

Abschätzung der klimabedingten Temperaturänderungen bis zum Jahr 2050 während der Badesaison

Univ.-Prof. Dr. Martin T. Dokulil
Universität Wien
Fakultät für Lebenswissenschaften
Department für Limnologie und Hydrobotanik



Im Auftrag der Österreichischen Bundesforste, Mai 2009

Inhaltsverzeichnis

Resümee	3
1. Einleitung und Veranlassung	6
2. Wie werden sich Temperatur und Niederschlag durch das Klima in Österreich ändern?	8
3. Welche Auswirkungen auf die Hydrologie sind zu erwarten?	10
4. Wie reagieren Seen auf Veränderungen des Klimas? Was ist bereits bekannt?	10
5. Auswirkungen des veränderten Klimas auf die Seen	11
5.1 Die bearbeiteten Seen und die Datengrundlage	11
5.2 Methodik	13
5.3 Resultate.....	15
5.4 Temperatur Prognosen	31
5.5 Daraus ableitbare Veränderungen der Gewässer	35
6. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen.....	37
7. Literatur.....	40
8. Tabellenverzeichnis.....	43
9. Abbildungsverzeichnis.....	43
10. ANNEX 1 - Statistische Angaben	45
11. ANNEX 2 Varianzanalysen.....	52

Resümee

Gegenstand der Studie sind die 11 großen Seen im Besitz der Bundesforste und der Mondsee als Vergleichsgewässer (siehe Tabelle 1). Alle Temperaturen beziehen sich auf die Badesaison Juni bis September. Zur Langzeit-Entwicklung der Lufttemperaturen dieser Saison siehe Abbildung 1. Es wurden alle verfügbaren Daten bis einschließlich 2005 berücksichtigt.

- ✓ Die 12 Seen zerfallen auf Grund ihrer mittleren langzeitlichen Wassertemperaturen in drei Gruppen (Abbildung 4):
 - Die Seen im Einzugsgebiet der Traun (Gruppe 1) mit den niedrigsten sommerlichen Wassertemperaturen ($14,3 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$). Ausnahme: Wolfgangsee, der auf Grund seiner höheren Temperatur der zweiten Gruppe zugerechnet werden muss
 - Die Seen im Einzugsgebiet der Ager plus Wolfgangsee (Gruppe 2) mit deutlich höheren mittleren Wassertemperaturen ($17,3 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$)
 - Die Seen in Kärnten (Gruppe 3) mit den höchsten Wassertemperaturen ($20,0 \pm 1,0^{\circ}\text{C}$), die mit abnehmender Höhenlage zunehmen (Abbildung 4, unten und Tabelle 2)
- ✓ Die Mittelwerte der Wassertemperaturen der Jahre 2001-2005 der drei Gruppen (15,3; 19,0 bzw. 21,3) sind deutlich höher und unterscheiden sich statistisch signifikant von den durchschnittlichen Temperaturen der Zeitserien (Tabelle 5)
- ✓ Alle 12 Seen weisen seit etwa Mitte der 1960er Jahre im Gleichklang mit den Lufttemperaturen mehr oder weniger starke Tendenzen zu höheren Wassertemperaturen auf (Abbildung 6-17)
- ✓ Die Wassertemperaturen der Seen ändern sich im Frühjahr und Sommer stärker als die im Herbst (Abbildung 5)
- ✓ Prognosen lassen sich für alle Seen aus dem linearen Trend der letzten 40 Jahre (1965-2005) bzw. aus dem Zusammenhang der Wasser- mit der Lufttemperatur ableiten (Abbildung 6-17)
- ✓ Entsprechend der Klima-Prognosen der ZAMG für 2050 wurde eine sommerliche Erhöhung der Lufttemperatur von 3°C bundesweit zu Grunde gelegt
- ✓ Die Vorhersagen fallen für beide Methoden ähnlich aus (Abbildung A bzw. Abbildung 19). Einige wenige Seen lassen sich wegen geringem Trend und/oder schwacher Luft-Wasser Kopplung nur schlecht prognostizieren

- ✓ Die konservative Schätzung der Erhöhung der Wassertemperatur beträgt für die Badesaison Juni bis September im Mittel 2°C (Spannweite 1,2 – 2,9°C) mit regionalen Unterschieden (Tabelle A bzw. Tabelle 8)

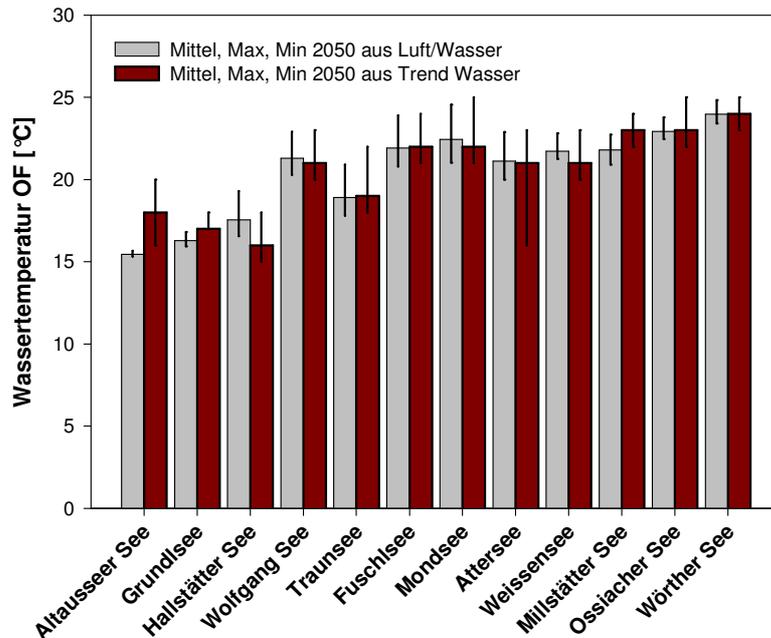


Abbildung A (Kopie von Abbildung 19)

Vergleich der für 2050 aus den beiden Methoden (Trend der Zeitreihe bzw. Luft-Wasser Relation) vorhergesagten mittleren, maximalen und minimalen Wassertemperaturen an der Oberfläche

Tabelle A (Kopie von Tabelle 8)

Mittelwert und Spannweite der OF-Wassertemperaturen für den Zeitraum 2001-2005 sowie Mittel und Spannweite beider Prognosemethoden für 2050. Daraus die Temperaturdifferenz bzw. Erwärmung insgesamt und pro Jahr.

Gewässer	01-05 Mittel	01-05 Spannweite	2050 Mittel	2050 Spannweite	Erwärmung 2005 / 2050	Erwärmung Pro Jahr
Altausseer See	14,9	13,2-17,6	16,5	15-20	1,6	0,036
Grundlsee	15,3	14,9-15,7	16,5	16-18	1,2	0,027
Hallstätter See	14,6	13,2-17,0	17,0	15-19	2,4	0,053
Traunsee	16,4	14,9-18,8	19,0	18-22	2,6	0,058
Wolfgang See	18,7	17,9-20,7	21,0	20-23	2,3	0,051
Fuschlsee	19,1	18,1-21,2	22,0	21-24	2,9	0,064
Mondsee	19,5	18,4-21,9	22,0	21-25	2,5	0,056
Attersee	18,8	17,4-20,8	21,0	16-23	2,2	0,049
Weissensee	19,6	18,9-22,9	21,5	20-23	1,9	0,042
Millstätter See	20,4	19,8-22,1	22,5	21-24	2,1	0,047
Ossiacher See	21,8	21,0-23,6	23,0	22-25	1,2	0,027
Wörther See	22,3	21,5-23,6	24,0	23-25	1,7	0,038

- ✓ Eine Zunahme von Extremereignissen, etwa eine Häufung von heißen, trockenen Sommern kann durchaus zu noch höheren Wassertemperaturen führen
- ✓ Da hier Mittelwerte über die Badesaison betrachtet werden, können in Einzelfällen bei weitem höhere Spitzentemperaturen erreicht werden
- ✓ Als Folge der höheren Temperaturen und der allgemeinen Klimaänderung wird es je nach der Charakteristik des Sees zu einer verstärkten und länger andauernden thermischen Schichtung während des Jahres kommen, sofern nicht erhöhte oder verminderte Abflüsse zu signifikanten Änderungen der Verweilzeit des Wassers im See führen
- ✓ Durch die Auswirkungen auf die Schichtungs- und Mischungsvorgänge sind Veränderungen im Tiefenwasser (Temperaturerhöhung, Verringerung der Sauerstoff-Konzentration etc.) nicht auszuschließen
- ✓ Zusammen mit einem möglichen verstärkten Eintrag von Nährstoffen aus dem Einzugsgebiet kann es dadurch zu einer ‚klimabedingten‘ erneuten Eutrophierung kommen
- ✓ Insgesamt wird es zu schwer vorhersagbaren Änderungen im Nahrungsnetz kommen, welche letztlich zusammen mit dem veränderten Temperaturregime Auswirkungen auf den Fischbestand haben werden

1. Einleitung und Veranlassung

Die bereits beobachtbaren weltweiten Veränderungen des Klimas sind heute unbestritten (IPCC 2007). Die Konzentrationen an Treibhausgasen und Aerosolen (Kohlendioxid, Methan, Stickoxide, u.a.) haben durch menschliche Aktivität seit 1750 beständig zugenommen. Änderungen des Klimas in Europa betreffen Österreich im Besonderen, weil die Alpen am Schnittpunkt verschiedener Klimaeinflüsse (atlantisch, kontinental, mediterran) liegen. Die Trends des Anstieges der Temperatur sind im Alpenraum überall ähnlich, aber doppelt so stark wie im globalen Mittel (Böhm et al. 2008). Wegen des Wasserreichtums Österreichs sind dadurch die Hydrologie, Wasserwirtschaft und die Gewässer besonders und unmittelbar gefährdet (Nachtnebel 2008).

Die Gesamtzahl der stehenden Gewässer mit einer Fläche von über 250 m² wird mit etwa 25.000 angegeben (Koller-Kreimel 2002). Im Atlas der natürlichen Seen Österreichs (BAW 2008) sind die 43 Seen mit einer Fläche von mehr als 50 ha mit ihren Daten zusammengefasst, wovon wiederum 26 größer als 1 km² (=100 ha) sind (Tabelle 1). Alle diese Seen sind für die EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) relevant.

Die Österreichischen Bundesforste sind mit etwa 26.000 ha stehendem Gewässer und 2.030 km Fließgewässer der größte Gewässerbewirtschafter Österreichs. Sie bewirtschaften vor allem auch 11 der größten Seen Österreichs (Tabelle 1). Mit ihrem Flächenanteil von 70% sind die Bundesforste somit der größte Seebesitzer im Land (<http://www.oebf.at/>). Die Bewirtschaftung dieser Seen zieht zahlreiche Aufgaben mit hohen Ansprüchen nach sich. Gewässerökologie, Erholungswert und Fischerei spielen dabei eine zentrale Rolle.

Aus dieser Verantwortung heraus haben sich die Bundesforste veranlasst gesehen, eine Studie über die möglichen Auswirkungen der Klimaänderung auf die Badeseen in Österreich in Auftrag zu geben. Ziel der hier vorgelegten Studie ist die *„Abschätzung der klimabedingten Temperaturänderungen bis zum Jahr 2050 während der Badesaison“*. Als Badesaison werden die Monate Juni bis September betrachtet. In diesem Zusammenhang mag es nützlich sein, statt der üblichen Langzeit-Jahreskurven der Temperaturentwicklung, die entsprechende Kurve aus Böhm et al. (2007) wiederzugeben (Abbildung 1).

Abgeschätzt wird die Zunahme der mittleren Oberflächentemperaturen in den Seen während der Badesaison bis zum Jahr 2050 für die einzelnen Gewässer und geographischen Regionen bzw. Einzugsgebiete. Weitergehende Auswirkungen auf das thermische Verhalten, insbesondere auf Dauer und Stärke der thermischen Schichtung im Sommer, sowie Nährstoffeintrag und Biologie werden in

Analogie zu einem Beispielsee, dem Mondsee dargestellt. Nicht berücksichtigt werden können klimabedingte signifikante Änderungen des Abflusses und deren Folgen auf die mittlere Aufenthaltszeit des Wassers und deren Bedeutung für Temperatur und Schichtung in den Seen.

Tabelle 1 Österreichs größte Seen und ihre Besitzverhältnisse. Die beiden flächengrößten Seen sind als grenzüberschreitende Gewässer nicht in die Betrachtung einbezogen worden.

Quelle: www.bundesforste.at/fileadmin/user_upload/Prdukte_Loesungen/Publikationen/Seenfolder.pdf

See	Seefläche in km ²		See/Ufer Bundesland
	ÖBf-Besitz	and. Besitzer	
1 Bodensee	–	539,0	V
2 Neusiedler See	–	321,0	B
3 Attersee	46,2	–	ÖÖ/S
4 Traunsee	24,4	–	ÖÖ
5 Wörther See	19,4	–	K
6 Mondsee	–	13,8	ÖÖ/S
7 Millstätter See	13,3	–	K
8 Wolfgangsee	12,0	0,8	S/ÖÖ
9 Ossiacher See	10,8	–	K
10 Hallstätter See	8,6	–	ÖÖ
11 Achensee	–	6,8	T
12 Weißensee	6,5	–	K
13 Wallersee	–	6,1	S
14 Obertrumer See	–	4,8	S
15 Zeller See	–	4,6	S
16 Grundlsee	4,1	–	St
17 Irrsee	–	3,6	ÖÖ
18 Niedertrumer See	–	3,6	S
19 Plansee	–	2,9	T
20 Fuschlsee	2,7	–	S
21 Faaker See	–	2,2	K
22 Altausseer See	2,1	–	St
23 Heiterwanger See	–	1,4	T
24 Keutschacher See	–	1,3	K
25 Grabensee	–	1,3	S
26 Klopeinersee	–	1,1	K
Anteil in km²	150,1	54,3	204,4
Anteil in Prozent	73,4	26,6	100,0

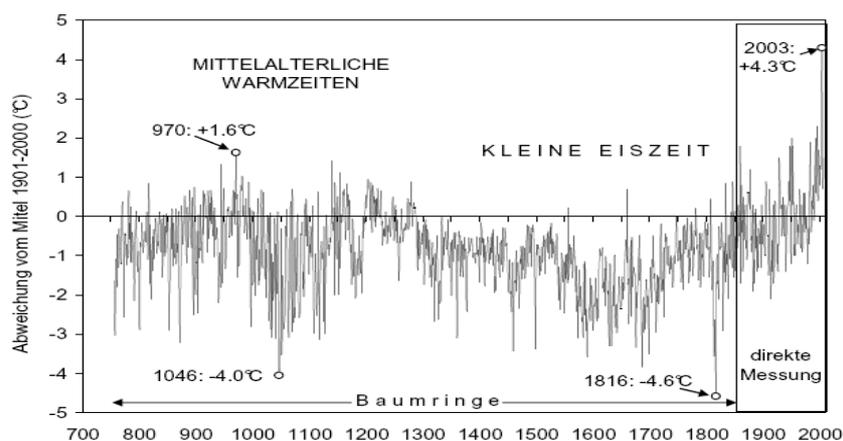


Abbildung 1 Rekonstruktion der Sommer-Frühherbst Temperaturen (Juni-September) in den Alpen seit dem Jahr 755 n. Chr. in °C als Abweichung vom Mittel der Jahre 1901-2000 (Aus: Böhm et al. 2007).

2. Wie werden sich Temperatur und Niederschlag durch das Klima in Österreich ändern?

Legt man ein gemäßigtes globales Klimaszenarium für die Temperaturänderungen in Österreich im Zeitraum 2020 – 2050 gegenüber 1961 – 1990 zugrunde, so ist innerhalb von ca. 50 Jahren in einem Großteil Österreichs mit Temperaturanstiegen von 2°C bis 3°C zu rechnen (Matulla et al, 2004). In Österreich werden also die Temperaturen stärker ansteigen als im globalen Durchschnitt (Böhm et al. 2007). wobei regionale Unterschiede zu erwarten sind (ZAMG 2008).

In der Abbildung 2 ist die mittlere Änderung der Jahresmitteltemperatur für ganz Österreich dargestellt. Die Änderungen betragen zwischen 2 und 4°C, wobei die stärkeren Änderungen bei den Bergstationen auftreten. Für die Betrachtungen hier besonders interessant ist, dass die stärksten Änderungen der Temperatur offenbar in den Seengebieten des Salzkammergutes und Kärntens auftreten werden.

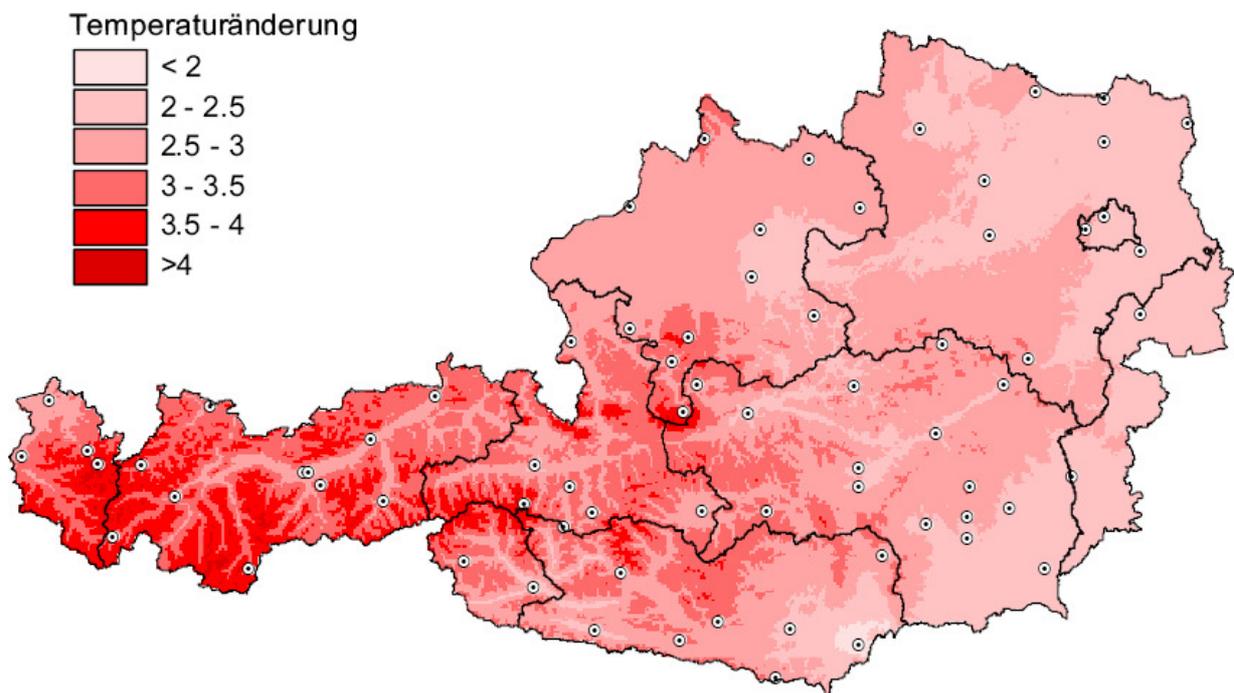


Abbildung 2 Änderung der Jahresmitteltemperatur der Periode 2019-2048 gegenüber 1961-1990, abgeleitet mittels Analogmethode aus den ECHAM4-IS92 A Lauf. Aus: Formayer et al. (2005).

Für die Sommermonate prognostizierten Heinemann und Sept (2000) einen Anstieg der Temperaturen um 3 bis 5°C bei gleichzeitigem Rückgang des Niederschlags um bis zu 20%.

Die Simulationen des Projektes reclip:more (2007) zeigen bis 2050 (im 10-Jahresdurchschnitt) folgende Entwicklung:

Die mittlere Jahrestemperatur wird 2 bis 2,5 °C ansteigen, beim Alpenhauptkamm mehr. Der Temperaturanstieg fällt jahreszeitlich und nach Region unterschiedlich aus:

- Winter: Norden & Osten: +1,3 bis 1,8°C, Süden & Westen +1,5 bis 2°C
- Frühjahr: Generell: +1,8 bis 2,5°C, Westen & gesamter Alpenraum: +2 bis 3°C
- Sommer: Generell: +2 bis 2,5°C, Westen & Alpenraum: +2,5 bis 3°C
- Herbst: Generell: +2,5 bis 3 °C, Westen: +2,3 bis 3°C

Die Niederschläge werden insgesamt abnehmen, vor allem im Osten:

- im Sommer und vor allem im Herbst kommt es zu einer großräumigen Abnahme
- im Winter und Frühling ist gelegentlich eine regional differenzierte Zunahme möglich,

Die Zahl der Starkniederschläge wird um einige Ereignisse pro Jahr ansteigen.

Die Zahl der Sommertage pro Jahr mit über 25°C wird sich verdoppeln (bis 80!).

Die Zahl der Hitzetage pro Jahr mit über 30°C wird sich im Osten vervierfachen (bis 25!).

Die Zahl der Frosttage wird sich in vielen Tälern halbieren (im Mittel ca. -25 Tage).

Es muss also davon ausgegangen werden, dass Extremereignisse in Zukunft erheblich zunehmen werden (Kromp.Kolb und Schwarzl 2003, 2005).

Die prognostizierten Änderungen der Temperaturen in den Regionen und Jahreszeiten bis 2050 sind relativ zu den durchschnittlichen Temperaturen von 1981 -1990 in Abbildung 3 wiedergegeben.

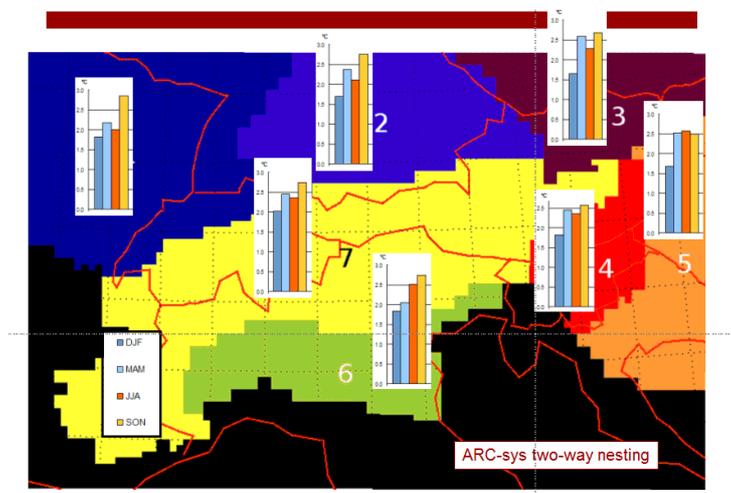


Abbildung 3 Erwartbare Änderung der Temperatur in den peri-alpinen Regionen 2041-2050 relativ zu 1981-1990.
 Aus: <http://systemsresearch.arcs.ac.at/projects/climate/>

3. Welche Auswirkungen auf die Hydrologie sind zu erwarten?

Die Veränderung des Klimas im alpinen Raum wird erhebliche Umgestaltungen im Wasserhaushalt zur Folge haben. Die Niederschläge im Alpenraum schwanken schon jetzt stark von Jahr zu Jahr. Feuchte und trockene Jahre unterscheiden sich je nach Jahreszeit und Region um einen Faktor 2 bis 4. Die mittleren Winterniederschläge im 20. Jahrhundert haben im nördlichen und westlichen Alpenraum um 20–30% zugenommen (Kottmeier 2005).

Auf die Klimaerwärmung wird die Region der Alpen durch den Anstieg der Frostgrenze und der damit verbundenen Verminderung der Zwischenspeicherung des Niederschlages in Form von Schnee und Eis empfindlicher reagieren als Gebiete im Tiefland. Die sommerlichen Abflüsse aus stark vergletscherten Einzugsgebieten werden durch die Abnahme von Neuschnee in den Gletscherregionen und der erhöhten Schmelzraten als Folge der höheren Lufttemperaturen im Hochsommer zunächst ansteigen. Sobald die Gletscher endgültig verschwinden (Böhm et al. 2007), werden die sommerlichen Abflüsse stark reduziert, was zu Engpässen in der Wasserversorgung führen kann. Generell ist ein Wechsel von nival zu pluvial gesteuerter Abflussbildung zu erwarten, d.h. der Abfluss wird vermehrt über den flüssigen Niederschlag und weniger über die Schmelze von Schnee und Eis gesteuert werden und ist damit von Jahr zu Jahr größeren Schwankungen unterworfen (Braun 2002). Damit wird es zu einer Verschiebung der Abflussspitze in den Spätwinter bei gleichzeitiger Abflachung und größerer zeitlicher Erstreckung der Abflussspende kommen (Kuhn 2008).

4. Wie reagieren Seen auf Veränderungen des Klimas? Was ist bereits bekannt?

Die möglichen Auswirkungen einer Klimaänderung auf größere Binnenseen wurden bereits von Hollan (2000) beschrieben und zusammengefasst. Klimatische Veränderungen übertragen sich auf Seen in besonderer Weise, weil das Süßwasser infolge einiger seiner spezifischen Eigenschaften ein stark abweichendes Verhalten gegenüber der festen und gasförmigen Phase aufweist. In physikalischer Hinsicht sind die relativ hohe spezifische Wärme und das Dichtemaximum bei 4°C als die wichtigsten Merkmale anzusehen. Wegen der relativ geringen molekularen Wärmeleitung des Wassers ist ein höherer innerer Wärmeaustausch durch turbulente und konvektive Prozesse im See erforderlich. Die Temperatur und das thermische Schichtungsverhalten der Seen ist daher ein wesentlicher Steuerungsfaktor für eine Vielzahl von Prozessen.

Die Temperatur im See wird von der Lufttemperatur beeinflusst. Diese sogenannte ‚Luft-Wasser Koppelung‘ ist seit langem bekannt (z.B. McCombie 1959, Shuter et al. 1983) und gilt auch für Fließgewässer (Webb & Nobilis, 1999). Die sommerlichen Wassertemperaturen an der Oberfläche geographisch weit auseinander liegender Seen weisen einen deutlichen Zusammenhang untereinander und mit der Lufttemperatur als Proxy für Klimaeinflüsse im Allgemeinen auf (Livingstone und Padisák 2007). Mit der Höhenlage nehmen die Wassertemperaturen ab, lassen sich aber auch aus den Lufttemperaturen vorhersagen (Livingstone et al. 1999, Livingstone et al. 2005). Es besteht ein deutlicher Zusammenhang mit dem Klima bzw. mit synoptischen Klimaindikatoren wie z.B. der Nordatlantischen Oszillation (NAO) wie u.a. Livingstone und Dokulil (2001) nachgewiesen haben. Der Einfluss des Klimas betrifft aber auch die Wassertemperatur in der Tiefe von Seen (Livingstone 1993, 1997, Dokulil et al. 2006).

Die Erneuerung des Tiefenwassers und die Regeneration des Sauerstoffgehalts in der Tiefe werden durch das Ausmaß der Vertikalzirkulation / Konvektion, Einschichtung von Flusswasser und aus flachen Randbereichen einströmendes kaltes Oberflächenwasser bestimmt. Alle diese Prozesse sind stark abhängig von der Temperatur. Winterliche Erwärmung durch Veränderungen im Klima haben komplexe Wirkungen auf die physikalischen und chemischen Prozesse im See (z.B. Straile et al. 2003).

In der Folge wirken sich die klimabedingten Veränderungen auf das pflanzliche und tierische Plankton (z.B. Straile und Adrian 2000) und letztlich auch auf den Fischbestand aus (z.B. Straile et al. 2006). Dabei kommt es zu zeitlichen Verschiebungen des Klarwasserstadiums im Frühjahr mit Wirkung auf das Nahrungsnetz (Straile 2002). Extremereignisse, wie etwa besonders warme Jahre, greifen ganz besonders in das empfindliche Ökosystem See ein (Jankowski et al. 2006). Eine Zusammenfassung und Übersicht über die Auswirkungen und Folgen der Klimaänderung auf Seen in Mitteleuropa geben Dokulil et al. (2009).

5. Auswirkungen des veränderten Klimas auf die Seen

Im Folgenden Abschnitt werden die möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf die Seen, insbesondere auf die Temperatur der Gewässer analysiert und dargestellt.

5.1 Die bearbeiteten Seen und die Datengrundlage

Die vorliegende Studie berücksichtigt die 11 großen Seen im Besitz der Bundesforste, sowie zusätzlich den Mondsee als Vergleichsgewässer, weil dafür die umfangreichsten Daten und Erfahrungen aus zwei EU-Klimaprojekten vorliegen (REFLECT / CLIME). Die bearbeiteten Seen sind bereits in Tabelle 1

vorgestellt worden. Weitere umfangreiche Details zu den Seen sind dem ‚Atlas der natürlichen Seen Österreichs mit einer Fläche ≥ 50 ha - Stand 2005‘ (http://www.baw-iwg.at/cms/publikationen/-Seenatlas_2005.pdf) bzw. OÖLR (1998) zu entnehmen.

Alle Analysen basieren auf den täglichen Messungen der Oberflächentemperatur (OF) und den damit verfügbaren Langzeit-Datenreihen des österreichischen Hydrographischen Dienstes (<http://iwhw.boku.ac.at/oegh/hzbhome.html>). Die Monatsmittelwerte der Messstellen (Tabelle 2) wurden aus den Hydrographischen Jahrbüchern von Österreich (HJÖ, seit 2002 auch auf CD-ROM) in eine Datenbank übernommen und weiterverarbeitet. Die zu den jeweiligen Seedaten nächstgelegenen Lufttemperaturen entstammen ebenfalls den HJÖ und wurden durch Daten aus den Jahrbüchern (<http://www.zamg.ac.at/klima/jahrbuch/>) der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) ergänzt (Tabelle 3).

Tabelle 2 Übersicht über die Seen, die im Text verwendeten Abkürzungen (Abk.), den Ort der Messstellen der Wassertemperatur (WT), ihren Pegelnullpunkt (PNP), das dazugehörige Einzugsgebiet (EZG) und den Beginn der Beobachtungen (BB).

Seen	Abk-	Ort aus HJÖ	PNP m ü. A.	EZG km ²	BB WT
Altaussee See	ALW	Altaussee (Seeklause)	710,36	54,5	1909
Grundlsee	GLW	Grundlsee	707,60	125,1	1035
Hallstätter See	HALW	Lahn	507,48	614,4	1901
Wolfgangsee	WOW	Strobl	536,89	125,2	1977
Traunsee	TRW	Ebensee (Landungssteg)	420,97	1395,3	1904
Traunsee	TRW	Gmunden (Esplanade)	421,31	1422,0	1951
Fuschlsee	FUW	Fuschl	662,40	29,5	1910
Mondsee	MOW	Limnologisches Institut	479,33	246,8	1908
Attersee	ATW	Weißbach (Seepegel)	467,62	459,7	1908
Weißensee	WEW	Techendorf	927,92	48,4	1990
Millstätter See	MIW	Millstatt	587,00	286,3	1912
Ossiacher See	OSW	St. Andrä-OWF	500,29	165,4	1923
Wörther See	WÖW	Pörtschach	439,01	162,1	1934

Tabelle 3 Übersicht über die Messstellen der Lufttemperatur, die im Text verwendeten Abkürzungen (Abk.), die Höhe über Adria, die geographische Länge und Breite sowie der Beobachtungsbeginn (BB)

Lufttemperaturen	Abk.	m ü. A.	Länge	Breite	BB
Bad Aussee	ABA	665	13,47	47,37	1961
Bad Aussee	ABA	666	13,47	47,37	1961
Hallstatt	AHA	510	13,39	47,33	1927
St. Gilgen / Strobl	AST	550	13,29	47,43	1904
Ebensee (Schule)	AEB	425	13,47	47,48	1896
Gmunden	AGM	426	13,49	47,55	1899
Fuschl	AFU	670	13,18	47,48	1955

Mondsee	AMO	491	13,22	47,51	1896
Attersee	AAT	495	13,32	47,55	1985
Weißensee-Gatschach	AWE	945	13,17	46,43	1896
Millstatt	AMI	591	13,34	46,48	1896
Ossiach	AOS	520	13,59	46,41	1926
Velden-Weinzierl	AWÖ	535	14	46,37	1988

5.2 Methodik

Die Monatsmittelwerte wurden zu Jahres- und Saisonmittelwerten verrechnet. Da die Badesaison für die gegenständliche Bearbeitung von vorrangiger Bedeutung ist wurden als Betrachtungszeitraum die Monate Juni bis September gewählt. Alle angeführten Werte, sofern nicht anders angegeben, verstehen sich somit als Durchschnitt (Mittel) bzw. Maximum oder Minimum über diesen Zeitraum. Alle Daten wurden vor der Verarbeitung auf Normalverteilung überprüft (Kolmogorov-Smirnov Test). Die Anpassung der langen Zeitreihen der Luft- und Wassertemperatur für die Badesaison Juni bis September erfolgte mittels 10-jährigen gleitenden Durchschnitts. Da in fast allen Datenreihen eine Trendumkehr in den 60er Jahren des 20. Jahrhunderts festzustellen war, wurde aus Gründen der Vergleichbarkeit für alle Datenreihen der Wassertemperatur das Jahr 1965 als Wendepunkt festgesetzt und für die Periode davor und danach jeweils ein linearer Trend berechnet.

Aus Regressionen der Luft- und Wassertemperaturen für jeden einzelnen See lässt sich der Zusammenhang (erklärte Varianz r^2) zwischen beiden Kenngrößen ableiten (Luft-Wasser Kopplung).

Aus all diesen statistischen Angaben lassen sich zwei Prognosemethoden ableiten:

1. Lineare Extrapolation der möglichen Wassertemperatur für den Zeithorizont 2050 aus den Zeitreihen unter Benützung des Trends der 40 Jahr-Periode 1965 – 2005.
2. Berechnung der wahrscheinlichen mittleren Wassertemperatur aus der Luft-Wasser Relation für den Zeithorizont 2050

Beide Verfahren wurden jeweils auf die mittleren Wassertemperaturen der Badesaison (J–S) der Jahre 2001 – 2005 angewandt und daraus Mittelwerte, Abweichung und Spannweite (Minimum und Maximum) abgeleitet. Die linearen Extrapolationen wurden ohne weitere Annahmen auf das Jahr 2050 projiziert. Für die Berechnung der mittleren Oberflächentemperatur aus der Luft-Wasser Kopplung wurde die prognostizierte sommerliche Erhöhung der Lufttemperatur im Alpenraum von 3°C angenommen (siehe Seite 5).

Alle Ergebnisse wurden statistisch auf Signifikanz überprüft (t-Test bzw. ANOVA). Die detaillierten Angaben dazu finden sich im Annex. Die Graphiken und alle statistischen Tests und Angaben wurden mit SigmaPlot 10 und Sigmastat 3.5 ausgeführt.

5.3 Resultate

Um einen allgemeinen Überblick über die Jahresverläufe der Oberflächen-Temperaturen der Seen zu gewinnen, wurde für jeden einzelnen See aus dem kompletten Datensatz eine mittlere Jahreskurve der Wassertemperatur an der Oberfläche (OF) abgeleitet (Abbildung 4, oben). Aus dieser Darstellung ist ersichtlich, dass die Gewässer deutlich in drei Gruppen zerfallen:

Eine Gruppe bilden die Seen im Einzugsgebiet der Traun mit den niedrigsten Sommerlichen Wassertemperaturen. Eine Ausnahme ist der Wolfgangsees, der auf Grund seiner höheren Temperatur der zweiten Gruppe zugerechnet werden muss. Deutlich höhere Sommertemperaturen weisen die Seen im Einzugsgebiet der Ager auf, die zusammen mit dem Wolfgangsee die zweite Seengruppe bilden. Am wärmsten sind im Sommer die Seen in Kärnten (Gruppe 3), deren OF Temperaturen mit abnehmender Höhenlage zunehmen (Abbildung 4, unten und Tabelle 2).

Die Varianzanalyse der drei Gruppen zeigt, dass sich die OF-Temperaturen der Seen in den drei Gruppen statistisch signifikant ($P = < 0,001$) voneinander unterscheiden (Tabelle 4). Ein Vergleich der Langzeit-Mittelwerte der Wassertemperaturen der drei Gruppen mit den entsprechenden Mittelwerten der Jahre 2001-2005 zeigt eine statistisch signifikante Erhöhung der OF-Temperaturen in allen drei Gruppen nach der Jahrtausendwende (Tabelle 5). Der Anstieg der See-Temperatur im Zeitfenster 2001-2005 relativ zum langjährigen Mittel beträgt im EZG der Traun $0,9^{\circ}\text{C}$, ist im Ager EZG mit $1,7^{\circ}\text{C}$ am größten und macht in den Kärntner See durchschnittlich $1,3^{\circ}\text{C}$ aus.

Die stärksten Änderungen der Gewässertemperaturen treten im Frühjahr und Sommer auf wie Abbildung 5 am Beispiel Mondsee deutlich macht. Ähnliche gleichsinnige Änderungen sind auch in fast allen anderen hier betrachteten Seen in unterschiedlichem Ausmaß festzustellen.

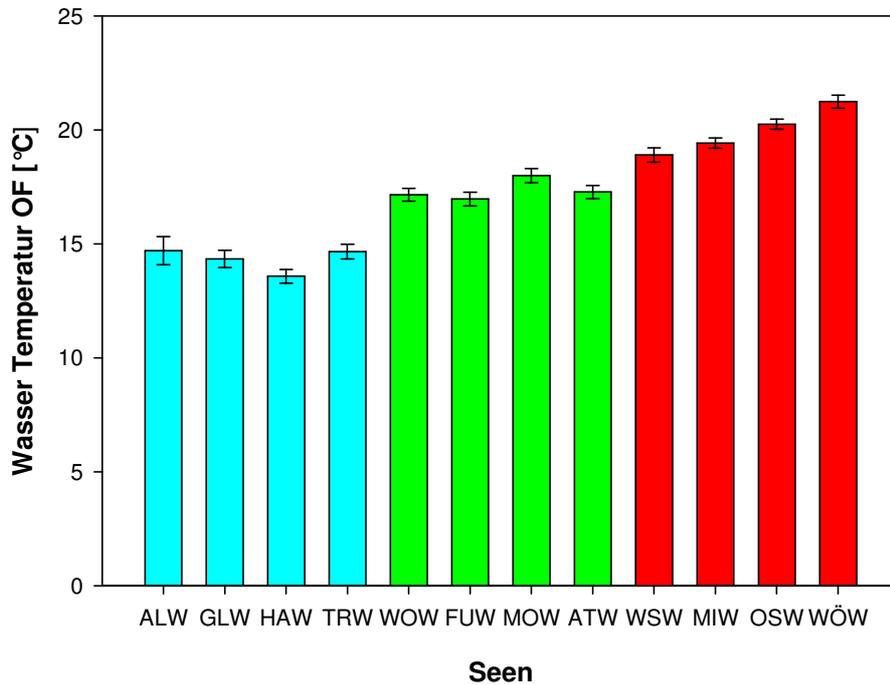
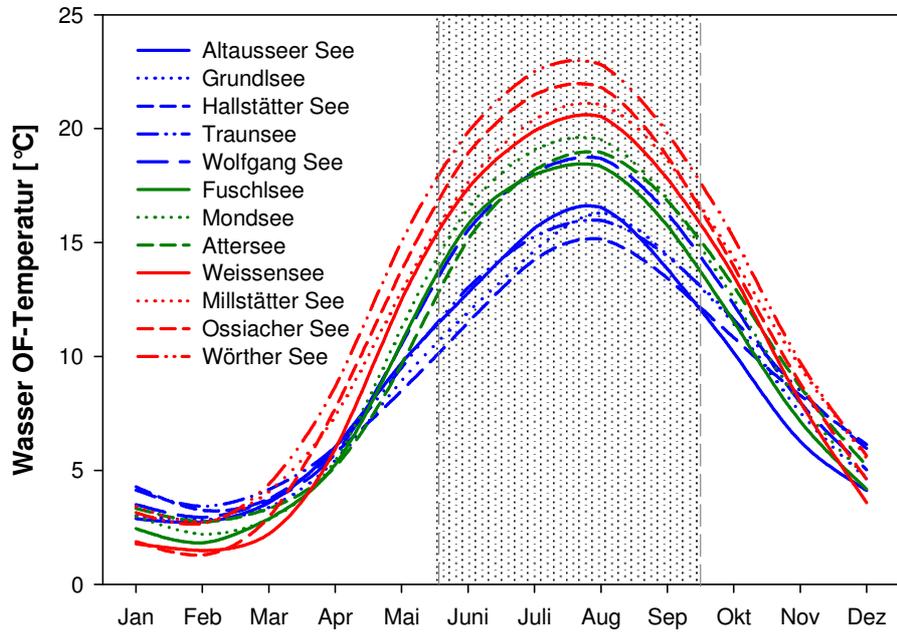


Abbildung 4 Mittlere Jahreskurven der Wassertemperatur an der Oberfläche (OF) aller 12 Seen, berechnet aus dem jeweiligen gesamten Datensatz. Die Badesaison Juni bis September ist schattiert hinterlegt (oben). Langzeit-Mittelwert und 95%iges Vertrauensintervall der OF-Temperatur für die Badesaison der 12 Seen (unten). Die Abkürzungen der Seen finden sich in Tabelle 2.

Tabelle 4 Varianzanalyse (ANOVA) der Daten aus Abbildung 4 unten. Die gesamte Analyse findet sich in Annex 2.

Gruppe	Mittel	Std Abw	SEM
Traun EZG	14,320	0,520	0,260
Ager EZG + WO	17,350	0,451	0,225
Kärnten	19,955	1,020	0,510

Herkunft	DF	SS	MS	F	P
Zwischen Gruppen	2	63,620	31,810	63,072	<0,001
Residuen	9	4,539	0,504		
Total	11	68,159			

Tabelle 5 Varianzanalyse (ANOVA) der Mittelwerte aus Abbildung 4 und Tabelle 5 mit den Mittelwerten für die Jahre 2001-2005 (Zeile 4-6). Die gesamte Analyse findet sich in Annex 2.

Gruppe	Mittel	Std Abw	SEM
1 Traun alle	14,320	0,520	0,260
2 Ager+WO alle	17,350	0,451	0,225
3 Kärnten alle	19,955	1,020	0,510
4 Traun 01/05	15,274	0,814	0,407
5 Ager/WO 01/05	19,006	0,359	0,180
6 Kärnten 01/05	21,268	0,963	0,482

Herkunft	DF	SS	MS	F	P
Zwischen Gruppen	5	147,180	29,436	54,624	<0,001
Residuen	18	9,700	0,539		
Total	23	156,880			

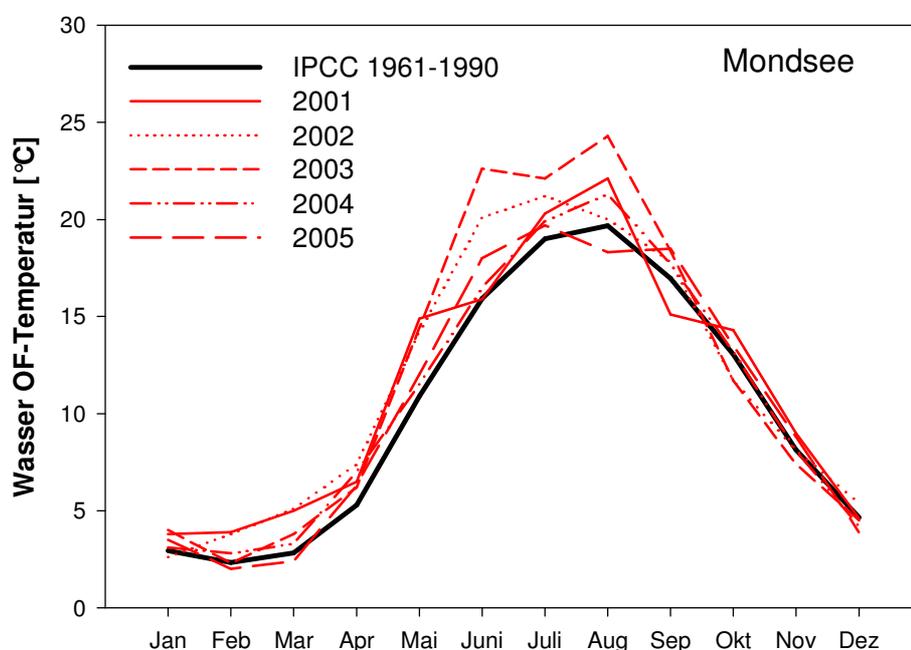


Abbildung 5 Veränderungen im Jahrgang der OF-Wassertemperatur 2001-2005 am Beispiel Mondsee im Vergleich zur Durchschnittskurve der IPCC Basisperiode 1961-1990.

In den Abbildung 6 bis 17 sind alle Daten aller 12 Seen dargestellt. Die Seen sind nach Einzugsgebiet (EZG) geordnet und innerhalb des EZG von stromauf- nach stromab geordnet bzw. in Kärnten nach der Höhenlage. Bei allen Seen mit Ausnahme des Grundlsees markant erkennbar ist der ‚Jahrhundertsommer 2003 (Abbildungen 6 – 17) aber auch die warmen Sommer 1993 und 1995.

Im Einzugsgebiet der Traun repräsentieren der **Altausser See** (Abbildung 6) und der **Grundlsee** (Abbildung 7) zwei inneralpine Gewässer des inneren Salzkammergutes. Aus beiden Gewässern stehen Daten der OF-Temperatur seit 1951 zur Verfügung. In beiden Seen ist von Beginn der Beobachtungsperiode bis etwa Mitte der 70er Jahre eine Tendenz zu abnehmenden Temperaturen festzustellen wie sich besonders am gleitenden Durchschnitt ablesen lässt. Beim Altausseer See sind die starken Schwankungen der sommerlichen Wassertemperatur besonders auffallend, welche nur einen sehr geringen Zusammenhang zur Lufttemperatur aufweisen ($r^2 = 0,03$, Abbildung 6 C). Zurückzuführen ist dieses abweichende Verhalten wohl auf den Einfluss der unterirdischen Zuflüsse aus dem Toten Gebirge. Der See hat keine nennenswerten oberirdischen Zuflüsse. Beim **Grundlsee** ist die Luft-Wasserkoppelung ebenfalls gering und mit einer erklärten Varianz von 13% ($r^2 = 0,13$) statistisch nicht signifikant.

Der nächste See in der Seenkette der Traun, der **Hallstätter See** zeigt bei der Wassertemperatur praktisch keinen Trend zu höheren Werten. Gleiches gilt für die Lufttemperatur in Hallstatt (Abbildung 8). Beide Kenngrößen sind aber wesentlich besser korreliert ($r = 0,71$). Die Lufttemperatur erklärt 50% der Variabilität der OF-Temperatur ($r^2 = 0,50$), was statistisch signifikant ist (Annex 1). Einen deutlichen Erwärmungstrend weist der **Traunsee** etwa seit 1980 auf, was parallel geht zur Zunahme der Lufttemperatur in Ebensee und Gmunden (Abbildung 9). Beide Lufttemperaturen steuern statistisch signifikant die Wassertemperatur ($r^2 = 0,57$ und $0,62$). Gleiches gilt auch für den wärmsten See im EZG der Traun, dem **Wolfgang See** ($r^2 = 0,40$ St. Gilgen bzw. $0,68$ Strobl). Seit etwa 1970 nehmen die OF Temperaturen kontinuierlich zu (Abbildung 10). Ähnliches trifft auch auf die Lufttemperatur zu. Allerdings war die Lufttemperatur in den 1950er Jahren höher als in den letzten Dezennien. Diese ‚Warmphase‘ ist deutlich auch in der Wassertemperatur zu erkennen, vor allem beim gleitenden Durchschnitt.

Alle hier betrachteten Seen im Einzugsgebiet der Ager weisen deutliche Trend zu höheren Wassertemperaturen seit etwa Mitte der 1960er Jahre auf. Dieser Trend ist beim **Fuschlsee** (Abbildung 11) am deutlichsten. Beim **Mondsee** und beim **Attersee** (Abbildung 12 und Abbildung 13) sind die Trends nicht ganz, stimmen aber im gleitenden Durchschnitt und im linearen Trend gut überein. Bei

allen drei Seen besteht eine hohe Koppelung der Wasser- an die Lufttemperatur (erklärte Varianz um die 70%).

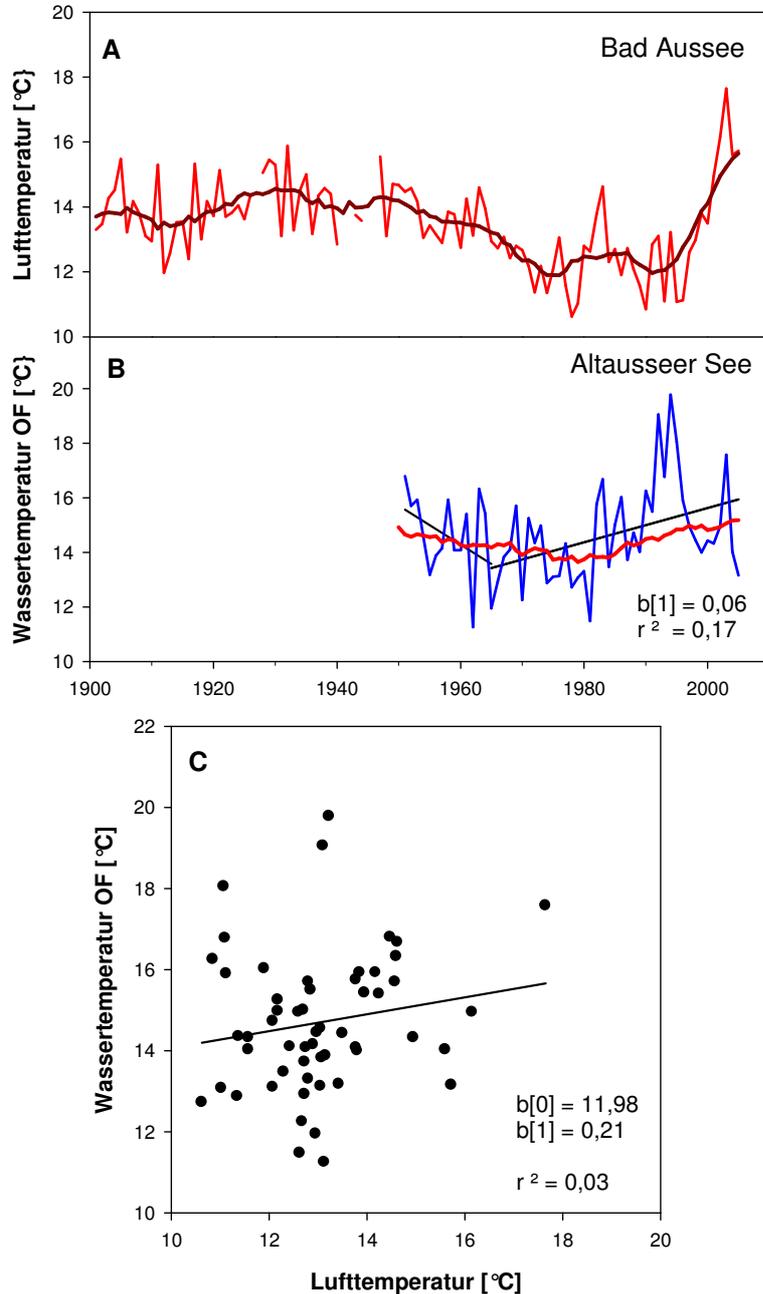


Abbildung 6 Zeitreihen der Lufttemperatur Bad Aussee (A), der OF-Wassertemperatur Altausseer See (B) und Regression Luft- gegen Wassertemperatur 1965-2005 (C). In A und B sind der 10-jährige gleitende Durchschnitt angegeben; in B ist zusätzlich der lineare Trend vor 1965 und nach 1965 dargestellt. Für den Trend nach 1965 ist der Anstieg $b[1]$ und das Bestimmtheitsmaß r^2 eingetragen. In C ist die Regressionsgerade samt Parameter $b[0]$ und $b[1]$ sowie das Bestimmtheitsmaß r^2 wiedergegeben.

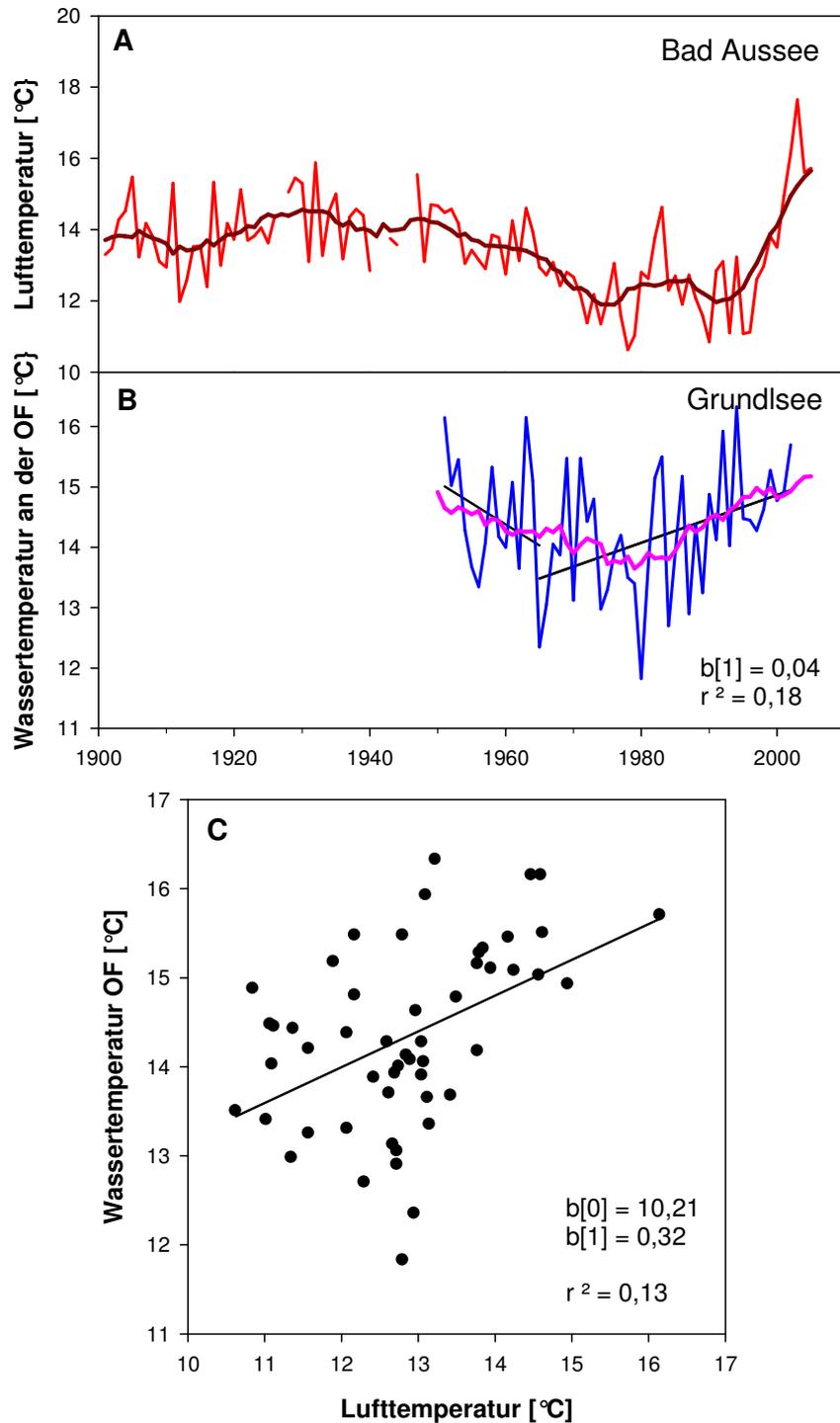


Abbildung 7 Zeitreihen der Lufttemperatur Bad Aussee (A), der OF-Wassertemperatur Grundlsee (B) und Regression Luft- gegen Wassertemperatur 1965-2005 (C). In A und B sind der 10-jährige gleitende Durchschnitt angegeben; in B ist zusätzlich der lineare Trend vor 1965 und nach 1965 dargestellt. Für den Trend nach 1965 ist der Anstieg $b[1]$ und das Bestimmtheitsmaß r^2 eingetragen. In C ist die Regressionsgerade samt Parameter $b[0]$ und $b[1]$ sowie das Bestimmtheitsmaß r^2 wiedergegeben.

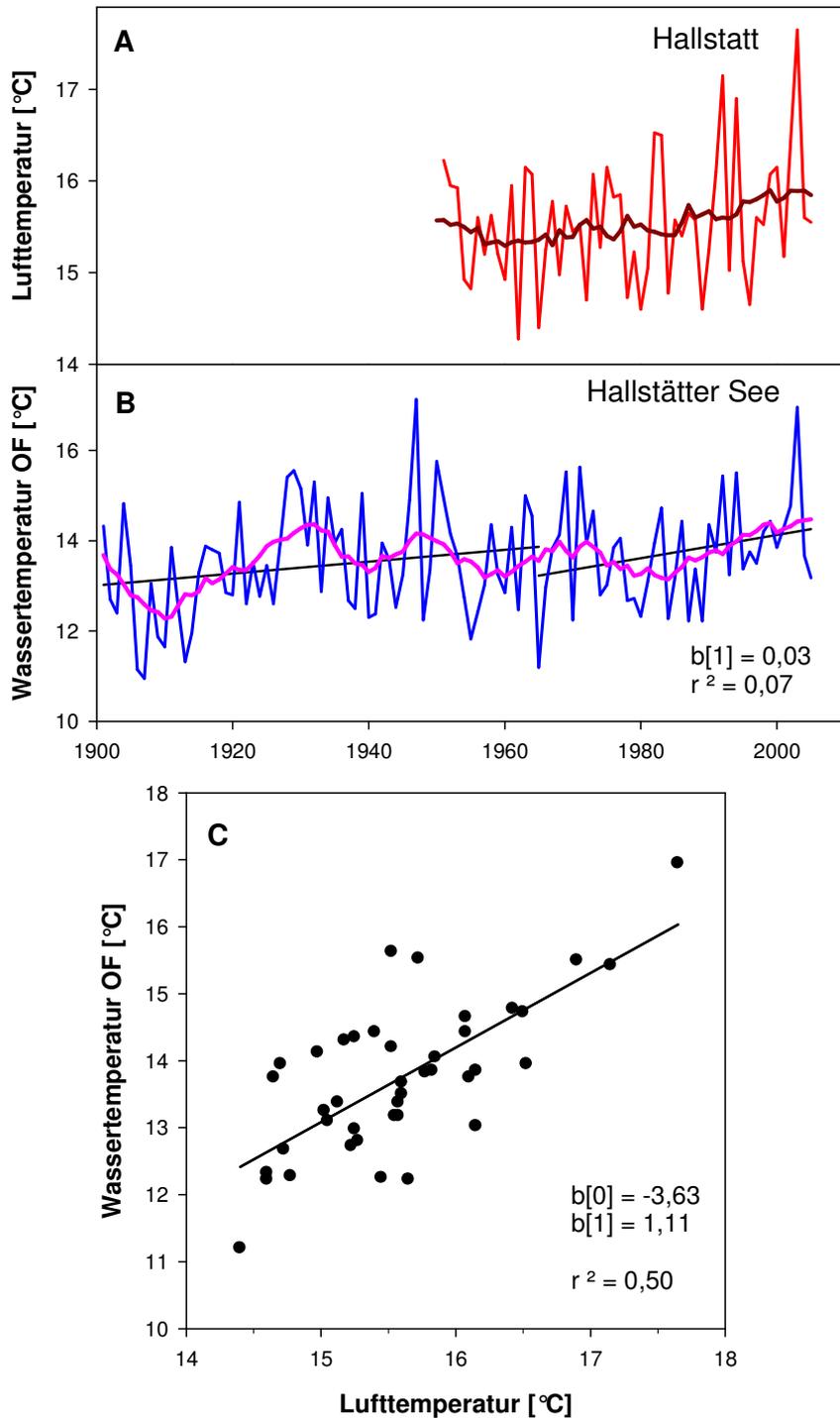


Abbildung 8 Zeitreihen der Lufttemperatur Hallstatt (A), der OF-Wassertemperatur Hallstätter See (B) und Regression Luft- gegen Wassertemperatur 1965-2005 (C). In A und B sind der 10-jährige gleitende Durchschnitt angegeben; in B ist zusätzlich der lineare Trend vor 1965 und nach 1965 dargestellt. Für den Trend nach 1965 ist der Anstieg $b[1]$ und das Bestimmtheitsmaß r^2 eingetragen. In C ist die Regressionsgerade samt Parameter $b[0]$ und $b[1]$ sowie das Bestimmtheitsmaß r^2 wiedergegeben.

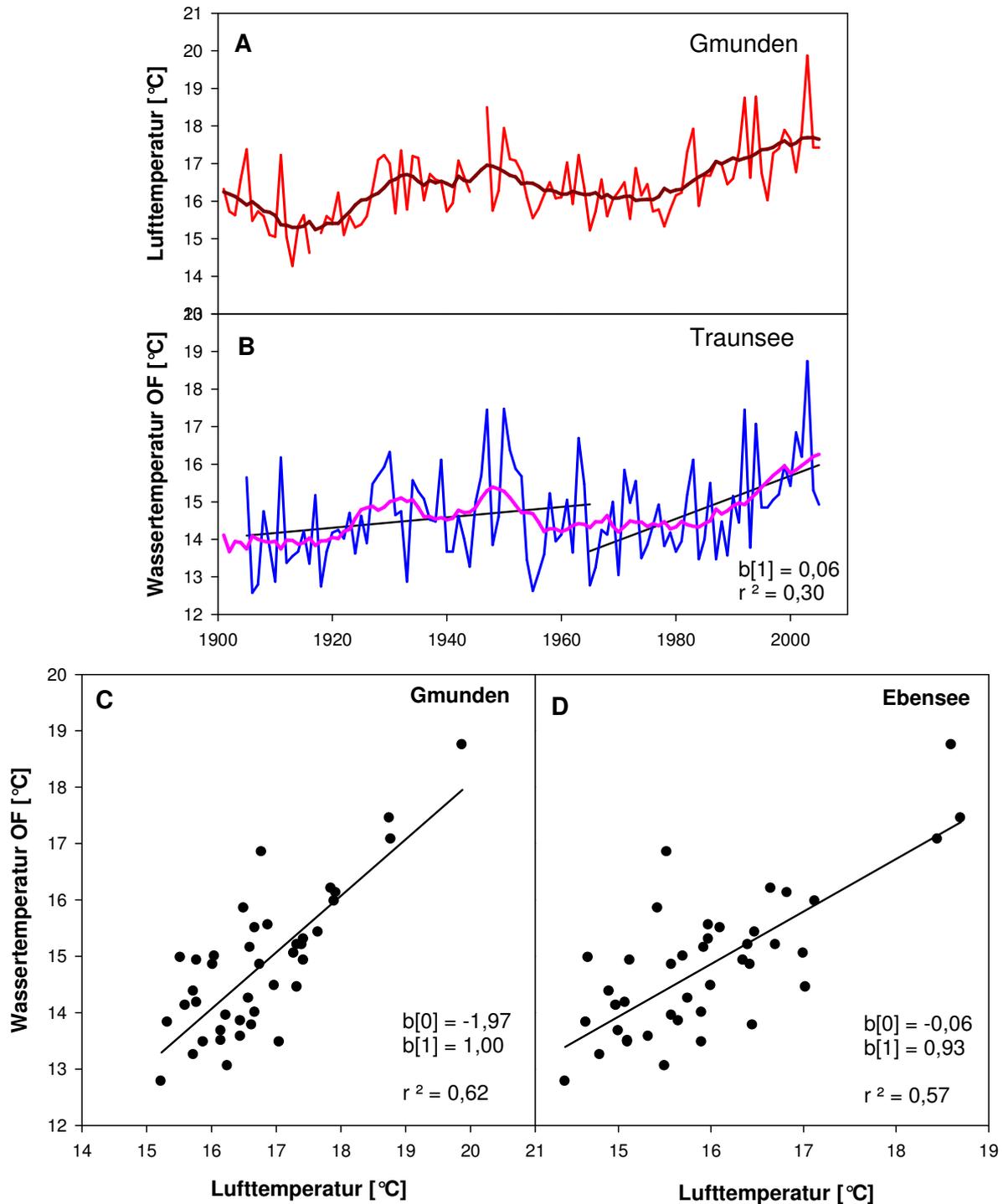


Abbildung 9 Zeitreihen der Lufttemperatur Gmunden (A), der OF-Wassertemperatur Traunsee (B) und Regression Luft- gegen Wassertemperatur 1965-2005 Gmunden (C) und Ebensee (D). In A und B sind der 10-jährige gleitende Durchschnitt angegeben; in B ist zusätzlich der lineare Trend vor 1965 und nach 1965 dargestellt. Für den Trend nach 1965 ist der Anstieg $b[1]$ und das Bestimmtheitsmaß r^2 eingetragen. In C und D sind die Regressionsgeraden samt Parameter $b[0]$ und $b[1]$ sowie die Bestimmtheitsmaße r^2 wiedergegeben.

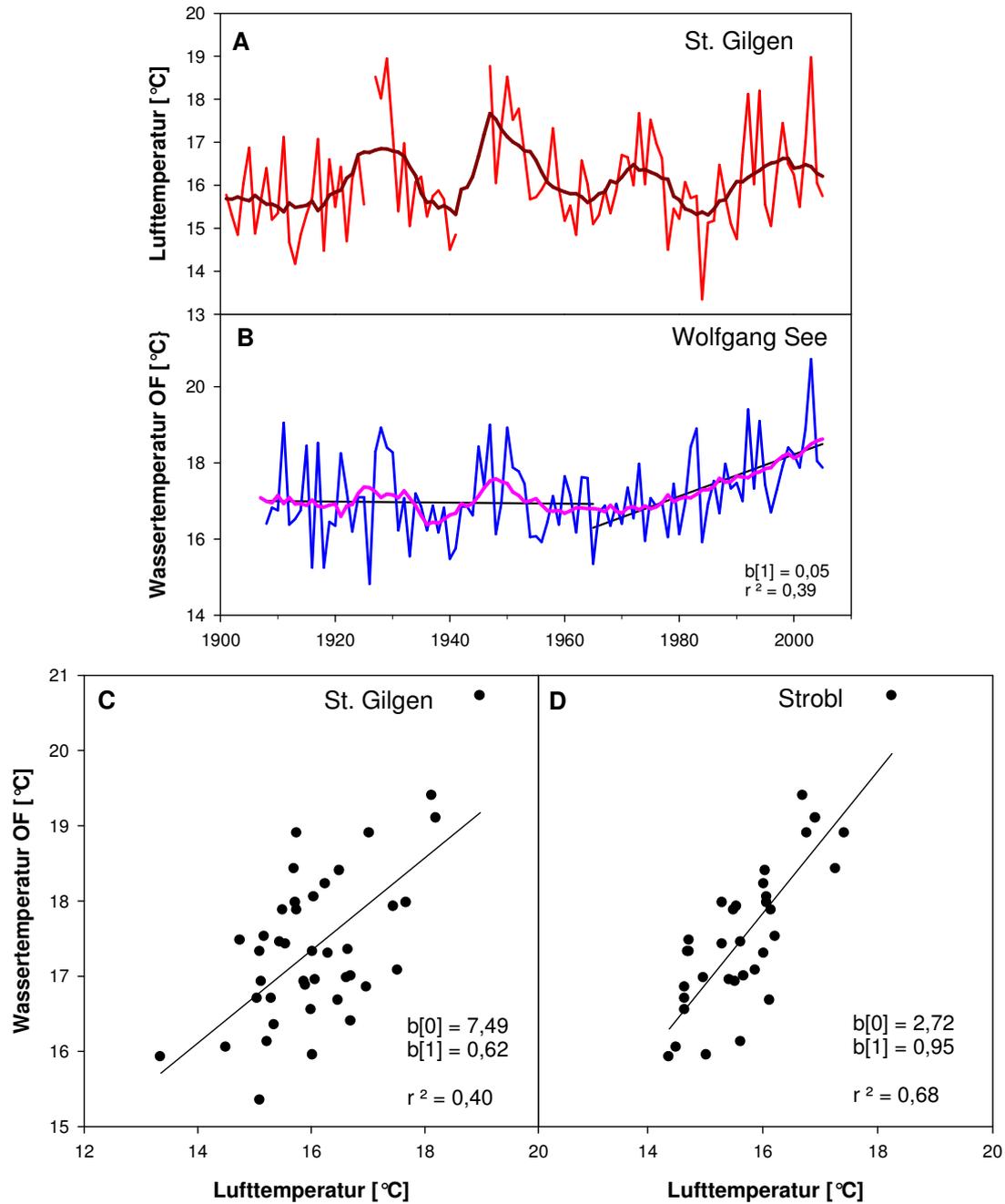


Abbildung 10 Zeitreihen der Lufttemperatur St. Gilgen (A), der OF-Wassertemperatur Wolfgang See (B) und Regression Luft- gegen Wassertemperatur 1965-2005 St Gilgen(C) und Strobl (D). In A und B sind der 10-jährige gleitende Durchschnitt angegeben; in B ist zusätzlich der lineare Trend vor 1965 und nach 1965 dargestellt. Für den Trend nach 1965 ist der Anstieg $b[1]$ und das Bestimmtheitsmaß r^2 eingetragen. In C und D sind die Regressionsgeraden samt Parameter $b[0]$ und $b[1]$ sowie die Bestimmtheitsmaße r^2 wiedergegeben.

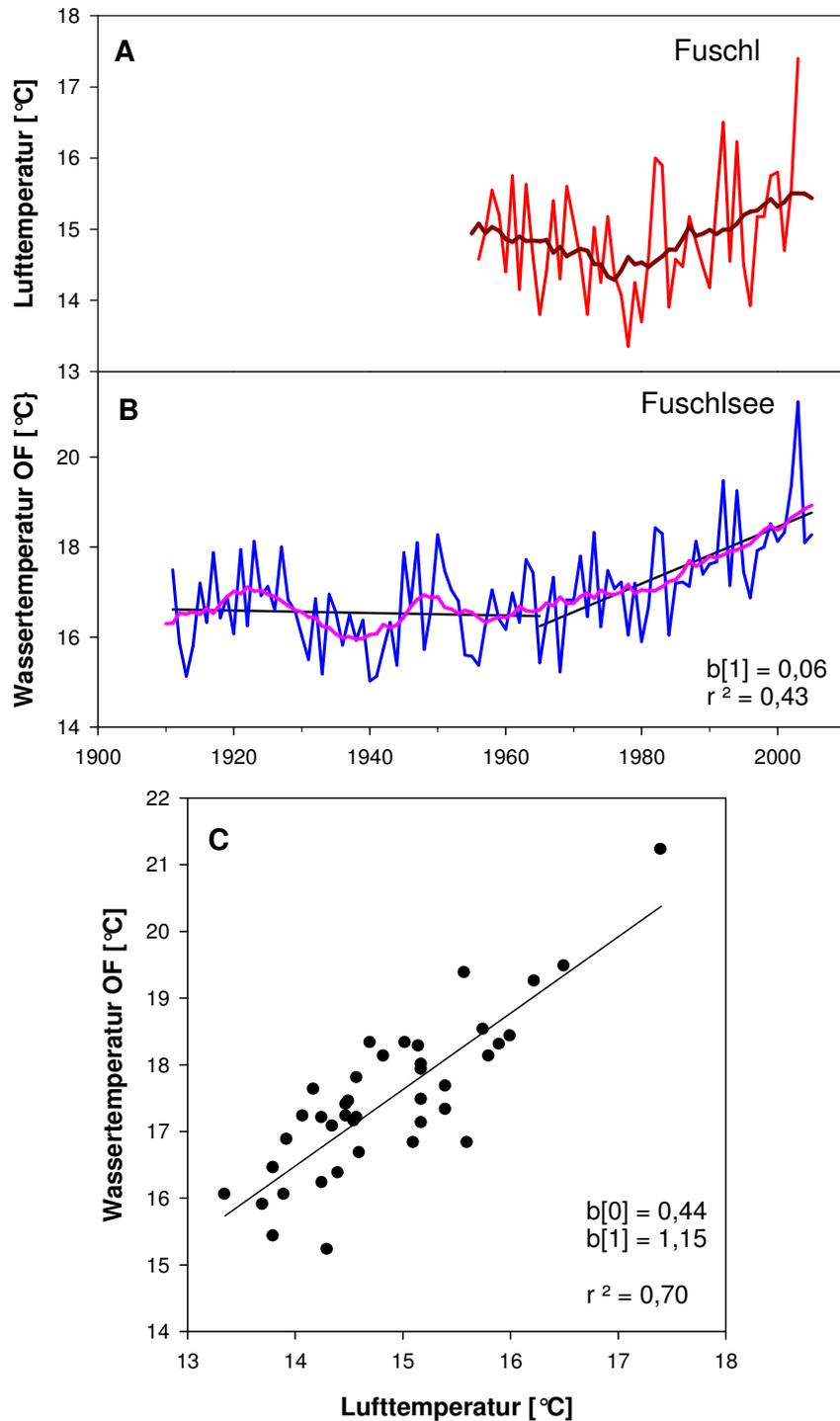


Abbildung 11 Zeitreihen der Lufttemperatur Fuschl (A), der OF-Wassertemperatur Fuschlsee (B) und Regression Luft- gegen Wassertemperatur 1965-2005 (C). In A und B sind der 10-jährige gleitende Durchschnitt angegeben; in B ist zusätzlich der lineare Trend vor 1965 und nach 1965 dargestellt. Für den Trend nach 1965 ist der Anstieg $b[1]$ und das Bestimmtheitsmaß r^2 eingetragen. In C ist die Regressionsgerade samt Parameter $b[0]$ und $b[1]$ sowie das Bestimmtheitsmaß r^2 wiedergegeben.

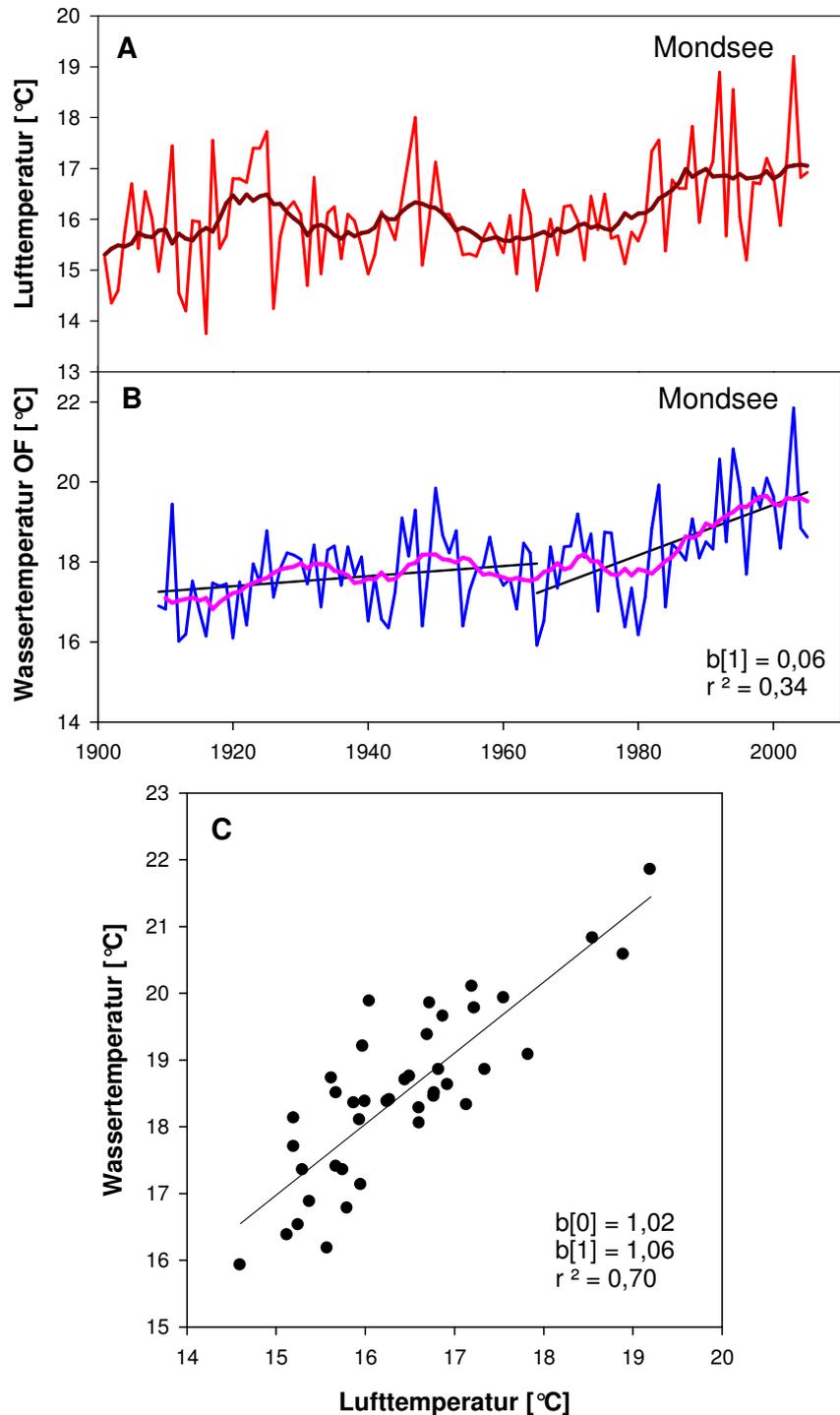


Abbildung 12 Zeitreihen der Lufttemperatur Mondsee (A), der OF-Wassertemperatur Mondsee (B) und Regression Luft- gegen Wassertemperatur 1965-2005 (C). In A und B sind der 10-jährige gleitende Durchschnitt angegeben; in B ist zusätzlich der lineare Trend vor 1965 und nach 1965 dargestellt. Für den Trend nach 1965 ist der Anstieg $b[1]$ und das Bestimmtheitsmaß r^2 eingetragen. In C ist die Regressionsgerade samt Parameter $b[0]$ und $b[1]$ sowie das Bestimmtheitsmaß r^2 wiedergegeben.

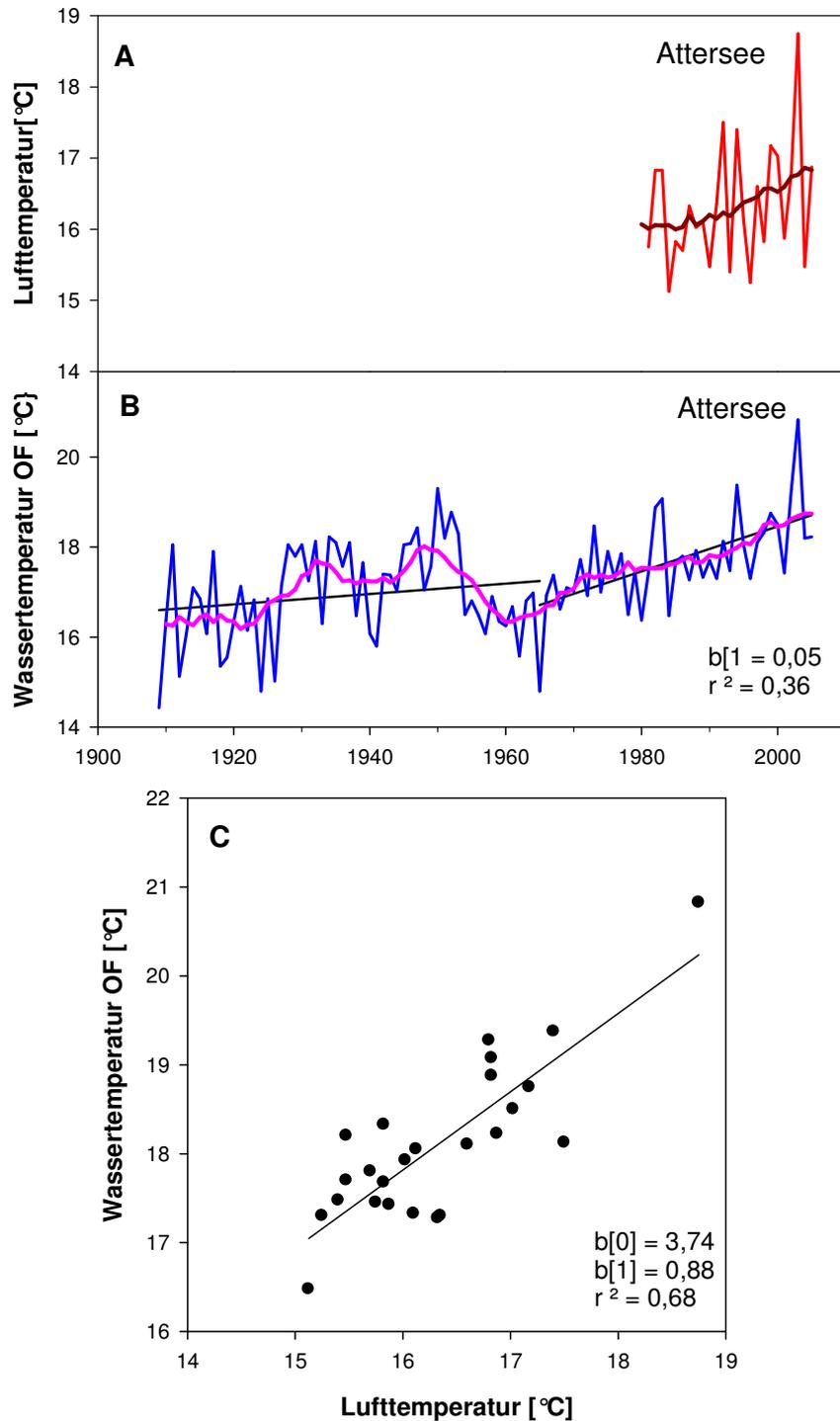


Abbildung 13 Zeitreihen der Lufttemperatur Attersee (A), der OF-Wassertemperatur Attersee (B) und Regression Luft- gegen Wassertemperatur 1965-2005 (C). In A und B sind der 10-jährige gleitende Durchschnitt angegeben; in B ist zusätzlich der lineare Trend vor 1965 und nach 1965 dargestellt. Für den Trend nach 1965 ist der Anstieg $b[1]$ und das Bestimmtheitsmaß r^2 eingetragen. In C ist die Regressionsgerade samt Parameter $b[0]$ und $b[1]$ sowie das Bestimmtheitsmaß r^2 wiedergegeben.

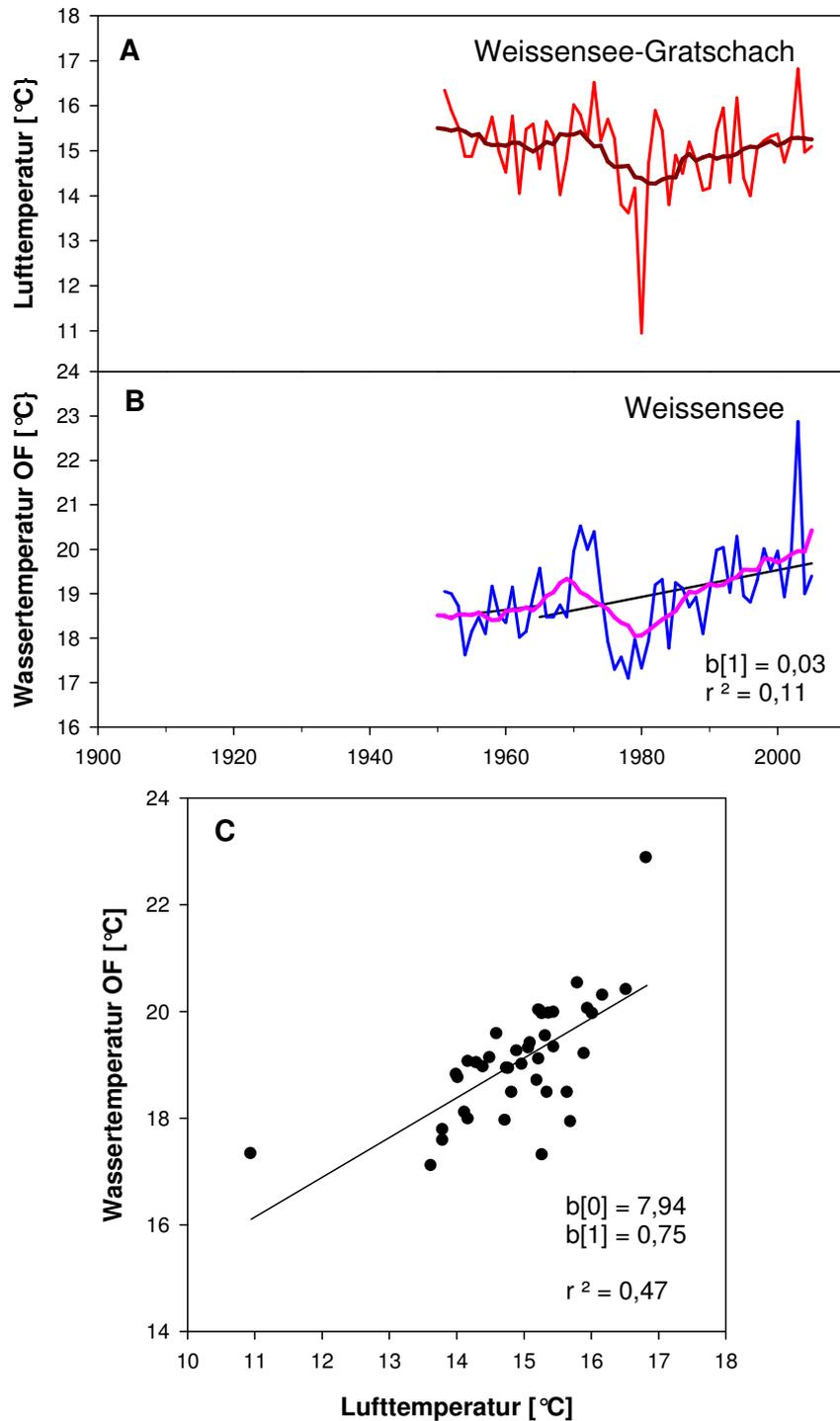


Abbildung 14 Zeitreihen der Lufttemperatur Gratschach (A), der OF-Wassertemperatur Weissensee (B) und Regression Luft- gegen Wassertemperatur 1965-2005 (C). In A und B sind der 10-jährige gleitende Durchschnitt angegeben; in B ist zusätzlich der lineare Trend vor 1965 und nach 1965 dargestellt. Für den Trend nach 1965 ist der Anstieg $b[1]$ und das Bestimmtheitsmaß r^2 eingetragen. In C ist die Regressionsgerade samt Parameter $b[0]$ und $b[1]$ sowie das Bestimmtheitsmaß r^2 wiedergegeben.

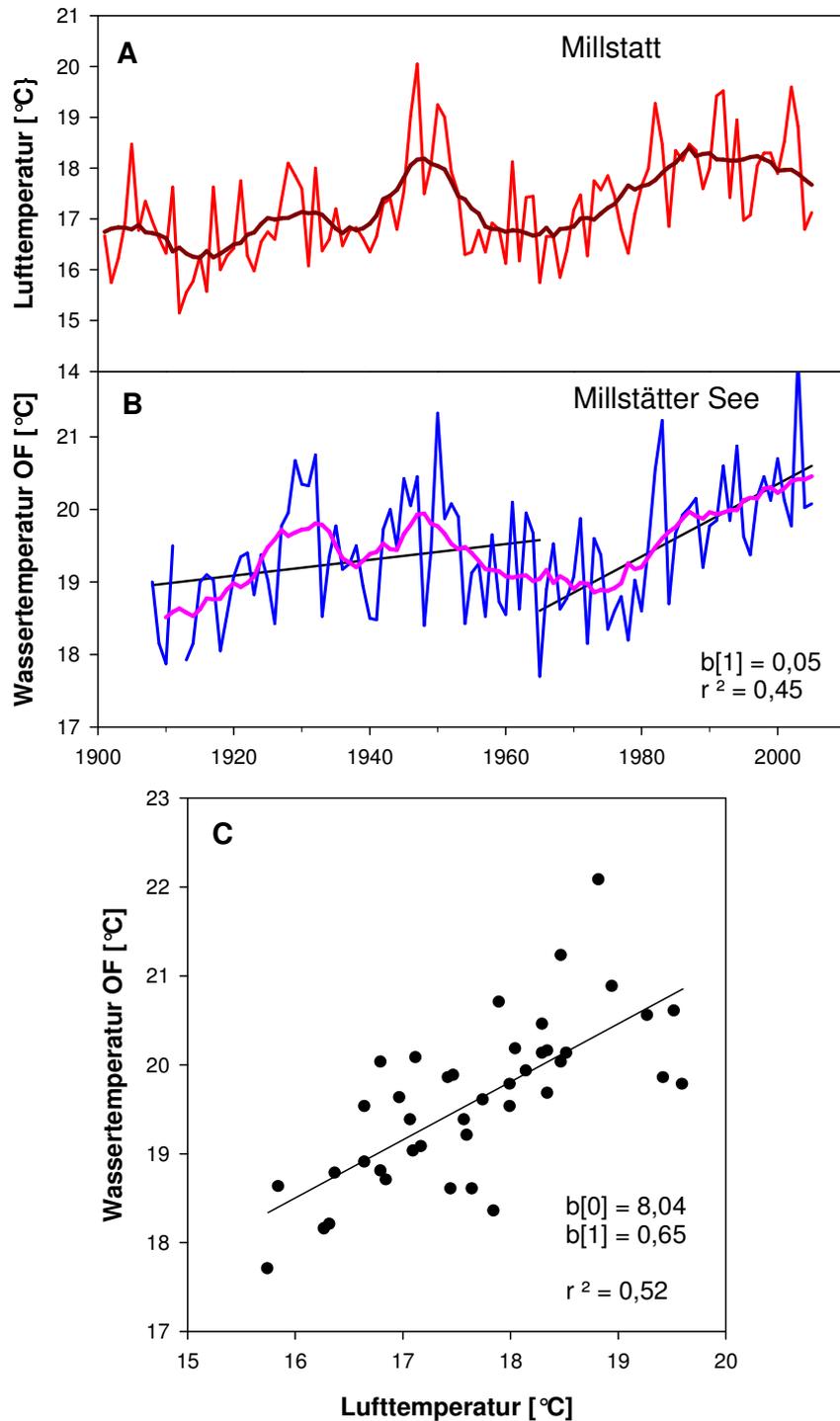


Abbildung 15 Zeitreihen der Lufttemperatur Millstatt (A), der OF-Wassertemperatur Millstätter See(B) und Regression Luft- gegen Wassertemperatur 1965-2005 (C). In A und B sind der 10-jährige gleitende Durchschnitt angegeben; in B ist zusätzlich der lineare Trend vor 1965 und nach 1965 dargestellt. Für den Trend nach 1965 ist der Anstieg $b[1]$ und das Bestimmtheitsmaß r^2 eingetragen. In C ist die Regressionsgerade samt Parameter $b[0]$ und $b[1]$ sowie das Bestimmtheitsmaß r^2 wiedergegeben.

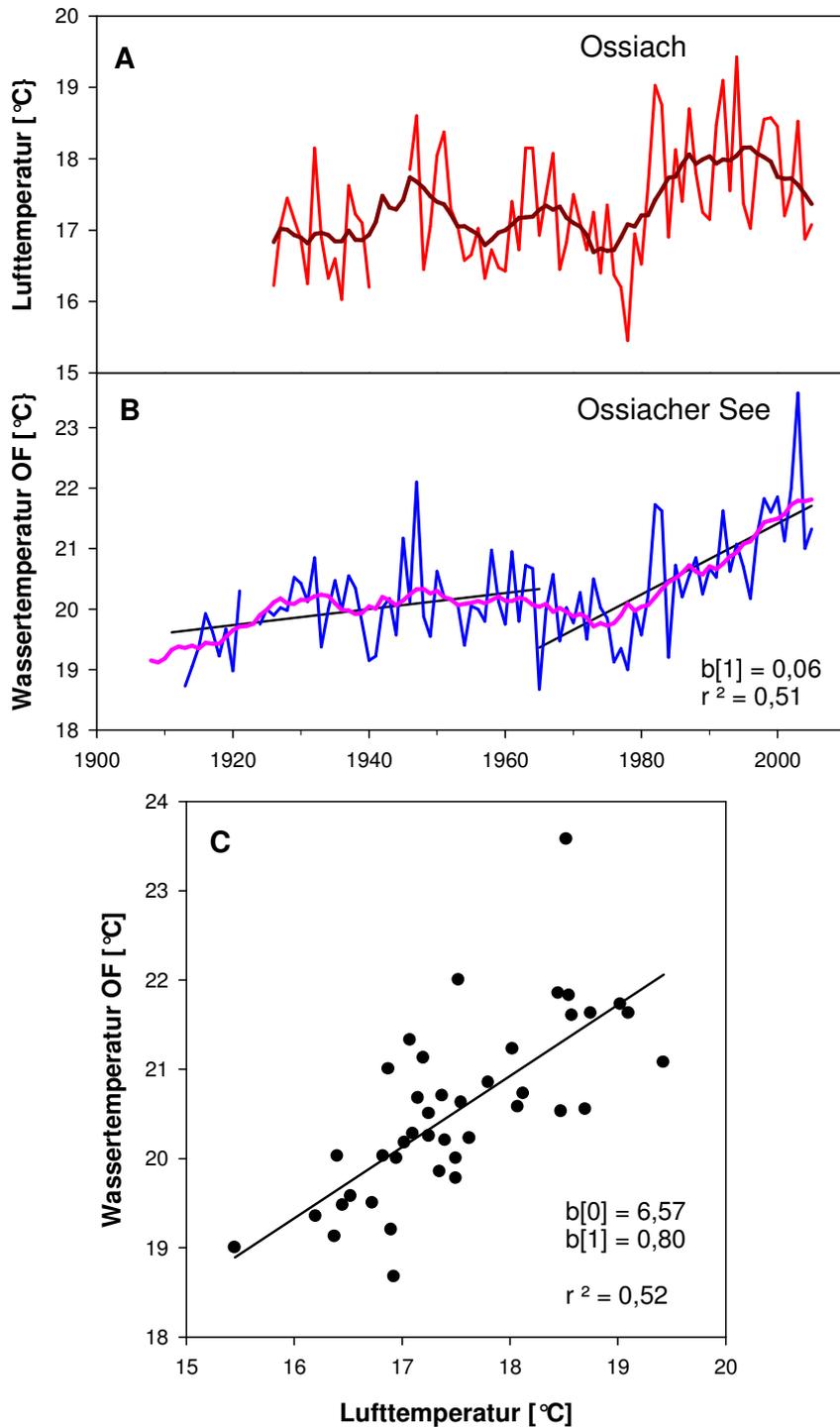


Abbildung 16 Zeitreihen der Lufttemperatur Ossiach (A), der OF-Wassertemperatur Ossiacher See (B) und Regression Luft- gegen Wassertemperatur 1965-2005 (C). In A und B sind der 10-jährige gleitende Durchschnitt angegeben; in B ist zusätzlich der lineare Trend vor 1965 und nach 1965 dargestellt. Für den Trend nach 1965 ist der Anstieg $b[1]$ und das Bestimmtheitsmaß r^2 eingetragen. In C ist die Regressionsgerade samt Parameter $b[0]$ und $b[1]$ sowie das Bestimmtheitsmaß r^2 wiedergegeben.

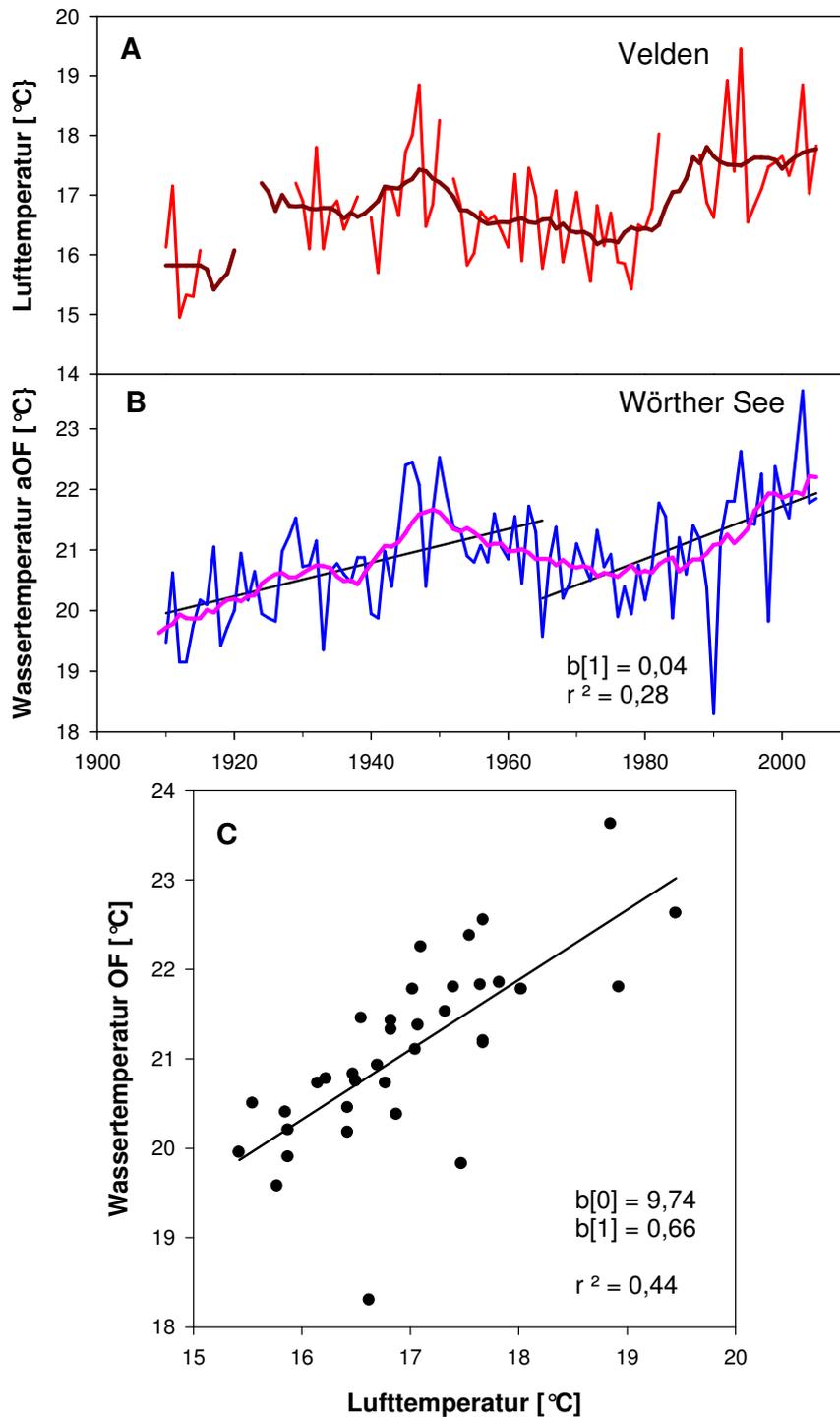


Abbildung 17 Zeitreihen der Lufttemperatur Velden (A), der OF-Wassertemperatur Würther See (B) und Regression Luft- gegen Wassertemperatur 1965-2005 (C). In A und B sind der 10-jährige gleitende Durchschnitt angegeben; in B ist zusätzlich der lineare Trend vor 1965 und nach 1965 dargestellt. Für den Trend nach 1965 ist der Anstieg $b[1]$ und das Bestimmtheitsmaß r^2 eingetragen. In C ist die Regressionsgerade samt Parameter $b[0]$ und $b[1]$ sowie das Bestimmtheitsmaß r^2 wiedergegeben.

Beim **Weissensee** in Kärnten ist in den 1960er Jahren eine markante Verringerung der Wassertemperatur festzustellen, deren Ursachen hier nicht nachgegangen wurde (Abbildung 14). Jedenfalls nehmen die Temperaturen danach von Jahr zu Jahr tendenziell zu. Das Jahr 2003 fällt wiederum markant auf. Klar erkennbar am Unterschied des gleitenden Mittels mit dem (willkürlich) festgelegten Beginn des linearen Trends (siehe Methodik) ist der spätere Beginn der Tendenz zur Erwärmung. Die Luft-Wasser Kopplung ist hier nicht ganz so ausgeprägt wie an anderen Seen.

Am **Millstätter See** (Abbildung 15) ist der Einbruch der Wassertemperaturen in den 1950er und 1960er Jahren ebenfalls, wenn auch nicht so drastisch, zu beobachten. Gleiches gilt für den **Wörther See** (Abbildung 17) während beim **Ossiacher See** (Abbildung 16) die Verringerung der Temperatur an der Oberfläche des Sees vergleichsweise gering ausfällt. In allen drei Fällen kommt es danach zu einer deutlichen Erwärmungsphase, in der die Wassertemperaturen stetig zunehmen, wie an den linearen Trends und an den gleitenden Durchschnitten deutlich wird. Alle drei Seen weisen auch eine klare Abhängigkeit der Wasser- von der Lufttemperatur auf.

5.4 Temperatur Prognosen

Die aus dem linearen Trend der Zeitreihen errechneten, also extrapolierten Prognosewerte sind in Tabelle 6 und Abbildung 18 dargestellt.

Tabelle 6 Regressionsgleichungen (1965 – 2005) aus den Zeitreihe der Seen Abb. 5-16; $WT = b_0 + b_1 \text{ Jahr}$; alle Temperaturwerte in °C. Angegeben sind Mittel, Maximum und Minimum für den Zeitraum 2001-2005 und die daraus extrapolierten Prognosen für 2050.

Gewässer	b_0	b_1	r^2	OF	OF	OF	OF	OF	OF
				Mittel 01-05	Max 01-05	Min 01-05	Mittel 2050	Max 2050	Min 2050
Altaussee See	-110,0	0,06	0,17	14,9	17,6	13,2	18	20	16
Grundlsee	-64,4	0,04	0,18	15,3	15,7	14,9	17	18	17
Hallstätter See	-37,1	0,03	0,07	14,6	17,0	13,2	16	18	15
Traunsee	-99,1	0,06	0,30	16,4	18,8	14,9	19	22	18
Wolfgang See	-91,7	0,05	0,39	18,7	20,7	17,9	21	23	20
Fuschlsee	-107,6	0,06	0,43	19,1	21,2	18,1	22	24	21
Mondsee	-106,4	0,06	0,34	19,5	21,9	18,4	22	25	21
Attersee	-81,6	0,05	0,36	18,8	20,8	17,4	21	23	16
Weissensee	-40,9	0,03	0,11	19,6	22,9	18,9	21	22	20
Millstätter See	-79,4	0,05	0,45	20,4	22,1	19,8	23	24	22
Ossiacher See	-95,7	0,06	0,51	21,8	23,6	21,0	23	25	22
Wörther See	-43,8	0,04	0,28	22,3	23,6	21,5	24	25	23

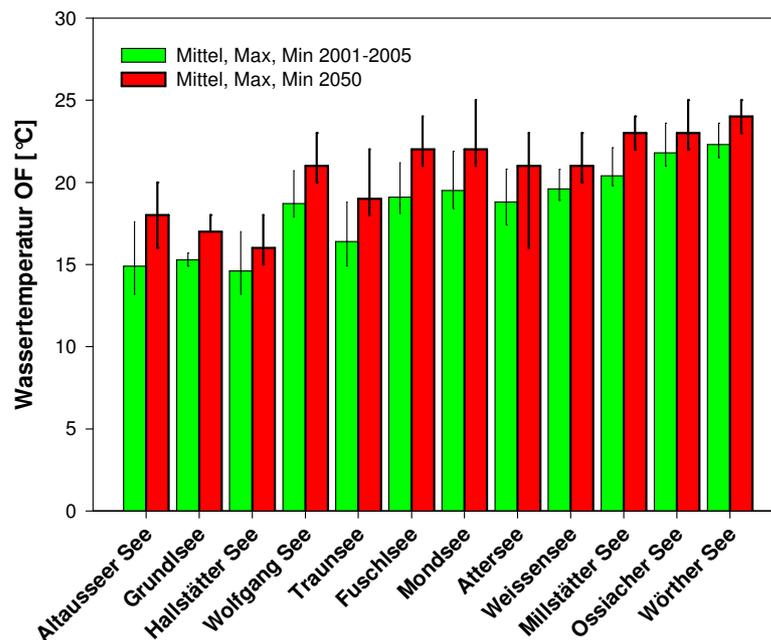


Abbildung 18 Mittel, Maximum und Minimum der OF-Wassertemperaturen im Zeitraum 2001-2005 und die aus dem linearen Trend der Zeitreihen errechneten Wassertemperaturen für 2050.

Verwendet man hingegen die Gleichungen der Luft-Wasser Relationen und legt eine Temperaturerhöhung bis 2050 von 3°C zu Grunde (siehe Seite 32), so ergeben sich die in Tabelle 7 dargestellten Prognosewerte.

Tabelle 7 Regression Luft-zu OF-Wassertemperatur (1965 – 2005) entsprechend den Abb. 5C-16C; $WT = b_0 + b_1 WL$. Abgegeben sind die mittlere, maximale und minimale Lufttemperatur der Periode 2001-2005 und die daraus unter der Annahme einer Temperatursteigerung um 3°C berechneten Prognosewerte.

Gewässer	Gleichung	r^2	Luft	Luft	Luft	OF	OF	OF
			Mittel 01-05	Max 01-05	Min 01-05	Mittel 01-05	Max 01-05	Min 01-05
Altausseer See	$ALW=12,98+0,13*ABA$	0,03	16,0	17,7	15,0	15	16	15
Grundlsee	$GRW=10,20+0,32*ABA$	0,13	16,0	17,7	15,0	16	17	16
Hallstätter See	$HAW=-3,62+1,11*AHA$	0,50	16,1	17,7	15,2	18	19	17
Traunsee	$TRW=-1,97+1,00*AGM$	0,62	17,9	19,9	16,8	19	21	18
Wolfgang See	$WOW=2,72+0,95*AST$	0,68	16,6	18,3	15,5	21	23	20
Fuschlsee	$FUW=0,44+1,15*AFU$	0,70	15,7	17,4	14,7	22	24	21
Mondsee	$MOW=1,02+1,06*AMO$	0,70	17,2	19,2	15,9	22	25	21
Attersee	$ATW=3,74+0,88*AAT$	0,68	16,8	18,8	15,5	21	23	20
Weissensee	$WEW=7,94+0,75*AW$	0,47	15,4	16,8	14,8	22	23	21
Millstätter See	$MSW=8,04+0,65*AMI$	0,52	18,2	19,6	16,8	22	23	21
Ossiacher See	$OSW=6,57+0,80*AOS$	0,52	17,4	18,5	16,9	23	24	22
Wörther See	$WSW=7,80+0,78*AVE$	0,52	17,7	18,9	17,0	24	25	23

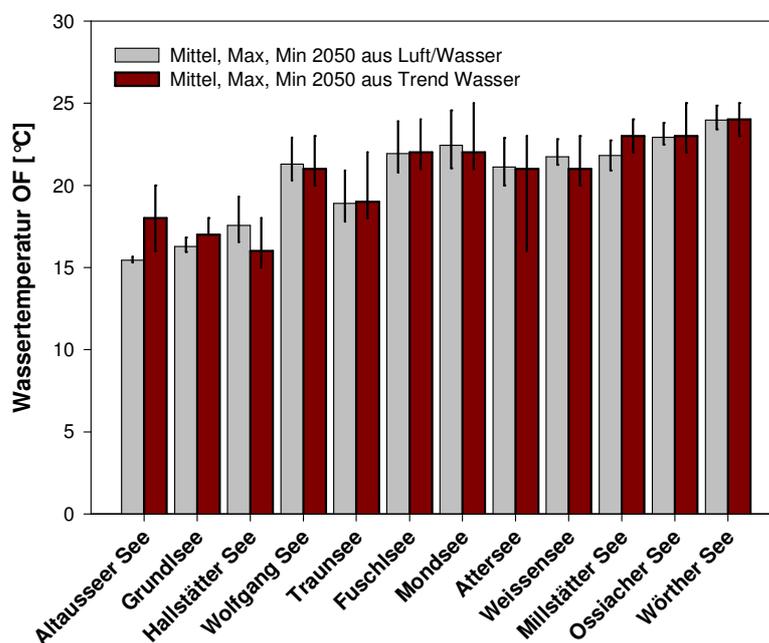


Abbildung 19 Vergleich der für 2050 aus den beiden Methoden (Trend der Zeitreihe bzw. Luft-Wasser Relation) vorhergesagten mittleren, maximalen und minimalen Wassertemperaturen an der Oberfläche

Tabelle 8 Mittelwert und Spannweite der OF-Wassertemperaturen für den Zeitraum 2001-2005 sowie Mittel und Spannweite beider Prognosemethoden für 2050. Daraus berechnet die Temperaturdifferenz bzw. Erwärmung insgesamt und pro Jahr.

Gewässer	01-05 Mittel	01-05 Spannweite	2050 Mittel	2050 Spannweite	Erwärmung 2005 / 2050	Erwärmung Pro Jahr
Altausseer See	14,9	13,2-17,6	16,5	15-20	1,6	0,036
Grundlsee	15,3	14,9-15,7	16,5	16-18	1,2	0,027
Hallstätter See	14,6	13,2-17,0	17,0	15-19	2,4	0,053
Traunsee	16,4	14,9-18,8	19,0	18-22	2,6	0,058
Wolfgang See	18,7	17,9-20,7	21,0	20-23	2,3	0,051
Fuschlsee	19,1	18,1-21,2	22,0	21-24	2,9	0,064
Mondsee	19,5	18,4-21,9	22,0	21-25	2,5	0,056
Attersee	18,8	17,4-20,8	21,0	16-23	2,2	0,049
Weissensee	19,6	18,9-22,9	21,5	20-23	1,9	0,042
Millstätter See	20,4	19,8-22,1	22,5	21-24	2,1	0,047
Ossiacher See	21,8	21,0-23,6	23,0	22-25	1,2	0,027
Wörther See	22,3	21,5-23,6	24,0	23-25	1,7	0,038

Ein Vergleich der mit den beiden Methoden vorhergesagten Werte (Abbildung 19) zeigt in den meisten Fällen eine gute Übereinstimmung. Unterschiede sind statistisch nicht signifikant. Eine Ausnahme bildet der Altausseer See bei dem zwischen den beiden Prognosemethoden ein großer, signifikanter

Unterschied besteht, was wohl an dem praktisch nicht vorhandenen Zusammenhang der Wasser- mit der Lufttemperatur liegt.

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse bietet Tabelle 8. Der Tabelle ist zu entnehmen, dass die zu erwartenden Erhöhungen der Wassertemperatur in den Regionen unterschiedlich ausfallen. Mit 1,2 bzw. 1,6°C fällt die Steigerung der Wassertemperatur an der Oberfläche im Altausseer und im Grundlsee am geringsten aus. Alle übrigen Seen des Salzkammergutes erwärmen sich um 2,2 bis 2,6°C, wobei die geringste Steigerungen im Attersee zu erwarten sein wird. Dies ist eine Folge des großen Wasservolumens des Sees und der damit verbundenen langsameren Erwärmung.

In der Tabelle fällt auf, dass die Seen in Kärnten mit 1,2 bis 2,1°C geringere Temperaturerhöhungen aufweisen als die meisten Seen des Salzkammergutes. Die stärkste Erwärmung wird für den Millstätter See prognostiziert, die geringste für den Ossiacher See.

5.5 Daraus ableitbare Veränderungen der Gewässer

Die umfangreichen möglichen Veränderungen in Seen als Folge des Klimawandels sind ausführlich in Straile et al. (2003) zusammengefasst und dort nachzulesen. Hier sollen nur einige wenige wichtige Punkte dargelegt werden, die zum Teil bisher nicht oder nur ungenügend belegt sind, sich aber als Möglichkeiten abzeichnen. Als besonders sensible Ökosysteme können Stillgewässer gelten. Vor allem Hochgebirgsseen sind wegen ihrer extremen Bedingungen von globalen Veränderungen besonders betroffen (u.a. Psenner 2002). Aber auch die kleineren Stillgewässer tieferer Lagen und ihre typischen Lebensgemeinschaften werden Änderungen unterworfen sein.

Temperaturhaushalt

Die Tendenz zu steigenden Seetemperaturen, insbesondere seit der Mitte der 1960er Jahre, wird weitreichende Folgen haben. Da vor allem die Erwärmung im Frühjahr verstärkt betroffen ist, muss mit einer Vorverlegung des Beginns der Temperaturschichtung in den Seen gerechnet werden. Im Mondsee ist eine solche Verfrühung des Schichtungsbeginns bereits beobachtbar. Gleichzeitig kommt durch die hohen sommerlichen Temperaturen zu extrem stark ausgebildeten thermischen Schichtungen mit hoher Stabilität.

Als Folge der längeren Dauer der Temperaturschichtung verkürzen sich die Mischungsphase im Frühjahr und Herbst. Dadurch kann bei tiefen Seen die Regeneration des Tiefenwassers (Anreicherung mit Sauerstoff, Abarbeiten angehäufter Nährstoffmengen etc.) behindert werden.

Nährstoffhaushalt

Vermehrter Abfluss im Winter und Frühjahr als Folge wärmerer, schneearmer Winter, eine vergrößerte Gletscherspende durch Abschmelzen sowie verstärkten Erosion durch klimabedingte Zunahme von Starkniederschlägen können zu erhöhtem Feststoff- und Nährstoffeintrag aus dem Einzugsgebiet in die Seen führen. Dadurch kann es zu einer erneuten, klimainduzierten Eutrophierung der Seen kommen.

Biologische Systeme

Die höheren Temperaturen im Frühjahr ermöglichen einen früheren Wachstumsbeginn des Phytoplanktons. Gerten und Adrian (2000) konnten bereits eine Vorverlegung des Maximums des im Frühjahr um einen Monat nachweisen. Die wichtigen Zooplankton Arten (*Keratella*, *Bosmin* und

Daphnia) entwickelten sich ebenfalls zwei Wochen früher, was zu einem früheren Eintritt der sogenannten Klarwasserphase führte.

Infolge der Temperaturzunahme ist ein Vordringen Wärme liebender aquatischer Vegetationselemente zu erwarten. Die Verbreitung erfolgt dabei vorwiegend entlang der Donau, wobei thermophile Elemente aus dem unteren Donaoraum flussauf vordringen und sich aus dem atlantischen Bereich Makrophyten über den Rhein-Main-Donau-Kanal flussab verbreiten und von dort in die Seen gelangen.

Für die heimische Makrophyten-Vegetation sind Gefährdungen vor allem in stehenden und langsam fließenden Gewässern oder Gewässerabschnitten gegeben. Viele der neuen Arten haben starke Auswirkungen auf das befallene Gewässersystem, besonders aber auf die vorher dort wachsenden Wasserpflanzen. Daraus kann eine Gefährdung der heimischen Biodiversität mit Auswirkungen auf die Fisch- und Evertibratenfauna sowie die Sportfischerei entstehen.

Die Erwärmung wird für die meisten Kälte liebenden Fischarten in einer Verschiebung ihrer Lebensräume gegen höhere Breiten und in größere Seehöhen bedeuten. Zugleich können Kälte liebende durch Wärme liebende Arten ersetzt werden. Das bedeutet auch ein Zurückdrängen der Salmoniden. Einzelne Arten, wie z. B. die Äsche (*Thymallus thymallus*), sind infolge anthropogener Eingriffe in ihrem Bestand schon derzeit so stark gefährdet, dass zusätzliche, klimabedingte Beeinträchtigungen sie an den Rand des Aussterbens bringen könnten. Es sind jedoch nicht nur einzelne Arten, sondern es ist die gesamte Lebensgemeinschaft betroffen.

Von einer Erwärmung der Oberflächengewässer sollten bei den Fischen jene Neozoen profitieren, die höhere Temperaturen bevorzugen wie etwa der Graskarpfen (*Ctenopharyngodon idella*) oder der Sonnenbarsch (*Lepomis gibbosus*).

6. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Aus den vorliegenden umfangreichen Zeitreihen der Oberflächen-Temperaturen der 12 Seen lässt sich ableiten, dass diese Gewässer auf Grund ihrer mittleren langzeitlichen Wassertemperaturen in drei regionale Gruppen gegliedert werden können (Abbildung 4).

In die **Gruppe 1** gehören die Seen im *Einzugsgebiet der Traun*. Die Wassertemperaturen betragen in der Badesaison zwischen Juni und September an der Oberfläche im Mittel $14,3 \pm 0,5^\circ\text{C}$. Ursache ist beim Altausser See und Grundlsee der Quellsee-Charakter, das kleine Einzugsgebiet und die stark inneralpine Lage. Als Folge der fjordartige Lage des Hallstätter Sees und der sehr starken Durchflutung durch den Hauptzufluss Traun, die 53% der Gesamtwasserfracht bringt und damit zu einer Wassererneuerung von 0,49 Jahren führt (OÖLR 1998), erwärmt sich der See im Sommer nur wenig und zeigt eine gering ausgeprägte Temperaturschichtung. Oberflächentemperaturen von $20,0^\circ\text{C}$ sind selten. Ähnliches gilt für den Traunsee, bei dem die Traun 80% der Gesamtwasserfracht ausmacht, was eine Wassererneuerung von 1,04 Jahre bewirkt. Hinzu kommen bei beiden Seen die große Tiefe mit einem entsprechenden Wasservolumen, welches sich nur schwer erwärmt sowie das große EZG. Dadurch weist diese Seengruppe die niedrigsten sommerlichen Wassertemperaturen auf. Eine Ausnahme bildet der Wolfgangsee, der nicht von der Traun durchströmt wird, ein kleineres EZG hat und dadurch wesentliche höhere OF-Wassertemperaturen erreicht. Temperaturen von über 20°C sind keine Seltenheit. Deswegen muss der Wolfgangsee der zweiten Gruppe zugerechnet werden.

Zu den Seen der **Gruppe 2** gehören die Seen im *Einzugsgebiet der Ager*, also Fuschlsee, Irrsee (hier nicht behandelt), Mondsee und Attersee. Zusammen mit dem Wolfgangsee (s.o.) weisen diese Seen deutlich höhere mittlere OF-Temperaturen von $17,3 \pm 0,5^\circ\text{C}$ während der Badesaison auf. Dies liegt an der vergleichsweise offeneren Lage, der geringeren Durchströmung und dem kleineren Einzugsgebiet.

Die *Seen in Kärnten* bilden die **Gruppe 3**. Alle Kärntner Seen sind vergleichsweise gering durchströmt, liegen in einer klimatisch begünstigten Region im Süden Österreichs und haben daher die höchsten Wassertemperaturen in der Badesaison von durchschnittlich $20,0 \pm 1,0^\circ\text{C}$. Die sommerlichen Gewässertemperaturen nehmen mit zunehmender Höhenlage von Wörther See zum Weissensee ab (Abbildung 4, unten und Tabelle 2).

Die Zeitreihen aller 12 Seen lassen deutliche Trends zur Zunahme der Wassertemperaturen an der Oberfläche im Sommer in jüngerer Zeit erkennen. Allerdings treten Unterschiede im Beginn des Trends zwischen den drei o.a. Gruppen auf. Während die OF-Temperaturen in den Seen des Ager EZG (Gruppe 2) bereits ab 1965 zunehmen, beginnen die Wassertemperaturen bei den beiden anderen Seen-

gruppen erst Mitte bis Ende der 70er Jahre tendenziell zu steigen (Abbildung 6-17). Die klimabedingte Zunahme der Seetemperaturen äußert sich am stärksten im Frühjahr und Sommer, wenig bis gar nicht im Herbst wie das Beispiel Mondsee zeigt (Abbildung 5).

Ein Vergleich der Mittelwerte der OF-Wassertemperaturen der Jahre 2001-2005 mit den durchschnittlichen Temperaturen der gesamten Zeitreihen zeigt, dass die Temperaturen bei allen drei regionalen Gruppen am Beginn des 21. Jahrhunderts statistisch signifikant höher sind als davor. Der geringste Unterschied ist bei der Gruppe 1 (Traun EZG) mit nur einem Grad Celsius zu verzeichnen. Hier hat sich die mittlere Wassertemperatur während der Badesaison von 14,3 auf 15,3 °C erhöht. Im Ager EZG (Gruppe 2) fällt die Erwärmung 1,7 °C wesentlich deutlicher, steigt doch die Temperatur hier von 17,3 auf 19 °C. In Kärnten (Gruppe 3) steigt die durchschnittliche OF-Temperatur von 20 auf 21,3 °C, was einer Zunahme von 1,3 °C entspricht (Tabelle 5).

Prognosen über die zukünftige Entwicklung der Wassertemperaturen bis zum Jahr 2050 lassen sich auf zwei Weisen ableiten. Zum einen aus der Extrapolation des linearen Trends der letzten 40 Jahre (1965-2005) zum anderen, unabhängig davon, aus dem Zusammenhang der Wassertemperatur von der Temperatur der Luft (Abbildung 6C-17C). Grundlage der Prognosen für die Wassertemperatur sind die Klimaszenarien der ZAMG für 2050, welche eine Erhöhung der sommerlichen Lufttemperaturen um 2,5-3 °C prognostizieren. Regional dürften dabei geringfügige Unterschiede auftreten, die hier aber unberücksichtigt bleiben sollen. Es wurde daher bundesweit von einer Steigerung der Lufttemperatur im Sommer von 3 °C ausgegangen.

Die Prognosen beider Methoden kommen zu ähnlichen Ergebnissen (Abbildung 19). Einige wenige Seen, wie z.B. der Altausseer See aber auch der Hallstätter See, lassen sich wegen des geringen Trends und/oder schwacher Luft-Wasser Kopplung nur schlecht prognostizieren. Die konservative Schätzung der Erhöhung der Wassertemperatur beträgt für die Badesaison Juni bis September im Mittel 2 °C (Spannweite 1,2 – 2,9 °C) mit regionalen Unterschieden (Tabelle 8).

Die Szenarien der zukünftigen Klimaentwicklung sagen einstimmig eine Zunahme von sogenannten Extremereignissen voraus. Dazu gehören heftige Niederschläge, eine Häufung von Gewittern, Stürme aber auch heiße trockene Sommer. Letztere können zu durchaus noch höheren Wassertemperaturen führen vor allem, wenn sie mit niedrigen Abflüssen und daher mit geringerem Wasseraustausch verbunden sind. Da hier Mittelwerte über die Badesaison betrachtet wurden, können in Einzelfällen bei weitem höhere Spitzentemperaturen während der Badesaison erreicht werden.

Als Folge der höheren Temperaturen und der allgemeinen Klimaänderung wird es je nach der Charakteristik des Sees zu einer verstärkten und länger andauernden thermischen Schichtung während des Jahres kommen. Derartige Auswirkungen sind am Mondsee, für den genügend Daten für solche Aussagen vorhanden sind, bereits zu beobachten. Erhöhte, besonders aber verminderte Abflüsse können zu signifikante Änderungen der Erneuerung des Wassers im See führen. Dadurch werden sich die Schichtungs- und Mischungsvorgänge in den untersuchten Seen sicherlich verändern. In Folge kann es auch zur langsamen Zunahme der Wassertemperatur im Tiefenwasser kommen, wie dies bereits europaweit an zahlreichen Seen zu beobachten ist. Dies wiederum kann zur Verringerung der Konzentration des Sauerstoffs in der Tiefe und zu verminderten Austauschvorgängen führen.

Veränderungen des Klimas und eine Häufung von Extremereignissen im Einzugsgebiet von Seen können in mehrfacher Hinsicht wesentliche Auswirkungen auf die Seen haben. Ausschwemmung von Nährstoffen aus brachliegender Böden im Winter, allgemeine Bodenerosion und Änderung der Vegetationsdecke können zu einem verstärkten Eintrag von Nährstoffen in die Gewässer führen. Daraus sollte eine erneute ‚klimabedingten‘ Eutrophierung resultieren und damit eine *Verschlechterung der Wasserqualität*.

Insgesamt wird es zu schwer vorhersagbaren und je nach Seetyp unterschiedlichen Änderungen im Nahrungsnetz kommen, welche letztlich zusammen mit dem veränderten Temperatur- und Abflussregime *Auswirkungen auf den Fischbestand* haben werden.

7. Literatur

- BAW, 2008. Atlas der natürlichen Seen Österreichs mit einer Fläche ≥ 50 ha. Morphometrie Typisierung – Trophie, Stand 2005. Schriftenreihe des Bundesamtes für Wasserwirtschaft Band 29, 154 S., Bundesamt für Wasserwirtschaft, Wien, ISBN: 3-901605-29-0 (auch CD-ROM).
- Böhm, R., Jurkovic, A. und Auer, I., 2007. Regionale Klimazukunft. Bericht zu Zielvereinbarung 2008/32, 18 S., http://www.zamg.ac.at/a-tale-of-two-valleys/documents/ZV_32.pdf.
- Böhm, R., Schöner, W., Auer, I., Hynek, B., Kroisleitner, Ch. Und Weyss, G., 2007. Gletscher im Klimawandel. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien, 111 S., ISBN 978-3-200-01013-0.
- Böhm, R., Godina, R., Nachtnebel H.-P. und Pirker, O., 2008. Mögliche Klimafolgen für die Wasserwirtschaft in Österreich. In: ÖWAV (Hg.), Auswirkungen des Klimawandels auf die österreichische Wasserwirtschaft, BMLFUW und ÖWAV, Wien, 7-26.
- Braun, L.N., 2002. Das Wasser der Alpen: Hydrologische Empfindlichkeit der Alpenregion gegenüber einer Klimaveränderung. Der Klimawandel und die Auswirkungen auf den Alpenraum – Tagung der Nationalparkakademie Hohe Tauern in Neukirchen, 11.-12. April 2002. <http://www.lrz-muenchen.de/~a2901ad/webserver/webdata/download/hohetauernbraun.pdf>
- Dokulil, M.T., Jagsch, A., George, G.D., Anneville, A., Jankowski, T., Wahl, B., Lenhart, B., Blenckner, T. and Teubner, K., 2006. Twenty years of spatially coherent deep-water warming in lakes across Europe related to the North Atlantic Oscillation. *Limnology Oceanography* 51, 2787-2793.
- Dokulil, M., Teubner, K., Jagsch, A., Nickus, U., Adrian, R., Straile, D., Jankowski, Th., Herzig, A. und Padisák, J., 2009. The impact of climate change in Central Europe. In: D.G. George, The Impact of Climate Change on European Lakes, Springer, im Druck.
- Formayer, H., Haas, P., MatullaC., Frank, A. und Seibert, P., 2005. Analysen von Hitze und Trockenheit und deren Auswirkungen in Österreich. Teilprojekt von StartClim2004. 30 S. <http://www.austroclim.at/startclim/>
- Gerten, D. und Adrian, R., 2000. Climate-driven changes in spring plankton dynamics and the sensitivity of shallow polymictic lakes to the North Atlantic Oscillation. *Limnology Oceanography* 45, 1058–1066.
- Heimann, D. und Sept, V., 2000. Climate Change Estimates of Summer Temperature and Precipitation in the Alpine Region. *Theoretical and Applied Climatology* 66, 1-12.
- Hollan, E., 2000. Mögliche Auswirkungen einer Klimaveränderung auf größere Binnenseen. KLIWA Symposium 2000, 23 S. <http://www.kliwa.de/index.php?pos=ergebnisse/berichte/symwork/2000/>
- IPCC, 2007: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Janauer, G., 2008. Klimawandel und quatische Makrophyten. In: ÖWAV (Hg.), Auswirkungen des Klimawandels auf die österreichische Wasserwirtschaft, BMLFUW und ÖWAV, Wien, 165-176.

- Jankowski, Th., Livingstone, D.M., Bühner, H., Forster, R und Niederhauser, P., 2006. Consequences of the 2003 European heat wave for lake temperature profiles, thermal stability, and hypolimnetic oxygen depletion: Implications for a warmer world. *Limnology Oceanography* 51, 815–819.
- Koller-Kreimel, V., 2002. Gewässerschutzbericht 2002, S. 213, BMLFUW, Wien, ISBN 3-85 174-042-4.
- Kottmeier, Ch., 2005. Klimawandel und Klimafolgen im Bodenseeraum Vortrag anlässlich des 4. Internationalen Kommunalen Klimaschutzkongresses in Friedrichshafen/Bodensee am 16. Juni 2005, http://www.imk.uni-karlsruhe.de/download/Klima_Bodensee.pdf
- Kromp-Kolb, H. und Schwarzl, I. (Hg.), 2003. Startprojekt Klimaschutz (StartClim). Erste Analysen extremer Wetterereignisse und ihrer Auswirkungen in Österreich. Endbericht, dt. Fassung, 2. überarbeitete Auflage, Institut für Meteorologie und Physik, Universität für Bodenkultur, 82 S. http://www.boku.ac.at/austroclim/startclim/bericht2003/StCl_end_Auflage2.pdf
- Kromp-Kolb, H. und Schwarzl, I. (Hg.), 2005. StartClim2004. Analysen von Hitze und Trockenheit und deren Auswirkungen in Österreich. Endbericht, dt. Fassung, Institut für Meteorologie und Physik, Universität für Bodenkultur, 42 S., <http://www.boku.ac.at/austroclim/startclim/bericht2004/StCl04end.pdf>
- Kuhn, M., 2008. Klimawandel und Gletscherschwund. In: OWAV (Hg.), Auswirkungen des Klimawandels auf die österreichische Wasserwirtschaft, BMLFUW und ÖWAV, Wien, 129-140.
- Livingstone, D.M., 1993. Temporal structure in the deep-water temperature of four Swiss lakes: A short-term climatic change indicator? *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Limnologie* 25, 75-81.
- Livingstone, D.M., 1997. An example of the simultaneous occurrence of climate-driven "sawtooth" deep-water warming/cooling episodes in several Swiss lakes. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Limnologie* 26, 822-828.
- Livingstone, D.M. and Padisák, J., 2007. Large-scale coherence in the response of lake surface-water temperatures to synoptic-scale climate forcing during summer. *Limnology Oceanography* 52, 896–902.
- Livingstone, D.M. and Dokulil, M. T., 2001. Eighty years of spatially coherent Austrian lake surface temperatures and their relationship to regional air temperatures and to the North Atlantic Oscillation. *Limnology Oceanography* 46, 1220-1227
- Livingstone, D.M., Lotter, A.F. and Kettle, H., 2005. Altitude-dependent differences in the primary physical response of mountain lakes to climatic forcing. *Limnology Oceanography* 50, 1313–1325.
- Livingstone, D.M., Lotter, A.F. and Walker, R., 1999. The decrease of summer water temperature with altitude in Swiss alpine lakes: A comparison with air temperature lapse rates. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 31, 341-352
- Matulla, C., Formayer, H., Haas, P. und Kromp-Kolb, H., 2004. Mögliche Klimatrends in Österreich in der ersten Hälfte des 21. Jahrhunderts. *Österreichs Wasser- und Abfallwirtschaft*, 56, 1-9.
- McCombie, A.M., 1959. Some Relations between Air Temperatures and the Surface Water Temperatures of Lakes. *Limnology Oceanography* 4, 252-258.
- Nachtnebel, H.-P., 2008. Auswirkungen von möglichen Klimaänderungen auf die Hydrologie und Wasserwirtschaft in einigen österreichischen Regionen. In: OWAV (Hg.), Auswirkungen des Klimawandels auf die österreichische Wasserwirtschaft, BMLFUW und ÖWAV, Wien, 27- 52.

- OÖLR (Oberösterreichische Landesregierung), 1998. Die Seen Oberösterreichs. Zustandsbericht 1994 und Langzeitentwicklung seit 1980, teilweise aktualisiert bis einschließlich 1997. Gewässerschutz Bericht 20, Institut für Gewässerökologie, Fischereibiologie und Seenkunde, CD-ROM.
- Psenner, R., 2002. Alpine Lakes: Extreme ecosystems under the pressures of global change. EAWG News 55, 12-14.
- reclip:more, 2007. Klimazukunft Österreich. Kleinräumige Klimaszenarien 1981-1990 und 2041-2050. Signale des Klimawandels. Medieninformation zum Projektabschluss 22. 6. 2007, 17 S., <http://systemsresearch.arcs.ac.at/SE/projects/reclip/>
- Schmutz, St, 2008. Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Fischfauna. In: OWAV (Hg.), Auswirkungen des Klimawandels auf die österreichische Wasserwirtschaft, BMLFUW und ÖWAV, Wien, 177-186.
- Shuter, B. J., Schlesinger, D. A. and Zimmerman, A. P. 1983. Empirical Predictors of Annual Surface Water Temperature Cycles in North American Lakes. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 40, 1838–1845.
- Straile, D., 2002. North Atlantic Oscillation synchronizes food-web interactions in central European lakes. Proceedings of the Royal Society London, Ser. B 269, 391–395. DOI 10.1098/rspb.2001.1907.
- Straile, D. und Adrian, R., 2000. The North Atlantic Oscillation and plankton dynamics in two European lakes – two variations of a general theme. Global Change Biology 6, 663-670.
- Straile, D., Jöhnk, K. und Rossknecht, H., 2003. Complex effects of winter warming on the physicochemical characteristics of a deep lake. Limnology Oceanography 48, 1432–1438.
- Straile, D., Livingstone, D.M., Weyhenmeyer, G.A. und George, D.G., 2003. The response of freshwater ecosystems to climate variability associated with the North Atlantic Oscillation. In: Hurrell, J.W., Kushnir, Y., Ottersen, G. und Visbeck, M. (Eds.), The North Atlantic Oscillation. Climatic significance and environmental impact. Geophysical Monograph 134, 263-279, American Geophysical Union, Washington. ISBN 0-87590-994-9
- Straile, D., Eckmann, R., Jüngling, T., Thomas, G. und Löffler, G., 2006. Influence of climate variability on whitefish (*Coregonus lavaretus*) year-class strength in a deep, warm monomictic lake. Oecologia 151, 521-529.
- Webb, B.W. and Nobilis, F. 1999. Long term perspective on the nature of the air-water temperature relationship: a case study. Hydrological Processes 11, 137 – 147.
- ZAMG, 2008. Histalp Newsletter 2008. <http://www.zamg.ac.at/docs/aktuell/HISTALP-Newsletter-jahr-2008.pdf>

8. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Österreichs größte Seen und ihre Besitzverhältnisse. Die beiden Flächengrößten Seen sind als grenzüberschreitende Gewässer nicht in die Betrachtung einbezogen worden.	7
Tabelle 2 Übersicht über die Seen, die im Text verwendeten Abkürzungen (Abk.), den Ort der Messstellen der Wassertemperatur (WT), ihren Pegelnullpunkt (PNP), das dazugehörige Einzugsgebiet (EZG) und den Beginn der Beobachtungen (BB).	12
Tabelle 3 Übersicht über die Messstellen der Lufttemperatur, die im Text verwendeten Abkürzungen (Abk.), die Höhe über Adria, die geographische Länge und Breite sowie der Beobachtungsbeginn (BB)	12
Tabelle 4 Varianzanalyse (ANOVA) der Daten aus Abbildung 4 unten. Die gesamte Analyse findet sich in Annex 2.	17
Tabelle 5 Varianzanalyse (ANOVA) der Mittelwerte aus Abbildung 4 und Tabelle 5 mit den Mittelwerten für die Jahre 2001-2005 (Zeile 4-6).	17
Tabelle 6 Regressionsgleichungen (1965 – 2005) aus den Zeitreihe der Seen Abb. 5-16; $WT = b_0 + b_1 \text{ Jahr}$; alle Temperaturwerte in °C. Angegeben sind Mittel, Maximum und Minimum für den Zeitraum 2001-2005 und die daraus extrapolierten Prognosen für 2050.	31
Tabelle 7 Regression Luft-zu OF-Wassertemperatur (1965 – 2005) entsprechend den Abb. 5C-16c; $WT = b_0 + b_1 \text{ WL}$. Abgegeben sind die mittlere, maximale und minimale Lufttemperatur der Periode 2001-2005 und die daraus unter der Annahme einer Temperatursteigerung um 3°C berechneten Prognosewerte.	32
Tabelle 8 Mittelwert und Spannweite der OF-Wassertemperaturen für den Zeitraum 2001-2005 sowie Mittel und Spannweite beider Prognosemethoden für 2050. Daraus berechnet die Temperaturdifferenz bzw. Erwärmung insgesamt und pro Jahr.	33

9. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Rekonstruktion der Sommer-Frühherbst Temperaturen (Juni-September) in den Alpen seit dem Jahr 755 n. Chr in °C als Abweichung vom Mittel der Jahre 1901-2000 (Aus: Böhm et al. 2007).	7
Abbildung 2 Änderung der Jahresmitteltemperatur der Periode 2019-2048 gegenüber 1961-1990, abgeleitet	8
Abbildung 3 Erwartbare Änderung der Temperatur in den peri-alpinen Regionen 2041-2050 relativ zu 1981-1990. Aus: http://systemsresearch.arcs.ac.at/projects/climate/	9
Abbildung 4 Mittlere Jahreskurven der Wassertemperatur an der Oberfläche (OF) aller 12 Seen, berechnet aus dem jeweiligen gesamten Datensatz. Die Badesaison Juni bis September ist schattiert hinterlegt (oben). Langzeit-Mittelwert und 95%iges Vertrauensintervall der OF-Temperatur für die Badesaison der 12 Seen (unten).	16
Abbildung 5 Veränderungen im Jahresgang der OF-Wassertemperatur 2001-2005 am Beispiel Mondsee im Vergleich zur Durchschnittskurve der IPCC Basisperiode 1961-1990.	17
Abbildung 6 Zeitreihen der Lufttemperatur Bad Aussee (A), der OF-Wassertemperatur Altaussee See (B) und Regression Luft- gegen Wassertemperatur 1965-2005 (C). In A und B sind der 10-jährige gleitende Durchschnitt angegeben; in B ist zusätzlich der lineare Trend vor 1965 und nach 1965 dargestellt. Für den Trend nach 1965 ist der Anstieg $b[1]$ und das Bestimmtheitsmaß r^2 eingetragen. In C ist die Regressionsgerade samt Parameter $b[0]$ und $b[1]$ sowie das Bestimmtheitsmaß r^2 wiedergegeben.	19
Abbildung 7 Zeitreihen der Lufttemperatur Bad Aussee (A), der OF-Wassertemperatur Grundlsee (B) und Regression Luft- gegen Wassertemperatur 1965-2005 (C). In A und B sind der 10-jährige gleitende Durchschnitt angegeben; in B ist zusätzlich der lineare Trend vor 1965 und nach 1965 dargestellt. Für den Trend nach 1965 ist der Anstieg $b[1]$ und das Bestimmtheitsmaß r^2 eingetragen. In C ist die Regressionsgerade samt Parameter $b[0]$ und $b[1]$ sowie das Bestimmtheitsmaß r^2 wiedergegeben.	20
Abbildung 8 Zeitreihen der Lufttemperatur Hallstatt (A), der OF-Wassertemperatur Hallstätter See (B) und Regression Luft- gegen Wassertemperatur 1965-2005 (C). In A und B sind der 10-jährige gleitende Durchschnitt angegeben; in B ist zusätzlich der lineare Trend vor 1965 und nach 1965 dargestellt. Für den Trend nach 1965 ist der Anstieg $b[1]$ und das Bestimmtheitsmaß r^2 eingetragen. In C ist die Regressionsgerade samt Parameter $b[0]$ und $b[1]$ sowie das Bestimmtheitsmaß r^2 wiedergegeben.	21
Abbildung 9 Zeitreihen der Lufttemperatur Gmunden (A), der OF-Wassertemperatur Traunsee (B) und Regression Luft- gegen Wassertemperatur 1965-2005 Gmunden (C) und Ebensee (D). In A und B sind der 10-jährige gleitende Durchschnitt angegeben; in B ist zusätzlich der lineare Trend vor 1965 und nach 1965 dargestellt. Für den Trend	

- nach 1965 ist der Anstieg $b[1]$ und das Bestimmtheitsmaß r^2 eingetragen. In C und D sind die Regressionsgeraden samt Parameter $b[0]$ und $b[1]$ sowie die Bestimmtheitsmaße r^2 wiedergegeben. 22
- Abbildung 10 Zeitreihen der Lufttemperatur St. Gilgen (A), der OF-Wassertemperatur Wolfgang See (B) und Regression Luft- gegen Wassertemperatur 1965-2005 St Gilgen(C) und Strobl (D). In A und B sind der 10-jährige gleitende Durchschnitt angegeben; in B ist zusätzlich der lineare Trend vor 1965 und nach 1965 dargestellt. Für den Trend nach 1965 ist der Anstieg $b[1]$ und das Bestimmtheitsmaß r^2 eingetragen. In C und D sind die Regressionsgeraden samt Parameter $b[0]$ und $b[1]$ sowie die Bestimmtheitsmaße r^2 wiedergegeben. 23
- Abbildung 11 Zeitreihen der Lufttemperatur Fuschl (A), der OF-Wassertemperatur Fuschlsee (B) und Regression Luft- gegen Wassertemperatur 1965-2005 (C). In A und B sind der 10-jährige gleitende Durchschnitt angegeben; in B ist zusätzlich der lineare Trend vor 1965 und nach 1965 dargestellt. Für den Trend nach 1965 ist der Anstieg $b[1]$ und das Bestimmtheitsmaß r^2 eingetragen. In C ist die Regressionsgerade samt Parameter $b[0]$ und $b[1]$ sowie das Bestimmtheitsmaß r^2 wiedergegeben. 24
- Abbildung 12 Zeitreihen der Lufttemperatur Mondsee (A), der OF-Wassertemperatur Mondsee (B) und Regression Luft- gegen Wassertemperatur 1965-2005 (C). In A und B sind der 10-jährige gleitende Durchschnitt angegeben; in B ist zusätzlich der lineare Trend vor 1965 und nach 1965 dargestellt. Für den Trend nach 1965 ist der Anstieg $b[1]$ und das Bestimmtheitsmaß r^2 eingetragen. In C ist die Regressionsgerade samt Parameter $b[0]$ und $b[1]$ sowie das Bestimmtheitsmaß r^2 wiedergegeben. 25
- Abbildung 13 Zeitreihen der Lufttemperatur Attersee (A), der OF-Wassertemperatur Attersee (B) und Regression Luft- gegen Wassertemperatur 1965-2005 (C). In A und B sind der 10-jährige gleitende Durchschnitt angegeben; in B ist zusätzlich der lineare Trend vor 1965 und nach 1965 dargestellt. Für den Trend nach 1965 ist der Anstieg $b[1]$ und das Bestimmtheitsmaß r^2 eingetragen. In C ist die Regressionsgerade samt Parameter $b[0]$ und $b[1]$ sowie das Bestimmtheitsmaß r^2 wiedergegeben. 26
- Abbildung 14 Zeitreihen der Lufttemperatur Gratschach (A), der OF-Wassertemperatur Weissensee (B) und Regression Luft- gegen Wassertemperatur 1965-2005 (C). In A und B sind der 10-jährige gleitende Durchschnitt angegeben; in B ist zusätzlich der lineare Trend vor 1965 und nach 1965 dargestellt. Für den Trend nach 1965 ist der Anstieg $b[1]$ und das Bestimmtheitsmaß r^2 eingetragen. In C ist die Regressionsgerade samt Parameter $b[0]$ und $b[1]$ sowie das Bestimmtheitsmaß r^2 wiedergegeben. 27
- Abbildung 15 Zeitreihen der Lufttemperatur Millstatt (A), der OF-Wassertemperatur Millstätter See(B) und Regression Luft- gegen Wassertemperatur 1965-2005 (C). In A und B sind der 10-jährige gleitende Durchschnitt angegeben; in B ist zusätzlich der lineare Trend vor 1965 und nach 1965 dargestellt. Für den Trend nach 1965 ist der Anstieg $b[1]$ und das Bestimmtheitsmaß r^2 eingetragen. In C ist die Regressionsgerade samt Parameter $b[0]$ und $b[1]$ sowie das Bestimmtheitsmaß r^2 wiedergegeben. 28
- Abbildung 16 Zeitreihen der Lufttemperatur Ossiach (A), der OF-Wassertemperatur Ossiacher See (B) und Regression Luft- gegen Wassertemperatur 1965-2005 (C). In A und B sind der 10-jährige gleitende Durchschnitt angegeben; in B ist zusätzlich der lineare Trend vor 1965 und nach 1965 dargestellt. Für den Trend nach 1965 ist der Anstieg $b[1]$ und das Bestimmtheitsmaß r^2 eingetragen. In C ist die Regressionsgerade samt Parameter $b[0]$ und $b[1]$ sowie das Bestimmtheitsmaß r^2 wiedergegeben. 29
- Abbildung 17 Zeitreihen der Lufttemperatur Velden (A), der OF-Wassertemperatur Wörther See (B) und Regression Luft- gegen Wassertemperatur 1965-2005 (C). In A und B sind der 10-jährige gleitende Durchschnitt angegeben; in B ist zusätzlich der lineare Trend vor 1965 und nach 1965 dargestellt. Für den Trend nach 1965 ist der Anstieg $b[1]$ und das Bestimmtheitsmaß r^2 eingetragen. In C ist die Regressionsgerade samt Parameter $b[0]$ und $b[1]$ sowie das Bestimmtheitsmaß r^2 wiedergegeben. 30
- Abbildung 18 Mittel, Maximum und Minimum der OF-Wassertemperaturen im Zeitraum 2001-2005 und die aus dem linearen Trend der Zeitreihen errechneten Wassertemperaturen für 2050. 32
- Abbildung 19 Vergleich der für 2050 aus den beiden Methoden (Trend der Zeitreihe bzw. Luft-Wasser Relation) vorhergesagten mittleren, maximalen und minimalen Wassertemperaturen an der Oberfläche 33

Anschrift des Verfassers:

Univ.-Prof. Dr. Martin Dokulil
Eisenaustraße 20
5310 Mondsee

10. ANNEX 1 - Statistische Angaben

Lineare Regressionen der Wassertemperaturen gegen die Lufttemperaturen der Jahre 1965-2005

Quelle: Alle 1965-2005 in Bade Auswertung.JNB

TRAUN EINZUGSGEBIET

Altausseer See

$$ALW = 12,985 + (0,132 * ABA)$$

N = 41 R = 0,110 Rsqr = 0,0122 Adj Rsqr = 0,000

Standard Error of Estimate = 1,837

	Coefficient	Std. Error	t	P
Constant	12,985	2,463	5,272	<0,001
A Bad Aussee	0,132	0,191	0,693	0,492

Analysis of Variance:

	DF	SS	MS	F	P	
Regression	1	1,621	1,621	0,480	0,492	n.s.
Residual	39	131,581	3,374			
Total	40	133,202	3,330			

Normality Test: Passed (P = 0,178)

Constant Variance Test: Passed (P = 0,976)

Power of performed test with alpha = 0,050: 0,101

Grundlsee

$$GRW = 10,206 + (0,320 * ABA)$$

N = 38 R = 0,357 Rsqr = 0,128 Adj Rsqr = 0,103

Standard Error of Estimate = 0,987

	Coefficient	Std. Error	t	P
Constant	10,206	1,755	5,816	<0,001
A Bad Aussee	0,320	0,139	2,294	0,028

Analysis of Variance:

	DF	SS	MS	F	P	
Regression	1	5,123	5,123	5,263	0,028	n.s.
Residual	36	35,041	0,973			
Total	37	40,164	1,086			

Normality Test: Passed (P = 0,401)

Constant Variance Test: Passed (P = 0,941)

Power of performed test with alpha = 0,050: 0,599

Hallstätter See

$$\text{HAW} = -3,625 + (1,114 * \text{AHA})$$

N = 41 R = 0,708 Rsqr = 0,501 Adj Rsqr = 0,489

Standard Error of Estimate = 0,809

	Coefficient	Std. Error	t	P
Constant	-3,625	2,775	-1,306	0,199
A Hallst	1,114	0,178	6,264	<0,001

Analysis of Variance:

	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	25,687	25,687	39,233	<0,001
Residual	39	25,534	0,655		
Total	40	51,221	1,281		

Normality Test: Passed (P = 0,067)

Constant Variance Test: Passed (P = 0,175)

Power of performed test with alpha = 0,050: 1,000

Wolfgang See

$$\text{WOW} = 2,717 + (0,945 * \text{AST})$$

N = 34 R = 0,822 Rsqr = 0,676 Adj Rsqr = 0,666

Standard Error of Estimate = 0,610

	Coefficient	Std. Error	t	P
Constant	2,717	1,822	1,491	0,146
A Stobl	0,945	0,116	8,167	<0,001

Analysis of Variance:

	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	24,808	24,808	66,695	<0,001
Residual	32	11,903	0,372		
Total	33	36,710	1,112		

Normality Test: Passed (P = 0,801)

Constant Variance Test: Passed (P = 0,508)

Power of performed test with alpha = 0,050: 1,000

Traunsee / Ebensee

$$\text{TRW} = -0,0624 + (0,933 * \text{AEB})$$

N = 41 R = 0,754 Rsqr = 0,569 Adj Rsqr = 0,558

Standard Error of Estimate = 0,840

	Coefficient	Std. Error	t	P
Constant	-0,0624	2,079	-0,0300	0,976
A Ebensee	0,933	0,130	7,179	<0,001

Analysis of Variance:

	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	36,326	36,326	51,536	<0,001
Residual	39	27,490	0,705		
Total	40	63,816	1,595		

Normality Test: Passed (P = 0,557)

Constant Variance Test: Passed (P = 0,448)

Power of performed test with alpha = 0,050: 1,000

Traunsee / Gmunden

$$\text{TRW} = -1,970 + (1,002 * \text{AGM})$$

N = 41 R = 0,789 Rsqr = 0,623 Adj Rsqr = 0,613

Standard Error of Estimate = 0,786

	Coefficient	Std. Error	t	P
Constant	-1,970	2,098	-0,939	0,353
A Gmunden	1,002	0,125	8,023	<0,001

Analysis of Variance:

	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	39,738	39,738	64,365	<0,001
Residual	39	24,078	0,617		
Total	40	63,816	1,595		

Normality Test: Passed (P = 0,219)

Constant Variance Test: Passed (P = 0,061)

Power of performed test with alpha = 0,050: 1,00

AGER EINZUGSGEBIET**Fuschlsee**

$$FUW = 0,440 + (1,146 * AFU)$$

N = 40 R = 0,836 Rsqr = 0,698 Adj Rsqr = 0,690

Standard Error of Estimate = 0,650

	Coefficient	Std. Error	t	P
Constant	0,440	1,820	0,241	0,810
A Fuschl	1,146	0,122	9,381	<0,001

Analysis of Variance:

	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	37,188	37,188	87,999	<0,001
Residual	38	16,059	0,423		
Total	39	53,246	1,365		

Normality Test: Passed (P = 0,134)

Constant Variance Test: Passed (P = 0,963)

Power of performed test with alpha = 0,050: 1,000

Mondsee

$$MOW = 1,021 + (1,064 * AMO)$$

N = 41 R = 0,838 Rsqr = 0,702 Adj Rsqr = 0,694

Standard Error of Estimate = 0,718

	Coefficient	Std. Error	t	P
Constant	1,021	1,828	0,559	0,580
A Mondsee	1,064	0,111	9,574	<0,001

Analysis of Variance:

	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	47,202	47,202	91,668	<0,001
Residual	39	20,082	0,515		
Total	40	67,284	1,682		

Normality Test: Passed (P = 0,227)

Constant Variance Test: Passed (P = 0,193)

Power of performed test with alpha = 0,050: 1,000

Attersee

$$ATW = 3,737 + (0,880 * AAT)$$

N = 25 R = 0,826 Rsqr = 0,682 Adj Rsqr = 0,668

Standard Error of Estimate = 0,520

	Coefficient	Std. Error	t	P
Constant	3,737	2,051	1,822	0,081
A Attersee	0,880	0,125	7,020	<0,001

Analysis of Variance:

	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	13,345	13,345	49,281	<0,001
Residual	23	6,228	0,271		
Total	24	19,573	0,816		

Normality Test: Passed (P = 0,812)

Constant Variance Test: Passed (P = 0,353)

Power of performed test with alpha = 0,050: 1,000

KÄRNTEN

Weissensee

$$\text{WEW} = 7,944 + (0,746 * \text{AWE})$$

N = 41 R = 0,683 Rsqr = 0,466 Adj Rsqr = 0,453

Standard Error of Estimate = 0,798

	Coefficient	Std. Error	t	P
Constant	7,944	1,912	4,155	<0,001
A Weissen	0,746	0,128	5,838	<0,001

Analysis of Variance:

	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	21,731	21,731	34,086	<0,001
Residual	39	24,864	0,638		
Total	40	46,595	1,165		

Normality Test: Passed (P = 0,246)

Constant Variance Test: Passed (P = 0,947)

Power of performed test with alpha = 0,050: 0,999

Milstätter See

$$\text{MIW} = 8,044 + (0,654 * \text{AMI})$$

N = 41 R = 0,719 Rsqr = 0,517 Adj Rsqr = 0,504

Standard Error of Estimate = 0,630

	Coefficient	Std. Error	t	P
Constant	8,044	1,793	4,487	<0,001
A Millstatt	0,654	0,101	6,457	<0,001

Analysis of Variance:

	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	16,563	16,563	41,690	<0,001
Residual	39	15,494	0,397		
Total	40	32,057	0,801		

Normality Test: Passed (P = 0,498)

Constant Variance Test: Passed (P = 0,970)

Power of performed test with alpha = 0,050: 1,000

Ossiacher See

$$OSW = 6,573 + (0,797 * AOS)$$

N = 41 R = 0,722 Rsqr = 0,522 Adj Rsqr = 0,509

Standard Error of Estimate = 0,688

	Coefficient	Std. Error	t	P
Constant	6,573	2,144	3,066	0,004
A Ossiach	0,797	0,122	6,521	<0,001

Analysis of Variance:

	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	20,128	20,128	42,520	<0,001
Residual	39	18,462	0,473		
Total	40	38,590	0,965		

Normality Test: Passed (P = 0,126)

Constant Variance Test: Passed (P = 0,423)

Power of performed test with alpha = 0,050: 1,000

Wörther See

$$WÖW = 7,802 + (0,782 * AWÖ)$$

N = 36 R = 0,720 Rsqr = 0,519 Adj Rsqr = 0,505

Standard Error of Estimate = 0,713

	Coefficient	Std. Error	t	P
Constant	7,802	2,196	3,552	0,001
A Velden	0,782	0,129	6,058	<0,001

Analysis of Variance:

	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	18,641	18,641	36,701	<0,001
Residual	34	17,269	0,508		
Total	35	35,911	1,026		

Normality Test: Passed (P = 0,238)

Constant Variance Test: Passed (P = 0,102)

Power of performed test with alpha = 0,050: 0,999

11. ANNEX 2 Varianzanalysen

One Way Analysis of Variance

Data source: Data 12 in See Statistik.JNB

Group Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
Traun EG	4	0	14,320	0,520	0,260
Ager EG + WO	4	0	17,350	0,451	0,225
Kärnten	4	0	19,955	1,020	0,510

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Groups	2	63,620	31,810	63,072	<0,001
Residual	9	4,539	0,504		
Total	11	68,159			

The differences in the mean values among the treatment groups are greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference ($P = <0,001$).

Power of performed test with alpha = 0,050: 1,000

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Holm-Sidak method):
Overall significance level = 0,05

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	t	Unadjusted P	Critical Level	Significant?
Kärnten vs. Traun	5,635	11,221	0,00000136	0,017	Yes
Ager vs. Traun	3,030	6,033		0,000194	0,025 Yes
Kärnten vs. Ager	2,605	5,187	0,000574	0,050	Yes

One Way Analysis of Variance

Samstag, April 25, 2009, 10:31:58

Data source: Data 12 in See Statistik.JNB

Group Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
1 Traun alle	4	0	14,320	0,520	0,260
2 Ager+WO alle	4	0	17,350	0,451	0,225
3 Kärnten alle	4	0	19,955	1,020	0,510
4 Traun 01/05	4	0	15,274	0,814	0,407
5 Ager/WO 01/054	4	0	19,006	0,359	0,180
6 Kärnten 01/05	4	0	21,268	0,963	0,482

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Groups	5	147,180	29,436	54,624	<0,001
Residual	18	9,700	0,539		
Total	23	156,880			

The differences in the mean values among the treatment groups are greater than would be expected by chance; there is a statistically significant difference (P = <0,001).

Power of performed test with alpha = 0,050: 1,000

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Holm-Sidak method):

Overall significance level = 0,05

Comparisons for factor:

Comparison	Diff of Means	t	Unadjusted P	Critical Level	Significant?
Row 6 vs. Row 1	6,948	13,385	8,528E-011	0,003	Yes
Row 6 vs. Row 4	5,994	11,548	0,00000000935	0,004	Yes
Row 3 vs. Row 1	5,635	10,855	0,0000000249	0,004	Yes
Row 5 vs. Row 1	4,686	9,027	0,000000421	0,004	Yes
Row 3 vs. Row 4	4,681	9,017	0,000000428	0,005	Yes
Row 6 vs. Row 2	3,918	7,549	0,00000555	0,005	Yes
Row 5 vs. Row 4	3,732	7,189	0,0000108	0,006	Yes
Row 2 vs. Row 1	3,030	5,837	0,0000158	0,006	Yes
Row 3 vs. Row 2	2,605	5,018	0,0000892	0,007	Yes
Row 6 vs. Row 5	2,262	4,358	0,000379	0,009	Yes
Row 2 vs. Row 4	2,076	3,999	0,000842	0,010	Yes
Row 5 vs. Row 2	1,656	3,190	0,00507	0,013	Yes
Row 6 vs. Row 3	1,313	2,530	0,0209	0,017	No
Row 4 vs. Row 1	0,954	1,838	0,0826	0,025	No
Row 3 vs. Row 5	0,949	1,828	0,0842	0,050	No

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Österreichische Bundesforste - diverse Publikationen](#)

Jahr/Year: 2009

Band/Volume: [9](#)

Autor(en)/Author(s): Dokulil Martin T.

Artikel/Article: [Abschätzung der klimabedingten Temperaturänderungen bis zum Jahr 2050 während der Badesaison 1](#)