

Mitteilungsblatt Nr. 4/2014, Juli 2015
Bulletin no 4/2014, juillet 2015
Bollettino n. 4/2014, luglio 2015

Wellenatlas

Atlas des vagues

Atlas delle onde

**INGENIEURBIOLOGIE
GENIE BIOLOGIQUE
INGEGNERIA NATURALISTICA**

**Mitteilungsblatt für die Mitglieder
des Vereins für Ingenieurbilogie**

Heft Nr. 4/2014, 24. Jahrgang
Erscheint viermal jährlich

Herausgeber:

Verein für Ingenieurbilogie
c/o Zürcher Hochschule für Angewandte
Wissenschaften
Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen
Sekretariat Andrea Grimmer
Grüntal, Postfach, CH-8820 Wädenswil
Tel.: +41 58 934 55 31
E-Mail: sekretariat@ingenieurbilogie.ch

Internet-Adresse:

http://www.ingenieurbilogie.ch

Druck:

Vögel AG, Langnau i. E.

**Verantwortlicher Redaktor/
Rédactrice responsable:**

Christian Rickli
Eidgenössische Forschungsanstalt WSL
Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf
Tel.: +41 44 739 24 03
Fax: +41 44 739 22 15
E-Mail: christian.rickli@wsl.ch

**Redaktionsausschuss/
Comité de rédaction:**

Robert Bänziger
Tel.: +41 44 850 11 81
Fax: +41 44 850 49 83
E-Mail: info@baenziger-ing.ch

Monika La Poutré

Tel.: +43 650 86 15215
E-Mail m.stampfer@gmx.at

Roland Scheibli

Tel.: +41 43 259 27 64
Fax: +41 43 259 51 48
E-Mail: roland.scheibli@bd.zh.ch

Lektorat/Lectorat:

Martin Huber
Tel.: +41 32 671 22 87
Fax: +41 32 671 22 00

Übersetzungen/Traductions:

Rolf T. Studer
E-Mail: rolf.studer@mail.com
Michel Jaeger
E-Mail: mr.mjaeger@gmail.com

Veranstaltungen:

Verein für Ingenieurbilogie
c/o Zürcher Hochschule für Angewandte
Wissenschaften
Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen
Sekretariat Andrea Grimmer
Grüntal, Postfach, CH-8820 Wädenswil
Tel.: +41 58 934 55 31
E-Mail: sekretariat@ingenieurbilogie.ch

**Weitere Exemplare dieses Heftes
können zum Stückpreis von Fr. 15.–
beim Sekretariat bezogen werden.**

Es war einmal am Ufer eines wunderschönen Sees, da stand das Schilf, das litt. Jahr für Jahr hörten die einst so majestätischen Kordeln der Wildnis nicht auf, immer mehr und mehr abzunehmen, bis sie vollständig verschwunden waren. Diese Erkenntnis erschütterte die Herzen der Freunde des Schilfes, die diese Küste besuchten, und sie beschloßen, sich zu vereinen und Massnahmen zu ergreifen, um es zu retten ...

Was sich wie eine Fabel moderner Zeiten anhört, ist eine wahre Geschichte und die Hauptursache der Entstehung des Atlas der Wellen, der in diesem Magazin vorgestellt wird. Bereits im Jahr 1933 gründeten die ersten «Freunde des Schilfs» den Verein Bielerseeschutz (VBS), es war eine Reaktion auf die Bautätigkeiten, die nach und nach das Ufer und seine natürliche Umgebung zerstören. In dieser Überlieferung verfasste Christoph Iseli 1987 das Schilf- und Uferschutzprojekt Bielersee, welches konkrete Massnahmen vorschlägt, um den Rückgang in bestimmten Bereichen des Schilfs zu verhindern, um nur eins dieser Symbole der ökologischen Probleme des Übergangsbereiches zwischen Wasser, Erde und Himmel zu erwähnen, die so reich an biologischer Vielfalt sind. In den 90er-Jahren, wird deutlich, dass die pragmatischen Massnahmen nicht ausreichen, Wissenslücken müssen durch einen wissenschaftlichen Ansatz aufgefüllt werden, um eine systematische Analyse der Parameter, welche die ökologische Qualität dieser empfindlichen natürlichen Umwelt beeinflussen können, durchführen zu können. Hochrangige wissenschaftliche Partner werden gesucht. Das Labor für Wasserbau der EPFL und die BFH des Kantons Bern engagieren sich und verfassen gemeinsam mit dem VBS und anderen kantonalen und nationalen Partnern das Projekt EROSEE, welches von der KTI im Jahr 2001 genehmigt und finanziert wird. Christoph Iseli gewährleistet die gesamte Koordination. Das Projekt endet im Jahr 2005 und er-

möglicht Selim Sayah, sein Doktorat abzuschliessen mit der These: «Efficiency of brushwood fences in shore protection against wind-wave induced erosion», publiziert im 2006.

Im Titel selbst erkennen wir bereits die Wichtigkeit eines besseren Verständnisses der Wirkung des Windes und der Wellen auf die Schutzstrukturen des Ufers; dies veranlasste Sayah, in seiner These eine numerische Modellierungsmethode der Wellen zu entwickeln, welche er mit Erfolg einsetzte, um die Felder der Wellen hinter den Lahnungen (brushwood fences) zu bestimmen in Mörigen im Bielersee. Es brauchte nicht mehr, um auf die Idee zu kommen, einen Atlas der Wellen für alle Schweizer Seen herauszubringen; dabei bietet das BAFU mittels seines Fonds zur Förderung von Umwelttechnologien seine finanzielle Unterstützung, die benötigt wird, um dieses Projekt im Jahr 2007 zu starten. Die berufliche Laufbahn von Herrn Sayah zwingt ihn, mit immer häufigeren Abständen im Ausland zu arbeiten, so wurde Philip Heller als sein Nachfolger gefunden. Er bringt seit 2011 die Kompetenz und Erfahrung des Ingenieurbüros e-dric.ch mit ins Projekt. Mit der Zusammenarbeit seiner Assistentin Azin Amini beenden sie mit Akribie erfolgreich eine titanische Arbeit, welche sowohl Neuheiten einbringt, indem Datenbanken und komplexe Rechnungssysteme wie SWAN und Cosmo2 interpoliert werden, als auch im Darstellen der Wellenstärken durch die neue «Wellenrose». Öffentlich zugängliche Karten im Internet (www.swisslakes.net) krönen im Herbst 2014 dieses Projekt, welches ein wenig länger gedauert hat, als erwartet, dessen Umwege sich jedoch gelohnt haben.

Die Abschlusskonferenz des Projekts am 1. Oktober 2014 in Lausanne ermöglichte noch einmal alle Hauptakteure zusammenzubringen, die sich in einer oder anderer Weise seit den 80er-Jahren mit dieser Thematik auseinandergesetzt haben. Die aussergewöhnliche Qualität der zu diesem Anlass gehaltenen Vorträge motivierte spontan Giovanni De Cesare zum Vorschlag, eine

Titelbild/Frontispice:

Föhnwelle in Buochs Seefeld, Vierwaldstättersee, 10. Juni 2010.
Aufnahme: Markus Bolz, Bolz Umwelt GmbH, Buochs

Sonderausgabe des Hefts Ingenieurbio-
logie herauszugeben, welche alle diese
wissenschaftlichen Vorträge sammeln
würde. Man kann ihm zu dieser Initi-
ative nur gratulieren, und ich möchte
mich bei allen Autoren für ihre Beiträge
bedanken, die zu einem besseren Ver-
ständnis der Wellen und des Windes
beigetragen haben und darüber hinaus
einen kleinen Schritt vorwärts gemacht
haben zum Schutz der Natur und zum
empfindlichen Botschafter, das Schilf,
aufgrund dessen alles begann.

Daniel Zürcher, BAFU

*Il était une fois, au bord d'un joli lac,
des roseaux, qui souffraient. D'année
en année, ces fragiles cordons de na-
ture sauvage, autrefois majestueux, n'en
finissaient pas de mincir, jusqu'à dispa-
raître complètement. Ce constat ébranla
le cœur des Amis des roseaux qui visi-
taient ces berges et ils décidèrent de
s'unir et d'agir pour les sauver...*

Ce qui pourrait se raconter comme une
fable des temps modernes est l'histoire
vraie à l'origine de l'Atlas des vagues
et qui est présenté dans ce magazine.
En 1933 déjà, les premiers «Amis des
roseaux» fondent la Société pour la pro-
tection des rives du lac de Biemme (SPR,
en allemand Verein Bielerseeschutz VBS)
en réaction aux activités de construction
qui détruisent peu à peu les milieux na-
turels riverains. C'est dans cette tradition
que Christoph Iseli rédige en 1987 le
Schilf- und Uferschutzkonzept Bielersee
qui propose des mesures concrètes à
prendre pour combattre notamment la di-
minution des étendues de roselières pour
ne citer que ce symbole des problèmes
écologiques des milieux de transition
entre l'eau, la terre et le ciel, riches en
biodiversité. Dans les années 90, il de-
vient évident que les actions pragma-
tiques ne suffisent plus et qu'il faut com-
bler les lacunes de connaissances par
une démarche scientifique qui permette
une analyse systématique des paramètres
qui influencent la qualité écologique de
ces milieux naturels fragiles. Des par-

*tenaires scientifiques de haut niveau
sont recherchés. Le laboratoire des con-
structions hydrauliques LCH de l'EPFL et
la Haute école spécialisée du canton
de Berne BFH répondent présent et for-
mulent ensemble avec le SPR, et d'autres
partenaires cantonaux et nationaux le
projet EROSEE qui est accepté et financé
par la CTI en 2001. Christoph Iseli en
assure la coordination de bout en bout.
Le projet se termine en 2005 et permet
à Selim Sayah de faire son doctorat
publié en 2006 sous le titre «Efficiency
of brushwood fences in shore protection
against wind-wave induced erosion».*

*Dans ce titre, on perçoit déjà l'importance
de mieux comprendre l'effet du vent et
des vagues sur les structures de protec-
tion des berges, ce qui pousse M. Sayah
à développer dans sa thèse une méthode
de modélisation numérique des vagues
qu'il applique avec succès pour déter-
miner les champs de vagues derrière
les barrages à claire voie (brushwood
fences) à Mörigen dans le lac de Biemme.
Il n'en faut pas plus pour que l'idée d'un
Atlas des vagues pour tous les lacs de
Suisse soit née et l'OFEV apporte, à
travers son fonds pour la promotion des
technologies environnementales, le sou-
tien financier nécessaire pour lancer ce
projet en 2007. La carrière profession-
nelle de M. Sayah l'obligeant à travailler
de plus en plus souvent à l'étranger, un
relais est recherché et trouvé en la per-
sonne de Philippe Heller qui apporte au
projet la compétence et l'expérience du
bureau d'ingénieur e-dric.ch dès 2011.
Avec le concours de sa collaboratrice
Azin Amini, ils mènent à bien avec acri-
bie un travail de titan qui innove à la fois
en interpolant des banques de données
et systèmes de calculs complexes tels
que SWAN et COSMO2 et à la fois
en permettant la visualisation des inten-
sités de vagues par la nouvelle «rose
des vagues». Des cartes accessibles au
public par internet sur le site www.swiss-lakes.net viennent couronner en automne
2014 ce projet qui aura pris un peu
plus de temps que prévu, mais dont les
détours auront valu la peine.*

*La conférence de clôture du projet le
1er octobre 2014 à Lausanne a permis*

*encore une fois de réunir les acteurs
principaux qui se sont engagés d'une
manière ou d'une autre dans cette thé-
matique depuis les années 80. La qualité
exceptionnelle des présentations faites
à cette occasion motivent spontanément
Giovanni De Cesare à proposer qu'un
numéro spécial de la revue du génie bio-
logique soit dédié à réunir ces exposés
scientifiques. On ne peut que le féliciter
pour cette initiative et je tiens à remercier
tous les auteurs pour leurs contributions
qui, au-delà de mieux faire comprendre
les vagues et le vent, font avancer d'un
petit pas la protection de la nature et de
son fragile ambassadeur, le roseau, par
qui tout a commencé.*

Daniel Zürcher, OFEV

*C'era una volta una riva di un bellissimo
lago, dove soffrirono i canneti. Anno
dopo anno, questi cordoni così fragili
della natura selvatica e una volta così
maestosi, non smisero di decrescere
finché scomparissero completamente.
Quella scoperta ha scosso il cuore degli
Amici dei canneti che hanno visitato le
palustre e così hanno deciso di unirsi e
di agire per salvarli ...*

*Quella storia, che potrebbe essere
raccontata come una favola moderna,
è la vera storia e la causa principale
dell'origine dell'Atlante delle onde
(«L'atlas des vagues»). Già nel 1933, i
primi «Amici dei canneti» fonderanno la
Società per la protezione delle rive del
lago di Biemme (SPR, in tedesco: Verein
Bielerseeschutz VBS) che fu una risposta
alle attività d'edilizia che poco a poco
distruggeranno gli ambienti naturali
delle sponde. Fu nell'ambito di questa
tradizione che nel 1987 Christoph Iseli
redigesse il «Schilf- und Uferschutzkon-
zept Bielersee» che proponesse misure
concrete per combattere il declino parti-
colare delle aree di canneti, simboli dei
problemi ecologici delle zone di tran-
sizione tra acqua, terra e cielo, ricche
di biodiversità. Negli anni '90, diven-
tasse chiaro che le azioni pragmatiche
non furono sufficienti e che si dovesse*

colmare le lacune di conoscenza tra un approccio scientifico che consentisse un'analisi sistematica di parametri che influenzano la qualità ecologica di questi ambienti naturali e fragili. Furono ricercati dei partner scientifici di alto livello. Il laboratorio di Costruzioni idrauliche LCH della Scuola politecnica di Losanne così come il Canton Berna SUP si incontrarono e formularono assieme alla SPR, ed altri partner cantonali e federali il progetto EROSEE che fu approvato e finanziato dalla CTI nel 2001. Christoph Iseli gestisse l'intera coordinazione. Il progetto si terminò nel 2005 e permettesse a Selim Sayah di fare la sua tesi di dottorato con il titolo «Efficiency of brushwood fences in shore protection against wind-wave induced erosion», pubblicato nel 2006.

Il titolo stesso ci insegna l'importanza di percepire una migliore comprensione dell'effetto del vento e delle onde sulle strutture di protezione delle rive, e fu proprio il motivo che spinse Sayah a sviluppare nella sua tesi un metodo di modellazione numerica delle onde. L'ha applicato con successo per determinare la densità delle onde dietro le dighe di recinzioni di sottobosco (brushwood fences) a Möriegen sul Lago di Bienne. Non ci vorrebbe molto di più per far sorgere l'idea di un atlante delle onde per tutti i laghi svizzeri, e l'UFAM assicurò, attraverso il suo fondo per la promozione delle tecnologie ambientali, il sostegno finanziario necessario per lanciare questo progetto nel 2007. La carriera di Selim Sayah lo costrinse a lavorare sempre più spesso all'estero, per questo motivo fu sostituito da Filippo Heller, che lui ha potuto integrare al progetto la sua competenza e esperienza fatte nel ufficio d'ingegneria e-dric.ch nel 2011. Con la collaborazione della sua assistente Azin Amini, hanno meticolosamente portato a fine un compito titanico e innovativo interpolando banca dati e sistemi di calcoli complessi, come SWAN e COSMO2, e visualizzando l'intensità delle onde con la nuova «rose des ondes». Le Mappe sono disponibili al pubblico sul sito internet www.swisslakes.net top dall'autunno 2014, questo progetto prendendo un po' più

tempo del previsto. Nonostante ciò, le deviazioni fatte hanno valuto la pena.

La conferenza finale del progetto dell'1 ottobre 2014 a Losanna ha permesso ancora una volta di riunire gli attori principali che si sono impegnati in un modo o nell'altro in questa tematica dagli anni '80. L'eccezionale qualità delle presentazioni fatte in quell'occasione, ha motivato spontaneamente Giovanni De Cesare a proporre che un numero speciale della rivista di bioingegneria sia dedicata a mettere insieme tutte queste presentazioni scientifiche. Si può solo

congratularlo per questa sua iniziativa e voglio ringraziare tutti gli autori per le loro contribuzioni che, al di fuori di aver dato una migliore comprensione delle onde e del vento, hanno permesso di fare un passo avanti verso la protezione della natura e verso il suo ambasciatore fragile, il canneto, che per causa sua tutto ha incominciato.

Daniel Zürcher, UFAM

**IHR
VORTEIL:**

SIFOR®

**natürlicher
Erosionsschutz
aus Jute und Kokos**

**Direktimport
aus dem Ursprungsland**





**Kurzfristige Lieferung dank
grossem Lagerbestand!**

**Fragen Sie uns an -
wir beraten Sie gerne!**





Stationsstrasse 43 · 8906 Bonstetten
Tel. +41 44 701 82 82 · Fax +41 44 701 82 99
www.geonatex.ch · relianz@relianz.ch

Les rives lacustres et le génie biologique

Giovanni De Cesare

Résumé

La Suisse est un pays de lacs avec une longueur totale de leurs rives de plus de 2000 km. Les lacs et rives façonnent le paysage. Les rives lacustres constituent des habitats quasi linéaires définissant la frontière entre espaces terrestres et lacustres, créant par la même occasion des zones tampon très actives. La forte pression démographique a fait perdre à nos rives la majorité de ses espaces naturels. C'est en remblayant les zones à faible profondeur et la construction de murs avancés par des enrochements que les roselières ont disparu pour faire place à des parcs et promenades, immeubles, infrastructure portuaires et autres voies de communication. Les rives lacustres se trouvent aujourd'hui en grande partie dans un état non naturel ou artificiel. Mais plusieurs projets de revitalisation des rives sont à l'étude, en exécution ou ont déjà été réalisés. Un groupe de travail «Rives Lacustres» a été fondé en 2008 au sein de l'association pour le génie biologique afin de soutenir ces projets et fournir des bases scientifiques et pratiques à leur réalisation.

Mots-clés

Rives lacustres, remblayage, diagnostic éco-morphologique, génie biologique, revitalisation

Seeufer und Ingenieurbilogie

Zusammenfassung

Die Schweiz ist ein seenreiches und somit uferreiches Land. Die Gesamtlängere beträgt mehr als 2000 km. Die Seen und Ufer sind gestaltende Elemente der Landschaft. Seeufer stellen langgestreckte Übergangsbereiche zwischen den terrestrischen und aquatischen Lebensräumen dar, welche als aktive Pufferzonen dienen. Der erhebliche Nutzungsdruck liess die natürlichen Seeufer verlorengehen. Weite Flachufer-

bereiche mit Schilfgürteln gingen durch Auffüllungen, Ufermauern und -befestigungen verloren, um Platz zu machen für Promenaden, Bauten, Hafenanlagen oder Verkehrsinfrastrukturen. Die Seeufer befinden sich heute grösstenteils in einem naturfremden oder künstlichen Zustand. Doch es gibt Hoffnung: Zahlreiche Uferrevitalisierungsprojekte sind in Planung, in Ausführung oder schon abgeschlossen. Der Verein für Ingenieurbilogie hat 2008 eine Arbeitsgruppe Seeufer gegründet, um solche Projekte mit wissenschaftlichen und praxisbezogenen Grundlagen zu unterstützen.

Keywords

Seeufer, Auffüllung, ökomorphologische Bewertung, Ingenieurbilogie, Revitalisierung

Le sponde lacustre e l'ingegneria naturalistica

Riassunto

La Svizzera è un paese di laghi, la lunghezza totale delle loro rive supera i 2000 chilometri. Laghi e coste formano il paesaggio. Le sponde lacustri sono ambienti quasi lineari che definiscono il confine tra la terra e la superficie del lago, creando allo stesso tempo una zona cuscinetto molto attiva. L'aumento della pressione demografica ha fatto sparire la maggior parte dei territori naturali delle nostre rive. Il fatto del riempimento delle aree lacustre a bassa profondità e le costruzioni di muri preceduti da rivestimenti in riprap, ha fatto scomparire i canneti per cedere posto a parchi, passeggiate, edifici, infrastrutture portuali e altre vie di comunicazioni. Oggi la più gran parte delle sponde si trova in uno stato non-naturale o artificiale. Bensì diversi progetti di rivitalizzazione delle banche sono in esplorazione, in esecuzione o sono già stati fatti. Nel 2008 è stato fondato un gruppo di lavoro «Rives Lacustres» all'intero dell'associazione dell'ingegneria natu-

ralistica per sostenere questi progetti e per fornire basi scientifiche e pratiche per le loro realizzazioni.

Parole chiave

Sponde lacustri, riempimento, diagnostica eco-morfologica, ingegneria naturalistica, rivitalizzazione

Introduction

«Les paysages suisses, quoique variés, sont reproductibles (reconnaissables) à deux icônes: la montagne et le lac. Artistes et intellectuels ont été fascinés par ces paysages au point d'en faire une étape obligatoire de tout voyage à travers l'Europe. Nombreux sont les témoignages qui illustrent, sous forme de dessins, de peintures, de carnets de voyages ou de journaux, la traversée des Alpes au long des routes suisses» (Ortelli 2012). C'est entre autre les tableaux de William Turner (1775–1851) qui nous montre des images des rives du Léman non spoliées. Mais les changements furent rapides et spectaculaires. Peu de sites riverains échappent à la forte empreinte des phases déterminantes de notre histoire.

Ainsi, les rives de nos lacs sont depuis fort longtemps soumises à une pression humaine avérée. L'eau calme des lacs attire presque naturellement l'être humain, qui en profite par des multiples activités qui se concentrent essentiellement sur les rives, car pas tout le monde ne dispose d'une embarcation pour profiter du large. «L'eau incarne non seulement un besoin vital, mais existe aussi comme voie de circulation, de communication avec d'autres mondes, voire même comme lieu privilégié de l'expression de croyances» (Honegger 2012), on pourra y ajouter des lieux d'établissement et plus moderne encore des espaces de loisir.

«C'est un vieux rêve que de pouvoir se promener librement, accompagné ou solitaire le long des rives du lac Léman» ont écrit les pétitionnaires de

1913, demandant de pouvoir jouir d'un chemin le long des eaux du Léman (VD 2000). Mais l'homme ne se contentait pas de se promener, il agrandissait la terre ferme au détriment de la surface lacustre, bâtissait des immeubles ou aménageait des parcs au bord de l'eau. Fort heureusement pour nos lacs, peu de constructions industrielles, portuaires commerciales ou de productions d'énergie enlaidissent nos rives. Ainsi, l'état de nos rives lacustres n'est pas glorieux d'un point de vue nature. A l'exemple du Léman, selon une esti-

mation de la CIPEL (2006), seules 3% des 200 km de rives du Léman sont encore entièrement naturelles et 23% semi-naturelles. Le reste, donc près des ¾ des rives sont entièrement artificielles avec des murs et enrochements, des quais, ports et voies de communication!

Les lacs et leurs rives façonnent le paysage

Les paysages grandioses que nous observons, portent l'empreinte de l'eau. Les plans d'eau calme contrastent avec leurs environnements vert de nature,

blanc de neige ou gris de rocher. L'exemple du Lavaux, espace exceptionnel de vignoble en terrasses façonné par l'homme est inscrit depuis 2007 au patrimoine mondial de l'UNESCO (Figure 1), mais que serait cet espace sans la surface bleu du Léman.

La conquête des rives lacustres

Les civilisations lacustres ne se limitent pas qu'aux rivages des lacs. On en trouve des traces aux abords de marécages et surtout le long des fleuves et des rivières. En fonction des moyens techniques à disposition, la conquête des rives lacustres était plus ou moins importante. Ce n'est que dès le début de l'industrialisation que l'avancement dans l'espace lacustre a progressé de manière spectaculaire.

Prenons l'exemple du Haut-Lac Léman depuis 1800 à aujourd'hui. Faute de photographie d'antan, un tableau de William Turner à l'appui (Figure 2), on peut apercevoir le bourg de Montreux sur les hauteurs, la Baye de Montreux s'écoulant librement dans un lit large sur son delta. A part le château de Chillon, pratiquement aucune construction n'orne la rive du Léman. Au fond, les Dents du Midi sont visibles, ainsi que la vaste zone du delta du Rhône.

Quel contraste par rapport à aujourd'hui, la ville de Montreux s'est étendue sur tout le delta, la Baye de Montreux a été mis dans un corset étroit bétonné



Figure 1: Le Lavaux, espace de vignoble en terrasses est inscrit depuis 2007 au patrimoine mondial de l'UNESCO (photo Michael Pfister).

Abbildung 1: Lavaux, die Region der Weinterrassen, UNESCO Welterbe seit 2007 (Foto Michael Pfister).



Figure 2: Le Haut-Lac Léman vu depuis les hauteurs de Montreux, avec la Baye de Montreux s'écoulant dans son delta, tableau de William Turner 1810 (source: www.WahooArt.com).

Abbildung 2: Le Haut-Lac Léman (oberer Teil des Sees), Sicht von den Anhöhen oberhalb Montreux, mit der Baye von Montreux, die in ihr Delta fließt, Gemälde von William Turner im Jahr 1810 (Quelle: www.WahooArt.com).



Figure 3: Approximativement la même vue que la Figure 2 prise aujourd'hui, la ville est descendu, a conquis le delta; pratiquement toute la rive est formée des murs ou d'enrochements (source: www.croisiair.ch).

Abbildung 3: Etwa die gleiche Ansicht wie in Figur 2 heute, die Stadt dehnt sich gegen unten aus und erobert das Delta; fast das gesamte Ufer besteht aus Mauern oder Steinschüttung (Quelle: www.croisiair.ch).

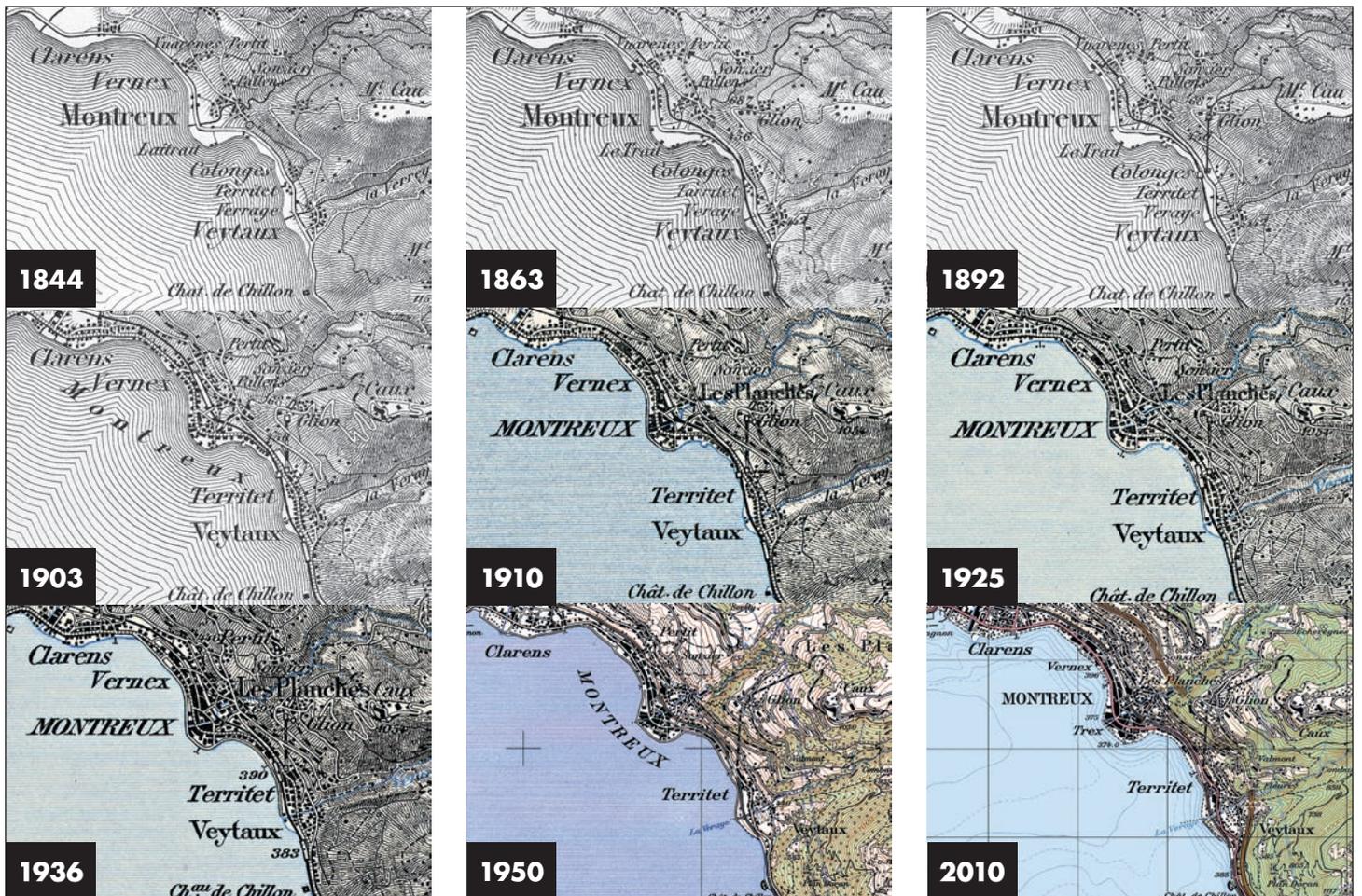


Figure 4: Extraits des cartes nationales suisses, de 1844 (Carte Dufour) à aujourd'hui (reproduit avec l'autorisation de swisstopo JA100120).
Abbildung 4: Auszüge aus Schweizer Landeskarten von 1844 (Dufourkarte) bis heute (mit Bewilligung von swisstopo JA100120).

et pratiquement toute la rive est formée de murs et d'enrochements. L'interface terre-lac est passée d'un espace surfacique avec des variations importantes dans le temps à une ligne fixe, anéantissant par la même occasion pratiquement toute échange. L'accès à l'eau est devenu quasi impossible ou uniquement ponctuel. Cette évolution est très bien visible sur les cartes nationales suisses, disponibles à un degré de précision similaire depuis 1844 (Carte Dufour) à aujourd'hui (Figure 4). La gare de Montreux est inaugurée en 1861, lors de l'arrivée de la ligne du chemin de fer Jura-Simplon. Etablie à 402 m s.m. d'altitude (soit env. 30 m plus haut que le lac), la mise en service de la gare de Montreux ne changea pas encore l'image du delta et de la rive. Le grand bouleversement survenait entre 1892 et 1903, avec la conquête quasi intégrale du delta, son remblayage, la construction de nombreux immeubles et de pro-

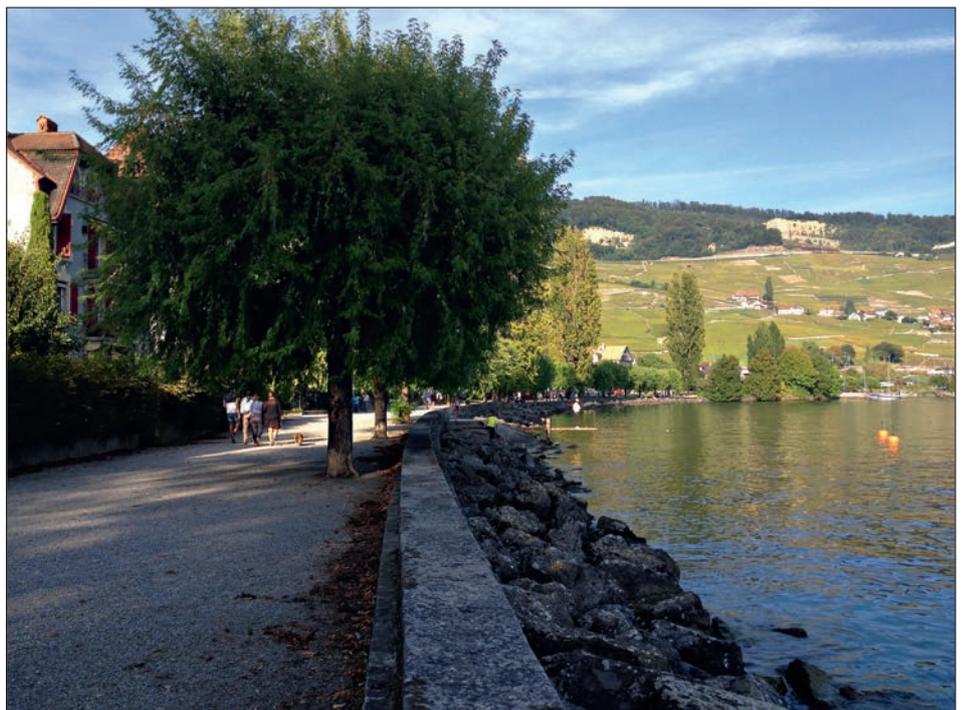


Figure 5. Photo d'une rive-type le long du lac (à Cully VD), la rive est réduite à un mur précédé d'enrochements (photo: Giovanni De Cesare).
Abbildung 5. Foto einer typischen Küste am See entlang (in Cully VD), das Ufer reduziert sich zu einer Mauer, geschützt durch einen Blockwurf (Foto: Giovanni De Cesare).

menades le long de la rive, réduite à un mur précédé d'enrochements, comme c'est le cas pour la plupart des rives en milieu urbain (Figure 5).

La conquête type des rives lacustres s'est fait la plupart du temps en avançant sur les fonds à faible pente vers le lac par remblayage avec construction d'un mur, le plus souvent protégé par des enrochements (Figure 6). L'ampleur de cette conquête est très variable de quelques dizaines à plus de 200 m à l'exemple du lac de Zürich entre 1850 et 1941 (Bänziger 2006, Figure 7). De

cette façon, entre 1800 et 1930, 80% des rives avec roselières ont disparues sous les remblais (ZSL 2006).

Sur le Lac d'Annecy en France, entre 1928 (Le Roux 1928) et 1976, les roselières ont diminué de 180 ha à 16 ha (de Wikipedia, sans citer de source) pour se situer qu'à 10.5 ha en 2007 (SILA 2011), donc une réduction de 94%. Comme SILA (2011) ne cite qu'une surface d'une centaine d'hectares au début du siècle passé, ce chiffre n'est qu'indicatif, mais même la diminution d'environ 90% reste considérable. Il apparaît des sources plus ré-

buent à l'amélioration de la qualité de l'eau en retenant certains composés. De plus, elles représentent un riche espace de biodiversité abritant un grand nombre d'espèce. Leur rôle paysager est également important sur la perception des rives et du lac.

Etat des rives lacustres

Avant de pouvoir établir un état des rives lacustres, une méthodologie de diagnostic des rives lacustres qui marquent la transition entre le milieu terrestre et le milieu aquatique devrait être définie. Mais leur définition spatiale reste difficile: où commence la rive? Comment la définir clairement? Pour répondre à ces questions, des approches méthodologiques ont été développées pour l'établissement d'un diagnostic éco-morphologique des rives lacustres (voir p.ex. Hugonin et Boillat 2005). Avant d'entrer dans les détails, on peut déjà constater que l'état actuel des rives lacustres en Suisse est globalement médiocre par rapport à un état naturel.

A l'exemple du Lac des Quatre Cantons (Teiber-Siessegger 2010, Figure 9), on peut décompter 23.5% de rives naturelles, proches de naturelles ou peu atteintes. Une caractéristique de ce lac est la grande proportion de rives rocheuses très raides qui s'élève à 45%.

Un résultat similaire existe au Lac Léman (CIPEL 2006, Figure 10), où seulement 3% des 200 km de ses rives sont encore entièrement naturelles, essentiellement le delta du Rhône et la réserve naturelle du delta de la Dranse; 23% sont



Figure 6: Schéma de la conquête type des rives lacustres, la plupart du temps en avançant sur le fond à faible pente vers le lac par remblayage avec construction d'un mur et/ou pose d'enrochements (tiré de ZSL 2006).

Abbildung 6: Schematische Darstellung der Landgewinnung der Seeufer, meist durch Aufschüttung des zum See flach abfallenden Bodens, Errichtung einer Mauer und/oder Blockwurf (aus ZSL 2006).

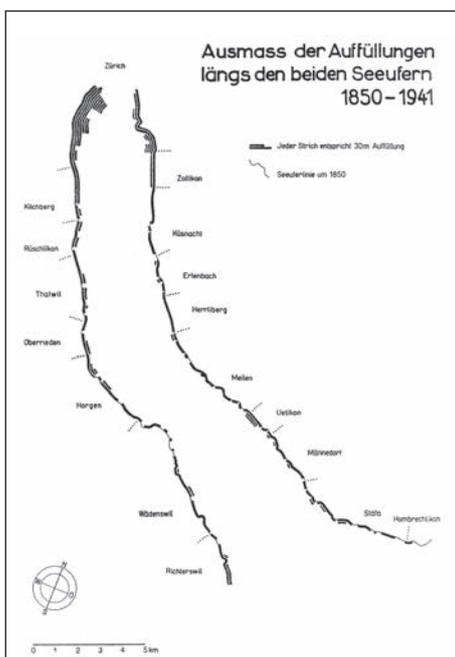


Figure 7: Ampleur des remblayages à l'exemple du lac de Zürich entre 1850 et 1941 (Bänziger 2006).

Abbildung 7: Ausmass der Aufschüttung am Beispiel des Zürichsees zwischen 1850 und 1941 (Bänziger 2006).

centes et potentiellement plus sûres, que la superficie des roselières aquatiques a fortement diminué principalement entre la fin des années 1950 et le début des années 1980 (Figure 8). Les roselières aquatiques jouent un rôle fondamental sur l'état de santé d'un lac. Elles contri-

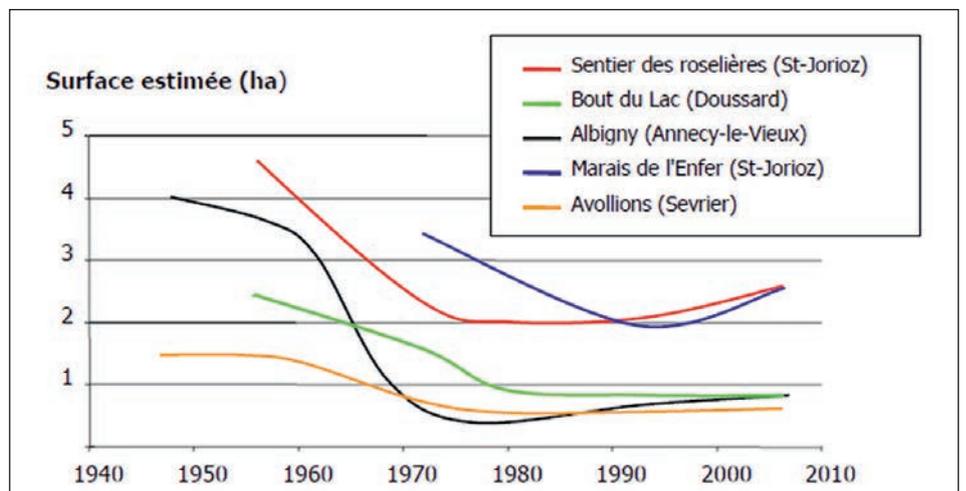


Figure 8: Diminution des surfaces des principales roselières du lac d'Annecy estimées à partir des photographies aériennes (SILA 2011).

Abbildung 8: Reduzierung der Schilffläche am See von Annecy. Bewertet aus Luftbildern (SILA 2011).

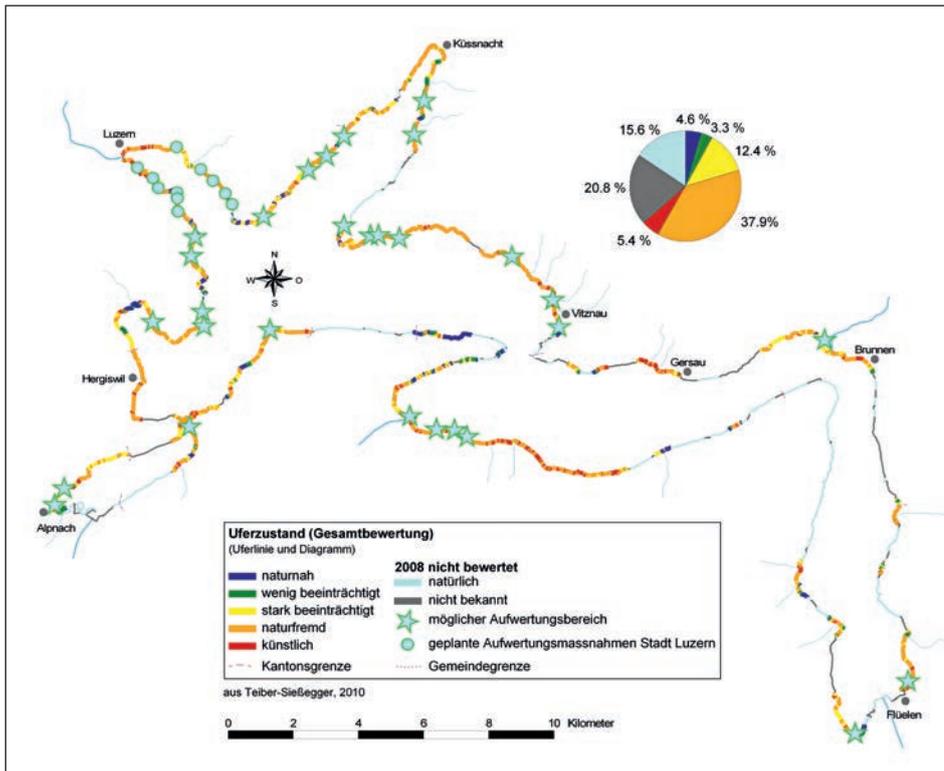


Figure 9: Carte de l'état des rives du Lac des Quatre-Cantons et indication de onze zones de revitalisation identifiées dans la Baie de Lucerne (geplante Aufwertungsmaßnahmen Stadt Luzern de Teiber-Siessegger 2010).

Abbildung 9: Karte des Seeuferzustandes am Vierwaldstättersee und Angaben der elf revitalisierten Gebiete, die in der Bucht von Luzern identifiziert worden sind (geplante Aufwertungsmaßnahmen Stadt Luzern, Teiber-Siessegger 2010).

semi-naturelles. Dans le cas du Lac de Biemme, honorablement 51% des rives se trouvent à l'état naturel ou semi-naturel, dont 63% sont des rives avec roselières (Figure 10). Sur le même lac, en milieu urbain, environ 90% sont entièrement artificielles, et sur le périmètre entier, 28% sont en mains privées.

Les rives du lac de Zürich ne sont qu'à 6% à l'état naturel ou proche de naturel et 50% fortement atteints; 60% se

trouvent en mains privées et 75% sont urbanisées (ZSL 2006).

Des cartes d'inventaire et une bonne connaissance des lieux permettent d'identifier des zones d'amélioration potentielle, le plus souvent et fort malheureusement relativement locale, mais néanmoins indispensable. Ainsi onze zones ont pu être identifiées à l'intérieur du bassin lacustre de la ville de Lucerne, dont les rives sont en général très atteintes (stark be-

einträchtig), non naturelles (naturfremd) voire artificielles (künstlich).

Pour son assemblée 2012, l'association du génie biologique a édité un cahier dédié en grande partie au lac de Zoug et les multiples projets de restauration de ses rives (Ingenieurbiologie 1/2012). Même en se focalisant essentiellement sur la qualité de l'eau, d'avantages d'information sur l'état des rives des lacs Suisses peuvent être trouvées dans Liechti (1994).

Potentiel de revitalisation pour les rives

Un potentiel de revitalisation certain existe pour tous les lacs suisses. Dans la plupart des cas que très localement, mais plusieurs projets à l'étude montrent une envergure croissante des zones de revitalisation. Le plan d'action 2001–2010 de la CIPEL (2006) pour le Lac Léman, intitulé «Pour que vivent le Léman et ses rivières» avait entre autres objectifs celui de maintenir ou rétablir les fonctions écologiques des rives lacustres en garantissant une bonne diversité et qualité du milieu physique (rives naturelles et diversifiées, végétation terrestre et aquatique, interconnexion des différents hydrosystèmes) et une protection des zones naturelles particulièrement importantes. On peut citer ici les deltas de cours d'eau se jetant dans des lacs Suisses dont certains ont été revitalisés ces dernières années, entre autres:

Les Bolle di Magadino, situé à l'embouchure du Tessin et de la Verzasca dans le Lac Majeur (www.bolledimagadino.com). Ce delta a été revitalisé

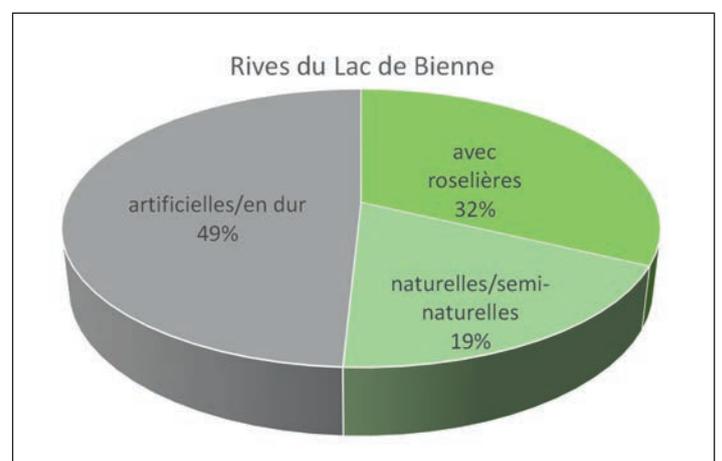
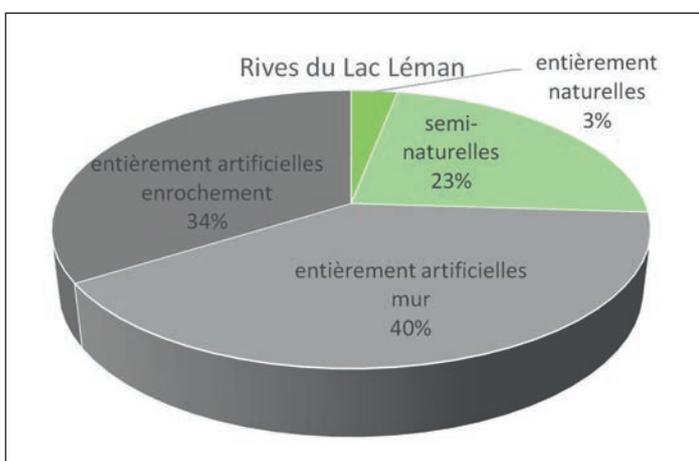


Figure 10: Statistiques de l'état actuel des rives: à gauche du Lac Léman (données de CIPEL 2006) et à droite du Lac de Biemme (données de Iseli 2014).
Abbildung 10: Statistik über den aktuellen Stand der Ufer: links Genferseeufer (Daten CIPEL 2006) und rechts Bielerseeufer (Daten Iseli 2014).

il y a quelques années. Les travaux sur la zone proche du lac se sont achevés en 2008. Ces travaux ont été honorés par le Prix suisse des cours d'eau 2011 (www.gewaesserpreis.ch, *Ingenieurbiologie* 1/2011).

Le delta de la Reuss a été revitalisé en plusieurs étapes dès 1988 (www.reussdelta.ch, Wüthrich et al. 2011). La situation de départ était un canal rectiligne et une exploitation intensive des sédiments, ne permettant aucune dynamique de transport solide et ainsi de morphologie. La création des plusieurs bras et îles artificielles qui nous rappellent des atolls marins sur fond d'eau turquoise a couronné les travaux. Le site est désormais appelé «la Camargue uranaise». Ces travaux ont reçu en 2001 le prix «Deutscher Landschafts-Architektur-Preis» ainsi que le prix SIA «Umsicht – regards – sguardi» 2006/2007.

Le projet de redynamisation et revitalisation du delta du Rhône à l'embouchure dans le Lac Léman est à l'étude actuellement (SCZA, 2012).

Sur le Lac d'Annecy, un ambitieux programme de restauration des roselières aquatiques et de la zone littorale du lac a été défini, s'appuyant sur les différentes techniques de génie biologique (SILA 2011).

Dans le cas du Lac de Zoug, depuis 1997 un groupe de travail cantonal «Protection des roselières» s'occupe de la problématique et met en œuvre des mesures d'aménagement telles que les remblayages des zones d'eau peu profonde (ce qui paraît à première vue contradictoire!) pour recréer des roselières, les clôtures de protection dans le lac et les plantations extensives de roseaux (*Ingenieurbiologie* 1/2012). Les études portant sur le potentiel de revitalisation des rives du lac de Zürich (ZSL 2006) ont montré qu'il existe une obligation légale de protection et de ce fait un fort potentiel sur 2.7% des rives seulement. Une rive en mains privées est selon cette étude un obstacle majeur à sa revitalisation. Dans ce cas, ce n'est que l'initiative du propriétaire qui peut changer en principe la donne.

Les travaux envisagés dans le Lac Léman autour de la rade de Genève sont illustrés dans l'article de Frank Pidoux

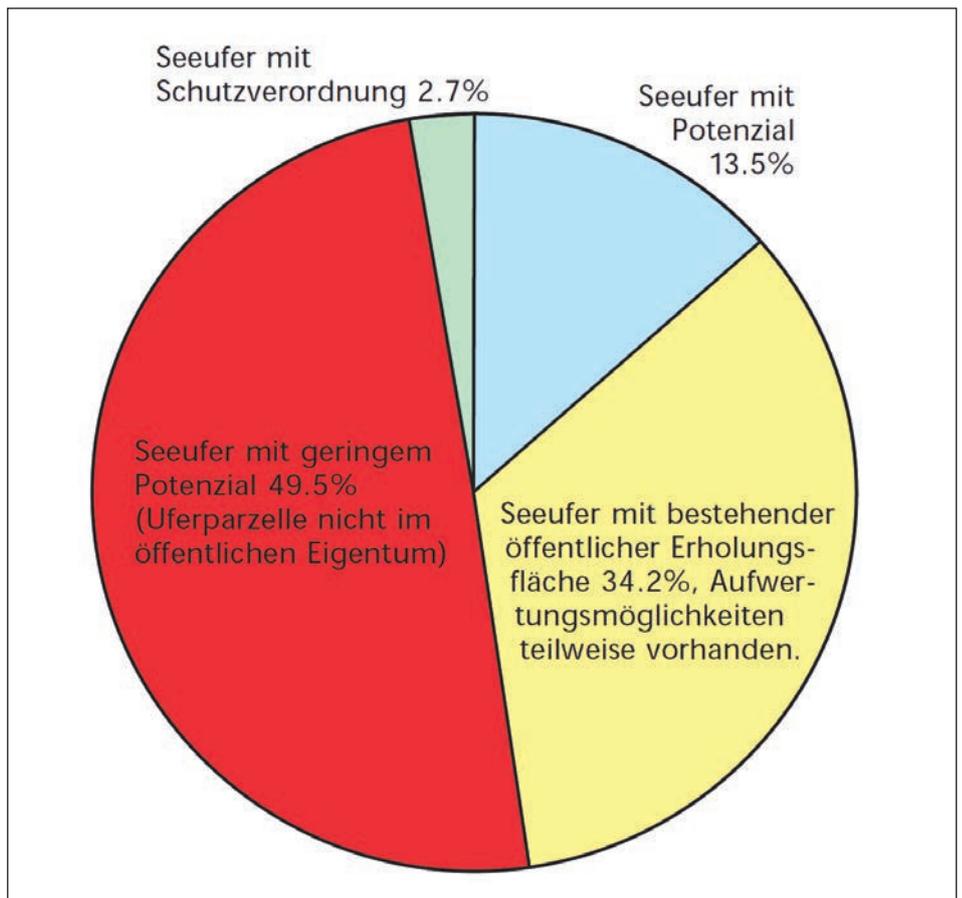


Figure 11: Potentiel de renaturation pour les rives du Lac de Zürich, l'essentiel des rives considérées avec peu de potentiel se trouve en mains privées (ZSL 2006).

Abbildung 11: Potenzial für die Renaturierung des Zürichseeufers, die meisten Ufer mit geringem Potenzial zur Renaturierung befinden sich in Privatbesitz (ZSL 2006).

dans ce même journal. Pour conclure cet aperçu qui n'est de loin pas exhaustif, on peut remarquer qu'après un siècle de remblayage des rives, beaucoup de cas de revitalisation de rives passe à nouveau par du remblayage pour créer des espaces rives lacustres plus authentiques, naturel et attractive pour la flore, faune et l'homme. Un certain dynamisme de la nouvelle interface terre-lac est ainsi souhaité (voir à ce sujet l'article

d'Andreas Huber dans ce même journal). L'acquis reconnu de terre par nos ancêtres reste ainsi préservé permettant de conserver son patrimoine et infrastructures construites telles que promenades, routes, ou autre voies de circulation.

Groupe de travail «Rives lacustres»

Le groupe de travail «Rives lacustres» (Arbeitsgruppe Seeufer AGS) a



Figure 12. Logo du groupe de travail «Rives lacustres» de l'association pour le génie biologique. *Abbildung 12. Logo der Arbeitsgruppe «Seeufer», Verein für Ingenieurbiologie.*

été fondé en 2008 et fait partie de l'association pour le génie biologique (VIB). Il se compose de représentants d'administrations (communes, cantons, confédération), d'instituts de recherche suisses, d'HES/Uni et EPF, de bureaux d'ingénieurs et de planificateurs, d'entreprises de construction et de différents groupes d'intérêt. Christophe Iseli est l'actuel président, secondé par l'auteur de cet article.

Les buts de l'AGS sont le maintien et la revalorisation des rives des lacs suisses, leur utilisation douce et adaptée, leur protection et développement. Ils peuvent être résumés comme suit:

- promotion de mesures adaptées et écologiques pour la protection durable des rives naturelles et la revitalisation des rives lacustres exploitées en mettant en œuvre des moyens et outils appropriés et respectueux de l'environnement (méthodes du génie biologique)
- promotion d'une biocénose littorale équilibrée, et de la qualité et de la connectivité des habitats naturels qui la composent
- promotion d'échanges d'expériences et de savoir ainsi que soutien à la recherche et au développement appliqué orienté vers la pratique
- élaboration de directives pour l'utilisation, l'aménagement et l'entretien des rives lacustres
- coopération en matière de régulation du niveau des lacs (optimisation de la protection contre les crues, promotion de l'habitat naturel)

L'AGS s'adresse en premier lieu aux groupes cibles suivantes, entre autres:

- des organismes publics au niveau communal, cantonal et de la confédération, ainsi que les commissions internationales pour la protection des eaux des lacs transfrontaliers chargées de la protection de rives
- des établissements universitaires et polytechniques, écoles techniques et instituts de recherche
- la société suisse des ingénieurs et architectes SIA, l'association suisse pour l'aménagement des eaux SWV, l'association suisse des professionnels de la route et des transports VSS

- des inspections et fédérations de pêche
- des bureaux d'ingénieurs et de planificateurs, ainsi que des entreprises de construction
- des divers utilisateurs, publics ou privés, directs ou indirects, des rives lacustres, tels qu'exploitants agricoles, propriétaires privés, gérants de campings, offices de tourisme, compagnies de navigation, etc.

Les activités de l'AGS comprennent l'établissement de directives pour la protection et l'exploitation des rives lacustres, la mise en œuvre et l'accompagnement de projets, des fonctions de conseils, l'attribution du prix pour les projets exemplaires d'utilisation ou de protection de rives lacustres, la publication d'articles dans les revues spécialisées, l'organisation de conférences ainsi que la sensibilisation de l'opinion publique.

Conclusions

La Suisse est un pays de lacs, on dénombre 71 lacs naturels d'une surface supérieure à 0.1 km². La longueur de leurs rives atteint environ 2070 km (Ostendorp 2009). Ces lacs et rives forment le paysage. La Suisse, dépourvue de grandes plaines, trouve ses grands espaces non-habités dans ses lacs. Les rives lacustres forment des habitats souvent étroits, pourtant très allongés marquant la limite entre les espaces de vie terrestres et lacustres. Elles forment un cordon de biodiversité, servant de zone tampon protégeant aussi bien l'espace lacustre de la pression venant des terres que la terre des sollicitations lacustres. La pression démographique majeure a entraîné la perte conséquente de ces espaces, par comblement des zones à faibles profondeurs et la construction de murs et de jetées en enrochements. Ainsi nos rives lacustres se trouvent en majeure partie dans un état artificiel, où une revitalisation est souvent difficilement imaginable ou formellement jugée impossible. Malgré cette opposition explicite, à l'heure actuelle, plusieurs projets de réaménagement des rives, en milieu urbain comme sur des zones en dehors des villes, sont à l'étude, en exécution ou ont déjà été accomplis. Pour accompagner ces projets et fournir des bases scientifiques et pratiques, un

groupe de travail «Rives Lacustres» a été fondé en 2008, faisant partie de l'association pour le génie biologique.

Remerciements

Je tiens à remercier les membres du groupe rives lacustre pour m'avoir fourni de l'information précieuse, qui m'a permis de présenter le thème lors du colloque et finalement d'écrire cet article.

Adresse de contact de l'auteur

Dr Giovanni De Cesare
Président de l'association pour le génie biologique
Chercheur senior et chargé de cours à l'EPFL
EPFL-ENAC-LCH
Station 18
1015 Lausanne, Suisse
giovanni.decesare@epfl.ch

Littérature

- Bänziger, R. (2006). Zürichsee Vision 2050 – Eine Vorarbeit für die künftige Gestaltung des Zürichsees, Wasser Energie Luft, Heft 2/2006
- Canton de Vaud (2000). Plan directeur cantonal des rives vaudoises du lac Léman, Canton de Vaud, Département des Infrastructures, département de la sécurité et de l'environnement, Lausanne
- CIPEL (2006). Synthèse de l'étude des rives du Léman et de leur potentiel de renaturation, www.cipel.org
- EPFL-LCH (2006). Symposium érosion et protection des rives lacustres, bases de dimensionnement des mesures de protection des rives lacustres, Communication du LCH N° 27
- Honegger, M. (2012). L'homme au bord de l'eau: archéologie des zones littorales du Néolithique à la Protohistoire, actes du 135e Congrès national des sociétés historiques et scientifiques du CTHS «Paysages», 6–11 avril 2010, Neuchâtel
- Hugonin, P. et Boillat, J-L. (2005). Diagnostic éco-morphologique des rives lacustres, Ingénieurbiologie/génie biologique, Heft 3/4, p. 40–43
- Ingénieurbiologie (1/2011). Ticino: «Chiare, fresche e dolci acque» – Gewässerpreis Schweiz 2011, Prix suisse des cours d'eau 2011, Premio svizzero

corsi d'acqua 2011, Ingenieurbiologie/génie biologie, Heft 1/2011, ISSN 1422-0008

Ingenieurbiologie (1/2012). *Wasserbau und Schilfschutz im Kanton Zug – Aménagement hydraulique et protection des roseaux dans le canton de Zoug – Sistemazione dei corsi d'acqua e protezione dei canneti nel Canton Zugo*, Ingenieurbiologie/génie biologie, Heft 1/2012, ISSN 1422-0008

Iseli, Ch. (2012). *Verbaute Seeufer aufwerten*, Bau-, Umwelt- und Wirtschaftsdepartement – Kanton Luzern https://rawi.lu.ch/down_loads/down_loads_bew

Iseli, Ch. (2014). *Datensatz zu Uferlängen und Verbaungsgrad am Bielersee*, persönliche Mitteilung

Iseli, Ch. et Schleiss, A. (2006). *Erosionsprozesse und Uferstabilität an Seeufern – Resultate und Umfeld des Forschungsprojekts EROSEE*, Wasser Energie Luft, Heft 4/2006 (<http://www.erosee.org>)

Lamy, M. (1995). *L'eau de la nature et des hommes*, Presses Univ. de Bordeaux

Le Roux, M. (1928). *Recherches biologiques dans les Grands Lacs de Savoie. Lacs du Bourget et Annecy*, éditeur: Impr. de Abry, Annecy

Liechti, P. (1994). *Der Zustand der Seen in der Schweiz*, Schriftenreihe Umwelt Nr. 237, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Abteilung Gewässerschutz und Fischerei, Bern

Ortelli, L. (2012). *Paysan et ingénierresque – Notes sur le paysage suisse*, tiré de l'exposition «The swiss touch in landscape architecture», Pro Helvetia, Fondation suisse pour la culture

Ostendorp, W. (2009). *Seeuferrenaturierung*, Forschungsbericht, 97 S. Limnologisches Institut der Univ. Konstanz u. AGBU e.V.

SCZA (2011). *Delta du Rhône – Etude de faisabilité Revitalisation*, Rapport du Service Conseil Zones Alluviales, Yverdon-les-Bains, pour le Service des eaux, sols et assainissement (SESA) du Canton de Vaud

SILA (2011). *Programme de restauration des roselières lacustres et des habitats littoraux du lac d'Annecy*, Notice

explicative du SILA – syndicat mixte du lac d'Annecy, www.sila.fr

Teiber-Siessegger, P. (2010). *Seeuferbewertung Vierwaldstättersee 2008*, Aufsichtskommission Vierwaldstättersee, www.4waldstaettersee.ch

Wüthrich, U., Brücker, W. und Hauser, R. (2011). *Das Urner Reussdelta*, Arbeitsgruppe Reussmündung, Bericht Vol 25. der Naturforschenden Gesellschaft Uri, Altdorf, ISBN: 978-3-906130-72-9

ZSL (2006). *ZüriSee – Uferleben – Leben am Ufer. Grundlagen, Folgerungen und Massnahmen zur nachhaltigen Aufwertung*, Zürichsee Landschaftsschutz, www.zuerichsee-landschaft.ch



HOWOLIS



Q - Faschinen

Renaturieren mit Schweizer Holz.

Q - Fascines

Renaturer avec du bois suisse.

produziert von | produit par :



Lindner Suisse GmbH | Bleikenstrasse 98 | CH-9630 Wattwil
Phone +41 (0) 71 987 61 51 | Fax +41 (0) 71 987 61 59
holzwohle@lindner.ch | www.lindner.ch

Genève-Lac 2000–2030: Synthèse de l'étude préliminaire de localisation des futurs aménagements des rives du lac sur le Canton de Genève

Franck Pidoux

Resumé

Suite à la prise de position du Conseil d'Etat du 28 août 2013, les services du Canton de Genève ont reçu la mission d'organiser l'aménagement des rives du lac. La voie conseillée pour le traitement de ce dossier consiste à adopter des outils de planification adéquats, pour permettre le développement et la concrétisation de projets d'aménagement et de renaturation. Cette note a pour but de présenter la démarche de l'étude préliminaire de localisation des aménagements lacustres, première étape pour un réaménagement cohérent des rives lacustres de maintenant à 2030.

Mots-clés

Genève-Lac 2000–2030, planification, naturalisation

Genf-Seebucht 2000–2030: Zusammenfassung der Vorstudie der Lokalisierung der zukünftigen Entwicklung des Genferseeufers Kanton Genf

Zusammenfassung

Nach der Stellungnahme des Regierungsrates vom 28. August 2013 erhielten die Behörden des Kantons Genf den Auftrag, die Raumplanung des Seeufers zu organisieren. Der empfohlene Weg, dieses Problem zu behandeln, ist, adäquate Planungsinstrumente anzuwenden, um die Entwicklung und die Umsetzung von Entwicklungsprojekten und die Renaturierung zu ermöglichen. Dieses Skript hat zum Ziel, die Vorgehensweisen der Vorstudie der Lokalisierung der Seeufer-Einrichtungen vorzustellen, ein erster Schritt, um eine kohärente Neuordnung der Seeufer von heute bis 2030 zu schaffen.

Keywords

Genf-Seebucht 2000–2030, Planung, Renaturierung

Ginevra-Lago 2000–2030: Sintesi dello studio preliminare della localizzazione dello sviluppo futuro, sulle rive del Lago Lemano

Riassunto

In seguito alla presa di posizione del Consiglio di Stato del 28 agosto 2013, l'Ufficio del Cantone di Ginevra ha ricevuto la missione di organizzare l'impiantri della riva del lago. Il metodo raccomandato per il trattamento di questo problema è di adottare adeguati strumenti di pianificazione per lo sviluppo e l'attuazione di progetti di sviluppo e di naturalizzazione. Questa nota ha lo scopo di presentare la procedura dello studio preliminare di localizzazione degli impianti lacustre, sarebbe il primo passo per una riorganizzazione coerente delle rive lacustre da oggi in poi fino al 2030.

Parole chiave

Ginevra-Lago 2000–2030, pianificazione, naturalizzazione

1. Une volonté politique claire

Le Conseil d'Etat, par l'intermédiaire de sa communication d'août 2013, a chargé ses services d'étudier la ou les localisation(s) possible(s) des installations à envisager pour satisfaire les besoins d'accès de la population au lac et d'espaces de baignade en centre-ville, en places d'amarrage pour les bateaux de loisir et, cas échéant, les professionnels du lac et de dégagement des quais de la petite Rade.

Concernant les accès à l'eau du centre-ville, le Conseil d'Etat a précisé

également que ce nouvel aménagement devra être baigné par une eau d'excellente qualité, facilement accessible, confortable et adapté à un large public (population importante avec toutes les catégories de personnes [enfants, seniors, ...]).

La détermination des sites optimaux se fera grâce à l'étude de variantes de localisation, puis de macromorphologie des installations à prévoir sur les sites recommandés. Dans cette étude, les remblais devront être considérés comme un inconvénient majeur. Ce document présente la synthèse de cette étude et de ses recommandations.

2. Définition des besoins

2.1 Accès à l'eau

La population genevoise, par l'intermédiaire de pétitions et d'articles, demande une amélioration de l'offre en terme d'accès à l'eau. A défaut d'enquêtes qualitatives et quantitatives sur la satisfaction des accès au lac existants, une étude comparative portant sur différentes communes autour du lac Léman a été entreprise, comparant leur population et leurs m² et ml d'espace de baignade lacustre. Les résultats sont très clairs: Genève est très mal pourvu en aménagements pour la baignade lacustre dans l'hyper-centre.

Ainsi, il manquerait à Genève, pour atteindre les ratios (m²/hab. et ml/hab.) les plus faibles des offres étudiées, près de 20 ha d'espace de baignade et 2000 ml de rives accessibles et aménagées.

Ces chiffres ne doivent pas être considérés comme une norme, mais plutôt comme une référence vers laquelle l'offre doit tendre.

Cette étude comparative avec d'autres sites lémaniques a permis également de définir le gabarit d'un site permettant l'accueil d'un large public («dimension cantonale») soit un site de 350 à 600 ml d'accès à l'eau avec un parc d'une profondeur comprise entre 60 et 100 mètres.

2.2 Navigation de loisirs

Pour estimer les besoins en place d'amarrages, les places en conflit avec la circulation et la sécurité liées à la navigation professionnelle (Les Mouettes (M1, M2, M3), la CGN, Swissboat, etc.) et nécessitant une relocalisation, la somme des listes d'attente de places d'amarrage existantes sur le canton et les bateaux actuellement stockés à terre sur le Quai Marchand, obstruant la promenade, ont été additionnés et évalués avec l'aide de la Capitainerie cantonale. Ainsi le besoin estimé (en nouvelles places et relocalisation de places existantes) s'élève à 1 160 places à l'eau et de 250 places à terre (essentiellement des dériveurs).

2.3 Activités professionnelles (de l'hypercentre) liées au lac

Pour les principales activités, les besoins actuels sont les suivants:

- Les entreprises «génie civil» (Rampini, Perret, Implenia): emplacements pour vestiaire employés, 600 à 800 m² pour la petite batellerie, et le matériel à terre, 80 m d'estacade, places de parking.
- L'entreprise lacustre Caudrey: hangar de construction, vestiaire et bureau (min. 100 m²); 30 ml d'estacade, places de parking.
- Le chantier naval Swissboat: min. 100 m², 30 ml d'estacade, places de parking.
- Les cabanes de pêcheurs: min. 500 m² et 6 à 8 places d'amarrages, 6 à 8 places de parking.

2.4 Renaturation des rives du lac

Ce volet vient compléter cette étude. En effet, avec seulement 3% de berges naturelles, les rives genevoises doivent faire l'objet d'un programme ambitieux de renaturation.

Actuellement, les grandes embouchures (Versoix, Hermance) ont été renaturées et plusieurs autres renaturations plus modestes sont en cours de réalisation (Nant de Braille, Nant d'Aisy).

Dans cette dynamique, le canton doit poursuivre ce travail de renaturation sur les rives pour revitaliser la zone littorale. Il s'agit d'améliorer l'interface eau-terre existante et de diversifier les milieux naturels (roselières, etc.).

3. Les critères déterminants, l'évaluation multicritères et les résultats

3.1 Accès à l'eau

Les critères déterminants représentent les critères minimaux à remplir pour qu'un site potentiel répondant aux besoins puisse être retenu pour une étude plus détaillée. Ils sont issus de la commande politique, à savoir: site avec une bonne qualité d'eau pour la baignade, proche du centre et accessible de manière universelle (enfants, seniors, PMR), confortable et adapté à un large public (notion de «dimension cantonale»). Les aménagements projetés doivent également conserver les fonctionnalités existantes (routes, pistes cyclables, promenades, lignes de navigation).

Concernant les accès à l'eau, ces critères déterminants sont les suivants:

- Qualité de l'eau: renouvellement de l'eau au minimum en 12 h.
- Sécurité du plan d'eau: vitesse d'écoulement inférieure à 6–8 cm/s + aucun conflit avec les lignes de navigation (Mouettes, CGN).
- Accessibilité: accès en moins de 20 min à pied depuis l'hypercentre.

Suite à l'application des limites spatiales relatives aux **critères «sécurité» et «accessibilité»**, quatre localisations ont été mises en évidence: La Perle du Lac, le Quai Wilson, le Quai Gustave-Ador et le Quai de Cologny.

Les 4 localisations retenues ont fait l'objet de variantes macromorphologiques permettant d'illustrer des options **d'aménagement sans remblais** par excavation de la rive existante, avec **un remblai minimum** par l'implantation d'une grève naturelle en emprise sur le lac depuis la rive, et avec un **remblai adapté** afin de satisfaire aux objectifs du Conseil d'Etat.

Une étude hydraulique a alors été menée sur toutes ces variantes sur les 4 sites retenus pour étudier précisément **le critère qualité de l'eau** (vitesse et renouvellement de l'eau). Elle a permis de préciser les géométries possibles de ces aménagements. Suite à cette étude, le Quai de Cologny s'est révélé non pertinent pour l'accueil d'un large public du fait de son faible renouvellement sur le linéaire considéré. Son fort potentiel de renaturation devra par contre être

mis en valeur, il peut se voir compléter par des accès ponctuels à l'eau.

Il faut noter que les variantes étudiées à ce stade, ont pris l'option d'une interface terre-eau de type grève naturelle. En effet, il a été démontré que la grève naturelle était l'interface (rivage) la plus intéressante pour un accès au lac adapté à un large public.

A cette étape de l'analyse, plusieurs variantes sur les 3 sites de Gustave Ador, Wilson et Perle du Lac répondent aux critères déterminants d'accessibilité, de sécurité et de qualité. **Avec l'ensemble des 3 sites majeurs retenus, soit Quai Gustave-Ador, Quai Wilson et Perle du Lac, les besoins estimés (20 ha et 2000 ml d'espaces de baignade et d'accès au lac) ne sont pas entièrement satisfaits.**

En effet, même avec les variantes d'aménagements les plus conséquentes étudiées en matière d'offre d'espace public, la somme du linéaire créé d'environ 1400 ml ne couvrira que 70% des besoins et la nouvelle surface de zone de détente liée à la baignade d'environ 11 hectares seulement 55% des besoins. La réalisation de ces 3 interventions peut se révéler nécessaire dans le futur dans la perspective d'un accroissement important de la population urbaine.

La nécessité de limiter au maximum les remblais impose de poursuivre l'analyse précédente pour répondre «à minima» à la volonté du CE, même si ce choix doit encore réduire l'offre.

Pour rappel, il faut au moins un site permettant d'accueillir un large public (350 à 600 m de longueur de rive, 60 à 100 m de largeur) accessible à toutes les catégories de la population (enfants, seniors) et confortable (bon ensoleillement, accès à l'eau facile).

L'interdiction de principe de procéder à des remblais dans le milieu lacustre demande d'étudier toutes les solutions techniques permettant d'atteindre cet objectif. Ainsi, 2 solutions techniques se présentent pour résoudre ce problème: un vaste système de ponton/platelage ou une excavation de la rive existante.

Suite à l'analyse sur les différents types d'accès à l'eau, il est démontré que le système du ponton ne répond pas à la

demande politique. Ce dispositif, sur une vaste surface (plusieurs dizaines de milliers de m²!), entraîne entre autres des problèmes pour le développement des plantes aquatiques (manque de soleil), pour l'entretien d'un tel dispositif, pour les accès à l'eau utilisables par un large public (enfants, seniors), et pour la sécurité des utilisateurs (chute, passage sous les pontons). **Le système ponton doit donc être écarté pour un aménagement convenant à un large public, mais présente un intérêt pour des aménagements secondaires/complémentaires.**

Considérant l'excavation comme variante, seul le site de la Perle du Lac permettrait théoriquement de s'y prêter. En effet, sur le Quai Wilson et le Quai Gustave-Ador, la qualité de l'eau ne serait pas satisfaisante ou les fonctionnalités existantes ne pourraient plus être conservées si l'on reculait la ligne de rive actuelle et y implantait une grève naturelle. L'analyse des conséquences de l'excavation du parc de la Perle du Lac présentée dans le rapport montre l'impossibilité de conserver le patrimoine existant de ce site remarquable (disparition d'arbres recensés, destruction de murs et promenades historiques, transformation d'un parc historique!). Cette solution technique doit donc être écartée.

Avec ces nouveaux éléments et pour réduire au maximum les impacts de tels aménagements et répondre à la volonté du CE, il faut qu'une analyse complémentaire soit menée pour donner les avantages et inconvénients des différents sites d'accès à l'eau et les options d'aménagement en explicitant les quantités de remblai, les conséquences inhérentes à chaque opération et la satisfaction des besoins estimés de la population.

Pour choisir le meilleur aménagement pour chaque site et le site le plus adapté à accueillir un large public dans les meilleures conditions de qualité, sécurité et confort, tout en respectant les contraintes patrimoniales, les critères «atteinte au patrimoine» (murs historiques et parcs existants) et «ensoleillement du site» ont été ajoutés pour affiner l'analyse. En effet, comme l'aménagement proposé a pour vocation d'accueillir des activités

| Site | Critères et objectifs satisfaisant la commande politique | | | | Satisfaction population | Conséquences de l'aménagement | | Plus-value nature |
|--|--|--|---|----------------------------------|-------------------------|--|---|----------------------|
| | Qualité et sécurité du plan d'eau (Renouvellement = min.12 h, Vitesse < 6-8 cm/s) Accessibilité (-20 min) Conservation des fonctionnalités (promenade, piste cyclable, route, TPG) | Ensoleillement du site en période estivale | Dimension pour l'accueil d'un large public (350 à 600 ml d'accès à l'eau + 60 à 100 ml de profondeur) | Accès tous publics (pente douce) | | Satisfaction moyenne des besoins (surface et ml) | atteinte au patrimoine (mur existant, parc existant, arbre de valeur) | |
| Quai Gustave Ador (grève naturelle avancée) | oui | maximum | oui | oui | 33% | acceptable | 4.2 ha | Améliore l'interface |
| Quai Wilson 1 (Platelage en dur) | oui | Déficit 1 à 3 h | non | non | 16% | acceptable | 0.8 ha | aucune |
| Quai Wilson 2 (Grève minimum) | oui | Déficit 1 à 3 h | non | oui | 18% | acceptable | 1.4 ha | Améliore l'interface |
| Perle du Lac 1 (Platelage en dur) | oui | Déficit 1 à 3 h | non | non | 9% | acceptable | 0.4 ha | aucune |
| Perle du Lac 2 (Grève naturelle unique) | oui | Déficit 1 à 3 h | non | oui | 14% | acceptable | 0.6 ha | Améliore l'interface |
| Perle du lac 3 (Grève naturelle avancée + connexion parc) | oui | Déficit de 0.5 à 2.5 h | oui | oui | 19% | Importante (CMNS défavorable selon préavis) | 1,5 ha | Améliore l'interface |

Tableau 1: Liste des variantes et critères de sélection (seules les variantes respectant les conditions de qualité, sécurité et accessibilité sont mentionnées).

Tabella 1: Liste der Alternativen und Auswahlkriterien (nur Varianten, welche den Qualitätsanforderungen, der Sicherheit und Zugänglichkeit entsprechen, werden erwähnt).

de baignade et de détente, il faut privilégier les sites les mieux ensoleillés pour une utilisation rationnelle du sol. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous (seules les variantes respectant les conditions de qualité, sécurité et accessibilité sont mentionnées):

L'accès à l'eau qui répond à la demande du Conseil d'Etat avec une eau d'excellente qualité, facilement accessible, confortable (avec un ensoleillement maximum) et adapté à un large public est celui du Quai Gustave-Ador. Mais cet aménagement seul ne répond pas aux besoins estimés de la population.

Ainsi le Quai Wilson et la Perle du Lac devront également être aménagés. Les solutions à étudier devraient être des aménagements du type ponton/platelage (en pierre ou en béton pour résister aux forces érosives) ou grève naturelle. Parmi les critères à prendre en compte, on peut mentionner: les conséquences patrimoniales, l'importance et la conséquence des remblais, l'amélioration de l'interface et la satisfaction du public. Ces différents options, au stade actuel, sont difficiles à trancher, mais quel que soit le type d'aménagement (platelage

en dur ou grève naturelle), des remblayages supplémentaires (Perle du Lac 3) ou la destruction d'aménagement remarquable existant (Perle du Lac 4) sur ces 2 sites (Wilson, Perle du Lac) ne sont pas justifiés en l'état actuel, par rapport au déficit d'ensoleillement et aux importantes conséquences patrimoniales.

D'autres sites d'accès à l'eau ponctuels (secondaires) ont également été mis en évidence lors de cette étude: le Quai Marchand et le sud de la digue du Jet d'eau. Ils ne remplissent pas totalement les critères déterminants ou sur de trop faibles linéaires pour répondre aux objectifs fixés. Mais, ces sites peuvent toutefois recevoir des accès à l'eau «urbain», de type pieds dans l'eau. Le quai de Cologny, dans une moindre mesure, peut également être considéré comme un site à renaturer avec une possibilité d'accès ponctuel au lac pour la baignade.

Ainsi, cette étude a permis de préciser les sites où il est nécessaire de développer les accès à l'eau pour l'hypercentre: le Quai Gustave Ador, le Quai Wilson, en contre-bas du Parc de la Perle du Lac et les sites «urbains» en aval de la Jetée du Jet d'eau et sur le Quai Marchand. Ainsi, ils sont retenus dans le SPAGE (Schéma de protection, d'aménagement

et de gestion des eaux) et l'image directrice. Quel que soit l'accès à l'eau, les futures études chercheront encore à minimiser l'impact sur le milieu lacustre.

3.2 Navigation de loisirs

Pour répondre aux besoins estimés, il a été décidé de travailler sur 2 axes:

- Améliorer les mesures de gestion des places et optimiser les infrastructures existantes.
- Offrir 600 nouvelles places en créant et/ou modifiant des infrastructures portuaires.

Le premier axe propose 9 mesures précises et concrètes pour un gain espéré d'environ 600 places à terme. Parmi ces mesures, on peut citer l'encouragement à la mutualisation des bateaux (type «boat Sharing») ou la réorganisation des corps-morts.

Pour le second axe, deux scénarios ont été étudiés: l'extension décentralisée avec la création et/ou la modification de 5 sites portuaires (Port des Eaux-Vives, Vengeron, Port de la Tour-Carrée, Port Tunnel et Port-Noir 1) et l'extension centralisée avec un agrandissement sur le site du Port Noir (Port-Noir 2, comprenant l'extension du Port-Noir et du Port de la SNG). Ces deux scénarios proposent 600 places d'amarrages à l'eau (53% des besoins satisfaits) et 250 places à terre (100% des besoins satisfaits).

Ces deux scénarios (décentralisé/centralisé) ont été étudiés selon les critères définis par le groupe de travail et validés par le Copil. Ces critères reprennent les thèmes du développement durable (responsabilité environnementale, solidarité sociale et viabilité économique) et s'appuient sur les bases légales des politiques publiques. Les résultats obtenus suite à cette étude multicritères montrent objectivement que le scénario centralisé propose l'aménagement le plus favorable, comptabilisant entre autres, trois fois moins de remblais que la variante décentralisée.

3.3 Activités professionnelles (de l'hypercentre) liées au lac

Une distinction doit être faite entre les entreprises lacustres et les pêcheurs professionnels.

En effet, les pêcheurs professionnels doivent rester proches du centre-ville

et ceci pour plusieurs raisons: la cohérence avec la répartition actuelle de l'activité autour du lac, la valorisation d'un métier traditionnel, le maintien d'une activité de proximité avec vente aux particuliers. Pour cette activité, plusieurs sites peuvent répondre à leurs besoins. Ainsi les sites du Quai marchand, du Port-Noir et éventuellement de Port-Tunnel pourraient convenir et doivent être étudiés plus en détail. Cette phase d'étude devra se faire en étroite collaboration avec les pêcheurs eux-mêmes et la DGNP. Pour cette étude de localisation, ces 3 sites seront proposés et alimenteront l'image directrice et le SPAGE.

Les entreprises lacustres doivent disposer de surfaces importantes sur l'eau comme sur terre, avoir un accès aisé au réseau routier et à des moyens importants de manutention; elles ne sont pas une activité de proximité à proprement parler. Sur le canton de Genève, les sites du Vengeron, propriété de l'Etat de Genève, et de la Bellotte présentent des caractéristiques favorables à l'accueil de ces activités. Ces sites devront être étudiés plus précisément. Cette phase d'étude devra se faire en étroite collaboration avec les entreprises lacustres et les autorités communales et cantonales concernées. Pour cette étude de localisation, les sites du Vengeron et de la Bellotte sont donc les sites retenus pour alimenter l'image directrice et le SPAGE (Vengeron en site principal et Bellotte en site secondaire pour une partie de la batellerie).

3.4 Renaturation des rives du lac

L'artificialisation des rives est très importante. Des efforts de renaturation des rives doivent donc être entrepris sur le plus long linéaire de berges possibles. Parmi les actions à mener, on peut citer:

- Poursuivre la renaturation des embouchures (Nant d'Aisy, Nant de Pry, Nant du Brassu).
- Modifier tous les corps-morts par un système sans chaînes trainantes.
- Réaménager les rives et la zone littorale (voir les aménagements et les études effectuées sur le lac de Constance, îles, ...).
- Etendre les zones de protection déjà existantes.

- Pour cette étude de localisation, l'ensemble des actions de renaturation proposées sont retenues pour alimenter l'image directrice et le SPAGE.

4. Les scénarios programmatiques (agrégation des différents volets), l'analyse et les résultats

Ce chapitre croise les différents résultats précédents (chapitre 3) et les analyse à l'aide du modèle multicritères. Le résultat obtenu permet de proposer l'image directrice définitive. Celle-ci alimente le SPAGE.

Pour les volets renaturation des rives, accès à l'eau et activités professionnelles de l'hypercentre, l'analyse de ces thématiques a conclu que les actions et localisations proposées étaient toutes nécessaires pour répondre (ou se rapprocher) aux besoins et devraient toutes être planifiées dans le SPAGE et faire l'objet d'études de détail. Seul le volet «navigation de loisirs» propose 2 possibilités d'aménagements permettant d'atteindre le même objectif: création de 600 places d'amarrages à l'eau et 250 places à terres.

Ainsi, deux scénarios programmatiques sont analysés:

- Un scénario programmatique décentralisé qui comprend toutes les actions des volets renaturation, accès à l'eau et déplacement des activités professionnelles complétées par la création et/ou la modification de 5 sites portuaires.
- Un scénario programmatique centralisé qui comprend toutes les actions des volets renaturation, accès à l'eau et déplacement des activités professionnelles complétées par la modification de 1 site portuaire (le Port Noir). Pour permettre d'enrichir les données du scénario centralisé, une étude macromorphologique complémentaire doit être entreprise au niveau du Quai Gustave Ador. En effet ce lieu associe 2 aménagements importants: un agrandissement de port et un accès à l'eau public majeur. Les différentes solutions sont «optimisées» pour limiter au maximum le remblai tout en conservant, selon la volonté du Conseil d'Etat, un site permettant d'accueillir un large public (350 m à 600 m de longueur et envi-

| Volet accès à l'eau | Critères et objectifs satisfaisant la volonté du Conseil d'Etat | | | | Satisfaction population | Conséquences de l'aménagement | | Plus-value nature |
|--|---|--|---|----------------------------------|-------------------------|---|-------------------------|------------------------------|
| | Qualité et sécurité du plan d'eau (Renouvellement = min.12 h, Vitesse < 6-8 cm/s) Accessibilité (- 20 min) Conservation des fonctionnalités (promenade, piste cyclable, route, TPG) | Ensoleillement du site en période estivale | Dimension pour l'accueil d'un large public (350 à 600 ml d'accès à l'eau + 60 à 100 ml de profondeur) | Accès tous publics (pente douce) | | Atteinte au patrimoine (mur existant, parc existant, arbre de valeur) | Remblai estimé (+/-10%) | |
| Quai Gustave Ador (grève naturelle avancée) Valable pour toutes les variantes optimisées étudiées | oui | maximum | oui | oui | 25% | acceptable | 3 ha | Améliore l'interface |
| Quai Wilson Platelage en dur / grève | oui | Déficit 1 à 3 h | non | non | 16 / 18% | acceptable | 0.8 / 1.4 ha | Aucune/ Améliore l'interface |
| Perle du Lac 1 Platelage en dur ou grève | oui | Déficit 1 à 3 h | non | non | 9 / 14 % | acceptable | 0.4 / 0.6 ha | Aucune/ Améliore l'interface |

Tableau 2: Liste des trois scénarios retenues et critères de sélection.
 Tabelle 2: Liste der drei in Betracht gezogenen Szenarien und Auswahlkriterien.

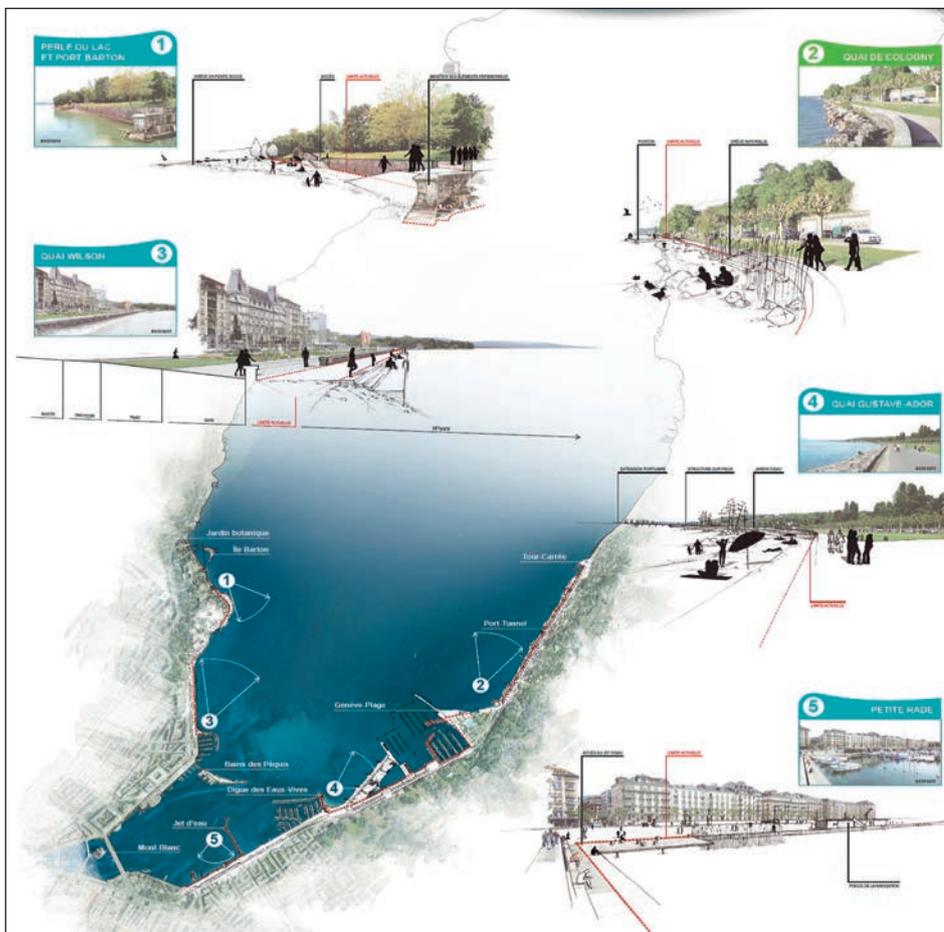


Figure 1: Image Rade Genève 2030.
 Bild 1: Bild Rade Genève 2030.

ron 60 m de profondeur). Une série de propositions « optimisées » est donc développée. Pour toutes ces solutions sur le Quai Gustave-Ador, il faut souligner que la réflexion explore toutes variantes concevables et qu'elle montre que

toutes ces variantes impliquent un remblai de taille équivalente (à 10% près). Ces données complémentaires permettent d'affiner l'analyse multicritères.

Celle-ci, effectuée sur les deux scénarios, confirme que la solu-

tion «centralisée» doit être privilégiée. C'est donc cette image qui alimente le SPAGE, outil de planification choisi par le Conseil d'Etat pour les futurs aménagements lacustres. Le tableau ci-dessous présente les conséquences prévisionnelles suite à la mise en application de l'image directive définie pour le volet «accès à l'eau»:

Pour le volet navigation de loisirs, le scénario centralisé propose un seul site d'intervention pour arriver à l'objectif de création de 600 places d'amarrages. Pour l'ensemble des critères étudiés ce scénario est le plus avantageux. Il l'est particulièrement par rapport à l'impact sur les fonds lacustres avec une surface remblayée au moins 3 fois plus faible que le scénario décentralisé.

Pour le volet déplacement des entreprises lacustres du Quai Marchand, 2 sites sont retenus: le Vengeron comme site principal et la Bellotte pour une partie de la batellerie.

Pour le volet renaturation, des efforts ont déjà permis des réalisations majeures au niveau des embouchures principales. Mais le potentiel de renaturation, essentiellement au niveau de la zone littorale et des milieux annexes, est encore très important et doit être mis en valeur. La concrétisation de ces mesures peut se faire en termes de «compensation» à certain projet d'envergure sur le Lac.

Adresse de contact de l'auteur

Franck Pidoux
 DETA – SRCE
 Rue David-Dufour
 1205 Genève, Suisse
 franck.pidoux@etat.ge.ch

Kassandras Dilemma

Jacques Ambühl

Zusammenfassung

Kassandra, die trojanische Prinzessin, sieht die Zukunft. Hector, der trojanische General, verteidigt seine Stadt vor dem Ansturm der Athener. Kassandras Zuverlässigkeit ist beschränkt, ihre Worte handeln von Wahrscheinlichkeiten. Hector kennt die Schwächen seiner militärischen Aufstellung. In unserer Zeit würde man sagen: Er kennt sein Anfälligkeitsprofil. Wenn er Entscheidungen trifft, konsultiert er unter anderen auch Kassandra. Wie gestaltet sich die Zusammenarbeit der beiden?

Vor zweieinhalb Jahrtausenden von Homer in seinem Epos «Ilias» beschrieben, wird dieser Frage mit Blick auf die Beziehung zwischen einer Meteorologin und einem Nutzer ihrer Vorhersagen nachgegangen. Das Konzept eines Entscheidungsmodells für Wetteralarne wird vorgestellt. Die Analyse schlägt ein Schema für die optimale Entscheidungsfindung dieses Nutzers vor, indem sie einerseits ein Mass für die Leistung eines meteorologischen Alarmsystems hinzuzieht und andererseits die Anfälligkeit des Nutzers des Alarmsystems betrachtet.

Keywords

Meteorologie, Vorhersagesystem, Ungewissheit, Chaos-Theorie, Alarmsystem, Risikoanfälligkeit

Le dilemme de Cassandra

Résumé

Cassandre, princesse troyenne, discerne le futur. Hector, roi de Troie, protège sa cité de l'assaut des Athéniens. Cassandre n'est pas absolument fiable et s'exprime en termes de probabilités. Hector sait les faiblesses de son dispositif militaire. En termes modernes, il connaît son exposition au risque. Lorsqu'il décide, il consulte, entre autres, Cassandre. Comment coopèrent-ils? Evoquée il y a 25 siècles par Homère dans l'Illiade, cette question est abordée dans le cadre de la relation

entre une météorologue et l'utilisateur de ses prévisions. Un modèle conceptuel de décision d'alarme est présenté. Disposant d'une part d'une mesure de la performance d'un système d'alarmes météorologiques et considérant d'autre part l'exposition au risque d'un utilisateur de ces alarmes, l'analyse propose un schéma de décision optimal au regard des attentes de cet utilisateur.

Mots-clés

Météorologie, système de prévision, incertitude, théorie du chaos, système d'alarme, exposition au risque

Il dilemma di Cassandra

Riassunto

Cassandra, la principessa troiana, vede il futuro. Ettore, il generale troiano, difende la sua città contro l'assalto degli Ateniesi. L'affidabilità di Cassandra è limitata, si esprime in termini di verosimiglianze. Ettore conosce le debolezze della sua formazione militare. Nel nostro tempo, diremmo: conosce la vulnerabilità del suo profilo. Quando deve prendere decisioni, consulta tra altri Cassandra. Com'è il rapporto tra i due?

Già menzionata venticinque secoli fa da Omero nel poema epico l'Illiade, questa questione è affrontata prendendo in considerazione la relazione tra la meteorologa e l'utilizzatore delle sue previsioni. Un concetto di un modello per le decisioni d'allarme meteo è stato presentato. L'analisi propone uno schema per trovare la decisione ottimale per l'utilizzatore, da una parte ricorrendo a una misura per le prestazioni di un sistema d'allarme meteorologico e da un'altra parte considerando la vulnerabilità dell'utilizzatore.

Parole chiave

Meteorologia, sistema di previsione, incertezza, la teoria del caos, sistema d'allarme, l'esposizione al rischio

Die Ungewissheit der Vorhersage ausdrücken

Der Schmetterlingseffekt, der besagt, dass der Flügelschlag eines Schmetterlings in Alaska einen Sturm in Europa hervorruft, ist allen bekannt. Diese Metapher drückt den chaotischen Charakter der Atmosphäre aus. Für den Physiker ist die Atmosphäre ein dynamisches, nicht-lineares System, dessen Entwicklung in kritischer Weise von seinem Anfangszustand abhängt: der Flügelschlag verändert diesen Anfangszustand unmerklich und macht damit jeden Versuch einer Prognose zunichte.

Die Meteorologin kann probieren, gegen die Natur anzukämpfen, indem sie versucht, ein unendlich genaues Beobachtungssystem aufzubauen, das alle Flügelschläge aller Schmetterlinge aufzeichnet – ein lächerliches Unterfangen, oder sie kann mit ihr spielen. Mit der Natur spielen bedeutet hier, nicht eine, sondern ein Ensemble von Anfangsbedingungen zu konstruieren. Alle, leicht ungenau, liegen nahe bei dem verdeckt gebliebenen Anfangszustand und vermögen deswegen trotzdem, dessen Essenz zu erfassen.

Unter der Bezeichnung Ensemblevorhersage wird diese Technik seit Ende der 90er-Jahre routinemässig am Europäischen Zentrum für mittelfristige Wettervorhersage ECMWF in Reading (England) angewandt. Parallel zur gewohnten deterministischen Prognose liefert das Zentrum zweimal täglich eine Ensemblevorhersage, welche sich auf den ganzen Planeten bezieht, zusammengesetzt aus 50 einzelnen Vorhersagen. Diese sind in Realität 50 Klone, die aus einem Anfangszustand stammen, der jedes Mal ganz leicht gestört wurde (Ref. 1). Seit Anfang dieses Jahrhunderts liefert MeteoSchweiz ebenfalls Ensemblevorhersagen unter dem Namen COSMO-LEPS (Ref. 2). Eine Ensemblevorhersage des ECMWF, welche sich auf die Niederschläge in Genf am 24. Dezember 2012 bezieht, wird als Beispiel in der Abbildung 1 dargestellt.

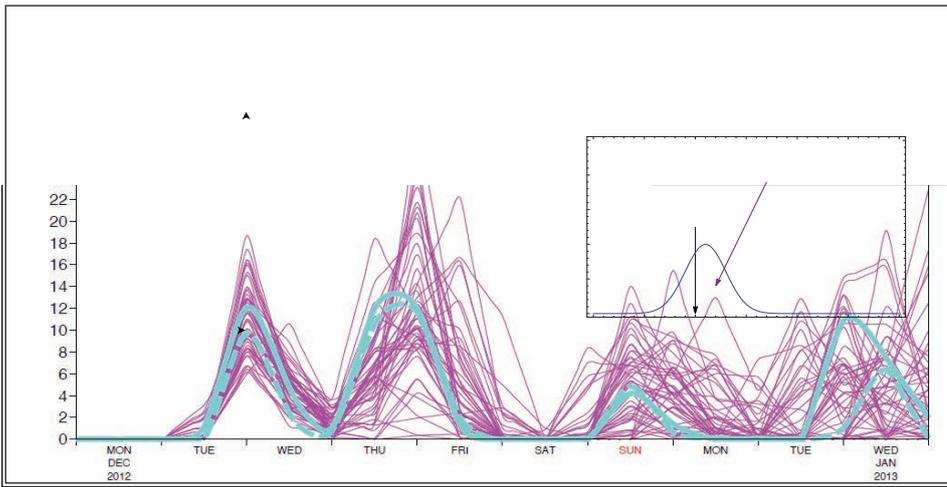


Abbildung 1: Ensemblevorhersage ECMWF. Anfangszustand 24.12.2012, 00h. Ort: Genf. Niederschlag in mm kumuliert auf 12 Stunden. Vorhersagefrist: 24.12.2012–02.01.2013. Der chaotische Charakter des erhaltenen Signals ist offensichtlich. Die violetten Verlaufskurven zeigen die Niederschläge, die von jedem Ensembleglied vorhergesagt werden; das deterministische Modell und die Kontrolle sind in Türkis dargestellt. Gemäss dieser Vorhersage regnet es im Wesentlichen in den Nächten von Dienstag auf Mittwoch und von Donnerstag auf Freitag. Das Diagramm im Kästchen zeigt, wie man ausgehend von einem Schnitt in der Zeitachse, hier Mittwoch 00h, eine Wahrscheinlichkeit der Niederschlagsverteilung ableitet.

Figure 1: Prévision d'ensemble CEPMMT. État initial 24.12.2012, 00h. Lieu: Genève. Précipitations en mm cumulées à 12 heures. Période de prévision: 24.12.2012–02.01.2013. La nature chaotique du signal obtenu est évidente. Les courbes violettes montrent les précipitations prédites par chaque membre de l'ensemble; le modèle déterministe et le contrôle sont présentés en turquoise. Selon cette prévision, il pleut principalement les nuits du mardi au mercredi et du jeudi au vendredi. Le diagramme dans le cadre montre comment on peut déduire la probabilité de précipitations depuis une coupure dans l'axe du temps, ici mercredi 00h.

Indem sie den chaotischen Charakter der zeitlichen Entwicklung erfasst, ist die Ensemble-Vorhersage eng an den Begriff der Wahrscheinlichkeit gekoppelt. Sie führt dazu, dass Berichte wie folgt formuliert werden: «Die Wahrscheinlichkeit, dass die kumulierten Niederschläge zwischen Dienstag 18h und Mittwoch 6h in Genf über 10 mm betragen, liegt bei 51%.» Machen solche Aussagen Sinn? Mehrere Konzepte kreuzen sich hier: der Begriff des Wetterereignisses, «eine Niederschlagsmenge, die an einem bestimmten Ort in einem bestimmten Zeitraum fällt». Das Ereignis ist klar bezeichnet, es kann stattfinden oder auch nicht, und es kann im Nachhinein verifiziert werden. Ein Wahrscheinlichkeitsgrad ist auch gegeben: 51%. Schliesslich stellt sich auch die Frage, ob 10 mm Niederschlag in 12 Stunden in Genf von Bedeutung sind oder nicht. Auf diese Fragen zu antworten, läuft zuallererst darauf hinaus, dass man die Leistung eines probabilistischen Systems misst, dann aber auch, dass man das Profil eines Nutzers dieses Systems betrachtet. Gehen wir die erste Frage an!

Die Leistung eines Alarmsystems bewerten

Betrachten wir meteorologische

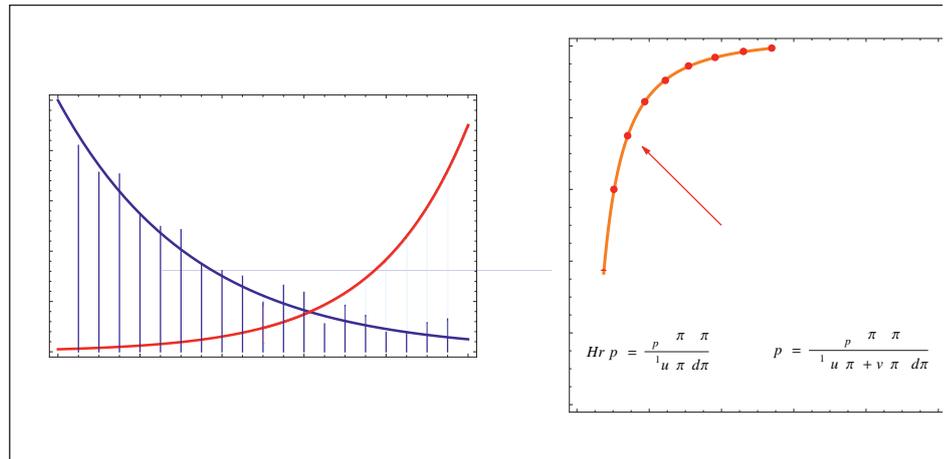


Abbildung 2: Grafik links: Histogramme von Wahrscheinlichkeiten für ein bestimmtes Wetterereignis die von einem Ensemble-Vorhersage-System geliefert wurden. Blaue Kurve: Vom System geliefertes Histogramm, wenn das Ereignis nicht stattgefunden hat. Rote Kurve: entsprechendes Histogramm für ein Ereignis, das stattgefunden hat. Grafik rechts: Grenzwertoptimierungskurve (ROC) eines Alarmsystems das auf der betrachteten Ensemble-Vorhersage basiert. Mit einer gebogenen Abszisse, welche die Wahrscheinlichkeit ausdrückt, gibt die ROC-Kurve für jeden Wahrscheinlichkeitswert die Relation zwischen der Quote falscher Alarmer (auf der x-Achse) und der Erfolgsrate (auf der y-Achse) an.

Figure 2: Graphique de gauche: histogrammes des probabilités d'un événement météorologique spécifique, qui ont été fournis par un système de prévision d'ensemble. Courbe bleue: histogramme fournie par le système lorsque l'événement n'a pas eu lieu. Courbe rouge: histogramme correspondant à l'événement qui a eu lieu. Graphique sur la droite: courbe du seuil d'optimisation (ROC), un système d'alarme qui est basé sur la prévision d'ensemble observée. Avec une abscisse curviligne qui exprime la probabilité, la courbe ROC donne pour chaque valeur de probabilité une relation entre le taux de fausses alarmes (sur l'axe des x) et le taux de succès (sur l'axe des y).

ble-Vorhersage-System, das jedes Mal einen Alarm auslöst, wenn die Wahrscheinlichkeit eines Eintretens dieses Ereignisses einen bestimmten Schwellenwert überschreitet. Mit Hilfe einer Statistik über einen langen Zeitraum

berechnen wir zwei Histogramme. Das erste stellt die Verteilung der Wahrscheinlichkeiten dar, die von unserem System angegeben wurden, wenn ein Ereignis nicht stattgefunden hat, das zweite, wenn es stattgefunden hat. Ein qualitativ hochstehendes System erwartet man, dass es tiefe Wahrscheinlichkeiten angegeben hat in den Fällen, wo das Ereignis nicht stattgefunden hat, und hohe, wo es stattgefunden hat. Die Abbildung 2, links, zeigt zwei solche Histogramme mit Punktsäulen. Die blaue Kurve $v(p)$ idealisiert die Verteilung der Wahrscheinlichkeiten, wenn das Ereignis nicht stattgefunden hat, die rote Kurve $u(p)$ die entsprechende Verteilung, wenn es stattgefunden hat. Im Einklang mit unseren Erwartungen sind die vom System gelieferten Wahrscheinlichkeiten im Allgemeinen tief, wenn das Ereignis nicht stattgefunden hat (blau

Mit dieser Information ist es möglich, die Leistung des Vorhersagesystems zu beschreiben. Sie enthält einerseits die Erfolgsrate (Hit Rate), andererseits die Quote der falschen Alarme (False Alarm Ratio¹). Beide sind für das betrachtete Ereignis berechnet, mit den Schwellenwerten für die Intensität Q und für die Wahrscheinlichkeit p . Formell ausgedrückt ist die Hit Rate $Hr(p)$ das Verhältnis zwischen der Anzahl der korrekt vorhergesagten Ereignisse, für die ein Alarm ausgelöst wurde, und der Gesamtzahl der stattgefundenen Ereignisse. Die False Alarm Ratio $Far(p)$ ist das Verhältnis zwischen der Anzahl der ausgelösten falschen Alarme, wenn das Ereignis nicht stattgefunden hat, und der Gesamtzahl der ausgelösten Alarme. Diese beiden Größen können ausgehend von den Funktionen $u(p)$ und $v(p)$ integriert werden: die integralen Formeln sind in der Abbildung zwei, rechts, angegeben; sie entsprechen den schattierten Feldern der Grafik auf der linken Seite. Die so gebildete Kurve, deren gebogene Abszisse die Schwellenwerte für die Wahrscheinlichkeit ausdrückt, heisst Grenzwertoptimierungskurve (ROC – Relative Operation Characteristic) des Alarmsystems. Im Beispiel von ROC zeigt sich zum ersten Mal das Dilemma der Cassandra: Man kann alarmieren, indem man einen niederen Schwellenwert für die Wahrscheinlichkeit wählt, dass das Ereignis eintritt, nämlich auf der äussersten rechten oberen Seite der Kurve. Damit deckt man die Mehrzahl der Ereignisse ab, zum Preis einer nicht akzeptablen Rate an Falschalarmen. Wenn man sich hingegen auf der untersten linken Seite platziert, wartet man sozusagen die Gewissheit für den Eintritt eines Ereignisses ab, bevor man alarmiert. Diese Wahl reduziert die Anzahl der falschen Alarme, erhöht jedoch die Menge der verpassten Ereignisse. In jedem Fall steigt die Qualität des Alarmsystems, wenn die ROC-Kurve sich in der oberen linken Ecke des Diagramms befindet. Das System ist perfekt, wenn es alle

Ereignisse anzeigt und keinen falschen Alarm auslöst: $Hr = 1$ und $Far = 0$. Es ist ausgeschaltet, wenn $Hr = Far = 0$. Man vermutet, dass ein guter Kompromiss in der Mitte der ROC-Kurve angesiedelt ist und einer mittleren Wahrscheinlichkeit entspricht, von ungefähr 0.5–0.6. Um diese Frage zu beantworten, muss man jetzt Hektors Anfälligkeitsprofil miteinbeziehen.

Die Anfälligkeit eines Nutzers messen

Die angewandte Methode, um dieses Profil zu bestimmen, bedient sich einer einfachen wirtschaftlichen Funktion, welche die Kosten eines den Nutzer treffenden Unglücks als Folge eines Wetterereignisses angibt – das kann eine Privatperson, eine Firma, ein Gebiet sein [Ref. 3 & 4]. Der Nutzer verfügt über Schutzmassnahmen, die er umsetzt, indem er den Vorgaben des Alarmsystems zuverlässig nachkommt. Folgende Fälle lassen sich unterscheiden: Das Ereignis erzeugt eine Katastrophe mit Kosten L , wenn keine Schutzmassnahme ergriffen wurde. Jedes Mal, wenn die Schutzmassnahmen ergriffen werden, erzeugen sie Kosten C , die unter den Kosten L liegen – dies unabhängig davon, ob das Ereignis stattgefunden hat oder nicht. Kein Schutz ist zu 100% wirksam: Restkosten R , viel tiefer als L , verbleiben in der Folge eines Ereignisses, für das Schutzmassnahmen erfolgreich durchgeführt wurden. Die mittleren Kosten $M_{(Hr, Far)}$, welche beim Eintreten des Wetterereignisses erzeugt werden, können also in der Form eines skalaren Produkts angegeben werden, in welches die Leistung des Alarmsystems, das Anfälligkeitsprofil des Nutzers und klimatische Kosten einfließen [Ref. 4]:

$$M_{(Hr, Far)} = \text{Klimatische Kosten} \times \langle \text{Leistungsprofil} \mid \text{Anfälligkeitsprofil} \rangle$$

Das Leistungsprofil des Warnsystems ist ein Vektor $LP_{(H, Far)} = [1-H, H, H/(1-Far)]$. Es hängt von der Hit Rate und von der False Alarm Ratio ab. Das Anfälligkeitsprofil des Nutzers $AP_{(U, K)} = [1, U,$

$K]$ ist auch ein Vektor, Funktion von zwei Verhältnissen zwischen den drei Kosten L, R und C : die Cost-Loss Ratio $K = C/L$ und die Residual-Loss Ratio $U = R/L$. Die Klimatischen Kosten (climatic burdens) sind die mittleren statistischen Kosten, mit denen der Nutzer zu rechnen hat, wenn er keinerlei Schutzmassnahmen gegen das Klima trifft, mit dem er konfrontiert ist. Eine Analyse, die hier nicht präsentiert wird und die auf der Kombination Hit Rate/False Alarm Rate² beruht, erlaubt es, diese Kosten zu evaluieren. Indem sie das Klima des Ortes einbezieht, wo sich der Nutzer befindet, berücksichtigt sie die bedingte Wahrscheinlichkeit des Eintretens von Katastrophen als Folge von Wetterereignissen, die gleich oder über dem Schwellenwert Q , liegen, mit dem die Kosten L, R und C verbunden sind, welche mit der Intensität des Ereignisses ansteigen. Dieser Approach führt zur Definition der Klimatischen Kosten ΩL , bei der L die Kosten einer «Referenzkatastrophe» und Ω ein integrales Mass für die Auswirkung des Kostenanstiegs sind. Schliesslich kann man beweisen, dass die Anfälligkeit durch $E_{(Q)} = C/(L-R) = K/(1-U)$ mit $R \ll L$ und $C < L$ ausgedrückt wird. Die Anfälligkeit beschränkt sich auf die Cost-Loss Ratio, wenn die Restkosten null sind, sie geht gegen unendlich, wenn sich die Restkosten denen einer Katastrophe annähern: In einem solchen Fall haben die Schutzmassnahmen jede Wirksamkeit eingebüsst.

Auf einer Wahrscheinlichkeitsbasis entscheiden

Legen wir nun den Schlussstein auf das Gebäude. Betrachten wir auf der einen Seite die Hit Rate und die False Alarm Ratio als die beiden Variablen der Funktion $M_{(H, Far)} = \Omega L < LP_{(H, Far)} \mid AP_{(U, K)} >$ und behandeln wir auf der anderen Seite die Anfälligkeit $E = K/(1-U)$ als Parameter. Nun übertragen wir diese Funktion in den Raum {Hit Rate – False Alarm Ratio} der Kurve ROC (Abbildung 3). Die Isolinien $M_{(H, Far)} = \text{Konstante}$, von denen einige gezeichnet

¹ Ich habe die angelsächsischen Ausdrücke übernommen im Bestreben, die Leserschaft am Jargon teilhaben zu lassen.

² Die False Alarme Rate wird in der Praxis oft anstelle der False Alarme Ratio verwendet. Sie unterscheidet sich aber von Letzterer, indem sie die Zahl der unnötig ausgelösten Alarme pro Zeiteinheit angibt, in der Regel pro Jahr. Die False Alarm Rate ist wichtig für den Nutzer, die False Alarm Ratio für den Meteorologen [Ref. 4].

sind, erscheinen in diesem Raum als Iso-Kosten-Linien. Ihre Richtung hängt von der Anfälligkeit ab. Sie sind konvex und ihre Kostenwerte verkleinern sich in Richtung der oberen linken Ecke, ein Bereich, welcher die leistungsfähigen Alarmsysteme auszeichnet. Schliesslich ist die Kurve ROC konkav.

Also:

Es existiert eine einzige Iso-Kosten-Linie, die als Tangente die Kurve ROC berührt. Sie ist minimal in Bezug auf die Kosten und ihr einziger Berührungspunkt mit ROC definiert auf ROC den optimalen Wahrscheinlichkeits-Schwellenwert, ab dem der Alarm ausgelöst werden muss.

Die übrigen Iso-Kosten-Linien, welche ROC kreuzen, tun das in zwei Punkten und illustrieren Kassandras Dilemma von neuem. Jenseits des Optimums zeigen sich zwei Lösungen. Die eine entspricht einer hohen Hit Rate und einer tiefen False Alarm Ratio, die andere einer tiefen Hit Rate und einer hohen False Alarm Ratio. Dadurch, dass sie auf derselben Iso-Kosten-Linie liegen, haben sie die gleiche Auswirkung (Impact) auf den Nutzer. Schliesslich verschmelzen sie im Berührungspunkt und lösen so das Dilemma auf. Zum Schluss können alle bestimmenden Werte des Optimums auf dem Diagramm abgelesen werden. Hit Rate: 0.9, False Alarm Ratio: 0.26, Alarmwahrscheinlichkeit: 0.51, Impact: 0.77, Anfälligkeit: 0.3. Im betrieblichen Alltag trifft der Nutzer seine Schutzmassnahmen bei jedem Alarm, das heisst jedes Mal, wenn die Wahrscheinlichkeit, dass das Wetterereignis eintritt, höher oder gleich dem oben definierten optimalen Schwellenwert ist.

Die Auswirkungen (Impact) des Alarmsystems beurteilen

Unsere zwei Akteure verfolgen verschiedene Ziele. Die Meteorologin versucht, die Leistung des Warndispositivs, für das sie Verantwortung trägt, zu verbessern. Der Nutzer will den Anteil der Schäden, die ihm das Warndispositiv einspart, kennen. Im Klartext will er die Auswirkung (Impact³) des Alarmsystems auf

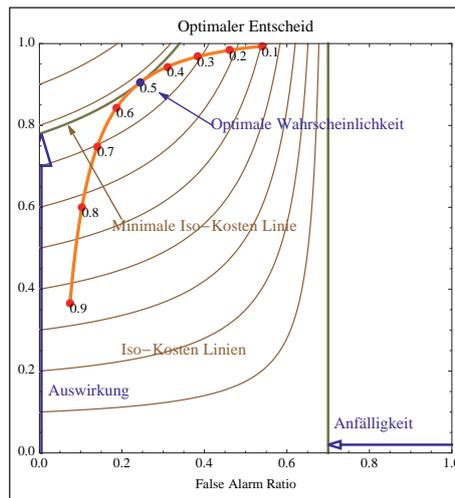


Abbildung 3: Optimaler Entscheid und entsprechende Wahl des Schwellenwertes für die Alarmwahrscheinlichkeit: 51%. Orangefarbene Kurve: Leistungsprofil des meteorologischen Alarmsystems. Braune Kurven: Iso-Kosten-Linie der Anfälligkeit des Nutzers. Alle kritischen Parameter sind auf ihrem Optimum und können auf dem Diagramm abgelesen werden.

Figure 3: La décision optimale et le choix correspondant à la valeur de seuil pour la probabilité d'alarme: 51%. Courbe orange: profil de performance du système d'alarme météorologique. Courbes brunes: la ligne iso-coût de la vulnérabilité de l'utilisateur. Tous les paramètres critiques sont à leur optimum et on peut les lire sur le graphique.

die Geschäfte, die er betreibt, messen. Indem sie dieser Erwartung entspricht, ist die folgende Definition des Impact klassisch [Ref. 3 & 4] und verwendet die eingeführten Begriffe ($M_{(0,0)}$: ausgeschaltetes System, maximale Kosten; $M_{(H,Far)}$: System und tatsächliche Kosten; $M_{(1,0)}$: perfektes System mit minimalen Kosten):

$$Impact = \frac{M_{(0,0)} - M_{(H,Far)}}{M_{(0,0)} - M_{(1,0)}}$$

Der Impact drückt das Verhältnis aus zwischen den Kosten, die der Nutzer mit Hilfe des tatsächlichen Alarmsystems einspart, und den Kosten, die er einsparen würde, wenn das System perfekt wäre. Er ist unabhängig vom Klima, mit dem der Nutzer konfrontiert ist, und beschreibt einzig die Interaktion zwischen den beiden Akteuren: ΩL vereinfacht sich zwischen Zähler und Nenner im obigen Ausdruck. Der Impact kann direkt auf dem ROC-Diagramm abgelesen werden: Die Iso-Kosten-Linien sind auch

die Iso-Impact-Linien; es wird aufgezeigt, dass jede Iso-Kosten-Linie die Vertikalachse des Diagramms auf einer Ordinate schneidet, die mit dem entsprechenden Impact identisch ist. Dieser Wert wird mit dem blauen, vertikalen Pfeil auf dem ROC-Diagramm angegeben.

Die Abbildung 4 illustriert verschiedene Kombinationen zwischen Leistung des Alarmsystems und Anfälligkeit.

Auf der Darstellung links ist die Anfälligkeit gering, doch die Leistung des Systems bleibt gleich wie die Leistung in Abbildung 3. Die Leistung des Warnsystems auf den beiden anderen Darstellungen ist verringert; in einem Fall mit der ursprünglichen Anfälligkeit, im anderen Fall mit einer erhöhten Anfälligkeit. Bei gleicher Leistung beobachtet man, dass der Nutzer seine Schutzmassnahmen bei einem niedrigen Schwellenwert für die Eintretenswahrscheinlichkeit aktiviert, falls seine Anfälligkeit tief ist: der Begriff der Kosten C für die Schutzmassnahmen ist tief, daher kann er eine grössere Anzahl falscher Alarme tolerieren. Im Gegensatz dazu aktiviert er seine Massnahmen bei einer höheren Eintretenswahrscheinlichkeit, wenn seine Anfälligkeit grösser wird und damit die Kosten für die Schutzmassnahmen steigen. Schliesslich stellt man fest, dass höhere Wahrscheinlichkeiten gewählt werden, wenn die Leistung des Systems sinkt. Der Impact reagiert in jedem Fall. In den obenstehenden Abbildungen bleiben nur zwei Grössen im Rennen: auf der einen Seite die Anfälligkeit des Nutzers, auf der anderen der Impact des Alarmsystems. Alle aufgerufenen technischen Parameter, die als Gerüst gedient haben, fallen in der endgültigen Formulierung des konzeptionellen Modells weg.

Die Perspektive erweitern

Es ist einfach, subjektiven Kriterien den Vorzug zu geben und sich von monetären Begriffen freizumachen. Tatsächlich sind die technischen Parameter ohne Dimensionen: Hit Rate, False Alarm, Cost- und Residual Loss Ratios, Anfälligkeit

³ Der Impact wird auf Englisch «Model Value», «Economic Value» oder «Efficiency» genannt. Ich bevorzuge «Impact».

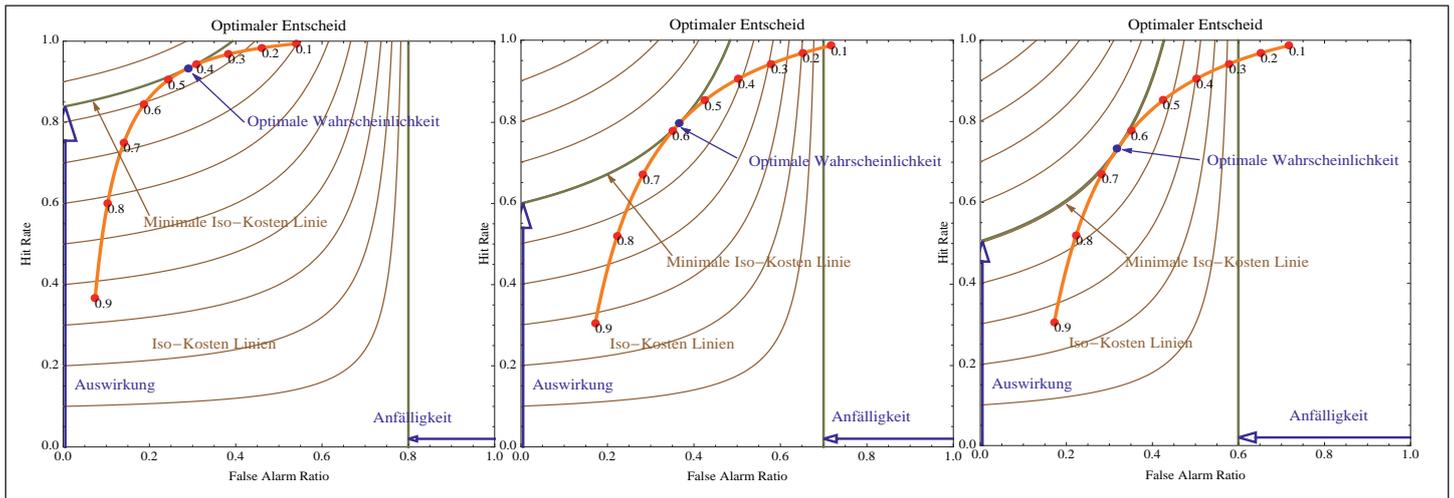


Abbildung 4: Darstellung links: gleiche Leistung wie in Abbildung 3, geringe Anfälligkeit. Die beiden anderen Darstellungen: kleinere Leistung. Mittlere Darstellung: ursprüngliche Anfälligkeit, gleich wie in Abbildung 3. Darstellung rechts: Erhöhte Anfälligkeit. Der Impact nimmt von links nach rechts ab, während der Schwellenwert für die Alarmwahrscheinlichkeit wächst.

Figure 4: Représentation de gauche: même performance que dans la figure 3, une faible vulnérabilité. Les deux autres figures: moins de performance. Figure du milieu: la vulnérabilité d'origine, la même que dans la figure 3. Figure de droite: la vulnérabilité augmente. L'impact diminue de gauche à droite, tandis que le seuil de la probabilité d'alarme augmente.

ligkeit, Impact. Wenn man zum Beispiel zur Überzeugung gelangt, dass «das Eintreten eines solchen Unglücks mir zehnmals so viel Schaden zufügt wie die Massnahmen, die ich zum Schutz davor treffe», dann kann man die Cost-Loss Ratio auf 1/10 veranschlagen. Wenn der Restschaden fünfmal kleiner ist als der des Unglücks, ist die Anfälligkeit 1/8, das heisst 12.5%.

Eine erweiterte Perspektive, die hier nicht besprochen wird, läuft auf ein Verhältnis hinaus, das die Anfangsverteilungen $u(p)$ und $v(p)$ direkt mit der Anfälligkeit verbindet und damit die Gesamtheit der Berechnungen vereinfacht [Ref. 4]. Unsere beiden Akteure scheinen infolgedessen in einem Dualitätsverhältnis⁴ zu stehen. Sobald die ROC-Kurve bekannt ist, ein Wahrscheinlichkeits-Schwellenwert für den Alarm mit dem Nutzer vereinbart worden ist und dieser sich mit der Leistung des Systems zufrieden erklärt, liefert die Projektion «auf die andere Seite des Spiegels» die Anfälligkeit sowie den Impact des Alarmsystems auf seine Geschäfte – ohne dass er diese vorab gekannt hat. Die Aufsichtsbehörden der meteorologischen Dienste, in der Schweiz das Eidgenössische Departement des Innern, verlangen meistens keine Beweise für die Leistungsfähigkeit dieser Dienste,

sondern ein Mass für ihren Impact, ihre Auswirkung, auf die Gesellschaft. Das vorliegende Modell erfüllt diese Erwartung. Das Projekt OWARNA (Optimierung der Warnungsabläufe), das gegenwärtig bei MeteoSchweiz im Gang ist, führt zur Anwendung der vorgestellten Konzepte.

Was passiert, wenn man eine Ensemble-Vorhersage wie ein Portfolio von Vorhersagen betrachtet? Unsere Hit Rate entspricht in diesem neuen Umfeld der Rendite eines Finanzportfolios und die Quote der Falschalarme ist mit seiner Volatilität, dessen eigenes Risiko, verknüpft. Unsere ROC-Kurve entspricht einer analogen Kurve, die Grenze des effizienten Portfolios – «efficient frontier» genannt, welche die beste Leistung beschreibt, die ein Portfolio in einem vorgegebenen Finanzmarkt erzielen kann. Die Meteorologen, die dazu neigen, allzu häufig zu warnen, die «exuberant warners», befinden sich im äussersten oberen Bereich der ROC-Kurve. Es ist eine pikante Beobachtung, dass sie den abenteuerlichen Händlern entsprechen, die auf der Frontseite der Financial Time erscheinen, indem sie Milliarden pulverisieren: auch diese befinden sich im äussersten Bereich rechts oben auf ihrer «efficient frontier».

Referenzen

1. Palmer T.N. et al. 2007. The Ensemble Prediction System, Recent and Ongoing Developments. ECMWF Technical Memorandum no. 540
2. <http://www.meteoschweiz.admin.ch/home/forschung-und-zusammenarbeit/projekte.subpage.html/de/data/projects/2012/cosmo-next.html>
3. Richardson D.S. 2000. Skill and Economic Value of the ECMWF ensemble prediction system. Q.J.R. Met. Soc. 2000; 126, pp. 649–667
4. Ambühl J. 2010. Customer Oriented Warning Systems. Veröffentlichungen der MeteoSchweiz no. 84, 86 pp

Adresse des Autors

Eidgenössisches Departement des Innern (EDI)
 Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz
 Operation Center 1
 Postfach 257
 CH-8058 Zürich-Flughafen
 Direktwahl: +41 58 460 95 76
jacques.ambuehl@meteoswiss.ch

⁴ Die Mathematiker sprechen von «Dualität», die Physiker ziehen den Begriff «Spiegeltheorie» vor.

Vents sur le Léman: exemples de situations extrêmes

Philippe Jeanneret

Résumé

Les tempêtes hivernales, comme Lothar et Joris, sont probablement les situations les plus propices à l'avènement d'épisodes de fort vents, mais il ne faut pas négliger les situations de bise et surtout les orages. Le 18 juillet 2005, des vents à 160 km/h ont par exemple été mesurés au Bouveret, soit 25 km/h de plus que les vents les plus forts observés au même endroit pendant la tempête Lothar, le 26 décembre 1999. Au chapitre de la force moyenne du vent sur 24 heures, la situation de bise du 25 avril 1977 apparaît comme l'évènement majeur des cinquante dernières années.

Mots-clés

Tempête, vents, bise, orage, situation extrême, Lothar



Figure 1: Tempête sur le Léman (Auteur: Michel Perret/Tamedia).
Abbildung 1: Sturm auf dem Genfersee (Autor: Michel Perret/Tamedia).

Winde auf dem Genfersee: Beispiele für Extremsituationen

Zusammenfassung

Winterstürme wie Lothar und Joris begünstigen wahrscheinlich die Bedingungen zur Entstehung von starken Winden. Doch Wetterlagen bei Bise und vor allem bei Gewittern dürfen ebenfalls nicht vernachlässigt werden. Beispielsweise wurden am 18. Juli 2005 Windgeschwindigkeiten von 160 km/h in Bouveret gemessen, das sind 25 km/h mehr als die am 26. Dezember 1999 registrierten Winde, die während des Sturms Lothar gemessen wurden. Bezüglich der mittleren Windgeschwindigkeit über 24 Stunden war die Windsituation während der Bisenlage vom 25. April 1977 das Grossereignis der letzten fünfzig Jahre.

Keywords

Sturm, Wind, Bise, Gewitter, Extremsituation, Lothar

Venti sul lago di Ginevra: Esempi di situazioni estreme

Riassunto

Tempeste invernali come Lothar e Joris sono probabilmente le situazioni le più favorevoli per la nascita degli episodi di forti venti. Ma non si deve trascurare le situazioni del vento da est e soprattutto gli temporali. Il 18 luglio 2005, ad esempio sono stati misurati venti di 160 chilometri l'ora al Bouveret, sarebbero 25 chilometri all'ora di più rispetto al vento più forte osservato durante la tempesta del Lothar, il 26 dicembre 1999. In termini di velocità media del vento nelle 24 ore, la situazione del vento da est del 25 aprile 1977 risulta di essere l'evento più rimarchevole degli ultimi cinquant'anni.

Parole chiave

Tempesta, venti, vento da est, temporale, estremo, Lothar

Introduction

Le présent exposé n'a pas la prétention de faire une description exhaustive des situations de vents extrêmes sur le Léman. Ne remontant que jusqu'à 1982, les séries de mesures dont nous disposons ne sont en effet pas assez complètes pour recenser les évènements pertinents des dernières décennies. Il montre cependant – exemples à l'appui – dans quelles situations les vents peuvent atteindre une force significative.

Vents d'Ouest

Situation du 26 décembre 1999: En prenant comme critère, le temps d'Ouest accompagné de forts vents, la tempête Lothar du 26 décembre 1999 apparaît comme l'un des évènements les plus marquants des dernières décennies en Suisse, avec des pointes de 162 km/h à Schaffhouse et 229.7 km/h au Säntis.

Bien que le pourtour lémanique se soit trouvé en marge de la zone de vents tempétueux qui circulaient sur le Nord



Figure 2: Situation générale et relevés de vents du 26.12.1999 (source: Météosuisse, Photo: Préverenges / auteur: Joël Bruezière).
 Abbildung 2: Allgemeine Lage und Windmessungen vom 26.12.1999 (Quelle: MeteoSchweiz, Foto: Préverenges / Autor: Joel Bruezière).

de la Suisse ce jour-là, St-Prex et le Bouveret ont respectivement enregistré des rafales de 126 km/h et de 135 km/h. Comme on le verra un peu plus loin, ces valeurs constituent des extrêmes sur le Léman, dans la catégorie des vents synoptiques.

produites ces dernières années. L'un des épisodes les plus remarquables a été celui du 8 mars 2010, avec des pointes à plus de 90 km/h, mesurées entre les stations de St-Prex et de Changins. Grand classique des situations de forte bise, les vents ont été moins soutenus sur

le Haut-lac Léman, comme au Bouveret où les rafales n'ont pas dépassé les 52 km/h.

On précisera que la force exceptionnelle de la bise n'était pas seulement déterminée par le gradient de pressions entre les hautes pressions qui se trouvaient sur les îles britanniques et la dépression centrée sur la Méditerranée (20 hPa entre Gênes et Amsterdam); le fait que les vents aient été orientés au Nord-est jusqu'au niveau de la tropopause et qu'ils se soient accompagnés d'une forte advection d'air froid a également joué un rôle.

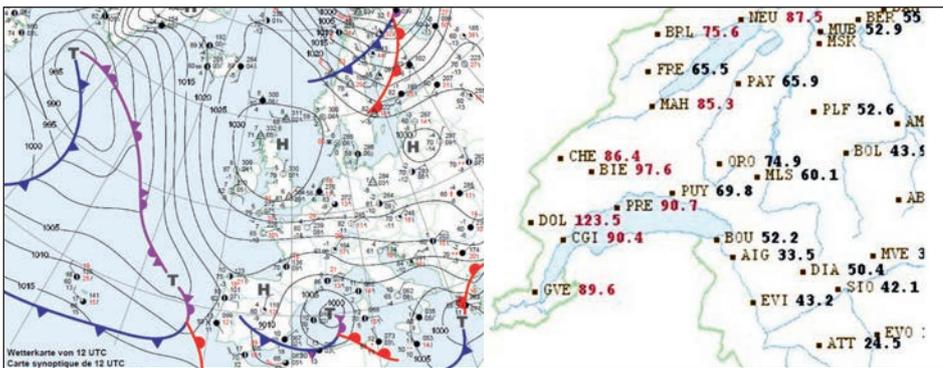


Figure 3: Situation générale et relevés de vents du 8.3.2010 (source: Météosuisse).
 Abbildung 3: Allgemeine Lage und Windmessungen vom 8.3.2010 (Quelle: MeteoSchweiz).

La taille impressionnante des vagues observées pendant cette journée s'explique en grande partie par la force des vents et leur orientation (avec le vent d'Ouest, le fetch s'étend sur pratiquement toute la longueur du Léman). Mais le fait que Lothar se soit développé dans un train de dépressions – entre les tempêtes Kurt et Martin –, a constitué une circonstance aggravante, par la présence de phénomènes de houle et de bascules (ou seiches) de parts et d'autres du lac. Pour ceux qui voudraient en savoir plus sur le contexte synoptique dans lequel la tempête s'est formée, voir WSL et BUWAL (2001) et SMA-MeteoSchweiz (2000).

Bise

Situation du 8 mars 2010: Plusieurs situations de forte bise se sont

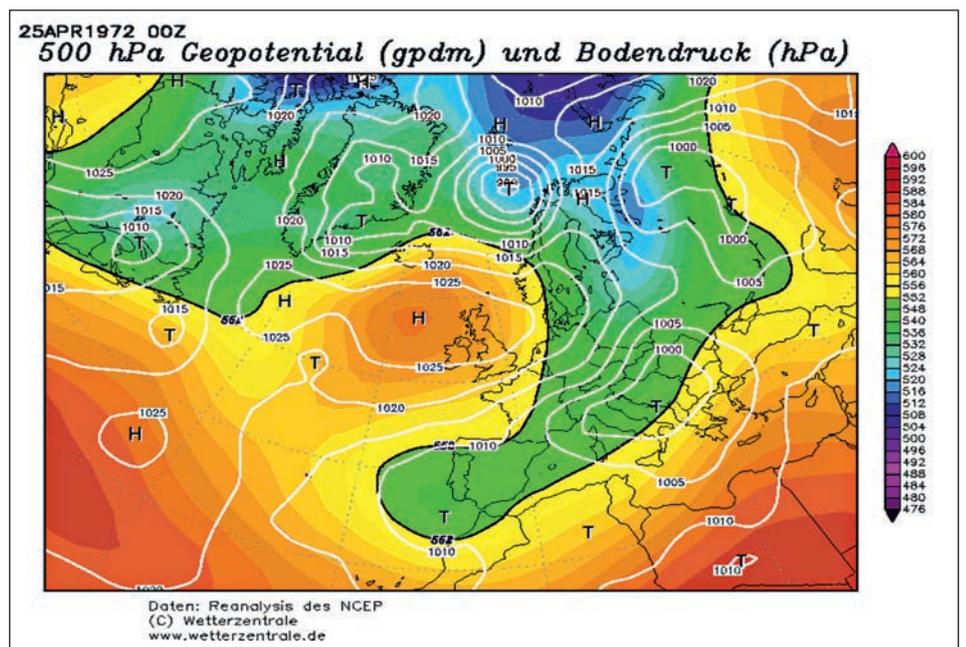


Figure 4: Répartitions des pressions au sol (MSL) et à 500 hPa (source: wetterzentrale.de).
 Abbildung 4: Verteilung des Bodendrucks (MSL) und 500 hPa (Quelle: wetterzentrale.de).

(1972), dans son ouvrage «Climat et météorologie de la Suisse romande». Voici des extraits de son témoignage: «Au Mont-sur-Lausanne, j'ai mesuré la vitesse de déplacement des ombres portées sur le sol par les petits cumulus entraînés par le courant de nord-est au niveau de 1200 m environ: à 8h, elle était de 120 km/h. Au sol même, elle devait être un peu inférieure à cette valeur aux endroits bien dégagés. La vitesse moyenne de 110 km/h pendant une heure constitue probablement

Situation du 28 avril 2012: L'un des événements les plus marquants des dernières années a probablement été la situation du 28 avril 2012, avec le déplacement d'un centre dépressionnaire de l'Espagne vers la Bretagne. Situation caractérisée par un écart de pressions de 8 hPa entre le Tessin et le Plateau, vers 8h du matin, et la présence d'un puissant jet stream en altitude. Pendant cette journée du 28 avril, le déplacement d'un centre dépressionnaire vers la Bretagne a provoqué une baisse générale des pressions sur l'Ouest de

là, différence de 1.6 hPa vers 14h suffit à la déclencher, ce qui montre la portée du phénomène. L'épisode de Vaudaire prend fin le 29 au matin au moment où se termine la baisse de pressions. Pendant cet épisode, les températures ont également joué un rôle important: il arrive en effet assez souvent que le Foehn ne souffle qu'en altitude, à cause de la présence d'air froid dans les basses couches de l'atmosphère (l'air chaud – de faible densité – ne parvient pas à éliminer l'air froid – plus lourd – qui se trouve au-dessous). Mais il n'en est rien pendant la journée du 28 avril, les températures atteignant jusqu'à 24 degrés sur l'Arc lémanique. La Vaudaire a ainsi réussi à se poser sur le Haut-lac mais également sur Lausanne (dépassant par moments les 50 km/h), ce qui est assez rare. Pour mémoire, la journée du 28 avril a été marquée par des rafales à près de 204 km/h au Gütsch (2287 m s.m.). Les vents ont également été soutenus à basse altitude, comme à Evionnaz et au Bouveret où les pointes ont respectivement atteint 135 et 104.8 km/h. Fait assez rare, le Foehn s'est fait ressentir jusqu'à Genève.

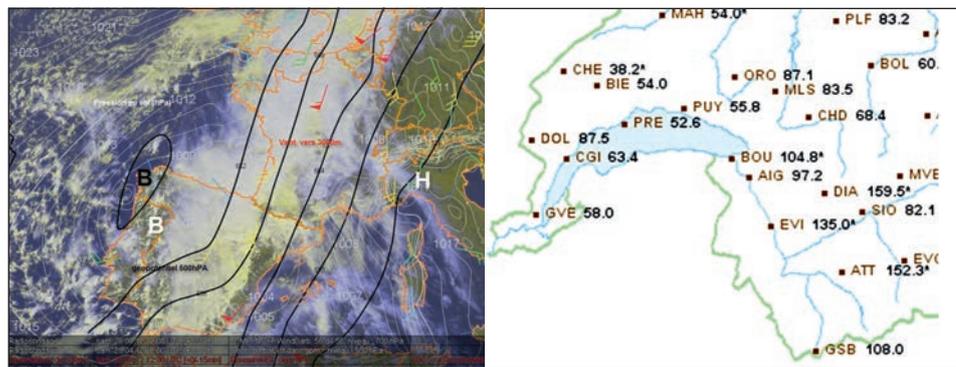


Figure 5: Situation générale et relevés de vents du 28.4.2012 (source: MétéoSuisse).
Abbildung 5: Allgemeine Lage und Windmessungen vom 28.4.2012 (Quelle: MeteoSchweiz).

le maximum absolu au sol de ce vent froid en Suisse romande.» Les documents photographiques, attestant de la hauteur de vagues sur le Léman (en particulier sur le Petit-lac et dans la baie d'Excenevex) pendant cet épisode, sont malheureusement assez rares.

Vaudaire

La Vaudaire peut se manifester sur le Haut-lac en présence de cellules orageuses sur la vallée du Rhône ou pendant un épisode de Foehn dans les Alpes.

l'Europe. Cette baisse – bien visible sur les mesures de MétéoSuisse – a été particulièrement rapide sur le Plateau, comme à Pully où la pression est passée de 1013 hPa à 1005.1 hPa entre 9h et 21h, d'où une forte dynamique dans l'allure générale des courants. Cette particularité explique la force inhabituelle du Foehn mais également la présence d'une puissante Vaudaire sur le Haut et le Grand-lac Léman. D'habitude cette dernière ne souffle qu'à partir du moment où un écart de 4 hPa est observé en Sion et Pully. Mais une ce jour-

Joran

A l'instar de la Vaudaire, le Joran peut se développer en situation orageuse (avec le célèbre cas du 2 juillet 1998, marqué par des rafales à plus de 130 km/h à l'aéroport de Genève) ou en raison de variations de pressions à grande échelle. Dans ce dernier domaine, la tempête Joris constitue une solide référence.

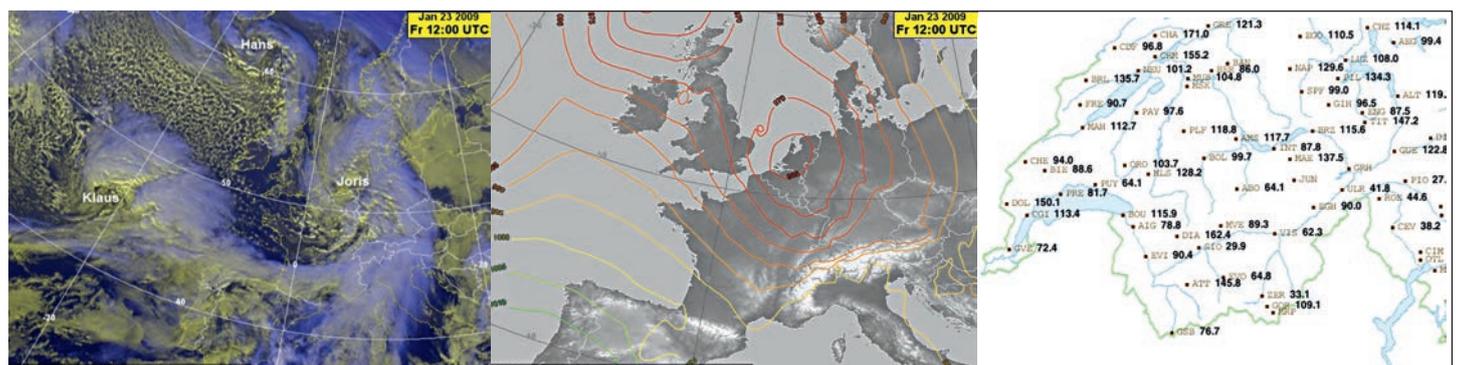


Figure 6: Image satellite, situation générale et relevés de vents du 23.1.2009 (source: MétéoSuisse).
Abbildung 6: Satellitenbild, allgemeine Lage und Windmessungen vom 23.1.2009 (Quelle: MeteoSchweiz).

Situation du 23 janvier 2009:

Conditionnée par le déplacement d'un centre dépressionnaire entre les Cornouailles et le Danemark, la tempête s'est d'abord caractérisée le 23 janvier par une forte baisse de pression sur le Plateau. D'où l'apparition d'une violente Vaudaire sur le Haut-lac et la vallée du Rhône, avec des rafales à plus de 100 km/h entre Martigny et Aigle. L'arrivée d'air froid à l'arrière de la dépression vers la mi-journée s'est accompagnée ensuite d'une forte hausse de pression depuis la France. D'où une bascule de vents au Nord-ouest, avec des rafales à plus de 110 km/h sur le bassin lémanique.

Dans l'après-midi du 23 janvier, des vagues d'une forte hauteur et d'une amplitude inhabituelle ont pu être observées sur le Haut-lac. Le phénomène s'explique par la force des vents mais surtout par la rapidité avec laquelle la bascule s'est produite.

Pendant l'épisode, MétéoSuisse a relevé des rafales à 104 km/h à Fahy (JU), 155 km/h à Cressier (NE), 113 km/h à Nyon (VD), 115.9 km/h au Bouveret (VS), 128 km/h au Moléson (FR) ou encore 136 km/h à La Brévine (NE).

Vents d'orages

Situation orageuse du 18 juillet 2005: Chaque été amène son lot d'orages et ses coups de tabac. Mais la situation du 18 juillet 2005 se distingue à plus d'un titre des autres situations répertoriées sur le Léman.

Outre les quantités de précipitations, l'épisode s'est caractérisé par de fortes chutes de grêle et une intense activité électrique (des éclairs en boule ont même été signalés). Les vents ont par ailleurs été d'une rare violence, atteignant les 160 km/h au Bouveret. Seule, la tempête Lothar en 1999 avait permis d'atteindre cette force en plaine (162 km/h à Schaffhouse).

Chronologie des évènements:

Le processus a démarré en début d'après-midi avec l'arrivée d'air chaud, humide et particulièrement instable sur la région lémanique, permettant la formation de premières cellules orageuses.

La présence d'un jet d'altitude soufflant à plus de 80 nœuds mais également de phénomènes de cisaillement (changements de direction et d'intensité des champs de vent, selon l'altitude) ont ensuite favorisé la formation d'une su-

percellule orageuse, vers 14h40. Si la station de mesure de l'aéroport indique des vents d'environ 50 km/h, les images tournées au même moment par un chasseur d'orage près de Bernex (GE), montrent que ces derniers sont déjà beaucoup plus forts. De premières chutes de grêle s'abattent sur le vignoble genevois.

Entre 15h15 et 15h30, la super cellule qui a longé la rive droite du Léman, s'active au-dessus de Thonon et traverse le lac. Le front de rafale qui l'accompagne prend des formes de plus en plus nettes, signe d'une activité intense.

A ce stade du développement orageux, les grêlons atteignent la taille d'une balle de ping-pong sur la région de Chexbres. Simultanément, les rabattants qui s'écoulent depuis le nuage, s'engouffrent vers le Bouveret et s'accroissent entre les reliefs du Haut-lac. D'où un effet venturi qui permet aux vents d'atteindre les 160 km/h.

Vers 15h45, la super cellule qui se déplace avec les vents de Sud-ouest se résorbe quelque peu et atteint les Préalpes. Elle perdra toute sa puissance dans la demi-heure suivante. En tout, l'épisode aura duré un peu plus d'une heure.

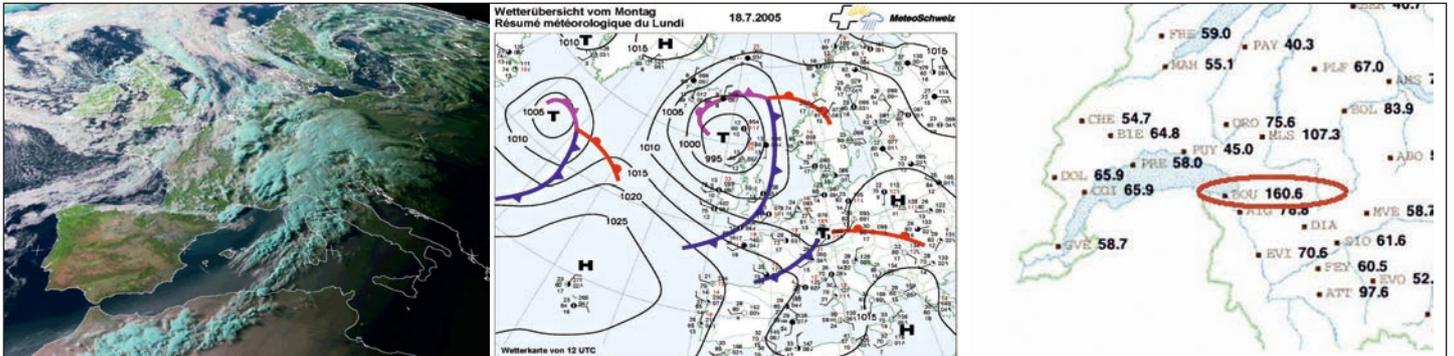


Figure 7: Image satellite, situation générale et relevés de vents du 18.7.2005 (source: MétéoSuisse).
Abbildung 7: Satellitenbild, allgemeine Lage und Windmessungen vom 18.7.2005 (Quelle: MeteoSchweiz).



Figure 8: Image radar, Tornadoe et front de rafales sur Haut-lac léman le 18.7.2005, 23.1.2009 (source: MétéoSuisse).
Abbildung 8: Radarbild, Windhose und Böenfront auf den Höhen des Genfersees 18.7.2005, 23.1.2009 (Quelle: MeteoSchweiz).

L'analyse de clichés réalisés par les témoins de l'événement révélera la présence d'une tornade sur le Haut-lac. Phénomène extrêmement rare sur le Léman (contrairement aux trombes lacustres qui se produisent régulièrement sur les lacs suisses).

A l'instar de la plupart des situations orageuses, l'événement ne s'est pas accompagné de fortes vagues.

Situations extrêmes dans la durée des évènements

La force et la distance sur laquelle le vent souffle jouent un rôle déterminant dans la formation des vagues mais la durée des évènements est également primordiale. Tenant compte du vent moyen sur 24 heures, la compilation des données d'archives de MétéoSuisse fait ressortir quatre situations:

- 17 mars 1962 - Situation de bise. Vent moyen sur 24h à Genève: 86 km/h

- 25 avril 1972 - Situation de bise. Vent moyen sur 24h à Changins: 86 km/h
- 26 janvier 2005 - Situation de bise. Vent moyen sur 24h St-Prex: 43 km/h
- 18 décembre 2011 - Tempête Joachim. Vent moyen sur 24h au Bouveret: 41 km/h

De toutes les situations abordées dans le présent exposé, seul le cas de 25 avril 1972 apparaît dans le classement. Ce qui met en exergue son caractère extrême.

Conclusion

Les témoignages - films ou photographies - dont nous disposons montrent que sur le Léman, les vagues les plus hautes sont atteintes avec les vents d'Ouest, ce que corrobore la situation du 26 décembre avec des creux de plus de trois mètres observés au plus fort de l'évènement. L'étude de Philippe Heller et d'Azin Amini, sur les hauteurs significatives des vagues sur les lacs suisses, conforte ce point. Certes, les

résultats montrent que les vagues peuvent atteindre 3.80 m une fois tous les cinquante ans, alors qu'en réalité la période de retour de tels évènements est de cent ans. Mais la logique qui veut que la hauteur maximale de vagues soit atteinte avec le temps d'Ouest est respectée.

Malgré une force de vents parfois supérieure en pointe à celle de Lothar, les situations orageuses ne génèrent pas de hauteur de vague équivalentes, à l'instar des évènements du 18 juillet 2005. Le phénomène s'explique en grande partie par la durée relativement faible des coups de vents mais également par les proportions réduites du fetch, qui accompagnent ce genre de situation. Il faut toutefois se garder des généralités car il arrive parfois que des coups de tabac s'étalent sur des laps de temps relativement longs - par exemple au passage d'un front orageux - et génèrent «in fine» des hauteurs de vagues significatives.

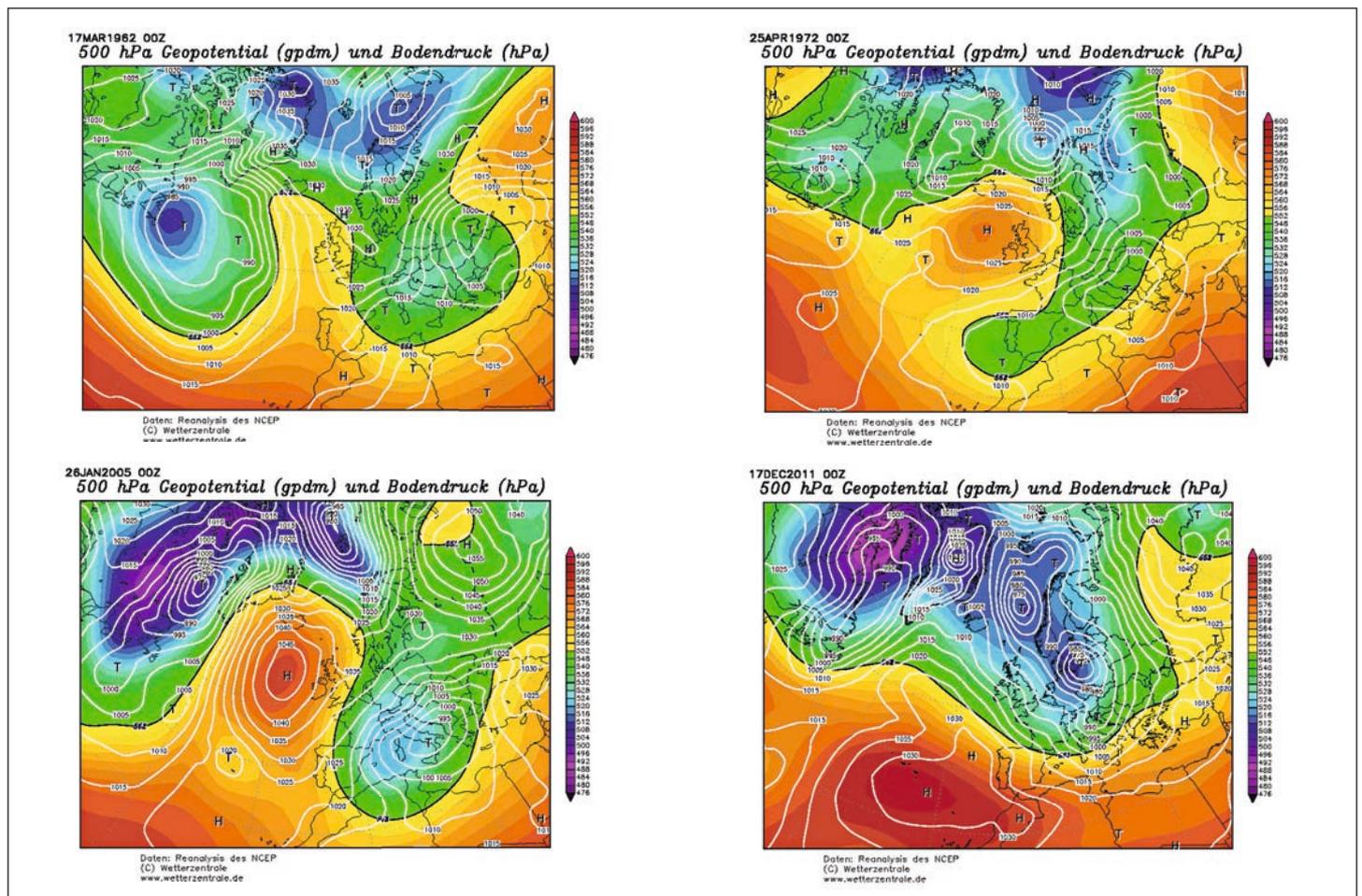


Figure 9: Répartitions des pressions au sol (MSL) et à 500 hPa (source: wetterzentrale.de).
 Abbildung 9: Verteilung des Bodendruck (MSL) und 500 hPa (Quelle: wetterzentrale.de).

Au-delà de toute considération sur les périodes de retour, il serait par ailleurs intéressant de réanalyser les situations de bise de 1962 et de 1977. Par la force exceptionnelle du vent sur une période de 24 heures, ces dernières ont peut-être généré des hauteurs de vagues comparables à celle du 26 décembre 1999.

Adresse de contact de l'auteur

Philippe Jeanneret
Radio Télévision Suisse
20, quai Ernest-Ansermet
1211 Genève

Remerciements

Remerciements à M. Lionel Peyraud pour ses recherches des situations de forts vents sur des durées de 24 heu-

res mais également pour ses précieuses analyses de la situation du 18 juillet 2005.

Littérature

Ceppi, P., Della-Marta, P.M., Appenzeller, C. (2008). Extreme Value Analysis of Wind Speed Observations over Switzerland, *Arbeitsbericht MeteoSchweiz* Nr. 219, p. 48

Elisabeth Gordon (2010). GÉOSCIENTES – Pourquoi la bise est-elle froide et le foehn chaud? – Les vents les plus violents qu'on connaisse, *Magazine ALLEZ SAVOIR!* / N°48, septembre 2010, Université de Lausanne, pp. 50–56

Max Bouët (1972). *Climat et météorologie de la Suisse romande*, Payot, Lausanne, Suisse, éd. 1985, nouvelle édition, revue et mise à jour

SMA-MeteoSchweiz (2000). Der Orkan «Lothar», *Wasser, Energie, Luft – Eau, Energie, Air*, Jahrgang 92, Heft 1/2-2000, pp. 21–22

WSL und BUWAL (2001). Lothar. Der Orkan 1999. Ereignisanalyse, Eidg. Forschungsanstalt WSL Birmensdorf, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL Bern, ca. p. 400

LATLAS: Atlas des vagues pour les lacs de Suisse – Généralisation pour le dimensionnement

Philippe Heller, Azin Amini

Résumé

Le projet LATLAS a pour objectif de définir une méthodologie et son application à quelques grands lacs de Suisse pour l'établissement des vagues de dimensionnement. Une connaissance globale et précise des paramètres de vagues est en effet requise tant pour la construction des infrastructures des rives que le contrôle de l'érosion des berges ou le calcul du transport sédimentaire. Basé sur une modélisation numérique SWAN des lacs ainsi que sur des scénarios de vent définis à partir du modèle COSMO2 modifié selon la statistique des stations de mesure (modèle et stations de MétéoSuisse), l'ensemble des résultats calculés est accessible depuis la plateforme Internet www.swisslakes.net. Chaque point de calcul (environ 15 m sur les rives) fait ainsi l'objet d'une rose des vagues qui fixe la hauteur significative attendue par direction et par temps de retour.

Mots-clés:

Hauteur des vagues, vent, lac, SWAN, vagues de dimensionnement

LATLAS: Atlas der Wellen der Schweizer Seen – Generalisierung zur Dimensionierung

Zusammenfassung

Ziel des LATLAS-Projekts ist, eine Methodik und ihre Anwendung auf einigen grossen Seen in der Schweiz zur Erfassung der Dimensionierungs-Wellen zu definieren. Eine umfassende und genaue Kenntnis der Wellenparameter ist in der Tat sowohl für den Bau der Infrastruktur der Ufer wie auch zur Kontrolle der Ufererosion oder der Berechnung des Sedimenttransportes wichtig. Basierend auf dem numerischen Seegangmodell SWAN für Seen sowie auf be-

stimmten Windszenarien aus Cosmo2, welche gemäss Statistiken der Messstationen (Modell und Stationen von Meteo-Schweiz) verändert wurden, sind alle errechneten Ergebnisse auf der Internetplattform www.swisslakes.net einsehbar. Jeder berechnete Punkt (ca. 15 m von der Küste) ist Gegenstand einer «Wellenrose», welche die erwartete signifikante Höhe bestimmt, indem sie sich auf die Windrichtung und Rücklaufzeit bezieht.

Keywords:

Wellenhöhe, Wind, See, SWAN, Dimensionierungswellen

LATLAS: Atlas delle onde per i laghi Svizzeri – generalizzazione per il dimensionamento delle onde

Riassunto

Il progetto LATLAS mira a definire una metodologia e la sua applicazione ad alcuni laghi in Svizzera per la rilevazione del dimensionamento delle onde. Una conoscenza completa e precisa dei parametri dell'onda è, infatti, necessaria sia per la costruzione delle infrastrutture delle rive, sia per il controllo delle erosioni delle sponde come anche per misurare il trasporto solido. Sulla base della modellazione numerica del corso d'acqua del lago SWAN e gli scenari di venti definiti dalla COSMO2, modificati secondo le statistiche delle stazioni di misure (modelli e stazioni di MeteoSvizzera), tutti i risultati calcolati sono accessibili dalla piattaforma internet www.swisslakes.net. Ogni punto di calcolo (circa 15 m sulla sponda) è oggetto della direzione delle onde che determina l'altezza significativa prevista dalla direzione e il tempo di ritorno.

Parole chiave

Altezza delle onde, vento, lago, SWAN, dimensionamento delle onde

Introduction

Les vagues jouent un rôle déterminant pour la formation des berges et leur énergie constituent ainsi une donnée essentielle pour le dimensionnement des structures de rive tout comme pour le calcul du transport de sédiment ou l'érosion des plages. Si les conditions moyennes peuvent être facilement déterminées par des séries de mesure relativement courtes, les conditions extrêmes, de période de retour à définir, sont plus difficiles à quantifier. L'utilisation de la statistique des vents, pour lesquels de longues séries de mesure existent, jointe à un modèle de simulation des vagues permet de pallier à ce défaut.

S'il existe des atlas de vagues sur les océans ou les mers intérieures (Cavaleri et al. (2005) pour la mer méditerranéenne ou pour le golfe persique (Moradi and Kabiri 2009) les lacs de taille plus modeste n'ont encore jamais fait l'objet d'une telle étude exhaustive. D'autre part, ces atlas sont plutôt basés sur des historiques de vent pour reproduire les vagues du passé sans chercher à obtenir des valeurs extrêmes utiles pour le dimensionnement.

Focalisée sur les lacs suisses, l'étude réalisée dans le cadre de LATLAS définit la hauteur significative des vagues attendue par direction et par période de retour. La représentation des résultats est donnée en tout point de la rive sur la plateforme Internet www.swisslakes.net sous forme de rose des vagues. Les cinq lacs considérés, dont le lac Léman qui est le plus grand lac d'Europe de l'ouest, sont représentés à la fig. 1.

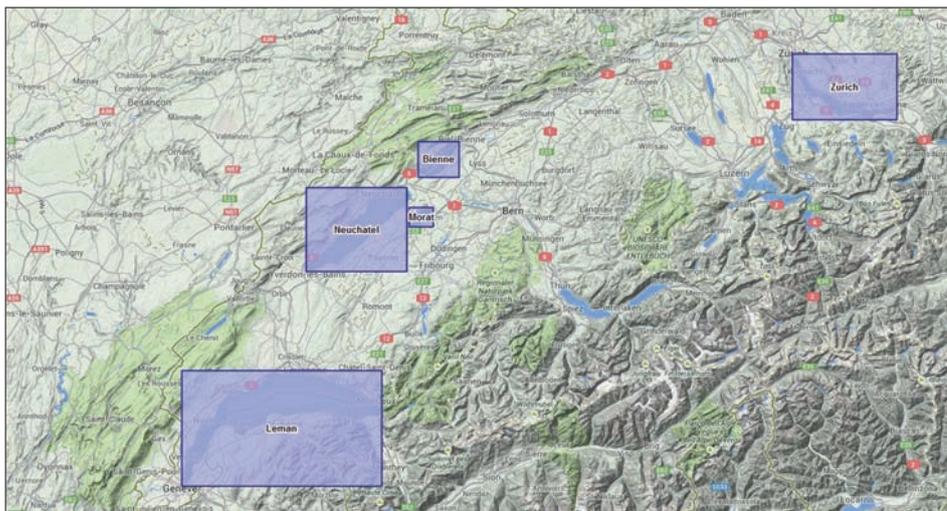


Figure 1: swisslakes.net et les lacs modélisés (Léman, Neuchâtel, Bienne, Morat et Zurich).
Abbildung 1: swisslakes.net und die modellierten Seen (Genf, Neuenburg, Biel, Murten und Zürich).

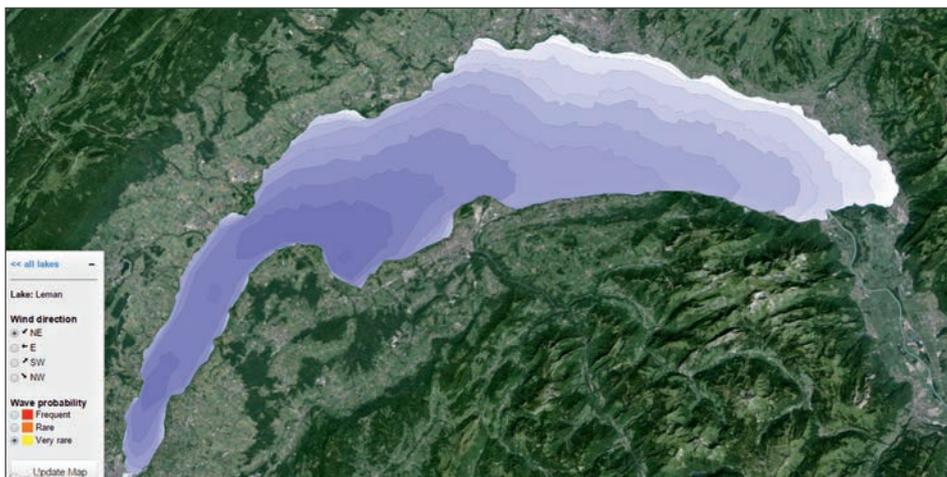


Figure 2: Vue d'ensemble du lac Léman avec un scénario choisi (direction NE et période de retour 50 ans).
Abbildung 2: Übersicht des Genfersees mit einem ausgewählten Szenario (Nord-Ost und Wiederkehrperiode 50 Jahre).

Méthodologie

Le calcul des vagues est basé d'une part sur la définition de scénario de vent extrême et d'autre part sur la modélisation numérique pour en calculer les vagues résultantes. Les scénarios de vent sont basés sur les données de MétéoSuisse. La modélisation numérique est réalisée avec le logiciel SWAN développé à l'Université Technique de Delft (Booij et al. 1996). Les scénarios couvrent les principaux vents observés sur chaque lac (3–4 directions par lac) et s'affranchissent ainsi de modéliser toutes les directions (36 scénarios pour des cadrans de 10°). Pour les directions principales, la période de retour, attribuée à chaque intensité de vent, est déduite de l'analyse sta-

tistique des vents aux stations (environ 30 ans de données horaires) réalisée à partir de la rose des vents et des courbes «Intensité/Durée/Fréquence» qui en découlent. Afin de considérer les effets orographiques sur le lac (modification locale de la direction) ainsi que la différence de vitesse qui peut être observée entre la mesure à la station et le vent sur le plan d'eau, les champs de vent produit par les modèles prévisionnels COSMO2 sont utilisés. L'intensité de base du champ est toutefois adaptée à la valeur correspondante de la période de retour souhaitée (2.33, 20 et 50 ans). Les simulations hydrauliques sont réalisées avec le logiciel SWAN, communément utilisé (Jin and Ji (2001), Moeini

and Etemad Shahidi (2009), Sayah et al. (2005)). Ce dernier intègre les processus de réflexion, de réfraction et de diffraction. La bathymétrie du lac est introduite dans un modèle de mailles triangulaires à taille variable. La rive est limitée à une profondeur minimale de 1.0 m (niveau moyen de chaque lac considéré) et modélisée avec une maille maximale de 15 m. Afin de considérer tant les effets du vent que ceux de la houle (produite par un vent qui souffle sur une autre partie du lac mais pas à l'endroit d'intérêt, comme par exemple la Vaudaire sur le lac Léman), tous les lacs sont modélisés et calculés d'un seul tenant. Une attention particulière est portée à la bathymétrie et la taille correspondante des mailles afin d'éviter toute instabilité numérique. Afin de déterminer la durée critique qui génère la plus grande vague, 8 durées par scénarios sont calculées (de 30 minutes à 5 heures) et seule la plus grande valeur de vague est retenue en chaque point du lac.

Publication des résultats

L'ensemble des résultats est disponible sur le site Internet géoréférencé www.swisslakes.net. De manière très intuitive, après le choix d'un lac, les résultats sont disponibles graphiquement par une vue d'ensemble du lac illustrée à la fig. 2 (pour un scénario et une période de retour choisie) ou de manière locale en sélectionnant un point précis sur le lac. Comme illustré à la fig. 3, les valeurs numériques des hauteurs des vagues significatives (pour chaque direction et chaque période de retour) sont alors données sous forme d'une rose des vagues.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier chaleureusement la section Innovation de l'Office Fédéral de l'Environnement sans le soutien financier de qui la réalisation de ce projet n'aurait pas été possible. Ils remercient également grandement le Dr Selim Sayah pour son soutien tout au long de ce projet.



Figure 3: Rose des vagues avec les valeurs numériques par direction et période de retour.
 Abbildung 3: Wellenrose mit numerischen Zahlenwerten, bestimmt durch Richtung und Wiederkehrperioden.

Adresse de contact de l'auteur

Philippe Heller, Azin Amini
 e-dric.ch sàrl, Lausanne, Switzerland
 Chemin du Rionzi 54
 1052 Le Mont sur Lausanne
 atlas@e-dric.ch

ments and numerical modeling of wind waves in Lake Biel: a basic tool for shore protection projects, Proc. IAHR, pp. 4332–4343.

Références

Booij N., Holthuijsen L.H. and Ris R.C. (1996). The SWAN Wave Model for Shallow Water, Proc. Conference On Coastal Engineering, Orlando, Florida, USA, pp. 668–676.

Cavaleri L. (2005). The wind and wave atlas of the Mediterranean Sea – the calibration phase, Advances in Geosciences, Vol. 2, pp. 255–257.

Jin K. and Ji Z. G. (2001). Calibration and verification of a spectral wind–wave model for Lake Okeechobee, Ocean engineering, pp. 571–584.

Moeini M. H. and Etemad-Shahidi A. (2009). Wave parameter Hindcasting in a lake using the SWAN model, Scientia iranica, Transaction A: Civil Engineering, Vol. 16, No 2, pp. 156–164.

Moradi M. and Kabiri K. (2012). Spatial modeling and data management of the Persian Gulf wave atlas, Conference Humanities, Science and Engineering (CHUSER), IEEE, pp. 177–182.

Sayah S., Mai S., Boillat J.-L. and Schleiss A. J. (2005). Field measure-



Samen und Pflanzen für die Hangsicherung
 zusammengestellt nach Wurzelprofilen und
 Erosionsschutzwirkung.
 Objektbesichtigung kostenlos
 Lieferung ganze Schweiz und EU



Schutz Filisur, Samen u. Pflanzen AG, CH-7477 Filisur
 Tel. 081 410 40 00, Fax. 081 410 40 77
 samenpflanzen@schutzfilisur.ch

Grundlagen für einen umfassenden Uferschutz an Seen

Christoph Iseli

Zusammenfassung

Ein umfassender Schutz der Seen und ihrer Ufer sowie eine gezielte Entwicklung in Richtung eines naturnahen Zustandes sind heute anerkannte Ziele. Eine Voraussetzung für die Erreichung dieser Ziele sind gute Kenntnisse nicht nur über den Zustand der Seen und der Seeufer, sondern auch über die biologischen, chemischen und physikalischen Prozesse, welche die naturnahen Gewässer prägen. Ein wichtiger Schritt zum umfassenden Schutz der Seeufer ist die Entwicklung eines Modul-Stufen-Konzepts für Seen, welches den Rahmen für standardisierte Gewässeruntersuchungen und -bewertungen bilden soll. Der vorliegende Artikel gibt eine Übersicht über den aktuellen Stand der Entwicklung der wichtigsten Module und deren Stellenwert für den Seeufer-schutz.

Keywords

Seeufer, Seeuferschutz, Modul-Stufen-Konzept

Fondements d'une protection globale des berges des lacs

Résumé

Une protection globale des lacs et de leurs rives, comme le développement ciblé vers un état proche de la nature sont actuellement des objectifs reconus. Une condition préalable pour la réalisation de ces objectifs est d'avoir une bonne connaissance de l'état des lacs et des rives, mais aussi des processus chimiques et physiques qui marquent les eaux naturelles. Une étape importante pour la protection globale de la rive du lac est de développer un système modulaire gradué des lacs, qui constituerait le cadre pour les en-

quêtes et les évaluations standardisées de l'eau. Cet article donne un aperçu de l'état actuel du développement des modules principaux et leur importance pour la protection du lac.

Mots-clés

Rives, protection des rives, système modulaire gradué

Fondamenti per una protezione completa delle rive dei laghi

Riassunto

Oggi giorno la protezione completa dei laghi e le loro rive come anche uno sviluppo mirato verso uno stato quasi naturale sono degli obiettivi ben riconosciuti. Una condizione per il raggiungimento di questi obiettivi non sono solo una buona conoscenza sullo stato dei laghi e delle rive, ma anche sui processi biologici, chimici e fisici che determinano le acque naturali. Un passo importante per la protezione completa della riva del lago è di sviluppare un sistema modulare graduale per laghi, che fornirebbe l'ambiente per gli analisi delle acqua standardizzati e delle loro valutazioni. Quest'articolo fornisce un riassunto dello stato attuale di sviluppo dei principali moduli e la loro importanza per la protezione del lago.

Parole chiave

Rive, protezione sponda del lago, sistema modulare graduale

1. Einleitung

Seen und ihre Ufer sind ein wichtiger Teil unserer Landschaft. Nutzungen und Eingriffe beeinflussen ihre Funktionen z.B. als Lebensraum für die Tier- und Pflanzen-

welt, als Trinkwasserressource, als kulturhistorisches Archiv neolithischer Siedlungen oder als Erholungsraum für den Menschen. Während heute bereits viele Ufer hart verbaut sind (vgl. de Cesare in diesem Heft), nimmt der Nutzungsdruck beidseits der Uferlinie weiter zu. Ein umfassender Schutz der Seen und ihrer Ufer sowie eine gezielte Entwicklung in Richtung eines naturnahen Zustandes werden deshalb immer vordringlicher.

Im Hinblick auf die Änderung des Gewässerschutzgesetzes vom 1.1.2011¹ definierte der Bund Entwicklungsziele für die Schweizer Gewässer. Eines der Ziele ist, naturnahe Fließgewässer und Seeufer zu erhalten und wiederherzustellen, um so deren Ökosystemleistungen langfristig zu verbessern und zu sichern. Voraussetzung für einen umfassenden Schutz und die naturnahe Wiederherstellung der Gewässer sind gute Kenntnisse nicht nur über ihren Zustand, sondern auch über die biologischen, chemischen und physikalischen Prozesse, von welchen die naturnahen Gewässer geprägt sind.

An den Seeufern bestehen diesbezüglich im Vergleich zu den Fließgewässern noch immer grössere Defizite. In den vergangenen Jahren sind jedoch verschiedene Untersuchungen durchgeführt und Methoden entwickelt worden, so z.B. im Rahmen des Forschungsprojekts Erosee (Iseli und Schleiss 2006). Gleichzeitig wurden auch etliche Renaturierungsvorhaben realisiert, wobei wertvolle Erfahrungen gesammelt werden konnten. In jüngster Zeit wurden verschiedene Projekte initiiert, um die vorhandenen Kenntnisse und Erfahrungen weiter zu vertiefen. Der Rahmen, in welchem die aktuellen Methoden und Untersuchungen in einen systematischen Zusammenhang gestellt werden, ist das sog. Modul-Stufen-Konzept für Seen.

¹ Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer vom 24. Januar 1991 (Gewässerschutzgesetz, GSchG, SR 814.20)

2. Ein Modul-Stufen-Konzept für Seen

Um die Gewässer umfassend schützen und aufwerten zu können, muss ihr Zustand genau bekannt sein. Ein wichtiger Schritt auf dem Weg, die vorhandenen Wissenslücken zu schliessen, ist der Entsch eid des Bundes, ein Modul-Stufen-Konzept für Seen zu entwickeln. Dieses soll den Rahmen für standardisierte Gewässeruntersuchungen und -bewertungen bilden. Das 2013 publizierte Konzept für die Untersuchung und Beurteilung der Seen (Schlosser et al. 2013) gibt eine Anleitung zur Entwicklung von Methoden zur Erhebung des gesamtökologischen Gewässerzustands. Geplant ist die Aufarbeitung der Methoden für die Beurteilung des chemischen, physikalischen und biologischen Zustands in verschiedenen Modulen und verschiedenen Stufen des Detaillierungsgrads. Das Modul-Stufen-Konzept wird damit die Grundlage für die Planung und Durchführung von Zustandserhebungen, zur anschliessenden Zustandsbewertung und schliesslich zur Herleitung der Massnahmen.

Die Bewertung eines Gewässers richtet sich nach einem naturnahen Referenzzustand, welcher gleichzeitig als oberstes Ziel aller Gewässerschutzmassnahmen festgelegt wird. Um eine integrale Beurteilung des Gesamtzustands (Synthese) eines Sees zu ermöglichen, wird dieses Oberziel in einer sogenannten Zielhierarchie in konkretere Unterziele zerlegt. Den Unterzielen auf dem untersten hierarchischen Niveau werden objektiv messbare Grössen – sogenannte Attribute – zugeordnet, mit welchen sich die Erreichung der Ziele überprüfen lässt. Die Wahl dieser Attribute erfolgt so, dass sich die Zielerreichung möglichst einfach quantifizieren lässt.

3. Die einzelnen Module

Das Modul-Stufen-Konzept erlaubt eine systematische Erfassung der Grundlagen und damit eine Vergleichbarkeit unter den Seen, vor allem aber eine Vergleichbarkeit zwischen Ist- und Sollzustand. Es ist somit Grundlage für eine Defizitanalyse, für die Herleitung des Handlungsbedarfs und für die Formulierung von Strategie und Massnahmen-

konzept für einen umfassenden Seeufer-schutz. Die vorhandenen Kenntnisse in den einzelnen Modulen sind jedoch sehr unterschiedlich, wie die nachfolgende Übersicht über die wichtigsten Module zeigt.

3.1 Biologischer Zustand Vegetation

Die Unterwasservegetation der Flachwasserzone, die sog. Makrophytenvegetation, ist nicht nur ein wichtiger Indikator, welcher Rückschlüsse auf den chemischen Zustand des Wassers liefert. Sie gibt auch Hinweise auf den Zustand der aquatischen Lebensräume und auf die Stabilität der Sedimente bezüglich der Erosion durch die Brandung. Die Makrophytenvegetation ist an vielen Seen untersucht. Bezüglich der Aufnahmemethoden bestehen jedoch grosse Unterschiede. Oft basieren die Kartierungen auf Schätzungen, Mittelwerten oder Stichproben, weshalb sie keine vergleichenden Aussagen an konkreten Standorten zulassen.

Mit dem von AquaPlus entwickelten Vorgehen zur Erhebung der Wasser-

pflanzen mit Tauchtransekten steht heute eine Methode zur Verfügung, mit welcher einerseits hoch differenzierte und andererseits reproduzierbare Daten erhoben werden können (Niederberger und Sturzenegger 2014). Die als MESAV+ (Method for the Exploration of Submersed Aquatic Vegetation) bezeichnete Methode mit flächig oder stichprobenartig angelegten Transekten ist zwischenzeitlich auch in der EU (Wasserrahmenrichtlinie) zum verbindlichen Standard geworden, und es wäre zu wünschen, dass sie für das noch ausstehende Modul Makrophyten des Modul-Stufen-Konzepts übernommen wird.

Die landseitige Ufervegetation ist mit Ausnahme der Schutzgebiete von nationaler und regionaler Bedeutung (z.B. Auen oder Flachmoore resp. kantonale Naturschutzgebiete) zumeist nicht erfasst. Dabei besteht mit dem Katalog der Lebensraumtypen von Delarze et al. (1999) eine bewährte Methode zur Verfügung. Das Fehlen von Vegetationsaufnahmen ausserhalb der grossen Schutzgebiete kann dazu führen, dass angepasste Schutzmassnahmen unter-

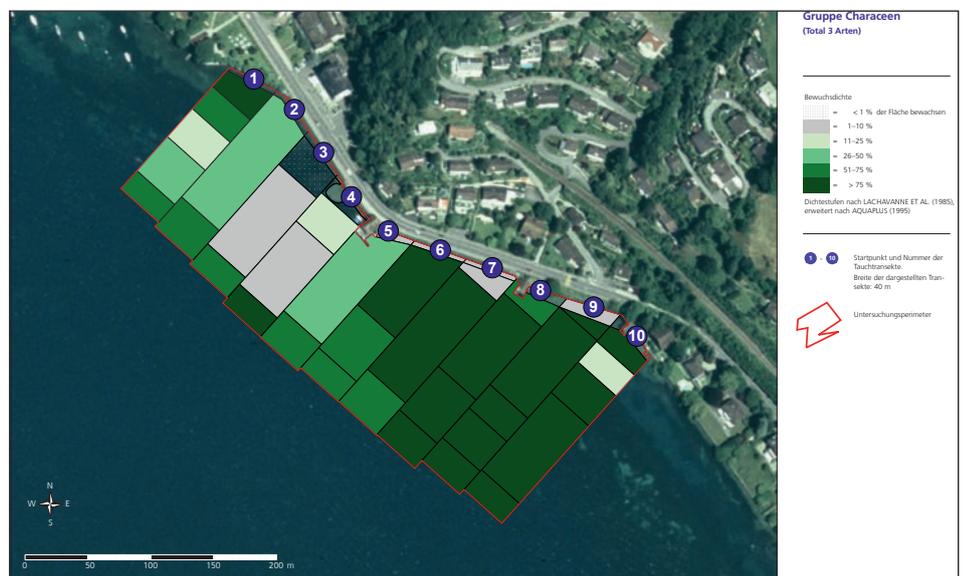


Abb. 1: Flächendeckende Wasserpflanzenenerhebung im Luzernerbecken des Vierwaldstättersees (Hotspot «Seeburg»). Es wird die Bewuchsdichte der Armleuchteralgen (Characeen) dargestellt. Sie sind typisch für nährstoffarme Verhältnisse. In der linken Hälfte des Untersuchungsgebietes sind die Characeen stark ausgedünnt (helle Farben). Mit Wasserpflanzen als Bioindikatoren lassen sich lokale Belastungen wie im dargestellten Uferabschnitt aufzeigen. Im vorliegenden Fall liegt eine Mischwasserentlastung bei Transekt 3 vor (aus: Niederberger und Sturzenegger 2014).

Fig. 1: Inventaire généralisé des plantes aquatiques dans le bassin lucernois du lac des Quatre-Cantons (Hotspot «Seeburg»). Démonstration de la densité de la croissance des algues Chara (Characées). Ils sont typiques dans des conditions pauvres en nutriments. Dans la moitié gauche de la zone d'étude, les Characées sont effilées (couleurs claires). Des plantes aquatiques en tant bio-indicateurs peuvent mettre en évidence les contraintes locales dans la section illustrée de la rive. Dans le cas présent, il y a un déversement d'eaux mixtes au transect 3 (source: Niederberger et Sturzenegger 2014).

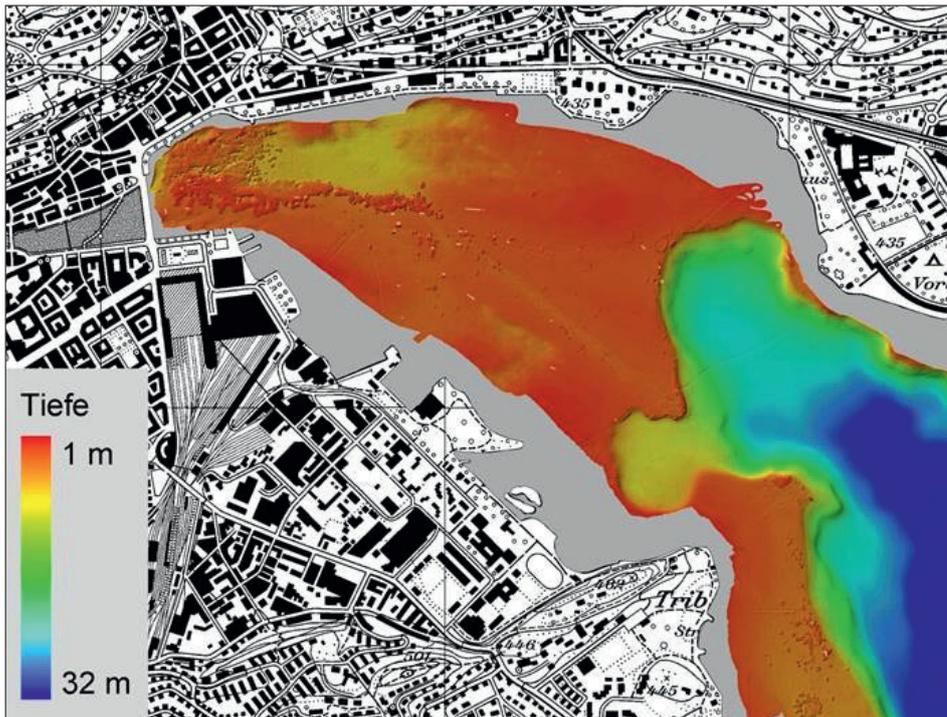


Abb. 2: Beispiel eines bathymetrischen Bildes aus Fächerecholotdaten. Luzernerbecken, Vierwaldstättersee (Quelle: Inst. für Geologie, Univ. Bern / Eawag).

Fig. 2: Exemple d'une image bathymétrique à partir de données provenant d'un sondeur multifaisceaux. Lucerne bassin, lac des Quatre-Cantons (source: Institut de géologie, Université de Berne / Eawag).

lassen und schleichende Verschlechterungen des Zustands nicht wahrgenommen werden.

Fische

Während es bei Fließgewässerrenaturierungen üblich ist, Massnahmen auf Zielarten auszurichten und deren Wirkung mit entsprechenden Erhebungen der Fischfauna zu kontrollieren, besteht dieser Ansatz bei Seeuferrenaturierungen kaum. Über die Lebensraumsprüche einzelner Zielarten könnten jedoch konkretere Zielvorgaben für Renaturierungsprojekte formuliert werden.

Im Forschungsprojekt «Projet Lac» führt die Eawag zurzeit mit Partnern aus Wissenschaft, Bund, Kantonen und dem Naturhistorischen Museum von Bern zum ersten Mal überhaupt eine standardisierte Inventur der Fischfauna der alpinen und voralpinen Seen durch². Das Projekt soll einerseits den aktuellen Zustand der Fischbiodiversität in den Alpenrandseen und andererseits die Zusammenhänge zwischen Umwelt und

Artenvielfalt aufzeigen. Insbesondere aufgrund der Dokumentation dieser Zusammenhänge zwischen Habitaten und Artenspektrum wird es möglich sein, Rückschlüsse auf die Wirkung der ökomorphologischen Strukturen und damit Empfehlungen für die morphologische Ufergestaltung bei Renaturierungsvorhaben zu formulieren.

3.2 Chemischer Zustand Phosphor

Phosphor ist der zentrale Nährstoff, welcher die Produktion von organischer Substanz in den Seen steuert, und damit ein zentraler Indikator für den chemischen Zustand der Seen. Er gelangt heute vor allem mit Futtermitteln und Dünger in die Umwelt. Durch Auswaschung oder Bodenabtrag in die Seen wird dort mehr Biomasse produziert, deren Abbau vermehrt Sauerstoff verbraucht. Dies kann zu Sauerstoffmangel und Anreicherung giftiger Stoffe vor allem im Tiefenwasser führen. Auf diese Weise gefährdet die Überdüngung die aquatische Biodiversität.

Nach 1945 nahm die Zufuhr von Phosphor aus Siedlungen, Industrie und Landwirtschaft zu, bis die Phosphorkonzentration der Seen in den 70er-Jahren ihre Spitzenwerte erreichte. Seit den 80er-Jahren geht sie wieder zurück, was den umfassenden Gewässerschutzmassnahmen ab 1970 zu verdanken ist³. Die Kontrolle und Bekämpfung der Phosphorzufuhr war über lange Zeit die wichtigste (und erfolgreiche) Gewässerschutzmassnahme und somit das am weitesten entwickelte Modul.

Organische Spurenstoffe

Die zunehmende Verwendung synthetischer organischer Stoffe belastet die Gewässer. Die Auswirkungen dieser organischen Spurenstoffe auf die Seen und deren Ufer sind jedoch noch weitgehend unbekannt, weshalb dieses Modul nicht prioritär entwickelt wird.

3.3 Physikalischer Zustand Topographie

Die Topographie eines Sees wird durch verschiedene Prozesse geformt, und entsprechend unterliegt die Gestalt des Seebodens einem ständigen Wandel. Die heute existierenden sog. bathymetrischen Karten der Schweizer Seen beruhen auf Einzelmessungen, die oft mehrere Jahrzehnte alt sind und deren Auflösung und Genauigkeit bei weitem nicht ausreichen, um ein detailliertes Bild der vorherrschenden Prozesse zu erhalten.

Lange waren bathymetrische Vermessungen, welche den Genauigkeitsanforderungen genügen, sehr kostenintensiv. Seit einigen Jahren führt die Universität Bern Aufnahmen mit einem Fächerecholot durch (gegenwärtig das einzige in der Schweiz), mit dem der Seeboden unterhalb einer Wassertiefe von etwa fünf Metern effizient, in höchster Auflösung und präzise vermessen werden kann. Diese Seebodendaten erlauben das Erstellen eines digitalen Seebodenmodells, welches um Grössenordnungen besser ist als die heute existierenden Modelle.

² Vgl. <http://www.eawag.ch/forschung/fishec/gruppen/lac/index>

³ Vgl. <http://www.bafu.admin.ch/umwelt/indikatoren/08605/>

Für die Vermessung der Flachwasserzone – eine zentrale Grundlage für die Kontrolle von Erosions- und Sedimentationsprozessen und somit für den naturnahen Wasserbau an Seeufern – bietet die Innsbrucker Firma Airborne Hydro-mapping eine Methode mittels fluggestütztem Laserscanning an. Auch mit dieser Methode werden hoch aufgelöste und präzise Daten erhoben, welche mit den Daten der Fächerecholotaufnahmen zu einem gesamten Seebodenmodell zusammengefügt werden können.

Beide Methoden wurden kürzlich für die Neuvermessung des Bodensees angewendet⁴. Der Verein für Ingenieurbiologie leitet zurzeit ein Projekt zur bathymetrischen Vermessung des Bielersees mittels dieser Methoden. Projektpartner sind neben den beiden erwähnten Institutionen die ETH Lausanne, das Bundesamt für Umwelt, Swisstopo, das Amt für Wasser und Abfall und der Archäologische Dienst des Kantons Bern, der Energie Service Biel (Trinkwasserfassung) und der Renaturierungsfonds des Kantons Bern.

Sedimente

Die Seebodenprozesse werden nicht nur durch die auf den Seegrund einwirkenden Kräfte, sondern ebenfalls durch die Qualität der Sedimente bestimmt. Eine gute Kenntnis der vorhandenen Sedimente und gleichzeitig gute Kenntnisse über die physikalischen Eigenschaften der verschiedenen Sedimentqualitäten sind deshalb die unerlässlichen Ergänzungen zu einer präzisen bathymetrischen Karte.

Bisher bestanden für die Schweizer Seen kaum zuverlässige und nutzbare Daten. Im Rahmen des Forschungsprojekts Erosee wurde an ausgewählten Uferabschnitten des Bielersees die Korngrößenverteilung der Ufersedimente gemessen (Berner Fachhochschule 2006). Diese Erfahrungswerte konnten zumindest als Hinweise in der Praxis genutzt werden. Nun hat Huber in seinem Artikel in diesem Heft eine Methode beschrieben, mit welcher das Verhältnis zwischen Korngrösse und Uferneigung

für die Wasserbaupraxis abgeschätzt werden kann.

Wasserstand

Der jahreszeitliche Verlauf der Wasserspiegelschwankungen ist ein zentraler Faktor für die Ausbildung der Uferzone. Einerseits prägt die Dauer der Überflutung die verschiedenen Lebensräume und damit die Zonation entlang des Uferquerschnitts, und andererseits ist die morphologische Entwicklung von Flachwasserzone und Uferlinie direkt vom Wasserstand abhängig.

In der Schweiz stehen für alle grösseren Seen umfassende Daten zu den Wasserständen in Form von aktuellen Informationen, langfristigen Datenreihen und Synthesen zur Verfügung⁵.

Wellen

Neben der Bathymetrie, den Sedimenteigenschaften und dem Wasserstand ist das Wellenklima massgebend

für die morphologische Entwicklung der Ufer. So ist auch für die Gestaltung und Bemessung von Flachufern neben der Neigung des Ufers, der Körnung des Sedimentes und dem Wasserstand die Wellenbelastung bestimmend (vgl. Huber in diesem Heft).

Die Wellenhöhe ist abhängig von der Windstärke, der Winddauer und der Überstreichlänge. Der Wellenatlas (vgl. Heller und Amini in diesem Heft) zeigt für Windereignisse verschiedener Wiederkehrwahrscheinlichkeiten die zu erwartende signifikante Wellenhöhe an jedem beliebigen Punkt des Sees. Der Wellenatlas ist damit insbesondere für die Bemessung von Schutz- oder Renaturierungsmassnahmen eine wichtige Grundlage.

Ökomorphologie

Im Rahmen des Modul-Stufen-Konzepts für Seen wurde eine Methode für die flächendeckende Beurteilung der Ökomor-

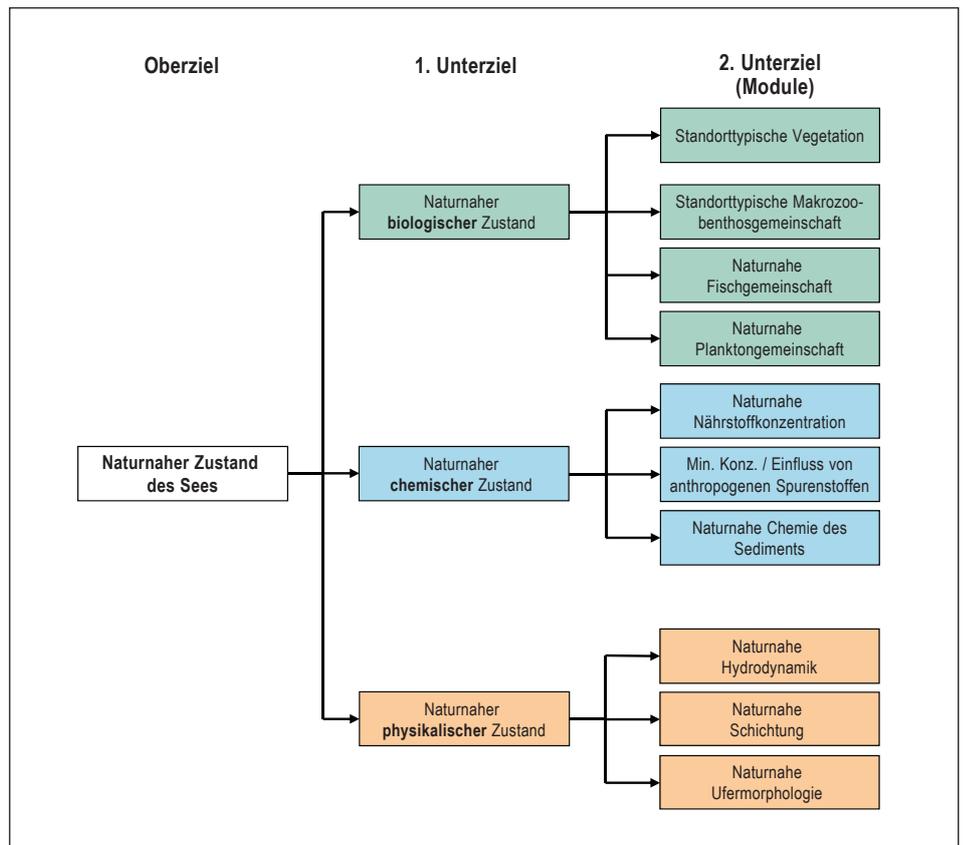


Abb. 3: Mögliche Zielhierarchie für die Zustandserhebung von Seen (aus: Schlosser et al. 2013, S. 14). Fig. 3: Possibilité d'une hiérarchie ciblée pour l'évaluation de l'état des lacs (source: Schlosser et al. 2013, p. 14).

⁴ Vgl. www.tiefenschaerfe-bodensee.info/

⁵ Vgl. www.bafu.admin.ch/hydrologie/

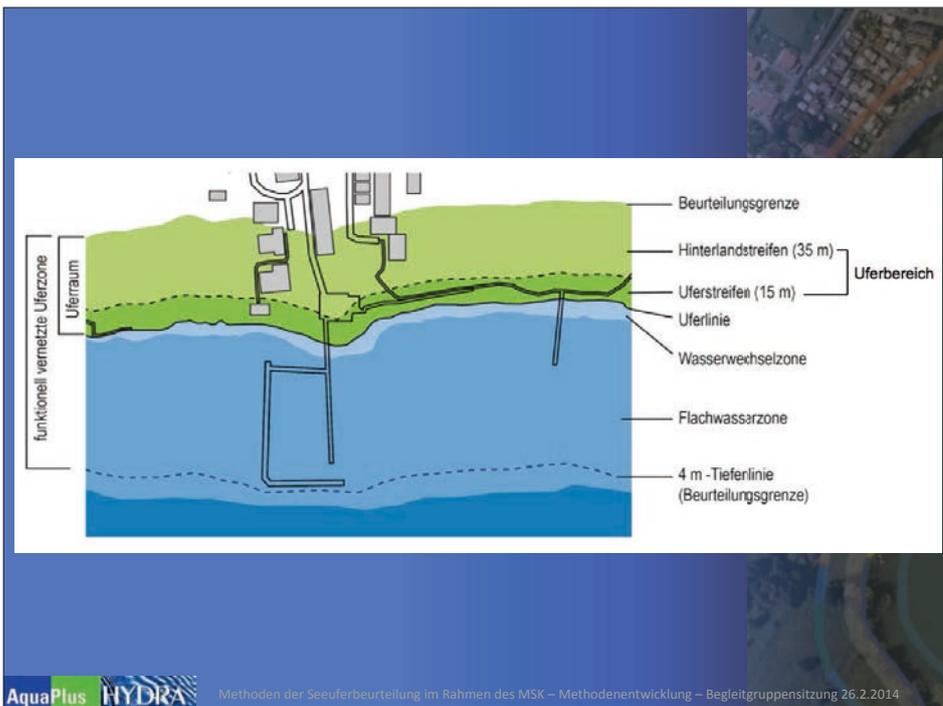


Abb. 4: Vorgeschlagener Betrachtungsraum für die Beschreibung der Uferzone und Abgrenzung der einzelnen Beurteilungstreifen (aus: Niederberger et al., in Vorb.).
 Fig. 4: Espace proposé pour la visualisation de la description de la zone riveraine et la démarcation des bandes d'évaluation individuelle (source: Niederberger et al., en préparation).

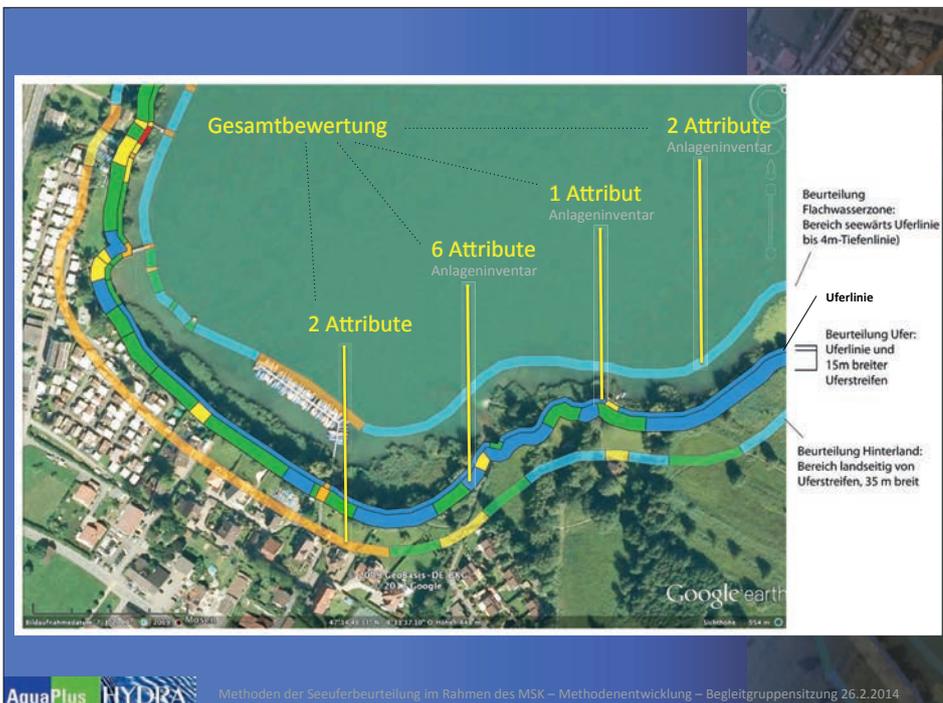


Abb. 5: Mögliche Darstellung der verschiedenen Aggregationseinheiten (Flachwasserzone, Uferlinie, Uferstreifen und Hinterland); aus: Niederberger et al., in Vorb.).
 Fig. 5: Représentation possible des différentes unités d'agrégation (zone d'eau peu profonde, de rives, de bergers et d'arrière-pays; source: Niederberger et al., en préparation).

phologie der Ufer stehender Gewässer erarbeitet. Bei dieser Methode handelt es sich um das erste Modul, welches

nach den Vorgaben des Konzepts für die Untersuchung und Beurteilung der Seen (Schlosser et al., 2013) entwickelt

wurde. Ziel dieser Methode ist es, den ökomorphologischen Zustand der Uferzone von Seen einfach und übersichtsmässig darzustellen. Damit soll eine orientierende Beurteilung der Naturnähe der Uferzonen vorgenommen und der Handlungsbedarf und die Prioritäten im Hinblick auf strukturelle Lebensraumverbesserungen abgeschätzt werden können. Die nach dieser Methode erhobenen Daten dienen zudem als Grundlage für die strategische Planung von Revitalisierungen nach Art. 41d Gewässerschutzverordnung⁶.

Die Naturnähe der Uferzone wird anhand ausgewählter Attribute (Merkmale) und vordefinierter Attributausprägungen auf frei wählbaren Uferabschnittlängen beschrieben. Die Erhebung basiert auf der Auswertung von Luftbildaufnahmen (Orthofotos, kombiniert mit Schrägluftbildaufnahmen). Die Liste der Attribute enthält fünf übergeordnete Attribute (z.B. die Neigung des Ufers oder die Ausdehnung der Flachwasserzone), zwei Zusatzattribute (Makrophytenvegetation und Ufervegetation) sowie elf Bewertungsattribute. Letztere sind den vier Beurteilungstreifen Flachwasserzone, Uferlinie, Uferstreifen und Hinterlandstreifen, in welche die gesamte Uferzone aufgeteilt ist, zugeordnet.

Die Bewertung schliesslich erfolgt über eine vorgegebene Zielhierarchie mit definierten Funktionen, in welcher die den einzelnen Attributen resp. Attributausprägungen zugeordneten Werte über die verschiedenen Unterziele (naturnahe Flachwasserzone, naturnahe Uferlinie etc.) bis zum Oberziel (naturnahe Uferzone) zusammengeführt oder aggregiert werden können. Einer der Vorteile dieser Methode ist, dass die Beschreibung der einzelnen Unterziele und der einzelnen Attribute durch die Aggregation nicht verloren geht, so dass später bei Bedarf jederzeit die Entwicklung auch einzelner Merkmale oder Beurteilungstreifen im Vergleich von zeitlich versetzten Aufnahmen möglich bleibt.

Es ist vorgesehen, 2015 die Methode am Bielersee zu testen. Das Methodenhandbuch (Niederberger et al., in Vorb.) soll

⁶ Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998 (GSchV, SR 814.201)

anschliessend an diese Testphase publiziert werden.

4. Fazit

Wie die Übersicht über die verschiedenen Module zeigt, schliessen sich die Wissenslücken an den Seeufern allmählich. Das Modul-Stufen-Konzept sorgt dafür, dass dies in einem systematischen Zusammenhang geschieht. Was zurzeit noch fehlt, ist eine Wegleitung, welche aufzeigt, wie diese Kenntnisse und Methoden bei der praktischen Umsetzung der Renaturierungsstrategie angewendet werden. Die Arbeitsgruppe Seeufer des Vereins für Ingenieurbiologie wird sich dafür einsetzen, auch hier die Lücken weiter zu schliessen.

Kontaktadresse

Christoph Iseli
Landschaftswerk Biel-Seeland
Aarbergstrasse 91
2502 Biel
ch.iseli@landschaftswerk.ch
www.landschaftswerk.ch
www.actionpaysage.ch

Literatur

Berner Fachhochschule (2006): Basic Principles and Methods of Field Measurements, Analysis of Wind, Wave, Bathymetry and Sediment Data. Schlussbericht zum Projekt EROSEE (Teil 2), KTI-Projekt 5760.1 UTS, Lausanne, 70–92 (www.erosee.org)

Delarze, R., Gonseth, Y., Galland, P. (1999): Lebensräume der Schweiz. Ökologie – Gefährdung – Kennarten. Ott Verlag Thun

De Cesare, G. (2015): Les rives lacustres et le génie biologique. Ingenieurbiologie 2014/4

Heller, P., Amini, A. (2015): Atlas des vagues pour les lacs de Suisse: Généralisation pour le dimensionnement. Ingenieurbiologie 2014/4

Huber, A. (2015): Wellendynamik und Seeuferrevitalisierung. Ingenieurbiologie 2014/4

Iseli, Ch., Schleiss, A. (2006): Erosionsprozesse und Uferstabilität an Seeufern – Resultate und Umfeld des Forschungsprojekts EROSEE. In: Schleiss, A. (Hsg.)

Bases de dimensionnement des mesures de protection des rives lacustres. Communication Laboratoire de Constructions Hydrauliques, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne 27: 5–16 (www.landschaftswerk.ch)

Niederberger, K., Rey, P., Schlosser, J., Reichert, P., Haertel-Borer, S. (in Vorb.): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung stehender Gewässer, Modul: Ökomorphologie der Ufer stehender Gewässer, Stufe: flächendeckend. Bundesamt für Umwelt, Bern

Niederberger, K., Sturzenegger, M. (2014): Wasserpflanzenerhebungen: Methodik zur Erfassung der Wasserpflanzen- und Seegrundverhältnisse. Aqua & Gas 7/8, 2014: 66–77

Schlosser J. A., Haertel-Borer S., Liechi P., Reichert P. (2013): Konzept für die Untersuchung und Beurteilung der Seen in der Schweiz. Anleitung zur Entwicklung und Anwendung von Beurteilungsmethoden. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1326



Mehr als grüne Böschungen. Mit Sicherheit!

- ▣ Böschungsbegrünung
- ▣ Erosionsschutz
- ▣ Nasssaat
- ▣ Jute- und Kokosgewebe
- ▣ Hochlagenbegrünung
- ▣ Rohbodenbegrünung
- ▣ Wildblumenwiese

Unser Angebot für eine erfolgreiche Begrünung:

- ▣ Objektberatung
- ▣ Produkte ab Lager
- ▣ Ausführung und Einbau

Begrünungen — Hunn

Pilatusstrasse 14, CH-5630 Muri AG
Tel. 056 664 22 25, Fax 056 664 29 25
info@begruenungen-hunn.ch, www.begruenungen-hunn.ch

Wellendynamik und Seeuferrevitalisierung

Andreas Huber

Zusammenfassung

Bei der Revitalisierung der Seeufer durch Schüttungen stellt sich die Frage nach der Uferneigung und nach der Kornverteilung des Schüttmaterials. Soll das Ufer dem Angriff der Wellen Stand halten, so muss einerseits das Material genügend grobe Komponenten enthalten. Andererseits sollte die Böschungseigung einen gewissen Grenzwert nicht überschreiten. Ins Spiel kommt als dritter Parameter die Wellenhöhe. Im vorliegenden Beitrag wird ein Diagramm dargestellt, nach welchem bei gegebener Höhe der Bemessungswelle und Uferneigung der charakteristische Korndurchmesser D_{50} des Schüttmaterials als bestimmt werden kann. Grundlage dazu ist die Arbeit von K.W. Pilarczyk.

Keywords

Uferneigung, Körnung des Ufermaterials, Höhe der Bemessungswelle

Dynamique des vagues et revitalisation des rives

Résumé

En revitalisant la rive d'un lac par des remblais, il se pose la question de la granulométrie du matériel. Une rive stable contre l'attaque des lames suppose d'une part, un matériel assez grossier. D'autre part, l'inclinaison du talus ne devrait pas dépasser une certaine limite. Le troisième paramètre en jeu est la hauteur de la lame. Dans la publication qui suit, un diagramme montre le diamètre caractéristique D_{50} du matériel de remblais en fonction de l'inclinaison de la rive et de la hauteur de la lame. La base de cette contribution est un travail de K.W. Pilarczyk.

Mots-clés

Pente de la rive, granulométrie du remblai, hauteur de la lame de dimensionnement

Dinamica delle onde e rivitalizzazione delle rive

Riassunto

Quando si rivitalizzano le rive di un lago facendo un versamento di ghiaia, è necessario esaminare la pendenza del litorale e la ripartizione delle particelle del materiale versato. Una riva stabile deve poter affrontare l'attacco delle onde, quindi il materiale da una parte deve contenere sufficienti elementi di materia grossolana e da un'altra parte la pendenza della sponda non dovrebbe oltrepassare un certo limite. Come terzo parametro entra in gioco anche l'altezza delle onde. In questo documento saranno illustrati dei diagrammi che determinano il diametro caratteristico D_{50} del materiale versato, collegando l'altezza dell'onda di dimensionamento e la pendenza della riva. Informazioni basati sul lavoro di K.W. Pilarczyk.

Parole chiave

Pendenza del litorale, granulosità del materiale delle rive, altezza dell'onda di dimensionamento

1. Einleitung

Das überarbeitete und per 1. Januar 2011 in Kraft gesetzte Gewässerschutzgesetz (GSchG) [1] sieht vor, dass Gewässer allgemein zu revitalisieren sind. Neben den Fließgewässern sollen auch die Seeufer naturnaher werden. Den Kantonen obliegt die Pflicht zur strategischen Planung und zur Umsetzung der Revitalisierung. Die Ufer als besonders belebter Bereich eines Sees sind aufzuwerten. Aufwerten heisst bestmögliches Zurückführen in einen ursprünglichen Zustand. Ein nachhaltiger Erfolg ist zu erwarten, wenn die Erkenntnisse der Gewässerbiologie und der Ufermorphologie Beachtung finden.

Ein erheblicher Teil der ehemals flachen Seeufer wurde im 20. Jahrhundert oder bereits früher zur Landgewinnung vorgeschüttet und hart mit Mauern oder Blockwürfen verbaut. Der Lebensraum einer reichhaltigen Fauna und Flora wurde beeinträchtigt oder ging verloren. Die Wirkung der Wellen und die induzierten Strömungen änderten sich grundlegend. Hinzu kommt der Verlust an ideellem Wert des Strandes für die erholungssuchende Bevölkerung.

Das Verständnis der wellenmechanischen Vorgänge im Uferbereich ist Voraussetzung für die Gestaltung stabiler und naturnaher Ufer. Zunächst wird deshalb näher auf den Begriff des Wellenklimas, dann auf die Wellendynamik und schliesslich auf die Sedimentmechanik im Flachwasser eingetreten.

2. Wellenklima

Bestimmt wird das Wellenklima durch die meteorologischen und topografischen Gegebenheiten am See. Kenngrössen sind Wellenhöhe, Wellenlänge, Wellenperiode, Anlaufzeit der Wellen. Aufgrund von Messungen können Wellenspektren aufgezeichnet werden. Sie geben Auskunft über die Häufigkeitsverteilung der Wellenhöhen. Ursache der Wellenbildung sind zum einen die Winde. Jedoch können auch Fahrgastschiffe und Motorboote Wellen und Turbulenzen erzeugen, die jenen meteorologischen Ursprungs wenig nachstehen. Jeder See ist durch individuelle Eigenheiten gekennzeichnet. Eines dieser Merkmale sind die für den See typischen Winde. Neben den Talwinden, welche in der Längsachse des Seebeckens wirken, können auch die Fallwinde und aufsteigende, thermikbedingte Winde über den Talflanken eine Rolle spielen. Um einen Überblick der möglichen Wellen zu erhalten, sollten je nach Wetterlage die Windfelder über dem See bekannt sein. Folgende Einflussgrössen bestimmen die Entwicklung der Wellen:

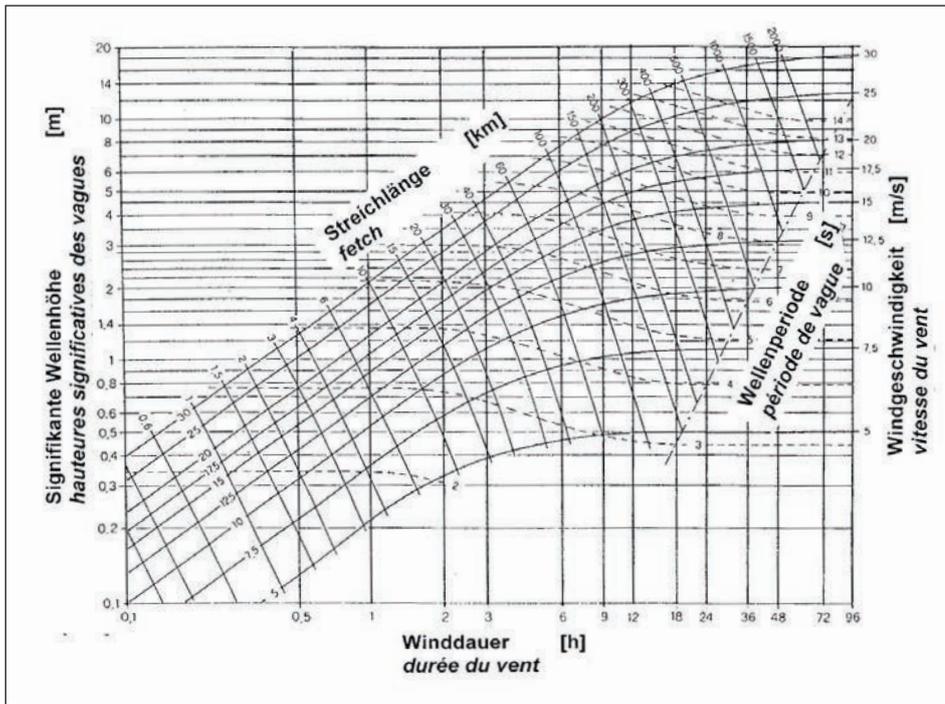


Abb. 1: Fetch-Diagramm: Bei gegebener Streichlänge (Fetch) des Windes, Winddauer und Windgeschwindigkeit lässt sich die signifikante Wellenhöhe herauslesen. Zu unterscheiden sind fetchbegrenzte und winddauerbegrenzte Wellenhöhen.

Fig. 1: Diagramme du fetch: La hauteur significative de la houle est déterminée par les trois paramètres suivant: le fetch, la durée et vitesse du vent. La hauteur de la houle est limitée soit par la longueur du fetch, soit par la durée du vent.

- Streichlänge (Fetch) des Windes über der Wasseroberfläche
- Windstärke
- Winddauer

Diese Parameter sind vom Uferstandort abhängig und bestimmen das örtliche Wellenklima. Es gibt exponierte Stellen, etwa Landvorsprünge oder das Ende eines länglichen Sees. Buchten und zurückversetzte Uferpartien hingegen liegen oft im Wellenschatten. Ihr Klima ist weniger rau. In der Praxis sind meistens keine direkten Wellenmessungen mit statistisch ausreichenden Datenreihen verfügbar. Die zu erwartenden Wellen lassen sich deshalb nur abschätzen. Eine Möglichkeit dazu besteht in der Anwendung eines sog. Fetch-Diagramms (Abb. 1) [2], in welchem die 3 Einflussgrößen mit den gesuchten Wellenparametern verknüpft sind. Die resultierenden Wellenkennwerte sind die signifikante Höhe H_s und die Periode T . Die signifikante Wellenhöhe als statistischer Wert entspricht dem Mittel des Drittels der grössten Wellen in der Häufigkeitsverteilung nach Rayleigh [3]. Als Symbol ist auch $H_{1/3}$ verbreitet. In der Darstellung (Abb. 2) eingezeichnet

sind die statistischen Werte charakteristischer Wellenhöhen:

- H_d : häufigste Wellenhöhe
- H_m : arithmetischer Mittelwert aller Wellenhöhen einer Seegangsaufzeichnung
- $H_{1/3}$: (= H_s), signifikante Wellenhöhe, arithmetischer Mittelwert der 33% höchsten Wellen
- $H_{1/10}$: arithmetischer Mittelwert der 10% höchsten Wellen

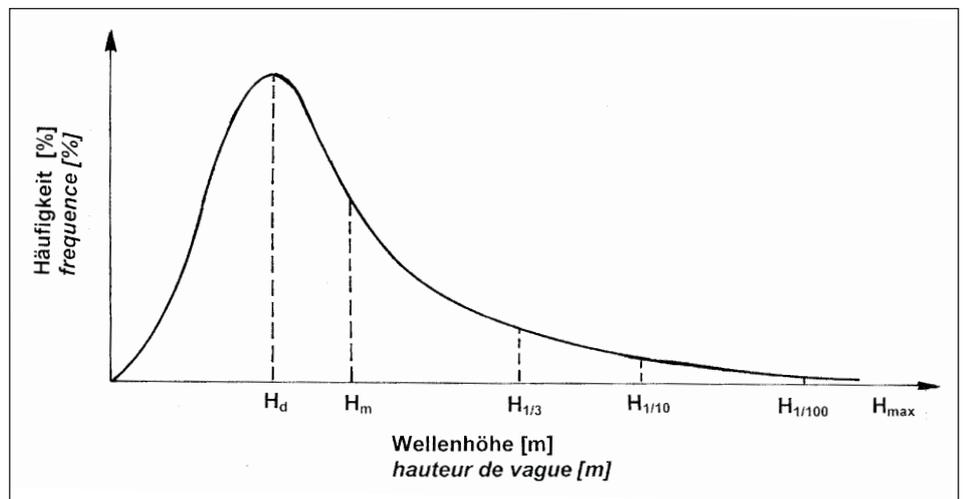


Abb. 2: Häufigkeitsverteilung oder Spektrum der Wellenhöhen nach Rayleigh.
Fig. 2: Répartition ou spectre des hauteurs de lames d'après Rayleigh.

- $H_{1/100}$: arithmetischer Mittelwert der 1% höchsten Wellen
- H_{max} : maximale Wellenhöhe

Es gelten folgende festen Verhältnisse:
 $H_m = 0.63 H_{1/3}$, $H_{1/10} = 1.27 H_{1/3}$,
 $H_{1/100} = 1.67 H_{1/3}$, $H_{max} = 1.87 H_{1/3}$

Zu beachten ist, dass sich bei Ereignissen verschiedener Wiederkehrperioden des Seegangs unterschiedliche Wellenhöhen in der Häufigkeitsverteilung ergeben. Beispielsweise gibt es nach der Statistik für einen 30-jährlichen Sturm eine signifikante Wellenhöhe $H_{1/3,30}$ und sinngemäss für den 100-jährlichen Sturm eine solche von $H_{1/3,100}$.

Für viele Bemessungsaufgaben ist nicht die grösste Welle massgebend, sondern es sind die kleineren Wellen der Höhe $H_{1/3}$, die sehr viel häufiger vorkommen und insgesamt mehr Energie transportieren. Das Wellenspektrum und die signifikante Höhe $H_{1/3}$ beziehen sich auf das Tiefwasser, wo die Wellenströmungen den Seegrund nicht erreichen.

Oft genügen für die Ermittlung möglicher Wellen die Einschätzungen der Leute, die mit dem See vertraut sind: die Seepolizei, Schifffahrtskapitäne, Hafenmeister, Berufsfischer und Bootsführer. Fotoaufnahmen über beobachtete Auflaufhöhen am Ufer können Anhaltspunkte liefern.

Zurzeit sind Wellenkarten über die grösseren Schweizer Seen in Bearbeitung. Eine erste Karte des Zürichsees wurde

bereits in [4] vorgestellt. Über die drei Juraseen und den Genfersee sind weitere Karten entstanden [5]. Mit diesen Hilfsmitteln stehen nützliche Arbeitsgrundlagen zur Verfügung.

3. Wellendynamik im Uferbereich

Im Tiefwasser eines Sees reichen die Wellenströmungen nicht bis auf den Grund [6]. Dies ist der Fall, wenn die Wassertiefe grösser ist als die halbe Wellenlänge. Ist demnach eine Sturmwellen 20 m lang, so wird bei 10 m Tiefe die Grenze erreicht. Zum Ufer hin beeinflusst die Seegrundtopographie zunehmend den Gang der Wellen (sog. Shouling). Infolge zunehmender Energiedichte schwellen die Wellen im Flachwasser an, deformieren sich und brechen schliesslich vor Erreichen der Uferlinie. Dabei verlieren sie einen erheblichen Teil der Energie. Dieser Vorgang, bei welchem die Welle infolge grosser Steilheit instabil wird und bricht, ist unter dem Begriff Brandung bekannt und kann mit dem Wassersprung, wie wir ihn aus der Gerinnehydraulik kennen, verglichen werden.

Ein weiterer Einfluss des Flachwassers besteht in der Refraktion: Infolge der Grundberührung der Wellenströmungen bei verringerter Wassertiefe wird die Wellenausbreitungsgeschwindigkeit zum Ufer hin verzögert. Dies führt dazu, dass die schräg auf das Ufer zuwandernden Wellen sich gegen dieses hin abdrehen.

Welchem Typus die dem Ufer zusteuern und brechenden Wellen zuzuordnen sind, lässt sich durch den Brandungsparameter (sog. Brecherzahl ξ) [7], [8] ermitteln. Sie hat folgende Form:

$$\xi = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{H_s}{L_0}}} = 1.25 \frac{\tan \alpha}{\sqrt{H_0}} T$$

Hierin bedeuten:

α [°]: Neigungswinkel der Uferböschung

H_0 [m]: Wellenhöhe im Tiefwasser

L_0 [m]: Wellenlänge im Tiefwasser

$$\left(= \frac{g}{2\pi} T^2 = 1.56 T^2 \right)$$

T [s]: Wellenperiode

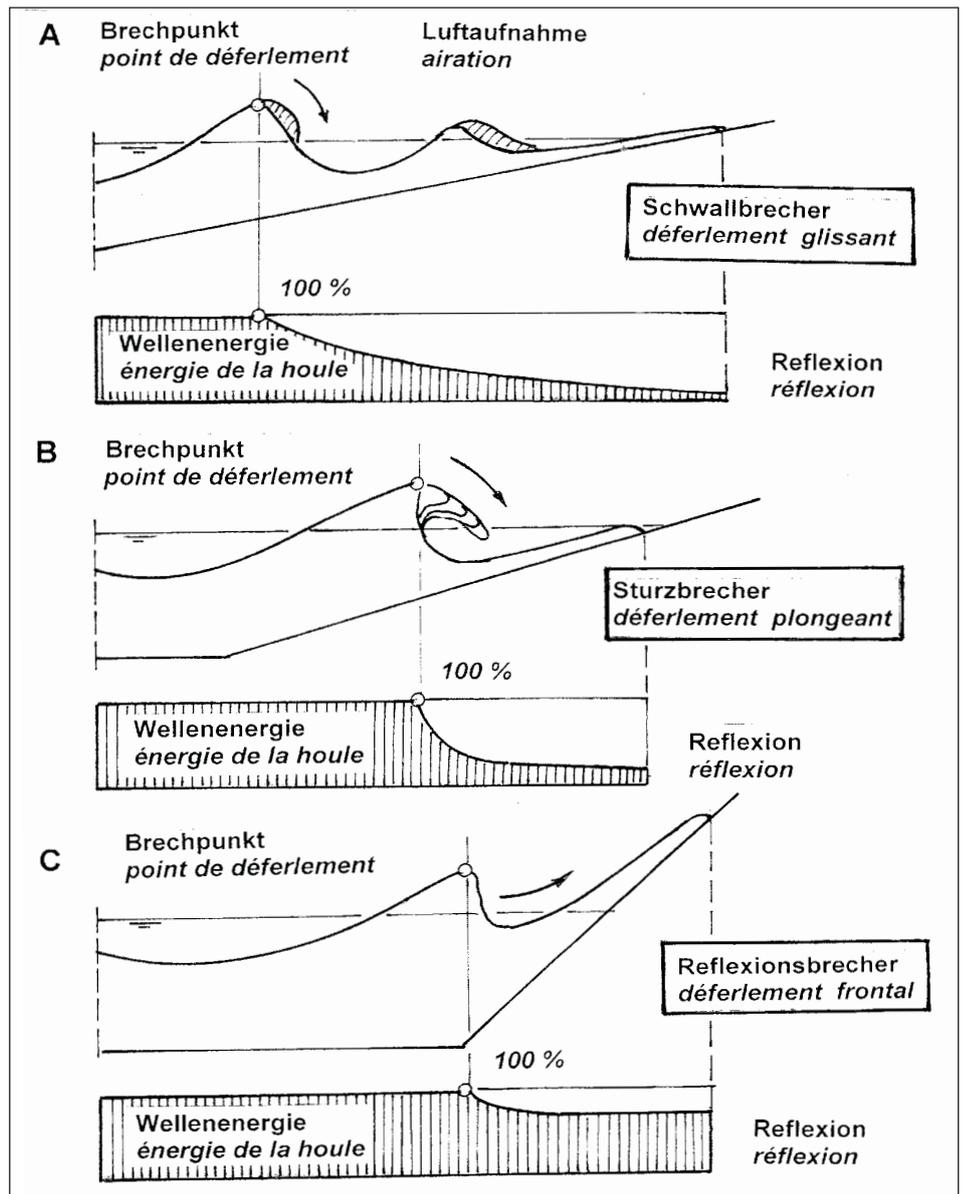


Abb. 3: Brechertypen und die Energieumwandlung:

- A. Schwallbrecher, Schaumbrecher: $\xi < 0.5$
- B. Sturzbrecher: $0.5 < \xi < 3.0$
- C. Reflexionsbrecher: $3.0 < \xi$

Fig. 3: Les différents types de déferlement et la dissipation de l'énergie:

- A. déferlement glissant: $\xi < 0.5$
- B. déferlement plongeant: $0.5 < \xi < 3.0$
- C. déferlement frontal: $3.0 < \xi$

Der Quotient (H_0/L_0) in der Formel entspricht der Wellensteilheit im Tiefwasser. Somit ist die Brecherzahl ξ allein von der Uferneigung und der Wellensteilheit abhängig. Im Tiefwasser besteht eine feste Beziehung zwischen Wellenperiode T und der Wellenlänge L_0 , nämlich:

$$T = \sqrt{\frac{2\pi L_0}{g}} \text{ oder } L_0 = 1.56 T^2$$

Zu unterscheiden sind die nachstehenden Brechertypen (Abb. 3):

Jeder See ist einmalig. Das Wellenklima ist nicht nur von See zu See verschieden, es ändert sich auch über der Wasseroberfläche und entlang der Ufer. Die höchsten und längsten Wellen treten naturgemäss nach grossen Streichlängen und unter starken, lange andauernden Winden auf. Über den grossen Schweizer Seen erreichen sie etwa folgende oberen Grenzen: $H_s \leq 2.5$ m, $T \leq 5$ s ($L_0 \leq 40$ m)

In Abb. 4 sind die Zusammenhänge graphisch dargestellt. Folgende Gesetzmässigkeiten sind ersichtlich:

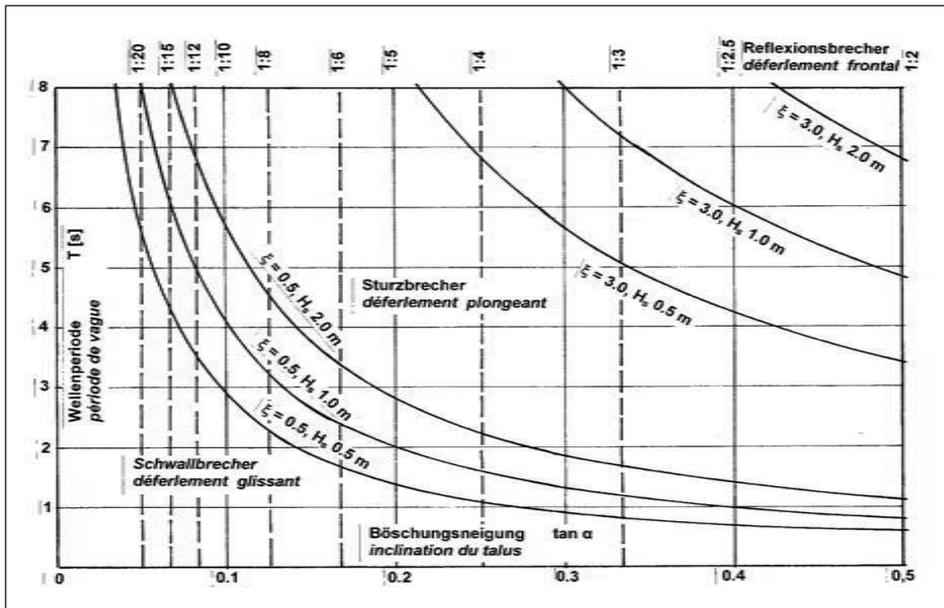


Abb. 4: Beziehung zwischen Brecherzahl ξ , Uferneigung $\tan \alpha$, Wellenperiode T und Wellenhöhe H . Die Kurven der Parameter $\xi = 0.5$ bzw. 3.0 teilen die Koordinatenebene in 3 Bereiche ein: Schwallbrecher, Sturzbrecher und Reflexionsbrecher. Mit zunehmender Wellenhöhe H verschieben sich diese Grenzkurven nach rechts.

Fig. 4: Relation entre le nombre de déferlement ξ , l'inclinaison de la rive $\tan \alpha$, la période de lame T et la hauteur de lame H . Les courbes correspondantes aux paramètres $\xi = 0.5$ resp. 3.0 partageant la plaine des coordonnées en 3 zones. En augmentant la hauteur de lame H ces courbes limitantes se déplacent à droite.

- Auf flachen Ufern mit geringer Neigung $\tan \alpha$ unterliegen die auflaufenden Wellen einem langen «Bremsweg» und nehmen die Form eines *Schwallbrechers* an (Abb. 5). Die Energieumwandlung ist hier am grössten (Abb. 3). Mit zunehmender Uferneigung ge-

hen die Wellen bei Überschreiten des Grenzwertes $\xi = 0.5$ in *Sturzbrecher* (Abb. 6) über. Sind die Ufer noch steiler und wird der obere Grenzwert $\xi < 3.0$ überschritten, so entstehen in der Brandungszone *Reflexionsbrecher* (Abb. 7).



Abb. 5: Schwallbrecher oder Schaumbrecher bei Hendaye an der französischen Atlantikküste.
Fig. 5: Déferlement glissant, cote atlantique près de Hendaye, France.

- Die Grenzen zwischen den Brecher-typen verschieben sich mit zunehmender Wellenhöhe H_0 zu den grösseren Uferneigungen.
- Mit wachsender Wellenperiode T bzw. Länge L_0 durchläuft der Brecher ebenfalls die 3 Stadien: Schwallbrecher, Sturzbrecher, Reflexionsbrecher.

Natürliche Seeufer sind das Vorbild der Revitalisierungsprojekte. Im Vordergrund stehen die biologisch besonders wertvollen Flachufer. Mögliche Standorte finden sich in Deltagebieten, Bachmündungen, Übergängen von Schwemmebenen in Seebecken, flachen, glazial geprägten Ufergebieten, Seeschüttungen. Untersuchungen zeigen, dass die meisten Flachufer der Schweizer Seen, je nach Körnung des Materials, mit 1:20 bis 1:8 geneigt sind. Die tiefen Werte findet man bei Sandstränden, etwa am Südostufer des Neuenburgersees. Grössere Neigungen ergeben sich bei größerem Flussschotter oder glazialem Schotter, beispielsweise bei der Einmündung der Reuss in den Urnersee.

In Abb. 4 teilen die Grenzwertkurven $\xi = 0.5$ und $\xi = 3.0$ die Koordinatenebene in drei Bereiche. Die Übergänge sind jedoch nicht absolut scharf.

Für $\xi < 0.5$ (Ecke links unten in Abb. 4) laufen die Wellen bei mässigem See-gang auf dem flachen Ufer als Schwallbrecher aus und verlieren allmählich an Energie (Abb. 5).

Unter Sturmbedingungen und bei weniger flachem Ufer wird der Grenzwert $\xi = 0.5$ überschritten. Es bilden sich Sturzbrecher mit einem kürzeren Bremsweg (Abb. 6). Die Wellenenergie wird örtlich und abrupt abgebaut. Infolge erhöhter Turbulenz ist die Erosionswirkung auf die Uferböschung stärker.

Sind die Ufer noch steiler oder senkrecht und ist mit grösseren Wellenperioden zu rechnen, so ergeben sich Brandungsparameter $\xi > 3.0$ (Ecke rechts oben in Abb. 4). Es entstehen Reflexionsbrecher (Abb. 7). Sollen unter dieser erhöhten



Abb. 6: Sturzbrecher, Renvyle, Irland.
Fig. 6: Déferlement plongeant, Renvyle, Irlande.



Abb. 7: Reflexionsbrecher, Cliff of Moher, Irland.
Fig. 7: Déferlement frontal, Cliff of Moher, Irlande.

Uferdynamik keine ufermorphologischen Veränderungen stattfinden, so muss das Material genügend grobe Komponenten enthalten.

4. Neigung und Kornverteilung der Uferböschung

Konsequenterweise müsste zur Wiederherstellung des ursprünglichen Zustandes ein Rückbau des Ufers erfolgen. In vielen Fällen ist der dazu notwendige Geländeabtrag nicht oder nur teilweise möglich. Anlagen der Infrastruktur (Verkehrswege, Leitungen, öffentliche Einrichtungen) oder geschütztes Privateigentum stehen solchen Lösungen entgegen.

Es verbleibt die Möglichkeit der Vorschüttung, wozu jedoch gewisse Bedingungen erfüllt sein müssen. Nach Art. 39 des GSchG ist es untersagt, feste Stoffe in Seen einzubringen, auch wenn sie Wasser nicht verunreinigen können. Die kantonale Behörde kann Schüttungen bewilligen, wenn dadurch eine Flachwasserzone verbessert werden kann. Dieser Fall trifft oft zu bei Revitalisierungsprojekten.

Die Wahl der Schüttneigung ist begrenzt. Der Fusspunkt muss oberhalb der Haldenkante liegen, sofern eine solche vorhanden ist. Ausserdem haben sich im Flachwasser häufig Wasserpflanzen

angesiedelt, die nicht überschüttet werden dürfen. Aus dem Uferprofil und den einschränkenden Randbedingungen ergibt sich der mögliche Böschungswinkel der Schüttung.

Grundsätzlich gilt: je rauer das Wellenklima, d.h. je höher die Wellen, umso gröberes Material ist bei gegebener Böschungsneigung zu schütten, um einen stabilen Strand zu gewährleisten. Die lokale Wellenexposition ist ein wesentliches Kriterium für die Bemessung der Uferböschung. Zwischen Wellenhöhe, Uferneigung und Kornverteilung des Schüttmaterials besteht ein enger Zusammenhang. In der Praxis stellt sich die Aufgabe in der Art, dass zuerst die mögliche Böschungsneigung, welche möglichst flach sein sollte, ermittelt wird. Anschliessend wird aufgrund der Bemessungswelle die Körnung des Schüttmaterials bestimmt.

Bei einem Naturufer ist Dynamik erwünscht. Der Seegrund darf sich im Uferbereich unter den Sturmwellen bewegen. Nicht erwünscht wären grosse Sedimentumlagerungen. Naturnah ist kein statischer Zustand. Zeitliche Veränderungen gehören zur Ufermorphologie. Typisch für kiesig-sandige Ufer ist die Deckschichtbildung analog zum Vorgang der Abpflasterung auf den Kiesbänken der Fließgewässer. Im Gegensatz zur talwärts gerichteten Strömung im Fluss, welche einen Sedimenttransport über grosse Strecken bewirken kann, sind die Wellenströmungen im See periodisch. Die grösseren Komponenten des Seegrundes legen unter pulsierenden Bewegungen nur kurze Wegstrecken zurück. Gelangen sie ins tiefere Wasser, so lagern sie sich dort ab. Die feinen Teile der Sand- und Silfraktionen können bei starkem Wellengang in die Suspension übergehen, trüben dann das Flachwasser, gelangen durch sog. Rippströmungen ins Tiefwasser und hinterlassen eine Deckschicht aus Kies.

Der Praxis stehen zwei Methoden zur Verfügung, das geeignete Schüttmaterial für ein naturnahes Ufer zu bestimmen:

4.1 Vergleichbares Ufer

Als Erstes kann ein Vergleichsufer ausgewählt werden, das bezüglich der Wellenexposition, der Bemessungswellen und der Uferneigung jenem des Projektes ähnlich ist, ein Naturufer also, das sich im Laufe der Zeit als stabil erwiesen hat [9]. Es ist sinnvoll, sich die Bemessungsgrundlage aus der Natur zu holen. Für das Projekt kann Material mit ähnlicher Kornverteilung verwendet werden, dies ohne Risiko eines starken Materialabtrages. Zu beachten ist, dass für die Erosionsbeständigkeit der Schüttung die Durchmesser und Anteile der größten Fraktionen entscheidend sind.

4.2 Rechnerischer Ansatz

Die andere Möglichkeit, das Schüttgut so zu bemessen, dass das Ufer einen nachhaltigen Bestand hat, besteht darin, von einer bekannten Beziehung zwischen Bemessungswelle, Uferneigung und Kornverteilung auszugehen. Bekannt sind beispielsweise die Formeln von Pilarczyk [10] und Hudson [11]. Allerdings ergeben diese, wie auch ähnliche Formeln, eher zu grobe Korndurchmesser für eine Strandschüttung. Sie wurden für die Bemessung von stabilen Deckwerken an Dämmen und Deichen entwickelt und lassen keine Uferdynamik zu. Die Anforderungen an die Stabilität dieser Schutzbauwerke sind aus Sicherheitsgründen strenger als an naturnahe Ufer. Bewegungen und Verschiebungen innerhalb der Konstruktion sind selbst bei starkem Wellengang nicht zulässig. Eine Gefährdung des Bauwerkes muss ausgeschlossen sein. Die ermittelten Korndurchmesser des Schüttmaterials entsprechen deshalb einem oberen Grenzwert.

Nachstehend wird das Bemessungsverfahren anhand der Formel von Pilarczyk erklärt. In dieser Gleichung (1) sind die Höhe H_s der Bemessungswelle, die Böschungsneigung $\tan \alpha$ und die gesuchte charakteristische Korngröße D_{50} des Schüttmaterials miteinander verknüpft:

$$\frac{H_s}{\Delta_m D} = \psi_u \phi \frac{\cos \alpha}{\xi^b} \quad (1)$$

Hierin bedeuten:

H_s : Signifikante Höhe (= $H_{1/3}$) der Bemessungswelle

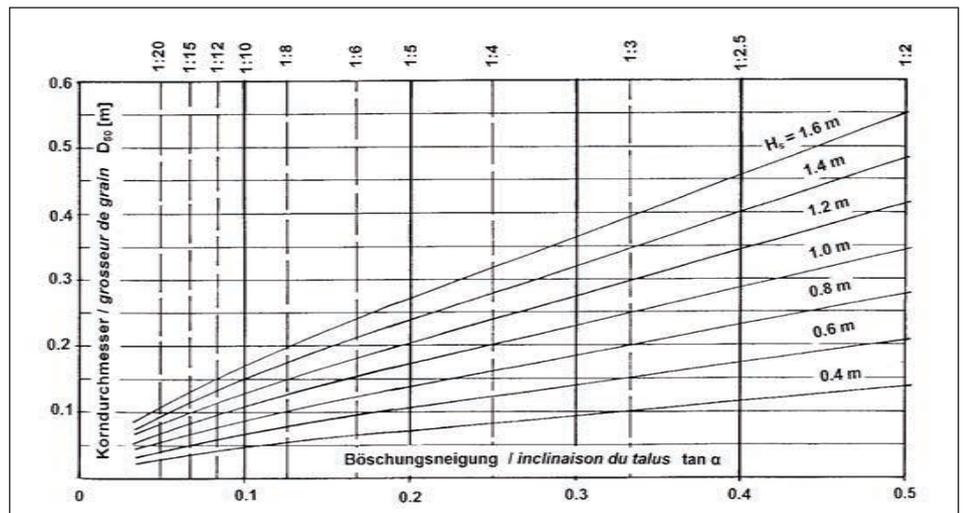


Abb. 8: Massgebender Korndurchmesser D_{50} des Schüttmaterials in Abhängigkeit der Böschungsneigung $\tan \alpha$ und der Höhe H_s der Bemessungswelle.

Fig. 8: Diamètre déterminant D_{50} du matériel de remblais en fonction de l'inclinaison de la rive $\tan \alpha$ et de la hauteur de la lame de dimensionnement.

Δ_m : relative Dichte des Sedimentes

$$\left(= \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} = 1.65 \right)$$

mit $\rho_s = 2.65 \text{ t/m}^3$: Dichte des Gesteins, $\rho_w = 1.00 \text{ t/m}^3$: Dichte des Wassers

D: mittlerer Korndurchmesser des Böschungsmaterials für Kies/Geröll: $D = D_{50}$, d.h. 50 Gewichtsprozent sind $< D_{50}$

α : Winkel der Böschungsneigung

ξ : Brecherzahl, definiert mit $\xi = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{H_s}{L_o}}}$,

vereinfachend wird eine mittlere Wellensteilheit von $\frac{H_s}{L_o} \approx 0.05$ angenommen, worin L_o = Länge der Bemessungswelle im Tiefwasser bedeutet

b: Exponent: abhängig von der Interaktion zwischen Welle und Untergrund (Rauigkeit, Porosität, Durchlässigkeit) $0.5 \leq b \leq 1.0$,

Geschüttetes Material: $b = \frac{1}{2}$

ψ_u : Faktor: Für lose liegende Steine: $\psi_u = 1.33$

ϕ : Faktor: Bewegung von Steingruppen: $\phi = 3.00$ bei grösseren Werten von ϕ treten Materialumlagerungen auf

Zur Bestimmung des mittleren Kiesdurchmessers einer Uferschüttung wird die Formel umgewandelt zu:

$$D = \frac{H_s}{\Delta_m A} = \frac{H_s}{1.65 A} \quad (2)$$

mit:

$$\begin{aligned} A(\psi_u, \phi, \alpha) &= \psi_u \phi \frac{\cos \alpha}{\xi^b} \\ &= 1.33 \cdot 3.00 \frac{\cos \alpha}{\xi^{1/2}} \\ &= 4.0 \frac{(\sqrt{0.05})^{1/2} \cos \alpha}{(\tan \alpha)^{1/2}} \\ &= 1.891 \frac{\cos \alpha}{(\tan \alpha)^{1/2}} \end{aligned}$$

Der erforderliche Korndurchmesser D für eine stabile Uferböschung ist proportional zur Höhe H_s der Bemessungswelle. Die Gleichung (2) ist in Abb. 8 zu einer Graphik ausgewertet worden, welche als Bemessungsgrundlage für das Schüttmaterial einer Uferböschung dienen kann.

In der Formel von Pilarczyk ist das Schüttmaterial durch den charakteristischen Korndurchmesser D_{50} gekennzeichnet. Die Kornverteilungskurven können dabei in einem bestimmten Bereich variieren. Unter der Annahme einer Fullerkurve, welche durch die Gleichung

$$\frac{D_x}{D_{\max}} = \left(\frac{p_x}{100} \right)^2$$

definiert ist, gilt $D_{\max} = 4 \cdot D_{50}$. Abb. 9 zeigt die Fullerkurven von Sand-Kies-Mischungen mit den häufig verwendeten

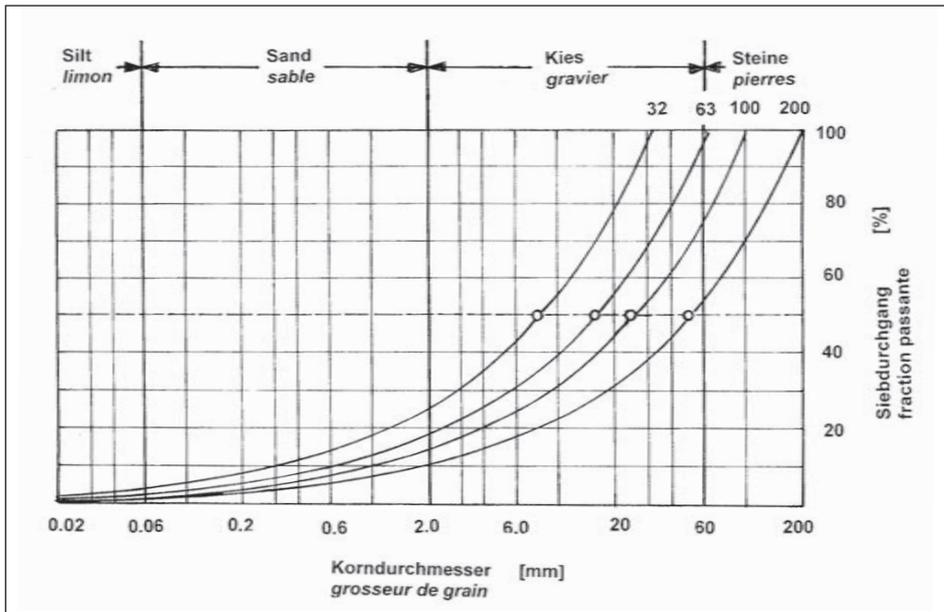


Abb. 9: Kornverteilungen nach Fuller. Bei diesen parabelförmigen Kurven ist $D_{100} = 4 D_{50}$.
 Fig. 9: Répartition granulométrique d'après Fuller. Pour ces courbes paraboliques suit $D_{100} = 4 D_{50}$.

Durchmessern des Grösstkornes:

| | | | | |
|-----------------|----|----|-----|-----|
| D_{max} [mm]: | 32 | 63 | 100 | 200 |
| D_{50} [mm]: | 8 | 16 | 25 | 50 |

Für natürliche Kornverteilungen von Flusskies und Wandkies ist das Verhältnis D_{max} / D_{50} grösser und liegt meistens zwischen 5 und 10.

4. Praktische Hinweise

Der Vollzug des revidierten Gewässerschutzgesetzes führt vermehrt zu Revitalisierungsprojekten an Seeufern. In diesem Teilgebiet des Wasserbaues sind die praktischen Erfahrungen [12] noch nicht zahlreich, die Projektierungsgrundlagen sind z.T. lückenhaft. Oft handelt es sich darum, ein neues Flachwasser zu schaffen oder ein bestehendes zu erweitern. Dazu sind meistens Vorschüttungen erforderlich.

Hier stellt sich die Frage nach dem möglichen Böschungswinkel und nach der Zusammensetzung des Schüttkörpers. So flach und so feinkörnig als möglich sollte ein naturnahes Flachufer sein. Die topographischen Verhältnisse bestimmen die Uferneigung. Davon, und auch vom örtlichen Wellenklima, hängt die erforderliche Körnung des Schüttmaterials ab. Massgebend für den Bestand gegen die

Wellenerosion ist der Anteil der Grobkomponenten, welche die Deckschicht bilden, nachdem die Wellenströmungen die Feinanteile verfrachtet haben.

Ausgehend von der Arbeit Pilarczyk wurde ein Bemessungsdiagramm aufgezeichnet (Abb. 8), welches die Abhängigkeit der Kornverteilung der Schüttung von der Höhe der Bemessungswelle und von der Böschungneigung darstellt. Die sich ergebenden charakteristischen Korndurchmesser D_{50} sind als Obergrenze zu verstehen: Es bewegen sich noch keine Körner an der Schüttfläche. Ist die Mischung feiner, so zeigen sich am Seegrund Sedimentbewegungen. Je nach Stärke des Seeganges bewegen sich einzelne Steine oder es kommt zu Massenverschiebungen. Ausserdem trüben die Feinanteile das Flachwasser. Diese Effekte sind an einem Naturufer nicht unerwünscht, denn zu einem revitalisierten Ufer gehört eine gewisse Dynamik.

Die Bemessungswelle kann aufgrund von Wellenkarten oder anhand meteorologischer Daten und des Fetch-Diagramms abgeschätzt werden. Ähnlich wie im Flussbau darf bei hohen Jährlichkeiten der Ereignisse mit morphologischen Veränderungen und kleineren Schäden gerechnet werden.

Kontaktadresse

Andreas Huber, Dipl. Bauing. ETHZ,
 Dr. sc.techn.
 Beratender Ingenieur
 Im Baumgarten 12
 8606 Greifensee

Literatur

- [1] Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer, Gewässerschutzgesetz GSchG, Stand 1. Januar 2011
- [2] Fetchdiagramm des Königlich Niederländischen Meteorologischen Instituts
- [3] Empfehlungen des Arbeitsausschusses «Uferneigungen» (EAU 1985); Ernst & Sohn, Berlin, ISBN 3-433-01034-X
- [4] Staubli R., Matthias St., Huber A., Hermann F., Dierer S., Pellandini St. (2014); Eine Wellenkarte des Zürichsees (Kanton Zürich), Wasser Energie Luft, 106. Jg. Heft 1
- [5] e-dric (2012); projet LATLAS sur les vagues à la surface des principaux lacs de Suisse, Internet: adresse du site: <http://fonto.swissrivers.ch/latlas> identifiant: ofev, mot de passe: latlas
- [6] Huber A. (2007); Erosionsprozesse an Seeufern, Wasser Energie Luft, 99. Jg, Heft 4
- [7] Büsching F. (2002); Küsteningenieurwesen, Kw 15.1, Wellenbrechen, Internet
- [8] Brinkmann B. (2004); Seehäfen, Springer Berlin, ISBN 3-340-20587-X
- [9] Sissegger B., Teiber P. (2001); Erfolgsmodell für Renaturierungen am Bodenseeufer, Ingenieurbio 3/01
- [10] Pilarczyk K.W. (1990); Coastal Protection, Design of seawalls and dikes, p.197 ff, A. Balkema, Rotterdam, ISBN 90 6191 127 3
- [11] Hudson (1958); Design of quarrystone cover layers for rubble-mound breakwaters, Waterways Experiment Station Vicksburg, Miscellaneous Paper 2-2
- [12] Baudirektion des Kantons Bern (1989); Naturnahe Flachufer an Seen, Massnahmen zu ihrer Erhaltung und Wiederherstellung, Arbeitsunterlage SFG (See- und Flussufergesetz), Mitteilung zum Gewässerschutz Nr. 32. Bezug: Raumplanungsamt des Kantons Bern, Reiterstrasse 11, 3011 Bern

Des ports flottants pour réduire les pressions sur les rives lacustres

Morgane Ugo, Jamani Caillet, Anton Schleiss

Résumé

Les places d'amarrage des bateaux manquent cruellement sur le lac Léman et d'autres lacs en Suisse. Dans les années 90 est née l'idée de construire sur le lac Léman des ports flottants ancrés au large pour accueillir la petite batellerie. Malheureusement, aucune étude détaillée de faisabilité n'a été réalisée à ce jour. Ce concept promoteur, qui peut réduire les pressions sur les rives lacustres, a été étudié dans le cadre de plusieurs travaux de Master à l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) depuis 2012. Les études démontrent que le concept innovateur est techniquement et économiquement réalisable et pourrait contribuer à une protection et une gestion durable des rives lacustres des lacs suisses.

Mots-clés

Rives lacustres, lacs, port flottant, navigation de plaisance

Verringerung des Siedlungsdruckes auf die Seeufer dank schwimmenden Hafenanlagen

Zusammenfassung

Auf dem Genfersee sowie anderen Schweizer Seen gibt es einen grossen Mangel an Bootsplätzen. In den neunziger Jahren wurde die Idee eines schwimmenden vom Ufer losgelösten Hafens geboren, welche aber damals nicht weiter verfolgt wurde. Seit 2012 wurde dieses erfolversprechende Konzept, welches den Siedlungsdruck auf die Seeufer verringern kann, in mehreren Masterarbeiten an der ETH Lausanne untersucht. Die Studien zeigten, dass das innovative Konzept technisch und wirtschaftlich realisierbar ist und einen Beitrag zum Schutz und zur nachhaltigen Bewirtschaftung der Seeufer in der Schweiz leisten könnte.

Keywords

Seeufer, Seen, schwimmende Häfen, Freizeitschiffahrt

Porti galleggianti per ridurre la pressione sulle sponde

Riassunto

Esiste una grande mancanza di banchini d'approdo sul lago di Ginevra e anche su altri laghi della Svizzera. Negli anni '90 è nata l'idea di costruire sul lago Lemano dei portili galleggianti ancorate al largo per accogliere le piccole imbarcazioni. Purtroppo, nessuno studio di fattibilità dettagliato è stato realizzato fino ad oggi. Questo concetto promettente, che può ridurre la pressione sulle rive del lago, è stato studiato in diversi lavori Master al Politecnico federale di Losanna (EPFL) nel 2012. Gli studi mostrano che il concetto innovativo è tecnicamente ed economicamente fattibile e può contribuire alla protezione e gestione sostenibile delle sponde dei laghi svizzeri.

Parole chiave

Sponde, laghi, molo galleggiante, piccole imbarcazioni

L'idée d'un port flottant

Sur l'Arc lémanique, la navigation de plaisance est en pleine expansion depuis une vingtaine d'années. La très forte demande de places d'amarrage ne fait que corroborer ce propos et l'offre reste bien au-dessous des espérances. L'extension des ports existants arrive à terme et la création de nouveaux ports est délicate compte tenu du manque d'emplacements propices. La solution alternative à ce problème est la création de ports flottants au large des rives qui préserveraient

l'environnement côtier et les structures existantes.

Le projet est une structure flottante de forme dodécaédrique d'environ 120 mètres de diamètre située au large des rives et pouvant accueillir une centaine de bateaux (Figure 1 et 2). Elle comprend quatre éléments principaux assurant chacun une fonction précise et indispensable:

- La partie flottante est composée de l'anneau extérieur, formé par une succession de caissons, et du noyau (centré ou excentré). Elle sert pour l'amarrage des bateaux, la circulation des personnes et assure la flottabilité du système.
- L'écran de protection immergé d'une hauteur de 12 mètres a pour but de réduire au maximum la transmission de la houle à l'intérieur du port.
- Le système de raidisseurs rayonnants assure que l'ensemble reste monolithique.
- Le système d'amarrage permet de garder le port dans une certaine position et de reprendre les efforts horizontaux dus à la houle et au vent.

Ce concept innovant a été étudié dans le cadre de plusieurs travaux de Master à l'EPFL sous la direction du Laboratoire de constructions hydrauliques (LCH) et en collaboration avec le Laboratoire de constructions métalliques (ICOM).

Les dimensions du port flottant ont été reprises des esquisses du projet «Nénu-phar» mené par BG Ingénieurs Conseils en 1991. Le diamètre extérieur du port est donc fixé à 118 mètres. Une telle dimension permet au port de fournir 92 places d'amarrages. En moyenne, six bateaux de 12 mètres de long et de 3.5 mètres de large peuvent être amarrés à chacun des caissons de la structure extérieure. L'intérieur du port est aménagé avec un ponton central flottant, sur lequel les bateaux peuvent également être amarrés.

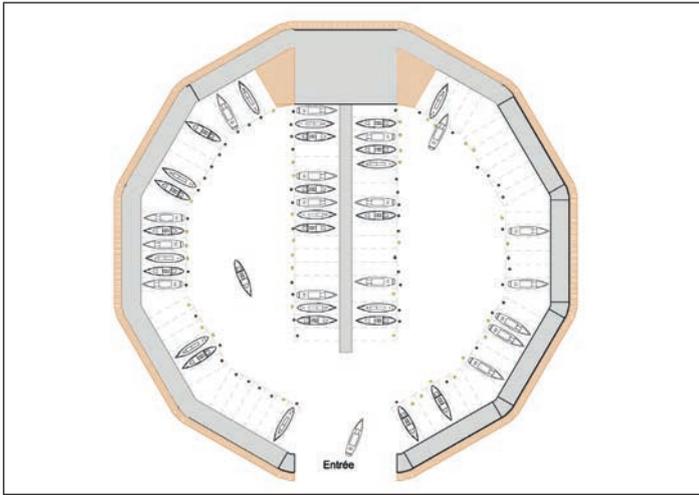


Figure 1: Schéma de la forme du port flottant étudié par Jamani Caillet.
Abbildung 1: Schematische Darstellung der Form des schwimmenden Hafens von Jamani Caillet.



Figure 2: Photomontage d'un port flottant sur le Léman (Jamani Caillet).
Abbildung 2: Fotomontage eines schwimmenden Hafens am Genfersee (Jamani Caillet).

Vérification du concept par modélisation physique

Les essais ont été menés sur un modèle réduit à l'échelle 1:50. La maquette a été exploitée en similitude de Froude respectant ainsi les caractéristiques des écoulements à surface libre. Les essais ont été réalisés dans un bassin à houle au LCH dont les dimensions sont 10 mètres de long, 6 mètres de large et 1,3 mètre de profond (Figure 3). Un générateur pneumatique de vagues a été utilisé pour produire des vagues unidirectionnelles et monochromatiques. La crête des vagues générées par le système est toujours parallèle à la largeur du bassin. La maquette du port flottant a été construite en utilisant des plaques en PVC

pour les caissons flottants, l'écran de protection et le noyau (Figure 4). Une grille métallique a été utilisée pour rigidifier et assembler les caissons au noyau sous la forme de quatre raidisseurs centraux. Les lignes d'amarrage du port ont été reproduites sur le modèle par des chaînes en acier clair.

Pour simuler fidèlement le mouvement dynamique du port flottant, toutes les dimensions et la répartition des masses du modèle doivent avoir le même rapport que celles du prototype. Le centre de gravité et le métacentre de la maquette sont par conséquent en similitude avec ceux du prototype.

Des sondes à ultrasons ont été utilisées pour les mesures: sept sondes sont répar-

ties dans le bassin afin de pouvoir analyser la propagation de la houle et huit sondes (dont deux sont redondantes) visent les plaques «cibles» positionnées sur le modèle afin de déterminer les mouvements subis par la structure (Figure 4). Plusieurs scénarios ont été étudiés pour déterminer le comportement de la structure, dont les principaux paramètres sont le type de vague générée, le poids de la structure et son orientation par rapport au front de vague. Six différentes vagues, allant jusqu'à la houle avec une hauteur significative de 1.5 mètre ont été reproduites. Des tests ont été menés sur la configuration à vide et la configuration lestée placées chacune dans les trois orientations différentes étudiées.

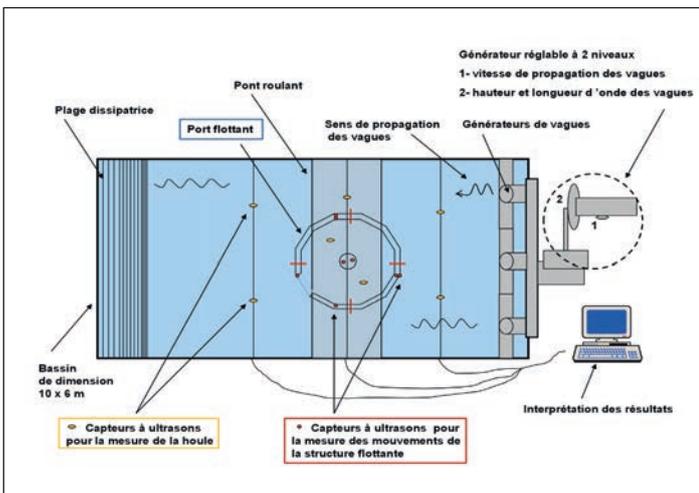


Figure 3: Schéma du bassin à houle et de ses installations annexes pour l'acquisition des mesures (Morgane Ugo).
Abbildung 3: Schematische Darstellung des Wellenbeckens und seiner Nebenanlagen zur Datenerfassung (Morgane Ugo).



Figure 4: Maquette du port flottant à l'échelle 1:50. Les plaques «cibles» ont été fixées verticalement pour mesurer précisément les mouvements dus aux vagues (Morgane Ugo).
Abbildung 4: Modell des schwimmenden Hafens im Massstab 1:50. Die «Ziel»-Platten wurden vertikal befestigt, um die Wellenbewegungen genau bestimmen zu können (Morgane Ugo).

En analogie avec le comportement d'un bateau, les six mouvements de translations et de rotations du corps flottant ont été analysés, à savoir:

- Le roulis et le cavalement sur l'axe longitudinal (x): mouvement avant-arrière
- Le tangage et l'embarquée sur l'axe transversal (y): mouvement tribord-bâbord
- Le lacet et le pilonnement sur l'axe vertical (z)

Ces essais sur modèle réduit ont permis de vérifier le concept. La propagation de la houle à travers le bassin ainsi que les mouvements de la structure ont été mis en évidence.

Conception et dimensionnement du port flottant

Afin de garantir des conditions calmes dans l'enceinte du port, un brise-lame pour atténuer les vagues est nécessaire. Le principal paramètre est la profondeur de l'écran, qui est déterminée selon la transmission des vagues de l'extérieur à l'intérieur du port. Pour les ports de plaisance, la littérature mentionne des amplitudes limites des vagues de 40 centimètres pour les valeurs maximales annuelles, et 70 centimètres pour les valeurs extrêmes (périodes de retour de vagues comprises entre 50 et 100 ans).

Les essais effectués sur la maquette du port ont donné une première valeur de l'atténuation fournie par un écran rigide placé sous les caissons. Dans la modélisation, l'écran est profond de 12 mètres et donne une amplitude résiduelle moyenne de 36 %. Pour une vague de dimensionnement de 2.3 m, le brise-lame doit atteindre une profondeur de 17 mètres pour respecter les amplitudes résiduelles tolérées des vagues dans l'enceinte. En tenant compte de la profondeur du caisson immergée, d'environ 3 mètres en exploitation régulière, la hauteur du brise-lame doit être de 14 mètres. Les caissons en béton armé offrent une grande rigidité ainsi qu'une immersion importante grâce aux caractéristiques du béton armé. La structure la plus efficace pour atténuer les vagues est un écran en bois fixé à l'aide d'une structure métallique aux caissons. L'écran est construit à l'aide de palplanches en bois,

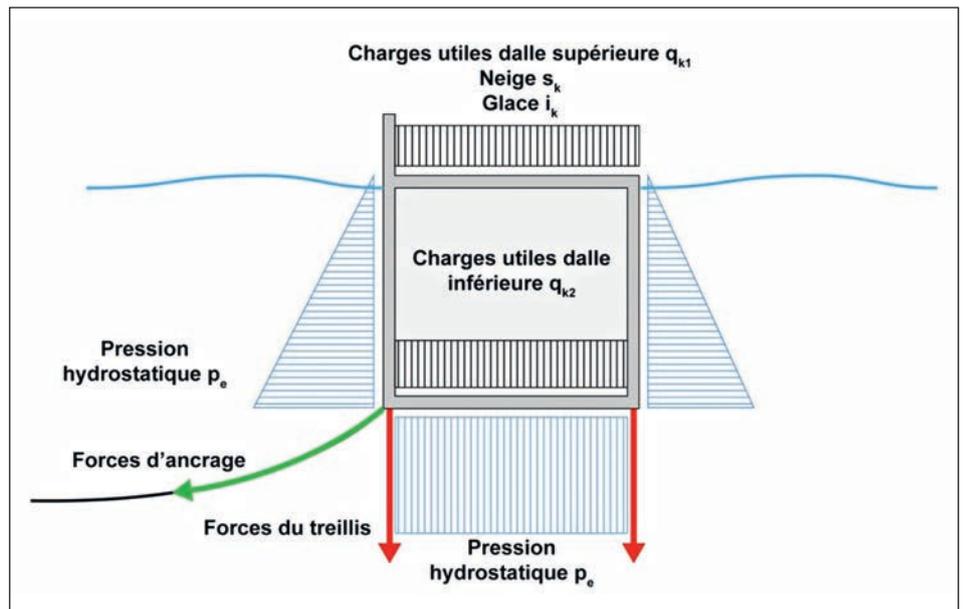


Figure 5: Charges agissant sur les caissons.
Abbildung 5: Lasteinwirkungen auf die Schwimmkästen.

composées de demi-troncs d'arbre. Cette solution apporte une légèreté à la structure, réduit son coût et amène une touche écologique au projet.

Les différentes parties structurales de l'ouvrage ont été dimensionnées sur la base des résultats des études hydrostatiques et hydrodynamiques sur modèle réduit. Les éléments dimensionnés sont les caissons en béton, le treillis du brise-lame et son écran, ainsi que les connexions et assemblages entre ces divers éléments.

Les éléments de béton constituant les caissons sont dimensionnés pour qu'ils résistent à des charges transversales et longitudinales. Les charges agissant sur la structure en béton sont le poids propre du béton, les charges utiles, les charges de neige et de glace, la pression hydrostatique, les forces d'introduction du brise-lame et les forces d'ancrage (Figure 5). Pour reprendre ces charges, le béton des caissons nécessite une armature et une précontrainte conséquente.

Le treillis du brise-lame est composé de tubes de profil ROR, en acier S355, avec une épaisseur de 10 mm. Le diamètre des tubes est adapté en fonction des efforts. Le treillis tridimensionnel permet de porter dans toutes les directions, et ne nécessite donc pas de contreventements supplémentaires.

Le port est également soumis aux poussées du vent et des courants. Le vent agit sur les parois verticales des caissons et peut être combiné à des courants lacustres de même direction. La stabilité du port face à ces forces horizontales est assurée par l'amarrage du port à des blocs en béton placés au fond du lac.

Les caissons du port flottant peuvent être préfabriqués dans la cale sèche des chantiers navals. Les caissons en béton sont successivement coulés, stockés, puis acheminés vers le site de construction. L'assemblage du treillis métallique peut être réalisé à proximité du site final du port flottant, en prévoyant une surface suffisamment grande pour pouvoir manœuvrer les caissons et fixer les éléments de charpente au-dessous. Un système de deux barges jumelées supportant un pont roulant peut être utilisé, afin de permettre l'assemblage du treillis sur le caisson à l'air libre.

Conclusions

Pour un coût de construction estimé entre 4 et 5 millions de CHF pour environ 92 places d'amarrage, le port flottant est sans doute une alternative économiquement intéressante. L'extension des ports existants augmente la pression sur les rives lacustres, la création de ports flottants au large des rives pourrait donc être une alternative qui préserverait les



Figure 6: Intégration paysagère d'un port flottant au large de Pully près de Lausanne (Photomontage Jamani Caillet).

Abbildung 6: Landschaftsintegration eines schwimmenden Hafens auf dem Genfersee bei Pully in der Nähe von Lausanne (Fotomontage Jamani Caillet).



Figure 7: Intégration paysagère d'un port flottant au large de Cully près de Lausanne; vue direction Lavaux (Photomontage Jamani Caillet).

Abbildung 7: Landschaftsintegration eines schwimmenden Hafens auf dem Genfersee bei Cully in der Nähe von Lausanne (Fotomontage Jamani Caillet).



Figure 8: Intégration paysagère d'un port flottant au large de Cully près de Lausanne; vue du Lavaux (Photomontage Jamani Caillet).

Abbildung 8: Landschaftsintegration eines schwimmenden Hafens auf dem Genfersee bei Cully in der Nähe von Lausanne (Fotomontage Jamani Caillet).



Figure 9: Intégration paysagère d'un port flottant au large d'Ouchy à Lausanne (Photomontage Jamani Caillet).

Abbildung 9: Landschaftsintegration eines schwimmenden Hafens auf dem Genfersee bei Ouchy in der Nähe von Lausanne (Fotomontage Jamani Caillet).

rives restées encore intactes. Il pourrait également être envisageable de supprimer quelques ports qui ont, par exemple, des problèmes d'ensablement et de revitaliser des rives pour ainsi créer des biotopes précieux. De plus, l'intégration paysagère d'un tel port flottant est prometteuse comme le montre le cas d'étude sur le lac Léman (Figures 6, 7, 8 et 9).

Bibliographie

Morgane Ugo (2012). Etude d'un port flottant sur Le Léman. Projet de master, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL).

Morgane Ugo (2012). Vidéo des essais sur modèle physique: <https://www.youtube.com/watch?v=L3AX5lysNAE>.

Jamani Caillet (2013). Conception d'un port flottant sur le lac Léman. Projet de

master, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL).

Jamani Caillet (2013) Vidéo du projet avec les intégrations dans le lac:

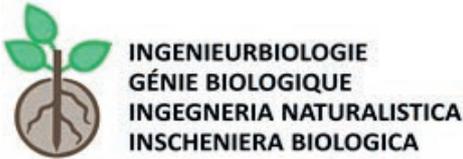
<http://youtu.be/7Y9-vU1G50U>

Adresse des auteurs

Morgane Ugo
Laboratoire de constructions hydrauliques (LCH)
Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL)
Station 18, LCH - IIC - ENAC - EPFL
CH-1015 Lausanne
Tel. +41 21 693 23 85
E-Mail: morgane.ugo@gmail.com

Jamani Caillet
Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL)
CM 2 362, Station 10, P-SG-Mediacom
CH-1015 Lausanne
Tel. +41 21 693 31 93
E-Mail: jamani.caillet@epfl.ch

Prof. Dr. Anton Schleiss
Auteur correspondant
Laboratoire de constructions hydrauliques (LCH)
Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL)
Station 18, LCH - IIC - ENAC - EPFL
CH -1015 Lausanne
Tel. +41 21 693 23 82
E-Mail: anton.schleiss@epfl.ch



Begrünerpreis 2016

Die Arbeitsgruppe Hochlagenbegrünung (AGHB) des Vereins für Ingenieurbiologie setzt sich seit 1996 für schonende und standortgerechte Begrünung im Alpenraum ein.

Um Begrünungsprojekte mit vorbildhaftem Charakter aufzuzeigen, vergibt die AGHB einen Preis für gelungene Begrünungen im Bereich der Waldgrenze und höher. Es werden besonders gut gelungene Projekte und Massnahmen ausgezeichnet, welche die Qualität und Nachhaltigkeit von Hochlagenbegrünungen fördern. Die Anstrengungen der Projektbeteiligten werden in einer breiten Öffentlichkeit gewürdigt. Die Auszeichnung bringt die Bedeutung der Hochlagenbegrünungen in einem umfassenden Sinn in das Bewusstsein der Öffentlichkeit und motiviert Entscheidungsträger, ähnliche Projekte zu verwirklichen.

Preiswürdige Projekte zeichnen sich u.a. durch hohe Qualität bezüglich der angemessenen Planung und Projektierung, der Ausführung im Gelände, der Begrünungsergebnisse und der Erfolgskontrolle aus. Das Vorgehen bei ökologisch hochwertigen Begrünungen im Alpenraum ist ausführlich beschrieben in den „Richtlinien Hochlagenbegrünung“. Eine Kurzfassung für die Baustelle liefert eine praktische Übersicht. Die ausführlichen Kriterien für die Vergabe des Begrünerpreises, sowie die Kurzfassung der „Richtlinien Hochlagenbegrünung“, finden Sie auf der Homepage des Vereins Ingenieurbiologie (<http://www.ingenieurbiologie.ch>).

Preisträger ist ein bestimmtes Begrünungsprojekt mit den Bauherren und den beteiligten Planungs- und Ausführungsorganen (z.B. Gemeinden, Kantone, Korporationen, Tourismus-Organisationen, Bergbahnunternehmen). Auch länger zurückliegende Begrünungen werden berücksichtigt, wenn standortgemäss begrünt wurde. Die Preisverleihung wird anlässlich des nächsten Begrüner-Symposiums im Spätsommer 2016 stattfinden. Das Symposium wird in Zermatt, auf dem Gelände der Zermatt Bergbahnen AG, einem der beiden Gewinner des Begrünerpreises 2013, stattfinden.

Auskunft:

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Sekretariat Verein für Ingenieurbiologie,
Arbeitsgruppe für Hochlagenbegrünung, Andrea Grimmer, Grüental, Postfach, CH-8820
Wädenswil

Tel: +41 (0)58 934 55 31

e-mail: sekretariat@ingenieurbiologie.ch

Internet: www.ingenieurbiologie.ch



Prix de végétalisation 2016

Depuis 1996, le Groupe de travail pour la végétalisation en altitude (AGHB) de l'Association pour le génie biologique se consacre à une renaturation soignée et adaptée à la station dans le massif alpin.

Afin de mettre en valeur des projets de végétalisation exemplaires, l'AGHB attribue un Prix de végétalisation à des reverdissements réussis effectués au-dessus de la limite des forêts, en particulier les projets et les mesures promouvant la qualité et la durabilité des végétalisations en altitude. Les efforts des projets participants seront valorisés dans le grand public. La distinction souligne l'importance de la végétalisation en altitude au sens général dans la conscience des gens et motive les décideurs à réaliser de tels projets.

Les projets entrant en ligne de compte démontrent entre autres une qualité élevée en rapport avec la mise en oeuvre de la planification et de la conception, l'exécution des travaux sur le terrain, les résultats et le contrôle des résultats. La procédure pour une végétalisation de grande valeur écologique dans le massif alpin est décrite en détail dans „Directives pour une végétalisation en altitude“. Une version courte pour le chantier offre également un aperçu pratique. Les critères détaillés pour l'attribution du Prix de végétalisation se trouvent sur le site Internet de l'Association pour le génie biologique (<http://www.ingenieurbiologie.ch>).

Le gagnant est un projet de végétalisation accompagné des maîtres d'ouvrage et des organes associés à la mise en oeuvre et à la planification (par ex. communes, cantons, corporations, organisations de tourisme, entreprises de chemin de fer alpin). Des projets effectués non récemment seront aussi pris en considération, si ceux-ci font preuve d'une végétalisation adaptée à la station. Pour l'occasion, un symposium aura à Zermatt, auprès des Zermatt Bergbahnen AG, l'un des lauréats du Prix de végétalisation 2013.

Renseignement :

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Sekretariat AGHB, Andrea Grimmer, Grüental, Postfach, CH-8820 Wädenswil

Tel: +41 (0)58 934 55 31

e-mail: sekretariat@ingenieurbiologie.ch

Internet: www.ingenieurbiologie.ch



OHS Otto
Hauenstein
Samen AG



Die Rasenberater –
Fachwissen vor Ort



Begrünungen
für alle Fälle!

Bahnhofstrasse 92
Postfach 138
8197 Rafz
Tel. 044 879 17 19
Fax 044 879 17 30

info@hauenstein.ch
www.hauenstein.ch

Nr.1

Hydrosaat
St. Ursen
Tel. 026 322 45 25
www.hydrosaat.ch

- **Ansaat**
von Strassen- und Bahnböschungen, Felspartien, Skipisten,
Kies- und Schotterhalden und nichthumusierten Flächen
- **Dachbegrünungen**
mit Xeroflor®-Sedummaten für Dächer, Böschungen,
Garten- und Rasenabschlüsse, Verkehrsinseln, Trottoirs
- **Ecotex®-Erosionsschutz**
mit Geotextilien, natürlich und biologisch abbaubar
- **Ingenieurbioologische Bauweisen**
Stützkonstruktionen zur Stabilisierung
von Uferzonen und Böschungen



| | |
|---|----|
| Editorial | 2 |
| Fachbeiträge | |
| Les rives lacustres et le génie biologique | 5 |
| Genève-Lac 2000–2030: Synthèse de l'étude préliminaire de localisation des futurs aménagements des rives du lac sur le Canton de Genève | 13 |
| Kassandras Dilemma | 18 |
| Vents sur le Léman: exemples de situations extrêmes | 23 |
| LATLAS: Atlas des vagues pour les lacs de Suisse – Généralisation pour le dimensionnement | 29 |
| Grundlagen für einen umfassenden Uferschutz an Seen | 32 |
| Wellendynamik und Seeuferrevitalisierung | 38 |
| Des ports flottants pour réduire les pressions sur les rives lacustres | 45 |



INGENIEURBIOLOGIE
GÉNIE BIOLOGIQUE
INGEGNERIA NATURALISTICA
INSCHENIERA BIOLOGICA

Verein für Ingenieurbioogie
Association pour le génie biologique

ZHAW
 Zürcher Hochschule für
 Angewandte Wissenschaften
 Sekretariat, Andrea Grimmer
 Grüental, Postfach, CH-8820 Wädenswil
 Tel. +41 58 934 55 31



E
F
I
B

Europäische Föderation für Ingenieurbioogie
Federazione Europea per l'Ingegneria Naturalistica
European Federation for Soil Bioengineering
Fédération Européenne pour le Génie Biologique
Federación Europea de Ingeniería del Paisaje

Dipl.-Ing. Rolf Studer
 Verein für Ingenieurbioogie in der Schweiz
 Route du Coteau 63, CH-1752 Villars-sur-Glâne
 Tel: +41 26 401 02 45
 Mail: rolfaugust.studer@gmail.com
 http://www.ingenieurbioogie.ch

Inserate

Inseratentarif für Mitteilungsblatt / Tarif d'insertion dans le bulletin

Der vorliegende Tarif ist gültig für eine Ausgabennummer.
 Le présent tarif comprend l'insertion pour une parution.

| | | | | | |
|-------------------------------------|-----------------------|-----------|------------|-----------|-----------|
| 1 Seite | Fr. 750.– | 2/3 Seite | Fr. 550.– | 1/2 Seite | Fr. 400.– |
| 1/3 Seite | Fr. 300.– | 1/4 Seite | Fr. 250.– | 1/8 Seite | Fr. 150.– |
| Separate Werbebeilage beim Versand: | 1 A4-Seite | | Fr. 1000.– | | |
| | jede weitere A4-Seite | | Fr. 300.– | | |

Inseratenannahme: Roland Scheibli, Baudirektion Kanton Zürich, ALN, Abteilung Landwirtschaft, Walcheplatz 2, Postfach, 8090 Zürich, Tel.: +41 43 259 27 64, Fax: +41 43 259 51 48, E-Mail: roland.scheibli@bd.zh.ch

Link auf der Internetseite des Vereins / Liaison internet sur la page web de l'association: Fr. 750.– pro Jahr / par an

Oder bei Inseraten im Mitteilungsblatt im Wert von mindestens Fr. 750.– pro Jahr

Contre publication d'encarts publicitaires dans le journal Génie Biologique pour Fr. 750.– par an au moins

Redaktionsschluss / Délai rédactionnel

| | | | | |
|------------|--------------------|-----------------|---------------|---------------|
| Heft: | Redaktionsschluss: | Thema: | Erscheint: | Redaktion: |
| Nr. 3/2015 | 15. August 2015 | Agébio | Oktober 2015 | vakant |
| Nr. 4/2015 | 15. Oktober 2015 | Umsetzung GSchG | Dezember 2015 | Röbi Bänziger |

Fachbeiträge sind gemäss den redaktionellen Richtlinien zu verfassen und bis zum Redaktionsschluss an Roland Scheibli, Baudirektion Kanton Zürich, ALN, Abteilung Landwirtschaft, Walcheplatz 2, Postfach, 8090 Zürich, Tel.: +41 43 259 27 64, Fax: +41 43 259 51 48, E-Mail: roland.scheibli@bd.zh.ch, einzureichen.