
15. Dezember 2016 | Autor: Dr. Hans-Jörg Barth -
eza! | www.eza-allgaeu.de

Der Klimawandel – Auswirkungen auf den Bayerischen Bodenseeraum und die Gemeinde Wasserburg (Bodensee)

Prognosen regionaler Modelle und Möglichkeiten
der Anpassung

Inhalt

1. Vorwort	3
2. Zusammenfassung	5
3. Der Klimawandel in der Region	6
3.1. Die beobachtete Veränderung	10
3.1.1. Temperatur	11
3.1.2. Niederschlag	14
3.2. Die regionale Modellierung	17
3.3. Die zu erwartenden Änderungen in der Region	17
3.3.1. Temperatur	19
3.3.2. Niederschlag	23
4. Auswirkungen der Veränderung der Klimaparameter	27
4.1. Wasserhaushalt	27
4.1.1. Wasserversorgungssicherheit	28
4.1.2. Hochwasser	29
4.2. Bodenerosion	31
4.3. Artenvielfalt und ökologische Systeme	32
4.4. Vegetation	33
4.5. Auswirkungen auf die Forstwirtschaft	34
4.6. Auswirkungen auf die Landwirtschaft	35
4.6.1. Phänologie	35
4.6.2. Trockenheit	35
4.6.3. Hagel und intensive Niederschläge	36
4.6.4. Temperaturen	36
4.7. Fazit für die Gemeinde Wasserburg	37
5. Maßnahmen	38
5.1. Hochwasserschutz	38
5.2. Starkregen	38
5.3. Waldumbau	40
5.4. Landwirtschaft	41
5.5. Naturschutz	43
5.6. Gesundheit	44
6. Quellen	46

1. Vorwort

Sehr geehrte Bürgerinnen und Bürger,

haben Sie auch den Eindruck, dass kalte schneereiche Winter seltener werden? Dass Forsythien und Obst immer früher im Jahr blühen? Es immer mehr laue Sommernächte am Bodensee gibt?

Wenn ja, dann liegen Sie richtig. Die Statistik liefert hier eindeutige Zahlen. Der Klimawandel ist in vollem Gange, und auch wir in Wasserburg können dies bereits spüren.

Dass wir mit der Verbrennung von fossilen Energieträgern massiv zur Erwärmung des Klimas beitragen, ist mittlerweile unbestritten, auch wenn die Medien immer wieder die gegenteilige Meinung Einzelner gerne aufgreifen und verbreiten (Klimaskeptiker). Leider gehört nun auch der designierte Präsident der USA zu diesem Personenkreis. Im letzten Weltklimabericht des IPCC von 2014 werden die wissenschaftlichen Erkenntnisse und Modellierungsergebnisse der letzten Jahre detailliert geschildert. Und die Aussichten sind alles andere als beruhigend. Wenn wir die globale Erwärmung auf zwei Grad begrenzen wollen – was beim historischen Treffen des Weltklimarates in Paris im Dezember 2015 von der Staatengemeinschaft beschlossen wurde – , dann erfordert dies umgehende Aktionen, und zwar weltweit. Natürlich haben wir es in Deutschland nicht in der Hand, was in China, USA oder Australien passiert, und unsere Anstrengungen in Wasserburg sind nicht mehr als ein Tropfen auf den heißen Stein, aber wollen wir deshalb zuschauen, wie ganze Küstenregionen überflutet und Millionen Menschen zu Klimaflüchtlingen werden?

Nein! Wir in Wasserburg haben uns dem Klimaschutz schon lange verschrieben und waren unter den ersten Kommunen in Bayern, welche die Energiewende mit dem European Energy Award systematisch zur Umsetzung brachten. Die letzte Auszeichnung durch den damaligen Umweltminister Marcel Huber 2013 zeigte uns, dass wir damit auf dem richtigen Weg sind. Und dazu gehört es auch, dass wir uns klar machen, was die klimatischen Veränderungen für unsere Region bedeuten.

Wir haben diese Klimawandelstudie in Auftrag gegeben, damit die Erkenntnisse mehrerer Forschungsprogramme zur regionalen Modellierung für unsere Region auf eine verständliche Weise zusammengefasst werden. Wenn wir wissen, womit wir in Zukunft rechnen müssen, dann können wir schon heute anfangen uns darauf einzustellen



und notwendige Anpassungsmaßnahmen zu planen und umzusetzen. Allem voran stehen hier Beeinträchtigungen des Obstanbaus. Daneben gibt es aber noch zahlreiche weitere Themenfelder, wo wir mit entsprechenden Anpassungen die negativen Auswirkungen in Zukunft abmildern und damit auch ganz erhebliche Kosten durch Schadensereignisse verhindern können (z.B. Starkregen). Dieses Papier führt uns in die Thematik ein und zeigt auf, wo wir als Bürger und Gemeindeverwaltung Potenziale und Handlungsbedarf haben, die Zukunft enkeltauglich zu gestalten. Denn wenn eines klar wird, dann ist es die Tatsache, dass es nicht ausreicht, als Gemeinde energieeffizient zu werden und erneuerbare Energien einzusetzen, sondern wir müssen dem Klimawandel auch bei uns ins Auge sehen und uns und unsere Infrastruktur – wo notwendig – darauf einstellen.

Mit freundlichen Grüßen

Ihr



1. Bürgermeister
Thomas Kleinschmidt

2. Zusammenfassung

Die klimatischen Verhältnisse in der Gemeinde Wasserburg werden sich in den nächsten drei Jahrzehnten weiter verändern. Gegenüber der Periode von 1971-2000 ist mit einer Temperaturzunahme von ca. 1-1,25 Grad zu rechnen. Die stärkste Erwärmung von ca. 1,5 Grad wird im Winter stattfinden, wohingegen im Frühjahr im Durchschnitt die geringste Erwärmung von ca. 0,5 Grad erwartet wird. Die Sommer werden trockener mit einer zunehmenden Anzahl von Hitzetagen (über 30°C), was sich besonders für die Landwirtschaft negativ auswirken wird. Die Niederschläge werden über alle Jahreszeiten intensiver mit einer zunehmenden Anzahl an Starkregenereignissen. Die Vegetationsperiode wird über das Jahr gesehen immer länger. Die Veränderungen der klimatischen Parameter haben weitreichende Folgen für die Lebewelt, die Böden, die Hydrologie und damit auch unmittelbar für die Bürger der Gemeinde Wasserburg. Im Folgenden sind die für die Gemeinde empfohlenen Maßnahmen aufgeführt:

Hochwasserschutz/Starkregen/Hitze

- ▶ Minimierung von Oberflächenabfluss bei Neubaugebieten konsequent umsetzen (Flächenversiegelung, Infiltrationsförderung, Zisternen, Dachbegrünung etc.)
- ▶ Abwasser-Trennsystem weiter konsequent ausbauen
- ▶ Überprüfung ob Außengebietswasser in das Siedlungsgebiet der Gemeinde geführt wird
- ▶ Leitfaden und Kommunikation von Maßnahmen zur Anpassung des Gebäudebestands an Starkregenereignisse und Hitzeimpakt

Land- und Forstwirtschaft

- ▶ Motivation und Unterstützung zur Umstellung weiterer landwirtschaftlicher Flächen auf ökologische Wirtschaftsweisen
- ▶ Reduzierung von Monokulturen im Obstanbau zur Risikoreduktion von Pilzbefall
- ▶ Konsequenter Ausbau von Hagelnetzen
- ▶ Ausbau des Biotopverbundsystems

Sonstiges

- ▶ Beobachtung der Veränderungen bei Schädlingen und Vektoren (Zecken, Stechmücken, asiatische Tigermücke, Eichenprozessionsspinner,...) und Einflussnahme auf den Landkreis diese Aufgabe zu übernehmen
- ▶ Vorteile einer Wohnraumbelüftung für Allergiker herausstellen (Öffentlichkeitsarbeit für Passivhaus, bzw. entsprechende Lüftungsanlagen)

3. Der Klimawandel in der Region

Der Klimawandel ist auch in Bayern messbar und hat zur Veränderung verschiedener klimatischer Kenngrößen geführt, welche sich auf verschiedenste Lebensbereiche auswirken, angefangen von Veränderungen im Wasserhaushalt bis hin zu Folgen für die Gesundheit der Bürger in Bayern. Um abschätzen zu können, wie sich die heimischen Ökosysteme verändern werden und mit welchen Folgen wir für die betroffenen Kommunen, Bürger und die Wirtschaft in Zukunft zu rechnen haben, werden im Folgenden die anhand von Klimaprojektionen ermittelten Veränderungen der wichtigsten Klimaparameter in der Region dargestellt.

Im Rahmen des Kooperationsprojektes KLIWA (Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft) bearbeitet das LfU (Bayerische Landesamt für Umwelt) diese Fragestellungen. Mit den Ergebnissen aus KLIWA wurde von der Bayerischen Staatsregierung im Jahr 2009 die Bayerische Klima-Anpassungsstrategie (BayKLAS) beschlossen, die erste Auswertungen für die Entwicklung der Mittelwerte von Temperatur und Niederschlag in Bayern enthält (Danneberg et al. 2012). Es ist die Aufgabe der Kommunen, sich mit den lokalen Folgen der klimatischen Veränderungen auseinanderzusetzen. Was hier getan werden sollte und wie entsprechende Anpassungsmaßnahmen in der Planung verankert werden können, ist Gegenstand des zweiten Teils dieser Studie.

Zur Abschätzung der Veränderung der Klimaparameter wird den regionalen Modellierungen ein Emissionsszenario zugrunde gelegt, in welchem verschiedene Randbedingungen über die zukünftige Entwicklung der Weltbevölkerung, der Wirtschaft und gesellschaftlicher Veränderungen (global) vorgegeben sind. Daraus wird mit einem Globalen Zirkulationsmodell (GCM) die globale Veränderung der Klimaparameter in einem derzeitigen Raster von 200-100 km dreidimensional wiedergegeben. Die Ergebnisse der verschiedenen Emissionsszenarien sind im 5. Sachstandsbericht des Weltklimarates des IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) dargestellt (IPCC 2013/2014). Die regionale Modellierung setzt auf dem globalen Zirkulationsmodell auf und verfeinert die Ergebnisse unter weiterer Berücksichtigung regionaler Besonderheiten mit einer größeren räumlichen Auflösung. Grundsätzlich werden Trends nur dann als robust bezeichnet, wenn die große Mehrzahl der Modelle (welche unabhängig mit unterschiedlichen Ansätzen die Fragestellung bearbeiten und modellieren) einheitliche Ergebnisse liefert. Da wir die Zukunft nicht kennen, müssen

wir mit verschiedenen Annahmen für die künftige Entwicklung auf der Erde arbeiten. Da hier wiederum mehrere Möglichkeiten wahrscheinlich sind, werden verschiedene Szenarien durchgespielt und der Klimamodellierung zugrunde gelegt. Welche dies sind, und welche Annahmen für diese charakteristisch sind, wird in folgendem Exkurs dargestellt.

Exkurs Emissionsszenarien:

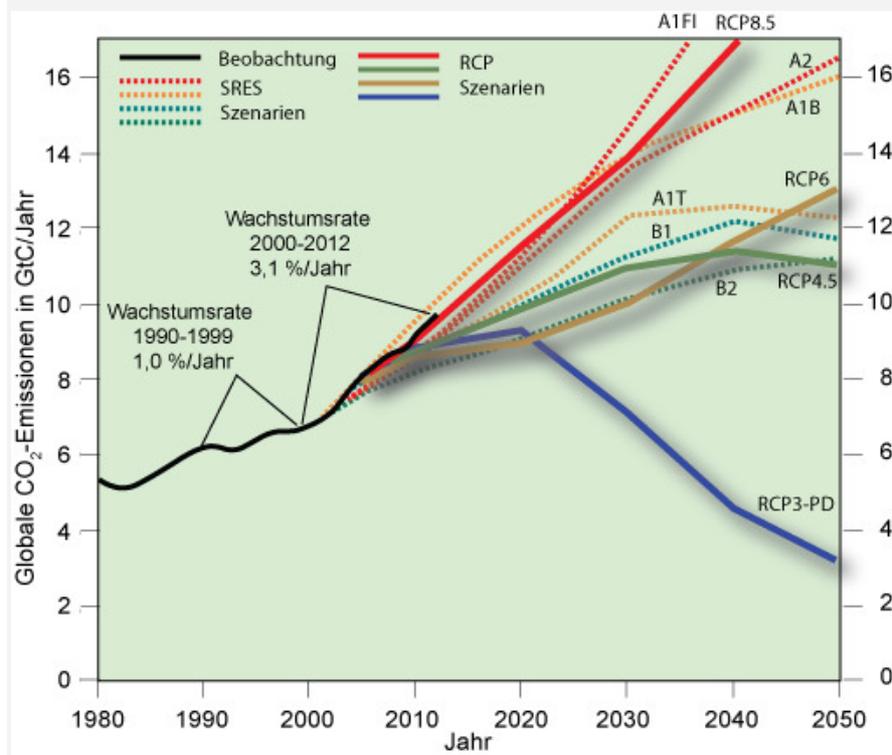


Abb. 1 | Trends der Temperaturentwicklung bis zum Jahr 2050 für verschiedene Szenarien (Peters et al. 2012)

Die den früheren Sachstandsberichten des Weltklimarates zugrunde liegenden Szenarien basierten auf verschiedenen möglichen Entwicklungen in den Bereichen Bevölkerungswachstum, technologische, ökonomische und soziale Entwicklung sowie dem entsprechenden Ressourcenverbrauch der nächsten Dekaden bis zum Jahr 2100. Insgesamt wurden 40 Szenarien berechnet und in vier Szenarien-Familien (A1, A2, B1 und B2) gruppiert:

A1 stellt die Entwicklung für ein rasches Wirtschaftswachstum, einer Mitte des 21. Jahrhunderts kulminierenden Weltbevölkerung und der schnellen

Einführung neuer Technologien dar. Die sozialen Disparitäten werden vermindert. Verschiedene technologische Änderungen der Energiesysteme bestimmen die Ergebnisse der einzelnen Unter-Szenarien der Familie.

A2 beschreibt eine heterogene Welt mit stetig steigender Bevölkerung und geringem Wirtschaftswachstum. Soziale Spannungen und räumlich sehr variable Entwicklungen charakterisieren das Bild. Technologischer Fortschritt ist generell sehr viel langsamer als in anderen Szenarienfamilien.

B1 zeigt bei Bevölkerung und sozialer Entwicklung eine ähnliche Entwicklung wie A1, allerdings wird der Wandel zu einer Dienstleistungs- und Informationsgesellschaft schneller vollzogen und der Ressourcenverbrauch ist rückläufig. Umweltgerechte Nachhaltigkeit nimmt global eine hohe Bedeutung ein.

B2 repräsentiert eine Welt mit vielen lokalen und sehr unterschiedlichen Entwicklungen. Die Bevölkerung steigt – aber langsamer als bei A2. Die wirtschaftliche Entwicklung ist langsam und durch vielfältigen technologischen Fortschritt gekennzeichnet (mehr als in B1 und A1).

Die beschriebenen Szenarien sind in Abb. 1 als gerissene Linien dargestellt.

Die neuen Szenarien aus dem 5. Sachstandsbericht des IPCC (2013) basieren im Gegensatz zu den bisherigen auf repräsentativen Konzentrationspfaden (Representative Concentration Pathways RCPs). Der Schwerpunkt liegt hier nicht auf den Emissionen (in Abhängigkeit verschiedener sozioökonomischer Entwicklungen), sondern auf den Konzentrationen und dem entsprechenden Strahlungsantrieb der verschiedenen Treibhausgase (IPCC 2013). Auf diesen Szenarien aufbauend werden mittels globaler Zirkulationsmodelle dann die mittleren regionalen Auswirkungen auf das Klima errechnet.

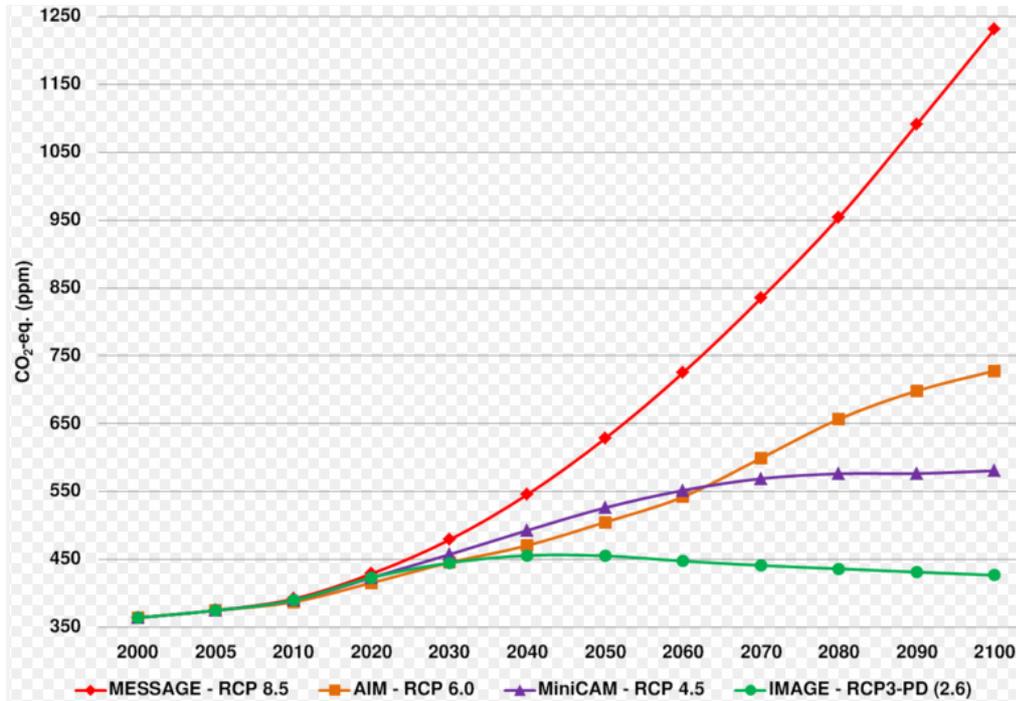


Abb. 2 | Repräsentative Konzentrationspfade der CO₂-Äquivalente in der Atmosphäre bis 2100 (gegenwärtig befinden wir uns auf der roten Linie, IPCC 2013)

Mit dem RCP 2.6 ist nun erstmals ein Szenario dabei, das auch weltweit ambitionierte Klimaschutzmaßnahmen berücksichtigt (Abb. 2 grüner Pfad). Die Kennzeichnung der verschiedenen Szenarien richtet sich nach dem entsprechenden Strahlungsantrieb in W/m² bis zum Jahr 2100. Repräsentativ sind diese deshalb, da sie aus der Synthese zahlreicher verschiedener Modellierungen generiert worden sind. Gegenwärtig befindet sich die Weltwirtschaft auf dem roten Pfad (RCP 8.5), welcher langfristig das negativste IPCC Szenario (A1-F1) noch übertrifft und bereits jetzt (2016) das noch im Jahr 2007 als wahrscheinlichstes erachtete A2-Szenario nach oben (mit mehr CO₂-Emissionen) überschritten hat. B1 und RCP 4.5 zeigen das optimistische Szenario mit einer weltweit einsichtigen aktiven Klimaschutzpolitik und Konzentration auf regionale Kreisläufe. RCP3-PD(2.6) geht von einer weltweiten Emissionsspitze 2020 aus mit massiven CO₂-Reduzierungen (auf der Basis von derzeit nur theoretisch vorhandenen Technologien) in den folgenden Jahren, was derzeit als eher unwahrscheinlich erachtet werden kann.

Die Ergebnisse der Berechnungen regionaler Klimamodelle sind keinesfalls als Prognosen zu verstehen. Sie sind vielmehr als eine mehr oder weniger belastbare Indikation möglicher Entwicklungen anzusehen, welche im Durchschnitt in der Zukunft das klimatische Geschehen in der

Region bestimmen. Grundsätzlich werden mehrere regionale Klimaprojektionen gebündelt betrachtet (sogenannte Ensembles). Wo übereinstimmende Aussagen auftreten, können die Ergebnisse, wie bereits oben erwähnt, als belastbar angesehen werden. Dennoch ergibt sich systembedingt immer eine Ergebnisbandbreite (Korridor), in welchem die zukünftige klimatische Entwicklung (unter den getroffenen Annahmen) wahrscheinlich liegt (Danneberg et al. 2012).

3.1. Die beobachtete Veränderung

Die globalen Messdaten der Troposphärischen CO₂-Konzentration folgen seit Jahren einem konstanten Muster. Die jahreszeitlichen Schwankungen werden von der Biomasseproduktion auf der Nordhalbkugel bestimmt. Nachwachsendes Laub im Frühling führt zu einem Anstieg der Photosyntheseleistung der Wälder und somit zu einem Nettoverbrauch des atmosphärischen CO₂. Nach dem Sommermaximum steigt im Herbst mit dem Abwurf der Blätter die CO₂-Konzentration wieder an, da sich bei der geringeren Photosyntheseleistung der Wälder CO₂ wieder anreichern kann. Da sich auf der Südhalbkugel kaum größere Laubwälder befinden, ist der Südsommer für die CO₂-Konzentration unerheblich, wodurch die globale Jahreszeitenschwankung erst möglich wird.

Daneben aber ist besonders der regelmäßige Anstieg der Konzentration auffällig. Die jährliche Steigerungsrate nimmt in den letzten Jahren immer weiter zu. Derzeit liegt sie bei 0,6% im Jahr (vgl. Abb. 3)

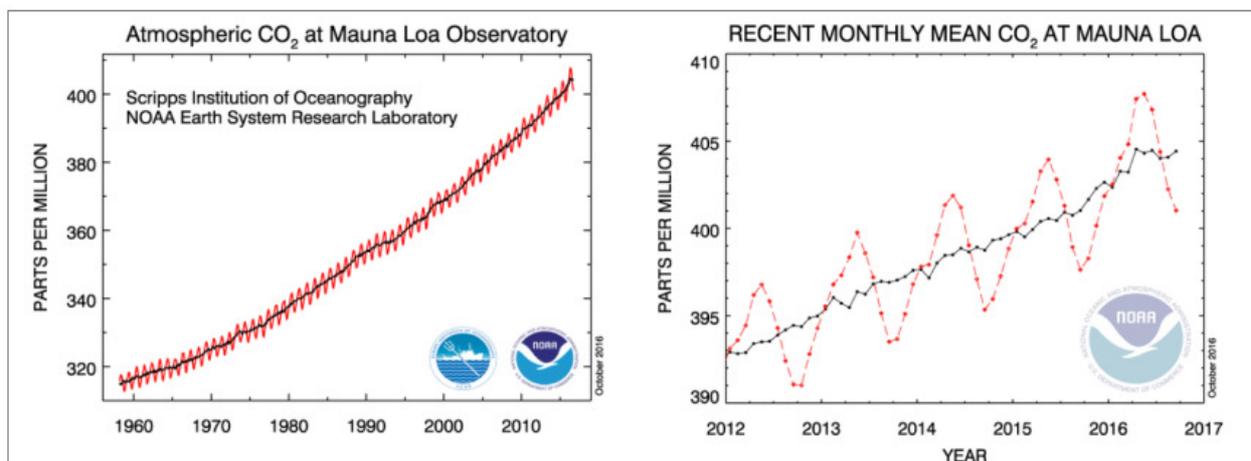


Abb. 3 | Gemessene Konzentration der globalen CO₂-Konzentration in der Troposphäre (Quelle NOAA 2016; <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>)

Die Karte in Abbildung 4 zeigt die globale CO₂-Zunahme im Laufe von 2 Jahren in ihrer räumlichen Verteilung. Hier ist klar ersichtlich, wo die Hauptquellen der CO₂-Produktion liegen (z.B. die Industriezentren im Osten Asiens oder die Oststaaten der USA). Durch die Westwinddrift verteilt sich das CO₂ langsam zunächst östlich der Emissionsquellen und wird im Laufe der Jahre dann weiter in der Atmosphäre verteilt. Bis ein CO₂-Molekül wieder gebunden wird vergehen in der Regel gut 20 Jahre. Dies bedeutet, dass selbst bei einem sofortigen Stopp der Emissionen die Konzentration erst in 20 Jahren wieder rückläufig sein würde.

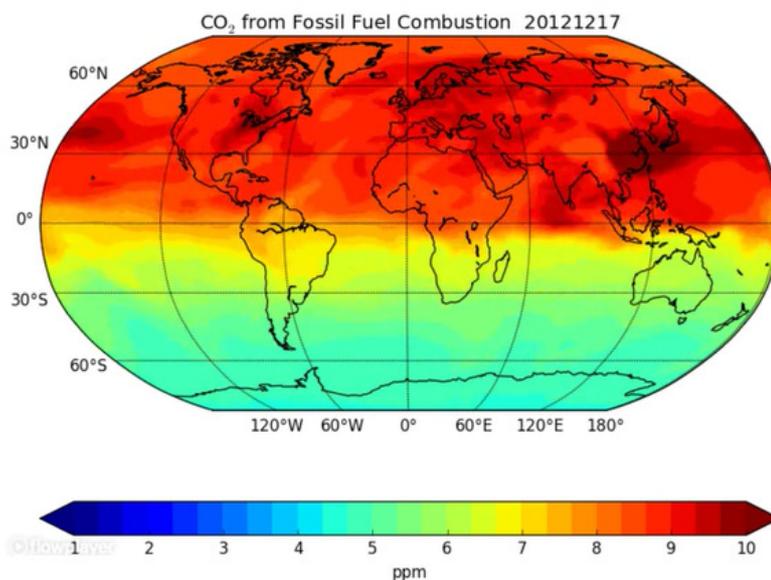


Abb. 4 | Gemessene Zunahme der regionalen CO₂-Konzentration in der Troposphäre (Quelle NOAA 2016; <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/ff.html>)

Wie sich die angesprochenen Veränderungen regional in Bayern und im Bodenseeraum bemerkbar machen und in Zukunft machen werden, wird in den folgenden Abschnitten dargelegt.

3.1.1. Temperatur

Bei der Lufttemperatur ist in ganz Bayern in der Zeitreihe von 1931-2015 eine deutliche Temperaturzunahme von bisher 1,1° zu erkennen (Abb. 5 | Verlauf der Jahresmitteltemperatur in Bayern (weiß); gleitender zehnjähriger Mittelwert (grau) und linearer Trend (rot) 1931-2015 (aus LfU 2012 und DWD-Daten))

Über den Gesamtzeitraum betrachtet ist diese für das Winterhalbjahr (+1,2°) etwas größer als für das Sommerhalbjahr (0,9°) (LUBW 2012).

Während der ersten Dekade des 21. Jahrhunderts (bis 2010) war allerdings im Sommerhalbjahr eine stärkere Temperaturzunahme festzustellen. In den Folgejahren bis 2015 war die Temperaturzunahme dagegen im Winterhalbjahr wieder größer.

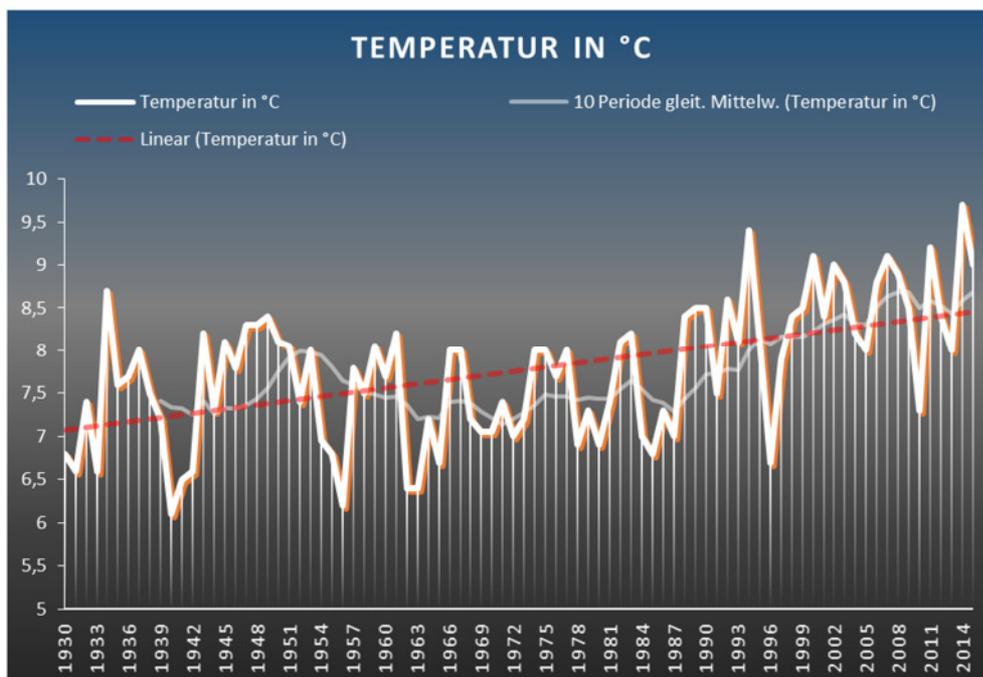


Abb. 5 | Verlauf der Jahresmitteltemperatur in Bayern (weiß); gleitender zehnjähriger Mittelwert (grau) und linearer Trend (rot) 1931-2015 (aus LfU 2012 und DWD-Daten)

2014 war mit 9,6°C (Jahresmittel) das wärmste bisher gemessene Jahr in Bayern und lag damit 2,1° über dem Mittel der Referenzperiode von 1960-1990 (7,5°C). Auch in diesem Fall war der Winter besonders mild. Die Abweichungen der Monatsmittelwerte konzentrierten sich auf den Zeitraum von Januar bis April und Oktober bis Dezember (Abb. 6 I).

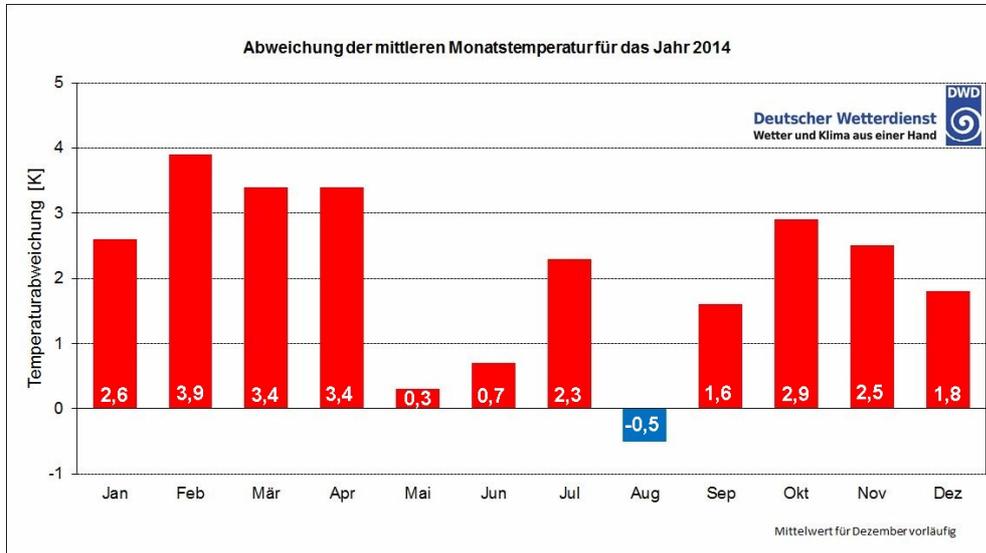


Abb. 6 | Abweichungen der Monatsmittelwerte im Jahr 2014 von der Referenzperiode 1960-1990 (Quelle: DWD)

Die Winter der folgenden Jahre 14/15 und 15/16 waren ebenfalls äußerst mild (DWD 2016).

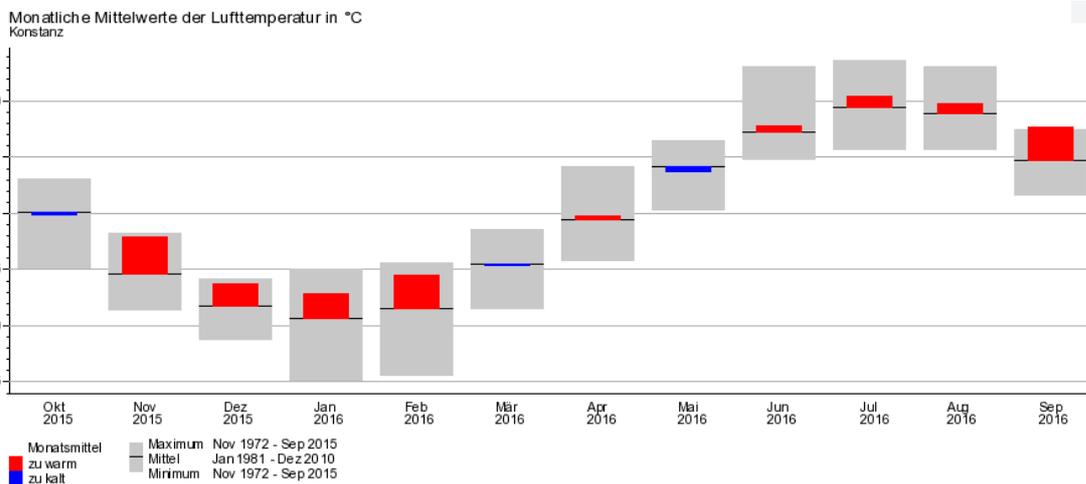


Abb. 7 | Abweichungen der Monatsmittelwerte im Winter 2015/2016 von der Referenzperiode 1960-1990 (Quelle: DWD; http://www.dwd.de/DE/wetter/wetterundklima_vorort/baden-wuerttemberg/konstanz/_node.html)

Beim Vergleich der Periode von 1961 bis 1990 mit dem Zeitraum von 1981-2010 an der Station Konstanz¹ zeigt sich, dass die stärkste Erwärmung im Mittel im Sommer (Juni bis August) zu beobachten war. Hier liegt die Temperaturzunahme bei 1,1°. Die geringste mittlere Erwärmung von 0,2°C ist im Zeitraum von September bis November zu beobachten (vgl.

Tabelle 1). In wie weit die in den letzten Jahren deutliche Abweichung in den Wintermonaten einen neuen Trend darstellt, ist noch ungewiss, aber mittelfristig entspricht dies exakt den modellierten Prognosen.

Tabelle 1 | Beobachtete Temperaturzunahme in den verschiedenen Jahreszeiten an der Station Konstanz

Konstanz	1981-2010	1961-1990	Änderung
in °C	T-Mittel	T-Mittel	in °
Dez-Feb	1,3	0,8	0,5
Mrz-Mai	9,4	8,9	0,5
Jun-Aug	18,6	17,5	1,1
Sep-Nov	9,8	9,6	0,2

Interessant ist der Vergleich mit dem bisher wärmsten Jahr 2014. Hier lag die Periode von Dezember bis Februar um ganze 3,4° über dem Mittel von 1960-1990, das Frühjahr (März bis Mai) immerhin noch 1,9° darüber ebenso wie der Herbst (September bis November). Lediglich der Sommer lag nur 0,6° über dem Mittel von 1960-1990. Dies verdeutlicht den Trend der letzten Jahre hin zu deutlich wärmeren Winterperioden.

3.1.2. Niederschlag

Beim jährlichen Gebietsniederschlag in Bayern ist die Zunahme im Mittel gering, allerdings ist im Winterhalbjahr in allen Regionen Bayerns ein Anstieg von 17-27 % (je nach Region) feststellbar (Abb. 9 I). Die Sommerniederschläge zeigen regional keine einheitliche Änderung. Im Mittel ist im Sommer aber ein leichter Rückgang zu beobachten.

Für Friedrichshafen (Abb. 8) zeigt sich ein minimaler und damit wenig aussagekräftiger ansteigender Trend in den Jahressummen. Man erkennt sowohl bei den Niederschlägen als auch bei der Temperatur (vgl. 3.1.1) eine grundsätzlich hohe Variabilität von Jahr zu Jahr. Diese Charakteristik

¹ Für die Station Friedrichshafen liegen nicht für beide Zeitserien einheitliche Standorte vor, so dass kein direkter Vergleich möglich ist. Andere Stationen in Kressbronn und Lindau sind privat und verfügen nicht über die nötigen Zeitserien in der Vergangenheit. Daher wurde auf die Station des DWD in Konstanz zurückgegriffen.

dürfte sich in Zukunft durch die fortschreitende Erwärmung weiter verstärken.

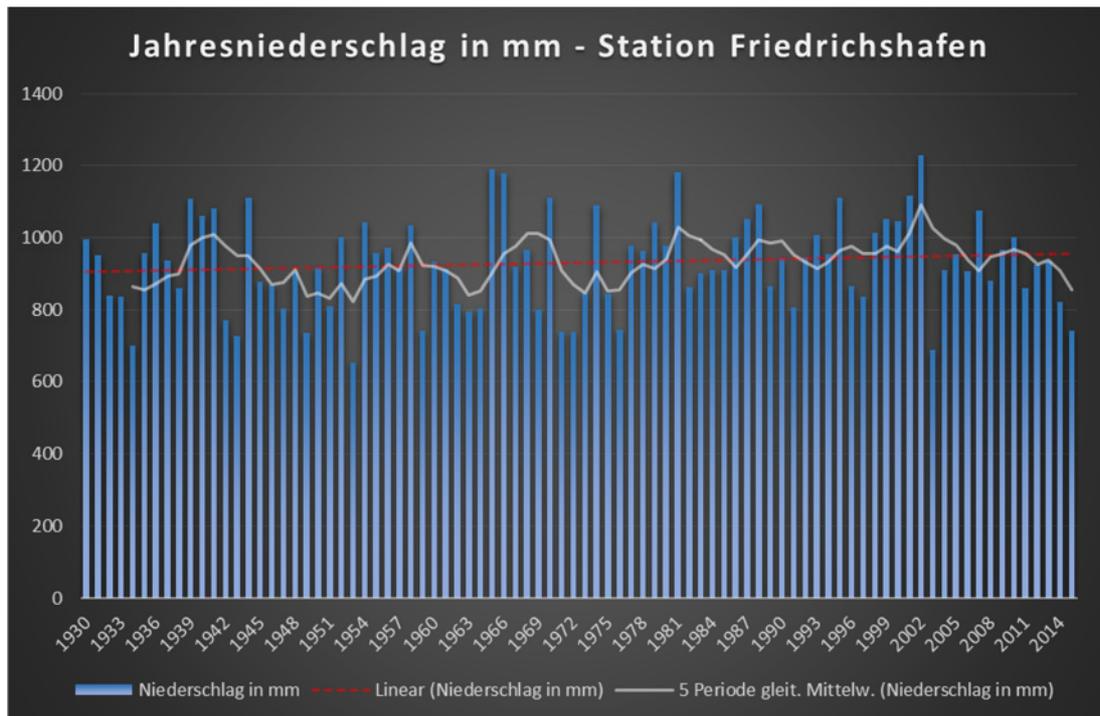


Abb. 8 | Jahresniederschläge an der Station Friedrichshafen (Quelle: DWD). Im Jahr 2003 wurde die Station an einen anderen höheren Standort verlegt, so dass die Zahlen nur bedingt vergleichbar sind.

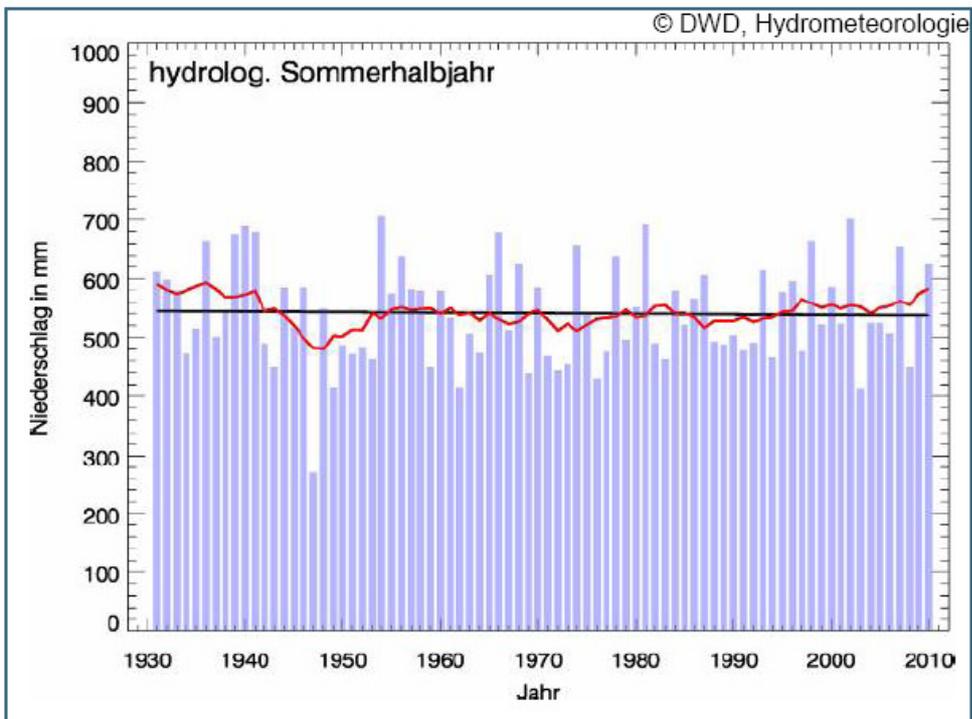
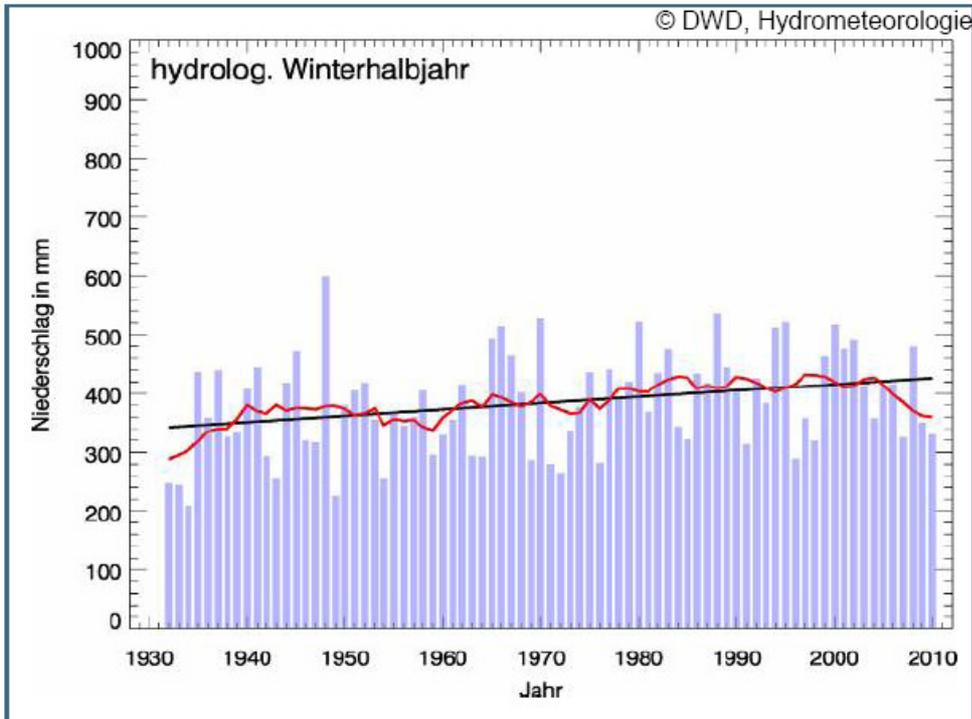


Abb. 9 | Verlauf des mittleren Niederschlags in Bayern; gleitender zehnjähriger Mittelwert (rot) und linearer Trend (schwarz) für das Winter- (oben) bzw. Sommerhalbjahr (unten) von 1931-2010 (aus LfU 2012)

3.2. Die regionale Modellierung

Die den dargestellten Ergebnissen zugrunde liegenden globalen und regionalen Klimamodelle sind in der folgenden **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** aus dem Klimabericht Bayern dargestellt und basieren auf dem A1B Emissionsszenario des IPCC (vgl. Exkurs) sowie dem globalen Zirkulationsmodell (GCM) ECHAM 5. Kontrollläufe zur Modellierung der Daten von 1971-2000 werden standardmäßig zur Verifizierung und Kalibrierung der Klimaprojektionen herangezogen.

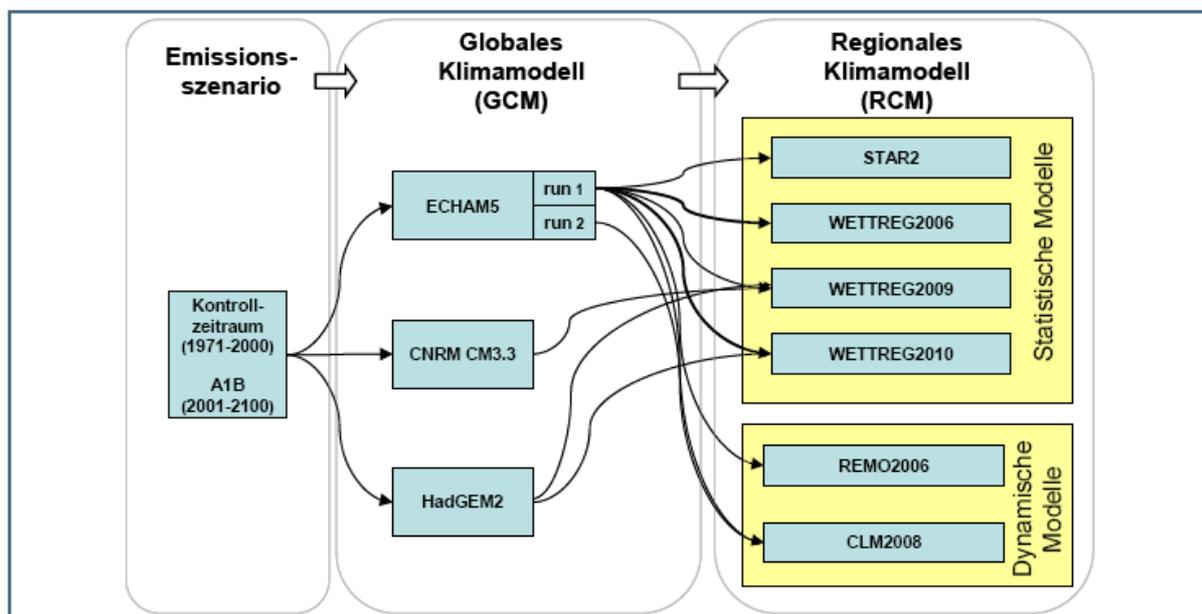


Abb. 10 | Darstellung der Modelle der bayernweit ausgewerteten Klimaprojektionen (aus LfU 2012)

3.3. Die zu erwartenden Änderungen in der Region

Da die landschaftliche Vielfalt im Bodenseegebiet sehr ausgeprägt ist, wird sich der fortschreitende Klimawandel sehr differenziert bemerkbar machen. Generell scheint der Alpenraum, wie auch die großen Flusstäler (Rheintal), gegenüber den erwarteten Änderungen besonders sensibel zu reagieren. Aus diesem Grund müssen die Veränderungstrends auf die regionale und lokale Ebene herunter skaliert werden. Die regionalen Prognosen der hier betrachteten Modelle sind Angaben zur wahrscheinlichen Entwicklung innerhalb bestimmter Zeiträume und daher nicht als konkrete Vorhersage zu betrachten.

Die Entwicklung der Temperatur in Bayern wird allgemein von einer weiteren Erwärmung geprägt. Diese wird in der ersten Hälfte des 21. Jahrhunderts gemäßigt voranschreiten und sich in der zweiten Hälfte deutlich beschleunigen. Hiervon werden maßgeblich der Süden und Westen Bayerns betroffen sein, wo die Erhöhungen der Temperaturmittel bis 2100 bei 4° und mehr liegen werden (LfU 2012). Neben dem Temperaturanstieg werden die Sommer im Mittel niederschlagsärmer und die Winter niederschlagsreicher. Die klimatischen Extremereignisse werden zunehmen. Dies dürfte zum einen an Änderungen der globalen Zirkulationsmuster (im Falle Bayerns an vermehrtem Einfluss winterlicher atlantischer Zyklonen bzw. Tiefdruckgebiete) als auch an der statistischen Häufigkeitsverteilung der Klimaparameter liegen (Abb. 11).

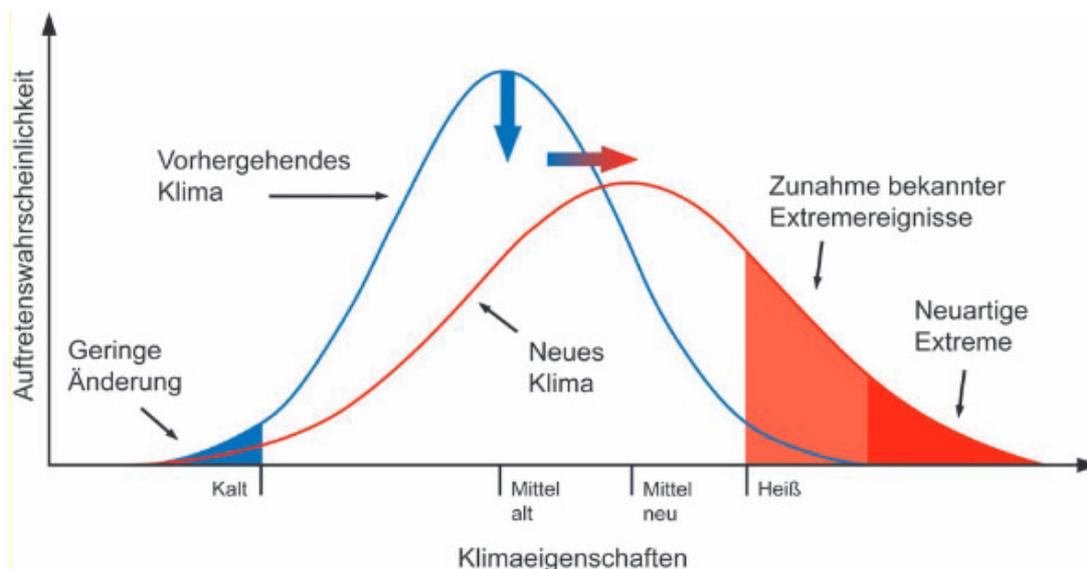


Abb. 11 | Schematische Darstellung der Häufigkeitsverteilung klimatischer Kenngrößen des Ist-Zustandes (blaue Linie) und unter Einbeziehung des Klimawandels (rote Linie)

Bereits mit geringfügigen Verschiebungen der Durchschnittswerte treten heutige extreme Verhältnisse zukünftig um ein Vielfaches häufiger und stärker auf (aus LfU 2007, nach Meehl et al. 2000).

Folglich nehmen die Extreme am unteren Ende – also die Eis- und Frosttage – allgemein stark ab und die Extreme am oberen Ende – dementsprechend die Hitze- und Sommertage – signifikant zu. Was dies für die Gemeinde Wasserburg und die umgebende Region bedeutet, wird in den folgenden Abschnitten ausgeführt.

3.3.1. Temperatur

Für das Mittel des Zeitraums 2021-2050 liegt die modellierte Temperaturzunahme zwischen 0,8° und 1,9° gegenüber dem Mittel von 1971-2000), wobei die Hälfte aller Projektionen einen Anstieg über 1,2° verzeichnet (Abb. 12 I) (LfU/Danneberg et al. 2012).

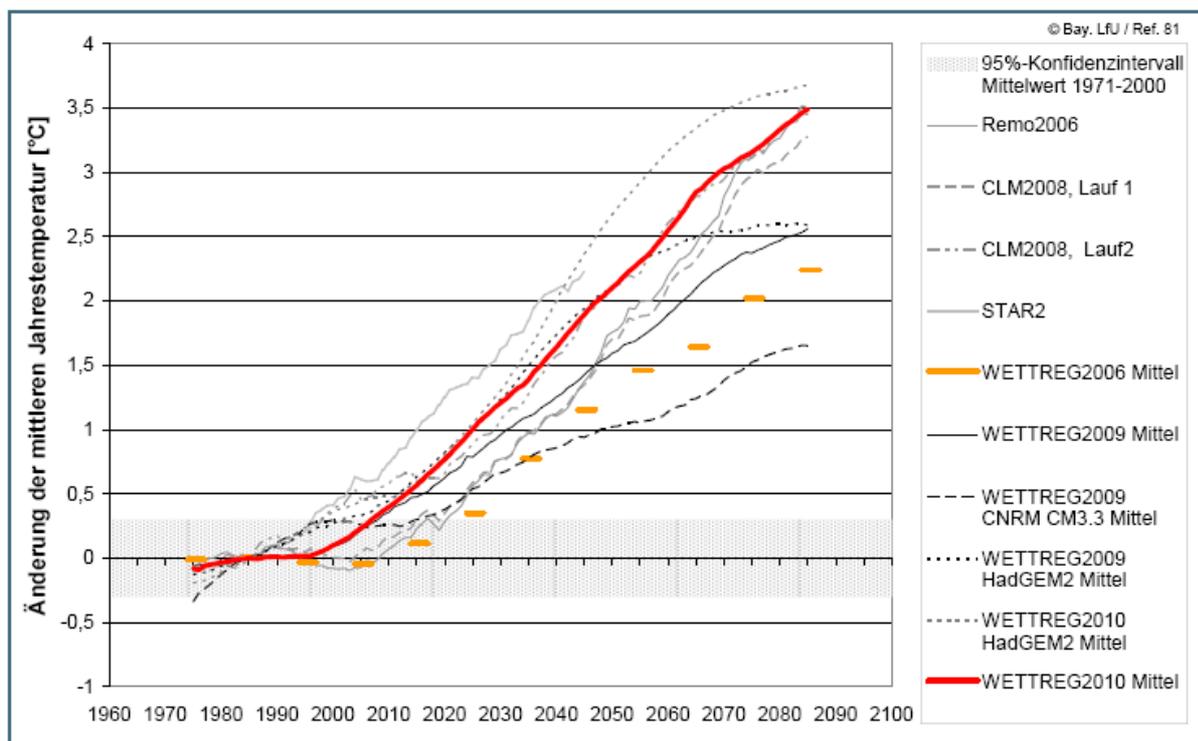


Abb. 12 I Änderung des 30-jährigen gleitenden Temperaturmittels in Bayern gegenüber 1971-2000 in [°C] für eine Auswahl an regionalen Klimaprojektionen (Ensemble)

Der Vertrauensbereich $\pm 0,3^\circ$ berücksichtigt die natürliche Variabilität der Jahreswerte zwischen 1971 und 2000 und zeigt die Signifikanz des Änderungssignals (LfU 2012).

Für Wasserburg liegt die erwartete Zunahme für das gleitende Jahresmittel zwischen 2021-2050 zwischen $1,0^\circ$ (WETTREG2006) und $1,25^\circ$ (WETTREG2010). Nach Jahreszeiten aufgeschlüsselt ergibt sich folgendes Bild:

Tabelle 2 | Erwartete Temperaturzunahme in ° (2021-2050) in den verschiedenen Jahreszeiten in der Gemeinde Wasserburg (bezogen auf die Referenzperiode 1971-2000)

Wasserburg	WETTREG2006	WETTREG2010	Mittel
Jahr	1	1,25	1,125
Frühjahr	0,4	0,7	0,55
Sommer	1,1	1	1,05
Herbst	1,1	1,6	1,35
Winter	1,3	1,8	1,55

Deutlich ist die verstärkte Temperaturzunahme in den Herbst- und Wintermonaten von 1,35° bzw. 1,55° (gegenüber der etwas moderateren Zunahme in den übrigen Jahreszeiten). Wird der Projektionszeitraum noch weiter bis 2041-2050 ausgedehnt, ergibt sich eine weitere Verstärkung der Trends. Bei Zugrundelegung des CO₂-Emissionspfades (RPC8.5), welcher der gegenwärtigen Entwicklung entspricht und unter Annahme einer leichten, bzw. mittleren Ausprägung der erwarteten Strahlungsantriebe ergibt sich das folgende Bild (Tab. 3 und Abb. 13).

Tabelle 3 | Erwartete Temperaturzunahme in ° (2041-2071) in den verschiedenen Jahreszeiten in der Gemeinde Wasserburg (bezogen auf die Referenzperiode 1981-2010. Quelle PIK/Wetter-online; <http://www.klimafolgenonline.com/>)

Wasserburg	RPC8.5 leicht	RPC8.5 mittel	Mittel
Jahr	1,2	2,2	1,7
Frühjahr	1,4	2,7	2,05
Sommer	0,8	0,6	0,7
Herbst	1,3	3	2,15
Winter	1,4	2,5	1,95

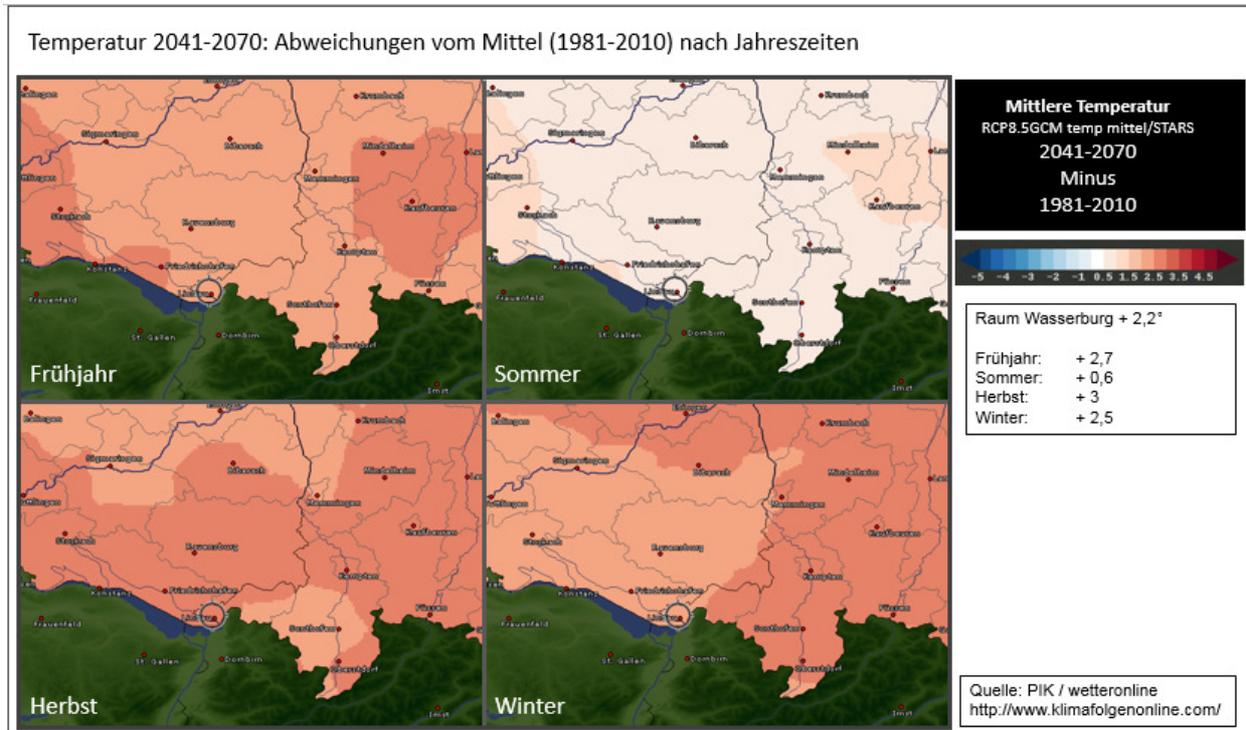


Abb. 13 | Erwartete Temperaturzunahme für das deutsche Bodenseegebiet
(Quelle: PIK / wetteronline; <http://www.klimafolgenonline.com/>)

Auffällig ist, dass die Erwärmung im Sommer auf dem gleichen Niveau verharrt, wohingegen besonders im Frühjahr ein starkes Ansteigen vorhergesagt wird. Winter und Herbst nehmen weiter zu, so dass unter dem Strich die Zunahme der Temperatur im Frühjahr und Herbst in der Region stärker wird als der Anstieg im Winter.

Weiter zeigt die Veränderung bei der Häufigkeit bestimmter Kenntage die Erwärmung, deren Auswirkungen besonders für die Ökosysteme von großer Bedeutung sind. Hierbei geht es um Eis- und Frosttage bzw. Sommertage und heiße Tage. Eistage sind Tage; an denen die Maximaltemperatur nicht über 0°C steigt (also Dauerfrost herrscht). Frosttage sind Tage, an denen die Minimumtemperatur unter 0°C liegt. Je nach Klimaprojektion liegt die zukünftige Häufigkeit der Eistage in Wasserburg zwischen 5 (WETTREG2006) und 8 Tagen (WETTREG2010) unter dem Mittel von 1971-2000. Dies bedeutet im Zeitraum von 2021-2050 pro Jahr nur noch eine durchschnittliche Häufigkeit von ca. 6 -10 Eistagen (im bisher wärmsten Jahr 2014 waren es nur 5 Eistage; Station Friedrichshafen). Die Abb. 14 zeigt die räumliche Verteilung der erwarteten Änderung für den Zeitraum der Dekade 2041-2050 im Vergleich zur Dekade 1981-1990 auf der Basis der Simulationen des PIK. Das Bild deckt sich mit den Ergebnissen der KLIWA Ensembles.

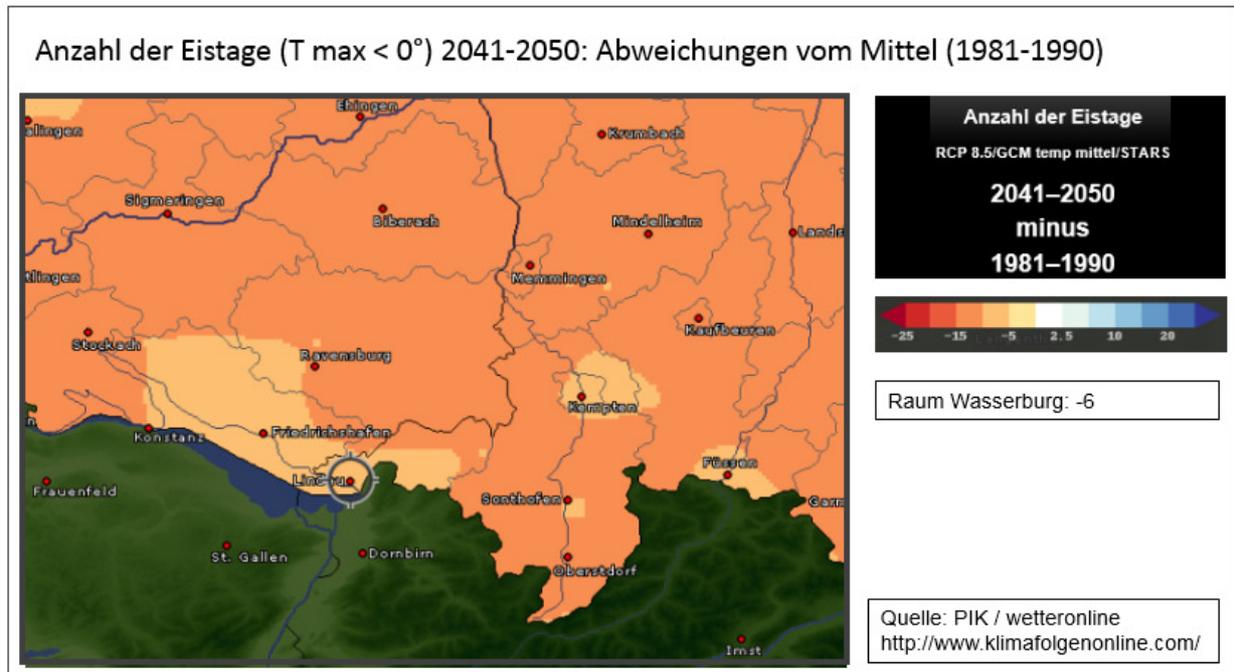


Abb. 14 | Abweichung der durchschnittlichen Anzahl der Eistage für das südliche Bodenseegebiet (Quelle: PIK / wetteronline; <http://www.klimafolgenonline.com/>)

Die Zahl der Frosttage wird entsprechend um 20 (WETTREG2006) bis 28 (WETTREG2010) auf ca. 45-55 zurückgehen (im bisher wärmsten Jahr 2014 waren es 47 Frosttage).

Sommertage sind Tage, an denen die Tageshöchsttemperatur über 25°C liegt, heiße Tage (oder Hitzetage) sind laut Definition Tage mit einem Tagesmaximum über 30°C. Die Anzahl der Sommertage wird im Raum Wasserburg deutlich ansteigen. Für die Periode von 2021-2050 nimmt die Häufigkeit dieser Tag um 14 (WETTREG2006) bis 22 (WETTREG2010) auf ca. 75 zu (zum Vergleich: Im Hitzesommer 2003 gab es 92 Sommertage). Tage über 30° wird es zwischen 7 (WETTREG2006) und 12 (WETTREG2010) pro Jahr mehr geben als bisher (1971-2000), wodurch in der Region Wasserburg im Mittel bis zu 23 heiße Tage zu erwarten sind (Im Rekordsommer 2003 waren es 35 Hitzetage, im bisher wärmsten Jahr 2014 aber nur 5 Hitzetage; 2015 jedoch wurden an der Station Friedrichshafen 27 Hitzetage registriert, obwohl dieses im Jahresmittel kühler war als 2014. Der Sommer 2015 war damit also ein Vorgeschmack auf den Durchschnitt in ca. 20 Jahren). Die Abb. 15 zeigt die Abweichung für die Dekade 2041-2050 im Vergleich zu 1981-1990.

Tage über 30° (Hitzetage) 2041-2050: Abweichungen vom Mittel (1981-1990)

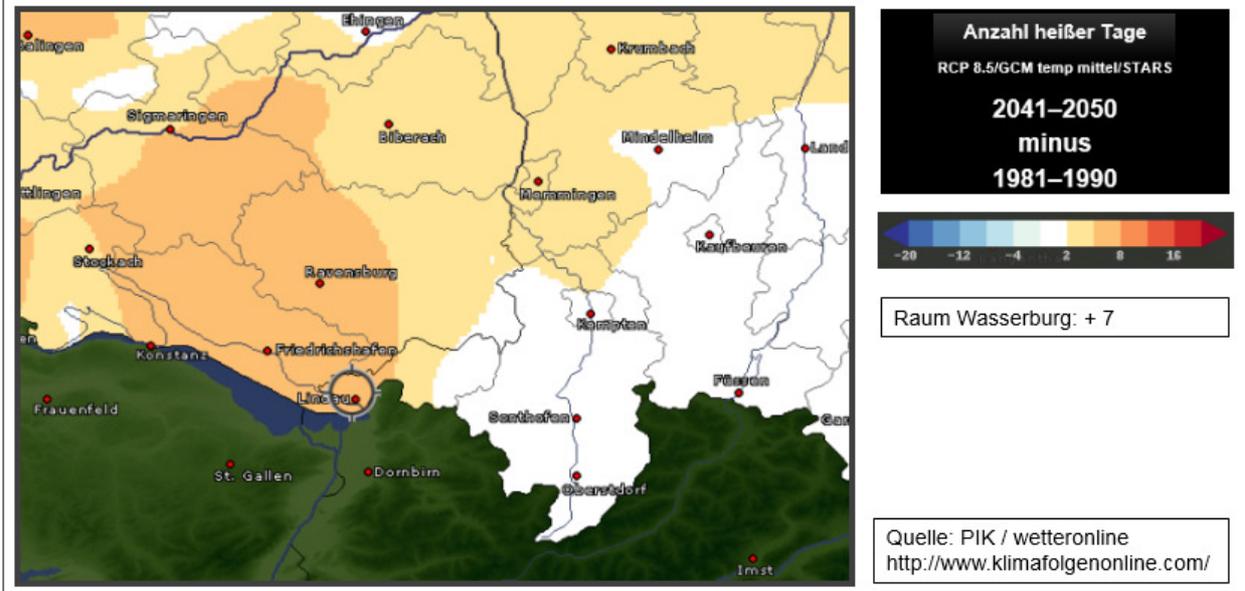


Abb. 15 | Abweichung der durchschnittlichen Anzahl der Hitzetage für das Bodenseegebiet (Quelle: PIK / wetteronline; <http://www.klimafolgenonline.com/>)

3.3.2. Niederschlag

Generell zeigt die Niederschlagsentwicklung bis Mitte des 21. Jahrhunderts bei den Klimaprojektionen keinen eindeutigen Trend. Bis Ende des 21. Jahrhunderts wird sich im Sommerhalbjahr vermutlich eine leichte Abnahme der Niederschlagsmengen abzeichnen (LfU 2012), die sich auch auf die Jahresniederschlagssumme auswirken kann (vgl. Abb. 16). Für das hydrologische Winterhalbjahr ergeben sich bei den Klimaprojektionen zwei unterschiedliche Entwicklungen. Ein Teil zeigt bis 2050 nur wenige Veränderungen, während bei den dynamischen Klimamodellen eine deutliche Zunahme von bis zu 15 % des Niederschlags vorhergesagt wird. Für das Sommerhalbjahr ist die Tendenz aller Modellgruppen einheitlich und dadurch als robust zu werten. Fast alle zeigen einen deutlichen Trend zur generellen Abnahme der Niederschläge, der ab 2050 häufig bei über 10 % liegt (Abb. 16). Die räumliche Verteilung der Niederschläge lässt ebenfalls keine eindeutige Prognose zu. Die Klimaprojektionen lassen für keine der vier Jahreszeiten einheitliche Änderungsmuster erkennen. Allerdings wird die räumliche Variabilität der Sommerniederschläge vermutlich zunehmen. Konvektionsbedingte Sommergewitter im Süden Bayerns sind räumlich eng begrenzt. Dies führt dazu, dass einzelne Landstriche Niederschlag bekommen und andere nicht.

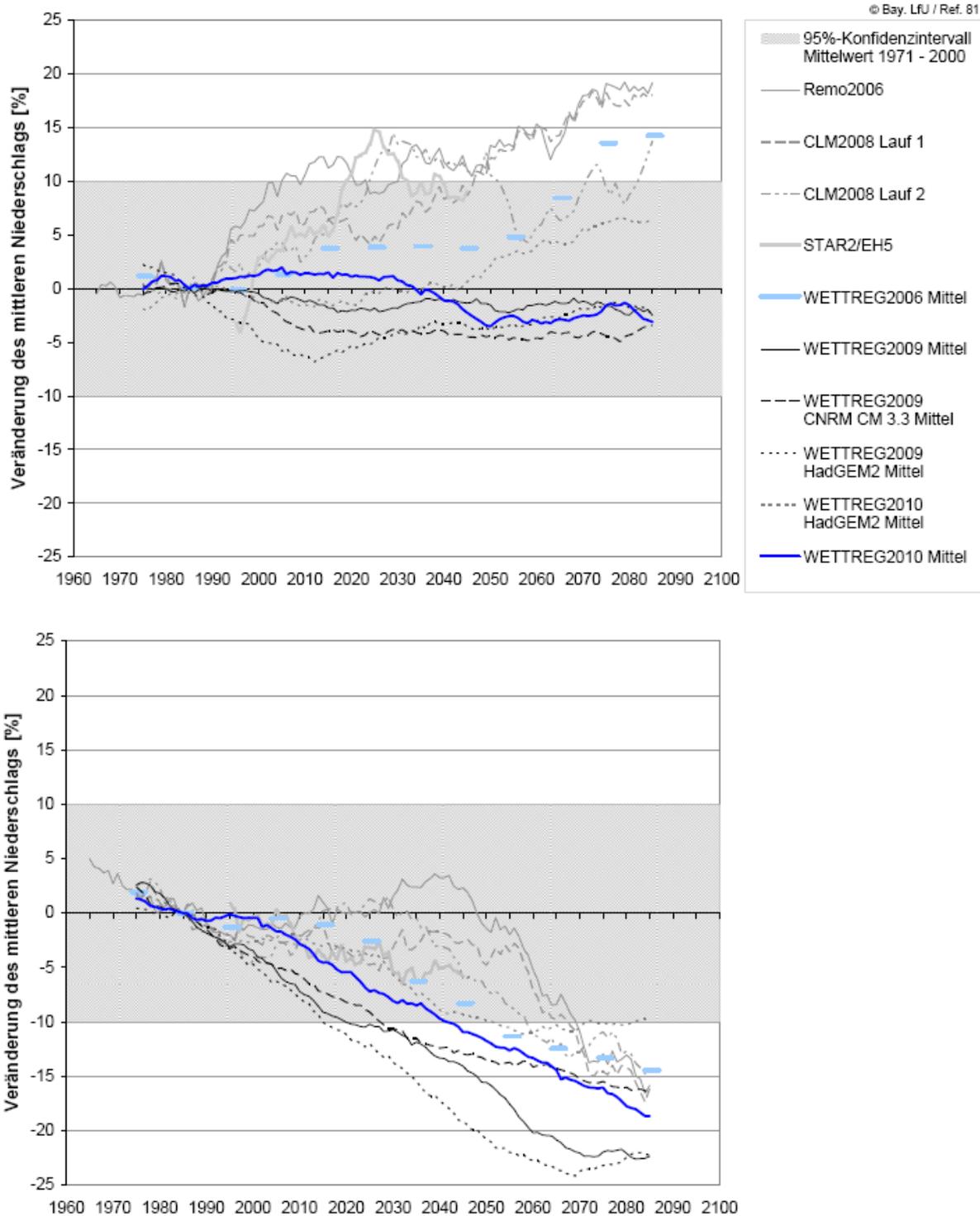


Abb. 16 | Änderung des 30-jährigen gleitenden Mittels des Niederschlags in Bayern gegenüber der Periode von 1971-2000 für das hydrologische Winterhalbjahr (oben) und Sommerhalbjahr (unten)(Quelle LfU 2012)

Die Anzahl trockener Wochen (Trockenperioden über 7 Tage) wird im Sommer im Bodenseegebiet vermutlich ansteigen, wobei sich das Mittel in Bayern bis zur Mitte des Jahrhunderts nur leicht verändern wird. In den Wintermonaten hingegen werden durch den zunehmend stärkeren Einfluss von zyklonalen Wetterlagen (atlantische Tiefdruckgebiete) gegenüber nordosteuropäischen Hochdruckwetterlagen die Trockenphasen seltener.

Die Intensität der Niederschläge (Starkregen) lässt sich derzeit kaum modellieren, da sich konvektive Zellen durchweg im subskaligen Raum befinden (d.h. dass die räumliche Auflösung der Projektionen zu gering ist, um diese im Modell wiederzugeben). Aufgrund der physikalischen Zusammenhänge lässt sich allerdings ableiten, dass der Energie- und Wassergehalt in der Atmosphäre bei steigenden Temperaturen zunehmen wird und dadurch Extremereignisse wie Starkregen definitiv mit größerer Wahrscheinlichkeit auftreten werden.

Der Vertrauensbereich dieses Mittels in Abb. 16 (+/- 10 %, graues Band) berücksichtigt die natürliche Variabilität der Jahres- und Halbjahreswerte dieses Zeitraums und dient als Hinweis auf die Signifikanz des Änderungssignals: WETTREG2010 (blau) und WETTREG206 (hellblau) sind hervorgehoben (aus LfU 2012).

Die Karten in Abb. 17 zeigen die räumlichen Muster der jahreszeitlichen Änderungen auf der Basis der Modellierungen des PIK für die Dekade 2041-2050.

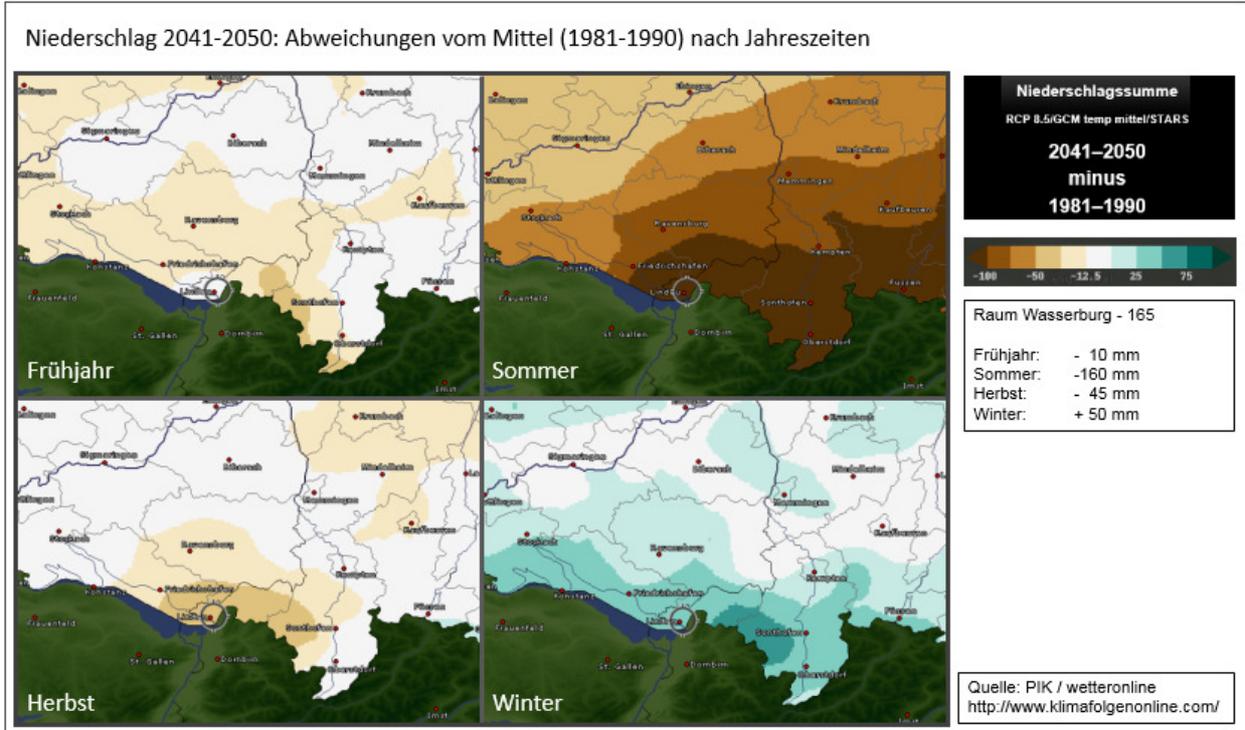


Abb. 17 | Änderung der zu erwartenden Niederschläge für die Dekade 2041-2050 im Vergleich zu 1981-1990 für die Jahreszeiten im Bodenseegebiet (Quelle: PIK / wetteronline; <http://www.klimafolgenonline.com/>)

4. Auswirkungen der Veränderung der Klimaparameter

4.1. Wasserhaushalt

Die Klimaänderung beeinflusst zunächst das sehr komplexe System des Wasserkreislaufes aus Niederschlag, Abfluss, Verdunstung und Speicherung in vielfältiger Weise.

In der Summe wird sich der Niederschlag, wie bereits oben geschildert, zunächst nur unwesentlich verändern. Die Verteilung über die Jahreszeiten aber wird deutlich differenzierter. Trockene Sommer und feuchtere Winter werden für den Bodenseeraum und Wasserburg charakteristisch. Die räumliche Variabilität der Sommerniederschläge wird ebenfalls zunehmen. Die Wasserverfügbarkeit im Boden nimmt daher zur Vegetationsperiode deutlich ab und Bewässerungsmaßnahmen in den Sommermonaten werden auch in den Obstanbaugebieten erforderlich sein. Nach den Modellierungen des PIK wird die Anzahl der Tage ohne Niederschlag für die Dekade 2041-2050 gegenüber 1981-1990 um ca. 17 zunehmen (vgl. Abb. 18).

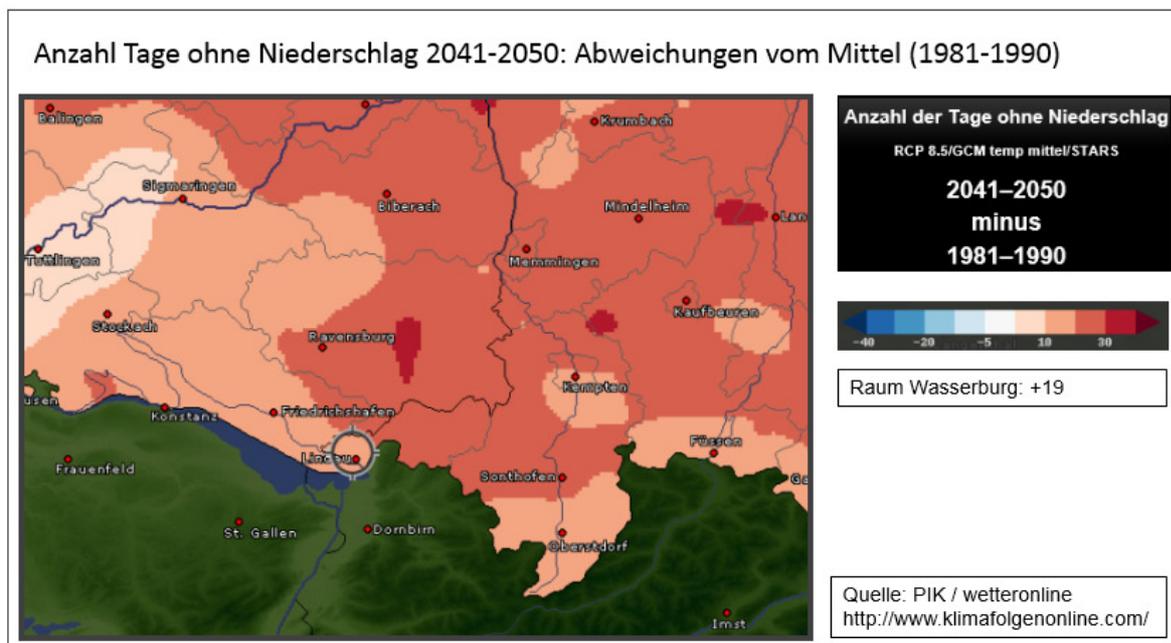


Abb. 18 | Mittlere Änderung der Anzahl von Tagen ohne Niederschlag (Quelle: PIK / wetteronline; <http://www.klimafolgenonline.com>)

Durch die zunehmenden mittleren Tagestemperaturen und den gleichzeitig rückläufigen Niederschlag im Sommer verändert sich die sogenannte klimatische Wasserbilanz (Niederschlag abzüglich Verdunstung). Die Abb. 19 zeigt die räumlichen Veränderungen der Wasserbilanz in der Dekade 2041-2050 gegenüber der Dekade von 1981-1990. Lediglich im Winter ist eine Zunahme zu erwarten. Dies liegt an den erwarteten häufigeren Niederschlägen (vgl. Kapitel 3.3.2).

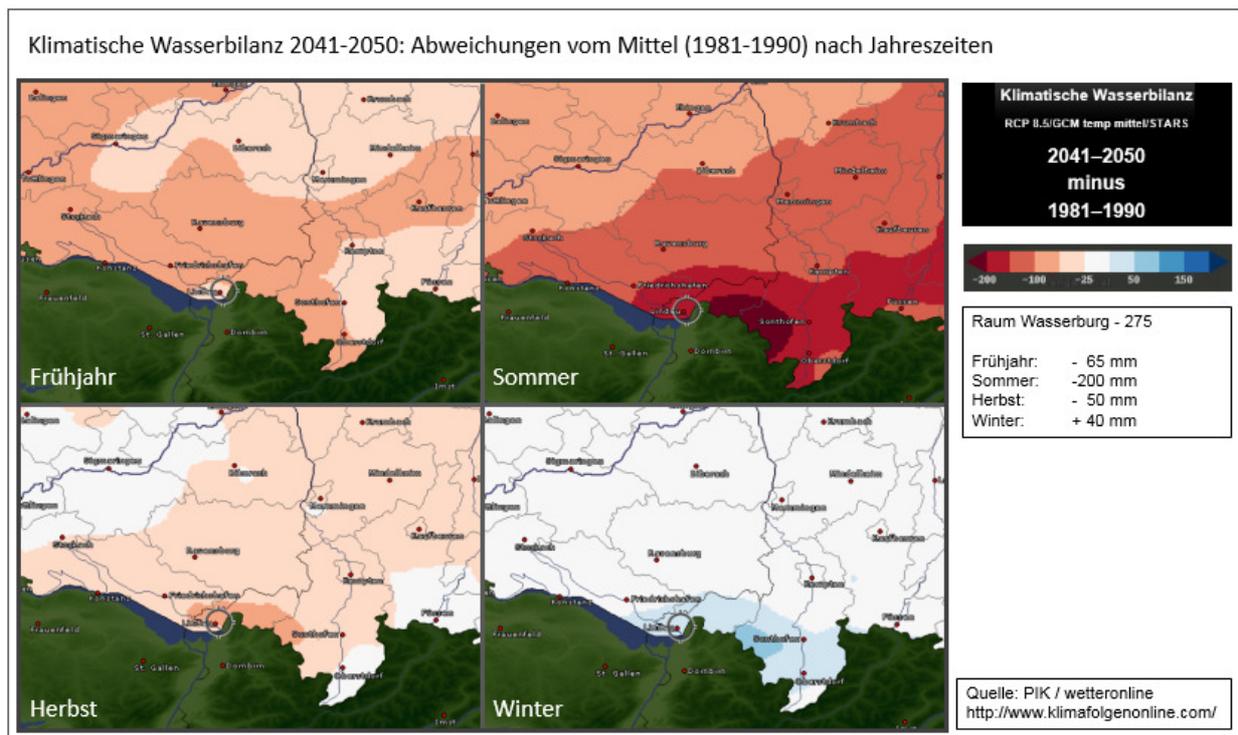


Abb. 19 | Mittlere Änderung der klimatischen Wasserbilanz für die Dekade 2041-2050 im Vergleich zu 1981-1990
(Quelle: PIK / wetteronline; <http://www.klimafolgenonline.com>)

4.1.1. Wasserversorgungssicherheit

Der künftige Wasserbedarf wird im Hinblick auf den höheren Bedarf der Landwirtschaft ansteigen, bei einem gleichzeitigen Rückgang der Grundwasserneubildung. Bei den Wasserentnahmen für die privaten Haushalte und Gewerbe ist eher mit Stagnation zu rechnen. Nach den Angaben der Regierung von Schwaben (Wasserversorgungsbilanz 2015) ist die Versorgungssicherheit für die Gemeinde Wasserburg eingeschränkt (Abb. 20). Die Versorgung erfolgt aktuell über das Seewasserpumpwerk Nonnenhorn (Stadtwerke Lindau), und es existiert eine Notversorgung über den Zweckverband der Handwerksgruppe. Weitere Erschließungsmaßnahmen werden daher nicht für notwendig erachtet (Reg. v. Schwaben 2015).

Wasserversorgungssicherheit

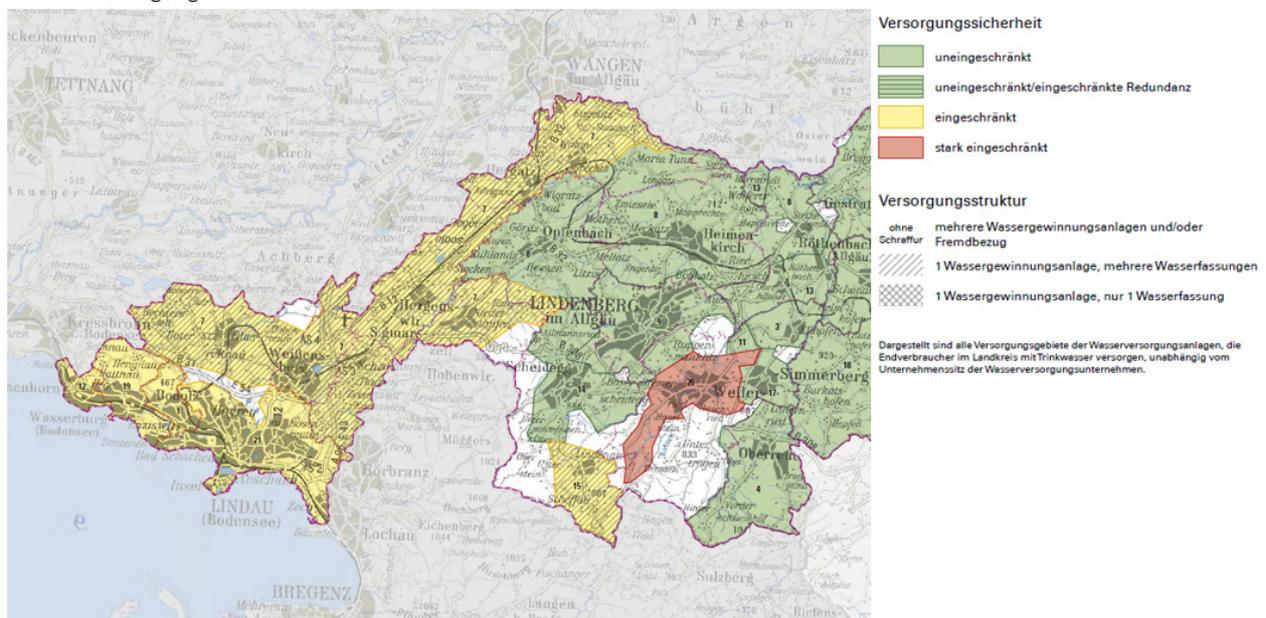


Abb. 20 | Versorgungssicherheit im westlichen Landkreis Lindau (Quelle: Regierung von Schwaben 2015, Stand 2012; https://www.regierung.schwaben.bayern.de/Aufgaben/Bereich_5/Wasserwirtschaft_und_Wasserbau/WVB2025_Schwaben_2015-01-26_Web.pdf)

4.1.2. Hochwasser

Das Abflussverhalten wird entsprechend der oben genannten Niederschlagsverhältnisse ebenfalls andere Muster aufzeigen und im Winter deutlich zunehmen. Extreme Niederschlagsereignisse führen in Verbindung mit wassergesättigten Böden durch vorangegangene Regenfälle oder Schneeschmelze häufiger zu Hochwasserbildung. Außergewöhnliche Hochwasserereignisse wie in den Jahren 1994, 1999, 2002 und zuletzt 2005 zeigen, dass die klimatischen Veränderungen bereits jetzt zu einer Häufung der statistisch ermittelten 100-jährigen Hochwasser (HQ100) führen. Klimaänderungsfaktoren sind notwendig, um in Zukunft Hochwasserschutzmaßnahmen wirkungsvoll umzusetzen. Diese liegen momentan bei 1,10-1,20 (entsprechend wird im Hochwasserschutz ein 10-20 %iger Klimawandelzuschlag auf das 100-jährige Hochwasser aufaddiert und Maßnahmen werden entsprechend geplant). Im Bereich des Gemeindegebietes von Wasserburg sind die betroffenen Flächen allerdings überschaubar. Die Hochwassergefahrenkarte für das hundertjährige Hochwasser (HQ100 – ohne Klimawandelzuschlag) zeigt lediglich entlang des Eschbachs und direkt am Bodensee größere Überflutungen (Abb. 21). Außer dem Campingplatz sind keine wesentlichen Einrichtungen betroffen. Gebäude werden dann nicht oder nur minimal vom Hochwasser betroffen.

Hochwassergefahrenkarte - HQ100



Abb. 21 | Die Hochwasserstände in Wasserburg für ein hundertjähriges Hochwasser – HQ100 (Quelle: IÜG Karten – Informationsdienst Überschwemmungsgefährdeter Gebiete; http://www.lfu.bayern.de/wasser/hw_ue_gebiete/informationsdienst/index.htm)

Hochwassergefahrenkarte - extrem

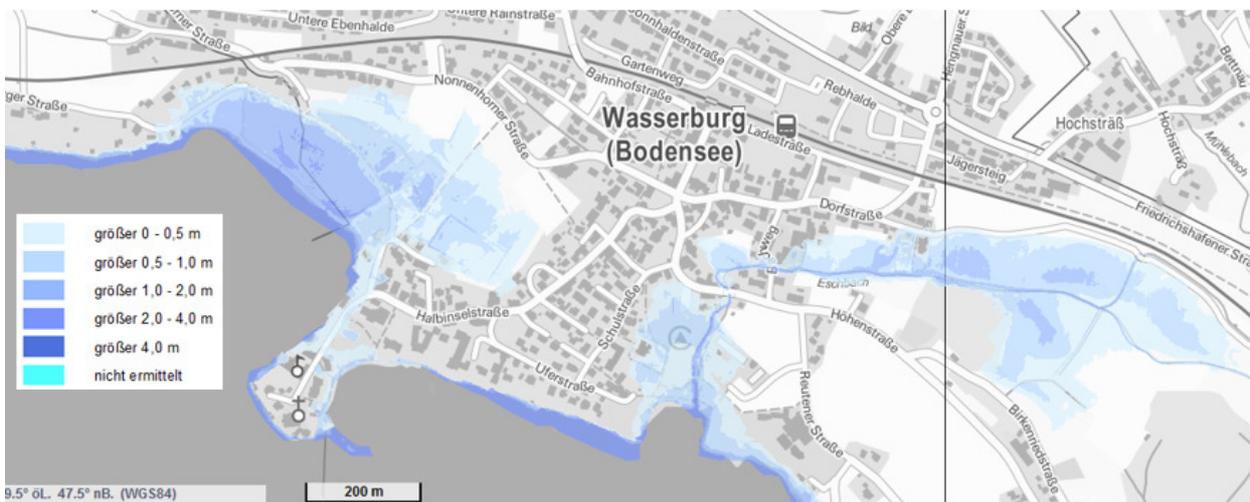


Abb. 22 | Die Hochwasserstände in Wasserburg für ein extremes Hochwasser – extrem (Seespiegel 398 mNN) (Quelle: IÜG Karten – Informationsdienst Überschwemmungsgefährdeter Gebiete; http://www.lfu.bayern.de/wasser/hw_ue_gebiete/informationsdienst/index.htm)

Bei einem extremen Hochwasser – womit in Zukunft häufiger gerechnet werden muss – sind dann einige Gebäude an der Dorfstraße und am Bachweg sowie an der Halbinsel betroffen (vgl. Abb. 22). Rückstaus in kommunalen Entwässerungssystemen, Überschwemmungen von Straßen,

Unterführungen, Kellerräumen und Tiefgaragen werden durch Starkregenereignisse weiter zunehmen und können zu größeren Schadenssummen führen. Stoffausträge durch extreme Niederschläge werden die Gewässerqualität zunehmend beeinträchtigen. Darüber hinaus wird die Bodenerosion durch intensivere Niederschläge auch deutlich zunehmen (bereits jetzt sind ca. ein Viertel der Böden in Deutschland gefährdet). Im Rahmen von KLIWA wurden auch Modelle zur Bestimmung von Erosionsrisiken berechnet. Simulationen zeigen, dass ab einer Niederschlagsintensität von 37 mm/Stunde der Bodenabtrag exponentiell zunimmt. Bei nur 6 mm/a mehr (also 43 mm/h) verzehnfacht sich der Bodenabtrag (Abb. 23).

4.2. Bodenerosion

Da im Gemeindegebiet von Wasserburg kaum Ackerbau betrieben wird, sondern überwiegend Sonderkulturen des Obstanbaus oder Grünlandwirtschaft vorherrschend sind, ist die Gefahr der Bodenerosion durch zumeist bewachsene Oberflächen vermindert. Dennoch muss an Hängen der Moränenzüge mit Erosion gerechnet werden.

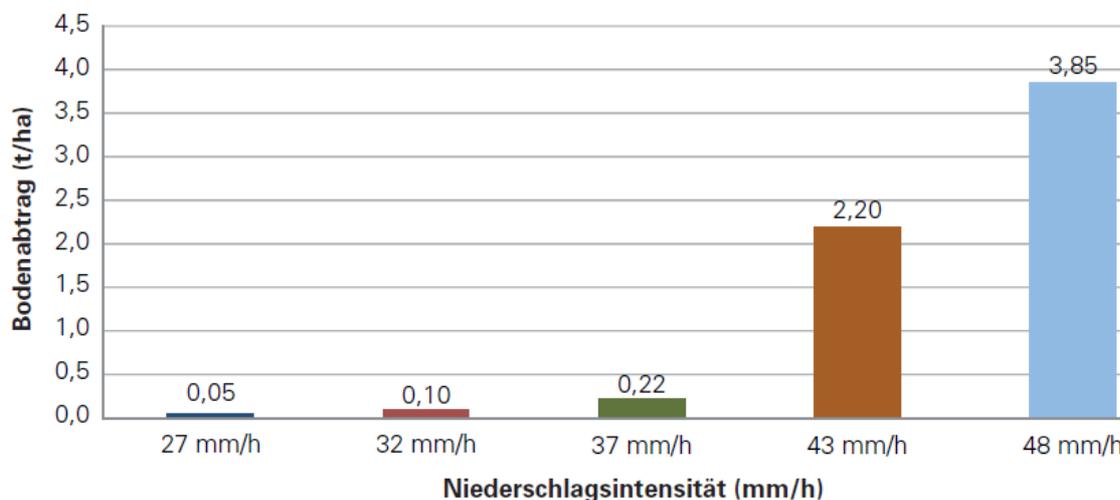


Abb. 23 | Zunahme der Bodenerosion durch intensive Niederschläge (aus KLIWA 2012 – im Rahmen von KLIWA modellierter Starkregen und die Auswirkung auf den Bodenabtrag auf der Basis von Daten des Erosionsmodells LISEM) Deutlich erkennbar ist, dass ab 37 mm/h der Bodenabtrag signifikant zunimmt.

Der Oberflächenabfluss, der letztendlich in den Flüssen landet und damit unmittelbar zu den Hochwasserereignissen beiträgt, nimmt neben Nutzungsänderungen in der Landwirtschaft auch besonders durch zunehmende Flächenversiegelung zu. In Deutschland werden täglich

74 ha (ca. 115 Fußballfelder) Fläche durch Baumaßnahmen versiegelt (Statistisches Bundesamt 2013). Die Siedlungs- und Verkehrsfläche in Wasserburg betrug 2014 16,2 % der Gesamtfläche von 634 ha (BLfStD 2015). Die derzeitige jährliche Zunahme liegt bei durchschnittlich 1,6 ha im Jahr. Dies bedeutet, dass in Wasserburg pro Jahr etwa 0,8 ha vollständig durch Straßen und Bauwerke versiegelt werden (in der Kategorie Siedlungs- und Verkehrsfläche beträgt der tatsächlich versiegelte Anteil etwa 47 %). Dies entspricht 2,19 m² pro Einwohner pro Jahr in der Gemeinde Wasserburg.

4.3. Artenvielfalt und ökologische Systeme

Die Verbreitungsgebiete von Arten werden durch den Klimawandel entscheidend beeinflusst. Mobile Arten (Tiere) können durch Wanderungsbewegungen deutlich schneller reagieren als Pflanzen. Hierdurch sind Auswirkungen auf die Zusammensetzung und damit die Artenvielfalt (Biodiversität) von Ökosystemen zu erwarten. Welche Faktoren als Steuergrößen für die Biodiversität von Bedeutung sind, zeigt die Abb. 24 I.

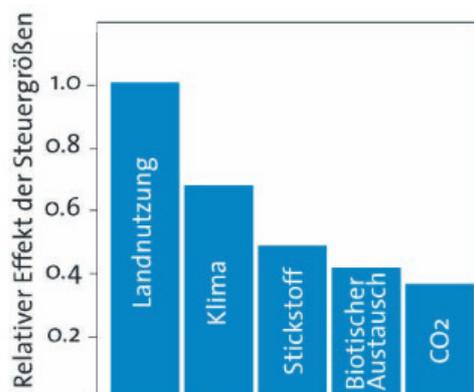


Abb. 24 I Der Einfluss verschiedener Steuergrößen auf die aktuellen globalen Biodiversitätsverluste (aus LfU nach Sala et al. 2000).
Man erkennt die herausragende Bedeutung der Landnutzung.

Ein Rückgang der Biodiversität (Artenvielfalt) wird die ökologische Funktionalität und damit die Stabilität von Ökosystemen beeinträchtigen. Ökosysteme stehen in zahlreichen gegenseitigen Abhängigkeiten (Interdependenzen) von biotischen Wechselwirkungen. Die Vielzahl dieser Wechselwirkungen befähigt ein Ökosystem zu einem gewissen Grad zur Selbstregulation und damit auch zur Regeneration und Pufferung der Auswirkungen von klimatischen Veränderungen. Die Überschreitung von (funktionalen) Schwellenwerten durch den Verlust der ökologischen Vielfalt (Biodiversität) (z.B. durch veränderte Dominanzverhältnisse durch invasive

Neophyten – also fremde zugewanderte Arten – oder die nicht mehr vorhandene Synchronisierung zwischen Pflanzen und spezialisierten Bestäubern) und damit einzelner Wechselbeziehungen kann die Funktionalität und damit die Regenerationsfähigkeit gefährden und zum Zusammenbruch des Systems führen. Derartige Auswirkungen können dann auch die menschlichen Interessen massiv gefährden (Schädlinge, Vektoren (Krankheitsüberträger), Obstanbau, ...). Wie sich die erwarteten Veränderungen im Detail auf die Ökosysteme auswirken und wie Reaktionen im Einzelnen aussehen werden, ist aufgrund der Komplexität der Materie unklar (LfU 2012). Die Zahl der publizierten Forschungsarbeiten zu diesem Themenkomplex ist auffallend gering und bewegte sich im Jahr 2008 unter 400 weltweit (Beierkuhnlein & Foken 2008). Heute liegen wir geschätzt bei knapp über 1.000.

4.4. Vegetation

Die offensichtlichsten Veränderung bei der Vegetation sind die Veränderungen der Entwicklungsstadien (Phänologie), wie z.B. die Blüte- oder die Blättentfaltung bei Gehölzen. Im gegenüber dem Mittel von 1960-1991 um 8 Tage verlängerten Frühling im Bodenseegebiet ergibt sich beispielsweise eine deutlich frühere Haselblüte (bis zu 2 Wochen). Ebenso verhält es sich mit der Holunderblüte im Frühsommer (vgl. auch Abb. 25). Generell wird die Vegetationszeit entsprechend der erwarteten Temperaturänderung zunehmen. Erhöhte Biomassezuwächse werden von einem beschleunigten Abbau pflanzlicher Stoffe (durch Insekten, Pilze und Mikroorganismen) kompensiert (Beierkuhnlein & Foken 2008). Düngungseffekte durch die erhöhte CO₂-Konzentration in der Atmosphäre werden entgegen früherer Annahmen nicht mehr erwartet, da vermehrter Trockenstress im Sommer die pflanzliche Produktivität mindert (Beierkuhnlein & Foken 2008).

Phänologische Uhr Naturraumgruppe 03 - VORALPINES HÜGEL- UND MOORLAND
Leitphasen, mittlerer Beginn und Dauer der phänologischen Jahreszeiten
Zeiträume 1961-1990 und 1991-2012 im Vergleich

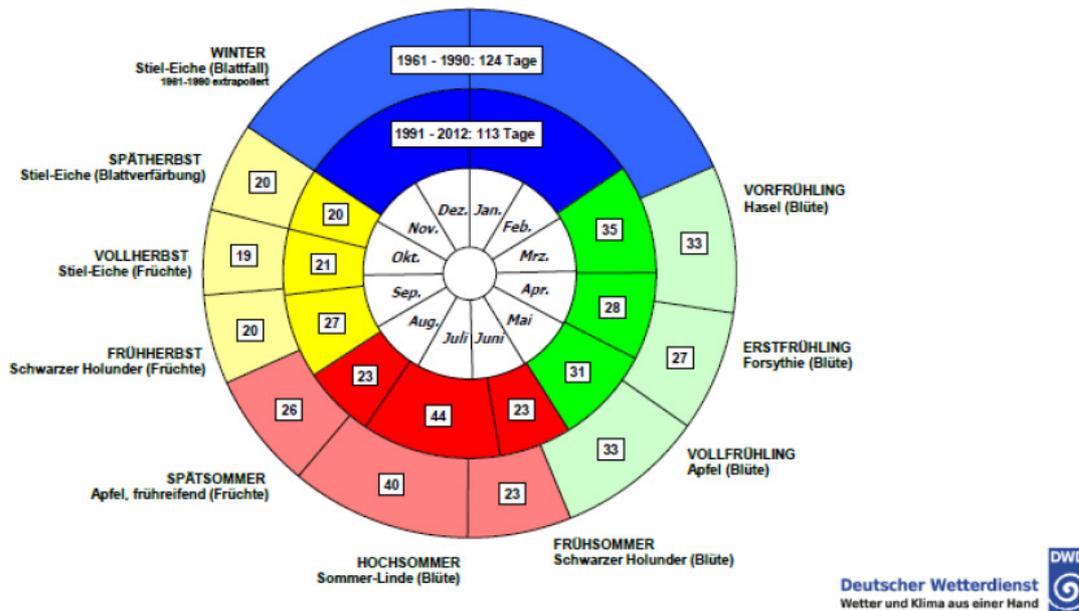


Abb. 25 | Die Veränderung der Phänologie als Beispiel veränderter Jahreszeiten im Allgäu (DWD 2012)

4.5. Auswirkungen auf die Forstwirtschaft

Wälder bedecken nur etwas mehr als ein Zehntel der Fläche der Gemeinde Wasserburg (12 %). Dennoch erfüllen sie vielfältige gesellschaftliche Funktionen. Diese reichen von der Funktion als Rohstoffquelle über Arten-, Boden-, Wasser- und Klimaschutz bis hin zur Erholung. Daher ist die Entwicklung der Waldfläche in den letzten Jahren mit einer deutlichen Zunahme sehr positiv zu sehen. In den letzten 10 Jahren hat diese um insgesamt 5 ha zugenommen.

Die Herausforderung wird sein, bei den sich vergleichsweise rasch ändernden Klimabedingungen den Wald so zu bewirtschaften, dass all diese Funktionen in der Fläche erhalten bleiben können.

Die flachwurzelnde Fichte reagiert als Baumart der kühlen niederschlagsreichen Klimazonen empfindlich auf Wassermangel in der Vegetationsperiode vom Frühjahr bis in den Herbst hinein (Bayerische Forstverwaltung 2013). Stabile tiefwurzelnden Baumarten (vor allem Stieleiche, Weißtanne und Esche) stellen hier sinnvolle Alternativen dar.

4.6. Auswirkungen auf die Landwirtschaft

In der Gemeinde Wasserburg sind 60 % der Fläche als landwirtschaftliche Nutzfläche klassifiziert, davon über 23 % Wiesen und Weiden. Mais wird nur auf 10 ha und damit 3 % der Fläche angepflanzt. Der überwiegende Rest umfasst Sonderkulturen des Obstanbaus. Die erwarteten klimatischen Veränderungen betreffen den Obstanbau am westlichen Bodenseegebiet in vielfältiger Weise, die im Folgenden aufgeführt sind.

4.6.1. Phänologie

Der Austrieb der Blüten hat sich seit Anfang der 1990er Jahre bis heute (2016) um 3-4 Wochen vorverlagert. Teilweise sind die Blüten bereits Ende Februar bis Anfang März kurz vor dem Austrieb. Diese Entwicklung erhöht die Schädigung der Blüten durch Frost ganz erheblich. Ein Nachtfrost von -5 °C führt in der Regel zu einem Verlust von einem Drittel der Blüten. Frostberegnung wird nur ganz vereinzelt praktiziert, da hierfür die Kosten zu hoch sind. Als zukünftige Anpassungsmaßnahme ist diese wegen des hohen Investitionsbedarfs kaum geeignet.

Was bisher phänologisch eher die Ausnahme darstellt, wird mit den erwarteten Klimaveränderungen bereits zwischen 2020 und 2050 zur Regel. Die dann herrschende, um 3-6 Wochen verlängerte Vegetationsperiode macht erhöhte Aufwendungen für den Pflanzenschutz erforderlich (mehr Behandlungen durch den längeren Zeitraum), wodurch zusätzliche Kosten entstehen. Weitaus bedeutsamer aber ist die Tatsache, dass durch eine höhere Anzahl an Behandlungen die zulässigen Grenzwerte überschritten werden und faktisch nicht mehr Fungizide eingesetzt werden können. Hierdurch erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, durch Pilzbefall Ernteauffälle zu erleiden.

4.6.2. Trockenheit

Längere Trockenphasen im Frühjahr und in den Sommermonaten führen zu Trockenschäden bei den Bäumen und in der Folge zu Produktionsrückgängen bzw. -ausfällen. Wurzelschäden durch Trockenheit machen die Bäume darüber hinaus für Schädlinge wie Phytophthora empfänglicher.

In Konsequenz sind in Zukunft häufigere Notbewässerungen notwendig. Neben den hohen Kosten für den Aufbau der Bewässerungsinfrastruktur ist aber vor allem das Wasserangebot entscheidend. Nach Angaben des Wasserwirtschaftsamtes Friedrichshafen werden während der Trockenphasen die umliegenden Fließgewässer zu wenig Wasser führen, um eine Notbewässerung speisen zu können. Wasser müsste also aus dem

Bodensee herangepumpt werden, was einen derzeit nicht zu rechtfertigenden Kostenaufwand verursachen würde.

In Verbindung mit längeren Trockenphasen kommt es zumeist auch zu hoher Sonneneinstrahlung. Bereits in den letzten Jahren kam es im Bodenseegebiet zu immer mehr Ausfällen durch Sonnenbrand. Eine Konsequenz der einstrahlungsbedingten Hautschädigungen ist eine verspätete Rotfärbung des Apfels. Dieses optische Defizit führt zu geringeren Verkaufspreisen.

4.6.3. Hagel und intensive Niederschläge

Der höhere Energiegehalt in der Troposphäre führt zu intensiveren Niederschlägen. Diese sind lokal auch mit Hagelereignissen verbunden, deren Häufigkeit bereits in der letzten Dekade in der Bodenseeregion deutlich zugenommen hat. Bereits heute verwenden viele Obstanbaubetriebe Hagelnetze. Die Kosten hierfür belaufen sich auf ca. 15.000 Euro/ha (Trilof pers. com.) bei einer durchschnittlichen Haltbarkeit von 9 Jahren. Mit weiter zunehmendem Hagelrisiko und entsprechend mehreren Ereignissen vermindert sich die Haltbarkeit, was frühere Ersatzinvestitionen erforderlich macht. Bereits jetzt treten Hagelereignisse schon im Frühjahr auf, wodurch bereits die Blüten geschädigt werden können.

Starke Regenfälle stellen ebenfalls ein Problem dar, da Pflanzenschutzmittel in kurzer Zeit abgewaschen sind und wiederholte Behandlungen aus den bereits oben genannten Gründen nicht möglich sind. Die Anfälligkeit für Pilzbefall erhöht sich dadurch.

4.6.4. Temperaturen

Zunehmend warme Winter bergen das Risiko erhöhter Winterfrostschäden. Bereits in den letzten Jahren wurden mehrfach binnen 2-3 Tagen Temperaturstürze von über 20° registriert. Wenn dieser Temperaturabfall von +5 bis +10°C durch einen Kaltlufteinbruch auf -10 bis -15° stattfindet, und die Temperatur länger auf diesem Niveau verharrt, können Winterfrostschäden auftreten, welche die Knospen der Bäume schädigen. Ein Rückschnitt kann dann erforderlich sein.

Eine grundlegende Konsequenz der klimatischen Veränderungen ist die Einführung neuer Sorten (z.B. Fuji), aber viele der auftretenden Probleme betreffen auch diese. Ganz andere Arten werden mittelfristig nur wenig Chancen haben, da die Frostgefahr sowohl für Citrusfrüchte als auch für Pfirsich und Aprikose in Zukunft noch zu hoch sein wird. Daher können nur Anpassungsmaßnahmen wie die Verwendung von Hagelnetzen, Bewässerung und gegebenenfalls eine Zulassung höherer Behandlungszahlen mit Fungiziden das Risiko verstärkter Ernteauffälle mindern. Für die ersten Punkte sind die nötigen Investitionen der limitierende Faktor und

für den letzteren der Gesetzgeber bzw. die durch die EU vorgegebenen Rahmenbedingungen.

4.7. Fazit für die Gemeinde Wasserburg

In Anbetracht der aufgezeigten Veränderungen, sowohl der Klimaparameter als auch der Auswirkungen, kann man davon ausgehen, dass die Gemeinde Wasserburg besonders durch zunehmende sommerliche Wärme sowie durch hydrologische Effekte, die , insbesondere die Obstanbaugebiete betreffen werden, direkt von negativen Einflüssen betroffen ist.

Angesichts der geographischen Lage sowie der Struktur der Gemeinde, werden die Schadwirkungen bis 2050 im Ort selbst aber vergleichsweise gering ausfallen.

Da die Gemeinde Aufgaben der Daseinsvorsorge zu übernehmen hat und selbst als Vorbild agieren muss, sind im Folgenden für die relevanten Bereiche mögliche Maßnahmen aufgezeigt, mit deren Umsetzung sich die Gemeinde (und ihre Bürger) auf die klimatischen Veränderungen in den nächsten Jahrzehnten einstellen kann.

5. Maßnahmen

5.1. Hochwasserschutz

Die wohl entscheidendsten negativen Einflüsse werden die extremeren Witterungserscheinungen sein. Im Wesentlichen sind hier Starkregenereignisse und intensive Dauerregen mit ihren entsprechenden Folgen zu nennen.

Simulationen des Wasserwirtschaftsamtes Kempten (WWA Kempten) im Rahmen des Projektes Informationsdienst überschwemmungsgefährdeter Gebiete (IÜG) zeigen die betroffenen Flächen des Gemeindegebietes sowohl bei einem 100-jährigen Hochwasser als auch für ein extremes Hochwasserereignis, das über das 100-jährige Hochwasser hinaus geht (vgl. Abb. 21 und 22). Für die Gemeinde Wasserburg sind selbst bei einem extremen Hochwasser nur wenige Gebäude von Überflutungen betroffen, wodurch der Handlungsbedarf insgesamt in dieser Hinsicht gering bleibt. Sollte die Halbinsel im Zuge anstehender baulicher Maßnahmen Veränderungen erfahren, dann kann mit nur wenig Mehraufwand das Gebiet der Halbinsel auch für ein extremes Hochwasser (mit einem Seespiegelstand von 398 m NN) vorbereitet und gesichert werden. Dieser Aspekt ist in der Planung zu berücksichtigen.

5.2. Starkregen

Starkregen sind im Gegensatz zu Hochwasser nicht an Gewässer gebunden und können daher überall auftreten und gegebenenfalls hohe Schäden anrichten. Gefahren sind immer dort sehr hoch, wo der Regenabfluss im Ernstfall überlastet ist und das Wasser nicht mehr abfließen kann (dies gilt für die Kanalisation ebenso wie für die Vorfluter).

Die geschilderten klimatischen Veränderungen erfordern auch in Wasserburg Anpassungsmaßnahmen, besonders hinsichtlich der Entwässerung im Falle von Starkregenereignissen.

- ▶ Es ist zu erwarten, dass ein hoher intensiver Oberflächenabfluss bei Starkregen die Entwässerungskapazität der existierenden Abflusssysteme überfordert und kleinräumig zu Hochwasser bzw. Überflutungen führt (besonders in Niederungen). Hier ist zu prüfen, wo Abflüsse ggf. umgelenkt werden können. Dies gilt insbesondere für die Erschließung von Neubaugebieten, wo derartige Anforderungen (Regenrückhalt) gleich bei der Planung integriert werden können und müssen.

- ▶ Primär allerdings können zahlreiche kleine Maßnahmen dazu beitragen, die Abflussmenge generell zu reduzieren. Zisternen, Entsiegelung, Dachbegrünungen und weitere den Abfluss verhindernde Maßnahmen sollten von den Bürgern schnell und unkompliziert umgesetzt werden. Die Gemeinde könnte dies ggf. durch entsprechende Motivationskampagnen und Anreize fördern.

Kurzfristig gilt es,

1. zu überprüfen, ob Außengebietswasser (Oberflächenabfluss von Flächen außerhalb des Dorfes) in das Siedlungsgebiet von Wasserburg geführt wird; sollte dies der Fall sein, müssen alternative Abflusswege gesucht werden;
2. bei der Planung und Erschließung von Neubaugebieten den Oberflächenabfluss zu minimieren;
3. das Trennsystem weiter konsequent auszubauen;
4. die Flächenversiegelung generell zu reduzieren und infiltrationsfördernde Maßnahmen umzusetzen, wie: Dachbegrünungen, Rasensteine statt Asphalt verwenden bzw. vorschreiben;
5. Maßnahmen auch für den Bestandsgebäude zu empfehlen; darunter fallen: > Lichtschächte aufstocken
> Rückstauventil für Abwasser einbauen

Die zunehmend höhere Wahrscheinlichkeit für intensive Niederschlagsereignisse erfordert Maßnahmen in verschiedenen Bereichen. Bei Hochwasser und nach Starkregenereignissen im ca. 6.000 km² großen alpinen Einzugsgebiet werden aus den Tobeln und Tälern oft große Mengen an Holz (vorwiegend aus dem Alpenrhein) in den Bodensee verfrachtet. Im Bodensee angelangt, wird das Treibholz dann zumeist rasch mit den vorherrschenden Westwinden an das bayerische Seeufer geschwemmt. Der Aufwand, das Treibholz vom Ufer zu entfernen ist hoch und durch die hohe Variabilität (der Starkniederschläge) nicht planbar (vgl. Abb. 26). Es muss damit gerechnet werden, dass sich die Jahre mit hohen Treibholzmengen in Zukunft häufen werden (vgl. Kapitel 3.3.2).

Treibholzanfall am bayerischen Bodenseeufer

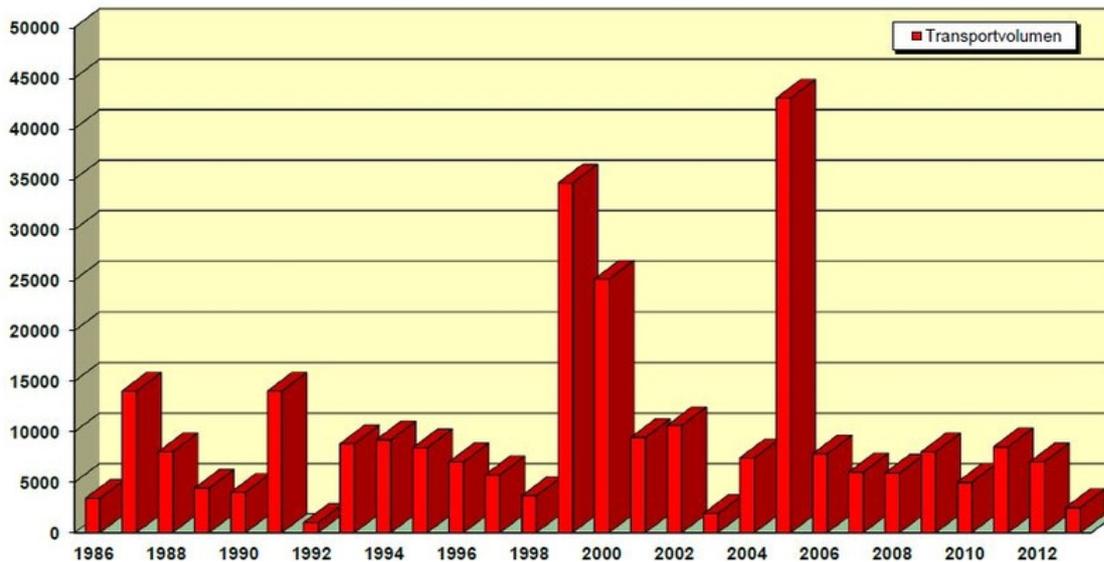


Abb. 26 | Treibholzaufkommen am bayerischen Bodenseeufer (Lindau, Wasserburg und Nonnenhorn) (Quelle: WWA-Kempten; http://www.wwa-ke.bayern.de/doc/publikationen/treibholz_bodensee.pdf)

5.3. Waldumbau

Die geschilderten klimatischen Veränderungen erfordern in Wasserburg mit dem vergleichsweise geringen Waldanteil dennoch einige Maßnahmen. Der begonnene Umbau muss in jedem Fall konsequent weitergeführt werden. Der Anteil der klimatoleranten Stieleiche sollte erhöht werden. Im Gegenzug soll die anfällige Fichte weiter reduziert werden. Weitere klimatolerante Arten, die eingesetzt werden können, sind die Weißtanne und Esche.

Kurzfristig gilt es

1. die Fichtenbestände zugunsten von Stieleiche und Weißtanne weiter zu reduzieren,
2. langfristig ca. 80 % der Waldfläche mit klimaangepassten tiefwurzelnden Arten zu bestocken.

5.4. Landwirtschaft

Das für das Gemeindegebiet von Wasserburg wohl dringendste Problem für die Landwirtschaft und hier besonders den Obstanbau ist bis 2050 die verlängerte Vegetationsperiode und hier besonders das frühe Austreiben der Blüten wodurch die Gefahr durch Frostschäden zunimmt, ebenso wie bei Beibehaltung des bisherigen überwiegend konventionellen Bewirtschaftungssystems, der Zwang zu verstärkter Behandlung mit Fungiziden.

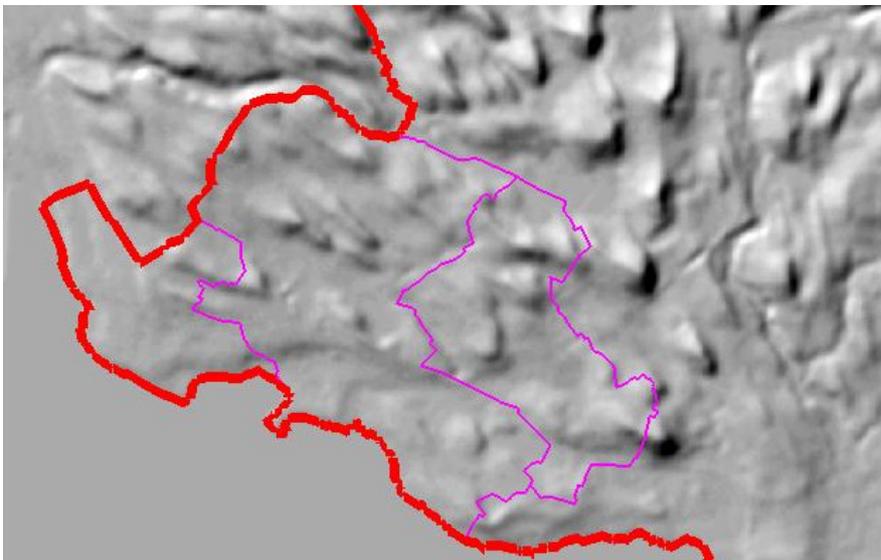


Abb. 27 | Geländemodell des Gemeindegebietes von Wasserburg (LfVG 2010)

Die Abbildung zeigt die Reliefsituation in Wasserburg. Bis auf wenige Moränenzüge im nördlichen Gemeindegebiet ist die Fläche von Wasserburg sehr wenig relieffiert, wodurch der Bodenabtrag auf intensive Regenfälle (Starkregen) beschränkt ist. Die Obstplantagen nutzen die Westexposition der Hänge wegen des erhöhten Einstrahlungsgewinns. Da aber auch in den Obstplantagen die Bodenoberfläche in der Regel nicht brach liegt, ist die Gefahr signifikanter Bodenerosion auf dem Gemeindegebiet kaum gegeben

Des Weiteren sollten die Flächen, auf denen ökologischer Landbau betrieben wird, ausgeweitet werden, da dieser als Bewirtschaftungssystem zur Reduzierung klimarelevanter Emissionen beiträgt (Erhalt des humosen Oberbodens; Grundwasserschutz, bessere Mischung der Sorten und Arten, Reduktion der flächenbezogenen CO₂-Emissionen).

Zusammenfassend gilt es also:

1. Zum Erhalt einer wettbewerbsfähigen Obstproduktion im jetzigen Stil, müssten die existierenden Grenzwerte für die Verwendung von Fungiziden gelockert werden, da sich die Anzahl der notwendigen Behandlungen in Zukunft deutlich erhöhen wird. Diese Option wird allerdings als unwahrscheinlich betrachtet und unter ökologischen Gesichtspunkten auch nicht favorisiert. In erster Linie gilt es zu überprüfen, ob jetzige Monokulturen schrittweise in Mischkulturen, kombiniert mit Maßnahmen zur ökologischen Bodenverbesserung, überführt werden können. Das Risiko für Schädlings- und Pilzbefall vermindert sich bei Mischkulturen erheblich.
2. Hagelnetze werden bereits jetzt von vielen Obstbauern eingesetzt. Dieser Schutz wird in Zukunft weiter an Bedeutung gewinnen, so dass auch auf den verbleibenden Flächen derartige Schutznetze eingesetzt werden müssen.
3. Notbewässerungen werden für viele Flächen in Zukunft häufiger erforderlich sein (besonders ab Mitte des Jahrhunderts). Hierfür muss die Infrastruktur aufgebaut werden. Besonders wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass das Bewässerungswasser möglicherweise einen limitierenden Faktor darstellt, da Fließgewässer als Quelle während der Trockenphasen zu wenig Wasser führen. Es gilt daher, über Konzepte nachzudenken, das Bodenseewasser für Bewässerungszwecke zu nutzen.
4. Mit der zunehmenden Gefahr von Frostschäden ist Frostberegnung eine Möglichkeit, hier gegenzusteuern. Allerdings wird diese Maßnahme weitere Investitionen erforderlich machen. Möglicherweise könnte es sinnvoll sein, ein gemeinsames Konzept für Frostberegnung und Notbewässerung umzusetzen.
5. Im Sinne einer nachhaltigen Ressourcennutzung gilt es in Zukunft, besonders auch den ökologischen Landbau in der Region auszuweiten und die derzeitigen Bewirtschaftungssysteme mit Monokulturen zu reduzieren. Auch die Konzentration auf wenige Sorten ist nachteilig. Um für andere Sorten einen Markt zu schaffen, muss die Wertschätzung regionaler Produkte beim Verbraucher erhöht werden. Dies ist eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe über alle Bereiche hinweg, ohne die wir weder die Klimaziele erreichen werden noch jemals eine nachhaltige Wirtschaftsweise (vgl. Punkt 6).
6. Die bereits heute schon starke regionale Vermarktung des Bodenseeobstes sollte weiter ausgebaut werden. Bewusstseinsbildung beim regionalen Verbraucher ist wichtig, um lokales Obst (das aufgrund der zahlreichen Schutzmaßnahmen – vgl. 1-4) gegenüber günstigeren Verkaufspreisen von Importware dennoch wertzuschätzen. Dies betrifft auch optische Qualitätskriterien, wie beispielsweise die rote Farbe, die teilweise in Zukunft von regionalen Äpfeln nicht mehr konkurrenzfähig erfüllt werden kann.

5.5. Naturschutz

Grundsätzlich sind die Rahmenbedingungen zu schaffen, dass Pflanzen und Tiere bessere Wandermöglichkeiten haben (Erhöhung des Mobilitätsbedarfs durch Klimaveränderung). Biotopverbundsysteme sind mit Unterstützung der Landwirtschaft und besonders der Obstbauern zu planen und umzusetzen, wie zum Beispiel die konsequente Schaffung von Grünkorridoren bzw. Heckenstreifen, um vereinzelte bisher isolierte Biotopinseln zu verbinden (so beispielsweise die Verbindung der Waldinseln rund um Hengnau oder eine Verbindung vom See zur Waldinsel oberhalb der Höhenstraße – vgl. Abb. 28 und 29).

Biotopverbund - schematisch



Abb. 28 | Schematische Anordnung von Heckengehölzen zur Verbindung von Seeufer zur Waldinsel oberhalb der Höhenstraße

Biotopverbund - schematisch

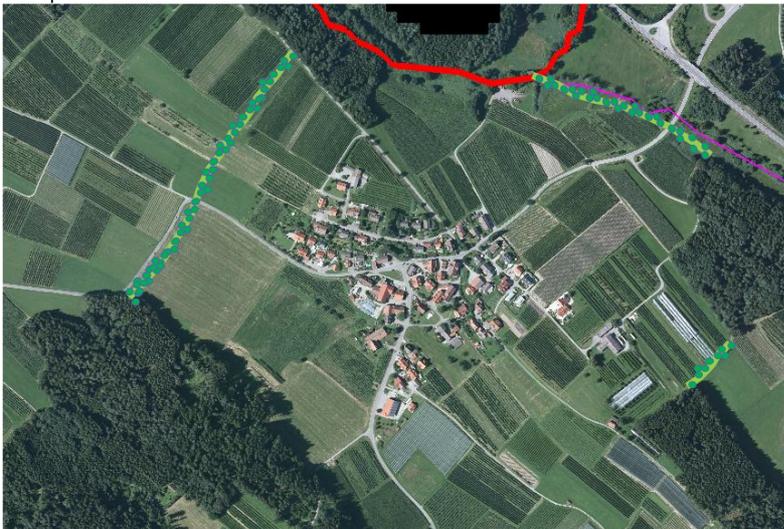


Abb. 29 | Schematische Anordnung von Heckengehölzen rund um Hengnau zur Verbindung von Biotopinseln

5.6. Gesundheit

Durch Umstellungen in den Ökosystemen können neue oder andere als die bisher bekannten Schädlinge auftauchen. Hier muss die Gemeindeverwaltung bzw. der Landkreis die Entwicklungen genau verfolgen und die Bürger, wenn nötig, schnell und umfassend informieren. Diese Aufgabe sollte vom Landkreis übernommen werden. Wichtig ist ein lokal und regional gut funktionierendes Informationssystem. Ein Beispiel ist das seit einigen Jahren vermehrte Auftreten des Eichenprozessionsspinners (*Thaumetopoea processionea*). Die Haare der Raupe verursachen allergische Entzündungen an Augen, Haut und Schleimhäuten). Auch gebietsfremde Pflanzenarten werden in Bezug auf die menschliche Gesundheit Probleme machen, so z.B. *Ambrosia artemisiifolia*, welche durch Einatmen oder Hautkontakt starke Allergien auslösen kann. Weiteres gesundheitsgefährdendes Potenzial geht von der klimabedingten Verbreitung bestimmter Infektionskrankheiten aus. Krankheitserreger wie Viren oder Parasiten können durch sogenannte Vektoren (Krankheitsüberträger) auf den Menschen übertragen werden. Vektoren sind sowohl einheimische Überträger wie die Schildzecke (*Ixodes ricinus*) als auch neue eingeschleppte Arten (Neobiota), deren Ausbreitung durch wärmere Witterung beeinflusst wird. So nimmt in ganz Süddeutschland die durch Zecken übertragene Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME) und die Lyme-Borreliose zu. Auch exotische Infektionskrankheiten nehmen in diesem Zusammenhang durch eingeschleppte Stechmücken zu (Dengue-Fieber, Leishmaniose und Malaria). So konnten in Bayern und Baden-Württemberg die Asiatische Tigermücke (*Aedes albopictus*) nachgewiesen werden (Überträger von Dengue-Fieber und Gelb-Fieber). Die Asiatische Buschmücke (*Aedes japonicus*) ist bereits im oberen Rheingebiet etabliert und Überträger des West-Nil-Fiebers.

Die luftgetragenen Allergene, wie z.B. Pollen, sind durch die längere Vegetationsperiode in Zukunft über deutlich längere Zeiträume vorhanden. Die Gemeinde sollte diesen Aspekt im Zusammenhang mit städtebaulichen Verträgen für Neubaugebiete (Niedrigenergiehaus, Passivhaus bzw. Plusenergiehaus mit gefilterter Wohnraumbelüftung) transportieren. Wohnen im Passivhaus ist unter gesundheitlichen Aspekten (bezogen auf den Klimawandel) die beste Lösung.

Im Zusammenhang mit den klimatischen Veränderungen sind besonders für ältere Menschen hohe sommerliche Temperaturen und Ozonbelastungen problematisch. Generell sollte daher bei Neubauten die Gemeinde bereits jetzt klare Vorgaben machen, was den Dämmstandard angeht, eine Wohnraumbelüftung mit Wärmetauscher sowie Einrichtungen zur Verschattung sonnenexponierter Fensterflächen und Gebäudefronten machen. Seniorenresidenzen sollen auf jeden Fall mit umweltverträglichen

Kühlungen ausgestattet werden (z.B. Grundwasserwärmepumpe mit aktiver und passiver Kühlfunktion).

Zusammenfassend gilt es also:

7. Die Gemeinde sollte auf den Landkreis dahingehend einwirken, ein verlässliches Informationssystem aufzubauen, damit rechtzeitig vor Schädlingen bzw. Vektoren gewarnt werden kann.
8. Ebenso muss die Bevölkerung lokal über Allergene und dadurch hervorgehobene Belastungen gewarnt, bzw. informiert werden.
9. Die Gemeinde muss darauf hinwirken, dass alle Neubauten klimaverträglich geplant und realisiert werden. Dazu gehört eine optimale Dämmung der Gebäudehülle mit entsprechender Wohnraumbelüftung, Dachbegrünung und entsprechenden Verschattungseinrichtungen. Hier sollte die Gemeinde über privatrechtliche Verträge und Satzungen aktiv werden. Weiter sollten für die Planung von Neubauten sowie Sanierungen ein Leitfaden für klimaverträgliches Bauen erarbeitet werden. Auch dies könnte in enger Zusammenarbeit mit dem Landkreis realisiert werden.

6. Quellen

- Bayerische Forstverwaltung 2013. Fichte und mehr: Die Mischung macht's. Bergwaldkurier 11.
- Bayerisches Landesamt für Statistik. GENISIS-online Datenbank - <https://www.statistikdaten.bayern.de/genesis>
- Beierkuhnlein C. & Foken T. 2008. Klimawandel in Bayern – Auswirkungen und Anpassungsmöglichkeiten. Bayreuther Forum Ökologie 113. Bayreuth.
- Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (Hrsg.) 2015. Die unterschätzten Risiken „Starkregen“ und „Sturzfluten“, Paderborn, 400 S. http://www.bevoelkerungsschutz-portal.de/SharedDocs/Downloads/BVS/DE/Selbstschutz/Vorsorge/S_tarkregen.pdf;jsessionid=0119276844BE78E7E013E11C4A7627A3.1_cid373?__blob=publicationFile
- CLM2008: Hollweg H.D. et al. 2008: Ensemble Simulations over Europe with the Regional CLimate Model CLM forced with IPCC AR4 Global Scenarios; Gruppe Modelle & Daten, Hamburg.
- Danneberg J., Ebert C., Komischke H., Korck J., Morscheid H., Weber, J. 2012. Auswertung regionaler Klimaprojektionen – Klimabericht Bayern. (Hrsg.) LfU Augsburg.
- Deutscher Wetterdienst DWD: Klimawandel - <http://www.dwd.de/klimawandel>
- Gerst, F., Bubbenzer, O. & Mächtle, B. 2011. Klimarelevante Einflüsse urbaner Bodeninanspruchnahme. Deutsche Langfassung, Urban Soil Management Strategy, EU-CEP, Heidelberg.
- IPCC 2007 Klimaänderung 2007. – Wissenschaftliche Grundlagen. Zusammenfassung für Politische Entscheidungsträger, Berlin.
- IPCC 2013 Climate change 2013. – The physical science basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge
- KLIWA 2012. Klimawandel im Süden Deutschlands – Ausmaß – Auswirkungen – Anpassung. Hrsg. LUBW, LfU, LfUWG Rheinland-Pfalz, DWD, Stuttgart
- Landesamt für Vermessung und Geoinformation Bayern 2010. Top 10 Maps
- Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung Bayern 2015. Statistik kommunal Wasserburg (Bodensee) 2015; <https://www.statistik.bayern.de/statistikkommunal/09776128.pdf>

- LfU 2007 Klimaanpassung – Bayern 2020. Der Klimawandel und seine Auswirkungen – Kenntnisstand und Forschungsbedarf als Grundlage für Anpassungsmaßnahmen. Kurzfassung einer Studie der Universität Bayreuth. Hof.
- LfU 2012 Der Klimawandel in Bayern – Auswertungen regionaler Klimaprojektionen – Klimabericht Bayern, Augsburg.
- Meehl et al. 2000. An introduction to trends in extreme weather and climate events: Observations, socioeconomic impacts, terrestrial ecological impacts, and model projections. Bulletin of the American Meteorological Society, 81(3): 413-416.
- Peters et al. 2012. The challenge to keep global warming below 2 °C, Nature Climate Change, advance online publication, doi:10.1038/nclimate1783
- Regierung von Schwaben 2014: Wasserversorgungsbilanz Schwaben 2025, Augsburg, 128 S.
https://www.regierung.schwaben.bayern.de/Aufgaben/Bereich_5/Wasserversorgung_und_Wasserbau/WVB2025_Schwaben_2015-01-26_Web.pdf
- REMO2006: Jacob D. et al. 2008 Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland – Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland, UBA
- Sala, O.E., Chapin, F.S., Armesto, J.J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R., Huber-Sanwald, E., Huenneke, L.F., Jackson, R. B., Kinzig, A., Leemans, R., Lodge, D.M., Mooney, H.A., Oesterheld, M., Poff, N.L., Sykes, M.T., Walker, B.H., Walker, M. , Wall, D.H., 2000. Biodiversity - Global biodiversity scenarios for the year 2100. Science, 287(5459): 1770-1774.
- WETTREG2010: Spekat A., Enke W., Kreienkamp F. 2010 Ergebnisse eines regionalen Szenarienlaufs für Deutschland mit dem statistischen Modell WETTREG2010. Climate & Environment Consulting Potsdam GmbH i.A. des UBA.
- WETTREG2006: Spekat A., Enke W., Kreienkamp F. 2007 Neuentwicklung von regional hochauflösenden Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarios auf der Basis von globalen Klimasimulationen, Endbericht, UBA.
- WWA Kempten 2014: Webseite <http://www.wwa-ke.bayern.de/>
- WWA Kempten – Seemeisterstelle Lindau 2014: Treibholz am bayerischen Bodenseeufer; http://www.wwa-ke.bayern.de/doc/publikationen/treibholz_bodensee.pdf



Georisiken Karten:

http://www.lfu.bayern.de/geologie/georisiken_daten/massenbewegungen/index.htmDWD 2015

DWD:

http://www.dwd.de/bvw/appmanager/bvw/dwdwwwDesktop?nfpb=true&T98029gsbDocumentPath=Content%2FPresse%2FPressemitteilungen%2F2014%2F20141230_Deutschlandwetter_Jahr_2014_news.html&pageLabel=dwdwww_menu2_presse&switchLang=de