
Welterbe, Klimawandel und Neobiota – Zirkumalpine Pfahlbauten in Zeiten der Erderwärmung

Renate Ebersbach

Zusammenfassung

Im dynamischen System „Voralpensee“ haben Veränderungen von Klima, Umwelt und landschaftlicher Nutzung oft große Auswirkungen auf die Flachwasserzonen und damit auch auf die Pfahlbauten. Die Entdeckung der Pfahlbauten ab den 1860er Jahren wurde ermöglicht durch sehr niedrige Seepegel am Ende der „Kleinen Eiszeit“. Im 21. Jahrhundert lassen sich drastische Veränderungen in der Flachwasserzone der großen Seen beobachten, die nicht nur durch den Klimawandel, sondern auch durch eingeschleppte neue Pflanzen- und Tierarten ausgelöst werden.

Im Beitrag wird zunächst beleuchtet, welche Veränderungen sich in den Seen und Mooren in den letzten Jahren beobachten lassen und wie wir deren Auswirkungen auf das Welterbe „Prähistorische Pfahlbauten um die Alpen“ beurteilen und damit umgehen. Sinkende Wasserstände und höhere Temperaturen führen zu Veränderungen der Unterwasservegetation, die wiederum in Wechselwirkung mit neuen Muschel- und Krebsarten steht. Welche dieser Entwicklungen für die Pfahlbauten gefährlich sind und welche eine Chance, z. B. durch abnehmende Erosionsgefahr darstellen, ist Gegenstand laufender Beobachtungen und Diskussionen.

Abstract

In the dynamic system of pre-alpine Lakes, changes in climate, environment and landscape use often have major impacts on the shallow water zones and thus also on the pile dwellings. The discovery of the pile dwellings from the 1860s onwards was made possible by very low lake levels at the end of the “Little Ice Age”. In the 21st century, drastic changes in the shallow water zone of the large lakes can be observed, which are not only caused by climate change, but also by the introduction of new plant and animal species.

The article first of all examines what changes can be observed in the lakes and bogs in recent years and how we assess and deal with their effects on the World Heritage Site “Prehistoric Pile Dwellings around the Alps”. Falling water levels and higher temperatures lead to changes in the underwater vegetation, which in turn interacts with new shell and crab species. Which of these developments are dangerous for the pile dwellings and which represent an opportunity, e. g. due to a decreasing risk of erosion, is the subject of ongoing observations and discussions.



Abb. 1: UNESCO-Welterbe „Prähistorische Pfahlbauten um die Alpen“, Karte der 111 gelisteten Fundstellen (Karte: Landesamt für Denkmalpflege (LAD))

Einleitung: Pfahlbauten

Die „Prähistorischen Pfahlbauten um die Alpen“ (2011) sind ein serielles, transnationales Welterbe, das 111 gelistete und 860 assoziierte Feuchtbodenfundstellen in sechs Ländern umfasst (Abb. 1). In Mooren und den Flachwasserzonen der Seen haben sich Reste von prähistorischen Siedlungen erhalten, die räumlich mehrere tausend Quadratkilometer und zeitlich mehrere tausend Jahre umfassen. Die ältesten Feuchtbodensiedlungen der mitteleuropäischen Voralpen datieren um 4300 v. Chr. und gehören in das frühe Jungneolithikum, die jüngsten sind aus der Spätbronzezeit/frühen Eisenzeit bekannt (um 800 v. Chr.). Einige der Fundstellen umfassen Zehntausende von Pfählen, Tonnen von Keramik,

Tierknochen und weiteren Funden sowie Millionen von archäobotanischen Resten. Neben Siedlungsresten sind auch Bohlenwege und Einbäume aus diesen Zeiten erhalten.

Durch die Lagerung im wassergesättigten Milieu sind die meisten Fundstellen heute unsichtbar. Andererseits führt diese Lagerung aber zu einer gegenüber mineralischen Böden stark verlangsamten Zersetzung der prähistorischen Reste. Dadurch sind besonders organische Reste aus Pflanzenmaterial ausgezeichnet erhalten. Neben Hausruinen haben sich in den dunklen, organischen Ablagerungen der sogenannten „Kulturschichten“ Abfälle aller Art, Kompost, verlorene Gegenstände, Nahrungsreste usw. in großen Mengen erhalten, die in gleichzeitigen Landfundstellen nicht mehr vorhanden sind (Abb. 2). Nicht nur die Quantität der Funde ist bedeutend, sondern vor allem die Qualität

Abb. 2: Blick auf die Ablagerungen von Ruinen und Abfall aus Seeufersiedlungen in dunklen Kulturschichten, in denen Holz, Steine, Funde aller Art und feines organisches Material erhalten sind. Die gut erhaltenen Pfähle der Gebäude sind angeschnitten. Fundstelle Sipplingen Osthafen (Fotos und Montage: Adi Müller im Auftrag LAD)



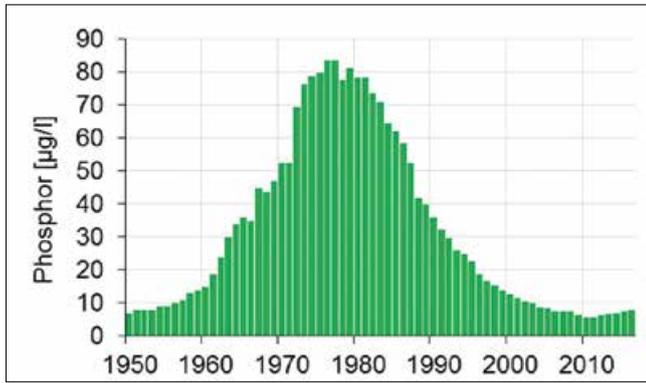


Abb. 3: Phosphor im Bodensee-Obersee zwischen 1950 und 2017 (IGKB 2018, Abb. 1)

und Diversität. Erhalten sind Bauelemente wie Steigbäume, Werkzeuge und Geräte wie z. B. Räder oder Axtholme sowie Holzgefäße, Kleidungsreste, Nahrungsmittel wie Brot, Sammelpflanzen aller Art und sogar sehr kleine Reste wie Blütenstaub, Parasiteneier oder Insekten. Dadurch bieten die Fundstellen einen sehr detailreichen und einzigartigen Einblick in die Lebensbedingungen dieser prähistorischen Gesellschaften und deren ökonomische, ökologische und soziale Strukturen. Die Auswertung von Feuchtbodengrabungen erfordert die interdisziplinäre Zusammenarbeit verschiedenster Expert*innen aus kultur- und naturwissenschaftlichen Fachdisziplinen.

Veränderungen in den Flachwasserzonen

Die Umwelt der Pfahlbauten befindet sich in ständigem Wandel, was für deren Schutz, Erforschung und Vermittlung immer wieder neue Herausforderungen mit sich bringt. Insbesondere in den Flachwasserzonen der Voralpenseen führt die Interaktion verschiedenster Parameter zu einem komplexen Gefüge von Veränderungen. Die folgenden Bei-

spiele beziehen sich auf den Bodensee, den größten nicht regulierten See im nördlichen Alpenvorland, bei dem sich die Auswirkungen und Interaktionen von Klimawandel und invasiven Arten besonders deutlich beobachten lassen. Vor allem die drei folgenden Faktoren haben dessen Entwicklung in den letzten Jahrzehnten stark beeinflusst:

- Veränderungen der Trophie
- Erwärmung von Luft und Wasser
- Invasive Arten.

Ursprünglich sind die größeren Voralpenseen nährstoffarm. Seit der Mitte des 20. Jahrhunderts sind durch menschliche Aktivitäten (Düngung, ungereinigte Abwasser usw.) große Mengen Nährstoffe in die Gewässer gelangt, die zu einer starken Eutrophierung geführt haben. Besonders Phosphor ist dabei ein wichtiger Faktor, der das Wachstum der Algen stark beeinflusst. Veränderung in der Menge und Zusammensetzung der Unterwasservegetation haben einen Einfluss auf die gesamte Nahrungskette im See bis hin zum Fischbesatz. Der Bau von Kläranlagen mit Phosphorfällung hat wesentlich dazu beigetragen, dass die Phosphorkonzentration nach einem Maximum von 84 µg/l (Jahresdurchschnitt) Ende der 1970er Jahre deutlich abnahm (Abb. 3). Die Veränderung der Trophie des Bodensees zurück zu oligotrophen Bedingungen führt wieder zu einer deutlichen Veränderung der Unterwasservegetation.

Die Erderwärmung hat ebenfalls einen signifikanten Einfluss. Sowohl Luft- wie auch Wassertemperaturen im Bodenseeraum sind in den letzten 30 Jahren deutlich messbar gestiegen (Abb. 4). Die durchschnittliche Wassertemperatur ist heute 1,2 °C höher als im Durchschnitt der Jahre 1960 bis 1990. Höhere Temperaturen des Oberflächenwassers führen nicht nur zu einer schlechteren Durchmischung der Oberflächen- und Tiefwässer, sondern auch zu Veränderungen der saisonalen Vegetationsbedeckung und der Artenverteilung.

Höhere Lufttemperaturen haben Einfluss auf die saisonalen Pegelschwankungen. Typischerweise haben die Seen, deren Einzugsgebiet bis in die Alpen reicht, niedrige Wasserstände im Winter und höhere Wasserstände im (Früh-)

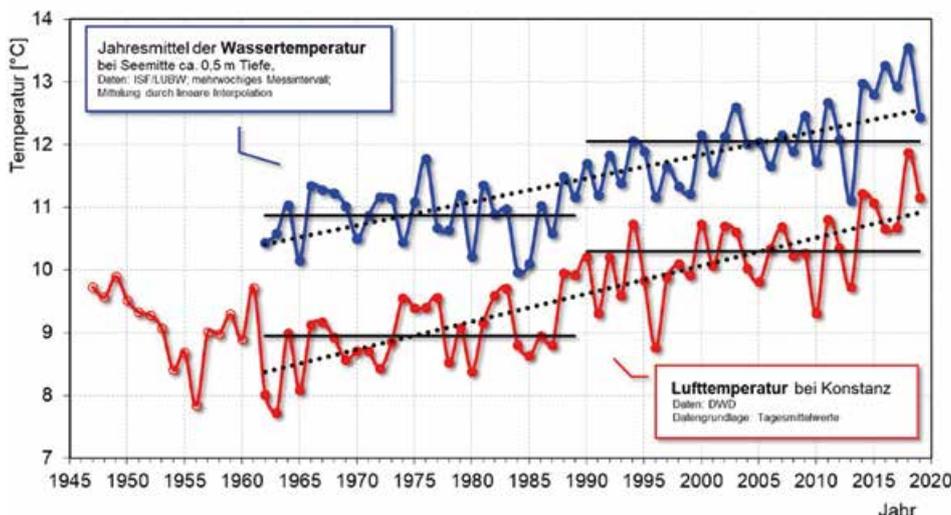
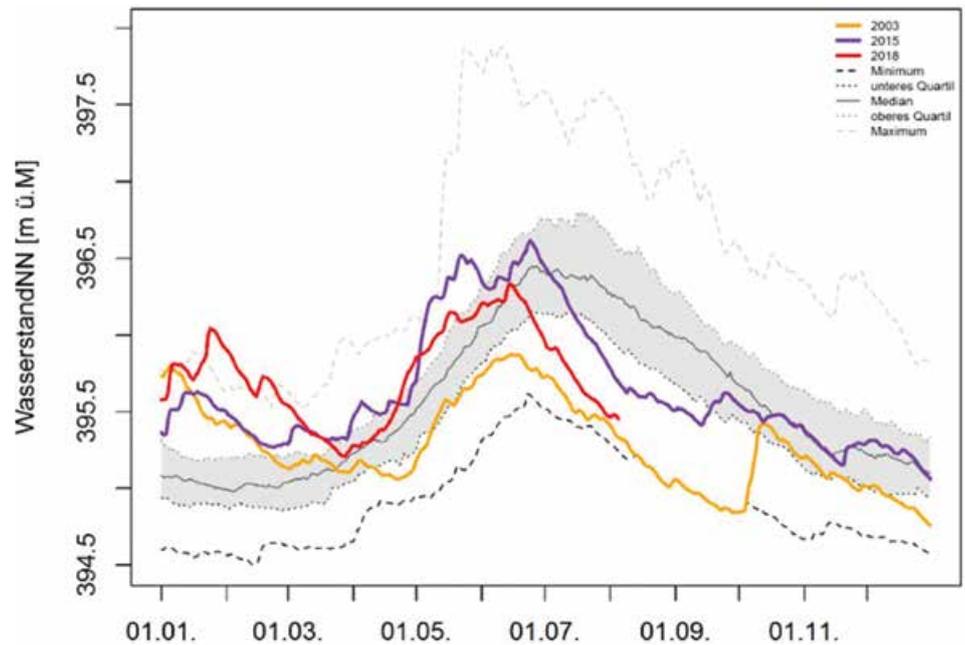


Abb. 4: Entwicklung von Luft- und Wassertemperatur am Bodensee (IGKB 2020, Abb. 1)

Abb. 5: Saisonale Entwicklung des Bodensee-Pegels bei Romanshorn (<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/dossiers/niedrigwasser-sommer-2018.html>)



Sommer. Im Winter fallen Niederschläge im Einzugsgebiet in Form von Schnee, sodass die Zuflussmengen gering sind. Mit Einsetzen der Schneeschmelze und gleichzeitigem Niederschlag in der wärmeren Jahreszeit steigen die Pegel auf sommerliche Hochstände. Der Bodensee hat eine durchschnittliche jährliche Pegelschwankung von zwei Metern und eine maximale von vier Metern (Abb. 5). Wir müssen davon ausgehen, dass auch die anderen großen Voralpenseen wie Genfersee, Gardasee, Zürichsee usw. in prähistorischer Zeit solche Schwankungen aufwiesen. Bleiben die Temperaturen im Winter höher, so fällt im Einzugsgebiet mehr Niederschlag als Regen, der winterliche Zufluss ist höher und der Winterpegel steigt. Gleichzeitig treten längere Trockenperioden im Sommer auf, bei denen während mehrerer Monate kein oder kaum Niederschlag fällt, wodurch die Pegel im Sommer stärker absinken. Die Gesamtschwankung der Pegel wird dadurch weniger stark.

Im Bodensee wurde seit den 1960er Jahren die Einwanderung von 19 invasiven Arten beobachtet. Davon sind besonders zwei in der Flachwasserzone aktiv und relevant für die Pfahlbauten: Der Kamberkrebs (*Orconectes limosus*) ist eine Flusskrebsart aus der Familie der Cambaridae. Er ist an der Ostküste Nordamerikas heimisch und lebt im Gegensatz zu heimischen Krebsen nicht nur in klarem Wasser, sondern auch in schlammigen Bächen. Da er Träger der Flusskrebsppest ist, gefährdet er den Bestand heimischer Flusskrebse. Er wurde 1890 nach Deutschland eingeführt und seit den 1980er Jahren im Bodensee beobachtet.

Die erfolgreichste invasive Art der letzten Jahre ist die Quagga-Muschel (*Dreissena rostriformes*). Es wird vermutet, dass sie ihren Ursprung im ukrainischen Teil des Schwarzen Meeres hat. Im Bodensee wurden die Quagga-Muscheln erstmals 2016 identifiziert, wo sie sich seither massiv ausgebreiten und erhebliche Probleme insbesondere für die Maschinen in Wasserwerken verursacht haben. Quagga-Muscheln besiedeln nicht nur festen Untergrund,

sondern bilden auch auf dynamischen Sedimenten dichte Teppiche. Sie sind bis in 180 Meter Tiefe nachgewiesen und können sich bis 5°C Wassertemperatur vermehren, wodurch ihre Reproduktionsrate gegenüber den heimischen Dreikantmuscheln deutlich höher ist.

Auswirkungen der Veränderungen auf die Pfahlbauten

- Pegelschwankungen
- Vegetationsänderungen
- Invasive Arten.

Niedrigere Seepegel im Sommer können im Extremfall dazu führen, dass Uferbereiche trockenfallen, die seit Jahrtausenden von Wasser bedeckt waren. Im Hitzesommer 2003 erreichte der Bodensee im September den niedrigsten je gemessenen Sommerpegel – der allerdings immer noch einen halben Meter höher lag als der niedrigste je gemessene Winterpegel. Aber schon nach wenigen Wochen Trockenheit sind prähistorische organische Reste zu Staub zerfallen und damit unwiederbringlich verloren.

Höhere Winterpegel stellen ebenfalls eine Gefahr für die Siedlungen in der Flachwasserzone dar, da in den Wintermonaten häufig starke Stürme auftreten, die zu hoher Wellenenergie und damit zur Erosion der Ufer führen. Messungen haben gezeigt, dass durch einen einzigen Wintersturm bis zu 8 cm Sediment abgetragen werden können. Wenn der Pegel im Winter höher ist als üblicherweise, führt die durch Stürme verursachte Wellenerosion zu Schäden, die weiter landeinwärts als bisher auftreten. Dadurch besteht die Gefahr, dass die Vegetation und schützende Decksedimente über bisher ungestörten Kulturschichten erodieren und diese freigelegt werden und der Erosion ausgesetzt sind.

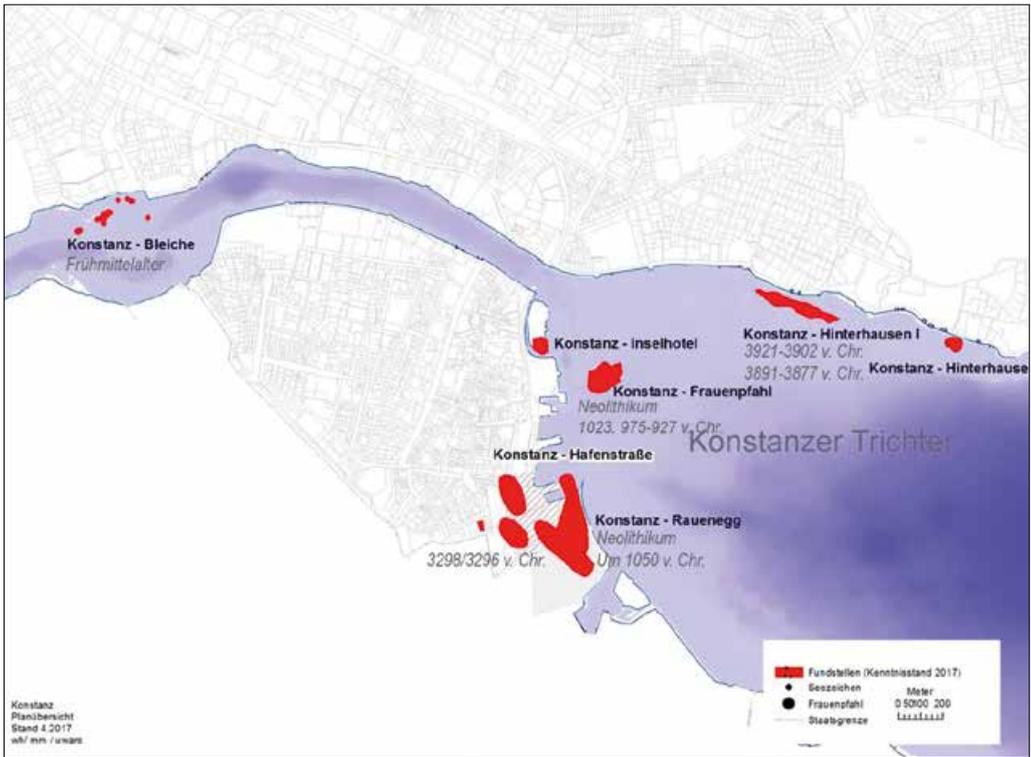


Abb. 6: Fundstellen im Konstanzer Trichter (Karte: Martin Mainberger im Auftrag LAD, Ergänzungen: Renate Ebersbach)

Sehr interessante Auswirkungen hat auch die Veränderung der Unterwasservegetation, wie am Beispiel des Konstanzer Trichters gut gezeigt werden kann. In der Flachwasserzone vor Konstanz sind mehrere Feuchtbodenfundstellen bekannt, die von 3921 v. Chr. bis ins Frühmittelalter datieren (Abb. 6). Hier fließt der Seerhein mit starker Strömung aus dem Obersee in den Untersee. Das Sediment besteht aus Sand und Seekreide und ist mobil und dynamisch. Durch Veränderungen der Schifffahrtsrouten, der Größe der Schiffe und verschiedene Infrastrukturmaßnahmen im Uferbereich wurde hier in den letzten Jahren starke Erosion beobachtet. Es konnte bis zu einem Meter Sedimentverlust

in den letzten zwei Jahrzehnten berechnet werden. Deshalb wurden hier 2006 und seit 2012 fast durchgehend unterwasserarchäologische Rettungsmaßnahmen durchgeführt, um die letzten Reste der Siedlungen zu bergen, die Pfahlfelder systematisch zu beproben und die Struktur der Bebauung zu verstehen. Aber in den letzten Jahren hat sich die Situation dramatisch verändert. Grund dafür ist das Schweizer Laichkraut (*Potamogeton helveticus*), das sich rasch ausgebreitet hat. Dieses Laichkraut ist eine seltene Art, die als gefährdet eingestuft wird. Sie bevorzugt nährstoffarme Gewässer und wird bis zu vier Meter lang. Die heute beobachteten dichten Stände von Schweizer Laichkraut führen zu einem Wald aus

Abb. 7a, b: Ausbreitung von Helvetischem Laichkraut im Konstanzer Trichter, links: 2012, rechts: 2018 (Fotos: Martin Mainberger im Auftrag LAD)





Abb. 8a, b: Ausbreitung der Quagga-Muschel, Fundstelle Unteruhldingen Stollenwiesen. Links: erodierte Pfähle der Palisaden mit Vegetation 2014, rechts: von Quagga überwachsene Palisadenpfähle und Seeboden 2018. Im Vordergrund ist ein Kamberbau in der Seekreide erkennbar (Fotos: Joachim Köninger im Auftrag LAD, Inlay Muschel: IGKB 2019, Abb. 1)

Vegetation am Seegrund, was die Strömung quasi zum Stillstand gebracht hat (Abb. 7a, b). Dadurch ist auch die Erosion der Lockersedimente zunächst gestoppt. Für die Pfahlbauten im Konstanzer Trichter ist das zunächst eine sehr gute Entwicklung, allerdings bleiben viele Fragen offen, z. B. ob die Wurzeln dieses Laichkrautes Kulturschichten und Hölzer durchbohren oder was passiert, wenn sie absterben und durch die Strömung aus dem Seegrund gerissen werden.

Das Beispiel des Schweizer Laichkrautes zeigt aber, dass die dynamischen Veränderungen in der Flachwasserzone und deren Auswirkungen auf den Erhalt des UNESCO-Welterbes nicht nur negativ sein müssen. Die Veränderungen der Unterwasservegetation könnten sogar stellenweise zum Schutz der Denkmale beitragen.

Kamberkrebse bauen ihre Wohnhöhlen gerne in erodierende Ränder der Kulturschichten. Dadurch werden diese instabil und brechen zusammen, was die sowieso schon existierende Erosion der Schichten verstärkt.

Die Quagga-Muschel hat innerhalb von nur drei Jahren Fundstellen flächig überwachsen, nicht nur die Pfähle, sondern auch den kompletten Seegrund (Abb. 8a, b). Dies könnte einerseits positiv für die Erhaltung der Fundstellen sein, da dadurch mobile Sedimente am Seegrund stabilisiert werden und die Erosion verringert wird. Andererseits saugen sich die Muscheln an den weichen prähistorischen Pfählen fest, was die Substanz des Holzes angreift und durch die Oberflächenvergrößerung auch mehr Angriffsfläche für Wellenschlag und Strömung bietet. Außerdem führt die flächige Ausbreitung der Muscheln dazu, dass die Flachwasserzone braun-schwarz wird. Dokumentationsmethoden zum Monitoring der Fundstellen, die mit Luftbildern arbeiten, sind dadurch kaum noch einsetzbar. Dies hat dazu geführt, dass wir in den letzten beiden Wintern notfallmä-

ßig möglichst viele Luftbilder und Drohnenaufnahmen von möglichst zahlreichen Fundstellen machen mussten, bevor man nichts mehr sieht. Auch hier bleibt abzuwarten, wie sich die Bestandsdichte dieser Art weiterentwickelt und welche Konsequenzen die Interaktion von Kamberkrebs, Quagga, Laichkraut und anderer sich rasch verändernder Unterwasservegetation für die Fundstellen haben werden.

Fazit

Die beobachteten Veränderungen sind sehr dynamisch und komplex. Zum jetzigen Zeitpunkt sind wir weit davon entfernt, Zusammenhänge zwischen Klimawandel, Pegelveränderungen und invasiven Arten sowie deren Auswirkungen auf unser Welterbe zu verstehen. Im Moment ist das Gebot der Stunde, die Veränderungen zu beobachten und mit einem flexiblen, dichten Monitoring-Programm nachzuvollziehen und engmaschig zu messen. Um mittel- und langfristige Auswirkungen zu verstehen oder gar modellieren zu können, müssen zunächst belastbare Datenreihen vorliegen. Hier ist die Zusammenarbeit mit anderen Institutionen unabdingbar, die sich mit Klimawandel, Seepegeln, Flora und Fauna der Gewässer beschäftigen. Auch eine Zusammenarbeit innerhalb der Länder, die das Welterbe „Prähistorische Pfahlbauten um die Alpen“ betreuen, wäre wünschenswert und anzustreben. In der näheren Zukunft könnte eine Klimafolgenabschätzung für die Pfahlbauten als Grundlage dienen, um Schutzmaßnahmen weiterzuentwickeln und den sich rasch verändernden Umweltbedingungen anzupassen, mit allen Vor- und Nachteilen, die diese für die Pfahlbauten mit sich bringen werden.

Weitere Informationen zu Pfahlbauten:

International: www.palafittes.org

Deutschland: www.unesco-pfahlbauten.org/

Bodensee: www.bodensee.eu/de/was-erleben/kultur/unesco-weltkulturerbe

Weitere Informationen zu Bodensee, Klimawandel und invasiven Arten:

IGKB: Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee – International Commission for the Protection of Lake Constance: www.igkb.org

Aquatische Neozoen im Bodensee: <http://www.neozoen-bodensee.de/>

Institut für Seenforschung, Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW) – Institute for Lake Research, Environmental Office of the State of Baden-Württemberg: <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/wasser/institut-fuer-seenforschung>

Bundesamt für Umwelt (BAFU), Schweizer Eidgenossenschaft – Swiss Federal Office for the Environment: www.bafu.admin.ch/

Literatur

Hofmann, H./Ostendorp, W. (Hrsg.), *Seeufer: Wellen – Erosion – Schutz – Renaturierung. Handlungsempfehlungen für den Gewässerschutz – Ergebnisse aus dem ReWaM-Verbundprojekt HyMoBioStrategie (2015–2018)* (Konstanz 2019); <https://dx.doi.org/10.18148/KOPS/HMBS.2018.001>

IGKB 2018: Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB): *Phosphor im Bodensee*, Faktenblatt der IGKB (Oktober 2018)

IGKB 2019: Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB): *Quagga-Muschel im Bodensee*, Faktenblatt der IGKB (Mai 2019)

IGKB 2020: Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB): *Klimawandel am Bodensee*, Faktenblatt der IGKB (März 2020)

International Coordination Group UNESCO Palafittes (Hrsg.) [o. J.]: *UNESCO Welterbe Prähistorische Pfahlbauten um die Alpen*

International Coordination Group ICG Palafittes (ed.) 2020: *Pfahlbauten/Palafitte/Kolišča/Pile Dwellings News 20*. Edition 01/2020; www.palafittes.org/Media