Lukas Wohlgenannt / 0840681

Abteilung Gartenbau
Department für Nutzpflanzenwissenschaften
Universität für Bodenkultur Wien

Schwimmende Gärten für die Bregenzer Bucht

Alternative Vegetationsräume – ein Planungsvorschlag

Masterarbeit
Angestrebter akademischer Grad:
Diplomingenieur

Begutachtung durch:
Univ.Prof. Dipl.-Ing.sc.agr. Dr.sc.agr. Anna Keutgen
und
Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Sabine Plenk

Wien, Juni 2017

Ich, Lukas Wohlgenannt, erkläre eidesstattlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Lukas Wohlgenannt

Wien, am

Ich danke allen Menschen, die mich während meines Studiums unterstützt, begleitet und motiviert haben.

Außerdem bedanke ich mich bei den Personen, die diese Arbeit durch ihre Betreuung, Beratung und Auskunft ermöglicht haben.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung 6

Abstract 7

1 Einleitung 8

1.1 Problemaufriss 8

1.2 Zielsetzung 10

1.3 Forschungsfragen 11

1.4 Methodik 12

2 Vom Garten Eden bis heute – Geschichte 13

2.1 Zur Geschichte schwimmender Inseln und schwimmender Gärten 14

2.2 Schwimmende Gärten heute 18

2.2.1 Natürlich entstandene schwimmende Gärten 18

2.2.2 Produktion von Gemüse und Obst 19

2.2.3 Landschaftsarchitektur/Kunst 20

2.2.4 Verbesserung der Gewässerqualität und Habitate 22

2.2.5 Resümee 23

3 Schwimmende Vegetationsflächen – Stand der Wissenschaft 24

3.1 Zur Bedeutung schwimmender Vegetationsflächen 24

3.2 Standortfaktoren - Voraussetzungen und Pflege 28

3.3 Arten konstruierter schwimmender Vegetationsflächen 30

3.4 Pflanzen 32

4 Das Bregenzer Bodenseeufer – Grundlagen und Analyse 35

4.1 Spezifische Merkmale 36

4.2 Nutzung des Bodensees 40

4.3 Analyse – Bregenzer Bodenseeufer 42

4.3.1 Abschnitte 42
4.3.2 Pflanzen und Naturschutz 48
4.3.3 Kultur und Infrastruktur 53

5 Umsetzung der Ergebnisse für das Bregenzer Bodenseeufer 56
5.1 Verortung der schwimmenden Gärten 56
5.2 Die Technologie - Systemauswahl 60
5.3 Pflanzenauswahl und Pflege 64
5.4 Planungsvorschlag und Fazit 68
5.5 Ausblick 74
5.6 Zusammenfassung 75

6 Quellenverzeichnis 77
Literaturverzeichnis 77
Internetquellen 81
Herstellerangaben 84
Abbildungsverzeichnis 85
Tabellenverzeichnis 87

Anhang 88

Kurzfassung

Die Uferregionen mitteleuropäischer Seen sind mehr denn je von starken anthropogenen Einflüssen, wie der Zunahme von Verkehr und Siedlungswachstum, betroffen. Auch das Bregenzer Bodenseeufer ist diesen Einwirkungen ausgesetzt, was zu einer zunehmenden Versiegelung der Uferflächen und zum Rückgang von Lebensraum von Pflanzen und Tieren führt. Aufgrund des hohen Versiegelungs- und Verbauungsgrades ist es kaum möglich Ausgleichsflächen direkt am Bodenseeufer zu schaffen. Daher wurden in der vorliegenden Arbeit die Voraussetzungen und Möglichkeiten schwimmender Vegetationsflächen im Bodensee untersucht. Mittels Literaturrecherche zu den Standortvoraussetzungen und dem Nutzen von schwimmenden Vegetationsflächen im Allgemeinen, sowie dem Standort des Bodensees und des Bregenzer Bodenseeufer im Speziellen, wurden Grundlagen zusammengetragen und in weiterer Folge in Form einer Analyse und eines Vergleichs schwimmender Vegetationsflächensysteme gegenübergestellt.

Für den Standort der Bregenzer Bucht, welche im Gegensatz zum restlichen Bodensee eine erhöhte Nährstoffbelastung, starke Wind- und Welleneinflüsse (max. Wellenhöhen von 0,8 m) und eine hohe Dichte an geschützten Pflanzenarten aufweist, erscheint das schwimmende Vegetationsflächen-System „BioHaven“ vom Hersteller Floating Island International aufgrund seiner Stabilität gegenüber den Einflüssen am Standort am besten geeignet. Bei der Verwendung von schwimmenden Gärten kann neben der kulturellen Erweiterung der Uferregion für Kunstausstellungen und Performances zusätzlich mit einer Verbesserung der Wasserqualität gerechnet werden, da schwimmende Vegetationsflächen generell für ihre klärende Wirkung bekannt sind. Zudem wurden bei der Planung der schwimmenden Gärten ausschließlich heimische Pflanzen verwendet, welche Habitate für Tiere bieten, zur ästhetischen Erweiterung des Ufers beitragen und zur Bewusstseinsbildung für heimische Pflanzenarten herangezogen werden können.

Schlagwörter: Bodensee, Bregenz, schwimmende Gärten, schwimmende Vegetationsflächen, Ufer- und Wasserpflanzen, alternative Vegetationsräume

Abstract

The shore of Lake Constance in Bregenz is exposed to diverse anthropogenic influences, which are a threat for different plant and animal species. As a result of the increasing sealing, it is hardly possible to create new green spaces along the lakeshore. Based on this background, the possibility of creating floating islands in Lake Constance was examined. By use of literature research about floating wetlands in general, as well as the spatial conditions of the lake and the shore of Bregenz in particular, basic information was compiled. In further consequences, a spatial analysis of the site was created besides a comparison of different floating wetland systems. The results influenced the subsequent planning of floating islands in the bay of Bregenz.

The use of floating islands as constructed wetlands for wastewater treatment has shown good results referring to nutrient degradation. Regarding the planning there is a high potential, that the living conditions for plants and animals at the bay of Bregenz - which is characterized by a higher nutrient contamination than the rest of the lake, strong wind and wave influences (maximum wave height of about 0.8 m) and a high density of rare plant species - could be improved. Furthermore, native plants were used for designing the floating wetlands, which provides habitats for animals and ensure additional aesthetics. Besides the aesthetic and ecological enhancement, the floating islands offer space for different types of exhibitions and they could raise the awareness of native plants in the region. The most adapted floating wetland system for the bay of Bregenz is “BioHaven“, manufactured by Floating Island International. This system would provide high stability for the site.

Keywords: floating wetlands, floating islands, constructed wetlands for wastewater treatment, Bregenz, Lake Constance

1 Einleitung

1.1 Problemaufriss

Mehr denn je sind die Uferregionen von mitteleuropäischen Seen wie dem Bodensee zahlreichen anthropogenen Einflüssen ausgesetzt. Zu diesen Einflüssen zählen sowohl urbane Veränderungen wie Siedlungswachstum und die Zunahme von Verkehr und Seespiegelmanipulationen, als auch Schadstoffemissionen aus Landwirtschaft und Industrie. Hinzu kommt, dass besonders in den Uferrandgemeinden der Gebäude- und Verkehrsflächenanteil um rund die Hälfte höher ist als in den Gemeinden, die dahinter liegen. Dies wirkt sich sowohl auf die ökologische Integrität, als auch auf den Versiegelungsgrad der betreffenden Seeufer aus (Ostendorp, 2004, 181-183). Zudem lässt sich feststellen, dass der Bodensee-Raum innerhalb Mitteleuropas zu den dichtest besiedelten Landschaften zählt (Ostendorp, 2004, 191).

Wird der Verbauungsgrad der Bodenseeregion weiter fokussiert, unterscheiden sich das Deutsche, das Österreichische und das Schweizer Bodenseeufer deutlich voneinander. In der Schweiz sind beinahe 62,2% des Bodenseeufers verbaut, während es in Österreich lediglich 45% sind (Treiber, 2003, 20). Es gilt allerdings zur beachten, dass der Österreichische Anteil nur 6% des Bodenseeufers ausmacht, und der Schweizer Anteil wesentlich höher bei ca. 37% liegt (Ostendorp, 2004, 185). Insgesamt liegt der Verbauungsgrad des Bodenseeufers bei 47,2% (Treiber, 2003, 19). Diese Arbeit richtet das Hauptaugenmerk auf die Österreichische Uferstrecke, die sich nur über 35,6 km erstreckt (Ostendorp, 2004, 196). Im Gegensatz zu den Uferabschnitten in der Schweiz und Deutschland, zeichnet sich das Österreichische Bodenseeufer durch einen vergleichsweise niedrigeren Verbauungsgrad aus (siehe Tab. 1).

Tab. 1: Ufernutzung und Uferverbau am Bodensee (Quelle: Ostendorp, 2004, 196)

	Baden-Württemb.	Bayern	Vorarlberg	Kt. St. Gallen	Kt. Thurgau	Gesamt
Uferstrecke [km]	161,0	18,7	35,6	11,3	60,8	289,2
Ufermauern und verbaute Böschungen (% d. Uferlänge)	67,3	94,8	61,7	89,2	72,7	70,4
Röhrichte (% d. Uferlänge)	32,4	5,1	36,5	9,8	26,6	29,0
Wohnbebauung und Privatgelände (% d. Uferzonen-Fläche)	17,9	34,6	2,8	15,4	25,0	18,7
Schiffahrtsanlagen (% der Uferzonen-Fläche)	17,6	21,7	19,8	28,1	20,5	19,3
Strandbäder, Campingplätze, Sportflächen u.a. Badestrände (% der Uferzonen-Fläche)	8,6	9,2	6,7	17,2	6,0	8,2

Der grundsätzlich hohe Verbauungsgrad am Bodenseeufer steht nicht zuletzt im Bezug zum Bevölkerungswachstum in der Region. Während der Jahre 2000-2013 betrug das Bevölkerungswachstum in der internationalen Bodenseeregion (siehe Abb. 1) rund 10%. Im Jahr 2013 lebten 3,9 Millionen Personen in dieser Region. Laut der Homepage statistik-bodensee, die von der Fachstelle für Statistik vom Kanton St. Gallen betrieben wird, wird die Gesamtbevölkerung bis ins Jahr 2020 um weitere 4% wachsen (Fachstelle für Statistik Kanton St. Gallen, n.b.).

Wenn diese Prognose zutrifft, wird der Nutzungsdruck von Erholungs- und Freizeit-suchenden am Bodenseeufer noch weiter ansteigen. Um diesem Nutzungsdruck zu begegnen, ist mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit zu erwarten, dass zukünftig auch neue Flächen versiegelt bzw. verbaut werden müssen.

Mit einer weiteren Flächenversiegelung stellt sich die Frage nach dem Umgang mit den angrenzenden Naturräumen und mit der Schaffung von grünen Freiräumen, die einen Ausgleich zur zunehmenden Verbauung und Versiegelung schaffen. Zudem wird durch den höheren Verbauungsgrad die Vernetzung der Lebensräume entlang des Ufers und den dahinterliegenden Gemeinden erschwert (Rey et. al, 2009, 1). Auf diesem Hintergrundwissen leitet sich die Zielsetzung dieser Arbeit ab.

Abb. 1: Internationale Bodenseeregion
(Quelle: eigene Darstellung auf Grundlage von http://www.statistik-bodensee.org/tl_files/statistik/bilder/statistik-karte_400.jpg)

1.2 Zielsetzung

Der Bodensee mit seinem Ufer bildet seit jeher einen wertvollen Lebensraum für Menschen, Tiere und Pflanzen, in dem Kulturpflege, Denkmal- und Naturschutz gleichermaßen eine enorme Bedeutung zukommen. Wie durch die Recherche zu dieser Arbeit klar wurde, setzen sich zahlreiche Vereine, Stiftungen und sonstige Institutionen mit der Erhaltung und Renaturierung des Bodenseeufers auseinander. Dazu zählen unter anderen: die Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB), die Bodenseestiftung und die Arbeitsgruppe Bodenseeufer (AGBU).

Aufgrund des Nutzungsdruckes und des hohen Versiegelungsgrades (siehe Problemaufriss), ist es kaum möglich, an jedem beliebigen Uferabschnitt eine entsprechende Renaturierung der bestehenden Flächen durchzuführen. Gerade in manchen Bereichen des Bregenzer Bodenseeufers ist der Versiegelungsgrad so hoch, dass eine Auflockerung der verbauten Strukturen an gewissen Stellen unmöglich zu sein scheint.

Alternative Vegetationsräume

Besonders an den versiegelten und stark frequentierten Uferflächen des Bodensees, können neue, innovative Vegetationsräume auf dem Wasser geschaffen werden. Ziel dieser Arbeit ist es daher, die Voraussetzungen und Möglichkeiten für geeignete Pflanzflächen auf dem Wasser zu untersuchen, welche gleichzeitig auch den besonderen Ansprüchen und Zielen der oben erwähnten Vereine, Stiftungen und Institutionen gerecht werden. Dabei stehen nicht nur ökologische Anforderungen im Vordergrund der Forschung, sondern auch die Ambition, mit der Errichtung von schwimmenden Gärten einen ästhetischen Mehrwert zu schaffen.

1.3 Forschungsfragen

In der vorliegenden Arbeit werden Themen und Grundlagen untersucht, die zur Schaffung und in weiterer Folge zur Planung schwimmender Gärten für das Bregenzer Bodenseeufer relevant sind. Grob können vier Teilbereiche unterschieden werden, die genauer untersucht werden:

Historischer Kontext: Welche bedeutenden Arten von schwimmenden Gärten gibt es weltweit und wie unterscheiden sie sich? Welche Größen, Formen, Materialen und Konstruktionen für schwimmende Vegetationsflächen gibt es heute? Welche Funktionen haben diese?

Natur- und Siedlungsraum Bodensee: Wie ist der Bodensee am Österreichischen Bodenseeufer beschaffen? Wo ist eine Erweiterung des Bodenseeufers mit schwimmenden Gärten sinnvoll?

Ökologie und Pflanzen: Welche Pflanzen können zum Einsatz kommen? Wie kann ein ökologischer Mehrwert durch schwimmende Gärten geschaffen werden und welche sonstigen Nutzen können schwimmende Vegetationsflächen haben?

Umsetzung: Wie könnten uferbegleitende, künstliche schwimmende Gärten mit dem Ziel der ästhetischen Erweiterung des Uferraumes, zum Einsatz kommen? Welche Arten schwimmender Vegetationsflächen eignen sich für das Bregenzer Bodenseeufer unter Berücksichtigung der kulturellen und und ökologischen Gegebenheiten am besten? Gibt es die Möglichkeit die natürliche Bodenseeufervegetation in Form von schwimmenden Vegetationsflächen zu ergänzen?

1.4 Methodik

Die Grundlagen dieser Arbeit werden durch Recherche und Analyse diverser Literaturquellen geschaffen. Die dafür herangezogene Literatur erstreckt sich über Quellen zur Bepflanzungsplanung und Angaben zu Wasserpflanzen, bis hin zu amtlichen Informationen zu den Standortbedingungen des Bregenzer Uferraumes. Da im Zuge der Forschung nur wenig deutschsprachige Fachliteratur über schwimmende Vegetationsflächen gefunden werden kann, wurde die Suche auf den englischsprachigen Fachdiskurs erweitert. Dabei wird die Recherche nach englischen Bezeichnungen für schwimmende Vegetationsflächen wie ‚floating islands', ‚floating wetlands' und ‚floating treatment wetlands' ausgedehnt. Die für die Beantwortung der Forschungsfragen verwendeten Quellen sind primär Beiträge aus Fachzeitschriften.

In einem weiteren Schritt wird der Bestand des Bregenzer Bodenseeufers analysiert. Dazu werden Pläne auf Grundlage verschiedener Bestandspläne angefertigt. Durch die Methode des Mapping und die Überlagerung der einzelnen Plandarstellungen können Erkenntnisse über die mögliche Verortung schwimmender Vegetationsflächen am Bregenzer Bodenseeufer erlangt werden.

Anschließend werden für die Planung schwimmender Vegetationsflächen und die Ermittlung der am besten geeigneten Systeme für den Bodensee, verschiedene Arten miteinander verglichen. Daten und Fakten werden ergänzend zur Literaturrecherche von den Herstellern bezogen. Verglichen werden unter anderem die Stabilität, die Beständigkeit, die durchführbare Größe und die Materialität der jeweiligen Systeme. Dadurch werden die am besten geeigneten Systeme für die Ansprüche der Bregenzer Bucht ermittelt.

Nach dieser weitläufigen theoretischen Abhandlung folgt ein Planungsvorschlag schwimmender Vegetationsflächen am Bregenzer Bodenseeufer auf Grundlage der vorhergegangenen Recherche. Dabei werden Eckpunkte zur Wasserqualität, Gewässertiefe, Wind- und Wellengang, Klima und sonstigen Wachstumsbedingungen für Pflanzen berücksichtigt. Der Fokus der Umsetzung liegt auf den Arten der verwendeten Pflanzen und auf der Anordnung der Pflanzen in der Bepflanzungsplanung.

2 Vom Garten Eden bis heute - Geschichte

Seit jeher haben Menschen ihre Dörfer am oder im Wasser errichtet. Das Wasser bot ihnen Schutz und Nahrung gleichermaßen. Dieses Kapitel befasst sich mit der Pluralität von schwimmenden Vegetationsflächen. Zunächst werden einige historisch bedeutsame Projekte genauer beleuchtet, in weiterer Folge werden bestehende Projekte miteinander verglichen. Dabei ist zu beachten, dass es weltweit weit mehr Beispiele für schwimmende Gärten gibt als hier beschrieben. Aufgrund ihrer Similarität werden in dieser Arbeit jedoch nur einige Prinzip-Beispiele solcher Gärten zur Veranaschaulichung genauer ausgeführt.

2.1 Zur Geschichte schwimmender Inseln und schwimmender Gärten

Die Marsch-Araber

Eines der ersten Zeugnisse für die Nutzung und Bewohnung schwimmender Inseln liegt im Mündungsgebiet zwischen Tigris und Euphrat, dem „Garten Eden“ südöstlich von Irak. Hier wurden schon vor ca. 7000 Jahren ein schwimmendes Volk, die sogenannten Marsch-Araber - oder auch Mi’dan, wie sie sich selbst nennen - sesshaft (siehe Abb. 2) (Spencer, 1982, 32 ff).

Sie besiedelten in einer hohen Zahl die einst größten und artenreichsten Riedlandschaften der Welt. Die Marsch-Araber bewohnten diese Landschaften auf Schilfinseln, welche in den Riedlandschaften geschaffen wurden. Als Fortbewegungsmittel dienten ihnen dabei Schilfboote, mittels welcher sie sich von Insel zu Insel fortbewegen konnten. Besonders durch Fischfang, Reisanbau und Büffelzucht konnten die Marsch-Araber dort lange relativ isoliert leben. In den 1990er Jahren und Anfang 2000 wurden diese Feuchtgebiete, welche den Marsch-Arabern Lebensraum boten, unter der Herrschaft von Saddam Hussein weitestgehend ausgetrocknet bzw. zerstört. Der Bestand von gesunden Schilfbeständen war 2003 auf ca. 1500 Quadratkilometer gesunken. Doch seit dem Sturz Saddam Hussein findet wieder eine Revitalisierung dieser Sumpflandschaften statt, was zu einer Wiederansiedelung der Marsch-Araber führte (Lingenhöhl, 2005).

Abb. 2: Schwimmende Inseln - Marsch-Araber (Quelle:http://america.aljazeera.com/articles/2014/7/13/restoring-iraqs-lostmarshes.html)

Die Urus

Eine ähnliche Zivilisationsform wie bei den Marsch-Arabern findet sich am Titicaca-See in Peru, bei den Urus (siehe Abb. 3). Im Gegensatz zu den Marsch-Arabern ist ihr Ursprung umstritten. Manche Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler behaupten, dass sie bereits in der letzten Eiszeit ihre Ursprünge haben. Andere hingegen sagen, dass die Urus erst um 2500 vor Christus erschienen sind. Während in der Forschung die Entstehungszeit dieses Volkes umstritten ist, herrscht beim Wohnort der berühmtesten Gruppe der ehemaligen Nomaden am Titicaca-See in der Nähe der peruanischen Stadt Puno hingegen Einigkeit (Tidwell, 2001).

Hier leben heute noch ca. 2500 Urus, wie die Bewohnerinnen und Bewoh-

ner genannt werden, auf 45 handgemachten, schwimmenden Inseln. Die Inseln sind aus Totora-Schilf (*Schoenoplectus californicus*) gefertigt, welches gleichzeitig die wichtigste Lebensgrundlage der Urus darstellt. Die Bewohnerinnen und Bewohner dieser Inseln verwenden Totora-Schilf zum Bau von Häusern, Fischerbooten, fertigen Seile, füttern Schweine, heizen, und verwenden es nicht zuletzt als Nahrungsmittel. Aufgrund des Verrottens des Totora-Schilfes ist ein ständiger Bedarf von frischem Schilf, zur Erneuerung der Inseln vorhanden (Krauss, 2001).

Abb. 3: Schwimmende Inseln - Urus
(Quelle: http://www.peru-expeditions.com/en/islands-uros)

Heute sind die Urus-Inseln ein von Touristinnen und Touristen stark frequentierter Ort, an welchem die Bewohnerinnen und Bewohner durch den Verkauf von selbstgebastelten Spielsachen zusätzlich Geld verdienen (Tidwell, 2001).

Die Intha

Ein anderes historisches Beispiel schwimmender Inseln bzw. schwimmender Gärten befindet sich am Inle See in Myanmar. Der Inle See ist der zweitgrößte See in Myanmar und wird seit vielen Generationen von einer ethnischen Gruppe namens Intha besiedelt (siehe Abb. 4). Eine genaue Chronik über die Ursprünge der schwimmenden Gärten im Inle See ist nicht bekannt. Es ist jedoch anzunehmen, dass sie auf die Intha Bevölkerung zurück geht. Für das Land hat der See einerseits durch die durch ihn gewonnene Wasserkraft, andererseits als Vogelschutzgebiet eine wichtige Bedeutung (Su, Jassby, 2000, 49 ff).

Abb. 4: Schwimmende Gärten - Inle See
(Quelle: http://www.zdf.de/terra-x/schatzsuche-im-goldenen-dreieck-faszination-erde-mit-dirk-steffens-36839740.html)

Die Grundstruktur der schwimmenden Gärten am Inle See werden aus Gräsern hergestellt (*Saccharum spontaneum L.*), welche am Rand des Inle Sees einen Schilfgürtel bilden. Die schwimmenden Flächen selbst sind aus Wasserhyazinthen (*Eichhornia crassipes*), Schlamm und Erde gefertigt. Am Untergrund fixiert werden diese Gärten mit Bambusstäben und sie können dadurch flexibel an verschiedene

Standorte gebracht und befestigt werden. Die schwimmenden Elemente sind zwischen zwei und acht Meter breit und 40 bis 100 Meter lang. Bepflanzt werden sie mit verschiedenen Gemüse- und Obstsorten. Am häufigsten finden sich Tomaten auf den Pflanzflächen, aber auch andere Pflanzen und Früchte wie Knoblauch oder Zitrusfrüchte kommen vor. Zur Düngung werden Schlamm oder Wasserhyazinthen selbst verwendet. Um die Gärten entsprechend zu bearbeiten werden Wasserflächen in Form von Kanälen freigelassen bzw. angelegt (Su, Jassby, 2000, 49 ff).

Die Azteken

Die Chinampas, die Gärten der Azteken in Xochimilco in Mexiko-Stadt, werden besonders häufig in der Literatur als Beispiel für historische schwimmende Gärten genannt (sieh Abb. 5). Konträr zu der von vielen Quellen angeführten Angabe es handle sich um schwimmende Inseln, ist jedoch bis heute nicht vollständig geklärt ob diese Chinampas, welche in den Feuchtgebieten Xochimilcos liegen, tatsächlich einmal schwimmend waren. Unterschiedliche Autoren aus dem 19. Jahrhundert wie Von Humboldt oder Acosta und Clavijero berichten von solchen schwimmenden Gärten in Mexiko, heute sind diese jedoch fest mit dem Boden verbunden (Crossley, 2004, 111 ff).

Die Chinampas sind lange, schmale, rechteckige Felder, welche in Etwa 50 bis 150 cm über dem Wasserspiegel liegen und durch Wassergräben voneinander getrennt sind. Auf ihnen werden verschiedene Gemüsesorten wie beispielsweise Mais angebaut. An den Kanten der Felder werden die Chinampas von Weiden (Sa*lix bonplandiana*) begrenzt (Crossley, 2004, 111 ff).

Abb. 5: Chinampas in Xochimilco
(Quelle: http://www.seattletimes.com/life/travel/mexico-citys-renowned-floating-gardens-imperiled/)

Resümee zur Geschichte

Schwimmende Gärten haben eine Jahrtausende alte Geschichte und begründen ihre Tradition in zahlreichen Kulturen weltweit. Die vorerwähnten Beispiele geben einen Überblick über die verschiedenen Arten schwimmender Inseln und schwimmender Gärten in der Geschichte. Auch wenn sie sich in unterschiedlichen Zeitspannen an diversen Orten der Erde entwickelt haben, so steht doch überall der Lebensraum bzw.

die Produktion von Lebensmitteln für den Menschen im Vordergrund. Die Konzepte der schwimmenden Vegetationsflächen bzw. schwimmenden Inseln waren teils so erfolgreich, dass sie sich bis in die heutige Zeit gehalten haben.

2.2 Schwimmende Gärten heute

In der Gegenwart gibt es sehr unterschiedliche Ausprägungen schwimmender Gärten. Diese unterscheiden sich vor Allem durch ihre Nutzungs- und Entstehungsart und die spezifische Örtlichkeit. Im Zuge der Recherche für die vorliegende Arbeit wurde klar, dass im wesentlichen vier Kategorien unterschieden werden können: Diese teilen sich auf in schwimmende Vegetationsflächen

- die natürlich entstanden sind,
- die der Produktion von Gemüse dienen,
- in der Landschaftsarchitektur und Kunst,
- die zur Verbesserung der Gewässerqualität beitragen und Habitate bieten.

Eine genauere Beschreibung dieser Kategorien folgt in den nächsten Kapiteln.

2.2.1 Natürlich entstandene schwimmende Gärten

Die Urform aller schwimmenden Inseln, noch bevor diese unter menschlichen Einflüssen geschaffen wurden, sind: Natürlich entstandene schwimmende Vegetationsflächen. Laut den Autoren Kadlec und Wallace gibt es drei grobe Mechanismen die zur Bildung von natürlichen schwimmenden Vegetationsflächen führen:

- Die Lösung und das Auftreiben von tieferliegenden Sedimenten, welche in weiterer Folge als schwimmender Wuchsort für Pflanzen dienen. Diesen Prozess bezeichnen Kadlec und Wallace als „peat float-up process“ (Kadlec, Wallace, 2009, 87).

- Die Rhizome von Wasserpflanzen besiedeln die Wasseroberfläche und verbreiten sich. Dies geschieht entweder ausgehend vom Ufer oder in ungebundener Form. Kadlec und Wallace benennen diese Entstehungsart natürlicher schwimmender Vegetationsflächen als „grow-over process“ (Kadlec, Wallace, 2009, 87).

- Verwurzelte Vegetationsflächen lösen sich gemeinsam mit Sediment vom Ufer und treiben auf der Gewässeroberfläche. Dieser Prozess wird „mat floating process“ (Kadlec, Wallace, 2009, 87) genannt. Auch Schwingrasen können zu dieser Gruppe zugerechnet werden.

Allgemein kann gesagt werden, dass natürlich entstandene schwimmende Vegetationsflächen annähernd zur Gänze organisch sein müssen, um ihre Schwimmfähigkeit zu erhalten. Den nötigen Auftrieb erhalten diese Vegetationsflächen von Gasen, die sich auch durch Verrottungsprozesse von Pflanzenteilen bilden und sich zwischen den Rhizomen sammeln (Kadlec, Wallace, 2009, 87).

In Europa sind die natürlich entstandenen schwimmenden Vegetationsflächen, die als Schwingrasen bezeichnet werden, bekannt. Der Duden beschreibt Schwingrasen als „auf verlandeten Gewässern schwimmende Vegetationsdecke, die beim Betreten in Schwingungen gerät“ (Duden, 2015). Sie sind verfilzte, oftmals über einen Meter mächtige Rasendecken, welche auf dem Wasser schwimmen (Zimmerli, 1989, 52).

Diese Schwingrasen werden besonders durch die Verlandung von Hochmooren gebildet. Sie bestehen zum Großteil aus Torfmoosen (*Sphagnum*), wobei häufig auch schmalblättriges Wollgras (*Eriophorum angustifolium*) und Blasenbinse (*Scheuchzeria palustris*) auf den Flächen vorkommen (Spektrum, 2001). Schwingrasen haben den Vorteil, dass sie für die darauf wachsenden Torfmoose stabile Lebensbedingungen gewähren, da Wasserspiegelschwankungen stets ausgeglichen werden (Wiegleb, Zerbe, 2009, 80).

Beispiele für Schwingrasenflächen finden sich besonders in Hochmoorgebieten: Ein Beispiel für Schwingrasenflächen in Hochmoorgebieten kann im Bayer- bzw. Böhmerwald in Deutschland gefunden werden, nämlich im Kleinen und im Großen Arbersee (siehe Abb. 6). Über Jahrtausende haben sich hier Moorflächen, welche zum Großteil aus Torf bestehen, gebildet. Als der Arbersee zum Zwecke der Holztrift angestaut wurde, haben die verlandeten Moorflächen die Verbindung zu Land und Untergrund verloren und sind dadurch auf dem Wasser getrieben. Heute wechseln die schwimmenden Inseln im Kleinen Arbersee je nach Windrichtung ihren Standort (Natur Park Bayrischer Wald, n.b.).

Abb. 6: Schwimmende Inseln im Kleinen Arbersee (Quelle: https://www.bayern.by/data/mediadb/cms_pictures/%7B5a05ce59-c434-26e6-5a35-260f47e89915%7D.jpeg)

2.2.2 Produktion von Gemüse und Obst

Auch heute gibt es noch schwimmende Gärten deren Hauptaufgabe der Anbau von Gemüsepflanzen darstellt. Gerade im asiatischen Raum finden sich neben den schwimmenden Flächen am Inle See, welche in Kapitel 2.1 genauer beschrieben werden, noch weitere Beispiele.

Eines davon liegt in Gaibandha in Bangladesh. Aufgrund jährlicher, immer intensiver werdender Überschwemmungen, welche

auch Felder und Äcker in Mitleidenschaft zogen, sahen sich die Menschen dort gezwungen, alternative Wege zum Anbau von Lebensmitteln zu suchen. Ein passender Lösungsansatz wurde durch die Schaffung schwimmender Gärten, welche die schwankenden Pegelstände durch Hochwasser ausgleichen können, gefunden (Practical Action, n.b.).

Wie bei den schwimmenden Gärten am Inle See bilden Wasserhyazinthen (*Eichhornia*) die Basis dieser Gärten: Dafür werden zunächst Wasserhyazinthen gesammelt, welche in weiterer Folge auf Bambusstangen ausgelegt und sicher angebracht werden. Wichtig dabei ist, dass reifere Pflanzen verwendet werden, da jüngere Pflanzen schneller verrotten. Aus diesen übereinander gelagerten Wasserhyazinthen wird schließlich ein ca. 2x8 m langes, schwimmendes Floß gebunden. Nach dem Binden werden die Bambusstangen allerdings wieder entfernt. Anschließend werden die schwimmenden Gärten sieben bis zehn Tage lang getrocknet. Sind die Gärten angetrocknet, werden sie mit weiteren Wasserhyazinthen, Erde, Kompost und Kuhdung gedüngt. Nun können die schwimmenden Gärten aufs Wasser ausgebracht und Setzlinge gepflanzt werden (siehe Abb. 7) (Practical Action, n.b.).

Je nach Wachstumsansprüchen der gepflanzten Arten, können die schwimmenden Gärten an sonnigere oder schattigere Standorte gebracht werden. Auf den Pflanzflächen werden Sommer- sowie Winterkulturen gepflanzt, wobei meistens Kürbisse, Auberginen, Zwiebeln aber auch andere Gemüsesorten zum Einsatz kommen. Geerntet werden diese zwei- bis dreimal pro Woche. Zum Schutz des Gemüses und des Obstes vor Tieren werden an die Gärten oft Zäune angebracht (Practical Action, n.b.).

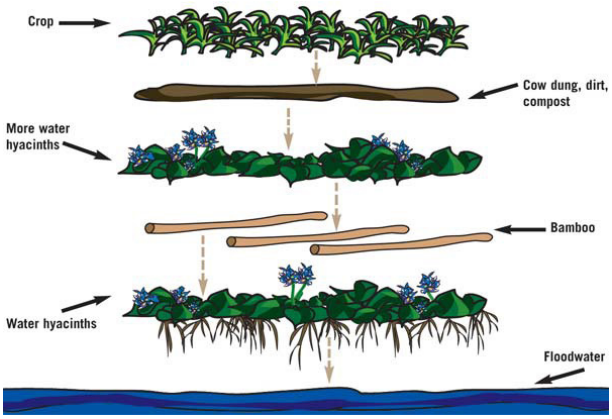


Abb. 7: Konstruktion - Practical Action
(Quelle: practicalaction.org/floating-gardens)

2.2.3 Landschaftsarchitektur/Kunst

Schwimmende Gärten in Kunst und Landschaftsarchitektur entspringen sehr unterschiedlichen Ambitionen und sind auch in Größe und Ausmaß oft grundlegend verschieden.

Ein Beispiel dafür findet sich in der Hansestadt Rostock in Norddeutschland. Zur Internationalen Gartenbauausstellung 2003

wurden drei schwimmende Gärten geschaffen, wobei jede der Garteninseln eine eigene Konzeption verfolgte. Dabei entstanden die „Karge Insel“ mit einem Ausmaß von 1300 m^2, die 900 m^2 große „Grüne Insel“ und die „Blüten Insel“, welche 2000 m^2 Fläche hatte (Kraus, 2003, 94).

Die „Karge Insel“ bildete mit ihren ursprünglichen vegetativen Besiedlungsformen den Anfang der drei Inseln. Sie war sehr schlicht gehalten und erinnerte mit der Komposition aus „schroffen Naturgestein und farbiger Vegetation“ (Kraus, 2003, 59) an eine Vulkanlandschaft. Zwölf Meter hohe, aus Blech geschaffene künstliche Grashalme assoziierten Schachtelhalme. Des Weiteren gab es diverse Wassereffekte auf dieser Insel (Kraus, 2003, 59 ff).

Als Folgelandschaft der „Kargen Insel“ fand sich die „Grüne Insel“. Auf ihr befand sich eine große Pflanzenvielfalt. Üppiges Wachstum und Pflanzen standen im Vordergrund, wobei Hainbuchen und andere Bäume die Gehölzvegetation bildeten. Inmitten der „Grünen Insel“ war ein spiralförmiger Weg, in dessen Mitte sich ein Brunnen befand (Kraus, 2003, 65).

Die „Blüten Insel“ als dritte dieser „schwimmenden Gärten“ beherbergte künstliche Blüten-Großobjekte innerhalb von Stauden, Wechselflor, Solitärsträuchern, Kletterpflanzen und Solitärgräser. Das erste dieser Objekte stellte eine große rote Blüte aus Stahl dar (siehe Abb. 8), in der Nähe befand sich eine Calla-Blüte aus Holz. Ein sehr groß dimensioniertes Samenkorn welches mit Polyester beschichtet wurde, lag in einer Blumenwiese. Der Pollenflug der Blüten wurde durch Wellenförmige Stahlträger symbolisiert, welche sich über die ganze „Blüten Insel“ erstreckten (Kraus, 2003, 69). Diese drei Inseln wurden zwischen 2002 und 2003 aus 8000 m^3, 30 t Gips, 20 t Ton, 20 t Metall und 17 t Epoxidharz gefertigt (Kraus, 2003, 94).

Abb. 8: Blüten Insel
(Quelle: http://www.galk.de/fotos_iga03/iga_03_schwimm_gaerten/)

Ein weiteres Beispiel für schwimmende Gärten in der Landschaftsarchitektur befindet sich bei der ETH in Zürich. In den Innenhöfen der ETH Hönggerberg hat das Schweizer Landschaftsarchitekturbüro Vogt kleine schwimmende Inseln geschaffen.

Die Inseln sind aus Stahl konstruiert und am Boden des Wasserbeckens verankert. Wind und Strömung können die Lage der schwimmenden Inseln verändern (siehe Abb. 9). Bepflanzt wurden die Inseln mit Sumpfdotterblumen (Vogt Landschaft AG, n.b.). Vogt benennt diese Situation als „Ein Spiel von Ordnung und Unordnung, von Starre und Bewegung“ (Vogt Landschaft AG, n.b.).

Abb. 9: Schwimmende Gärten, ETH Zürich
(Quelle: http://vogt-la.com/de/node/71/chronology)

Schwimmende Gärten als Kunstinstallation: Der Künstler Wilm Weppelmann verwendete in seiner Installation „aFarm“ 24 m^2 große Schwimmpontons, welche er im deutschen Aasee, ausstellte. Auf diesen wurden 6 t Erde ausgebracht, worauf niedrig wachsende Gemüse-, Obst- und Kräuterpflanzenarten und ein Apfelbaum gepflanzt wurden (siehe Abb. 10). Zwischen 1. und 30. September 2014 betrat der Künstler täglich um 17 Uhr seinen schwimmenden Garten um ihn zu pflegen und zu ernten. In weiterer Folge ernährte er sich für einen kurzen Zeitraum ausschließlich von der Ernte dieses Gartens. Im Fokus der Installation stand die „Bedeutung des Wassers für das Leben und die Nahrung“ (Kulturgrün e. V. Münster, 2014).

Abb. 10: Schwimmender Garten als Kunst „aFarm“
(Quelle: http://www.afarm.de/Download/Wilm%20Weppelmann%20aFARM%20M%C3%BCnster%202014.jpg)

2.2.4 Verbesserung der Gewässerqualität und Habitate

Schwimmende Inseln werden vermehrt dazu genutzt, um schädliche Wasserinhaltsstoffe und Nährstoffe auf natürliche Weise abzubauen. Ergänzend zu den herkömmlichen Pflanzenkläranlagen, die inzwischen „akzeptierter Stand der Technik“ (Kuschk et al., 2008, 1785) sind und üblicherweise in horizontaler oder vertikaler Bauweise hergestellt werden (Kuschk et al., 2008, 1785), können schwimmende Vegetationsflächen auch gute Nährstoff-Abtrags-Leistungen und Reinigungsleistungen bringen (siehe Kapitel 3).

Für diesen Einsatzzweck werden häufig vorgefertigte schwimmende Garten-Systeme, die bei diversen Herstellern gekauft bzw. bestellt werden können verwendet. Die Produktpalette gestaltet sich vielseitig und der Einsatzbereich reicht von der Größe von kleinen privaten Hausteichen bis hin zu großen öffentlichen Gewässern.

Am Beispiel des Diamond Teague Park in Washington D.C. kann die Effizienz solcher Systeme veranschaulicht werden:

Im Diamond Teague Park wurden sieben schwimmende Inseln von Floating Island International mit dem System BioHaven, zur Verbesserung der Wasserqualität des stark verschmutzten Anacostia River, angelegt. Trotz der geringen Oberfläche der Vegetationsfläche von insgesamt knapp 150 m^2, ist die Durchwurzelung laut Hwang und LePage (2011, 237) äquivalent mit der Durchwurzelung von einer Oberfläche über 4.000 m2 Feuchtgebiet. Konzipiert wurden diese schwimmenden Inseln um jährlich 445 kg Stickstoff (N), 62 kg Phosphat (P) und 445 kg Ammoniak (NH_3) zu entfernen. Dazu sollen diese kostengünstigen schwimmenden Vegetationsflächen neben ästhetischen Gesichtspunkten auch Habitate für Flora und Fauna bieten (Hwang, LePage, 2011, 237).

Derartige Systeme werden auch als schwimmende Habitate für Fauna und Flora gebaut (siehe dazu auch Kapitel 3.1). Detailliertere Ausführungen zu dieser Art schwimmender Vegetationsflächen sind unter anderem ein Schwerpunkt dieser Arbeit und finden sich ab Kapitel 3.

2.2.5 Resümee

Abgesehen von natürlich entstandenen schwimmenden Vegetationsflächen unterscheiden sich Funktionen und Nutzen der schwimmenden Inseln erheblich voneinander. Während in Entwicklungsländern wie Indien oder Myanmar schwimmende Inseln nach wie vor für die Produktion von Lebensmitteln genutzt werden, werden in industrialisierten Regionen die schwimmenden Pflanzeninseln hauptsächlich aus ästhetischen, reinigenden und nicht zuletzt aus Biodiversitäts- bzw. Artenschutz-gründen ausgebracht. Wie in Kapitel 2.2.4 beschrieben, können schwimmende Vegetationsflächen einen erheblichen Einfluss auf die Gewässerqualität ausüben.

3 Schwimmende Vegetationsflächen- Stand der Wissenschaft

3.1 Zur Bedeutung schwimmender Vegetationsflächen

Begrifflichkeit

Wie bereits erwähnt, existiert vor allem im englischen Sprachraum in der Wissenschaft ein breiter Diskurs über die verhältnismäßig neue Thematik der schwimmenden Vegetationsflächen zur Reinigung von Gewässern (Hwang, LePage, 2011, 249). Aufgrund der Aktualität und Neuheit dieses Wissenschaftsfeldes fehlt auch eine konsequente Festlegung der Begrifflichkeiten (Anmerkung: wie auch bei dieser Arbeit feststellbar ist). Im englischsprachigen Raum finden sich laut Pavlineri et al. häufig Begriffe wie „planted floating system beds", „vegetated floating islands" oder „floating wetlands" (Pavlineri et al., 2016, 1121). Headley und Tanner listen zudem noch die Begriffe „Floating Vegetation Mat", „Floating Reedbed Rafts", „Floating Meadows", „Vetiver Grass Pontoons", „Floating Pond Restorer", „Floating Islands" oder „Floating Wetland Islands" für künstlich geschaffene schwimmende Vegetationsflächen (Headley, Tanner, 2006, 94-95).

Zumeist werden in der englischen Fachliteratur schwimmende Vegetationsflächen und ihre reinigende Wirkung von nährstoffreichem Wasser untersucht. Dazu muss aber angemerkt werden, dass in dieser Arbeit das Hauptaugenmerk nicht ausschließlich auf den reinigenden Effekt der Vegetationsflächen liegt, sondern auch ökologische und ästhetische Gegebenheiten be- und durchleuchtet werden. Im Rahmen der Recherche wurde deutlich, dass sich der Diskurs im deutschen Sprachraum vor allem auf Untersuchungen auf nicht-schwimmende Pflanzenkläranlagen beschränkt. Eine Ausnahme stellt die Dissertation von Günther Henning dar. In der Dissertation „Lebende Inseln – selbstschwimmende Pflanzengesellschaften für urbane Gewässer" verwendet der Autor mehrere unterschiedliche Bezeichnungen: Hier können Begriffe wie „schwimmende Vegetationsgesellschaften", „schwimmende Pflanzbestände", „schwimmende Konstruktionen" oder „lebende Inseln" (Henning, 14 ff, 2013) gefunden werden.

Eine grobe Unterteilung schwimmender Vegetationsflächen bieten Kadlec und Wallace. Sie unterscheiden zwischen natürlich schwimmenden Pflanzen, die eine Pflanzfläche bilden können und künstlich geschaffene schwimmende Vegetationsflächen in denen erweiterte Konstruktionen bzw. Trägermedien benötigt werden. Vereinfacht gesagt, sind unter den natürlich schwimmenden Pflanzflächen Pflanzen zusammengefasst, die aufgrund ihrer Physiologie von selbst schwimmen können (Kadlec, Wallace, 2009, 87-88). Häufige Beispiele für natürlich schwimmende Pflanzen sind *Eichhornia crassipes*, *Pistia-*

stratiotes, *Lemna sp.* und *Azolla sp.* (Kadlec, Wallace, 2009, 88). In einer hohen Zahl auftretend, können solche Pflanzen eine erhebliche Fläche der Gewässer einnehmen. Allerdings sind schwimmende Pflanzflächen ohne konstruktive Hilfsmittel sehr anfällig für Versatz bei hohen Windstärken (Headley, Tanner, 2012, 2264). Laut Headley und Tanner bestehen schwimmende Vegetationsflächen oder auch „Floating Treatment Wetlands“ - wie die Autoren diese Flächen bezeichnen - aus Feuchtgebiets-Vegetationstypen, die auf Matten oder sonstigen schwimmenden Strukturen wachsen und auf Teichen und ähnlichen Gewässern schwimmen. Dabei ragt die Sprossachse der Pflanze Großteils aus dem Wasser, während die Wurzeln der Pflanzen ins Wasser ragen. Vorteile gegenüber Pflanzen, die in Verbindung mit festem Boden stehen, sind vielseitig: Pflanzen auf schwimmenden Inseln können Nährstoffe direkt aus dem Wasser aufnehmen. Des Weiteren können diese Vegetationsflächen in allen Gewässertypen ausgebracht werden, unabhängig von Tiefe (sofern eine Mindesttiefe eingehalten wird) und Bodenbeschaffenheit (Headley, Tanner, 2012, 2267). Zur Veranschaulichung solcher Flächen dient die Prinzip Skizze in Abbildung 11. Zudem kann sich das Ernten von Biomasse, zumindest in der Theorie, einfach gestalten (Kadlec, Wallace, 2009, 89).

Wasserqualität

Wie bereits in Kapitel 2.2.4 erwähnt, können schwimmende Inseln einen erheblichen Einfluss auf die Wasserqualität nehmen. Aus diesem Grund werden sie häufig als innovative Variante zur Schmutzwasseraufbereitung verwendet (Headley, Tanner, 2012, 2303). Dabei sind Umfang und Dichte des Durchwurzelungssystems für schwimmende Vegetationsflächen von entscheidender Bedeutung (Pavlineri et

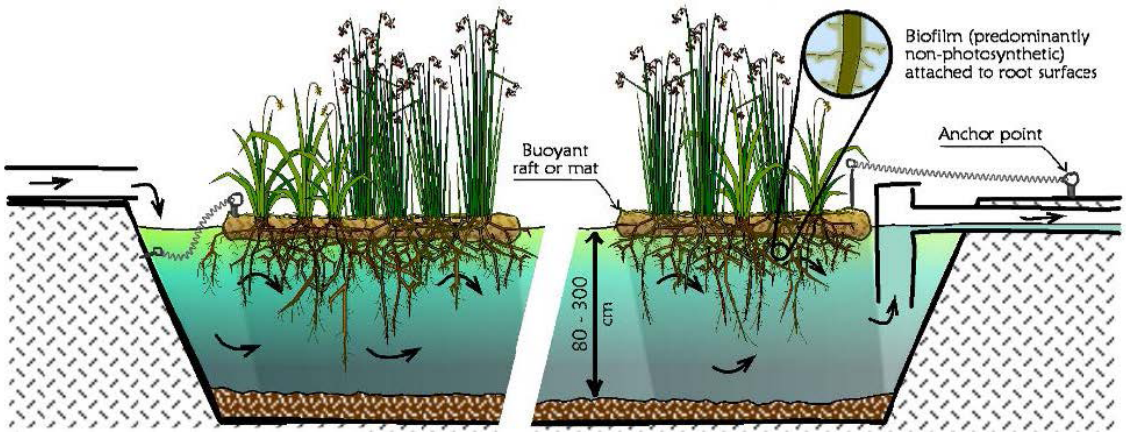


Abb. 11: Prinzip Skizze - schwimmende Vegetationsfläche
(Quelle: Headley, Tanner, 2012, 2265)

al., 2016, 1121). Die Wurzeln können Nährstoffe direkt aus dem Wasser aufnehmen (Headley, Tanner, 2012, 2280) und diese entweder durch Biosynthese in Pflanzengewebe umwandeln, oder sie durch Rhizofiltration klären (Pavlineri et al., 2016, 1126). Wie stark Nährstoffe von Pflanzen aufgenommen werden können, ist von unterschiedlichen Faktoren abhängig. Dazu zählen: anatomische und physiologische Eigenschaften der Pflanzenart, Wachstumstempo, Photosynthese-Leistung und Wurzel-Typ (Pavlineri et al., 2016, 1126). Außerdem beeinflussen auch die Vegetationsflächenarten und die Tiefe der Durchwurzelung die Abtragung von Nährstoffen entscheidend (Pavlineri et al., 2016, 1127).

Mehrere Studien haben die Effizienz zur Nährstoffreduktion unterschiedlicher Systeme und Pflanzen in verschiedenen Gewässertypen getestet. Dabei wurden besonders Einflüsse auf die Nährstoffe Stickstoff (N), Phosphor (P) und Ammonium-Stickstoff (NH_4-N) untersucht. Da sich die Werte der Abtrags-Leistung wegen einiger beeinflussender Faktoren (Pflanzenart, Gewässertyp etc.) jedoch stark voneinander unterscheiden, können keine allgemeingültigen, konkreten Aussagen zur Nährstoffverarbeitung von schwimmenden Vegetationssystemen getroffen werden. Trotzdem kann angemerkt werden, dass in solchen Vegetationsflächen von den Nährstoffen im aufgenommenen Wasser durchschnittlich 58% N, 49% P und 73% NH_4-N abgetragen werden (Pavlineri et al., 2016, 1127-1128).

Neben der Nährstoff-reduzierenden Wirkung von schwimmenden Inseln, kann auch der Lichteinfall ins Wasser reduziert werden. In weiterer Folge kann damit einhergehend das Wachstum von photsynthetischlebenden Algen verringert werden (Headley, Tanner, 2012, 2268). Außerdem kann der durch die Inseln erzeugte Schatten das Aufheizen des Wassers verringern (Hwang, LePage, 2011, 241).

Schwimmende Inseln als Habitat für Tiere und ästhetische Erweiterung des Uferraumes

Neben der Funktion als Wuchs-Ort für Pflanzen, bieten schwimmende Inseln auch einen Schutz der Küstenregion, sie dienen der Landschaftsverschönerung und sind nicht zuletzt auch Habitate für Vögel, Fische und andere Tiere (Pavlineri et al., 2016, 1124-1125).

Der Umfang des Nahrungsnetzes auf der Oberfläche der schwimmenden Inseln ist stark von der Größe und dem Aufbau der Vegetationsflächen abhängig. Kleine und strukturell weniger aufwändige Inseln stel-

len ein Habitat für kleine Insektenpopulationen und reisende/insektenfressende Vogelarten dar, größere und komplexere Strukturen bieten dagegen Lebensraum für heimische Vogel- und kleine Säugetierarten. Für den aquatischen Lebensraum unter den schwimmenden Vegetationsflächen sind auch, wie bei den oberflächlichen Teilen, Größe und Struktur entscheidend. Weiters stellen Wurzeldichte und Wasserqualität wichtige Faktoren für die Lebensbedingungen von Fischen und anderen aquatischen Tieren dar (Hwang, LePage, 2011, 241).

Außerdem sind gerade Vögel auf Vegetationsflächen auf dem Wasser gegen viele Feinde geschützt. Jedoch kann dieses Potential auch nachteilige Wirkungen auf Wasser und Pflanzen haben, da durch Fäkalien der Tiere ein erhöhter Nährstoffeintrag gegeben ist. Weiters kann es auch anderweitig zu Störungen der Biotope kommen. Laut den Autoren Headley und Tanner können große Mengen an Vögeln zu Vegetationsrückgang durch Zertrampeln und Verbiss führen. Dieser Einfluss macht es oft schwer neue Pflanzen auf den schwimmenden Flächen zu etablieren (Headley, Tanner, 2012, 2281).

3.2 Standortfaktoren - Voraussetzungen und Pflege

Wasserspiegel

Ein weiteres Merkmal von schwimmenden Vegetationsflächen ist die Toleranz bei schwankenden Wasserspiegeln. Die Inseln treiben auf dem Wasser, dadurch wird sowohl eine Vertrocknung als auch das Ertrinken der Pflanzen verhindert (Headley, Tanner, 2012, 2261).

Tiefe

Trotz der Wasserspiegeltoleranz sollte bei der Planung von schwimmenden Vegetationsflächen ein Mindestabstand zum Grund eingehalten werden. Dies ist wichtig, da die Wasserpflanzen aufgrund von zu geringen Abständen an den Gewässerboden anwurzeln könnten und damit einhergehend Gefahr laufen, ihre Schwimmfähigkeit zu verlieren. Da sich das Wurzelwachstum zwischen den Pflanzenarten stark unterscheidet, wird als Richtwert von Headley und Tanner ein Abstand von mindestens 0,8-1,0 m zum Grund empfohlen (Headley, Tanner, 2012, 2269).

Wind und Klima

Kleine schwimmende Vegetationsflächen können bei starkem Wind- und Wellengang kentern. Daher ist es wichtig, gerade in größeren Gewässern, in denen mit der Verstärkung dieser Faktoren gerechnet werden muss, die Vegetation auf den kleinen schwimmenden Inseln niedrig zu halten. Überschlagsmäßig kann gesagt werden, dass die maximale Wachstumshöhe der Vegetation die breite der schwimmenden Vegetationsflächen nicht übersteigen sollte, um das Kippen dieser zu verhindern (Headley, Tanner, 2006, 81). Häufig wurden schwimmende Vegetationsflächen auch schon dazu eingesetzt, um den Einfluss von Wellen in Ufernähe zu mäßigen. Vorausgesetzt die Flächen sind stabil genug konstruiert, können sie die Energie von Wellen mildern und Erosionen verhindern (Headley, Tanner, 2006, 82).

Pflege

Um den erneuten Eintrag von Nährstoffen im Wasser zu vermeiden, sollten Pflanzenteile rechtzeitig geerntet werden. Somit wird vermieden, dass Nährstoffe aus den faulen bzw. abgestorbenen Pflanzen wieder ins Wasser gelangen (Pavlineri et al., 2016, 1129). Der Nährstoffgehalt in den Pflanzen ist allerdings nicht das ganze Jahr über gleich verteilt. Laut Wang et al. ist der Nährstoffgehalt in den oberen Bereichen der Pflanzen im Sommer am höchsten, im September verlagern sich die meisten Nährstoffe in den unteren Pflanzenbereich (Wang et al., 2014, 20). Diese Gegebenheit sollte bei der Pflege und Ernte der Pflanzen berücksichtigt werden. Die Ernte der

oberen Pflanzenteile im Spätsommer bzw. Herbst ist demnach nicht ausreichend, es sollten die ganzen Pflanzen (besonders bei Pflanzen die abgestorben sind), auch die unteren Pflanzenteile wie Wurzeln geerntet werden (Li et al., 2009, 382).

Wie bereits oben erwähnt sind besonders junge Pflanzen auf Wasserflächen anfällig für das Trampeln von Vögeln und anderen Tiere die sich darauf bewegen. Um Pflanzen davor zu bewahren, sehen Headley und Tanner es als sinnvoll an, Flächen mit Netzen oder Zäunen zu schützen, bis sich die Vegetation etabliert hat. Weiters geben die Autoren als Option an, entweder besonders robuste Pflanzenarten wie *Phragmites* oder *Cyperus sp.*, Pflanzen mit kompakten Wuchs wie *Juncus* oder *Schoenoplectus sp.* oder Pflanzen mit scharfen Kanten wie zum Beispiel *Carex sp.* zu verwenden (Headley, Tanner, 2012, 2278).

3.3 Arten konstruierter schwimmender Vegetationsflächen

Da schwimmende Vegetationsflächen in unterschiedlichen Formen, Größen und Konstruktionen gebaut werden und diese wiederum unterschiedlichen Standortfaktoren ausgesetzt sind, muss der Verortung eine eingehende Untersuchung der eingesetzten Technologien bzw. die geplanten Flächen je nach Konstruktionsart gesondert untersucht werden. In den folgenden Kapiteln soll geklärt werden, welche Art von schwimmenden Vegetationsflächen sich am besten für den Standort am Bregenzer Bodenseeufers eignet.

Wie schon in Kapitel 2.2 beschrieben, erfüllen schwimmende Vegetationsflächen unterschiedlichste Funktionen und Nutzen. Neben unterschiedlichen Systemen gibt es auch diverse Hersteller in verschiedenen Teilen der Erde. In diesem Unterkapitel wird ein Überblick über die Konstruktions- und Gestaltungsarten schwimmender Vegetationsflächen gegeben.

Headley und Tanner (Headley, Tanner, 2012, 2269-2271) unterscheiden künstlich geschaffene schwimmende Vegetationsflächen grundsätzlich nach der Art der Schwimmfähigkeit. Diese kann durch unterschiedliche Bauformen sichergestellt werden. Die Autoren unterscheiden fünf verschiedene Konstruktionsarten, die dabei zum Einsatz kommen:

- Schwimmende Flöße oder Rahmen, die Netze oder sonstige Gewebearten tragen, auf welchen Erde oder sonstige Substrate ausgebracht sind. Auf diesen werden die Pflanzenarten eingepflanzt. Produziert werden solche Systeme z.B. von ARM Ltd., einem englischen Hersteller schwimmender Vegetationsflächen (Headley, Tanner, 2012, 2269-2271). Auch das System vom amerikanischen Hersteller Beemats kann dieser Art schwimmender Vegetationsflächen zugeordnet werden. Hier werden Pflanzen in Töpfen in die Rahmenkonstruktion aus Hartschaum gesetzt (Beemats, n.b., Mail Beemats, am 02.05.2017).

- Eine künstlich geschaffene schwimmende Matte oder ein Gewebe auf welchem die Pflanzen direkt eingesetzt werden. Ein Beispiel solcher Arten schwimmender Pflanzflächen ist die BioHaven-Technologie vom amerikanischen Hersteller Floating Islands International Inc. (Headley, Tanner, 2012, 2269-2271). Das Prinzip hinter diesem System ist sehr einfach: Bei BioHaven wird eine Struktur aus Polyethylenterephthalat (PET) geschaffen, die durch ihre schwammartige Struktur zusammengehalten wird. Somit wird die Schwimmfähigkeit der Matten, worauf die Pflanzen gesetzt werden, garantiert

(Hwang, LePage, 2011, 240).

- Pflanzen in Pflanzgefäßen die an Kabel und Drähten über der Wasseroberfläche befestigt werden und ins Wasser ragen. Diese Systeme haben allerdings nicht die Möglichkeit Wasserstands-Schwankungen auszugleichen.

- Auf einem statischen Rahmen werden in Wasseroberflächennähe Pflanzen ausgebracht, die im Wasser wurzeln. Ebenso wie auch bei der Variante mit Kabel und Drähten ist hierbei ein gleichbleibender Wasserstand notwendig.

- Die künstliche Schaffung von natürlichen schwimmenden Inseln: Dabei werden selbstschwimmende Vegetationsflächen aus verflochtenem Wurzelgewebe, Rhizomen, Samen und Substrat geschaffen, die natürlichen schwimmenden Vegetationsflächen nachempfunden sind (Headley, Tanner, 2012, 2269-2271). Henning hat diese Art schwimmender Vegetationsflächen im Rahmen seiner Dissertation genauer untersucht (Henning, 2013).

Mehr Informationen zu den Arten und detailliertere Ausführungen in Bezug auf den Bodensee finden sich in Kapitel 5.1. Ganz allgemein kann noch darauf hingewiesen werden, dass eine Verankerung am Grund notwendig ist, um das Davontreiben der schwimmenden Inseln zu verhindern (Headley, Tanner, 2012, 2271).

3.4 Pflanzen

Laut Pavlineri et al. zählen zu den wichtigsten Gestaltungmitteln: die Pflanzenarten, die Pflanzendichte bzw. der Deckungsgrad der Vegetationsflächen, das Substrat, die Tiefe und die Art der Schwimmfähigkeit (Pavlineri et al., 2016, 1125). Pflanzen die nicht in Verbindung mit Substrat stehen, werden gezwungen Nährstoffe aus dem Wasser aufzunehmen. Trotzdem beschreiben die Autoren, dass grober Torf, Kokosfaser, Sand, Kompost und viele andere Stoffe als Substrat zum Etablieren von Pflanzen für schwimmende Vegetationsflächen häufig verwendet werden bzw. notwendig sind. Bezugnehmend auf Pavlineri et al., wurden aufnahmefähige Substrate wie zum Beispiel Zeolith, noch nicht genauer untersucht (Pavlineri et al., 2016, 1126).

Weltweit werden eine große Anzahl verschiedener Pflanzenarten für schwimmende Vegetationsflächen eingesetzt. Häufig werden Pflanzen verwendet, die den lokalen Standortansprüchen genügen und ein starkes Wachstum in verschmutzen Gewässern vorweisen. Besonders die Art *Phragmites australis*, welche bekannt für ihren positiven Einfluss auf das Klären des Gewässers ist, wird global häufig verwendet (Headley, Tanner, 2006, 67). Daneben sind Arten der Gattungen *Carex*, *Cyperus*, *Juncus* und *Typha* bei künstlich geschaffenen schwimmenden Vegetationsflächen im Einsatz (Headley, Tanner, 2012, 2278). Die laut Palvlineri et al. am häufigsten verwendete Pflanze ist *Canna genus*. Aufgrund ihrer recht anspruchslosen Standortansprüche ist sie auf den meisten Kontinenten weit verbreitet und einfach zu pflegen (Pavlineri et al., 2016, 1125). Außerdem werden *Canna*-Arten oft verwendet, um die Ästhetik der Pflanzflächen zu erhöhen (Headley, Tanner, 2012, 2278). Wie bereits erwähnt kommen je nach System und Standortfaktoren sehr unterschiedliche Pflanzengruppen in Frage.

In Ungarn wurden 67 unterschiedliche Pflanzenarten auf die Abtrags-Leistung von Nährstoffen untersucht (Headley, Tanner, 2006, 67-68). Laut Headley und Tanner haben folgende Pflanzen eine erhebliche Nährstoff-Abtrags-Leistung und eignen sich daher besonders gut für die Schaffung von schwimmenden Vegetationsflächen:

- *Alisma plantago-aquatica*
- *Glyceria maxima*
- *Mentha aquatica*
- *Myosotis palustris*
- *Sagittaria sagittifolia*
- *Sium erectum*
- *Sium latifolium*
- *Sparganium erectum*
- *Symphytum offcinale*
- *Thelypteris palustris*

- *Typha laxmannii*
- *Typhoides arundinacea*

In wissenschaftlichen Studien über schwimmende Vegetationssysteme wurden bisher zumeist über krautige, aquatische Pflanzenarten geforscht. Pavlineri et al. merken an, dass ein Defizit in der Erforschung von am Land lebenden Pflanzen besteht. Terrestrische Pflanzen haben eine höhere Biomasse und längere, schneller wachsende Wurzeln als aquatische Pflanzen. Um dieses Potential genauer zu erforschen, sollten laut den Autoren daher weitere Untersuchungen zur Phytosanierung durch am Land lebende Pflanzen durchgeführt werden (Pavlineri et al., 2016, 1125).

Bis auf einige Ausnahmen wurden schwimmende Vegetationsflächen meist in Teichen und kleinen Seen installiert. Auf einem See in der Größe des Bodensees kommen jedoch starke Wasserspiegelschwankungen und sonstige Umwelteinflüsse hinzu. Ähnliche Bedingungen finden sich jedoch auch im Fall des Diamond Teague Park am Anacostia River in Washington wieder (siehe auch Kap. 2.2.4). Hier wurden Pflanzen für schwimmende Vegetationsflächen gewählt, die den extremen Gezeiten-Bedingungen standhalten. Daneben haben die am Projekt beteiligten Landschaftsarchitekten und Landschaftsarchitektinnen auch ästhetische Aspekte zur Wahl der Pflanzen im Bepflanzungsplan herangezogen. So wurden folgende Pflanzen ausgewählt:

- *Acorus calamus*
- *Carex sp.*
- *Juncus sp.*
- *Pontederia cordata*
- *Sagittaria latofolia*
- *Canna sp.*
- *Nuphar luteum*
- *Hibiscus sp.*
- *Iris sp.*

(Hwang, LePage, 2011, 242).

Während die bisherigen Pflanzen anhand ihrer ästhetischen oder nährstoffreduzierenden Kriterien ausgewählt wurden, entwickelten die Forscher Wang und Sample ebenfalls eine Pflanzenauswahl für schwimmende Vegetationsflächen in Virginia, USA, welche sich an ökologischen Kriterien orientiert. Die Auswahl dabei erfolgt nach folgender Reihung:

1.) heimische und nicht-invasive Arten für den jeweiligen Lebensraum,
2.) mehrjährige Pflanzen,
3.) terrestrische Pflanzenarten,
4.) Sumpfpflanzen und Pflanzen die in Wasser gedeihen,
5.) Pflanzen mit Aerenchymen.

Die richtige Pflanzenwahl ist sehr wichtig,

nicht nur was die Nährstoffaufnahme betrifft, sondern auch was die ökologische Integrität angeht. Auch wenn invasive Pflanzen oft eine hohe Nährstoffaufnahmefähigkeit haben, so überwiegen die negativen Aspekte auf das Ökosystem solcher Pflanzenarten häufig erheblich (Wang, Sample, 2014, 26).

4 Das Bregenzer Bodenseeufer – Grundlagen und Analyse

Um entsprechende schwimmende Gärten am Bregenzer Bodenseeufer zu entwerfen, werden in diesem Kapitel die Grundlagen bezüglich der Standortfaktoren genauer beleuchtet. Des Weiteren werden in der Analyse (Kapitel 4.3) geeignete Stellen zur Verortung der Vegetationsflächen gesucht. Unter Betracht dieser Aspekte wird die genaue Planung im folgenden Kapitel erfolgen.

Geschichte

Der Bodensee ist der drittgrößte Binnensee in Mitteleuropa. Deutschland, die Schweiz und Österreich teilen sich die Hoheitsrechte des Sees, dabei gibt es keine festen Grenzen (Mürle et al., 2004, 3). Ehemals hatte der See den Namen Lacus Brigantinus (angelehnt an die römische Stadt Brigantium – Bregenz), seit dem Konzil (1414-1418) wird der See als Lacus Constantinus, nach der Bodenseestadt Konstanz benannt. Der Bodensee gliedert sich in den Obersee im Osten und den Untersee im Westen (Balze, Fischer, 1995, 14-15). Bregenz stellt mit ca. 29.000 Einwohnern (Amt der Vorarlberger Landesregierung, 2015, 6) die drittgrößte und gleichzeitig östlichste Stadt des Bodenseeufers dar.

Nicht immer war das Bodenseeufer so dicht besiedelt wie heute. Durch den hohen Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum traten ab der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts im Bodensee erhebliche Probleme auf. Denn durch die Abschwemmung von Nährstoffen aus Agrarflächen, gab es einen erhöhten Phosphoreintrag, was zu einer erhöhten Eutrophierung des Sees führte (siehe Kap. 4.1). Momentan ist das Problem der Eutrophierung weitestgehend unter Kontrolle gebracht. Durch die Reinigung des Abwassers gibt es wieder genügend Sauerstoff für den Bodensee (Mürle et al., 2004, 3).

Heute nennt die Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB), eine Kommission, die einmal im Jahr tagt, den „Erhalt intakter Uferzonen mit Schilfgürteln und Strandrasen, die Vernetzung von Naturräumen sowie die Revitalisierung verbauter Uferabschnitte“ (Mürle et al., 2004, 3) als seine wichtigsten Ziele. Dieses Ziel wird auch in den Überlegungen dieser Arbeit weitergetragen.

4.1 Spezifische Merkmale

Klima am Bodensee

Das Bodenseeklima weist Einflüsse und Eigenschaften unterschiedlicher Klimazonen auf. So liegt der Bodensee in der warmgemäßigten feuchten Klimazone und wird vom atlantischen und kontinentalen Klima beeinflusst. Aus Richtung Westen strömt vor Allem feuchte Meeresluft auf den Bodenseeraum, aus östlicher Richtung dominiert kühle Kontinentalluft. Einen weiteren Einfluss auf das Bodenseeklima hat der Alpenföhn, welcher besonders im Rheintal zu spüren ist (Mürle et al., 2004, 161).

Die Mitteltemperatur in der Bodenseeregion über den Verlauf eines Jahres beträgt 8-9°C, wobei seit 1880 eine Temperaturzunahme um ca. 1,5°C zu verzeichnen ist (Mürle et al., 2004, 161-162). Aufgrund aktueller Trends des Klimawandels ist ein weiterer Anstieg der Temperaturen zu erwarten. In weiterer Folge bedeutet dies in der Zukunft möglicherweise ein Absenken des Wasserspiegels durch Verdunstung. Durch den Staueffekt der Alpen nehmen Niederschläge von West nach Ost zu. So beträgt der jährliche Niederschlag in Bregenz rund 1380 mm (Mürle et al., 2004, 161-162). Durch die ausgleichende Wirkung des Wassers auf die Lufttemperaturen, welche sich auch im Winter mildernd auswirkt, wird ein Anbau temperaturempfindlicher Pflanzen ermöglicht (Mürle et al., 2004, 161). Die Jahresdurchschnittstemperatur des Wassers im Bodensee beträgt 5,7°C, wobei auch hier eine Tendenz zur Temperaturzunahme gegeben ist (Mürle et al., 2004, 164).

Wind und Wellen

Laut IGKB laufen Wellen im Bodensee häufig aus südwestlicher Richtung auf, im Osten des Bodensees kommen oft auch Wellen aus südlicher Richtung hinzu. Aufgrund der Form des Bodensees sind die Lauflängen der Wellen stark schwankend, damit einhergehend ist auch die Wellenenergie die am Ufer antrifft sehr unterschiedlich (Rey et al., 2009, 75). Laut diesen Angaben ist besonders das im Osten liegende Bregenzer Bodenseeufer stark vom Wellengang betroffen.

Neben den von Häufigkeit und Intensität stark variierenden Oberflächenwellen, haben auch Schiffswellen einen erheblichen Einfluss auf den Wellengang im Bodensee. Besonders im Sommer dominiert diese Wellenart deutlich. Im Gegensatz zu Oberflächenwellen bilden Schiffswellen einen bestimmten Zyklus (Tag-/Nachtzyklus oder auch saisonaler Zyklus) (Hofmann et al., 2013, 37).

Laut der Untersuchung von Hofmann,

Seibt und Peeters kann gesagt werden, dass tagsüber mehr Wellen auftreten als in der Nacht (Hofmann et al., 2013, 43). Dabei muss allerdings angemerkt werden, dass sich die Untersuchungsgebiete nicht in der Nähe des Bregenzer Bodenseeufers, sondern in Sipplingen, Unter-Uhldingen, Litzelstetten und Steckborn befanden. Trotz der räumlichen Distanz wird angenommen, dass der zuvor beschriebene Wellengang auch für den Bregenzer Bodenseeabschnitt in ähnlicher Form zutrifft. Der Einfluss der unterschiedlichen Wellenarten (Windwellen und Schiffswellen) weist saisonal starke Unterschiede auf. Während in den Sommermonaten in hafennahen Uferabschnitten Schiffswellen einen erheblichen Einfluss auf die Oberflächenwellenbewegung haben, ist die gemessene Wellenenergie von Windwellen im Winter deutlich höher (Hofmann et al., 2013, 44). Nach einer Untersuchung aus dem Jahr 2005 liegen die Wellenhöhen zwischen 0,01 und maximal 0,8 m Höhe. Die Schiffswellen haben Wellenhöhen von 0,04-0,15 m bei Fähren, bei Passagierschiffen liegen die Wellenhöhen bei 0,1-0,5 m (Hofmann et al., 2008, 373-374).

Wasserpegel im Bodensee

Wie in der untenstehenden Grafik (Abb. 12) zu erkennen ist, gibt es über den Jahresverlauf große Pegelschwankungen im Bodensee. Diese betragen im Jahresschnitt in Etwa 1,5 m. Der Höchststand wird im Juni erreicht, in den Wintermonaten Dezember, Jänner und Februar ist am wenigsten Was-

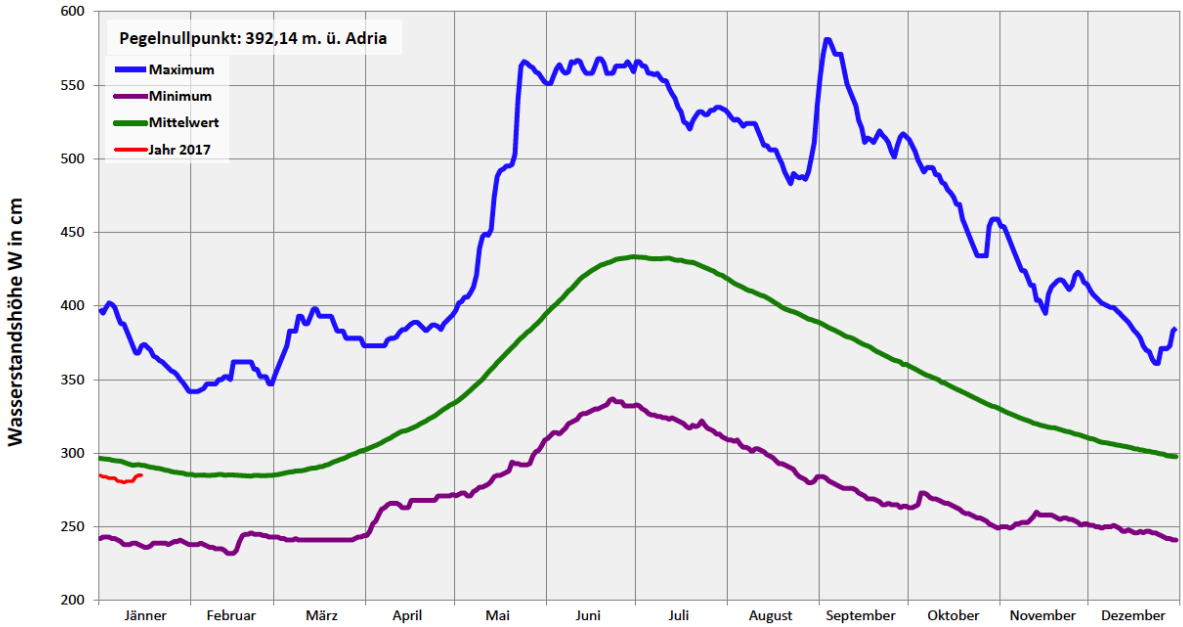


Abb. 12: Pegelstand, Messstation Bregenz
(Quelle: http://www.vorarlberg.at/seewasserstand)

ser im Bodensee. Der Durchschnittspegel liegt über das Jahr verteilt bei ca. 3,5 m über dem Pegelnullpunkt (392,14 m ü. Adria). Laut IGKB haben sich in den letzten 100 Jahren die Wasserstände jedoch stark verändert. Der Mittelwert des Wasserpegels ist am Obersee (an welchem die Bregenzer Bucht liegt) um ca. 16 cm gesunken (Mürle et al., 2004, 164).

Wasserqualität im Bodensee

Die IGKB setzt sich als Ziel „den See in einem langfristig stabilen ökologischen Zustand mit für den See typischen Tier- und Pflanzenarten zu erhalten“ (IGKB, 2013, 5). Dies solle durch einen geringen Phosphorgehalt, hoher Sauerstoffversorgung und geringen anthropogenen Einfluss erreicht werden (IGKB, 2013, 5). Laut dem Grünen Bericht Nr. 41 der IGKB zum limnologischen Zustand des Bodensees befindet sich die Wasserqualität „in einem einwandfreien Zustand“ (IGKB, 2016, 39). Der Phosphorgehalt liegt in einem für oligotrophe Alpenseen typischen Bereich, die Auswirkungen des niedrigen Nährstoffanteils werden durch die hohe Sauerstoffversorgung tieferer Seebereiche angezeigt (IGKB, 2016, 39).

Wie bereits erwähnt und aus der untenstehenden Grafik (Abb. 13) zu erschließen ist, war dem nicht immer so. An der Ganglinie zur Entwicklung des Phosphorgehalts kann erkannt werden, dass der See ab den 1960er Jahren bis zum Beginn der 1980er Jahre mit einem Anstieg des Phosphoranteils im Bodensee zu kämpfen hatte. Durch Nährstoffeinträge, ausgelöst durch Abwassereinträge und Abschwemmungen aus Agrarflächen, erreichte der Bodensee

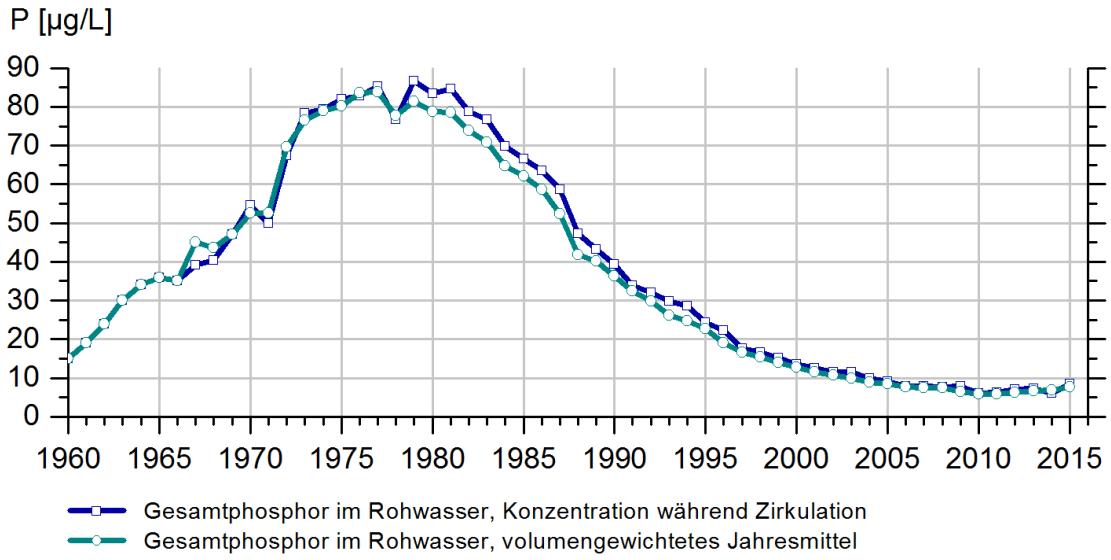


Abb. 13: Entwicklung des Phosphorgehaltes im Bodensee
(Quelle: http://www.igkb.org/fileadmin/user_upload/bilder/bowis/Langzeitentwicklung_Gesamtphosphor_volumengewichtet.png)

Ende der 1970er Jahre die Grenzen seiner Aufnahmefähigkeit. Damit einhergehend bildeten sich Algenblüten und verringerten die Transparenz des Seewassers. Der alarmierende Zustand führte zur Gründung der Internationalen Gewässerschutzkommission. Durch die gemeinsamen Anstrengungen aller Anrainerstaaten, konnte die zunehmende Eutrophierung des Bodensees abgewehrt werden (Mürle et al., 2004, 3).

Die inzwischen wieder hohe Wasserqualität hat einen interessanten Nebenaspekt, der in einem Streit um den Nährstoffgehalt gipfelt: Der Fischbestand im Bodensee ist in den letzten Jahren zurückgegangen. Heute können nur noch in etwa so viele Bodenseefische wie in den 1950er Jahren gefangen werden. Verantwortlich dafür ist nach Meinung der Fischer der gesunkene Phosphorgehalt im Bodensee. Darum wird seitens der Fischer häufig eine Reduktion der Reinigungsleistung der Klärwerke gefordert, um den Phosphorgehalt im Wasser wieder zu erhöhen (Institut für Seenforschung, n.b.).

Eine Ausnahme des Bodensees stellt der östliche Bodenseeteil dar, in welchem sich auch die Bregenzer Bucht befindet. Hier unterscheidet sich der Bodensee vom restlichen Obersee. Aufgrund der Zuflüsse des Alpenrheines und der Bregenzer Ach, welche sich in der Nähe des Bregenzer Bodenseeufers befinden und die größten Zuflüsse des Bodensees darstellen, ist eine erhöhte Trübung des Wassers und ein höheres Trophieniveau als in den anderen Teilen des Bodensees feststellbar. Schon in alten Studien, die in den Jahren 1890 bis 1930 entstanden sind, wurde festgehalten, dass das einströmende Rheinwasser zu einem großen Teil nach Osten strömt und damit die Bregenzer Bucht erheblich beeinflusst. Konkret bedeutet dies, dass in der Bregenzer Bucht die Phosphorkonzentration bei ca. 15 µg/l liegt, was einer in Etwa 50% höheren Konzentration entspricht als im restlichen Bereich des Obersees. Es kann davon ausgegangen werden, dass die erhöhte Phosphorkonzentration durch natürliche Erosionsprozesse aus alpinen Gebieten stammt und durch die Zuflüsse in den See gelangen. Damit kann auch die Zurückführung der Ursachen für das hohe Trophieniveau auf eine überwiegend anthropogene Beeinflussung ausgeschlossen werden (Amt der Vorarlberger Landesregierung, 2010, 11–12).

4.2 Nutzung des Bodensees

Wasserqualität im Bodensee

Laut der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee ist der Bodensee nicht nur „ein attraktiver Lebensraum für die Anwohner und ein wichtiger Anziehungspunkt für Touristen, sondern auch ein bedeutendes Trinkwasserreservoir für rund fünf Millionen Menschen. Daher ist es unabdingbar, dieses einmalige Ökosystem in einem intakten Zustand zu halten – was den Anrainerstaaten Deutschland, Schweiz und Österreich sowie dem Fürstentum Liechtenstein ein großes Anliegen ist“ (IGKB, n.b.).

Vor diesem Hintergrund entwickelt sich auch ein Leitgedanke dieser Arbeit. Ziel ist es, einen ökologische und ästhetischen Mehrwert zu schaffen und verbessernde Faktoren zu verstärken. Daher wird der Fokus in dieser Arbeit auf nachhaltige, umweltschützende, lebensraumschaffende und verbessernde Systeme gelegt.

Darüber hinaus spielt wirtschaftlich neben der Berufsfischerei (am Bodensee gibt es in Etwa 140 Berufsfischer, wobei die Zahl rückläufig ist) und der Landwirtschaft (rund um das Bodenseeufer werden vor Allem Obst- und Gemüsesorten angebaut), auch der Tourismus eine ebenso große Rolle – in Deutschland ist der Bodensee sogar eines der beliebtesten Urlaubsziele (Stahn, Kiedrowski, 2012, 112).

Tourismus

Europaweit zählt die Bodensee-Region zu den am dichtesten besiedelten Landschaften. Der anthropogene Nutzungsdruck und die Funktionen drücken sich in unterschiedlichsten Formen und durch unterschiedlichste Einflüsse aus. Dazu zählen die Nutzungseinflüsse durch die Siedlungs- und Verkehrsentwicklung, die Sammlung von Abwässern, die Nutzung als Wasserspeicher und nicht zuletzt als bedeutender Anziehungsort für Massentourismus (Ostendorp, 2004, 190-191). Doch bestimmte Tourismusaktivitäten haben einen erheblich negativen Einfluss auf naturnahe Uferbereiche. Gerade das Fahren mit dem Boot und Surfen können durch Wellenschlag negative Auswirkungen auf Flora und Fauna in den Uferbereichen haben (LfU, 2001, 34).

Laut der Fachstelle für Statistik Kanton St. Gallen gab es im Jahr 2012 in der Bodenseeregion in Hotelbetrieben ab 10 Betten über 18 Millionen Nächtigungen. Der Vorarlberger Anteil beträgt über fünf Millionen Nächtigungen. Die Aufenthalts-dauer in der gesamten Bodenseeregion betrug durchschnittlich zweieinhalb Tage (siehe Tab. 2) (Fachstelle für Statistik Kanton St. Gallen, 2014). Die Zahl der

Nächtigungen lässt darauf schließen, dass sich der Tourismus in der Bodenseeregion zu einem bedeutenden Wirtschaftszweig entwickelt hat (Ostendorp, 2004, 200).

Tab. 2: Übernachtungen und durchschnittliche Aufenthaltsdauer in der Hotellerie (Betriebe ab 10 Betten, 2012)
(Quelle: Fachstelle für Statistik Kanton St. Gallen, 2014)

	Übernachtungen (in 1 000)	**Durchschnittliche Aufenthaltsdauer in Tagen**
Deutsches Gebiet	7 284	2,8
Schweizer Gebiet	6 318	1,8
Liechtenstein	115	2,1
Vorarlberg	5 060	3,4
Bodenseeregion	**18 777**	**2,5**

Bedeutung des Bodenseeufers

Nicht zuletzt aufgrund des hohen Nutzungsdruckes und der Einflüsse, die auf den Bodensee wirken, ist ein funktionierendes Ökosystem, das die wiederholte Verschlechterung der Gewässerqualität verhindert, notwendig. Erst bei genauer Betrachtung wird klar, welche herausragende Bedeutung aus ökologischer Sicht der Bodenseeuferzone zukommt. So obliegt die Möglichkeit zur Selbstreinigung zum Großteil der Ufer- und Flachwasserzone (LfU, 2001, 27). Laut der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU) ist die „Reinigungskapazität dieses grünen Mantels immens und entspricht einer riesigen Kläranlage“ (LfU, 2001, 27). Auch für den Naturschutz sind solche Bereiche bedeutend, da naturnahe Ufer- und Flachwasserzonen wichtige Lebensräume darstellen. Viele Tiere und Pflanzen die in diesen Bereichen im Bodensee leben sind in Mitteleuropa und auch global betrachtet selten bzw. sogar vom Aussterben bedroht. Dies verdeutlicht die wichtige Rolle des Bodenseeufers für den Artenschutz (LfU, 2001, 27). Zudem kommen wassergebundene Makrophyten nur in der Flachwasserzone vor. Diese bieten Nahrungsquellen für Vögel und Laichplätze für viele Fischarten (Planungsamt des Kantons St. Gallen, 1999, 3).

4.3 Analyse – Bregenzer Bodenseeufer

In dieser Analyse wird zunächst der Bestand am Bregenzer Bodenseeufer erfasst, um in weiterer Folge eine geeignete Lokalisierung für schwimmende Vegetationsflächen zu finden. Standortfaktoren der Bregenzer Bucht werden erhoben um daraus die planungsentscheidenden Kriterien für die Schaffung von schwimmenden Gärten zu entwickeln. Die Analyse beruht auf der Analysemethode des Mapping. Dabei werden bestimmte Bereiche des Bestandes genauer untersucht. Durch eine Überlagerung und Gewichtung der Ebenen, werden Aussagen für die Verortung der Schwimmenden Vegetationsflächen getroffen (Frohmann et al., 2012, 10).

Die Analyse wird in folgende Bereiche eingeteilt:

- Abschnitte (Kap. 4.3.1): Das Bregenzer Bodenseeufer lässt eine klare Gliederung in Bereiche mit unterschiedlicher Homogenität des Uferzustandes zu.

- Pflanzen und Naturschutz (Kap. 4.3.2): Im Bereich des Bregenzer Bodenseeufers sind neben der klassischen Ufervegetation auch zahlreiche Makrophyten und schützenswerte Pflanzenarten zu finden.

- Kultur- und Infrastruktur (4.3.3): Um die alljährlich stattfindenden Bregenzer Festspiele hat sich im Kernbereich der Stadt ein vielfältiges Kulturangebot entwickelt, das u.a. auch in der Bewerbung zur Kulturhauptstadt Europas seinen Ausdruck findet.

Die Analyse basiert auf unterschiedlichen Karten und Literaturquellen zum Bregenzer Bodenseeufer. Als Grundlage dienen Vorarlberg Atlas, Kartenmaterial zum Biotopinventar Bregenz, Kartenmaterial der IGKB (Uferbewertung), und Google Maps.

4.3.1 Abschnitte

Bei der Analyse wird das Bodenseeufer in drei unterschiedliche Abschnitte unterteilt. Die Abschnitte wurden nach der Homogenität des Uferzustandes bestimmt. Grundlage dafür bieten die Daten der Uferbewertung der IGKB (IGKB, 2006). Bei der Uferbewertung der IGKB wird zwischen natürlichen, naturnahen, beeinträchtigten, naturfernen und naturfremden Abschnitten unterschieden (siehe Abb. 14). Im südwestlichen Bereich der Bregenzer Bucht

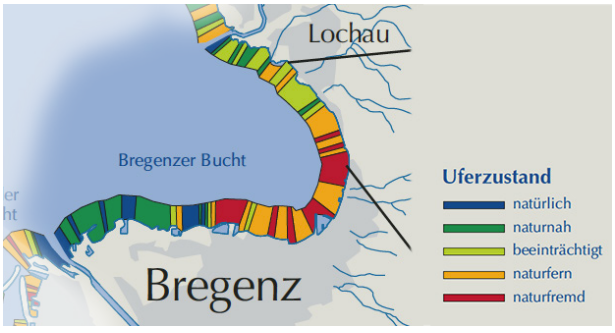


Abb. 14: Uferzustand - Bregenzer Bucht
(Quelle: eigene Darstellung auf Grundlage IGKB Bodensee – Uferbewertung, 2006)

dominieren natürliche und naturnahe Uferabschnitte, im östlichen Bereich liegen besonders viele naturferne und naturfremde Abschnitte. Im nördlichen Bereich des Bregenzer Bodenseeufers, welches zu einem großen Teil an Lochau angrenzt, ist der Uferzustand stark durchmischt. Es kommen neben natürlichen und naturnahen Abschnitte auch beeinträchtigte und naturferne Abschnitte vor. Aufgrund der Standortgegebenheiten werden in dieser Arbeit die Uferabschnitte als:

- Naturufer (I),
- Kulturufer (II) und
- Lochauer Ufer (III)

benannt (siehe Abb. 15).

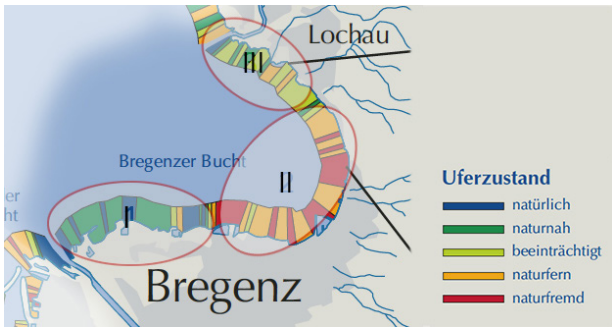


Abb. 15: Uferzustand - Einteilung Abschnitte
(Quelle: eigene Darstellung auf Grundlage IGKB Bodensee – Uferbewertung, 2006)

Um die Uferabschnitte zu veranschaulichen folgt eine Fotodokumentation der einzelnen Abschnitte. Durch die Fotodokumentation werden vorhandene Schwerpunkte und Themen der einzelnen Abschnitte verdeutlicht. In der untenstehenden Grafik sind die Standorte sowie die Blickrichtungen der jeweiligen Fotos dargestellt.

Abb. 16: Abschnitte - Bodenseeufer
(Quelle: eigene Darstellung auf Grundlage Vorarlberg Atlas)

I Naturufer

Das, in der obigen Grafik (Abb. 16) mit der Zahl I markierte, Naturufer ist der westlichste Abschnitt des Bregenzer Bodenseeuferzone. Dieser Uferabschnitt ist sehr naturnah und besteht zum Großteil aus Naturschutz- bzw. Natura 2000 Gebieten (Mehrerauer Seeufer- Bregenzerachmündung). In Kapitel 4.3.2 wird der Pflanzen- und Naturschutz, der diesen Uferabschnitt prägt, genauer behandelt. Die Abb. 17-19 geben einen Überblick über das Naturufer.

Abb. 17: Foto Nr. 1 - Naturschutzgebiet Mehrerau
(Quelle: eigenes Foto)

Abb. 18: Foto Nr. 2 - Naturschutzgebiet Mehrerau
(Quelle: eigenes Foto)

Abb. 19: Foto Nr. 3 - Slipanlage Sporthafen
(Quelle: eigenes Foto)

II Kulturufer

Für das Kulturufer (im Plan Uferabschnitt II genannt) namensgebend ist die hohe Dichte an Kultureinrichtungen in der Nähe des Bodenseeuferabschnittes (mehr dazu im Kapitel 4.3.2). Neben den Kulturstätten wird dieser Bereich von Promenaden und Hafenanlagen dominiert. Im nördlichen Bereich dieses Abschnittes, auf einer stillgelegten Ölpipeline, die von Genua über Bregenz nach Ingolstadt führte, befindet sich ein Rad- und Fußgängerweg, mit dem auch ein schmaler Badestrand erschlossen wird.

Das Kulturufer ist durch die Zentrumsnähe, die angesiedelten Kulturstätten und der damit einhergehend ausgeprägten Infrastruktur ein ganzjährig belebter Uferbereich. Die Abbildungen 20-24 dienen zur Veranschaulichung dieses Uferabschnitts.

Abb. 20: Foto Nr. 4 - Seepromenade
(Quelle: eigenes Foto)

Abb. 21: Foto Nr. 5 - Seepromenade mit Sitzstufen
(Quelle: eigenes Foto)

Abb. 22: Foto Nr. 6 - Bregenzer Schiffshafen
(Quelle: eigenes Foto)

Abb. 23: Foto Nr. 7 - Bodenseeufer - Militärbad
(Quelle: eigenes Foto)

Abb. 24: Foto Nr. 8 - Ufer stark versiegelt
(Quelle: eigenes Foto)

III Lochauer Ufer

Das Bregenzer Bodenseeufer erstreckt sich in einem schmalen Streifen bis hin zur deutschen Staatsgrenze im Norden. Östlich dieses Uferstreifens befindet sich die Vorarlberger Gemeinde Lochau. Da dieser Abschnitt, wie in der einführend platzierten Grafik (Abb. 16) zu sehen ist, in der Wahrnehmung eher Lochau zugeschrieben wird, lautet die Bezeichnung von Uferabschnitt III, Lochauer Ufer. In diesem Bereich ergänzen naturnahe Abschnitte den Rad-

und Fußgängerweg, der weiterführend über die deutsche Grenze nach Lindau führt. Abb. 25-27 stellen das Lochauer Ufer dar.

Abb. 25: Foto Nr. 9 - Bodenseeufer höhe Kaiserstrand
(Quelle: eigenes Foto)

Abb. 26: Foto Nr. 10 - Naturschutzgebiet
(Quelle: eigenes Foto)

Abb. 27: Foto Nr. 11 - Naturschutzgebiet, dahinter Deutschland
(Quelle: eigenes Foto)

4.3.2 Pflanzen und Naturschutz

Entlang des Bregenzer Bodenseeufers liegen viele Biotope, Naturschutzgebiete und Natura 2000 Gebiete (siehe Abb. 28). Zum genaueren Verständnis werden die Makrophyten und Biotope in der Nähe der Bregenzer Bucht genauer ausgeführt.

Biotope:

In allen drei beschriebenen Abschnitten kommen Biotope, in den Abschnitten I und III zusätzlich auch Natura 2000 Gebiete vor. Die Biotopabschnitte sowie deren Bezeichnung sind dem Vorarlberger Biotopinventar für Bregenz entnommen (AVL, 2008, 13-18, 21-29, 39-40). Das Bregenzer Biotopinventar untersucht Tier- und Pflanzenarten für das gesamte Bregenzer Gebiet. In der untenstehenden Tabelle (Tab. 3) wurden Arten des Vorarlberger Biotopinventars für Bregenz zusammengefasst. Zur genaueren Beschreibung wurden in dieser Tabelle den Biotopen Nummern zugewiesen. Die angeführten Arten fallen laut Biotopinventar unter die Kategorie Besonderheiten. Die fett markierten Arten in der folgenden Tabelle kommen an mindestens drei Standorten vor.

Makrophyten

Anders als das Bregenzer Biotopinventar, das nicht ausschließlich Ufervegetation sondern die gesamte besondere Vegetation in Bregenz verzeichnet, fokussiert der Bericht des Landes Vorarlberg zur Makrophytenkartierung am Vorarlberger Bodenseeufer nur Makrophyten, die in Beziehung mit Wasser stehen und am Vorarlberger Bodenseeufer wachsen. Laut dem Bericht können am Österreichischen Bodenseeuferabschnitt 32 verschieden Makrophytenarten gefunden werden. Diese 32 Makrophytenarten lassen sich unterteilen in 21 untergetauchte Arten (darunter *Characeen*-Arten und eine Wassermoosart), eine Schwimmblattpflanzen-Art und zehn Röhrichtarten (Amt der Vorarlberger Landesregierung, 2010, 15). Grundsätzlich lässt sich sagen, dass viele Makrophytenarten, die am Bregenzer Bodenseeufer zu finden sind, zu den Rote-Liste-Arten zählen (Amt der Vorarlberger Landesregierung, 2010, 16). Zudem erwähnenswert ist an dieser Stelle auch, dass am Österreichischen Bodenseeufer submerse höhere Pflanzen 56%, *Characeen* 42% und Röhrichtarten lediglich 2% der Gesamtvegetation ausmachen (Amt der Vorarlberger Landesregierung, 2010, 17). Viele der Arten die in der Makrophytenkartierung beschrieben sind, überschneiden sich mit denen des Bregenzer Biotopinventars. Einige der Arten der Makrophytenkartierung (siehe Tabelle 4) wurden in der Tabelle des Bregenzer Biotopinventars nicht angeführt,

da viele der Makrophytenarten in der Bregenzer Bucht recht häufig zu finden sind. Die in der untenstehenden Tabelle (Tab. 4) angeführten Pflanzen, sind eine Auflistung der am Österreischen Ufer vorkommenden Makrophytenarten. Die Gefährung der unterschiedlichen Arten wurde durch Nummern und Zeichen in der Tabelle gekennzeichnet.

Fazit:

Biotope: Im Bereich des Bregenzer Bodenseeufers, besonders im östlichen und nördlichen Teil, findet sich eine Vielzahl seltener und gefährdeter Pflanzen, die auch im Bregenzer Biotopinventar angeführt sind. Darunter sind einige besondere Pflanzenarten, die in den verschiedenen Biotopen immer wieder vorkommen. Demzufolge sind auf mindestens drei der acht Biotopflächen die Pflanzen *Myosotis rehsteineri*, *Catabrosa aquatica*, *Salix cinerea*, *Allium schoenoprasum*, *Eleocharis acicularis*, *Ranunculus reptans* und *Scutellaria galericulata* vorzufinden.

Makrophyten: Im Arteninventar der Vorarlberger Landesregierung sind eine Vielzahl von Rote-Liste- sowie „regional gefährdete“ Arten wie *Myriophyllum spicatum*, *Zannichellia palustris*, *Schoenoplectus lacustris* und *Typha angustifolia* angeführt.

Unter dem Gesichtspunkt und dem Ziel seltene und gefährdete heimische Arten zu schützen, soll dieser Aspekt bei der Gestaltung schwimmender Gärten besondere Berücksichtigung finden.

Abb. 28: Pflanzen und Naturschutz
(Quelle: eigene Darstellung auf Grundlage Vorarlberg Atlas und Biotopinventar Bregenz)

Tab. 3: Besondere Pflanzen, Biotope Bregenzer Bodenseeufer
(Quelle: eigene Darstellung auf Grundlage AVL, 2008)

Nummer	Gebiet	Biotopnummer	Pflanzen	
1	Bregenzerachaue	20701	***Myosotis rehsteineri*** ***Catabrosa aquatica*** *Orchis militaris* ***Salix cinerea*** *Valeriana dioica*	
2	Bodenseeried zwischen Wocherhafen und Kalter Bach	20702	*Allium angulosum* ***Allium schoenoprasum*** *Allium suaveolens* *Cyperus fuscus* ***Eleocharis acicularis*** *Myosotis rehsteiner* *Litorella uniflora* ***Catabrosa aquatica*** *Gentiana pneumonanthe* *Iris pseudacorus* *Iris sibirica* *Poa palustris* *Schoenus nigricans* ***Scutellaria galericulata*** *Thalictrum flavum* *Alopecurus aequalis*	*Carex hostiana* *Crataegus laevigata* *Epipactis palustris* *Euphrasia stricta* *Hippuris vulgaris* *Melilotus altissimus* *Myosotis laxa* *Pulicaria dysenterica* *Ranunculus sceleratus* ***Salix cinerea*** *Schoenoplectus lacustris* *Schoenus ferrugineus* *Serratula tinctoria* *Stachys palustris* *Utricularia vulgaris*
3	Flöschen- oder Kalter Bach	20703	*Alisma lanceolatum* ***Eleocharis acicularis*** *Lemna trisulca* *Potamogeton berchtoldii* *Hippuris vulgaris* *Myriophyllum spicatum* *Nasturtium officinale*	
4	Iselwäldele	20704	*Salix aurita*	
5	Brachsenloch	20705	***Allium schoenoprasum*** ***Eleocharis acicularis*** ***Myosotis rehsteineri*** *Litorella uniflora* ***Ranunculus reptans*** ***Catabrosa aquatica*** *Ranunculus sceleratus*	
6	Mehrerauer Badhütte	20706	***Allium schoenoprasum*** ***Eleocharis acicularis*** *Lemna trisulca* ***Myosotis rehsteineri*** ***Ranunculus reptans*** ***Scutellaria galericulata***	
7	Ergänzungsbiotope Mehrerauer Ufer	20707	*Alisma lanceolatum* *Carex gracilis* *Iris pseudacorus* *Poa palustris* ***Scutellaria galericulata*** *Thalictrum flavum* *Ulmus minor* *Carex vulpina* *Carpinus betulus* *Glyceria maxima* *Nasturtium officinale* ***Salix cinerea*** *Stachys palustris*	

Tab. 4: Makrophytenarten Bodenseeufer
(Quelle: eigene Darstellung auf Grundlage vom Amt der Vorarlberger Landesregierung, 2010)

Makrophytenarten	Rote Liste
Charophyta	
Chara apsera	*
Chara contraria	*
Chara globularis	*
Chara vulgaris	*
Nitellopsis obtusa	*
Bryophyta	
Fontinalis antipyretica	
Spermatophyta	
Eleocharis acucularis	2
Elodea canadensis	
Elodea nuttallii	
Littorella uniflora	1
Myriophyllum spicatum	regional
Najas intermedia	
Najas minor	2
Potamogeton crispus	
Potamogeton gramineus	2
Potamogeton x nitens	
Potamogeton pectinatus	
Potamogeton perfoliatus	3
Potamogeton pusillus	3
Potamogeton trichoides	3
Zannichellia palustris	regional
Schwimmblattarten	
Potamogeton nodosus	2
Röhrichtarten	
Carex sp.	
Galium palustre	
Lythrum salicaria	
Mentha aquatica	
Phalaris arundinacea	
Phragmites australis	
Ranunculus reptans	
Schoenoplectus lacustris	regional
Sparganium sp.	
Typha cf. angustifolia	regional

Legende	
1	vom Aussterben bedroht
2	stark gefährdet
3	gefährdet
regional	regional gefährdet
*	Characeae, generell gefährdet

4.3.3 Kultur und Infrastruktur

In diesem Kapitel wird eine Vielzahl der Kultureinrichtungen von Bregenz verortet und beschrieben. Darüber hinaus sind in der untenstehenden Grafik (Abb. 29) weitere Infrastruktur- und Freizeiteinrichtungen, sowie Bademöglichkeiten verzeichnet. Die Buchstaben in der Grafik dienen als Abkürzungen für wichtige Sehenswürdigkeiten in der Bregenzer Uferregion.

Der im Stadtzentrum gelegene Uferabschnitt II differenziert sich am Meisten von den anderen beiden Abschnitten. Hier verdichten sich die meisten bedeutenden Kultureinrichtungen und Sehenswürdigkeiten des Bregenzer Bodenseeufers (Kunsthaus Bregenz, siehe K; Landesmuseum, siehe L; Festspielhaus, siehe F). Im Gegensatz zu den anderen Abschnitten ist hier im südlichen Bereich relativ wenig Badefläche vorhanden. Ansonsten liegen in der Nähe des Kulturufers viele Infrastruktureinrichtungen (Bahnhof, Schiffhafen, Bootshäfen) und es gibt auch viele Spiel-, Sport- und Freizeiteinrichtungen, wobei die Zahl der Spielplätze dominiert.

Das gesamte Bregenzer Bodenseeufer ist öffentlich und barrierefrei zugänglich. Rad- und Fußgängerwege erschließen das gesamte Bregenzer Bodenseeufer. In fast der gesamten Länge des Uferabschnitts III gibt es die Möglichkeit zu baden und zu verweilen. Außer einem Freibad liegen hier ansonsten keine bedeutenden Kultur- oder Infrastruktureinrichtungen. In Abschnitt I und III sind jeweils zwei Freizeiteinrichtungen vorzufinden. Abschnitt I hat zudem eine Kultureinrichtung (Kloster Mehrerau, siehe M).

Bregenz: Bewerbung als Kulturhauptstadt Europas

Die Bregenzer Festspiele sind eine weit über die Grenzen des Landes hinaus bekannte kulturelle Institution, die über die Sommermonate den Gästen ein breites und vielfältiges kulturelles Programm bietet. Neben den jährlich stattfindenden Festspielen finden sich auch das restliche Jahr über verschiedene Veranstaltungen kulturellen oder öffentlichen Charakters im und um das Festspielhaus wieder.

Im Jahr 2024 wird Österreich erneut eine Kulturhauptstadt stellen. Laut dem EU Beschluss des Europäischen Parlaments soll die Europäische Kulturhauptstadt dazu beitragen, „den Reichtum, die Vielfalt und die Gemeinsamkeiten des kulturellen Erbes in Europa herauszustellen und ein besseres Verständnis der Bürger Europas füreinander zu ermöglichen“ (EUR-Lex, 2006). Mit einem gemeinsamen Beschluss bewerben sich die Städte Bregenz, Dornbirn, Feld-

kirch, Hohenems und die Regio Bregenzer Wald vereint als Kulturhauptstadt 2024 (Landeshauptstadt Bregenz, n.b.).

Zum genauerem Verständnis folgt an dieser Stelle eine detailliertere Erklärung zu den in der Grafik (Abb. 29) vorgenommenen Buchstaben-Zuweisungen der Sehenswürdigkeiten:

M... Kloster Mehrerau

Beim Kloster Mehrerau handelt es sich um eine alte Zisterzienserabtei. Das Kloster wurde im Jahr 1097 von Benediktinermönchen gegründet und diente diesen als Wohnsitz. (Zisterzienserabtei Wettingen-Mehrerau, n.b.) Heute beinhaltet das weitläufige Klosterareal sowohl ein Sanatorium, als auch ein Gymnasium und andere Betriebe.

F... Bregenzer Festspielhaus /Seebühne

Das Bregenzer Festspielhaus umfasst nicht nur ein großes Gebäude, sondern auch die weltweit größte Seebühne ihrer Art (Strunz, 2012, 53). Die Bregenzer Festspiele, welche jedes Jahr im Juli und August stattfinden, sind ein starker Anziehungspunkt für viele Touristen. Jährlich besuchen etwa 200.000 Menschen die Bregenzer Festspiele. Die Seebühne und vor allem das Festspielhaus werden außerdem ganzjährig für Konzerte, Theater und andere Events genutzt (Bregenz Tourismus und Stadtmarketing GmbH, n.b.).

K... Kunsthaus Bregenz (KUB)

Das Kunsthaus Bregenz wurde nach dem Entwurf von Peter Zumthor gestaltet und 1997 eröffnet. In wechselnden Ausstellungen wird hier zeitgenössische Kunst gezeigt (Abend, 2014, 179). Die Besucherzahlen beliefen sich 2014 auf 48.000 Besucher (Österreich Werbung, 2014).

L... Vorarlberger Landesmuseum

Das Vorarlberger Landesmuseum, welches seit dem Neubau 2013 auch unter dem Namen Vorarlberg Museum bekannt ist, zeigt unterschiedliche kultur- bzw. kunstspezifische sowie historische Sammlungen aus dem Vorarlberger Alltagsgeschehen (Galenschovski 2015). Die Besucherzahlen 2014 umfassten 57.003 Personen (Österreich Werbung, 2014).

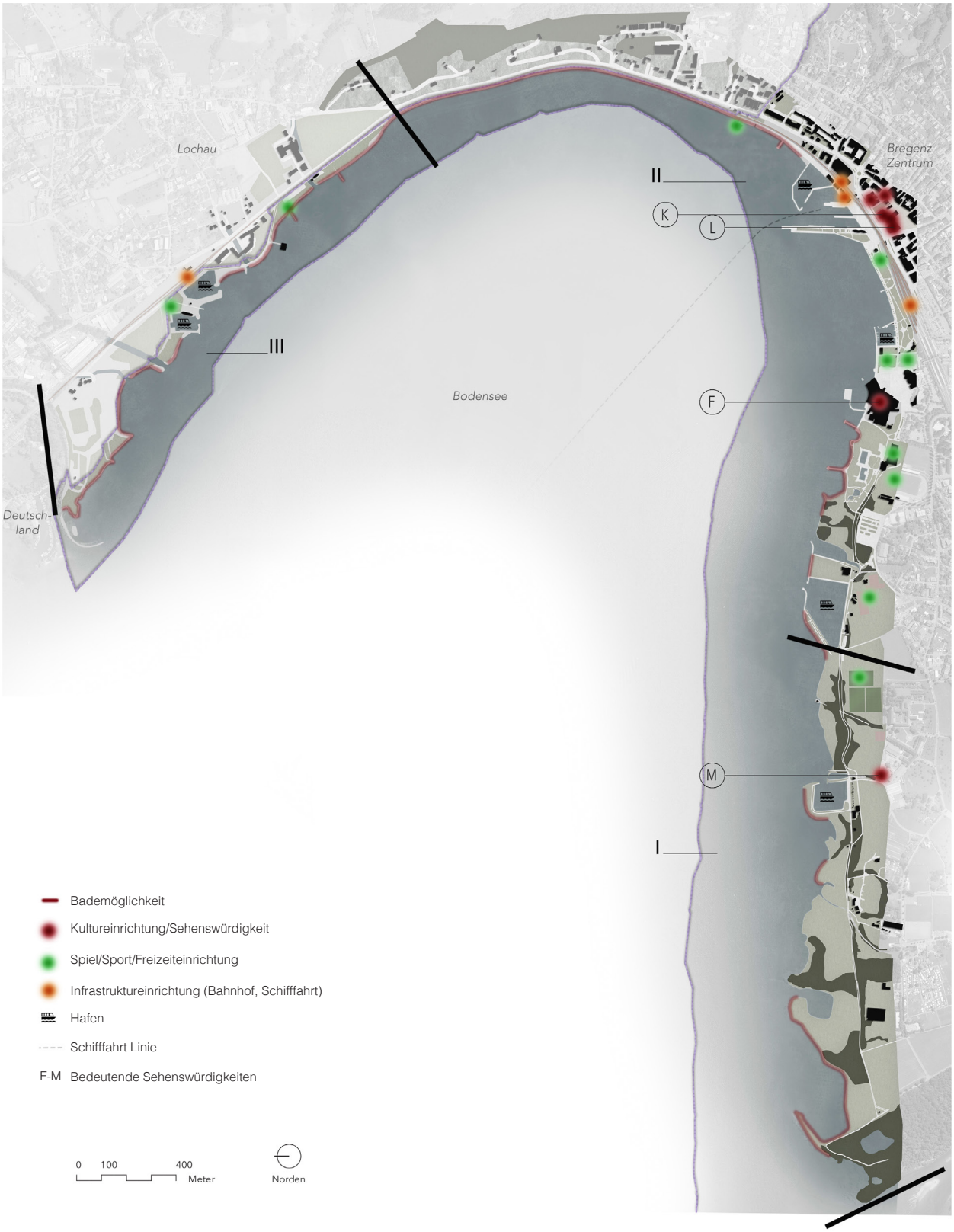


Abb. 29: Kultur und Infrastruktur
(Quelle: eigene Darstellung auf Grundlage von Vorarlberg Atlas, Google Maps)

5 Umsetzung der Ergebnisse für das Bregenzer Bodenseeufer

5.1 Verortung der schwimmenden Gärten

Wie bereits in der Zielsetzung in Kapitel 1.2 erwähnt, sollen in dieser Arbeit Voraussetzungen und Möglichkeiten für geeignete Pflanzflächen auf dem Wasser untersucht werden, mit welchen an den versiegelten und stark frequentierten Uferflächen des Bodensees neue, innovative Vegetationsräume auf dem Wasser geschaffen werden können. Im Vordergrund der Planung steht die Erweiterung durch ästhetische und zugleich auch ökologisch wertvolle Flächen. In diesem Kapitel werden die Grundlagen für die schwimmenden Vegetationsflächen mit den ortsspezifischen Standortgegebenheiten abgeglichen und in der Planung zusammengetragen. Um dieses Ziel zu gewährleisten, werden Kriterien ausgearbeitet, die eine Verortung derartiger Flächen begünstigen, bzw. solche, die eine Lokalisierung aufgrund diverser Kriterien nicht möglich machen. Im nächsten Schritt wird dafür schließlich eine Auswahl der geeigneten Technologie getroffen und in weiterer Folge eine Bepflanzung für die schwimmenden Gärten vorgeschlagen.

Durch Überlagerung der Analysepunkte sollen die bestgeeigneten Stellen für eine Verortung gefunden werden. Ausgehend von dem eingangs zu dieser Arbeit erwähnten Ziel neue, innovative Vegetationsräume auf dem Wasser zu schaffen mit denen auch ein ästhetischer Mehrwert geschaffen werden kann, ergibt eine Auswertung der vorangegangenen Analyse folgenden Kriterienkatalog für die Verortung von schwimmenden Gärten.

Kriterien für die Verortung schwimmender Vegetationsflächen

Um die Lage bzw. Verortung der schwimmenden Vegetationsflächen zu konkretisieren, wird in einem ersten Schritt das Kulturufer nach möglichen K.O.-Kriterien untersucht.

Limitierende Faktoren, an denen keine schwimmenden Gärten geschaffen werden können, sind Häfen, Bademöglichkeiten und Naturschutzgebiete bzw. Biotope. Da eine möglichst weitläufige Gefahrenreduzierung, sowohl für die Besucherinnen und Besucher wie auch der schwimmenden Vegetationsflächen an sich erfolgen soll, ist von einer Planung in diesen Bereichen abzuraten. Zudem soll in keinem Fall in die Biozönose der einzelnen Biotope bzw. Naturschutzgebiete künstlich eingegriffen werden.

Neben diesen einschränkenden Faktoren, gibt es ebenso zahlreiche Einflüsse, die eine Verortung dieser Flächen begünstigen und wünschenswert erscheinen lassen. Dazu zählen:

- *Naturferne/Naturfremde Abschnitte:*

Besonders in der Nähe von stark versiegelten Flächen sollen schwimmende Gärten als Ausgleichsflächen geschaffen werden.

- *Hohe Dichte an Infrastruktur- und Kultureinrichtungen:* Um eine ergänzende und verbindende Wirkung der schwimmenden Gärten zu erhalten, ist die Nähe zu Kultur-, Infrastruktur und Spiel- und Sporteinrichtungen wünschenswert. Gerade unter Berücksichtigung der Bewerbung als Kulturhauptstadt 2024 sollen die schwimmenden Vegetationsflächen für die Besucherinnen und Besucher nicht nur sichtbar, sondern auch Attraktion und Anziehungspunkt sein.

- *Hohe Besucher- und Besucherinnenfrequenzen:* Genaue Besucher- und Besucherinnenfrequenzen können für die einzelnen Abschnitte nicht genannt werden, jedoch kann durch die Dichte der Infrastruktur- und Kultureinrichtungen und die Nähe zum Stadtzentrum angenommen werden, dass in manchen Abschnitten höhere Besucher- und Besucherinnenfrequenzen auftreten als in anderen.

Welches Bild eine Bewertung der anfangs eingeführten drei Uferabschnitte nach oben genannten Kriterien mittels Punktevergabe ergibt, kann Tabelle 5 entnommen werden.

Wie in der untenstehenden Tabelle 5 zu sehen ist, finden sich jeweils die höchsten Anteile der begünstigenden Faktoren im Bereich des Kulturufers. Unter Berücksichtigung der eingangs erwähnten K.-O.-Kriterien, ergibt sich eine spezifische Stelle im Bereich des Bregenzer Kulturufers, die sich besonders gut für die Anlage von schwimmenden Gärten eignet und zu einer detaillierteren Planung einlädt (siehe vergrößerte Darstellung in Abb. 30). Diese befindet sich zentrumsnahe zwischen Schiffshafen und Festspielhaus. Die hier landseitig verlaufende Seepromenade lädt die Besucherinnen und Besucher zum Flanieren und Verweilen ein und bietet einen hervorragenden Blick auf das Seeufer. Die sich in unmittelbarer Nähe befindenden

Tab. 5: Bewertung Uferabschnitte
(Quelle: eigene Darstellung)

Punktevergabe:
1... geringer Anteil
2... mittlerer Anteil
3... hoher Anteil

	Naturufer (I)	Kulturufer (II)	Lochauer Ufer (III)
Naturferne/Naturfremde Abschnitte	1	3	2
Hohe Dichte an Infrastruktur- und Kultureinrichtungen	1	3	1
Hohe Besucherfrequenzen	1	3	2
Gesamtpunkte	**3**	**9**	**5**

Kultur- und Infrastruktureinrichtungen wie der Bahnhof, der Schiffshafen, das Festspielhaus, das Vorarlberger Landesmuseum, das Kunsthaus, das Landestheater und einige weitere, sorgen für eine hohe Besucher- und Besucherinnenfrequenz.

Die schwimmenden Gartenflächen als Kontrapunkt zur versiegelten Seepromenade fungieren zudem als verbindendes Element zwischen den Kultur- und Infrastruktureinrichtungen und könnten als weitere Sehenswürdigkeit die Menschen aus der Stadt an den See locken.

Abb. 30: Verortung
(Quelle: eigene Darstellung auf Grundlage von Vorarlberg Atlas, Google Maps)

5.2 Die Technologie - Systemauswahl

Neben den genannten Kriterien für die Lokalisierung, müssen schwimmende Vegetationsflächen darüber hinaus den Standortansprüchen der Bregenzer Bucht gerecht werden. Sowohl starke Wind- und Welleneinflüsse, als auch stark schwankende Pegelstände sind für den Bodensee üblich (siehe Kap. 4.1).

Nicht alle Systeme schwimmender Vegetationsflächen sind demzufolge für solche Standorte geeignet. Wie in Kapitel 3.3 erwähnt, gibt es laut Headley und Tanner grob fünf unterschiedliche Arten künstlich geschaffener schwimmender Vegetationsflächen, die gleichzeitig zur Gewässerverbesserung beitragen. Systeme die in „Pflanzgefäßen an Kabel und Drähten über der Wasseroberfläche befestigt werden“ und „statische Rahmen in Wasseroberflächennähe“ (siehe Kap. 3.3), tolerieren keine schwankenden Pegelstände. Daher sind sie für die Verwendung im Bodensee ungeeignet. Auch die künstliche Schaffung natürlicher schwimmender Inseln ist für den Bereich der Bregenzer Bucht bedenklich. Laut Henning, der selbstschwimmende Inseln aus Schilfrohrgabionen untersucht hat, ist diese Art schwimmender Inseln in frühen Entwicklungsstadien sehr empfindlich gegenüber Wind- und Welleneinflüssen, da sich sauerstoffreiches Wasser einfach in das „junge Wurzel-Rhizomennetz eintragen“ kann und die Schwimmfähigkeit beeinträchtigt (Henning, 2013, 88). Darum sollten solche schwimmenden Vegetationsflächen ausschließlich an ruhigen, windgeschützten Gewässerbereichen verwendet werden (Henning, 2013, 88). Zur weiteren Untersuchung verbleiben daher im Wesentlichen Konstruktionen als „schwimmende Flöße oder Rahmen“ oder „künstliche schwimmende Matten“.

Konkrete Informationen zu Wind- und Wellentoleranz zu den „schwimmende Flößen oder Rahmen“ oder „künstliche schwimmende Matten“ konnten weder in der Literatur, noch in den Angaben der Hersteller solcher Systeme zureichend gefunden werden. Um die Toleranz gegenüber diesen Einflüssen, sowie die wesentlichen technischen Spezifikationen zu ermitteln, wurden folgenden Hersteller direkt kontaktiert:

- ARM Ltd.
- Aqua Biofilter
- Biomatrix Water
- Floating Island International (mit dem Produkt BioHaven)
- Beemats
- Aquatic Engineering

Neben Aussagen zu Wind- und Wellenbeständigkeit wurden auch Informationen zur Größe der Ausführbarkeit, Materialität, Beständigkeit und Pflege angefragt. Die

Ergebnisse sind in der untenstehenden Tabelle (Tab. 6) aufgelistet. Da nicht alle Hersteller genaue Angaben zu ihren Produkten machen konnten, wurden die fehlenden Spezifikationen in der Tabelle nicht angeführt. Da von der Firma ARM lt. kein Antwortschreiben erhalten wurde, können für dieses Produkt an dieser Stelle keine Aussagen getroffen werden. Der Mailverkehr mit den unterschiedlichen Herstellern findet sich im Anhang der Arbeit.

Bezüglich der möglichen Fläche bzw. Größe der schwimmenden Vegetationsflächen gibt es laut den angeschriebenen Herstellern keinen Grenzwert. Floating Island International, Aqua Biofilter und Beemats geben an, dass es mit ihren Systemen Projekte in der Größe von mehreren Tausend m^2 realisiert wurden. Der englische Hersteller Biomatrix Water sieht zwar auch keine Größenbeschränkung, gibt aber an, besser mehrere kleinere schwimmende Inseln im Gewässer zu platzieren, als eine Große. Hinsichtlich Wind- und Wellengang haben die meisten angeschriebenen Hersteller ebenfalls keine Bedenken, das diese den Verhältnissen am Bodensee standhalten können. Beemats jedoch äußerte die Sorge, dass ein hoher Wellengang die Pflanzen aus der Verankerung der Konstruktion reißen und in das offene Gewässer treiben könnten. Auch laut Aquatic Engineering ist ein windgeschützter Bereich als Standort zu bevorzugen, da die Pflanzen ansonsten ausgewaschen werden könnten. Da die Bregenzer Bucht jedoch starken Wind- und Welleneinflüssen ausgesetzt ist, scheiden die beiden letztgenannten Systeme für eine weitere vertiefende Betrachtung aus.

In der Tabelle unten (Tab.6) werden die unterschiedlichen Systeme miteinander verglichen.

Die Kriterien die untersucht werden sind:

- die Materialität
- die Größe der Ausführbarkeit
- Wind und Wellentoleranz
- Beständigkeit
- Stabilität
- Nährstoff-Abtrags-Leistung
- und sonstige Kriterien die individuell auf die Systeme zutreffen.

Im Übrigen ist eine Vergleichbarkeit der einzelnen Systeme mit den vorliegenden Informationen nur bedingt möglich. Nicht zu allen untersuchten Kriterien liegen von den einzelnen Herstellern die erforderlichen Informationen vor, die einen direkten und aussagekräftigen Vergleich erlauben.

Tab. 6: Vergleich unterschiedlicher Systeme

(Quelle: eigene Darstellung auf Grundlage von Homepage der Hersteller, Mail Auskunft der Hersteller)

Bilder	Hersteller	Materialien	Größen	Wind und Wellen	Beständigkeit	Pflege	Stabilität	Abtragsleistung % / m^2	Sonstiges
Quelle: http://www.aquabiofilter.com/wp-content/uploads/2014/12/Aquabiofilter-floating-wetlands-reedbeds-jan-2014-small.jpg	**Aqua Biofilter**	robuste, langlebige Materialien, keine genauen Angaben auffindbar	unbegrenzt erweiterbar und variabel	lt. Angaben des Herstellers kann das System dem Wellengang des Bodensees standhalten	keine genauen Angaben auffindbar	keine genauen Angaben auffindbar	keine genauen Angaben auffindbar	50-99 % BSB 40-80 % Stickstoff 50-80 % Phosphor	
Quelle: http://www.floatingislandinternational.com/wp-content/themes/fii/gallery/238.jpg	**BioHaven**	aus recycelten Faservlies Plastikmatrix, Polyurethan - alle Materialien recyclebar, verankert mit rostfreiem Stahlkabel, internes Verbindunssystem zum Zusammenhalten der Module	unbegrenzt erweiterbar, Standardmodule 1x2x0.2 m, limitierender Faktor ist lt. Hersteller die Verankerung	lt. Angaben des Herstellers ist Wellengang kein Problem	lt. Angaben des Herstellers 20+ Jahre	je nach Vegetation und Standort	Standardausführung hat eine Tragfähigkeit von 35-40 kg/m^2, kann aber bis 190 kg/m^2 hergestellt werden - kann Menschen und andere Strukturen tragen	73-92 % BSB 63-99 % Stickstoff 38-69 % Phosphor	integrierte Schwimmfähigkeit
Quelle: http://www.biomatrixwater.com/wp-content/uploads/bfi_thumb/floating-islands-installation-biomatrix-water-rng80pkq226cqyqxdzi1mjo7i6be3aro96ij1t8aaa0.jpg	**Biomatrix Water - 4D**	HDPE, nicht biologisch abbaubar, kein PVC oder Styropor, rostfreier Stahl	unbegrenzt erweiterbar, Module in unterschiedlichen Größen - rechteckiges Modul - 1,15x2,3 m, aber auch in anderen Formen ausführbar, Hersteller empfiehlt mehrere kleine Inseln statt einer großen	lt. Angaben des Herstellers können die Systeme einem Taifun standhalten, lt. Hersteller gibt es am Bodensee bestimmt Stellen die sich eignen	lt. Angaben des Herstellers 20+ Jahre	geringer Pflegeaufwand bei Verwendung heimischer Pflanzen, gelegentliches Zurückschneiden oder Nachpflanzen	Standardausführung ist nicht zum Begehen geschaffen, Spezialausführungen können schwere Lasten wie Skulpturen tragen	keine genauen Angaben gefunden	Zusätzlich wird ein dynamisches Biofilter Medium unter Wasser ausgebracht, das ein Habitat für Bakterien bietet - 1 m entspricht in Etwa 15 m^2 Wurzeloberfläche
Quelle: http://www.beemats.com/deep-creek.html	**Beemats**	dichtzelliger Schaumstoff - PVA, Nylon-Verbindungsstücke, Töpfe aus biologisch abbaubarem Plastik	unbegrenzt erweiterbar, Module 0.6x0.6x0.01 m groß, lt. Hersteller wird empfohlen mehrere kleine Inseln zu installieren (20-50 m^2) statt einer großen	lt. Angaben des Herstellers werden bei starkem Wellengang die Töpfe aus der Verankerung gelöst	lt. Angaben des Herstellers 5-7 Jahre	Pflanzung und Ernte einmal im Jahr	keine genauen Angaben auffindbar	keine genauen Angaben auffindbar	keine genauen Angaben auffindbar
Quelle: Aquatic Engineering, Living Filter, Broschüre	**Aquatic Engineering**	5 mm dicke Drahtkörbe, biologisches Material zur Unterstützung der Matrix	unbegrenzt erweiterbar und variabel	lt. Angaben des Herstellers ist Wellengang kein Problem, jedoch sollte die Luv gewandte Seite zusätzlich geschützt sein, da die Pflanzen sonst ausgewaschen werden könnten	lt. Angaben des Herstellers ist das System extrem dauerhaft	Kontrolle nach Stürmen, kein Zurückschneiden der Pflanzen	keine genauen Angaben auffindbar	keine genauen Angaben auffindbar	

Unter Berücksichtigung der Standortfaktoren (Kapitel 3.2) sowie der am Bodensee vorherrschenden spezifischen Merkmale (Kapitel 4.1) sind aufgrund der Herstellerangaben folgende Systeme für die Verwendung am Bregenzer Bodenseeufer geeignet:

- BioHaven von Floating Island International
- 4D von Biomatrix Water und
- Schwimmende Vegetionsflächen System von Aqua Biofilter.

Allerdings fehlen von der Firma Aqua Biofilter die erforderlichen Informationen hinsichtlich Materialität, Beständigkeit, Pflege und Stabilität. Daher wird für die Planung in der Bregenzer Bucht ein „schwimmende Matten"-System bevorzugt.

Die beiden verbliebenen Systeme BioHaven von Floating Islands International und 4D von Biomatrix Water sind hinsichtlich Größen-Variabilität, Beständigkeit, Pflegeansprüche und Stabilität sind sich die Systeme sehr ähnlich. Beide Systeme haben eine hohe Haltbarkeit (nach Angaben der Hersteller über 20 Jahre) und deren Stabilität kann für die Aufbringung von Skulpturen bzw. für deren Begehung oder Bespielung erhöht werden. Die Abtrags-Leistung der Nährstoffe der Systeme ist grundsätzlich schwer vergleichbar, daneben den Einflüssen der Systeme auch Eigenschaften der Pflanzen selbst und der Deckungsgrad mitwirken (Pavlineri et al., 2016, 1126).

Beim Einbau der schwimmenden Gärten müssen Herstellerspezifische Angaben beachtet werden. Floating Island International lenkt das Augenmerk auf die Verankerung der Flächen. Laut den Erfahrungen des Herstellers ist die Verankerung an einem Pfosten oder Ponton stabiler, als eine Totlast-Verankerung am Grund (Mail Frog Environmental, am 02.05.2017).

5.3 Pflanzenauswahl und Pflege

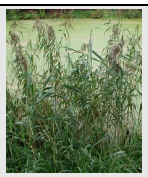
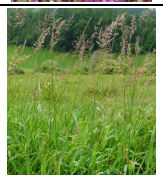
Pflanzenauswahl

Um schwimmende Vegetationsflächen auf dem Bodensee zu etablieren, müssen die spezifischen Standortkriterien erfüllt sein. Dies ist besonders bei der Pflanzenwahl entscheidend (Baumhauer et al., 2014, 10). Für die Schaffung schwimmender Vegetationsflächen sollen ausschließlich heimische Pflanzen verwendet werden, um das Ökosystem nicht zu gefährden und zusätzlich zu belasten. Dabei wird für diese Arbeit zunächst nach den Kriterien zur Auswahl von Pflanzen von Wang und Sample vorgegangen. Wie in Kapitel 3.4 erwähnt, sollen zudem nicht invasive Pflanzen und mehrjährige Pflanzen verwendet werden (Wang, Sample, 2014, 26). Ergänzt werden diese Kriterien mit dem Ausschluss ungeeigneter Pflanzen nach Baumhauer et al.. Die Autoren nennen als ungeeignet: Neophyten, Raritäten und Arten die nicht heimisch sind (Baumhauer et al., 2014, 47). Zudem besteht die Ambition in dieser Arbeit auch Pflanzen zu verwenden, die natürlich am Bodenseeufer vorkommen.

Für eine entsprechende Pflanzenwahl der schwimmenden Vegetationsflächen, werden die am Bodenseeufer vorkommenden Makrophyten (Kap.: 4.2.3) mit Pflanzen verglichen, die sich in schwimmenden Vegetationsflächen (Kap.: 3.4) etabliert haben. Da diese Pflanzen natürlich im Bereich des Bodenseeufers vorkommen, wird davon ausgegangen, dass die Standortkriterien bezüglich pH-Wert und Wasserqualität erfüllt werden. Übereinstimmungen finden sich bei: *Carex sp.*, *Mentha aquatica*, *Phragmites australis* und *Typha angustifolia*.

Auch die Hersteller von schwimmenden Matten empfehlen den Einsatz von besonders geeigneten Pflanzen in ihren Pflanzenlisten. In den Pflanzenlisten von Floating Islands International finden sich zudem emerse Pflanzen, die deckungsgleich mit den Bodensee-Makrophyten *Lythrum salicaria*, *Phalaris arundinacea*, *Schoenoplectus lacustris* und *Sparganium sp.* sind (Frog Environmental, n.b.). Laut dem Land Vorarlberg sind alle *Sparganium*- und *Typha*-Arten geschützt, daher ist die Verwendung dieser Arten wünschenswert (Amt der Vorarlberger Landesregierung, n.b.) und bei der Schaffung schwimmender Gärten daher berücksichtigenswert. In der nachstehenden Pflanzenliste (Tab. 7) sind weitere Infos bezüglich Wachstumshöhe, Wasserbewegungstoleranz, Substrat, Lichtanspruch, Blütefarbe, Blütezeit und Geselligkeit gegeben. Bei den *Carex* und *Sparganium* Arten wurden Substrattolerante und anspruchslose Pflanzen gewählt, um eine Verwendung des Substrates möglichst flexibel zu gestalten.

Tab. 7: Pflanzen für schwimmende Vegetationsflächen
(Quelle: eigene Darstellung auf Grundlage von Baumhauer et al., www.gaissmeyer.de)

Bild	Name	Wuchshöhe über Wasser (cm)	Toleranz Wasserbewegung	Substrat	Lichtanspruch	Blütefarbe	Blütezeit	Geselligkeit
Quelle: Gaissmayer	*Mentha aquatica*	40	tolerant	anspruchslos	sonnig	weiß/lila	VII-X	I-III
 Quelle: Gaissmayer	*Phragmites australis*	200	tolerant	anspruchslos	sonnig/Halbschatten	unauffällig	VII-IX	III-V
Quelle: Gaissmayer	*Typha angustifolia*	140	schwache Strömung	tolerant	sonnig/Halbschatten	braun	VI-VIII	II
Quelle: Gaissmayer	*Lythrum salicaria*	100	keine Strömung	bindig	sonnig/Halbschatten	purpurrot	VI-IX	II
 Quelle: Gaissmayer	*Phalaris arundinacea*	150	tolerant	anspruchslos	sonnig/Halbschatten	unauffällig	VI-VII	II
Quelle: Gaissmayer	*Schoenoplectus lacustris*	150	tolerant	tolerant	sonnig	unauffällig	VII-VIII	I-III
	Sparganium sp.							
Quelle: http://lauble.botanicalgarden.ubc.ca/Sparganium%20emersum.jpg	*Sparganium emersum*	80	tolerant	tolerant, bindig	sonnig/halbschatten	unauffällig	VI-VII	II
Quelle: http://flora.nhm-wien.ac.at/Bilder-P-Z/Sparganium-erectum-3.jpg	*Sparganium erectum*	100	tolerant	tolerant, bindig	sonnig/halbschatten	unauffällig	VI-VIII	II

	Carex sp.							
Quelle: Gaissmayer	*Carex elata*	100	keine Strömung	tolerant	sonnig/schattig	unauffällig	V-VI	I-II
Quelle: http://www.blumeninschwaben.de/Einkeimblaettrige/Sauergraeser/jcs-carex-acuta-479391.jpg	*Carex gracilis*	100	schwache Strömung	anspruchslos	sonnig/Halbschatten	unauffällig	V-VI	II
Quelle: http://www.biopix.com/photos/jcs-carex-hirta-9652.jpg	*Carex hirta*	80	keine Strömung	anspruchslos	sonnig	unauffällig	V-VI	n.b.
Quelle: Gaissmayer	*Carex pendula*	150	keine Strömung	tolerant	sonnig/schattig	unauffällig	V-VI	I-III
http://www.british-wild-flowers.co.uk/00%20Phil%20Smith/Carex-pseudocyperus-2.jpg	*Carex pseudocyperus*	60	tolerant	tolerant	sonnig/Halbschatten	unauffällig	VI	II

Laut den Autoren Hansen und Stahl zählen die Arten *Carex gracilis*, *Carex elata*, *Phragmites australis*, *Schoenoplectus lacustris* und *Sparganium erectum* zu den starkwüchsigen Arten, die ihre Nachbarn bedrängen. Es wird daher empfohlen, diese Arten nur „mit Vorsicht und evtl. nur unter Verwendung von Behältern“ zu pflanzen (Hansen, Stahl, 1990, 520). Darum wurden diese Pflanzenarten in der Tabelle oben (Tab. 7) grau hinterlegt. Genauere Abstimmungen zur Pflanzenwahl sollten mit den Herstellern des jeweiligen schwimmenden Vegetationsflächen-Systems getroffen werden, da es produktspezifisch aufgrund der verwendeten Materialien zu Unterschieden kommen kann. Ob ein Substrat erforderlich ist und wel-ches sich am besten für den Gewässertyp des Bodensees in Kombination mit dem schwimmenden Vegetationsflächen-System eignet, bedarf weiterer eingehender Untersuchungen bzw. könnte dies ebenso am wirksamsten in Abstimmung mit den jeweiligen Herstellern gehalten werden. Außerdem könnte auch weiter geforscht werden, ob sich die übrigen, natürlich am Bodensee vorkommenden Röhricht Arten *Galium palustre* und *Ranunculus reptans* für die Verwendung in schwimmenden Vegetationsflächen eignen. Zudem kann angemerkt werden, dass sich bei den Helophyten häufig auch Pflan-

zen eignen, die ohne Substrat kultiviert wurden. Solche Pflanzen können Nährstoffe direkt aus dem Wasser aufnehmen und brauchen dazu keine zusätzlichen Nährstoffe im Substrat (Baumhauer et al., 2014, 45). Wie sich die Nährstoff-Abtrags-Leistung der Pflanzen letztendlich auf den Bodensee auswirkt, bedarf weitergehender und längerfristiger Untersuchungen.

Pflege

Um die in der Biomasse der Pflanzen gespeicherten Nährstoffe zu entziehen, können die Wasserpflanzen zurückgeschnitten werden. Auch die abgestorbenen Pflanzenteile sollten, um den Wiedereintrag der Nährstoffe zu vermeiden, geerntet werden (Baumhauer et al, 2014, 136). Wie bereits in Kapitel 3.2 ausgeführt, sollten dabei nicht nur die aus dem Wasser ragenden Pflanzen entfernt werden, sondern auch die untergetauchten, abgestorbenen Pflanzenteile (Li, Song, Lu, Nishimura, 2009, 382). Weiters ist es bedeutend, die schwimmenden Vegetationsflächen anfangs mit Netzen und Zäunen zu schützen, um einem Verbiss und Zertrampeln durch Tiere vorzubeugen (Headley, Tanner, 2012, 2278).

5.4 Planungsvorschlag und Fazit

Aufgrund der verfügbaren Unterlagen wird in dieser Arbeit das System BioHaven von Floating Island International für die Planung der schwimmenden Vegetationsflächen in der Bregenzer Bucht bevorzugt.

BioHaven

Grundsätzlich kann das System BioHaven von Floating Island International in unterschiedlichen Dimensionierungen geplant werden. Die Größe und Form ist frei wählbar. Die Elemente der Standardausführung haben jedoch die Abmessungen von 2x1 m. Der Porenanteil des BioHaven-Systems beträgt in Etwa 40%, was die Durchwurzelung der Pflanzen und damit einhergehend die Stabilität der Pflanzenverankerung ermöglicht (Frog Environmental, n.b.).

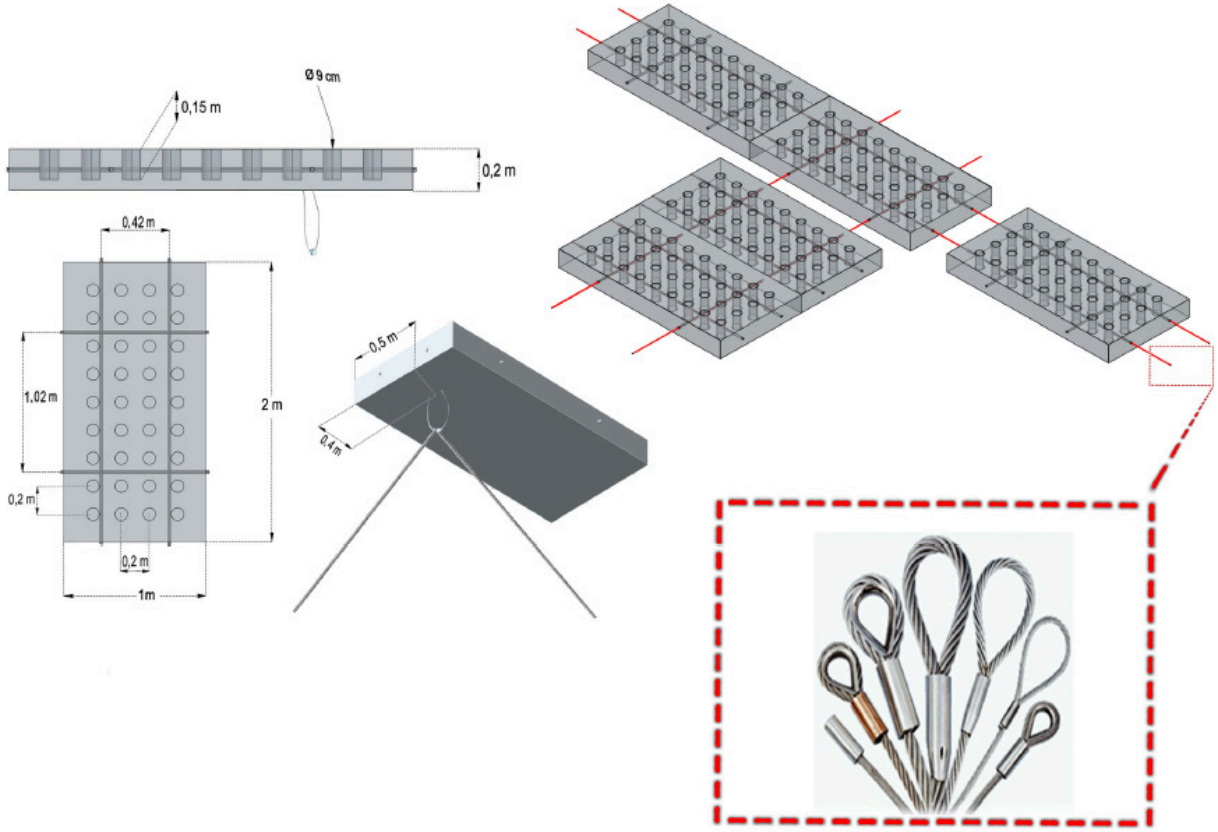


Abb. 31: Konstruktion BioHaven Standardausführung
(Quelle: Frog Environmental, n.b.)

Wegen der vorliegenden Konstruktionsunterlagen, werden die schwimmenden Gärten in dieser Arbeit in Anlehnung an die Standardausführung von BioHaven geplant (siehe auch Abb. 31).

Wie oben beschrieben, sollte die konkrete Planung bezüglich Dimensionierung zur Erreichung der entsprechenden Stabilität (die erforderliche statischen Bemessungen sind nicht Bestandteil dieser Arbeit) in Abstimmung mit dem Hersteller geschehen. Auch die konkrete Verankerung bedarf ebenfalls weitergehender Untersuchungen sowie Berechnungen und die Rücksprache mit dem Hersteller.

Die Wahl der Pflanzen wird bei der vorgeschlagenen Planung aus Kapitel 5.2 übernommen. Um die schwimmenden Gärten vom Ufer aus gut sichtbar zu halten, sollen die Inseln in einer visuell gut wahrnehmbaren Größe geschaffen werden. Zudem gilt zu berücksichtigen, dass ein Abstand zum Grund mit ca. 100 cm gegeben sein sollte (Headley and Tanner, 2012, 2269).

Da sich Bregenz gemeinsam mit anderen Städten und der Regio Bregenzer Wald zu Kulturhauptstadt für das Jahr 2024 bewerben wird, könnten dem Thema entsprechend schwimmende Vegetationsflächen mit bespielbaren Flächen erweitert werden. Diese bieten Platz für Kunstausstellungen, Performance-Künstlerinnen und Künstler, Wasserspiele, Lesungen oder sonstige Kulturarten auf dem Wasser. Dabei ist wichtig, dass die schwimmenden Inseln eine entsprechende Stabilität aufweisen. Diese Flächen dienen als uferbegleitende, schwimmende Installation und führen die Besucherinnen und Besucher von den Kultureinrichtungen im Stadtzentrum von Bregenz zum Festspielhaus.

Begleitend können am Bregenzer Bodenseeufer Informationstafeln aufgestellt werden, welche die verwendeten Bodenseeuferpflanzen beschreiben und Informationen zu den schwimmenden Vegetationsflächen geben. Dabei soll ein Bewusstsein der Bevölkerung und der Besucherinnen und Besucher in Bezug auf die Ufervegetation geschaffen werden. Außerdem bieten solche Tafeln Platz, um die dargebotenen Ausstellungen bzw. Kunstinstallationen genauer zu beschreiben.

Die wichtigsten Gestaltungsmittel sind jedoch laut den Autoren Pavlineri et al., wie in Kapitel 3.3 erwähnt, Arten und Dichte der Pflanzen bzw. der Deckungsgrad, das Substrat, die Tiefe und die Schwimmfähigkeit (Pavlineri et al., 2016, 1125). Im Zuge der Planung soll durch die Anordnung der Flächen und der Bepflanzung der schwimmenden Vegetationsflächen eine für den Ort möglichst optimale Gestaltung gefun-

den werden.

In der untenstehenden Grafik (Abb. 32) ist ein Entwurf schwimmender Gärten für den Bereich der Bregenzer Bucht dargestellt. Die Anordnung der aneinander gereihten 2x1 m Module ist variabel. Um die Flächen als leitendes Element in Szene zu setzen, wurden sie als schmale Streifen gehalten. Die Länge der schwimmenden Inseln liegt zwischen 20 und 34 m, die Breite beträgt zwischen 4 und 6 m. Neben den bepflanzten Modulen wurden auch einige Flächen freigelassen, um diese für kulturelle Anwendungen (siehe Abb. 32) nutzbar zu halten. Die schwimmenden Inseln haben im Entwurf Flächengrößen zwischen 64 und 162 m^2.

Die Pflanzen werden der Pflanzenliste (siehe Tab. 7) entnommen. Um die Dominanz einzelner Pflanzenarten einzudämmen, wird die Verwendung von Pflanzen, die ihre Nachbarn bedrängen, vermieden. Die Anordnung der Pflanzen im Pflanzplan geschieht nach der „Pflanzung in verschiedenen Arten und Geselligkeitsstufen“ von Bochardt (Bochardt, 2014, 232). Dabei werden Pflanzen in diversen Mengenanteilen, je nach Stufe der Geselligkeit,

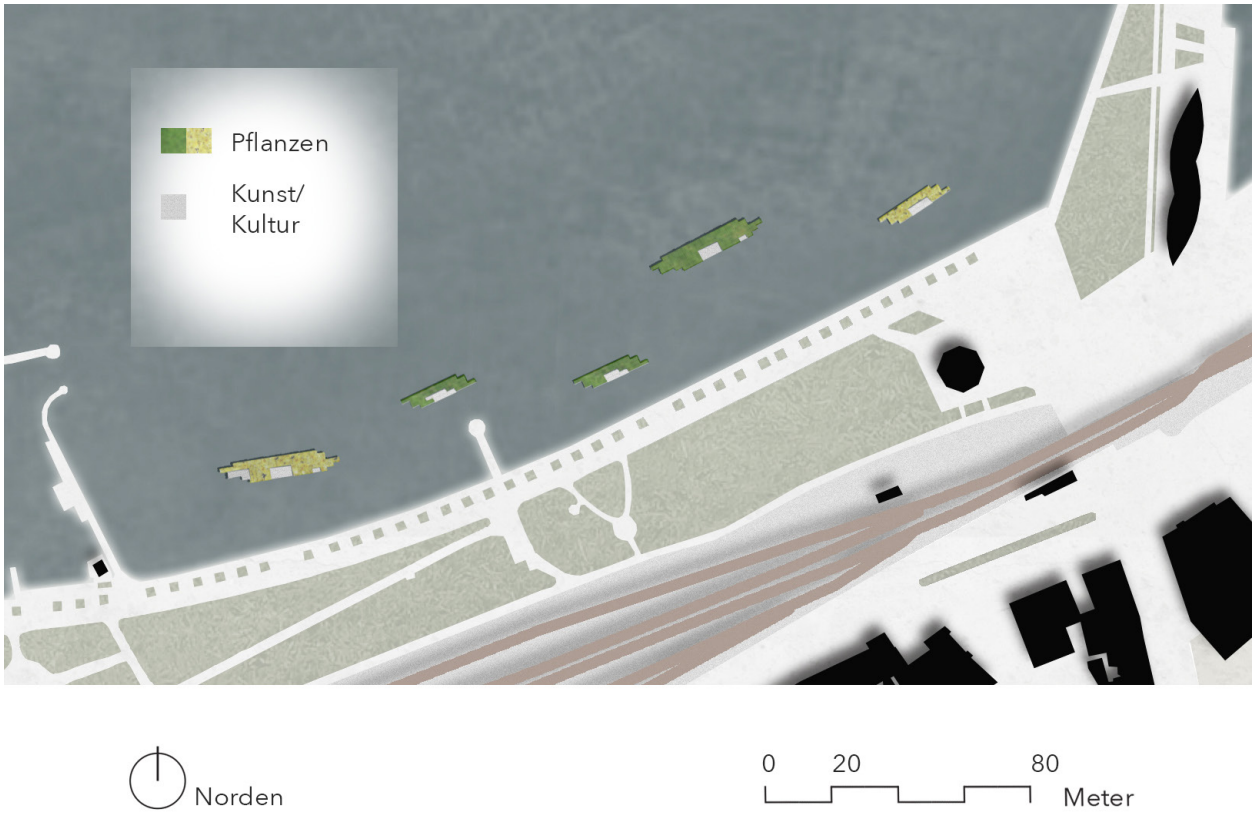


Abb. 32: Planungsvorschlag, schwimmende Gärten für Bregenz
(Quelle: eigene Darstellung)

gepflanzt (Bochardt, 2014, 232). Außerdem werden Pflanzen mit einer größeren Wachstumshöhe tendenziell auf die vom Ufer weiter entfernte Seite der schwimmenden Inseln gesetzt. Kleinere Pflanzen und Pflanzen, die Wasserbewegungen nur wenig dulden, werden auf die uferzugewandte Seite gepflanzt. Die Geselligkeitsstufen der jeweiligen Pflanzenarten sind der Tabelle 7 zu entnehmen.

Für einen Inseltyp aus dem Entwurf wurde ein Muster-Pflanzplan erstellt. Die bepflanzte Fläche hat eine Größe von 54 m^2, weitere 10 m^2 wurden zum Bespielen für Kunst und Kultur freigehalten. Neben der Verortung der Pflanzen im Pflanzplan, finden sich auch die Stückzahlen der Pflanzen (siehe Abb. 33).

Um den Planungsvorschlag zu veranschaulichen wurde eine Visualisierung gefertigt. Dabei sind schwimmende Vegetationsflächen in Kombination mit Kunst- und Kultur-Flächen im Bereich des Bregenzer Bodenseeufers dargestellt (siehe Abb. 34).

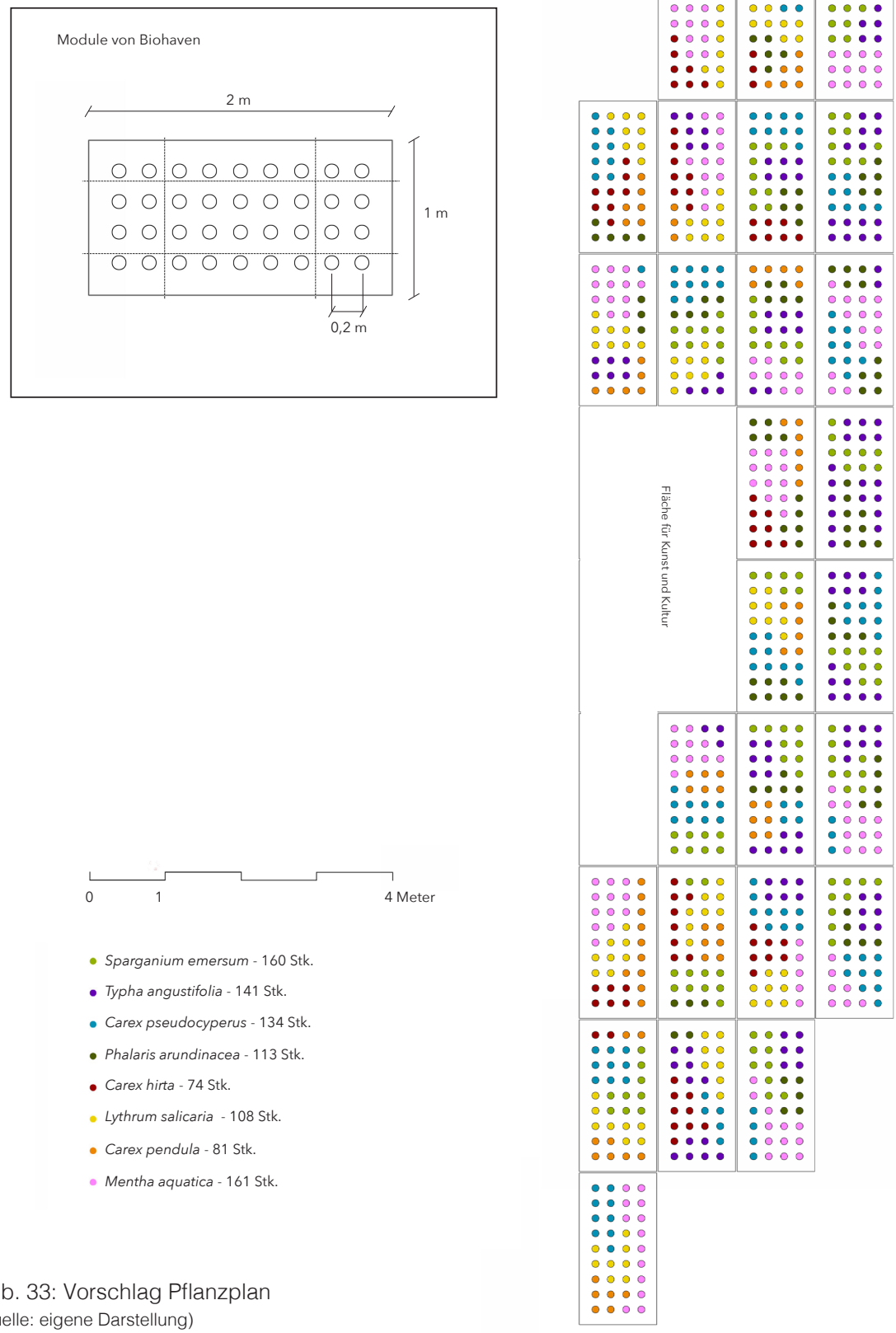


Abb. 33: Vorschlag Pflanzplan
(Quelle: eigene Darstellung)

Abb. 34: Visualisierung
(Quelle: eigene Darstellung)

5.5 Ausblick

Neben der ästhetischen Erweiterung des Uferraumes erscheinen schwimmende Vegetationsflächen, welche die Nährstoffe im Wasser reduzieren, aufgrund der erhöhten Nährstoffbelastung in der Bregenzer Bucht, als besonders sinnvoll. Wie hoch die Abtrags-Leistung der konkreten Planung in einem Gewässer von der Größe des Bodensees mit den gewählten Pflanzen ist und ab welchem Deckungsgrad eine merkbare Verbesserung der Wasserqualität einstellt, bedarf weiterer Untersuchungen. Nach dem Stand des Wissens, kann jedoch bedenkenlos festgehalten werden, dass solche schwimmenden Flächen keinesfalls eine Verschlechterung der Wasserqualität darstellen. Die stark schwankenden Pegelstände des Bodensees sind im Gegensatz zur Uferbepflanzung für Pflanzen in den schwimmenden Vegetationsflächen kein Problem. Zudem bieten schwimmende Inseln zusätzlich Habitate für Fische, Vögel und andere Tiere und erweitern das Bregenzer Ufergebiet durch weitere Ausstellungsflächen verschiedener Art.

Für eine konkrete Umsetzung der schwimmenden Vegetationsflächen wird empfohlen, in Zusammenarbeit mit den Herstellern die Pflanzflächen zu entwickeln. Außerdem wird angeregt, dass im Falle einer Planung, konkrete Angaben zu Wind- und Wellenbewegungen in der Bregenzer Bucht berechnet werden bzw. ein Wellenmodell angefertigt wird. In der Literatur konnten dazu keine genaueren Angaben, die Bregenzer Bucht betreffend, gefunden werden.

Auch wurde diesbezüglich die Abteilung der Wasserwirtschaft des Landes Vorarlberg und die Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg angefragt, jedoch konnten diese öffentlichen Stellen dazu keine genaue Auskunft geben.

Ein erweiterter Diskurs der Thematik der schwimmenden Vegetationsflächen ist auch im deutschsprachigen Raum wünschenswert. Wie anhand dieser Arbeit feststellbar ist, bieten Pflanzflächen auf dem Wasser neue und innovative Chancen, mit geringem Aufwand einen hohen Nutzen aus ästhetischer und ökologischer Sicht zu generieren. Zudem wird angemerkt, dass seitens der Fachliteratur, wie auch der Hersteller zumeist ausschließlich die ökologischen Funktionen im Vordergrund der Untersuchung stehen. Um schwimmende Garten-Systeme im Bewusstsein der Bevölkerung stärker zu verankern, ist auch die Forschung zur Optimierung der Ästhetik erstrebenswert.

5.6 Zusammenfassung

Um die Wirkung schwimmender Vegetationsflächen am Bregenzer Bodenseeufer zusammenfassend zu veranschaulichen, wurde eine Grafik erstellt (siehe Abb. 35). Dabei sind der Standort Bodensee mit seinen bedeutenden Standortfaktoren als Aktion und die schwimmenden Gärten als Reaktion dargestellt. Beeinflussende Faktoren, die den Standort der Bregenzer Bucht in Bezug auf die schwimmenden Gärten prägen sind: Wind und Wellen, Wasserqualität, Wasserpegel, Tiere/Fische, Pflanzen/Natur und Tourismus.

STANDORT BODENSEE (AKTION)	FAKTOREN	PLANUNG SCHWIMMENDE GÄRTEN (REAKTION)
	WIND UND WELLEN	
Besonders der östliche Bereich des Bodenseeufers ist stark vom Wellengang betroffen. Wellen erreichen maximale Höhen von ca. 0,8 m.		Wellengang in dieser Größenordnung ist für die geplanten schwimmenden Vegetationsflächen des Systems „BioHaven“ am Bodensee kein Problem. Schwimmende Vegetationsflächen können eingetragene Wellenenergie mäßigen.
	WASSERQUALITÄT	
Die Wasserqualität im Bodensee ist gut. Im östlichen Bereich des Sees gibt es jedoch höhere Nährstoffbelastungen. Keinesfalls soll eine Verschlechterung der Wasserqualität eintreten.		Schwimmende Vegetationsflächen dienen häufig als Pflanzenkläranlagen. Die Nährstoff-Abtragsleistung müsste genauer untersucht werden, jedenfalls wird die Wasserqualität nicht verschlechtert.
	WASSERPEGEL	
Der Wasserpegel des Bodensees ist stark schwankend. Im Lauf des Jahres schwankt der Pegel über ca. 1,5 m.		Schwimmende Vegetationsflächen sind tolerant gegenüber Pegelschwankungen. Ein Mindestabstand von 0,8 m zum Grund sollte gegeben sein.
	TIERE/FISCHE	
Besonders Fischer im Bodensee beschweren sich über die gute Wasserqualität, welche den Fischbestand zurück gehen lässt.		Trotz der Wasserqualitäts-verbessernden Wirkung der schwimmenden Gärten, haben diese auch eine positive Wirkung für Fische und andere Tiere: sie bieten durch die Wurzeln und die Flächen Habitat für Fische, Insekten, Vögel und größere Tiere.
	PFLANZEN/NATUR	
Am Bregenzer Bodenseeufer und in der Bregenzer Bucht kommen eine große Zahl an heimischen und geschützten Pflanzenarten vor.		Durch die Verwendung von der natürlich vorkommenden Vegetation ist keine Gefährung durch invasive Pflanzenarten gegeben. Zudem kann durch die Verwendung heimischer Pflanzenarten ein Bewusstsein geschaffen werden.
	TOURISMUS	
Die Bodenseeregion ist ein stark frequentiertes Urlaubsziel. Neben der Stadt Bregenz mit einem vielfältigen Kulturprogramm ist auch der Bodensee selbst Ziel von vielen Touristen.		Schwimmende Gärten können als zusätzlicher Anziehungspunkt dienen und als wegbegleitendes Element zwischen den Kultureinrichtungen agieren. Die Standorte der schwimmenden Inseln wurden so gewählt, dass weder eine Beeinflussung für Schwimmer und Schwimmerinnen, noch für die Schifffahrt entsteht.

Abb. 35: Zusammenfassung, Aktion-Reaktion
(Quelle: eigene Darstellung)

Quellenverzeichnis

Literaturverzeichnis

Abend, Bernhard (2014): Allgäu. Ostfildern: Baedeker, 3. Auflage, S. 179.

Amt der Vorarlberger Landesregierung (Hrsg.) (2015): Bevölkerungsstatistik – Verwaltungszählung vom 31. März 2015. Bregenz: Landesstelle für Statistik, S. 6.

Amt der Vorarlberger Landesregierung (Hrsg.) (2010): Makrophytenkartierung am Vorarlberger Bodenseeufer – Bericht und Bewertung nach WRRL. Bregenz: Umweltinstitut des Landes Vorarlberg, S. 11-12, 15-17.

Arge Vegetationsökologie und Landschaftsplanung (AVL) (2008): Biotop – Aktualisierung des Biotopinventars Vorarlberg – Gemeinde Bregenz. Vorarlberger Landesregierung (Hrsg.) Bregenz: Abteilung Umweltschutz (IVe), S. 13-18, 21-29, 39-40.

Balze, Andreas; Fischer, Gerhard (1995): Bodensee. Köln: DuMont Buchverlag, S. 14-15.

Baumhauer, Jörg (Hrsg.); Schmidt, Carsten (Hrsg.); Van De Weyer, Klaus (Hrsg.) (2014): Handbuch Wasserpflanzen – Erkennen Verwenden Pflegen. Berlin-Hannover: Patzer Verlag, S. 10, 45, 136.

Borchardt, Wolfgang (Hrsg.) (2013): Pflanzenverwendung – das Gestaltungsbuch. Stuttgart: Ulmer, S. 48-56, 232.

Crossley, Phillip L. (2004): Just Beyond the Eye: Floating Gardens in Aztec Mexico. In: Historical Geography, Vol. 32, S. 111-135.

Frohmann, Erwin; Lička, Lilli (Hrsg.); Neuninger, Paul; Schwaba, Manfred; Tusch, Roland (2012): Bestandsaufnahme Bestandsanalyse – Skriptum zur praktischen Anwendung in den Entwurfslehrveranstaltungen. Wien: Schriftenreihe des Instituts für Landschaftsarchitektur, Band 53, S. 10.

Galenschovski, Carmen (2015): Bodensee. Ostfildern: Baedeker, 13. Aufl., S. 134.

Headley, Tom R. (Hrsg.); Tanner, Chris C. (Hrsg.) (2006): Application of Floating Wetlands for Enhanced Stormwater Treatment: A Review. Hamilton: National Institute of Water & Atmospheric Reserach Ltd, S. 81-82, 67-68.

Headley, Tom R.; Tanner, Chris C. (2012): Constructed Wetlands With Floating Emergent Macrophytes: An Innovative Stormwater Treatment Technology. In: Critical Reviews in Environmental Sciene and Technology, 42:2, S. 2261, 2264, 2267-2270, 2278, 2280-2281, 2302.

Hansen, Richard (Hrsg.); Stahl, Friedrich

(Hrsg.) (1990): Die Stauden und ihre Lebensbereiche. Stuttgart: Ulmer, 4. Auflage, S. 520.

Henning, Günther (Hrsg.) (2013): Lebende Inseln – selbstschwimmende Pflanzengesellschaften für urbane Gewässer. Berlin: Dissertation Technische Universität, S. 14 ff, 88.

Hofmann, Hilmar; Lorke, Andreas; Peeters, Frank (2008): The relative importance of wind and ship waves in the littoral zone of a large lake. In: Limnology and Oceanography, 53 (1), S. 373-374.

Hofmann, Hilmar; Seibt, Christian; Peeters, Frank (2013): Wellenexposition und Resuspensionspotential ausgewählter Untersuchungsgebiete am Bodensee: Messungen und Modellierung. In: Hansjörg Brem (Hrsg.): Erosion und Denkmalschutz am Bodensee und Zürichsee: ein internationales Projekt im Rahmen des Interreg IV-Programms. Bregenz: Vorarlberg Museum Schriften, S. 37, 43-44.

Hwang, Lanshing; LePage, Ben A. (2011): Floating Islands – An Alternative to Urban Wetlands. In: LePage, Ben A. (Hrsg.): Wetlands – Integrating Multidisciplinary Concepts. New York (u.a.): Springer Verlag, S. 237, 240, 242, 249.

Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB) (Hrsg.) (2016): Limnologischer Zustand des Bodensees Nr. 41(2014-2015), S.39.

Kadlec, Robert H. (Hrsg.); Wallace, Scott D. (Hrsg.)(2009): Treatment Wetlands – Second Edition. Boca Raton: CRC Press, S. 87-89.

Kraus, Johannes (Hrsg.) (2003): Schwimmende Gärten. Salzburg: Verlag Anton Pustet, S. 59-94.

Kuschk, Peter; Wiessner, Arndt; Paredes, Diego; Kästner, Matthias; Münch, Christiane; Müller, Roland A. (2008): Pflanzenkläranlagen – Zukunftspotenzial und Forschungsbedarf. In: Chemie Ingenieur Technik Nr. 12, 80 (2008), S. 1785.

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU) (Hrsg.) (2001): Naturnahe Uferbereiche und Flachwasserzonen des Bodensees. In: Biotope in Baden-Württemberg, 13. Mannheim: Verlagsauslieferung der LfU bei der JVA Mannheim, S. 27,34.

Li, Xian-Ning; Song, Hai-Liang; Li, Wei; Lu, Xi-Wu; Nishimura, Osamu (2009): An integrated ecological floating-bed employing plant, freshwater clam and biofilm carrier for purification of europhic water. In: Ecological Engineering 36 (2010), S. 382.

Mürle, Uta; Ortlepp, Johannes; Rey, Peter (2004): Der Bodensee: Zustand – Fakten – Perspektiven. Bregenz: Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB) (Hrsg.), I Aufl., S. 3, 161-162.

Ostendorp, Wolfgang (2004): Was haben wir aus dem Bodenseeufer gemacht? Versuch einer Bilanz. In: Internationalen Verein für Geschichte des Bodensees und seiner Umgebung: Schriften des Vereins für Geschichte des Bodensees und seiner Umgebung Heft 122, S. 181-251.

Pavlineri, Natalia; Skoulikidis, Nikolaos Th.; Tsihrintzis, Vassilios A. (2016): A review of reserach, design, operation and management aspects, and data meta-analysis. In: Chemical Engineering Journal 308 (2017), S. 1121, 1124-1129.

Rey, Peter; Treiber, Petra; Huber, Martin (2009): Renaturierungsleitfaden Bodenseeufer. Bregenz: Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB) (Hrsg.), S. 1, 75.

Spencer, Michael (1982): The Marsh Arabs Revisited. In: Aramco World Magazine, Vol. 33 Number 2, S. 32-36.

Stahn, Dina; Kiedrowski, Rainer (2012): DuMont Bildatlas – Bodensee, Oberschwaben. Ostfildern: DuMont Reiseverlag, S. 112.

Strunz, Gunnar (2012): Vorarlberg – Mit Bregenzerwald, Großem Walsertal, Arlberg und Montafon. Berlin: Trescher Verlag, 1. Aufl., S. 53.

Su, Myint; Jassby, Alan D. (2000): Inle: A large Myanmar lake in transition. In: Lakes & Reservoirs: Research and Management 2000, 5, S. 49-54.

Wang, Chih-Yu; Sample, David J. (2014): Assessment oft he nutrient removal effectiveness of floating treatment wetlands applied to urban retention ponds. In: Journal of Environmental Management 137 (2014), S. 26.

Wang, Chih-Yu; Sample, David J.; Day, Susan D.; Grizzard, Thomas J. (2014): Floating treatment wetland nutrient removal through vegetation harvest and observations from a field study. In: Ecological Engineering 78 (2015), S. 20.

Wiegleb, Gerhard (Hrsg.); Zerbe, Stefan (Hrsg.) (2009): Renaturierung von Ökosystemen in Mitteleuropa. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, S. 80.

Zimmerli, Stephan (1989): Das Inventar der Schwingrasen der Schweiz = The inventory of the floating mats in Switzerland.

In: Berichte des Geobotanischen Institutes der Eidg. Techn. Hochschule, Bd. 55. Zürich: Stiftung Rübel, S. 52.

Internetquellen

Amt der Vorarlberger Landesregierung (n.b.): Geschützte Pflanzen in Vorarlberg. https://www.vorarlberg.at/vorarlberg/umwelt_zukunft/umwelt/natur-undumwelt-schutz/weitereinformationen/daten_fakten/geschuetztepflanzen2005.htm (13.05.2017).

Arbeitsgruppe Bodenseeufer (AGBU) (2005): Uferrenaturierung und – umgestaltung am Bodensee – ein Positionspapier der AGBU in inhaltlicher Abstimmung mit der Bodensee - Stiftung – AGBU e.V. (Hrsg.), www.bodensee-ufer.de (11.05.2017).

Bregenz Tourismus und Stadtmarketing GmbH (n.b.): Bregenz/Rheintal/Bodensee – europäische Kulturhauptstadt 2024. http://www.bregenz.travel/citymanagement/zukunftsprojekte-2/bregenzrheintalbodensee-europaeische-kulturhauptstadt-2024/ (10.11.2016).

Bregenz Tourismus und Stadtmarketing GmbH (n.b.): Bregenzer Festspiele. http://www.bregenz.travel/tourismus/kultur/Bregenzer-festspiele/ (10.11.2016).

Duden (2015): Schwingrasen. http://www.duden.de/rechtschreibung/Schwingrasen (13.12.2015).

EUR-Lex (2006): Kulturhauptstadt europas. http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=URISERV:l29005 (13.05.2017).

Fachstelle für Statistik Kanton St. Gallen (n.b.): Bevölkerung. http://www.statistik-bodensee.org/index.php/bevoelkerung.html (28.10.2015).

Fachstelle für Statistik Kanton St. Gallen (2014): Tourismus. http://www.statistik-bodensee.org/tl_files/statistik/downloads/publikationen/Die%20internationale%20Bodenseeregion%20in%20Zahlen/Die%20internationale%20Bodenseeregion%20in%20Zahlen%202014/BodenseeZahlen_2014_WEB_4-Tou.pdf (13.05.2017).

Institut für Seenforschung (n.b.): Streit um den Nährstoffgehalt. http://www.freunde-isf-bodensee.de/phosphorgehalt-und-fischbestand.html (12.05.2017).

Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB) (Hrsg.) (2013): Faktenblatt „Phosphor im Bodensee“. http://www.igkb.org/fileadmin/user_upload/dokumente/aktuelles/IGKB_Faktenblatt_P_im_BS.pdf (09.11.2016), S.5.

Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB) (Hrsg.) (n.b.): Gemeinsames Handeln für den Bodensee. http://www.igkb.org/start/ (12.05.2017).

Krauss, Clifford (2001): Lake Titicaca

Journal; On a Lily Pad, Life Is Lush, but Watch Your Step. http://www.nytimes.com/2001/06/18/world/lake-titicaca-journal-on-a-lily-pad-life-is-lush-but-watch-your-step.html (02.12.2015).

Kulturgrün e. V. Münster (2014): Das Konzept. http://www.afarm.de/?page_id=93 (09.11.2016).

Landeshauptstadt Bregenz (n.b.): Grundsatz-beschluss zu Kulturhauptstadt 2024. https:// www.bregenz.gv.at/rathaus/news/showNews/grundsatzbeschluss-zu-kulturhauptstadt-2024/ (13.05.2017).

Lingenhöhl, Daniel (2005): Die Wiederkehr Edens?. http://www.spektrum.de/news/die-wiederkehr-edens/774161 (02.12.2015).

Natur Park Bayrischer Wald (n.b.): Infotafel Naturschutzgebiet Großer Arbersee: Die schwimmenden Inseln. http://www.arbersee.com/images/arbersee/tafel_rundgang_arbersee_2.pdf (14.12.2015).

Österreich Werbung (2014): Besucherzahlen von Sehenswürdigkeiten in Österreich 2014. https://www.austriatourism.com/fileadmin/user_upload/Media_Library/Downloads/Tourismusfor-schung/2015G_Besucherzahlen_von_Sehenswuerdigkeiten_in_OE_2014_ohne_Wien.pdf (16.05.2017).

Planungsamt des Kantons St. Gallen (1999): Seeuferplanung Bodensee. http://www.sg.ch/home/bauen__raum___umwelt/raumentwicklung/richtplanung/grundlagen/_jcr_content/Par/downloadlist/DownloadListPar/download_11.ocFile/Seeuferplanung%20Bodensee%201999.pdf (20.05.2017), S. 3.

Practical Action (n.b.): Floating Gardens in Bangladesh. http://www.fao.org/climatechange/17849-0e277b46b31f98942e6bc81bb22319243.pdf (07.12.2015).

Spektrum (2001): Schwingrasen. http://www.spektrum.de/lexikon/geographie/schwingrasen/7114 (14.12.2015).

Treiber, Petra (2003): Zustandsbeschreibung des Bodenseeufers. www.bodenseekonferenz.org/bausteine.net/f/6452/Zustandsbeschreibung.pdf?fd=3 (20.05.2017), S.19-20.

Tidwell, Tara (2001): Uru life more than a tou-rist attraction. https://www.culturalsurvival.org/ ourpublications/csq/article/uru-life-more-a-tourist-attraction (02.12.2015).

Vogt Landschaft AG (n.b.): ETH Hönggerberg, Zürich: Gestaltung Innenhöfe. http://vogt-la.com/de/node/71/chronology

(09.11.2016).

Zisterzienserabtei Wettingen-Mehrerau (n.b.): Fest im Glauben. https://www.mehrerau.at/de/kloster (13.05.2017).

Herstellerangaben

Aquatic Biofilter (n.b.): Floating Wetlands & Islands: http://www.aquabiofilter.com/ (10.05.2017).

Aquatic Engineering (n.b.): Case Study: Farmoor Reservoir – Living Filter. https://www.aquaticengineering.co.uk/wp-content/uploads/2015/04/Living-Filter-Thames-Water.pdf (16.05.2017).

Beemats (n.b.): Mat Construction. http://www.beemats.com/mat-construction.html (16.05.2017).

Biomatrix Water (2012): Products. http://www.biomatrixwater.com/products/ (14.12.2015).

Floating Island International (2015): Bio-Haven Technology. http://www.floatingislandinternational.com/products/biohaven-technology/ (14.12.2015).

Frog Environmental (n.b.): BioHaven – Planting Options. http://frogenvironmental.co.uk/wp-content/uploads/2013/08/BioHaven-Plant-List-final.pdf (30.05.2017).

Frog Environmental (n.b.): BioHaven – Technical Information. http://frogenvironmental.co.uk/wp-content/uploads/2015/11/BioHaven-technical-specification.pdf (30.05.2017).

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Internationale Bodenseeregion	9
Abb. 2:	Schwimmende Inseln - Marsch-Araber	14
Abb. 3:	Schwimmende Inseln - Urus	15
Abb. 4:	Schwimmende Gärten am Inle See	15
Abb. 5:	Chinampas in Xochimilco	16
Abb. 6:	Schwimmende Inseln im Kleinen Arbersee	19
Abb. 7:	Konstruktion - Practical Action	20
Abb. 8:	Blüten Insel	21
Abb. 9:	Schwimmende Gärten, ETH Zürich	22
Abb. 10:	Schwimmender Garten als Kunst „aFarm“	22
Abb. 11:	Prinzip Skizze, schwimmende Vegetationsfläche	25
Abb. 12:	Pegelstand, Messstation Bregenz	37
Abb. 13:	Entwicklung des Phosphorgehaltes im Bodensee	38
Abb. 14:	Uferzustand - Bregenzer Bucht	42
Abb. 15:	Uferzustand - Einteilung Abschnitte	43
Abb. 16:	Abschnitte – Bodenseeufer	44
Abb. 17:	Foto Nr. 1 - Naturschutzgebiet Mehrerau	45
Abb. 18:	Foto Nr. 2 - Naturschutzgebiet Mehrerau	45
Abb. 19:	Foto Nr. 3 - Slipanlage Sporthafen	45
Abb. 20:	Foto Nr. 4 - Seepromenade	46
Abb. 21:	Foto Nr. 5 - Seepromenade mit Sitzstufen	46
Abb. 22:	Foto Nr. 6 - Bregenzer Schiffshafen	46
Abb. 23:	Foto Nr. 7 - Bodenseeufer - Militärbad	46
Abb. 24:	Foto Nr. 8 - Ufer stark versiegelt	46
Abb. 25:	Foto Nr. 9 - Bodenseeufer höhe Kaiserstrand	47
Abb. 26:	Foto Nr. 10 - Naturschutzgebiet	47
Abb. 27:	Foto Nr. 11 - Naturschutzgebiet, dahinter Deutschland	47
Abb. 28:	Pflanzen und Naturschutz	50

Abb. 29: Kultur und Infrastruktur 55
Abb. 30: Verortung 59
Abb. 31: Konstruktion BioHaven Standardausführung 68
Abb. 32: Planungsvorschlag, schwimmende Gärten für Bregenz..... 70
Abb. 33: Vorschlag Pflanzplan 72
Abb. 34: Visualisierung 73
Abb. 35: Zusammenfassung, Aktion-Reaktion 76

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Ufernutzung und Uferverbau am Bodensee	8
Tab. 2:	Übernachtungen und durchschnittliche Aufenthaltsdauer	41
Tab. 3:	Besondere Pflanzen, Biotope Bregenzer Bodenseeufer.....	51
Tab. 4:	Makrophytenarten Bodenseeufer	52
Tab. 5:	Bewertung Uferabschnitte	57
Tab. 6:	Vergleich unterschiedlicher Systeme	62
Tab. 7:	Pflanzen für schwimmende Vegetationsflächen	65

Anhang

Mail an Beemats Aqua Biofilter, Frog Environmental, Biomatrix Water, Aquatic Engineering, am 02.05.2017:

Dear Sir or Madame,

in the course of my master's thesis, I investigate the feasibility of floating wetlands in the Lake Constance (Austria). Furthermore, I am going to design floating wetlands for the bay area of Bregenz. For designing these vegetated spaces, different systems of floating wetlands are compared regarding its suitability in open waters. It would be a big pleasure, if you could answer the following questions regarding your system:

- How stable is your system regarding wind- and wave-influence? The bay area in Bregenz has a relatively strong swell (maximum wave height is about 1,5 m), do you think your system can withstand these conditions?
- How big can your floating wetland systems be made?

It would be a great to me if you can answer these questions.

Yours sincerely,
Lukas Wohlgenannt

University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna

Mailverlauf Beemats:

Antwortschreiben Beemats, am 02.05.2017:

Hello Lukas,

Our floating wetlands have been designed for nutrient uptake in storm water ponds, removing nitrogen and phosphorus from surface water prior to its introduction into natural water bodies. They are quite flexible and attenuate wave energy quite well, but I'm afraid that 1.5 m. swells may be a bit much for them. The plants on our islands are inserted into pre-cut holes in the foam matrix. The aerated pots that contain the roots could become dislodged by large waves and separate from the island. The islands can be made in fairly large sizes. We have some that are 3,500 sq. ft. But they do perform best in calm water.

Good luck on your research project.

Steve Beeman
Beemats LLC
3637 SR 44
New Smyrna Beach, Florida 32168
phone: (386) 428-8578
Fax: (386) 428-8879
www.beemats.com

Mail an Beemats, am 05.05.2017:

Dear Steve,
thanks a lot for your reply! 3,500 sq. ft. soundsquite impressive, it would be great to have something like this in Lake Constance!

I would be glad if you could answer me some more questions regarding the Beemats-system:

- What kind of materials are used?
- How durable is the system?
- What maintenance is required?
- Does the system stay outside during winter?
- What kind of substrate do you use?

Best regards,

Lukas

Antwortschreiben Beemats, am 19.05.2017:

Lukas,

Sorry for the delayed response. As an answer to your questions: 1) The mats are closed - cell pva foam, The pots are biodegradable plastic and all of the connectors are nylon, 2) The mats will last 5 -7 years, depending on conditions, 3) harvest and replant at least once a year (if you take the mats out of the water during the winter, you would harvest the plants in the fall and plant new ones in the spring). 4)the plants may be grown in potting soil prior to installation into the aerator pots, or you can use bare root plants with no soil and wrap the roots in coconut fiber.

Large islands are impressive, but they do come with their own set of challenges. Smaller islands (200 - 500 sq. ft.) are easier to handle and can be qui-

te effective and attractive. Good luck with your adventures in academia.

Best regards,

Steve
Beemats LLC

Mailverlauf Aqua Biofilter:
Antwortschreiben Aqua Biofilter, am 02.05.2017:

Dear Lukas

Thank you for the enquiry regarding Lake Constance floating wetlands.

- the AquaBioFilter can withstand 1.5m waves due to its flexible structure that moves with the shape of the wave. Are the 1.5m waves breaking? This impacts design approach. Or are the 1.5m waves just swell?
- the size of our systems is unlimited, it can be as big as necessary. In Asia some projects are larger than several hectares floating wetlands.

Regards,

Tom Duncan

Tom Duncan
General Manager
Ph, 0401 021940
www.aquabiofilter.com

Mailverlauf Frog Environmental (europäischer Vertrieb von Floating Island):
Antwortschreiben Frog Environmental, am 03.05.2017:

Lukas,

Thanks for your email. As EU manufacturer and distributor of BioHaven your enquiry was passed for my attention.

Q1. Yes. The product scales in 3 dimensions, so handling large swell is not a problem. Anchoring is more the limiting factor in these types of conditions and I would suggest this is an important area of focus. In our experience attaching to a fixed pile or pontoon of some kind provide better stability long term then deadweight anchoring.
Q2. The biggest launched so far is several thousand square metres in Lake Rotarua, NZ. In theory the size of the island is not the limiting factor provided anchoring is appropriately designed.

Best regards, good luck with your thesis

Richard Haine
Director
frog environmental
t. +44 (0) 7775 755 802
e. richard@frogenvironmental.co.uk
w. www.frogenvironmental.co.uk

Mailverlauf Biomatrix Water:
Antwortschreiben Biomatrix Water, am 03.05.2017:

Hello Lukas,

Thank you for your e-mail and interest in the application of floating Ecosystems on Lake Constance.

There are certainly areas on the lake which would be suitable for the application of our 4D matrix range of floating ecosystems. (See attached)

The system is strong but also flexible, and rigidity and flexibility can be adjusted across two axis with the stainless steel flange system.

It would be great to do a pilot on the lake, we could offer a discounted rate, if you think you could obtain some funding for a pilot project?
You might like this you tube, testing the strength, https://www.youtube.com/watch?v=nqTrt28Rvn4

With regards to size, you can make an island as large as you wish as the system is modular however its often best to have multiple islands, rather than one large one, if you have a location in mind for a pilot we can assist.

Many Thanks,

Galen,
BIOMATRIX WATER
Ecosystem-Infrastructure
Horizon Scotland, The Enterprise Park
Forres, Moray, Scotland, IV36 2AB
Front Desk: +44(0)1309 678100
www.biomatrixwater.com
solutions@biomatrixwater.com

Mailverlauf Aquatic Engineering:

Antwortschreiben Aquatic Engineering, am 03.05.2017:

I have photos of large waves on our sites. So yes fine. But windward side may need additional protection to avoid plants being washed out.
As large as you want.
It all comes down to:
Plant choice.
Design.
Engineering - anything floating needs to articulate to counteract waves.
Water conditions - nutrient availability. As what would be classified as nutrient rich may not be enough to grow a totally hydroponic system - strong enough to produce vigour for an exposed site as organic build up does not occur on exposed waters.
Growing season - long winters short summers etc

Will respond further
Glyn

Mail an Aquatic Engineering, am 04.05.2017:

Dear Glyn,

thanks a lot for your reply! This sounds interesting. I would be glad if you could answer me some more questions regarding

your floating wetland-system:

- From what materials are the floating wetlands made of?
- How durable is the system?
- What maintenance is required?
- Does the system stay outside during winter?
- What kind of substrate do you use?

Best regards,
Lukas

Antwortmail Aquatic Engineering, am 09.05.2017 (Anmerkung: Antworten wurden in die ursprüngliche Mail geschrieben):

Dear Glyn,
thanks a lot for your reply! This sounds interesting. I would be glad if you could answer me some more questions regarding your floating wetland-system:

- From what materials are the floating wetlands made of? *5mm wire gabions – see PDF and photos. Different internal matrix assist in biological attachment and organic buildup*
- How durable is the system? *extremely*
- What maintenance is required? *Just checking they are structurally sound after each storm. We do not cut down the plants as we want organic buildup*
- Does the system stay outside during winter? *Yes – they are far too heavy to move – the plants would die if they dehydrated*
- What kind of substrate do you use? *We do not* – they are hydroponic

Best regards,
Lukas