

Auswirkung des Klimawandels auf die Bodenseeregion

Maturaarbeit von Daniel Born
Vorgelegt bei Patrick Stäheli
Eingereicht am 24.01.2008

Kantonsschule am Burggraben

INHALTSVERZEICHNIS

I. Vorbemerkungen.....	1
1. Einführung.....	1
1.1 Themenwahl.....	1
1.2 Voraussetzungen.....	1
1.3 Leitfragen.....	2
1.4 Vorgehen.....	3
II. Hydrologie des Bodensees, Vorstellung der Bioindikatoren, Ergebnisse der Erhebungen.....	3
1. Das Weltklima, die Situation des Bodensees und Auffälligkeiten bei verschiedenen Bioindikatoren.....	3
1.1 Klimawandel weltweit – Einfluss auf die Bodenseeregion.....	3
1.1.1 Hydrologie des Bodensees.....	5
1.2 Auswahl der zu untersuchenden Bioindikatoren.....	6
1.2.1 Bedeutung des Strandrasens.....	6
1.2.2 Spontanes Rohrkolben- Vorkommen.....	8
1.2.3 Zugvögel in der Bodenseeregion.....	9
1.2.4 Brutphänologie in der Bodenseeregion.....	10
1.2.5 Bedeutung der Fauna im Bodensee: Fische und Neozoen.....	11
2. Erhebung von Beobachtungsdaten verschiedener Pegelstände und der zu untersuchenden Bioindikatoren.....	12
2.1 Beobachtung des Seespiegeltrends sowie Extremwasserstände.....	12
2.2 Veränderungen bei der Ufervegetation.....	16
2.2.1 Strandrasen- Monitoring an vier Fundorten am Thurgauer Bodenseeufer.....	16
2.2.2 Kartierung neuer Rohrkolben- Bestände auf der Insel Reichenau.....	24
2.3 Verhaltensänderungen bei Vögeln in der Bodenseeregion.....	26
2.3.1 Untersuchung von Veränderungen der Erstankunftszeiten häufiger Zugvögel.....	26
2.3.2 Abweichungen in der Brutbiologie bei bestimmten Vogelarten.....	28
2.4. Reaktionen der Fauna des Bodensees am Beispiel der Fische und Neozoen.....	32
2.4.1 Beobachtungen bei Fischen.....	32
2.4.2 Entdeckung wirbelloser Neozoen.....	39
III. Folgerungen aus den gewonnenen Resultaten und Ausblicke.....	41
3. Interpretation der Ergebnisse über wechselnde Pegelstände und zu den Erhebungen der verschiedenen Bioindikatoren.....	41
3.1 Konsequenzen aus den beobachteten Pegeltrends und Extremwässern..	41
3.2.1 Schlüsse aus den Veränderungen beim Strandrasen.....	42
3.2.2 Schlussfolgerungen und Prognose für den Pionier „Rohrkolben“.....	43
3.3.1 Fazit aus den Veränderungen in der Zugphänologie.....	44
3.3.2 Folgerungen aus der veränderten Brutphänologie.....	44
3.4.1 Resultierende Folgen für die Fischpopulation und Fischerei.....	44
3.4.2 Folgen aus der Etablierung von Neozoen.....	45
4. Schlussfolgerungen und der Versuch einer Prognose.....	45
5. Nachwort.....	46
IV. Literaturverzeichnis.....	48
V Anhang	

Anlage A	Wasserstandsbewegungen 1999 – 2007.....	I
Anlage B	Monitoring der Thurgauer Strandrasen im Jahr 2006.....	V
	1. Tabelle Bestandserhebung Strandrasenarten.....	VI
	2. Erklärung nachfolgender Mikrokartierungskarten.....	VI
	3. Ergebnisse Mikrokartierung.....	VII
	3.1 Münsterlingen.....	VII
	3.2 Güttingen-West (Soor).....	XI
	3.3 Güttingen-Ost (Moosburg).....	XIII
	3.4 Mammern (Klinik).....	XIV
Anlage C	Monitoring Bodensee-Vergissmeinnicht bei Hegne.....	XVII
	1. Tabelle Bestandserhebung Hegne 1983 – 2007.....	XVIII
	2. Raum- zeitliche Entwicklung der Bestände.....	IX
	3. Flächengraphik.....	XX
Anlage D	Bestandserhebung Rohrkolben Ufer Reichenau 2007.....	XXI
	1. Übersicht Insel Reichenau.....	XXII
	2. Kartierung Rohrkolben.....	XXXIII
	2.1 Kartierung A.....	XXXIII
	2.2 Kartierung B.....	XXIV
	2.3 Kartierung C.....	XXV
	2.4 Kartierung D.....	XXVI
	2.5 Kartierung E.....	XXVII
	2.6 Kartierung F.....	XXVIII
	2.7 Kartierung G.....	XXIX
	3. Erhebungsdaten.....	XXX
	3.1 Legende zum Erhebungsbogen.....	XXXI
	4. Quantitative Auswertung.....	XXXII
	5. Auswertung der Bestände (Graphische Darstellung).....	XXXIII
	5.1 Rohrkolben.....	XXXIII
	5.2 Quellgras (Begleitart).....	XXXIV
	5.3 Rohrglanzgras (Begleitart).....	XXXV
Anlage E	Erstankünfte häufiger Zugvogelarten.....	XXXVI
	1. Übersicht der Beobachtungsorte.....	XXXVII
	2. Beobachtungsdaten 1987 – 2003.....	XXXVIII
	3. Beispiele für die Verfrühung der Erstankünfte.....	XLII
	4. Steigung der Regressionsgeraden.....	XLIII
Anlage F	Untersuchung des Legebeginns bestimmter Vögel.....	XLIV
	1. Übersicht der untersuchten Arten und Datensätze.....	XLV
	2. Ergebnisse der Kovarianzanalysen.....	XLVI
	3. Zeitlicher Trend.....	XLVIII
	3.1 Legebeginn Halsschnäpper und Blaumeise.....	XLVIII
	3.2 Gelegegrösse und Schlüpfertag: Halsbandschnäpper..	XLIX
	4. Autokorrelationsdiagramm des Halsbandschnäppers.....	L

Kurzzusammenfassung

Bestätigung der Eigentätigkeit

I. Vorbemerkungen

1. Einführung

1.1 Themenwahl

Bereits einige Zeit vor der entgeltigen Wahl des Themas für meine Maturaarbeit überlegte ich, welche interessante Aufgabe ich mir stellen könnte. Der warme Winter 2006 und der ständig in allen Medien angesprochene Klimawandel brachten mich auf die Idee, diesbezügliche Auswirkungen auf die Schweiz und daraus entstehende Folgen für die Gletscher zu untersuchen. Aber leider waren diese Veränderungen genau ein Jahr zuvor an unserer Schule erforscht worden. Die Problematik der Klimaveränderung faszinierte mich jedoch zu sehr, um sie einfach aufzugeben. In Gedanken ging ich verschiedenste Möglichkeiten durch, wo und wie sich, durch das neue Klima bedingt, Veränderungen erforschen bzw. auch durch wissenschaftliche Beobachtungen bestätigen liessen. Es musste ein Gebiet sein, das sehr sensibel auf Abweichungen in Bezug auf Temperatur reagierte sowie auf schwankende Niederschlagsmengen. Die geographische Nähe St. Gallens zum Bodensee brachte mich auf die Idee für meine Maturaarbeit: Ich wollte die **Auswirkungen des Klimawandels auf die Bodenseeregion** untersuchen und zwar in Bezug auf die verschiedenen **Pegelstände** sowie auf **bestimmte Bioindikatoren**.

1.2 Voraussetzungen

Um sicher zu sein, meine Vorstellungen auch tatsächlich verwirklichen zu können und an entsprechende Beobachtungsdaten zu gelangen, setzte ich mich mit diversen Fachgruppen und Fachpersonen in Verbindung, wie z.B. dem Bundesamt für Umwelt – Abteilung Hydrologie, Fischereivereinen sowie Biologen und Ornithologen verschiedener Arbeitsgemeinschaften am Bodensee. Schon bald zeigte sich, dass die massgeblichen Forschungsprojekte in Deutschland zu suchen waren. So hatte das Amt für Umwelt des Kantons Thurgau, Frauenfeld, die AGBU¹ in Konstanz 2006 mit einem Monitoring² der gefährdeten Strandrasen³ am Thurgauer Bodenseeufer beauftragt. Herr M. Dienst, der zu jenem Zeitpunkt für diese Untersuchungen verantwortliche Biologe, erklärte sich spontan bereit, mich bei meinem Projekt zu unterstützen und bot mir auch auf meine Anfrage hin

¹ AGBU: Arbeitsgruppe Bodenseeufer: Zusammenschluss von Wissenschaftler/innen und Ingenieuren aus unterschiedlichen Fachdisziplinen zur Förderung der anwendungsorientierten Erforschung der Bodensee-Ufer, Sitz in Konstanz. Erster Vorsitzender: Michael Dienst, Diplom-Biologe: Kontaktperson

² Monitoring: Beobachtung und Dokumentation eines Vorgangs über einen bestimmten Zeitraum

³ Strandrasen: Bestimmte Ufervegetation: z.B. Bodenseevergissmeinnicht, Strand-Schmiele, Strandling, Ufer-Hahnenfuss

an, Feldarbeiten durchführen zu dürfen. Somit war es mir möglich, eigene Daten mit bereits bestehenden vergleichen zu können.

Da mich nebst Klimaauswirkungen auf die Ufervegetation auch interessierte, ob sich die milderen Temperaturen ebenfalls auf die Zugvögel im Bodenseeraum auswirkten, wandte ich mich an die Vogelwarte Radolfzell, die bereits Untersuchungen zu Auswirkungen der Klimaänderung auf Vögel vorgenommen hatte. Herr Dr. W. Fiedler, Leiter der Vogelwarte Radolfzell, bot mir per E-Mail an, mich bezüglich Untersuchungsdaten sowie bei Fragen an ihn wenden zu dürfen.

Ein weiteres spannendes Thema schien mir die Tierwelt *im* Bodensee, speziell die Veränderung bei Fischen, zu sein. Über den Schweizerischen Fischereiverband Thurgau gelangte ich schliesslich zur Fischereiforschungsstelle in Langenargen, die, auf Grund ihrer Grösse, am ehesten bereits Untersuchungen bezüglich Veränderungen bei Fischbeständen im Bodensee vorgenommen haben sollte. Näheres darüber konnte ich später durch den Leiter der Forschungsstelle, Herrn Dr. R. Berg, erfahren, der leider zu Beginn meiner Arbeit nicht erreichbar war.

Ebenfalls in Langenargen befindet sich die LUBW⁴. Der Vorsitzende dieses Instituts, Herr Dr. H. Löffler, sicherte mir Versuchsdiagramme über klimatische Auswirkungen auf den Wasserhaushalt des Bodensees zu sowie die Möglichkeit, an vergleichende Pegelstandswerte durch die Pegelstation Bregenz zu gelangen.

Mit diesen Informationen gerüstet wagte ich mich themenweise an meine Recherchen, um meine aufgestellte Hypothese, dass der Klimawandel auch auf die Bodenseeregion Einfluss nimmt, zu belegen.

1.3 Leitfragen

Um das Problem meiner Aufgabenstellung detailliert erfassen und bearbeiten zu können, stellte ich mir Leitfragen, die sich in folgende vier Untergruppen aufteilen:

- **1. Die Pegelstände betreffend:**
 - a) Lassen sich Trends im Mittelwasserspiegel nachweisen?
 - b) Gibt es Trends bei der Eintrittshäufigkeit von Extremereignissen?

- **2. Für die Ufervegetation am Bsp. Strandrasen und Rohrkolben:**
 - a) Welche Veränderungen sind beim Strandrasen erkennbar?
 - b) Welche Beobachtungen gibt es beim Rohrkolben?

- **3. Bezüglich Verhaltensänderungen bei Vögeln:**

⁴ LUBW: Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg – Institut für Seenforschung, Sitz in Langenargen. Sachverständiger: Dr. Herbert Löffler, Diplombiologe; Kontaktperson

- a) Lassen sich bei häufigen Zugvögeln Veränderungen hinsichtlich ihrer Ankunftszeit beobachten?
- b) Sind bei bestimmten Vogelarten Abweichungen in der Brutbiologie feststellbar?
- **4. Veränderungen bezüglich der Tierwelt *im* Bodensee:**
 - a) Welche Auffälligkeiten lassen sich bei Fischen feststellen?
 - b) Gibt es spezielle Beobachtungen bezüglich Neozoen aufgrund des Klimawandels?

1.4 Vorgehen

Mein Projektaufbau gliedert sich in drei Abschnitte.

Der Erste stellt den Bodensee und die einzelnen von mir untersuchten Bioindikatoren vor.

Im Zweiten werden wissenschaftliche Befunde und Erhebungen der beschriebenen Bioindikatoren aufgezeigt sowie vergleichende Daten aus eigenen Feldarbeiten zu einem konkreten Bioindikator (Ufervegetation) dargelegt.

Der dritte Teil gibt Antwort auf die zu meiner These aufgestellten Leitfragen. Er zeigt auf, inwieweit die wissenschaftlichen Befunde und Erhebungen sowie die Aussagen meiner eigenen Daten aus den Feldarbeiten meine These bestätigen oder auch widerlegen.

II. Hydrologie des Bodensees, Vorstellung der Bioindikatoren, Ergebnisse eigener und wissenschaftlicher Erhebungen

1. Das Weltklima, die Situation des Bodensees und Auffälligkeiten bei verschiedenen Bioindikatoren

1.1 Klimawandel weltweit – Einfluss auf die Bodenseeregion

Die immer wieder auftretenden Witterungsextreme machen uns bewusst, dass das Weltklima gegenwärtig einem durchgreifenden Wandel unterliegt. Die IPCC⁵ 2007 zeigte auf, dass eine derartige Veränderung in dieser Geschwindigkeit und in diesem Ausmass seit mindestens tausend Jahren nicht festgestellt werden konnte. So stieg im vergangenen Jh. die mittlere Temperatur der Erde um 0,7 °C an und in den nächsten Jahren wird sie voraussichtlich mit einer Rate von 0,2 °C pro Jahrzehnt weiter steigen. Dabei spielt die globale Zunahme der Treibhausgase, im Speziellen des Kohlendioxids, eine wesentliche Rolle. Einen weiteren Einfluss auf

⁵ IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change, Zwischenstaatliche Sachverständigengruppe über Klimaänderungen. Hauptaufgaben: Beurteilung der Risiken der Globalerwärmung und Vermeidungsstrategien

die Klimaveränderung haben mit Sicherheit auch die Veränderungen im globalen Wasserhaushalt, insbesondere die Zunahme der Wasserdampfsättigung in der Atmosphäre.⁶ Durch die Temperaturzunahme wird voraussichtlich der Wasserkreislauf der Erde intensiviert werden, was aber nicht bedeutet, dass generell mehr Wasser zur Verfügung steht. Bei einem wahrscheinlichen Temperaturanstieg von 2 bis 4 °C bis zum Ende dieses Jhs werden die Anteile der extremen Trockengebiete der Erde von momentan 3 % auf 30 % zunehmen.⁷ Für die Nordschweiz wird der Klimawandel voraussichtlich folgende Auswirkungen haben: Bis zur Mitte dieses Jahrhunderts werden die Winter wärmer und niederschlagsreicher werden, wobei die durchschnittliche Schneegrenze von ehemals 600 m um 1960 auf etwa 1200 m bis 2050 ansteigen und auch der Gletscherschwund weiter zunehmen wird. Die (Spät-) Sommer werden heisser und trockener werden und gleichzeitig wird die Veränderlichkeit der Tagestemperaturen innerhalb eines Jahres zunehmen, wobei auch mit Hitzewellen, wie im Sommer 2003, zu rechnen ist. Tage ohne Niederschlag werden im Sommer genauso zunehmen wie die Häufigkeit, mit der es im Winter zu Starkniederschlägen kommen wird, verbunden mit Extremhochwasser-Abflüssen und Hochwassergefahr.⁸

Klimaszenarien, in denen künftige Entwicklungsoptionen vorweggenommen werden, machen deutlich, dass das Ausmass der Klimaänderungen im 21. Jh. von den anthropogenen Treibhausgasen Methan und Stickoxiden sowie den CO₂-Emissionen abhängt, d.h. dass ihr Ausstoss stark reduziert und dauerhaft niedrig gehalten werden muss. Sie zeigen aber auch, dass der Klimawandel im vor uns liegenden Jahrhundert selbst dann stattfinden wird, wenn es uns gelingt, die Treibhausgasemissionen auf das Niveau von 2000 zu reduzieren. Zwar werden die armen Länder der Erde besonders vom Klimawandel betroffen sein, die Folgen sind jedoch bereits auch bei uns deutlich wahrnehmbar⁹. Einen Vorgeschmack auf diese prognostizierte Entwicklung gaben die Hitzewelle von 2003 und die offensichtliche Zunahme von Extremhochwässern im Bodensee-einzugsgebiet, die zuletzt 1999 und 2005 auftraten. Mit dem Klima werden sich auch die

⁶ Soden, B.J., Jackson, D.L., Ramaswamy, V.: "The radiative signature of upper tropospheric moistening" (2005)

⁷ Burke, E.J., Brown, S.J., Christidis, N.: "Journal of Hydrometeorology 7" (2006)

⁸ North, N., u.a.: „Klimaänderung in der Schweiz. Indikatoren zu Ursachen, Auswirkungen, Massnahmen“. Umwelt-Zustand Nr. 0728. Bundesamt für Umwelt, Bern (2007)

⁹ http://www.bmbf.de/pub/ipcc2007_AG2_kurzfassung_dt.pdf

Wasserstandsverhältnisse und die Lebensbedingungen der aquatischen Biozöosen¹⁰ des Bodensees ändern.¹¹

1.1.1 Hydrologie des Bodensees

Einige Informationen über den Bodensee sollen seine Situation etwas verständlicher machen. Das Bodenseegebiet mit den angrenzenden Ländern Deutschland, Österreich und Schweiz wird in vielfacher Hinsicht vom regionalen Klima und seinen Folgen beeinflusst. Die Zuflussmengen des Bodensees, die grösstenteils aus dem alpinen Einzugsgebiet stammen, sowie deren Abfluss, der Wasserstand des Sees wie auch seine Wasserqualität haben grosse Auswirkungen auf Flora und Fauna der Bodenseeregion.

Der Bodensee liegt am Nordrand der Alpen im Molasse- und Moränenhügelland der letzten Vereisung. Er besitzt eine Fläche von 536 km², wobei der tiefe Obersee 473 km² und der wesentlich flachere Untersee 63 km² misst. Somit ist der Bodensee der grösste nördliche Voralpensee und der drittgrösste See Mitteleuropas. Er ist der einzige grosse Alpensee, dessen Ausfluss nicht wesentlich verändert und der auch nicht staugeregelt wurde. Seine maximale Tiefe beträgt 253 m, die durchschnittliche Tiefe liegt bei 90m. Den größten Teil seines Wassers bezieht der Bodensee aus seinem alpinen Einzugsgebiet über die Zuflüsse Alpenrhein (61,8% des mittl. jährl. Wasservolumens) und Bregenzer Aach (12,6 %), während die Zuflüsse des nördlichen Einzugsgebietes nur 9,4 % ausmachen.¹² Der jährliche Wasserstandsverlauf wird hauptsächlich vom Witterungsverlauf im alpinen Einzugsgebiet bestimmt, das bedeutet, dass der See im Winter, wenn die Niederschläge als Schnee oder Eis liegen bleiben, normalerweise seinen niedrigsten Wasserstand erreicht und seinen jährlichen Höchstwasserstand gegen Ende Juni bzw. Anfang Juli, also dann, wenn die Schnee- und Eismengen abschmelzen. Die Jahresdifferenzen der Wasserstände betragen im Mittel 1,92 Meter. Zwischen einzelnen Jahren können natürlich erhebliche Abweichungen vom Mittelwert auftreten, die statistisch in Form einer sogenannten angepassten Extremwertverteilung beschrieben wird. In Abb.1 sind die Ergebnisse als Jährlichkeiten¹³ angegeben, welche die Grösse der Zeitspanne verdeutlichen, in der statistisch gesehen ein Ereignis mit gegebenem Pegelwert auftritt:

¹⁰ Biozöosen: im Wasser lebende Organismen in einem abgegrenzten Lebensraum

¹¹ Ostendorp, W.: „Geschichte des Bodensees und seiner Umgebung“ (2007)

¹² Luft, G.: „Veränderung der Bodensee-Wasserstände von 1887 bis 1987“ (1990)

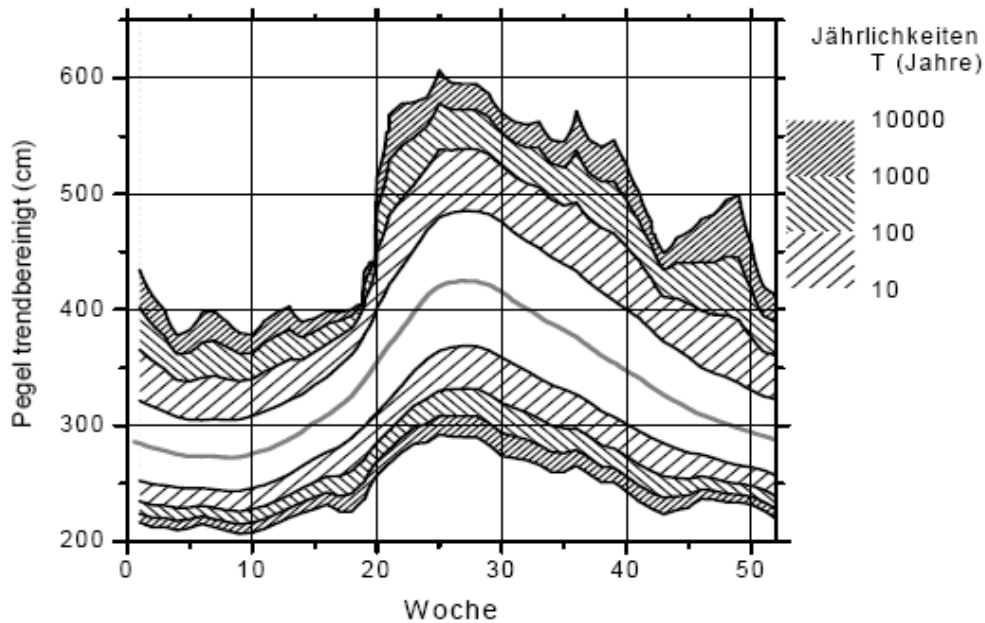


Abb.1: Langjähriger durchschnittl. Jahresgang des Bodensee-Wasserstands (Wochenmittelwerte, Pegel KN) mit Überschreitungs- und Unterschreitungs-Jährlichkeiten¹³ berechnet auf der Basis trendbereinigter¹⁴ Wochen- Mittelwerte (1817 – 2006). Mit dieser Grafik lässt sich für einen geg. trendbereinigten Pegelwert diese Jährlichkeit ablesen – Bsp.: In der 40. Kalenderwoche tritt ein Pegelwert von 400 cm sowie von 300 cm statistisch nur alle 10 Jahre auf (Quelle: AGBU, M. Dienst)

Dieser Wechsel der Jahreswasserstände wirkt sich verständlicherweise in der Uferzone am stärksten auf die Vegetation und die Wirbellosen- und Fischfauna aus. Die durchschnittliche Breite der bei mittlerem Mittelwasserspiegel (MMW) überschwemmten Uferzone liegt bei etwa 260 m. Die im jährlichen Wasserwechselbereich liegende Uferfläche beträgt rund 30,3 km².¹⁵

1.2 Auswahl der zu untersuchenden Bioindikatoren

1.2.1 Bedeutung des Strandrasens

An den Kiesufern des Bodensees haben Pflanzenarten überdauert, die als Eiszeitrelikte gedeutet werden und ihren Verbreitungsschwerpunkt am Bodensee besitzen. Deutschland, Schweiz und Österreich haben damit eine besondere Verantwortung zum Erhalt dieser endemischen¹⁶ Arten. Hierbei handelt es sich um die sogenannte Strandrasen- Gesellschaft, welche seltene Pflanzen wie Bodensee-Vergissmeinnicht, Strandschmiele, Strandling und Ufer-Hahnenfuss beinhalten. Voraussetzung für die Existenz der Strandrasen ist die Tatsache, dass der Bodensee nicht staugeregelt ist. Durch den schwankenden Wasserstand, im Mittel um 2 m pro Jahr, werden die Strandrasen je nach Höhenlage zwischen zwei bis

¹³ Jährlichkeit: Zeitspanne, in der ein Ereignis mit jener Jährlichkeit T statistisch genau einmal auftritt. Bsp.: In einem Zeitraum von 100 Jahren treten 5 Hochwässer mit der Jährlichkeit (\Rightarrow Zeitintervall) 20 auf

¹⁴ trendbereinigt: mittels Messreihen korrigierte Trendanalysen bezeichnet man als „trendbereinigt“

¹⁵ Ostendorp, W.: „Geschichte des Bodensees und seiner Umgebung“ (2007)

¹⁶ endemische Arten: Pflanzen, die nur in einer bestimmten, klar definierten Umgebung vorkommen.

sechs Monate pro Jahr überschwemmt, bevorzugt zwischen Mai und September. Die Besiedlung des Überschwemmungsufers erfordert spezielle Anpassungen dieser Arten, dazu gehören z.B. die Möglichkeit von Photosynthese unter Wasser, Kleinwüchsigkeit sowie häufig vegetative¹⁷ Fortpflanzung durch Ausläuferbildung.¹⁸ Der Bestand des Strandrasens wurde durch die besonders in den letzten acht Jahren extrem schwankenden Pegelstände des Bodensees stark beeinflusst.

Bodensee-Vergissmeinnicht:

Das „Blaue Band“, das im zeitigen Frühjahr am Bodenseeufer blüht



Ufer-Hahnenfuss:

Zarte Wuchsform, bestens an das Leben im Überschwemmungs-Bereich angepasst, vermehrt sich hauptsächlich über lange Ausläufer



Strand-Schmiele

Süßgras, das in Horsten (Büscheln) im oberen Überschwemmungsbereich wächst, Fähigkeit „lebend zu gebären“, d.h. entwickelt Jungpflanzen im Blütenstand ohne Befruchtung, die nach Rückgang des Hochwassers neben Mutterpflanzen wurzeln oder mit Wind und Wellen verbreitet werden.



Strandling

Kleine, unauffällige Pflanze, mit dem Wegerich verwandt. Sie kann mit ihren rosettenförmig angeordneten Blättern dichte Rasen bilden.



Abb.2 Strandrasen (Quelle: <http://www.bodensee-ufer.de/SR-Faltblatt-final-22.3.06.pdf>, bearbeitet von D. Born)

Um diese Veränderungen aufzuzeigen, führte die AGBU ein Monitoring der Strandrasen am Thurgauer Bodenseeufer und bei Hegne/Konstanz¹⁹ durch, wobei ich im April 2007 bei einer letzten Auszählung teilnehmen durfte.

1.2.2 Spontanes Rohrkolben- Vorkommen

Eine weitere Pflanze, die stark von den Extremwasserständen des Bodensees beeinflusst wurde, ist der Schilfröhricht. Die durch Hochwasser geschädigten

¹⁷ vegetative Vermehrung: eine Form der ungeschlechtlichen Vermehrung

¹⁸ Peintinger, M., Strange, I. & Dienst M.: „Strandrasen-Monitoring“ (2006)

¹⁹ Hegne: Klosterbadeplatz, nahe bei Konstanz gelegen (Nähe Wollmatinger Riet)

Schilfbestände – z.B. durch das Hochwasser 1999 – deren Wiederausbreitung mehrere Jahrzehnte benötigen, schafften Platz für neue Pflanzenarten. So konnte sich z.B. ganz neu der Rohrkolben am Nordostufer der Insel Reichenau ansiedeln. Im Sommer 2006 wurden bei einer Begehung zum ersten Mal kleine Bestände des Rohrkolbens festgestellt. Der Rohrkolben vermehrt sich, wie z. T. auch die Strandrasen, sowohl vegetativ wie aber auch durch Samen, die im weiblichen Kolben haften bleiben und mit ihm schwimmend weggetragen werden. Bei weiter tendenziell eher niedrigem Wasserstand und aufgrund einer gewissen Überflutungstoleranz des Rohrkolbens hat dieser gute Chancen, seinen neuen Standort für längere Zeit zu besiedeln und seine Bestandsfläche wesentlich zu vergrößern.



Abb.3: Rohrkolben
(Quelle: http://rips-uis.lubw.baden-wuerttemberg.de/rips/dienste/docview.php?object_id=0101985&oac=168&ffc=10)

Im Auftrag der AGBU kartierte ich mittels einer Feldbegehung entlang dem nordöstlichen Ufer der Insel Reichenau diese neu aufgefundenen Rohrkolbenbestände des Vorjahres sowie neu aufgetretene Jungpflanzen.

1.2.3 Zugvögel in der Bodenseeregion

Im Zusammenhang mit dem in den letzten Jahrzehnten deutlich erkennbaren Temperaturanstieg beobachteten die Ornithologen der Bodenseeregion auch in der

Phänologie²⁰ des Zugverhaltens von Vögeln vermehrt Veränderungen, d.h. von bestimmten Zugvögeln wurden beispielsweise frühere Ankunftsdaten registriert. Während das Zugverhalten und der Brutbeginn weitgehend durch die Tageslängen gesteuert werden, erfolgt die zeitliche „Feinabstimmung“ jedoch vielfach über die Temperatur. Bei Zugvögeln stellt sich nun die Frage, woher die Vögel im Überwinterungsgebiet wissen, welche Witterung im Brutgebiet herrscht. Bei Kurzstreckenziehern²¹ lässt sich dies dadurch erklären, dass die Klimaentwicklung im Überwinterungsgebiet – für Mitteleuropa das Mittelmeergebiet – ähnlich verläuft wie im Brutgebiet. Zum anderen haben einzelne Populationen von Langstreckenziehern²² auf Grund der wärmeren Witterung ihre Winterquartiere in den letzten zwanzig Jahren vermehrt nach Norden verlagert, z.B. Rauch- und Mehlschwalbe sowie Mauersegler z.T. von Afrika nach Südspanien, Grosse Brachvögel²³ von Südspanien überwintern z.T. am Bodensee.²⁴ Die Vogelwarte Radolfzell stellte sich daher die Aufgabe, die Auswirkung veränderter Klimafaktoren auf das Zugverhalten von Vögeln in der Bodenseeregion zu untersuchen.

²⁰ Phänologie (griech. = Lehre von Erscheinungen): befasst sich mit den im Jahresverlauf periodisch wiederkehrenden Entwicklungserscheinungen in der Natur

²¹ Kurzstreckenzieher: Ihre Winterquartiere sind selten weiter als 2000 km vom Brutgebiet entfernt. Nordeuropäische Brutvögel überwintern oft an der Atlantikküste, in GB oder in Mitteleuropa, mitteleuropäische meist im Mittelmeerraum. Das Mittelmeer wird selten überflogen, die Sahara in der Regel nicht überquert.

²² Langstreckenzieher: Zugvögel, auch Fern- oder Weistreckenzieher, Brutgebiete in der Regel über 4000 km von den Überwinterungsgebieten entfernt. Europäischen Langstreckenzieher überqueren Alpen, Mittelmeer, Sahara. Die Überwinterungsgebiete bis in die gemässigten Zonen Südafrikas, fliegen meistens nachts – Thermiksegler (Höhengewinn durch „Thermiklifte“ nur während dem Tag) ausgenommen.

²³ Grosse Brachvögel: sie besitzen charakteristischen langen, schmalen, abwärts gebogenen Schnabel, ernähren sich hauptsächlich von Insekten, Würmern und anderen Wirbellosen sowie Beeren, überwintern als Kurzstreckenzieher v.a. in West- und Mitteleuropa.

²⁴ Møller, A.P., Fiedler, W., Berthold, P.: „Birds and Climate Change“ Academic Press (2004)

2 Beispiele für „Langstreckenzieher“, beobachtet von der Vogelwarte Radolfzell:

Mehlschwalben



Größe: 12,5 cm
Gewicht: 15 bis 21 g
Nahrung: Fluginsekten – in Mitteleuropa im Winter nicht vorhanden → Mehlschwalben in kalter Jahreszeit im tropischen Afrika.

Mauersegler



Größe: 17 cm
Gewicht: 38 bis 45 g
Nahrung: ausschliesslich Fluginsekten → während kalter Jahreszeit im Süden – Abzug ins Winterquartier oft bereits im August

Abb.4 (Quelle: <http://www.wildvogelhilfe.org/vogelarten/vogelarten.html>, bearbeitet von D. Born)

2 Beispiele für „Kurzstreckenzieher“, beobachtet von der Vogelwarte Radolfzell:

Mönchsgrasmücke



Größe: 13 bis 15 cm
Gewicht: 15 bis 22 g
Nahrung: bevorzugt Insekten aber auch Beeren, ziehen im Herbst nach S- Europa oder N- Afrika, einige nach GB.

Zilpzalp



Grösse: 12 bis 15 cm
Gewicht: 6 bis 9 g
Nahrung: : Insekten wie z.B. Spinnen zieht zwischen Oktober und März in sein Winterquartier am Mittelmeer.

Abb.5 (Quelle: <http://www.wildvogelhilfe.org/vogelarten/vogelarten.html>, bearbeitet von D. Born)

1.2.4 Brutphänologie in der Bodenseeregion

Die Vogelwarte Radolfzell konnte bei etlichen Vogelarten auf Grund des Temperaturanstiegs einen früheren Brutbeginn beobachten. Da die Insekten als wechselwarme Organismen in ihrem Schlupfzeitpunkt und ihren Aktivitäten stark von den höheren Temperaturen profitieren, bedeutet dies gleichzeitig, dass der Brut bereits zu einem früheren Zeitpunkt eine optimale Nahrungsmenge zur Verfügung steht. Das könnte bewirken, dass infolge der Klimaerwärmung langfristig allgemein ein früherer Brutbeginn möglich wird. Dies wiederum würde zu einem verlängerten Brutfenster führen und damit Mehrfach- oder Ersatzbruten ermöglichen, womit schliesslich ein höherer Fortpflanzungserfolg zu verzeichnen wäre. Umgekehrt könnten aber auch Wirkungsketten entkoppelt werden, so z.B., wenn es einem Langstreckenzieher nicht gelingt, seine Ankunftszeit in der Art nach

vorne zu verschieben, damit er der Verfrühung des maximalen Insektenangebotes folgen kann. Die Vogelwarte Radolfzell versuchte aufgrund dieser Überlegungen, Veränderung der Brutbiologie einzelner Vogelarten während der letzten 30 Jahre zu erforschen.

2 Beispiele der von der Vogelwarte Radolfzell beobachteten Brutvögel:

Blaumeise



Grösse: 12 cm, **Gewicht** : 9 bis 12 g
Nahrung: kleine Insekten, Spinnen, Beeren, ölhaltige Samen
Brutpflege: Gelege: 6-13 Eier,
 Brutdauer: 12-16 Tage
 Nestlingsdauer: 15-20 Tage

Halsbandschnäpper

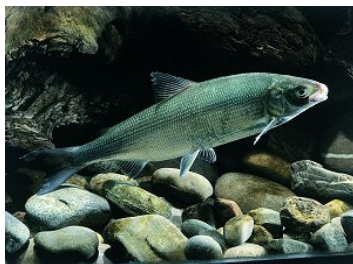


Grösse: 13 cm, **Gewicht:** 9 bis 15 g
Nahrung: fliegende Insekten, Heuschrecken, Käfer, Spinnen
Brutpflege: Gelege: 5-8 Eier
 Brutdauer: 13 Tage
 Nestlingsdauer: 14-18 Tage

Abb.6: (Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Singv%C3%B6gel>, bearbeitet von D. Born)

1.2.5 Bedeutung der Fauna im Bodensee: Fische und Neozoen

Die wärmeren Temperaturen der letzten Jahre hinterliessen bereits ebenfalls Spuren *im* Bodensee. Dies tangierte nicht nur die Fische sondern damit verbunden auch die Fischerei. Das bedeutet, dass klimatische Veränderungen u.U. auf die Fischbestände im Bodensee und somit auch für den bedeutenden Wirtschaftszweig, der Berufsfischerei, merkliche Folgen haben könnten. Andererseits wurde beobachtet, dass freie ökologische Nischen von Neozoen²⁵, wie z.B. der Dreikantmuschel oder dem Höckerflohkrebs, besetzt wurden.



Felchen



Dreikantmuschel



Großer Höckerflohkrebs

Abb.7 (Quelle: durch AGBU → P. Rey, HYDRA- Institut für angewandte Hydrobiologie KN)

²⁵ Neozoen: in neuen Gebieten auftretende Tierarten, die sich dort etabliert haben

2. Erhebung von Beobachtungsdaten verschiedener Pegelstände und der zu untersuchenden Bioindikatoren

2.1 Beobachtung des Seespiegeltrends sowie Extremwasserstände am Bodensee

Der Bodensee besitzt eine der am längsten ununterbrochen geprüften Pegelreihen. Die mittlerweile über 68.000 Tagespegelwerte, die seit Beginn des 19. Jahrhunderts gemessen wurden, können mit den mathematischen Methoden einer Zeitreihenanalyse in zwei Komponenten aufgeteilt werden: Die saisonale Komponente, darunter versteht man den jährlichen Wasserstandsverlauf zwischen dem Niedrigwasser im Winter und dem Hochwasser im Sommer, und die Trendkomponente, die anzeigt, ob sich die jährlichen mittleren Wasserstände wie auch die Niedrig- und Hochwasserstände im Laufe der beiden letzten Jahrhunderte verändert haben. Ausserdem wird eine Extremwertstatistik geführt, die das Risiko, ob voraussichtlich innerhalb einer bestimmten Zeitspanne eine vorher festgelegte Hoch- oder Niedrigwassermarken über- bzw. unterschritten wird, einzuschätzen hilft. Die Ergebnisse werden dann als „Jährlichkeit“¹³ (Eintrittshäufigkeit) angegeben, z.B. als 10-jähriges oder 100-jähriges Ereignis (vergl. auch Abb.1).²⁶ Abb. 8 zeigt die Jährlichkeiten einiger Hochwasserstände. Demzufolge war das Extremhochwasser von 1999 – zusammen mit dem von 1890 – das zweitgrösste nach 1817, d.h. es war fast ein Jahrhundertereignis und ist, rein statistisch gesehen, einmal in 87 Jahren zu erwarten.

Abb.8: Hochwasser-Extremereignisse: Rangfolge und Jährlichkeit (Quelle: AGBU, W. Ostendorp)

Hochwasser		
Jahr	max. Pegel Original, [cm]	Rang Original / trendbereinigt
1817	623	1 / 1
1890	576	2 / 3
1821	568	3 / 5
1999	564	4 / 2
1876	561	5 / 4
1910	557	6 / 6
1926	555	7 / 7
1851	549	8 / 8
1855	548	9 / 11
1849	547	10 / 12

Die zehn grössten Hochwasser- Extrem-Ereignisse am Bodensee (Pegel Konstanz) und ihre Rangfolge (angegeben auf der Basis der Original-Pegelreihe und der trendbereinigten¹⁸ Pegelreihe)

Hochwasser		
Jahr	Pegel (original) [cm]	Jährlichkeit (trendbereinigt)
1817	623	1253
1999	564	87
1890	576	87
1876	561	48
1821	568	36
	493	5
	515	10
	554	50
	566	100
	598	1000

Jährlichkeiten einiger Jahres-Extremwasserstände für trendbereinigte¹⁸ Pegelwerte (Pegel Konstanz)

²⁶ Ostendorp, W.: „Geschichte des Bodensees und seiner Umgebung“ (2007)

Die letzten fünf Zeilen in der rechten Tabelle von Abb.8 geben die zu erwartenden Pegelstände an, deren Ereignisse eine 5- bis 1000- jähriger Wiederkehrperiode besitzen. Um die wechselnden Wasserstandsbewegungen des Bodensees besser vergleichen zu können, werden diese in Diagrammen, den sogenannten Jahres-Wasserstandsganglinien, dargestellt und sind über die Pegelstation Bregenz im Internet abrufbar. Die von mir verglichenen Aufzeichnungen der See- Jahresganglinien zwischen 1999 und 2007 sind in Anlage A aufgeführt. Auf diesen Karten beziehen sich die Wasserstandshöhen auf den Pegel Bregenz. Ansonsten werden die Wasserspiegelhöhen in meiner Arbeit immer in cm am Pegel von Konstanz (cm PK) angegeben. Dieser Hinweis ist deshalb notwendig, da die drei Anrainerländer des Bodensees Deutschland, Österreich und Schweiz unterschiedliche Pegelstands-Angaben machen. Das bedeutet, dass die Pegelstände von Konstanz, Bregenz und Romanshorn Relativmasse sind, die sich auf unterschiedliche Pegelnullpunkte beziehen. Der Landhorizont (= Pegelnullpunkt) von Deutschland bezieht sich auf den Normalwasserstand der Nordsee bei Amsterdam (NN), der von Österreich auf den Normalwasserstand der Adria bei Triest und schliesslich der der Schweiz auf den Normalwasserstand des Mittelmeers bei Marseille. So liegt der Nullpunkt in Konstanz bei 391,89 m ü. NN, was in der Schweiz 392,23 m ü. M. entspricht bzw. 392,14 ü. A. in Bregenz. Der mittlere Mittelwert des Pegels Konstanz liegt bei 337 cm PK (→ 395,26 m ü. NN = 395,60 m ü. M. in der Schweiz), welcher sich auf den Zeitraum 1951-2000 bezieht; der des mittleren Niedrigwassers (MNW) liegt bei 262 cm PK und der des mittleren Hochwassers (MHW) bei 454 cm PK.

Auf den Diagrammen der Pegelstation Bregenz (s. Anlage A) mit den verschiedenen Jahresganglinien (1999 – 2007) sind die Wasserstandsextreme im Vergleich zu den langjährigen Mittelwerten wie aber auch zu deren Minimum- und Maximumwerten zu erkennen. Ganz deutlich sticht das extreme Sommerhochwasser von 1999 heraus. Im Weiteren zeigen die Diagramme von 1999, 2000 und 2001 im Zeitraum März/ April gegenüber dem Mittelwasserspiegel eher frühe und grössere Pegelanstiege an. Ausserdem lassen sich 2002/2003 aussergewöhnlich hohe Winterwasserstände erkennen, wobei zwischen Mitte November und Ende Dezember 2002 fast ein Jahrhundert- Maximumwert erreicht wurde. Die Jahre 2003 bis 2007 zeichnen sich als Niedrigwasserjahre ab. Die niederschlagsarmen Sommer von 2003 und 2006 verursachten wohl die entsprechenden sommerlichen Niederwasserstände. Allgemein auffällig ist die tendenziell deutliche Unterschreitung der Mittelwerte während der Wintermonate ab 2003 – besonders ausgeprägt war dies im Winter 2005/2006. Im

vergangenen Jahr (2007) dauerte das Niedrigwasser sogar bis in den Juni hinein an, wobei Mitte Mai fast der tiefste je gemessene Minimalwert erreicht wurde.

Wasserstandsextreme:

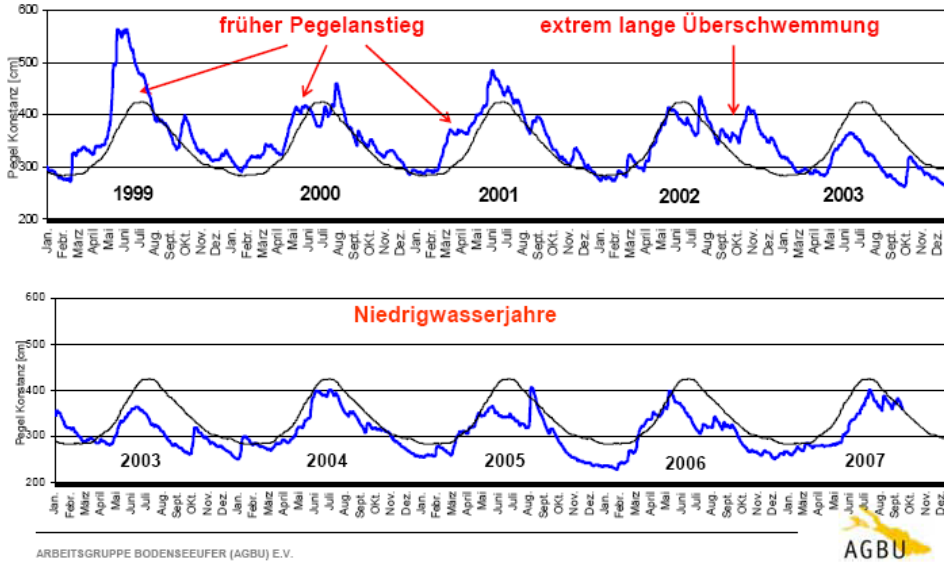


Abb.9: Wasserstandsextreme (Quelle: AGBU, M. Dienst)

Einen Überblick über die oben beschriebenen Beobachtungen gibt Abb.9, die Pegelwerte sind wieder auf Konstanz bezogen. Die schwarze Kurve gibt den über die Jahrhunderte errechneten Mittelwert an, die Minimal- und Maximalkurven fehlen bei den Diagrammen von Konstanz.

Seit 190 Jahre besteht eine Zeitreihe des Konstanzer Pegels. Eine Zerlegung in ihre saisonale und lokale (= zeitlich begrenzter Abschnitt) Trends ergibt folgende Graphik:

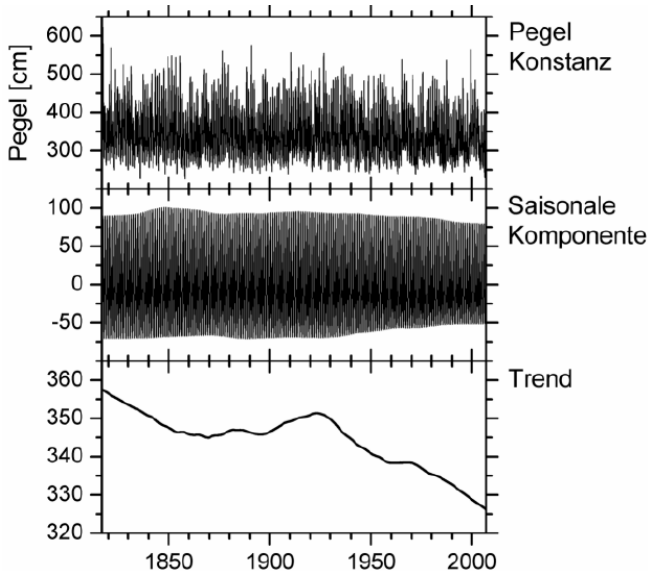


Abb. 10
Alle Tagespegel ab 1817- 2006, stark komprimiert

Darstellung der Verringerung der jeweiligen Schwankungsbreite innerhalb eines Jahres zw. 1817 und 2006: Jeweiliger Tagespegelwert minus zugehöriger (Jahres-)Mittelwert

Kontinuierlich negativer Trend des Jahresmittel-Wasserspiegels ab etwa 1930.

(Quelle: AGBU, W. Ostendorp)

Darauf lässt sich sehr gut erkennen, dass die saisonale Komponente, also die Schwankungen zwischen dem üblichen Sommerhochwasser und dem winterlichen

Niedrigwasserstand, seit etwa 1930 kontinuierlich abnimmt. Das bedeutet, die jährlichen Schwankungen werden immer geringer, sie haben sich im Mittel um etwa 20% reduziert. Der Trend verhält sich dabei in der Art, dass die jährlichen Mittelwasserstände von 1820 bis etwa 1860 abnehmen, bis etwa 1900 konstant bleiben, dann wieder kurzfristig zunehmen und ab etwa 1930 kontinuierlich abzusinken beginnen. Die ausgeprägten Niedrigwasserstände in den letzten Jahren scheinen diese negative Tendenz zu verstärken. Nicht nur die Mittelwasserstände sondern auch die jährlichen Maximal- und Minimalwasserstände nahmen in diesem Zeitraum ab.²⁷

Das nachfolgende Diagramm über die Wasserstandsänderungen während der letzten 100 Jahre, bezogen auf den Obersee, macht diesen Trend nochmals deutlich:

Wasserstandsänderungen 1907- 2007:

Obersee	- Jahresmittel	- 25 cm
	- Sommer	- 50 cm
	- Winter	- 6 cm
	- Amplitude	- 40 cm

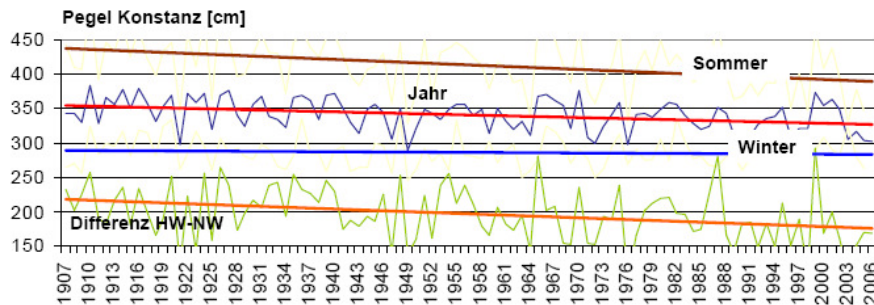


Abb.11a: Wasserstandsänderungen 1907- 2007 (Quelle: AGBU, M. Dienst)

Vergleicht man die Seespiegeltrends mit der Jahresentwicklung der Niederschläge im Winter- und Sommerhalbjahr, erkennt man ein gleichsinniges Verhalten. Damit zeigt sich der Klimatrend als einer der wichtigsten Einflussfaktoren für den Bodenseepegel.

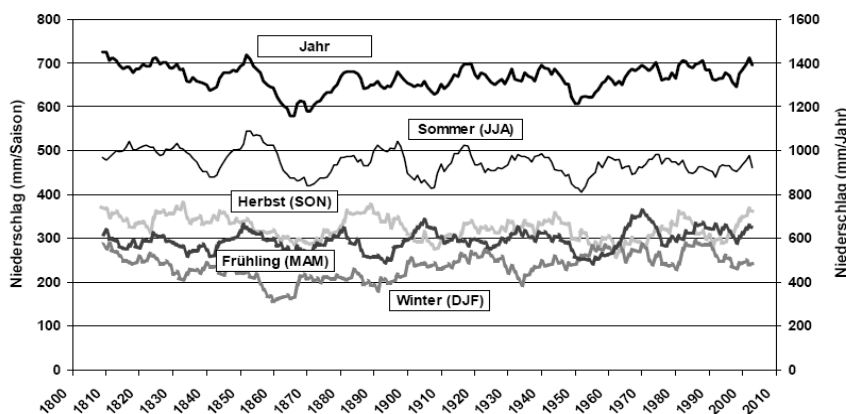


Abb. 11b: Entwickl. der Niederschlagssummen im Bodensee-Einzugsgebiet: (Quelle: W. Ostendorp)

²⁷ Ostendorp, W. & Jöhnk, K.: „Natur und Mensch“ Heft 6, 2003

2.2 Veränderungen bei der Ufervegetation

2.2.1 Strandrasen- Monitoring an vier Fundorten am Thurgauer Bodenseeufer

Die Strandrasen, die auf einem aus Kies mit Sand- und Geröllanteilen bestehendem Untergrund wachsen, besiedeln den Überschwemmungsbereich des Bodenseeufer ungefähr ab der Mittelwasserlinie (337 cm PK) bis 50 cm oberhalb davon. Nachdem die Entwicklung der Strandrasen stark von den Wasserstandsverhältnissen abhängt, blieben die sogenannten Niedrigwasser ab 2003 nicht ohne Folgen. 2006 lag mit nur 78 Tagen die Zahl der Überschwemmungstage über dem mittleren Mittelwasser sogar deutlich unter den beiden davor liegenden Jahren (Abb.12).

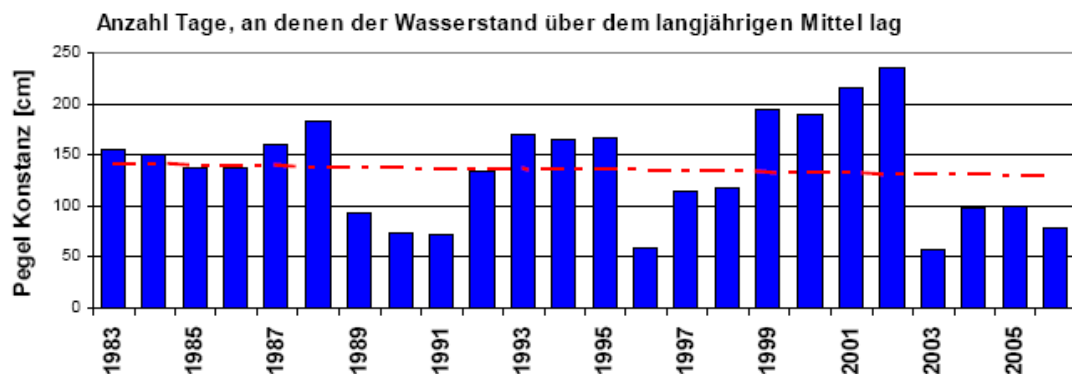


Abb.12 Anzahl der Tage in den Jahren 1983 bis 2006, an denen der Pegel Konstanz über dem mittleren Mittelwasser (340 cm PK) lag (Quelle: AGBU, M. Dienst)

Um diese Veränderungen aufzuzeigen, führte die AGBU 2006 im Auftrag des Amtes für Raumplanung des Kantons Thurgau ein Monitoring der Strandrasen am Thurgauer Bodenseeufer durch. Eine weitere Untersuchung erfolgte bei Hegne, einem bei Konstanz gelegenen Strandufer, wo ich im April 2007 bei einer letzten Auszählung teilnehmen durfte.

Die quantitative Erhebung der Thurgauer Strandrasen-Bestände wurde im Zeitraum vom 25. April bis zum 19. Mai 2006 durchgeführt und anschliessend mit den Daten der Jahre 1989, 1994, 1996, 1998, 2002 und 2004 verglichen. Die untersuchten Fundorte lagen östlich von Münsterlingen, westlich von Güttingen (Soorwiesen), östlich von Güttingen (Mossburg) und am Ufer bei Mammern (Klinik). Die vier typischen Strandrasenarten, die beobachtet wurden, waren:

<i>Myosotis rehsteineri</i>	Bodensee-Vergissmeinnicht
<i>Deschampsia littoralis</i>	Strand-Schmiele
<i>Littorella uniflora</i>	Strandling
<i>Ranunculus reptans</i>	Ufer-Hahnenfuss

Um ihre Ausbreitung erfassen und vergleichen zu können, wurde eine sogenannte Mikrokartierung²⁸ im Massstab 1:100 wie folgt durchgeführt: Am Rand der Erhebungsflächen wurden Holzpfosten mit 2 m Abstand eingeschlagen und mit Schnüren verbunden, so dass die zu kartierende Fläche mit einem Schnurnetz überzogen war. Die dabei entstandenen 2 x 2 m grossen Quadrate wurden bei der Aufnahme mit zwei Zollstöcken zusätzlich in vier einzelne Quadratmeterflächen eingeteilt. Einige Pfosten wurden als Dauermarkierungen für die nächste Auszählung belassen und die Abstände zu markanten Geländepunkten vermessen. Beim Bodensee-Vergissmeinnicht wurden die Rosetten und Blütenstände in den Quadraten ausgezählt, bei Strand-Schmiele, Strandling und Ufer-Hahnenfuss die Deckung der jeweiligen Bestände in m² notiert. Die Tabelle „Bestandserhebung Strandrasenarten“ sowie „Feldkarten der Mikrokartierung“ der 4 Fundorte sind in Anlage B 1.– 3. beigefügt.



Abb.13
Mikrokartierfläche westl.
von Güttingen (Soor)
(Foto: M. Dienst)

Ergebnisse der einzelnen Kartierungen:

Der erste Strandrasen- Fundort lag an einem längeren naturnahen Uferabschnitt östlich der Psychiatrischen Klinik **Münsterlingen**.



Abb.14
Münsterlingen bei der
Mikrokartierung
(Foto: M. Dienst)

Vergleicht man die Entwicklung von 1990 bis 2006 (s. Anlage B: 3.1 „Münsterlingen“, Ergebnisse Mikrokartierung), so nahm das **Bodensee-Vergissmeinnicht** von 1990 bis

²⁸ Kartierung: in den Geowissenschaften und in der Biologie versteht man darunter die raumbezogene Erfassung von geologischen, bodenkundlichen oder tier- und pflanzensoziologischen Daten im Gelände

2003 kontinuierlich und deutlich zu, besonders zwischen 340 und 360 cm PK. Von 2000 bis 2003 starben die Pflanzen unterhalb 340 cm PK ab, bedingt durch die lange Überschwemmung in der zweiten Hälfte von 2002. Dafür vermehrten sie sich oberhalb von 340 cm wieder. Bis 2006 gab es wieder eine deutliche Ausbreitung in Richtung See:

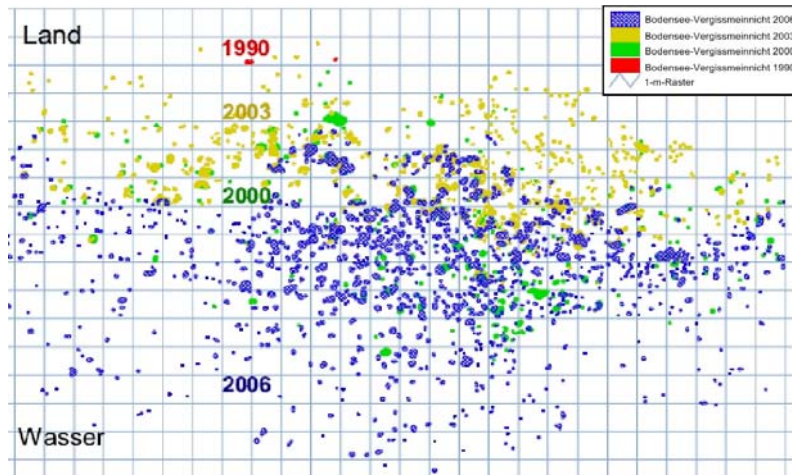


Abb.15
Münsterlingen:
Bodensee-Vergissmeinnicht
(Quelle: AGBU, M. Dienst)

Bei der **Strand-Schmiele** nahmen die Bestandsgrößen von 1990 bis 2003 kontinuierlich leicht zu. Bereits von 1990 bis 1997 fand eine deutliche seewärtige Verlagerung statt (Abb.16). Von 2003 bis 2006 gingen ihre Bestände in der Höhenstufe 360–380 cm PK deutlich zurück.

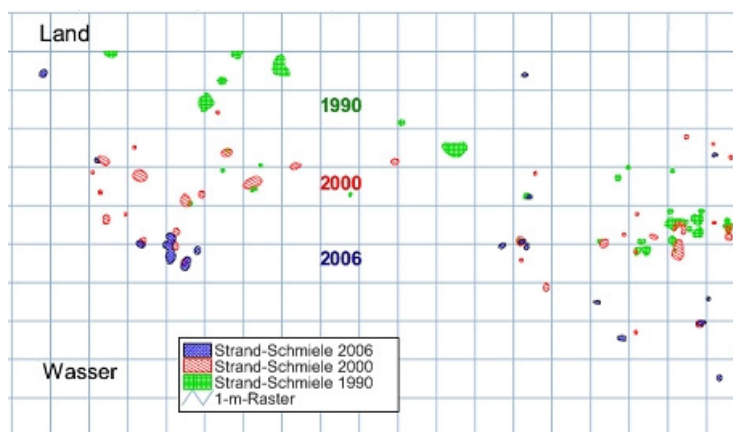


Abb.16
Münsterlingen:
Strand-Schmiele
(Quelle: AGBU, M. Dienst)

Auch der **Strandling** nahm von 1990 bis 2000 zu. Seine Bestände gingen bis 2003 besonders zwischen 360 und 380 cm PK zurück. Bis 2006 gab es dann wieder eine Vergrößerung des Bestands.

Der **Ufer-Hahnenfuss** zeigte eine kontinuierliche Zunahme und seewärtige Verlagerung seit 1990.

Westlich von Güttingen (Soor) lag an einem besonders flachen Uferabschnitt der zweite Fundort.



Abb.17
Güttingen (Soor): bereits 2004 gab es einen grossen Bestand des Bodensee-Vergissmeinnichts
(Foto: M. Dienst)

In der Zeit von 1990 bis 2006 verlagerten sich alle vier Arten, auch der **Ufer-Hahnenfuss**, ca. 10 m weiter Richtung See. Zwischen 1990 und 1994 siedelten sich **Strandling** und **Bodensee-Vergissmeinnicht** neu an. Die **Strand-Schmiele** wurde nicht angetroffen. Eindrücklich zeigte sich beim Vergleich der 1997er und 2000er Kartierung die Veränderung durch das Hochwasser von 1999. **Ufer-Hahnenfuss** und **Strandling** gingen im tiefer liegenden Bereich wieder deutlich zurück. Auch das **Bodensee-Vergissmeinnicht** und der **Strandling** hatten durch die Hochwasserjahre 1999–2002 gelitten, breiteten sich aber von 2003 bis 2006 dank Niedrigwasser wieder relativ stark aus (vergl. Anlage B: 3.2):

Güttingen (Soor) – 13.10.2006

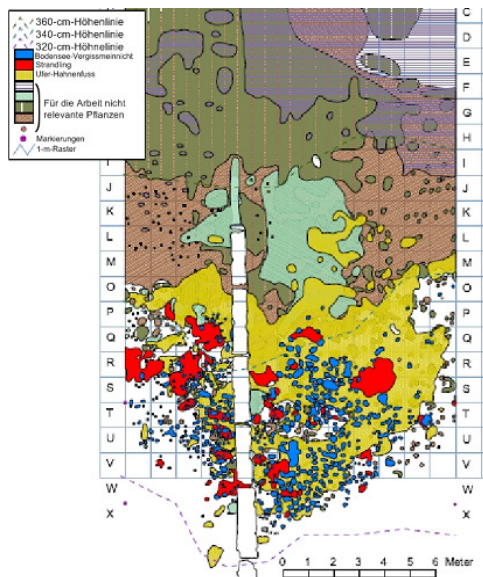


Abb.18
Neue seewärtsorientierte Ausbreitung des Bodensee-Vergissmeinnichts und des Strandlings
(Quelle: AGBU, M. Dienst)

Östlich von Güttingen, unterhalb des Hofguts **Moosburg** gelegen, wurde der dritte, jedoch eher kleine Strandrasen-Fundort entdeckt.



Abb.19
 Mikrokartierfläche östlich Güttingen – die gelbe Linie markiert die Horizontallinie entlang der noch am meisten Ufer-Hahnenfuss wuchs, das weisse Band unten im Bild ist die linke Abgrenzung der Mikrokartierfläche.
 (Foto: M. Dienst)

1990 befanden sich entlang der 360-cm-Höhenlinie, die wie eine kleine Landzunge in den See ragt, sowohl **Strandling** als auch **Ufer-Hahnenfuss**. Das **Bodensee-Vergissmeinnicht** und die **Strand-Schmiele** fehlten. Bis 1999 hatte sich die bewachsene Fläche mit **Strandling** und **Ufer-Hahnenfuss** verdreifacht. Von 1999 bis 2003 nahmen die beiden Strandrasenarten in Folge der Hochwasserjahre stark ab, der **Strandling** verschwand bis auf wenige Pflanzen fast vollständig. Von 2003 bis 2006 stieg der Bestand des **Ufer-Hahnenfusses** wieder um das Siebenfache an. Der **Strandling** hingegen siedelte sich nicht wieder an (vergl. Anlage B: 3.3).

Der letzte und ebenfalls kleine Strandrasen lag vor dem Gelände der **Klinik Mammern**, der landseitig durch eine ca. 1,5 m hohe Mauer begrenzt war.



Abb.20
 Klinik Mammern 2003:
 Die Strandrasenarten sind kaum noch zu sehen
 (Foto: M. Dienst)

Bei dieser Mikrokartierungsfläche wurde auf eine höhenbezogene Auswertung verzichtet, da sie für eine charakteristische Bewertung zu klein gewesen wäre. Seit 1990 konnte sich der **Ufer-Hahnenfuss**-Bestand bis 1997 stark ausbreiten und verlagerte sich bis zu 5 m Richtung See. Bis 2000 starb er dann aber wieder im unteren Bereich ab,

wahrscheinlich als Folge des Extremhochwassers von 1999. 2003 waren von den Strandrasen-Arten nur noch kleinste Bestände vom **Ufer-Hahnenfuss** vorhanden. Der ohnehin schon kleine **Strandlings**-Bestand nahm kontinuierlich ab, bis er schliesslich 2000 ganz erlosch. **Bodensee-Vergissmeinnicht** und **Strand-Schmiele** waren gar nicht vorhanden. Bis 2006 breitete sich der **Ufer-Hahnenfuss** erneut stark aus. Vom **Strandling** waren wenigstens wieder zwei Pflanzen zu sehen und das **Bodensee-Vergissmeinnicht** war im Herbst 2006 immerhin mit 205 Rosetten vertreten (vergl. Anlage B: 3.4).

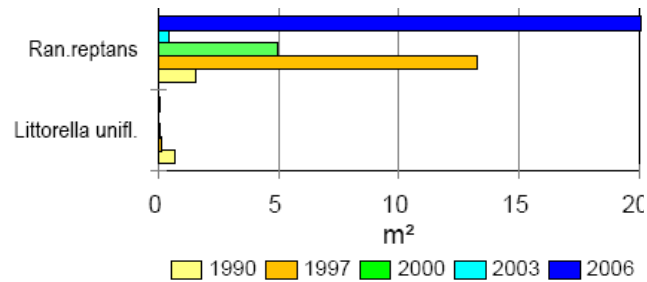


Abb.21: Uferhahnenfuss (=Ran.reptans) und Strandling (=Littorella unifl.): Mammern (AGBU, M. Dienst)

Zusammenfassung der Mikrokartierungen im Thurgau

Starke Veränderungen traten bereits zwischen 1990 und 1999 auf. Die Strandrasenarten dehnten sich – begünstigt durch relativ niedrige Wasserstände – Richtung See aus. Auch die Konkurrenzarten nahmen stark zu und verdrängten teilweise von der Landseite her die Strandrasenarten. Durch das Extremhochwasser von 1999 nahmen die Strandrasen-Arten wieder ab. Die Hochwasserfolgen reichten bis in die Jahre 2000 bis 2003. Zusätzlich wurden die Veränderungen von 2000 bis 2003 durch das lange Hochwasser von 2002 geprägt. Der Wasserspiegel lag 2002 von Juni bis Dezember lange Zeit im tief liegenden Bereich der Strandrasen. Die Wellen führten besonders im Höhenbereich von 340 bis 360 cm PK zu Erosionen. Der Strandling und stellenweise auch das Bodensee-Vergissmeinnicht wurden besonders schnell durch bereits kleine Bodenerosionen weggespült. Dies zeigte sich bei den Fundflächen Güttingen Soor und Güttingen Moosburg. Ab 2003 bis 2006 verbesserte sich die Situation für die Strandrasen-Arten. Besonders das Bodensee-Vergissmeinnicht und der Ufer-Hahnenfuss haben sich in den Niedrigwasserjahren 2003–2007 deutlich ausgedehnt. Insgesamt zeigten die vier untersuchten Flächen unterschiedliche Tendenzen: Bei Mammern und Güttingen-Ost Soor waren die Strandrasen-Bestände schon immer recht klein. Bleibt zu hoffen, dass der Ufer-Hahnenfuss und das Bodensee-Vergissmeinnicht auf Grund des Niedrigwassers weiterhin Fuss fassen und sich vermehrt ausbreiten können und nicht durch Konkurrenzpflanzen, wie z.B. durch Schilf, verdrängt werden. Die Strandrasen des Fundortes Güttingen-West (Moosberg) waren besonders durch

Erosion gefährdet. Doch auch hier half das Niedrigwasser seit 2003 dem Bodensee-Vergissmeinnicht und dem Strandling sich wieder vermehrt auszubreiten. In Münsterlingen zeigte sich der Strandrasen generell, 2003 und 2006 im Speziellen, in einem sehr guten Zustand. Auch hier war, wie an den Fundorten allgemein, eine deutlich seewärtige Ausbreitung festzustellen, die mit dem niedrigen Wasserstand der letzten Jahre zu erklären ist.

Bei der Mikrokartierung des **Hegne-Klosterbadeplatzes**, nahe bei Konstanz gelegen, nahm ich Ende April 2007 an der letzten Bodensee-Vergissmeinnicht- Auszählung, teil. Auch hier wurden auf dem 30m lange Transekt²⁹, das in 15 Aufnahmeflächen à 2 x 2 Meter unterteilt war, die Anzahl Blütenrosetten notiert (Bestandserhebung s. Anlage C: 1).



Abb. 22
Strandrasen-
Monitoring
Landkreis KN
Hegne (2005)
(Foto: AGBU, M.
Dienst)



Abb.23
Mikrokartier-
Fläche:
Transekt
Hegne-Camping-
Badeplatz
(Foto:
D. Born)

In den ersten Jahren wurden die Bestände dieser Dauer-Transekte (1983 – 2007) unregelmässig jeweils im Frühjahr aufgenommen (1983, 1987, 1991, 1992, 1993, 1997), ab 2002 dann jährlich. In einigen Jahren konnte die Bearbeitung nur im Herbst erfolgen (1995, 1998, 1999). Da die Herbstaufnahmen aufgrund unterschiedlicher phänologischer³⁰ Stadien nicht direkt miteinander vergleichbar waren, wurden nur die Frühjahrsaufnahmen bei der Auswertung berücksichtigt. Gesamthaft betrachtet wies das Bodensee-Vergissmeinnicht eine starke Vegetationsdynamik auf.

Zusammenfassung der Mikrokartierungen in Hegne

Die Bestände in Hege verschoben sich nach den Niedrigwasserjahren Anfang der 1990er Jahre seewärts, teilweise bis zu acht Meter. Gleichzeitig war aber auch ein Rückgang in landwärtigen Transektabschnitten zu beobachten. Nach dem Hochwasser 1999 ging die Strandrasenart seewärtig wieder zurück und nahm seither erneut kontinuierlich zu, besonders nach 2003. So zeigte sich auch am deutschen Seeufer,

²⁹ Transekt: nach bestimmten Kriterien festgelegter Ausschnitt aus der Landschaft

³⁰ phänologisch: im Jahresablauf periodisch wiederkehrenden Entwicklungserscheinungen

dass während der Untersuchungsjahre der Strandrasen seine Bestände insgesamt vergrössern konnte und seewärtig verlagert hatte. Die Zahl der Blütenstände des Bodensee-Vergissmeinnichts schwankte dabei innerhalb der 27 untersuchten Jahre zwischen 357 (1999) und 4974 (2007). (Vergl. auch Abb. 24)

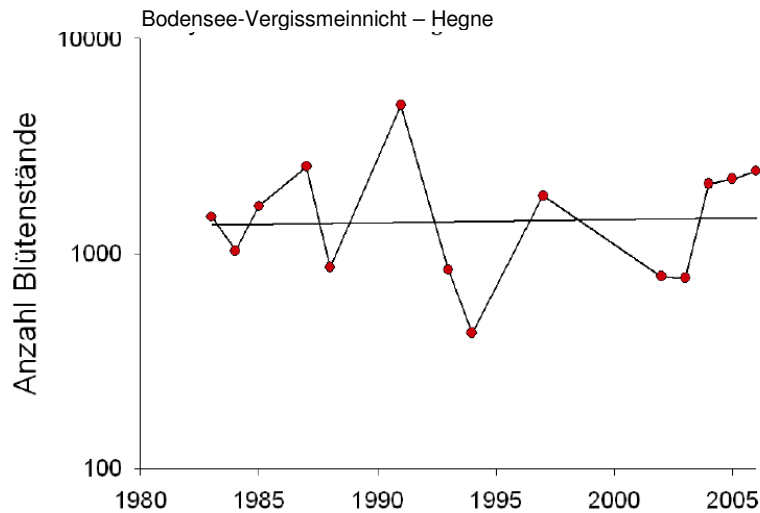


Abb.24
Bestandsentwicklung des Bodensee-Vergissmeinnicht (1980-2005) im Dauer-Transect Hegne-Klosterbadeplatz (y-Achse log₁₀-transformiert)

(Quelle: AGBU, M. Dienst)

Die sehr hohe Populationsdynamik und die räumliche Verschiebung der Population³¹ dürfte weitgehend mit dem Wasserständen zusammenhängen. Nach dem Hochwasser 1987 und 1999 und im geringeren Mass 1993 gingen die Bestände vor allem seewärtig zurück. In den Niedrigwasserphasen 1989-1991 und nach 2003 dehnten sich die Bestände seewärtig wieder aus. Landwärtig kam es zur gegenteiligen Entwicklung. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Bodensee-Vergissmeinnicht insgesamt eine starke Dynamik zeigte und seine Bestände, verbunden mit einem kontinuierlich seewärtigen Ausbreitungstrend, vergrössern konnte (vergl. in Anlage C: 2. „Raumzeitliche Entwicklung“).

Die nachfolgende Flächengraphik von Abb. 25 zeigt diese Ausbreitungsdynamik des Bodensee-Vergissmeinnichts über die Jahre von 1983 bis 2007 sehr anschaulich.

³¹ Population: Gruppe von Individuen der gleichen Art, aufgrund ihrer Entstehungsprozesse miteinander verbunden, bilden eine Fortpflanzungsgemeinschaft und sind in einem einheitlichen Areal zu finden.

Bodensee-Vergissmeinnicht (*Myosotis rehsteineri*) bei Hegne

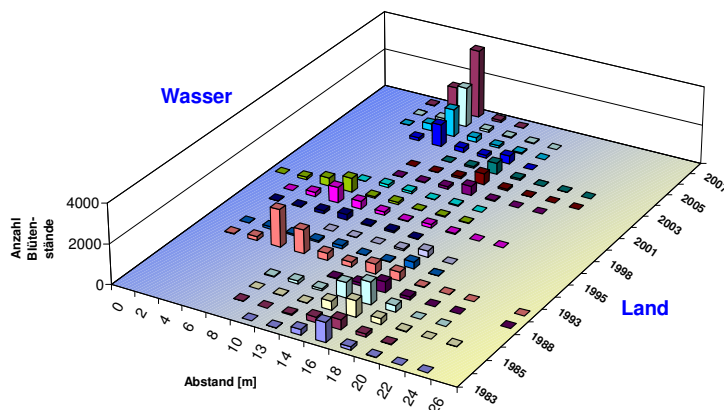


Abb. 25
Ausbreitungsdynamik des Bodensee-Vergissmeinnichts während der Untersuchungs-Jahre 1983 bis 2007

Für die Jahre 1986, 1989, 1990, 1992, 1996 und 2000 liegen keine Daten vor.

(Quelle: AGBU, M. Dienst)

2.2.2 Kartierung neuer Rohrkolben- Bestände auf der Insel Reichenau

Das „Jahrhunderthochwasser“ von 1999, welches das Absterben grosser Schilf-Bestände zur Folge hatte, sowie der nachfolgend kontinuierliche Rückgang des Pegelstandes der letzten acht Jahre ermöglichten es dem **Rohrkolben**, sich erstmals auch auf der Insel Reichenau anzusiedeln. Die AGBU stellte mir von dieser Insel Ortholuftbilder (1:4.000) mit aufgelegten Flurkarten (Schilfröhricht) zur Verfügung. Mittels einer Flurbegehung entlang dem grösstenteils mit Schlick³² überzogenen Nordostufers ermittelte ich am 18. April 2007 die neu aufgetretenen **Rohrkolben** und übertrug Fläche sowie Lage in die entsprechenden Karten. Gleichzeitig erfasste ich auch andere neu auf dieser Höhe angesiedelte Vegetationsarten wie Quellgras und Rohrglanzgras. (Siehe Anlage D: 1.- 5.)



Abb. 26: Rohrkolben- Kartierung auf der Insel Reichenau
(Fotos: D. Born)

³² Schlick (mittelhochdeutsch slich = Schlamm): Schlamm mit einem hohem Anteil an organischem Material und einem hohen Wassergehalt, ein weicher, feinkörniger Sedimentboden in Seen

Die Kartierung musste deshalb noch im April erfolgen, da ab Mai mit einem erhöhten Pegelstand zu rechnen war. Der Pegel blieb jedoch 2007 wider Erwarten bis Ende Mai um ca. 290 cm PK stehen und erfuhr erst ab Juni bis Mitte Juli einen Anstieg von rund 120 cm PK. Dieses Niedrigwasser war für die Entwicklung der **Rohrkolben**jungpflanzen von grossem Vorteil, denn während der Aufwuchsphase ihrer Halme zwischen Mai und Juni ist der Sauerstoffbedarf ihrer Rhizome³³, der nur durch Einstrom von Luftsauerstoff gedeckt werden kann, besonders gross. Die schnell wachsenden Junghalme müssen daher nach einigen Tagen die Wasseroberfläche durchstossen können, damit die Sauerstoff-Versorgung gesichert ist. Somit bot das Jahr 2007 eine gute Voraussetzung zur weiteren Verbreitung des spontan aufgetretenen **Rohrkolbens**, der grösstenteils in den seewärtig gelegenen Stoppelfeldern der 1999 abgestorbenen Schilfröhrichte sowie im vorgelagerten freiliegenden Sedimentstreifen mit teils ausgeprägten Jungtrieben anzutreffen war. Die Rohrkolbenbestände wiesen dabei vorwiegend eine Grösse von 10 bis 20 m² auf (vergl. Anlage D: 4. und 5.).

Zusammenfassende Bewertung

Nachdem der Herbst 2007 ebenfalls sehr trocken war und eine erneute Niedrig-Wasserphase mit rund 310 cm PK zur Folge hatte, konnte sich wahrscheinlich auch ein gewisser Samenvorrat in der Sedimentschicht ansammeln. Daraus und mittels Kriechrhizomen können im nächsten Jahr neue Bestände entstehen. Dies bedeutet, dass weiterhin spät einsetzende und insgesamt niedrigere Sommer-Hochwasser den **Rohrkolben**bestand weiter fördern und das Schilf dadurch unter Umständen zu einem gewissen Grad verdrängt würde. Die Existenz der Spontanvegetation ist jedoch an mehr oder weniger regelmässig auftretende Störungen wie Extremwasserereignisse (hier Niedrigwasser) gebunden, die vermutlich mit der Klimaentwicklung dieses Jahrhunderts zunehmen wird.

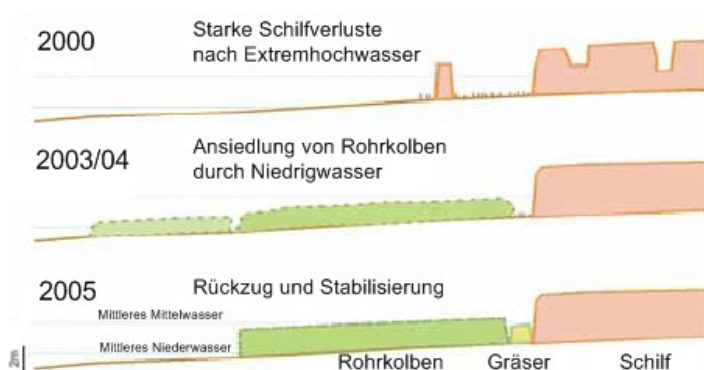


Abb. 27:
Vergleich
Wollmatinger
Riet KN:
Profil
Schilf- Röhricht
und Rohrkolben
(Quelle: AGBU)

2.3 Verhaltensänderungen bei Vögeln in der Bodenseeregion

³³ Rhizom: meist unterirdisch oder dicht über dem Boden wachsendes Sprossachsensystem

2.3.1 Untersuchung von Veränderungen der Erstankunftszeiten häufiger Zugvögel

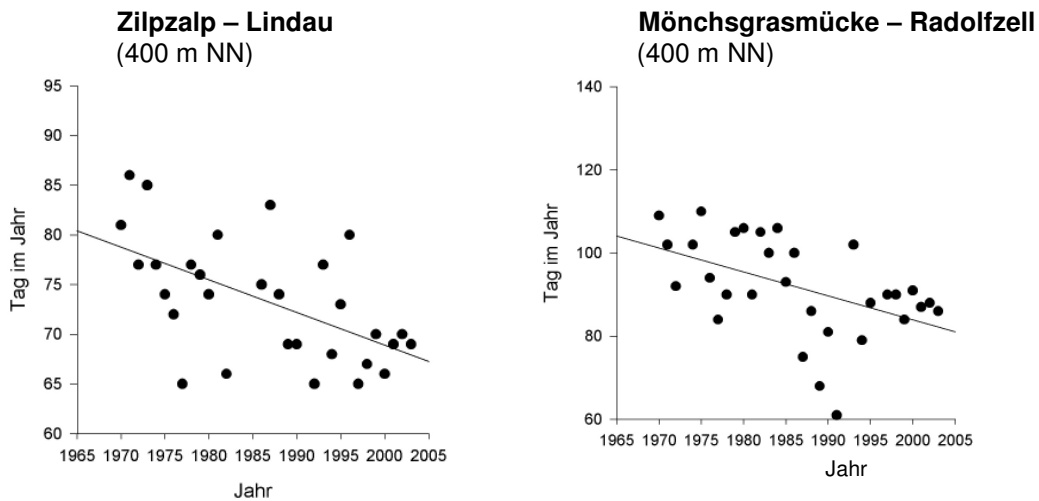
Die Vogelwarte Radolfzell setzte sich zum Ziel, langfristige Trends der Ankünfte häufiger Zugvogelarten zwischen 1970 und 2003 zu untersuchen. Hierfür wurden Beobachtungsreihen einzelner Feld- Ornithologen in Südwestdeutschland - im Speziellen auch in der Bodenseeregion - ausgewertet, die seit über 30 Jahren immer im selben Gebiet Beobachtungen angestellt hatten. Dabei wurden nur Beobachtungsreihen in die Untersuchung mit einbezogen, wenn u.a. folgende Kriterien erfüllt waren:

- Die Beobachtungen erstreckten sich mindestens auf den Zeitraum 1970 bis 2003.
- Erstankünfte nur von Beobachtergruppen, deren Daten im selben Gebiet erhoben wurden.

Insgesamt gab es 104 Beobachtungsreihen von 17 Zugvogelarten an 13 verschiedenen Orten, davon lagen drei Orte am Bodensee und zwar Konstanz, Radolfzell und Lindau (vergl. Anlage E: 1. und 2.). Lang- und Kurzstreckenzieher wurden dabei getrennt betrachtet. Als Langstreckenzieher galten **Schwarzmilan, Mauersegler, Kuckuck, Rauch- und Mehlschwalbe, Nachtigall, Gartenrotschwanz, Teichrohrsänger, Klapper- und Gartengrasmücke, Fitis** sowie **Grauschnäpper**, als Kurzstreckenzieher **Ringeltaube, Hausrotschwanz, Singdrossel, Mönchsgrasmücke** und **Zilpzalp**. Bei der überwiegenden Zahl der untersuchten Arten war klar eine frühere Erstankunft zu erkennen. Eine nennenswerte positive Verspätung wurde nur bei einer Beobachtungsreihe festgestellt, sodass diese nicht berücksichtigt wurde. Insgesamt zeigten die Auswertung der Daten der Kurzstreckenzieher eine durchschnittliche frühere Ankunft von 0,33 Tagen pro Jahr. Doch nicht nur bei Kurzstreckenziehern sondern auch bei Langstreckenziehern wie **Mauersegler, Rauch- und Mehlschwalbe** kam es zu ähnlichen Ergebnissen. Es zeigte sich aber auch, dass die Verfrühung der Erstankünfte bei Kurzstreckenziehern noch stärker ausfiel als bei Langstreckenziehern (s. Abb. 28). Dies könnte damit erklärt werden, dass die Steuerung beim Langstreckenzug wesentlich stärker endogen³⁴ erfolgt als beim Kurzstreckenzug. (Vergl. Anlage E: 3. und 4.)

Kurzstreckenzieher: Ankunftszeit:

³⁴ endogen: von innen heraus entstehend, vererbt, nicht durch äussere Einflüsse hervorgerufen



Langstreckenzieher: Ankunftszeit:

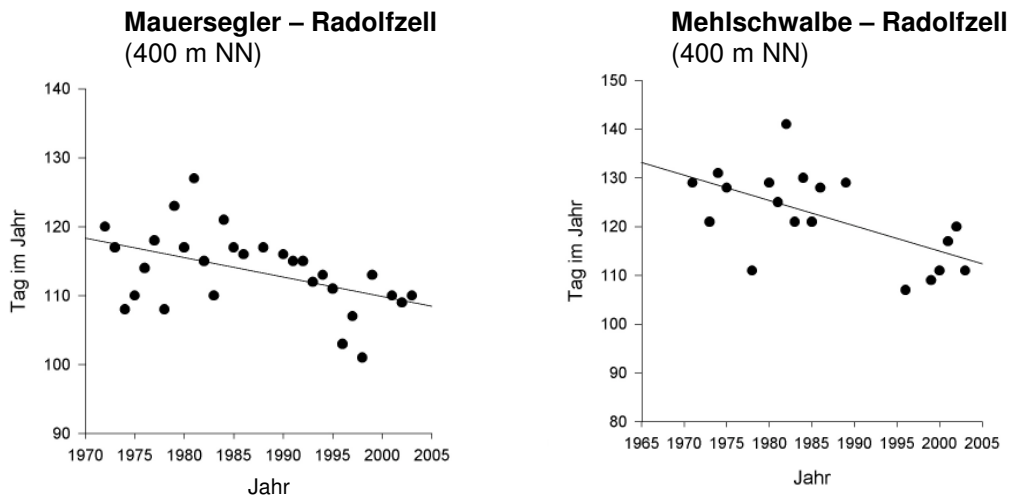


Abb. 28: Ankunftszeiten (Quelle: Vogelwarte Radolfzell, W. Fiedler)

Dennoch ist erstaunlich, dass die Effekte bei den Langstreckenziehern doch so deutlich ausfielen, da das Winterareal von Transsahara-Ziehern in einer von Mitteleuropa verschiedenen Klimazone liegt. Allerdings überwinterten inzwischen einzelne Populationen dieser Arten nördlich der Sahara, so z. B. Rauch- und Mehlschwalbe. Neben Verhaltensänderungen könnten jedoch auch evolutionäre Effekte eine Rolle spielen. Generell gibt es drei Möglichkeiten, wie es die Vögel schaffen, früher im Brutgebiet anzukommen:

- Das Überwinterungsareal hat sich in Richtung Brutgebiet verschoben
- Die Zuggeschwindigkeit hat zugenommen (z.B. Zunahme des SW-Windes)
- Der Zug beginnt früher³⁵

Bei Kurzstreckenziehern zeigte sich bei Einzelbeobachtungen jedoch, dass einzelne Arten bereits im Brutgebiet überwinterten. Januar- Nachweise wurden bei

³⁵ Fiedler, W.: "Journal of Ornithology" Volume 142, Number 4 (2001)

Ringeltaube, Hausrotschwanz, Singdrossel, Mönchsgrasmücke und Zilpzalp registriert, die aber bei der statistischen Auswertung nicht berücksichtigt wurden.

Beobachtungsergebnis der verschiedenen Ankunftszeiten

Insgesamt machte die Untersuchung deutlich, dass durch die Klimaerwärmung eine Verfrühung der Ankünfte bei Kurz- wie auch bei Langstreckenziehern stattgefunden hat. Eine Änderung der Phänologie allein wäre ohne grössere Auswirkungen. Jedoch eine damit verbundene Verfrühung des Brutbeginns könnte für die Zugvögel eine Gefährdung darstellen, da u. U. die optimalen Nahrungsmengen für die Jungvögel nicht so früh und so reichhaltig, wie es notwendig wäre, zur Verfügung stehen könnten.

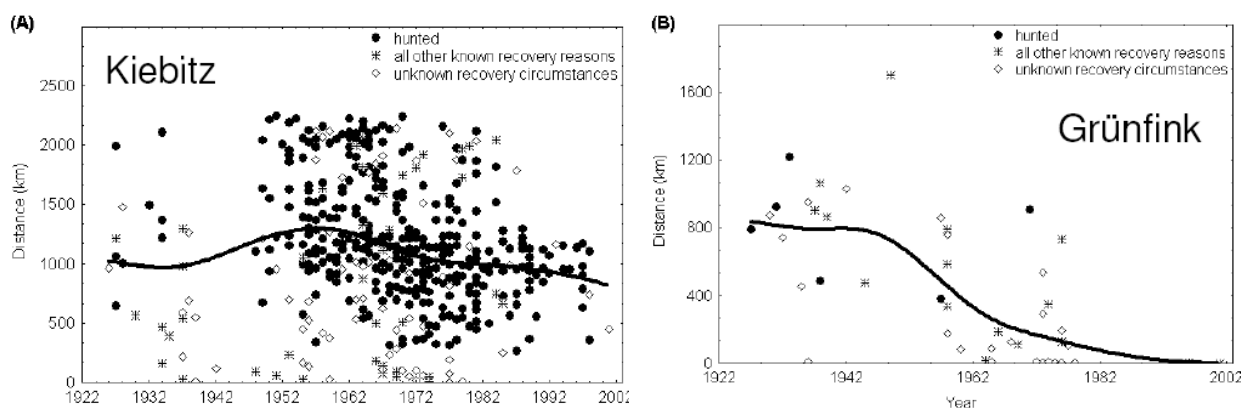


Abb. 29: Kürzere Zugwege sind mit verantwortlich für frühere Ankünfte (Quelle: Fiedler³⁶)

2.3.2 Abweichungen in der Brutbiologie bei bestimmten Vogelarten

Veränderungen der Phänologie, die nach wissenschaftlichen Beobachtungen zu den ausgeprägtesten Effekten des Klimawandels gehören, konnten auch bei etlichen Vogelarten in einem früheren Brutbeginn beobachtet werden.³⁷ Damit der Einfluss der Klimaveränderung auf die Brutbiologie einzelner Arten untersucht werden konnte, waren ebenfalls Langzeitbeobachtungen notwendig. Um diese zu erfassen, wurde die brutbiologische Datensammlung der Vogelwarte Radolfzell auszugsweise elektronisch aufgezeichnet und das Datenmaterial analysiert.

Die Daten von **Blaumeise, Halsbandschnäpper, Amsel** und **Hausrotschwanz** erwiesen sich aufgrund ihrer Langfristigkeit und Datenvollständigkeit besonders geeignet, um auf einen früheren Brutbeginn, Veränderung der Gelegegrösse und den Schlüpfertag untersucht zu werden. Die Beobachtungszeit betrug rund 30 Jahre. Die brutbiologischen Beobachtungen wurden von Mitarbeitern der Vogelwarte Radolfzell im

³⁶ Fiedler, W., Bairlein, F., Köppen, U.: "Using large-scale data from ringed birds for the investigation of effects of climate change on migrating birds" (2004)

³⁷ Walther, G. H., u.a.: "Ecological responses to recent climate change" – Nature 416 (2002)

Rahmen brutbiologischer Freilanduntersuchungen gesammelt, auf sogenannten „Nestkarten“ festgehalten (Abb. 30) und anschliessend elektronisch erfasst.

Nestkarte Vogelwarte Radolfzell						projektinterne Nummer: <input type="text"/>
Vogelart	Jahr	Land (z.B. D-BaWü...)	Bezirk (z.B. Regierungsbezirk)			
Ortsbezeichnung (mit nächster Ortschaft und Landkreis)		Meßblatt	Geogr. Koordinaten (bitte deutlich ° oder Dezimal)			
			Nord		Ost	
Biotop (z.B. Rohricht, Streuobst, Weidengebüsch...)		Neststandort (z.B. Nistkasten, Brennesseln, in Laubstreu, Fichte...)				
Nesthöhe (cm)	Veg.Höhe (cm)	Höhe ü.M.	Ringnummer Männchen	Ringnummer Weibchen	Paarnummer	
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
----- brutbiologische Kernwerte ----- Bitte aus Nestbesuchen ableiten (ggf. rückrechnen) und eintragen			Bitte ankreuzen: <input type="radio"/> Brut war erfolgreich <input type="radio"/> Brut war erfolglos <input type="radio"/> Brut erfolg unbekannt <input type="radio"/> 1. Jahresbrut <input type="radio"/> 2. Jahresbrut <input type="radio"/> ... Jahresbrut <input type="radio"/> Ersatzgelege			
Datum 1. / letzt. Ei gelegt	Gelegegröße		Bearbeiter / Bearbeiterin <input type="text"/> Bitte die mit dicken Strichen markierten Felder in jedem Fall ausfüllen (notfalls: "unbekannt"), die anderen Felder ausfüllen, soweit Info vorhanden.			
Datum 1. / letzt. Juv. geschlüpft	Anzahl geschlüpft					
Datum 1. / letzt. Juv. ausgeflogen	Anzahl ausgeflogen					
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>				
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>				
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>				
Einträge zu Nestbesuchen und Bemerkungen siehe Rückseite!						

Abb. 30: Nestkarte zur Kartierung der brutbiologischen Beobachtungen (Quelle: Vogelwarte Radolfzell)

Von etlichen in Frage kommenden Vogelarten wurden die ausgewählt, von denen ausreichend und möglichst kontinuierlich gesammeltes Datenmaterial vorlag, was auch beinhaltete, dass seltener werdende Arten, wie z.B. einige Langstreckenzieher, von der Analyse ausgeschlossen werden mussten. Somit konnten vier Arten analysiert werden: **Blaumeise**, **Halsbandschnäpper**, **Amsel** und **Hausrotschwanz** (vergl. Anlage F: 1.). Untersucht wurde der Legebeginn, d.h. erstes Ei im Nest, Gelegegröße und Schlüpfertag anhand der Zahl der geschlüpften Jungvögel. Zur Rückberechnung des Legebeginns wurde für alle Arten einheitlich und vereinfachend angenommen, dass das Weibchen jeweils ein Ei pro Tag legt und ab dem letzten Ei zu brüten beginnt.

Statistische Auswertung

Mit Ausnahme der **Blaumeise** stammten die brutbiologischen Daten von unterschiedlichen Bearbeitern, was z.B. Unterschiede in der geografischen Lage zur Folge hatte. Solche und andere als „Bearbeitereffekt“ zusammengefassten Einflüsse wurden deshalb bei der statistischen Auswertung berücksichtigt. Zur Berechnung des zeitlichen Trends wurde eine spezielle Analyse vorgenommen, wobei für jede abhängige Variable Tests für folgende drei Effekte durchgeführt wurden:

1. Bearbeitungseffekt (z.B. Vogel nicht sofort beobachtet): Dieser Faktor wurde zuerst getestet, damit der Effekt bei der Trendanalyse „korrigiert“ werden konnte (s. Anlage F 2.: Kovarianzanalyse: Beobachtereffekt und Residuen³⁸).

³⁸ Residuen: Varianzen (Abweichungen), die sich durch das Modell nicht erklären lassen

2. Zeitlicher Trend: Um die Zu- oder Abnahme auf Signifikanz³⁹ zu prüfen, wurde die Variable⁴⁰ Jahre gegen den Faktor⁴¹ Jahre (s. Anlage F 2.: Kovarianzanalyse: Jahr-Variable, Jahr-Faktor) getestet.

3. Abweichung vom zeitlichen Trend: Zeit wurde sowohl als Variable⁴⁰ als auch als Faktor⁴¹ getestet. Dieser Test gibt an, ob neben einem zeitlichen linearen Trend auch kennzeichnende Unterschiede zwischen den Jahren vorliegen.

Ergebnis der Brutvogelkartierung

Bei **Amsel** und **Hausrotschwanz** konnte bei keiner der untersuchten Variablen ein kennzeichnender zeitlicher Trend festgestellt werden. Selbst zwischen den Jahren wurde nur für die Gelegegrösse der **Amsel** eine bedeutsame Variation festgestellt, d.h. bei beiden Arten wurden auch keine Unterschiede zwischen den Jahren beobachtet⁴². Bei der **Blaumeise** konnte ein bedeutend früherer Legebeginn erkannt werden. Dies hatte aber offensichtlich keine Auswirkung auf Gelegegrösse und Schlüpfertag. Bei dieser Art wurden jedoch auch starke jährliche Schwankungen festgestellt. Im Durchschnitt begannen die **Blaumeisen** ungefähr 0,3 Tage pro Jahr früher zu brüten. Beim **Halsbandschnäpper** war der zeitliche Trend mit einer bedeutsamen Verfrühung gleich stark ausgeprägt. Die Gelegegrösse zeigte in Form einer Art „Wellenbewegung“, die sich ca. alle vier Jahre wiederholte (Vierjahres-Zyklus), eine weniger grosse Auffälligkeit als der Schlüpfertag, der in diesem Vierjahreszyklus während der 30 Jahre markant anstieg (vergl. Anlage F: 3.1, 3.2 und 4.). Demzufolge wurde in der vorliegenden Untersuchung bei zwei der vier untersuchten Arten ein früherer Legebeginn festgestellt (vergl. unten Abb. 31: Gelegebeginn, Gelegegrösse, Schlüpfertag).

Zusammenfassendes Brutkartierungsergebnis

Da ein früherer Legebeginn aufgrund des „Kalendereffektes“⁴³ zu geeigneterer Nistplatzwahl und damit zu einem grösseren Gelege führte, könnte damit auch der Anstieg der Gelegegrösse erklärt werden. Deutlicher als der Anstieg der Gelegegrösse zeigte sich die Zunahme des Schlüpfertags. Gemäss entsprechender Beobachtungen erfolgte ausserdem nach warmen und feuchten Wintern die Eiablage früher und mit grösseren Gelegen. In künftigen

³⁹ Signifikanz: Irrtumswahrscheinlichkeit

⁴⁰ Jahr- Variable: nicht nur die einzelnen untersuchten Jahre werden eingesetzt, sondern auch die Zeiträume dazwischen (z.B. Monat)

⁴¹ Jahr- Faktor: die Jahre werden nach ihrer laufenden Reihenfolge beurteilt

⁴² Aussage Dr. Fiedler zur elektronisch ermittelten Statistikauswertung (E-Mail-Anfrage)

⁴³ Kalendereffekt: photoperiodischer Effekt= Dauer des Tageslichts löst best. Entwicklungsvorgänge aus

Untersuchungen sollte daher geprüft werden, ob die von der Vogelwarte Radolfzell festgestellten Vierjahres-Zyklen mit solchen Klimaeffekten erklärt werden können.⁴⁴

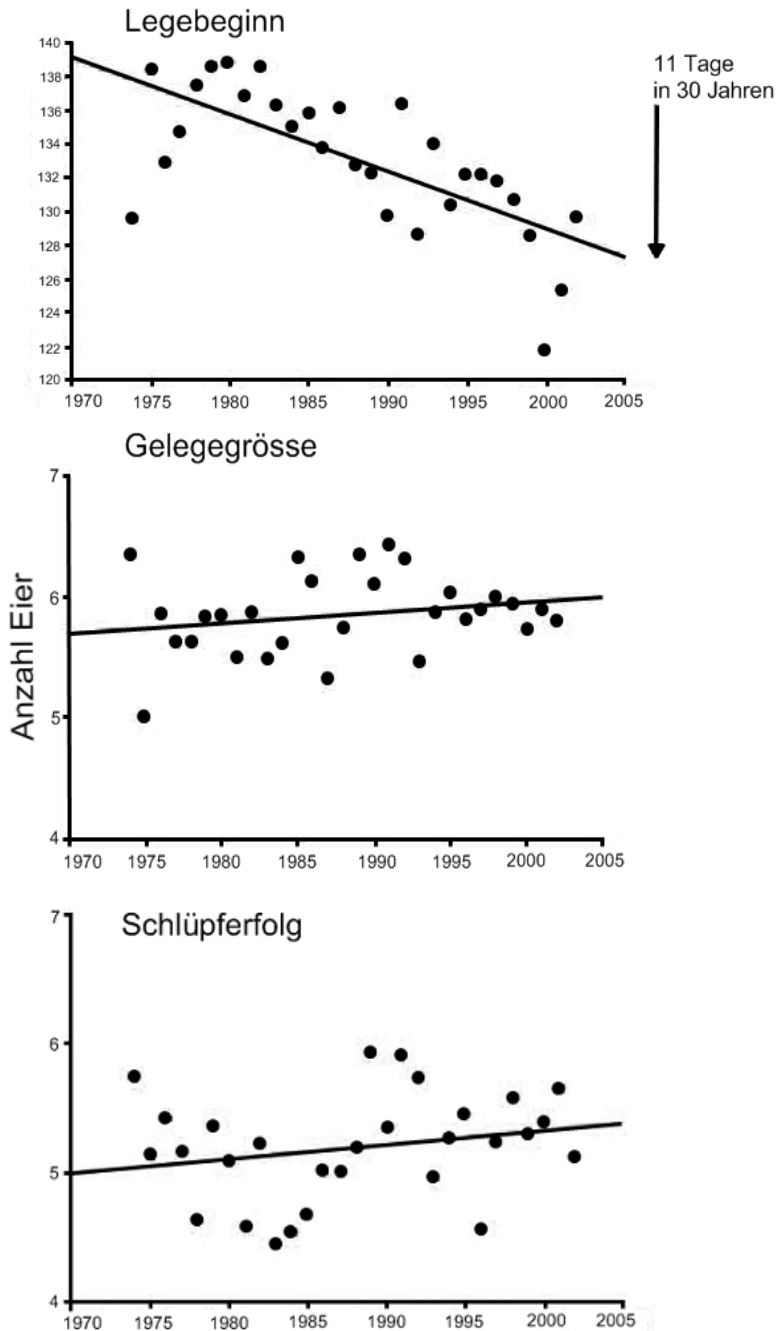


Abb. 31 : Halsbandschnäpper: Legebeginn, Gelegegrösse, Schlüpfefolg 1970-2005
(Quelle: Vogelwarte Radolfzell)

⁴⁴ Zeitschrift für Vogelkunde, Vogelwarte, Band 43 • Heft 4. Radolfzell, 2005.

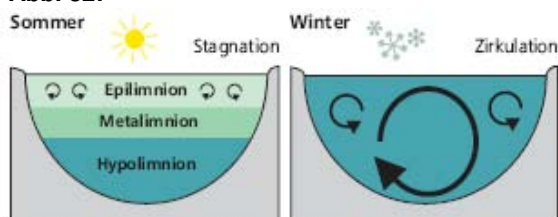
2.4 Reaktionen der Fauna des Bodensees am Beispiel der Fische und Neozoen

2.4.1 Beobachtungen bei Fischen

Der Landesfischereiverband LFV⁴⁵ ist auf Grund möglicher negativer Folgen für die Fischbestände im Bodensee, wobei **Felchen**, **Flussbarsch**, **Forelle**, **Hecht**, **Äsche**, **Karpfen**, **Zander** und **Aal** von wirtschaftlicher Bedeutung sind, sehr daran interessiert, wesentliche Einflüsse des Klimawandels auf den Bodensee rechtzeitig zu erkennen und mit entsprechenden Massnahmen vorzubeugen oder entgegenzuwirken. Genau zu beobachten sind veränderte Niederschlagstrends (häufige Extremniederschläge, mehr Niederschläge im Winter, weniger im Sommer), der Temperaturanstieg, höhere Kohlendioxidgehalte der Atmosphäre, sowie die Zunahme extremer Wetterereignisse. Doch bisher gibt es dazu keine spezielle Untersuchungsprojekte, da diese, nach Aussage von Herrn Dr. R. Berg, Leiter der Fischereiforschungsstelle Langenargen, zu aufwendig und kostspielig seien. Demzufolge sei man auf besonders genaue Beobachtungen angewiesen sowie auf Angaben allgemein bekannter Umweltveränderungen, die bestimmte Rückschlüsse auf die Fauna des Bodensees zulassen. So könnte sich durch eine allgemeine Klimaerwärmung z.B. das Nährstoffangebot des Sees verändern.

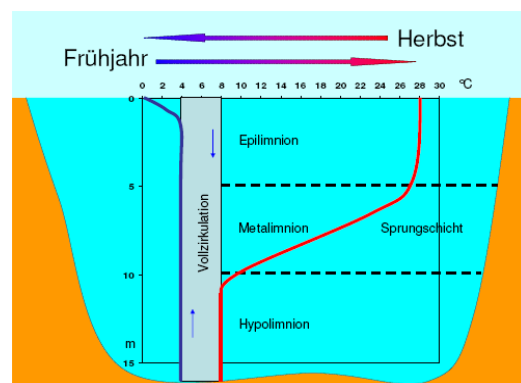
Hierbei spielt der Sauerstoffgehalt des Wassers eine wesentliche Rolle, der wiederum im Zusammenhang mit der Wassertemperatur steht. Der Bodensee besitzt eine sogenannte „Drei- Temperaturschichtung“, d.h. eine obere, von der Sonne erwärmte, stark bewegte Wasserschicht, das Epilimnion, eine Übergangsschicht, das Metalimnion, sowie eine untere, nur durch interne Wellen und deren Ausgleichsströmungen bewegte, bei 4 °C homogene kalte Wasserschicht, das

Abb. 32:



oben: Zirkulation und Temperaturschichtung (Quelle: www.gewaesserschutz.zh.ch)

rechts: Jahresgang der Temp.: Temperaturkurve wandert im Frühjahr von links nach rechts, im Herbst umgekehrt. Zw. 4 und 8 °C: Frühjahrs- und Herbstvollzirkulation (Quelle: Hydrobiologische Grundlagen der Binnenfischerei, 1981)



⁴⁵ LFV: Landesfischereiverband Baden Württemberg e.V., Dachverband der Fischereiverbände in Baden Württemberg und nach §29 Bundesnaturschutzgesetz anerkannter Naturschutzverband

Hypolimnion (Abb.32). Diese Schichtung ist durch die besondere physikalische Eigenschaft des Wassers bedingt, das bei 4 °C seine höchste Dichte besitzt und nach unten sinkt (=Hypolimnion). Das dazwischenliegende Metalimnion wird auch Sprungschicht genannt, da in dieser Phase ein starker Temperaturabfall von oben nach unten stattfindet. Die Schichten isolieren sich aufgrund der hohen Wärmekapazität und geringen Wärmeleitfähigkeit des Wassers. Wenn sich im Herbst die Wassertemperatur an der Oberfläche um mehr als 8 °C verringert, so sinkt das Wasser in die Tiefe und setzt im gesamten Wasserkörper die Herbstvollzirkulation in Gang. Während dieser Vollzirkulation kommt es zur vollständigen Durchmischung des Sees, die in der Tiefe angereicherten Nährstoffe eingeschlossen. Sobald die Oberflächen-Temperatur jedoch auf 0°C absinkt, tritt die Winterstagnation ein. Steigt dann die Oberflächentemperatur auf +4 °C an, setzt die Frühjahrs-Vollzirkulation ein, bis sich schliesslich mit zunehmender Erwärmung wieder eine Sommer-Stagnation ausbildet (siehe oben: Abb. 32 rechts).

Bleibt im Winter durch den Klimawandel die Abkühlung des Oberflächenwassers bis zum Gefrierpunkt aus, entsteht keine Vollzirkulation und damit auch nicht die notwendige Sauerstoff-Einmischung. Eine fehlende Eisbedeckung ermöglicht ausserdem den Fressfeinden der Fische einen ganzjährigen Zugriff auf die Fischpopulation. Daneben verhindert die fehlende Vollzirkulation den Nährstofftransport aus dem Tiefenwasser nach oben. Nach der Trendanalyse ist bis 2050 mit einer Globalen Erwärmung von ca. +1,7 °C zu rechnen (vergl. Abb. 33: Temperaturentwicklung bis 2000) und somit sind auch entsprechend starke

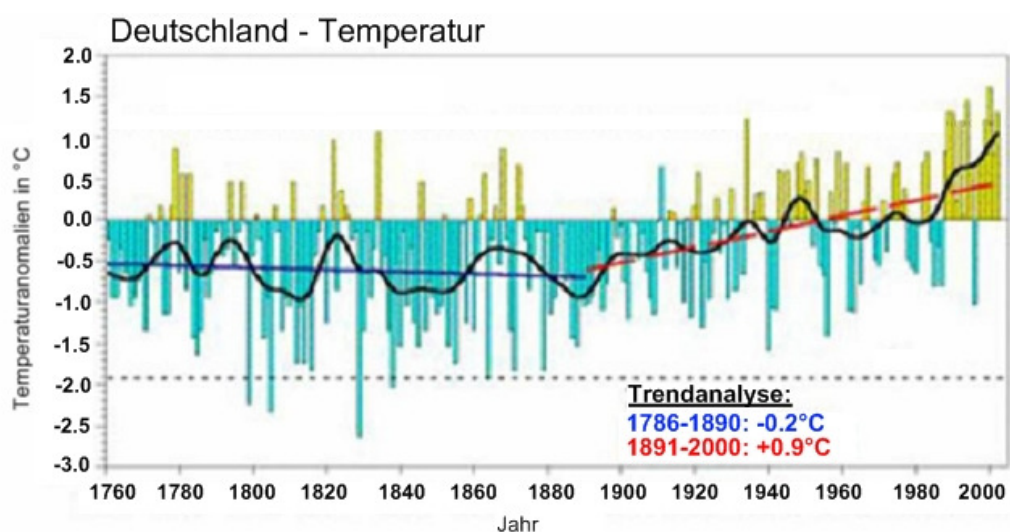


Abb. 33: Entwicklung der Temperatur von 1760 bis 2000: blaue Säulen: Temp. < 0 °C
gelbe Säulen: Temp. > 0 °C; schwarze Linie: mittlere Temp.; blaue und rote Linien:
Temperaturtrend (Quelle: Virtuelles Umweltbildungszentrum, www.vuz-web.de).

limnologische (das Gewässer beeinflussende) Veränderungen mit Auswirkungen auf den Chemismus⁴⁶ zu erwarten.⁴⁷ Besonders betroffen wäre davon eine wichtige Fischart des Bodensees: die **Renke** (= Felchen). Ferner würde eine Verschiebung der Artenzusammensetzung der planktischen Nahrungskette sowohl am Seegrund wie auch in den Freiwasserbereichen⁴⁸ folgen. Diese Nahrungskette beginnt mit dem Phytoplankton⁴⁹, das aus im Wasser gelösten Nährsalzen und Kohlensäure mittels Sonnenlicht seine Körpersubstanz aufbaut, welches wiederum Nahrung für das Zooplankton darstellt, das schliesslich von den Fischen konsumiert wird (Abb. 34).

Aquatische Nahrungskette

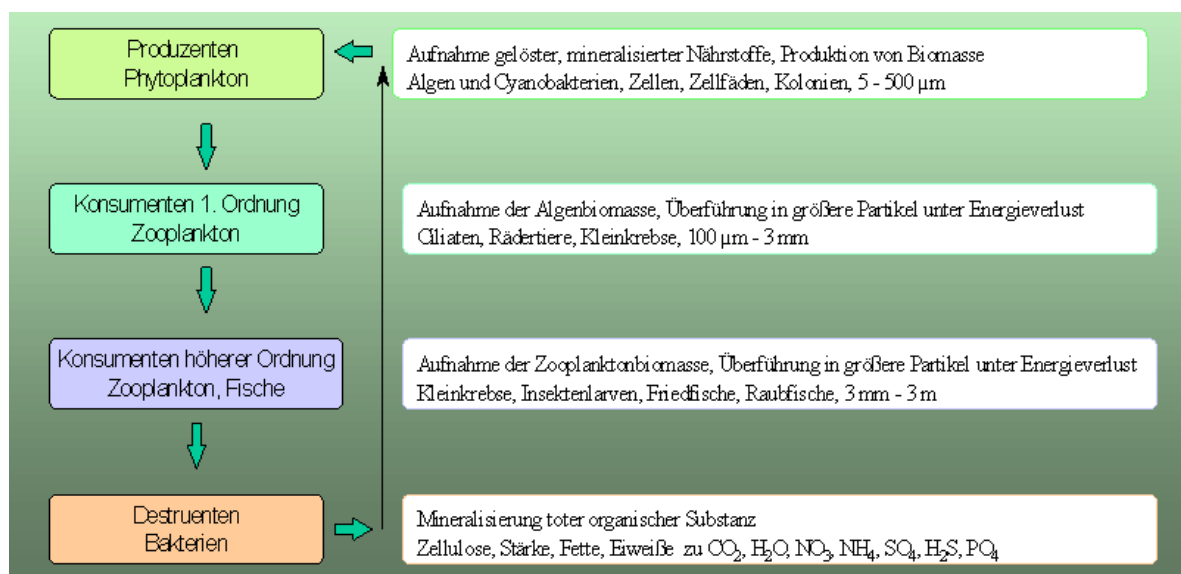


Abb. 34: Aquatische Nahrungskette (Quelle: <http://www.waterquality.de/hydrobio.hw/SIMG16.GIF>)

Fast alle Fischarten sind zumindest zeitweise in ihrem Leben auf Plankton angewiesen, so dass sich eine Verschiebung der Artenzusammensetzung des Planktons sowie auch dessen Verfügbarkeit direkt auf die Fische auswirkt.

Damit das Phytoplankton überhaupt entstehen kann, wird das im Wasser gelöste Phosphor benötigt. Gelangt jedoch zuviel Phosphat in den See, z.B. durch Abwasser oder Düngemittel, ermöglicht dies übermässiges Algenwachstum. Ein Teil der absterbenden Biomasse sinkt auf den Seegrund (s. Abb. 35), die hier mit viel Sauerstoff durch Mikroorganismen abgebaut wird, sodass bei Überdüngung in den tieferen Wasserschichten auch ein Sauerstoffmangel entstehen kann, der von

⁴⁶ Chemismus: Chemische Vorgänge bei Stoffumwandlungen, z.B. in Tier- und Pflanzenkörpern

⁴⁷ Chmielewski, F.-M.; Foken, Th: Beiträge zur Klima- und Gewässerforschung, Berlin, 2003. S. 61-63

⁴⁸ Freiwasserbereich: Wassertiefe bis 10m

⁴⁹ Phytoplankton: mikroskopisch kleine, im Wasser schwebende Pflanzen, zu den Algen gehörend, erste Stufe der Nahrungskette, auf der alle anderen Lebensvorgänge in einem Gewässer beruhen

der Temperatur unabhängig und damit nicht von der Klimaerwärmung beeinflusst ist.⁵⁰

Abb. 35: Überdüngung (Quelle: :www.labor.zh.ch/internet/bd/awel/gg/gq/de/doku/doku_seen.html, idem:⁴⁹)



Ansonsten steht der Sauerstoffgehalt im Seewasser in direktem Zusammenhang mit der vom Klima abhängigen Wassertemperatur. Denn je höher die Temperatur ist, desto weniger Sauerstoff ist im Wasser lösbar. Zusätzlich benötigen die Fische bei höheren Temperaturen mehr Sauerstoff für Motorik und Stoffwechsel. Vor allem ist in der äusserst sensiblen Phase der Larval- und Juvenilentwicklung⁵¹ eine optimale Sauerstoffkonzentration notwendig. Weichen jedoch die Milieubedingungen zu stark von den Toleranzbereichen der Fische ab, kommt es zu Fischsterben. Eine stärkere Beeinflussung dieser Art ist bei den Salmoniden (**Äsche, Renke, Seeforelle**) festzustellen. Sind ihre Ansprüche, wie z.B. bestimmte Wassertemperaturen und Sauerstoffgehalt, längere Zeit nicht sichergestellt, führen die starken Belastungen zu Erkrankungen und schliesslich zum teilweisen Absterben dieser Arten:

Umweltparameter	ME	kritischer unterer Bereich	eingeschränkter unterer Bereich	optimaler Bereich	eingeschränkter oberer Bereich	kritischer oberer Bereich
Temperatur	°C	bis 0,1	8 ... 11	12 ... 16	17...20	bis 25
Sauerstoff	mg/l	bis 4,0	6 ... 6,9	7 ... 30	31 ... 35	bis 40
Leistungskurve		Stress				Stress
Salmoniden						

Abb. 36: Physiologische Ansprüche von Salmoniden an Wassertemperatur und Sauerstoffgehalt des Wassers sowie Leistungskurve der Fische bei kritischen, eingeschränkten und optimalen Bedingungen. (Quelle: Lloyd & Alabaster: "Water quality criteria for freshwater fish" (1990))

⁵⁰ http://www.labor.zh.ch/internet/bd/awel/gg/gq/de/doku/doku_seen.html, → 1_Seen[1].pdf)

⁵¹ Larval- und Juvenilentwicklung: Stadium der Larven- und Jungfischentwicklung

Auch das **Äschensterben** 2003 wurde durch das Zusammenwirken hoher Wassertemperaturen und zu geringer Sauerstoffkonzentrationen verursacht. Über 95% des **Äschenbestandes** wurden dadurch vernichtet, er hat sich bis heute noch nicht wieder erholt. Ebenso sind **Aale** vermehrt durch Hitzeperioden gefährdet, wie z.B. im Sommer 2003, als sie durch die hohen Temperaturen geschwächt und wegen des eingeschränkten Immunsystems von einem Herpesvirus befallen wurden und in Massen starben.⁵²

Das bedeutet ferner, dass durch steigende Temperaturen des Wassers auch verstärkt Fischkrankheiten auftreten, d.h. die meisten Bakteriosen nehmen aufgrund der zunehmenden Vermehrungsfähigkeit der Bakterien bei ansteigenden Wassertemperaturen zu. Steigt die Temperatur über 20 °C, so erkrankten Fische z.B. an Furunkulose, Flecken- oder Rotseuche. Bei letzterer Erkrankung befallen die Bakterien **Aale**, die sich bevorzugt in Grundnähe aufhalten, wo die Bakterienkonzentration besonders hoch, der Sauerstoff-Gehalt jedoch eher gering ist.⁵³

Aber nicht nur die Temperatur hat sich Untersuchungen zufolge in den letzten Jahren verändert sondern auch die CO₂-Konzentrationen der Luft. Über mehrere Jahrtausende herrschten CO₂-Gehalte von 200 bis 250 ppm⁵⁴. Doch in den letzten Jahren stieg der CO₂-Gehalt mit einem Wert von 380 ppm deutlich an. Schätzungen zufolge erhöht sich die CO₂-Konzentration im Verlaufe der nächsten 100 Jahre möglicherweise auf ca. 400 ppm (s. Abb. 37).⁵⁵

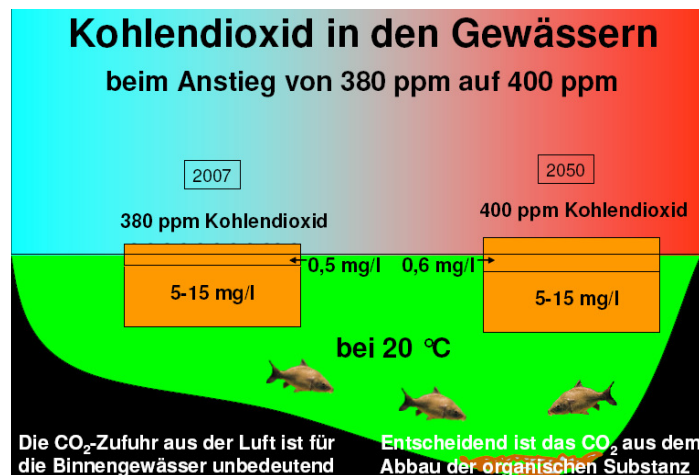


Abb. 37: Verhalten des Kohlendioxids im Wasser (Quelle: Dr. R. Berg)

⁵² Kramer, I.: „Fische und Klimawandel am Bodensee“ (2006) – Hg.: AGBU, Thema des Monats Oktober 2006

⁵³ <http://www.aalfreunde.de/News-catid-9-allstories-1-startrow-31.html+Fischkrankheit+AAle&hl=de&ct=clnk&cd=3&gl=ch>

⁵⁴ ppm: parts per million (= Teile pro Million) steht für 10⁻⁶ und wird in der Wissenschaft für den millionsten Teil verwendet, so wie Prozent (%) für den hundertsten Teil

⁵⁵ www.TUM 2007: life.physik.uni-muenchen.de

Die CO₂-Konzentrationen der Luft und die Temperaturerwärmung stehen in gegenseitiger Abhängigkeit, so dass die globale Erwärmung durch den Klimawandel höchstens 2 °C betragen dürfte, damit die CO₂-Konzentration die 400 ppm CO₂-Marke nicht übersteigt.⁵⁶ Im Wasser hingegen ist bei einer Wassertemperatur von 20 °C in Abhängigkeit vom Luftdruck eine CO₂-Konzentration von ca. 0,5 mg/l festzustellen. Bei gleichen Bedingungen, aber einer CO₂-Erhöhung auf 400 ppm würde sich die Konzentration auf ca. 0,6 mg/l erhöhen. Dies bedeutet, dass eine CO₂-Zufuhr aus der Luft eher unbedeutend wäre.⁵⁶ Denn nur durch die CO₂-Freisetzung aus der Atmung bzw. dem mikro-biologischen Abbau organischer Stoffe können die für die lebenswichtigen Vorgänge der Pflanzen und Fische erforderlichen relativ hohen CO₂-Konzentrationen von 5 bis 15 mg/l erreicht werden (s.o. Abb. 37). Somit hätte eine weitere Erhöhung des CO₂-Gehalts in der Luft keine direkte negative Folgen für die Fische im Bodensee.⁵⁷ Einen weiteren kritischen Punkt stellen die extremen Niedrigwasserphasen des Bodensees dar, wie sie besonders in den letzten fünf Jahren immer wieder vorkamen. Dabei gehen immer wieder Teile der Flachwasserbereiche verloren und somit auch Laichplätze, Nahrungsgründe und Lebensräume der Fische. Das trifft besonders dort zu, wo die Wasserwechselzone der Halde sehr nahe kommt (Abb. 38). Solche Flachwasserzonen im Uferbereich sind für fast alle Fischarten von grösster Bedeutung.⁵⁸

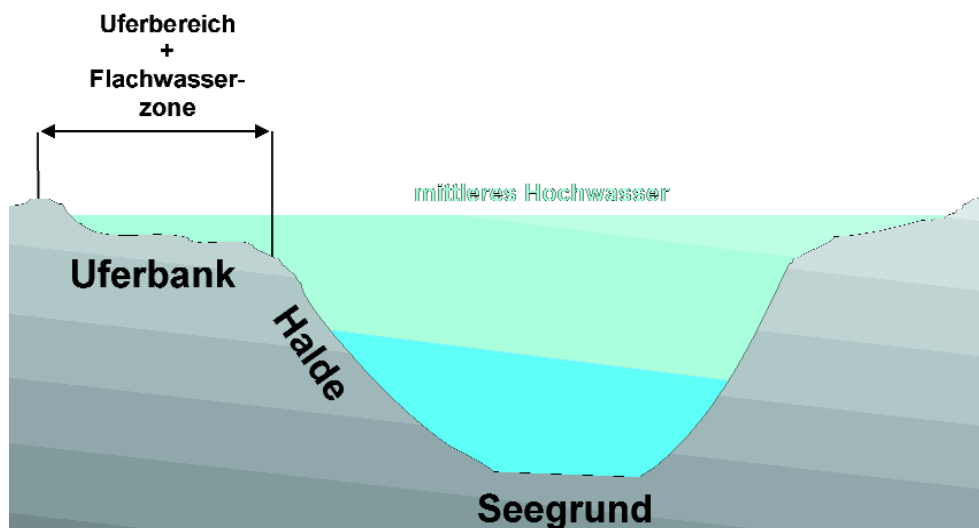


Abb. 38: Schematischer Querschnitt durch das Bodenseebecken (Quelle: http://xfaweb.baden-wuerttemberg.de/nafaweb/berichte/s_bio13/bio130003.html)

Zumindest in der Fortpflanzungsphase sind die meisten Fische auf die strömungsarmen Flachwasserbereiche angewiesen. Hechte aber auch andere

⁵⁶ www.pik-potsdam.de/infothek/sieben-kernaussagen-zum-klimawandel

⁵⁷ Baer, J.: „Informationen zum Klimawandel“, unveröff. (2007)

⁵⁸ Kramer, I.: „Fische und Uferzone des Bodensees“ (2003) – Hg.:AGBU, Thema des Monats Oktober 2003

Fischarten benötigen im Frühjahr überflutete Wiesen zum Ablaichen. Die Folge des Verlustes an Flachwasser-Zonen kann somit zu Fangrückgängen führen.

Doch dürften durch die Klimaerwärmung bestimmt auch positive Effekte auftreten. So zeigten Beobachtungen in warmen Sommern, dass mit zunehmender Erwärmung des Bodensees die pflanzliche Primärproduktion⁵⁹, die tierische Sekundärproduktion⁶⁰ und auch die Endproduktion der Fische innerhalb der Nahrungspyramide beschleunigt werden (Abb. 39).⁶¹

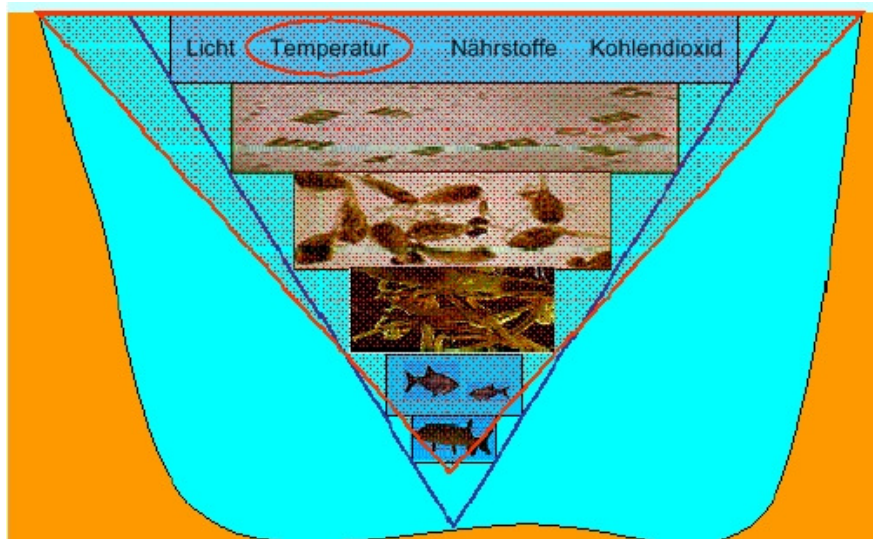


Abb. 39: Nahrungspyramide im Gewässer (blaue Pyramide): Bei höheren Temp. wird die Nahrungspyramide beschleunigt und die Gesamtproduktivität erhöht (rote Pyramide) (Quelle: Dr. R. Berg → „Informationen zum Klimawandel“ 2007, unveröffentl.⁶¹)

Karpfen können sich seit einiger Zeit, bedingt durch die optimale Nahrungskette in den warmen Jahren, natürlich fortpflanzen, denn die Wassertemperatur des Bodensees stieg im letzten Jahrzehnt jährlich um rund 0,00176 °C an. Auch die **Barsche** profitieren von den warmen Jahren und erreichen ihr Raubfischstadium früher, was jedoch wiederum das Jungfischaufkommen stärker vermindert. Fische sind wechselwarme Organismen, deren Stoffwechsel sich beim Anstieg der Wassertemperatur beschleunigt, welches im Weiteren das seit einigen Jahren beobachteten Wachstum etlicher Fischbestände erklärt. Eine ebenfalls schnellere Embryonal- und Larvenentwicklung führt jedoch dazu, dass den Jungfischen u.U. nicht die geeignete Anschlussnahrung zur Verfügung steht und sich die Fischbestände aufgrund dessen wieder eher dezimieren.

Ergebnis aus den Situationsbeobachtungen der Fische:

⁵⁹ Primärproduktion: Produktion von Biomasse, z.B. Phytoplankton (vergl. oben)

⁶⁰ Sekundärproduktion: hier Zooplankton

⁶¹ Baer, J.: „Informationen zum Klimawandel“ Bericht, unveröff. (2007)

Der Klimawandel und seine Auswirkungen können sich positiv oder negativ sowie direkt oder indirekt auf die Fischpopulationen im Bodensee auswirken und damit Vor- und Nachteile für die Fischerei haben. Die klimatisch bedingten Folgen im Ökosystem sind meistens Verschiebungen der Artenzusammensetzung in der Fischlebensgemeinschaft, d.h. besser angepasste Fischarten nehmen zu, weniger tolerante Arten nehmen ab. Dies kann eine starke Einbusse für den Fangertrag zur Folge haben, im Speziellen auf die Vielfalt der durch die Fischerei nutzbaren Arten, was für die Berufsfischerei Fangrückgänge bedeuten könnte.

2.4.2 Entdeckung wirbelloser Neozoen im Bodensee

Das Wissen über das Vorkommen und die Ausbreitung von wirbellosen Neozoen⁶² ist oft zufälligen Funden zu verdanken, z.B. bei fischereilichen Untersuchungen, Gewässerüberwachung oder durch interessierte Berufsfischer oder Fachexperten. Dabei fördert der Klimawandel mit hoher Wahrscheinlichkeit die Ausbreitung dieser neu eingewanderten oder eingeschleppten nicht einheimischen Tierarten im Bodensee. Besonders in den letzten Jahren konnten neue wärmeliebende Neozoen gefunden werden, wie z.B. die bekannte **Dreikantmuschel**, die sich zunächst bedrohlich stark vermehrte, seit mehreren Jahren aber als wichtige Nahrung für Wasservögel dient, sodass sich ihre Populationsdichte nun auf ein Niveau eingependelt hat, das die Gewässer-Biozöosen (= Lebensgemeinschaften) des Bodensees nicht beeinflusst.

Im heißen Sommer 2003 konnten lokal ganze Schwärme der neozoischen **Süßwasserquallen** (Abb. 40, links) beobachtet werden.



Abb. 40: links: Süßwasserqualle – rechts: Grobgerippte Körbchenmuschel

(Quelle Fotos: li.: G. Maier; re.: S. Werner, über Hydra Institut, Konstanz)

Zwar wurden sie zuvor schon einmal vereinzelt vorgefunden, doch bis dahin waren sie noch nie so grossräumig und dicht verbreitet aufgetreten. Im selben Jahr wurden im Prozess der weiteren Neozoenausbreitung noch andere „Neulinge“ entdeckt und zwar die **Grobgerippte Körbchenmuschel** (Abb. 40, rechts) und der

⁶² Neozoen (Sg.: das Neozoon) aus dem Griechischen: νέος - neu, ζῷον – Lebewesen: Tierarten, die durch direktes oder indirektes Wirkung des Menschen (z.B. Schifffahrt) oder durch aktive Wanderung in andere Gebiete gelangt sind und sich dort etabliert haben

Grosse Höckerflohkrebs. Doch eine zu starke ökologische Valenz⁶³ sowie die räuberische Lebensweise des zuletzt genannten Neozoen, die zu einer Verarmung der Biozönose in der Bodenzone des Sees führen könnte, drohen die Qualität dieses Prozesses zu gefährden.⁶⁴

So auch der seit ca. vier Jahren im Bodensee heimische **Kamberkrebs** (Abb.41, links), der eine gewisse Bedrohung darstellt, weil er, auch ohne selbst zu erkranken, die Krebspest auf die einheimischen Krebsarten übertragen kann. Im westlichen Bodenseegebiet bereits in sehr dichten Beständen vorkommend, breitet er sich kontinuierlich nach Osten aus und wurde in den letzten Jahren vermehrt auch am St.Galler Bodenseeufer angetroffen. Im September 2006 wurde aus der Gruppe der Schwebegarnelen die **Limnomysis benedeni** erstmals entdeckt. Auch diese Neuzuwanderung bleibt u.U. nicht ohne negative Folgen, denn sie macht dem einheimischen Zooplankton Konkurrenz.⁶⁵



Abb. 41: links: Kamberkrebs – rechts: Limnomysis benedeni

(Quelle: li: http://www.fischerfreunde-rottenburg.de/html/body_artikel.html; re: P. Rey, Hydra Institut KN)

Auswirkungen der Neozoen auf den Bodensee

Konkret sind die Folgen der Ausbreitung der verschiedenen Neozoen im Bodensee auf seine Biozönosen sowie den Fischbestand oder auch auf andere Bereiche der Seenutzung wie der Fischerei noch weitgehend unbekannt. Es ist jedoch sehr gut vorstellbar, dass z.B. wärmeliebende Neozoen, die sich auf Grund der Klimaerwärmung gut etablieren – die Wahrscheinlichkeit der

⁶³ ökologische Valenz= Präferenzbereich: Reaktion einer Population auf einen Umweltfaktor, hier Klimaerwärmung

⁶⁴ <http://www.neozoen-bodensee.de/aktuelles>

⁶⁵ http://www.landtag-bw.de/WP14/Drucksachen/0000/14_0352_d.pdf

Vermehrung steigt mit jedem Zehntel Grad Erwärmung der Wassertemperatur⁶⁶ – ökologische Veränderungen verursachen könnten, d.h., ein Überwiegen der Populationsstärke der Neozoen würde zu einem dauerhaften Zurückdrängen der ursprünglichen Fauna führen.

Ausserdem birgt jeder geringste Anstieg der durchschnittlichen Wassertemperaturen eine erhöhte Gefahr der Ausbreitung von neozoischen Parasiten in sich, wodurch neue, im Bodensee bisher unbekannte Krankheiten ausbrechen könnten. Deshalb ist es wichtig, die neuen Organismen genau zu kennen, damit entsprechende vorbeugende Massnahmen möglich sind.⁶⁷ Wohin schlussendlich die Entwicklung der Neozoen führt, ist bislang noch unerforscht, doch der Klimawandel wird die Etablierung der Neuankömmlinge begünstigen und damit u.U. einheimische Tierarten gefährden.

III. Folgerungen aus den gewonnenen Resultaten und Ausblicke

3. Interpretation der Ergebnisse über wechselnde Pegelstände und zu den Erhebungen der verschiedenen Bioindikatoren

3.1 Konsequenzen aus den beobachteten Pegeltrends und Extremwässern

Die Ergebnisse der Beobachtungen des Seespiegeltrends des Bodensees und seiner Extremwasserstände geben deutlich zu erkennen, dass die prognostizierte Klimaentwicklung Auswirkungen auf das Abflussregime des Bodensees haben wird. Die Verringerung der Schneedecke in den tiefen und mittleren Lagen und das sich reduzierende Gletschervolumen vermindert die saisonale Wasserspeicherkapazität, da sich im Winter aufgrund der zunehmend sinkenden Schneefallgrenze die Hochwassergefahr zwar erhöhen, die sommerliche Wasserführung der Alpenflüsse jedoch abnehmen wird. Durch die oft beobachtete Erhöhung der Niederschlagsmenge im Frühjahr und Veränderung der Schneeschmelze zu immer früheren Zeitpunkten könnte sich somit der Monat mit dem höchsten Abfluss von der Jahresmitte in Richtung April vorverlegen, der Monat mit den geringsten Abflüssen vom Februar in den September verschieben. Damit haben Globale Klimaänderungen einen indirekten Einfluss auf die Pegelstände des Bodensees, die jedoch durch die regionalen Gegebenheiten (unterschiedliches Abflussverhalten) variieren können.

⁶⁶ Ostendorp W.: „Geschichte des Bodensees und seiner Umgebung“ (2007)

⁶⁷ <http://www.neozoen-bodensee.de/aktuelles>

Mit den nun vorliegenden Gebietsniederschlagsdaten, den Klimadatenätze von ALPIMP⁶⁸, ist es möglich, den generellen Klimaeinfluss auf den Wasserhaushalt neu zu bewerten. Abschliessend bleibt jedoch festzuhalten, dass eine ursächliche Beziehung zwischen den Pegelvariationen und den überregionalen Klimavariationen zwar sehr wahrscheinlich ist, regionale klimatisch-hydrologische Auswertungen dazu aber noch fehlen.

3.2.1 Schlüsse aus den Veränderungen beim Strandrasen

Die Untersuchungen der Strandrasen ergaben, dass die Dynamik der Bestände besonders von den Wasserstandsvariationen abhängig ist. Nach den letzten fünf klimatisch bedingten Niedrigwasserjahren in Folge konnten sich die Strandrasen gut entwickeln und breiteten sich an vielen Stellen weiter Richtung See aus. Besonders das **Bodensee-Vergissmeinnicht** siedelte sich, da die Bedingungen für die Samenreife und –ausbreitung günstig waren, seit 2003 an vielen Stellen neu an. Auch der **Strandling** konnte an einigen neuen Fundorten entdeckt werden, dessen Bestände, ebenso wie die des **Ufer-Hahnenfusses**, sich teilweise stark auszubreiten vermochten. Bei allen drei Arten wurde 2006 ein Höchststand der Bestandesgrößen seit Beginn der Untersuchungen 1989 verzeichnet. Die Populationen der **Strand-Schmiele** vergrösserten sich im selben Zeitraum jedoch kaum, stellenweise wurde sogar ein starker Rückgang festgestellt, der wohl durch Trockenschäden infolge der Niedrigwasserjahre entstand. Die niederen Wasserstände seit 2003 führten aber auch dazu, dass die Begleitarten, wie z.B. Rohr-Glanzgras oder auch Schilf-Röhrichte, zunahmen. Dies könnte in den nächsten Jahren zu einem verstärkten Konkurrenzdruck führen und die Strandrasenarten wieder zurückdrängen. In vorgängigen Hochwasserjahren, wie beispielsweise 1999, zeigte sich, dass je nach Dauer der Überschwemmung Bestände teilweise wieder abnahmen oder sich die Population erneut landwärts bewegte. Dies ist aber in Zukunft nur möglich, sofern neuangesiedelte Begleitpflanzen dies nicht verhindern.

Es bleibt abzuwarten, ob im Zuge einer Klimaveränderung mit der zukünftigen Änderung der Wasserstandsdynamik des Bodensees, wie es der Trend der letzten Jahre vermuten lässt, vermehrt mit Niedrigwassern zu rechnen ist. Damit könnte der Bestand der meisten Strandrasenarten mit einer seewärtigen Ausbreitung weiterhin zunehmen, sofern nicht vermehrt Konkurrenzvegetation oder Erosion auftreten. Insgesamt ist jedoch zu befürchten, dass durch mildere Winter und

⁶⁸ http://oegm.boku.ac.at/Veranstaltungen/K08/03_praesKT08.pdf

trockenere bzw. heissere Sommer die Amplitude der Wasserstandsganglinie weiter abnimmt, denn innerhalb der letzten 100 Jahre reduzierte sie sich bereits um 40 cm. Mit so stark eingeschränkten Überschwemmungszonen würde auch das Strandrasenband am Bodenseeufer schmaler werden und damit anfälliger gegenüber Schadeinwirkungen. Auch ein früherer Eintritt der Hochwasser durch mildere Winter sowie länger andauernde Starkniederschläge könnte besonders die durch Samen bedingte Vermehrung beim **Bodensee-Vergissmeinnicht** einschränken.

Nur genaues Beobachten der klimatisch bedingten Veränderungen im Überschwemmungsbereich verbunden mit gezielte Schutzmassnahmen, wie z.B. Einschränkung von freizeittlichen Aktivitäten – hauptsächlich das Lagern und Bewegen von Booten oder Campieren in den Uferzonen – und entsprechende Pflegemassnahmen, beispielsweise rechtzeitiges Entfernen von konkurrenzstarken Gräsern, können langfristig die Bestände des bedrohten Strandrasens erhalten.

3.2.2 Schlussfolgerungen und Prognose für den Pionier „Rohrkolben“

Die letzten Niedrigwasserjahre machten es dem Rohrkolben, der Pioniervegetation auf der Insel Reichenau, möglich, sich erfolgreich zu etablieren. Wie die Feldbegehung zeigte, besiedelte der Rohrkolben nicht nur die seewärtig frei liegenden Sedimentflächen sondern auch die Stoppelfelder der 1999 abgestorbenen Schilf-Röhrichte. Doch wird der weitere Etablierungserfolg in starkem Masse ereignisgesteuert sein. Es bleibt die Frage offen, ob sich die Bestände langfristig weiter seewärts ausbreiten können, was man aufgrund der klimatisch bedingten signifikant sinkenden Sommerwasserspiegel des Bodensees erwarten könnte, oder doch wieder tendenziell zurückgehen. Dies dürfte von der Häufigkeit von Extremwasserständen abhängen, die mit der Klimaentwicklung dieses Jahrhunderts zunehmen werden. So gibt es auch Klimaprognosen, die besagen, dass sich die Häufigkeit von Starkregenereignissen und damit auch von Hochwasserabflüssen erhöhen wird. Andererseits sind Starkniederschläge eher lokale oder regionale Ereignisse, die nicht in jedem Fall das gesamte Einzugsgebiet des Bodensees betreffen müssen, sodass die Existenz der Rohrkolben auf der Insel Reichenau bestehen bleiben könnte, sofern sie dem allfälligen Konkurrenzdruck des Schilfs nicht unterliegt.

3.3.1 Fazit aus den Veränderungen in der Zugphänologie

Trotz methodischer Schwierigkeiten bei der Erfassung der Daten (z.B. verspätete Erstbeobachtung oder „Sonntageffekt“, d.h. Beobachtungen bevorzugt am

Wochenende) ist klar zu erkennen, dass durch die klimatische Erwärmung bei der überwiegenden Zahl der untersuchten Arten eine frühere Erstankunft registrierbar war. Dabei überwogen in den Beobachtungsreihen die Verfrühungen von durchschnittlich 0,3 Tage pro Jahr deutlich den Verspätungen und dies sowohl bei Kurzstreckenziehern wie auch bei Langstreckenziehern.

Nachdem die Zugvögel die Möglichkeit zur Anpassung an die Klimaveränderung besitzen, haben sie mit der früheren Erstankunft zwei Vorteile: Zum einen können früh zurückkehrende Männchen die optimalsten Reviere besetzen und zum andern sind frühere Gelege meistens grösser als späte. Zudem ermöglichen frühe Bruten bei Gelegeverlusten Ersatzbruten oder sogar Zweitbruten. Eine Gefährdung besteht jedoch darin, dass vielleicht die optimalen Nahrungsmengen für die Jungvögel noch nicht entsprechend zur Verfügung stehen.

3.3.2 Folgerungen aus der veränderten Brutphänologie

Den Kartierungsergebnissen zufolge übte die Klimaerwärmung zu 50% einen positiven Einfluss auf die Brutbiologie aus, negative Auswirkungen wurden nicht festgestellt. So führte der frühere Legebeginn auch zu grösseren Gelegen und vereinzelt sogar zu Zweitbruten. Besonders nach feuchtwarmen Wintern wurde eine verfrühte Eiablage mit grösseren Gelegen beobachtet. Jedoch noch deutlicher als die Zunahme der Gelegegrösse war der erhöhte Schlüpferfolg. Gezielte Beobachtungen bezüglich der Brutphänologie in den kommenden Jahren werden zeigen, wie stark der Klimaeffekt die Brutbiologie langfristig beeinflussen wird.

3.4.1 Resultierende Folgen für die Fischpopulation und Fischerei

Die Folgen des Klimawandels werden für die Fischpopulation und daraus resultierend auch für die Fischerei mit Vor- und Nachteilen verbunden sein. So werden durch die Klimaerwärmung die wärmeliebenden Fische gefördert, was eine erhöhte Nutzung bestimmter Fischarten, also eine Erhöhung der Gewässerproduktivität möglich machen würde. Im Gegenzug jedoch können kälteliebende Fischarten und Aale gefährdet werden. Auch eine Veränderung der Gewässerhabitate (Lebensraumbedingung) durch extreme Naturereignisse, wodurch – z.B. aufgrund von Überschwemmungen während der Fortpflanzungsphase – notwendige Flachwasserbereiche fehlen, hätte eine Dezimierung der Fischpopulation zur Folge. Eine weitere Gefährdung der Fische könnte von einer wärmebedingten Zunahme von Bakteriosen und Parasitosen ausgehen.

In Anbetracht der daraus resultierenden möglichen Gefahren durch den Klimawandel für die Fische und damit verbunden auch für die Fischerei, die eine traditionelle wie auch wirtschaftliche Bedeutung für die Bodenseeregion besitzt, ist es wichtig, in den kommenden Jahren die sich ändernden Bedingungen für die Fischpopulation eingehend zu analysieren und zu versuchen, den drohenden Gefahren rechtzeitig vorzubeugen. Dieses Problem zu lösen stellt Forscher und Naturwissenschaftler vor eine schwierige Aufgabe.

Schlussendlich aber darf nicht ausser Acht gelassen werden, dass auch noch andere, durch den Menschen verursachte Einflüsse auf das Ökosystem des Bodensees wirken. So haben z.B. die Uferverbauungen äusserst negative Auswirkungen auf Fischbestand und Fangerträge. Welche Einflüsse die Entwicklung der Fischpopulation letzten Endes ausschlaggebend beeinflussen wird, darauf wird erst die Zukunft eine Antwort geben.

3.4.2 Folgen aus der Etablierung der Neozoen

Im Zuge des Klimawandels werden sich die Lebensbedingungen im Bodensee in der Art verändern, dass mit weiteren Neuankömmlingen zu rechnen ist, die sich auf Dauer auch halten können. Doch sind die ökologischen Folgen einer vergrösserten Ausbreitungschance dieser aquatischen Neozoen noch nicht abschätzbar. Es wird davon abhängen, welche „Neulinge“ sich etablieren können und in wie weit es ihnen möglich sein wird, sich mit den bisherigen Biozöosen zu arrangieren. Im günstigen Fall kommt es zu einer schrittweisen Veränderung verbunden mit entsprechenden Eingliederungsprozessen. Jedoch wäre es auch möglich, dass sich in ihrem Herkunftsland unauffällige Arten bei uns als biologische Invasoren herausstellen, die die einheimischen Biozöosen schädigen, da hier die spezifischen Regulatoren, wie Fressfeinde, Konkurrenten oder Parasiten, fehlen.

4. Schlussfolgerungen und der Versuch einer Prognose

Die Untersuchungen der Seespiegeltrends und Extremwasserstände sowie die verschiedenen Beobachtungen bei den Bioindikatoren Ufervegetation, Zugvögel und aquatische Fauna zeigen zum Klimawandel parallel laufende Veränderungen. Die aufgetretenen lokalen Extremwetterbedingungen könnten u.U. jedoch auch rein zufällig eingetreten sein, wissenschaftlichen Untersuchungen zufolge zeichnet sich aber ein gewisser globaler Trend für den Alpenraum ab. So hatte der Bodensee in den letzten vier Jahrzehnten drei extreme Sommerhochwässer sowie einige aussergewöhnlich hohe Winterwasserstände, daneben eine zunehmende

Anzahl von ausgeprägten sommerlichen und winterlichen Niedrigwasserständen. Die auffällig niedrigen Wasserpegel der letzten fünf Jahre scheinen diese Tendenz zu verstärken. Nicht nur die Mittelwasserstände sondern auch die jährlichen Maximal- und Minimalwasserstände nahmen in diesem Zeitraum ab. Würde dieser Trend anhalten, könnten die Strandrasen und der spontan angesiedelten Rohrkolben ihre Bestände weiter seewärtig ausbauen. Den Beobachtungen und Kartierung zufolge profitieren aber auch die Zugvögel von der Klimaerwärmung, denn durch die frühere Ankunft ist ein früheres und grösseres Gelege, ev. sogar eine Zweitbrut möglich. Ebenso ist der klimatisch bedingte Anstieg der Wassertemperatur des Bodensees mit verantwortlich für die gute Etablierung der Neozoen. Bei den Fischen scheint es je nach Temperaturanpassung Verluste wie auch Zugewinne zu geben, in welchem Verhältnis und wie stark die negativen Folgen für die Fischerei sich bis zum Schluss auswirkt, das wird die Zukunft zeigen. Die genauen Auswirkungen des Klimawandels am Bodensee sind im Moment noch nicht abschätzbar, doch erste Reaktionen der Natur sind, wie die Ergebnisse der verschiedenen Erhebungen zeigten, nicht zu übersehen. Gewinner und Verlierer sind zu erahnen, doch letztlich darüber entscheiden wird der Verlauf der Klimaereignisse der kommenden Jahrzehnte.

5. Nachwort

Nun stehe ich, nachdem ich mich über eine längere Zeit mit der Maturaarbeit beschäftigt habe, kurz vor dem Abschluss meiner Arbeit. Besonders interessant fand ich bei den am Anfang stehenden Feldarbeiten das genaue Aufsuchen der neuen Rohrkolbenbestände auf der Insel Reichenau, was in dem sumpfigen Schlick gar nicht immer so einfach war. Das Auswerten, Analysieren, Vergleichen und Beurteilen der vielen Untersuchungsreihen, Diagramme und Statistiken der von mir untersuchten Bioindikatoren war z.T. nicht ganz einfach, besonders im Bereich der Zugvögel- und Brutphänologie, da mir die Kenntnisse der statistischen Methoden fehlten. Besonders spannend war es, Informationen zu Neozoen und den Veränderungen bei den Fischenbeständen herauszufinden. Doch mit Hilfe der geduldigen Unterstützung nachfolgender Personen war es mir möglich, das Ziel meiner Maturaarbeit zu erreichen.

Ganz besonders bedanken möchte ich mich an dieser Stelle bei Herrn **Patrick Stäheli**, meiner Betreuungsperson, die mich beim Konkretisieren meines Themas unterstützte und mir stets mit Tipps und Ratschlägen zur Seite stand.

Ein spezieller Dank gilt auch Herrn **Michael Dienst**, dem Diplom-Biologen der AGBU Konstanz, der mir freundlicherweise die Bestands-Erhebungsdaten von den Strandrasen bestimmter Fundorte des Thurgauer Bodenseeuferes sowie von Hegne/Konstanz zur Analyse und Interpretation überliess. Ausserdem ermöglichte er mir bei der letzten Mikrokartierung Ende April 2007 in Hegne einen Teil der Bodenseevergissmeinnicht im Beobachtungstransect auszuzählen. Im Weiteren durfte ich die erste Bestandsaufnahme des auf der Insel Reichenau spontan angesiedelten Rohrkolbens durchführen, die anschliessend von mir auf Orthobildern (von der AGBU freundlicherweise zur Verfügung gestellt) kartiert wurde. Auch konnte ich mich immer wieder mit Fragen an Herrn Dienst wenden, sowie an seinen Kollegen, Herrn **Dr. Wolfgang Ostendorp**, Priv.-Doz. und Diplom-Biologe, speziell im Bereich der Limnologie.

Auch um die Unterstützung von Herrn **Dr. Wolfgang Fiedler**, Ornithologe und Leiter der Vogelwarte Radolfzell, war ich sehr dankbar – nochmals vielen Dank. Er erklärte mir, soweit es möglich war, die komplizierten Computermess- und Auswertungsmethoden. Über ihn erhielt ich auch die im Anhang beigefügten Computerdaten der Zugvogel- und Brutbeobachtungen.

Nicht zuletzt ein herzliches Dankeschön an Herrn **Dr. Rainer Berg**, Biologiedirektor und Leiter der Fischereiforschungsstelle in Langenargen, der mir einige Informationen zu der Situation der Fische und der Neozoen geben konnte sowie einiges Bildmaterial.

Zum Schluss möchte ich auch vielmals meiner **Familie** danken, besonders meiner Mutter, die mich mehrere Male mit dem Auto nach Konstanz fuhr, sodass ich entsprechende Materialien für die Feldarbeiten transportieren sowie an zwei Abenden an der Vortragsreihe „Dem See tut's weh – Landschafts- und Klimawandel am Bodensee“ teilnehmen konnte.

Allen nochmals einen ganz herzlichen Dank!

IV. Literaturverzeichnis

Fachliteratur:

- § **Baer, J.:** „Informationen zum Klimawandel“ Bericht, unveröff., 2007. S. 1-7
- § **Burke, E.J., Brown, S.J., Christidis, N.:** “Modelling the recent evolution of global drought and projections for the twenty-first century with the Hadley

- Centre climate model", Journal of Hydrometeorology 7. Boston, 2006. S. 1113 – 1125
- § **Duden:** Das grosse Wörterbuch der deutschen Sprache, 10 Bde. Mannheim, 1999
- § **Fiedler, W.:** "Journal of Ornithology" Volume 142, Number 4. Berlin, 2001. S. 4-27
- § **Kramer, I.:** „Fische und die Uferzone des Bodensees“ Bericht, Monatsheft Oktober. Konstanz, 2003. S. 1-3
- § **Kramer, I.:** „Fische und Klimawandel am Bodensee“ Bericht, Monatsheft Oktober. Konstanz, 2006. S. 1-3
- § **Luft, G.:** „Veränderung der Bodensee-Wasserstände von 1887 bis 1987“ in: Handbuch Hydrologie Baden-Württemberg. Stuttgart, 1990. S. 3-22
- § **Lexikon der Biologie:** Spektrum Akademischer Verlag, 15 Bde. Heidelberg, 2002
- § **Lexikon der Geowissenschaften:** Spektrum Akademischer Verlag, 6 Bde. Heidelberg, 2001
- § **Møller, A.P., Fiedler, W., Berthold, P.:** „Birds and Climate Change“. Academic Press. Amsterdam, 2004. S. 49–68
- § **North, N., u.a.:** „Klimaänderung in der Schweiz. Indikatoren zu Ursachen, Auswirkungen, Massnahmen“. Umwelt-Zustand Nr. 0728. Bundesamt für Umwelt, Bern.2007. S. 30-37
- § **Ostendorp, W. , Jöhnk K.:** „Natur und Mensch“ Heft 6. Konstanz, 2003. S. 2-9
- § **Ostendorp, W., Brem, H., Dienst, M., Jöhnk, K., Mainberger, M., Peintinger, M., Rey, P., Rossknecht, H., Schlichtherle, H., Straile, D., Strang, I.:** „Auswirkungen des globalen Klimawandels auf den Bodensee“. Literatur–SVGB Konstanz, 2007. S. 200-231
- § **Peintinger, M., Strange, I., Dienst, M.:** „Strandrasen-Monitoring“, Bericht Juni- Heft. Konstanz, 2007. S. 1-3
- § **Rey, P., Mürle, U., Ortlepp, J.:** „Der Bodensee , Zustand – Fakten –

Perspektiven“. Radolfzell, 2004. S. 6-74; 147-165

- § **Soden, B.J., Jackson, D.L., Ramaswamy, V.:** “The radiative signature of upper tropospheric moistening“, Science 310. Boston, 2005. S. 841-844
- § **Walther, G., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T. J. C., Fromentin, J., Hoegh-Guldberg, O., Bairlein, F.:** “Ecological responses to recent climate change” – Nature 416. Hannover, 2002. S. 389-395
- § **Zeitschrift für Vogelkunde**, Vogelwarte, in: Band 43 • Heft 4. Radolfzell, 2005. S. 244-245

Internetquellen⁶³

- § **ANEBO – Aquatische Neozoen im Bodensee:** <http://www.neozoen-bodensee.de/aktuelles> 27.12.07
- § **BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung): Forschung zu Klimaschutz und Klimawirkungen:**
http://www.bmbf.de/pub/ipcc2007_AG2_kurzfassung_dt.pdf 27.12.07
- § **Chmielewski, F.-M., Foken, Th:** „Beiträge zur Klima- und Gewässerforschung“, Berlin, 2003. S. 61-63: <http://www.geo.uni-bayreuth.de/mikrometeorologie/HU70/Sch%F6nwiese.pdf> 27.12.07
- § **Die neuen ALPIMP-CLIVALP Klimadatensätze Neuerungen, Datenqualität und erste Ergebnisse:**
http://oegm.boku.ac.at/Veranstaltungen/K08/03_praesKT08.pdf 27.12.07
- § **Landtag von Baden-Württemberg: Gefahr für die Biodiversität durch invasive Tier- und Pflanzenarten:** http://www.landtag-bw.de/WP14/Drucksachen/0000/14_0352_d.pdf 27.12.07
- § **Pegelstation Bregenz – Bodensee Wasserstandsbeugung - Pegelnullpunkt: 394,37 m ü. Adria:**
http://www.vorarlberg.at/vorarlberg/wasser_energie/wasser/wasserwirtschaft/weitereinformationen/wasserkreislauf-hydrograp/wasserstaende-bodensee_al/bodensee/messstellebregenzhafen-wa.htm 27.12.07

⁶³ Datum hinter dem Link: Zeitpunkt der letzten Überprüfung der jeweiligen Internetseite

- § **PIK Research Portal:** [http://www.pik-potsdam.de/infothek/sieben-
kernaussagen-zum-klimawandel](http://www.pik-potsdam.de/infothek/sieben-
kernaussagen-zum-klimawandel) 27.12.07
- § **Statusbericht 2006 Wasserqualität – Gewässerqualität:**
http://www.labor.zh.ch/internet/bd/awel/gg/gg/de/doku/doku_seen.html →
[Vorgänge in einem See \(1331 KB\)](#) 27.12.07
- § **TUM (2007): life.physik uni-muenchen.de. Verburg & Hecky (2007):**
[http://www.lfvbw.de/typo3conf/ext/naw_securedl/secure.php?u=0&file=up
loads/media/Klima und Fischerei Textfassung.pdf&t=1192105902&hash
=46758b1304f628481cad9e4918f0f453](http://www.lfvbw.de/typo3conf/ext/naw_securedl/secure.php?u=0&file=up
loads/media/Klima_und_Fischerei_Textfassung.pdf&t=1192105902&hash
=46758b1304f628481cad9e4918f0f453) 27.12.07
- § **Wikipedia - Definitionen:** <http://www.wikipedia.de> 27.12.07

Kurzzusammenfassung

Immer wieder füllen Meldungen über Klimaveränderungen und deren Folgen die Medien. Die Extremwasserstände des Bodensees 1999 und 2003 sowie die Sommerniedrigwasserpegel der letzten Jahre scheinen dies zu bestätigen. Diesen **Einfluss des Klimawandels auf die Bodenseeregion** wollte ich, nach Absprache mit meinem Betreuer, Patrick Stäheli, anhand von Beobachtungen verschiedener Wasserstandsbewegungen und Veränderungen bei Bioindikatoren aufzeigen. Die Beantwortung folgender Fragen sollten mich zur Bestätigung meiner Hypothese führen:

- Gibt es Trends bei der Eintrittshäufigkeit von Extremereignissen, was sagt ein Mittelwasserspiegelvergleich aus?
- Welche Veränderungen sind beim gefährdeten Strandrasen erkennbar?
 - Welche Beobachtungen gibt es bei der Rohrkolbenspontanansiedlung?
- Lassen sich Verhaltensänderungen bei Zugvögeln beobachten, gibt es Auswirkungen auf das Brutverhalten?
 - Welche Auffälligkeiten zeigen die Fischbestände?
 - Gibt es spezielle Beobachtungen bezüglich Neozoen?

Nach den Pegelraten der letzten Jahrzehnte zeigten sich im Bodensee-Einzugsgebiet die Extremwasserstände abhängig von der Niederschlagsentwicklung. Untersuchungsreihen zufolge zeichnen sich die Extremwitterungen als Globaltrend ab. Dabei werden die Jahresschwankungen der Sommerhochwasser und Winterniedrigwasser, verstärkt durch die Niedrigwasserstände der letzten Jahre, geringer, wobei die Mittelwasserstände gleichzeitig abnehmen.

Besonders abhängig von diesen klimatischen Wasserstandsvariationen zeigten sich die Strandrasenbestände sowie die spontane Rohrkolbenansiedelung. Für diese Ufervegetation könnten die sinkenden Mittelwasserstände eine weitere Vergrößerung sowie seewärtige Verschiebung bewirken, ein früherer Hochwassereintritt (mildere Winter) oder Starkniederschlagsereignisse hingegen die Vermehrung wieder einschränken.

Der Einfluss des Klimawandels zeigte sich ebenso bei der Zugvögel- und Brutphänologie, da sich auch hier die wärmeren Temperaturen als Ursache für die früheren Ankunftszeiten und das zeitigere Brüten nachweisen liessen.

Der durch die Klimaerwärmung bedingte Seewasser-Temperaturanstieg bewirkt eine Verschiebung der Artenzusammensetzung der Fischlebensgemeinschaft und könnte u.U. neue Fischerkrankungen hervorrufen. Ausserdem ermöglicht eine Temperaturerhöhung den Neozoen eine leichtere Etablierung, was eine Verdrängung der Biozöosen bewirken kann.

Die Auswirkungen des Klimawandels am Bodensee sind momentan nicht abschätzbar, aber sichtbar. Gewinner und Verlierer sind noch unbekannt, die Entscheidung darüber wird vom Verlauf der zukünftigen Klimaereignisse abhängen.

Bestätigung der Eigentätigkeit

Der Unterzeichnete bestätigt mit seiner Unterschrift, dass die Arbeit selbstständig verfasst und in schriftliche Form gebracht worden ist, dass sich die Mitwirkung anderer Personen auf Beratung und Korrekturlesen beschränkt hat und dass alle verwendeten Unterlagen und Gewährspersonen aufgeführt sind. Er weiss, dass die erstellte Arbeit Eigentum der Schule ist und dass eine Veröffentlichung oder Weitergabe der Zustimmung von Autor, Betreuer und Schulleitung bedarf.