
16.11.2021 | Autor: Dr. Hans-Jörg Barth - eza! | www.eza-allgaeu.de

Der Klimawandel – Auswirkungen auf die Stadt Lindau (Bodensee)

Prognosen regionaler Modelle und Möglichkeiten
der Anpassung

Inhalt

1. Vorwort	4
2. Zusammenfassung	5
3. Der Klimawandel in der Region	6
3.1. Die beobachtete Veränderung	11
3.1.1. Temperatur	13
3.1.2. Niederschlag	17
3.2. Die regionale Modellierung	19
3.3. Die zu erwartenden Änderungen in der Region	21
3.3.1. Temperatur	22
3.3.2. Niederschlag	33
4. Auswirkungen der Veränderung der Klimaparameter	38
4.1. Wasserhaushalt	38
4.2. Wasserversorgungssicherheit	39
4.3. Hochwasser	40
4.4. Starkregen	42
4.5. Bodenerosion	44
4.6. Massenbewegungen	45
4.7. Treibholzanfall	47
4.8. Artenvielfalt und ökologische Systeme	47
4.9. Vegetation	50
4.10. Auswirkungen auf die Forstwirtschaft	51
4.11. Auswirkungen auf die Wassertemperatur des Bodensees	54
4.12. Auswirkungen auf die Landwirtschaft	56
4.12.1. Phänologie	56
4.12.2. Trockenheit	56
4.12.3. Hagel und intensive Niederschläge	57
4.12.4. Temperaturen	57
4.13. Fazit für die Stadt Lindau (Bodensee)	58
5. Maßnahmen	59

5.1.	Klimawandel-Workshop	59
5.1.1.	Maßnahmenempfehlungen Forst- und Landwirtschaft	60
5.1.2.	Maßnahmenempfehlungen Tourismus, Industrie und Gewerbe	63
5.1.3.	Maßnahmenempfehlungen Gesundheit und Wasserwirtschaft	65
5.1.4.	Maßnahmenempfehlungen Städtebau und Bauleitplanung	69
5.1.5.	Maßnahmenempfehlungen Straßenbau, Verkehr, Energiewirtschaft:	72
5.1.6.	Maßnahmenempfehlungen Naturschutz, Fischerei:	74
6.	Quellen	76

1. Vorwort

Sehr geehrte Bürgerinnen und Bürger,

die Stadt Lindau (Bodensee) steht vor großen Herausforderungen. Zahlreiche große Vorhaben wie zum Beispiel der Bahnknoten Reutin oder die Planungen für die hintere Insel sind wichtige Bausteine für die Verkehrs- bzw. die Energiewende, um die gesetzten Klimaziele erreichen zu können. Die Auszeichnung mit dem European Energy Award in Gold 2019 zeigt, dass wir den richtigen Weg eingeschlagen haben. Dennoch haben wir die größten Aufgaben noch vor uns. Was wir aber neben den zunehmenden Klimaschutzbemühungen nicht außer Acht lassen dürfen, ist der Klimawandel selbst. Die Auswirkungen, die bereits vielerorts massiv zu spüren sind, halten sich im Westallgäu derzeit noch in Grenzen, so dass die Thematik in unserem Bewusstsein nur am Rande präsent ist. Doch diese Sicherheit ist trügerisch. Wenn nicht direkt, so werden wir in der Stadt Lindau (Bodensee) doch zumindest indirekt betroffen sein. Massives Artensterben in der Pflanzen- und Insektenwelt wird sich auf die Nahrungsmittelproduktion auswirken, der Verlust der Lebensgrundlage von Millionen von Menschen in Afrika und Asien wird Flüchtlingsströme zur Folge haben, welche die von 2015 deutlich übertreffen werden. Schneearme Winter und Naturkatastrophen wie Starkregenereignisse, Hagel und Trockenheit können uns auch bereits jetzt direkt betreffen.

Im Rahmen unserer energiepolitischen Arbeit ist es uns sehr wichtig auch zu zeigen, was die klimatischen Veränderungen für unsere Stadt und unsere Bürger:innen bedeuten. Die vorliegende Studie fasst auf verständliche Weise zusammen, was die Klimamodellierungen für unser Umfeld bis 2050 prognostizieren. Wenn wir bereits heute wissen, womit wir in Zukunft rechnen müssen, wird zum einen das Thema greifbarer und zum anderen können wir dann bereits jetzt die richtigen Weichen stellen und erforderliche Anpassungsmaßnahmen umsetzen. In diesem Sinne hoffe ich, dass die Ergebnisse dieser Studie von vielen Lindauer Bürger:innen wahrgenommen werden. Wir hoffen auf mehr Verständnis für die erforderlichen Maßnahmen der Stadt zur Energie- und Verkehrswende ebenso wie auf zusätzliche Impulse und Elan unserer Bürger:innen, Veränderungen im privaten Bereich anzugehen. Denn eines ist bereits jetzt klar: Selbst wenn es uns gelingt, die Pariser Klimaziele zu erreichen, werden wir uns an die kommenden klimatischen Veränderungen anpassen müssen, um unsere Lebensqualität zu erhalten.



Mit freundlichen Grüßen
Ihre Oberbürgermeisterin
Dr. Claudia Alfons

2. Zusammenfassung

Die klimatischen Verhältnisse in der Stadt Lindau (Bodensee) werden sich in den nächsten Jahrzehnten weiter verändern. Gegenüber der Periode von 1981-2010 ist für den Zeitraum von 2041-2070 im aktuell wahrscheinlichsten Szenario mit einer Temperaturzunahme von ca. 2,5 Grad zu rechnen. Die stärkste Erwärmung von ca. 2,7 Grad wird dann im Herbst stattfinden, wohingegen im Sommer im Durchschnitt die geringste Erwärmung von ca. 2,0 Grad erwartet wird. Die Sommer werden längere Trockenphasen aufweisen mit einer im Mittel um 18 Tage zunehmenden Anzahl von Sommertagen (über 25°C). Frostage werden um durchschnittlich 36 pro Jahr weniger zu beobachten sein. Die Niederschläge werden in der Summe wenig Änderung erfahren, aber über alle Jahreszeiten intensiver mit einer zunehmenden Anzahl an Starkregen- und Hagelereignissen auftreten, welche lokal zu großen Schäden führen können. Die Vegetationsperiode wird über das Jahr gesehen immer länger (ca. 5-6 Wochen). Die Gefahr von späten Frostschäden im Obstanbau nimmt zu. Die Veränderungen der klimatischen Parameter haben weitreichende Folgen für die Lebewelt, die Böden, die Hydrologie und damit auch unmittelbar für die Bürger:innen der Stadt Lindau. Die wesentlichen, für die Stadt empfohlenen Maßnahmen sind:

- ▶ **Klimaangepasste Bauleitplanung** mit grundsätzlichen Vorgaben zu Energieeffizienz, Energieversorgung, Belüftung, Verschattung, Starkregenschutz, Grünplanung und Infiltration von Niederschlägen, Reduktion von Verkehrsflächen sowie verwendeter Baustoffe.
- ▶ Integral angelegte **Grünordnungsplanung**
- ▶ Systematischer Ausbau des **Biotopverbunds und Moorrenaturierung**
- ▶ Erstellung eines integralen Konzepts zum kommunalen **Sturzflut- und Risikomanagement**
- ▶ Unterstützung „beschützender“ Maßnahmen zur **Sicherung der Obstanbaugebiete**
- ▶ Systematischer **Waldumbau** zu klimaangepassten Mischwäldern
- ▶ Fortlaufende Umsetzung von **Hochwasserschutzmaßnahmen**
- ▶ Minimierung der **Flächenversiegelung** im Stadtgebiet

3. Der Klimawandel in der Region

Der Klimawandel ist kein weit entferntes Problem, sondern er ist auch in Bayern messbar. Der Wandel hat bereits jetzt 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:innen in der Region. Um abschätzen zu können, wie sich die heimischen Ökosysteme verändern werden und mit welchen Folgen wir für die Stadt Lindau (Bodensee), ihre Bürger:innen und die lokale Wirtschaft in Zukunft zu rechnen haben, wurde diese Studie verfasst. Im Folgenden werden die anhand von Klimaprojektionen ermittelten Veränderungen der wichtigsten Klimaparameter in der Region dargestellt und auf die Stadt Lindau (Bodensee) heruntergebrochen.

Im Rahmen des Kooperationsprojektes KLIWA (Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft) bearbeitete das LfU (Bayerische Landesamt für Umwelt) diese Fragestellungen. Mit den Ergebnissen aus KLIWA wurde von der Bayerischen Staatsregierung schon im Jahr 2009 die erste Bayerische Klima-Anpassungsstrategie (BayKLAS) beschlossen, welche erste Auswertungen für die Entwicklung der Mittelwerte von Temperatur und Niederschlag in Bayern enthält (Danneberg et al. 2012). Diese Erkenntnisse wurden mit neueren Modellierungen globaler Klimamodelle regionalisiert. Hier hat das Potsdam Institut für Klimafolgenforschung (PIK) die erforderlichen Daten mit Lokalbezug ausgewertet. 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 städtischen Planung verankert werden können, ist Gegenstand des zweiten Teils dieses Berichtes.

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 80 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). Eine aktuellere Betrachtung findet sich im Sonderreport 1,5° des Weltklimarates (IPCC 2018). Der neue Sachstandsbericht ist aktuell in Arbeit und soll noch im Jahr 2021 veröffentlicht werden. 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 und in der Praxis verwendet, 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:

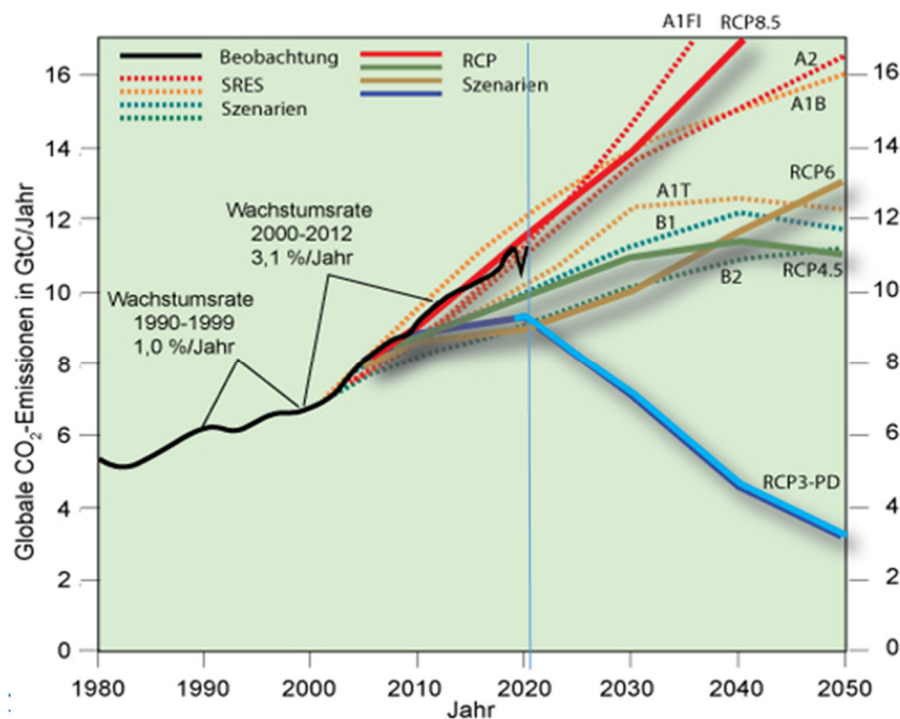


Abbildung 1 | Trends der Temperaturentwicklung bis zum Jahr 2050 für verschiedene Szenarien (Peters et al. 2012, IPCC 2018, aktualisiert eza! 2021 nach Le Quéré et al. 2020 und IEA 2021). Man erkennt den Covid-19-bedingen Rückgang 2020 sowie den erneuten raschen Anstieg bis 2021.

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 Abbildung 1 als gerissene Linien dargestellt.

Die Szenarien aus dem 5. Sachstandsbericht des IPCC (2013/14) sowie des kommenden Sachstandsberichtes basieren im Gegensatz zu den bisherigen auf repräsentativen Konzentrationspfaden (Representative Concentration Pathways RCPs – durchgezogene Linien in Abbildung 1). Der Schwerpunkt liegt hier nicht auf den Emissionen in Abhängigkeit verschiedener sozioökonomischer Entwicklungen, sondern auf den Konzentrationen und dem entsprechenden Strahlungsantrieb der verschiedenen Treibhausgase (vgl. Abbildung 2) (IPCC 2013, 2018). Auf diesen Szenarien aufbauend werden mittels globaler Zirkulationsmodelle dann die mittleren regionalen Auswirkungen auf das Klima errechnet. Die Modellierungen werden kontinuierlich angepasst und optimiert. Der sechste Sachstandsbericht des IPCC ist für 2021 vorgesehen.

Szenarien stellen Varianten zur **zukünftigen Entwicklung** unserer Welt dar (mit den daraus resultierenden Treibhausgas-Emissionen).

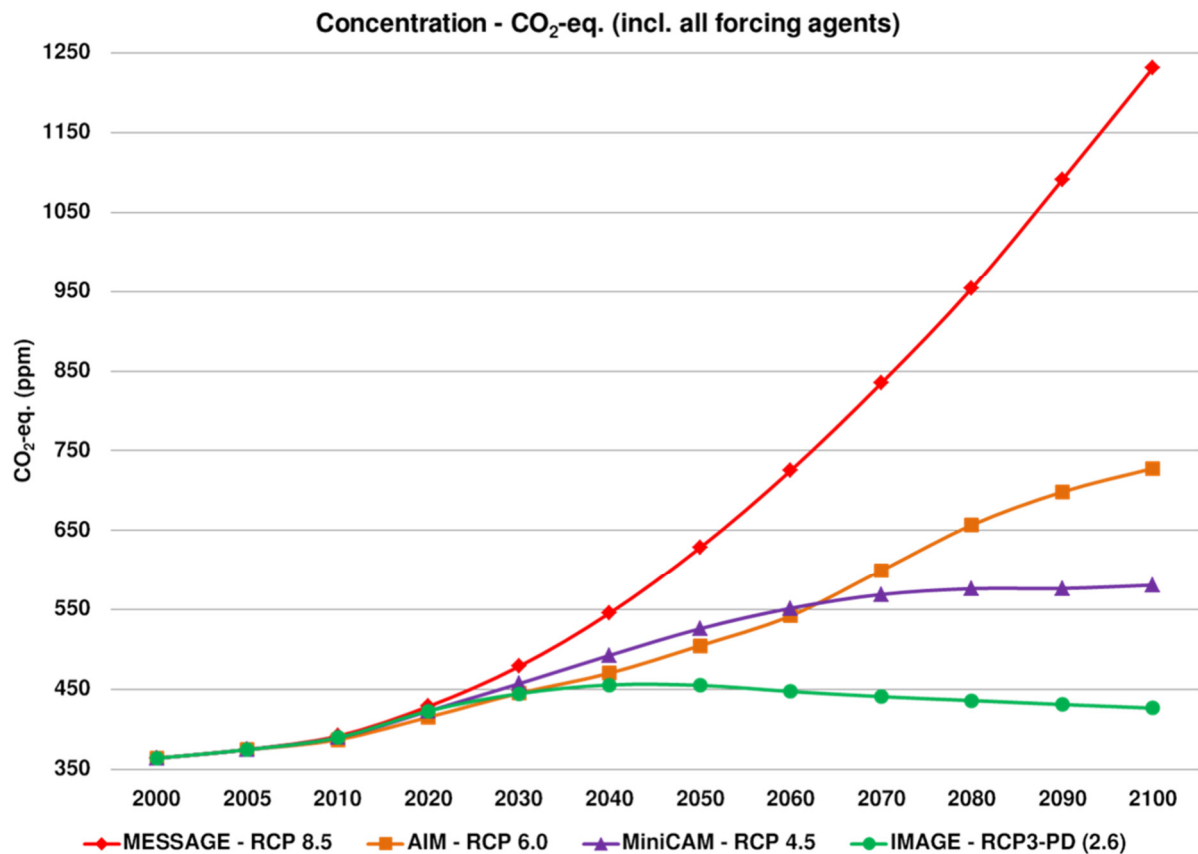


Abbildung 2 | Repräsentative Konzentrationspfade der Treibhausgase (CO₂-Äquivalente) in der Atmosphäre bis 2100 entsprechend der verschiedenen Annahmen für die Szenarien (IPCC 2013/2018). Gegenwärtig (ohne Covid-19 bedingte THG-Reduktionen) befinden wir uns auf der roten Linie (RCP 8,5).

Mit dem RCP2.6 ist nun erstmals ein Szenario vorhanden, das auch weltweit ambitionierte Klimaschutzmaßnahmen berücksichtigt (Abbildung 2 grüner Pfad) und die zwingende Voraussetzung für das 2015 vom Weltklimarat beschlossene und als Meilenstein gefeierte „Zwei-Grad-Ziel“ darstellt. 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 bzw. seit 2018 sogar deutlich oberhalb des roten Pfades (RCP 8.5, Abbildung 2), welcher langfristig das negativste IPCC Szenario (A1-F1 / RCP8.5) noch übertrifft (Abbildung 3).

RCP8.5 = Weiter-so-Szenario
RCP4.5 = Klimaschutz-Szenario
RCP2.6 = ambitioniertes Klimaschutz-Szenario (Paris Ziel)

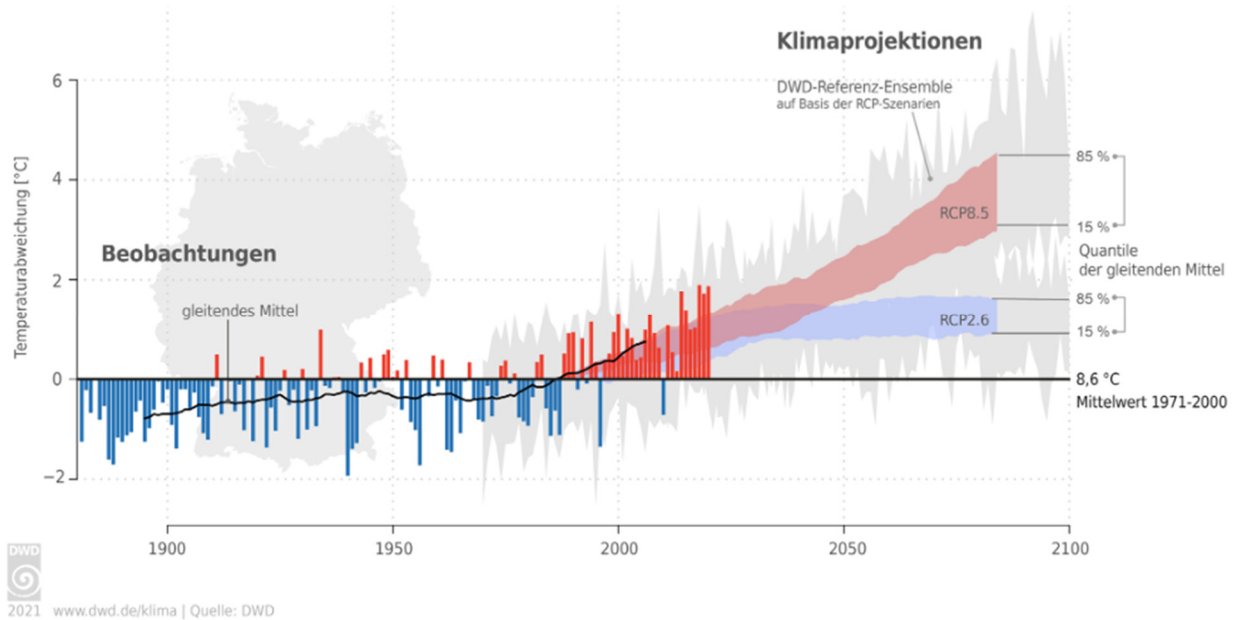


Abbildung 3 | Abweichungen der Lufttemperatur vom vieljährigen Mittel 1971-2000 sowie die zu erwartende Zunahme bis 2100. Gegenwärtig liegt die Temperaturzunahme über dem negativsten Szenario RCP8.5 (aus DWD 2021).

Dieser Sachverhalt wurde 2018 auf dem Weltklimagipfel in Kattowitz (Polen) mit der Erkenntnis wieder thematisiert, dass jedes Jahr ohne CO₂-Minderungen uns in den kommenden Jahren vor umso größere Herausforderungen stellen wird (IPCC 2018). Dennoch konnten 2019 bei der Weltklimakonferenz in Madrid keine Fortschritte erzielt werden. Der Klimagipfel 2020 wurde Covid-19-bedingt auf November 2021 verschoben. Weiterhin ist auffällig, dass die Erwärmung in Deutschland bereits jetzt deutlich stärker ausfällt als weltweit (Abbildung 4).

Aktuell befinden wir uns auf dem Pfad welcher das **negativste Szenario** (RCP8.5 starke THG-Emission) repräsentiert.

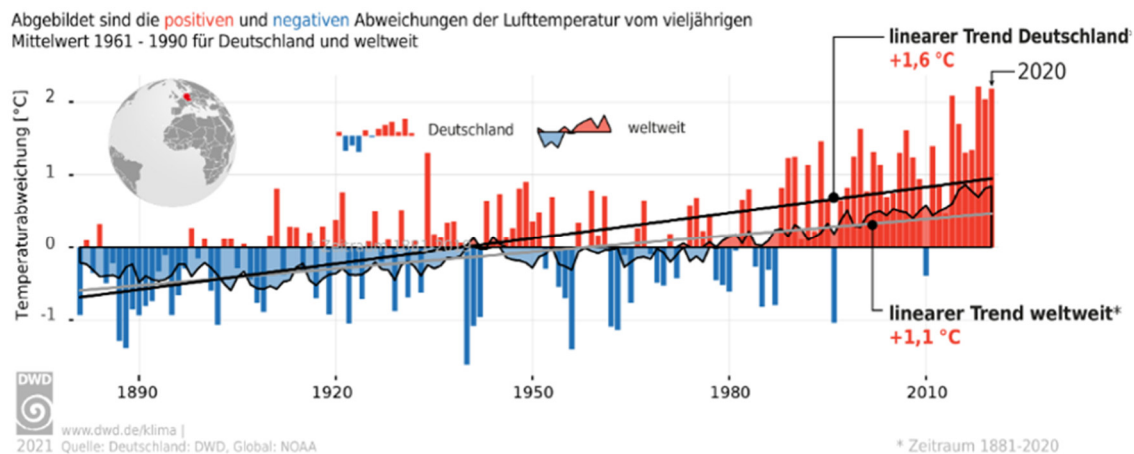


Abbildung 4 | Abweichungen der Lufttemperatur weltweit (NOAA) und dem Gebietsmittel für Deutschland seit 1881. Die Geraden zeigen den linearen Trend weltweit (grau), bzw. für Deutschland (schwarz) (aus DWD 2021).



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 zwar als Ziel formuliert wurde (Weltklimarat Paris 2015 und 2018 in Kattowitz), aber leider in der gängigen Praxis als eher unwahrscheinlich erachtet werden kann. Selbst die weltweiten THG-Einsparungen, welche durch die Covid-19-Pandemie und die damit verbundenen „Shutdowns“ verursacht worden sind, reichen 2020 nicht aus, um das RCP 2,6 Szenario zu erreichen. Auf der anderen Seite zeigt uns dies die Dimension der vor uns liegenden Herausforderungen, sollte es die Weltstaatengemeinschaft mit der Einhaltung des Pariser Abkommens ernst meinen.

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, PIK 2021).

Die Ergebnisse von Klimamodellierungen sind **keine Prognosen**, sondern Wahrscheinlichkeiten für Durchschnittswerte längerer Zeiträume (1-3 Dekaden).

3.1. Die beobachtete Veränderung

Die globalen Messdaten der troposphärischen (untere Atmosphärenschicht bis ca. 10 km Höhe) 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 (Sauerstoffproduktion) der Wälder und somit zu einem Nettoverbrauch des atmosphärischen CO₂. Nach dem Sommermaximum steigt im Herbst mit dem Abwurf der Blätter auf der Nordhalbkugel die CO₂-Konzentration wieder an, da sich bei der geringeren Photosyntheseleistung der Wälder CO₂ anreichern kann. Da sich auf der Südhalbkugel kaum größere Laubwälder befinden, ist der Südsommer für die globale CO₂-Konzentration unerheblich, wodurch die globale Jahreszeitenschwankung sichtbar wird (vgl. Abbildung 5).

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. Abbildung 5).

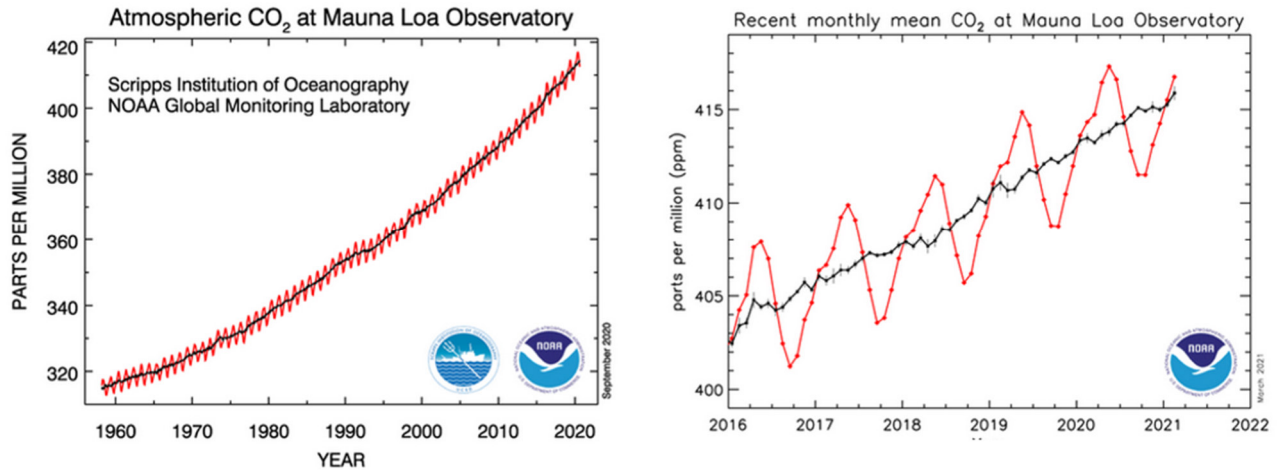


Abbildung 5 | Gemessene Konzentration der globalen CO₂-Konzentration in der Troposphäre (Quelle NOAA 2021; <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>).

Die Karte in

Abbildung 6 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 und Europa). 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. Wie sich die angesprochenen Veränderungen regional in Bayern und auf dem Stadtgebiet der Stadt Lindau (Bodensee) bemerkbar machen und in Zukunft machen werden, wird in den folgenden Abschnitten dargelegt.

Der aktuelle jährliche **Anstieg** der CO₂-Konzentration liegt bei 0,6 %.

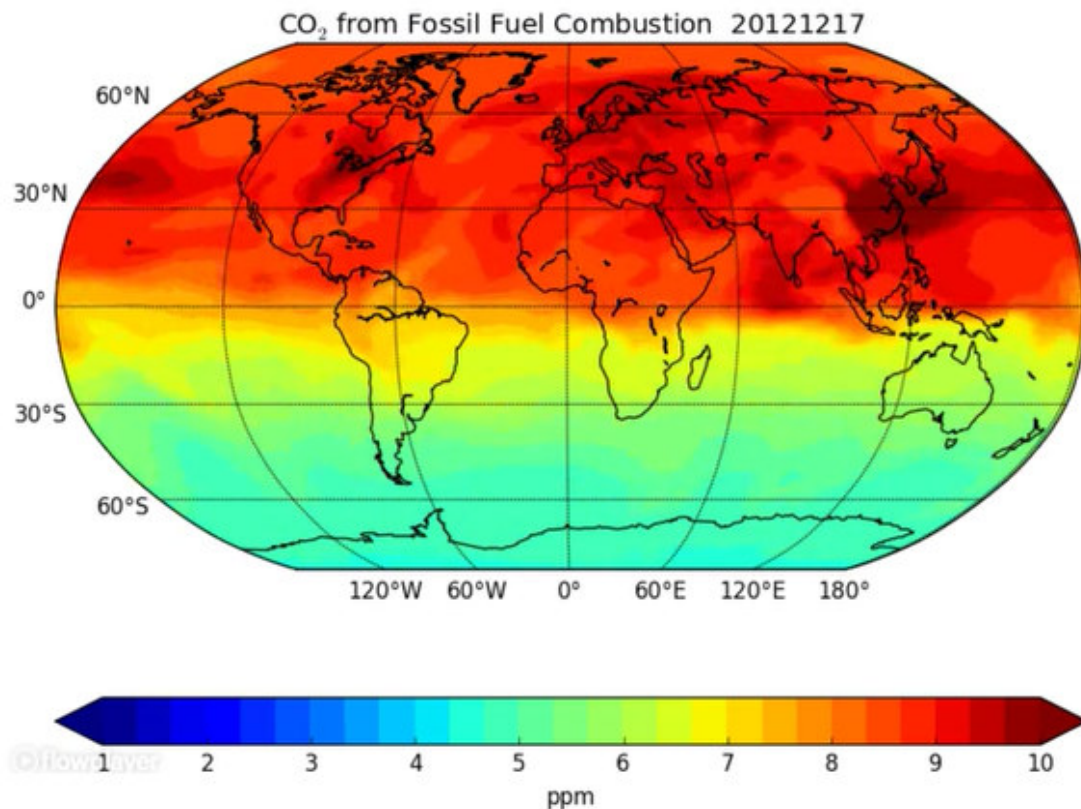


Abbildung 6 | Gemessene Zunahme der regionalen CO₂-Konzentration in der Troposphäre (Quelle NOAA 2020; <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/ff.html>).

3.1.1. Temperatur

Bei der Lufttemperatur ist in ganz Bayern in der Zeitreihe von 1881-2020 eine deutliche Temperaturzunahme von bisher 1,5° zu erkennen (Abbildung 7 und 8). Vergleichen wir die Durchschnittstemperatur über den gesamten Zeitraum von 7,5°C in Bayern mit dem Durchschnittswert des letzten Jahrzehnts (2010-2019) von 9°C liegt dieser bereits 1,5° darüber. Das Jahr 2018 wiederum liegt mit dem Rekordwert von 9,9°C knapp ein weiteres Grad über dem Mittel des letzten Jahrzehnts und 2,4° über dem Mittel der Referenzperiode von 1960-1990 (7,5°C). (DWD). Besonders deutlich ist der starke Anstieg der Jahresdurchschnittswerte in der letzten Dekade, was man am 10-jährigen gleitenden Mittel (Abbildung 8) gut erkennen kann.

Der Jahresdurchschnitt der **Temperatur** in Bayern im letzten Jahrzehnt (bis 2020) liegt bereits **1,5° über dem Mittel** der gesamten Messreihe seit 1881.

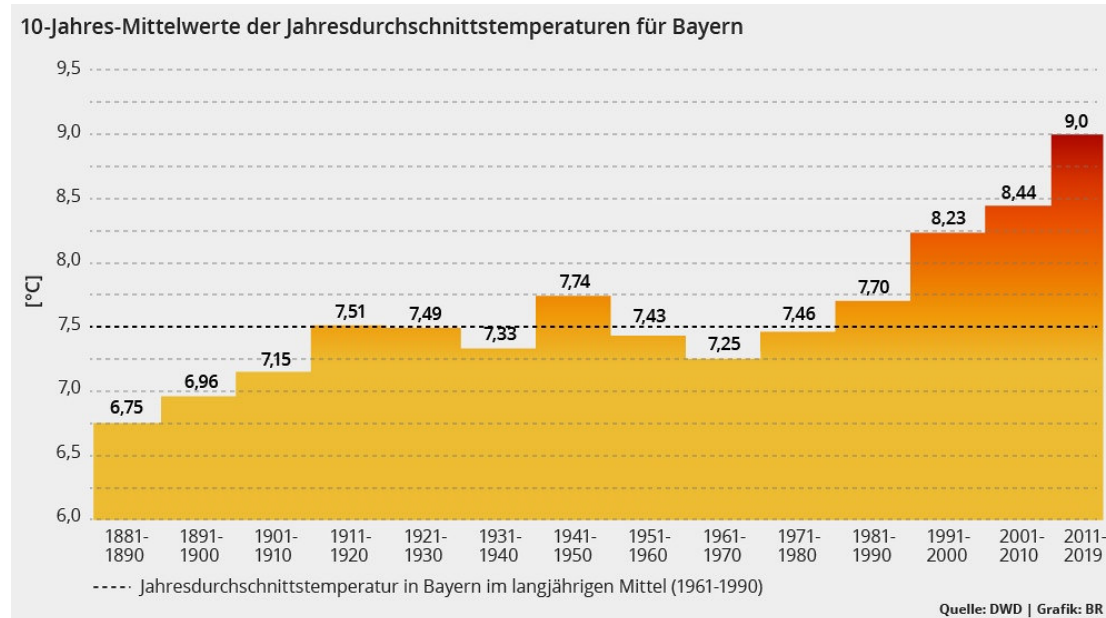


Abbildung 7 | Verlauf der 10-Jahresmittel der Temperatur in Bayern; Auffällig ist die starke Zunahme seit 1990 (DWD/BR download 2020 unter: https://www.br.de/klimawandel/bayern-temperaturen-rekorde-klimawandel-100~_image-2_-9823676e711b1e60923936e299907dca0d26f166.html).

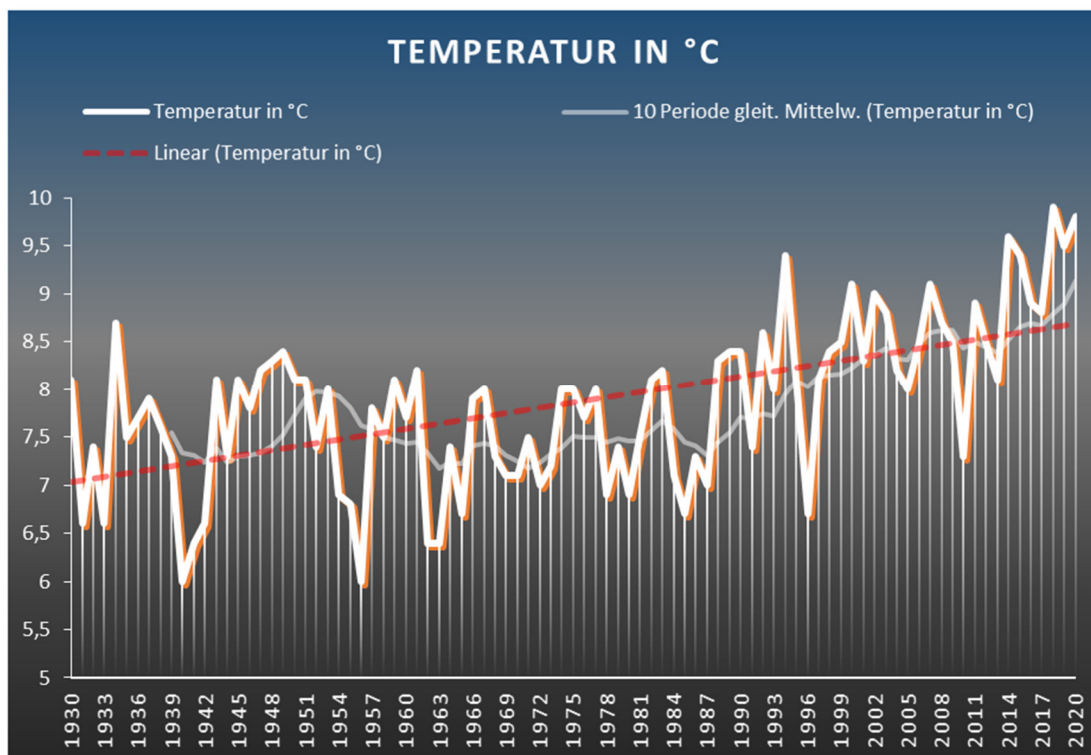


Abbildung 8 | Verlauf der Jahresmitteltemperatur in Bayern (weiß); gleitender zehnjähriger Mittelwert (grau) und linearer Trend (rot) 1931-2016 (aus LfU 2012 und DWD-Daten 2021).

Besonders auffällig ist, dass die Temperaturzunahme im letzten Jahrzehnt in den Winterhalbjahren deutlich größer ist als in den Sommerhalbjahren. Die Winter der letzten Jahre seit 2014 waren ausnahmslos äußerst mild (DWD 2021), wobei 2019/20 der zweitwärmste je aufgezeichnete Winter war (nach 2006/07).

Exemplarisch sind die Abweichungen der Monatsmittelwerte der Station Konstanz für 2018/2019 in der folgenden Abbildung dargestellt. Die Abweichungen sind für jeden Monat als rote Balken gemessen an der Referenzperiode von 1981 bis 2010 (schwarze Linien) dargestellt. Auffällig ist, dass jeder einzelne Monat wärmer war als das Referenzmittel. Grau hinterlegt ist die maximale Bandbreite des je kältesten und wärmsten Monats seit 1972 (bis 2019). Die stärksten Abweichungen konzentrierten sich auf den Zeitraum von Januar bis April (Abbildung 99) und sind damit typisch für die Verläufe der letzten Jahre.

In der letzten Dekade (2010 - 2020), konzentriert sich die **Temperaturzunahme** besonders auf das **Winterhalbjahr**.

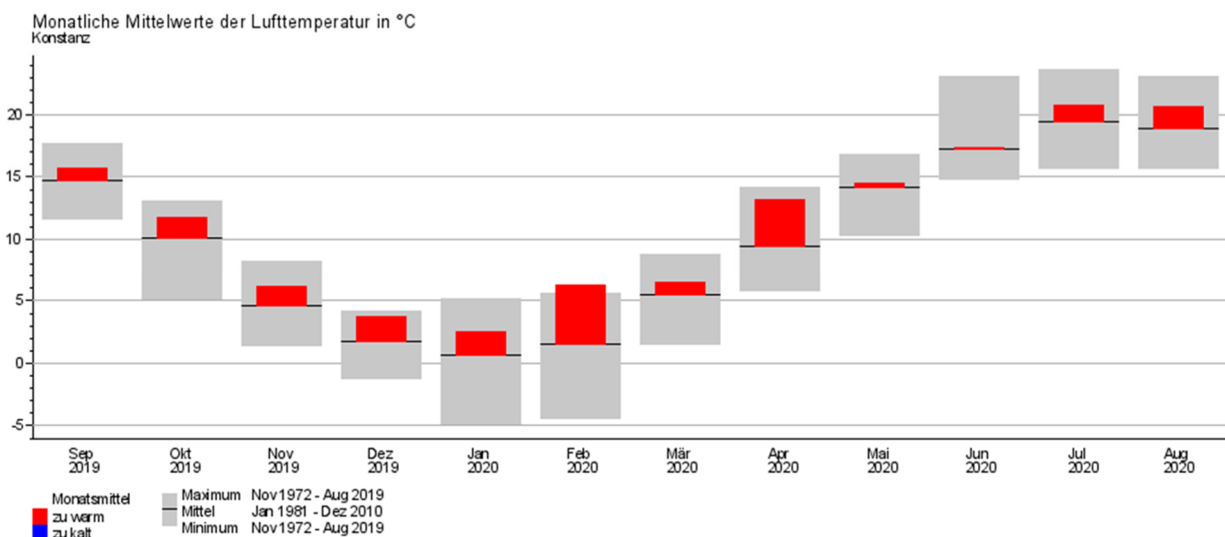


Abbildung 9 | Abweichungen der Monatsmittelwerte 2018/2019 von der Referenzperiode 1981-2010 (Quelle: DWD; https://www.dwd.de/DE/wetter/wetterundklima_vorort/baden-wuerttemberg/konstanz/_node.html).

Die folgenden Karten zeigen die Abweichungen vom langjährigen Mittel für ganz Bayern exemplarisch für den Sommer 2019 und den Winter 2019/20 (Abbildung 10).

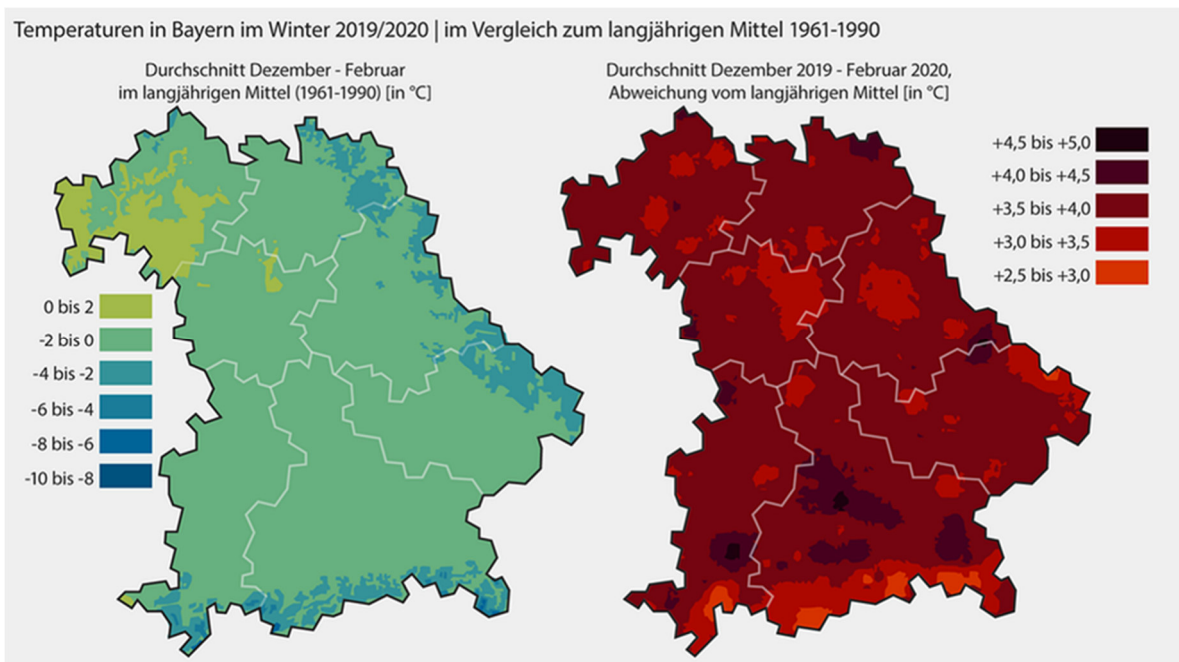
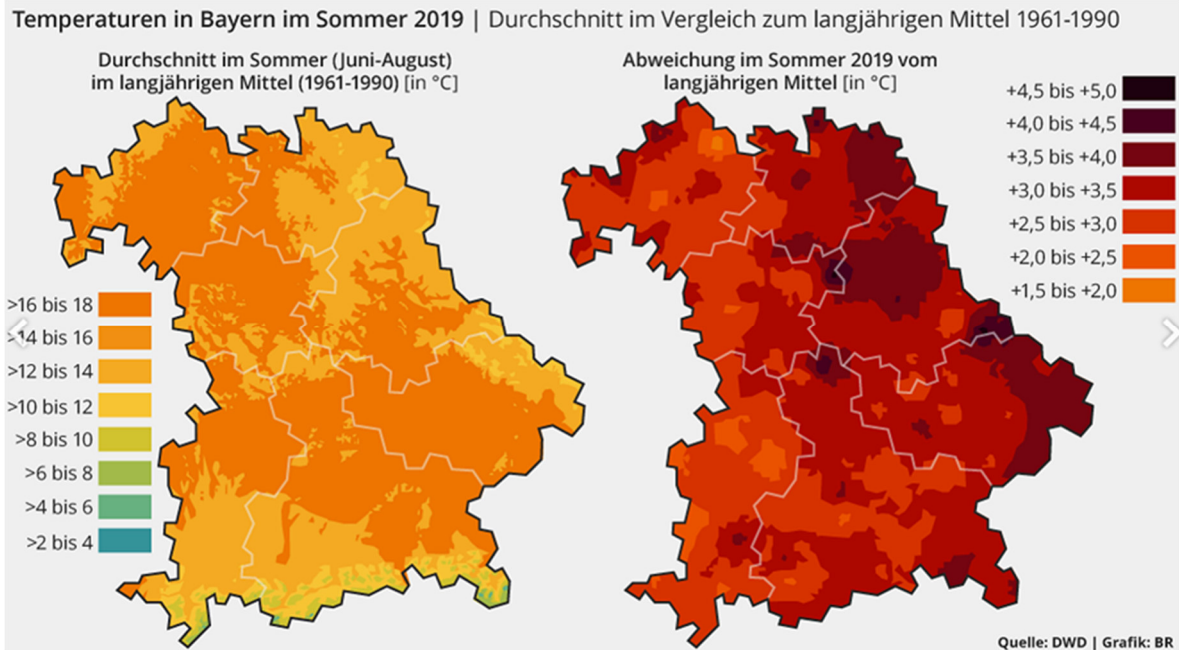


Abbildung 10 | Abweichungen der Temperaturen in Bayern vom langjährigen Mittel im Sommer 2019 und Winter 2019/20 (DWD Daten, Grafik BR
<https://www.br.de/klimawandel/bayern-temperaturen-rekorde-klimawandel-100.html>).

Beim Vergleich der Periode von 1961 bis 1990 mit dem Zeitraum von 1991-2020 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 1,6°. Die geringste mittlere Erwärmung von 0,3°C ist im Zeitraum von Dezember bis Februar zu beobachten (vgl. **Fehler! Ungültiger Eigenverweis auf Textmarke.**). Dass die Erwärmung im Winter bisher geringer ausgefallen ist, liegt an der besonderen Lage am Bodensee (dem winterlichen Wärmespeicher), wodurch ohnehin ein deutlich milderes Winterklima vorherrscht als in anderen Regionen Bayerns. Dies ändert sich aber in der letzten Dekade. Die Werte aus dem Winter 2019/20 (Abbildung 9) liegen beispielsweise 3,4° über dem langjährigen Mittel.

Gegenüber der Referenzperiode von 1961-1990 lag die **Temperaturzunahme** am Bodensee mit 1,6° im Sommer am höchsten.

Tabelle 1 | Beobachtete Temperaturzunahme in den verschiedenen Jahreszeiten für Konstanz und Bregenz (Quelle: DWD für Konstanz und climate-data.org für Bregenz).

Konstanz	1991-2020	1961-1990	Änderung
in °C	T-Mittel	T-Mittel	in °
Dez-Feb	1,1	0,8	0,3
Mrz-Mai	9,6	8,9	0,7
Jun-Aug	19,1	17,5	1,6
Sep-Nov	10,6	9,6	1

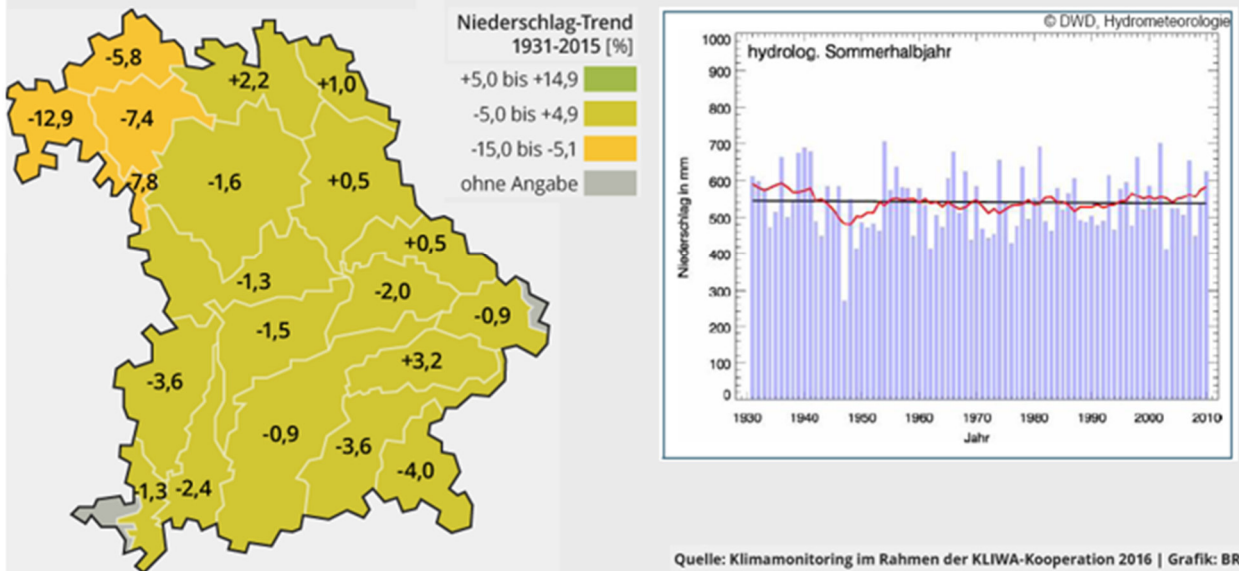
Bregenz	1991-2020	1961-1990	Änderung
in °C	T-Mittel	T-Mittel	in °
Dez-Feb	-0,3	-0,8	0,5
Mrz-Mai	8,5	7,9	0,6
Jun-Aug	17,8	16,7	1,1
Sep-Nov	9,5	9	0,5

3.1.2. Niederschlag

Beim jährlichen Gebietsniederschlag in Bayern ist die Zunahme im Jahresmittel gering, allerdings ist im Winterhalbjahr ein genereller Anstieg zwischen 1,5-22 % (je nach Region) feststellbar (Abbildung 11). Die Sommerniederschläge zeigen regional keine einheitliche Änderung. Im Mittel ist im Sommer aber ein leichter Rückgang zu beobachten.

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 Bregenz bzw. die Station des DWD in Konstanz zurückgegriffen.

Niederschlagsmengen in Bayern für das hydrologische Sommerhalbjahr (1931-2015)



Niederschlagsmengen in Bayern für das hydrologische Winterhalbjahr (1931-2015)

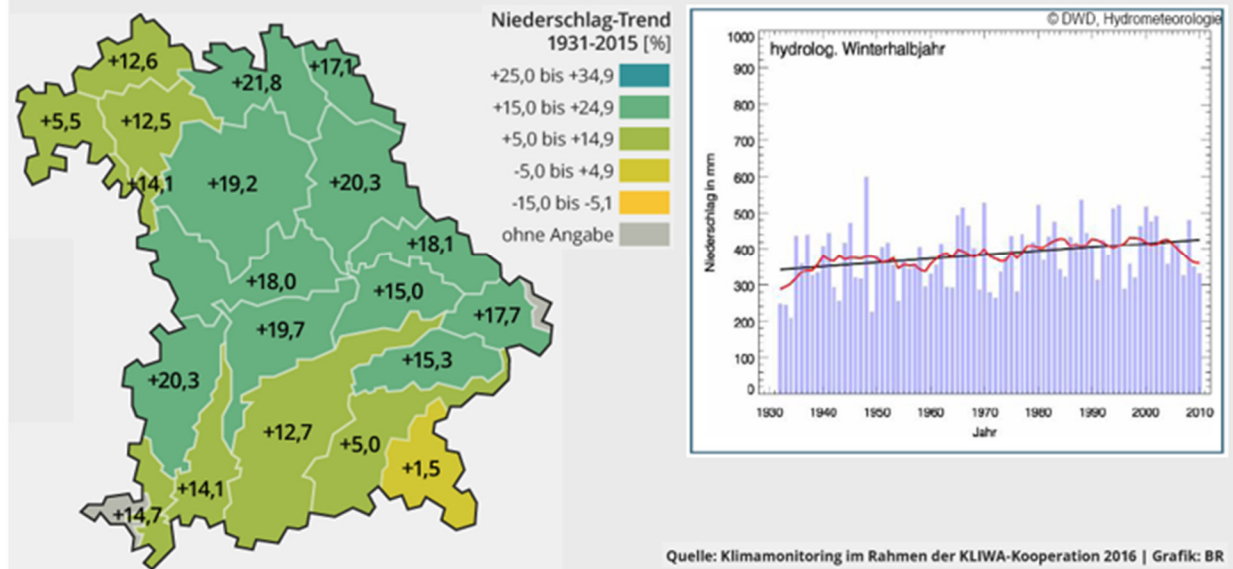


Abbildung 11 | Verteilung der Niederschlagsmengen in Bayern im Sommer- und Winterhalbjahr sowie die Niederschlagsmengen mit gleitendem zehnjähriger Mittelwert (rot) und linearem Trend (schwarz) von 1931-2015 (aus LfU 2012 und BR 2021 unter: <https://www.br.de/klimawandel/bayern-temperaturen-rekorde-klimawandel-100.html>).

Für ganz Deutschland haben die Niederschläge seit 1881 im Mittel um 7,9% zugenommen (Abbildung 12).

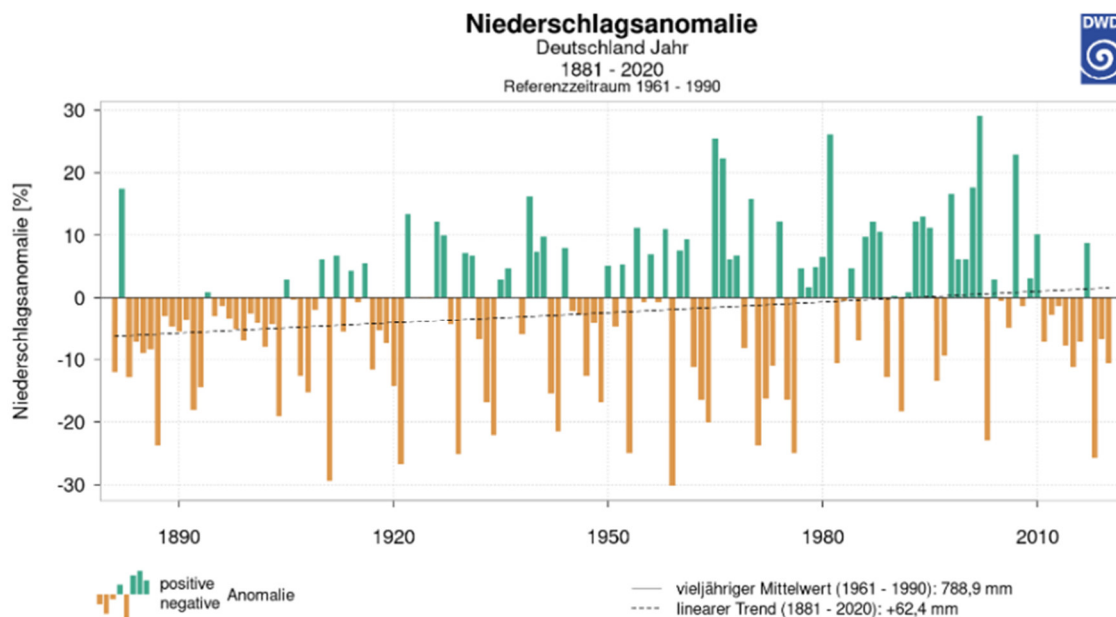


Abbildung 12 | Abweichungen der Niederschläge in Deutschland vom langjährigen Mittel 1961-1990 in %. Auffällig ist die hohe Variabilität der Jahresniederschläge von Jahr zu Jahr (aus DWD 2021).

Man erkennt besonders bei den Niederschlägen (Abbildung 12), aber auch bei der Temperatur (vgl. 3.1.1) eine grundsätzlich hohe Variabilität von Jahr zu Jahr. Dies zeigt, dass zur Beurteilung des Klimas immer lange Zeiträume von 30 Jahren betrachtet werden sollten. Einzelne trockene oder feuchte Jahre sagen grundsätzlich nichts über die klimatische Entwicklung bzw. über den Klimawandel aus. Der beobachtete Trend des Anstiegs der Jahresniederschläge ist nur sehr schwach ausgeprägt.

Bei den **Niederschlägen** ist kein klarer Trend erkennbar. Was sich aber in den letzten Dekaden ändert, ist die **Variabilität**.

3.2. Die regionale Modellierung

Die den dargestellten Ergebnissen zugrunde liegenden globalen und regionalen Klimamodelle sind in der folgenden Abbildung 13 aus dem Klimabericht Bayern dargestellt und basieren auf dem A1B Emissionsszenario des IPCC bzw. bis zu drei Konzentrationspfaden RCP 2.6 bis RCP 8.5 (vgl. Exkurs auf Seite 7) sowie dem globalen Zirkulationsmodell (GCM) ECHAM 5 und HadGEM2. Diese sind zwei von drei gängigen Globalmodellen, welche die globale Entwicklung bis zum Jahr 2100 entsprechend den Vorgaben aus den Szenarien modellieren.

Kontrollläufe zur Modellierung der Daten von 1971-2000 werden standardmäßig zur Verifizierung und Kalibrierung der Klimaprojektionen herangezogen. Das heißt, die Modelle starten mit 1970 und die gelieferten Ergebnisse für die nächsten 40-50 Jahre werden dann mit der realen Entwicklung verglichen und ggf. angepasst.

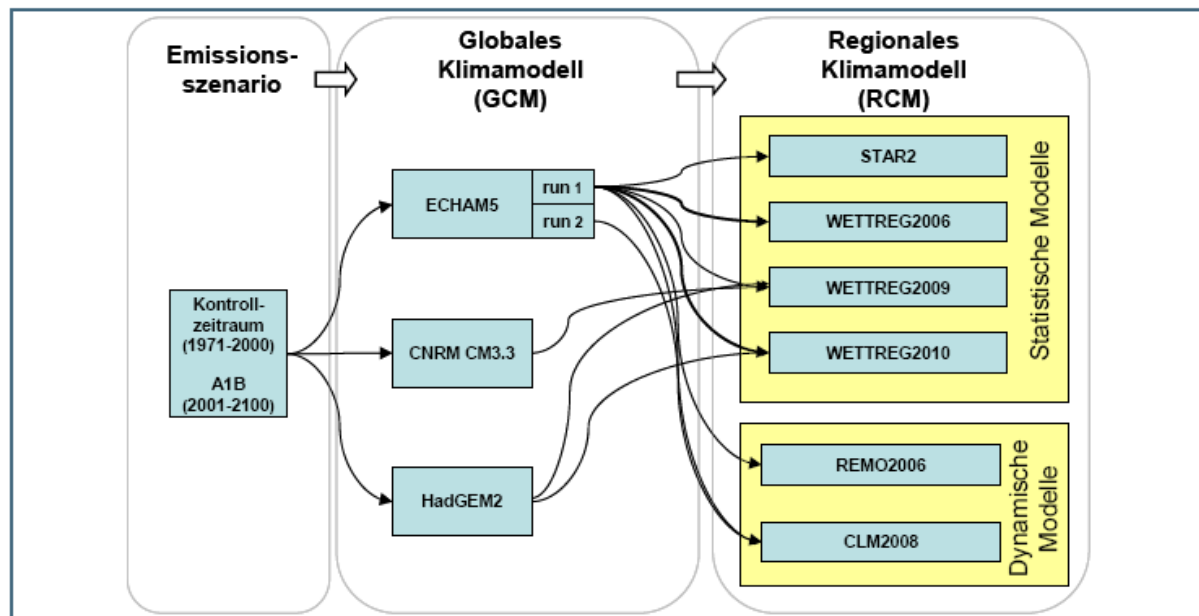


Abbildung 13 | Darstellung der Modelle der bayernweit ausgewerteten Klimaprojektionen (aus LfU 2012).

Für die Regionalisierung und Ableitung von Klimawirkungen aus zukünftigen klimatischen Entwicklungspfaden (entsprechend den drei RCP-Szenarien, vgl. Exkurs Seite 7) ist es erforderlich, die globalen Klimamodellsimulationen (GCMs) für Großregionen wie Europa und dann Deutschland weiter zu verfeinern. Das wird dadurch erreicht, dass man diese als Antrieb für höher aufgelöste Regionalmodelle (RCMs) verwendet. Solche sind in der Lage, die regionalen Besonderheiten der Temperatur- und Niederschlagsverteilung realistischer wiedergeben, da unter anderem Effekte, hervorgerufen durch Topografie und Landnutzung, besser abgebildet werden.

Das 2015 abgeschlossene EU-Projekt www.impact2c.eu stellt ein solches regionales Klimamodellensemble von 2 bis 4 Einzelmodellsimulationen für alle drei RCPs bereit (Gobiet et al. 2015). Zudem wurde eine Angleichung der Simulationswerte an Beobachtungswerte des EOBS-Datensatzes (Biaskorrektur) für den historischen Simulationszeitraum (1971-2000) vorgenommen (Gobiet et al. 2015).

3.3. Die zu erwartenden Änderungen in der Region

In allen folgenden Betrachtungen werden grundsätzlich immer 30-jährige Mittel für die Beschreibung der Klimaparameter herangezogen. In der Regel wird als Basis der Mittelwert des Zeitraums von 1981-2010 verwendet. Die Projektionen werden, wenn nicht explizit auf andere Zeiträume hingewiesen, für die Zeitspanne von 2041-2070 angegeben. Ergänzend werden fallweise die Zeiträume von 2031-2060 oder 2071-2100 dargestellt. Das Standard-Szenario ist das RCP8.5-Szenario, das einer weitgehend unveränderten weltweiten Klimapolitik entspricht (Weiter-so-Szenario). Alternativ wird fallweise auch das RCP4.5-Szenario dargestellt, welches die Umsetzung weltweiter Klimaschutzmaßnahmen voraussetzt, eine Dekarbonisierung aber erst nach 2050 erreicht.

Da die landschaftliche Vielfalt im Bereich zwischen Alpenvorland und 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 von der globalen auf die regionale und lokale Ebene herunterskaliert 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 zukünftig 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, PIK 2021). 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), zum anderen auch an der statistischen Häufigkeitsverteilung der Klimaparameter liegen (Abbildung 14).

Die **Extremereignisse** werden weiter deutlich zunehmen.

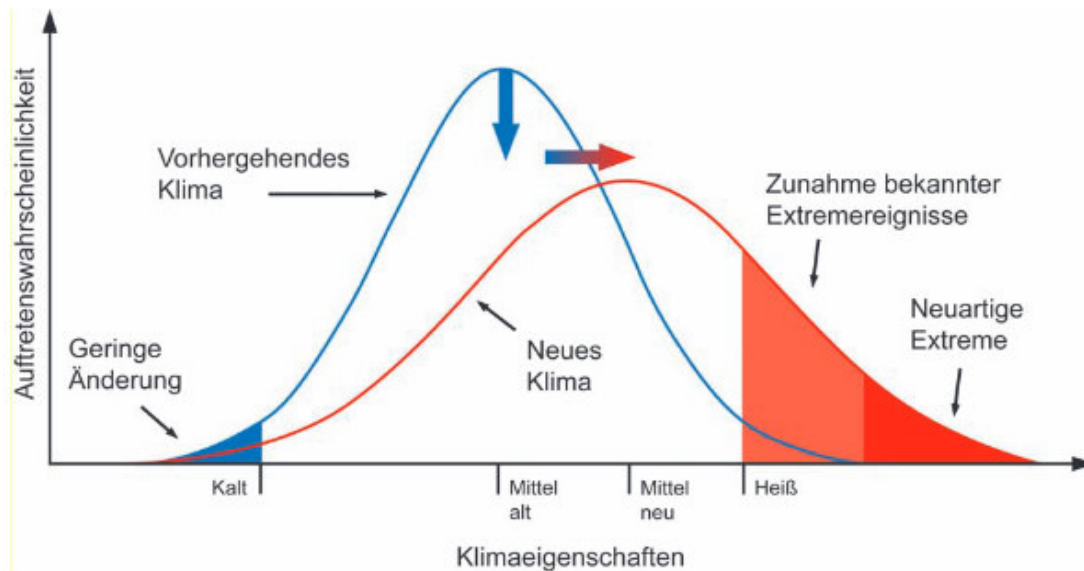


Abbildung 14 | Schematische Darstellung der Häufigkeitsverteilung klimatischer Kenngrößen des Ist-Zustandes (blaue Linie) und unter Einbeziehung des Klimawandels (rote Linie).

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 Stadt Lindau 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 (Abbildung 15) (LfU/Danneberg et al. 2012). Die regionalen Modellierungen des PIK 2019 zeigen für diesen Zeitraum einen Anstieg von 1,3°. Für den Zeitraum von 2041-2070 zeigt sich ein Anstieg von 2,5° und für die Zeitspanne von 2071-2100 von 4,5° im Weiter-so-Szenario (RCP8.5). Im Klimaschutzszenario hingegen liegt die Erwärmung für 2071-2100 nur bei 2,3° (PIK 2019).

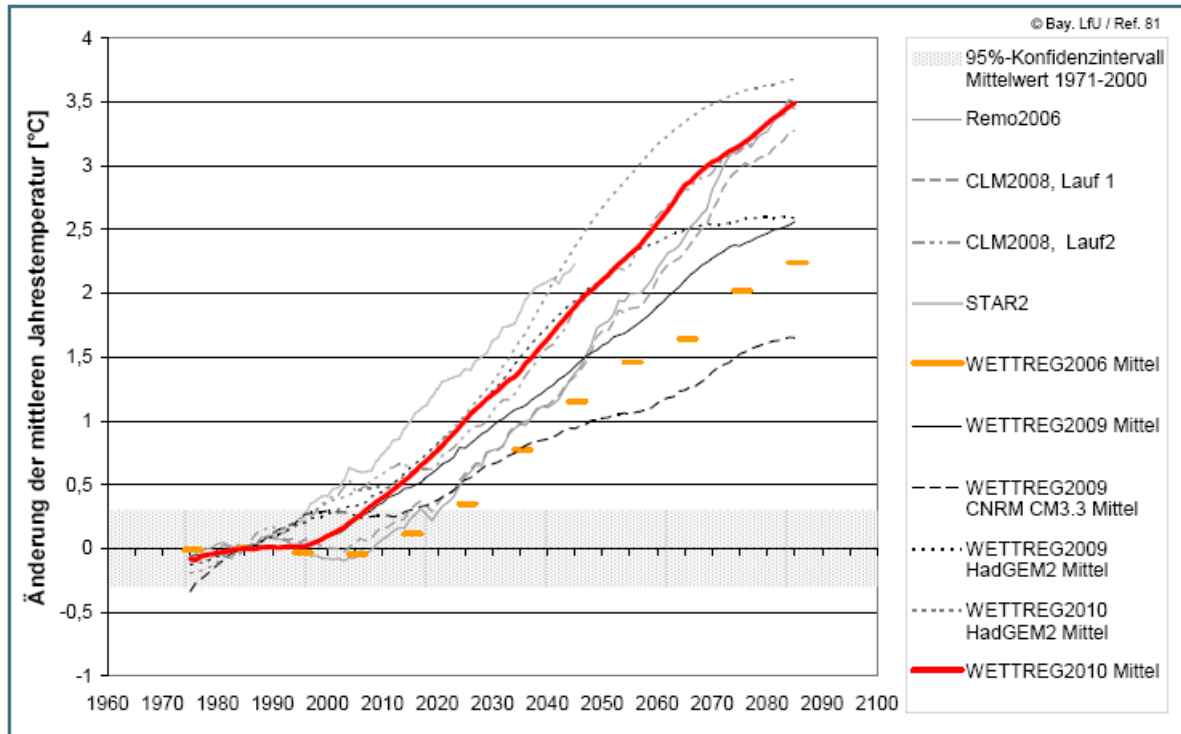


Abbildung 15 | Änderung des 30-jährigen gleitenden Temperaturmittels in Bayern gegenüber 1971-2000 in [°C] für eine Auswahl an regionalen Klimaprojektionen (Ensemble) (aus LfU 2012).

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

Bei Zugrundelegung des CO₂-Emissionspfades (RPC8.5 – Weiter-so-Szenario), welcher der gegenwärtigen Entwicklung entspricht, ergibt sich für das Gebiet Lindau das folgende Bild: Die erwartete Zunahme für das Jahresmittel zwischen 2031-2060 in Bezug zum Referenzzeitraum von 1981-2010 liegt bei $1,9^\circ$. Für den Zeitraum von 2041-2070 steigt die Temperaturzunahme auf $2,5^\circ$ an. Für den Zeitraum von 2071-2100 kann mit einer Temperaturzunahme von $4,5^\circ$ gerechnet werden. Nach Jahreszeiten aufgeschlüsselt ergibt sich folgendes Bild:

Die Temperaturzunahme wird zunächst für alle Jahreszeiten recht ähnlich bei um die 2° liegen. Lediglich im Sommer ist die Erwärmung mit $1,7^\circ$ für den Raum Lindau geringer (Abbildung 16). Wird der Projektionszeitraum weiter bis 2041-2070 ausgedehnt (Abbildung 17), ergibt sich eine Verstärkung des Trends der Erwärmungsspitze im Herbst ($2,7^\circ$), der Sommer zeigt mit 2° die geringste Erwärmung mit einer Jahrestemperaturzunahme von $2,5^\circ$. Wird der Projektionszeitraum noch weiter bis 2071-2100 ausgedehnt (Abbildung 18), dann verschiebt sich die

Die **Temperatur** in Lindau wird selbst im Klimaschutzszenario für den Zeitraum von 2041-2070 **um $1,6^\circ$ zunehmen** (gegenüber dem Mittel von 1981-2010).

Maximalerwärmung auf den Winter mit 4,8°. Die folgenden Karten illustrieren die jahreszeitliche Erwärmung für den bodenseenahen Voralpenraum bei unterschiedlichen Projektionszeiträumen.

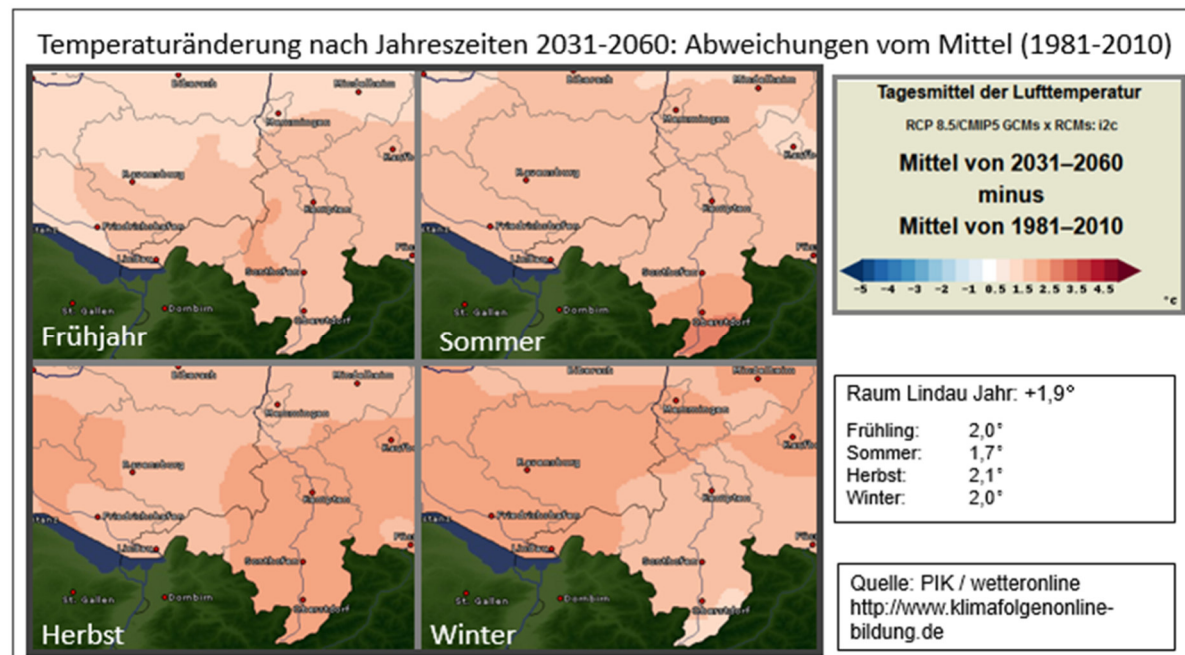


Abbildung 16 | Erwartete Temperaturzunahme für das bodenseenahen Alpenvorland nach Jahreszeiten 2031-2060 (Quelle: abgerufen 2021 - PIK / wetteronline: <http://www.klimafolgenonline-bildung.de>).

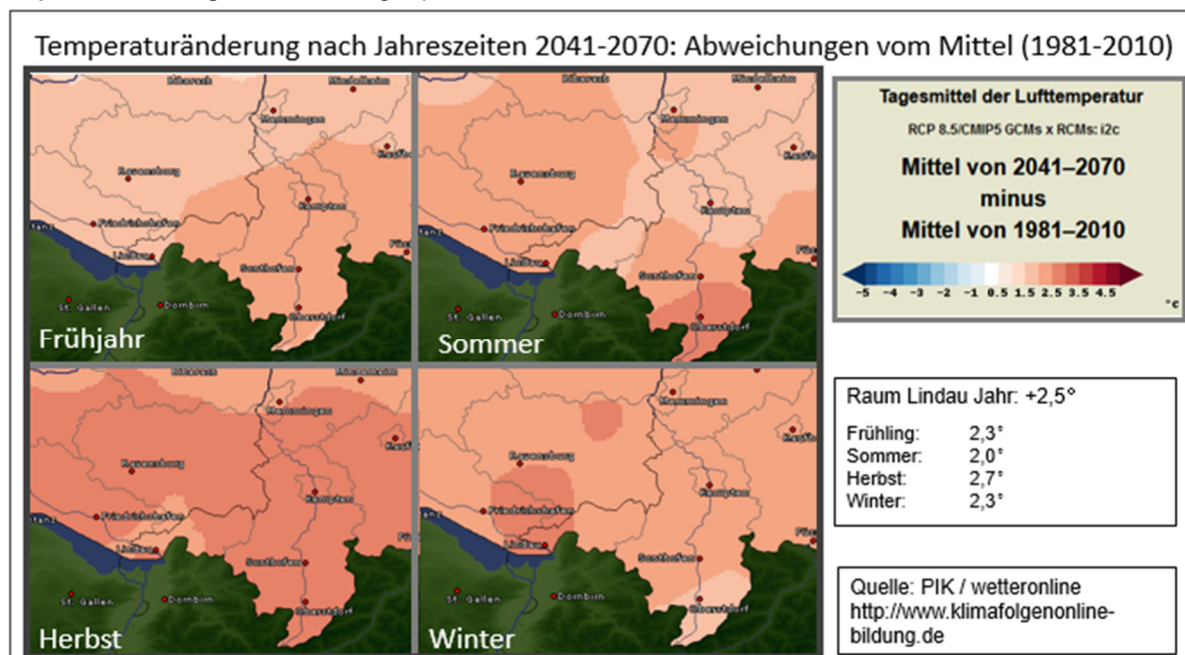


Abbildung 17 | Erwartete Temperaturzunahme für das bodenseenahen Alpenvorland nach Jahreszeiten 2041-2070 (Quelle: abgerufen 2021 - PIK / wetteronline: <http://www.klimafolgenonline-bildung.de>).

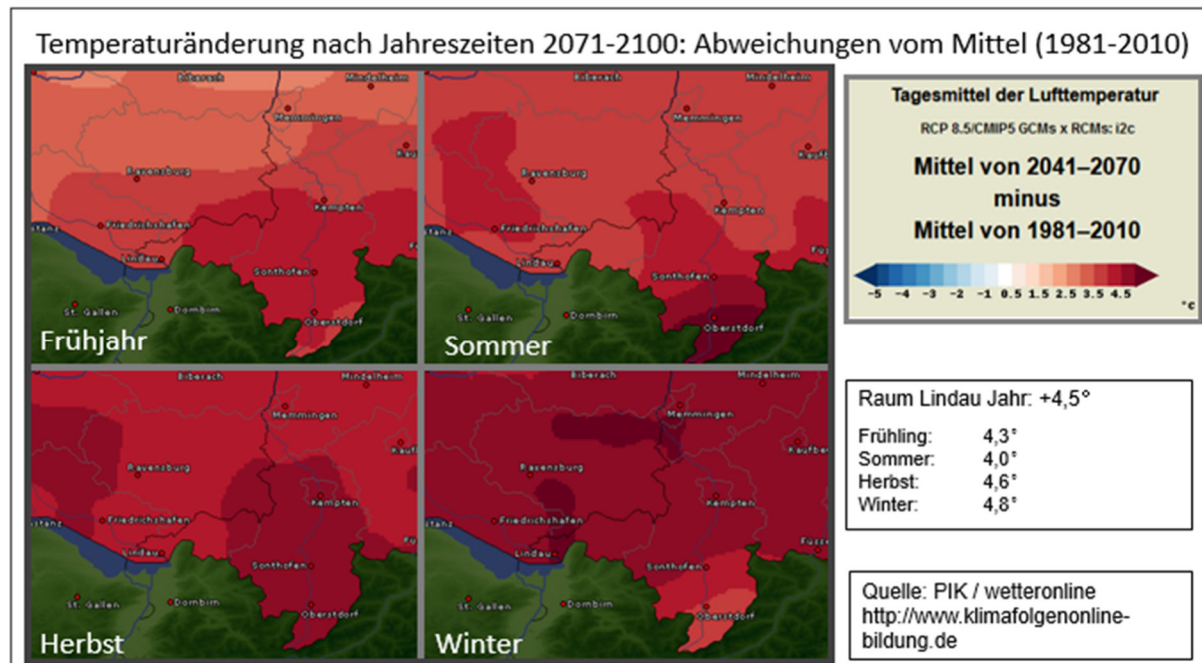


Abbildung 18 | Erwartete Temperaturzunahme für das bodenseenahe Alpenvorland nach Jahreszeiten 2071-2100 (Quelle: abgerufen 2021 - PIK / wetteronline: <http://www.klimafolgenonline-bildung.de>).

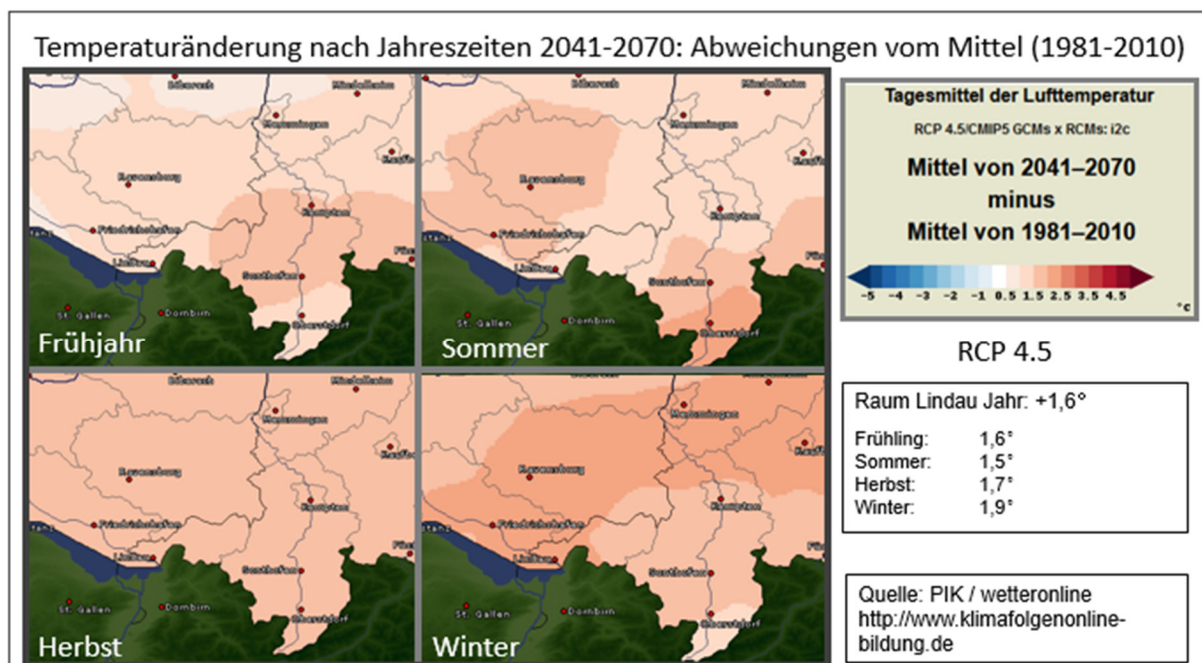


Abbildung 19 | Erwartete Temperaturzunahme für das bodenseenahe Alpenvorland nach Jahreszeiten 2041-2070 im Klimaschutzszenario RCP4.5 (Quelle: abgerufen 2021 - PIK / wetteronline: <http://www.klimafolgenonline-bildung.de>).

Die Karten in Abbildung 19 zeigen die erwartete Entwicklung bei verringerten THG-Emissionen durch weltweite Klimaschutzmaßnahmen im Emissionsszenario RCP4.5. Wir erkennen, dass die Erwärmung für den Zeitraum 2041-2070 mit 1,6° deutlich geringer ausfällt (gegenüber 1981-2010). Am stärksten ist in diesem Falle die Winterperiode mit 1,9° Erwärmung betroffen. Insgesamt ist aber auch festzustellen, dass sich mit diesem Szenario das Ziel, die Erwärmung gegenüber der vorindustriellen Zeit unter 2° zu halten, nicht erreicht wird.

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. Für Lindau reduziert sich die Zahl der Eistage um 14-15 pro Jahr (Abbildung 20), bis 2071-2100 sogar um 25 (Abbildung 21). Im Klimaschutzszenario (RCP4.5) liegt der Rückgang der Eistage für 2041-2070 bei knapp 13 Tagen (Abbildung 22).

Die **Zahl der Eistage** (Dauerfrost) wird sich um 15 pro Jahr reduzieren (gegenüber dem Mittel von 1981-2010).

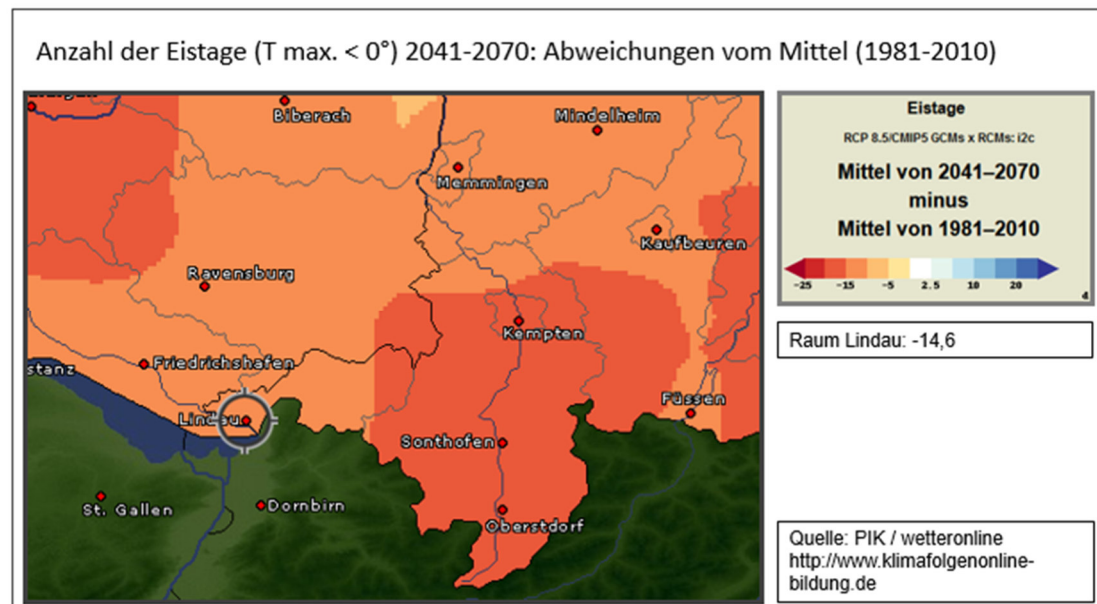


Abbildung 20 | Abweichung der durchschnittlichen Anzahl der Eistage für das bodenseenahe Voralpengebiet (Quelle: abgerufen 2021 - PIK / wetteronline: <http://www.klimafolgenonline-bildung.de>).

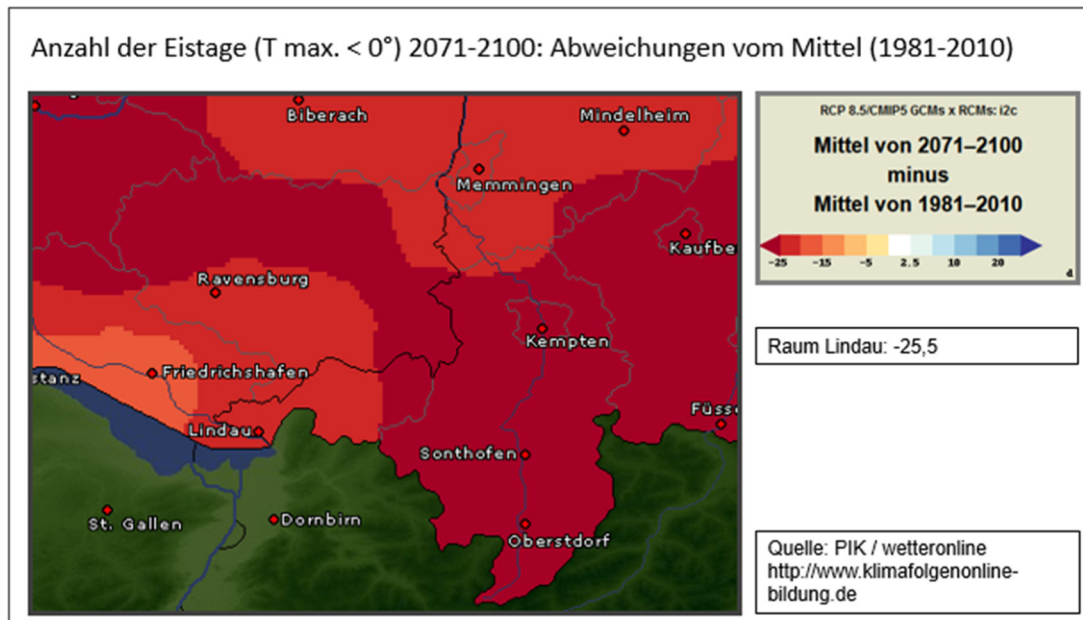


Abbildung 21 | Abweichung der durchschnittlichen Anzahl der Eistage für das bodenseenahe Voralpengebiet 2071-2100 (Quelle: abgerufen 2021 - PIK / wetteronline: <http://www.klimafolgenonline-bildung.de>).

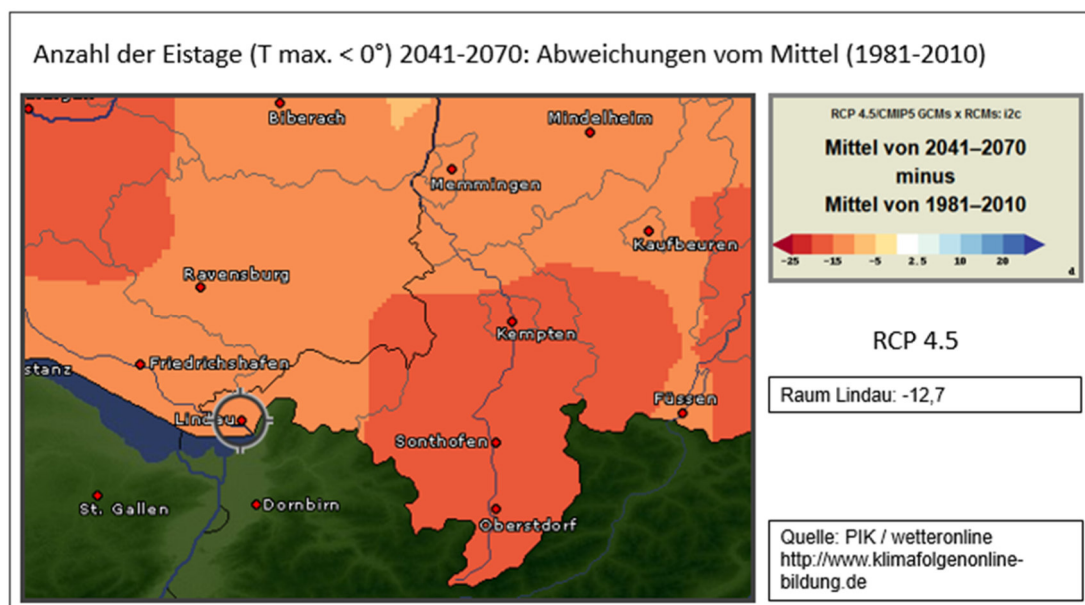


Abbildung 22 | Abweichung der durchschnittlichen Anzahl der Eistage für das bodenseenahe Voralpengebiet 2071-2100 im Klimaschutzszenario RCP4.5 (Quelle: abgerufen 2021 - PIK / wetteronline: <http://www.klimafolgenonline-bildung.de>).

Die Zahl der Frosttage (Tage, an denen das Tagesminimum unter 0° liegt) wird um 36 auf dann ca. 35 pro Jahr zurückgehen (Abbildung 23).

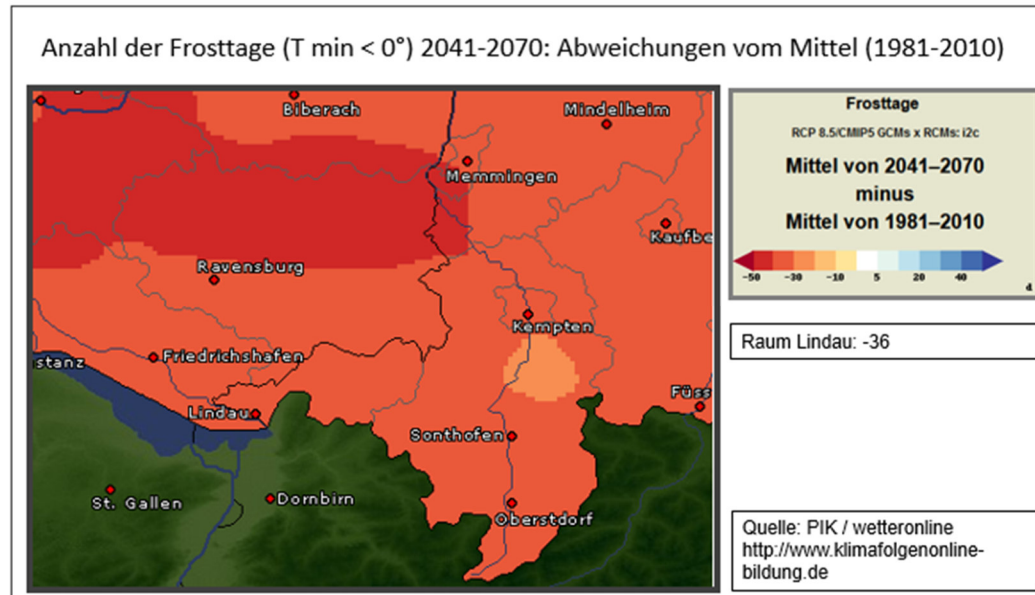


Abbildung 23 | Abweichung der durchschnittlichen Anzahl der Frosttage für das bodenseenahe Voralpengebiet 2041-2070 (Quelle: PIK / wetteronline; <http://www.klimafolgenonline-bildung.de>).

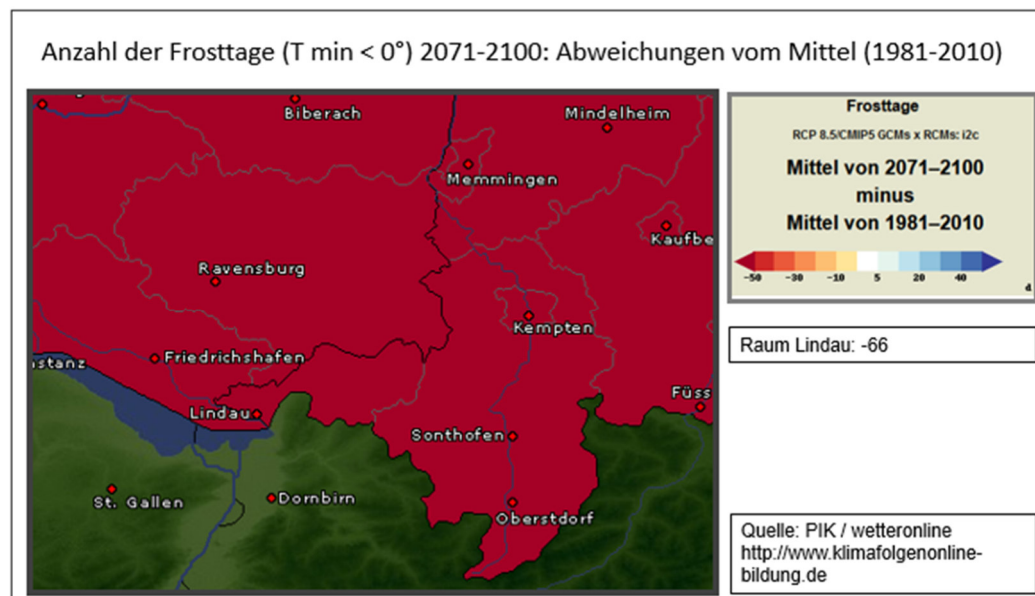


Abbildung 24 | Abweichung der durchschnittlichen Anzahl der Frosttage für das bodenseenahe Voralpengebiet 2071-2100 (Quelle: PIK / wetteronline; <http://www.klimafolgenonline-bildung.de>).

In der Projektionsperiode von 2071-2100 werden die Tage mit Frosttemperaturen um 66 zurückgehen, so dass jedes Jahr nur noch wenige Frosttage zu erwarten sind (Abbildung 24). Im Klimaschutzszenario (RCP4.5) nimmt die Zahl der Frosttage für den Zeitraum 2041-2070 immerhin noch um 25 ab (Abbildung 25).

Die **Zahl der Frosttage** wird sich um 36 pro Jahr reduzieren (gegenüber dem Mittel von 1981-2010).

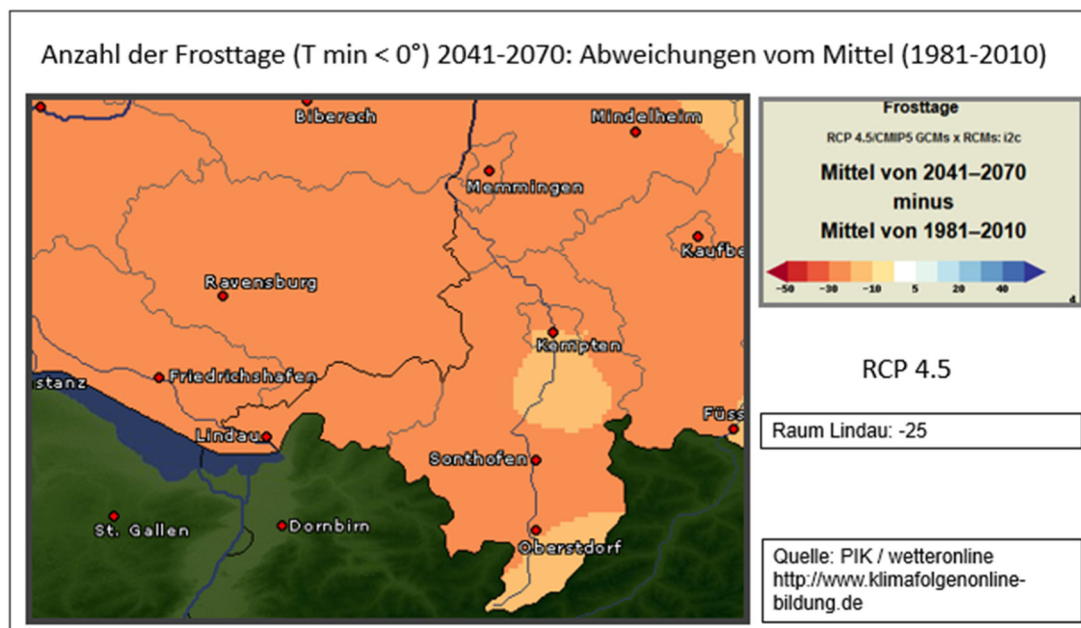


Abbildung 25 | Abweichung der durchschnittlichen Anzahl der Frosttage für das bodenseenahe Voralpengebiet 2041-2070 im Klimaschutz-Szenario RCP4.5 (Quelle: PIK / wetteronline; <http://www.klimafolgenonline-bildung.de>).

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 in Lindau zunächst mäßig ansteigen. Für die Periode von 2041-2070 nimmt die Häufigkeit dieser Tage um 18 auf dann ca. 79 pro Jahr zu (Abbildung 26 – zum Vergleich: Im Hitzesommer 2003 gab es 92 Sommertage). In der Zeitspanne von 2071-2100 wird die Zahl der Sommertage um knapp 40 auf 101 pro Jahr ansteigen (Abbildung 27). Der Hitzesommer von 2003 wäre dann vergleichsweise ein kalter Sommer. Im Klimaschutzszenario (RCP4.5) steigt die Zahl der Sommertage nur um 12,5 pro Jahr (für den Zeitraum von 2041-2070) (Abbildung 28).

Die **Zahl der Sommertage** (über 25°) wird um 18 pro Jahr zunehmen (gegenüber dem Mittel von 1981-2010).

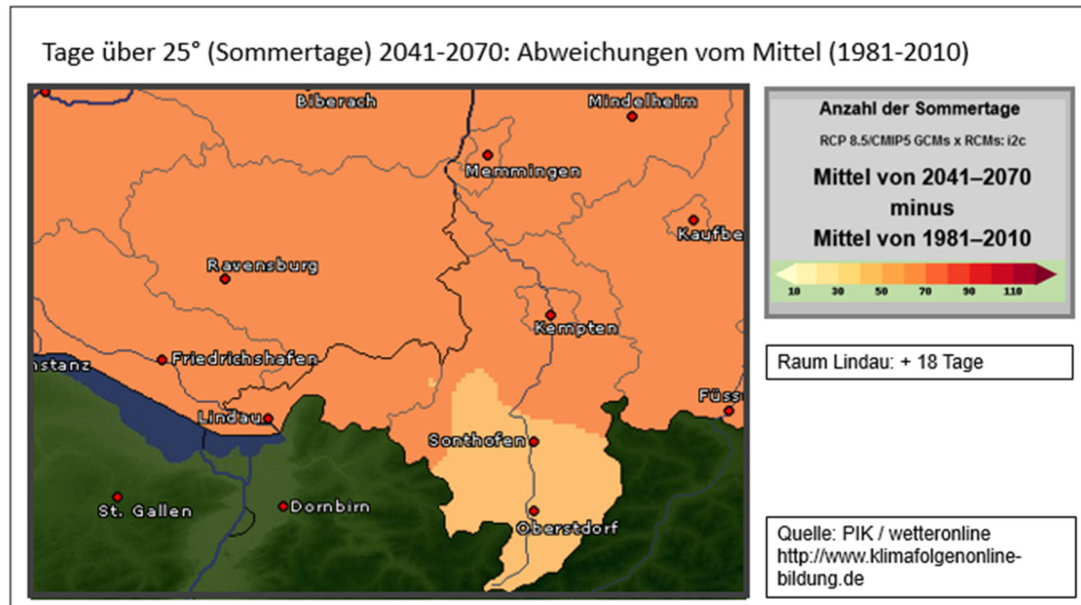


Abbildung 26 | Abweichung der durchschnittlichen Anzahl der Sommertage für das bodenseenahe Alpenvorland für 2041-2070 (Quelle: PIK / wetteronline; <http://www.klimafolgenonline-bildung.de>).

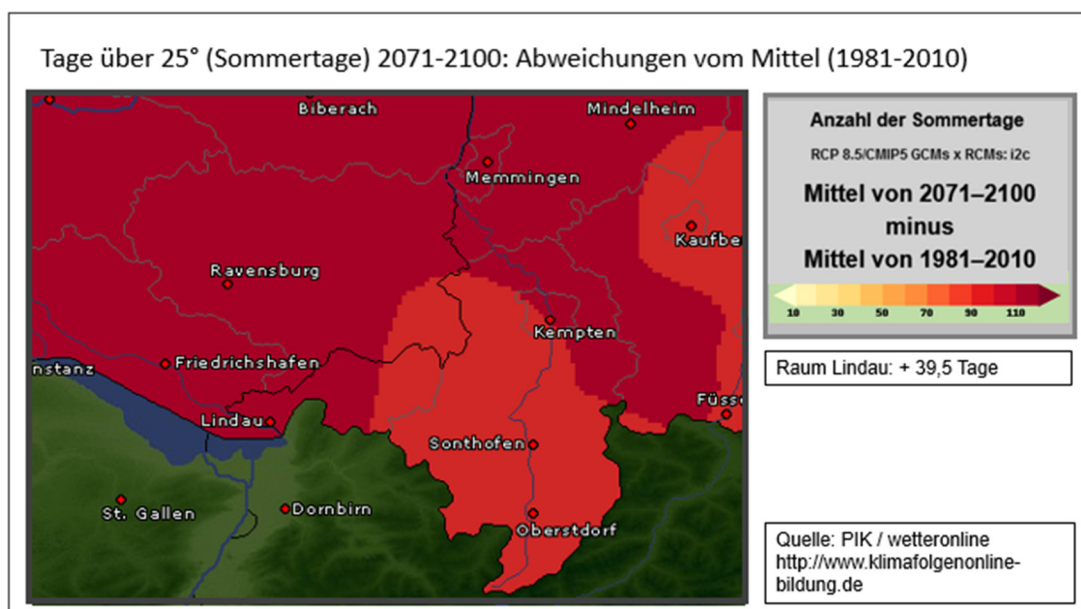


Abbildung 27 | Abweichung der durchschnittlichen Anzahl der Sommertage für das bodenseenahe Alpenvorland für 2071-2100 (Quelle: PIK / wetteronline; <http://www.klimafolgenonline-bildung.de>).

Tage über 25° (Sommertage) 2041-2070: Abweichungen vom Mittel (1981-2010)

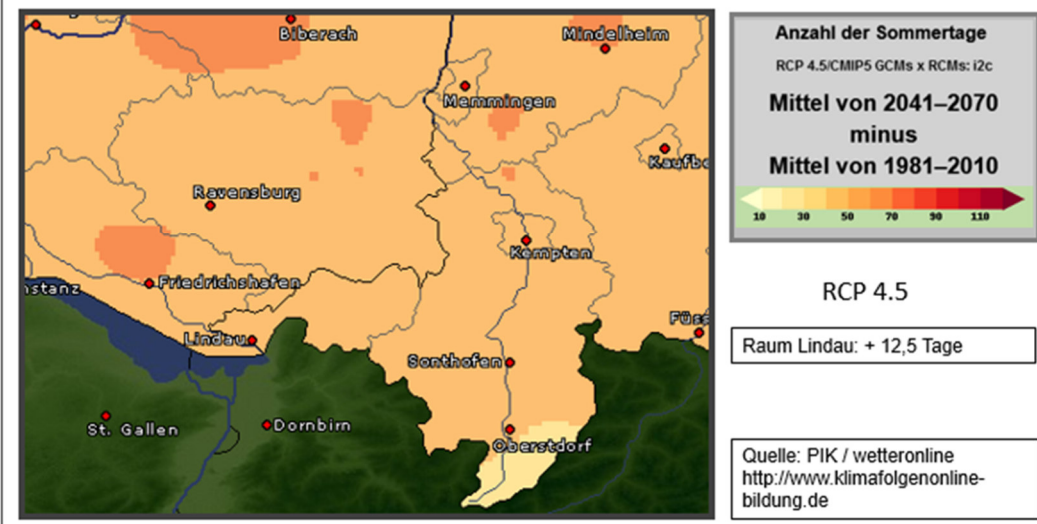


Abbildung 28 | Abweichung der durchschnittlichen Anzahl der Sommertage für das bodenseenahe Alpenvorland für 2041-2070 im Klimaschutzenszenario RCP4.5 (Quelle: PIK / wetteronline; <http://www.klimafolgenonline-bildung.de>).

Tage über 30° (sogenannte „Hitzetage“) wird es gut 6 pro Jahr mehr geben, als bisher (1981-2010), wodurch dann in Lindau im Mittel 22 heiße Tage im Jahr zu erwarten sind. Für die Projektionsperiode von 2071-2100

Tage über 30° (Hitzetage) 2041-2070: Abweichungen vom Mittel (1981-2010)

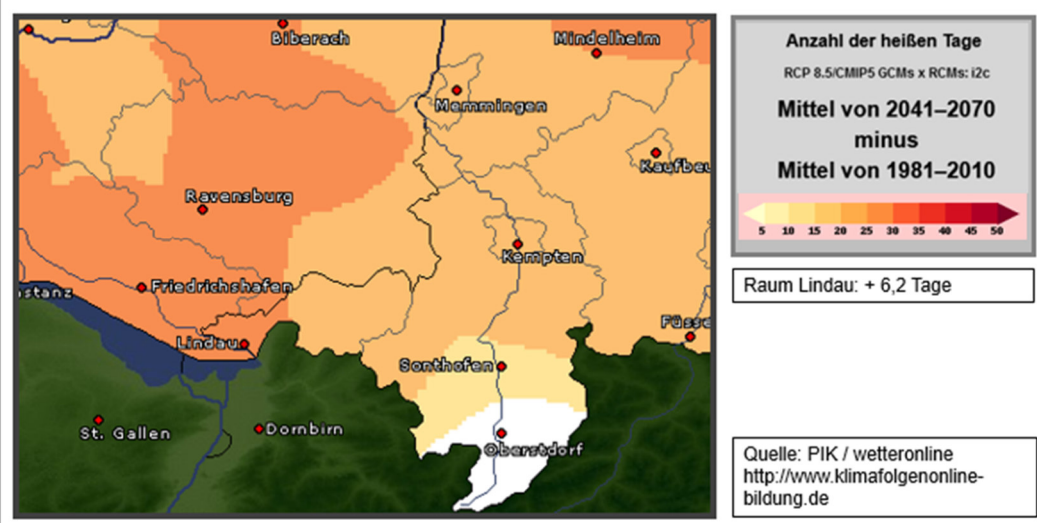


Abbildung 29 | Abweichung der durchschnittlichen Anzahl der Hitzetage für das bodenseenahe Alpenvorland für 2041-2070 (Quelle: PIK / wetteronline; <http://www.klimafolgenonline-bildung.de>).

werden 17 zusätzliche Hitzetage und damit durchschnittlich 33 pro Jahr erwartet (Abbildung 30).

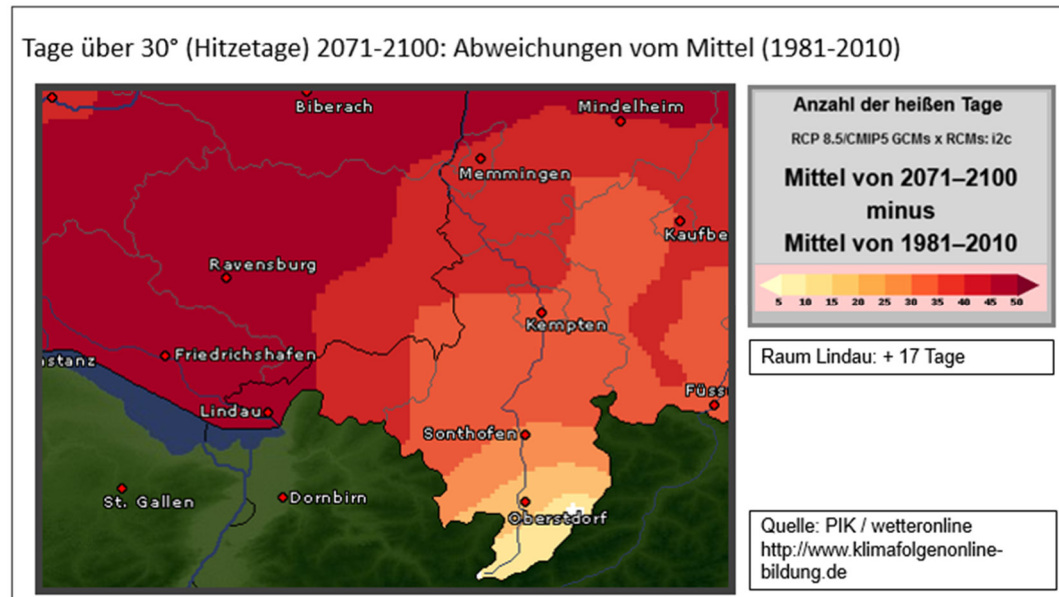


Abbildung 30 | Abweichung der durchschnittlichen Anzahl der Hitzetage für das bodenseenahe Alpenvorland für 2041-2070 (Quelle: PIK / wetteronline; <http://www.klimafolgenonline-bildung.de>).

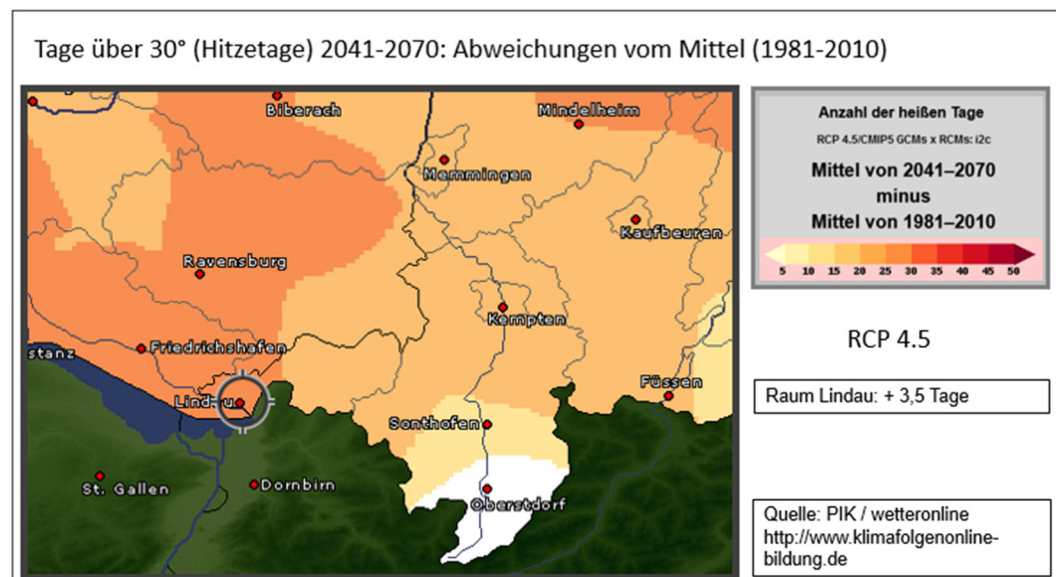


Abbildung 31 | Abweichung der durchschnittlichen Anzahl der Hitzetage für das bodenseenahe Alpenvorland für 2041-2070 im Klimaschutz-Szenario RCP4.5 (Quelle: PIK / wetteronline; <http://www.klimafolgenonline-bildung.de>).

Im Klimaschutzszenario (RCP4.5) werden für den Zeitraum von 2041-2070 nur 4,5 zusätzliche Hitzetage erwartet.

Im Rekordsommer 2003 wurden in Friedrichshafen 35 Hitzetage registriert, im bisher zweitwärmsten Jahr 2014 aber nur 5 Hitzetage; 2015 jedoch wurden an der Station Friedrichshafen 27 Hitzetage registriert, obwohl dieses im Jahresmittel deutlich kühler war als 2014. Dies zeigt, dass die reine Anzahl an Hitzetagen keinen Rückschluss auf den Jahresdurchschnitt des gesamten Jahres zulässt. Aber selbst bei einer geringen Zunahme des Jahresdurchschnitts steigt die Zahl der heißen Tage überproportional an (vergleiche dazu auch Abbildung 14). Diese Entwicklung wird selbst im Klimaschutzszenario weiter gehen.

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 Abnahme der Niederschlagsmengen abzeichnen (LfU 2012, PIK 2021), die sich auch auf die Jahresniederschlagssumme auswirken kann (vgl. Abbildung 32). 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. Der Vertrauensbereich des Mittels in Abbildung 32 (+/- 10 %, graues Band) berücksichtigt die natürliche Variabilität der Jahres- und Halbjahreswerte dieses Zeitraums und dient als Hinweis auf die Signifikanz des Änderungssignals (aus LfU 2012).

Die räumliche Verteilung der Niederschläge lässt ebenfalls keine eindeutige Prognose zu. Die Klimaprojektionen lassen hinsichtlich der Jahreszeiten einheitlich eine leicht zunehmende Sommertrockenheit sowie zunehmende Niederschläge im Winterhalbjahr erkennen (Abbildungen 33 und 34). Auf das gesamte Jahr gesehen liegen die Änderungen deutlich unter 10 %. Allerdings wird die räumliche Variabilität besonders der Sommerniederschläge zunehmen. Konvektionsbedingte Sommergewitter im Süden Bayerns sind räumlich eng begrenzt. Dies führt dazu, dass einzelne Landstriche Niederschlag bekommen und andere nicht. Diese Niederschläge werden im Mittel zunehmend intensiver (Starkregen) ausfallen.

Die **Niederschläge** zeigen in den Wintermonaten eine leichte Zunahme (gegenüber dem Mittel von 1981-2010).

Die **Variabilität** und die **Intensität** der Niederschläge werden zukünftig deutlich zunehmen.

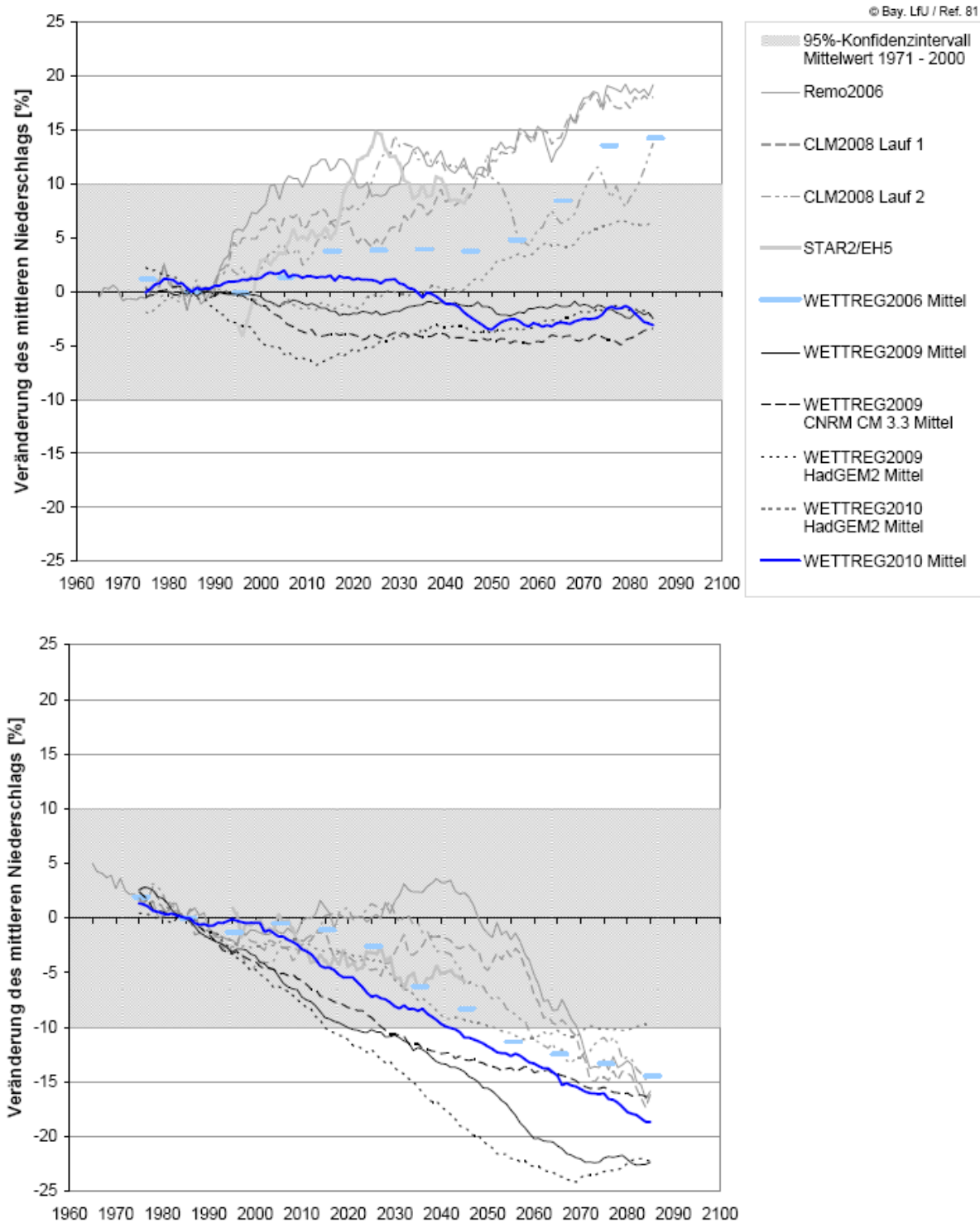


Abbildung 32 | Änderung des 30-jährigen gleitenden Mittels des Niederschlags in Bayern gegenüber der Periode von 1971-2000 für das hydrologische Winterhalbjahr (oben) und Sommerhalbjahr (unten) (Quelle LfU 2012).

Die Intensität der Niederschläge (Starkregen) lässt sich derzeit kaum modellieren, da sich konvektive Zellen (Gewitter) 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 als bisher auftreten werden.

Die Anzahl trockener Wochen (Trockenperioden über 7 Tage) wird im bodenseenahen Alpenvorland 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), die nordosteuropäischen Hochdruckwetterlagen mit ihren kalten Trockenphasen seltener.

Die folgenden Karten zeigen die räumlichen Muster der jahreszeitlichen Niederschlagsänderungen aufgeschlüsselt nach Jahreszeiten.

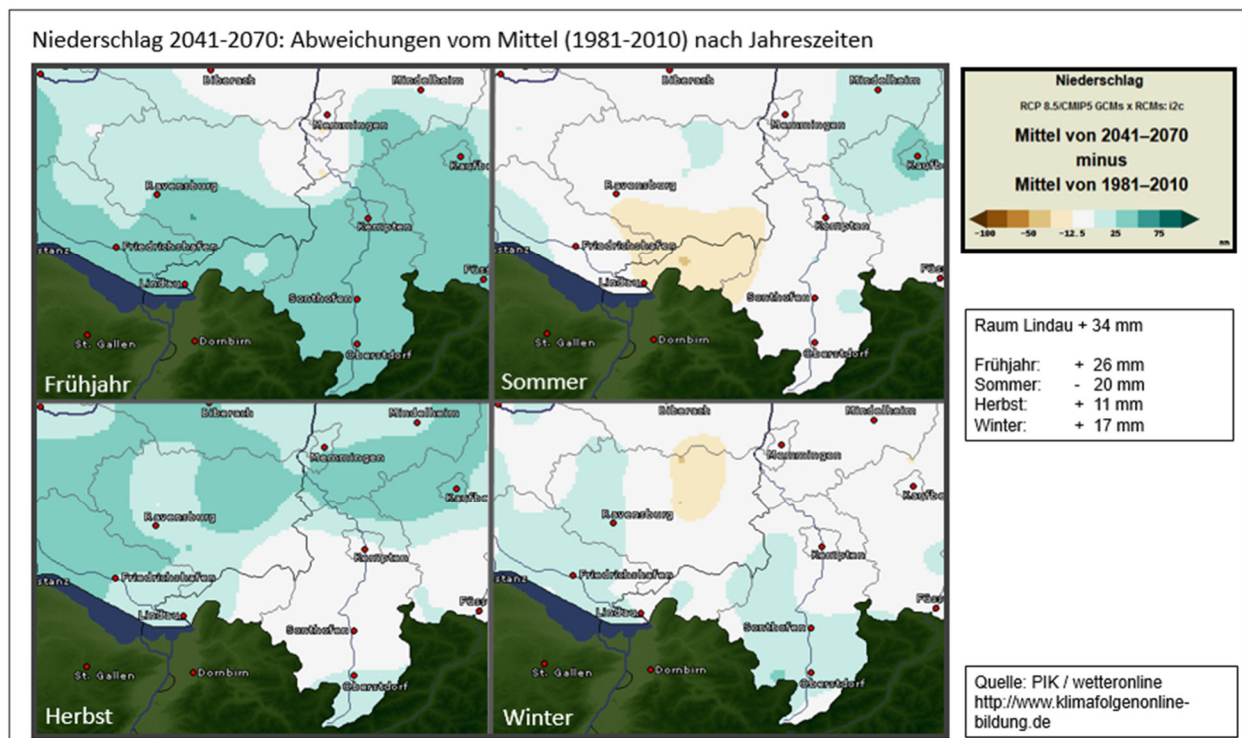


Abbildung 33 | Änderung der zu erwartenden Niederschläge für das Mittel 2041-2070 für die Jahreszeiten im Bodenseegebiet (Quelle: PIK / wetteronline; <http://www.klimafolgenonline-bildung.de>).

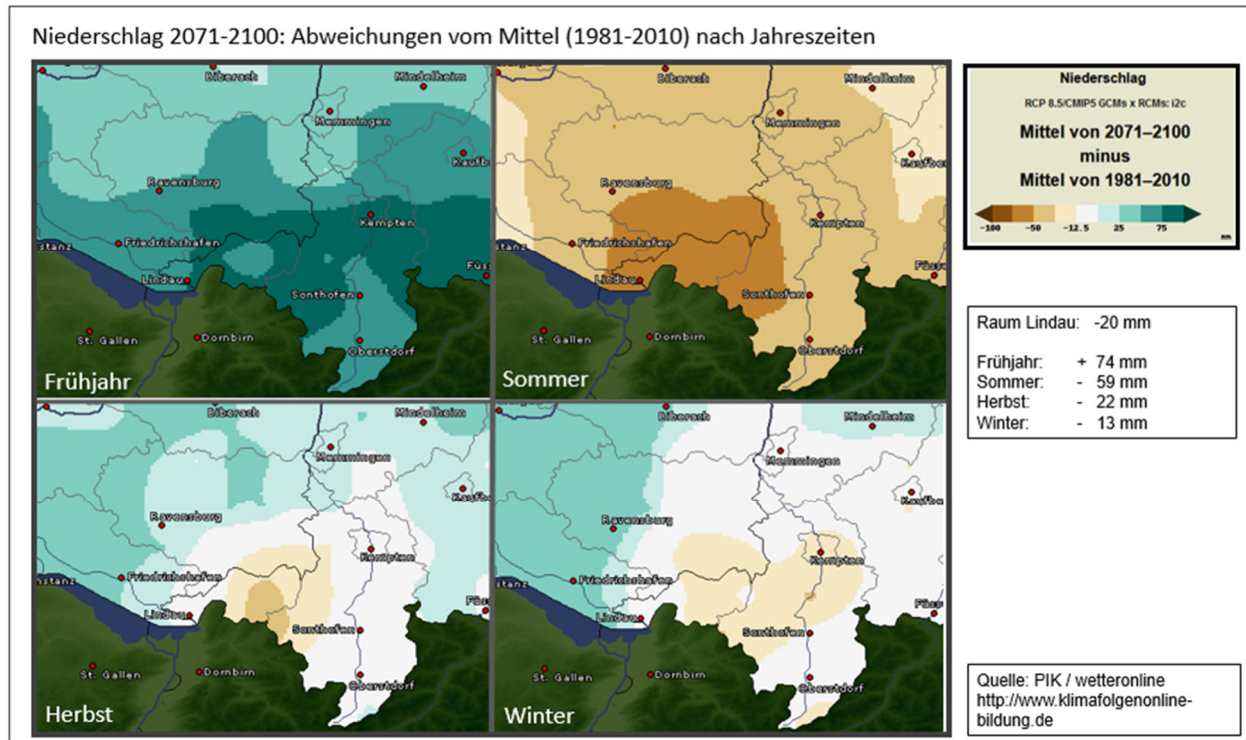


Abbildung 34 | Änderung der zu erwartenden Niederschläge für das Mittel 2071-2100 für die Jahreszeiten im Bodenseegebiet (Quelle: PIK / wetteronline; <http://www.klimafolgenonline-bildung.de>).

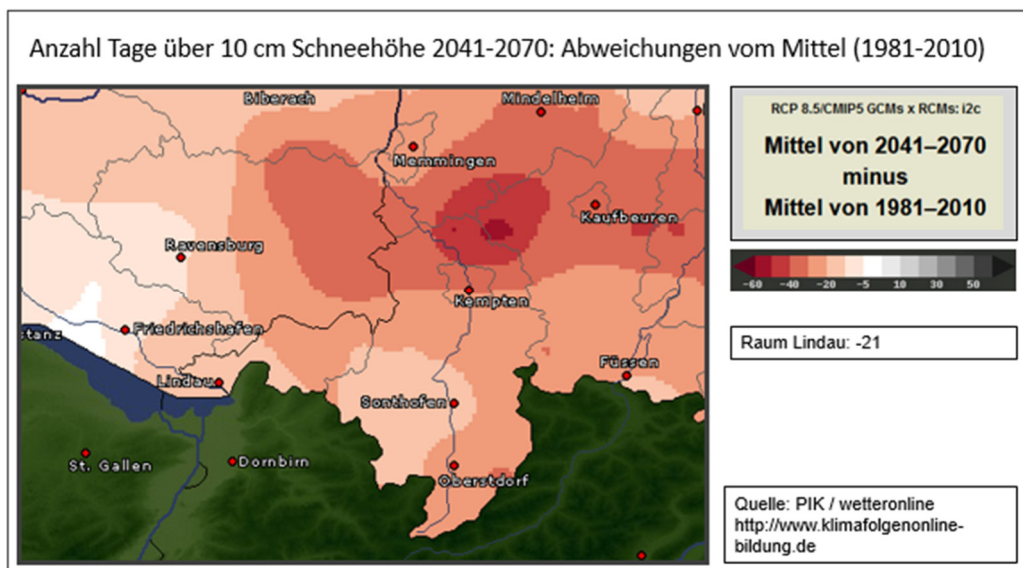


Abbildung 35 | Änderung der zu erwartenden Tage mit über 10 cm Schnee für den Zeitraum 2041-2070 im Vergleich zu 1981-2010 im bodenseenahen Alpenvorland (Quelle: PIK / wetteronline; <http://www.klimafolgenonline-bildung.de>).

Ein weiterer wichtiger Aspekt für die Stadt Lindau ist der Rückgang der Häufigkeit einer geschlossenen Schneedecke in den Wintermonaten.

Hier macht sich der Klimawandel besonders bemerkbar. Für den Zeitraum von 2041-2070 werden die Tage mit über 10 cm Schneehöhe um 21 pro Jahr im Mittel abnehmen (Abbildung 35).

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 geschildert, zunächst nur unwesentlich verändern. Die Verteilung über die Jahreszeiten aber wird deutlich differenzierter. Trockene Sommerperioden und feuchtere Winter werden für das bodenseenahe Alpenvorland und die Stadt Lindau charakteristisch. Die räumliche Variabilität der Sommerniederschläge wird ebenfalls zunehmen. Die Wasserverfügbarkeit im Boden nimmt daher zur Vegetationsperiode ab.

Durch die zunehmenden mittleren Tagestemperaturen und den gleichzeitig rückläufigen Niederschlag im Sommer und teilweise in den Übergangsjahreszeiten, verändert sich die sogenannte klimatische Wasserbilanz (Niederschlag abzüglich Verdunstung). Die Abbildung 36 zeigt die räumlichen Veränderungen der Wasserbilanz in der Projektionsperiode 2041-2070 gegenüber 1981-2010.

Die **klimatische Wasserbilanz** nimmt geringfügig ab, was auch eine leicht reduzierte Grundwasserneubildung zur Folge hat.

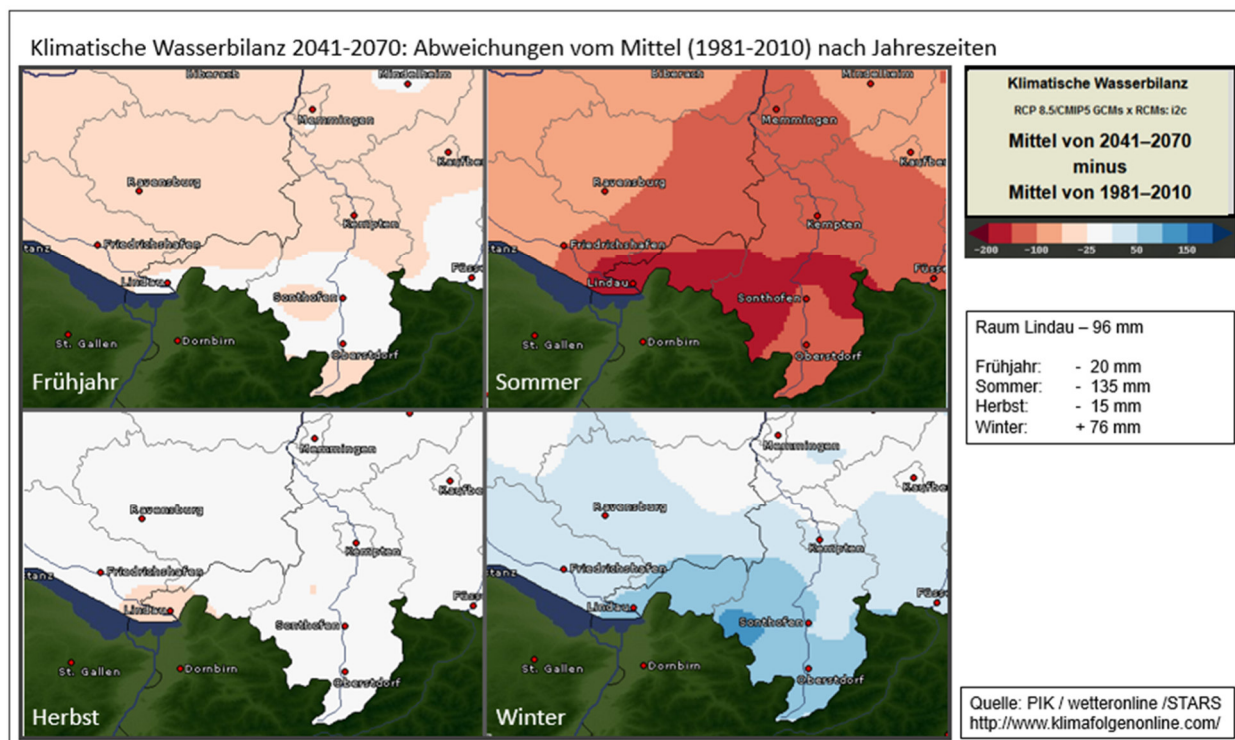


Abbildung 36 | Mittlere Änderung der klimatischen Wasserbilanz für den Zeitraum 2041-2070 im Vergleich zu 1981-2010
(Quelle: PIK / wetteronline; <http://www.klimafolgenonline-bildung.de>).

Lediglich im Winter ist eine Zunahme zu erwarten. Dies liegt an den erwarteten häufigeren Niederschlägen (vgl. Kapitel 3.3.2). Alle anderen Jahreszeiten sind von einem Rückgang der Wasserbilanz und damit auch einem Rückgang der Grundwasserneubildung geprägt. Die Grundwasserneubildung für Lindau ist aber insgesamt über das Jahr gesehen mit einem Rückgang von 37-50 mm nur schwach betroffen (Abbildung 37).

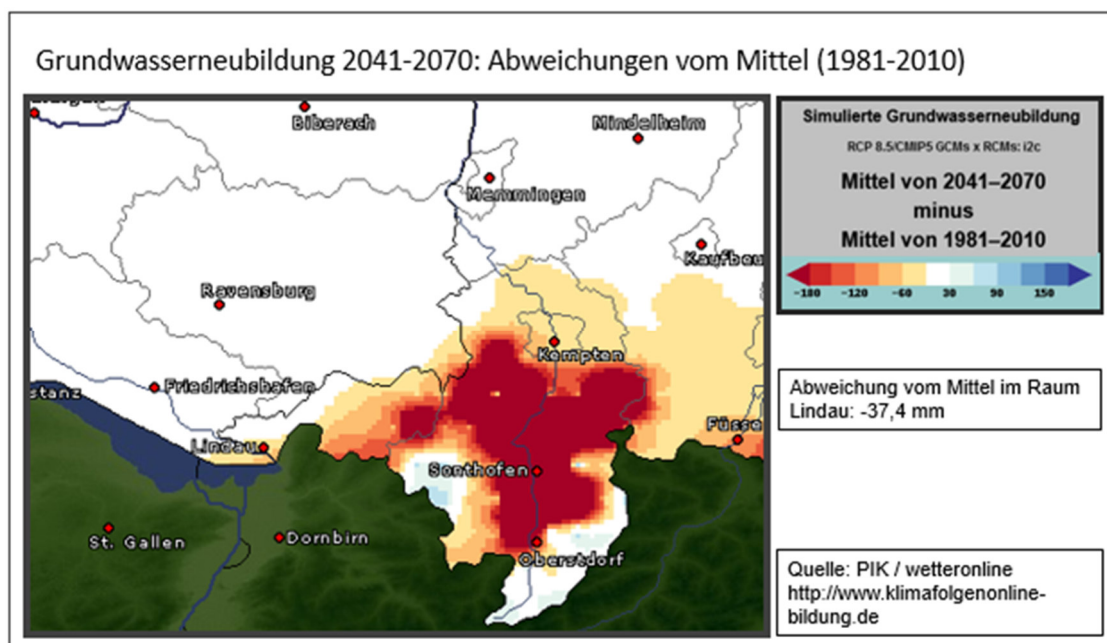


Abbildung 37 | Mittlere Änderung der Grundwasserneubildung für den Zeitraum 2041-2070 im Vergleich zu 1981-2010
(Quelle: PIK / wetteronline; <http://www.klimafolgenonline-bildung.de>).

4.2. Wasserversorgungssicherheit

Der künftige Wasserbedarf in der Stadt wird vermutlich konstant bleiben. 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 das untere Kreisgebiet hydrogeologisch wegen der dichten Ausbildung der Moränensedimente ein Gebiet mit kaum nutzbarem Grundwasserdargebot. Es wird im weiteren Umfeld der Stadt Lindau einschließlich der bayerischen Bodenseeanrainer über das Seewasserpumpwerk der Stadtwerke Lindau versorgt. Die Brunnenanlage des Zweckverbandes der Handwerksgruppe ist über einen leistungsfähigen Strang mit dem Seewasserversorgungsgebiet verknüpft und nimmt Not- und Regelversorgungsaufgaben wahr. Daher ist die

Versorgungssicherheit für die Stadt Lindau am Bodensee unter Vorbehalt gewisser zukünftiger Einschränkungen weiter gewährleistet (Abbildung 38). Weitere Erschließungsmaßnahmen werden aktuell aber nicht für notwendig erachtet (Reg. v. Schwaben 2015).

Wasserversorgungssicherheit

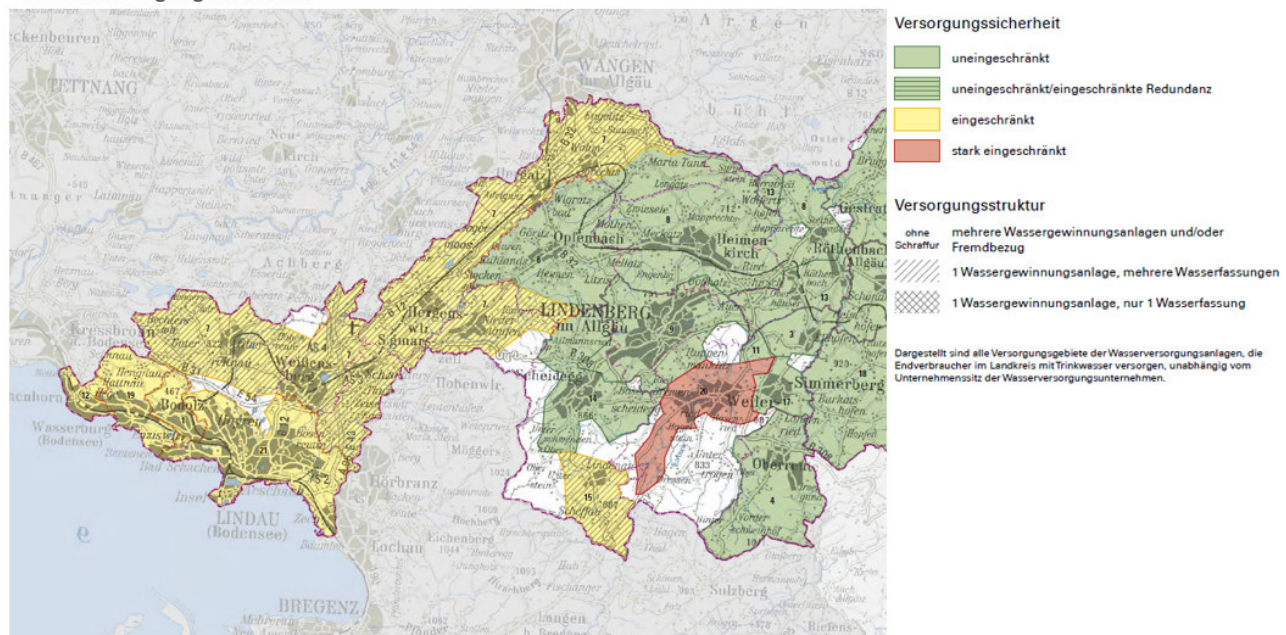


Abbildung 38 | Versorgungssicherheit im westlichen Landkreis Lindau (Quelle: Regierung von Schwaben 2015, Stand 2012; https://www.regierung.schwaben.bayern.de/Aufgaben/Bereich_5/Wasserwirtschaft_und_Wasserbau/WVB2025_Schwaben_2015-01-26_Web.pdf).

4.3. Hochwasser

Das Abflussverhalten wird entsprechend der oben genannten Niederschlagsverhältnisse ebenfalls andere Muster aufzeigen und im Winter 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 in Bayern ein 10-20 %iger Klimawandelzuschlag auf das 100-jährige Hochwasser aufaddiert und Maßnahmen werden entsprechend geplant). Im Bereich des Stadtgebietes von Lindau gibt es eine Reihe betroffener Flächen. Die Hochwassergefahrenkarte für das hundertjährige und das

Höhere Seespiegel im Winter führen zukünftig zu vermehrtem **Hochwasser** entlang der Uferregionen.

extreme Hochwasser (HQ100 und HQ extrem) zeigt entlang des Bodensees größere Überflutungen (Abbildung 39).

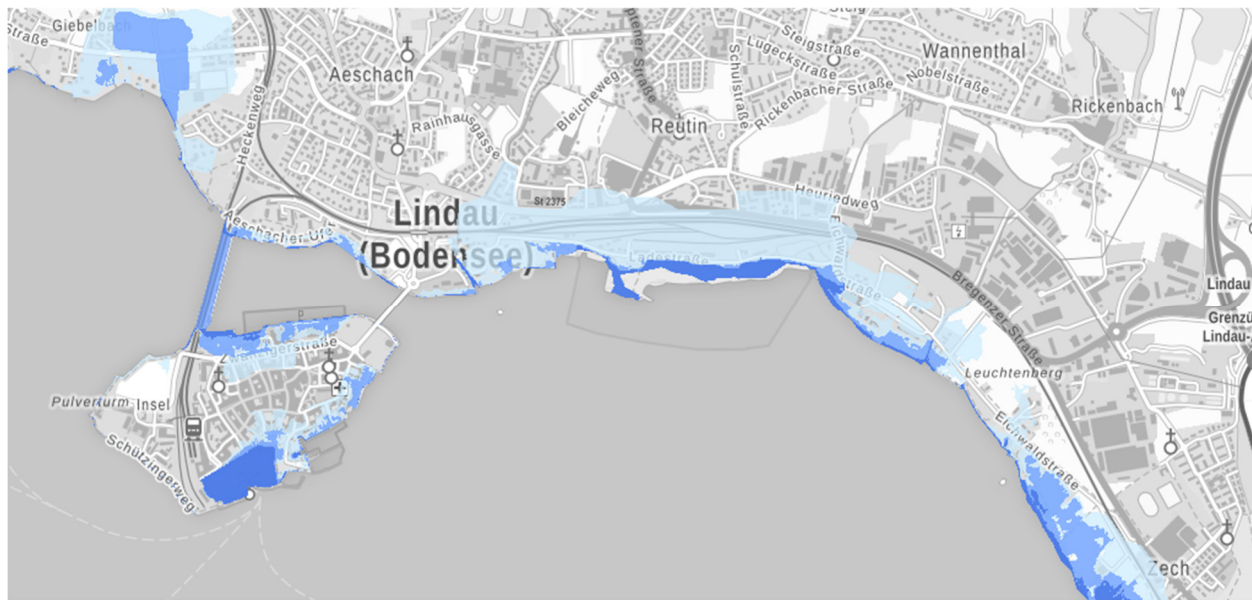


Abbildung 39 | Die Hochwasserstände in Lindau für ein hundertjähriges Hochwasser – HQ100 in Blau und ein extremes Hochwasser HQextrem in Hellblau (Quelle: IÜG Karten – Informationsdienst / Umweltatlas Bayern Überschwemmungsgefährdete Gebiete; https://www.umweltatlas.bayern.de/mapapps/resources/apps/lfu_naturnaturgefahren_ftz/index.html?lang=de&statelid=f4c9e540-f048-49ac-89e5-40f048a9acaa).

Bei einem extremen Hochwasser – womit in Zukunft gerechnet werden muss – (hellblaue Bereiche in den Abbildungen 39 und folgende) sind dann verschiedene Bereiche betroffen. Von Ost nach West sind dies:

- ▶ Gebäude am „Innerer Siedlerweg“, „Grenzsiedlung“ jeweils die äußerste Reihe; gesamte Kleingartenanlage und Campingplatz
- ▶ Gebäude südl. Heuried Weg zwischen Blaukreuzstr. und Eichwaldstraße; Bahnhof Reutin
- ▶ Gebiet zwischen Bregenzer Straße und See; Gebäude zwischen Rainhausgasse (südl. anschließend), Tanhofweg und Bleicheweg
- ▶ Gebäude am Aschacher Ufer
- ▶ Gebäude östl. Liebträgerweg; Gruberweg; Wackerstr.
- ▶ Auf der Insel das Gebiet zwischen Zwanzigerstr. und in der Grub von Paradiesplatz bis Alter Schulplatz und die Flächen seeseitig der Fischergasse und teilweise die Gebäude südl. der Ludwigstr.

4.4. Starkregen

Neben Hochwasser können extreme Niederschläge (Starkregen) auch in seefernen Gebieten zu größeren Schadensereignissen führen. Selbst bei kleinsten Wasserläufen wie der Oberreitnauer Ach oder der Motzacher Tobelbach können Flutwellen bei Extremereignissen zu großen Schäden führen. Große Niederschlagsmengen in kürzester Zeit überfordern jegliche Abflussinfrastruktur, so dass Rückstaus in kommunalen Entwässerungssystemen, Überschwemmungen von Straßen, Unterführungen, Kellerräumen und Tiefgaragen zu großen Schäden führen können. Extreme bzw. katastrophale Folgen hatten mehrere Starkregenereignisse z.B. im Jahr 2016 in Braunsbach (BW), Simbach am Inn (BY), Schwäbisch Gmünd (BW) oder Nierendorf (RLP), wo sich unauffällige Bäche in reißende Ströme verwandelt haben. Aber selbst ohne beteiligte Wasserläufe können Starkregen katastrophale Ausmaße annehmen. Beispielsweise wurde am 28. Juli 2014 die Stadt Münster (NRW) von einem Starkregen betroffen. In der Spitze fielen hier innerhalb von 7 Stunden 292 mm Niederschlag (292 Liter/m²). In der Folge stand in großen Teilen der Stadt das Wasser über 50 cm hoch auf den Straßen. Die Besonderheit von Starkregenereignissen ist, dass sie räumlich sehr begrenzt auftreten und daher kaum vorherzusagen sind. Im Falle von Münster waren nur wenige Kilometer entfernt nur noch 25 mm Niederschlag registriert worden.

Starkregen sind Niederschläge von über 17 mm pro Stunde (17 Liter/m²h).

Starkregenrekorde:

1920 Füssen: 126 mm in 8 min

2014 Münster: 292 mm in 7 h

2002 Zinnwald: 312 in 24 h

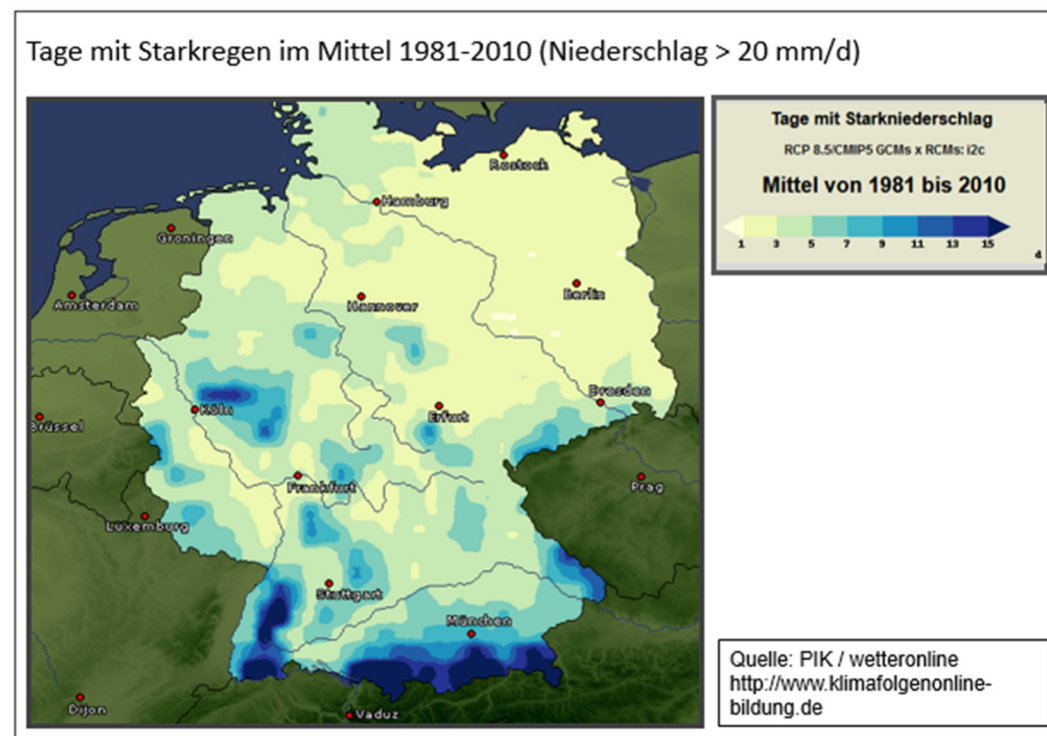


Abbildung 40 | Verteilung der Starkregentage in Deutschland zwischen 1981 und 2010.
(Quelle: PIK / wetteronline; <http://www.klimafolgenonline-bildung.de>).

Abbildung 40 zeigt die Starkregenverteilung in Deutschland zwischen 1981 und 2010. Es ist ersichtlich, dass es sich zwar um eine diffuse Verteilung handelt, aber im Alpenvorland deutlich häufiger Tage mit Starkregenereignissen auftreten (vgl. die dunkelblauen Gebiete). Lindau liegt daher im Bereich einer vergleichsweise erhöhten Starkregenwahrscheinlichkeit. Aus der Naturgefahrenbilanz des Gesamtverbandes der Deutschen Versicherungswirtschaft geht konsequenter Weise hervor, dass die Versicherer in Deutschland für Schäden durch Sturm, Hagel und Starkregen besonders in Bayern mit Abstand am meisten Schäden zu regulieren haben (Abbildung 41).

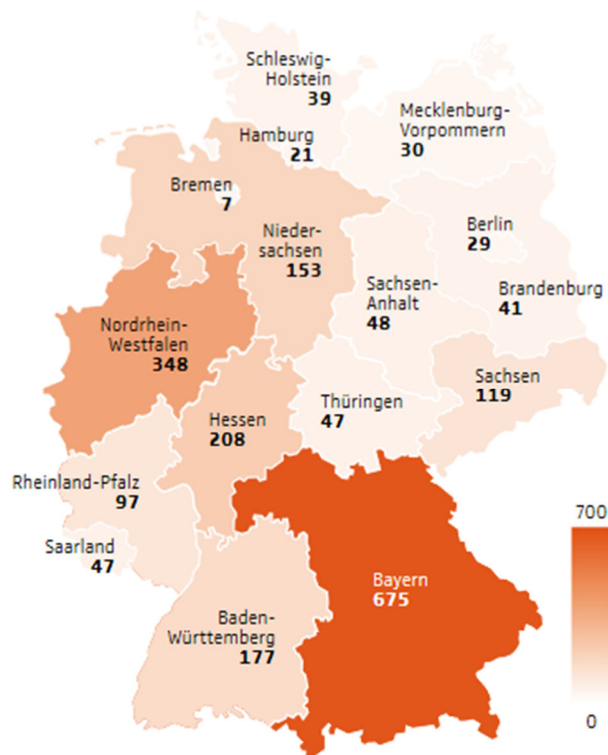


Abbildung 41 | Schadenssummen für Sturm, Hagel und erweiterte Naturgefahren 2019 pro Bundesland in Mio. Euro. (Quelle: GDV 2020).

Die Temperaturerhöhung führt generell zu höheren Energieumsätzen in der Atmosphäre. Besonders konvektive Niederschläge (Wärmegewitter) setzen bei höheren Temperaturen mehr Kondensationswärme frei, wodurch die Luftmassenerwärmung und damit die Konvektion wieder weiter verstärkt werden. Dies resultiert in einer verstärkten Hagelbildung sowie höheren Windgeschwindigkeiten im Umfeld der Gewitterzelle. Diese Dynamik kann sich überall einstellen, findet aber im Alpenvorland reliefbedingt deutlich häufiger ideale Bedingungen. Daher mag zwar die Niederschlagssumme auch bei weiterer Klimaerwärmung nicht zunehmen,

aber die Intensität der Niederschläge wird bei zunehmender Variabilität (örtlich und zeitliche Schwankungen) ansteigen.

4.5. Bodenerosion

Die Bodenerosion wird durch intensivere Niederschläge in Zukunft weiter deutlich zunehmen (bereits jetzt sind ca. ein Viertel der Böden in Deutschland gefährdet). Im Rahmen von KLIWA wurden Modelle zur Bestimmung von Erosionsrisiken berechnet. Simulationen zeigen, dass ab einer Niederschlagsintensität von 37 mm/Stunde der Bodenabtrag exponentiell zunimmt. Bei nur 6 mm/h mehr (also 43 mm/h) verzehnfacht sich der Bodenabtrag (Abbildung 42).

Da im Stadtgebiet von Lindau kaum Ackerbau betrieben wird, sondern Grünlandwirtschaft (46,5 % der Fläche) und Forstwirtschaft (18 % der Fläche) vorherrschend sind, ist die Gefahr der Bodenerosion durch zumeist bewachsene Oberflächen vermindert. Dennoch muss an Hängen der Moränenzüge bei intensiven Niederschlägen mit Erosion und gegebenenfalls Massenbewegungen (vgl. 4.3) gerechnet werden.

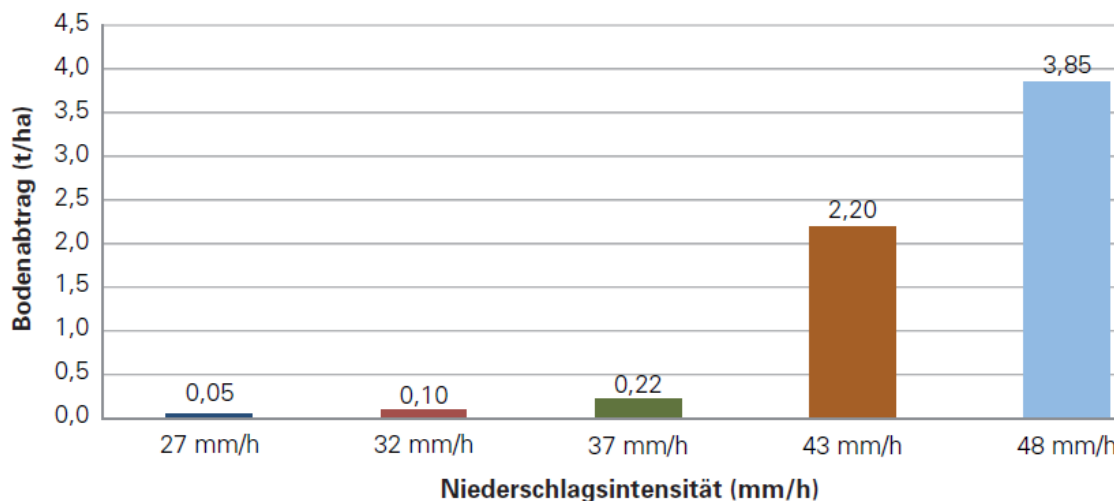


Abbildung 42 | Zunahme der Bodenerosion durch intensive Niederschläge (aus KLIWA 2012 – im Rahmen von KLIWA modellierter Starkregen und die Auswirkung auf den Bodenabtrag auf der Basis von Daten des Erosionsmodells LISEM). Deutlich erkennbar ist, dass ab 37 mm/h der Bodenabtrag signifikant zunimmt.

4.6. Massenbewegungen

Für das Stadtgebiet von Lindau sind seit 2011 mehrere Hangrutschungen mit Schadensfolgen dokumentiert (vergleiche Abbildung 43 Punkte 1-3):



Abbildung 43 | Hangrutschungsereignisse in der jüngeren Vergangenheit seit 2011. Die Punkte 1-3 waren dokumentierte Hangrutschungsereignisse mit Schäden, wohingegen die Ereignisse (rote Dreiecke) entlang des Motzacher Tobelbachs (ohne Punktbezeichnung) ohne Schäden abgelaufen sind (Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt / BayernAtlas unter: <https://geoportal.bayern.de/bayernatlas>).

Bei Punkt 1 wurde durch Starkregen ca. 150 m von der Einmündung Oberrengersweilerweg / Am Schönbühl ein Hangrutsch ausgelöst der einen städtischen Regenwasserkanal und Teile der asphaltierten Straße zerstörte. Hier war eine kurzfristige Vollsperrung notwendig.

Bei Punkt 2 ist auf einer Länge von ca. 30 m und einer Breite von 3 m die Böschung mitsamt der asphaltierten Straße abgegangen.

Bei Punkt 3 ist entlang der Ach die Böschung auf einer Länge von ca. 50 m abgerutscht. Der Weg, der auch zum Regenrückhaltebecken führt, musste wegen des Abbruchs um 1,5 m verlegt werden.

Dies zeigt, dass Hänge auch im Lindauer Stadtgebiet potenziell gefährdet sind. In Abbildung 44 sind ausgewiesene Risikogebiete vom Bayerischen Landesamt für Umwelt definiert worden (Gefahrenhinweissbereiche – Georisiken) und in einer reliefierten Karte dargestellt. Auf diese Weise erkennt man gut den Zusammenhang zwischen Relief (Hänge) und der Anfälligkeit für Rutschungen. Der größte Bereich ist am Motzacher Tobelbach auf der Höhe von Streitelsfingen als Risikogebiet für



Rutschungsanfälligkeit identifiziert worden (orangene Flächen). Weiter sind in roten Flächen Risikobereiche für Steinschlag und Blockschlag markiert (Abbildung 44). Auf die Gesamtfläche der Stadt Lindau bezogen ist das Problem von Massenbewegungen aufgrund der übersichtlichen Reliefsituation als eher gering einzuschätzen.

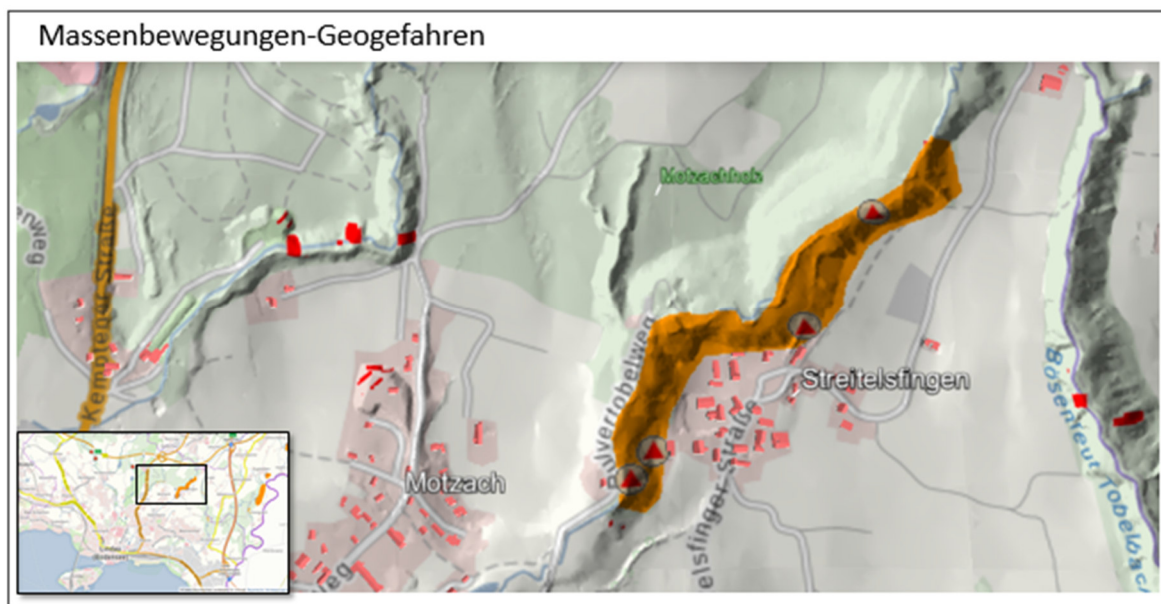


Abbildung 44 | Gefahrenhinweisflächen für Hangrutschungen (orange Flächen) und Risikobereiche für Steinschlag und Blockschlag (rote Flächen) (Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt / BayernAtlas unter: <https://geoportal.bayern.de/bayernatlas>).

Der Oberflächenabfluss, der zunächst in Niederungen und letztendlich in den Flüssen landet und damit unmittelbar zu den Hochwasserereignissen beiträgt, nimmt zum einen wegen Nutzungsänderungen in der Landwirtschaft aber auch besonders durch steigende Flächenversiegelung zu. In Deutschland werden seit 1992 durchschnittlich täglich 180 ha (ca. 257 Fußballfelder) Fläche durch Baumaßnahmen versiegelt. 2009 wurden erstmals 80 ha pro Tag unterschritten. 2015-2018 waren es nur noch 56 ha (80 Fußballfelder) (Umweltbundesamt 2020). Das Ziel, das die Bundesregierung mit ihrer Nachhaltigkeitsstrategie aus dem Jahr 2002 formuliert hat, lag bei 30 ha für das Jahr 2020. Da dieses Ziel nicht erreichbar schien, wurde es 2016 auf das Jahr 2030 verschoben.

Die Siedlungs- und Verkehrsfläche in Lindau betrug 2018 31,5 % der Gesamtfläche von 3306 ha (BLfStD 2019). Die derzeitige jährliche Zunahme seit 2011 liegt bei durchschnittlich 12 ha im Jahr. Dies bedeutet, dass in Lindau pro Jahr etwa 5,4 ha vollständig durch Straßen und Bauwerke versiegelt werden (in der Kategorie Siedlungs- und

Flächenversiegelung ist ein wesentlicher Baustein, wodurch Starkregen- und Hochwasserschäden signifikant verstärkt werden.

In den letzten 9 Jahren wurden pro **Einwohner** in Lindau **20 m² Fläche** versiegelt.

Verkehrsfläche beträgt der tatsächlich versiegelte Anteil etwa 47 %). Dies entspricht 2,2 m² pro Einwohner pro Jahr in der Stadt Lindau.

4.7. Treibholzanfall

Die zunehmend höhere Wahrscheinlichkeit für intensive Niederschlagsereignisse kann zu erhöhtem Treibholzanfall führen. 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 (WWA Kempten 2020). 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. Abbildung 26). Es muss damit gerechnet werden, dass sich angesichts verstärkter Starkregen in Zukunft die Jahre mit hohen Treibholzmengen häufen werden (vgl. Kapitel 3.3.2).

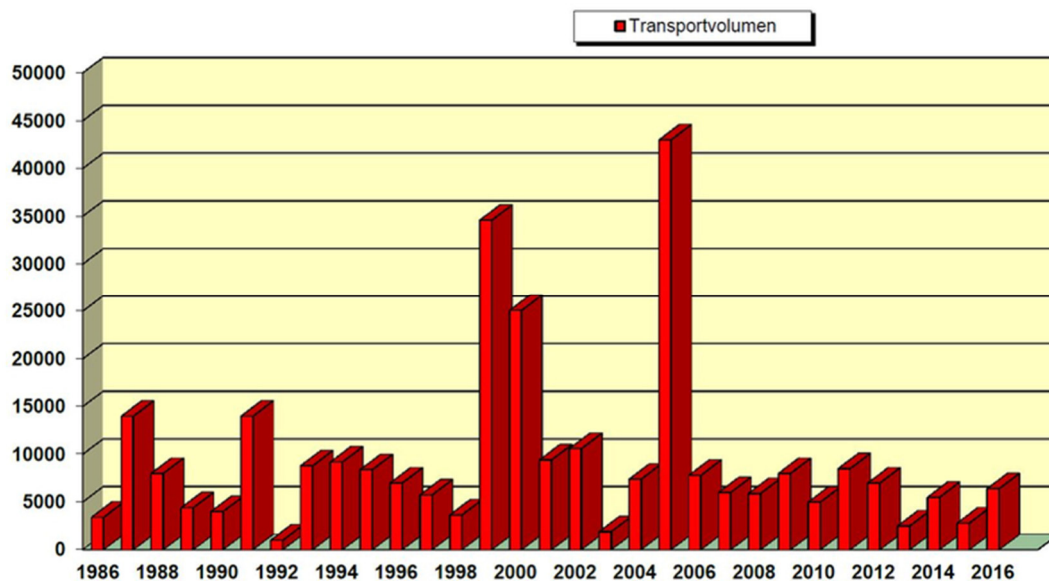


Abbildung 45 | Treibholzaufkommen am bayerischen Bodenseeuferr (Lindau, Wasserburg und Nonnenhorn) (Quelle: WWA-Kempten; online unter: https://www.wwa-ke.bayern.de/fluesse_seen/massnahmen/bodensee_treibholz/index.htm).

4.8. 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 Abbildung 46.

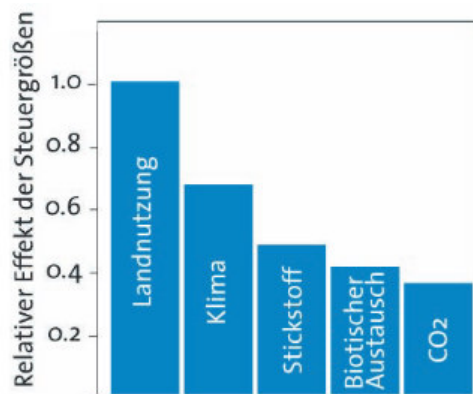


Abbildung 46 | Der Einfluss verschiedener Steuergrößen auf die aktuellen globalen Biodiversitätsverluste (aus LfU nach Sala et al. 2000).
Man erkennt die herausragende Bedeutung der Landnutzung.

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 wie beispielsweise das indische Springkraut – und damit einhergehend der Verlust einzelner Wechselbeziehungen z.B. die nicht mehr vorhandene Synchronisierung zwischen Pflanzen und spezialisierten Bestäubern, 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), Waldsterben, ...). Wie sich die erwarteten Veränderungen im Detail auf die Ökosysteme auswirken und wie Reaktionen im Einzelnen aussehen werden, ist aufgrund der Komplexität der Materie für Bayern noch 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 1.500 Forschungsarbeiten. Eine Studie von Warren et al. 2018 in Science legt nahe in wie weit sich die Unterschiede der globalen Erwärmung auf die Artenvielfalt auswirken werden. Daraus geht hervor, dass bei einer Erwärmung um 2° 8 % der Wirbeltierarten verschwinden werden. 16 % der Pflanzenarten und 18 % aller Insektenarten werden mit hoher Wahrscheinlichkeit aussterben. Bei einer Erwärmung von 3,2° erhöhen sich diese Anteile dramatisch auf 26 % der Wirbeltiere, 44 % der Pflanzenarten und 49 % der Insekten. Die Herausforderung ist daher immens und von höchster Bedeutung für zahlreiche Anpassungsstrategien.

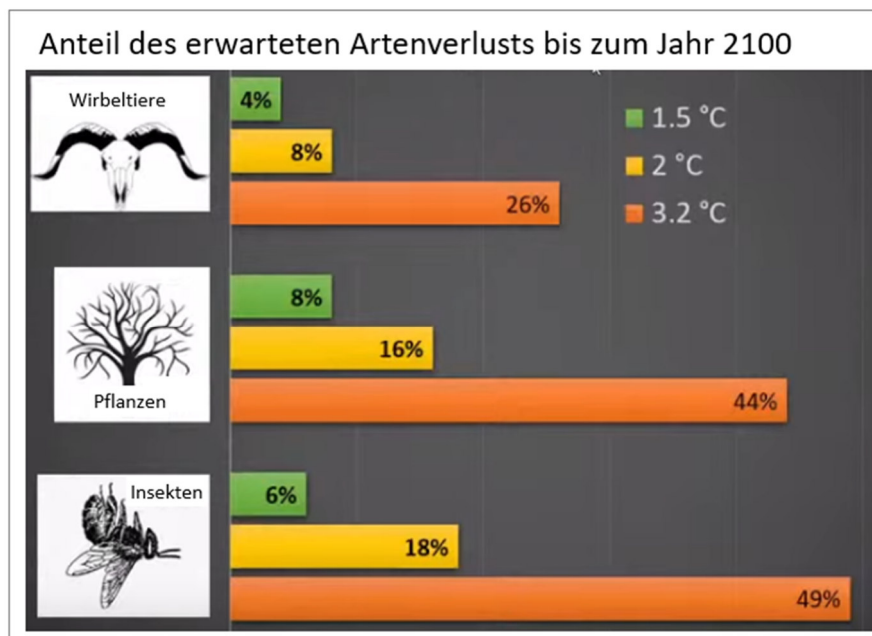


Abbildung 47 | Die Veränderung der Artenvielfalt in Abhängigkeit der Erwärmung bis zum Jahr 2100, nach Steinberger 2021 aus Warren et al. 2018).

4.9. Vegetation

Die offensichtlichsten Veränderung bei der Vegetation sind die Veränderungen der Entwicklungsstadien (Phänologie), wie z.B. die Blüte- oder die Blättentfaltung bei Gehölzen. Gegenüber dem Mittel von 1960-1991 beginnt derzeit der Vorfrühling (Haselblüte) im Durchschnitt von 1991-2019 16 Tage früher. Ähnlich verhält es sich mit der Holunderblüte im Frühsommer, die im Schnitt 11 Tage früher stattfindet (vgl. auch Abbildung 48). Auch der Frühherbst (Früchte des Schwarzen Hollunder) setzt durchschnittlich 14 Tage früher ein.

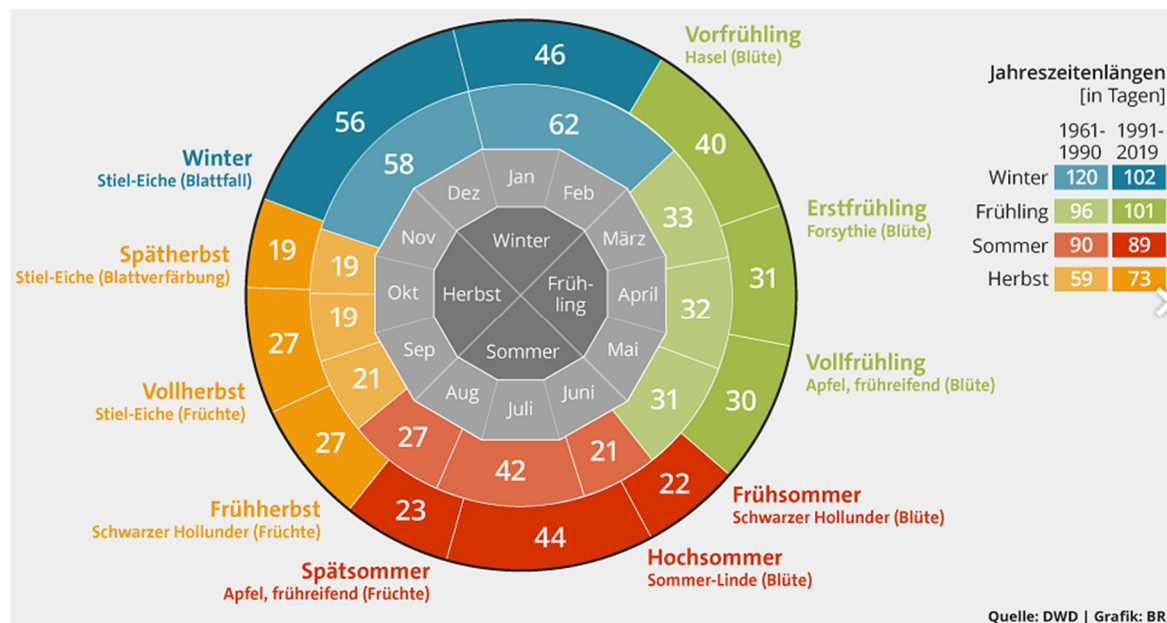


Abbildung 48 | Die Veränderung der Phänologie als Beispiel veränderter Jahreszeiten in Deutschland (Daten DWD, Quelle Bayerischer Rundfunk, download 04/2021 unter: https://www.br.de/klimawandel/bayern-temperaturen-rekorde-klimawandel-100~_image-37_-714e255db7a31f220f8b571c0de6bf00725072ff.html).

Auf der Basis der modellierten Klimadaten können auch die phänologischen Entwicklungen abgeschätzt werden. Die Blättentfaltung der Eiche beispielsweise findet zunehmend früher statt. Im Vergleich zum Referenzzeitraum findet die mittlere Blättentfaltung der Eiche in der Region um Lindau im Betrachtungszeitraum von 2041-2070 um ca. 12 Tage früher statt (Abbildung 49). Bei der Buche ist es dagegen nur ca. 6-7 Tage früher.

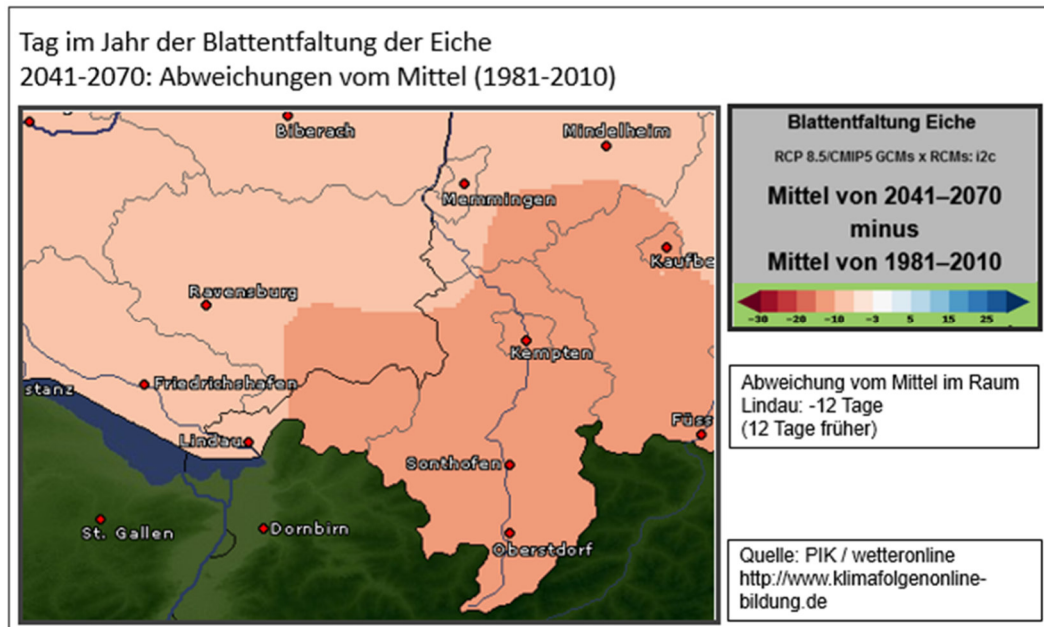


Abbildung 49 | Die Veränderung der Phänologie am Beispiel der Blatentfaltung der Birke. Differenz von 2041-2070 zum Referenzzeitraum 1981-2010 (Quelle: PIK / wetteronline; <http://www.klimafolgenonline-bildung.de>).

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 mindern wird, und dieser Effekt einen möglichen CO₂-Effekt mindestens ausgleichen wird (Beierkuhnlein & Foken 2008).

Mit zunehmender Vegetationszeit in Zukunft steigt die Gefahr von Spätfrostschäden.

4.10. Auswirkungen auf die Forstwirtschaft

Wälder bedecken mit 596 ha etwa 18 % der Fläche der Stadt Lindau. Sie erfüllen 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. Von 2011 bis 2018 hat diese um insgesamt 39 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 flachwurzelnende Fichte reagiert als Baumart der kühlen niederschlagsreichen Klimazonen empfindlich auf Wassermangel in der Vegetationsperiode vom Frühjahr bis in den Herbst hinein (Bayerische Forstverwaltung 2013). Die folgende Abbildung 50 der Klimahülle der Fichte (*Picea Abies*) zeigt, dass die Standorte in der Region um Lindau aktuell außerhalb der Anforderungen der Fichte liegen (grüne Fläche). Lindau befindet sich im Schnittpunkt der beiden schwarzen Geraden bei 9,5°C und 1406 mm Niederschlag. Bei ausreichendem Wasserangebot im Sommer sollte diese Situation für die Fichte nur geringe Probleme bereiten.

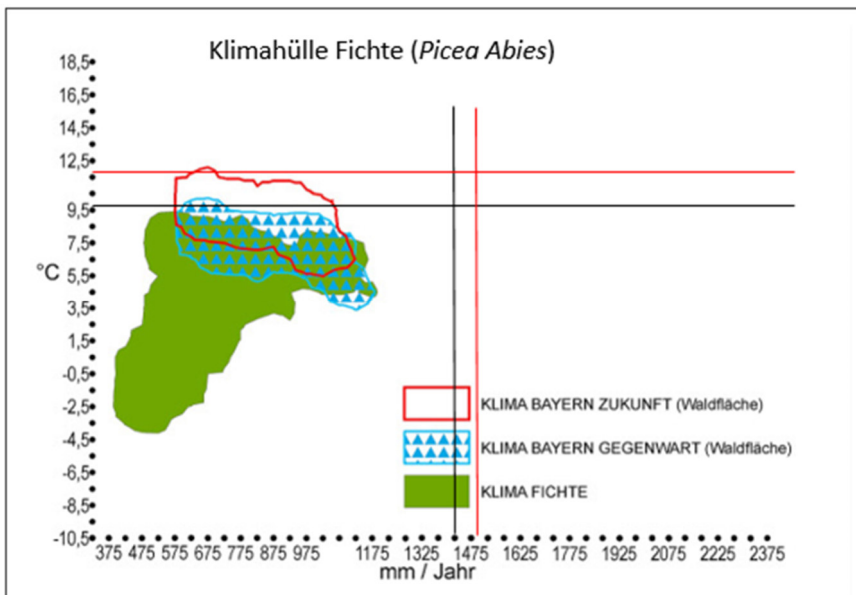


Abbildung 50 | Klimahülle der Fichte (*Picea Abies*) Quelle: LWF (2007) (online unter: <http://www.lwf.bayern.de/boden-klima/baumartenwahl/015506/index.php/>).

Eine weitere Erwärmung verschiebt die Standorte aus dem Klimafenster der Fichte. Das zukünftige Klima von Lindau (2041-2070 RPC8.5) liegt im Schnittpunkt der beiden roten Geraden.

Die Weißtanne ist für den Klimawandel deutlich besser gerüstet. Die Abbildung 51, Abbildung 52 und 53 bilden die Klimahüllen von Weißtanne, Buche und Douglasie ab.

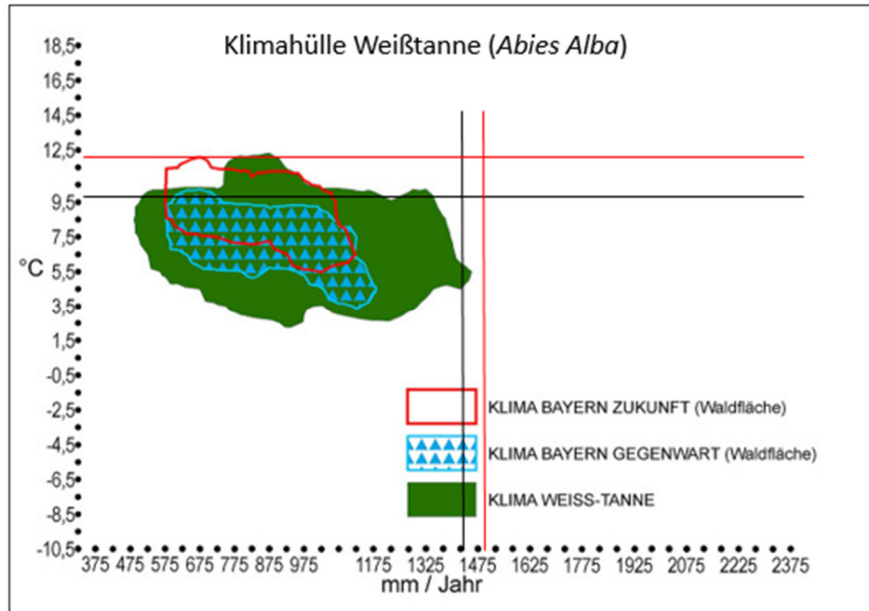


Abbildung 51 | Klimahülle der Weißtanne (*Abies Alba*) Quelle: LWF (2007) (online unter: <http://www.lwf.bayern.de/boden-klima/baumartenwahl/015506/index.php/>).

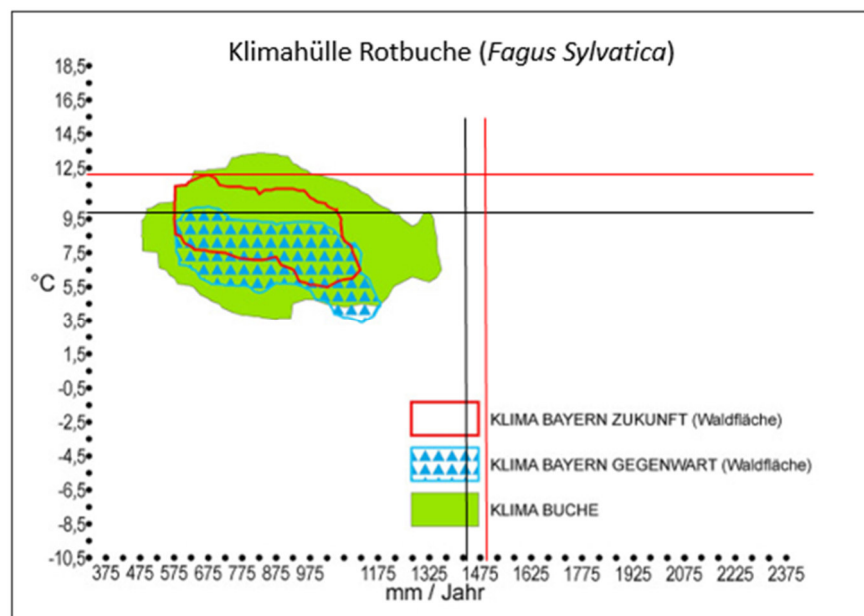


Abbildung 52 | Klimahülle der Rotbuche (*Fagus Sylvatica*) Quelle: LWF (2007) (online unter: <http://www.lwf.bayern.de/boden-klima/baumartenwahl/015506/index.php/>).

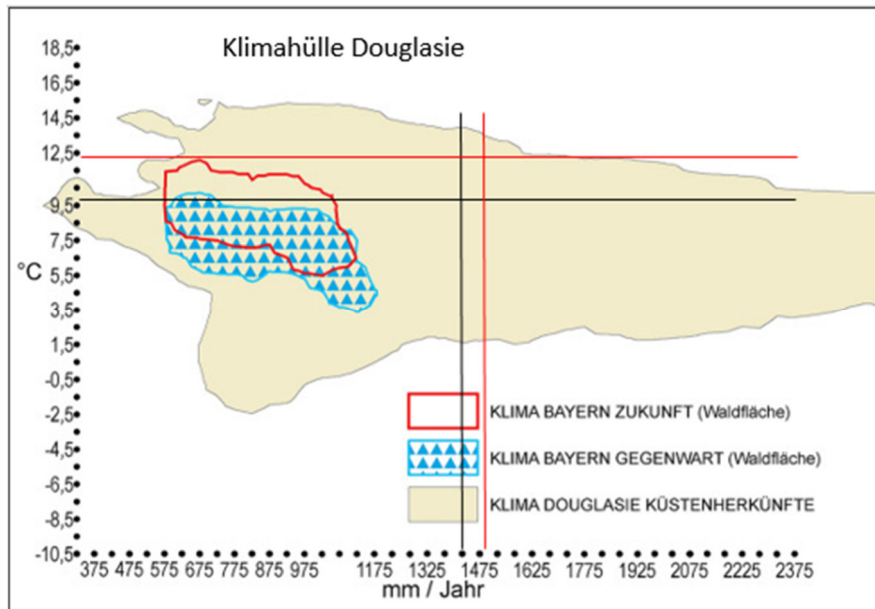


Abbildung 53 | Klimahülle der Douglasie. Quelle: LWF (2007) (online unter: <http://www.lwf.bayern.de/boden-klima/baumartenwahl/015506/index.php/>).

Dabei wird deutlich, dass diese Baumarten etwas besser mit den prognostizierten Klimabedingungen in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts zurechtkommen als Fichten. Sowohl der Anteil an Weißtannen und Douglasien als auch jener an Buchen und weiteren Edellaubholzarten wird deshalb in bayerischen Waldgebieten seit Jahren sukzessive erhöht. Dieser Waldumbau hin zum Mischwald hilft dabei, die Wälder besser an den Klimawandel anzupassen, erfordert jedoch zugleich ein verbessertes Wildtiermanagement, da Laubbaumarten und Weißtannen – im Vergleich zur Fichte – ungleich stärker von Wildverbiss betroffen sind.

4.11. Auswirkungen auf die Wassertemperatur des Bodensees

Die Temperatur der oberen Wasserschichten ist sehr stark von der Lufttemperatur abhängig, wie die Korrelation in Abbildung 54 zeigt. Die Jahresmittelwerte der Oberflächenwassertemperatur des Bodensees lagen im Zeitraum von 1990 bis 2019 um 1,2°C höher als in der Vergleichsperiode von 1962 bis 1989 (IKGB-2020). Im Tiefenwasser fällt dieser Temperaturanstieg geringer aus. Modellrechnungen für die Bodenseetemperatur um 2050 (Oberflächenwasser) zeigen im Vergleich zum Zeitraum von 1981 bis 2010, in Abhängigkeit des Klimaszenarios,

einen Anstieg der Oberflächenwassertemperatur zwischen 1,3°C und 2,2°C (L. Răman et al., Gaudard et al. 2019).

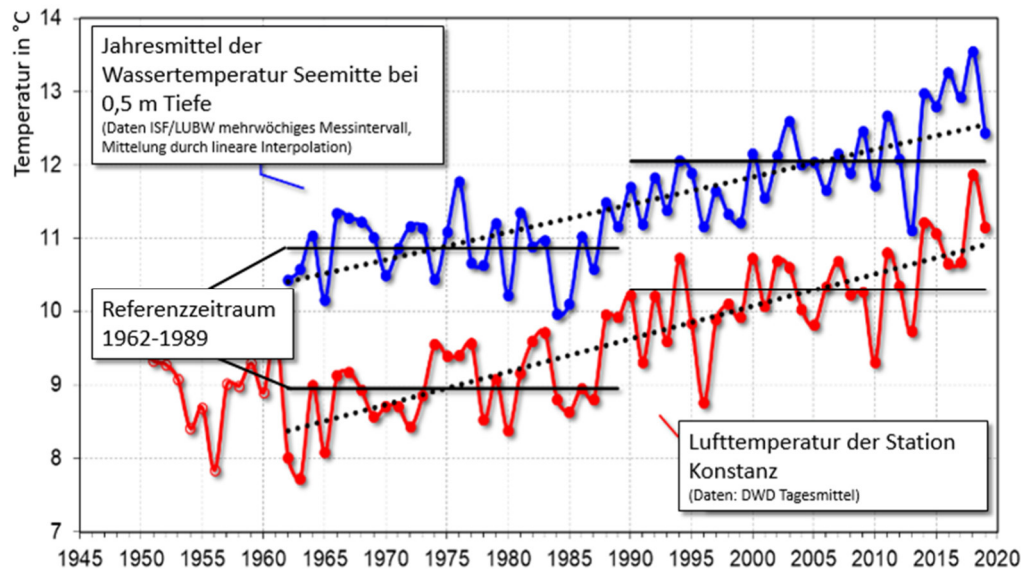


Abbildung 54 | Entwicklung der Luft- und Wassertemperatur des Bodensees bei Konstanz (Quelle: aus IGKB 2020) (online unter: https://www.igkb.org/fileadmin/user_upload/dokumente/aktuelles/Faktenblaetter/Faktenblatt_Klimawandel_final.pdf).

Längere und wärmere Sommer sowie kürzere und mildere Winter verstärken und verlängern die thermische Schichtung. Eine vollständige Zirkulation der Wasserschichten wird seltener, was sich wiederum auf den Sauerstoff- und Nährstoffgehalt des Wassers auswirkt. Dies sowie die steigenden Wassertemperaturen haben zur Folge, dass spezialisierte Arten zunehmend zurückgehen und verschwinden werden, wohingegen Generalisten und gebietsfremde Arten sich zunehmend ausbreiten werden. Diese Veränderungen haben Folgen für die Ökosysteme wie auch für die Fischerei.

Die Entwicklung der letzten Jahre zeigt, dass die Wasserstände im Winter zunehmend höher und im Sommer immer tiefer werden. Die Gründe dafür sind vielfältig und reichen von einer verminderten, vorübergehenden Speicherung der Winterniederschläge in Form von Schnee, Veränderungen der sommerlichen Verdunstung sowie der saisonalen Niederschlagsverteilung bis zum Ausbau der Kraftwerk-Speicher im alpinen Einzugsgebiet des Bodensees (IGKB 2020). Wenn man die gezeigten Aussichten für die klimatische Entwicklung berücksichtigt, dann wird sich die Tendenz zu tieferen Wasserständen im Sommer und höheren Wasserständen im Winter weiter fortsetzen. Auswirkungen für die ufernahen Ökosysteme könnten problematisch werden. Auch der

Tourismus wäre insbesondere durch sehr niedrige Seespiegelstände im Sommer negativ betroffen.

4.12. Auswirkungen auf die Landwirtschaft

In Lindau sind 46,5 % (1.538 ha) der Fläche als landwirtschaftliche Nutzfläche klassifiziert, davon über 879 ha Wiesen und Weiden. Eine ganz wesentliche Bedeutung haben aufgrund des milden Bodenseeklimas die Sonderkulturen des Obstanbaus. Ackerbau spielt eine untergeordnete Rolle. Aufgrund der Bedeutung des Obstanbaus werden die Auswirkungen des Klimawandels an dieser Stelle genauer betrachtet.

4.12.1. Phänologie

Der Austrieb der Blüten hat sich seit Anfang der 1990er Jahre bis heute (2020) um 3-4 Wochen vorverlagert. Teilweise sind die Blüten bereits Ende Februar bis Anfang März kurz vor dem Austrieb. Diese Entwicklung erhöht die potenzielle Schädigung der Blüten durch Frost ganz erheblich. Ein Nachtfrost von -5°C führt in der Regel zu einem Verlust von einem Drittel der Blüten. Eindrucksvoll waren die Folgen des späten Nachtfrostes Mitte April 2017 mit Temperaturen von stellenweise -9°C zu spüren. Je nach Lage waren Ernteaufschläge von bis zu 80 % die Folge, mancherorts gab es sogar Totalausfälle.

Was momentan phänologisch eher die Ausnahme darstellt, wird mit den erwarteten Klimaveränderungen bereits zwischen 2030 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 für den konventionellen Obstanbau 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 Ernteaufschläge zu erleiden.

4.12.2. 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 wären 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.

4.12.3. 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 werden und wiederholte Behandlungen aus den bereits oben genannten Gründen nicht möglich sind. Die Anfälligkeit für Pilzbefall erhöht sich dadurch.

4.12.4. 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°C 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 näherer Zukunft noch zu hoch sein wird. Daher können nur Anpassungsmaßnahmen wie die Verwendung von Hagelnetzen, Bewässerung und aus Sicht der konventionellen

Obstproduzenten 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.

4.13. Fazit für die Stadt Lindau (Bodensee)

In Anbetracht der aufgezeigten Veränderungen, sowohl der Klimaparameter als auch der Konsequenzen, kann man davon ausgehen, dass die Stadt Lindau (Bodensee) besonders durch zunehmende sommerliche Wärme, durch trockenheits- und starkregenbedingte hydrologische Effekte sowie sturmbedingte Auswirkungen direkt von negativen Einflüssen des Klimawandels betroffen ist.

Ebenfalls wichtig sind aber auch sekundäre oder indirekte negative Einflüsse durch klimatische Veränderungen außerhalb des Stadtgebietes. Weiteres Insekten- bzw. Bienensterben kann mittelfristig zu großflächigen Ernteauffällen und damit zu einer Bedrohung unserer Lebensgrundlage werden. Davon ist dann auch die Stadt Lindau betroffen. Die Verbreitung von neuen Krankheitserregern bzw. deren Überträger (Vektoren) oder von neuartigen Allergenen gehört auch zu den indirekten klimabedingten negativen Folgen, die für die Bewohner Lindaus von Relevanz sein werden.

Da die Stadt Aufgaben der Daseinsvorsorge zu übernehmen hat, nimmt man das Thema ernst und organisierte am 19.07.2021 mit den relevanten Akteuren (Forst, Landwirtschaft, Tiefbau, Feuerwehr, Katastrophenschutz, Energiewirtschaft, Gesundheitsamt und Wasserwirtschaft) einen Workshop zu den Auswirkungen des Klimawandels. Es wurde gemeinsam mit Experten, Stadträten und Vertretern des Klimabeirates diskutiert, welche Maßnahmen für das Stadtgebiet erforderlich sind und was bereits unternommen wird. Die Stadt Lindau am Bodensee möchte selbst als Vorbild agieren und die Bürger auf die Thematik aufmerksam machen. Im Folgenden sind – als Ergebnis aus dem Workshop, sowie zahlreichen Einzelgesprächen – für die relevanten Bereiche mögliche Maßnahmen aufgezeigt, mit deren Umsetzung sich die Stadt (und ihre Bürger:innen) auf die klimatischen Veränderungen in den nächsten Jahrzehnten einstellen kann.

5. Maßnahmen

5.1. Klimawandel-Workshop

Im Juni und Juli 2021 wurden mit einer Reihe relevanter Akteure in der Stadt Lindau Interviews durchgeführt, um abzuklären, inwieweit der jeweilige Themenbereich bereits aktuell unter Folgen des Klimawandels leidet, welche Maßnahmen bereits umgesetzt werden oder geplant sind, und wo jeweils Potenzial für weitere Aktivitäten gesehen wird. Letzteres war für die Vorbereitung des Workshops und für die weitere Ableitung von Maßnahmenempfehlungen der wichtigste Aspekt. Die Ergebnisse der Interviews wurden in der Form einer Risiko-Matrix dargestellt. Auf dieser zeigt die x-Achse die Wichtigkeit der Veränderung für die Stadt Lindau (B) (lokale Bedeutung) und auf der y-Achse die Stärke der erwarteten Veränderung durch den Klimawandel im Raum Lindau (B). Für jeden Themenbereich wurde eine Risiko-Matrix erstellt (Abbildungen 55-60).

Am 19. Juli 2021 fand der Workshop statt. Dieser wurde wegen der COVID-19 bedingten hygienischen Anforderungen digital durchgeführt.

Im Workshop wurden die Akteure in thematische Gruppen (entsprechend der jeweiligen Expertise) eingeteilt. Drei Arbeitsgruppen diskutierten in separaten Räumen parallel mit den Moderatoren die jeweiligen Risiken und mögliche Maßnahmen für die Stadt Lindau. Bei einer weiteren Runde wurden die restlichen drei Themen bearbeitet. Im Plenum stellten die Moderatoren alle Ergebnisse aus den Arbeitsgruppen vor. In der anschließenden Plenumsdiskussion konnten sich alle Teilnehmer:innen dann auch zu den Themen aus den anderen Arbeitsgruppen einbringen.

Die Ergebnisse des Workshops sind in einem separaten Bericht dokumentiert. Im Folgenden werden nur die jeweilige Risiko-Matrix und die empfohlenen Maßnahmen für die Stadt Lindau aufgeführt.

5.1.1. Maßnahmenempfehlungen Forst- und Landwirtschaft

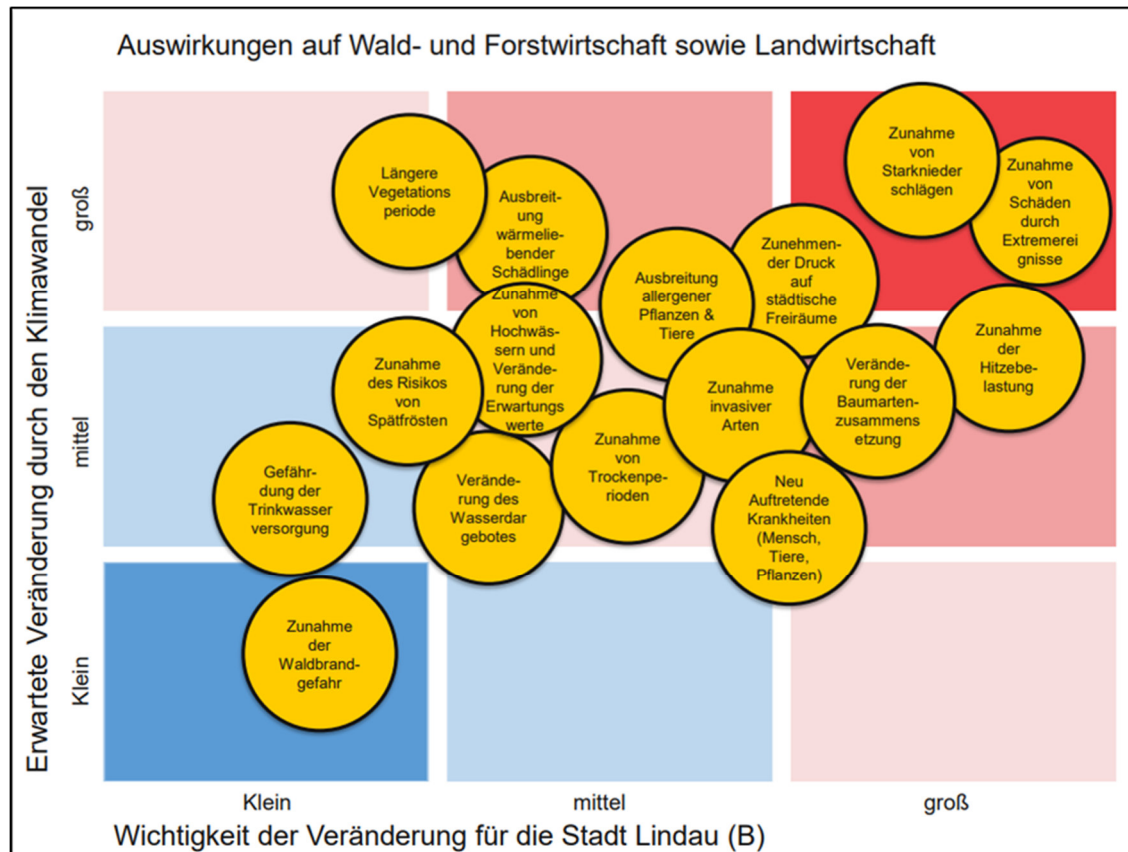


Abbildung 55 | Risiko-Matrix für Forst- und Landwirtschaft.

Wald- und Forstwirtschaft

► **Waldumbau zu klimaangepassten Mischwäldern:**

Hin zu einem Wald mit vielen verschiedenen, überwiegend heimischen Baumarten, wie z.B. Hainbuchen, Eichen, Wildkirschen oder Ahorn, denn gemischte Wälder sind gegenüber Störungen durch Borkenkäfer, Stürme, Dürre etc. weit weniger anfällig als Monokulturen. Wenn dort einzelne Baumarten wie die Fichte, die Esche oder die Ulme aufgrund von Extremereignissen, neuartigen Krankheiten, Schadinsekten oder invasiven Pilzen ausfallen, können andere Baumarten diese Lücken ausfüllen. Dieser **Waldumbau** wird in Lindau bereits seit langem betrieben, muss aber **weiterhin konsequent umgesetzt werden**.

► **Beratung der Waldbesitzer:**

Eine wichtige Aufgabe der Forstleute ist die Beratung der zahlreichen (Kleinst-)Waldbesitzer auf der Gemarkung Lindau. Eine

Beratung ist wichtig, damit die richtige Baumart passend zum Standort und zu den Klimabedingungen ausgewählt wird. Nur so ist der **Waldumbau auch im Privatwald** zu gewährleisten.

► **Förderung resistenter Eschen:**

Eschenreiche Wälder gehören zu den artenreichsten Waldökosystemen Deutschlands und beherbergen zahlreiche Pflanzen- und Pilzarten. Aktuell sind viele dieser Lebensräume und symbiotischen Lebensgemeinschaften durch das europaweite Eschentriebsterben bedroht. Verursacht wird die Krankheit durch einen invasiven Pilz aus Asien, der die Blätter verwelken und die jungen Triebe absterben lässt. Gegen solche **invasiven Arten** gibt es aktuell keine Gegenspieler. Jedoch ist ein kleiner Teil der Eschen resistent, so dass daraus eine weniger anfällige Generation entstehen könnte. Es gilt daher, **resistente Eschen zu fördern und befallene zügig zu ernten**.

► **Personalaufstockung im Bereich der Baumpflege und Baumkontrolle:**

Die zunehmenden Sturm-, Hagel-, Schnee- und Trockenereignisse führen zu einem deutlich erhöhten Aufwand bei der Baumkontrolle. Weiter müssen die Stadtbäume während sommerlicher Trockenperioden und teilweise auch im Frühjahr bewässert werden. Dies erfordert zusätzliches fachkundiges Personal.

Landwirtschaft

Die deutliche **Verfrühung des Vegetationsbeginns vieler Pflanzen** macht Obstbäume durch die frühere Blüte anfälliger gegenüber **Spätfrösten**. Auch die **zunehmende Anzahl von Hitzetagen** bedeutet deutlich **mehr Stress für die Kulturpflanzen**.

► **Schutzmaßnahmen:**

Um die Ertragseinbußen durch Hagel, Spät- und Starkfrost, Starkregen oder Dürre zu mildern, gibt es nur die Möglichkeit beschützender Maßnahmen. Darunter fallen z.B. **Frostschutzberegnung** und **Hagelschutznetze** im Obst- und Weinanbau.

► **Züchtung neuer Obstsorten:**

Es gibt nur ein geringes Anpassungspotenzial im Obstanbau, da die **Züchtung neuer Obstsorten** zeitintensiv ist. Es bedarf ca. 20 Jahre für die Zucht einer neuen Obstsorte.

► **Agri-PV für Gemüseanbau:**

Als Alternative für den Obstanbau, der zunehmend schwieriger wird, ist **Gemüseanbau** denkbar, auch z.B. in Verbindung mit **Agri-PV** zum Schutz vor Hagel und zur Beschattung. Für den Obstanbau



ist Agri-PV weniger geeignet, da Obstbäume zum Wachstum viel Licht benötigen. Deshalb stellt die **Verschattung** ein Problem dar.

▶ **Klimaberatung:**

Wichtig ist eine **Klimaberatung für die Landwirtschaft**. Mit Informationsveranstaltungen, Seminaren, Workshops oder einzelbetrieblichen Beratungen sollen die landwirtschaftlichen Betriebe für die Themen Klimaschutz und Klimawandel sensibilisiert werden.

▶ **Urban Gardening und Stadtgrün:**

Der klimawandelbedingte Temperaturanstieg ist im Innenstadtbereich besonders extrem. Diesem Problem kann man mit üppigen **Bepflanzungen von Dächern, Balkonen, Fassaden und Innenhöfen** entgegenwirken. Deshalb müssen **Urban Gardening und Fassadenbegrünungen und die Ausweitung des Stadtgrüns** Elemente neuer Bau- und Stadtprojekte sein.

▶ **Förderung des Ökolandbaus:**

Grundsätzlich soll der **Ökolandbau** ausgeweitet werden. Noch liegt er bei etwa 12 %. Durch den **Anbau wechselnder Pflanzenarten** auf einem Feld (Fruchtfolge) wird der Aufbau von Humus gefördert, der die Bodenfruchtbarkeit erhöht und eine verstärkte Speicherung von Kohlenstoff ermöglicht.

5.1.2. Maßnahmenempfehlungen Tourismus, Industrie und Gewerbe

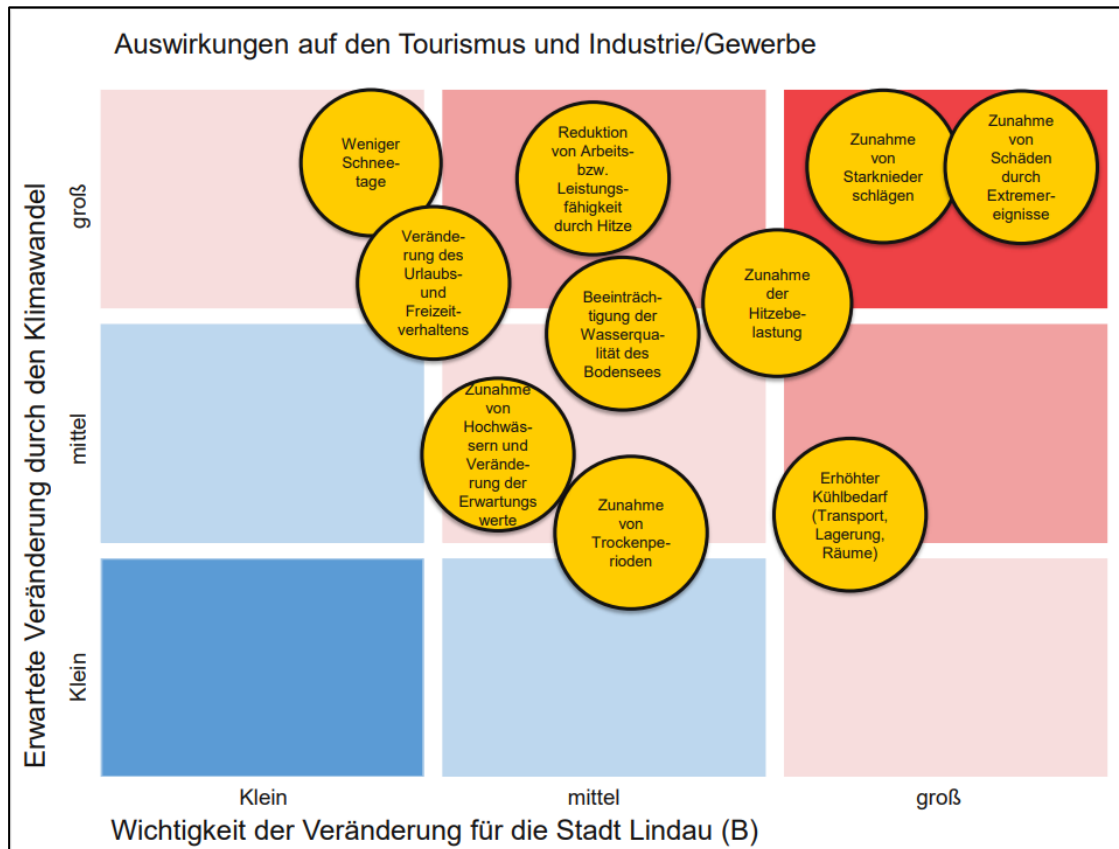


Abbildung 56 | Risiko-Matrix für Tourismus, Industrie und Gewerbe.

Tourismus

Der Tourismus ist für Lindau ein wichtiger Wirtschaftsfaktor. Es besteht eine enge Verbindung zwischen Tourismus und Natur. Deshalb sind touristische Aktivitäten oftmals sensibel für klimatische Veränderungen. Die Folgen des Klimawandels sind weitreichend.

► Öffentliche Seezugänge:

Pandemie-bedingt sind deutliche Veränderungen spürbar. Die Nachfrage nach Wassersport-Aktivitäten (SUP etc.) wächst. Auch steigt die Nachfrage nach Rad-Reisen (E-Bike-Boom) und nach Camping-Urlaub. Öffentliche Seezugänge sind gering und als Lenkung denkbar.

- ▶ **Schattenplätze:**
Durch vermehrte Hitzetage sind Schattenplätze begehrt. Als Maßnahme sind **Bänke im Schatten** denkbar sowie bewegliches Mobiliar, das mit dem Schatten „mitwandern“ kann.
- ▶ **Ganzjahrestourismus soll ausgeweitet werden:**
Es sollen Anreize geschaffen werden, um den Ganzjahres-Tourismus auszuweiten (Therme, Veranstaltungen etc.).
- ▶ **Indikatoren für „Maximal-Tourismus“ erarbeiten:**
Die Stadt Lindau setzt auf sanften Tourismus. Wichtig wären Indikatoren für „Maximal-Tourismus“.

Industrie/Gewerbe

Dieser Bereich wurde im Workshop nicht behandelt. Aus unserer Erfahrung würden wir aber folgende Punkte empfehlen:

Die Hauptrisiken des Klimawandels für Industrie und Gewerbe liegen in extremen Wetterereignissen wie Starkregen, Sturm und Hagelschlag.

- ▶ **Verbesserte Gebäuestabilität:**
Abgemildert können diese Extremwetterereignisse oftmals durch bauliche Maßnahmen, die die Gebäuestabilität gegenüber Sturm oder Hochwasser erhöhen.
- ▶ **Klimaangepasste Bau- und Betriebsweise:**
Auch kann durch eine klimaangepasste Bau- und Betriebsweise einer sommerlichen Überhitzung entgegengewirkt werden.
- ▶ **Erneuerbare Energien:**
Der Einsatz erneuerbarer Energien für die Deckung des Energiebedarfs ist unerlässlich.

5.1.3. Maßnahmenempfehlungen Gesundheit und Wasserwirtschaft

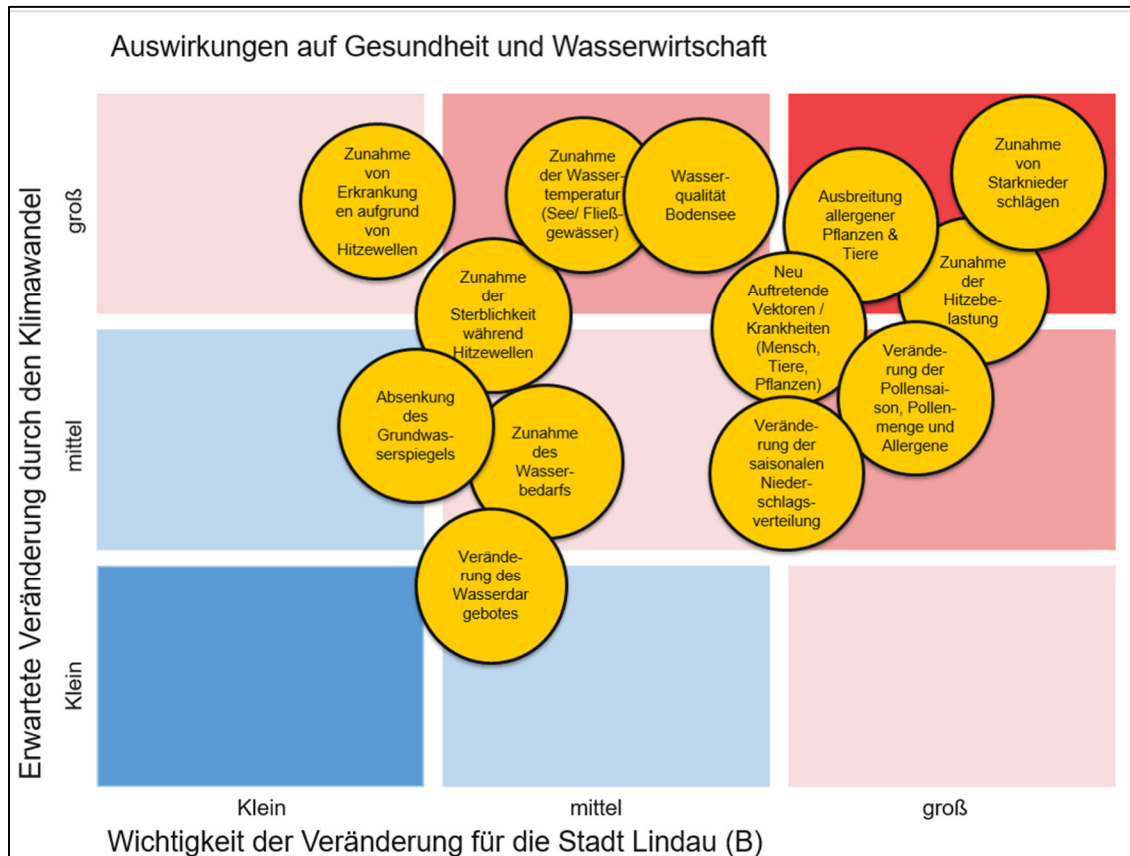


Abbildung 57 | Risiko-Matrix für Gesundheit und Wasserwirtschaft.

Wasserwirtschaft

► Hochwasserschutz:

Dieser ist unerlässlich und muss kontinuierlich auf seine Wirksamkeit überprüft werden. In den letzten Jahren wurden zahlreiche Maßnahmen systematisch umgesetzt. Die letzten werden in den nächsten 1-3 Jahren abgeschlossen. Die Zuflüsse wurden durch die Hochwasserschutzmaßnahmen weitgehend gesichert. In der Summe wurden 430.000 m³ Rückhaltekapazität geschaffen. Nach Abschluss der letzten Maßnahmen in 2-3 Jahren wird aktuell kein weiterer Bedarf gesehen. Bezüglich Seehochwasser gibt es noch einzelne Bereiche auf der Insel, die geschützt werden müssten. Der Hochwasserschutz wurde auf das 100-jährige Hochwasser plus einen 15 %igen Klimawandelzuschlag ausgelegt. Es ist allerdings fraglich, ob dies bei fortschreitendem Klimawandel ausreichend ist. **Hier ist eine kontinuierliche Neubewertung erforderlich.** Diese Aufgabe



muss von den Wasserwirtschaftsämtern übernommen werden und die Ergebnisse regelmäßig an die Kommunen kommuniziert werden. Die Stadt Lindau muss hier für die entsprechenden notwendigen **Informationsflüsse** sorgen.

► **Transparente Kommunikation an die Bürger:innen:**

Die Hochwassersimulationen und generell die **Ergebnisse der Klimawandelstudie** müssen **transparent an die Bürger:innen kommuniziert** werden (Presse, Webseite, Social Media). Diese Aufgabe muss von der Abteilung für Öffentlichkeitsarbeit der Stadtverwaltung in enger Abstimmung mit dem Klimaschutzmanagement wahrgenommen werden.

► **Starkregenkonzept erarbeiten lassen:**

Neben dem an die Wasserläufe gebundenen Hochwasser stellt der Starkregen für die Stadt Lindau potenziell die größte Gefahr dar. Dieser kann überall auftreten und auch Gebiete fernab von Flüssen überfluten. Die Kanalisation ist bei katastrophalen Ereignissen in jedem Falle überlastet (auch nach Ausbau oder Sanierung), so dass die Wassermassen oberflächlich abfließen und ein entsprechendes Schadenspotenzial aufweisen. Das einzige, was die Stadt Lindau hier tun kann und auch tun sollte, ist, ein **Starkregenkonzept mit entsprechenden Simulationen erarbeiten** zu lassen. Auf diese Weise können die Wasserwege verfolgt und Gefahrenstellen und mögliche Wassersammelbereiche identifiziert werden. Betroffene Flächen/Gebäude müssen dann mittels Schutzmaßnahmen (z.B. mobile Hochwasserwände) geschützt werden, bzw. der Abfluss kanalisiert und dort abgeleitet werden, wo das Schadpotenzial geringer ist. Für Starkregenkonzepte gibt es aktuell attraktive Förderungen.

► **Konzept der Schwammstadt:** Die Bodenversiegelung ist eine der Ursachen, welche bei starken Niederschlägen das Gefahrenpotenzial verstärkt. Daher sind alle Maßnahmen, welche die Infiltration des Regenwassers fördern, zu begrüßen. Darunter fallen:

- Die Etablierung von **Gründächern**, ggf. durch ein entsprechendes Förderprogramm für Neubau und Bestand (z.B. Carports, Flachdächer sowie geringer geneigte Satteldächer).
- Die Förderung von **Zisternen** >3 m³ Wasserkapazität pro Wohneinheit.
- Die Verwendung von infiltrationsfördernden Belägen, ggf. **Entsiegelung**: Auch hierfür sollte es ein Förderprogramm geben, bzw. die Stadt sollte öffentliche Flächen überprüfen und eine **Entsiegelungspotenzialanalyse** erarbeiten.
- **Grauwassernutzung** etablieren (Brauchwassersysteme) und „Denken“ neu ausrichten. Toilettenspülungen und Außenwasser, welches mit Regenwasser gespeist wird, promoten.

- ▶ **Überarbeitung der Abwassergebührenregelung:**
Besonders praktikabel wäre der Ansatz, die genannten Maßnahmen über die **Abwassergebühren** zu steuern und einen Bonus für Wasserrückhalt auf dem Grundstück zu geben. Im Neubau müssen diese Maßnahmen über entsprechende privatrechtliche Verträge generell vorgeschrieben werden.

Gesundheit

Grundsätzlich fehlen bei diesem Thema noch viele Daten. Die Anzahl der Forschungsarbeiten ist für unsere Region vergleichsweise gering. Allerdings können wir in Lindau davon ausgehen, dass wir mit der speziellen Verbreitung von neuen Arten, Vektoren und Krankheiten eher später konfrontiert werden. Andere Regionen (z.B. das Breisgau, das Rheintal, das Maingebiet etc.) werden zuvor derartige Probleme bekommen. Daran können wir uns in Lindau orientieren und auf der Basis der dort gemachten Erfahrungen die entsprechenden Maßnahmen ergreifen.

- ▶ **Trinkwasser – Klärung und Sicherstellung von Notfallreserven zur Wasseraufbereitung:**
Die Stadtwerke haben mobile Wasseraufbereitungsanlagen (UV-etc.) zur Verfügung. Dies reicht aber nicht für einen großen Katastrophenfall aus. Daher müssen die Kapazitäten beim THW und der Bundeswehr abgefragt werden, um ggf. bei Mangel entsprechende Notfallreserven aufzubauen.
- ▶ **Erhöhter Aufwand für die Beseitigung von Algen in den Uferbereichen:**
Höhere Wassertemperaturen führen bereits jetzt im Bereich zwischen Insel und Festland zu erheblichem Algenwachstum. Dies wird sich in Zukunft verstärken. Der Aufwand, die Fahrrinnen freizuhalten (zwischen Insel und Festland), wird ansteigen. Das muss in der Personal- und Aufgabenplanung von der Stadtverwaltung berücksichtigt werden.
- ▶ **Jährlicher Informationsaustausch der Stadtverwaltung und dem Landratsamt zum Thema Neobiota:**
Hier müssen die Entwicklungen sorgfältig beobachtet werden. Diese Aufgabe ist besser vom Landratsamt wahrzunehmen (dies wird auch jetzt schon gemacht). Sehr wichtig ist hier die Kommunikation. Es muss dafür gesorgt werden, dass sich die einzelnen relevanten Abteilungen im Landratsamt und auch zwischen LRA und Stadt Lindau regelmäßig vernetzen und möglichst jährlich ein Austauschtermin geplant und durchgeführt wird.
- ▶ **Sicherstellung der Implementierung von Luftfilteranlagen bei allen Neubauten und Bereitstellung von Beratungen zum Einbau in Bestandsgebäuden:**

Gebäude sollten im Neubau generell mit Lüftung und **Luftfilteranlagen** realisiert werden. Diese mildern zumindest im Inneren der Gebäude die Allergen-Belastung für die Allergiker durch erhöhte und längere Pollenflugphasen. Hierzu ist in der Gebäudeenergieberatung hinzuweisen. Auch in Bauherrenmappen müssen Interessenten von der Stadt direkt darauf hingewiesen werden.

► **Systematische Einführung von Gebäudeverschattung:**

Bestandsgebäude müssen sukzessive mit Verschattungsanlagen ausgestattet werden; ggf. kann dies über ein Förderprogramm geschehen. Klimatisierungsanlagen sind nicht zielführend, da sie den Energieeinsparzielen zuwider laufen. Entsprechende Beratung ist von der Stadt anzubieten und zu vermarkten. Bei allen Neubauvorhaben muss eine Verschattung zwingend verlangt werden.

5.1.4. Maßnahmenempfehlungen Städtebau und Bauleitplanung

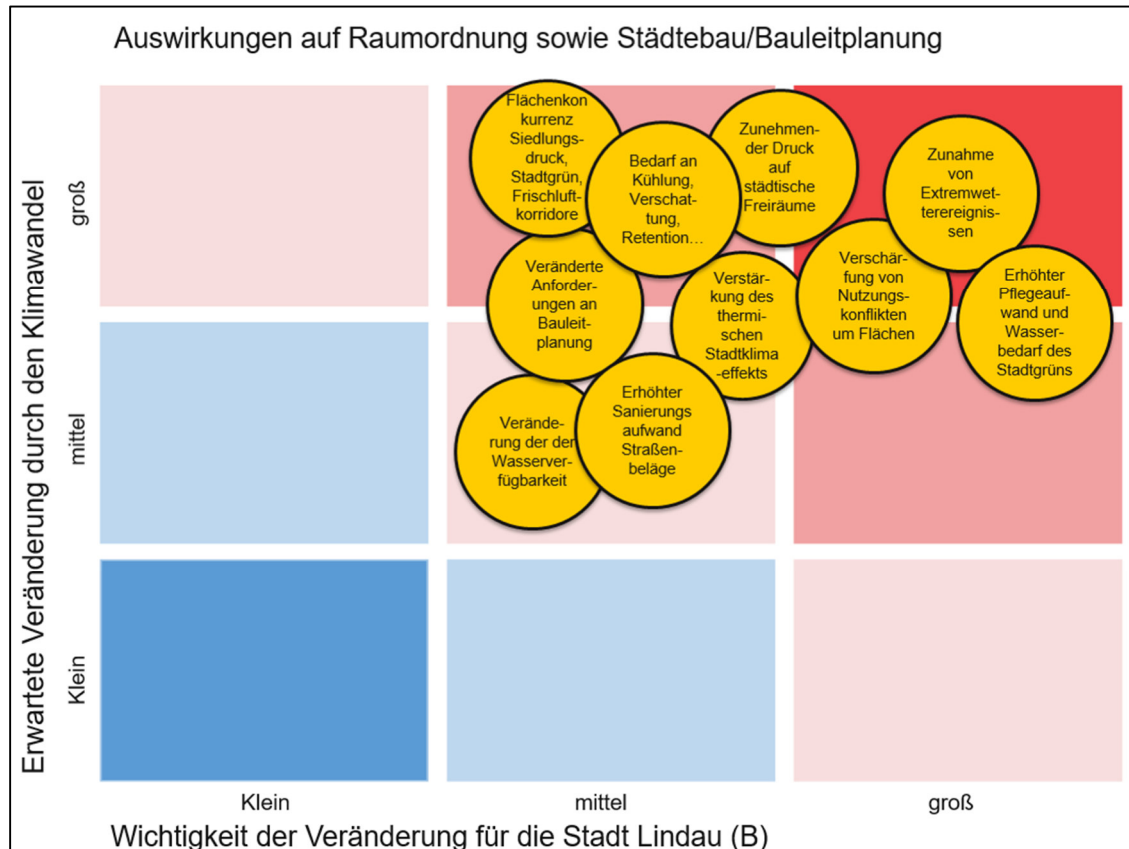


Abbildung 58 | Risiko-Matrix für Städtebau und Bauleitplanung.

Raumordnung / Städteplanung:

- Grünplanung in Bauleitplanung integrieren:**
 Die Grünplanung sollte in ihrer Bedeutung der Bauleitplanung gleichgesetzt werden. Sie ist genauso wichtig wie die Bauleitplanung und kann dazu beitragen, den Flächenkonflikt zwischen Siedlungsdruck und Ausweitung des Stadtgrüns systematisch zu lösen. Die Grünplanung wäre dann automatisch Teil neuer Bebauungspläne.
- Klimaverträgliche Neubaugebiete:**
 Wir brauchen (solange es die Gesetze nicht gibt) die systematische Klärung, wie ein **Neubaugebiet klimaverträglich** realisiert werden kann. Dieser Schritt muss grundsätzlich am Beginn jeder Neuplanung und Entwicklung von Flächen stehen. Zentrale Aspekte hierbei sind:

- ▶ **Minimale Flächenversiegelung** (bzw. wo kann im Gegenzug versiegelte Fläche entsiegelt werden, um das Baugebiet quasi flächenneutral realisieren zu können?)
- ▶ Wie kann eine **klimaneutrale Energieversorgung** sicher gestellt werden?
- ▶ Wie kann ausreichende **Versickerungskapazität** für Regenwasser bereit gestellt werden?
- ▶ Wie können die Gebäude **klimaneutral gekühlt** werden?
- ▶ Wie kann das Neubaugebiet mit **minimaler Verkehrsfläche** realisiert werden?

- ▶ **Systematische Reduzierung von Verkehrsflächen:**
 Sehr große Flächen in Lindau sind für den Verkehr reserviert (hier ist keine multifunktionale Nutzung möglich). Daher muss es das Ziel zukünftiger Planungen in der Stadt sein, die Verkehrsflächen systematisch zu reduzieren (autoarme Quartiere). Hierzu sind verschiedene Ansätze möglich, wie z.B.:
 - ▶ **Parkhäuser an zentralen Punkten** mit entsprechenden Shuttleanbindungen zu den Zielorten und gleichzeitige Reduktion der Parkangebote an den Zielorten. Aufwand für Fahrzeughalter → Reduzierung der Kfz-Zahlen.
 - ▶ **Etablierung attraktiver Car-Sharing-Angebote**
 Es muss eine ausreichende Anzahl von Fahrzeugen an attraktiven Standorten bereitstehen. Möglichkeiten dazu wären: verpflichtende Mitgliedschaften für Mieter oder Käufer von Wohnungen in bestimmten Quartieren.
 - ▶ **Umsetzung autoarmer Quartiere** durch Förderung von Mischfunktion, z.B. Planung neuer Quartiere mit Mischfunktion entwickeln (Gewerbe, Nahversorgung und Wohnen → kurze Wege und einfachere Energieautarkie durch über den Tag verteilte Energiebedarfskurve. Start bei neuen Quartieren (z.B. Insel) und dann bei Erfolg auch im Bestand in einzelnen Zellen, die sich dann ausweiten. Hierfür innovative Quartierskonzepte mit Bürgern erstellen.

- ▶ **Verschattung sicherstellen:**
 Im Neubau generell vorsehen und im Bestand durch Information und ggf. Förderprogramme nachrüsten lassen. Entsprechende Bewusstseinsbildung ist notwendig → Beratung (vgl. auch Maßnahmenempfehlung aus dem Workshop Gesundheit).

- ▶ **Fassaden- und Dachbegrünung fördern:**
 Pilothafte Bauten, z.B. von GWG, diesbezüglich gut vermarkten und Begrünung der Fassaden durch Förderprogramm unterstützen.

► **Klimaverträgliche Kühlung sicherstellen – entsprechende Konzepte ausarbeiten:**

Kühlung und Umweltwärme aus dem Bodensee. Dies wäre grundsätzlich denkbar und wird z.B. in Zürich seit Jahren praktiziert. Der See kann im Winter als Wärmespeicher genutzt werden und im Sommer entsprechend als Kältespeicher. Diese Art der kalten Nahwärmenutzung ist besonders für Mehrfamilienhäuser sehr gut geeignet und ist insbesondere für die neu entstehenden Quartiere auf der Insel eine innovative Wärme- und Kälteversorgung. Diese Variante muss unbedingt im Energieversorgungskonzept der neuen Quartiere mit berücksichtigt werden.

► **Grünordnungsplanung einführen:**

Diese sollte integral angelegt werden und sowohl das Thema Kaltluftentstehung als auch Regenrückhalt und Erosionsschutz berücksichtigen.

► **Höheren Aufwand zur Sanierung von Straßenbelägen berücksichtigen:**

Hitzebelastung führt neben einem nachteiligen Baugrund zu einem erheblichen zusätzlichen Sanierungsaufwand, der durch die Stadt getragen werden muss. Hier ist in Zukunft der höhere Aufwand von der Stadt bei der Personalplanung zu berücksichtigen.

► **Baumkontrolle:** Gleiches gilt auch für den zunehmenden Aufwand für die Baumkontrolle. Nach jedem Sturm- oder Schnee-Ereignis müssen die Stadtbäume auf ihre Standfestigkeit und auf die Stabilität der Äste geprüft werden. Hier ist in Zukunft der höhere Aufwand von der Stadt bei der Personalplanung zu berücksichtigen (vgl. Maßnahmenempfehlungen unter 5.1.3).

► **Anpassung des Stadtbaumbestandes:**

Stadtbäume und Neophyten: Generell muss geprüft werden, welche Arten in Zukunft als Stadtbäume eingesetzt werden. Ggf. auf die Ergebnisse von Forschungsprojekten anderer Städte (Kempten, Würzburg, Hof) zurückgreifen. Dabei muss auch der Unterbewuchs und dessen Auswirkungen auf die Biodiversität allgemein (Insekten etc.) betrachtet werden.

5.1.5. Maßnahmenempfehlungen Straßenbau, Verkehr, Energiewirtschaft:

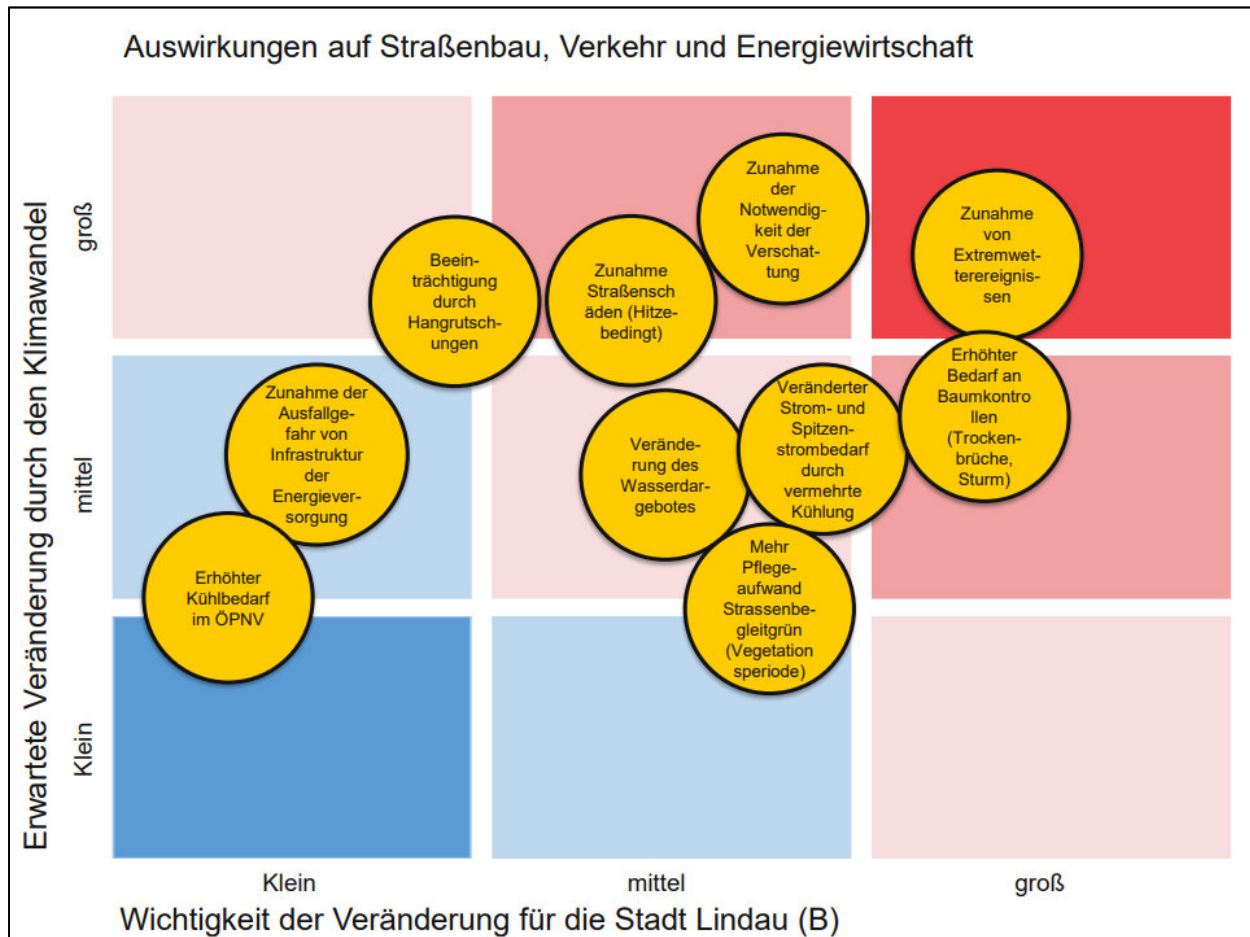


Abbildung 59 | Risiko-Matrix für Straßenbau, Verkehr und Energiewirtschaft.

Straßenbau, Verkehr:

- ▶ **Grün und Blau statt Grau:** Pflanzen und Wasser verschaffen dringend nötige Abkühlung.
 - ▶ **Ausbau des Straßenbegleitgrüns:**
Bäume (Konflikt mit Leitungstrassen), Sträucher und mehrjährige Blühwiesen sorgen für mehr Grün in der Stadt.
 - ▶ **Befreiung der Gewässerläufe:**
Gewässerläufe sollen aus ihrem engen Korsett befreit und renaturiert werden.

- ▶ **Umbau zur Gartenstadt:**
Gebiete mit Durchfahrtsstraßen sollen zur Gartenstadt entwickelt werden mit einem Park, vielen Grünflächen, breiten Wegen, Spielplätzen und Bänken.
- ▶ **Verkehrs- und Mobilitätswende**
 - ▶ Förderung **multimodalen Verkehrsverhaltens**
 - ▶ **Ausbau der Radinfrastruktur** durch Umsetzung der Maßnahmen des KLiMos und Nahmobilitätskonzepts
 - ▶ **Anpassung der Fahrzeiten des Stadtbusses** durch Verknüpfung mit den Fahrplänen der Bahn und mit neuen Mobilitätslösungen
 - ▶ Schaffung eines **P+R-Angebotes** um die Tagesbesucher / Touristen abzufangen
 - ▶ Ausbau von **Car-Sharing**-Angeboten
 - ▶ Der Kfz-Verkehr auf und vor der Insel soll reduziert werden hin zur „**autoarmen Insel**“

Energiewirtschaft:

- ▶ **Dezentralisierung der Energieversorgung:**
Ein fortdauernder Temperaturanstieg, immer häufigere und schwerere Extremwetterereignisse sowie veränderte Niederschlagsmuster werden Auswirkungen auf Energiegewinnung und -versorgung haben. Mit der Energiewende wird ein verstärkter Strombedarf einhergehen. Dieser muss durch erneuerbare Energie bereitgestellt werden. Mit dem langfristigen Übergang der Energiebasis hin zu erneuerbaren Energien, allen voran Windenergie und Photovoltaik, ist eine stärkere Dezentralisierung der Energieversorgung verbunden. Für die Stadt Lindau (B) bedeutet das ganz konkret:
 - ▶ Verstärkter **Ausbau von PV**
 - ▶ **Anpassung des Netzbetriebs (smart grid)**
 - ▶ Implementierung von **Speicherlösungen**
 - ▶ **Ausbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur** für die Elektromobilität



5.1.6. Maßnahmenempfehlungen Naturschutz, Fischerei:

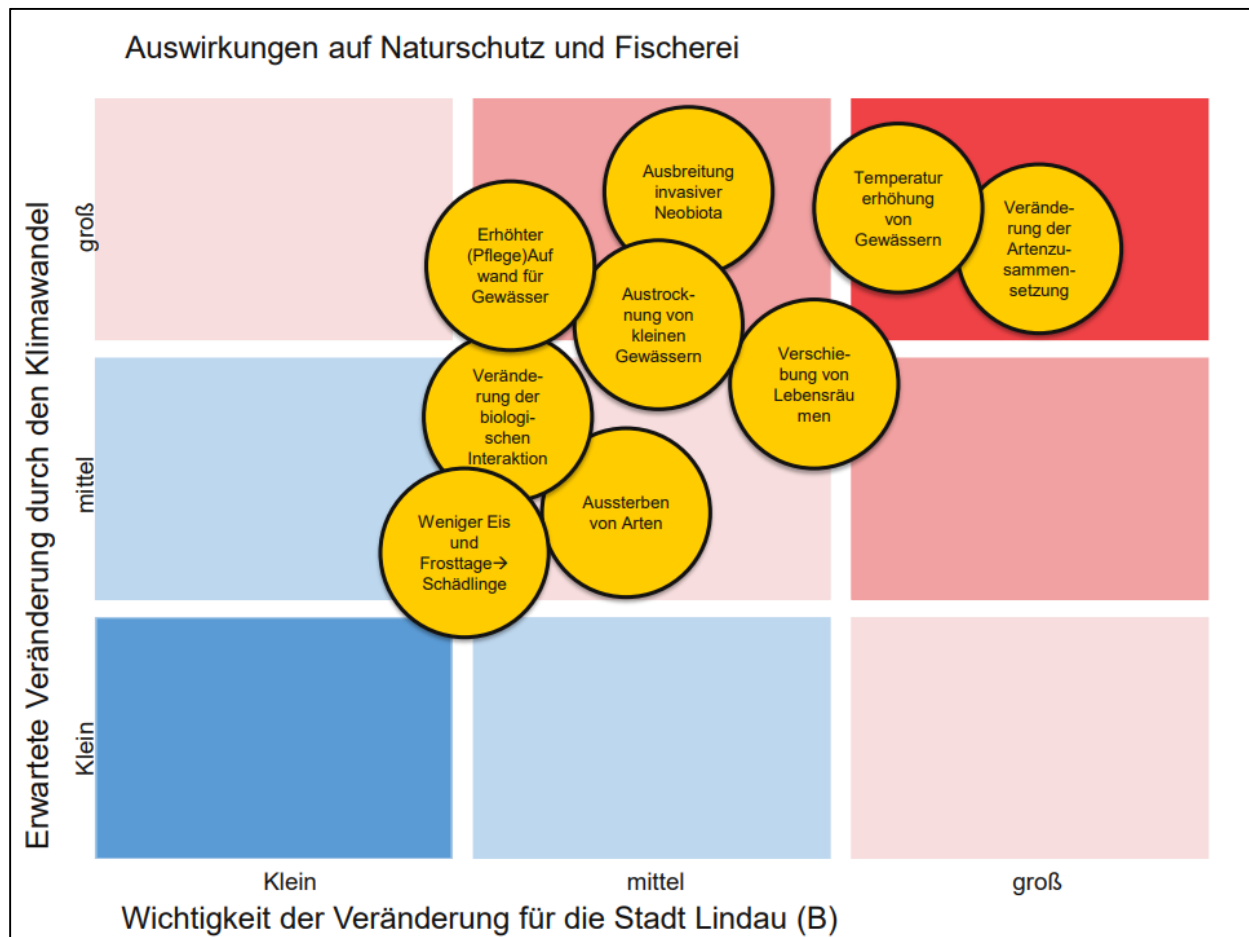


Abbildung 60 | Risiko-Matrix für Naturschutz und Fischerei.

Naturschutz:

Die **biologische Vielfalt und das Klima** sind eng miteinander verbunden und beeinflussen einander gegenseitig. Der gegenwärtige und zukünftige Klimawandel stellt eine der größten Bedrohungen für die Vielfalt des Lebens auf der Erde dar. Der Naturschutz hat daher die Aufgabe, Ökosysteme intakt zu halten oder zu renaturieren, die durch Kohlenstoffspeicherung und -aufnahme das Klima schützen. Darüber hinaus soll die natürliche Anpassungsfähigkeit von Ökosystemen an den Klimawandel gesteigert werden.

► Moorrenaturierung:

Moore im Hinterland von Lindau als dauerhafter Kohlenstoffspeicher sollen renaturiert werden. Diese Renaturierung hat auch positive Auswirkungen auf die Biodiversität. Beim



Unterreitnauer Moos muss gemeinsam mit dem Landratsamt der Managementplan FFH umgesetzt werden. Es gibt ein Moorbauernprogramm, durch das Landwirte finanziell entschädigt werden, wenn **Moorflächen wieder renaturiert** und dadurch aus der Nutzung genommen werden. Viele Lebensräume sind durch intensive Nutzung weggefallen. Diese Flächen sollen freigemacht werden von jeglicher Nutzung (Moore, Magerrasenstandorte).

► **Extensive Beweidung von Feuchtflächen:**

Wenn die Massentierhaltung reduziert wird, werden Flächen frei für die Biodiversität. Extensive Beweidung von Feuchtflächen durch **Rinder, Ziegen oder Schafe als Landschaftspfleger**. Das Fleisch soll regional vermarktet werden.

► **Vermarktung regionaler Produkte und Schaffung einer Öko-Modellregion:**

Die oben genannten **regionalen Produkte** müssen auch in Hotels und Gastronomiebetrieben sowie bei der Gemeinschaftsverpflegung verwendet werden. In diesem Zuge soll auch das **2000-Watt-Menü** ausgeweitet werden. Staatlich anerkannte Öko-Modellregionen sollen die Produktion und Vermarktung heimischer Bio-Lebensmittel und das Bewusstsein für regionale Identität voranbringen. Hier könnte die Schaffung **einer Öko-Modellregion für den Landkreis Lindau** nach den Vorbildern der Landkreise Oberallgäu und Ostallgäu ansetzen.

► **Wettbewerbe:**

Mehrjährige Blühstreifen sollen im Stadtbereich angelegt werden. **Wettbewerbe wie z.B. „Jeder m² zählt“ oder „Wiesenmeisterschaft“** rücken das Thema Biodiversität ins öffentliche Interesse. Im Zuge der Biodiversitätssteigerung sollen **Brutmöglichkeiten für Mauerbrüter** angeboten werden.

► **Gleichstellung ökologischer und baulicher Aspekte:**

Der **Landschaftsplan soll gleichwertig zum Flächennutzungsplan** sein und regelmäßig mit einbezogen werden. Wichtig ist, dass die **Frischlufschneisen** („5 Finger“) erhalten und in Heuried die Pufferflächen eingehalten werden. Die Bebauung an der Ladestraße darf nicht direkt bis an die Straße erfolgen, sondern mehr im Norden. Der Hochwasserschutz darf nicht an der Stadtgrenze aufhören. Deshalb muss Hörbranz mit einbezogen werden.

Fischerei:

Der Klimawandel verändert den Lebensraum Bodensee. **Massive Einwanderungen invasiver Arten**, z.B. Muscheln, Seeflohkrebsarten, sind zu beobachten. Die Auswirkungen sind noch nicht abzusehen. Weiterhin ist ein erhöhtes Aufkommen des **Stichlings als Konkurrent zum Felchen** zu sehen.

6. Quellen

Bayerische Forstverwaltung 2013. Fichte und mehr: Die Mischung macht's. Bergwaldkurier 11.

Bayerischer Rundfunk 2020: Klimawandel in Bayern. Download 04/2021 unter: <https://www.br.de/klimawandel/klimawandel-bayern-folgen-erwaermung-100.html>

Bayerisches Landesamt für Statistik. GENISIS-online Datenbank - <https://www.statistikdaten.bayern.de/genesis>

Bayerisches Landesamt für Umwelt. Umwelt Atlas Standortauskunft Geogefahren Datenbank - https://www.lfu.bayern.de/geologie/massenbewegungen_karten_dat/en/massenbewegungen/index.htm

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/Starkregen.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.

DWD/BR 2020: Bayerischer Rundfunk, Download September 2020 unter: https://www.br.de/klimawandel/bayern-temperaturen-rekorde-klimawandel-100~_image-2_-9823676e711b1e60923936e299907dca0d26f166.html

Deutscher Wetterdienst DWD: Klimawandel - <http://www.dwd.de/klimawandel>

Gaudard, A.; Råman Vinnå, L.; Bärenbold, F.; Schmid, M.; Bouffard, D. (2019) Toward an open access to high-frequency lake modeling and statistics data for scientists and practitioners - the case of Swiss lakes using Simstrat v2.1, *Geoscientific Model Development*, 12(9), 3955-3974, [doi:10.5194/gmd-12-3955-2019](https://doi.org/10.5194/gmd-12-3955-2019), [Institutional Repository](https://www.geoscientificmodeldevelopment.org/)

- GDV 2020. Naturgefahrenreport 2020. Die Schadenschronik der deutschen Versicherer. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. Download 4/2021 unter:
<https://www.gdv.de/resource/blob/63610/9fb7d9d95fa0874f312ae871363310fa/naturgefahrenreport-2020---schadenchronik-data.pdf>
- Gerst, F., Bubenzner, O. & Mächtle, B. 2011. Klimarelevante Einflüsse urbaner Bodeninanspruchnahme. Deutsche Langfassung, Urban Soil Management Strategy, EU-CEP, Heidelberg.
- Gobiet, A. Suklitsch, M., and Heinrich, G.: The effect of empirical-statistical correction of intensity-dependent model errors on the temperature climate change signal, Hydrol. Earth doi:10.5194/hess-1d9-4055-2015, 2015.
- IGKB 2020. Klimawandel am Bodensee. Faktenblatt 03/2020. Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee. Faktenblatt.
https://www.igkb.org/fileadmin/user_upload/dokumente/aktuelles/Faktenblaetter/Faktenblatt_Klimawandel_final.pdf
- 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
- IPCC 2018 Sonderbericht: globale Erwärmung SR 1,5° <https://www.de-ipcc.de/256.php>
- 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 2018. Statistik kommunal Markt Scheidegg 2017;
<https://www.statistik.bayern.de/statistikkommunal/09776125.pdf>
- Le Quéré, C., Jackson, R.B., Jones, M.W. *et al.* Temporary reduction in daily global CO₂ emissions during the COVID-19 forced confinement. *Nat. Clim. Chang.* **10**, 647–653 (2020). Download 12/20 unter: <https://www.nature.com/articles/s41558-020-0797-x> ,
- 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.
- LWF 2007 Bayerische Landesanstalt für Land und Forstwirtschaft (2007):
Ch. Kölling – Klimahüllen für 27 Waldbaumarten (online unter:
<http://www.lwf.bayern.de/boden-klima/baumartenwahl/015506/index.php>
- 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
- PIK 2021: Klimafolgenonline-bildung.de. Modellierungen download zwischen 01 und 04.2021.
- PIK 2019: methodisches UpdateKlimafolgenonline-Update 2019. Umstellung von statistischen auf dynamische Klimaszenarien. Gegenüberstellung ausgewählter Parameter.
https://www.klimafolgenonline.com/kfo_alt_neu.pdf
- Regierung von Schwaben 2014: Wasserversorgungsbilanz Schwaben 2025, Augsburg, 128 S.
https://www.regierung.schwaben.bayern.de/Aufgaben/Bereich_5/Wasserwirtschaft_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.
- Warren R., Price J., Graham E., Forstenhaeusler N., VanDerWal J. 2018. The projected effect on insects, vertebrates, and plants of limiting global warming to 1,5° rather than 2°. In Science Vol 360 I6390, pp. 791-795 unter:
<https://science.sciencemag.org/content/360/6390/791.full>
- 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/>