

Zeitschrift: Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft
Herausgeber: Thurgauische Naturforschende Gesellschaft
Band: 66 (2012)

Artikel: Umwelt- und Nutzungswandel am Unterseeufer : Seeregulierung, Wasserspiegeltrends und Abwasserbelastung
Autor: Ostendorp, Wolfgang
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-594123>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 23.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Umwelt- und Nutzungswandel am Unterseeufer: Seeregulierung, Wasserspiegeltrends und Abwasserbelastung

Wolfgang Ostendorf

1 Einleitung

Intensive menschliche Nutzungen von Seen und ihren Ufern sind gewöhnlich mit einer Veränderung der Ufermorphologie (Substrat, Uferrelief, Uferlinienführung), der hydrologischen Bedingungen (Lage des Mittelwasserstands, Wasserstandsschwankungen, Strömungen, Wellenangriff) sowie der Vegetationsdecke (Rodungen, landwirtschaftliche Nutzungen, Überbauung) und der aquatischen Biozöosen (Abwassereinleitung, Einführung von Neobiota, Fischbestandsbewirtschaftung) verbunden. Vor diesem Hintergrund betrachtet sind Naturgeschichte und Kulturgeschichte des Bodensee-Unterseeufers nicht zu trennen. Die naturräumlichen Eigenarten gehören ebenso zu den massgebenden Umständen, die zu dem heutigen Bild – und zu den heutigen Problemen – der Uferzone geführt haben, wie die Siedlungs-, Verkehrs- und industrielle Entwicklung, die individuelle und kollektive Wahrnehmung der landschaftlichen Schönheit, die umweltwissenschaftliche Erforschungsgeschichte des Bodenseeraums und nicht zuletzt auch bestimmte gesellschaftliche Entwicklungen und politische Weichenstellungen.

In diesem Beitrag wird ausschnittsweise die Entwicklung einiger für die Vegetation der Uferzone bedeutsamer Faktorenkomplexe seit der Mitte des 19. Jahrhunderts nachgezeichnet. Es handelt sich dabei um die Regulierung des Bodensees (Kapitel 2) und die jüngste Seespiegelchronologie im Zeichen des globalen Klimawandels (Kapitel 3) sowie die Abwasser- und Nährstoffbelastung (Kapitel 4). Ein weiterer sehr wichtiger Aspekt, die verschiedenen Formen der Landnutzung (v. a. für Freizeit-Infrastruktur) und der hydromorphologischen Veränderungen der Wasserwechselzone (Uferverbau), muss einem späteren Beitrag vorbehalten bleiben.

2 Regulierung und Ausbau des Untersees

Der Bodensee ist heute – wie schon zu Baumanns Zeiten – der einzige grosse Alpenrandsee, der noch ein annähernd naturnahes Wasserstandsregime aufweist. Allerdings hat es nicht an ehrgeizigen Projekten gefehlt, den Seespiegel abzusenken und seine jährlichen Schwankungen zu regulieren, um die wirtschaftlichen Interessen einzelner Branchen oder Regionen zu bedienen. Die einschneidendsten von ihnen wurden durch die politische Grenzlage, durch divergierende Interessen zwischen Oberliegern¹ am See und Unterliegern am Hochrhein sowie durch zwei Weltkriege behindert, und im letzten Schritt durch die erstarkte Natur- und Heimatschutzbewegung im Thurgau zu Fall gebracht.

2.1 Vulkanischer Winter am Bodensee

Als im April 1815 der Vulkan Tambora auf der Insel Sumbawa im heutigen Indonesien mit voller Wucht ausbrach, nahm man das auf unserer Seite der Erdkugel bestenfalls beiläufig zur Kenntnis. Dabei handelte es sich um den vermutlich dritt-

¹ Ein Oberlieger ist im Wasserrecht ein oberhalb eines bestimmten Punktes ansässiger Gebietsberechtigter, etwa ein Grundstückseigentümer. Der Begriff erschliesst sich erst im jeweiligen Zusammenhang mit dem Unterlieger (zitiert nach <http://de.wikipedia.org/wiki/Oberlieger>).

stärksten Vulkanausbruch seit 10'000 Jahren, bei dem etwa 160 Kubikkilometer Staub, Asche und Schwefelverbindungen in die Atmosphäre freigesetzt wurden (Tanguy et al. 1998). Es folgte ein *Vulkanischer Winter*, der bis 1819 andauerte:

*Die schöne Sonne war verglüht; die Sterne
Verdunkelt kreisten in dem ew'gen Raum,
Weglos und ohne Strahl; blind zog die Erde
In mondesleerer Luft. Der Morgen kam
Und ging und kam, und brachte keinen Tag.
Die Menschen, grausend in der kalten Öde,
Vergassen ihre Leidenschaften, schrien
Nach Licht, selbstsüchtig betend, ...*

(Übersetzung von F. Lemmermayer in *Schücking 1958*: S. 170–175)

So schrieb der englische Dichter G. H. Lord Byron (1788–1824) in seinem apokalyptischen Gedicht *Darkness*, als er im kalten und verregneten Sommer 1816 in Cologny am Genfer See festsass.

Besonders am nördlichen Alpenrand, in der Zentral- und in der Ostschweiz kam es zu schweren Unwettern und Missernten, und in deren Folge zu Hungersnöten, Teuerungen und Auswanderungswellen (Specker 1993 und 1995, de Boer & Sanders 2004). Die geringere Schneeschmelze im Vorjahr und die angesammelten zusätzlichen Schneemengen führten schliesslich 1817 im Alpenrheintal zu katastrophalen Überschwemmungen. Unter dem Eindruck der Not, aber eben auch in Verkennung der tatsächlichen Ursachen – erst 1920 fand der Atmosphärenphysiker W. J. Humphreys (1862–1949) eine Erklärung für das *Jahr ohne Sommer* – gingen von den St. Gallischen Rheintal-Dörfern die ersten Forderungen zur Regulierung des Bodensee-Obersees aus. Der St. Gallische Bauinspektor W. Hartmann hielt in einem Bericht fest, dass der See «an seinem Ausflusse bei Constanz durch immer mehr sich häufende Hindernisse gestört wird» (Hartmann 1817 zit. n. Honsell 1879: S. 3). Gemeint waren die Konstanzer Rheinmühlen, die spätestens seit 1429 in unmittelbarer Nähe der Brücke eingebaut waren und im Laufe der Jahrhunderte mehrfach erneuert, umgebaut und erweitert wurden (Kleiner 1925, Grim 1976). Die festen Einbauten und die beweglichen Stellfallen sperrten mit 150 m² bzw. 133 m² immerhin 35% des Gerinnequerschnitts an dieser Stelle ab (Honsell 1879).

Andere Gutachter glaubten dagegen, die kritische Engstelle zwischen Eschenz und Stein am Rhein bzw. am Schaffhauser Rheinfall gefunden zu haben. Der Expertenstreit um die wahre Natur der Abflusshindernisse wurde schliesslich am 1. Juni 1856 durch schicksalhafte Fügung beigelegt: Die Konstanzer Rheinbrücke mitsamt der Mühle brannte in der Nacht vollständig ab. Die Regierungen der Obersee-Anrainerstaaten waren sich einig und reagierten schnell: Noch im selben Jahr wurde von der Grossherzoglich Badischen Regierung der ersatzlose Abriss der verbliebenen (unterseeischen) Fallen und Baureste angeordnet, ein Jahr später wurde eine internationale Vereinbarung ratifiziert, die neue strömungsbehindernde Einbauten grundsätzlich untersagte. Damit war das erste

grosse Wasserbauvorhaben zur Regulierung des Bodenseespiegels sozusagen über Nacht umgesetzt worden.

Die Wirkung auf die Tieferlegung der Obersee-Wasserstände dürfte bei etwa 0,33 m gelegen haben (Honsell 1879: S. 64 ff.). Damit änderte sich auch der hydraulische Gerinnequerschnitt im Bereich des Obersee-Auslaufs im Konstanzer Trichter. Ob die Beseitigung der Einbauten und Leitwerke im Laufe der folgenden Jahrzehnte zu einem veränderten Strömungsmuster im Auslauf des Konstanzer Trichters geführt hat, ist ungeklärt. Jedenfalls befinden sich die Seekreide- und Krümelkalkbänke, die bereits Honsell ausführlich beschrieben hat, noch heute an Ort und Stelle, und die darauf befindlichen baulichen Reste (Stauzeilen, Holzrahmenkonstruktionen) sind ohne sichtbare Anzeichen der Erosion erhalten geblieben (Abbildung 1).



Abbildung 1: Bei Niedrigwasser sind noch die Reste von Stauzeilen und Holzkonstruktionen der ehemaligen Rheinmühle im Konstanzer Trichter zu erkennen (29.01.2006/Foto: Michael Dienst).

Die Auswirkungen auf den Untersee-Spiegel liessen sich an der mittleren Seespiegeldifferenz zwischen den Pegeln Konstanz und Gottlieben festmachen: vor 1856 betrug sie 0,281 m, nach dem Ereignis 0,258 m. Im Hochwasserfall hätte der Untersee nach Angaben Honsells einen um etwa 0,06 m höheren Seespiegel zu erwarten als es vor 1856 der Fall war. Kurzum: die Untersee-Gemeinden profitierten keineswegs von der Beseitigung der Konstanzer Rheinmühlen.

2.2 Hochwasserschutz am Untersee (1876–1918)

Als es 1867 zu einem erneuten Hochwasser kam, meldeten sich die thurgauischen Untersee-Gemeinden zu Wort und wollten nun ihrerseits durch wasserbauliche Massnahmen eine Verbesserung ihrer Situation erreichen.

Nach Ansicht einiger Fachleute und vor allem der Bevölkerung vor Ort kam der *Stiegener Enge* die entscheidende Bedeutung als Abflusshemmnis zu. Hier hatten zwei Bäche, von Norden der Stiegener Bach, von Süden der Eschenzer Bach, breite Deltaschüttungen in den Stromstrich vorgeschoben. Überdies liegen hier, wie die Tafel XI in *Baumann (1911)* zeigt, ausgedehnte Schnegglikies- und Seekreidebänke, die im Laufe der Jahrtausende wahrscheinlich vor Ort entstanden und von der Rheinströmung nur wenig verlagert worden sind. Die topografische Situation ist so markant, dass seinerzeit vielen Geografen und Einheimischen nicht die Engstelle zwischen Stein am Rhein und dem Ortsteil Burg, sondern die *Stiegener Enge* als die eigentliche Seeausmündung galt. Die ersten Korrektionsarbeiten am *Eschenzer Bach* liegen vielleicht Jahrhunderte zurück; nachweislich wurde sein Mündungslauf mehrfach verlegt und das abgelagerte Geschiebe zum Wegebau verwendet. Nach dem Hochwasser von 1876 wurden schliesslich vom Grossherzogtum Baden und vom Kanton Thurgau gemeinschaftlich Baggerungen am *Eschenzer Horn* durchgeführt, wobei rund 400 m³ Material entnommen wurde; darüber hinaus sollen mehrere hundert Kubikmeter vom Rhein selbst weggeführt worden sein (*Honsell 1879*: Fussnote S. 74).

Nach dem Hochwasser von 1890 trugen die thurgauischen Seeufergemeinden erneut Forderungen nach sofortiger Abgrabung des Eschenzer Horns vor. Die Arbeiten wurden 1891 in Angriff genommen und 1893 beendet (*Birchmeier 2008*). Nach *Kobelt (1926: Tafel 1)* wurden hierbei 30'000 m³ Seegrund entfernt. Wahrscheinlich konnten die Planungen nicht vollständig realisiert werden, denn nach dem Hochwasser von 1910 sah sich der Kanton Thurgau zu einem erneuten Vorstoss veranlasst, der aber erst zwischen Januar und April 1918 umgesetzt wurde. Auf einer etwa 300 m langen und bis zu 100 m breiten Fläche an der Delta-Spitze wurde das Gelände im Mittel- bis Hochwasserprofil um bis zu 0,6 m tiefer gelegt (*Abbildung 2*). Ausserdem wurde die Mündung des Eschenzer Bachs stromabwärts an die Westflanke des Horns verlegt. Mit dem ca. 10'500 m³ fassenden Abgrabungsmaterial wurden Sumpfflächen in der Nähe des alten Bachlaufs aufgefüllt. Das Abgrabungsgebiet ist heute anhand seiner abnormalen Uferlinienführung deutlich zu erkennen.

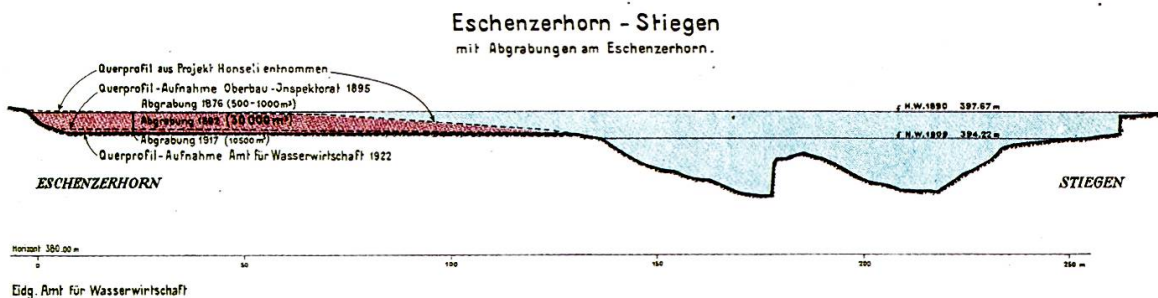


Abbildung 2: Abgrabungen am Eschenzer Horn von 1876, 1891–93, 1917–18. Ein letztlich erfolgloses Unterfangen, das den Hochwasserspiegel des Untersees nur um ca. 2 cm senkte (Tafel I aus *K. Kobelt, 1926*, Eidg. Amt für Wasserwirtschaft; mit freundlicher Genehmigung des Bundesamtes für Umwelt BAFU, Abteilung Hydrologie, Bern).

Nach den späteren Auswertungen von *Kobelt (1926)* wurden am Eschenzer Horn insgesamt rund 40'000 m³ Material entfernt, um vor allem im Mittel- und Hochwasserprofil eine Erhöhung des Fliessquerschnitts um 250 m² zu erreichen. Am deutschen Ufer wurden – soweit bekannt – keine nennenswerten Profilveränderungen vorgenommen. Entgegen den festgefügt Überzeugungen der ortsansässigen Bevölkerung haben die Abgrabungen nach Einschätzung von Karl Kobelt praktisch keine Auswirkungen gehabt: bei Hochwässern von 700 bis 1000 m³/s sollte nur mit einer Pegelabsenkung von 2 cm zu rechnen gewesen sein. Hintergrund sei u. a. die Tatsache, dass nicht die Stiegenger Enge (Abflussquerschnitt 945 m² bei 1080 m³/s Wasserführung) sondern die Strecke oberhalb der Bibernmündung, etwa 4 km stromabwärts den geringsten Abflussquerschnitt (565 bis 685 m²) hat (*Kobelt 1926: S. 29–30*).

Das bedeutet freilich nicht, dass ungeachtet der Eingriffe alles beim Alten geblieben ist: Neuere Tauchgrabungen des Amts für Archäologie des Kantons Thurgau und des Landesamtes für Denkmalpflege Baden-Württemberg in der Umgebung des *Orkopfes*, etwa zweihundert Meter stromaufwärts der Abgrabungsstelle, zeigen, dass seit Jahrzehnten Pfahlreste jungsteinzeitlicher Unterwasserdenkmale erodiert werden und verloren zu gehen drohen (*Mainberger & Schnyder 2009*). Möglicherweise hat die Abgrabung zu einer Reaktivierung der südlich des Orkopfs vorbei führenden Rheinarm-Rinne geführt, wobei sich die lokalen Strömungsgeschwindigkeiten erhöht haben könnten (*Abbildung 3*).

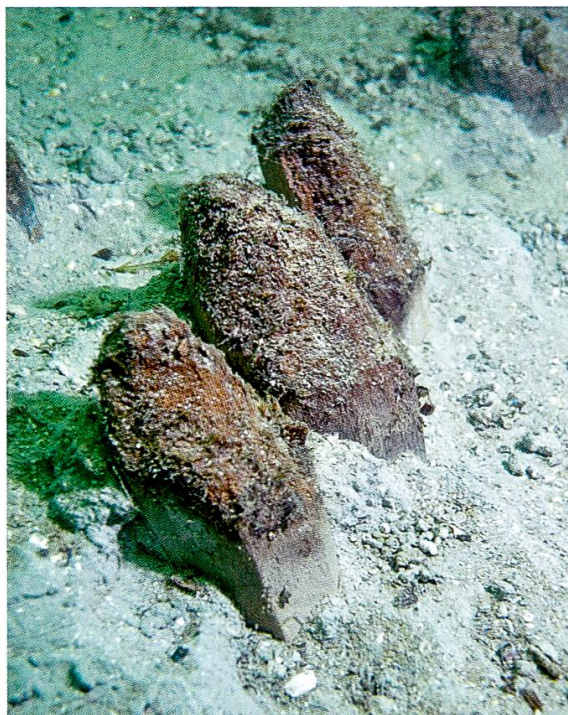


Abbildung 3: Sohlerosion im Bereich des Orkopfes (Rheinsee-Ausfluss): Das Unterwasserfoto zeigt Pfähle aus der Bronzezeit (ca. 2'000 vor Chr.). Der obere Teil der Pfähle wurde bereits vor geraumer Zeit durch Sanddrift abgeschmiegelt, im unteren Teil sind noch die frischen Bearbeitungsspuren und Schlagkanten der Pfahlspitze zu erkennen, ein Zeichen dafür, dass die Erosion auch aktuell weiter fortschreitet (23.03.2010 / Foto M. Schnyder, mit freundlicher Genehmigung des Amts für Archäologie Thurgau).

Die Bemühungen um eine Absenkung der Bodensee-Wasserstände wurden von Anbeginn an durch verschiedene wasserbauliche Ingenieursexpertisen begleitet, die aber nur selten zu den gleichen Ergebnissen und Schlussfolgerungen kamen. So gerieten die Entscheidungsprozesse immer wieder ins Stocken. Schliesslich wurde Baurat Max Honsell (1843–1910), Mitglied der *Grossherzoglich Badischen Ober-Direction des Wasser- und Strassen-Baus* beauftragt, den bisherigen Kenntnisstand zum Wasserhaushalt und zur Entwicklung der Ausflussschwellen bei Konstanz und Eschenz/Stein am Rhein zusammenzufassen, die bisherigen wasserbaulichen Projekte kritisch zu bewerten, und einen eigenen zielführenden Vorschlag zu entwickeln.

Max Honsell war dazu sicher der richtige Mann: Er stammte aus Konstanz und kannte sich mit dem Bodensee und seiner Naturgeschichte bestens aus (*Abbildung 4*). Seine frühen Jahre am See sollen den Ausschlag dafür gegeben haben, dass er sich nach dem Besuch des Polytechnikums in Karlsruhe dem Wasserbau zuwandte (*Historische Kommission 1972*). Die überaus kenntnisreiche und durch eigene Beobachtungen ergänzte Darstellung des westlichen Bodensees (*Honsell 1879*) ist noch heute eine wichtige Quelle, der sich auch Baumann ausgiebig bedient hat. Was das Honsellsche Gutachten auszeichnete, war die sachliche und ausgleichende Argumentation, wenn es um die Hochwasserschutz-Anliegen der Untersee-Ufergemeinden ging, die er zweifellos ernst nahm, die er aber

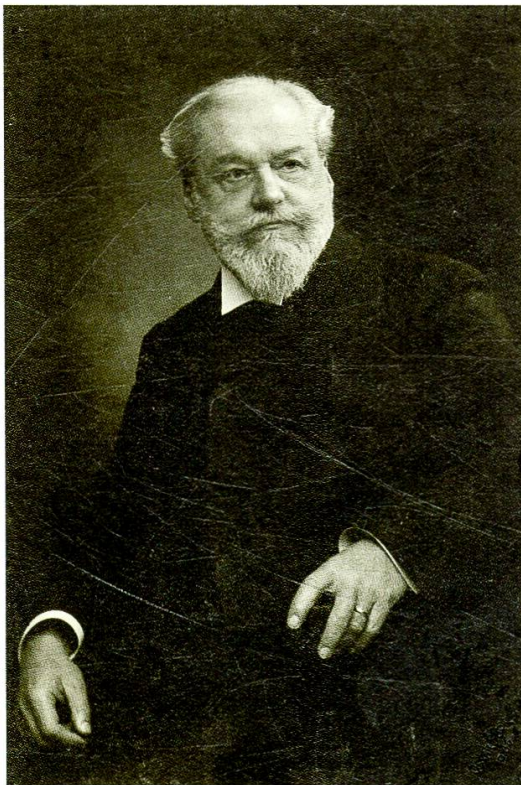


Abbildung 4: Der badische Baurat Max Honsell (1843–1910) veröffentlichte im Auftrag der Anliegerstaaten eine zusammenfassende Darstellung über den Wasserhaushalt des Untersees und stellte eine Planung zur Verminderung der Hochwassergefahr vor, die bis in die 1920er-Jahre hinein zum Ausgangspunkt weitergehender Planungen wurde (Datum unbekannt; mit freundlicher Genehmigung des Stadtarchivs Karlsruhe, Sign. 8/PBS III 697).

auch nicht überbewertete. Wasserbauliche Machbarkeitsfantasien waren nicht seine Sache, lediglich Abgrabungen am Eschenzer Horn und eine Ausbaggerung der Rheinrinne unterhalb Stein am Rhein hielt er für sinnvoll und ausreichend. Einem Stauwehr bei Hemishofen, durch das sich der Seespiegel nach Gutdünken regulieren liesse, hat er auch später nie zugestimmt.

2.3 Der Untersee im Visier der Energiewirtschaft und der Grossschifffahrt (1926–1961)

Mit der dritten Abgrabung am Eschenzer Horn von 1918, die erst nach langem Hin und Her vom *Eidgenössischen Departement des Innern* genehmigt worden war, ging eine Phase eher kleinräumiger wasserbaulicher Planungen zu Ende, bei denen es vorrangig um die Anliegen der Seeufergemeinden selbst ging. Fortan wurde grossräumiger gedacht und geplant, der Hochrhein wurde vom Fluss zur Wasserstrasse und der Bodensee vom See zum Mehrzweckspeicher umetikettiert. Die wasserbaulichen Planungen waren darauf ausgerichtet, «mit möglichst geringen Aufwendungen die grössten wirtschaftlichen Vorteile zu erzielen», so Dr. C. Mutzner, Direktor des *Eidgenössischen Amtes für Wasserwirtschaft* im Vorwort zum Rahmenprojekt von Kobelt (1926). Hochwasserschutz, Wasserkraftnutzung und Schiffbarmachung sollten nun gemeinsam von allen Anliegerstaaten und -kantonen vorangetrieben werden. Das genannte Rahmenprojekt sah die Baggerung einer 100 m breiten Rinne zwischen dem Konstanzer Trichter und Ermatingen vor, ausserdem die Tieferlegung der Rhein-Sohle auf 60–90 m Breite zwischen Seeausfluss und Schupfen (Hochrhein). In Hemishofen war ein bewegliches Stauwehr mit Schleusen für die Grossschifffahrt geplant. Dadurch sollten die Jahreshochwasserstände des Untersees um rund 0,5 m, die Hochwasserspitzen wasserreicher Jahre um 0,7 bis 0,8 m erniedrigt werden. Um der Oberrhein-Schifffahrt und den Hochrhein-Kraftwerken auch im Winter genügend Wasser bereitzustellen, wurde vorgesehen, den See im Spätsommer einzustauen und ab Mitte Oktober wieder abzulassen; die jährlichen Niedrigwasserstände sollten um etwa 0,1 m höher liegen als bisher.

Im Schatten dieses Rahmenplans blühten Träume der regionalen Wirtschaft und der Kommunen, die das westliche Bodenseegebiet zu einer sich rasant entwickelnden Industrieregion und zu einer Art Wasserstrassendrehkreuz zwischen Nordsee (Rhein), Mittelmeer (Rhône) und Schwarzmeer (Donau) werden liessen (Steiner 2005, Kramer 2008). Kanäle sollten von Radolfzell aus nach Singen und durch den Hegau getrieben werden, im Radolfzeller Aach-Ried westlich Radolfzell, im Wollmatinger Ried bei Konstanz und im Tägermoos waren Häfen und Bahnanbindungen vorgesehen. «*Verbilligung der Frachtraten*» hiess das Zauberwort, an dessen Erfüllung niemand zweifelte. Der Staatsvertrag zwischen der Eidgenossenschaft und dem Deutschen Reich war bereits in Arbeit, als der Zweite Weltkrieg die Weiterentwicklung der Pläne zum Stillstand brachte.

2.4 Meinungsumschwung (1961–1963)

In der wirtschaftlichen Erholungsphase der 1950er-Jahre glaubte man weiterhin an ein grenzenloses materielles Wachstum ohne Nebenwirkungen, sodass sich weite Kreise, von den Gewerkschaften und den Lokalpolitikern bis hin zu Wirt-

schaftsführern und Spitzenpolitikern des neuen Südweststaats und der Kantone, hinter den Ausbau des Hochrheins und des Bodensees stellten. Dennoch – die Zeit hatte sich gewandelt: Der Bodensee war in den 1950er-Jahren zu einem Zielgebiet für den Wochenend- und Ferientourismus geworden, zusätzliche Strandbäder und Campingplätze wurden eröffnet, wohlhabende Bürger hatten damit begonnen, ihre Ufergrundstücke auszubauen, die Bodensee-Fernwasserversorgung in den mittleren Neckarraum war in Betrieb genommen worden, wohingegen sich die Wasserqualität bereits zu diesem frühen Zeitpunkt erheblich verschlechtert hatte (vgl. Kapitel 4). Bei einer umfassenden Begutachtung der Ausbauvorhaben stiess die baden-württembergische Landesregierung nun auf die entschiedene Ablehnung vieler Experten. So kam es noch während der Projektierungsarbeiten zum *Projekt 1961* zu einem Meinungsumschwung in der Regierung.

Ausschlaggebend war ein Gutachten von Prof. Buchwald, das die Ergebnisse anderer Fachgutachten zusammenfasste und erstmals in der Projektgeschichte die negativen(!) Auswirkungen auf den Natur- und Erholungsraum und auf die Funktion des Bodensees als Trinkwasserreservoir darstellte (*Buchwald 1962*). Konrad Buchwald (1914–2003) war seit 1949 in der im Aufbau begriffenen Naturschutzverwaltung des späteren Landes Baden-Württemberg tätig, zuletzt als Direktor der Landesstelle für Naturschutz und Landschaftspflege Baden-Württemberg. Von dort aus wurde er 1960 als Professor für Landespflege und Direktor des Instituts für Landschaftspflege und Naturschutz an die Technische Universität Hannover berufen und erhielt ein Jahr später den Auftrag, «*Die Auswirkungen der Schiffbarmachung des Hochrheins auf die Hochrhein- und Bodensee-Landschaft*», so der Titel des Gutachtens, zusammenfassend darzustellen.

Buchwald lehnte in seinem Gutachten den Ausbau von Hochrhein und Bodensee rundweg ab, da er die wesentlichen überregional bedeutsamen Funktionen als Trinkwasserreservoir und Erholungsraum in nicht zu verantwortender Weise beeinträchtigt sah. Auch für die grossen Naturschutzgebiete am Seeufer, Radolfzeller Aach-Ried, Wollmatinger Ried, Eriskircher Ried und Rheinspitz hätten die neuen Häfen, Verlade- und Verkehrseinrichtungen schwere Beeinträchtigungen mit sich gebracht. Er beschränkte sich auf die grossen Leitlinien, die unmittelbar einsichtig waren und sich im Politikumfeld leicht vermitteln liessen. Fachliche Detailfragen betreffend die Lebensräume und die Lebensgemeinschaften des Sees und die Fischerei als traditionellem Erwerbszweig blieben aussen vor – neben den vielen anderen (lebens-)wichtigeren Problemfeldern schienen sie zu unbedeutend.

Dass die katastrophalen Auswirkungen auf die eulitoralischen Lebensgemeinschaften des westlichen Bodensees durchaus gesehen wurden, zeigt die Mitschrift eines Vortrags von Friedrich Kiefer, stellvertretender Leiter der Konstanzer Anstalt für Bodenseeforschung (*Kiefer 1959*). Die Sorge Prof. Kiefers galt nicht nur den bedrohlichen limnologischen Veränderungen im Freiwasser und der Trinkwassergewinnung, sondern – im Rückgriff auf *Baumann (1911)* – auch den Pflanzen der *Grenzzone*, die der Vernichtung preisgegeben seien, wenn der Ausbau realisiert würde. Und er ging gleich zur Gegenoffensive über: Vielmehr, so führte er aus, verdienten es diese seltensten Pflanzen unserer Heimat, «*als einzigartige und*

einmalige Naturdenkmale erhalten [zu] werden» (Kiefer 1959: S. 18). Nach dem, was wir heute über die Ökologie der Röhrichte, der Strandrasen und der Riedvegetation und ihre dynamische Entwicklung unter dem Einfluss wechselnder Wasserstände wissen, hätte man die engagiert vorgetragene Stellungnahme von F. Kiefer nur unterstützen können. Wären die Projekte umgesetzt worden, würden wir die Uferlandschaft am Untersee nicht mehr wiedererkennen!

Das harsche Urteil der verkehrs- und gesamtwirtschaftlichen, hygienisch-bakteriologischen, limnologischen und landschaftspflegerischen Gutachten, die Konrad Buchwald zusammengefasst hatte, kam der baden-württembergischen Landesregierung so ungelegen nicht, hatte sie doch schon hinter verschlossenen Türen an einem «geordneten Rückzug» gearbeitet. Im Oktober 1962 veröffentlichte das Innenministerium zwei parallele Denkschriften über den Ausbau des Hochrheins und zur Reinhaltung des Bodensees (vgl. auch Kapitel 4). Darin stellte sie klar: *«Die Landesregierung hält [...] den Ausbau des Hochrheins bis zum Bodensee unter den heutigen Verhältnissen nicht für vertretbar.» (Innenministerium Baden-Württemberg 1962: Teil 1, S. 31).* In dem Beschluss des Landtags vom 24.10.1963 wurde die Option des Hochrhein-Ausbaus bis zum Bodensee fallen gelassen; der Ausbau sollte nur bis in den Raum Waldshut ermöglicht werden. Die Verhandlungen mit dem Schweizer Bundesrat zogen sich noch einige Jahre hin, bis man sich 1974 darauf einigte, fortan auf den Ausbau der Hochrhein-Strecke von der Aare-Mündung bis zum Bodensee zu verzichten. Aber erst im Mai 1993 wurde der Hochrhein-Ausbau mit der *«Verordnung über die Freihaltung von Wasserstrassen»* des Schweizerischen Bundesrats (AS 1993 1458; SR 747.219.1) endgültig zu den Akten gelegt.

2.5 Der letzte Kampf: Die öffentliche Meinung siegt (1965–1973)

Der extreme Seespiegelhochstand von 1965 brachte noch einmal ordentlich Wasser auf die Mühlen der Ausbau-Befürworter: Wenigstens die Regulierung des Untersees durch das seit 1850 immer wieder in die Diskussion gebrachte Wehr in Hemishofen sollte realisiert werden. Nun aber trafen die Vorstösse auf massiven Widerstand nicht nur der Experten, sondern breiter Bevölkerungsschichten, von denen sich rund 6'000 Personen am 23. März 1969 zu einer Protestkundgebung in Hemishofen zusammenfanden. In einer Resolution wurde nicht nur der Verzicht auf das Regulierwehr verlangt, sondern gleich auch die Aufnahme der Hochrhein-Stromstrecke in das Bundesinventar der zu erhaltenden Landschaften und Naturdenkmale von nationaler Bedeutung (*N. N. 1969*).

Diese klare Botschaft hielt Prof. Fritz Schmidt, Technischer Direktor des *Zweckverbandes Bodenseewasserversorgung*, nicht davon ab, ein Jahr später erneut Öl ins Feuer zu giessen. Er legte den Plan des sogenannten Bodensee-Neckar-Stollens vor (*Südkurier*, Ausgabe vom 22.07.1970), mit dessen Hilfe dem Überlingersee statt wie bisher rund 7,5 m³/s weitere 20 bis 25 m³/s Wasser entnommen werden sollten, um den übermässig verschmutzten Neckar mit Frischwasser zu schönen und im Bedarfsfall auch die Donau mit einem Wasserzuschlag zu versorgen (*Drexler 1980: S. 77 ff.*). Eine derart grosse Entnahmemenge liess sich nur bei Hebung der winterlichen Niedrigwasserführung

und Senkung der sommerlichen Hochwasserführung, d. h. mit dem genannten Regulierwehr bei Hemishofen bewerkstelligen. Nutzniesser wären einerseits Industrie und Wirtschaft im mittleren Neckarraum gewesen, die sich den Bau aufwändiger Abwasserreinigungsanlagen erspart hätten, andererseits die Betreiber der Wasserkraft- und der geplanten Atomkraftwerke am Hochrhein und schliesslich auch die Rheinschifffahrt. Im Grundsatz handelte sich bei dem Vorhaben um den Export von Umweltbelastungen aus dem mittleren Neckarraum an den Bodensee zugunsten der dortigen und zulasten der hiesigen wirtschaftlichen Entwicklung. Der Bodensee wäre zum «*internationalen Spülkasten*» für die «*Klosetanlage der Industriegesellschaft*» verkommen, wie es die Neue Zürcher Zeitung ausdrückte (NZZ Nr. 524: S. 23 vom 9.11.1972). Folglich lehnten die regionalen Planungsverbünde, die baden-württembergischen Ufergemeinden und sämtliche Landtagsabgeordnete am Bodensee die Pläne vehement ab. Die Landesregierung verhielt sich abwartend, liess weitere technische Gutachten anfertigen und versuchte, den politischen Schaden zu begrenzen.

Auch in den Kantonen Schaffhausen und Thurgau formierte sich rasch der Widerstand. 1971 gründete sich das *Thurgauer Rheinkomitee*, das noch im gleichen Jahr die *Thurgauische Volksinitiative zur Erhaltung der natürlichen See- und Flusslandschaft am Bodensee und Rhein* auf den Weg brachte. Die Schweizer Natur- und Heimatschutzbewegung hatte bereits mehr als zehn Jahre zuvor ihre entschiedene Ablehnung von Aufstau- und Wasserkraftnutzungen am Hochrhein zum Ausdruck gebracht. Es ging damals um das Rheinkraftwerk beim Kloster Rheinau (Schmidhauser 1999). Nachdem der Schweizer Bundesrat Anfang 1952 die Konzessionserteilung von 1944 bestätigt hatte, kam es 1954 erstmals in der Schweizer Geschichte zu einer eidgenössischen Volksinitiative auf dem Gebiet des Natur- und Landschaftsschutzes, der sog. Rheinau-Initiative, die allerdings am 5. Dezember 1954 abgelehnt wurde. Ungeachtet der Abstimmungsniederlage stärkte die Rheinau-Kampagne die Kampfkraft der Heimat- und Naturschutzbewegung. Das Organisationskomitee formierte sich 1960 zum *Rheinaubund, Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für Natur und Heimat* und widmete sich fortan landesweit dem Widerstand gegen Wasserenergie- und Schiffbarmachungsprojekte.

Anders als bei der Rheinau-Initiative und noch im Gutachten von *Buchwald* (1962) spielten jetzt Schönheit und Erholungswert der Landschaft eine untergeordnete Rolle. Die Initianten konnten Punkt für Punkt belegen, welche Teile und Funktionen des Bodensee-Ökosystems von den Plänen beeinträchtigt werden würden (*Aktionskomitee für die Rhein-Bodensee-Initiative* 1973). Sedimentqualität, Erosion und Verschlammung, Verkrautung der Uferzone, Belastung des Sauerstoffgehalts, Wasserqualität, Wasseraustausch und Strömungsverhältnisse, Fische und Fischerei sowie die «*Existenz der botanisch wertvollen Strandflora (etwa Myosotis Rehsteineri, u. a. m.)*» (Einsle 1973, auch: Schläfli 1973) kamen zur Sprache. Ganz offensichtlich hatten die Gegner des Projekts nicht nur die besseren Argumente, sondern auch die besseren Experten auf ihrer Seite.

Die Entscheidung brachte schliesslich eine Volksabstimmung am 26. August 1973 im Kanton Thurgau. Die Gegner des Regulierwehrs setzten mit überwäl-

tigender Stimmenmehrheit einen neuen § 24^{bis} in der Standesverfassung des Kantons Thurgau von 1869 durch: *«Der Staat setzt sich für die Erhaltung der natürlichen See- und Flusslandschaft am Bodensee, Untersee und Rhein ein. Er wendet sich [...] gegen die künstliche Abflußregulierung [...] und die Ableitung von Wasser in andere hydrologische Einzugsgebiete, soweit sie nicht der Trinkwasserversorgung dient»*.² Der Verfassungsartikel hätte die Regierung bei entsprechenden Verhandlungen mit der baden-württembergischen Regierung gezwungen, gewissermassen ein Veto gegen Wasserentnahmen für die Flutung des Neckars von mehr als 0,75 m³/s einzulegen. Damit waren Bodensee-Neckarstollen und Regulierwehr endgültig zum Scheitern verurteilt. Die baden-württembergische Landesregierung brauchte allerdings noch sechs weitere Jahre, um sich von dem Regulierwehr-Projekt zu verabschieden. Als Begründung gab sie nicht etwa die unverantwortbaren ökologischen Risiken, sondern die politische Situation in der Schweiz an (Drexler 1980: S. 84).

2.6 Was wäre, wenn... (2012)

Eugen Baumann hat während seiner Geländeuntersuchungen 1905 bis 1910 den Untersee noch in seinem natürlichen Zustand angetroffen, jedenfalls was den wasserwirtschaftlichen Ausbau und die Eingriffe in den Wasserhaushalt angeht. Die damals mit einfachen Mitteln und viel Handarbeit vorgenommenen Abgrabungen hatten sich als wenig wirksam erwiesen, sodass sie sehr wahrscheinlich keinen Einfluss gehabt haben auf das Vegetationsbild, wie Baumann es seinerzeit vor Augen hatte und wie wir es – in Teilen – heute noch antreffen können. Aber wie sähe das Unterseeufer heute aus, wenn die Planungen zur Regulierung und zur Schiffbarmachung des Bodensees und zur wirtschaftlichen Entwicklung der Uferzone Wirklichkeit geworden wären? Die kaum zu vermeidende intensive Industrialisierung hätte erhebliche Lebensraumverluste zur Folge gehabt, der Nutzungs- und Verwertungsdruck auf die letzten noch verbliebenen Freiflächen hätte zugenommen. Der veränderte Jahresgang des Seespiegels würde im Konstanzer Trichter und Seerhein sowie im gesamten Rheinsee, besonders aber im Seeausfluss, zu einer massiven Instabilität der Ufersedimente und zur Ufererosion führen. Der Wellenschlag durch die Grossschifffahrt hätte sein Übriges getan, sodass weite bis dahin unverbauete Uferstrecken hätten befestigt werden müssen. Der Lebensrhythmus, das Laich- bzw. Brutverhalten vieler Fisch- und Vogelarten würden nicht mehr mit dem Seespiegelrhythmus zusammenpassen; die Folge wären erhebliche Populationsverluste und das Verschwinden etlicher Arten vom Bodensee. Letztlich wären alle Mitglieder der litoralen Biozönos in schwerwiegender Weise beeinträchtigt worden. Auch die Vegetationsgürtel des Ufers, die in ihrer Ausdehnung an das natürliche Wasserstandsregime des Bodensees angepasst sind, hätten sich verschoben; wahrscheinlich hätten sich die Röhrichte ausgedehnt (sofern die Flächen nicht durch anderweitige menschliche Nutzungen vernichtet worden wären), während Arten des periodisch überfluteten Ufers zurückgegangen wären.

2 Der Text wurde – in abgeschwächter Form – auch in die neue Verfassung des Kantons Thurgau vom 16. März 1987 (RB 101) übernommen: § 76, Abs. 3: *«Sie [gemeint sind Kanton und Gemeinden, Anm. d. Verf.] wenden sich gegen Massnahmen, welche die natürlichen Verhältnisse und Gleichgewichte der See- und Flusslandschaft am Bodensee, Untersee und Rhein beeinträchtigen.»*

Insgesamt hätten die wasserbaulichen und infrastrukturellen Eingriffe eine Reihe von kostspieligen und aufwändigen Reparatur- und Korrekturmassnahmen nach sich gezogen, um wenigstens einige der charakteristischen Ökosystem-Merkmale eines natürlichen Alpenrandsees zu konservieren. Angesichts eines solchen Folgenszenarios erscheinen aus heutiger Sicht die damaligen Rahmenplanungen, lediglich der wirtschaftlichen Entwicklung, dem technisch Machbaren und der Kosten-Nutzen-Effizienz verpflichtet, als geradezu fahrlässig. Aber am Ende ist es ja doch anders gekommen: Dank des thurgauischen Stimmvolks blieb der Bodensee bis heute der letzte nicht regulierte Voralpensee mit einem weitgehend natürlichen Ausflussregime. Wie ehemals werden bei jedem Extremhochwasser, zuletzt im Jahr 1999, Stimmen laut, die eine Regulierung des Seespiegels fordern. Aber inzwischen will sie niemand mehr hören.

3 Seespiegelveränderungen und Wasserstandstrends am Untersee

Die Tatsache, dass der Bodensee von Regulierungs- und Ausbaumassnahmen der Ausflussrinne weitgehend verschont wurde, heisst nun nicht, dass die Wasserstände des letzten Jahrhunderts konstant geblieben wären. Vielmehr sind seit den 1930er-Jahren Seespiegelveränderungen auszumachen, die bis in die jüngste Vergangenheit andauern. Im folgenden Kapitel werden die Trends im Untersee beschrieben, die parallel mit denen des Obersees verlaufen, sowie Veränderungen, die ein besonderes Verhalten des Untersees erkennen lassen.

Die Analyse einer langjährigen Pegel-Chronologie erfordert zuverlässige Daten, frei von bodenmechanisch bedingten Setzungen oder baulichen Veränderungen der Pegelstationen, die zu einer vertikalen Lageveränderung des Pegel-Nullpunkts bezüglich des nationalen Referenz-Niveaus führen. Wenn dennoch derartige Veränderungen aufgetreten sind, müssen entsprechende Dokumentationen eine rechnerische Korrektur erlauben. Geprüfte Aufzeichnungen, die diesen Anforderungen weitgehend entgegenkommen, liegen von den Stationen Berlingen (für den Untersee, mittlere Tageswerte seit 1886) und Konstanz-Hafen (für den Obersee, seit 1817) vor; sie liefern die Basisdaten der nachfolgenden Analyse. Der Schweizer Pegel bezieht sich auf den Nullpunkt *Pierre du Niton* (RPN) bzw. den Pegel-Nullpunkt von Marseille, der deutsche Pegel orientiert sich am *Normalhöhennull* (NHN) im *Deutschen Haupthöhennetz* (DHHN 1992). Im Bereich Konstanz/Stein am Rhein haben die Nullpunkte der beiden Landesvermessungen aktuell eine Differenz von 0,328 m, d. h., ein Seespiegel bei 395,00 m NHN entspricht 395,33 m RPN. Der Berlinger Pegel (LH 2043) wird vom Bundesamt für Umwelt, Abteilung Hydrologie, Bern-Ittigen, der Konstanzer Hafenpegel (Messstellen-Nr. 9060) von der baden-württembergischen Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz, in Karlsruhe betreut.

Der Wasserspiegel des Untersees schwankt in Abhängigkeit der Jahreszeiten sowie in Abhängigkeit von aussergewöhnlichen Niederschlagsereignissen. Im Februar/März wird normalerweise der jährliche Tiefstand durchschritten, den

Jahreshöchststand erreicht der See um die Jahresmitte. Die Seespiegelvariationen des Untersees hängen weitgehend von denen des Obersees ab, der über den Seerhein rund 97,5% des jährlichen Zuflusses beisteuert (Rossknecht 2006).

3.1 Seespiegelstände zur Zeit der «Vegetation des Untersees» von E. Baumann (1891–1920)

Als wichtigsten ökologischen Faktor, der die morphologische Variabilität und die räumliche Verteilung der Pflanzenarten bestimmt, stellte Baumann den Wasserstand in den Vordergrund, denn «die vielfachen Veränderungen an den Pflanzen der Grenzzone [...], werden gerade vom See bzw. den jeweiligen Schwankungen seines Spiegels beeinflusst und teilweise bedingt» (Baumann 1911: S. 470). Damit entsteht die Frage, ob die Wasserstände, die er während seiner Untersuchungsjahre antraf, repräsentativ für einen längeren Zeitraum waren, oder ob besondere Bedingungen vorlagen, die sich in einem solchen Fall vermutlich im Vegetationsbild der Grenzzone niedergeschlagen hätten.

Um diese Frage zu untersuchen, werden die Wasserstände zur Zeit der Baumannschen Untersuchungen (Herbst 1904 bis August 1910) mit denen einer dreissigjährigen Periode verglichen, von denen die ersten vierzehn Jahre (1891–1904) den Untersuchungen vorangehen und die letzten zehn Jahre (1911–1920) den Erhebungen folgen (Abbildung 5). In allen drei Perioden traten aussergewöhnliche Hochwassermonate auf, so beispielsweise 1896 und 1897, 1910 sowie 1914, 1916 und 1920. Dagegen waren die Jahre 1893 bis 1895, 1905, 1911 und 1918 Jahre mit ausgesprochen niedrigen Sommerwasserspiegeln. Der Zeitraum 1891 bis 1909 zeichnete sich – mit Ausnahme von 1896/97 – durch geringe Hochwasserstände und ausgeprägte sommerliche Niedrigwasserperioden aus, während sich ab 1910 eine Serie von hochwasserreichen Jahren anschloss. Baumann nimmt zwar ausführlich auf die am Konstanzer Hafen (Tagesmittelwerte ab 1817) sowie unterhalb Stein am Rhein (Tagesmittelwerte 1866 bis 1986) gemessenen Niedrig- und Höchstwasserstände Bezug. Die einzelnen

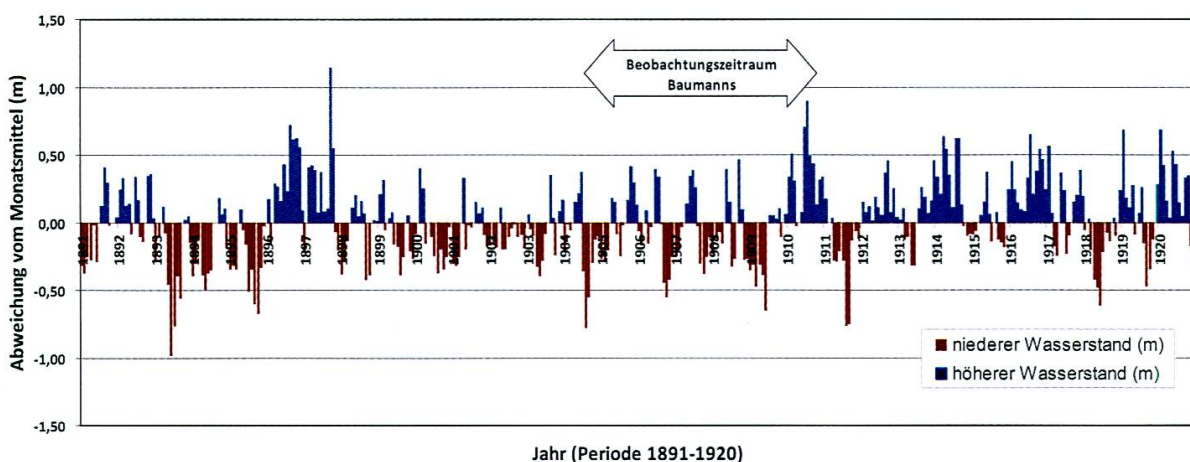


Abbildung 5: Verteilung von Hoch- und Niedrigwasser-Monaten im Vergleich zu den Monatsmittelwerten der Periode 1891-1920 (Pegel Berlingen). Die Darstellung zeigt die Abweichung der Wasserstände vom Mittelwert (0 m) der einzelnen Monate (blau – höhere, braun – niedrigere Wasserstände). Quelle der Pegeldata: Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern.

Tageswerte hat er jedoch nicht benutzt, obschon ihm die Pegelbücher grundsätzlich zugänglich gewesen sein müssen (Schweiz: Reihe «Hauptergebnisse der schweizerischen hydrometrischen Beobachtungen», 1886 – 1916).

Während seiner Felduntersuchungen zwischen Herbst 1904 und August 1910 traf Baumann sowohl Niedrigwasser- als auch Hochwasserjahre an, die ihm einen Eindruck von der «normalen» Variabilität des Wasserstands und ihren Auswirkungen auf die Vegetation vermittelten: *«Es konnten während der relativ langen Beobachtungszeit von 1905 bis 1909 niemals auch nur annähernd die gleichen Vegetationsverhältnisse konstatiert werden.»* (Baumann 1911: S. 1). Die Tageswasserstände der Jahre 1904 bis 1909 bewegten sich – mit einigen Ausnahmen – im üblichen Rahmen der Periode 1890 bis 1920, der durch das zehnjährige Hoch- bzw. Niedrigwasser dargestellt werden kann (Abbildung 6). So zeigten sich im August 1904 ausserordentliche Niedrigwasserstände, die um bis zu 0,35 m unter dem zehnjährigen Ereignis lagen. Auch die Monate Oktober

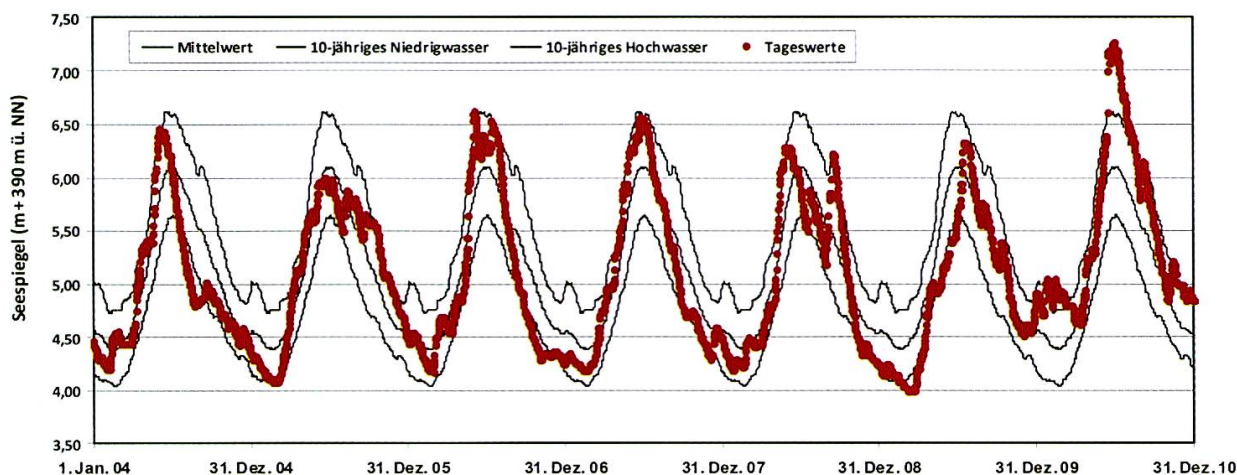


Abbildung 6: Seespiegelschwankungen im Zeitraum 1905 bis 1910 während der Geländearbeiten von E. Baumann. Angegeben sind Tageswerte des Pegels Berlingen (rote Punkte) sowie die Tagesmittelwerte und die Tageswerte für das 10-jährige Niedrig- bzw. Hochwasserereignis (schwarze Linien) in der Periode 1890–1920. Die Tageswerte für die 10-jährigen Ereignisse wurden anhand eines log-linearen Verteilungsmodells berechnet (Quelle der Pegeldata: Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern).

und November 1906 waren durch sehr niedrige Wasserstände gekennzeichnet, während der Mai und September 1908 durch einen kurzzeitig erhöhten Wasserstand auffielen. Erst das Jahr 1910, als Baumann seine Geländearbeiten weitgehend abgeschlossen hatte, wartete mit einem ausserordentlichen Hochwasser auf, bei dem die Wasserstände über einige Wochen hinweg mehr als 0,50 m über den zehnjährigen Hochwasserwerten standen: *«Auch während der außergewöhnlichen Hochwasserperiode im Früh-Sommer 1910 [...], hatte sowohl die Ufer- wie auch die Riedflora ausserordentlich stark gelitten, so dass nur ein geringer Teil derselben zu kümmerlicher Entwicklung gelangte. Sowohl Ufer wie Seerieder boten beim Zurück-sinken des Wassers einen trostlosen Anblick.»* (Baumann 1911: S. 15). Auch Ermatingen, Baumanns damaliger Wohnort, stand unter Wasser (Abbildung 7). Ausführlich beschreibt er, welche Bäume und Sträucher in den Gärten zugrunde gingen.



Abbildung 7: Hochwasser in Ermatingen vor der Wirtschaft «Zum Schiff» im Frühsommer 1910 (Ansichtskarte von Jos. Ohlenschläger, Konstanz, Sign. 3051; mit freundlicher Genehmigung des Seemuseums Kreuzlingen).

Insgesamt ist daraus der Schluss zu ziehen, dass die Ergebnisse der Vegetationsbeschreibungen aus den Jahren 1905 bis 1909 nicht durch aussergewöhnliche hydrologische Ereignisse in Frage gestellt werden. Allerdings war die vorausgehende Periode 1898–1904 durch vergleichsweise niedrige Seespiegel in den Monaten Juli bis September gekennzeichnet. Möglicherweise hat dies, ähnlich wie 2003 und in den folgenden Jahren (*Ostendorp & Dienst 2009*), zu einer etwas stärkeren Besiedlung der *Grenzzone* mit Pionierpflanzen geführt.

3.2 Seespiegeltrends am Bodensee-Untersee 1886–2010

Durch die frühen Arbeiten zur Geologie des westlichen Bodensees und durch die Spekulationen zur «Pfahlbaufrage» war Baumann mit der Tatsache vertraut, dass der Bodensee-Untersee nicht von jeher den Mittelwasserstand aufwies, wie er ihn Anfang des 20. Jahrhunderts angetroffen hat (*Baumann 1911*: S. 15). Allerdings lagen diese Verhältnisse für ihn in grauer Vorzeit und waren nicht relevant für das gegenwärtige Vegetationsbild: Baumann ging von stationären (d. h. trendfreien) Wasserstandsverhältnissen aus, eine Auffassung, die, wie zu zeigen sein wird, in der damaligen Zeit zu Recht bestand. Seither haben sich die Verhältnisse aber bedeutsam verändert.

Neuere Auswertungen der fast 200-jährigen Pegelreihe des Obersees (Pegel Konstanz, 1817–2010) konnten zeigen, dass die Wasserstände langfristigen Trends unterliegen (*Jöhnk et al. 2004*), wobei seit den 1930er-Jahren eine Abnahme des jährlichen Mittelwasserspiegels und der Spannweite der jährlichen Wasserspiegelschwankungen (Maximum/Minimum) beobachtet wird. Die Trends der Tageswerte weisen eine ausgeprägte Saisonalität auf, wonach die Wasserstände im Winter (Dezember bis März) in etwa gleich bleiben oder leicht angestiegen sind, während die Sommerwasserstände (Juli bis September) seit 1931 mit einer Rate von 5 bis 7 mm/Jahr fallen (*Ostendorp et al. 2007*). Als wesentliche Ursachen kommen drei Faktorenkomplexe in Betracht: Klimaänderungen, Stauraubewirtschaftung

im Alpenrhein-Einzugsgebiet einschliesslich Wasserüberleitungen von bzw. in andere Einzugsgebiete und Veränderungen an den Ausflussschwellen. Für alle drei Komponenten gibt es eine Reihe plausibler Befunde, ohne dass bisher eine Gewichtung möglich war.

Die Seespiegelstände des Untersees zeigen ein ähnliches Verhalten. Auch hier wird ein Wechsel des Trendverhaltens um etwa 1930 sichtbar (*Tabelle 1*). Vor 1930 stieg der jährliche Mittelwasserspiegel um rund 3 mm/Jahr an, in den Jahrzehnten danach sank er mit knapp 1,7 mm/Jahr. Allerdings sind beide Trends aufgrund der grossen Streuung der Einzelwerte statistisch nicht signifikant. Hochsignifikant ist dagegen die anhaltende Tendenz zu steigenden Niedrigwasserpegeln, die üblicherweise im ersten Jahresquartal auftreten; hier hat sich in der zweiten Periode die Rate von 5,75 auf 2,06 mm/Jahr abgeschwächt. Bei den jährlichen Hochwasserständen ergibt sich eine hochsignifikante Trendumkehr: Stiegen die Hochwasserstände bis 1930 noch leicht an, so nahmen sie nach 1930 um knapp 5,7 mm pro Jahr ab – seither also um insgesamt etwa 0,45 m. Die Schwankungsbreite der jährlichen Wasserstandsschwankungen, hier ausgedrückt als Standardabweichung und als Interdezilbereich ID_{80} , nimmt offenbar schon seit mehr als einem Jahrhundert ab, seit 1930 aber mit einer besonders hohen Rate.

Ähnlich wie beim Obersee weisen die Trends der Wasserstandstageswerte eine ausgesprochene Saisonalität auf (*Abbildung 8*). Im Winterhalbjahr (Oktober bis März) steigen die Seespiegel leicht an, während sie im Sommer, insbesondere in

	Obersee		Untersee	
Trends (mm/Jahr) für	1886 bis 1930	1931 bis 2010	1886 bis 1930	1931 bis 2010
jährlicher Mittelwasserstand	2,25 n.s.	-2,51 **	3,04 n.s.	-1,68 n.s.
jährlicher Niedrigwasserstand	3,32 *	0,51 n.s.	5,75 ***	2,06 **
jährlicher Hochwasserstand	2,31 n.s.	-5,72 **	2,48 n.s.	-5,66 **
Standardabweichung der Tageswerte	-0,30 n.s.	-1,93 **	-1,04 n.s.	-2,36 ***
jährlicher Schwankungsbereich Interdezilbereich ID_{80}	-0,94 n.s.	-5,39 **	-2,48 n.s.	-6,61 ***

*Tabelle 1: Seespiegeltrends (Regressionskoeffizient bzw. Steigung) im Bodensee-Obersee und -Untersee für die Zeiträume 1886 bis 1930 und 1931 bis 2010. Der Interdezilbereich $ID_{80} = |Q_{90} - Q_{10}|$ umfasst alle Tageswerte ausgenommen die 10% höchsten und die 10% niedrigsten. Signifikanzsymbole für den Pearson-Korrelationskoeffizienten: n.s. – nicht signifikant, * – $P \leq 10\%$, ** – $P \leq 5\%$, *** – $P \leq 1\%$, **** – $P \leq 0,1\%$ Irrtumswahrscheinlichkeit.*

den Monaten Juli und August um 4 bis 6 mm/Jahr absinken; in diesem Abschnitt sind die Trends teils signifikant. Darüber hinaus weicht der Trend des Untersees leicht von dem des Obersees ab. Die Besonderheiten werden sichtbar, wenn man Zeitreihen der täglichen Differenzen zwischen dem Obersee am Pegel Konstanz und dem Untersee am Pegel Berlingen (jeweils bezogen auf das deutsche Haupt-

höhenetz, NHN) analysiert. Die Differenz beträgt im Jahresmittel 0,23 m, zeigt aber einen charakteristischen Jahresgang mit einem durchschnittlichen Minimum von 0,17 m im April und Mai bei langsam steigenden Wasserstand und einem Maximum von 0,27 m im August bei ablaufendem Wasser (Abbildung 9).

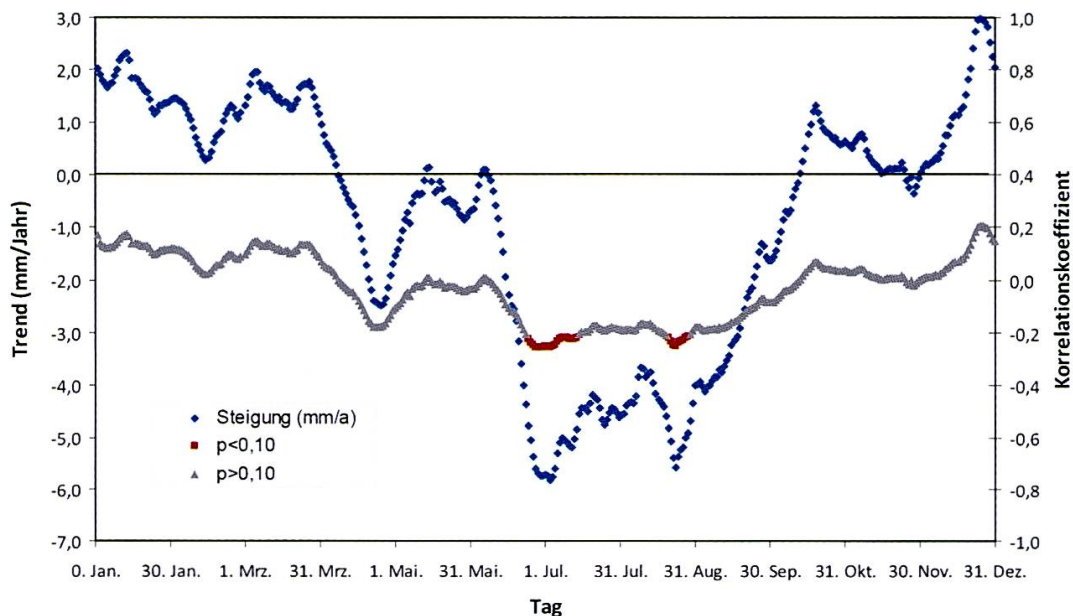


Abbildung 8: Seespiegeltrends am Bodensee-Untersee in der Periode 1931 bis 2010 (Pegel Berlingen). Dargestellt sind die linearen Regressionskoeffizienten (Trend) der einzelnen Tage im Jahr (blaue Punkte) sowie die zugehörigen Korrelationskoeffizienten (Pearsons r ; für $r > 0,214$ ist die Regression signifikant mit $P < 5\%$, rote Quadrate). Die Abbildung zeigt für das Winterhalbjahr leicht zunehmende Wasserstände (0 bis 2 mm/a) und für die Monate Juni bis September stark sinkende Wasserstände (-4 bis -6 mm/a). Quelle der Pegeldata: Bundesamt für Umwelt, Bern.

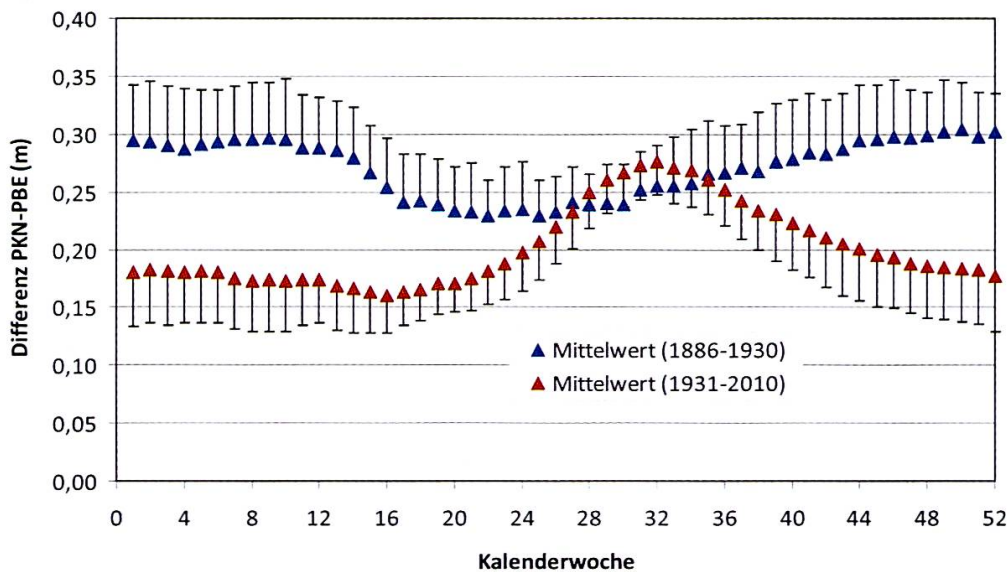


Abbildung 9: Saisonale Abhängigkeit der Wasserstandsdifferenzen zwischen Obersee (Pegel Konstanz, PKN) und Untersee (Pegel Berlingen PBE) für die Perioden 1886-1930 und 1931-2010. Dargestellt sind Wochenmittelwerte sowie die zugehörigen Standardabweichungen für $n=45$ bzw. $n=80$ Jahrgänge (Quelle der Pegeldata: Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz, Karlsruhe und Bundesamt für Umwelt, Bern).

Die Differenzen bleiben auf lange Sicht nicht konstant, sondern unterliegen einem Trend, der ab etwa 1930 zu einer Verringerung der mittleren Differenzen geführt hat. In jüngster Zeit scheinen die Wasserspiegelunterschiede wieder zuzunehmen (Abbildung 10).

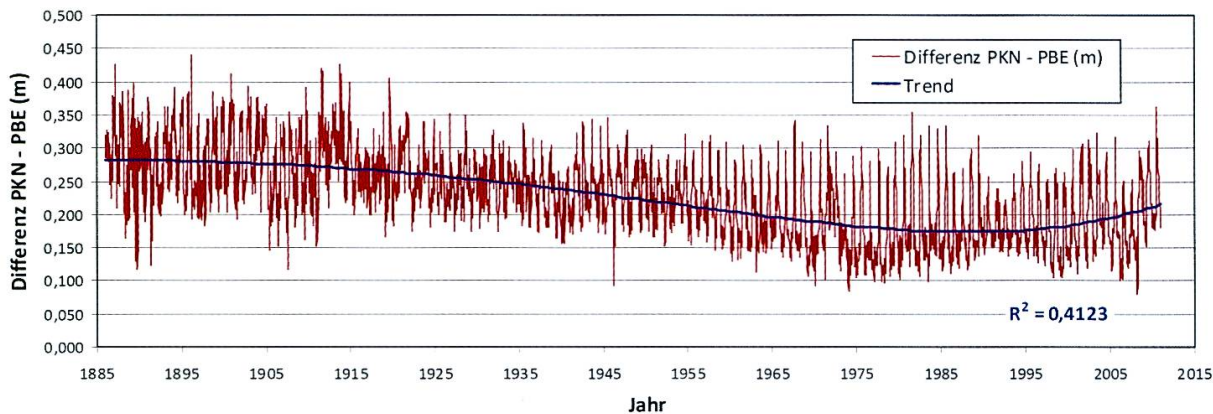


Abbildung 10: Wochenmittelwerte der Wasserspiegel-Differenzen zwischen Obersee (Pegel Konstanz, PKN) und Untersee (Pegel Berlingen, PBE) in der Periode 1886 bis 2010 (rote Linie). Das Polynom 5ten Grades (blaue Linie) gibt das langjährige Trendverhalten wieder (Quelle der Pegelraten: Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz, Karlsruhe und Bundesamt für Umwelt, Bern).

Auch das saisonale Verhalten zeigt charakteristische Abweichungen: In der Periode 1886 bis 1930 lag die Differenz bei durchschnittlich 0,27 m, wobei die Werte in den Monaten Mai bis Juli nur knapp 0,24 m erreichten (Abbildung 9). In der Periode 1931 bis 2010 lagen die Spätsommer-Differenzen in ähnlicher Grössenordnung, während der restlichen Wochen des Jahres wurden nur knapp 0,20 m erreicht. Der Trend der Wasserspiegeldifferenzen der Kalenderwochen 1 bis 24 und 40 bis 52 ist teils hochsignifikant.

3.3 Und wie geht es weiter? (2012)

Die hier vorgestellten Daten zeigen, dass Baumann Anfang des 20. Jahrhunderts noch zu Recht von annähernd stationären Wasserstandsverhältnissen am Untersee ausgehen konnte, von einem gleichbleibenden Auf und Ab des jährlichen Seespiegels, dem sich die Zonierung der Vegetation angepasst hatte. Der wesentliche Faktor der seinerzeitigen Vegetationsdynamik bestand in den selten auftretenden Extremereignissen, von denen Baumann das Hochwasser von 1910 miterlebte und dokumentierte.

Spätestens seit 1930 unterliegt das hydrologische System des Bodensees einem Wandel, gekennzeichnet durch stark sinkende Sommerwasserstände und parallel dazu durch verringerte jährliche Schwankungsbreiten der Wasserstände. Nach den extremen Sommerhochwassern 1965, 1987 und 1999 und dem extremen Niedrigwasser im Hitzesommer 2003 mehren sich die Indizien, dass die Häufigkeit von Extremereignissen zugenommen hat. Diese Entwicklungen betreffen grundsätzlich sowohl den Obersee als auch den Untersee. Darüber hinaus werden Veränderungen sichtbar, die für Untersee und Seerhein spezifisch sind, und die anhand

des Trends der Wasserspiegeldifferenzen zwischen beiden Seeteilen untersucht werden können. Die Beträge, beispielsweise des Sommerwasserspiegeltrends, bemessen sich nach Millimetern pro Jahr – wahrlich keine spektakulären Zahlen. Andererseits muss man sich vergegenwärtigen, dass innerhalb des betrachteten Zeitraums Beträge von gut 0,40 m zusammenkommen. Oder anders ausgedrückt: die heutige mittlere Hochwasserlinie liegt an flachscharigen Ufern (Gefälle 1:200) um 80 m, an steilscharigen Ufern (1:20) immerhin um 8 m weiter seewärts. Demgegenüber steigt die mittlere Niedrigwasserlinie leicht an, sodass schon allein diese hydrologischen Veränderungen die Lebensräume der *Grenzflora* gegenüber dem Zustand Anfang des 20. Jahrhunderts von beiden Seiten her einengen. Hinzu kommen indirekte Faktoren, von veränderten Konkurrenzverhältnissen innerhalb der Strandrasen-Vegetation (vgl. *Strang et al. 2012*, in diesem Band) über die intensive Freizeitnutzung der frei liegenden Strandflächen (Grillen, Lagern, Baden) bis hin zur Forderung nach Austiefung der Steganlagen und Bootslicheplätze. Weitere Konsequenzen ergeben sich möglicherweise für die Unterwasserdenkmale am Seeufer, vor allem für die Kulturschichtreste stein- und bronzezeitlicher Pfahlbau-dörfer, die durch einen stärkeren Wellenangriff bei niedrigem Wasserspiegel einem erhöhten Erosionsrisiko unterliegen könnten (*Ostendorp et al. 2007*). Insgesamt wird man festhalten dürfen, dass die Trends Auswirkungen auf die Ufervegetation haben werden, auch wenn sich die auffallendsten Veränderungen erst nach Extremereignissen einstellen (Röhrichrückgang 1965, 1999, Niedrigwasser-Pionier-vegetation nach 2003; vgl. *Ostendorp & Dienst 2009* und *2012*, in diesem Band).

Wie die Entwicklung des Bodensee-Spiegels in den nächsten Jahrzehnten weitergehen wird, lässt sich nicht mit Bestimmtheit vorhersagen. Hierzu müsste erst Klarheit geschaffen werden, welchen Einfluss neben dem prognostizierten Klimawandel die Speicherbewirtschaftung im Alpenrhein-Einzugsgebiet hat. Die Energiekonzerne wissen längst, dass die zu erwartenden geringeren Schneehöhen in den alpinen Lagen magere Sommer-Abflüsse bedingen. Was liegt also näher, als sich erst einmal am Schmelzwasser der mittleren Lagen zu bedienen, um die Speicher aufzufüllen? Es ist das Wasser, was dem Bodensee im Frühjahr fehlt. Die rund 30 Speicherbecken im Alpenrhein-Einzugsgebiet fassen etwa 790 Mio. m³ (*IGKB 2004*), d. h. knapp 11% der Jahreswassermenge des Alpenrheins, entsprechend einer Wassersäule im See von 1,48 m Höhe. Auch die Wasserentnahmen aus dem See von aktuell ca. 130 Mio. m³/a (1,8% der Jahreswassermenge des Seerheins, 0,25 m Wassersäule) können nicht ganz vernachlässigt werden. Leider werden die Einzeldaten zur Speicherbefüllung unter Verschluss gehalten, sodass eine mengenmässige Einschätzung der Auswirkungen nicht möglich ist.

4 Trophiegeschichte des Bodensee-Untersees

Die Lebensbedingungen der Ufervegetation des Bodensees wurden in den letzten hundert Jahren nicht nur durch hydrologische und strukturelle, sondern auch durch limnochemische Einflüsse verändert, deren Auswirkungen seit den 1940er-Jahren mit dem Begriff *Eutrophierung* umschrieben werden. Gemeint ist damit der Wandel von einem oligotrophen Seeökosystem zu einem eutrophen System infolge des Zu-

stroms häuslicher und industrieller Abwässer und nährstoffbelasteter Sickerwässer aus landwirtschaftlichen Anbauflächen. Die Trophie-Geschichte des Bodensees ist eng verwoben mit der Geschichte der Stadthygiene, der Industrialisierung und Bevölkerungsverdichtung, der Interessensgegensätze zwischen Wassernutzern und -verschmutzern, der politischen Entscheidungen und Versäumnisse, des wissenschaftlichen Fortschritts in der Spurenstoff-Analytik und der Entwicklungen in der Klärtechnik, der konjunkturellen Krisen und nicht zuletzt auch des wachsenden Umweltbewusstseins und der zunehmenden Freizeitorientierung breiter Bevölkerungsschichten. Hier ist nicht der Ort, diese Geschichte zu erzählen, stattdessen sollen einige Aspekte der Abwasserbehandlung und der Nährstoffbelastung des Untersees hervorgehoben werden, die auch für die uferseitigen Lebensgemeinschaften von Bedeutung sind.

4.1 Oligotropher See und eutropher See

Das Begriffspaar oligotroph/eutroph geht in die Frühzeit der moorkundlichen Forschung zurück (*Weber 1907*). Einige Jahre später wurde es von Einar Naumann (1891–1934) und August Thienemann (1882–1960) in die limnologische Seentypenlehre übernommen (Übersicht: *Holmberg & Naumann 1927*, *Hutchinson 1969*).

Nach dem ursprünglichen, eher statischen Verständnis ist ein oligotropher, tiefer, geschichteter See durch ein artenarmes Phyto- und Zooplankton, klares Wasser mit hoher Sichttiefe, eine gleichförmige («orthograde») Sauerstoff-Tiefenverteilung, durch anorganische Bodensedimente und eine entsprechend angepasste, individuenarme Bodenfauna sowie durch das reiche Vorkommen von Edelfischen (*Coregonus*-Arten) gekennzeichnet (*Welch 1935*: S. 310 ff., Tabelle 38). Ein eutropher See hingegen besitzt ein artenreiches Phytoplankton mit hohen Zelldichten im Oberflächenwasserkörper (Epilimnion), wodurch zeitweise eine gewisse Trübung bzw. Grünfärbung hervorgerufen wird. Durch den Abbau der absinkenden phytoplanktischen Biomasse wird während der Sommerschichtungsphase der im Tiefenwasserkörper (Hypolimnion) enthaltene Sauerstoff gezehrt (klinograde Sauerstoff-Tiefenverteilung), sodass es zu einer anaeroben Sedimentoberschicht und damit zur Anreicherung von reduzierten Substanzen (Ammonium, reduziertes Eisen, Schwefelwasserstoff, Methan) und vor allem zu einer Freisetzung von Phosphor (sogenannte interne Düngung) kommen kann. Gerade der letztgenannte Vorgang, der Mitte der 1930er-Jahre am oberschwäbischen Schleinsee entdeckt wurde (*Einsele 1936*), kann einen einmal erfolgten Eutrophierungsschub im Sinne einer positiven Rückkopplung verstärken und stabilisieren (Übersicht: *Schwoerbel & Brendelberger 2005*).

Bodensee-Obersee und -Untersee bilden ein hydrologisch wie stofflich zusammenhängendes System. Beide Seeteile unterliegen in gewässerökologischer Hinsicht den gleichen Einflüssen, reagieren aber durchaus unterschiedlich darauf. Überdies sind beide Seeteile seit dem 19. Jahrhundert Gegenstand einer grenzüberschreitenden Gewässerausbau- und Gewässerschutzpolitik, sodass der Zustand des Untersees stets vor dem Hintergrund der entsprechenden Entwicklungen am gesamten Bodensee betrachtet werden muss.

Der Untersee gliedert sich morphologisch in drei Becken, den Rheinsee, den Zeller See und den Gnadensee (inkl. Markelfinger Winkel), zwischen denen nur ein geringer Wasseraustausch besteht (*Auerbach & Rottengatter 1960, Schröder 1974*). Der Stoffhaushalt des Rheinsees wird durch das aus dem Obersee abfließende epilimnische Wasser (im Jahresmittel ca. $330 \text{ m}^3/\text{s}$) dominiert, während der Zeller See unter dem Einfluss der Radolfzeller Aach steht, die ungeachtet der geringen Wasserführung (im Jahresmittel ca. $9 \text{ m}^3/\text{s}$) etwa 16% zur jährlich in das Becken einfließenden Wassermenge beiträgt (*Rossknecht 2006*: S. 13). Der noch stärker isolierte Gnadensee erhält nur wenige unbedeutende Zuflüsse; der Austausch mit dem Rheinsee findet vorwiegend bei Wasserstandsänderungen im Frühling und Herbst statt. Jedes Teilbecken des Untersees erhält Abwässer aus unterschiedlichen Quellen in unterschiedlichen Mengen. Im Rheinsee sind die Phosphor-Konzentrationen fast die gleichen wie im Bodensee-Obersee, im Zeller See und im Gnadensee liegen sie deutlich darüber, sind aber untereinander vergleichbar (*IGKB 2011*).

4.2 Abwasser- und Nährstoffbelastung des Untersees am Anfang des 20. Jahrhunderts

Über die Abwasserbeseitigung in den Gemeinden des westlichen Bodenseegebiets zu Beginn des 20. Jahrhunderts liegen keine Berichte vor, jedoch darf man annehmen, dass die Entwicklungen der Stadthygiene und Abwasserreinigung, wie sie sich am Ober- und Mittelrhein in den Jahrzehnten zuvor durchgesetzt hatten (*Lange 2002*), den westlichen Bodensee erst viel später erreicht haben.

In den Dörfern waren für den menschlichen Gebrauch Latrinen mit Sickergruben üblich, während die Jauche aus den Viehställen mit Stroh vermischt auf den Misthaufen kam, der wiederum in die Jauchegrube entwässerte. Die Inhalte der Nachttöpfe und die Küchenabwässer nahmen wohl den gleichen Weg. Das nährstoffreiche Gemisch in den Sicker- bzw. Jauchegruben wurde als flüssiger Hofdünger in die Gärten und auf die Felder gebracht. Die Nährstoffverluste ins Grundwasser durch undichte Gruben bzw. durch die Sickerwässer der Misthaufen in die offenen Zuggräben und in den See waren angesichts der Bodenverhältnisse wahrscheinlich gering. So dürfte es auch in Ermatingen zugegangen sein, wo Eugen Baumann zwischen 1905 und 1910 wohnte.

In den Städten, beispielsweise in Konstanz, wurde ein ähnliches System praktiziert, das sich jedoch bald als unzureichend erwies. Die *Ehgräben*, offene Kanäle, die gleichzeitig die Grundstücksgrenzen markierten, und die eigentlich nur der Niederschlagswasserableitung dienen sollten, wurden zunehmend zur Beseitigung von Abfällen aller Art genutzt (*Klett 1989*), aber nur etwa alle 5 bis 10 Jahre gereinigt. Städtisch beauftragte «Gülepumper» entleerten üblicherweise im Herbst die Latrinengruben der Häuser, d. h. der Inhalt wurde in Fässer gepumpt und auf die Felder der Rheingüter oder des Tägermoos' gebracht – eine Praxis, die mindestens bis in das 16. Jahrhundert zurückgeht. Der Betrieb der Latrinengruben war grundsätzlich Privatsache. Vielfach wurden sie schlecht gewartet und waren häufig undicht, sodass es – nach heutigem Kenntnisstand – zur Verschleppung von Krankheitskeimen in nahe gelegene Hausbrunnen kommen konnte. Nachdem sich

nachbarschaftliche Beschwerden häuften, zogen die kommunalen Verwaltungen im Laufe des 19. Jahrhunderts die Regie an sich.

Obschon dieses System der Fäkalien- und Abwasserbeseitigung aus hygienischer Sicht unbefriedigend war und angesichts der Einwohnerzunahme in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts rasch an seine Grenze stiess, war es aus gewässer-ökologischer Sicht doch effizient: Die Nährstoffe, die in den menschlichen (und tierischen) Exkrementen reichlich enthalten waren, wurden auf die landwirtschaftlichen Anbauflächen zurückgeführt, aus denen sie ursprünglich stammten. Die fäulnisfähigen organischen Substanzen konnten auf Äckern und Wiesen aerob abgebaut werden, ohne den Sauerstoffhaushalt der Gewässer zu belasten. Überdies konnte der Einsatz von importierten Kunstdüngern gering gehalten werden. Das System war als *Stoffkreislaufwirtschaft* ausgelegt, wie sie auf dem Abfallsektor erst gut hundert Jahre später als «Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz» (KrW-/AbfG) vom 27. September 1994³ (Deutschland) neu erdacht worden ist. Neben vielen anderen hatte sich der Agrikulturchemiker Justus von Liebig (1803–1873), der ausserdem als Gutachter im Abwassersektor tätig war, für eine *trockene Abfuhr* eingesetzt, wie sie damals beispielsweise in Stuttgart und Dresden praktiziert wurde, und dafür, dass jeder Landwirt ebensoviel Düngestoff aus der Stadt abführen solle als er Erträge einführt (zitiert nach *Lange 2002*: S. 119).

Bekanntermassen lief die geschichtliche Entwicklung jedoch auf eine *Stoffdurchflusswirtschaft* mit Schwemmkanalisation hinaus, die heute mit dem Import von Futtermitteln und mineralischen Düngern beginnt und mit der Verbrennung des nährstoffreichen Klärschlammes und der Deponierung der mineralischen Rückstände auf Hausmülldeponien endet (Übersicht: *Lange 2002*). Zwischendurch werden pro Vier-Personen-Haushalt und Jahr in Deutschland 57 m³ besten Trinkwassers benötigt, um unsere Fäkalien durch kilometerlange Rohrleitungen zu transportieren (für die Schweiz: 73 m³, entsprechend 31% des gesamten Wasserverbrauchs).

4.3 Erste Wahrnehmung der Gewässerverschmutzung am Untersee (1907 bis 1919)

Zwar gab es um 1910 den Begriff der Eutrophierung noch nicht, das Phänomen als solches dagegen schon. Wahrscheinlich war es Prof. Robert Lauterborn (1869–1952), der als erster den kausalen Zusammenhang zwischen der Abwasserbelastung und der Massentfaltung des Phytoplanktons wahrnahm (*Lauterborn 1910*, vgl. auch *Lauterborn 1945/2009*: S. 68) – allerdings nicht am Bodensee, sondern am Zürichsee, der bereits um 1895 Massenentwicklungen bestimmter Phytoplankton-Arten sowie Faulschlammablagerungen gezeigt hatte. Ihm war klar, dass es «*Vorgänge von hohem biologischen Interesse [sind], deren Bedeutung weit über den Rahmen des Zürcher Seebeckens hinausgreift*» (*Lauterborn 1910*: S. 456–457). Diese Erkenntnis kam ihm, dem ersten hauptberuflichen Gewässerbiologen Südwestdeutschlands, aufgrund seiner gut fünfzehnjährigen

³ Das KrW-/AbfG wurde am 1. Juni 2012 durch Inkrafttreten des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWG) vom 24. Februar 2012 ausser Kraft gesetzt.

Erfahrungen am Oberrhein. Lauterborn war ab 1903 neben seiner Lehrtätigkeit als ausserordentlicher Professor an der Universität Heidelberg als Gutachter im Auftrag des Reichsgesundheitsamtes tätig, wobei er sich insbesondere mit gewässerbiologischen Untersuchungen am Oberrhein beschäftigte, der in dieser Zeit durch eine rasch wachsende Zahl von Industriebetrieben (und der dazugehörigen Arbeiterschaft) verschmutzt wurde.

In diese Zeit, 1907 bis 1914, fallen auch seine umfangreichen Forschungen zum Rhein einschliesslich des Bodensees, die zwischen 1916 und 1918 veröffentlicht wurden. In seinen Erinnerungen schreibt Lauterborn *«Noch stärker als der Obersee fesselte mich der Untersee, zumal dieser bei den Biologen damals noch wenig Beachtung gefunden hatte als das soviel weitere und tiefere Becken des (schwäbischen Meeres)»* (Lauterborn 1945/2009: S. 78). Oft war er in Ermatingen zu Gast; dort traf er auch den fast gleichaltrigen Eugen Baumann, *«der damals gerade an seinem großangelegten Werke (Die Vegetation des Untersees) arbeitete. Wie oft habe ich zusammen mit diesem ausgezeichneten Kenner der Phanerogamenflora und prächtigen urwüchsigen Menschen den ganzen Bereich des Sees vom pflanzenreichen Wollmatinger Ried an bis hinab nach Stein am Rhein durchrudert.»* (Lauterborn 1945/2009: S. 78). Die beiden Herren werden sich sicher ausgiebig über taxonomische und ökologische Fragen unterhalten haben. Das Thema Gewässerverschmutzung spielte aber offensichtlich noch keine Rolle (Abbildung 11).



Abbildung 11: Robert Lauterborn (1869-1952) im Jahr 1909, zu der Zeit als er mit Eugen Baumann in Ermatingen zusammentraf (aus Lauterborn 1945/2009: S. 38; mit freundlicher Genehmigung von J. Lange, Freiburg i. Br.).

Überhaupt scheint Ermatingen ein beliebtes Standquartier der ersten Untersee-Forscher gewesen zu sein: Im Spätherbst jener Jahre reiste aus Karlsruhe Prof. Otto Nüsslin (1850–1915) an, der sich mit Felchen-Systematik, insbesondere dem im Seerhein laichenden Gangfisch beschäftigte. Im Sommer begleitete ab und an Hugo Glück (1868–1940), Professorenkollege Lauterborns aus Heidelberg, Eugen Baumann auf seinen Exkursionen. Im Unterschied zu Baumann versuchte Glück, die Formenvielfalt der Wasserpflanzen im Labor anhand von Experimenten zu reproduzieren (*Glück 1905–1924*), – zwei Forschungsansätze, die sich fruchtbar ergänzen. Zu einer dauerhaften Zusammenarbeit der beiden Botaniker kam es aber nicht. Es war auch Robert Lauterborn, der schliesslich die entscheidenden Impulse für eine limnologische Erforschung des Bodensees gab, deren praktische Ziele sich auf die Sicherung der Trinkwasserversorgung, den Schutz des Bodensees vor übermässiger Verschmutzung und auf die Förderung der Fischerei erstreckten. Er schlug 1918 die Gründung einer Biologischen Station mit Standort in Konstanz vor (*Lauterborn 1919*), die tatsächlich ein Jahr später als *Anstalt für Bodenseeforschung* der Stadt Konstanz ins Leben gerufen wurde.

Wir wissen nur wenig über die Auswirkungen der Abwasserbelastungen auf die einzelnen Becken des Untersees in den Jahren um 1910. Die *Vegetation des Untersees* von *Eugen Baumann (1911)* ist – wenn auch nur indirekt – die wichtigste Quelle, gefolgt von einigen Untersuchungen Robert Lauterborns (s. oben). Nach heutiger Kenntnis wären drei Schlüsselinformationen von Bedeutung gewesen: (i) die Sichttiefe, gemessen mit einer Secchi-Scheibe, (ii) die lagegenaue Tiefengrenze des Makrophyten-Vorkommens, bestimmt mit Lotleine und Aquascope, sowie (iii) die Artenzusammensetzung und die relativen Häufigkeiten oligotropher bzw. eutropher Arten. Die Sichttiefenmessung mittels einer weissen Scheibe von ca. 0,3 m Durchmesser liefert ein Mass für die Trübung des Wasserkörpers, die unter den Verhältnissen am Untersee hauptsächlich durch die Zelldichte des Phytoplanktons hervorgerufen wird; die Zelldichte ist ihrerseits ein Indikator für die Verfügbarkeit von Nährstoffen. Die Tiefengrenze wurzelnder Makrophyten wiederum hängt von der Trübung des Wassers ab; als Faustregel kann man davon ausgehen, dass sie etwa bei dem 1,5-fachen der sommerlichen Sichttiefe liegt. Schliesslich kann das Artenspektrum mit Hinweis auf die Indikator-Eigenschaften wichtiger Arten zur Trophie-Indikation herangezogen werden (*Schmieder 1998, Dienst et al. 2012*, in diesem Band); hier können auch ältere Arten- und Abundanzlisten Verwendung finden.

Die beiden erstgenannten, technisch einfachen aber doch aussagekräftigen Verfahren waren bereits zur Zeit Baumanns verfügbar. Baumann definierte die Tiefengrenze des Makrophytenvorkommens in Anlehnung an *Magnin (1895)* und *Schröter & Kirchner (1896, 1902)* als den «Punkt, wo die zusammenhängenden Bestände der makrophytischen Vegetation verschwinden», den er im Untersee mit 16 bis 17 m angab. Diese Angaben sind nicht sehr realistisch, denn die Arbeitsweise mit Krauthaken von einem treibenden Boot aus dürfte nur schwerlich genaue Angaben geliefert haben. Einfache Messungen der Sichttiefe mit der 1865 entwickelten Secchi-Scheibe, wie sie seit Alphonse Forels

Untersuchungen am Genfer See (1874 bis 1891) in der Limnologie gebräuchlich wurden, hat Baumann nicht durchgeführt. Dem Artenspektrum nach zu urteilen, kamen vor hundert Jahren sowohl oligotraphente Unterwasserpflanzen (z. B. das Gras-Laichkraut *Potamogeton gramineus*) wie auch eutraphente Arten (z. B. Teichfaden *Zannichellia palustris*) in grösseren Mengen vor (*Dienst et al. 2012*, in diesem Band). Wir dürfen also annehmen, dass es bereits damals nährstoffreiche Uferbereiche gab.

4.4 Bevölkerungszunahme, Industrialisierung und Schwemmkanalisation: das Problem wird unübersehbar

Die entscheidende Weichenstellung für die zunehmende Abwasserbelastung der Oberflächengewässer erfolgte mit der flächendeckenden Durchsetzung der Spültoilette und der Schwemmkanalisation, zwei Technologien, die einander bedingten und ergänzten. Seit den 1870er-Jahren wurde die dank Siphon geruchlose Spültoilette zum Prestigeobjekt einer jeden bürgerlichen Wohnung, aber erst nach dem Ersten Weltkrieg setzten sich das Porzellan-Standard-WC mit Spülvorrichtung und Kanalisationsanschluss auch im Mietwohnungsbau durch. Zu den häuslichen kamen die gewerblichen und industriellen Abwässer, im westlichen Bodenseegebiet v. a. die der Städte Konstanz, Singen, Radolfzell und Steckborn, in denen sich bereits im 19. Jahrhundert – zumeist in der Nähe eines Flusses, des Seerheins bzw. des Sees selbst – bedeutende Betriebe angesiedelt hatten.

Die Kanäle der Stadt Konstanz beispielsweise mündeten in den Auslauf des Konstanzer Trichters oder in den Seerhein, sodass die fäkalen und industriellen Abwässer rasch in den Untersee transportiert wurden. Mit etwas Fantasie können wir uns vorstellen, unter welchen Bedingungen Eugen Baumann seine Vegetationserhebungen im Seerhein durchführte: Am Südufer mischten sich die Fäkalabwässer von rund 25'000 Einwohnern ab und an mit dem Blut und den Reinigungsabwässern des Schlachthauses, das nicht ohne Grund direkt an das Ufer gebaut worden war, während sich am Nordufer in verschiedenen Farbtönen eine phenolisch riechende Fahne aus den Abwässern der Holzkohlungsindustrie AG (HIAG) und der Herosé-Färberei hinzog, bis sich beide Abwasserfahnen bei Gottlieben mischten und schliesslich in den Weiten des Rheinsees verschwanden. Soweit die alten Baupläne der Liegenschaften am Seerhein erkennen lassen, gab es in den Betrieben jener Jahre keinerlei Vorrichtungen, um die Abwässer wenigstens mechanisch zu reinigen (vgl. *Dienst et al. 2005, 2008*). Man verliess sich – bequem und kostensparend – auf den grossen Verdünnungsfaktor durch den steten Frischwasserstrom aus dem Obersee und auf die wundersame *Selbstreinigung*, die Ende der 1870er-Jahre in Deutschland durch Reinhard Baumeister (1833–1917), Professor am Polytechnikum in Karlsruhe, in einer Artikelserie in der *Zeitschrift für öffentliche Gesundheitspflege* popularisiert worden war.

Ähnlich war die Situation in Radolfzell. Die ab 1876 nördlich des Altstadt-Hügels angesiedelten Fabriken von J. Schiesser (Weberei) und G. Allweiler (Pumpen-Fabrik) sowie das Milchwerk (ab 1917) liessen ihre Abwässer über den Sibach und den Schlattgraben in den Markelfinger Winkel fliessen (*Fenner 1996*). In Steckborn flossen die Abwässer der Maschinenfabriken und Giessereien, die

seit 1869 auf dem Areal des ehemaligen Klosters Feldbach in Betrieb waren, und ab 1925 die der Kunstseidefabrik, direkt in den Rheinsee. Singen war in jener Zeit die einzige Stadt, deren Abwässer wenigstens mechanisch gereinigt dem Bodensee zufließen. Die Verdünnung durch die Radolfzeller Aach, einem Flüsschen mit knapp 9 m³/s Wasserführung, hatte für das ab 1887 zur Industriestadt herangewachsene Bauerndorf bei weitem nicht mehr ausgereicht. Es kam zu massiven Beschwerden aus der Gemeinde Rielasingen, sodass 1912 eine kommunale Kläranlage mit einem einfachen Schlammabsetzbecken gebaut wurde (*König 1991*). Dies war die erste kommunale Kläranlage am Bodensee überhaupt; 1916/1918 folgte die schon wesentlich fortschrittlichere Kläranlage St. Gallen-Hofen, die über die Steinach in den Bodensee-Obersee entwässerte (*Friedl 2004*).

4.5 Trinkwassergewinnung: Motiv und Motor des Gewässerschutzes am Bodensee (1905 bis heute)

Bereits zu Anfang des 20. Jahrhunderts reichten in vielen Bodensee-Gemeinden die bisher genutzten Grundwasser-Vorkommen nicht mehr aus, um den Trink- und Brauchwasserbedarf der Bevölkerung und der Gewerbebetriebe zu decken, sodass sie – trotz anfänglicher Skepsis – ihr Trinkwasser aus dem Bodensee gewinnen mussten (*Widmann 1925*). Den Anfang machten 1894/95 die Städte St. Gallen und Romanshorn, 1905 folgte die Stadt Konstanz (*Burchardt 2005*). Die durchwegs guten Erfahrungen weckten auch anderenorts Begehrlichkeiten nach Trinkwasser aus dem Bodensee: 1909 legte die Stadt Stuttgart detaillierte Pläne vor, um die Trinkwasserversorgung der Stadt durch Wasserentnahmen bei Sipplingen zu sichern, ein Projekt, das erst 1958 durch den *Zweckverband Bodenseewasserversorgung* realisiert wurde (*Burchardt 2005*). Nicht überall waren geeignete Voraussetzungen für die Trinkwasserentnahme aus dem See gegeben, sodass namentlich die Untersee-Gemeinden – mit Ausnahme von Steckborn – ihr Trinkwasser nicht aus dem See, sondern aus Grundwasserquellen beziehen.

Trinkwasserentnahmen aus Oberflächengewässern gelten als empfindlicher gegenüber äusseren Verschmutzungsquellen als Grundwasserbrunnen. Von daher legten die Gemeinden mit Seewasserleitungen von Anfang an Wert auf eine hygienische Überwachung des Rohwassers in der Umgebung der Entnahmestelle. Dabei zeigte sich schnell, dass die limnologischen Grundlagen, insbesondere hinsichtlich der generellen Auswirkungen der Abwasserbelastung des Sees, nur unzureichend bekannt waren. Zwar hatte es schon von 1893 bis 1902 das erste interdisziplinäre Grossforschungsprojekt am Bodensee gegeben, die von Eberhard Graf von Zeppelin (1842–1906) geleiteten «Bodensee-Forschungen» (*Zeppelin 1893*), das auch Entscheidungsgrundlagen für die St. Galler Trinkwasserversorgung erarbeitet hatte. Danach aber hatte sich am Bodensee – im Unterschied zum Zürichsee und anderen nordschweizerischen Seen – nicht mehr viel getan (Übersicht: *Märki 1949*).

In dieser Situation wurde der Gewässerbiologe Robert Lauterborn vom Oberbürgermeister der Stadt Konstanz, Hermann Dietrich (1879–1954) mit der Abfassung einer Denkschrift beauftragt, in der er die Gründung einer Biologischen Station mit Standort in Konstanz vorschlug. Lauterborn verwies dabei ausdrücklich auch auf die «früheren Untersuchungen von [...] Höfle, Jack, Leiner, Kirchner,

Schröter, Baumann, Schmidle u. a. auf botanischem Gebiet», die dargetan hätten, «welch vielgestaltige interessante Tier- und Pflanzenwelt der See birgt» (Lauterborn 1919: S. 235). Diese Initiative führte in rascher Folge zur Gründung von drei Forschungsinstitutionen, der *Anstalt für Bodenseeforschung* der Stadt Konstanz (gegründet 1919), dem *Institut für Seenforschung und Seenbewirtschaftung* in Langenargen (gegründet 1920) sowie der *Biologischen Station Mooslachen* in Wasserburg (gegründet 1921), die aber nur bis 1928 existierte (Kiefer & Lehn 1979, *Institut für Seenforschung und Seenbewirtschaftung e. V.* 1950). Die später nach ihrem langjährigen Leiter in *Max-Auerbach-Institut* umbenannte Anstalt für Bodenseeforschung wurde 1970 in das *Staatliche Institut für Seenforschung* eingegliedert, der Standort in Konstanz-Staad 1995 aufgelöst und nach Langenargen verlegt. Erst 1954/55 kam mit zunächst nur bescheidenen Laborkapazitäten die Versuchsfiltrationsstation in Sipplingen hinzu, das spätere Betriebs- und Forschungslabor des *Zweckverbands Bodensee-Wasserversorgung* (Schick et al. 2009). Zuletzt wurde 1971 das *Limnologische Institut der Universität Freiburg*, ab 1980 zur Universität Konstanz gehörig, vom Schwarzwald an den Bodensee verlegt (Eckmann 1989). Nicht vergessen werden darf die Aussenstelle der *Landesstelle für Gewässerkunde und wasserwirtschaftliche Planung Baden-Württemberg* (seit 1975 beim Institut für Seenforschung und Fischereiwesen), die von 1965/66 bis 1986 (Dienststelle) bzw. 1991 (wasserchemisches Labor) auf der Insel Reichenau untergebracht war. Auch von dieser kleinen Dienststelle gingen wesentliche Impulse für die Erforschung der Vegetation der Untersee-Uferzone aus.

4.6 Der trophische Zustand des Untersees in den 1930er- und 1940er-Jahren

Den ersten Wissenschaftlern (und Wissenschaftlerinnen!) an der Anstalt für Bodenseeforschung und am Institut für Seenforschung und Seenbewirtschaftung verdanken wir zahlreiche Originalpublikationen, die uns einen recht detaillierten Eindruck der limnologischen Entwicklung des Obersees und – in geringerem Umfang – auch des Untersees von den 1920er- bis in die 1950er-Jahre vermitteln. Der Bodensee-Obersee befand sich demnach bis Mitte der 1930er-Jahre in einem – nach der klassischen Seentypenlehre – typisch oligotrophen Zustand (zusammenfassend: IGKB 1963). Der Untersee, insbesondere der Gnadensee, wurde in jenen Jahren bereits als eutropher See bezeichnet (Auerbach & Schmalz 1939 für die Jahre 1925 bis 1931, Elster 1961, Elster & Einsele 1938 und Elster & Gessner 1935 für die Periode 1933–1936, Grim 1951 für das Phytoplankton in 1934/45):

- Die Phosphor-Konzentrationen während der Vollzirkulationsphase (Dezember und Januar 1934/35 bzw. 1935/36) lagen im Rheinsee, Markelfinger Winkel und östlichen Gnadensee bei etwa 1 bis 2 mg $P_{\text{gelöst}}/\text{m}^3$; während der Sommerstagnation wurde der Phosphor bis unter die Nachweisgrenze aufgezehrt. Der Zeller See war durch die Radolfzeller Aach (ca. 30 mg $P_{\text{gelöst}}/\text{m}^3$) belastet, sodass hier $P_{\text{gelöst}}$ -Konzentrationen um 3 bis 4 mg/ m^3 anzutreffen waren. Elster & Einsele (1938) erkannten, dass auch am Untersee der Phosphor der produktionsbegrenzende Nährstoff sein musste.
- Im Rheinsee und im westlichen Gnadensee wurde noch keine reduktive Freisetzung von Phosphor aus dem Sediment beobachtet, wohl aber im Zeller See: hier erreichten die über Grund gemessenen $P_{\text{gelöst}}$ -Werte 80 (1934) bzw.

170 mg/m³ (1935). Als Ursache wurden die geringen Sauerstoff-Konzentrationen erkannt, die über Grund unter 1 g O₂/m³ fielen. Die limnochemischen Zusammenhänge, die dem zugrunde lagen, waren erst wenige Jahre zuvor von *Einsele* (1936) im wesentlich nährstoffreicheren Schleinsee (Gemeinde Kressbronn, Bodenseekreis) entschlüsselt worden.

- Die Sichttiefen waren im Gnadensee mit 2,9 bis 5,8 m in den Monaten April bis August der Jahre 1925 bis 1931 deutlich geringer als im Obersee. In der Periode 1933 bis 1935 lagen sie im Zeller See (3,1 bis 4,0 m, Mittelwerte der Monate April bis August) und im westlichen Gnadensee (2,9 bis 3,9 m) geringfügig unter denen des westlichen und östlichen Rheinsees (3,3 bis 4,2 m)⁴. Noch Mitte der 1950er-Jahre erreichte die mittlere sommerliche Sichttiefe im Gnadensee 4,2 m (*Lehn* 1962).
- Die Unterwasservegetation hatte bereits in den 1940er-Jahren auf die veränderten Verhältnisse reagiert: «*Die Charen (Chara ceratophylla Walbr., Ch. aspera [Deth.] Wild., Ch. contraria A. Br. u.a.) [sind] in ihrer Entfaltung gehemmt, während umgekehrt die Laichkräuter (Potamogeton-Arten und ihre Begleiter) durch die Düngung des Wassers gefördert werden.*» (*Jaag* 1949: S. 205).

Bei der Bewertung der Messdaten muss allerdings berücksichtigt werden, dass die damaligen Analyse-Methoden, insbesondere was die Phosphat-Analytik anging, noch nicht die heutigen Qualitätsstandards erreichten. Dagegen konnte die Sichttiefe mit gleicher Zuverlässigkeit gemessen werden wie heute.

4.7 Die Eutrophierung des Untersees: Auf der Suche nach den Ursachen (1934–1939)

In der Wahrnehmung der damals am Bodensee tätigen Forscher war der trophische Zustand der Untersee-Becken allein durch ihre Morphometrie und die mehr oder minder gute Durchströmung mit dem nährstoffarmen Rheinwasser bedingt. Der Wasserkörper des östlichen Rheinsees glich dem des Obersees, denn er bestand ja weitgehend aus dem epilimnischen Wasser, das bei Konstanz den Obersee verliess (*Nümann* 1937, *Elster & Einsele* 1938). Dem gegenüber führten die hydrologisch isolierten Seebecken des Zeller Sees und des Gnadensees ihr Eigenleben (*Auerbach & Schmalz* 1939, *Auerbach & Rottengatter* 1960, *Schröder* 1974), gekennzeichnet durch die stärkere Ausprägung der Merkmale eutropher Seen. *Auerbach & Schmalz* (1939) führte die Eutrophie – in Anlehnung an die damalige produktionsbiologische Seentypologie – auf das Verhältnis von Hypolimnion- zu Epilimnion-Volumen zurück, das hier bei etwa 0,4 zu 1 liegt, und damit bedeutend geringer ist als beim damals noch oligotrophen Obersee (Verhältnis 4,7 zu 1).

Der Einfluss von nährstoffbelasteten Abwässern wurde in jenen Jahren nicht näher betrachtet, obgleich schon damals der Zeller See die lediglich mechanisch geklärten Abwässer der Singener Industrie (Maggi, Fischer) sowie die ungeklärten häuslichen Grubenüberläufe Radolfzells, und der Markelfinger Winkel die der Radolfzeller Industrie (Schiesser, Allweiler, Milchwerk) aufnehmen musste.

⁴ Die Messungen der Jahre 1933 bis 1935 wurden mit etwas anderer Methodik durchgeführt und liegen gemäss *Elster* (1961) etwa 10 bis 20% zu niedrig.

So diskutierten *Elster & Einsele (1938)* zwar die Nährstoffbelastung des Zeller Sees durch die Radolfzeller Aach, erwähnten aber weder die Herkunft noch die Behandlung der Abwässer durch die 1912 gebaute und 1928 erweiterte Singener Kläranlage. *Lundbeck (1936)* widmete sich ausführlich der *kulturellen Eutrophierung*, die er dem primär eutrophen Zustand von Seen gegenüberstellte. Seine Beispiele fand er am Zürichsee sowie an einigen südalpinen Seen. Der Bodensee-Untersee gehört nach seiner Auffassung nicht zu dieser Gruppe.

Die damals noch sorglose Sicht der Limnologen stand damit in einem gewissen Gegensatz zur begründeten Sorge der kommunalen Trinkwasserversorger um die hygienische Unbedenklichkeit des Rohwassers, soweit sie dieses aus der Uferzone des Bodensees entnahmen. Sie kannten die Dolenausmündungen ihrer eigenen Kommunen genau, sie wussten um die latente Gefährdung der Entnahmestellen durch Abwässer. Und sie waren nicht geneigt, sich nur auf die Verdünnungswirkung des grossen Sees und auf die *Selbstreinigungskraft* zu verlassen, sondern etablierten bereits von Anfang an eine eigene Qualitätskontrolle (*Stabel 2005*). Auch die möglichen Nährstoffbelastungen aus der Landwirtschaft traten damals noch nicht ins Blickfeld der Gewässerforscher. Die Verwendung von Kunstdüngern verbreitete sich bereits in den 1840er-Jahren, nachdem J. v. Liebig die wachstumsfördernde Wirkung von Stickstoff, Phosphaten und Kalium nachgewiesen hatte. Als Handelsvolldünger dominierte bis um 1900 peruanischer Guano, als reiner Stickstoff-Dünger kamen Chile- und Norge-Salpeter in Frage und für die Phosphat-Düngung standen Knochen- und Blutmehl sowie Thomasmehl (seit 1880) und Superphosphat als Rückstand aus der Eisen- und Stahlerzeugung zur Verfügung. Vor dem Ersten Weltkrieg waren es wohl nur die grösseren landwirtschaftlichen Betriebe und die Genossenschaften, die Kunstdünger kaufen konnten, während die kleinbäuerliche Landwirtschaft am Unterseeufer wahrscheinlich erst viel später nachzog. Immerhin erwähnt bereits Baumann, dass die *«Burstwiesen»* (d. h. Mager- und Trockenwiesen) der Mettnau und des Wollmatingerrieds *«schon seit Jahren mit Kunstdünger (Thomasmehl, Kainit) behandelt [werden]. Außerdem werden solche Grundstücke häufig umgebrochen und kleine Gemüse- oder Getreideparzellen angelegt ...»* und *«aus den minderwertigen, kurzrasigen Riedstellen sind durch Drainage und Kunstdüngerbehandlung zum Teil nutzbare Wiesenkomplexe entstanden, die regelmäßig geheut werden.»* (*Baumann 1911*: S. 503 u. 504). Auf der Insel Reichenau begann bereits zwischen 1924 und 1927 eine durchgreifende Umstellung vom Weinbau zum wesentlich rentableren und weniger witterungs- und krisenanfälligen Gemüsebau (*Blenck 1971*: S. 179). Mitte der 1930er-Jahre wurde der Gemüseanbau weiter rationalisiert und intensiviert, sodass um 1938/39 neben 3'500 t Stallmist aus eigener Viehhaltung (360 Rinder, 13 Pferde) auch 1'800 t Pferdedung aus den Wehrmachtsstandorten der Umgebung sowie 1'200 Ballen Torfmoß und 470 t Mineräldünger auf die Felder gebracht wurden. Ein grosser Teil der Nährstoffe verliess die Reichenau in Form von Feldfrüchten, ein anderer wurde durch Versickerung und Oberflächenerosion in den See gespült. Beim Phosphor dürfte der Anteil jedoch gering gewesen sein, da Phosphor in den kalkhaltigen Geschiebe-Böden gut fixiert wird, während Stickstoff als Nitrat leicht ausgewaschen wird. Dies mag dazu beigetragen haben, dass die Nitrat-Konzentration

im Rheinsee bereits um 1940 $0,4 \text{ g N/m}^3$ (Vollzirkulationsperiode) erreichte (IGKB 1963) und seitdem lediglich auf das Zwei- bis Dreifache angestiegen ist.

4.8 Geburtsstunde des Gewässerschutzes am Bodensee:

Der IVL-Kongress in Zürich 1948

Wir dürfen annehmen, dass sich die Abwasserbelastung des Obersees und des Untersees in den 1930er- und 1940er-Jahren, vielleicht gebremst durch Produktionseinbrüche in der Nachkriegszeit, weiter verstärkte. Ob es in dieser Zeit zu schwerwiegenden gewässerökologischen Problemen oder hygienischen Unannehmlichkeiten kam, ist nicht überliefert. In den Gemeinden besass die Trinkwasserversorgung eine deutlich höhere Priorität als die Abwasserbeseitigung (Abbildung 12). So waren um 1940 im später baden-württembergischen Einzugsgebiet bereits rund 87% der Bevölkerung an die öffentliche Wasserversorgung angeschlossen, aber nur gut 40% an eine Sammelkanalisation. Im gesamten Bodensee-Einzugsgebiet existierten wie schon zwanzig Jahre zuvor nur zwei Kläranlagen, eine davon war die 1912 gebaute und 1928 erweiterte Singener Kläranlage, die die mechanisch gereinigten Abwässer über die Radolfzeller Aach in den Untersee entliess.

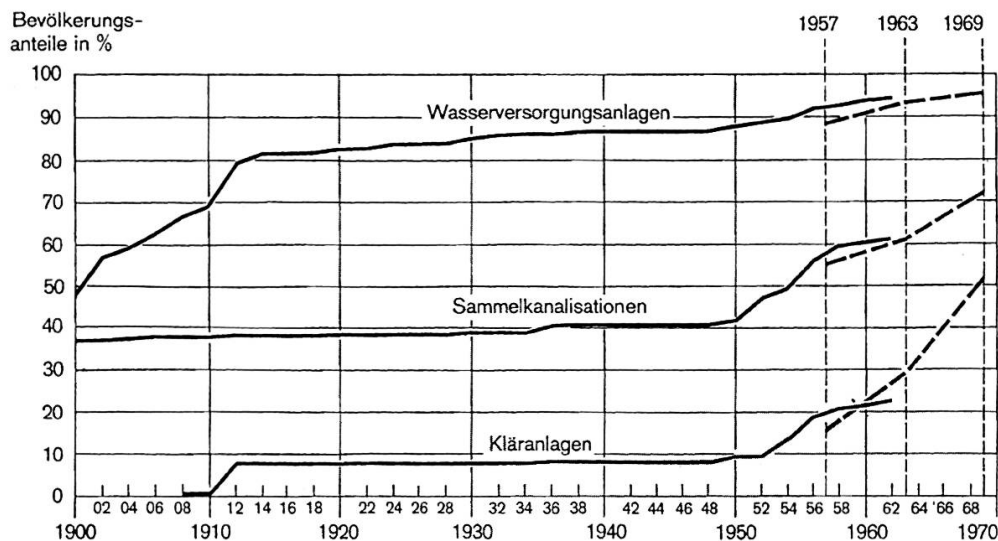


Abbildung 12: Ausbau der kommunalen wasserwirtschaftlichen Versorgungs- und Entsorgungseinrichtungen im baden-württembergischen Einzugsgebiet des Bodensees, dargestellt nach Baujahren sowie nach Einwohneranteilen der 1969 damit versorgten Bevölkerung. Die durchgezogene Linie (1900–1962) und die gestrichelte Linie (1957–1969) stellen die Ergebnisse unterschiedlicher Erhebungsmethoden dar (verändert aus Mach 1973; mit freundlicher Genehmigung des Statistischen Landesamtes Baden-Württemberg).

Um mit den hygienischen Problemen offener Abwasserkanäle fertig zu werden, hatten die grösseren Kommunen bereits Ende des 19. Jahrhunderts mit der Verdolung der Gräben begonnen. Die kleineren Gemeinden folgten in weitem zeitlichen Abstand, teilweise erst in den 1950er-Jahren. Aber die Dolen der Seeufergemeinden führten nicht wie heute in eine Zentralkläranlage, sondern direkt in die Uferzone des Bodensees. So liefen die Abwässer von Radolfzell aus acht verschiedenen Ausläufen in den Zeller See und aus drei weiteren in den Markelfinger Winkel. Auch Konstanz besass kein zusammenhängendes Kanalnetz. Zwar gab

es bereits um 1902 entsprechende Ausbaupläne, die aber bis in die 1950er-Jahre nicht in Angriff genommen wurden. Stattdessen wurden immer neue «*Mündungen von Abwasserdolen mit ihren grauen, schleimigen, oft stinkenden Abwässern*» an das Seeufer verlegt (*Innenministerium Baden-Württemberg 1953*: S. 9).

Die Wende kam Ende August 1948 anlässlich des 10. Kongresses der *Internationalen Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie (IVL)* in Zürich. Kernthema der ersten internationalen Limnologen-Tagung nach dem Krieg war die Verschmutzung der Seen durch Abwässer, für die es auch in der Schweiz zahlreiche Beispiele gab. Den Hauptvortrag des ersten Tages gestaltete Prof. Otto Jaag (1900–1978), der spätere Direktor der 1936 gegründeten *Eidgenössischen Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG)*. Unter dem Titel «*Die neuere Entwicklung und der heutige biologische Zustand der Alpenrand-Seen*» schilderte er die Massentfaltung neu aufgetretener Phytoplankton-Arten, u. a. der Burgunderblutalge *Oscillatoria rubescens* DC., die seit 1825 auffällige, rot gefärbte Algenblüten in zahlreichen Mittellandseen bildete und offensichtlich einen guten Indikator für die «*fortschreitende Verjauchung*» der Seen (H. Bachmann 1922, zit. n. Jaag 1949) darstellte. Ein weiteres Anzeichen für die Entwicklung waren die Sauerstoff-Defizite im Tiefenwasser der Seen, u. a. in den Becken des Bodensee-Untersees, die zu einer zusätzlichen, internen Düngung durch reduktive Phosphor-Freisetzung aus den Beckensedimenten führen konnten.

Den südwestdeutschen Teilnehmern an der IVL-Tagung, Dr. J. Grim und Dr. W. Nümann vom Institut für Seenforschung und Seenbewirtschaftung sowie Oberregierungsrat Dr. W. Koch als Vertreter der Regierung des Landes Baden, dürfte spätestens dort klar geworden sein, dass dem Bodensee-Obersee ein ähnliches Schicksal bevorstand. Denn auch er wurde als Trinkwasserreservoir genutzt und auch er war seit Mitte der 1930er-Jahre auffälligen Veränderungen unterworfen. Aber anders als am Zürichsee besass im badischen Einzugsgebiet des Obersees kaum eine Gemeinde ein modernes Abwasserkanalisationsnetz, ganz zu schweigen von einer Kläranlage.

4.9 Es wird höchste Zeit: Wirtschaftswunder, Wasserqualität und Trinkwasserversorgung (1950–1969)

Plötzlich ging alles ganz schnell. Die Wasserqualität des Bodensees wurde Gegenstand öffentlicher Diskussionen: Der württembergisch-badische Städteverband unter der Führung der Stadt Stuttgart, der Bodensee-Verkehrsverein, die Wasserversorgungsunternehmen der Anliegergemeinden und schliesslich der Süddeutsche Wasserwirtschaftsverband zeigten sich besorgt, diskutierten die Defizite der Abwasserbehandlung, veröffentlichten Presseartikel, Denkschriften und Aufrufe (Drexler 1980: S. 105 ff.). Die meist kommunalen Wasserversorgungsunternehmen fürchteten um die Sicherheit ihrer kostengünstigen Trinkwasserressource: Aufwändige Schutz- und Aufbereitungsmassnahmen hätten den Wasserpreis für Bevölkerung und Gewerbe in die Höhe getrieben. Schliesslich stand auch in den Wassermangelgebieten Nord-Württembergs die Wasserversorgung und damit der Wieder- und Neuaufbau von Industrie und Wirtschaft auf dem Spiel. Im Februar 1956 begann der kurz zuvor gegründete *Zweckverband Bodensee-*

Wasserversorgung mit den Bauarbeiten an der Fernwasserversorgungsleitung von Sipplingen am Überlinger See in den Stuttgarter Raum und darüber hinaus. Nach verhältnismässig kurzer Bauzeit konnte am 16. Oktober 1958 die erste Ausbaustufe in Betrieb genommen werden (*Mehlhorn & Geckeler 2005*). Allen Beteiligten war klar, dass die gewaltigen Investitionen nur gerechtfertigt waren, wenn sich die Trinkwasserversorgung langfristig und zu günstigen Preisen sichern liess. Zusätzliche Kosten, etwa für aufwändige Wasseraufbereitungsanlagen in den angeschlossenen Gemeinden, mussten vermieden werden. Die Reinhaltung des Bodensees hatte damit ein landespolitisches Gewicht bekommen.

Bereits im Juni 1953 veröffentlichte das Innenministerium des noch jungen Südweststaats eine publikumswirksam aufgemachte *Denkschrift über die Reinhaltung des Bodensees*, die bereits Pläne und Kostenschätzungen für den Bau von kommunalen Hauptsammlern und mechanischen Zentralkläranlagen enthielt (*Innenministerium Baden-Württemberg 1953*). Sie sah in drei Bauabschnitten von je 4 bis 6 Jahren zunächst den Ausbau der Hauptsammler in den Gemeinden des baden-württembergischen Einzugsgebiets vor, dann den Ausbau der biologischen Stufe in den Kläranlagen und schliesslich die Nachrüstung mit chemischen Phosphor-Fällungsanlagen (dritte Reinigungsstufe). 1962 folgte eine weitere Denkschrift des baden-württembergischen Innenministeriums, das eingestehen musste, dass der stufenweise Hauptsammler- und Kläranlagenausbau nicht mit der tatsächlichen Belastung des Bodensees Schritt halten konnte (*Innenministerium Baden-Württemberg 1962*). Stattdessen setzte man nun auf einen Vollausbau der Abwasserreinigung inklusive der dritten Reinigungsstufe, der in allen Kommunen bzw. Abwasserzweckverbänden des nördlichen Einzugsgebiets bis 1970 abgeschlossen sein sollte.

Die geplanten Sanierungsprogramme waren bitter nötig, denn bei der Gewässer-reinhaltung fiel das Bodensee-Einzugsgebiet weit hinter den Landesdurchschnitt zurück (*Mach 1968*). So waren 1963 im damaligen Landkreis Konstanz, dessen Ortsteile mit wenigen Ausnahmen in den Seerhein bzw. den Untersee ableiteten, zwar 37,6% der Bevölkerung an eine Kläranlage mit wenigstens mechanischer Reinigung angeschlossen (Landesdurchschnitt BW: 51,9%), aber kein einziger Bewohner an eine vollbiologische Kläranlage⁵ (Landesdurchschnitt BW: 42,8%), ganz zu schweigen von Anlagen mit einer Nährstoffelimination, wie sie bereits zehn Jahre zuvor vom Innenministerium gefordert worden waren. Auch die Industrieabwässer, deren Menge landesweit knapp dreimal so gross war wie die kommunalen Abwässer, flossen grösstenteils (Landesdurchschnitt 77,4%) unmittelbar in offene Gewässer oder in den Untergrund.

Zwanzig Jahre nach Erscheinen der ersten Denkschrift zog das Statistische Landesamt Baden-Württemberg eine ernüchternde Bilanz (*Mach 1973*): Nur etwa 42% der kommunalen und industriellen Abwässer des Bodensee-Einzugsgebietes wurden durch Sammelkläranlagen erfasst, der Rest ergoss sich auf anderen

5 «Voll»-biologische Kläranlage: Laut statistischer Erhebungsmethode ein Verfahren, das mehr als 75% der abbaubaren organischen Belastung beseitigt (*Mach 1968: S. 19*); heute ist eine Eliminationsrate von 95 bis 98% üblich.

Wegen unmittelbar in die Zuflüsse oder in den See. Insbesondere der Bau von Kläranlagen, die zu dieser Zeit noch keine dritte Reinigungsstufe erhalten hatten, hinkte hinterher, sodass von der insgesamt 72,9 Mio. m³ grossen Abwassermenge (1969) gut 10% zwar von der Sammlerkanalisation erfasst wurden, aber dennoch ohne Behandlung in den See flossen. Das hatte zur Folge, dass die in den See gelangenden Phosphor-Frachten zwischen 1950 und 1971 von 529 auf geschätzte 1'517 t/Jahr anstiegen (*Wagner & Wohlland 1976*). Entsprechend waren die P_{gesamt}-Konzentrationen im Obersee von etwa 7 auf 54 mg P/m³ (volumengewichtete Jahresmittelwerte, Seemitte) angestiegen. Vom Untersee liegen erst seit 1969 Vergleichsdaten vor, die zeigen, dass die Konzentrationen im Rheinsee etwa gleich hoch, im Zeller See und im Gnadensee um etwa 10 bis 30 mg P/m³ höher waren (*Abbildung 13*). Die beträchtlichen Investitionen der Kommunen und des Landes von rund 350 Mio. DM (1953–1971; vgl. *Drexler 1980*: S. 128), waren augenscheinlich verpufft. *Drexler (1980)* hat die Gründe analysiert, warum die Reinhaltungspolitik des Landes zunächst gescheitert und die Erfolge weit hinter den ursprünglichen Erwartungen zurückgeblieben waren. Daran beteiligt waren eine Reihe unterschiedlicher Faktoren, darunter auch Fehleinschätzungen und Versäumnisse in der Umweltpolitik des Landes.

4.10 Wie kommt der Phosphor in das Wasser und wie kommt er wieder heraus? (1970–1990)

Ein wichtiger Grund war der, dass bei der Verringerung der Phosphor-Belastung zunächst eine *end of pipe*-Politik betrieben wurde, die nicht etwa die Belastungsquellen verringerte, sondern lediglich durch nachgeschaltete Massnahmen die negativen *Auswirkungen* am Ende des Stoffstroms zu vermindern suchte. Phosphor gelangte im Wesentlichen durch (i) natürlichen Austrag aus den Landoberflächen, (ii) menschliche Fäkalien, (iii) landwirtschaftliche Düngemittel sowie (iv) durch Waschmittel-Zusatzstoffe in die Umwelt. Modellberechnungen der P-Bilanz des Bodensee-Obersees zeigten, dass bis in die 1950er-Jahre die P-Frachten aus Fäkalien und landwirtschaftlichen Düngemitteln mehr als 70% der – damals noch geringen – Gesamt-Frachten ausmachten (*Wagner & Wohlland 1976*). Anfang der 1970er-Jahre lag der Anteil nur noch bei rund 29%, während der ursprünglich verschwindend kleine Anteil der Waschmittelphosphate auf 59% angewachsen war. Gleichzeitig hatten sich die zugeführten P-Frachten fast vervierfacht. Das Gefährdungspotenzial der Waschmittelphosphate war bereits in den 1950er-Jahren bekannt, wenige Jahre nachdem sich synthetische Waschmittel in den Haushalten durchgesetzt hatten (*Mauz 1959*). Unter dem Druck der Waschmittelkonzerne, der angeblichen Unverzichtbarkeit von Polyphosphaten für die Enthärtung des Wassers und dem seinerzeitigen Fehlen ökologisch verträglicher Ersatzstoffe, sahen die Bodensee-Anrainerstaaten nur den Ausweg, den kurz zuvor durch die Waschlauge eingebrachten Phosphor wieder aufwändig und mit weiterem Chemikalieneinsatz zu entfernen, indem sie bestehende und neue Abwasserreinigungsanlagen mit Phosphat-Fällungsanlagen ausrüsteten. Die erste Phosphat-Fällungsanlage am Untersee wurde 1966 in der Kläranlage Radolfzell in Betrieb genommen.

Allerdings konnten der Ausbau bzw. die Nachrüstung der Kläranlagen weder bundesweit noch am Bodensee mit der steigenden Phosphormenge aus den

Waschmittelphosphaten Schritt halten: Die *end-of-pipe*-Lösung war an ihrem Ende angelangt. Der deutsche Bundesgesetzgeber aber zögerte. Das Waschmittelgesetz von 1975 gab ihm die Möglichkeit, die zulässigen Höchstmengen an Phosphor in der Waschlauge durch eine Rechtsverordnung zu regeln. Aber erst 1980 machte das *Bundesministerium des Inneren* von dieser Möglichkeit Gebrauch⁶. Die Schweiz folgte im gleichen Jahr mit einer eigenen Waschmittelverordnung, bis die Stoffverordnung von 1986⁷ den Einsatz von Phosphaten in Textilreinigungsmitteln endgültig verbot. In Österreich wurde mit dem Waschmittelgesetz von 1984⁸ der Phosphatgehalt von Haushaltswaschmitteln ab 1985 und ab 1987 in zwei Stufen reduziert. Gewissermassen mit einem Federstrich und praktisch kostenlos für Verbraucher und Wasserwirtschaftsverwaltung, konnte damit gut die Hälfte der Phosphoreinträge vom Bodensee ferngehalten werden. Seitdem sinken die Konzentrationen sowohl im Obersee als auch im Untersee kontinuierlich ab (*Abbildung 13*). Heute liegen die Phosphorkonzentrationen in der Wassersäule im Jahresmittel bei etwa 9 (Rheinsee) bzw. 13 (Gnadensee) und 18 mg $P_{\text{gesamt}}/\text{m}^3$ (Zellersee) (*IGKB 2011*). Damit sind Verhältnisse erreicht, wie sie vermutlich in den 1930er- und 1940er-Jahren am Untersee vorlagen (*Abbildung 13*).

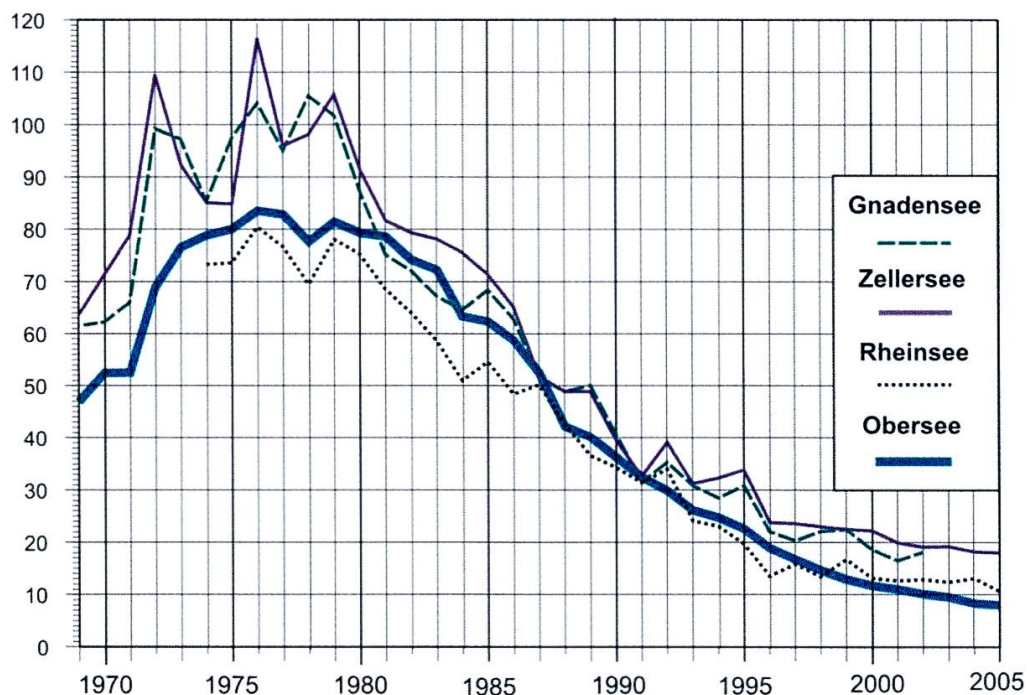


Abbildung 13: Langjährige Entwicklung der Phosphorgehalte ($\text{mg } P_{\text{gesamt}}/\text{m}^3$) im Obersee sowie im Rheinsee, Zellersee und Gnadensee von 1969 bis 2005 (aus Rossknecht 2006; mit freundlicher Genehmigung der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee).

- 6 Phosphathöchstmengenverordnung (PHöchstMengV) vom 4.6.1980, Bundesgesetzblatt I, 1980, S. 664.
- 7 Verordnung vom 9. Juni 1986 über umweltgefährdende Stoffe (Stoffverordnung StoV, SR 814.013); die Verordnung ist 2005 in der Chemikalien-Risikoreduktionsverordnung, (ChemRRV, SR 814.81) aufgegangen, die sich derzeit in Revision befindet.
- 8 Bundesgesetz vom 28. Juni 1984 über die Umweltverträglichkeit von Waschmitteln (Waschmittelgesetz), Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich, Jg. 1984, Stck. 134 vom 20.07.1984.

Der Erfolg des gesetzgeberischen Eingriffs wurde ergänzt durch den weiteren Kläranlagenausbau, der nun konsequent mit Phosphor-Fällungsanlagen vorangetrieben wurde, sowie durch die Einleitung der geklärten Abwässer in das Hypolimnion durchströmter Seeteile, sodass die Phosphorfracht möglichst wenig mit den Planktonalgen des Epilimnions in Kontakt kommt und möglichst rasch den See verlässt. Ausserdem wurden einige Kläranlagen-Ausläufe «umgeleitet». So wurde die Singener Kläranlage 1976 komplett vom Untersee abgekoppelt; das gereinigte Abwasser läuft seitdem über die Biber in den Hochrhein. Von der Radolfzeller Kläranlage, am Ufer des Markelfinger Winkels gelegen, geht seit 1962 eine 2,7 km lange Leitung quer über die Halbinsel Mettnau, sodass die Abwässer in den besser durchströmten Zeller See gelangen.

Inzwischen sind Phosphat-Belastung und Eutrophierung des Bodensees in den Hintergrund des wasserwirtschaftlichen Interesses gerückt. Die notwendigen Techniken und Verfahrensweisen zur weitergehenden Reinigung der häuslichen und gewerblichen Abwässer stehen fast überall zur Verfügung, ein gewisser Handlungsbedarf besteht noch bei der Behandlung von abwasserbelasteten Regenwasserüberläufen (IGKB 2004). Dafür sind andere Belastungen in den Vordergrund getreten, z. B. Einträge von mikroorganischen Spurenstoffen (Komplexbildner, Pharmaka-Rückstände und Sonnenschutzmittel, Pflanzenschutzmittel u. a.), Komponenten, die sich – nach bisherigem Kenntnisstand – im beobachteten Konzentrationsbereich nicht bedeutsam auf die Uferbiozöten auswirken.

4.11 Eutrophierung und Ufer-Biozöten

Die vorausgegangenen Kapitel mögen den Eindruck erweckt haben, die Nährstoffbelastung und Eutrophierung des Bodensees sei ausschliesslich eine Angelegenheit des Freiwasserkörpers. Das ist durchaus nicht der Fall, denn die Abwasserdolen der Städte, Gemeinden und Industrien mündeten viele Jahrzehnte lang in die unmittelbare Uferzone, die folglich der Belastung am stärksten ausgesetzt war. Dass sich dennoch die Probennahmepositionen für wissenschaftliche Forschungen und für die Gewässerüberwachung nicht im Litoral sondern im Pelagial, vornehmlich in der Seemitte befanden, hatte unterschiedliche Gründe, die sich im Laufe der Zeit zur festen wissenschaftlichen Praxis verdichteten. Erst Anfang der 1960er-Jahre, als die Verkräutung und Veralgung seichter Untersee-Buchten nicht mehr zu übersehen war und Badevergnügen und Wassersport beeinträchtigte, geriet das Litoral wieder ins Blickfeld der Wissenschaftler: *«Dichte geschlossene Wiesen von Grünalgen erheben sich vom Grund der Uferbank gegen die Wasseroberfläche. So bewegte sich z. B. auf einer Fahrt Anfang Juli 1961 über den Gnadensee [...] der Kahn nur wenige Hundert Meter ungehemmt von Algenwiesen. ... Stellenweise war [...] eine Steigerung kaum mehr vorstellbar. Im Zeller See vor Radolfzell trieb [die Blaualge, Anm. d. Verf.] Oscillatoria Anfang Juli 1962 in solchen Massen, dass von der Bevölkerung Anfragen über die auffallende und bis dahin in diesem Ausmaß offensichtlich unbekannte Erscheinung eingingen.»* (Mattern 1970: S. 108–109). Mit Bezug auf die algologischen Angaben von Baumann (1911) stellt Mattern fest: *«Schilderungen, die auf ähnliche ungeheure Grünalgenmassen wie heute schließen lassen, sucht man jedoch vergebens.»* (Mattern 1970: S. 110).

Im Oktober 1960 beschloss die erst ein Jahr zuvor gegründete *Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee* (IGKB) fortlaufende Bestandsaufnahmen der Makrophyten in der Uferzone des Bodensees durchführen zu lassen, um Rückschlüsse auf den Gütezustand der Uferzone, vor allem hinsichtlich der lokalen Abwasserbelastung ziehen zu können. Nach ersten Kartierungen in den Jahren 1961 bis 1964, die in den Anliegerstaaten noch mit unterschiedlicher Methodik durchgeführt worden waren, fand 1967 unter der Leitung von Gerhard Lang eine Farbluftbild gestützte flächendeckende Kartierung des gesamten Bodenseeufers statt (Lang 1973). Auf 28 ausgewählten Testflächen, davon 12 am Untersee, folgten zwischen 1967 und 1978 in jährlichen Abständen Wiederholungskartierungen, um mit multivariaten Methoden die Abhängigkeit der Vorkommen und der Mächtigkeiten der einzelnen Makrophytenarten von verschiedenen Umweltfaktoren zu analysieren (Schröder 1981). Wie zu erwarten, zeigten einige der häufigen Arten eine signifikant positive oder negative Korrelation mit dem P- und/oder dem N-Gehalt in der Wassersäule, während andere Arten eher auf trophieunabhängige Faktoren wie Wasserstand und Wassertemperaturen zu bestimmten Jahreszeiten reagierten. Ziel war es, geeignete Indikatorarten für den lokalen trophischen Zustand zu finden und von offensichtlich weniger geeigneten Arten zu trennen. Weitere seeumfassende Kartierungen folgten 1978, wiederum unter der Leitung von Gerhard Lang (Lang 1981) und 1993 durch Klaus Schmieder (Schmieder 1998) sowie 2009–2010 am deutschen und 2011 am thurgauischen Unterseeufer (Dienst et al. 2012, in diesem Band). Die kartografischen Auswertungen lassen in räumlicher Hinsicht lokale Belastungsschwerpunkte erkennen, die Zeitreihe selbst spiegelt die zunehmende Nährstoffbelastung zwischen 1967 und 1978 sowie die Reoligotrophierung zwischen 1978 und 1993 und in den Jahren danach wider.

Die Idee, höhere Wasserpflanzen in systematischer Weise als Indikatoren für den trophischen Zustand eines Sees oder wenigstens der betreffenden Uferabschnitte heranzuziehen, steckte zur Zeit Baumanns noch in den Anfängen. Bei der saprobiellen Zustandsbeurteilung von Fließgewässern hingegen waren bioindikative Verfahren spätestens seit der Veröffentlichung der Saprobien-Kataloge von Kolkwitz & Marsson (1902) gebräuchlich. Erst 1925 schlug Helmut Gams (1893–1976), damals Leiter der von ihm gegründeten *Biologischen Station Mooslachen* in Wasserburg am Bodensee, die Verwendung von Wasserpflanzen zur Indikation von verschiedenen Milieu-Einflüssen, u. a. dem Nährstoffgehalt in Gewässern vor (Gams 1925). In den 1930er- und 1940er-Jahren wurden einige beispielhafte Kartierungen an holsteinischen und skandinavischen Seen durchgeführt, anhand derer es gelang, Beziehungen zwischen dem trophischen Zustand der Gewässer und dem Vorkommen bestimmter Arten oder Pflanzengesellschaften darzustellen. Ansonsten blieb es lange Zeit still auf diesem Gebiet, sodass es der IGKB und Gerhard Lang vorbehalten war, zwischen 1961 und 1967 einen neuen Anlauf zu nehmen.

Die Darstellung des Gütezustands erfolgte hier zunächst nach Massgabe der Flächendeckung von Armleuchteralgen-Gesellschaften, die als Indikatoren für oligo-/mesotrophe Verhältnisse gelten, und von Laichkraut-Gesellschaften

als Zeiger für eutrophe Bedingungen. Die Arbeiten am Bodensee bildeten den Startpunkt für eine Vielzahl vergleichbarer Kartierungen an Fliessgewässern und an einer Reihe von Voralpenseen in der Schweiz, Bayern und Österreich, die zunächst mit jeweils eigenen Untersuchungs- und Auswertungsverfahren durchgeführt wurden. Im Laufe der Forschungsentwicklung wurde weniger den jeweiligen Pflanzengesellschaften, als viel mehr den einzelnen Arten ein spezifischer Indikationswert zugesprochen, und dieser Indikationswert wurde nicht mehr nur verbal beschreibend, sondern als Index-Zahl dargestellt, mit der rechnerische bzw. statistische Auswertungen möglich waren. Hier bewährte sich der Makrophytenindex nach Melzer (*Melzer et al. 1986*), der schliesslich auch bei den Folgekartierungen am Bodensee angewandt wurde (*Schmieder 1998, Dienst et al. 2012*, in diesem Band). Dagegen war den Bemühungen, die Abundanz bestimmter Arten mit der Konzentration spezifischer Nährstoffe oder Wasserinhaltsstoffe zu korrelieren, wechselnder Erfolg beschieden, sodass heute die Meinung vorherrscht, dass sich der Indikatorwert auf ein komplexes Ensemble von physikalisch-chemischen Faktoren bezieht, zuzüglich der Licht- und Nährstoffkonkurrenz zwischen Makrophyten, Phytoplankton und Aufwuchsalgen (Epiphyton). Heute gehört die Erfassung der Unterwasserpflanzen zum Standardrepertoire der Zustandsbeurteilung von Seen, beispielsweise bei der Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie (*Schaumburg et al. 2012*), zu der sich die Mitgliedsstaaten, hier also Deutschland und Österreich, verpflichtet haben, und der sich in methodischer Hinsicht auch die Schweiz angeschlossen hat (vgl. *Ostendorp 2005*). Auch der Bodensee wurde 2006–2010 nach diesen Vorgaben übersichtsweise kartiert (*Bauer et al.*, in Vorb.).

Nachdem sich gezeigt hatte, in welcher drastischer Weise sich die Gewässerverschmutzung nicht nur auf die Freiwasser-Biozöten, vor allem das Phytoplankton, sondern auch auf die Unterwasserpflanzen auswirkt, lag der Gedanke nahe, dass auch andere Uferbiozöten davon betroffen sein könnten. So wurde das Absterben grossflächiger Schilfgebiete am Untersee in den 1960er-Jahren zunächst mit der Eutrophierung in Verbindung gebracht, bis sich herausstellte, dass die extremen Hochwässer von 1965 und den nachfolgenden Jahren den grössten Anteil daran haben (*Ostendorp & Dienst 2012*, in diesem Band). Auch die Strandrasen waren eher indirekt, beispielsweise durch Fadenalgen-Anwurf betroffen, sodass intensive Pflege- und Erhaltungsmassnahmen notwendig wurden (*Strang et al. 2012*, in diesem Band). Die Einflüsse der Eutrophierung setzen sich in den tierischen Biozöten fort, vornehmlich denen des Freiwassers (Zooplankton, Fischfauna) und der Beckensedimente (Schlammröhrenwürmer), aber auch im litoralen Makrozoobenthos (*Frenzel 1983*). Die Veränderungen, die sich beispielsweise im Ermatinger Becken zwischen 1948/49 (*Büttiker 1949*) und 1968 (*Reavell & Frenzel 1981*) ergeben haben, sind im Wesentlichen auf die Veränderungen der Vegetationsstruktur zurückzuführen, also auf das Verschwinden der Armleuchteralgen-Rasen und die Massenentwicklungen des Kamm-Laichkrauts, eventuell verbunden mit einer Veränderung der bodennahen Strömungsverhältnisse und der nächtlichen Sauerstoffdefizite.

5 Rückblick

Wir können auch heute noch die Untersee-Landschaft – freilich nur in Teilen und mit einer verengten Perspektive – so erleben wie Eugen Baumann sie vor hundert Jahren vor Augen gehabt haben mag. Ortskundige Naturliebhaber kennen die ruhigen Plätze, die Spazierwege am Rande der Naturschutzgebiete, die Ausblicke, die noch nicht von Hangbebauungen und anderen architektonischen Alpträumen entstellt sind, sie kennen die Zeiten, in denen der Verkehrslärm erträglich und die Zahl hektischer Erholungskonsumenten zu Lande und zu Wasser noch gering ist.

Die Untersee-Uferlandschaft ist kein Idyll, und sie war es auch zur Zeit Baumanns nicht. Eher war sie gekennzeichnet durch einen gewissen Industrialisierungs- und Entwicklungsrückstand, verglichen mit anderen grossen Seenlandschaften beispielsweise des Zürichsees, des Genfer Sees oder der Havelseen in Nordostdeutschland. Dies und die Grenzlage mögen dazu beigetragen haben, dass Entwicklungen, die anderenorts die Seeufer nachhaltig und unwiederbringlich verändert haben, den Untersee erst mit einer gewissen Verzögerung erreichten, in den multilateralen Verhandlungen der Anrainer-Kantone, -Grossherzogtümer und -Königreiche, Kaiserreiche und Eidgenossenschaften versandeten oder in den Wirren zweier Weltkriege und Nachkriegszeiten stecken blieben. So traf Baumann während seiner Felduntersuchungen in den Jahren 1905 bis 1910 eine Uferlandschaft an, die noch wenig durch landwirtschaftliche Meliorierung, Schifffahrt, Verkehrstrassen, Urbanisierung, Industrialisierung, Erholungsbetrieb und Tourismus geprägt war.

In diesem Beitrag wurden beispielhaft drei Entwicklungsstränge nachgezeichnet, wie sie ausgehend von der Wende vom 19. zum 20. Jahrhundert zum heutigen Zustand geführt haben. Alle drei Themenbereiche sind von unmittelbarer Bedeutung für die Lebensbedingungen in der Uferzone: Die Abwasserbelastung bzw. Eutrophierung des Sees bestimmte die Artenzusammensetzung und die Abundanz der Unterwasservegetation (*Dienst et al. 2012*, in diesem Band). Sie stellte den Bodensee als internationale Tourismus-Destination und als Trinkwasserspeicher in Frage und dominierte über Jahrzehnte hinweg die wasserwirtschaftlichen Handlungsziele, bis es schliesslich – nach immensem Kostenaufwand – gelang, einen trophischen Zustand wiederherzustellen, der ungefähr demjenigen entspricht, den Baumann vor gut hundert Jahren angetroffen hat.

Die ehrgeizigen Pläne zur Umwandlung des Sees in einen Mehrzweckspeicher und in eine Grossschifffahrtsstrasse, um *«mit möglichst geringen Aufwendungen die grössten wirtschaftlichen Vorteile zu erzielen»*, hätten durch die Veränderungen der saisonalen Wasserspiegel, aber auch durch die – beabsichtigte und erwünschte – Industrialisierung und Urbanisierung zur Entwertung der grossen Naturschutzgebiete und zur Vernichtung der Strandrasen-Lebensräume geführt. Glücklicherweise zogen sich die Verhandlungen, die zum Ausgleich der Einzelinteressen hätten führen sollen, so lange hin, bis die aufkommende Naturschutzbewegung in den Kantonen Thurgau und Schaffhausen den Phantasmen

ein Ende bereitete. So blüht heute, wenn man es mit ein wenig Übertreibung sagen darf, das Bodensee-Vergissmeinnicht wie zu Baumanns Zeiten (*Strang et al. 2012*, in diesem Band).

Beides sind Entwicklungen, deren Anfang und (vorläufiges) Ende wir aus zahlreichen umwelt- und geschichtswissenschaftlichen Darstellungen kennen. Andere Entwicklungen, beispielsweise die sinkenden Sommerwasserspiegel des Sees oder die sich anscheinend häufenden Extremwasserstände, sind schwerer zu interpretieren. Sie dauern heute noch an, und wir wissen nicht, zu welchen Auswirkungen im See sie führen werden. Die Folgen auf die Uferlebensräume am Untersee sind allerdings schon jetzt sichtbar: Extreme Hochwässer führen zu einem grossflächigen Schilfrückgang, extreme Niedrigwasserphasen zu einer Ausbreitung der Strand-Pioniervegetation (*Ostendorp & Dienst 2012*, in diesem Band). Auf lange Sicht könnte dies zu einer ausgeprägten Vegetationsdynamik am Ufer führen, die aus naturschutzfachlicher Sicht – bis zu einem gewissen Grade – durchaus erwünscht wäre. Dennoch sollten wir die Ursachen und Hintergründe dieser auffallenden Veränderungen kennen, die ja auch mit einer flächigen Erosion des Ufers und der Schädigung unersetzlicher Unterwasserdenkmale einhergehen.

6 Literatur

- *Aktionskomitee für die Rhein-Bodensee-Initiative (Hrsg.), 1973: Rhein-Bodensee. Regulierwehr, Neckarstollen, Hochrheinschiffahrt. – Broschüre, Schaffhausen, 32 pp.*
- *Auerbach, M. & Schmalz, J., 1939: I. Studien über die Hydrographie und Biologie des freien Wassers im Gnadensee (Untersee) 1925–1931. – Beiträge zur Naturkundlichen Forschung in Südwest-Deutschland, Band 4, 120–162, Tabellen 1–9.*
- *Auerbach, M. & Rottengatter, G., 1960: Untersuchungen über den Wasseraustausch der einzelnen Becken des Untersees (1. Teil). – Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie, Band 22, 45–83.*
- *Bauer, F., Harlacher, R., Huber, M., Schranz, C. & Stelzer, D. in Vorbereitung: Submerse Makrophyten des Bodensees – Kartierung in den Jahren 2006 bis 2010. – Berichte der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee 58.*
- *Baumann, E., 1911: Die Vegetation des Untersees (Bodensee). – Archiv für Hydrobiologie Supplement Band 1, 1–554.*
- *Birchmeier, C., 2008: Die Abgrabung des Eschenzer Horns 1918 und Aspekte der Bodensee-Regulierung. – Hegau, Band 65, 191–210.*
- *Blenck, J., 1971: Die Insel Reichenau. Eine agrargeographische Studie. – Heidelberger Geographische Arbeiten, Band 33, 347, Heidelberg.*
- *Buchwald, K., 1962: Die voraussichtlichen Auswirkungen der Schiffbarmachung des Hochrheins auf die Hochrhein- und Bodenseelandschaft. – Veröffentlichungen der Landesstelle für Naturschutz und Landschaftspflege Baden-Württemberg, Band 30, 217–225.*

- *Burchardt, L., 2005: Hundert Jahre moderne Konstanzer Wasserversorgung. Ein kurzer historischer Rückblick. In: «100 Jahre städtische Trinkwasserversorgung», Stadtwerke Konstanz (Hrsg.), 10–37. – Konstanz.*
- *Büttiker, W., 1949: Zur Biologie des Untersees, speziell in der Ermatinger Bucht und zur Frage der Fischereischädlichkeit der Blässhühner. – Schweizer Naturschutz, Band 15, 105–112.*
- *de Boer, J. Z. & Sanders, D. T., 2004: Das Jahr ohne Sommer. – Magnus-Verlag, Essen. 271 pp.*
- *Dienst, M., Kramer, I., Ostendorp, W. & Werner, S., 2005: Stadt am Seerhein – Untersuchungen und Empfehlungen zur Ufergestaltung im Bereich des ehemaligen Herosé-Geländes. – Gutachten der Arbeitsgruppe Bodenseeuer (AGBU) e.V. für die Stadt Konstanz. – Konstanz, 40 pp.*
- *Dienst, M., Kramer, I., Werner, S. & Kiechle, J., 2008: Untersuchungen und Empfehlungen zur Ufergestaltung und -schutzmassnahmen im Bereich des ehemaligen Great-Lakes-Areals. Gutachten der Arbeitsgruppe Bodenseeuer (AGBU) e.V. für die Stadt Konstanz, Konstanz, 56 pp.*
- *Dienst, M., Strang, I. & Schmieder K., 2012: Die Wasserpflanzen des Bodensee-Untersees im Wandel der letzten 100 Jahre. – Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft, Band 66, 111–153.*
- *Drexler, A. M., 1980: Umweltpolitik am Bodensee Baden-Württemberg. Regionalpolitik, Gewässerschutz, Verkehrsplanung, Landschaftspflege und Naturschutz. – Neinhaus-Verlag, Konstanz, 301 pp.*
- *Eckmann, R., 1989: Limnological Institute (Walter-Schlienz-Institute) University of Constance. In: «Limnology in the Federal Republic of Germany», W. Lampert (Hrsg.), 66–68. – Plön.*
- *Einsele, W., 1936: Über die Beziehungen des Eisenkreislaufs zum Phosphatkreislauf im eutrophen See. – Archiv für Hydrobiologie, Band 29: 664–686.*
- *Einsle, U., 1973: Stellungnahme des Naturschutzes zur geplanten Regulierung des Bodensees. In: «Rhein-Bodensee. Regulierwehr, Neckarstollen, Hochrheinschifffahrt» – Aktionskomitee für die Rhein-Bodensee-Initiative (Hrsg.), 9–10. – Broschüre, Schaffhausen.*
- *Elster, H.-J., 1961: Einige Beobachtungen über die Sichttiefen im Bodensee (Ober- und Untersee) während der Jahre 1932 bis 1935. – Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie, Band 46, 43–50.*
- *Elster, H.-J. & Einsele, W., 1938: Beiträge zur Kenntnis der Hydrographie des Untersees (Bodensee). – Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie, Band 36, 241–284.*
- *Elster, H.-J. & Gessner F., 1935: Die chemische und biologische Sommerschichtung im Bodensee (Ober- und Untersee). – Limnologische Produktions-Vorstudien, Band 1. – Adler-Verlag, Greifswald, 22 pp.*
- *Fenner, A., 1996: Radolfzell 1880–1930. Bildgeschichten aus der Stadt am Untersee. – Dold-Verlag (Hegau-Bibliothek, Band 100), Vöhrnbach, 148 pp.*
- *Friedl, R., 2004: Geschichte der Kanalisation und der Abwasserreinigung der Stadt St. Gallen. – St. Gallen, 164 pp.*
- *Frenzel, P., 1983: Eutrophierung und Zoobenthos im Bodensee – mit besonderer Berücksichtigung der litoralen Lebensgemeinschaften. – Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie, Band 10, 375–391.*

- Gams, H., 1925: Wasserpflanzen als Indikatoren. – Fischerei Zeitschrift, Band 28 (43), 914–918.
- Glück, H., 1905–1924: Biologische und morphologische Untersuchungen über Wasser- und Sumpfgewächse. – Teil 1: Die Lebensgeschichte der europäischen Alismaceen (1905), XXIV, 312 pp.; Teil 2: Untersuchungen über die mitteleuropäischen Utricularia-Arten, über die Turionenbildung bei Wasserpflanzen, sowie über Ceratophyllum (1906), XVII, 256 pp.; Teil 3: Die Uferflora (1911), XXXIV, 644 pp.; Teil 4: Untergetauchte und Schwimmblattflora (1924), VIII, 746 pp. – Fischer, Jena.
- Grim, J., 1951: Ein Vergleich der Produktionsleistung des Bodensee-Untersees, des Obersees und des Schleinsees. – Abhandlungen aus der Fischerei N. F., Band 4, 787–841.
- Grim, J., 1976: Die «alte Rheinmühle» in Konstanz und ihre Wirkung als Regulierwehr. – Schriften des Vereins für Geschichte des Bodensees und seiner Umgebung, Band 94, 129–137.
- Historische Kommission bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften (Hrsg.), 1972: Deutsche Biographie, Band 9, 602–603 (bearb. von Walter Bleines).
- Holmberg, O. R. & Naumann, E., 1927: Die Trophie-Begriffe in sprachlicher Hinsicht. – Botaniska Notiser, Jahrgang 1927, 211–214.
- Honsell, M., 1879: Der Bodensee und die Tieferlegung seiner Hochwasserstände. Eine hydrologische Studie auf Grund der Verhandlungen der Internationalen technischen Commission für die Regulierung der Bodensee-Wasserstände von 1873–1878 mit einem Atlas von 11 Tafeln. – K. Wittwer, Stuttgart, Textband 192 pp. + Tafelband mit 11 Tafeln.
- Hutchinson, G. E., 1969: Eutrophication, past and present. In: «Eutrophication: causes, consequences, correctives», G. A. Rohlich (Hrsg.), 17–26. – National Academy of Sciences, Washington D.C.
- IGKB (Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee), 1963: Zustand und neuere Entwicklung des Bodensees. – Bericht der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee Nr. 1, 20 pp., Abb. und Tab. im Anhang.
- IGKB (Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee), 2004: Der Bodensee. Zustand – Fakten – Perspektiven. – Eigenverlag, Bregenz, 176 pp.
- IGKB (Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee), 2011: Limnologischer Zustand des Bodensees. – Bericht der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee, Nr. 38, 81 pp.
- Innenministerium Baden-Württemberg, 1953: Denkschrift über die Reinhaltung des Bodensees. – Stuttgart, 18 pp. u. 17 Karten.
- Innenministerium Baden-Württemberg, 1962: Denkschrift über den Ausbau des Hochrheins zur Grossschiffahrtsstrasse und die Reinhaltung des Bodensees. – Stuttgart, Teil 1: 32 pp. mit 10 Anl., Teil 2: 27 pp. mit 8 Anlagen.
- Institut für Seenforschung und Seenbewirtschaftung e.V. (Hrsg.), 1950: 30 Jahre Institut für Seenforschung und Seenbewirtschaftung Langenargen. – Broschüre, Langenargen, 35 pp.
- Jaag, O., 1949: Die neuere Entwicklung und der heutige Zustand der Schweizer Seen. – Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie, Band 10, 192–209.

- *Jöhnk, K., Straile, D. & Ostendorp, W., 2004*: Water level variability and trends in Lake Constance in the light of the 1999 centennial flood. – *Limnologica*, Band 34, 15–21.
- *Kiefer, F., 1959*: Verschmutzung des Bodensees und die Grossschiffahrt. – Vortrag, gehalten bei der Tagung der Kreisstelle für Naturschutz und Landschaftspflege des Landkreises Konstanz am 4. Juni 1959 in Radolfzell – Broschüre, o. O., 20 pp.
- *Kiefer, F. & Lehn, H., 1979*: 60 Jahre Seenforschung in Konstanz. – Broschüre, Konstanz, 37 pp.
- *Kleiner, K., 1925*: Die Konstanzer Rheinbrücke einst und jetzt. In: «Konstanz – seine baugeschichtliche und verkehrswirtschaftliche Entwicklung (Festschrift 1875–1925)», *Architekten- und Ingenieurverein Konstanz* (Hrsg.), 123–130. – Konstanz.
- *Klett, R., 1989*: Für einen sauberen Bodensee. Von der Kloake zur Kläranlage. – Konstanz, 60 pp.
- *Kobelt, K., 1926*: Die Regulierung des Bodensees: Hochwasserschutz, Kraftnutzung und Schiffahrt. – Mitteilungen des Amtes für Wasserwirtschaft, Band 20 (hg. vom Eidgenössischen Amt für Wasserwirtschaft), – Bern, 88 pp., 43 Taf., Ill., Kt.
- *Kolkwitz, R. & Marsson, M., 1902*: Grundsätze für die biologische Beurteilung des Wassers nach seiner Flora und Fauna. – Mitteilungen der königlichen Prüfanstalt für Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung, Band 1, 33–72.
- *König, H., ca. 1991*: o. Titel «Brief an den Oberbürgermeister der Stadt Singen» o. Datum. – Stadtarchiv Singen, Broschürensammlung 3/3, 5 pp.
- *Kramer, W., 2008*: Lastschiffe in den Bodensee und bis Schwackenreute – Der geplante Ausbau des Hochrheins und die Kanalprojekte im Hegau. – Hegau, Band 65, 171–190.
- *Lang, G., 1973*: Die Makrophytenvegetation in der Uferzone des Bodensees. – Bericht der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee, Nr. 12, 67 pp.
- *Lang, G., 1981*: Die submersen Makrophyten des Bodensees – 1978 im Vergleich mit 1967. – Berichte der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee, Nr. 26, 64 pp.
- *Lange, J., 2002*: Zur Geschichte des Gewässerschutzes am Ober- und Hochrhein. – Eine Fallstudie zur Umwelt- und Biologiegeschichte. – Dissertation an der Fakultät für Biologie der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 348 pp. (download <http://www.freidok.uni-freiburg.de/volltexte/635/pdf/dissjoerglange.pdf>).
- *Lauterborn, R., 1910*: Die Vegetation des Oberrheins. – Verhandlungen des Naturhistorisch-Medizinischen Vereins zu Heidelberg N. F., Band 10, 4. Heft, 450–502.
- *Lauterborn, R., 1919*: Bedeutung und Aufgabe einer Biologischen Station am Bodensee. – Allgemeine Fischerei-Zeitung, Band 44, 233–236 (Abdruck einer gleichnamigen im Herbst 1918 erschienenen Denkschrift).
- *Lauterborn, R., 1945/2009*: 50 Jahre Rheinforschung – Lebensgang und Schaffen eines deutschen Naturforschers. Aus dem Nachlass herausgegeben von J. Lange, im Auftrag von RegioWasser e. V., Freiburg. – Lavori-Verlag, Freiburg i. Br., 815 pp.

- *LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser), 1999: Gewässerbewertung – stehende Gewässer. Vorläufige Richtlinie für eine Erstbewertung von natürlich entstandenen Seen nach trophischen Kriterien. – Kulturbuch-Verlag, Berlin, 74 pp.*
- *Lehn, H., 1962: Zur Sichttiefen-Minderung im Bodensee seit 1920. – Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie, Band 47, 523–532.*
- *Lundbeck, J., 1936: Untersuchungen über die Bodenbesiedlung der Alpenrandseen. – Archiv für Hydrobiologie, Supplement, Band 10, 207–358.*
- *Mach, N., 1968: Öffentliche Wasserversorgung und öffentliches Abwasserwesen in Baden-Württemberg. – Jahrbücher für Statistik und Landeskunde Baden-Württemberg, Jg. 13, 5–34.*
- *Mach, N., 1973: Die wasserwirtschaftliche Situation im baden-württembergischen Einzugsgebiet des Bodensees. – Jahrbücher für Statistik und Landeskunde von Baden-Württemberg, Jg. 18, Heft 2, 5–31.*
- *Magnin, A., 1895: Les lacs du Jura: No. 2. Végétation des lacs du Jura suisse. – Verlag H. Georg, Lyon/Paris, 23 pp.*
- *Mainberger, M. & Schnyder, M., 2009: Neue urgeschichtliche Dörfer im Ausfluss des Bodensees. – Archäologie Schweiz, Band 32, 14–21.*
- *Märki, E., 1949: Die Limnologie der schweizerischen Seen und Flüsse. – Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie, Band 11, 650–707.*
- *Mattern, H., 1970: Beobachtungen über die Algenflora im Uferbereich des Bodensees (Überlinger See und Gnadensee). – Archiv für Hydrobiologie Supplement, Band 37, 1–163.*
- *Mauz, J., 1959: Phosphate, eine Gefahrenquelle für den Gütezustand unserer Seen und Flüsse. Fette – Seifen – Anstrichmittel, Band 61, 786–789.*
- *Mehlhorn, H. & Geckeler, A., 2005: 50 Jahre Bodensee-Wasserversorgung. Ein hervorragendes Beispiel für kommunale Zusammenarbeit und Solidarität. – Gas- und Wasserfach, Wasser – Abwasser, Band 146, 26–32.*
- *Melzer, A., Harlacher, R., Held, K., Sirch, R. & Vogt, S., 1986: Die Makrophytenvegetation des Chiemsees. – Informationsberichte des Bayerischen Landesamts für Wasserwirtschaft, Band 4, 210 pp.*
- *Muckle, R., 1963: Der Gnadensee in der Sicht neuerer seenkundlicher Forschung. – Allensbacher Almanach, Jg. 13, 8–12.*
- *N. N., 1969: Bekenntnis zum Rhein! Volkskundgebung gegen ein Bodenseeregulierwehr bei Hemishofen. – Natur und Mensch, Jg. 1969, Heft 3, 101–105, Heft 4, 191–196.*
- *Nümann, W., 1937: Über die Verbreitung des Rheinwassers im Bodensee. – Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie, Band 36, 501–530.*
- *Ostendorp, W., 2005: Von Brüssel nach Bregenz – Die Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie zwischen Europäischer Kommission und Alpenrhein. – Schriften des Vereins für Geschichte des Bodensees und seiner Umgebung, Band 123, 217–255.*
- *Ostendorp, W. & Dienst, M., 2009: Vegetationsdynamik im NSG «Wollmatinger Ried-Untersee-Gnadensee» (Bodensee-Untersee) unter dem Einfluss von hydrologischen Extremereignissen. – Carolinea, Band 67, 93–107.*

- *Ostendorp, W. & Dienst, M., 2012:* Geschichte der Seeuferröhrichte in der Grenzzone des Bodensee-Untersees. – Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft, Band 66, 155–197.
- *Ostendorp, W., Brem, H.-J., Dienst, M., Jöhnk, K., Mainberger, M., Peintinger, M., Rey, P., Rossknecht, H., Schlichtherle, H., Straile, D. & Strang, I., 2007:* Auswirkungen des globalen Klimawandels auf den Bodensee. – Schriften des Vereins für Geschichte des Bodensees und seiner Umgebung, Band 125, 199–244.
- *Reavell, P. & Frenzel, P., 1981:* The structure and some recent changes of the zoobenthic community in the Ermatinger Becken, a shallow littoral part of Lake Constance. – Archiv für Hydrobiologie, Band 92, 44–52.
- *Rossknecht, H., 2006:* Zur limnologischen Entwicklung des Bodensee-Untersees von 1969–2005. – Bericht der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee, Nr. 57, 17 pp.
- *Schaumburg, J., Schranz, C., Stelzer, D., Vogel, A., Gutowski, A., 2012:* Weiterentwicklung biologischer Untersuchungsverfahren zur kohärenten Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie. Teilvorhaben Makrophyten & Phytobenthos. – Endbericht für das Umweltbundesamt (Berlin), Augsburg/Wielenbach, 550 pp.
- *Schick, R., Petri, M., Meyer, J. & Evers, D., 2009:* Von der Versuchsfilterstation zum akkreditierten Betriebs- und Forschungslabor. – Wissendurst, Jg. 2009, Heft 4, 16–27. Hg. vom Zweckverband Bodensee-Wasserversorgung, Stuttgart.
- *Schläfli, A., 1973:* Ökologische Probleme im Zusammenhang mit der Bodenseeregulierung. In: «Rhein-Bodensee. Regulierwehr, Neckarstollen, Hochrheinschiffahrt», *Aktionskomitee für die Rhein-Bodensee-Initiative* (Hrsg.) – Broschüre, Schaffhausen, 16–17.
- *Schmieder, K., 1998:* Submerse Makrophyten der Litoralzone des Bodensees 1993 im Vergleich mit 1978 und 1967. – Bericht der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee, Nr. 46, 169 pp.
- *Schmidhauser, A., 1999:* Entwicklung und Aktivitäten wichtiger Naturschutzorganisationen von gesamtschweizerischer Bedeutung: von ihren Anfängen bis zur Verabschiedung des Waldgesetzes 1991. – Grundlagen und Materialien Band 99/2, 101 pp., hg. vom Dep. Forstwissenschaften der ETH Zürich.
- *Schröder, R., 1974:* Strömungsverhältnisse im Bodensee-Untersee und der Wasseraustausch zwischen den einzelnen Seebecken. – Bericht der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee, Nr. 15, 24 pp.
- *Schröder, R., 1981:* Die Veränderungen der submersen Makrophytenvegetation des Bodensees in ausgewählten Testflächen in den Jahren 1967–1978. – Bericht der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee, Nr. 27, 116 pp.
- *Schröter, C. & Kirchner, O., 1896, 1902:* Die Vegetation des Bodensees. (Bodenseeforschungen IX. Abschnitt). – Schriften des Vereins für Geschichte des Bodensee und seiner Umgebung, Lindau, Bände 25 (1896), 122 pp. und 31 (1902), 86 pp.
- *Schücking, L. L., 1958:* Englische Gedichte aus sieben Jahrhunderten. Englisch-Deutsch. – 2. Aufl., Dieterich'sche Verlagsbuchhandlung, Leipzig, 391 pp.

- *Schwoerbel, J. & Brendelberger, H., 2005: Einführung in die Limnologie.* – Spektrum Akademischer Verlag, München, 340 pp.
- *Specker, L. 1993, 1995: Die grosse Heimsuchung. Das Hungerjahr 1816/17 in der Ostschweiz.* – 2 Bände, Historisches Museum St. Gallen (Hrsg.), 1. Teil, Neujahrsblatt No. 133, 1993, 87 pp., 2. Teil Neujahrsblatt 135, 1995, 119 pp.
- *Stabel, H.-H., 2005: Kontrolle des Konstanzer Trinkwassers – Verbraucherschutz vom Kaiserreich bis 1945.* – In: «100 Jahre städtische Trinkwasserversorgung in Konstanz», *Stadtwerke Konstanz* (Hrsg.), 64–77.
- *Steiner, R., 2005: Der Ausbau des Hochrheins zur Schifffahrtsstrasse. Die Geschichte eines gescheiterten Grossprojekts.* – Dissertation an der Philosophischen Fakultät der Universität Mannheim, 523 pp. u. Anhang.
- *Strang I., Dienst M. & Peintinger M., 2012: Die Entwicklung der Strandrasen am Unterseeufer in den letzten 100 Jahren.* – Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft, Band 66, 199–223.
- *Tanguy, J.-C., Ribière, C., Scarth, A., Tjetjep, W. S., 1998: Victims from volcanic eruptions: a revised database.* – Bulletin of Volcanology, Band 60, 137–144.
- *Thienemann, A., 1928: Der Sauerstoff im eutrophen und oligotrophen See.* – Die Binnengewässer, E. Schweitzerbart, Stuttgart, Band 4, 175 pp.
- *Wagner, G. & Wohlland, H., 1976: Simulationsmodelle der Seeneutrophierung, dargestellt am Beispiel des Bodensee-Obersees – Teil I: Die in Simulationsmodellen verwendeten Daten vom Bodensee-Obersee.* – Archiv für Hydrobiologie, Band 77, 431–457.
- *Weber, C. A., 1907: Aufbau und Vegetation der Moore Norddeutschlands.* – Botanisches Jahrbuch, Band 40, Beilage 90, 19–34.
- *Welch, P. S., 1935: Limnology.* – McGraw-Hill Publ., London, 471 pp.
- *Widmann, E., 1925: Wasserversorgung im Bodenseegebiet. Seeleitungen.* – In: «Konstanz – seine baugeschichtliche und verkehrswirtschaftliche Entwicklung», *Architekten- und Ingenieur-Verein Konstanz* (Hrsg.), 167–191.
- *Zeppelin, E., 1893: Vorwort.* – In: Bodensee-Forschungen aus Anlass der Herstellung der neuen Bodenseekarte durch die hohen Regierungen der fünf Uferstaaten. – Schriften des Vereins für Geschichte des Bodensees und seiner Umgebung, Band 22, pp. III–IV.

Adresse des Autors:

Priv. Doz. Dr. Wolfgang Ostendorp
Arbeitsgruppe Bodenseeufer (AGBU) e.V. und
Limnologisches Institut
der Universität Konstanz
D-78457 Konstanz
wolfgang.ostendorp@uni-konstanz.de

