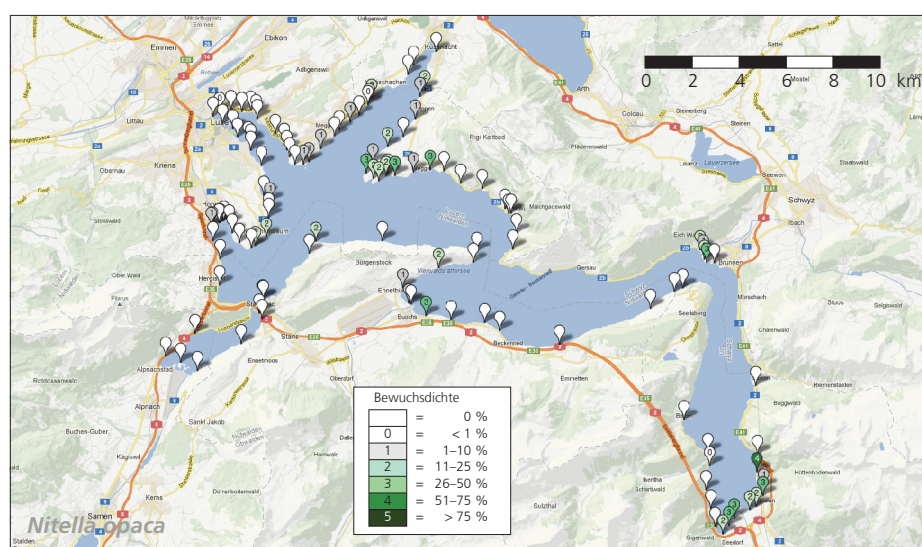


Foto: LINKS: A. Schwarzer (Vierwaldstättersee, 2007, im Auftrag von AquaPlus). RECHTS: Bestimmungsschlüssel für die aquatischen Makrophyten in Deutschland (Weyer & Schmidt 2007).

Die Dunkle Glanzleuchteralge ist eine formenreiche Art, die zusammen mit *N. flexilis*, *N. syncarpa* und *N. capillaris* eine Verwandtschaftsgruppe bildet. Sie wurde

früher nicht immer als eigenständige Art geführt. Bei BRAUN (1849) wird sie noch mit *N. syncarpa* zusammengefasst. MIGULA (1890) differenziert bereits diese vier, nahe miteinander verwandten Arten und weist auf die weite Verbreitung von *Nitella opaca* in der Schweiz hin.

Nitella opaca ist gegenwärtig die häufigste Art unter den einheimischen *Nitella*-Arten und kommt überwiegend im Mittelland und in den Seen der Nordalpen und des Engadins vor. Bei ihrer Standortwahl ist sie nicht wählerisch und ist in Kleingewässern und Seen gleichermaßen anzutreffen. Auch kommt sie nach KRAUSE (1997) in Fließgewässern an Standorten mit kräftiger Strömung vor. Sie besiedelt sowohl Flachwasserbereiche als auch tiefere Zonen. Im Gegensatz zu der sehr lichtbedürftigen Arten *Nitella hyalina* oder *N. tenuissima* ist sie auch an stark beschatteten Standorten anzutreffen.



Grossansicht der Verbreitungskarte siehe PLANDARSTELLUNGEN

Im Vierwaldstättersee tritt *Nitella opaca* in 37 % der Transekte und auf 15 % der untersuchten Fläche auf. Mit rund 7 % Anteil an der Gesamtabundanz liegt sie quantitativ an fünfter Stelle. Die Art ist regelmässig in einer Tiefe zwischen 5 und 12 m zu finden (also nicht in den flachen Uferzonen, sondern bevorzugt an der Halde, darum auch die deutliche Diskrepanz zwischen dem Vorkommen in den Transekten und der Fläche) und bildet nicht selten, zusammen mit *Chara globularis*, die Tiefengrenze der Vegetation. *Nitella opaca* weist im Vierwaldstättersee einen deutlichen Schwerpunkt im südlichen Abschnitt des Urner Sees auf. Hier bildet sie regelmässig die Tiefengrenze der Vegetation zwischen 9 und 12 m. Weitere Vorkommen mit grösserer Dichte (\geq Stufe 3) sind im Bereich Hopfräben (SZ) sowie zwischen Hertenstein und Weggis anzutreffen.

Die grösste Einzeldichte in einem Transekt erreicht *Nitella opaca* mit Stufe 4 (51–75 %) im Urner See. Im Küssnacher See, Weggis-Vitznauer Becken sowie Gersauer Becken kommen Transekte mit immerhin Stufe 3 (26–50 %) vor.

Weitere Angaben aus der Literatur: *Nitella opaca* kann Standortverluste durch Besiedlung neuer Gewässer ausgleichen (Pioniercharakter), eine dauerhafte Etablierung ist jedoch nur in von Grundwasser durchflossenen Seen möglich (KRAUSE 1981, 1997). *Nitella opaca* zählt zu den Tiefenwasserpflanzen oligotropher Seen,

da sie zum Wachstum nur geringe Lichtintensitäten benötigt (MELZER et al. 1986). Nach PIETSCH (1982) können Characeen als makrophytische Indikatoren für die ökochemische Beschaffenheit der Gewässer gewisse Bereiche des pH-Wertes anzeigen. So indizieren *Nitella*-Arten im Allgemeinen saure Standorte, während *Chara*-Arten eher Zeiger basischer Standorte sind. Bezüglich Tiefenverbreitung wird ein Bereich von 0.1–15 m bei einem Mittelwert von 4.1 m angegeben (BAFU 2012). Indikatorgruppe Makrophyten-Index = 2.5 (MELZER & SCHNEIDER 2001; Gruppe 1 = Arten mit Anzeige geringster Nährstoffbelastung, Gruppe 5 = Anzeige sehr hoher Nährstoffkonzentrationen).

***Nitellopsis obtusa* (Stern-Armeleuchteralge) POTENZIELL GEFÄHRDET (NT)**

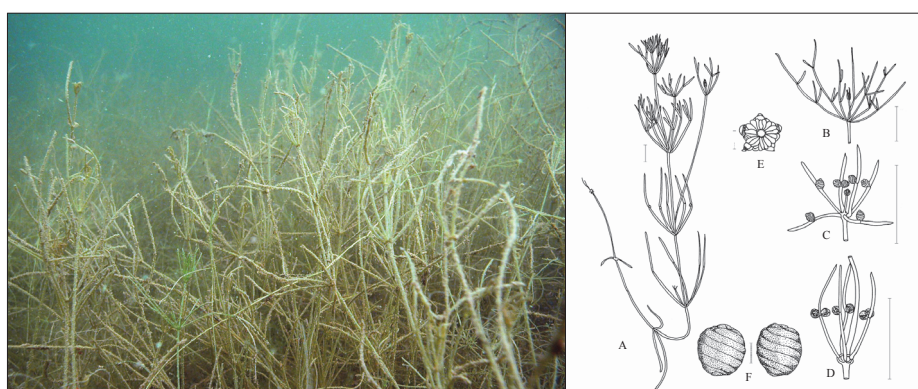
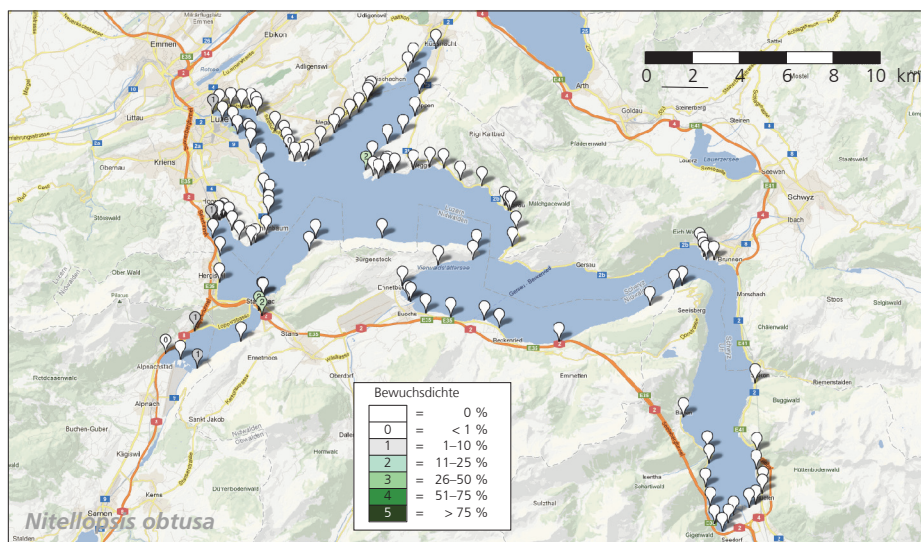


Foto: LINKS: <http://freenet-homepage.de/suesswassertauchen>. RECHTS: Bestimmungsschlüssel für die aquatischen Makrophyten in Deutschland (Weyer & Schmidt 2007).



Grossansicht der Verbreitungskarte siehe PLANDARSTELLUNGEN

Mit 1 % Abundanzanteil fällt *Nitellopsis obtusa* nicht mehr in die Gruppe der quantitativ bedeutsamen Arten des Vierwaldstättersees. Sie erreicht aber im Alp-nacher See einen Wert von 16 %, in den übrigen Seebecken ist sie gar nicht vertreten oder nur mit einem Anteil von ≤ 1 % (Frequenz von nur 8 % der Transekte und auf 5 % der untersuchten Fläche).

Die Stern-Glanzleuchteralge ist eine häufig vorkommende Characeen-Art in der Schweiz. Dies war nicht immer so. Noch bei MIGULA (1890) wird die Art als fehlend für die Schweiz angesehen. Mittlerweile kommt die Art in grossen Mengen in den grösseren heimischen Seen vor (z.B. Bodensee, Sempachersee, Vierwaldstättersee, Neuenburgersee, Lac de Joux, Genfersee), im Zürichsee bildet sie stellenweise dichte Einartbestände im Flachwasser. Insgesamt ist festzustellen, dass sich *N. obtusa* innerhalb von 100 Jahren auf die Seen in der gesamten Schweiz ausgedehnt hat. Dieses Ausbreitungsverhalten wird auf veränderte Standortansprüche zurückgeführt (KRAUSE 1985). Sie ist heute nicht mehr auf die tieferen Zonen in nährstoffarmen, klaren Seen beschränkt sondern wächst auch in Flachuferbereichen meso- bis eutropher Gewässer. Sie wird durch begrenzte Eutrophierung gefördert.

Nitellopsis obtusa ist auch gegenüber den Gefässpflanzen konkurrenzkräftig, sie kann sich selbst in dichten Makrophytenbeständen halten und dort dichte Teppiche ausbilden. Insgesamt bleibt festzuhalten, dass *Nitellopsis obtusa* aber im Vierwaldstättersee eine sehr lückenhafte Verbreitung zeigt. In stabilen Wasserpflanzengesellschaften mit dominierenden *Chara*-Arten wie z.B. im Luzerner See spielt sie in der Regel eine untergeordnete Rolle. Höhere Deckungswerte bis hin zur Dominanz erreicht sie dort, wo begrenzte Nährstoffeinträge stattfinden. Störungen (Bootsverkehr, Strömungen) kann sie gut kompensieren. Das anteilmässig erhöhte Vorkommen im Alpnacher See passt in das Bild der eher nährstoffreicheren Bedingungen in diesem Seebecken (siehe Tab. 1).

Die grösste Einzeldichte in einem Transekt erreicht *Nitellopsis obtusa* mit Stufe 3 (26–50 %) im Küssnachter See und Gersauer Becken.

Elodea nuttallii (Nuttalls Wasserpest)

NICHT BEWERTET (NE) Neophyt

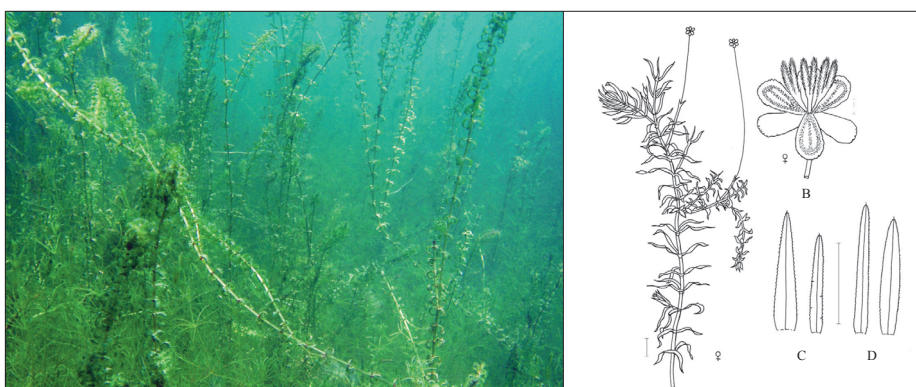
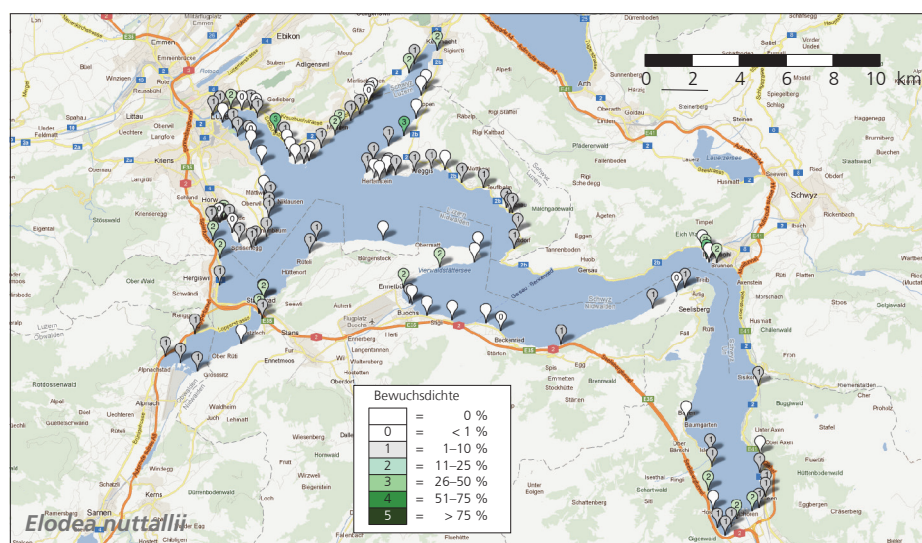


Foto: LINKS: A. Schwarzer (Vierwaldstättersee, Luzern-Tribschen LU, 2007, im Auftrag von AquaPlus). RECHTS: Bestimmungsschlüssel für die aquatischen Makrophyten in Deutschland (Weyer & Schmidt 2007).

Nuttalls Wasserpest stammt ursprünglich aus Südostkanada und Nordamerika und hat mittlerweile eine fast weltweite Verbreitung erreicht. In England gelang 1914 vermutlich der erste Nachweis in Europa, wobei die Pflanzen zuerst als *Hydrilla verticillata* bestimmt wurden. Auf dem europäischen Kontinent wurden erstmals 1939 in Belgien (allerdings erst im Jahr 1955 als solche bestimmt) und 1941 in den Niederlanden weibliche Pflanzen der Art beobachtet. Ein erster Nachweis

in Deutschland erfolgte im Jahr 1953. Seit den 1980er Jahren ist sie auch in der Schweiz in den meisten Seen der tieferen Lagen anzutreffen. In Europa vermehrt sich die Pflanze ausschliesslich durch das Abbrechen und Weiterwachsen der brüchigen Stängel. Jedes abgetrennte Fragment ist sofort unabhängig und selbständig und entwickelt sich in kurzer Zeit zu einer kompletten Pflanze. *Elodea nuttallii* verdrängt heute zusehends ihre Schwesterart *Elodea canadensis* (SIMPSON 1984), welche bereits 1836 erstmals in Europa nachgewiesen wurde und sich vorgängig sehr effektiv ausgebreitet hat. Diese Entwicklung ist seit etwa Mitte der 1990er Jahren auch in der Schweiz zu beobachten (AQUAPLUS, diverse Untersuchungen in Seen).



Grossansicht der Verbreitungskarte siehe PLANDARSTELLUNGEN

Die Art hat im Lauf der letzten fünf Jahrzehnte schnell in Mitteleuropa ausgebreitet und eingebürgert und kommt nahezu in allen Gewässertypen vor (WOLFF 1980). Sie kommt bevorzugt in warmen, nährstoffreichen, stehenden bis langsam fließenden Gewässern, Seen und Teichen vor und in Wassertiefen von meist weniger als 6 bis 8 Meter (CASPER & KRAUSCH 1980).

Im Vierwaldstättersee tritt *Elodea nuttallii* in 76 % der Transekte und auf 26 % der untersuchten Fläche auf. Die Frequenz auf die Transekte bezogen ist ähnlich wie bei den beiden verbreitetsten Arten *Chara contraria* und *Ch. globularis*, hinsichtlich der Fläche fällt sie jedoch deutlich ab (siehe auch Tab. 3 mit Kennzeichnung von Arten mit besonderem Verbreitungsmuster). Dies weist auf eine Tiefenpräferenz hin. Tatsächlich ist *Elodea nuttallii* allgemein eher in unteren Lagen anzutreffen, wo andere Arten mit den reduzierten Lichtverhältnissen nicht mehr auskommen. Weitere bevorzugte Standorte sind Störstellen wie z.B. Hafenanlagen, Einleitungen, Ankerplätze etc. Mit 5.8 % Anteil an der Gesamtabundanz liegt die Art quantitativ an sechster Stelle.

Sie weist nur vereinzelt eine grössere lokale Bedeutung auf. Dichte (\geq Stufe 3) auf. Die grösste Einzeldichte in einem Transekt erreicht *Elodea nuttallii* mit Stufe 3 (26–50 %) im Luzerner See, Küssnachter See und Gersauer Becken.

Über die Entwicklung der *Elodea*-Arten und die Gefahr eine allfälligen invasiven Ausbreitung siehe Kap. 3.4.3.

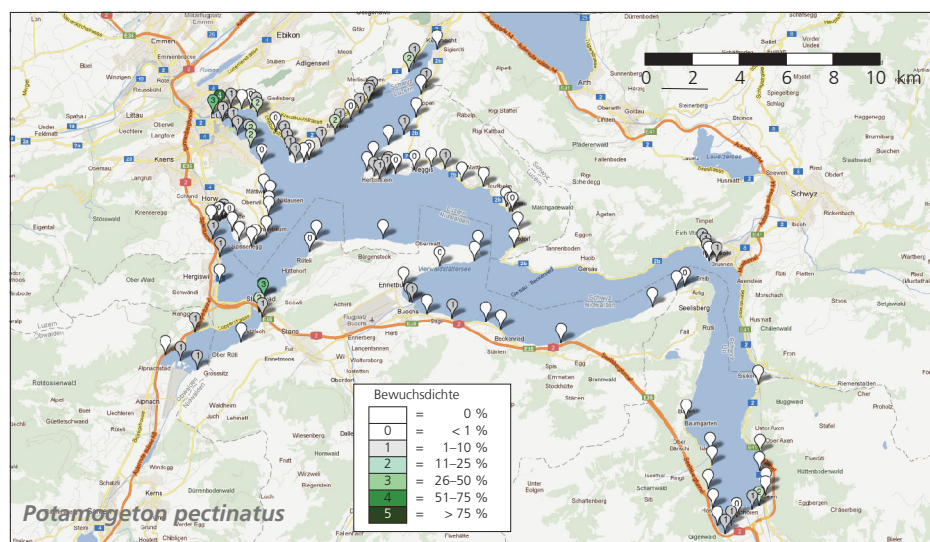
Weitere Angaben aus der Literatur: SCHÜTZ (1993) bezeichnet die Art als eutraphent, wenngleich er ihr eine grosse ökologische Amplitude zuspricht: Sie kann sich in nährstoffreichen Gewässern durchsetzen, sie ist aber auch in nährstoffärmeren Gewässern durchaus konkurrenzfähig. Hier können Massenbestände zuverlässig auf punktuelle Belastungsquellen (z.B. durch Einleitungen) hinweisen. Die Pflanze erträgt Strömung und Wellenschlag weniger gut als *Elodea canadensis* (CASPER & KRAUSCH 1980), was vermutlich ein Vordringen in flachere Zonen vereitelt. Auf tiefen Schlammböden klarer Seen kann *E. nuttallii* Dominanzbestände ausbilden (HUMBERG 2003). Indikatorgruppe Makrophyten-Index = 4.5 (MELZER & SCHNEIDER 2001; Gruppe 1 = Arten mit Anzeige geringster Nährstoffbelastung, Gruppe 5 = Anzeige sehr hoher Nährstoffkonzentrationen).

Potamogeton pectinatus (Kamm-Laichkraut)

NICHT GEFÄHRDET (LC)



Foto: LINKS: A. Schwarzer (Zürichsee, 2008, im Auftrag von AquaPlus). RECHTS: Bestimmungsschlüssel für die aquatischen Makrophyten in Deutschland (Weyer & Schmidt 2007).



Grossansicht der Verbreitungskarte siehe PLANDARSTELLUNGEN

Das Kamm-Laichkraut ist, ähnlich wie *Elodea nuttallii*, eine konkurrenzkräftige Art, die in vielen Gewässertypen vorkommt. Sie weist eine breite ökologische Amplitude auf und kann sowohl nährstoffarme Seen als auch hochproduktive

Gewässer besiedeln. Aufgrund ihrer Wuchsform ist sie gegenüber mechanischen Einflüssen (Strömung, Wellenschlag) wenig empfindlich.

Im Vierwaldstättersee tritt *Potamogeton pectinatus* in 56 % der Transekte und auf 41 % der untersuchten Fläche auf. In grösserer Dichte (\geq Stufe 3) ist sie aber nur vereinzelt anzutreffen, so z.B. bei Stansstad (was dort auf eine nährstoffbegünstigte bzw. belastete Flachwasserzone hindeutet) sowie im Bereich des Seeausflusses in Luzern. Hier erreicht die Art Wuchshöhen von über 3 m. Mit 8 % Anteil an der Gesamtabundanz liegt die Art quantitativ an vierter Stelle.

Die grösste Einzeldichte in einem Transekt erreicht *Potamogeton pectinatus* mit Stufe 4 (51–75 %) im Luzerner See. Im Horw-Hergiswiler See kommen Transekte mit immerhin Stufe 3 (26–50 %) vor.

Weitere Angaben aus der Literatur: Aufgrund ihrer morphologischen Robustheit kann die Art in Still- und in Fließgewässern wachsen und ist unter meso- bis eutrophen Bedingungen sehr konkurrenzstark. Indikatorgruppe Makrophyten-Index = 4.0 (MELZER & SCHNEIDER 2001; Gruppe 1 = Arten mit Anzeige geringster Nährstoffbelastung, Gruppe 5 = Anzeige sehr hoher Nährstoffkonzentrationen).

Potamogeton pusillus (Kleines Laichkraut)

STARK GEFÄHRDET (EN)

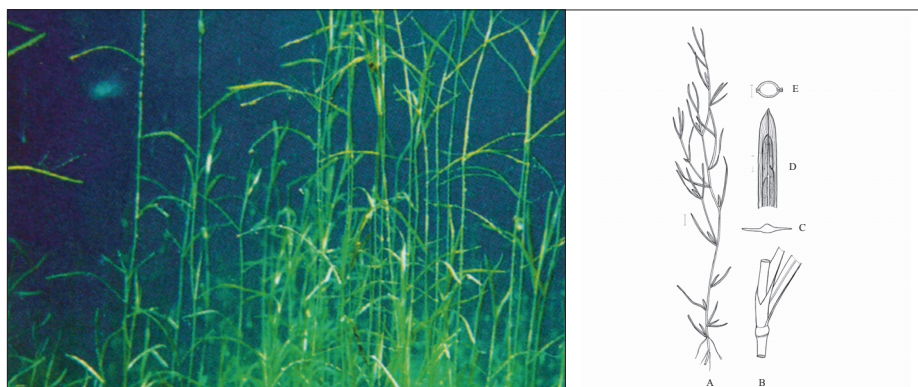
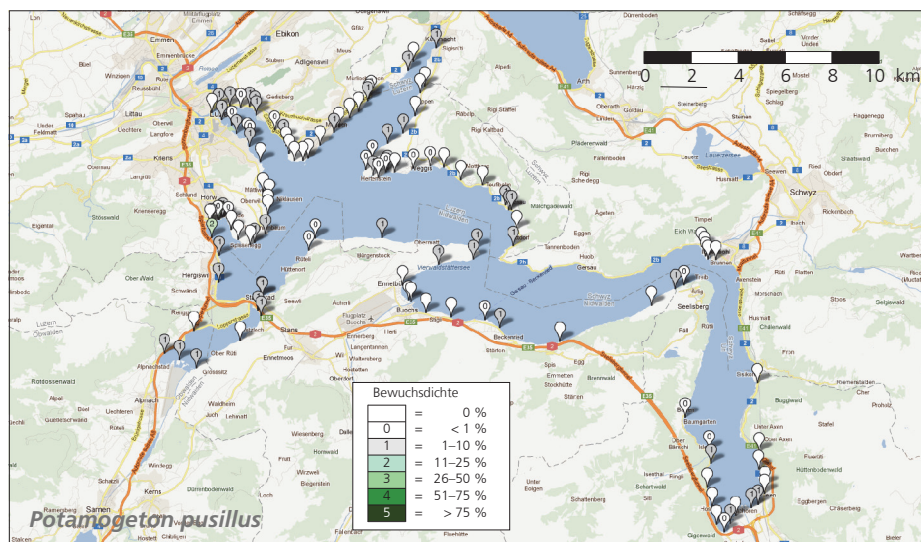


Foto: LINKS: Aus «Makrophyten in Baggerseen der Oberrheinebene», LFU Baden-Württemberg, 2004. RECHTS: Bestimmungsschlüssel für die aquatischen Makrophyten in Deutschland (Weyer & Schmidt 2007).

Mit 2 % Abundanzanteil fällt *Potamogeton pusillus* (wie auch *Nitellopsis obtusa*) nicht mehr in die Gruppe der quantitativ bedeutsamen Arten des Vierwaldstättersees. Sie erreicht aber im Alpacher See auf einen Wert von 10 %, in den übrigen Seebecken ist sie zwar überall vertreten, aber mit maximal höchstens 3 %. Sie tritt in 55 % der Transekte und aber nur auf 24 % der untersuchten Fläche, dies bedeutet, dass sie relativ verbreitet aber überall nur in geringer Häufigkeit auftritt (siehe auch Tab. 3 mit Kennzeichnung von Arten mit besonderem Verbreitungsmuster).

Das Zwerg-Laichkraut ist ein eher unscheinbarer Vertreter aus der Gruppe der Laichkräuter. Meist wächst sie als Einzelpflanze oder truppweise gemeinsam mit anderen Laichkräutern, selten kommen dichte Einart- oder Dominanzbestände vor. Im Vierwaldstättersee findet sich die Art mit grösseren Abundanzanteilen im Weggis-Vitznauer Becken, im Horw-Hergiswiler See und im Alpacher See, häu-

fig aber an Standorten mit geringer Gesamtdichte (was zwangsläufig auch zu einer geringen Einzeldichte für die vorkommenden Arten führt). Anhand der grösseren Vegetationsanteile im Raum Vitznau scheint sie von den Einflüssen der kleinen Badestrände und Hafenanlagen zu profitieren. Die einzigen dichteren Bestände erreicht *Potamogeton pusillus* mit Stufe 2 (11–25 %) an zwei Stellen im Horw-Hergiswiler See (Horwerbuch und bei Stansstad), wo sie als euträphente Art durch die Schlammauflage und durch den enormen Nährstoffeintrag der vielen Wasservögel offenbar gute Bedingungen vorfindet. Die Art wird sehr gerne von Blässralen und Haubentauchern gefressen.



Grossansicht der Verbreitungskarte siehe PLANDARSTELLUNGEN

Weitere Angaben aus der Literatur: Die Art mit Präferenz für nährstoffreichere Standorte wie beispielsweise Häfen siedelt meist als Einzelpflanze zwischen 1 und 2 m Tiefe an. Indikatorgruppe Makrophyten-Index = 3.5 (MELZER & SCHNEIDER 2001; Gruppe 1 = Arten mit Anzeige geringster Nährstoffbelastung, Gruppe 5 = Anzeige sehr hoher Nährstoffkonzentrationen).

Seltene, gefährdete und geschützte Arten

Als «selten» sollen Arten gelten, welche mit einem Häufigkeitsanteil von $\leq 1\%$ im Artenspektrum des Sees (oder einzelner Seebecken) vertreten sind. Zur Beurteilung der Gefährdung werden die Klassierungen der Roten Liste der Farn- und Blütenpflanzen der Schweiz (BUWAL 2002) sowie der Characeen (BAFU 2011) beigezogen. Als «geschützt» sind die in Anhang 1 und 2 der Verordnung zum Natur- und Heimatschutzgesetz (NHV) aufgeführten Arten sowie die Charakterarten der entsprechenden Vegetationstypen zu betrachten.

Einen Überblick über die Kategorien «Seltenheit» und «Gefährdung» anhand der Häufigkeitsanteile und der Rote Liste-Klassifizierungen liefern Tabelle 1 (Artenliste) und Tabelle 4 (Vergleichende Darstellung der Arthäufigkeiten im ganzen See und der einzelnen Seebecken). Die geografische Lokalisierung des Auftretens der betreffenden Arten ist den PLANDARSTELLUNGEN zu entnehmen.

- Seltene Arten mit einer Häufigkeit von ≤ 1 % im ganzen See sind in grosser Zahl vertreten, so gehören 7 der 10 Characeen und 18 der 24 Phanerogamen zu dieser Kategorie (siehe Tab. 4), insgesamt also 71 % des Artenspektrums. Wird das Kriterium auf das «Vorkommen von ≤ 1 % in allen Seebecken» erweitert, so verbleiben von den beiden Gruppen 16 Arten mit Seltenheitscharakter (46 %):
 - Characeen (3 Arten): *Chara denudata*, *Chara filiformis*, *Tolypella glomerata* (EN)
 - Phanerogamen (13 Arten): *Callitriche sp.*, *Ceratophyllum demersum* (EN), *Myriophyllum spicatum*, *Nuphar lutea* (VU), *Potamogeton bertholdii*, *Potamogeton lucens*, *Potamogeton trichoides* (CR), *Potamogeton x nitens* (EN), *Potamogeton x salicifolius*, *Ranunculus trichophyllus*, *Schoenoplectus lacustris*, *Utricularia vulgaris* (EN), *Zannichellia palustris* (VU).

Rote Liste-Klassifizierungen mit Gefährdungsgraden: VU = verletzlich / EN = stark gefährdet / CR = vom Aussterben bedroht

Besondere Beachtung soll jenen Arten zukommen, welche für den ganzen See selten sind und darüberhinaus nur in einem Seebecken vorkommen.

- Phanerogamen (5 Arten): *Callitriche sp.* (nur Horw-Hergiswiler See), *Myriophyllum verticillatum* (nur Alpnacher See), *Potamogeton bertholdii* (nur Gersauer Becken), *Potamogeton x salicifolius* (nur Küssnachter See), *Utricularia australis* (VU; nur Alpnacher See).
- Im Vierwaldstättersee sind 14 Arten mit einem erhöhten Gefährdungsgrad vertreten (VU = verletzlich / EN = stark gefährdet / CR = vom Aussterben bedroht), 5 in der Gruppe der Characeen, 9 in jener der Phanerogamen. Gemessen am ganzen Artenspektrum beträgt der Anteil der gefährdeten Arten 26 %. Den höchsten regionalen Gefährdungsgrad der Stufe «CR» weisen die Arten *Potamogeton friesii* (Fries' Laichkraut) und *Potamogeton trichoides* (Haarblättriges Laichkraut) auf. Die meisten der Rote Liste-Arten treten im ganzen See oder mindestens in einem der Seebecken mit mehr als 1 % Häufigkeit auf, sind also nicht selten. Für etliche der klassierten Phanerogamen (Blütenpflanzen) könnte eine Aktualisierung der Roten Listen möglicherweise eine Abschwächung des Gefährdungsgrades zur Folge haben, weil in der Zwischenzeit aus Untersuchungen von diversen Seen deutlich mehr Daten vorliegen. Die Einschätzung der Characeen ist hingegen aktuell (Stand 2011). Es ist nun festzustellen, dass verschiedene Arten als «verletzlich» eingestuft sind, obwohl sie im Vierwaldstättersee häufig vorkommen. Dies trifft auf *Chara tomentosa* zu, welche mit 28 % Anteil die quantitativ bedeutendste Art ist sowie auch auf *Nitella opaca* mit 7 %. Der Grund für den trotzdem erhöhten Gefährdungsgrad liegt darin, dass für diese Arten in der Schweiz das Besiedlungsareal fragmentiert und beschränkt ist. So ist bei *Chara tomentosa* der Vierwaldstättersee eines der wenigen Verbreitungsgebiete (siehe BAFU 2011).
- Im Artenspektrum des Vierwaldstättersee ist mit *Nuphar lutea* (Teichrose) eine Art vertreten, welche explizit auch in der Liste der geschützten Pflanzen gem. Anhang 2 der NHV aufgeführt ist. Weitere Arten werden in der Liste

der schützenswerten Lebensraumtypen gem. Anhang 1 der NHV eingeschlossen, so die Characeen im Typ «Charion Armleuchteralgenrasen», verschiedene Laichkräuter (und andere Begleitarten) im «Potamion Laichkrautgesellschaften) sowie *Schoenoplectus* (Teichbinse) und *Phragmites* (Schilf) in «Phragmition Stillwasserröhricht».

Spezielle Massnahmen zum Schutz, zur Erhaltung oder Förderung der genannten Arten können nicht allein aufgrund ihres Seltenheitswertes oder Gefährdungsgrades abgeleitet werden. Viele gehören zum eutraphenten Spektrum (sind also nährstoffliebend), wodurch sie im mittlerweile wieder oligotrophen Vierwaldstättersee quasi «natürlicherweise» keine optimalen Bedingungen vorfinden bzw. zu stark konkurrenziert werden. Gewisse Arten, im Speziellen der Teichfaden (*Zannichellia palustris*) sind ausgesprochene Verschmutzungszeiger (siehe MELZER ET AL. 1986). Sie sind an Stellen punktuellen oder diffusen, meist lokal begrenzten Nährstoffeinträgen gebunden. Sie indizieren im eigentlichen Sinne potenziell sanierungsbedürftige Abschnitte. Eine «Förderung» müsste mit einem aktiven Eutrophierung einhergehen, was im Widerspruch zum Zweckartikel des Gewässerschutzgesetzes stehen würde (Art 1c «Erhaltung natürlicher Lebensräume für die einheimische Tier- und Pflanzenwelt»). Hingegen können Arten, welche z.B. aufgrund des harten Uferverbau und der dadurch weiträumig fehlenden Wasserwechselzonen kaum oder nur noch in Restbeständen vorhanden sind, im Rahmen von Revitalisierungsmassnahmen gezielt gefördert oder sogar wieder angesiedelt werden. Siehe dazu auch die Ausführungen in den Kapiteln 3.4.3 und 4.

3.2 Vegetationsverhältnisse in den einzelnen Seebecken

Detailinformation im Vergleich der Seebecken sind in den Abbildungen 40–47, den Tabellen 4–5 und 12–20 sowie in den PLANDARSTELLUNGEN enthalten. Es erfolgten auch Zusammenstellungen nach kantonaler Zugehörigkeit der Seeufer, siehe Tabellen 6–7 und 21, die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich aber ausschliesslich auf die 7 Seebecken.

In der Interpretation wird auf die Ergebnisse Bezug genommen, wie sie übersichtsmässig in Tabelle 4 zusammengestellt sind. Die Werte beziehen sich auf die untersuchten 119 Transekte. Diese wurden von den Kantonen nach verschiedenen Kriterien und auch unter Berücksichtigung der vorhandenen finanziellen Mittel ausgewählt und sind nicht repräsentativ auf die Seebecken und auch nicht auf die Ufertypen verteilt. So kann es vorkommen, dass ein Seebecken bezüglich seiner Uferlänge zu wenige Transekte aufweist (z.B. Gersauer Becken, Alpnacher See) oder zu viele (z.B. Horw-Hergiswiler See, Küssnachter See). Oder es sind die breiten Flachwasserzonen zu stark berücksichtigt (z.B. Weggis Vitznauer-Becken, Horw-Hergiswiler See) oder die schmalen (z.B. Luzerner See, Küssnachter See).

In der nachfolgenden Zusammenstellung ist die Verteilung der Transekte und ihre Repräsentativität in den Seebecken ersichtlich. Weitere Angaben zur angesprochenen Problematik sind in Tabelle 1 und Abb. 48 aufgeführt.

Repräsentation der Ufertypen durch die untersuchten Transekte (nach Seebecken)

	5 LuzS	4 KuesS	3 VitznB	2 GersB	1 UrnS	6 HorwS	7 AlpnS
FWZ < 50 m	14.6	3.0	1.0	0.7	1.2	1.1	0.7
FWZ < 100 m	2.6	1.7	0.8	0.5	1.2	1.4	0.6
FWZ > 100 m	1.1	0.5	6.1	1.0	0.8	2.1	0.4
FWZ gesamt	1.2	1.3	1.0	0.6	1.1	1.6	0.5

Repräsentationsklassen

0.75–1.25	gut repräsentiert (Uferlänge ist zu 75–125 % durch Transekte repräsentiert)
0–0.75	zu schwach repräsentiert
1.25–2	zu stark repräsentiert
> 2	viel zu stark repräsentiert

Länge der Uferlinie und FWZ-Kategorien nach TEIBER-SIESSEGGGER (2010).

FWZ gesamt = 131.53 km (ohne Felsufer); Transektzahl = 119

Durch die unregelmässige bzw. unproportionale Verteilung der Transekte ergeben sich bei der Auswertung und Interpretation gewisse Schwierigkeiten und Unsicherheiten. Die Resultate sind zwar äusserst detailliert und differenziert und für die einzelnen Untersuchungsstellen sehr aussagekräftig, für Aussagen zu den Seebecken oder zum ganzen See wäre jedoch entweder eine Positionierung der Transekte in regelmässigen Abständen («statistisches Muster») oder zumindest eine proportionale Berücksichtigung der typischen Uferlebensräume eine wichtige Voraussetzung. In der vorliegenden Untersuchung ist dies wie erwähnt nicht der Fall, so dass die Ergebnisse der Vegetationsstruktur (z.B. Verteilung der relativen Häufigkeiten) innerhalb der Seebecken sowie Vergleiche zwischen den verschiedenen Seeteilen mit gewissen Vorbehalten zu betrachten sind. Im Wesentlichen dürfte sich die Problematik in einer zu starken oder zu schwachen Gewichtung einzelner Arten auswirken. Insbesondere ein übermässiger Anteil von breiten Flachwasserzonen fällt ins Gewicht, da diese jeweils grosse Flächen und in der Regel einen dichteren Bewuchs aufweisen und damit quantitativ überproportional in die Auswertung von Transektgruppen (z.B. Seebecken) eingehen. Es betrifft dies vor allem das Weggis-Vitznauer Becken und den Horw-Hergiswiler See. Im Hinblick auf zukünftige Erhebungen ist eine entsprechende Anpassung der Untersuchungsstandorte zu empfehlen.

Um wenigstens die Abundanzanteile, also die Pflanzenmenge als Ganzes, zwischen den Seebecken besser vergleichen zu können, wurde der Wert proportionalisiert (Hochrechnung unter Berücksichtigung der Uferlänge und Ufertypen mit 3 Breitenkategorien der Flachwasserzone). In den folgenden Beschreibungen der Seebecken ist dieser Wert mit «Anteil Abundanz - korrigiert» bezeichnet.

3.2.1 Urner See



In diesem Teilbecken des Vierwaldstättersees haben folgende naturräumliche Einflussfaktoren Auswirkungen auf die Besiedlung mit Wasserpflanzen:

Uferzonen aus steilen Hanglagen oder Felswänden:

Im Seelitoral können sich aufgrund des überwiegend Fjord-artigen Charakters des Urner Sees meist nur kleinflächige Uferzonen ausbilden. Oftmals fällt das Ufer steil ab und der Seegrund ist instabil und beweglich, sodass sich keine oder nur wenige Makrophyten auf dem nachrutschenden, grobkörnigen Substrat halten können. Kleinflächige Ausnahmen bilden z.B. die Flachwasserzonen bei Bauen oder bei Sisikon.

Einmündung der Reuss:

Der einzige flächenmässig bedeutende Litoralbereich im Urner See befindet sich an dessen Südende, wo die Urner Reuss in den See mündet. Durch die Revitalisierungsmassnahmen im Deltabereich (Projekt «Seeschüttung», 2001–2008) entstanden im Anschluss an die Seedorfer Bucht wieder vermehrt flachgründige Bereiche, die von Makrophyten besiedelt werden konnten (AQUAPLUS 2009). Die Reuss bringt aber auch kaltes geschiebereiches Wasser, welches – bedingt durch die Erdrotation (Corioliskraft) – in Richtung Seedorfer Bucht abdriftet und sich dort entsprechend der Temperatur einschichtet. Die eingetragenen Feinsedimente der Reuss verursachen zum Teil anhaltende Trübungen und beeinflussen damit die Lichtverhältnisse, welche für das Aufkommen und Wachstum der Wasserpflanzen eine entscheidende Rolle spielt.

Geringe kommunale Stoffeinträge, aber Einflüsse durch Kiesentnahme:

Im Umfeld des Urner Sees gibt es keine grossflächigen Versiegelungsflächen, lediglich von den Ortslagen Sisikon, Flüelen und Bauen können bei Starkrege-

neraignissen ungeklärte Abwässer in den See gelangen. Das gereinigte Abwasser aus dem unteren Reusstal gelangt mit einer Tiefenwassereinleitung in den See, eine allfällige Beeinflussung der Wasserpflanzen durch Nährstoffeinträge wird dadurch wirksam verhindert. Eine der grössten und vielfältigsten Flachwasserzonen des Vierwaldstättersees – das Urner Reussdeltagebiet – hat durch Kiesabbau seit 1905 eine markante Verringerung erfahren, ein Teil davon ist wie oben erwähnt seit dem Jahr 2001 durch Einbringen von Schüttmaterial aus dem Tunnelbau wieder regeneriert worden (siehe u.a. JUSTIZDIREKTION URI 2009).

Einflüsse durch Bootsanlegestellen, Häfen, Badeanlagen und Schwemmholz:

Im Urner See befinden sich insgesamt 7 Schiffsstationen und 3 Häfen. Im unmittelbaren Umfeld der Anlegestellen der Kursschiffe wird die Makrophytenvegetation vor allem durch mechanischen Stress (Wasserwirbel, Wechselströmung, Sedimentauswaschung) beeinflusst. Auch der Schiffsverkehr der durch das Kieswerk verursacht wird hat deutliche Auswirkungen auf die Wasservegetation an den Landungsstellen.

Weiter befinden sich in den Gemeinden Sisikon, Flüelen und Seedorf Badeanstalten, wobei v.a. letztere für die Wasserpflanzen von Bedeutung sein dürfte. Sie liegt am Ufer der flachen Seedorferbucht und der potenzielle Bereich der Trittschäden bis in etwa 1.5 m Wassertiefe ist relativ gross. Daneben spielt auch das typische Schwemmholzaufkommen im Flachwasserbereich des Urner See-Südufers eine Rolle. Die absinkenden Äste oder Stammteile bewirken durch den starken Wellenschlag eine mechanische Schädigung der Vegetation in ihrem Umfeld.

Auch die Verbauungen ist nicht zu vernachlässigen, gesamthaft sind 73 % der Uferlinie – ausserhalb der Felsufer – betroffen (vgl. TEIBER-SIESSEGGGER 2010). Der wertvollste Abschnitt, das «Reussdeltagebiet» zwischen Flüelen und Seedorf weist jedoch mehrheitlich naturnahe Ufer auf.

Vollständige Durchmischung des Wasserkörpers / starke Föhnstürme:

Aufgrund der Nord-Süd-Ausrichtung des Urner Sees können Föhnstürme das Seebecken mehrmals im Jahr vollständig durchmischen (Holomixis), dadurch gelangt sauerstoffreiches Oberflächenwasser in die Tiefe und sorgt für eine Oxidation der oberen Sedimentschichten. Sedimentierte Nährstoffe (v.a. Phosphorverbindungen) bleiben so im Sediment gebunden. Der regelmässig auftretende starke Wellenschlag am Südufer, bedingt durch die nachmittäglichen Nordwinde (Bise) während der Vegetationszeit, üben einen starken mechanischen Stress auf die Litoralvegetation aus. Damit einher geht auch die Ablagerung von grossen Mengen Treibholz, welches die Schilfbestände und die Characeen im Flachwasser schädigen. Zu den speziellen Wind- und Wellenbedingungen siehe Abb. 34).

Vegetationsverhältnisse

Von den insgesamt 119 Tauchtransekten befinden sich 16 im Urner See. Aufgrund der oben beschriebenen Rahmenbedingungen wurde ein Grossteil davon im südlichen Teil des Urner Sees zwischen Sisikon, Flüelen und Bauen angelegt.

Die folgende Zusammenstellung zeigt die Proportionalitäten der erhobenen Daten mit den morphologischen Rahmenbedingungen:

Anteil Uferlinie	Anteil Transekte	Anteil Abundanz	Anteil FWZ < 100 m Breite	Anteil FWZ > 100 m Breite
12 %	13 %	6 %	13 %	12 %
		7 % korrigiert		

Alle Angaben auf den ganzen VWS bezogen. Beispiel: 13 % der Flachwasserzonen < 100 m befinden sich im Urner See. Breite FWZ bezieht sich auf Uferabstand bis 4 m Wassertiefe. Rot markierte Werte: Deutliche Abweichung zum Anteil der Uferlinie des VWS (100 % = 131.53 km, ohne Felsufer). Korrigierter Abundanzanteil = Hochrechnung der effektiv untersuchten Transekte auf die ganze Uferlinie des Seebeckens mit Berücksichtigung der Ufertypen (Breite der Flachwasserzone < 100 m / > 100 m). Weitere Angaben siehe Tab. 1 und Abb. 46.

Auffällig ist die stark unterdurchschnittliche Abundanz, während die übrigen Werte ungefähr proportional zur Uferlinie sind. Auch der korrigierte Abundanzwert bleibt tief, die geringe Veränderung zum Originalwert widerspiegelt die Tatsache, dass mit den Transekten die verschiedenen Ufertypen repräsentativ vertreten sind (siehe Tabelle eingangs dieses Kapitels). Die Flächen sind demnach weniger dicht bewachsen und/oder die Vegetation reicht weniger weit in die Tiefe als in anderen Seeteilen. Der Grund liegt offensichtlich nicht in den morphologischen Bedingungen, es müssen andere Faktoren eine Rolle spielen. In Frage kommen verminderter Lichteinfall aufgrund der Topografie, mechanische Effekte durch die überdurchschnittlich auftretenden windinduzierten Wellenkräfte, häufige Trübungen durch wellenbedingte Aufwirbelungen im Uferbereich und aufgrund von Feinsedimenteinträgen durch die Reuss sowie allenfalls Instabilitäten oder ungünstige Beschaffenheit des Untergrundes (weitere Ausführungen siehe Kap. 3.3).

Der Urner See ist das artenärmste Seebecken, insgesamt kommen nur 17 Arten vor (Mittelwert: 21 Arten), 5 gehören zur Gruppe der Characeen und 12 zu den Gefässpflanzen. 3 Arten sind nicht in den berücksichtigten Transekten enthalten (sog. Zusatz-Arten).

Die mittlere Bewuchsdichte von 26–50 % (Dichtestufe 3) ist im Urner See von allen Seebecken am kleinsten. Im Bereich zwischen Flüelen und Seedorf kommen aber durchaus grössere Abschnitte mit dichtem Bewuchs (51–75 %) vor. 54 % der untersuchten Fläche sind mit einer Dichte > 50 % bewachsen (ganzer See: 76 %). Die Bewuchsgrenze der Vegetation liegt bei 14.5 m Tiefe, im Mittel bei 9.6 m (ganzer See: 10.4 m).

Dominierend sind Characeen mit 64 % Abundanzanteil, häufigste Art ist *Nitella opaca* mit allein 33 %, in deutlichem Abstand folgen *Chara contraria* mit 17 % und *Chara globularis* mit 11 %. Die Armleuchteralgen kommen in allen Tiefenstufen vor: Die ufernächsten Bereiche werden von *Chara aspera*, zusammen mit *Chara contraria* besiedelt. Im weiteren Verlauf eines typischen Transektes mischt sich *Chara globularis* in mittleren Tiefen vermehrt dazu und bildet häufig mit *Nitella opaca* die Tiefengrenze der Vegetation. Der Characeen-Anteil im Urner See ist im Vergleich zum ganzen See (74 %) unterdurchschnittlich. Er ist praktisch identisch mit jenem des Horw-Hergiswiler Sees. Nur der Alpacher See liegt noch tiefer. Es kommen vor allem die Lichtverhältnisse dafür in Frage, einerseits die topografisch bedingte geringere Sonnenscheindauer als beispielsweise im Küssnacher See (Flüelen: 1'166 / Küssnacht: 1'302, gem. www.suntag.ch) sowie andererseits die zuflussbedingten Trübephasen (Reuss) und die Aufwirbelungen durch häufigen Nordwindlagen (Bise). Auch die welleninduzierten mechanischen Belastungen können eine Rolle spielen, sie werden durch Characeen insgesamt

eher schlechter ertragen. Dies trifft insbesondere für *Chara tomentosa* zu (BREITHAUPT 2008). Für diese Art besteht auch eine Korrelation zum Kalkgehalt des Sedimentes (BREITHAUPT 2008). Aufgrund des grösstenteils aus Silikatgesteinen bestehenden Einzugsgebietes der Reuss dürfte dieser vermutlich eher unterdurchschnittlich sein. Diese beiden Faktoren kommen unter Umständen als Erklärung für die Absenz der im See häufigsten Art in Frage (siehe dazu auch Kap. 3.4.3).

Häufigste Arten unter den Gefässpflanzen sind *Elodea nuttallii* mit 12 % und *Potamogeton pectinatus* mit 11 %. Die beiden Arten gehören zum euträphenten Spektrum und repräsentieren gestörte Standorte (z.B. Schiffsanlegestellen) oder lokale Nährstoffeinträge. Allenfalls profitiert *Elodea nuttallii* von den eher limitierenden Lichtverhältnissen in diesem Seeteil und *Potamogeton pectinatus* durch ihre relative Unempfindlichkeit gegenüber dem wellenbedingten mechanischen Stress in den ufernahen und flacheren Bereichen.

Bezüglich der strukturellen Ähnlichkeit der Vegetation im Urner See zeigt sich folgendes Bild:

Im Vergleich jedes der 16 Transekte zu allen anderen ergibt sich ein Mittelwert von 16 % (Index K), was als geringe Homogenität zu klassifizieren ist. Im Schnitt zeigen damit die einzelnen Transekte nur mit weniger als einem Fünftel aller übrigen Transekte eine Übereinstimmung auf Niveau von mindestens mittlerer Ähnlichkeit. Am «repräsentativsten» sind insgesamt 5 Transekte mit jeweils 27 % Gemeinsamkeit zu den übrigen Standorten. Bei 6 Transekten besteht zu keinem oder höchstens einem einzigen anderen Standort eine Ähnlichkeit. In der grafischen Darstellung der Ähnlichkeitswerte und der Dichteunterschiede für jeden der möglichen Paarvergleiche ist nur bei 13 % eine Übereinstimmung in der Struktur und der Dichte ersichtlich, weitere 3 % weisen mindestens noch die gleiche Struktur auf (zusammen ergibt dies die oben erwähnten 16 % für den Index K). In 36 % besteht nur in der Dichte und bei 48 % bei keinem der beiden Kriterien eine Übereinstimmung.

Fazit: Der Urner See zeigt eine sehr heterogene und kleinräumig wechselnde Vegetationsstruktur, es gibt innerhalb des Sees auch kaum einen grösseren Abschnitt mit einem mehr oder weniger gleichbleibenden Bewuchs.

3.2.2 Gersauer Becken



In diesem Teilbecken des Vierwaldstättersees haben folgende naturräumliche Einflussfaktoren Auswirkungen auf die Besiedlung mit Wasserpflanzen:

Uferzonen aus steilen Hanglagen oder Felswänden:

Ähnlich wie im Urner See ist auch hier ein überwiegender Teil der Uferzonen sehr schmal, bedingt durch die steilen Hanglagen vor dem Gersauerstock, Urmiberg und Seelisberg. Grossflächige Ausnahmen gibt es nur im Bereich westlich der Muotamündung (Gebiet «Hopfräben») sowie in der ausgedehnten Bucht bei Ennetbürgen, die sich zwischen Beckenried und Buochli erstreckt und welche die Mündung der Engelberger Aa mit einschliesst. Die hohen Bergketten schützen das Gersauer Becken vor starken Winden.

Einmündung von Engelberger Aa und Muota:

Beide Fliessgewässer bringen grosse Mengen an kaltem, geschiebereichem Wasser, was auch durch die Kiesentnahmestellen an beiden Mündungszonen verdeutlicht wird. Die Deltas sind stark überprägt (mit rezenten Feinmaterialablagerungen bedeckt). Im Fall der Engelberger Aa wurden im August 2005 bei einem ausserordentlichen Starkregenereignis ganze Ortslagen überschwemmt und die Bucht von Ennetbürgen mit grossen Mengen an Schlamm überzogen, was starke Auswirkungen auf die Makrophytenflora hatte (vgl. AquaPlus 2005).

Verbau der Gewässereinmündungen (Deltas) und Uferverbau:

Neben den beiden grossen Zuflüssen Engelberger Aa und Muota gibt es im Gersauer Becken noch eine bemerkenswert hohe Anzahl von kleinen Bacheinmündungen, die potentiell geschiebereich sind und entsprechende Deltas ausbilden können. Insgesamt wurden von TEIBER-SIESEGGGER (2010) noch 21 Mündungs-

bereiche identifiziert, die jedoch ausnahmslos eine mässige bis starke Abweichung vom Referenz-Zustand aufwiesen. Dies ist umso gravierender in diesem an Flachufern armen Abschnitt des Vierwaldstättersees, da auf diese Weise kleinflächig verteilte Aufschüttungen und somit die Neubildung / Vergrösserung von Flachuferbereichen verhindert wird. Ähnlich auffällig ist der hohe Anteil an Uferverbau im Gersauer Becken, besonders markant ausgeprägt zwischen Beckenried und Ennetbürgen, jenem Bereich im Gersauer Becken also, der zumindest ansatzweise noch schmale Uferzonen aufweist. Hier besteht praktisch die gesamte Uferzone aus Mauern und Uferschüttungen. Ähnliches gilt für die Uferlinie westlich von Brunnen und von Gersau. Gesamthaft sind 41 % der Uferlinie betroffen (vgl. TEIBER-SIESSEGGGER 2010).

Einflüsse durch Bootsanlegestellen, Häfen und Badeanstalten:

Im Gersauer Becken befinden sich insgesamt 5 Schiffsstationen, 5 Häfen und 9 Badeanstalten. Im unmittelbaren Umfeld der Anlegestellen der Kursschiffe wird die Makrophytenvegetation vor allem durch mechanischen Stress (Wasserwirbel, Wechselströmung, Sedimentauswaschung) beeinflusst. Durch die Hafenanlagen kommt es neben dem Verbau durch starke Befestigung der Kaimauern (sehr eindrücklich im Föhnhafen bei Brunnen) auch zu Stoffeinträgen und Eutrophierung. Ähnliches gilt für die Badeanstalten, welche bevorzugt an flachen Uferpartien angelegt werden und zu starker mechanischer Belastung der Unterwasservegetation beitragen. Auch hier gibt es morphologische Beeinträchtigungen der Uferzonen und unerwünschte Stoffeinträge.

Vegetationsverhältnisse

Von den insgesamt 119 Tauchtransekten befinden sich 18 im Gersauer Becken. Aufgrund der oben beschriebenen Rahmenbedingungen wurde ein Grossteil der Transekte in der Bucht von Ennetbürgen und in der Flachuferzone bei Brunnen westlich der Muotamündung angelegt.

Die folgende Zusammenstellung zeigt die Proportionalitäten der erhobenen Daten mit den morphologischen Rahmenbedingungen:

Anteil Uferlinie	Anteil Transekte	Anteil Abundanz	Anteil FWZ < 100 m Breite	Anteil FWZ > 100 m Breite
24 %	15 %	10 %	31 %	8 %
		14 % korrigiert		

Alle Angaben auf den ganzen VWS bezogen. Beispiel: 31 % der Flachwasserzonen < 100 m befinden sich im Gersauer Becken. Breite FWZ bezieht sich auf Uferabstand bis 4 m Wassertiefe. Rot markierte Werte: Deutliche Abweichung zum Anteil der Uferlinie des VWS (100 % = 131.53 km, ohne Felsufer). Korrigierter Abundanzanteil = Hochrechnung der effektiv untersuchten Transekte auf die ganze Uferlinie des Seebeckens mit Berücksichtigung der Ufertypen (Breite der Flachwasserzone < 100 m / > 100 m). Weitere Angaben siehe Tab. 1 und Abb. 46.

Die Transektzahl ist deutlich unterproportional zur Uferlänge, der Bezug zur Abundanz wäre daher nur mit Vorbehalten interpretierbar. Der entsprechend korrigierte Wert liegt zwar etwas höher, aber gemessen zum Uferanteil bleibt die deutliche Diskrepanz bestehen. Die relativ geringe Veränderung zum Originalwert widerspiegelt die Tatsache, dass mit den Transekten die verschiedenen Ufertypen ± repräsentativ vertreten sind (siehe Tabelle eingangs dieses Kapitels). Es besteht

also eine klar unterdurchschnittliche Abundanz. Ein wichtiger Grund dürfte darin liegen, dass der Anteil breiten Flachwasserzonen, welche das Potenzial für eine ausgedehnte und dichte Vegetation (und damit einen adäquaten Abundanzanteil beinhalten) in diesem Seebecken massiv untervertreten sind. Unter umgekehrten Vorzeichen gilt dies für den Anteil der schmalen Flachwasserzonen. Die Abundanzlücke ist ähnlich deutlich wie im Urner See, die Ursachen dürften aber weitgehend verschieden sein. Während im Gersauer Becken der Mangel an Besiedlungsfläche ins Gewicht fällt, spielen im Urner See Faktoren wie Wellen, Trübungen und reduzierte Lichtbedingungen eine entscheidende Rolle (weitere Ausführungen siehe Kap. 3.3).

Das Gersauer Becken liegt im Mittelfeld des Artenspektrums, insgesamt kommen 21 Arten vor (Mittelwert: 21 Arten), 9 gehören zur Gruppe der Characeen und 12 zu den Gefässpflanzen.

Die mittlere Bewuchsdichte von 51–75 % (Dichtestufe 4) entspricht jener der meisten anderen Seebecken. 68 % der untersuchten Fläche sind mit einer Dichte > 50 % bewachsen (ganzer See: 76 %). Die Bewuchsgrenze der Vegetation liegt bei 14.8 m Tiefe, im Mittel bei 10.1 m (ganzer See: 10.4 m).

Dominierend sind auch hier die Armelechteralgen, 75 % der Gesamtabundanz nimmt diese Artengruppe ein. Die häufigsten Arten sind *Chara contraria* mit 29 %, *Nitella opaca* mit 16 % und *Chara tomentosa* mit 13 %. Neben diesen prägenden Arten ist insgesamt der Reichtum an Characeen im Gersauer Becken auffallend. Total kommen 9 Armelechteralgen vor (zusammen mit dem Luzerner See die höchste Artenzahl aller Seebecken). Besonders erwähnenswert sind dabei die beiden Arten *Chara denudata* und *Chara vulgaris*, welche nur hier und noch im Luzerner See gefunden wurden. Die Häufigkeitsverhältnisse innerhalb der Characeen-Gruppe unterscheiden sich stark vom benachbarten Urner See, wo *Nitella opaca* dominiert und *Chara tomentosa* sowie vier weitere Arten vollständig fehlen.

Mengenmässig spielen die höheren Wasserpflanzen in den Transekten des Gersauer Beckens eher eine untergeordnete Rolle. Nur rund ein Fünftel der Gesamtabundanz entfällt auf diese Gruppe. Häufigste Art unter den Gefässpflanzen ist *Elodea nuttallii* mit 10 %. Sie gehört zum eutraphenten Spektrum und repräsentieren gestörte Standorte (z.B. Schiffsanlegestellen) oder allenfalls lokale Nährstoffeinträge. Als bemerkenswerter Fund ist das Vorkommen von *Potamogeton berchtoldii* zu erwähnen, einer Kleinart die oft zu *Potamogeton pusillus* gestellt wird und nur in diesem Seebecken nachgewiesen wurde (Gebiet «Hopfräben»).

Bezüglich der strukturellen Ähnlichkeit der Vegetation im Gersauer Becken zeigt sich folgendes Bild:

Im Vergleich jedes der 18 Transekte zu allen anderen ergibt sich ein Mittelwert von nur gerade 5 % (Index K), was als extrem geringe Homogenität zu klassifizieren ist. Im Schnitt zeigen damit die einzelnen Transekte nur mit einem einzigen weiteren Transekt eine Übereinstimmung auf Niveau von mindestens mittlerer Ähnlichkeit. Am «repräsentativsten» sind insgesamt 4 Transekte mit jeweils 12 % Gemeinsamkeit zu den übrigen Standorten. Bei 14 Transekten besteht zu keinem oder höchstens einem einzigen anderen Standort eine Ähnlichkeit. In der grafischen Darstellung der Ähnlichkeitswerte und der Dichteunterschiede für jeden

der möglichen Paarvergleiche ergibt sich nur bei 3 % eine Übereinstimmung in der Struktur und der Dichte, weitere 1 % weisen mindestens noch die gleiche Struktur auf (zusammen ergibt dies die oben erwähnten 5 % für den Index K, die Differenz von 1 % kommt durch Rundungseffekte zu Stande). In 40 % besteht nur in der Dichte und bei 56 % bei keinem der beiden Kriterien eine Übereinstimmung.

Fazit: Das Gersauer Becken zeigt eine äusserst heterogene und kleinräumig wechselnde Vegetationsstruktur (kleinster Wert des Homogenitätsindex'), es gibt innerhalb des Sees keinen grösseren Abschnitt mit einem mehr oder weniger gleichbleibenden Bewuchs. Es ist aber anzumerken, dass die Transekte z.T. sehr weit auseinanderliegen und bezüglich der Uferlänge unterrepräsentiert sind.

3.2.3 Weggis-Vitznauer Becken



In diesem Teilbecken des Vierwaldstättersees haben folgende naturräumliche Einflussfaktoren Auswirkungen auf die Besiedlung mit Wasserpflanzen:

Uferzonen aus steilen Hanglagen oder Felswänden:

Dieses Teilbecken des Vierwaldstättersees wird von den Höhenzügen des Rigi und des Bürgenstocks umrahmt. Während die südexponierten Hänge des Rigi weniger steil abfallen und sich in Seenähe grössere Ortslagen wie z.B. Weggis in dieser klimatisch günstigen Lage ausdehnen, ist die Uferseite des Bürgenstocks stark beschattet und steil bis sehr steil abfallend. Generell dominieren auch in diesem Becken schmale Flachwasserzonen, die 50 m Breite nicht überschreiten. Einzig der Uferabschnitt zwischen Hertenstein und Weggis zeichnet sich durch deutlich breitere Flachwasserzonen aus, die sich zwischen 50 und 100 m ausdehnen können (vgl. TEIBER- SIESSEGGGER 2010).

Uferverbau:

Der Uferverbau in diesem Becken beschränkt sich vornehmlich auf das nördliche Ufer zwischen Hertenstein und Vitznau, ist dafür aber hier besonders ausgeprägt. Auf der gesamten Uferlänge gibt es praktisch keinen Uferabschnitt, der nicht durch Ufermauern, Verbau oder Schüttungen beeinträchtigt wäre. Insbesondere in der langgestreckten Ortslage von Weggis ist die Uferzone komplett stark verbaut. Gesamthaft sind 64 % der Uferlinie betroffen (vgl. TEIBER-SIESSEGGGER 2010).

Einflüsse durch Bootsanlegestellen, Häfen und Badeanstalten:

Insgesamt befinden sich 3 Schiffsstationen, 6 Häfen und 1 Badeanstalt in diesem Becken. Die räumlichen Auswirkungen dieser Störstellen sind vergleichsweise

klein. Im Gegensatz dazu ist das Störungspotenzial von Bojenfeldern und unregelmäßig angelegten Ankerplätzen eher als hoch einzustufen. Insbesondere die Wasservegetation des grossen Bojenfeldes bei Hertenstein und in der häufig frequentierten «Grütschelenbucht» wird durch den regelmässig starken Bootsverkehr in Mitleidenschaft gezogen.

Vegetationsverhältnisse

Von den insgesamt 119 Tauchtransekten befinden sich 17 im Weggis-Vitznauer Becken. Aufgrund der oben beschriebenen Rahmenbedingungen wurde ein Grossteil der Transekten an der nördlichen Uferseite zwischen Hertenstein und Vitznau angelegt.

Die folgende Zusammenstellung zeigt die Proportionalitäten der erhobenen Daten mit den morphologischen Rahmenbedingungen:

Anteil Uferlinie	Anteil Transekten	Anteil Abundanz	Anteil FWZ < 100 m Breite	Anteil FWZ > 100 m Breite
14 %	14 %	11 %	20 %	2 %
		7 % korrigiert		

Alle Angaben auf den ganzen VWS bezogen. Beispiel: 20 % der Flachwasserzonen < 100 m befinden sich im Vitznauer Becken. Breite FWZ bezieht sich auf Uferabstand bis 4 m Wassertiefe. Rot markierte Werte: Deutliche Abweichung zum Anteil der Uferlinie des VWS (100 % = 131.53 km, ohne Felsufer). Korrigierter Abundanzanteil = Hochrechnung der effektiv untersuchten Transekten auf die ganze Uferlinie des Seebeckens mit Berücksichtigung der Ufertypen (Breite der Flachwasserzone < 100 m / > 100 m). Weitere Angaben siehe Tab. 1 und Abb. 46.

Bei proportionaler Uferlänge und Transektzahl liegt die Abundanz zwar etwas tiefer, aber erst mit dem korrigierten Wert wird das Defizit wirklich offensichtlich. Auffällig ist das ausserordentlich deutliche Manko an breiten Flachwasserzonen. Der überhöhte Originalwert der Abundanz kommt vor allem dadurch zu Stande, dass die wenigen ausgedehnten Bewuchsflächen mit grosser Pflanzenmenge, welche vor allem zwischen Hertenstein und Weggis auftreten, in den Transekten massiv übervertreten sind (siehe Tabelle eingangs dieses Kapitels; weitere Ausführungen siehe Kap. 3.3).

Das Weggis-Vitznauer Becken weist ein eher unterdurchschnittliches Artenspektrum auf, insgesamt kommen 18 Arten vor (Mittelwert: 20 Arten), 7 gehören zur Gruppe der Characeen und 11 zu den Gefässpflanzen. Nur im Urner See sind noch weniger Arten vertreten. 2 Arten sind nicht in den berücksichtigten Transekten enthalten (sog. Zusatz-Arten).

Die mittlere Bewuchsdichte von 51–75 % (Dichtestufe 4) entspricht jener der meisten anderen Seebecken. 72 % der untersuchten Fläche sind mit einer Dichte > 50 % bewachsen (ganzer See: 76 %). Die Bewuchsgrenze der Vegetation liegt bei 15.8 m Tiefe, im Mittel bei 11.0 m (ganzer See: 10.4 m).

Gesamthaft betrachtet sind auch in diesem Seebecken die Armleuchterlagen die dominierende Artengruppe. Mit 79% Abundanzanteil haben sie eine überragende Stellung in den Vegetationsprofilen. Nur der Küsnachter See weist mit 83 % einen noch höheren Wert auf. Häufigste Art ist *Chara tomentosa* mit 42 %, in deutlichem Abstand folgen *Nitella opaca* mit 18 % und *Chara globularis* mit 10 %. Im Abschnitt Hertenstein–Vitznau lässt sich eine klare geografische Diffe-

renzung der Vegetation feststellen: Zwischen Hertenstein und Weggis, wo auch die Flachwasserzone deutlich stärker ausgebildet vorliegt, ist der Anteil der Characeen durchweg sehr hoch, ebenso die Gesamtartenzahlen (8–12 Arten) sowie auch generell die Bewuchsdichte. Meist dominiert hier *Chara tomentosa*. Die höheren Makrophyten (Gruppe der Gefässpflanzen) spielen mengemässig in dieser Zone nur eine untergeordnete Rolle. Das Bewuchsbild ändert sich markant ab Weggis bis Vitznau, wo *Chara tomentosa* komplett ausfällt und auch der Anteil der Characeen insgesamt deutlich zurückgeht, parallel dazu vermindert sich auch die Artenzahl (3–7 Arten). In diesem stark gestörten und verbauten Seeuferabschnitt kommen fast nur Gefässpflanzen vor, häufigste Arten sind hier *Elodea nuttallii* und *Potamogeton pusillus*. Es ist eindrücklich, wie deutlich sich die Wasservegetation an die veränderten Rahmenbedingungen anpasst.

Die beiden Kontrolltransekte auf der Uferseite des Bürgenstocks bringen klar zum Ausdruck, dass nur wenige Wasserpflanzen mit der steilen Litoralzone, dem eher groben Substrat und den beschatteten Verhältnissen zurecht kommen. Es sind dies vornehmlich drei Arten bei insgesamt geringer Bewuchsdichte: *Elodea canadensis*, *Potamogeton perfoliatus* und *P. pusillus*.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass der Uferabschnitt zwischen Hertenstein und Weggis für die aquatische Vegetation von besonderer Bedeutung ist. Artenreichtum und Artenzusammensetzung sind hier bemerkenswert. Gleichzeitig sind diese Bereiche aber durch den Bootsverkehr gefährdet.

Bezüglich der strukturellen Ähnlichkeit der Vegetation im Weggis-Vitznauer Becken zeigt sich folgendes Bild:

Im Vergleich jedes der 17 Transekte zu allen anderen ergibt sich ein Mittelwert von lediglich 13 % (Index K), was als sehr geringe Homogenität zu klassifizieren ist. Im Schnitt zeigen damit die einzelnen Transekte nur mit zwei weiteren Transekten eine Übereinstimmung auf Niveau von mindestens mittlerer Ähnlichkeit. Am «repräsentativsten» sind die Transekte Nr. 5143, 5331 und 6862 mit je 25 % Gemeinsamkeit zu den übrigen Standorten. Dieses Profil liegt bei Vitznau. Bei 6 Transekten besteht zu keinem oder höchstens einem einzigen anderen Standort eine Ähnlichkeit. In der grafischen Darstellung der Ähnlichkeitswerte und der Dichteunterschiede für jeden der möglichen Paarvergleiche ergibt sich nur bei 11 % eine Übereinstimmung in der Struktur und der Dichte, weitere 1 % weisen mindestens noch die gleiche Struktur auf (zusammen ergibt dies die oben erwähnten 13 % für den Index K (die Differenz von 1 % kommt durch Rundungseffekte zu Stande). In 29 % besteht nur in der Dichte und bei 58 % bei keinem der beiden Kriterien eine Übereinstimmung.

Fazit: Das Weggis-Vitznauer Becken zeigt eine stark heterogene und kleinräumig wechselnde Vegetationsstruktur, es gibt innerhalb des Sees keinen grösseren Abschnitt mit einem mehr oder weniger gleichbleibenden Bewuchs. Am ehesten ist im Abschnitt Hertenstein über 3 Transekte eine gewisse Konstanz vorhanden (Transekte 5331 / 5354 / 5442).

3.2.4 Küsnachter See



In diesem Teilbecken des Vierwaldstättersees haben folgende naturräumliche Einflussfaktoren Auswirkungen auf die Besiedlung mit Wasserpflanzen:

Ausgedehnte Flachwasserzonen:

Der Küsnachter See ist neben dem Luzerner See das einzige Teilbecken des Vierwaldstättersees, welches zu grossen Teilen eine mässige bis breite Flachwasserzone aufweist. Entlang weiter Uferbereiche ist das Litoral dabei deutlich über 100 m breit.

Uferverbau:

Trotz breiter Litoralsäume ist das Ufer oftmals weitgehend verbaut, obwohl hier Welleneinwirkung bzw. Ufererosion kein grosses Problem darstellen würde. Insgesamt sind 92 % der Uferlinie betroffen (vgl. TEIBER-SIESSEGGGER 2010). Insbesondere die westliche Seite des Küsnachter Sees ist stark bis sehr stark verbaut. Dies hat Auswirkungen auf die Röhrichtbestände. Natürlicherweise könnten sie hier vielerorts den Übergang zur eigentlichen Wasserpflanzenzone darstellen und breite Bestände bis in 1.5 m Tiefe entwickeln. Sie würden dadurch wertvolle Rückzugs-, Nahrungs- und Bruträume für viele Vögel, Fische und Amphibien bilden. Da jedoch die Zersiedlung des unmittelbaren Gewässerumfeldes immer noch zunimmt und die Begrenzung der individuellen Parzellen seewärts in der Regel durch Mauern oder Schüttungen vorgenommen wurde, können sich nur noch an wenigen Stellen kleinere Röhrichtzonen halten, so z.B. an der «Seematt» (Küsnacht). Fehlt ein schützender Röhrichtsaum entlang des Ufers, hat dies auch negative Auswirkungen auf die makrophytische Flachwasservegetation.

Einflüsse durch Bootsanlegestellen, Häfen und Badeanstalten und Siedlungsentwässerung:

Im Küssnachter See befinden sich 6 Hafenanlagen, eine grosse Badeanstalt und vier Schiffsstationen. Flächenmässig sind vor allem die grosse Badeanstalt in Küssnacht (Ortsausgang Richtung Greppen) und die unzähligen privaten Bootsstege und Liegestellen für die Makrophytenvegetation relevant. Zudem wiegt schwer, dass das Gewässerumfeld zu zwei Dritteln stark bebaut und zersiedelt ist. Vier Ortslagen (Meggen–Greppen) reihen sich nahezu nahtlos aneinander. Lediglich auf der Ostseite des Sees, vom Ortsrand Greppen bis zum Meggenhorn, erstreckt sich eine breite bewaldete Uferzone. Die Konzentrierung der Ortslagen hat insbesondere für die verengte Bucht von Küssnacht negative Auswirkungen. Bei Starkregenereignissen gelangen grosse Mengen an stark belasteten «Meteorwasser» (Überläufe aus den Regenwasserentlastungsanlagen inkl. Grobschmutz aus Haushaltungen) in die Bucht und trüben in kurzer Zeit die gesamte Bucht bis auf eine Linie Bushaltestelle–Seemattzopf stark ein. Nicht nur die Trübungswirkung sondern auch die Stoffbelastung hinterlässt deutliche Spuren in der Wasserpflanzenbesiedlung. Dabei ist auch das Röhricht zwischen Seemattzopf und Bootsanlegestelle betroffen.

Vegetationsverhältnisse

Von den insgesamt 119 Tauchtransekten befinden sich 21 im Küssnachter See. Aufgrund der oben beschriebenen Rahmenbedingungen wurde ein Grossteil der Transekte gleichmässig an beiden Seeseiten verteilt. Lediglich im «Flaschenhals» zwischen Merlischachen und Küssnacht liegen weniger Transekte.

Die folgende Zusammenstellung zeigt die Proportionalitäten der erhobenen Daten mit den morphologischen Rahmenbedingungen:

Anteil Uferlinie	Anteil Transekte	Anteil Abundanz	Anteil FWZ < 100 m Breite	Anteil FWZ > 100 m Breite
14 %	18 %	18 %	12 %	19 %
		18 % korrigiert		

Alle Angaben auf den ganzen VWS bezogen. Beispiel: 19 % der Flachwasserzonen < 100 m befinden sich im Küssnachter See. Breite FWZ bezieht sich auf Uferabstand bis 4 m Wassertiefe. Rot markierte Werte: Deutliche Abweichung zum Anteil der Uferlinie des VWS (100 % = 131.53 km, ohne Felsufer). Korrigierter Abundanzanteil = Hochrechnung der effektiv untersuchten Transekte auf die ganze Uferlinie des Seebeckens mit Berücksichtigung der Ufertypen (Breite der Flachwasserzone < 100 m / > 100 m). Weitere Angaben siehe Tab. 1 und Abb. 46.

Die Transektzahl fällt in diesem Seeteil überproportional aus. Zudem sind die verschiedenen Ufertypen in den Transekten sehr ungünstig repräsentiert (siehe Tabelle eingangs dieses Kapitels). Da aber der korrigierte Wert identisch mit dem Originalwert ist, gleichen sich diese Ungereimtheiten offenbar aus. Die Abundanz liegt etwas über Parität zur Uferlänge und korrespondiert direkt mit dem Anteil an breiten Flachwasserzonen, welche per se ein überdurchschnittliches Potenzial an Bewuchsfläche und Pflanzenmenge beinhalten (weitere Ausführungen Kap. 3.3).

Der Küssnachter See liegt im Mittelfeld des Artenspektrums, insgesamt kommen 20 Arten vor (Mittelwert: 21 Arten), 7 gehören zur Gruppe der Characeen und 13 zu den Gefässpflanzen.

Die durchschnittliche Bewuchsdichte von 51–75 % (Dichtestufe 4) entspricht jener der meisten anderen Seebecken. 77 % der untersuchten Fläche sind mit einer Dichte > 50 % bewachsen (ganzer See: 76 %). Die Bewuchsgrenze der Vegetation liegt bei 18 m Tiefe, im Mittel bei 12.6 m (ganzer See: 10.4 m). In diesem Seebecken dringen die Wasserpflanzen am weitesten in die Tiefe vor, die Grenze liegt nahe an dem für Schweizer Seen postulierten theoretischem Maximum von 20 m (LACHAVANNE ET AL. 1985).

Die Artengruppe der Characeen erreicht in diesem Seebecken Spitzenwerte bei Häufigkeit und Deckungsgrad. 83 % Abundanzanteil werden von den Armleuchteralgen gestellt. Häufigste Art ist dabei *Chara tomentosa* mit 44 %. Mit deutlichem Abstand folgen die anderen beiden seeweit verbreitetsten Arten *Chara contraria* 16% und *Chara globularis* mit 13%. Mit insgesamt 7 Characeen-Arten liegt dieser Teil des Vierwaldstättersees trotz der absoluten Gruppendominanz nicht an erster Stelle, Gersauer Becken, Luzerner See sowie Horw-Hergiswiler See weisen noch 1–2 Arten mehr auf.

Die höheren Wasserpflanzen spielen mengenmässig eine klar untergeordnete Rolle. Von keiner Art werden Häufigkeitsanteile von mehr als 5 % erreicht. Es überwiegen jene Arten mit breiter ökologischer Valenz, die sich an unterschiedlichste Standortqualitäten anpassen können. Es sind dies *Elodea nuttallii*, *Potamogeton pectinatus* und *P. perfoliatus*. An einzelnen Stellen können diese Arten aber durchaus grössere Einzeldichten (Stufen 2 und 3, d.h. bis 50 % Deckung) und Häufigkeiten von über 50 % erreichen.

Drei Transekte mit dominierenden Gefässpflanzen und jeweils einem Characeenanteil von weniger als 20 % und nur einer Art aus dieser Gruppe fallen in diesem Seebecken speziell auf. Es dürften damit Belastungssituationen angezeigt werden, vermutlich aufgrund von diffusen oder punktuellen Einleitungen. Nur die resistantesten Arten wie z.B. *Elodea nuttallii* und *E. canadensis* sowie *Potamogeton pectinatus* oder *P. perfoliatus* ertragen diese Verhältnisse ohne starke Einbussen bzw. können davon sogar profitieren.

Bezüglich der strukturellen Ähnlichkeit der Vegetation im Küssnachter See zeigt sich folgendes Bild:

Im Vergleich jedes der 21 Transekte zu allen anderen ergibt sich ein Mittelwert von 26 % (Index K), was im Prinzip als geringe Homogenität zu klassifizieren ist, im Vergleich zu den übrigen Seebecken aber bereits den zweithöchsten Wert darstellt. Im Schnitt zeigt ein Transekt also mit einem Viertel der übrigen eine Übereinstimmung auf Niveau von mindestens mittlerer Ähnlichkeit. Am «repräsentativsten» ist Transekt Nr. 2204 mit 55 % Gemeinsamkeit zu den übrigen Standorten). Dieses Profil liegt bei Weggis, es ist notabene auch das «typischste» Profil für den ganzen Vierwaldstättersee mit immerhin noch 30 % Übereinstimmung bezüglich aller 119 berücksichtigten Untersuchungspunkte. Bei 8 Transekten besteht zu keinem oder höchstens einem einzigen anderen Standort eine Ähnlichkeit. In der grafischen Darstellung der Ähnlichkeitswerte und der Dichteunterschiede für jeden der möglichen Paarvergleiche ergibt sich bei 25 % eine Übereinstimmung in der Struktur und der Dichte (dies ergibt dies die oben erwähnten 26 % für den Index K, von 1 % kommt durch Rundungseffekte zu Stande). In 61 % besteht nur in der Dichte und bei (nur) 14 % bei keinem der beiden Kriterien eine Übereinstimmung.

Fazit: Der Küssnachter See zeigt eine vergleichsweise moderat heterogene Vegetationsstruktur (zusammen mit dem Luzernersee sind hier die Werte am höchsten), es gibt innerhalb des Sees nur einen grösseren Abschnitt mit einem mehr oder weniger gleichbleibenden Bewuchs. Er befindet sich über eine Distanz von 5 Transekten im Abschnitt Meggen–Merlischachen (Standorte 2075 / 2204 / 2345 / 2371 / 2414).

3.2.5 Luzerner See



In diesem Teilbecken des Vierwaldstättersees haben folgende naturräumliche Einflussfaktoren Auswirkungen auf die Besiedlung mit Wasserpflanzen:

Flachwasserzonen und Ufer:

Der Luzerner See ist von allen Teilbecken wohl jenes mit den ausgedehntesten Flachwasserzonen. Es gibt Bereiche im See, z.B. vom Bootshafen Alpenquai bis in die Trottlibucht, welche durchgehend von Ufer zu Ufer bewachsen sind. Trotz der vielfältigen intensiven Nutzung hat sich die Trottlibucht als überregional bedeutender Ruheplatz für überwinternde Kolbenenten erhalten, also Wasservögel, die sich überwiegend von den hier sehr ausgeprägten wintergrünen Characeenrasen ernähren.

Im Gegensatz zu den Flachwasserzonen sind die Uferbereiche sehr stark beeinträchtigt. 63 % der Uferlinie sind verbaut (TEIBER-SIESSEGGGER 2010), es dominieren Mauern und Steinschüttungen, welche sich aufgrund der Wellenreflexion nachteilig auf die Flachwasservegetation auswirkt.

Einflüsse durch Bootsanlegestellen, Häfen und Badeanstalten und Siedlungsentwässerung:

Im Luzerner See sind die verschiedenen Nutzungsinteressen sehr konzentriert. Es gibt 4 grosse Strandbäder, sechs Schiffsstationen, 2 grosse Häfen und 2 ausgedehnte Bojenfelder. Der Schiffsverkehr allein genommen ist sehr intensiv, liegt doch die zentrale Anlegestelle der Kursschiffe am Ende der Bucht.

Auch die Siedlungsentwässerung fordert ihren Tribut. An Stellen mit konzentrierten Einleitern (z.B. in der Seeburger Bucht) wirkt sich dies negativ auf die Zusammensetzung der Makrophytenvegetation aus (vgl. AQUAPLUS 2007).

Vegetationsverhältnisse

Von den insgesamt 119 Tauchtransekten befinden sich 18 im Luzerner See. Aufgrund der oben beschriebenen Rahmenbedingungen wurde ein Grossteil der Transekte gleichmässig an beiden Seeseiten verteilt.

Die folgende Zusammenstellung zeigt die Proportionalitäten der erhobenen Daten mit den morphologischen Rahmenbedingungen:

Anteil Uferlinie	Anteil Transekte	Anteil Abundanz	Anteil FWZ < 100 m Breite	Anteil FWZ > 100 m Breite
12 %	15 %	38 %	4 %	31 %
		35 % korrigiert		

Alle Angaben auf den ganzen VWS bezogen. Beispiel: 31 % der Flachwasserzonen < 100 m befinden sich im Luzerner See. Breite FWZ bezieht sich auf Uferabstand bis 4 m Wassertiefe. Rot markierte Werte: Deutliche Abweichung zum Anteil der Uferlinie des VWS (100 % = 131.53 km, ohne Felsufer). Korrigierter Abundanzanteil = Hochrechnung der effektiv untersuchten Transekte auf die ganze Uferlinie des Seebeckens mit Berücksichtigung der Ufertypen (Breite der Flachwasserzone < 100 m / > 100 m). Weitere Angaben siehe Tab. 1 und Abb. 46.

Während die Anteile Uferlänge und Transektzahl einigermaßen übereinstimmen sind, fallen die Abundanz und die breiten Flachwasserzonen markant überproportional aus. Der korrigierte Wert bewegt sich nur unwesentlich auf einem tieferen Niveau, da die ausgedehnten Uferbereiche in der Transektauswahl adäquat berücksichtigt wurden, und die stark überpräsentierten schmalen Abschnitte (siehe Tabelle eingangs dieses Kapitels) quantitativ weniger ins Gewicht fallen. Abundanz und breite Flachwasserzonen korrespondieren praktisch direkt, da in diesem Seebecken das überdurchschnittliche Potenzial an Bewuchsfläche und Pflanzenmenge ausgedehnter Uferbereiche voll zum Tragen kommt (weitere Ausführungen siehe Kap. 3.3).

Der Luzerner See liegt im Mittelfeld des Artenspektrums, insgesamt kommen 21 Arten vor (Mittelwert: 21 Arten), 9 gehören zur Gruppe der Characeen und 13 zu den Gefässpflanzen. 1 Art ist nicht in den berücksichtigten Transekten enthalten (sog. Zusatz-Arten).

Die durchschnittliche Bewuchsdichte von 76–100 % (Dichtestufe 5) ist die höchste aller Seebecken, der verfügbare Seegrund ist praktisch vollständig besiedelt. 90 % der untersuchten Fläche sind mit einer Dichte > 50 % bewachsen (ganzer See: 76 %). Die Bewuchsgrenze der Vegetation liegt bei 15.8 m Tiefe, im Mittel bei 13.2 m (ganzer See: 10.4 m). In diesem Seebecken dringen die Wasserpflanzen im Mittel am weitesten in die Tiefe vor, absolut gesehen weist mit 18 m der Küssnacher See das Maximum auf.

Die Artengruppe der Characeen erreicht in diesem Seebecken zwar nicht mehr einen so hohen Wert wie im benachbarten Küssnacher See, ist aber mit 74 % immer noch absolut dominant. Häufigste Art ist dabei *Chara contraria* mit 31 %, gefolgt von *Chara tomentosa* mit 25 % und *Chara globularis* mit 16 %. Würde man den weitläufigen Flachwasserbereich zwischen Schiffswerft und Trottlibucht mit einer maximalen Wassertiefe zwischen 3 und 4 m flächendeckend untersuchen, wäre *Chara tomentosa* wohl die häufigste Art im Luzernersee, sie bildet über weite Strecken nahezu einartige Dominanzbestände, geht hingegen ab 5 m Tiefe deutlich zurück. Unterrepräsentiert ist *Chara aspera*, diese Art kommt im Lu-

zernersee definitiv vor (vgl. AQUAPLUS 2007), ist jedoch bei den ausgewählten Transekten nicht innerhalb der Aufnahmeflächen zu finden.

Die Gefässpflanzen weisen nur eine untergeordnete Bedeutung auf. Einzig *Potamogeton pectinatus* kommt knapp über die 10 %-Grenze der Häufigkeit. Die Art tritt relativ stetig auf, gehäuft und mit hoher Dichte aber vor allem in der Nähe des Seeauslaufes mit bereits spürbar fliessenden Verhältnissen. Im Gegensatz zu den meisten Characeen-Arten kann sich das Kamm-Laichkraut unter Strömungsverhältnissen sehr gut entwickeln. Die beiden Elodea-Arten kommen ebenfalls stetig vor, haben aber meist eine geringe Dichte und treten nur lokal mit grösseren Anteilen auf, wo sich Störungen durch Einleitungen oder durch mechanischen Stress konzentrieren. Bei den Taucharbeiten war gut zu beobachten, dass sie davon profitieren können, wenn durch schleifende Anker grosse Löcher in die geschlossenen Characeenrasen gerissen werden.

Bezüglich der strukturellen Ähnlichkeit der Vegetation im Luzerner See zeigt sich folgendes Bild:

Im Vergleich jedes der 18 Transekte zu allen anderen ergibt sich ein Mittelwert von 27 % (Index K), was im Prinzip immer noch als geringe Homogenität zu klassifizieren ist, im Vergleich zu den übrigen Seebecken aber den höchsten Wert darstellt. Im Schnitt zeigt ein Transekt also mit einem Viertel der übrigen eine Übereinstimmung auf Niveau von mindestens mittlerer Ähnlichkeit. Am «repräsentativsten» ist Transekt Nr. 29584 mit 59 % Gemeinsamkeit zu den übrigen Standorten. Dieses Profil liegt zwischen Tribschenhorn und Schönbüel. Bei 4 Transekten besteht zu keinem oder höchstens einem einzigen anderen Standort eine Ähnlichkeit. In der grafischen Darstellung der Ähnlichkeitswerte und der Dichteunterschiede für jeden der möglichen Paarvergleiche ergibt sich bei 22 % eine Übereinstimmung in der Struktur und der Dichte, weitere 5 % weisen mindestens noch die gleiche Struktur auf (zusammen ergibt dies die oben erwähnten 27 % für den Index K). In 54 % besteht nur in der Dichte und bei (nur) 19 % bei keinem der beiden Kriterien eine Übereinstimmung.

Fazit: Der Luzerner See zeigt eine vergleichsweise moderat heterogene Vegetationsstruktur (zusammen mit dem Küssnachter See sind hier die Werte am höchsten), es gibt innerhalb des Sees aber trotzdem keinen grösseren Abschnitt mit einem mehr oder weniger gleichbleibenden Bewuchs.

3.2.6 Horw-Hergiswiler See



In diesem Teilbecken des Vierwaldstättersees haben folgende naturräumliche Einflussfaktoren Auswirkungen auf die Besiedlung mit Wasserpflanzen:

Ausgedehnte Flachwasserzonen:

Die Ufermorphologie in diesem Teil des Vierwaldstättersees ist sehr heterogen. Grössere Flachuferzonen haben sich im Wesentlichen in vier Bereichen entwickelt: In der Horwer Bucht («Steinibach Ried»), in den Buchten zwischen Kastanienbaum und St. Niklausen, bei Stansstad und nördlich von Kehrsiten. Hier erreichen die Flachufer eine durchschnittliche Breite von 50 bis 100 m. Die grosse Bucht von Hergiswil ist dagegen ausgesprochen steil, die Flachwasserzone ist hier durchgehend nur zwischen 10 und 50 m breit.

Uferverbau:

Der Uferverbau ist im Horw-Hergiswiler See ebenfalls sehr hoch. Gesamthaft sind 82 % der Uferlinie betroffen (vgl. TEIBER-SIESSEGGGER 2010). Ausnahmen von diesem Zustand finden sich nur noch in der Horwer Bucht und in der Bucht von Kehrsiten.

Einflüsse durch Bootsanlegestellen, Häfen und Badeanstalten und Siedlungsentwässerung:

Im Horw-Hergiswiler See gibt es vier Schiffsstationen und sieben Hafenanlagen, darunter befindet sich ein Güterhafen für Kiese und Sande in Ennethorw. Grössere Bojenfelder befinden sich nur in der Horwer Bucht. Drei Badeanstalten sind vorhanden, wobei das Strandbad Stansstad eine ganze Bucht einnimmt. Überhaupt ist die Uferlinie von Stansstad durch unterschiedliche Nutzungen sehr stark

überprägt und somit für störungsanfällige Wasserpflanzen nur eingeschränkt besiedelbar.

Vegetationsverhältnisse

Von den insgesamt 119 Tauchtransekten befinden sich 22 im Horw-Hergiswiler See. Aufgrund der oben beschriebenen Rahmenbedingungen wurde ein Grossteil der Transekte im Bereich der Horwer Bucht bis zum Haslihorn an der Grenze zum Luzernersee verteilt. Ein weiterer Schwerpunkt liegt bei Stansstad.

Die folgende Zusammenstellung zeigt die Proportionalitäten der erhobenen Daten mit den morphologischen Rahmenbedingungen:

Anteil Uferlinie	Anteil Transekte	Anteil Abundanz	Anteil FWZ < 100 m Breite	Anteil FWZ > 100 m Breite
12 %	19 %	15 %	13 %	8 %
		10 % korrigiert		

Alle Angaben auf den ganzen VWS bezogen. Beispiel: 8 % der Flachwasserzonen < 100 m befinden sich im Horwer See. Breite FWZ bezieht sich auf Uferabstand bis 4 m Wassertiefe. Rot markierte Werte: Deutliche Abweichung zum Anteil der Uferlinie des VWS (100 % = 131.53 km, ohne Felsufer). Korrigierter Abundanzanteil = Hochrechnung der effektiv untersuchten Transekte auf die ganze Uferlinie des Seebeckens mit Berücksichtigung der Ufertypen (Breite der Flachwasserzone < 100 m / > 100 m). Weitere Angaben siehe Tab. 1 und Abb. 46.

Während die Anteile Uferlänge, Abundanz und schmale Flachwasserzonen und Transektzahl einigermaßen übereinstimmen sind, fallen die überproportionale Transektzahl und eher unterdurchschnittlich vertretene ausgedehnte Uferbereiche auf. Da die breiten Flachwasserzonen in der Transektauswahl stark überrepräsentiert sind (siehe Zusammenstellung eingangs von Kapitel 3.2) ist es gut nachvollziehbar, dass der korrigierte Wert tiefer liegt und praktisch mit dem Anteil der breiten Uferzonen korrespondiert. Insgesamt herrschen in diesem Seebecken quasi «Durchschnittsverhältnisse» (Uferlinie / Abundanz / breite FWZ sind \pm proportional). Dies bedeutet, dass die Bewuchspotenziale in Abhängigkeit der zur Verfügung stehenden Siedlungsflächen ausgeschöpft werden und kaum andere Faktoren wie limitierende Lichtverhältnisse, Trübungen, mechanische Effekte durch das Wellenregime etc. ins Gewicht fallen wie dies z.B. im Urner See anzunehmen ist (weitere Ausführungen siehe Kap. 3.3).

Der Horw-Hergiswiler See weist zusammen mit dem Alpnacher See die grösste Artenvielfalt aller Seebecken auf, insgesamt kommen 26 Arten vor (Mittelwert: 21 Arten), 8 gehören zur Gruppe der Characeen und 18 zu den Gefässpflanzen. Obwohl das Abundanzverhältnis Characeen : Gefässpflanzen gleich ist wie im Urner See zeigen sich hier 9 zusätzliche Arten.

Die durchschnittliche Bewuchsdichte von 51–75 % (Dichtestufe 4) entspricht jener der meisten anderen Seebecken. 68 % der untersuchten Fläche sind mit einer Dichte > 50 % bewachsen (ganzer See: 76 %). Die Bewuchsgrenze der Vegetation liegt bei 14.6 m Tiefe, im Mittel bei 9.3 m (ganzer See: 10.4 m).

Die Artengruppe der Characeen erreicht zwar nicht die üblicherweise sehr hohen Werte wie in den meisten anderen Seebecken, ist aber mit 65 % immer noch dominant. Häufigste Art ist dabei *Chara tomentosa* mit 31 %. In deutlichem Abstand folgen *Chara globularis* mit 19 % und *Chara contraria* mit 9 %. *Chara tomentosa* ist in ihrer Verbreitung grösstenteils auf die Flachwasserzonen zwischen

Horw und Haslihorn beschränkt. In der eigentlichen Horwer Bucht ist sie kaum vertreten, auch im stark gestörten Abschnitt bei Stansstad findet sie keine geeigneten Lebensbedingungen.

Die höheren Wasserpflanzen sind mit der zweitgrössten Artenzahl aller Seebecken vertreten, 18 von den seeweit 24 Arten kommen hier vor. Viele zeigen sich aber nur in wenigen Transekten oder generell nur sehr individuenarm. Einen Häufigkeitsanteil von mindestens 10 % erreicht nur *Potamogeton pectinatus*, das Verbreitungsgebiet beschränkt sich aber auffällig auf die Bereiche zwischen Stansstad, Hergiswil und Horw. Dort wo *Chara tomentosa* dominiert kommt das Kamm-Laichkraut nicht vor. *Potamogeton pectinatus*, als ausgesprochen eutraphente Art, verhält sich also im Horw-Hergiswiler See antagonistisch zu der oligotraphenten Armelechteralge *Chara tomentosa*. Anders ausgedrückt: Hohes Störungspotenzial und Beeinträchtigung der Wasserqualität begünstigen *Potamogeton pectinatus* und benachteiligen *Chara tomentosa*.

Weiter von Bedeutung ist noch *Elodea nuttallii* mit 8 %, sie tritt sehr stetig im ganzen Abschnitt auf, ähnlich auch *Potamogeton perfoliatus*, welche aber nur noch 4 % Abundanzanteil erreicht.

Bezüglich der strukturellen Ähnlichkeit der Vegetation im Horw-Hergiswiler See zeigt sich folgendes Bild:

Im Vergleich jedes der 22 Transekte zu allen anderen ergibt sich ein Mittelwert von 18 % (Index K), was als geringe Homogenität zu klassifizieren ist. Im Schnitt zeigt ein Transekt also mit einem Fünftel der übrigen eine Übereinstimmung auf Niveau von mindestens mittlerer Ähnlichkeit. Am «repräsentativsten» sind 4 Transekte mit 43 % Gemeinsamkeit zu den übrigen Standorten. Bei 11 Transekten besteht zu keinem oder höchstens einem einzigen anderen Standort eine Ähnlichkeit. In der grafischen Darstellung der Ähnlichkeitswerte und der Dichteunterschiede für jeden der möglichen Paarvergleiche zeigt sich bei nur 13 % eine Übereinstimmung in der Struktur und der Dichte, weitere 4 % weisen mindestens noch die gleiche Struktur auf (zusammen ergibt dies die oben erwähnten 18 % für den Index K, die Differenz von 1 % kommt durch Rundungseffekte zu Stande). In 42 % besteht nur in der Dichte und bei 40 % bei keinem der beiden Kriterien eine Übereinstimmung.

Fazit: Der Horw-Hergiswiler See zeigt eine eher stark heterogene Vegetationsstruktur, es gibt aber innerhalb des Sees trotzdem einen grösseren Abschnitt mit einem mehr oder weniger gleichbleibenden Bewuchs. Er befindet sich über eine Distanz von 7 Transekten im Abschnitt Horw-Hinderrüti–Kastanienbaum (Standorte 27971 / 28112 / 28165 / 28332 / 28564 / 28644 / 28812).

3.2.7 Alpnacher See



In diesem Teilbecken des Vierwaldstättersees haben folgende naturräumliche Einflussfaktoren Auswirkungen auf die Besiedlung mit Wasserpflanzen:

Ausgedehnte Flachwasserzonen:

Im See befinden sich zwei ausgedehnte, breite Flachwasserzonen. Das Stansstader Seeufer im Bereich «Garnhäcki» war ursprünglich ein ausgedehntes Ried mit vorgelagertem Schilfgürtel und Flachwasserzone, welches sich von der Einmündung in den Horw-Hergiswiler See bis zum Rotzloch erstreckte. Ab Mitte des 20. Jahrhunderts führten verschiedene Ausbau- und Meliorationsmassnahmen dazu, dass das Schilfröhricht weitgehend verschwand und das Ufer mit einer durchgehenden Mauersicherung versehen wurde. Das heutige «Stansstader Ried» zwischen Seehof und Rotzloch stellt daher nur noch einen kleinen Rest des ursprünglich ausgedehnten Feuchtgebietes dar. 2003 begann die Revitalisierung des Gebietes zwischen Seehof und Autobahnbrücke (vgl. STADELMANN 2007). Die Flachwasserzone bei Alpnachstad («Städer Ried») besteht aus den Resten des Riedes der beiden Hauptzuflüsse Sarner Aa und Schliere. Es wird im Westen durch den Hafen begrenzt.

Die restlichen Uferzonen des Sees (das Westufer entlang der Lopperstrasse und das bewaldete Ostufer) sind entweder sehr steil oder steil und mit einer Steinschüttung versehen, was eine Besiedlung durch Makrophyten sehr erschwert.

Einflüsse durch Bootsanlegestellen, Häfen und Badeanstalten:

Im Alpnacher See befinden sich 2 Hafenanlagen, eine Schiffsstation und ein Seebad. Abgesehen vom Hafen Alpnachstad üben diese Anlagen flächenmässig nur geringe Auswirkungen auf die Makrophytenvegetation aus. Der Uferverbau ist im

Alpnacher See von allen Seebecken am kleinsten, es sind 42 % der Uferlinie betroffen (vgl. TEIBER-SIESSEGGGER 2010).

Gewässertrübung und Nährstoffeintrag:

Im Alpnacher See ist häufig eine starke Gewässertrübung zu beobachten, die auch in den Sommermonaten anhält und den ganzen See ausfüllt. Die Trübe entsteht durch Gletscherschmelze und Hochwasser, die durch die Zuflüsse (Grosse und Kleine Schliere, Sarner Aa) in den See gelangen. Während der Sommermonate mischt sich die Trübungsfahne im Vierwaldstättersee (Horw-Hergiswiler Becken) ab einer Tiefe von zirka 4 m ein.

Im Alpnacher See sind die Konzentration von Phosphor und Nitrat klar am höchsten, in seinem Einzugsgebiet vereinigt sich am meisten Landwirtschaft und der Anteil an gereinigtem Abwasser ist grösser als in allen anderen Becken (EAWAG 2010).

Vegetationsverhältnisse

Von den insgesamt 119 Tauchtransekten befinden sich 7 im Alpnacher See. Aufgrund der oben beschriebenen Rahmenbedingungen wurden die Transekte schwerpunktmässig im Norden und im Süden des Sees verteilt.

Die folgende Zusammenstellung zeigt die Proportionalitäten der erhobenen Daten mit den morphologischen Rahmenbedingungen:

Anteil Uferlinie	Anteil Transekte	Anteil Abundanz	Anteil FWZ < 100 m Breite	Anteil FWZ > 100 m Breite
12 %	6 %	3 %	8 %	20 %
		11 % korrigiert		

Alle Angaben auf den ganzen VWS bezogen. Beispiel: 8 % der Flachwasserzonen < 100 m befinden sich im Alpnacher See. Breite FWZ bezieht sich auf Uferabstand bis 4 m Wassertiefe. Rot markierte Werte: Deutliche Abweichung zum Anteil der Uferlinie des VWS (100 % = 131.53 km, ohne Felsufer). Korrigierter Abundanzanteil = Hochrechnung der effektiv untersuchten Transekte auf die ganze Uferlinie des Seebeckens mit Berücksichtigung der Ufertypen (Breite der Flachwasserzone < 100 m / > 100 m). Weitere Angaben siehe Tab. 1 und Abb. 46.

Augenfällig ist die deutlich unterproportionale Anzahl der Transekte im Verhältnis zur Uferlänge sowie die überdurchschnittliche Vertretung an breiten Flachwasserzonen in diesem Seebecken. Da diese in der Transektauswahl zu schwach repräsentiert sind (siehe Tabelle eingangs dieses Kapitels), ist es nicht erstaunlich, dass der korrigierte Abundanzwert denn auch deutlich höher liegt. Er korrespondiert weiterhin nicht mit den breiten Flachwasserzonen. Konkret bedeutet dies, dass im Alpnacher See das Potenzial an Bewuchsfläche und Pflanzenmenge, welches aufgrund der morphologischen Gegebenheiten denkbar wäre, bei weitem nicht ausgeschöpft wird. Es müssen also andere Faktoren eine Rolle spielen, wobei die häufigen und anhaltenden Trübungen vermutlich am stärksten ins Gewicht fallen (weitere Ausführungen siehe Kap. 3.3).

Der Alpnacher See weist zusammen mit dem Horw-Hergiswiler See die grösste Artenvielfalt aller Seebecken auf, insgesamt kommen 26 Arten vor (Mittelwert: 21 Arten), 6 gehören zur Gruppe der Characeen und 20 zu den Gefässpflanzen. 6 Arten sind nicht in den berücksichtigten Transekten enthalten (sog. Zusatz-Ar-

ten). Im Unterschied zu den übrigen Seebecken mit vergleichbaren Zahlen sind deutlich weniger Characeen- bzw. mehr Gefässpflanzen-Arten vorhanden. Die meisten kommen im Bereich der grossen Flachwasserzone «Garnhänki» bei Stansstad vor. Das «Städer Ried» am anderen Ende des Sees bei Alpnachstad ist nicht wesentlich artenärmer, aufgrund der geringeren Bewuchstiefe ist hier jedoch deutlich weniger Fläche besiedelt.

Die durchschnittliche Bewuchsdichte von 51–75 % (Dichtestufe 4) entspricht jener der meisten anderen Seebecken, sie liegt jedoch nur knapp bei der Zuweisung zu dieser Stufe, die Abundanz pro m² steht jener des Urner Sees sehr nahe, bei dem die rechnerische Abgrenzungsroutine auf eine Dichte von 26–50 % (Dichtestufe 3) kommt. 60 % der untersuchten Fläche sind mit einer Dichte > 50 % bewachsen (ganzer See: 76 %). Die Bewuchsgrenze der Vegetation liegt bei 9.6 m Tiefe, im Mittel bei nur 5.5 m, dem mit Abstand kleinsten Wert aller Seebecken (ganzer See: 10.4 m).

Im Alpnacher See liegen quasi «umgekehrte» Besiedlungsverhältnisse vor: Es ist das einzige Seebecken des Vierwaldstättersees, in dem die höheren Wasserpflanzen deutlich überwiegen. 64 % der Gesamtabundanz entfällt auf diese Artgruppe. Häufigste Art ist dabei *Elodea nuttallii* mit 16 %, gefolgt von *Potamogeton pectinatus* mit 14 % und *Potamogeton pusillus* mit 10 %. In gleicher Häufigkeit wie die beiden häufigsten Gefässpflanzen treten auch die Characeen-Arten *Nitellopsis obtusa* mit 16 % und *Chara globularis* mit 14 % auf. Grundsätzlich dürfte die atypische Vegetationszusammensetzung im Alpnacher See im Vergleich zu den anderen Becken mit den erhöhten Nährstoffgehalten (fast doppelt so hohe Konzentration an Phosphor und Nitrat), als auch mit den häufigen Trübungen zusammenhängen. Beide Faktoren sind für das Aufkommen der Characeen ungünstig. Allenfalls gibt die nur in diesem Seeteil mit einem grösseren Anteil vertretene Art *Nitellopsis obtusa* dazu einen Hinweis: Sie erträgt einen gewissen Eutrophierungsgrad (KRAUSE 1997) und zeigt Stickstofftoleranz, im Gegensatz beispielsweise zu *Chara tomentosa*, welche zwar die häufigste Art im Vierwaldstättersee ist, aber im Alpnacher See praktisch nicht vorkommt.

Bestandesbildende Abundanzanteile und auch grössere Einzeldichten von Characeen kommen vor allem in der ausgedehnten Flachwasserzone von Stansstad («Garnhänki») vor, aber auch hier ist die Artzahl dieser Gruppe im wesentlichen auf 3 limitiert. Es fehlen weitere anspruchsvolle Arten, wie z.B. *Chara aspera* oder *Chara tomentosa*. Insgesamt kann festgehalten werden, dass dieser Bereich des Alpnacher Sees zwar quantitativ eine gut ausgeprägte Wasserpflanzenflora aufweist, aber die Häufigkeitsverhältnisse sehr unausgewogen sind. In grösseren Anteilen treten eutraphente, störungsresistente Arten wie *Elodea nuttallii* oder *Potamogeton pectinatus* auf. Auch ist auffällig, dass sich während der Vegetationsperiode sehr viele Wasservögel (Schwäne, Enten und Blässhühner) in der Makrophytenzone aufhalten und diese intensiv abweiden. Offensichtlich schadet das dem Gesamtbestand nicht, es ist jedoch anzunehmen, dass die Artenzusammensetzung durch das Fressverhalten der Wasservögel beeinflusst wird.

Während der Characeen-Anteil bei Stansstad 36–47 % beträgt, fällt er in den übrigen Abschnitten dieses Seebeckens mit 0–25 % noch geringer aus. Auf der eher windexponierten Westseite ist das Aufkommen von *Myriophyllum* (Tausendblatt) festzustellen. Sie gelten als Störungszeiger und können auch mechani-

schem Stress gut widerstehen. Es ist ungewohnt, dass hier gleich beide heimischen Arten *Myriophyllum spicatum* und *M. verticillatum* gemeinsam vorkommen, letztere wurde in keinem anderen Seebecken angetroffen. Die Tauchprofile sind kurz, die Verbreitungsgrenze der Vegetation liegt hier zwischen etwa 4 und 5 m.

Weiter erwähnenswert sind die ebenfalls einzig im Alpachersee festgestellte Vorkommen von *Utricularia australis* und *U. vulgaris* (Wasserschlauch).

Bezüglich der strukturellen Ähnlichkeit der Vegetation im Alpacher See zeigt sich folgendes Bild:

Im Vergleich jedes der 7 Transekte zu allen anderen ergibt sich ein Mittelwert von nur gerade 14 % (Index K), was als geringe bzw. keine Homogenität zu klassifizieren ist. Im Schnitt zeigen damit die einzelnen Transekte nur mit einem einzigen weiteren Transekt eine Übereinstimmung auf Niveau von mindestens mittlerer Ähnlichkeit. Am «repräsentativsten» sind insgesamt 2 Transekte mit jeweils 33 % Gemeinsamkeit zu den übrigen Standorten. Bei 5 Transekten besteht zu keinem oder höchstens einem einzigen anderen Standort eine Ähnlichkeit. In der grafischen Darstellung der Ähnlichkeitswerte und der Dichteunterschiede für jeden der möglichen Paarvergleiche ergibt sich nur bei 5 % eine Übereinstimmung in der Struktur und der Dichte, weitere 10 % weisen mindestens noch die gleiche Struktur auf (zusammen ergibt dies die oben erwähnten 14 % für den Index K, die Differenz von 1 % kommt durch Rundungseffekte zu Stande). In 52 % besteht nur in der Dichte und bei 33 % bei keinem der beiden Kriterien eine Übereinstimmung.

Fazit: Der Alpacher See zeigt eine stark heterogene und wechselnde Vegetationsstruktur, es gibt innerhalb des Sees keinen grösseren Abschnitt mit einem mehr oder weniger gleichbleibenden Bewuchs. Es ist aber anzumerken, dass die Transekte bezüglich der Uferlänge unterrepräsentiert sind.

3.3 Charakterisierung der Aufwuchsbedingungen

Bereits im vorhergehenden Kapitel wurde in der Interpretation der Vegetationscharakteristik darauf hingewiesen, dass die Zahl der Transekte nicht proportional der Uferlänge der verschiedenen Seebecken entspricht und ebenfalls nicht der Verteilung der verschiedenen Flachwassertypen, wie sie zum Beispiel anhand ihrer Breite klassifiziert werden können (z.B. gem. Uferbeurteilung des Vierwaldstättersees gem. TEIBER-SIESSEGGGER 2010).

Die Einteilung der Transekte bezüglich ihrer Breite der Uferbank ist in Abb. 1 bzw. Plan AKV-5-12 ersichtlich, die Anzahl pro Seebecken für verschiedene Breitenkategorien kann aus Abb. 32 entnommen werden: 97 Transekte weisen bis 4 m Wassertiefe eine Breite von < 100 m auf (davon 64 sogar nur < 50 m), 22 Transekte sind > 100 m breit.

In Abbildung 48 sind die Seebecken anhand einer groben Unterteilung in 2 Kategorien – Breite der Flachwasserzone < 100 m (= «schmal») und Breite > 100 m (= «breit») – im Vergleich zu ihrer Uferlänge dargestellt. Dabei fällt auf, dass schmale Uferbänke im Weggis-Vitznauer Becken und Gersauer Becken deutlich häufiger vorkommen, während dies für die breiten im Küssnachter See, im Alpnacher See und vor allem im Luzerner See gilt. Anhand dieser Grafik lässt sich bereits eine Typisierung der Seeteile anhand ihrer Uferstruktur (Breite der Flachwasserzone) machen, welche ja einer der wichtigen Faktoren für die Besiedlung mit Wasserpflanzen darstellt.

Die unproportionale Verteilung der Transekte fällt insbesondere in der Abundanz, also der Pflanzenmenge, ins Gewicht, welche direkt davon abhängt, wie viele Transekte pro Seebecken untersucht und welche Breitenkategorien der Uferbank damit abgedeckt wurden. In Tabelle 2 sind die Abundanz bzw. die Abundanzanteile für jedes Seebecken anhand der untersuchten Transekte aufgeführt. In Abbildung 48 erfolgt nun eine verhältnismässige Extrapolation der Abundanz unter Berücksichtigung der beiden Breitenkategorien der Flachwasserzone und der Uferlänge auf den ganzen See bzw. die Seebecken. Dies würde einer approximativ flächendeckenden Erhebung des ganzen Vierwaldstättersees entsprechen. Die weitere Typisierung der Seebecken anhand dieses Vorgehens ist in Abbildungen 49 und 50 dargestellt. Es fallen folgende Erkenntnisse auf:

- In der Gesamtabundanz ohne Differenzierung der Breitenkategorien weisen der Küssnachter See und der Luzerner See einen deutlich überproportionalen Wert auf, der Urner See, das Weggis-Vitznauer Becken und das Gersauer Becken sind klar unterdotiert.
- Analysiert man das Ergebnis anhand der Aufteilung in die Uferkategorien, wird ersichtlich, dass der Luzerner See und der Küssnachter See bei den schmalen Uferzonen eine deutlich überproportionale Abundanz aufweisen, im Gegensatz zum Alpnacher See, Urner See, Gersauer Becken und Weggis-Vitznauer Becken, welche auf diesem Ufertyp unterdurchschnittlich bewachsen sind. Der Horw-Hergiswiler See liegt fast auf der Äquivalenz-Linie (Anteil Abundanz entspricht dem Anteil der schmalen FWZ).
- Bei den breiten Flachwasserzonen zeigt sich ein massiver Überhang im Luzerner See. In diesem Seebecken ist nicht nur der Anteil an breiten Flachwasserzonen am grössten (von allen im See vorkommenden breiten Uferbänken lie-

gen fast 31 % im Luzerner See, obwohl dieser nur 12 % Uferlinienanteil aufweist), sondern sie sind auch ausserordentlich dicht bewachsen (Anteil von über 45 % an der Gesamtabundanz). Ein Bewuchsdefizit auf den breiten Uferbänken weisen vor allem der Urner See und der Alpnacher See auf.

Eine weiterer Zugang zur Evaluation der Aufwuchsbedingungen in den verschiedenen Seebecken ist die Abundanz pro m² (also die Pflanzenmenge pro Flächeneinheit, auch als Bewuchsdichte zu verstehen). Im Unterschied zur absoluten Pflanzenmenge (welche für den Vergleich zuerst proportionalisiert werden muss), können hierfür die effektiv untersuchten Transekte verwendet werden, indem sie den verschiedenen Ufertypen zugeordnet werden. In Abbildung 50 sind die Ergebnisse dargestellt. Anhand der 3 Kategorien < 50 m Breite | < 100 m Breite | > 100 m Breite zeigt sich sofort, welche unterschiedlichen Bedingungen in den Seebecken offenbar herrschen.

- Die sehr schmalen Uferbänke < 50 m Breite sind im Urner See und Alpnacher See schwach bewachsen, im Schnitt nur 11–25 %. Das andere Extrem bildet der Luzerner See mit einem Bewuchs > 75 %. Die übrigen Seebecken sind an der Grenze oder im Bereich der Dichtestufe 51–75 %. Der Mittelwert liegt bei 2.48 in der Stufe 26–50 %,
- Bei den schmalen Uferbänken < 100 m Breite bleibt nur der Alpnacher See bei einem geringen Bewuchs, die übrigen Seebecken gruppieren sich an der Grenze oder im Bereich der Dichtestufe 51–75 %. Der Luzerner See weist auch hier mit > 75 % den höchsten Wert auf. Der Mittelwert liegt bei 2.81 in der Stufe 51–75 %,
- Bei den breiten Flachwasserzonen > 100 m Breite weist der Urner See den kleinsten Abundanzwert auf, er liegt an der Grenze zur Stufe 51–75 %. Der Luzerner See und das Vitznauer Becken weisen hier mit > 75 % die höchsten Werte auf. Die übrigen Seebecken gruppieren sich in der Stufe 51–75 %. Der Mittelwert liegt bei 3.41 in der Stufe 51–75 %.

Die Auswertung der Abundanz pro m² zeigt, dass die schmalen Uferzonen im Schnitt weniger dicht besiedelt sind als die breiten. Die Bewuchsdichte steigt mit der Breite der Flachwasserzone an. Es gibt aber Seebecken in der diese Tendenz nicht oder nur in abgeschwächter Form gültig ist, wie in Abbildung 51 nochmals verdeutlicht wird. Betrachtet man der Einfachheit halber vor allem die beiden Kategorien < 100 m und > 100 m Breite, so zeigen sich im Weggis-Vitznauer Becken und im Alpnacher See sehr grosse Differenzen (massive Zunahme der Bewuchsdichte), während im Urner- und Luzerner See kaum Unterschiede auftreten und im Küssnacher See sogar eine leicht rückläufige Tendenz besteht. Werden die beiden Kategorien gemittelt sind auf der einen Seite der Alpnacher See und Urner See die beiden Becken mit dem geringsten und auf der anderen Seite das Weggis-Vitznauer Becken und der Luzerner See mit dem dichtesten Bewuchs.

Die Detailanalyse der Abundanzwerte (Abb. 51) und der Artverteilungen (Tab. 8–11) auf den beiden Flachwasserkategorien zeigt für den ganzen See einen erhöhten Bewuchs auf den breiten Uferbänken (aber keine Änderung der Bewuchsstufe, beide 51–75 %), praktisch gleichbleibende Summenanteile der Artgrup-

pen, hingegen grössere Verschiebungen innerhalb der Characeen, so weist insbesondere *Chara contraria* auf den breiten Uferbänken einen deutlich höheren Häufigkeitsanteil auf. In der Tendenz liegt auf den schmalen Uferbänken eine höhere Artenzahl vor (in 5 Seebecken kommen 2–11 Arten mehr vor, ausschliesslich in der Gruppe der höheren Wasserpflanzen). Es wird in Bereichen mit breiter Flachwasserzone auch durchwegs eine tiefere untere Verbreitungsgrenze erreicht, im Schnitt um 2.6 m, von 9.1 auf 11.7 m (im Luzerner See kann dieser Wert für die Transekte auf den breiten Uferbänken nicht ermittelt werden, weil in einem grösseren Teil nur eine Wassertiefe von wenigen Metern herrscht und die maximale Tiefe gar nicht «ausgeschöpft» werden kann).

Für die einzelnen Seeteile lassen sich zum Teil sehr spezifische Charakteristika zwischen den beiden Ufertypen aufzeigen (siehe Tab. 8–10):

- **Luzerner See:** Praktisch kein Unterschied in der Bewuchsdichte (keine Änderung der Bewuchsstufe, beide 76–100 %), aber deutliche Veränderungen in den Summenanteilen der Artgruppen. Auf den breiten Uferbänken ist der Characeen-Anteil markant höher (83 % gegenüber 59 %) und *Chara contraria* hat darin eine dominante Bedeutung, dafür zeigt sich ein deutlich erhöhter Anteil *Potamogeton pectinatus* auf den schmalen Uferbänken.
- **Küssnachter See:** Relativ kleiner Unterschied in der Bewuchsdichte (keine Änderung der Bewuchsstufe, beide 51–75 %) und moderate Veränderungen in den Summenanteilen der Artgruppen. Auf den breiten Uferbänken ist der Characeen-Anteil etwas höher (91 % gegenüber 80 %), innerhalb der Characeen aber eine auffällige Umverteilung der Häufigkeiten mit stark erhöhtem Anteil von *Chara tomentosa* auf den breiten Uferbänken (65 % gegenüber 40 %). Weiter: Mehr als doppelt so hohe Artenzahl bei den schmalen Uferbänken (20 : 9).
- **Weggis-Vitznauer Becken:** Deutlicher Unterschied in der Bewuchsdichte, Wechsel der Stufe 51–75 % bei den schmalen zu 76–100 % bei den breiten Uferbänken, dafür kaum markante Wechsel in der Artenzusammensetzung.
- **Gersauer Becken:** Relativ kleiner Unterschied in der Bewuchsdichte (keine Änderung der Bewuchsstufe, beide 51–75 %) und auch keine deutlichen Veränderungen in den Summenanteilen der Artgruppen. Innerhalb der Characeen aber eine auffällige Umverteilung der Häufigkeiten mit stark erhöhtem Anteil von *Chara contraria* und dem Verschwinden von *Chara tomentosa* auf den breiten Uferbänken. Weiter: Fast doppelt so hohe Artenzahl bei den schmalen Uferbänken (20 : 12).
- **Urner See:** Deutlicher Unterschied in der Bewuchsdichte, Wechsel der Stufe 26–50 % bei den schmalen zu 51–75 % bei den breiten Uferbänken, keine markanten Veränderungen in den Summenanteilen der Artgruppen. Innerhalb der Characeen aber eine auffällige Umverteilung der Häufigkeiten mit stark erhöhtem Anteil von *Chara contraria* und dem Rückgang von *Nitella opaca* auf den breiten Uferbänken.
- **Alpnacher See:** Deutlicher Unterschied in der Bewuchsdichte, Wechsel der Stufe 11–26 % bei den schmalen zu 51–75 % bei den breiten Uferbänken,

markante Veränderungen in den Summenanteilen der Artgruppen. Auf den schmalen Uferbänken nehmen die Characeen einen dreimal höheren Anteil ein (Steigerung von 13 % auf 38 %). Innerhalb der Characeen fällt die auffällig höhere Präsenz von *Nitellopsis obtusa* auf den breiten Uferbänken auf. Bei den höheren Wasserpflanzen ist dies bei *Potamogeton friesii* der Fall, welche auf den schmalen Uferbänken nicht anzutreffen ist.

Welche Erkenntnisse können hinsichtlich der Aufwuchsbedingungen der Seebecken aus den Abundanzwerten, der Bewuchsdichte pro m² und den Artverteilungen in den unterschiedlich Flachwasserzonen-Kategorien gewonnen werden?

Einerseits lassen sich grobe Prognosen erstellen, welche Vegetationszusammensetzung, Dichte und Bewuchstiefe an einer beliebigen Stelle des Sees erwartet werden können. Andererseits lassen sich die wichtigsten übergeordneten vegetationspezifischen Standortfaktoren der Seebecken abschätzen. Da sich auch die Nährstoffbedingungen zwischen den meisten Seeteilen nicht erheblich unterscheiden, mindestens nicht bezüglich der Phosphor-Konzentration (siehe Tabelle 1), dürften vor allem folgende Bedingungen einen gewissen oder sogar massgeblichen Einfluss haben:

- Temperatur
- Lichtverhältnisse
- Trübungen-Sedimenteinträge
- Untergrundbeschaffenheit
- Mechanische Kräfte (Wind- und Wellenregime)

Einzig beim Alpnersee kommt den Nährstoffbedingungen eine Bedeutung zu (oder sie fallen *zusätzlich* ins Gewicht), liegen doch die Phosphor- und Nitratwerte etwa doppelt so hoch. Im Falle des Phosphors bewegt sich die Konzentration an der Grenze der Stufe oligotroph zu mesotroph (siehe Abb. 52).

Einige der oben genannten Faktoren sind stark topografisch bedingt, so beeinflussen beispielsweise die Ausrichtung des Beckens und Landschaftsformationen am Ufer die Lichtverfügbarkeit und die Richtung der Winde, bei anderen spielen die Zuflüsse eine wichtige Rolle, unter anderem durch Sedimenteinträge und den daraus entstehenden mehr oder weniger anhaltenden Trübungen oder es spielen verschiedene Aspekte in Kombination eine Rolle, indem beispielsweise durch die Anteile von Besonnung und Beschattung die Temperatur geprägt wird oder sich durch die Stärke der windbedingten Wellen je nach Exposition die Untergrundbeschaffenheit entsprechend ausbildet etc. Nachfolgend wird exemplarisch für den Urner See und den Luzerner See der Einfluss der standörtlichen Gegebenheiten auf den Wasserpflanzenbewuchs erörtert:

Urner See

Die Anteile der Flachuferkategorien < 100 m Breite und > 100 m Breite entsprechen ziemlich genau der Proportionalität der Uferlinie von 12 % für dieses Seebecken. Der Abundanzanteil bzw. die Abundanz pro m² ist jedoch in beiden Kategorien unterdurchschnittlich. Es ist also anzunehmen, dass die Wuchsbedingungen generell eher ungünstig sind. Diese sind einerseits durch die fjordartige Struktur dieses Seebeckens mit grossen Anteilen an Steilformationen direkt am Ufer

geprägt (geringerer Lichtverfügbarkeit, tiefere Temperaturen), andererseits durch die häufigen und starken Winde (mit den entsprechenden Wellenkräften). Weiter dürften auch die Trübungen durch Feinsedimente aus dem Reusszufluss eine Rolle spielen. Nicht umsonst ist die Bewuchsdichte im Urner See die tiefste aller Seebecken und der Anteil der lichtabhängigen Characeen weist abgesehen vom Alpener See den kleinsten Wert auf. Auffällig ist das Fehlen von *Chara tomentosa* und der hohe Anteil von *Nitella opaca* (33 % Häufigkeitsanteil). Aus der Literatur liegen Erkenntnisse vor, dass *Chara tomentosa* negativ mit der Wellenexposition korreliert ist (BREITHAUPT 2008) und *Nitella opaca* bevorzugt auf sandigen Sedimenten mit geringer Detritusaufgabe auftritt (LANU-SH 2002) sowie zu den wenigen Characeen zählt, welche auch bei kräftiger Strömung gedeiht (KRAUSE 1997). Nebst dem Urner See ist *Nitella opaca* im benachbarten Gersauer Becken und im Weggis-Vitznauer Becken noch mit Anteilen von mehr als 10 % vertreten. Im übrigen See kommt sie nur spärlich vor. Welcher Faktor oder welche Faktorenkombination für das selektive Vorkommen dieser typischen Kaltwasserseen-Art in den drei genannten Seebecken entscheidend ist, kann vorderhand nicht schlüssig dargestellt werden. Dazu wären weitergehende Abklärungen nötig.

Luzerner See

Der Anteil an Flachufern < 100 m Breite ist im Luzerner See deutlich untervertreten, gerade das Gegenteil trifft für Flachufer der Kategorie > 100 m Breite zu. Letztere umfassen praktisch einen Drittel der im ganzen Vierwaldstättersee vorkommenden ausgedehnten Flachwasserzonen, bei insgesamt nur 12 % Uferanteil. Die Erwartung wäre nun, dass der Abundanzanteil ebenfalls bei etwa einem Drittel liegt. Er beträgt aber mit rund 45 % deutlich mehr. Das Gleiche gilt auch für die schmalen Uferbänke (Anteil 4 %, Abundanz 14 %). Das bedeutet, dass in diesem Seebecken besonders gute Aufwuchsbedingungen herrschen. Bei der Abundanz pro m² kommt dies ebenfalls zum Ausdruck, die Bewuchsdichte bewegt sich auf Stufe > 75 %, wodurch das Potenzial praktisch ausgeschöpft wird. Zwischen den breiten und den schmalen Flachwasserzonen bestehen praktisch kaum Unterschiede in der Bewuchsdichte (überdurchschnittlich hoch), hingegen in der Artenzusammensetzung. Auf den kurzen Uferbänken sind die Characeen in einem deutlich geringeren Anteil vertreten, zum einen ist das Vorkommen der wellenempfindlichen *Chara tomentosa* niedriger, ebenso (und noch markanter) jenes von *Chara contraria*. Dafür sind die störungsresistentere Art *Chara globularis* sowie die beiden *Elodea*-Arten und *Potamogeton pectinatus* deutlich häufiger anzutreffen. Die entscheidenden Faktoren, welche in den beiden Uferzonen-Kategorien nicht auf die Bewuchsdichte, sondern ausschliesslich auf die Artenzusammensetzung wirken, können vorläufig nicht weiter verifiziert werden. Das Wellenregime wäre eine mögliche Einflussgrösse, die Dämpfung ist auf breiten Uferbänken besser, was Arten mit grösserer Empfindlichkeit gegenüber mechanischer Belastung bevorzugen würde.

3.4 Vergleiche mit früheren Untersuchungen

3.4.1 Vergleich ganzer See und Seebecken 1982 - 2007ff

Vergleiche mit früheren Untersuchungen werden insbesondere dann aussagekräftig, wenn die Auswertungen geografisch für die gleichen Einheiten gemacht werden können und entsprechende Häufigkeitsangaben (Abundanz) und Verbreitungsangaben (Frequenzen) über die vorkommenden Arten vorliegen.

Die in den Jahren 1982–83 von LACHAVANNE ET AL. durchgeführten Erhebungen der Wasserpflanzenvegetation im Vierwaldstättersee sliegen weitgehend in quantitativ verwertbarer Form vor, sodass eine Gegenüberstellung der Ergebnisse mit den aktuell vorhandenen Daten durchführbar ist. Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass sich die damalige Methodik mit Auswertung von Luftbildern mit Verifizierung im Feld unter Verwendung von Greifern, Rechen und «Secchi-Guckern» deutlich von jener der heute standardisierten stichprobenweisen Tauchtransekten unterscheidet. Obwohl auch damals einige wenige Tauchprofile vorgenommen wurden, basierte die Lokalisierung eines Bewuchses vor allem auf der Auswertung von Bildern, mit den bekannten Einschränkungen wie sie in Kap. 1 bereits dargestellt wurden. In der vorliegenden Untersuchung von 2007–2011 lag der Fokus nicht mehr im Anspruch der «Flächendeckung» sondern vor allem in der Detailgenauigkeit und Vollständigkeit der Erfassung an möglichst vielen repräsentativen Stellen, jeweils bis zur unteren Verbreitungsgrenze und mit grösstmöglicher Differenzierung z.B. in der Artenzusammensetzung, der Bewuchsdichte, der Untergrundbeschaffenheit etc.

Die Daten der früheren Erhebung wurden in die gleiche Datenbankstruktur wie die aktuellen Ergebnisse übernommen, es stehen damit weitgehend die gleichen Auswertungsmöglichkeiten zur Verfügung.

Nachfolgend sind die wichtigsten Erkenntnisse aus dem Vergleich der Untersuchungen ausgeführt. Sie beziehen sich auf die Darstellung der Tabellen 22–27. Die Vorbehalte aufgrund der Methodenunterschiede sind dabei stets zu berücksichtigen.

Die quantitative Auswertung in der Tabelle belegt eindrücklich, dass im Vierwaldstättersee im Ganzen – über einen längeren Zeitraum betrachtet – eine massive Veränderung in der Vegetationszusammensetzung stattgefunden hat:

Die oligo–mesotraphenten Characeen, die in ihrer Nährstoffaufnahme abhängig von den N- und P-Konzentrationen im Wasserkörper sind, nahmen aufgrund der Reduktion der Gewässerbelastung in den letzten Jahrzehnten (siehe Abb. 52) deutlich zu und zwar quantitativ als auch hinsichtlich der Artenvielfalt. Der Abundanzanteil der Armleuchteralgen, bezogen auf den ganzen See, hat sich im Zeitraum von 25 Jahren von 8 % auf 74 % fast verzehnfacht. Die dominierende Artengruppe sind heute nicht mehr eutraphente Phanerogamen (= Blütenpflanzen, Samenpflanzen, auch als Spermatophyta bezeichnet) wie die damals wichtigsten Arten *Potamogeton pectinatus*, *P. perfoliatus* oder *P. pusillus*, sondern Armleuchteralgen, die bevorzugt unter nährstoffarmen Bedingungen gut gedeihen. Die am häufigsten vorkommende Art ist gegenwärtig *Chara tomentosa* (Ge-weih-Armlauchteralge), die aufgrund ihrer weiten Verbreitung und Häufigkeit mittlerweile als «Charakterart» des Vierwaldstättersees bezeichnet werden kann. *Chara tomentosa* wurde 1982 im See gar nicht nachgewiesen. Neben der gross-

flächigen Rückeroberung des Seelitorals durch die Armelechteralgen ist auch der qualitative Aspekt bemerkenswert. Waren bei den Untersuchungen 1982 ursprünglich nur 3 Arten sicher nachgewiesen, konnten in 2007 sieben weitere Arten belegt werden, sodass die Makroalgen-Flora im Vierwaldstättersee insgesamt aus 10 Characeen besteht. Darunter kommen auch vier seltene und gefährdete Arten vor.

Ähnlich markante Veränderungen sind unter umgekehrten Vorzeichen bei den phanerogamen Makrophyten festzustellen. Während 1982 der Litoralbewuchs im Vierwaldstättersee noch vorherrschend durch diese Artengruppe geprägt war, so machte sich seitdem ein eklatanter Rückgang bemerkbar: Von ehemals 92 % der Gesamtabundanz fiel der Wert auf 26 %. Im Unterschied zu den Characeen ist bei der qualitativen Entwicklung der höheren Wasserpflanzen jedoch ein augenfälliger Unterschied festzustellen. Gab es bei den Armelechteralgen einen deutlichen Artenzuwachs (von 4 auf 10), ist dieser bei den Phanerogamen nicht entsprechend zurückgegangen, sondern ebenfalls leicht angestiegen, sofern man nur die hydrophytischen Arten berücksichtigt. *Anmerkung: Da bei den Untersuchungen von LACHAVANNE ET AL. die Uferflora (Helophyten) mit einbezogen wurde, verfälschen diese das Gesamtergebnis bei den eigentlichen Wasserpflanzen. Tatsächlich variiert die Artenzahl der Wasserpflanzen im engeren Sinne (Hydrophyten) nur gering: Phanerogamen 18 Arten in 1982, 21 in 2007–2011. 16 Arten kommen in beiden Untersuchungen vor (weitere Angaben siehe Tab. 24).*

Zwei bestimmungskritische Arten wurden 1982 nachgewiesen (*Potamogeton filiformis* und *P. helveticus*), beide Arten waren 2007 nicht mehr vorhanden bzw. wurden eindeutig als *P. pectinatus* identifiziert. Ein Artaggregat von 1982, *Potamogeton gr. pusillus* (Gruppe um das Kleine Laichkraut) wurde in 2007–2011 dagegen in die eindeutig unterscheidbaren Kleinarten *Potamogeton berchtoldii* und *P. pusillus* aufgetrennt. Im Vergleich der Artenzahlen wurden diese beiden Gruppen zu einer Art zusammengefasst (siehe Tab. 22 und 23).

Jene Arten, die bei den Erfassungen 1982 am häufigsten waren, nämlich *Potamogeton pectinatus* (44 %) und *P. perfoliatus* (22 %), waren auch nach 25 Jahren am häufigsten, jedoch auf sehr niedrigem Niveau (8 % bzw. 4 %) – die Abundanzanteile haben sich für diese beiden Arten gleichermassen etwa um den Faktor 5 verringert. Eine stärkere Einbusse ist auch für *Elodea canadensis* zu verzeichnen (von 4 auf 2 %), dies wurde jedoch von *Elodea nuttallii*, welche 1982 im See noch nicht nachgewiesen wurde, mehr als kompensiert (6 % Abundanz). Nuttall's Wasserpest hat sich also auf Kosten ihrer Schwesterart ausgebreitet, diese teilweise verdrängt und auch neue Biotope erschlossen. Insgesamt kommen die beiden *Elodea*-Arten heute auf einen Anteil von 8 % (früher: 4 %).

Betrachtet man nun die Veränderungen nicht auf dem Niveau des Gesamtsees sondern auf der Ebene der sieben Teilbecken, so ergibt sich ein differenzierteres Bild der Entwicklung in den letzten 30 Jahren:

Der **Luzerner See** spiegelt die Veränderung des Vierwaldstättersees am ehesten gesamthaft wider. Von einem ehemals durch *Potamogeton*-Bestände dominierten Seebecken hat er sich zu einem Characeen-See entwickelt, der über weite Strecken von *Chara tomentosa* geprägt wird. *Potamogeton pectinatus* bleibt zwar die

häufigste Phanerogamenart, ist allerdings in ihrem Auftreten auf 11 % Abundanzanteil reduziert (vormals 44 %). Dichte Bestände dieser eutraphenten Art findet man im Luzerner See nur noch in Seemitte nahe des Auslaufes. Die Gesamtartenzahl hat sich erhöht (von 14 auf 21), vor allem bedingt durch das vermehrte Auftreten der Armleuchteralgen (von 4 auf 10). Damit einher geht auch eine deutliche Zunahme der Vegetationsdichte von Stufe 3 auf Stufe 5.

Im **Küssnachter See** haben die deutlichsten Veränderungen stattgefunden. Die Verschiebung hin zum Characeen dominierten Gewässer ist hier mit dem Anstieg des Abundanzanteils der Armleuchteralgen vom 3 auf 83 % besonders auffällig. Auch die Artenzahl hat sich verändert (von 10 auf 19), wobei die grössten Zugewinne wiederum bei den Characeen auftreten (7 gegenüber 1 Art in 1982). Stark zurückgegangen sind auch hier die hochwüchsigen Laichkräuter (*Potamogeton pectinatus*, *P. perfoliatus*, *P. pusillus*), ein nennenswerter Zugewinn ist nur bei *Elodea nuttallii* festzustellen (von 0 auf 5 %). Diese Art profitiert nicht nur von der Störungssituation im Küssnachter See (häufige Regenentlastungen und Trübungen), sondern kann aufgrund ihrer ökologischen Valenz auch in wenig gestörten Wasserpflanzenbeständen der Tiefenzone grossflächig auftreten. Hier drängt sie in eine Nische, die bislang überwiegend von *Elodea canadensis* und *Nitella opaca* gleichermassen genutzt wurde bzw. in früheren Jahren aufgrund der Gewässertrübung noch gar nicht besiedelt war (*Nitella opaca* wurde 1982 seeweit noch nicht nachgewiesen).

Im Weggis-Vitznauer Becken ist die Zunahme der Characeen gegenüber den Verhältnissen von 1982 ebenfalls eindrücklich und ist bezüglich der Grössenordnung etwa vergleichbar mit jener im Luzerner See, dies ist am deutlichsten an der Artenzahl ablesbar. In keinem anderen Teilbecken des Vierwaldstättersees hat es eine so deutliche Zunahme der Artenzahl gegeben wie hier (von 11 auf 18 Arten). *Anmerkung: Dies ist umso bemerkenswerter, da der Untersuchungsrayon in 2007 mit den 119 Transekten (17 im Weggis-Vitznauer Becken) ja deutlich geringer war als 1982, wo der ganze See flächendeckend erfasst wurde (allerdings muss die Methode der Luftbildinterpretation und Stichprobenverifizierung im Feld nicht a priori zu mehr Arten führen, eine sehr detaillierte Erhebung entlang eines Transektes kann ohne weiteres ein grösseres Artenspektrum ergeben).* Deutlich profitiert haben die Characeen, die sowohl bei der Artenzahl (von 3 auf 6 Arten) als auch bei den Abundanzanteilen (von 13% auf 79 %) die stärksten Zugewinne zu verzeichnen haben. Auch ist es hier wieder *Chara tomentosa*, die gegenwärtige «Charakterart» des Vierwaldstättersees, die mit 42 % Abundanzanteil die gravierendsten Veränderungen anzeigt. 1982 war diese Art im Vitznauer Becken nicht nachgewiesen worden.

Im **Gersauer Becken** verhält sich die Vegetationsentwicklung sehr ähnlich wie im Weggis-Vitznauer Becken. Auch hier ist die Erhöhung der Artenzahl bemerkenswert (von 13 auf 19), vor allem bei den Characeen, sie fällt dort sogar noch grösser aus (von 3 auf 9). Wiederum markant ist die Häufigkeitsverschiebung bei den Phanerogamen, insbesondere bei der Gruppe *Potamogeton pectinatus* – *perfoliatus* – *pusillus* (von 73 % auf 7 %), die Artenzahl der höheren Wasserpflanzen bleibt aber gleich. Etwas auffällig ist die Zunahme von *Elodea nuttallii*, welche

nun mit 10 % Abundanz die häufigste Phanerogamenart in diesem Seebecken darstellt.

Der **Urner See** sticht im Vergleich der verschiedenen Becken besonders durch seine geringe Artenzahl hervor. Dies war auch bereits 1982 der Fall, es wurden nur 9 Arten gefunden, heute sind es 16 Arten. In den letzten 25 Jahren hat sich also eine relativ deutliche Diversifizierung des Artenspektrums ergeben. Es sind zwar immer noch weniger Arten vorhanden als in den anderen Seebecken, jedoch sind die Zunahme um eine Dichtestufe und die hohen Abundanzanteile der Characeen als deutliche Verbesserung der Verhältnisse zu bewerten. Hier dürfte sich die ökologische Aufwertung des Reussdeltas bzw. die Aufgabe der Kiesentnahme in empfindlichen Flachwasserbereichen bemerkbar machen. Allgemein zeigt sich auch in diesem Seebecken die markante Verschiebung der Häufigkeiten von der Gruppe Phanerogamen zu den Characeen, sie fällt jedoch nicht so drastisch aus. Etwas auffällig (wie auch im benachbarten Gersauer Becken und im Alpacher See) ist auch hier die Zunahme von *Elodea nuttallii*, welche nun mit 12 % Abundanz die häufigste Phanerogamenart darstellt.

Der **Horw-Hergiswiler See** hat im Prinzip die «totale» Wende durchgemacht. War dieses Seebecken in 1982 praktisch ein zu fast 100 % von Laichkräutern dominierter See, so hat sich mittlerweile ein Häufigkeitsanteil der Armleuchteralgen von 65 % eingestellt. *Potamogeton pectinatus* hat den stärksten Rückgang im ganzen See zu verzeichnen (56 %). Waren Characeen-Arten vormals kaum nachweisbar (4 Arten mit zusammen 1 % Abundanzanteil), so baut diese Artgruppe heute mit 8 Arten aus quantitativer Sicht zum überwiegenden Teil die Litoralvegetation in diesem Seebecken auf. Die Artenzahl ist insgesamt von 17 auf 24 angewachsen, die Übereinstimmung der hydrophytischen Phanerogamen-Arten ist zwischen früher und heute mit 13 im Horw-Hergiswiler See am grössten.

Die Sonderstellung des **Alpnacher Sees** aufgrund seines stark getrübbten, kälteren und auch bei chemischen Kenngrössen vom Rest des Sees abweichenden Wassers, wird auch in der Gegenüberstellung 1982–2007 bestätigt. Waren die Characeen ursprünglich bei den Erhebungen von LACHAVANNE ET AL. praktisch nicht existent (< 1% Abundanz, bei nicht auf Artniveau bestimmten Proben), so hat sich deren Anteil gegenwärtig auf 36 % erhöht. Dieser Anteil ist aber erheblich kleiner als in den übrigen Seebecken, welche einen Durchschnittswert von 73 % aufweisen. Das Spektrum ist mit 6 Arten jedoch nicht deutlich kleiner und bewegt sich im Bereich des Urner Sees, Weggis-Vitznauer Becken und Küssnachter See. Es ist aber nicht nur bei den Characeen sondern auch bei den Phanerogamen eine deutliche Zunahme der Artendiversität zu erkennen. Die Artenzahl der Hydrophyten hat sich mehr als verdoppelt (von 8 auf 17 Arten). Wie überall ist der Rückgang von *Potamogeton pectinatus* überaus deutlich, er fällt jedoch nicht hauptsächlich zu Gunsten der Characeen ins Gewicht sondern es profitieren auch andere Phanerogamen davon, darunter vor allem *Elodea nuttallii*, *Myriophyllum verticillatum*, *Potamogeton friesii* und *Pot. pusillus*. Alle diese Arten gehören zum eutraphenten Spektrum. Wie im Gersauer Becken und Horw-Hergiswiler See soll hier das Erscheinen der neophytischen Art *Elodea nuttallii* auf über 10 % Häufigkeitsanteil besonders hervorgehoben werden. Im Alpacher See ist sie mit 16 % sogar die häufigste Phanerogamenart. *Anmerkung: In der Aufnahme von 1982*

nimmt *Phragmites australis* (Schilfrohr) im Alpnacher See einen Anteil von 60 % ein. Die übrigen Seebecken kommen auf höchstens 8 %. Dadurch wird der Vergleich der hydrophytischen Arten stark beeinflusst. Ohne Berücksichtigung von *Phragmites* würden sich die Anteile der sonst dominierenden *Potamogeton* Arten nahezu verdoppeln. Im Jahr 1982 war der Unterschied des Alpnacher Sees zu den übrigen Seebecken hinsichtlich seiner Vegetationsstruktur nicht deutlich verschieden. Im aktuellen Zustand sind die Differenzen im Verhältnis der beiden Gruppen Characeen : Sonstige Arten jedoch markant. Inwieweit die häufigen Trübungen ausschlaggebend sind oder die fast doppelt so hohen Konzentrationen der Nährstoffe Phosphor und Nitrat ist schwierig zu differenzieren. Beide Faktoren sind für das Aufkommen der Characeen nicht förderlich: Sie sind einerseits Indikatoren für nährstoffarme Verhältnisse, andererseits relativ empfindlich gegenüber einer Abnahme der Lichtintensität.

Da heute die Characeen in den meisten Seebecken absolut dominierend sind, fallen die Häufigkeitsanteile der übrigen Arten sehr klein aus und die Entwicklungen der Arten relativ zueinander sind kaum zu erkennen. Es wurde deshalb eine Auswertung durchgeführt, welche in beiden Untersuchungen isoliert nur die Phanerogamen (Samenpflanzen) berücksichtigt und deren Bestand auf 100 % setzt (siehe Tab. 23). Daraus lassen sich nun unabhängig des übergeordneten Abnahme dieser Artgruppe an der Gesamtvegetation (bzw. unabhängig des Zuwachses der Characeen) allfällige Veränderungen in der innerartlichen Zusammensetzung erkennen. Markant ist z.B. der Zuwachs der *Elodea*-Gruppe von 5 auf 32 % Vegetationsanteil zulasten der *Potamogeton*-Arten. Immer noch am häufigsten und in praktisch den gleichen Proportionen zeigen sich die Abundanzanteile von *Potamogeton pectinatus*, *Potamogeton perfoliatus* und *Potamogeton pusillus*. Das Artenspektrum nimmt von 16 auf 21 Arten zu.

3.4.2 Vergleich ausgewählte Beispielgebiete

Seedorferbucht (Urner See)

Im Rahmen der Sanierung der Reusswehranlage (mit Etablierung eines neuen Wehrreglementes seit Mitte 2011) wurde ein Monitoring-Programm mit Wasserpflanzenuntersuchungen an drei ausgewählten Standorten begonnen: Seedorferbucht (UR), Stansstad (NW) und Horwerbucht (LU). Die Aufnahmen des IST-Zustandes fanden 2009 und 2011 statt. Zwei weitere Erhebungen sind im PROJEKT-Zustand vorgesehen. Im gleichen Zeitraum hat sich die Arbeitsgruppe Reussmündung entschlossen, eine neue und gänzlich überarbeitete und erweiterte Fassung der 1984 erschienenen Darstellung der Reussmündungslandschaft am Urner See herauszugeben. Dazu gehörte auch die Aktualisierung der Wasserpflanzensituation, einerseits auf den ganzen Vierwaldstättersee bezogen, andererseits mit spezieller Berücksichtigung des Urner Sees. Als neuere Daten wurden dazu die Erhebungen des Reusswehr-Monitorings in der Seedorferbucht beigezogen und auch mit früheren Verhältnissen verglichen. Nachstehend ist das betreffende Kapitel aus dem neuen Buch «Das Urner Reussdelta» (ARBEITSGRUPPE REUSSMÜNDUNG 2011) in diesen Bericht übernommen worden.

Auszug des Kapitels 2.1.8 «Wasserpflanzen» (S. 31–37) aus:

Das Urner Reussdelta

Arbeitsgruppe Reussmündung, 2011. 152 S.

Autoren: U. Wüthrich / W. Brücker / R. Hauser

Autor Wasserpflanzen: K. Niederberger (AquaPlus)

2.1.8 Wasserpflanzen

Klemens Niederberger

Im Urner Reussdelta hat sich in den letzten 100 Jahren unter Wasser Dramatisches abgespielt, und dies weitgehend «unter Ausschluss der Öffentlichkeit». Zu den Hauptbetroffenen gehören die Wasserpflanzen, deren Entwicklung nachfolgend im Zusammenhang mit diesen Ereignissen dargestellt wird.

Zum einen fand durch den Kiesabbau ein grossflächiger Verlust an Flachwasserzonen statt, einem Lebensraum, wie er in unseren Breitengraden kaum vielfältiger sein könnte und der für den Vierwaldstättersee – und speziell für den Urnersee mit seinen vielfach sehr steilen Ufern – eine absolute Mangelware darstellt. Am Südufer des Urnersees sind im letzten Jahrhundert etliche Hektaren Flachwasserzonen zerstört worden. Durch das Projekt Seeschüttung konnten im Zeitraum 2000–2008 mit Zuführung von Material aus Tunnelbauprojekten 1,76 ha wiederhergestellt werden.

Zum anderen fand im eingangs erwähnten Zeitraum eine starke Veränderung der Wasserqualität statt, ein Vorgang, dem die meisten schweizerischen Seen ausgesetzt waren. Obwohl der Vierwaldstättersee noch vergleichsweise glimpflich davonkam, zeigt die Nährstoffkurve in Abbildung 2.27 den typischen Verlauf, der die Wasserpflanzenzusammensetzung zweimal – einmal in der Phase des Anstiegs von ca. 1965 bis 1980 und daran anschliessend wieder bei abnehmenden Konzentrationen als Folge der verbesserten Phosphatfällung in den Kläranlagen und des Verbots von phosphathaltigen Waschmitteln – massiv umgestaltet hat. Hätte sich das Unterwassergeschehen für alle einsehbar an der Oberfläche abgespielt, wäre vermutlich schnell der Ausnahmezustand ausgerufen worden. Man kann sich das Geschehen vielleicht so verdeutlichen, wie wenn in kurzer Zeit alle unsere Nadelwälder an den Berghängen durch das massenweise Aufkommen beispielsweise von Stechpalmen verdrängt worden wären. Es hätte dann kaum so lange für wirksame Massnahmen gedauert, um der Überdüngung der Gewässer Einhalt zu gebieten.

Betrachten wir das Geschehen nun im Detail: Erste brauchbare Angaben über die Ausdehnung und Zusammensetzung der Wasserpflanzen liegen in einer rudimentären Karte von Bachmann aus dem Jahr 1913 (Obermayer 1922) vor. Daraus wird ersichtlich, dass am flachen Südufer vor allem *Armleuchteralgen* (*Characeen*) vorherrschend waren. Sie sind typische Vertreter von nährstoffarmen, sogenannt oligotrophen Verhältnissen, welche den natürlichen Zustand des Vierwaldstättersees darstellen. Einzig in den grossen Gräben der ehemaligen Reuss kamen in namhaften Anteilen auch andere Arten vor, wie z. B. verschiedene Laichkräuter oder das Tausendblatt. 1935 erscheint eine umfassende Beschreibung der Wasserpflanzen im Vierwaldstättersee von Gamma (1935), in der auch die Entwicklung der letzten 20 Jahre besprochen wird. Erstmals erfolgte auch an verschiedenen Stellen rund um den See die detaillierte Aufnahme von Stichproben-



Abb. 2.25
Gegensätzliche Armleuchteralge, heute die häufigste Unterwasserart im Gebiet.
Foto: Freenet.

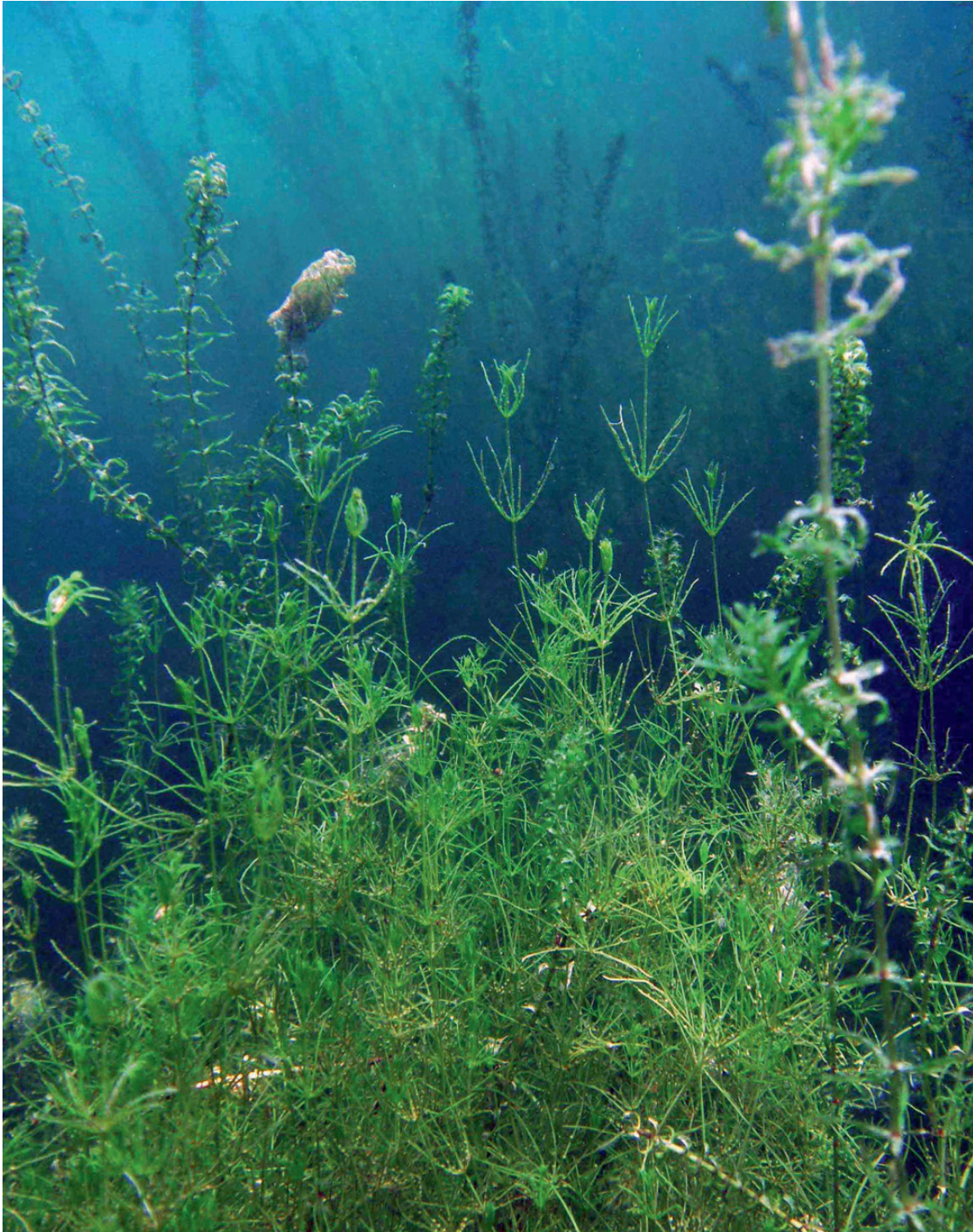


Abb. 2.26

Unterwasserpflanzen in der Seedorferbucht: Zerbrechliche Armleuchteralge (vorne) und Wasserpest (im Hintergrund). Foto: AquaPlus

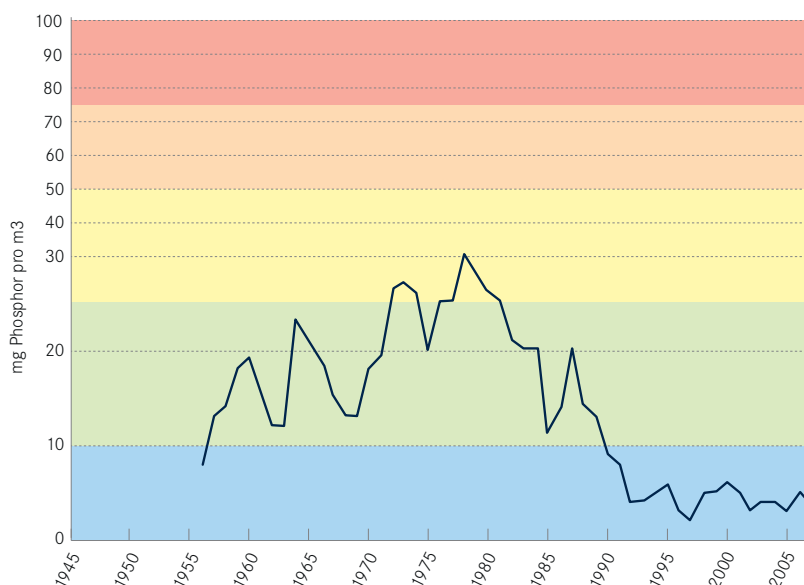


Abb. 2.27
Entwicklung des Nährstoffgehaltes (Phosphor) im Vierwaldstättersee seit 1955. Beurteilung der Trophiestufen anhand der Phosphorkonzentration und der Wasserpflanzen-Bewuchstiefe. Aus: Umwelt und Energie Kanton Luzern (Nährstoffkurve); Wetzel 2001 (Phosphorstufen), Hoesch & Buhle 1996 (Makrophyten-Tiefengrenzen)

Bewertungsschlüssel für Seen anhand des Gesamtphosphor-Gehaltes:

- = schlecht
- = unbefriedigend
- = mässig
- = gut
- = sehr gut

(Gemäss Praxis Baudirektion Zürich, AWEL, 2010)

Trophiestufe	Phosphorkonzentration mg P/m ³	mittlere Wasserpflanzen-Tiefengrenze Wassertiefe in m
oligotroph (nährstoffarm)	< 10	> 9
mesotroph (mässig nährstoffreich)	10–30	> 3.6
eutroph (nährstoffreich)	> 30	> 0.6

profilen, allerdings noch ohne Taucheinsätze. Über das Urner Reussdelta wird Folgendes festgehalten: «... westlich des Reussdeltas bis gegen Seedorf und Bolzbach befindet sich die schönste Charawiese des Sees, bis 10 m Tiefe in einer Ausdehnung von zirka 20 ha.» Die Characeen waren zu dieser Zeit noch in vielen Bereichen des Sees häufig und bildeten oft grosse zusammenhängende Unterwasserrasen. Bereits in diesem Bericht wird aber das vermehrte Aufkommen von eher nährstoffliebenden Arten, unter anderen verschiedene Laichkräutern, konstatiert. Spezielle Erwähnung findet das *Durchwachsene Laichkraut* (*Potamogeton perfoliatus*), dessen auffallende Zunahme in den letzten Jahrzehnten mit der vermehrten Verunreinigung des Wassers in Verbindung gebracht wird. Offenbar waren die dichten Bestände vor ausmündenden Abwässern schon damals ein verbreitetes Bild. In der Untersuchung von 1982/83 durch Lachavanne et al. (1985) tritt die von Gamma (1935) prognostizierte Vegetationsveränderung in vollem Umfang zu Tage: Im ganzen See weisen die Characeen nur noch einen Anteil von 8% auf, während die drei Laichkrautarten *Kammförmiges* (*Potamogeton pectinatus*), *Durchwachsenes* (*P. perfoliatus*) und *Kleines Laichkraut* (*P. gr. pusillus*) auf insgesamt 78% ansteigen! Interessanterweise hat inzwischen die kleinblättrige Laichkrautvegetation, dazu gehören *P. pectinatus* und *P. pusillus*, Überhand genommen (54%), welche als Indikator für stärkere Nährstoffbelastungen gilt. Die grossblättrige Gruppe mit *Potamogeton perfoliatus* (24%), um 1935 gemäss Gamma der wichtigste Zeiger der zunehmenden Belastung, repräsentiert vergleichsweise moderate Verhältnisse. Im Urnersee werden zu diesem Zeitpunkt noch 6,5% der Vegetation durch die Characeen gebildet. Betrachtet man aber nur den Ausschnitt der Seedorferbucht als ausgedehnte und auch vom Kiesabbau unberührte Flachwasserzone, so waren es immerhin noch 27%.

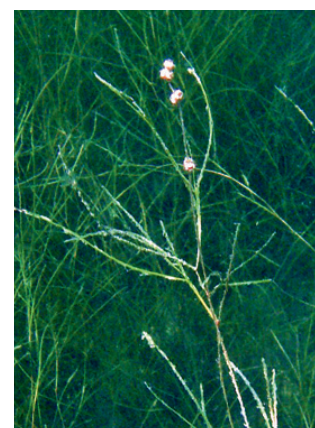


Abb.2.28
Kamm-Laichkraut.
Foto: AquaPlus

13 Jahre später, anhand der Untersuchung von AquaPlus (1996) im Bereich zwischen Seedorf und Flüelen, ist bereits eine starke Trendumkehr festzustellen: Die Characeen weisen in der Seedorferbucht wieder einen Anteil um 80 % auf. In den Jahren 2001–2006 und 2009, ebenfalls ausgeführt durch AquaPlus (AquaPlus 2009) anlässlich von Monitoringerhebungen im Zusammenhang mit dem Projekt «Seeschüttung» und den Vorabklärungen für das neue Reusswehrreglement in Luzern, bleibt schliesslich der Characeenanteil mehr oder weniger konstant auf diesem Niveau. Betrachtet man die Phosphatkurve in Abbildung 2.27, so entspricht die Wasserpflanzensituation etwa diesem Verlauf, bewegt sie sich doch ab 1992 ohne grössere Ausschläge auf einem tiefen Wert zwischen 2 und 5 mg P/m³, was oligotrophen – also nährstoffarmen – Verhältnissen entspricht. Damit dürfte der heutige Zustand dem sogenannten Referenzzustand, das heisst den weitgehend natürlichen Verhältnissen, wie sie Gamma (1935) mit Rückblick auf die Zeit vor 1935 beschreibt, wieder ziemlich nahe kommen. Ein weiteres wichtiges Indiz für die Standortverhältnisse ist die untere Verbreitungsgrenze der Vegetation. Auch hier besteht (unter anderem) ein Zusammenhang mit der Nährstoffsituation: Je mehr Nährstoffe, desto mehr Plankton, desto grösser die Lichtabsorption im Was-



Abb. 2.29
Uferlinie und Verbreitung der
Wasserpflanzen im Jahr 1913.
Mittelwasserstand = 433.6,
Höhenlinie 420 = ~13.6 m Wassertiefe
(nach Bachmann 1913 in Obermayer 1922)

- | | | |
|-----------------------------|------------------------------|----------------------------|
| ∇ Chara spec. | ⤴ Ranunculus aquatilis L. | ♥ Potamogeton lucens L. |
| ⤴ Nitella spec. | ⤴ Elodea canadensis Rich. | □ Potamogeton crispus L. |
| ⤴ Scirpus lacuster L. | △ Zannichellia palustris L. | ♥ Alisma plantago L. |
| ⤴ Phragmites communis Trin | ♀ Potamogeton perfoliatus L. | ∞ Mentha aquatica L. |
| ♣ Ceratophyllum demersum L. | ∇ Potamogeton pectinatus L. | ♣ Myriophyllum spicatum L. |
| ○ Nuphar luteum (L.) Sm | ♀ Potamogeton natans L. | ⊞ Hippuris vulgaris L. |
| ○ Nymphaea alba L. | ♣ Potamogeton densus L. | |

serkörper, und desto weniger weit können die Wasserpflanzen in die Tiefe vordringen. Aus der Darstellung von 1913 ist im Reussdelta eine Tiefe von etwa 13–14 m abzulesen, 1935 wird eine Tiefenangabe von 10 m gemacht, 1982 und 1988 erreichen die Wasserpflanzen gerade noch 5 m (!) und ab 1995 pendelt diese Grenze wieder zwischen 10 und 11 m, was etwa wieder dem Ausgangszustand entspricht. Die grösste Tiefe im Vierwaldstättersee für Wasserpflanzen liegt zurzeit zwischen 17 und 18 m in der Luzernerbucht. Theoretisch wird für Schweizer Seen eine maximale Tiefe von 20 m angenommen. Im Reussdelta dürfte das örtliche Potenzial jedoch ausgeschöpft sein, da durch den Feinsedimenteintrag der Reuss immer wieder länger anhaltende Trübungen auftreten und damit das Lichtklima nicht unerheblich beeinflusst wird.

In der Abbildung 2.31 ist die Untersuchung von 2009 in der Seedorferbucht mit der Gesamtdichte der Vegetation dargestellt. Insgesamt kommen 14 Arten vor, eine der wichtigsten davon, *Zerbrechliche Armleuchteralge* (*Chara globularis*) mit fast 20% Vegetationsanteil, zeigt Abbildung 2.26. Während die Wasserpflanzen früher mit Gucker von einem Boot aus, mit Rechen zum Ausreissen der Pflanzen sowie ab den 1980er-Jahren mit Unter-



Abb. 2.30
Seedorferbucht mit erkennbarer
Unterwasservegetation.
Foto: AquaPlus

stützung von Luftbildern kartiert wurden, erfolgen die Erhebungen heute praktisch ausschliesslich mit dem Abtauchen von Linien senkrecht zum Ufer, sogenannten Tauchtransekten. Die Verhältnisse entlang der Linien werden dann zu einer flächigen Darstellung extrapoliert. Aus der Erkenntnis, dass die Luftbilder mit zu vielen Mängeln für eine Erfassung der Unterwasserpflanzen behaftet sind, wurde ab Anfang der 1990er-Jahre diese spezielle Tauchmethode im Zuge verschiedener Untersuchungen im Vierwaldstättersee ent-



Abb. 2.31

Wasserpflanzendichte in der Seedorferbucht 2009. Für jede der vorkommenden Arten kann heute die jeweilige Einzeldichte in gleichem Sinne dargestellt werden. Grafik: AquaPlus

Bewuchsdichte

- = < 1 % der Fläche bewachsen
- = 1 – 10 %
- = 11 – 25 %
- = 26 – 50 %
- = 51 – 75 %
- = > 75 %

Mittelwasserstand (MW) = 433.58 m ü. M. (gem. BAFU)

1 - 10 Startpunkt und Nummer der Tauchtransekte.

Breite der dargestellten Transekte: 40 m

Untersuchungsperimeter

Artenliste der Wasserpflanzen im Untersuchungsgebiet (Seedorferbucht) mit Bezeichnung der Nährstoffpräferenzen und der Häufigkeitsanteile.

- oligotraphente Art
 - oligo-mesotraphente Art
 - meso-eutraphente Art
 - eutraphente Art
 - keine Einstufung (fehlende Angaben oder H: Helophyt = Sumpfpflanze)
- oligotraphent = nährstoffmeidende
eutraphent = nährstoffliebend

ARMLEUCHTERALGEN (Characeen)		Häufigkeit [%]
<i>Chara aspera Willd.</i>	Raue Armleuchteralge	0.9
<i>Chara contraria A. Braun ex Kützing</i>	Gegensätzliche Armleuchteralge	46.3
<i>Chara globularis Thuillier</i>	Zerbrechliche Armleuchteralge	18.8
<i>Nitella opaca (Bruzelius) Ag.</i>	Dunkle Glanzleuchteralge	7.2
<i>Tolypella glomerata (Desv in Loi.) J. Groves</i>	Knäuel-Armleuchteralge	2.8

MOOSE (Bryophyta)		Häufigkeit [%]
<i>Fontinalis antipyretica Hedw.</i>	Fieberquellmoos	0.8

SAMENPFLANZEN (Spermatophyta)		Häufigkeit [%]
<i>Elodea canadensis Michx.</i>	Kanadische Wasserpest	2.0
<i>Elodea nuttallii (Planchon) St. John</i>	Nuttalls Wasserpest	0.2
<i>Phragmites australis (Cav.) Steud.</i>	Schilf	1.2
<i>Potamogeton friesii Rupr.</i>	Fries' Laichkraut	0.7
<i>Potamogeton pectinatus L.</i>	Kammförmiges Laichkraut	13.6
<i>Potamogeton perfoliatus L.</i>	Durchwachsenes Laichkraut	2.8
<i>Potamogeton pusillus L.</i>	Kleines Laichkraut	0.5
<i>Zannichellia palustris L.</i>	Teichfaden	2.2

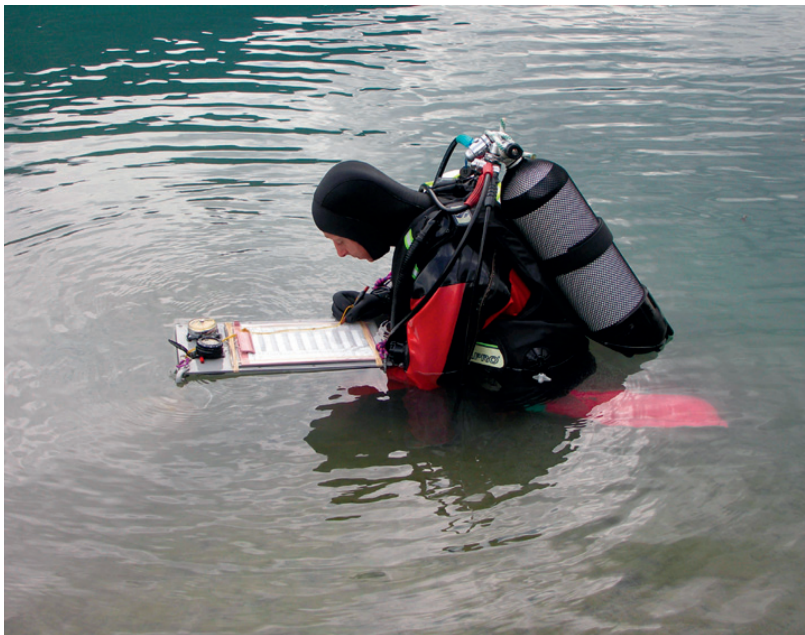


Abb. 2.32
Taucher beim Inventar der
Unterwasservegetation.
Foto: AquaPlus

wickelt (unter anderem 1995 pionierhaft erprobt im Reussdeltagebiet), welche mittlerweile zum Standard im europäischen Raum geworden ist.

Ausgelöst durch die Revitalisierung der Reussmündung und später durch die Regenerierung der verloren gegangenen Flachwasserzonen weist das Südufer des Urnersees eine einmalige Serie von Wasserpflanzenerhebungen auf, welche unter Beizug früherer Untersuchungen – trotz erheblicher methodischer Unterschiede – in der grossen Linie beispielhaft die «stürmische» Entwicklung der Unterwasserwelt im Vierwaldstättersee als Folge der anthropogen bedingten Nährstoffeinflüsse wiedergibt.

Aus dem Seeschüttungsprojekt im Reussdelta lassen sich übrigens auch wichtige Erkenntnisse über die Besiedlung von Wasserpflanzen auf neuen Flächen ableiten, wie sie in dieser Form sonst kaum verfügbar sind. Anhand der während der Schüttperiode 2001–2008 fast jährlich durchgeführten Monitoringenerhebungen an den immer gleichen Transekten konnte auf quantitativer Ebene nachgewiesen werden, dass innerhalb von drei bis vier Jahren eine praktisch vollständige Besiedlung der neuen Seegrundflächen durch Wasserpflanzen stattfand, in einer weitgehend gleichen Bewuchsdichte und Zusammensetzung wie in der angrenzenden Seedorferbucht, welche für das Projekt als «Vorlage» für eine intakte Flachwasserzone diente.

3.4.3 Vergleich Referenzprofile

An mehreren Stellen im Vierwaldstättersee wurden zu verschiedenen Zeitpunkten detaillierte Aufnahmen der Wasserpflanzen vorgenommen. Ausgehend von der ersten Untersuchung aus den Jahren 1932–1934 durch GAMMA (1935) mit 12 Stellen erfolgte eine Wiederholung an den gleichen Standorten im Jahr 1982 durch LACHAVANNE ET AL. (1985), im Jahr 1994 durch BURRI (1994) und schliesslich im Zeitraum 2007–2011 durch AQUAPLUS.

Die Erhebungen von BURRI (1994) umfassen nur die 6 GAMMA-Stellen auf dem Gebiet des Kantons Luzern, 4 zusätzliche Standorte wurden erstmals erfasst (z.T. auf der Basis von Aufnahmen von AQUAPLUS in der Howerbucht). Eine weitere Stelle kam auf Wunsch des Kantons Luzern in der Aufnahmeperiode 2007–2011 hinzu.

Diese mehrmals untersuchten Stellen werden als «Referenz-Profile» bezeichnet. Sie bilden einen historischen Beleg der Vegetationsentwicklung im Verlaufe der Zeit an einer bestimmten Stelle. Die «Referenz» bezieht sich hier in erster Linie auf den «Zeitstempel» und ist nicht als idealtypische (ungestörte, optimale) Ausprägung der Wasserpflanzenverhältnisse unter den gegebenen Verhältnissen zu verstehen. Insgesamt haben 16 der 119 Transekte diesen Status. In der Übersichtsdarstellung in Abb. 53 sind sie entsprechend gekennzeichnet und anschliessend auf den Seiten 81–98 des Auswertungsdossiers im Detail dargestellt (Querprofil, Häufigkeiten der vorkommenden Arten und Tiefenverbreitung zu den verschiedenen Zeitpunkten, etc.).

Die quantitative Aufbereitung der Daten aus den drei früheren Erhebungen gestaltete sich aufgrund der unterschiedlichen Methoden sehr aufwändig. Allen Aufnahmen gemeinsam ist die Erfassung der Vegetation entlang einer Linie, also ein transektweises Vorgehen. Die Aufnahme von 1933 erfolgte von einem Boot aus, wo unter Verwendung eines «Secchi-Guckers» und Heraufholen von Pflanzenmaterial mittels eines Rechens der Bestand erfasst wurde. Die weiteren Untersuchungskampagnen fanden mit Tauchgängen statt. Die Wiedergabe der Dichte, der Zusammensetzung und der Anteile der vorkommenden Arten war jedoch sehr verschieden. Es wurde schliesslich ein Verfahren entwickelt, welches für alle früheren Aufnahmen die heutige Methodik «reproduziert». Damit wurde es möglich, auch die historischen Daten in die Datenbank aufzunehmen und die entsprechenden quantitativen Auswertungen vorzunehmen. Verschiedene Anpassungen oder Ergänzungen bezüglich der Rohdaten mussten vorgenommen werden (siehe Hinweise auf den Datenblättern der Referenzprofile).

Als grösste Einschränkung bleibt bestehen, dass sich GAMMA seinerzeit vor allem auf die höheren Wasserpflanzen konzentrierte und die Characeen mehr oder weniger ignorierte. Über die heute dominierende Wasserpflanzengruppe finden sich auf den Profilen selbst kaum verwertbare Angaben, ein ungefähres Bild kann man sich aber aus weiteren allgemeinen Angaben im Publikationstext machen:

In der vorliegenden Arbeit wurde die makrophytische Uferflora des Vierwaldstättersees, und zwar nur die Phanerogamen, berücksichtigt. Die Kryptogamen erwähne ich überall dort, wo sie als auffallende Begleitpflanzen oder als wesentliche Bestände der Wasserflora auftraten. Eine Erweiterung der Arbeit und

die eingehende Berücksichtigung der Pflanzenbestände des Litorals und ihrer Ökologie wird einem weiteren Studium vorbehalten.

(GAMMA 1935, S.14)

Der Vierwaldstättersee ist in Bezug auf die höhere Wasservegetation ein Potamogetonsee mit mindestens 15 Arten dieser Gattung.

(GAMMA 1951, S.14)

Am weitesten seewärts dringt das Characetum vor, die Assoziation der Armleuchteralgen. Diese makrophytische Bodenalge findet sich in Tiefen bis über 10 m, wobei *Chara ceratophylla* (heutige Bezeichnung: *Chara tomentosa*) als Kosmopolit zu bezeichnen ist, der in jeder Bodenart vom Ufer bis zur Tiefengrenze im Schlamm-, Sand- und Kiesboden sich ansiedelt.

(GAMMA 1951, S.14)

Nitella spec.

In Buchten, schlammige, sandige, selten kiesige Uferstellen, im Schilfe, von der Grenzzone bis zur Wisse. Die Standorte für *Nitella* und *Chara* sind nur beiläufig aufgenommen worden.

Vor dem Schilfe nach der Ziegelei in Flüelen, 3 m tief B.! Westlich des Reussdammes gegen die Giessen G.! Vor Buochs, östlich von Linden, mit *Chara ceratophylla* (heutige Bezeichnung: *Chara tomentosa*). Vor Kersiten Dorf B.! In der Bucht vom Steinbruch Hinterberg im Alpnacher See mit *Ranunculus divaricatus* in 3 m Tiefe. B! Sarneraadelta im Schilfe G.!

Bei den von mir beobachteten Exemplaren handelt es sich um *Nitella syncarpa* (Thuill.) Kützg. Die einzelnen Büsche und submersen Vliesse zeigten eine hübsche gelbgrüne Farbe. Auch die von Bachmann gefundenen Standorte und Tiefen weisen auf diese Spezies hin, welche z.B. im Bodensee häufig ist und bis zu 6 m Tiefe vordringt.

(GAMMA 1935, S.15)

Chara spec.

Im Luzerner- und Küssnachter See von den Fischern «Chrüb», im inneren See «Miess», im Bodensee «Müss» genannt. In Buchten, ausserhalb der Potamogetonten oft zusammenhängende Wiesen bildend. Im Schilfe und in den Seegräben.

Häufig im Luzerner- und Küssnachter See, in den Buchten von Weggis und Vitznau, bei Kindesmord, Brunnen, Sisikon und Flüelen. Westlich des Reussdeltas bis gegen Seedorf und Bolzbach befindet sich die schönste Charawiese des Sees, bis 10 m Tiefe in einer Ausdehnung von zirka 20 ha. Bei Treib, Rütene, gegen Buochs, in der Bucht von Ennetbürgen, bei Kersiten B.! Acheregg, bei der Mündung des Rotzbaches A.! Steinibach, Sternenlicht bei Winkel, Pilatusblick.

Eine von mir vielgefundene Species ist *Chara ceratophylla* Wallr. (heutige Bezeichnung: *Chara tomentosa*). Sie vegetiert meistens in grösseren Beständen auf schlammigen, sandigem Grunde, am üppigsten vom überschwemmten Hang bis zur Wisse, wo sie auf ausgedehnten Strecken unterseeische Wiesen

bildet, z.B. in der Unterhaslibucht im Luzernersee und westlich des Reussdammes bei Flüelen. Auf kiesigem Grund bildet sie zwischen den Steinen grüne Säume, «etwa wie das Unkraut auf einem schlecht gepflegten Strassenpflaster» (Schröter, 1902). Im August und September ist *Chara ceratophylla* leicht durch die weithin schimmernde, braunrötliche Farbe, welche die knallroten Antheridienkugeln verursachen, oder durch die ockerrote Färbung der wachsenden Spitzen und die dicken Blätter zu erkennen. Sie ist stets stark mit Kalk inkrustiert, steif, starr und brüchig. Bei ruhigem Wasser kann sie trotz der unscheinbaren, braunen Farbe bis zu einer ziemlichen Tiefe unterschieden werden. Ausser *Chara ceratophylla* (heutige Bezeichnung: *Chara tomentosa*) habe ich *Chara foetida* A. Br. (heutige Bezeichnung: *Chara vulgaris*) häufig in Seegräben, Riedstellen und Tümpeln angetroffen. Auch *Chara aspera* (De-thard) Wild. ist im Vierwaldstättersee sehr verbreitet.

(GAMMA 1935, S.16)

Die Einschätzungen von GAMMA sind insofern entscheidend, weil nur sie Anhaltspunkte für den sogenannten Referenz-Zustand liefern können, also einer Situation ohne oder nur mit geringen anthropogenen Einflüssen. Die Untersuchungen von LACHAVANNE ET AL. im Jahr 1982 fanden praktisch zum Zeitpunkt des höchsten Nährstoffgehaltes statt (siehe Abb. 52) und repräsentieren den Wendepunkt zwischen den Phasen der Nährstoffzunahme (Eutrophierung) ab Anfang der 1950er Jahre und dem anschliessenden Rückgang bis zum heutigen wiederum nährstoffarmen (oligotrophen) Zustand, siehe auch Kap. 3.1). Im Vergleich der Referenzprofile mit den Aufnahmezeitpunkten 1982 / 1994 / 2007ff kann die mit der Nährstoffverminderung verbundene Entwicklung eindrücklich nachgezeichnet werden: Der Anteil Characeen nimmt von 8 % im Jahr 1982 (siehe Tab. 24) auf durchschnittlich 53 % im Jahr 1994 (Referenzprofile) zu und steigert sich bis auf den heutigen Wert von 73 % (siehe Tab. 24). Auch die untere Verbreitungsgrenze geht in diesem Zeitraum immer tiefer. Die Situation um 1933 kann anhand der GAMMA-Daten nicht quantifiziert werden, aus den oben aufgeführten Textstellen geht immerhin hervor, dass die Characeen sehr verbreitet und häufig waren, meistens in grösseren Beständen und in üppiger Form auftraten, stellenweise ausgedehnte Unterwasserwiesen bildeten und bis in eine Tiefe von mindestens 10 m vorkamen. Betrachtet man diese Verhältnisse als Referenz, so kann vom allgemeinen Erscheinungsbild her durchaus die Annahme getroffen werden, dass sich die heutigen Verhältnisse wieder nahe an diesem Zustand bewegen (siehe auch Ausführungen in Kap. 3.4.1).

Interessant ist der Vergleich von artspezifischen Besonderheiten. Aufgrund der Beschreibung von GAMMA (1935) kann davon ausgegangen werden, dass *Chara tomentosa* damals unter den Characeen die dominierende Art war. Dies ist auch heute wieder der Fall. Es wird aber explizit auch auf das häufige Vorkommen von *Chara tomentosa* im Urner See westlich des Reussdammes («ausgedehnte Strecken unterseeische Wiesen») hingewiesen, aus diesem Seebecken liegen jedoch heute keine Funde vor (siehe Tab. 4). In Kapitel 3.2.1 wird diese Absenz in Zusammenhang gebracht mit der Präferenz für kalkhaltiges Sediment, welches im Urner See aufgrund der Geologie des Einzugsgebietes kaum ausgeprägt ist. Weil das Vorkommen aber historisch belegt ist, müssen auch noch andere Gründe für das heutige «Defizit» eine Rolle spielen.

Weiter wird *Chara aspera* als sehr verbreitet bezeichnet, heute hat sie einen Häufigkeitsanteil von lediglich 0.6 % und kommt auf nur 5 % der untersuchten Fläche vor (siehe Tab. 2). Die Rauhe Armleuchteralge ist eine der empfindlichsten *Chara*-Arten gegenüber Nährstoffbelastung (KRAUSCH 1996) und gehört eindeutig zum oligotrophen Spektrum. Obwohl der Vierwaldstättersee seit längerem wieder diesen Zustand aufweist, ist die Art äusserst randständig geblieben.

Die aktuell bezüglich Häufigkeit an zweiter und dritter Stelle stehenden Arten *Chara contraria* und *Chara globularis* werden von GAMMA nicht namentlich erwähnt (auch nicht mit früheren Synonymen). Es ist daher anzunehmen, dass sie zum damaligen Zeitpunkt keine grosse Bedeutung aufwiesen. In den Untersuchungen von 1994 sind sie zusammen mit *Chara tomentosa* bereits die wichtigsten Vertreter der Gruppe. Als nicht selten wird von GAMMA die Art *Nitella syncarpa* bezeichnet. Diese Art ist im heutigen Artspektrum nicht mehr vertreten, hingegen *Nitella opaca*, welche unter den Characeen die viertgrösste Häufigkeit aufweist, was in etwa der beschriebenen Bedeutung der früheren *Nitella syncarpa* entsprechen dürfte. Ob es sich hier um einen tatsächlichen Artwechsel oder um ein Problem der Bestimmungs- bzw. der Synonymisierung handelt, kann vorläufig nicht entschieden werden.

Fazit: Die Verhältnisse im Vierwaldstättersee kommen hinsichtlich der Verbreitungstiefe der Wasserpflanzen, der Bedeutung der Characeen und der Bewuchsdichte vermutlich weitgehend wieder dem Referenz-Zustand nahe. Hingegen «stimmen» die innerartlichen Anteile in dieser Gruppe nicht mit den früheren Verhältnissen überein und es sind offensichtlich auch Unterschiede in der geographischen Verbreitung einzelner Arten vorhanden.

Die Festlegung des Referenz-Zustandes zum Zeitpunkt «GAMMA 1933» muss ggf. weiter präzisiert werden. Die Studie von GAMMA (1935) trägt den Titel «Die makrophytische Uferflora des Vierwaldstättersees und ihre Veränderung in den letzten 20 Jahren». Der Ausgangspunkt liegt also im Zeitraum um 1912. Hinsichtlich der heute (und wohl auch damals) dominierenden Characeen können wie bereits beschrieben kaum weitere Erkenntnisse abgeleitet werden. Für die Phanerogamen werden aber doch Hinweise gemacht, welche die beginnende Eutrophierung (anthropogen verursachte Nährstoffanreicherung) und die zunehmenden Nutzungsansprüche thematisieren:

Potamogeton perfoliatus hat sich im Vierwaldstättersee zum «Unkraut» vermehrt und wird vielerorts bei Bade und Bootsanlagen als lästig «ausgekrautet». Diese auffallende Zunahme in den letzten Jahrzehnten hängt offenbar mit der vermehrten Verunreinigung des Wassers zusammen. Das zeigen deutlich die dichten Bestände vor ausmündenden Abwassern. *Potamogeton lucens* weist ein kaum merkliche Zunahme auf. *Potamogeton crispus* ist im ganzen See zurückgegangen. *Potamogeton pectinatus* hat eine leichte Vermehrung erfahren. *Elodea canadensis* ist stark zurückgegangen. *Phragmites communis* und *Schoenoplectus lacustris* sind überall da verschwunden, wo menschliche Hand eingegriffen hat. So bei der Verbauung und Ausfüllung der Seeufer, Meliorationen, Erstellung von Boots- und Badeanlagen sowie Weekenhäuschen, vor allem sind es aber die vielen Strandbäder, die in allen Teilen des Sees inmitten der schönsten Schilfbestände errichtet wurden, fernder die Gewinnung

von Kies durch weitgehende Baggerungen in den schilfrreichen Deltas unserer Flüsse. *Nymphaea alba* und *Nphar lutea* sind, aus ähnlichen Gründen wie das Schilf, stark zurückgegangen. *Myriophyllum* gehört zu den in allen Teilden des Vierwaldstättersees zu den am stärksten zurückgedrängten Beständen. (...) Der Vergleich mit den früheren Pflanzenbeständen zeigt quantitativ keine wesentlichen Veränderungen, wohl aber in der Vertretung der schönen und seltenen Arten.

In diesen Ausführungen von GAMMA wird zusätzlich eine Entwicklung angesprochen, wie sie praktisch «lehrbuchmässig» in vielen Seen mit fortschreitender Eutrophierung zu beobachten war: Mit zunehmenden Nährstoffgehalten etablieren sich zuerst die breitblättrigen Laichkrautarten wie *Potamogeton perfoliatus* oder *Pot. lucens*. Später, bei steigenden Konzentrationen, nehmen die Anteile der schmalblättrigen Arten deutlich zu, vor allem von *Potamogeton pectinatus* aber auch *Pot. pusillus*. Es liegt damit ein klarer Aspektwechsel von den mesotraphenten zum eutraphenten Artenspektrum vor. Im Vergleich der Referenzprofile von GAMMA (1933) mit jenen von LACHAVANNE ET AL. (1982) wird dieser Florenwechsel eindrücklich wiedergegeben. Im Jahr 1982 hatten die beiden schmalblättrigen Laichkrautarten unter den Phanerogamen einen Anteil von 67 %, während die beiden anderen Arten mit 14 % deutlich zurücklagen (s. Tab. 23). Das heutige Verhältnis liegt bei 40 % : 16 %, hat sich also wieder in Richtung des breitblättrigen, mesotraphenten Spektrums verschoben.

In den Detailseiten zu den Referenzprofilen sind jene Arten markiert, welche nur in den Profilen von GAMMA enthalten sind, also heute nicht mehr vorkommen. In der Gruppe «Sonstige Arten» sind dies die nachfolgend aufgeführten Arten, welche als typisch für Seen zu betrachten und nicht vor allem in Gräben, Riedgebieten, strömungsgeprägten Zonen (z.B. *Potamogeton nodosus*) oder Verlandungsabschnitten anzutreffen sind und welche nicht zu den beiden schwierig zu bestimmenden Artkomplexen um *Potamogeton gr. pectinatus* (*pectinatus*, *filiformis*, *helveticus*) und *Potamogeton gr. pusillus* (*pusillus* / *berchtoldii*) gehören:

- *Littorella uniflora* (Strandling): Fundort der Art von GAMMA im Küssnachter See (Transekt 3962) und im Weggis-Vitznauer Becken (Transekt 5354). Ein weiterer Standorte wird bei Weggis (Lochbucht) beschrieben. Heute ist diese Art in keinem der berücksichtigten Transekte mehr vorgefunden worden, auch nicht in den «Hotspots». *Littorella uniflora* hat heute den Rote Liste-Status «EN = stark gefährdet». *Der Strandling wächst in z.T. dichten Rasen im offenen, 6-20 Wochen pro Jahr flach überschwemmten Ufersaum auf nährstoffarmen, basenreichen, sandig-siltigen bis kiesig-schotterigen Böden oligo- bis mesotropher Seen unterhalb der mittleren Hochwasserlinie oder (submers) bis in max. vier Meter Tiefe. Beim Ausbleiben regelmässiger Hochwasser, z. B. durch Wasserstandsregulierung, wird er rasch durch Konkurrenzarten verdrängt. Die Art ist durch Regulierung der Seen, Uferverbauungen, Folgen der Eutrophierung, Konkurrenz sowie Freizeitaktivitäten (an Badestellen fehlt er meist vollständig) vielerorts verschwunden. Aus: BUWAL, 1999.*

Ebenfalls zur Strandlingsgesellschaft gehört die Art *Eleocharis acicularis* (Sumpf-Nadelbinse). Sie wird von GAMMA (1935) für den Vierwaldstättersee aufgeführt (Luzernersee (?), Urner See in Nähe der Reuss-Mündung, Alpnacher See in Nähe der Sarneraa-Mündung), ist aber nicht in den Referenzprofilen enthalten und tritt auch in den aktuell untersuchten Transekten nicht mehr auf. Sie kommt auf flachen Ufern mit feinsandigen, zeitweise überschwemmten Strandzonen vor.

- *Nymphaea alba* (Weisse Seerose): In den Profilen von GAMMA an vier Stellen aufgeführt (Küssnachter See Transekt 2983, Stansstaderried Alpnacher See Transekt 23395, Eichi Alpnacher See Transekt 24202, Horwerbucht Transekt 27464). GAMMA (1935) schreibt dazu: *Nymphaea alba* und *Nuphar lutea* sind aus ähnlichen Gründen wie das Schilf stark zurückgegangen. Dabei verursachten die vielen Ruderboote und Ruderer bei Befahren dieser einst üppigen Bestände eine starke Verminderung und Aufteilung der zusammenhängenden Kolonien.
- *Utricularia vulgaris* (Gewöhnlicher Wasserschlauch): Die Art wurde von GAMMA im Alpnacher See gefunden (Transekt 24202). Sie ist auch heute noch in diesem Seebecken vorhanden, allerdings nicht im betreffenden Vergleichstransekt und auch sonst nicht in den für die Auswertung berücksichtigten Transekten. Sie hat den Status einer sogenannten «Zusatz-Art» welche nur in den untersuchten «Hotspots» vorkommt (siehe Tab. 2, 4). *Utricularia vulgaris* hat heute den Rote Liste-Status «EN = stark gefährdet».
- Zwei weitere Arten kommen in späteren Untersuchungen nicht mehr vor. Sie tauchen nicht in den Referenzprofilen auf und sind dementsprechend in der Artenliste auch nicht aufgeführt. Es handelt sich um *Potamogeton gramineum* (Grasblättriges Laichkraut) und *Potamogeton natans* (Schwimmendes Laichkraut). Zu *Pot. gramineum* wird von GAMMA (1935) erwähnt, dass sie hauptsächlich in Tümpeln vorkommt und im Vierwaldstättersee das offene Wasser meidet. Sie wird deshalb nicht den «heute fehlenden» Arten zugeordnet. Bei *Potamogeton natans* wird von GAMMA (1935) erwähnt, dass sie nicht häufig ist, ruhige Buchten bevorzugt und den Wellenschlag meidet. Es sind demnach die gleichen Ansprüche, wie sie generell für Schwimmblattgesellschaften typisch sind. Sie wurde im Urnersee und im Alpnachersee festgestellt. Aufgrund der beschriebenen Charakteristik wird sie als «fehlend» betrachtet.

Der Rückgang der Röhricht- und Schwimmblattgesellschaften wird bereits von GAMMA (1935) als Folge der Uferverbauungen, Nutzungen und Baggerungen sowie durch Störung der Bestände (z.B. durch Bootsbetrieb) ausdrücklich hervorgehoben. In den Referenzprofilen wird ein Fortschreiten dieser Entwicklung an verschiedenen Stellen deutlich. Wo 1933 z.B. noch Schilf oder Teichrosen auftraten, waren sie 1982 ganz oder teilweise verschwunden.

Die heute fehlenden oder stark zurückgegangenen Arten benötigen bestimmte Voraussetzungen, um sich halten oder ausbreiten zu können:

- Ausgeprägte Wasserspiegelschwankungen → durch Seeregulierung reduziert

- Intakte Naturufer mit Wasserwechselzone → vielerorts durch Verbauungen, Nutzungen etc. beeinträchtigt oder zerstört
- Ruhige Buchten → Wellenregime durch Verkürzung der Flachwasserzone (Landanlagen, Baggerungen) sowie durch Bootswellen beeinflusst

Hinsichtlich des ökomorphologischen Zustandes der Vierwaldstättersee-Ufer, insbesondere der Art und der Ausdehnung der Uferverbauungen sowie des Revitalisierungspotenzials, wird auf die Erhebung aus dem Jahr 2008 verwiesen (TEIBER-SIESEGGGER 2010). Rund 63 % der Ufer (ohne Felsabschnitte) mit einer Gesamtlänge von rund 83 km sind stark beeinträchtigt, naturfremd oder künstlich. Für jeden der 5 Anrainerkantone wurden Bereiche bezeichnet, welche sich für Aufwertungsmassnahmen eignen würden. Siehe dazu auch die in Kap. 4 zusammengestellten «Empfehlungen».

3.4.4 Vergleich Neophyten

Im Artenspektrum des Vierwaldstättersees kommen zwei neophytische Arten vor: *Elodea canadensis* und *Elodea nuttallii* (Kanadische und Nuttalls Wasserpest). Letztere gehört gem. Anhang der schweizerischen Freisetzungsverordnung (FrSV; SR 814.911) zu den verbotenen invasiven, d.h. sich aggressiv ausbreitenden Neophyten. In Kapitel 3.1 sind ihre Herkunft und Verbreitungsweg sowie Bedeutung an der aktuellen Wasserpflanzenvegetation im Vierwaldstättersee erläutert. Inwiefern die beiden *Elodea*-Arten in Ausbreitung oder allenfalls invasiver Ausbreitung begriffen sind (insbesondere *Elodea nuttallii*), kann nicht abschliessend beurteilt werden. In der nachfolgenden Zusammenstellung der früheren und heutigen Häufigkeitsanteile aus drei Schweizer Seen lässt sich kein eindeutiger Trend erkennen. Im Vierwaldstättersee und Zürichsee ist eine Zunahme zu verzeichnen, im Genfersee ein Rückgang. Ein Zusammenhang mit den Nährstoffverhältnissen besteht nicht, der Genfersee weist den die höchste Phosphor-Konzentration und den tiefsten *Elodea*-Anteil auf. Da sich die Häufigkeitswerte auf niedrigem Niveau bewegen könnte eine sich anbahnende invasive Entwicklung auch unterschätzt werden, immerhin haben sich die Werte im Zürichsee verdreifacht und im Vierwaldstättersee verdoppelt. Die Frequenz von *Elodea nuttallii* beträgt im Vierwaldstättersee 76 % in den Transekten und 46 % in der Fläche. Man kann also von einer seeweiten Verbreitung sprechen! Auch die früher etablierte Art *Elodea canadensis*, welche zunehmend durch ihre Schwesterart verdrängt wird, hat noch eine Frequenz von 61 % in den Transekten und 26 % in der Fläche. *Elodea nuttallii* wurde 1982 noch nicht festgestellt und hat sich heute auf 6 % vermehrt. Stellenweise kommen Abschnitte mit sehr dichten Beständen vor (siehe dazu PLANDARSTELLUNGEN und ANHANG B, z.B. in der Luzernerbucht, Transekt 831, hier hat die Art zwischen 1.5 und 4 m Wassertiefe einen Anteil von 50 % an der Vegetation bei einer Dichte von 51–75 %.

<i>Elodea canadensis + nuttallii</i>	Anteil relative Häufigkeit		Phosphor µgP/l
	1982–1997	2005–2012	
Zürichsee	3 % ¹⁾	11 % ⁴⁾	20
Genfersee	4 % ²⁾	2 % ⁵⁾	22
Vierwaldstättersee	4 % ³⁾	8 % ⁶⁾	5

E. nuttallii 1982 nicht registriert

1) LACHAVANNE ET. AL 1988 4) Daten AquaPlus 2005–2012: 179 Transekte (im Auftrag Diverser)
2) LACHAVANNE ET. AL 1997 5) Daten AquaPlus 2009: 50 Transekte (im Auftrag CIPEL)
3) LACHAVANNE ET. AL 1982 6) Daten AquaPlus 2007–2011: 119 Transekte (im Auftrag AKV)

In GAMMA (1935) wird zu *Elodea canadensis* vermerkt (mit Rückblick auf die vorherigen 20 Jahre): *Elodea canadensis ist stark zurückgegangen. Es scheint die Ansicht richtig zu sein, "dass frischer Boden, nicht etwa bestimmte Bestandteile des Wassers, deren üppige Vegetation bewirken."* (Wegelin in Schröter, 1902: *Vegetation des Bodensees*, S. 16.).

3.5 Weitere Auswertungen

Fischökologisches Potenzial

Mit den Tauchgängen zur Wasserpflanzenaufnahme kann das Fischvorkommen bzw. die Bedeutung des Gebietes für Fische nur unzureichend wiedergegeben werden. Während den Tauchgängen für Wasserpflanzenerhebungen weichen die Fische oft aus. Spezielle Fischuntersuchungen sind aufwändig und sehr abhängig vom geeigneten Zeitpunkt. So ist das Laichpotenzial eines Gebietes durch Direktbeobachtung nur dann aussagekräftig, wenn der Laichzeitpunkt wirklich sehr gut festgelegt werden kann. Dies ist oft nicht möglich oder bedingt mehrere Untersuchungen über einen bestimmten Zeitraum.

Aufgrund der methodischen Schwierigkeiten und der hohen Kosten von Fischuntersuchungen im See hat AquaPlus ein Verfahren entwickelt, welches aufgrund der erfassten Vegetationsdaten (und der gleichzeitig erhobenen Beschaffenheit des Seegrundes) auf das Habitatangebot schliessen lässt. Es wird dabei die Eignung als Laichhabitat für Kraut-, Kies- und Sandlaicher, als Jungfischhabitat sowie weiterer Habitate ermittelt. Die Wasserpflanzen gehen mit ihrer Dichte, ihrer Zusammensetzung und Struktur (fädig, blattförmig, Wuchshöhe etc.), ihrer Verfügbarkeit (im Herbst absterbend oder überdauernd) und ihrem tiefenabhängigen Auftreten in die Modellierung ein. In Kombination mit den Substrateigenschaften ergibt sich ein differenziertes Bild eines Untersuchungsgebietes hinsichtlich seiner fischökologischen Bedeutung. Das Verfahren lässt sich auf jede Wasserpflanzenerhebung anwenden, welche die entsprechenden Parameter erfasst. Mit der auch für den Vierwaldstättersee eingesetzten Transektmethode besteht die Möglichkeit, nach Bedarf und ohne zusätzliche Untersuchungen das Fischökologische Potenzial (FÖP) auch zu einem späteren Zeitpunkt nachzuzeichnen. Die entsprechende Auswertung ist nicht Bestandteil des vorliegenden Auftrages.

Referenzindex

Durch die LAWA (Ländergemeinschaft Wasser, Deutschland) wurde ein Bewertungsverfahren «Makrophyten & Phytobenthos» in Seen zur Umsetzung der Was-

serrahmen-Richtlinie (WRRL) entwickelt. Das Verfahren ist in SCHAUMBURG ET AL. (2007) dargestellt und ermöglicht mit Hilfe eines Index, auf der Basis einer Trophiebewertung mittels Makrophyten den Zustand eines Sees zu beschreiben. Dabei wird das Prinzip der Referenzgewässerbewertung herangezogen: Als Leitbild fungieren optimal entwickelte, unbelastete Gewässertypen mit deren Arteninventar. Der Grad der Abweichung von diesem Arteninventar wird dabei als Belastungsmass interpretiert und in fünf Abstufungen als sogenannte «Ökologische Zustandsklasse» dargestellt. Der Index wird von der LAWA als «Referenzindex» bezeichnet. Die ursprüngliche Form des Makrophytenindex wurde in Deutschland von MELZER (1976, 1988) eingeführt und seitdem mehrfach verändert, ergänzt und erweitert (vgl. SCHAUMBURG et al 2008).

Die Berechnung des Referenzindex ist bei AquaPlus in der Datenbank implementiert und kann auf jede Untersuchung mit der Wasserpflanzen-Transektmethode angewandt werden. Es ist damit möglich, ohne Zusatzuntersuchungen eine entsprechende Analyse vorzunehmen, u.a. auch für den Vierwaldstättersee. Diese ist vorläufig nicht Bestandteil des Auftrages.

Erstmals eingesetzt wurde das Verfahren am Genfersee (AQUAPLUS 2010). Der Referenzindex bzw. Seebewertung nach WRRL bedarf gemäss unserer Einschätzung jedoch noch gewisser Anpassungen. So werden möglicherweise Gewässer, welche einem «intermediären» Zustand aufweisen (und dazu gehören z.B. die meisten grösseren Seen der Schweiz), nicht korrekt indiziert. Dieser Zustand zeichnet sich dadurch aus, dass noch Nährstoffdepots im Sediment aus früheren Eutrophierungsphasen vorhanden sind, aber seit Einführung der Kläranlagen und dem Phosphatverbot bereits deutliche Verbesserungen im überstehenden Wasser zu verzeichnen sind. Der Anteil an eutraphenten phanerogamen Arten, welche sich mindestens teilweise über das Sediment mit Nährstoffen versorgen, wird dadurch möglicherweise überbewertet. Oder umgekehrt das deutliche Aufkommen von Characeen, die ihren Bedarf ausschliesslich aus dem Wasserkörper decken, unterschätzt..

Das prinzipielle Vorgehen anhand von Leitbilderhebungen halten wir jedoch für praktikabel, allerdings muss den regionalen Besonderheiten stärker Rechnung getragen werden. Beispielsweise beruhen die Datengrundlagen für die Bewertungsmethodik ausschliesslich auf einem Kollektiv an Seen aus einer Region in der EU (Deutschland) – die Schweiz mit ihrer Vielzahl an Seen ist nicht berücksichtigt. Es sollte daher dringend ein angepasstes Bewertungsverfahren für die Seen der Schweiz entwickelt werden (siehe Kap. 4 «Empfehlungen»).

Abschätzung kurzfristiger lokaler Schwankungen der Vegetation

Wasserpflanzenbestände weisen von Jahr zu Jahr Schwankungen auf, es gibt z.B. witterungsabhängige Aspekte, welche die Temperatur zum Beginn der Vegetationsperiode prägen und dadurch die «Startbedingungen» des Wasserpflanzenaufkommens beeinflussen. Es liegen aber kaum Untersuchungen über die Stabilität bzw. Dynamik der Makrophytenvegetation am gleichen Standort über einen kurzfristigen Zeitraum vor. Im Rahmen des Reusswehr-Monitorings wurden an drei Stellen im Vierwaldstättersee (Seedorferbucht UR / Horwerbucht LU / Stansstad NW) im Abstand von zwei Jahren eine methodisch identische Erhebung durchgeführt (gleiche Transektlinien). Dabei soll der IST-Zustand vor Inkrafttreten des neu-

en Regulierungskonzeptes (Wehrreglementes) erfasst werden, welches 2011 in Betrieb genommen wurde. Weitere zwei Untersuchungen der gleichen Stellen sind ab 2013 vorgesehen.

Die Ergebnisse der ersten Kampagne mit Vergleich der Jahre 2009 und 2011 weisen darauf hin, dass die jährlichen Schwankungen der relevanten Umweltfaktoren sich (kurzfristig) vor allem auf die Bewuchsdichte auswirken, die Vegetationsstruktur, d.h. die vorkommenden Arten und ihre relativen Häufigkeitsanteile, bleibt dabei aber weitgehend konstant.

Für weiterführende Informationen zu dieser Thematik wird auf die entsprechenden Berichte verwiesen (AQUAPLUS 2011).

Auswirkungen der Klimaerwärmung auf die Wasserpflanzen

Die Temperatur ist einer der wichtigsten Standortfaktoren für das Aufkommen und die Zusammensetzung der Wasserpflanzenvegetation. Durch den Klimawandel kommt es zu einem Anstieg der Jahresmitteltemperaturen mit Auswirkungen auf die Flora aquatischer Ökosysteme. Inwieweit sich auch im Vierwaldstättersee bereits entsprechende Prozesse abspielen, müsste Gegenstand weiterer Abklärungen sein. Es gibt erste Studien zu dieser Thematik, z.B. KLEIN ET AL. (2011): *Heimische thermophile Makrophyten breiten sich in der Folge aus und es kommt vermehrt zu Invasionen neophytischer Arten. Beispiele dafür sind die heimische Art *Najas marina ssp. intermedia* und der Neophyt *Elodea nuttallii*. Während *Najas* bis vor wenigen Jahren nur in einigen warmen Seen vorkam, so ist sie mittlerweile in vielen weiteren Gewässern anzutreffen. Auch *E. nuttallii* breitet sich momentan aus und bildet teilweise Massenvorkommen. Die Ausbreitungsstrategien beider Arten sind jedoch grundsätzlich unterschiedlich: Während sich *Najas* – eine annuelle Art – ausschliesslich durch Samen verbreitet, vermehrt sich *Elodea nuttallii* bei uns rein vegetativ. Im Rahmen der Untersuchung zeigte sich, dass es ab einer mittleren Wassertemperatur von 20° C eine deutliche Änderung der Wachstumsraten gibt (20° C-Hypothese). Ein weiterer Aspekt ist der Einfluss der Temperatur auf die Blütenbildung, Samenreife und Keimung von *Najas marina ssp. intermedia*. Die Ergebnisse zeigen, dass die beiden vorgestellten Makrophytenarten unterschiedlich auf die Folgen einer Klimaveränderung reagieren. So profitiert *Najas* besonders davon, dass durch die steigenden Temperaturen die Vegetationsperiode verlängert wird. Im wärmeren Frühjahr kann die Pflanze früher auskeimen und ein längerer, warmer Herbst stellt sicher, dass die Samenreife erfolgreich ist. Somit ist ein Überleben des Bestands auch für das nächste Jahr gewährleistet. *Elodea nuttallii* dagegen profitiert eher von den milderen Wintern, welche sie leicht überdauern und dann frühzeitig austreiben kann, wodurch sie einen Konkurrenzvorteil hat. Ein weiterer Vorteil gegenüber anderer Makrophyten ist die hohe Konkurrenzstärke von *Elodea nuttallii*.*

Auch wenn der Vierwaldstättersee zur Kategorie kalter Gewässer gehört, sind im Sommer Temperaturen über 20° C durchaus über längere Perioden möglich. Wie die Studie zeigt, können wärmere Temperaturen im Frühjahr und Herbst sowie milde Winter artspezifische Auswirkungen haben (Änderung der zwischenartlichen Konkurrenzbedingungen), neue Arten könnten aufkommen und invasive

neophytische Arten hätten möglicherweise besonders geeignete Aufwuchsverhältnisse. Die eine Art – *Najas marina* (Grosses Nixenkraut) – ist mittlerweile im Zürichsee mit 25 % Häufigkeitsanteil die dominierende Art (wenn auch vermutlich nicht die Subspezies *intermedia*, aber auch die Art selbst bevorzugt sommerwarme Gewässer), im Vierwaldstättersee ist sie nicht vorhanden, auch aus früheren Untersuchungen sind keine Funde belegt. Sie gehört zum eher eutraphenten Spektrum und die Präferenz liegt bei ruhigen Gewässern, ein Auftauchen im Vierwaldstättersee wird also nicht begünstigt. Es wäre aber auf jeden Fall ein starkes Indiz für eine allfällige Veränderung der Temperaturverhältnisse im See. Die zweite Art der Studie – *Elodea nuttallii* (Nuttalls Wasserpest) – ist im Vierwaldstättersee mit 6 % Häufigkeitsanteil vertreten (im Gersauer Becken, Urner See und Alpacher See mit über 10 %, siehe auch Kap. 3.4.3). Die weitere Entwicklung dieser Art ist auch mit dem Hintergrund eines möglichen Klimawandels und der entsprechenden Auswirkungen auf das Temperaturregime des Vierwaldstättersee (und seiner Teilbecken) zu verfolgen.

Es wäre zu empfehlen, das ganze Artenspektrum hinsichtlich temperaturspezifischen Ansprüche zu untersuchen (Literaturrecherche), um aufgrund der bisherigen Untersuchungen sowie des künftig geplanten längerfristigen Monitorings den Aspekt des Klimawandels entsprechend einschätzen zu können.

4 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die fünfjährige Untersuchung zur Besiedlung des Seelitorals mit Makrophyten belegt eindeutig, dass der Vierwaldstättersee als ausgesprochenes «Characeen-Gewässer» bezeichnet werden kann. Morphologische Charakteristika und verschiedenartige Umwelteinflüsse in den einzelnen Seebecken führen jedoch dazu, dass deutliche Unterschiede in der Wasserpflanzenausstattung der Seebecken bestehen.

Insgesamt ist festzuhalten, dass sich die langjährigen Bemühungen zur Nährstoffreduktion im Besiedlungsbild der Wasserpflanzen gut widerspiegeln. Waren noch in den 1980er Jahren die Auswirkungen der Eutrophierung deutlich anhand der Artenzusammensetzung und deren Häufigkeitsverteilung ablesbar, hat sich die oligotraphente Flora im Vierwaldstättersee wieder eindrucksvoll ausgebreitet. Da sich für die Wasserpflanzen vor allem der pflanzenverfügbare Phosphor als Minimumfaktor auswirkt, ist dessen Reduktion von entscheidender Bedeutung – die Erhöhung der Nitratkonzentration spielt noch keine grosse Rolle. Da aber von einigen Arten bekannt ist, dass sie auf erhöhte Nitratwerte empfindlich reagieren, sollte auch hier bei den Bemühungen zur langfristigen Reduktion der Stickstoffmengen im See keine Entwarnung gegeben werden. Nicht zu unterschätzen ist dabei die «Depotwirkung», die vom Nitrat ausgeht. Da von den drei essentiellen Pflanzennährstoffen Phosphor – Stickstoff – Kohlenstoff lediglich der Phosphor im See im Minimum vorliegt, kann es daher lokal bei einer kurzfristigen Zufuhr von pflanzenverfügbarem Ortho-Phosphat durch ungeklärte Einleitungen (z.B. Meteorwasser) oder durch andere natürliche oder anthropogene «Verschmutzungsein-

flüsse» (z.B. grosse Ansammlungen von Wasservögeln wie in der Trottlibucht bei Luzern, in der Horwer Bucht oder in Stansstad, eutrophierende Einflüsse der Baudeanlagen und Häfen, etc.) innert kürzester Zeit zu einer explosionsartigen Vermehrung bestimmter nährstoffliebender Wasserpflanzen kommen. So ist auch zu erklären, dass es neben den vielen Zeigerarten für oligo- und mesotrophe Verhältnisse es auch in diversen Bereichen starke Ansammlungen eutraphenter Arten gibt (z.B. *Potamogeton pectinatus* im Seeausfluss bei Luzern).

Als ausgesprochen positive Auswirkung ist auch die Verbesserung der Lichteindringtiefe infolge der Algenreduktion zu sehen. War bei den Untersuchungen von LACHAVANNE ET AL. (1985) noch davon auszugehen, dass es mehrheitlich lediglich bis in eine Wassertiefe von durchschnittlich etwa 5.5 m zu einer Besiedlung mit Makrophyten kommt, so hat sich innerhalb der letzten 25 Jahre die Tiefenausbreitung etwa verdreifacht (an verschiedenen Stellen lag die Untergrenze der Makrophytenbesiedlung um 18 m) und die Bewuchsfläche hochgerechnet etwa um den Faktor 10 vergrössert. Trotzdem bleibt festzuhalten, dass der Vierwaldstättersee aufgrund seiner Beckenmorphologie und seiner Uferausstattung im Vergleich mit den anderen grossen Seen der Schweiz eine eher geringe Litoralfläche im Vergleich zum Seeumfang besitzt (vgl. PERFETTA ET AL. 1993). Setzt man dies in Beziehung mit der Tatsache, dass der See seit 1935 einen Rückgang der natürlichen Ufer um mehr als 20 Prozent hinnehmen musste (vgl. STADELMANN 2007) und dass sich die verbliebenen Litoralflächen nur noch auf 10 Prozent der Flachufer in einem guten ökologischen Zustand befinden (vgl. TEIBER-SIESSEGER 2010), ergibt sich daraus ein beträchtlicher Handlungsbedarf.

Mit den vorliegenden Erhebungen liegt ein sehr differenziertes Bild der Wasserpflanzen im See, in den einzelnen Seebecken, von Ufertypen mit unterschiedlich breiter Flachwasserzone in diesen Seebecken und auch von spezifisch lokalen Verhältnissen vor. Auch zur Charakteristik der Aufwuchsbedingungen in den 7 Seebecken lassen sich gezielte Aussagen treffen (und allenfalls künftige Entwicklungen abschätzen). Mit all diesen Grundlagen haben die kantonalen Vollzugsinstanzen ein aktuelles und detailliertes Instrument, um rasch eine grobe Einschätzung möglicher Auswirkungen von Massnahmen im Uferbereich treffen zu können (z.B. als Vorabklärungen für Eingriffe), auch wenn am betreffenden Standort selbst noch keine Angaben zur Vegetation vorliegen.

Empfehlungen:

- Bestehende intakte Litoralbereiche sind zu erhalten, zu schützen und weiter aufzuwerten wo dies möglich und sinnvoll erscheint.
- Es sollte auch in Betracht gezogen werden, die insgesamt vergleichsweise geringe Litoralfläche gezielt wiederherzustellen oder vorhandene Kleinflächen schonend durch Schüttungen zu vergrössern, insbesondere in Gewässerabschnitten mit fehlendem oder schwach ausgebildetem Litoral. Die Detailanalyse der Vegetationsverhältnisse in Abhängigkeit der Uferbankbreite hat in gewissen Seebecken (v.a. mit verstärkter Wellendynamik wie Urner See, Alpnacher See oder Horw-Hergiswiler See) deutliche Unterschiede erbracht. Eine Verkürzung der Flachwasserzone durch Landanlagen oder Baggerung wirkt sich direkt auf die Wasserpflanzenstruktur aus.

- Im Rahmen von Revitalisierungen (gemäss Revision des Gewässerschutzgesetzes Art. 38a seit 2011 eine verbindliche Aufgabe der Kantone) sind prioritär Wasserwechselzonen zu schaffen und vorhandene, aber mittlerweile im See ausgestorbene oder stark zurückgegangene Arten sind zu fördern bzw. wiederanzusiedeln (siehe Kap. 3.4.3, unter anderem *Eleocharis acicularis*, *Littorella uniflora*, *Nymphaea alba*, *Potamogeton natans*, *Utricularia vulgaris* allenfalls auch *Potamogeton gramineus* sowie generell Röhricht- und Schwimmblattgesellschaften). Die heute fehlenden bzw. stark zurückgegangenen Arten benötigen vor allem eine oder mehrere der folgenden Lebensraumbedingungen: Ausgeprägte Wasserspiegelschwankungen → durch Seeregulierung reduziert / Intakte Naturufer mit Wasserwechselzone → vielerorts durch Verbauungen, Nutzungen etc. beeinträchtigt oder zerstört / Ruhige Buchten → Wellenregime durch Verkürzung der Flachwasserzone (Ländanlagen, Baggerungen) sowie durch Bootswellen beeinflusst.
- Mit der Seeuferbeurteilung von 2008 (TEIBER-SIESSEGGGER 2010) wurden über 60 % der Ufer als stark beeinträchtigt, naturfremd oder künstlich klassifiziert. Es wurde vermerkt, dass sich die stärksten Verbesserungen bei den strukturellen Kriterien wie Uferverbauung und Ufersubstrat erzielen lassen. Für jeden der 5 Anrainerkantone erfolgte eine Auswahl von Bereichen, welche sich für Aufwertungsmassnahmen eignen würden. Dabei besteht vor allem an den öffentlich zugänglichen Seebereichen ein grosses Verbesserungspotenzial. Explizit wird aufgeführt, dass vielerorts durch Enttferrnung der massiven Blockverbauungen und Mauern ein naturnaher Übergang zwischen Wasser und Land geschaffen werden kann. Die Schaffung von flach auslaufenden Stränden (Wasserwechselzonen) steht in hoher Übereinstimmung mit der oben genannten Förderung von bestimmten Wasserpflanzenarten, welche an diesen Lebensraum adaptiert sind und heute fehlen oder stark zurückgegangen sind. Weiter wird in der Darstellung der Aufwertungsmassnahmen festgestellt, dass der aktive Schilfschutz und die Pflege von Schilfgebieten durch die Kantone besser unterstützt werden sollte.
- Das vorgesehene Monitoringkonzept mit periodischer Aktualisierung der Wasserpflanzenverhältnisse (z.B. alle 10 Jahre) an den gleichen Stellen (Einzeltransekte, Hotspots) und mit der gleichen Methodik ist umzusetzen. Insbesondere sind dabei auch die Entwicklungen hinsichtlich Klimaerwärmung und Ausbreitung der Neophyten zu verfolgen sowie Erfolge von Revitalisierungsmassnahmen und Förderprogrammen zu kontrollieren.
- Zur besseren Charakterisierung der Vegetationsverhältnisse in den einzelnen Seebecken bzw. der dort vorhandenen Typen von Flachwasserzonen sind zusätzliche Transekte aufzunehmen. In Kapitel 3.2 ist die aktuelle Repräsentativität der aktuell vorhandenen Transekte aufgeführt. Im Küssnachter See und im Alpnachersee liegen noch Defizite bei den breiten Uferbänken vor. Das Ziel sollte sein, den Faktor in den Bereich von 1 zu bewegen, hier liegen zusätzliche Defizite im Gersauer Becken, im Urner See und im Alpnacher See vor.

Weiterführende Aspekte:

- Als Ergänzung oder Komplettierung der vorliegenden Studie wird auf der Basis des in den angrenzenden Ländern praktizierten Referenzindex' die Entwicklung eines Bezugssystems angeregt, um den Stand der «Naturnähe» der aktuellen Verhältnisse beurteilen zu können. Mit dem Konzept des Referenzindex sind 5 Stufen einer ökologischen Zustandsklasse differenzierbar (SCHAUMBURG ET AL 2007). Für eine Adaptation an die schweizerischen Verhältnisse (bzw. an den Vierwaldstättersee) sind frühere Untersuchungen einzubeziehen bzw. weiter auszuwerten (v.a. GAMMA 1935 der sich in seinem Kommentar zu den «Veränderungen in den letzten 20 Jahren» auf Arbeiten von BACHMANN 1912, HURTER 1928, OBERMAYER 1922 und BIRNER 1931 abstützt).
- Es wäre in verschiedener Hinsicht von Interesse, den Gründen nachzugehen, warum die innerartlichen Anteile der Characeen-Gruppe nicht mit den früheren (Referenz-)Verhältnissen übereinstimmen und offensichtlich auch Unterschiede in der geografischen Verbreitung einzelner Arten vorliegen (z.B. Fehlen von *Chara tomentosa* im Urnersee, marginale Verbreitung der früher häufigen und sehr nährstoffempfindlichen Art *Chara aspera*, sehr häufiges Auftreten der in früheren Erhebungen nicht erwähnten Arten *Chara contraria* und *Chara globularis*).

5 Literatur

AQUAPLUS, 2001–2010: Seeschüttung Urner See - Untersuchungen und Monitoring Wasserpflanzen (6 Berichte mit Plandarstellungen und Anhang). Im Auftrag der Projektleitung Seeschüttung / Amt für Umweltschutz Uri.

AQUAPLUS, 2003–2011: Wasserpflanzenaufnahmen an diversen Stellen im Zürichsee, verschiedene private und öffentliche Auftraggeber.

AQUAPLUS, 2005: Untersuchungen der Ablagerungen von Feinsedimenten in der Flachwasserzone von Buochs und Ennetbürgen. Kurzgutachten im Auftrag des Tiefbauamtes Kanton Nidwalden.

AQUAPLUS, 2007: Wasserpflanzenkartierung «Bootshafen Tribtschen» (Vierwaldstättersee Stadt Luzern, Kt. LU) - August 2007. 29 S., zusätzlich Plandarstellungen und Anhang. Im Auftrag der Bootshafen AG Luzern.

AQUAPLUS, 2008: Konzept «Erhebung Wasserpflanzen Vierwaldstättersee». Im Auftrag der Aufsichtskommission Vierwaldstättersee (AKV). 41 S.

AQUAPLUS, 2010: Untersuchung der Wasserpflanzen im Genfer See (Etude de la végétation macrophytiques du Léman). 30. S., zusätzlich Auswertungsdossier mit Abbildungen und Tabellen, Plandarstellungen und Anhang. Im Auftrag der CIPEL (Commission Internationale pour la Protection des Eaux du Lac Léman).

AQUAPLUS, 2011: Monitoring Reusswehr - Monitoringmodul Wasserpflanzen. Zwischenbericht IST - Zustand. Untersuchungen von 2009 und 2011. Im Auftrag des Bau-, Umwelt- und Wirtschaftsdepartementes (Dienststelle Infrastruktur und Verkehr) des Kantons Luzern. Kurzbericht und Auswertungsdossier.

AUDERSET JOYE, D., SCHWARZER, A., 2011: Rote Liste Armleuchteralgen. Gefährdete Arten der Schweiz, Stand 2010. Hrsg. Bundesamt für Umwelt, Bern, Laboratoire d'Ecologie et de Biologie aquatique de l'Université de Genève. Umwelt-Vollzug Nr. 1113. 72 S.

BACHMANN, H., 1903: Botanische Untersuchungen des Vierwaldstättersees. Boroträger, Leipzig.

BAFU (Bundesamt für Umwelt), 2002: Rote Liste der gefährdeten Farn- und Blütenpflanzen der Schweiz. 118 S.

BAFU (Bundesamt für Umwelt), 2007 (prov.): Rote Liste der gefährdeten Muschelarten der Schweiz. 1 S.

BAFU (Bundesamt für Umwelt), 2011: Rote Liste Armleuchteralgen. Gefährdete Arten der Schweiz, Stand 2010. Umwelt-Vollzug Nr. 1113. 72 S.

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT, 1993: Seelitorale in Bayern: Chiemsee. Makrophytenkartierungen 1985 und 1998. Materialien Nr. 108. 83 S. (und Anhang).

BLINDOW, I., 1986: Phosphorus toxicity in Chara. Aquatic Botany 32: 393-395.

BRAUN, A., 1849: Übersicht über die Schweizerischen Characeen. Neue Denkschriften der Allgemeinen Schweizerischen Gesellschaft für die gesamten Naturwissenschaften, Band 10: 3-23.

- BREITHAUPT, CH. S., 2008: Die Vegetation des Parsteiner Sees. Vergleich zur Kartierung von 1974 und Beziehungen zu ausgewählten Standortfaktoren. Diplomarbeit an der Universität Greifswald - Institut für Botanik und Landschaftsökologie. 103 S.
- BURRI, J., 1994: Entwicklung der Makrophyten im Luzerner Teil des Vierwaldstättersees. Vergleich von Uferprofilen der Jahre 1933, 1982 und 1994. Amt für Umweltschutz Luzern. 68 S.
- BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft), 1994: Der Zustand der Seen in der Schweiz. 159 Seiten.
- BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft), 1997: Vollzugshilfe Umwelt, «Ufervegetation und Uferbereich nach NHG», Begriffsklärung. 55 S.
- BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft) 1999: *Littorella uniflora* (L.) ASCH. – Strandling – Plantaginaceae. Merkblätter Artenschutz – Blütenpflanzen und Farne (Stand Oktober 1999). 2 S.
- CARLSON, R.E., 1977: A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*. 22:2 361—369.
- CASPER, J. & KRAUSCH, H., 1980: Pteridophyta und Anthophyta. In: Süßwasserflora von Mitteleuropa. Hrsg: Ettl. H. Gerloff, J., Heyning, H. Band 23, Teil 1: S. 1-403, Teil 2: S. 404-942. Gustav Fischer Verlag, Jena.
- CORILLION, R., 1972: Les Charophycees de France et d'Europe Occidentale. 2. Aufl., Otto Koeltz Verlag, Königstein-Taunus.
- EU – EUROPÄISCHE UNION, 2000 – Richtlinie 60/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. Amtsblatt der Europäischen Union L327/1.
- GAMMA, H., 1935: Die makrophytische Uferflora des Vierwaldstättersees und ihre Veränderungen in den letzten 20 Jahren. *Mitt. Naturf. Ges. Luzern*, 12, 91–182.
- GAMMA, H., 1951: Zur Uferflora der zentralschweizerischen Seen und zum Problem des Uferschutzes. *Verh. Schweiz. Naturf. Ges., Luzern* (1951), 11–25.
- HOESCH, A., BUHLE, M., 1996: Ergebnisse der Makrophytenkartierung Brandenburgischer Gewässer und Vergleich zum Trophiestufensystem der TGL. *Beiträge zur angewandten Gewässerökologie Norddeutschlands* 2: 84-101
- HUMBERG, B., 2003: Kartierung und Dokumentation der submersen Makrophyten in 13 Baggerseen auf der Gemarkung Philippsburg. Im Auftrag der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg.
- KLEIN, T., ZIMMERMANN, ST., RAEDER, U., MELZER, A., 2011: *Najas marina* ssp. *intermedia* und *Elodea nuttallii* - Profiteure des Klimawandels? Deutsche Gesellschaft für Limnologie (DGL), erweiterte Zusammenfassung der Jahrestagung 2010, 366–370.
- KONOLD, W., 1987: Oberschwäbische Weiher und Seen. Teil II: Vegetation, Limnologie, Naturschutz. *Beih. Veröff. Naturschutz Landschaftspflege Bad.-Württ.* 52 (2): 201 - 634.

- KRAUSCH, H.-D., 1996: Farbatlas Wasser- und Uferpflanzen. 315 S. Ulmer Verlag.
- KRAUSE, W., 1981: Characeen als Bioindikatoren für den Gewässerzustand. *Limnologica* 13: 399 - 418.
- KRAUSE, W., 1985: Über die Standortsansprüche und das Ausbreitungsverhalten der Stern-Armluchteralge *Nitellopsis obtusa* (Desvaux) J. Groves. *Carolinaea* 42: 31-42.
- KRAUSE, W., 1997: Charales (Charophyceae). In: Süßwasserflora von Mitteleuropa. Hrsg: Ettl. H. Gerloff, J., Heyning, H. Band 18. 202 S. Gustav Fischer Verlag, Jena.
- LACHAVANNE, J.B., CROZET, B., JUGE, R., NOETZLIN, A., PERFETTA, J., 1984: Band I: Etude des macrophytes du Vierwaldstättersee. Im Auftrag der Aufsichtskommission Vierwaldstättersee (Uri, Schwyz, Obwalden, Nidwalden, Luzern). 214 S., zusätzlich Anhang.
- LFU BADEN-WÜRTTEMBERG (Landesanstalt für Umweltschutz), 2004: Makrophyten in Baggerseen der Oberrheinebene. Kartieranleitung und Bestimmungsschlüssel. 73 S.
- LACHAVANNE, J.B., JAQUET, J.M., JUGE, R. & PERFETTA, J., 1985: Zustand, Erhaltung und Schutz der Ufer des Vierwaldstättersees. Im Auftrag der Aufsichtskommission Vierwaldstättersee, Bundesamt für Forstwesen und Landschaftsschutz, Bundesamt für Umweltschutz und der Aufsichtskommission Vierwaldstättersee. 109 S., zusätzlich Plandarstellungen.
- LACHAVANNE, J.B., JAQUET, J.M., JUGE, R., PERFETTA, J., 1986: Band II: Zustand, Erhaltung und Schutz der Ufer des Zürichses. Pflanzenökologische Merkmale der Uferzonen des Vierwaldstättersees. Im Auftrag der Aufsichtskommission Vierwaldstättersee (Uri, Schwyz, Obwalden, Nidwalden, Luzern). 624 S., Datenblätter aller 312 Uferabschnitte.
- LACHAVANNE, J.B., PERFETTA, J., NOETZLIN, A., JUGE, R. & LODS-CROZET, B., 1986: Etude chorologique des macrophytes des lacs suisses en fonction de leur altitude et de leur niveau trophique. Rapport final. Unite de biologie aquatique, departement de biologie vegetale, université de Genève. Fonds National suisse de la recherche scientifique. 114 S.
- LIECHTI, P., 1994: Der Zustand der Seen in der Schweiz. Herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL Bern, 159 Seiten.
- LANU SCHLESWIG-HOLSTEIN (Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein), 2002; Die Armluchteralgen Schleswig-Holsteins – Rote Liste. 50 S.
- LFU BADEN-WÜRTTEMBERG (Landesanstalt für Umweltschutz), 2004: Makrophyten in Baggerseen der Oberrheinebene. Kartieranleitung und Bestimmungsschlüssel. Berichte «Oberirdische Gewässer, Gewässerökologie 87». Autoren: B. Humberg & M. Beck. 76 S.
- MADSEN, J.D. & ADAMS, M.S., 1989: The light and temperature dependence of photosynthesis and respiration in *Potamogeton pectinatus* L. *Aquatic Botany* 36: 23–31.

- MAUERSBERGER, H., MAUERSBERGER, R., 1996: Die Seen des Biosphärenreservats «Schorfheide-Chorin» – eine ökologische Studie. Dissertation Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald.
- MELZER, A., HARLACHER, R., HELD, K., SIRCH, R., VOGT, E., 1986: Die Makrophytenvegetation des Chiemsees. Informationsberichte 4/86. Bayer. Landesamt f. Wasserwirtschaft, München. 210 S.
- MELZER, A., 1988: Der Makrophyten-Index – Eine biologische Methode zur Ermittlung der Nährstoffbelastung von Seen. Habilitationsschrift, Fakultät für Chemie, Biologie und Geowissenschaften der TU München.
- MELZER, A., SCHNEIDER, S., 2001: Submerse Makrophyten als Indikatoren der Nährstoffbelastung von Seen. In: Handbuch Angewandte Limnologie, 13. Ergänzungslieferung 11/01.
- MIGULA W., 1890: Die Characeen. In: RABENHORST, L. Kryptogamenflora von Deutschland, Österreich und der Schweiz. Kummer Verlag, Leipzig.
- MOORE, A., 1986: Charophytes of Great Britain and Ireland. BSBI Handbook No 5. 141 S.
- OBERMAYER, H., 1922: Beiträge zur Kenntnis der Litoralfauna des Vierwaldstättersees. Schweiz. Z. Hydrol., 2: 3 - 110.
- PERFETTA, J., BÄNZIGER, R., JUGE, R., LACHAVANNE, J.-B. & LODS-CROZET, B., 1993: Bases nécessaires a la gestion de la beine littorale de la rive sud du lac de Neuchatel. Laboratoire d'Ecologie et de Biologie aquatique de l'Université de Genève. 35, Seiten, Genf.
- PIETSCH, W., 1982: Makrophytische Indikatoren für die ökochemische Beschaffenheit der Gewässer. In: Ausgewählte Methoden der Wasseruntersuchung Band II, Biologische, mikrobiologische und toxikologische Methoden. VEB, Gustav Fischer Verlag, Jena: 67 - 88.
- SCHAUMBURG, J., SCHRANZ, C, STELZER, D & HOFMANN, G., 2007: Handlungsanweisung für die ökologische Bewertung von Seen zur Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie: Makrophyten und Phytobenthos. Stand: Oktober 2007. Bayerisches Landesamt für Umwelt. 65 S.
- SCHAUMBURG, J.; SCHRANZ, CH.; STELZER, D. & HOFMANN, G., 2007 – Bundesweiter Test: Bewertungsverfahren «Makrophyten & Phytobenthos» in Seen zur Umsetzung der WRRL. Endbericht. Auftraggeber: Länderarbeitsgemeinschaft Wasser LAWA (Projekt-Nr. O 4.04) Auftragnehmer: Bayerisches Landesamt für Umwelt, 129 p.
- SCHAUMBURG, J.; SCHRANZ, CH.; STELZER, D. & HOFMANN, G., 2008 – Bewertung stehender Gewässer mit Makrophyten und Phytobenthos gemäß EG-WRRL Teil a): Anpassung des Bewertungsverfahrens für natürliche Seen. Abschlussbericht. Auftraggeber: Länderarbeitsgemeinschaft Wasser LAWA (Projekt-Nr. O 2.06) Auftragnehmer: Bayerisches Landesamt für Umwelt.
- SCHÜTZ, W. (1993): Verbreitung und floristisch-ökologische Zonierung der Wasserpflanzen in der badischen Oberrheinaue nach dem Bau des Rheinseitenkanals. Ber. Inst. Landschafts- u. Pflanzenökologie Univ. Hohenheim, Heft 2: 139 - 158.

SIMPSON, D. A., 1984: A short history of the introduction and spread of *Elodea* Michx. in the British Isles. *Watsonia* 15: 1 - 9.

STADELMANN, P., 1984: Der Vierwaldstättersee und die Seen der Zentralschweiz, Verlag Keller+Co AG, Luzern. 256 S.

STADELMAN, P., 2007: Vierwaldstättersee. Lebensraum für Pflanzen, Tiere und Menschen. Brunner Verlag, Luzern. 335 S.

TEIBER-SIESSEGGER, P., 2010: Seeuferbewertung Vierwaldstättersee 2008. Im Auftrag der Aufsichtskommission Vierwaldstättersee. 72 S.