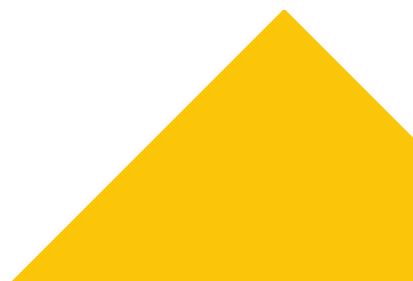

27. Juli 2022 | Autor: Dr. Hans-Jörg Barth - eza! - eza! | www.eza-allgaeu.de

Der Klimawandel – Auswirkungen auf die Marktgemeinde Bad Grönenbach

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	20
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	43
4.5. Bodenerosion	45
4.6. Massenbewegungen	46
4.7. Artenvielfalt und ökologische Systeme	48
4.8. Vegetation	50
4.9. Auswirkungen auf die Forstwirtschaft	52
4.10. Auswirkungen auf die Landwirtschaft	55
4.10.1. Phänologie	55
4.10.2. Trockenheit	55
4.10.3. Hagel und intensive Niederschläge	56
4.10.4. Temperaturen	56
4.11. Fazit für die Marktgemeinde Bad Grönenbach	56

5.	Klimawandelfolgen-Workshop	58
5.1.	Fazit der Klimafolgenbewertung lokaler Expert*innen für Bad Grönenbach	60
5.2.	Maßnahmenvorschläge	61
5.3.	Priorisierung der Maßnahmen	65
6.	Quellen	66

1. Vorwort

Sehr geehrte Bürgerinnen und Bürger,

die Marktgemeinde Bad Grönenbach steht vor großen Herausforderungen. Um mit der Energiewende, und damit dem Klimaschutz, wirklich Erfolge erzielen zu können, sind in den nächsten Jahren grundlegende Maßnahmen erforderlich, die das Leben von uns allen verändern werden.

Wir in Bad Grönenbach packen an, wenn wir von einer Sache überzeugt sind. Und von der Energiewende sind wir schon lange überzeugt. Seit 2008 nehmen wir am European Energy Award (eea) teil und bereits 2010 wurden wir für unsere Anstrengungen vom Bayerischen Umweltminister ausgezeichnet. Dies 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 sind – denken wir an die katastrophalen Flutereignisse vom letzten Sommer – halten sich aktuell bei uns im Unterallgäu noch in Grenzen. Doch diese Sicherheit ist trügerisch. Wenn nicht direkt, so werden wir doch indirekt betroffen sein. Der Verlust der Lebensgrundlage von Millionen von Menschen in Afrika und Asien wird Flüchtlingsströme zur Folge haben, welche die von 2015 deutlich übertreffen werden, das beschleunigte Artensterben in der Pflanzen- und Insektenwelt wird sich auf die Nahrungsmittelproduktion weltweit auswirken. Schneearme Winter und Naturkatastrophen wie Starkregenereignisse, Hagel und Trockenheit treffen uns auch jetzt schon sehr direkt. Im Rahmen unserer energiepolitischen Arbeit ist es uns sehr wichtig auch zu zeigen, was die klimatischen Veränderungen für unsere Gemeinde bedeuten. Die vorliegende Studie fasst auf verständliche Weise zusammen, was die Klimamodellierungen für unsere Region bis 2050 und 2100 prognostizieren. Wenn wir bereits heute wissen, womit wir in Zukunft rechnen müssen, wird zum einen das Thema greifbarer und zum anderen können wir dann schon jetzt die richtigen Entscheidungen treffen und notwendige Anpassungsmaßnahmen umsetzen.

In diesem Sinne hoffe ich, dass die Ergebnisse dieser Studie von vielen Bürger:innen wahrgenommen werden. Wir hoffen auf Verständnis für die notwendigen Maßnahmen der Gemeinde zur Energie- und Verkehrswende ebenso, wie auf Ideen und Elan unserer Bürger:innen, Veränderungen im privaten Bereich anzugehen. Denn eines ist klar: Ohne unsere Bürger:innen und Unternehmen wird die Mammutaufgabe nicht zu bewältigen sein.

Ihr Bürgermeister Bernhard Kerler



2. Zusammenfassung

Die klimatischen Verhältnisse in der Gemeinde Bad Grönenbach werden sich in den nächsten Jahrzehnten weiter verändern. Gegenüber der Periode von 1981-2010 ist für den Zeitraum von 2041-2070 mit einer Temperaturzunahme von ca. 2,2 Grad zu rechnen. Die stärkste Erwärmung von ca. 2,5 Grad wird dann im Herbst und Winter stattfinden. Die Sommer werden längere Trockenphasen aufweisen mit einer im Mittel um 20 Tage zunehmenden Anzahl von Sommertagen (über 25°C). Frosttage werden um durchschnittlich 37 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 länger (ca. 4-5 Wochen - trockenheitsbedingte Einschränkungen im Sommer möglich). Die Gefahr von späten Frostschäden 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 Marktgemeinde Bad Grönenbach.

Die Studie war Grundlage, für weitergehende Gespräche und einen Workshop mit relevanten und betroffenen Akteuren, um notwendige Maßnahmen zu identifizieren. Diese sollen dann soweit möglich von der Marktgemeinde umgesetzt, bzw. in der Planung verankert werden. Folgende Maßnahmen wurden priorisiert:

1. Stelle für Energie- und Klimaschutzmanager in der Verwaltung schaffen
2. Klimabildung als fester Bestandteil einführen (Klimaschule, Aktionen wie PrimaKlimaKids etc. an Schule und allen Kitas)
3. Verbesserung der Radwegeinfrastruktur
4. Treibhausgasneutralität bis 2035 als Ziel festlegen und Strategie mit Meilensteinen erarbeiten
5. Dezentrale Energieversorgung beschleunigen, dazu Windkraftausbau mit Bürgeranlagen, Intervention beim Regionalen Planungsverband Donau-Iller
6. Marktplatz als „Ambiente-Zone“ mit schattenspendenden Bäumen, autofrei, ohne Parkplätze mit weiteren (Gastro)-Angeboten.
7. Innenverdichtung vorantreiben z.B. mit neuen Wohnmodellen
8. ÖPNV stärken, insbesondere Anbindung Gewerbegebiet und Bahnhof, bessere Verbindungen nach Ottobeuren und Memmingen.
9. Waldumbau systematisch vorantreiben mit angepassten Baumarten, Mischbeständen.
10. Einführung eines Klimabudgets

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 Marktgemeinde Bad Grönenbach, 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 Marktgemeinde Bad Grönenbach heruntergebrochen. Die Ergebnisse der vom Landkreis Unterallgäu 2018 beim Karlsruher Institut für Technologie und der Universität Augsburg in Auftrag gegebenen Studie basieren jedoch auf einem Szenario weltweiter Klimaschutzbemühungen, von welchem wir aktuell weit entfernt sind. Daher wird hier diese Studie nicht als Grundlage genommen.

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 kommunalen 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 (IPCC 2013). 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 6. Sachstandsbericht des Weltklimarates des IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) dargestellt (IPCC 2021). 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:

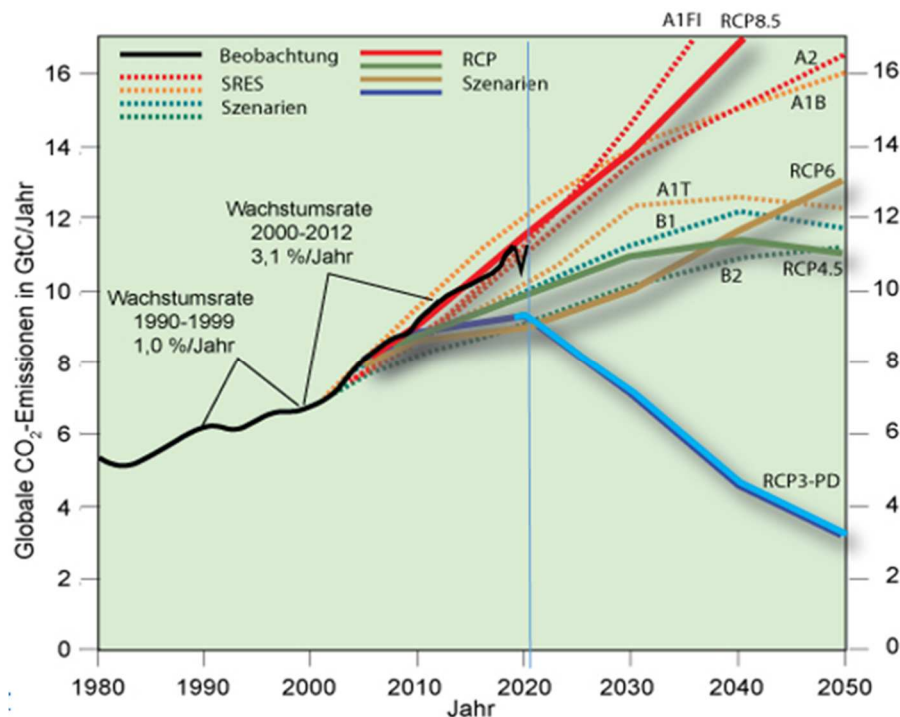


Abbildung 1 | Trends der Temperaturentwicklung bis zum Jahr 2050 für verschiedene Szenarien (Peters et al. 2012, IPCC 2018, aktualisiert eza! 2021 nach Le Quéré et al. 2020 und IEA 2021). Man erkennt den Covid-19-bedingen Rückgang 2020 sowie den erneuten raschen Anstieg bis 2021.

Die den früheren Sachstandsberichten des Weltklimarates zugrundeliegenden 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 im August 2021 erschienen.

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

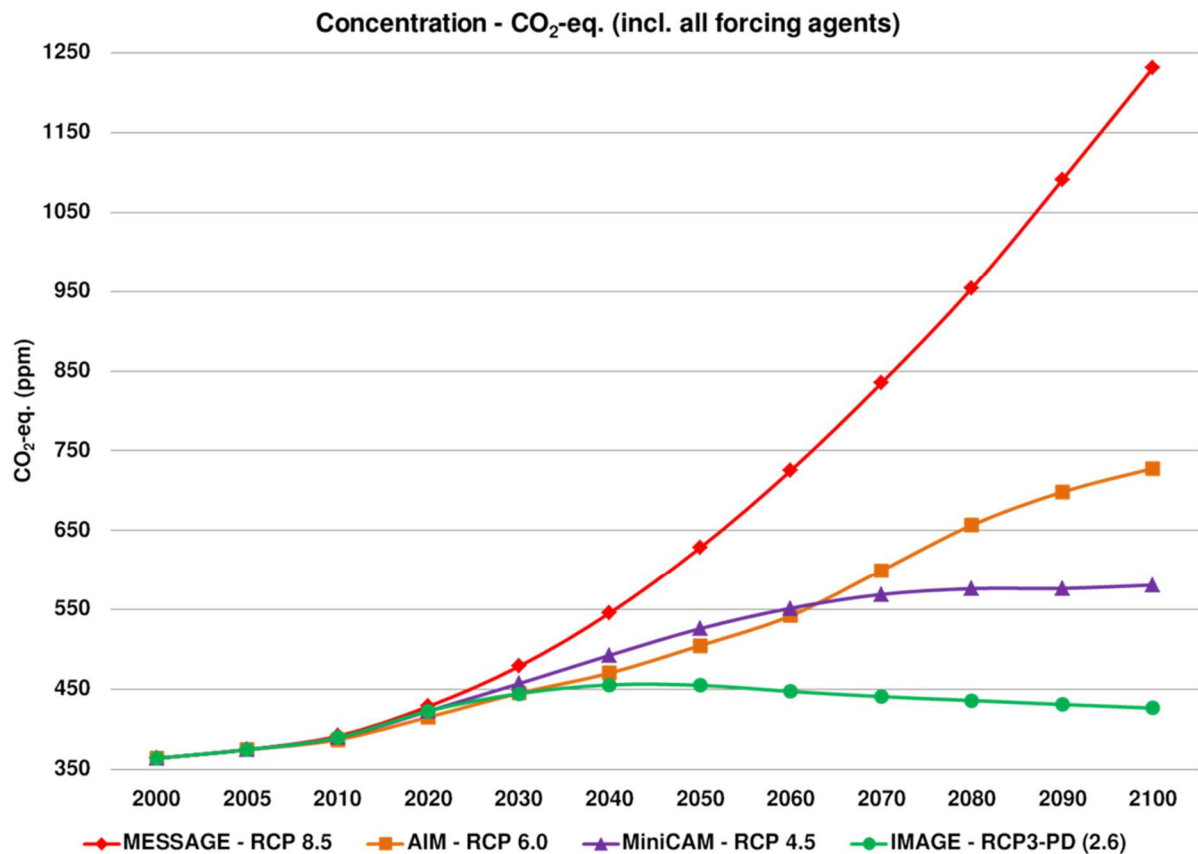


Abbildung 2 I Repräsentative Konzentrationspfade der Treibhausgase (CO₂-Äquivalente) in der Atmosphäre bis 2100 entsprechend der verschiedenen Annahmen für die Szenarien (IPCC 2013/2018, 2021). Gegenwärtig (ohne Covid-19 bedingte THG-Reduktionen) befinden wir uns auf der roten Linie (RCP 8,5).

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 dem roten Pfad (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)

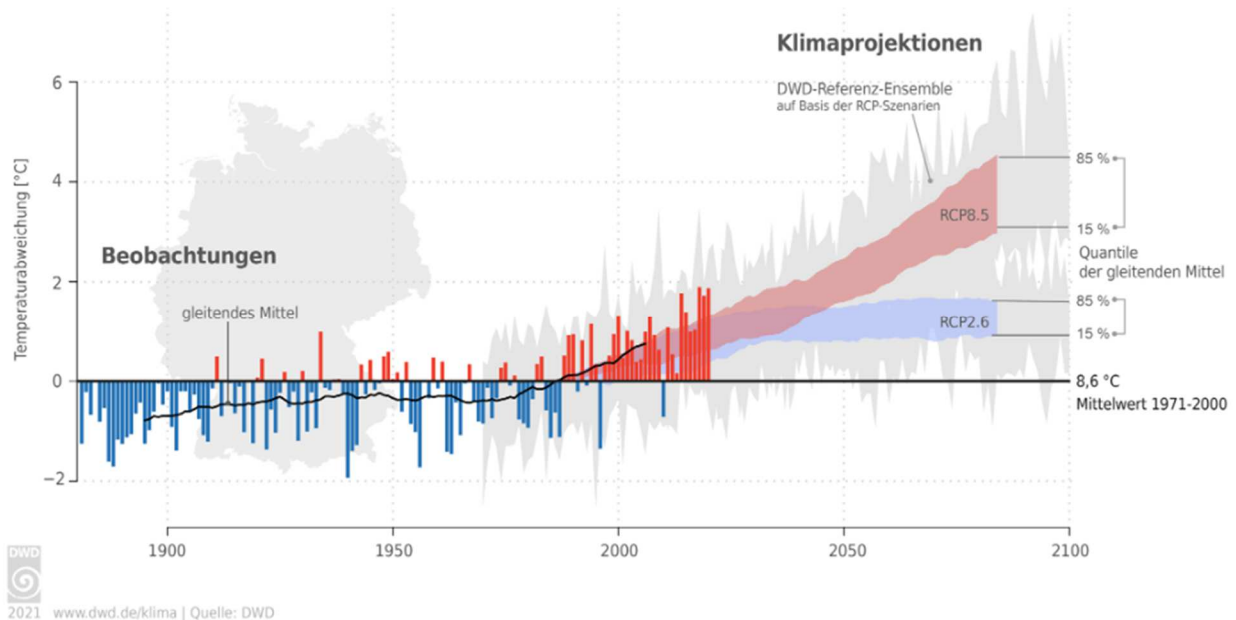


Abbildung 3 | Abweichungen der Lufttemperatur vom vieljährigen Mittel 1971-2000 sowie die zu erwartende Zunahme bis 2100. Gegenwärtig liegt die Temperaturzunahme über dem negativsten Szenario RCP8.5 (aus DWD 2021).

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.

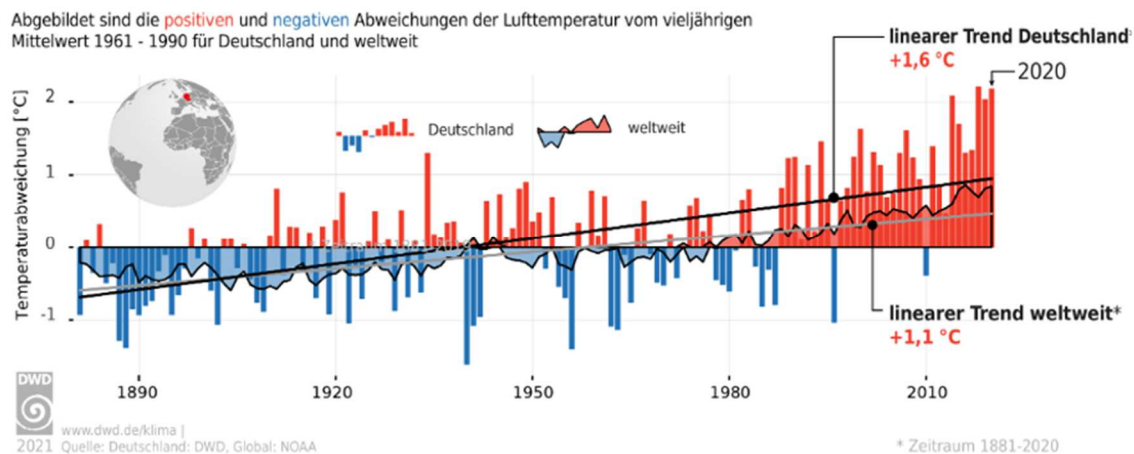


Abbildung 4 | Abweichungen der Lufttemperatur Weltweit (NOAA) und dem Gebietsmittel für Deutschland seit 1881. Die Geraden zeigen den linearen Trend weltweit (grau), bzw. für Deutschland (schwarz) (aus DWD 2021).

Die Pfade B1 und RCP 4.5 zeigen das optimistische Szenario mit einer weltweit einsichtigen aktiven Klimaschutzpolitik und Konzentration auf regionale Kreisläufe. Das ambitionierteste Szenario 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 Jahreszeitschwankung 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)

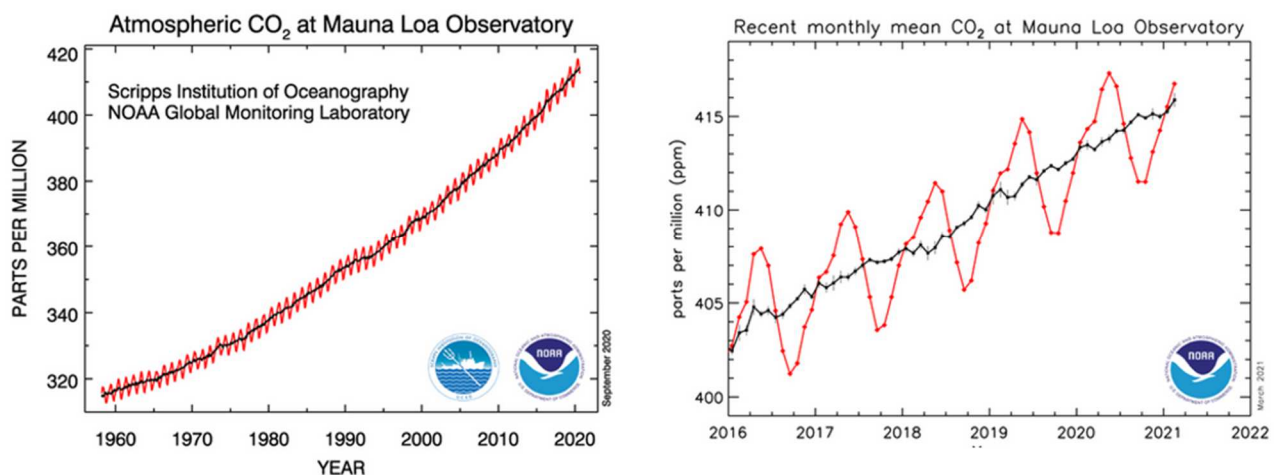


Abbildung 5 | Gemessene Konzentration der globalen CO₂-Konzentration in der Troposphäre (Quelle NOAA 2021; <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>)

Die Karte in Abbildung 6 zeigt die globale CO₂-Zunahme im Laufe von zwei 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 Gemeindegebiet der Marktgemeinde Bad Grönenbach bemerkbar machen und in Zukunft machen werden, wird in den folgenden Abschnitten dargelegt.

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

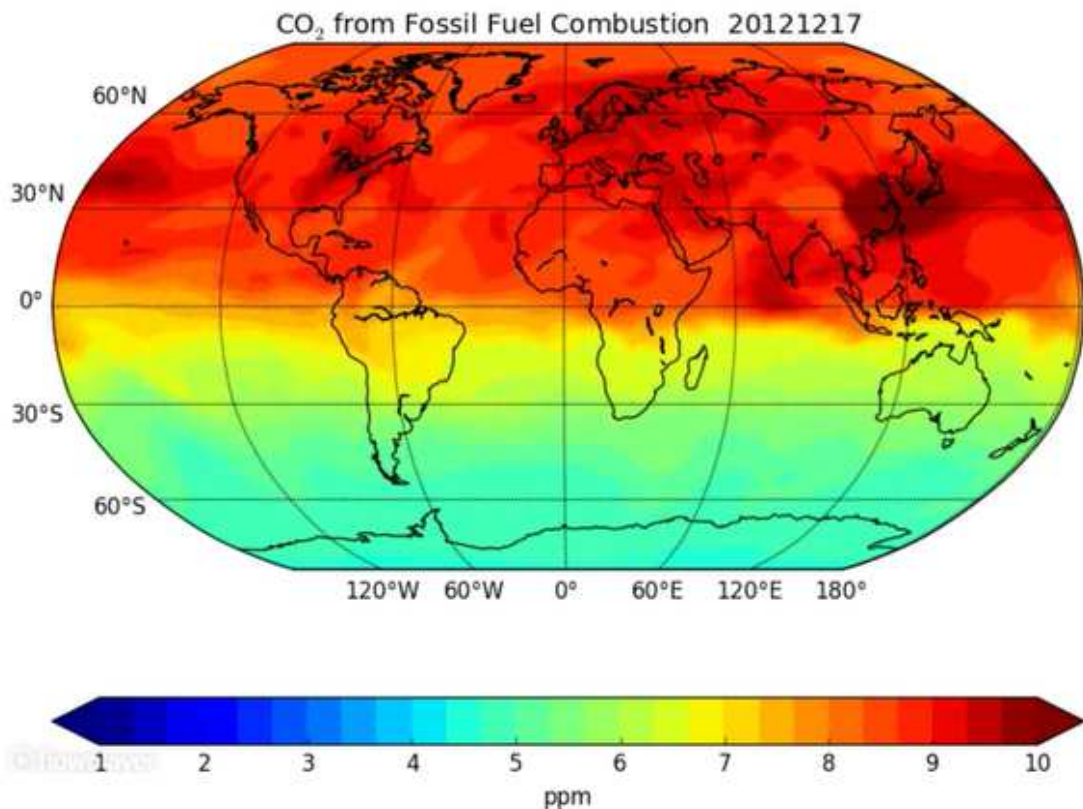


Abbildung 6 | Gemessene Zunahme der regionalen CO₂-Konzentration in der Troposphäre (Quelle NOAA 2020; <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/ff.html>)

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.

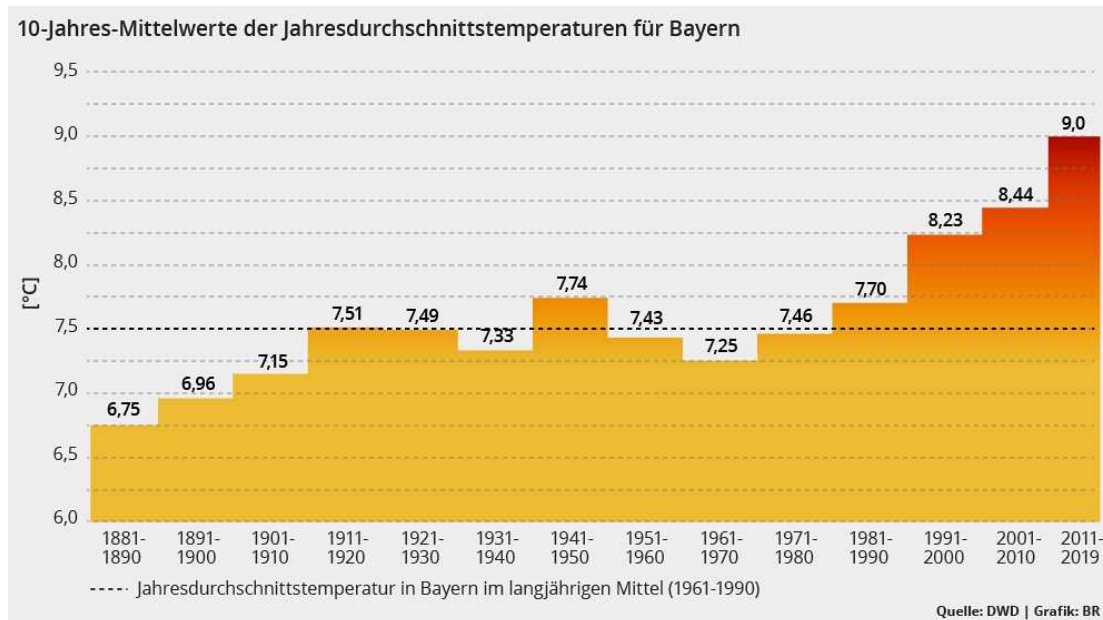


Abbildung 7 | Verlauf der 10-Jahresmittel der Temperatur in Bayern; Auffällig ist die starke Zunahme seit 1990 (DWD/BR download 2020 unter: https://www.br.de/klimawandel/bayern-temperaturen-rekorde-klimawandel-100~_image-2_-9823676e711b1e60923936e299907dca0d26f166.html)

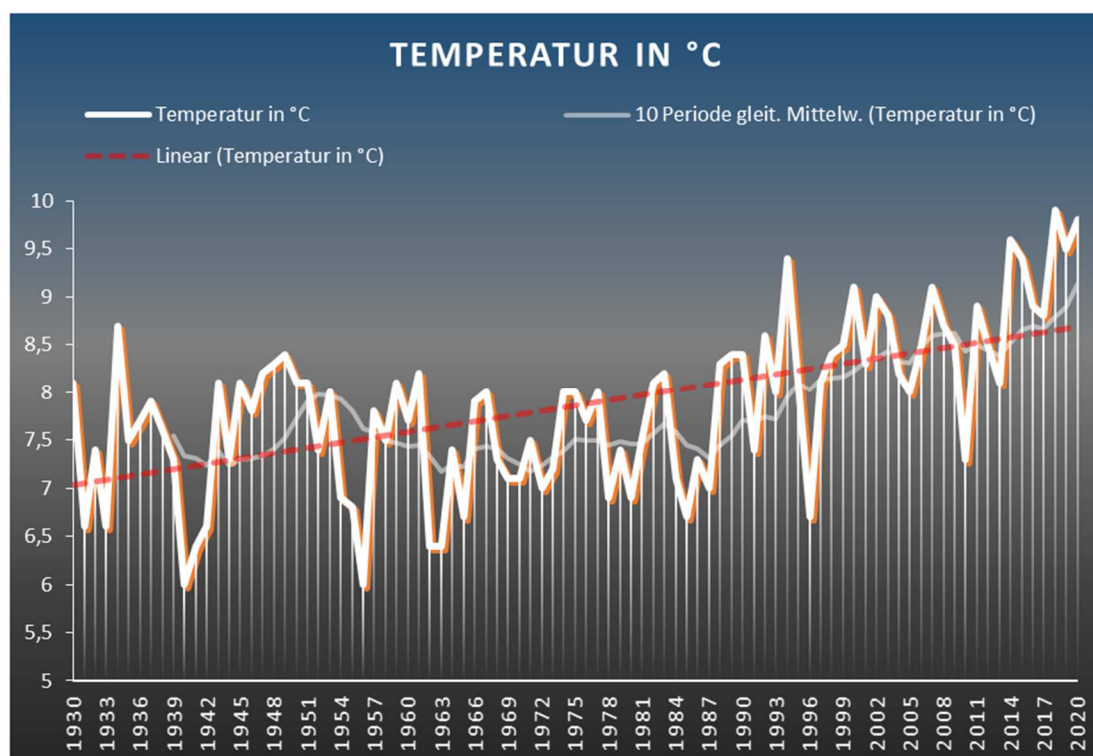


Abbildung 8 | Verlauf der Jahresmitteltemperatur in Bayern (weiß); gleitender zehnjähriger Mittelwert (grau) und linearer Trend (rot) 1931-2016 (nach LfU 2012 und DWD-Daten 2021)

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 Kempten für 2019/2020 in der folgenden Abbildung dargestellt (von Memmingen waren keine Stationsdaten erhältlich). Die Abweichungen (zu warm) sind für jeden Monat als rote Balken gemessen an der Referenzperiode von 1981 bis 2010 (schwarze Linien) dargestellt. Auffällig ist, dass jeder einzelne Monat, bis auf den Monat Mai, 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 Oktober 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**.

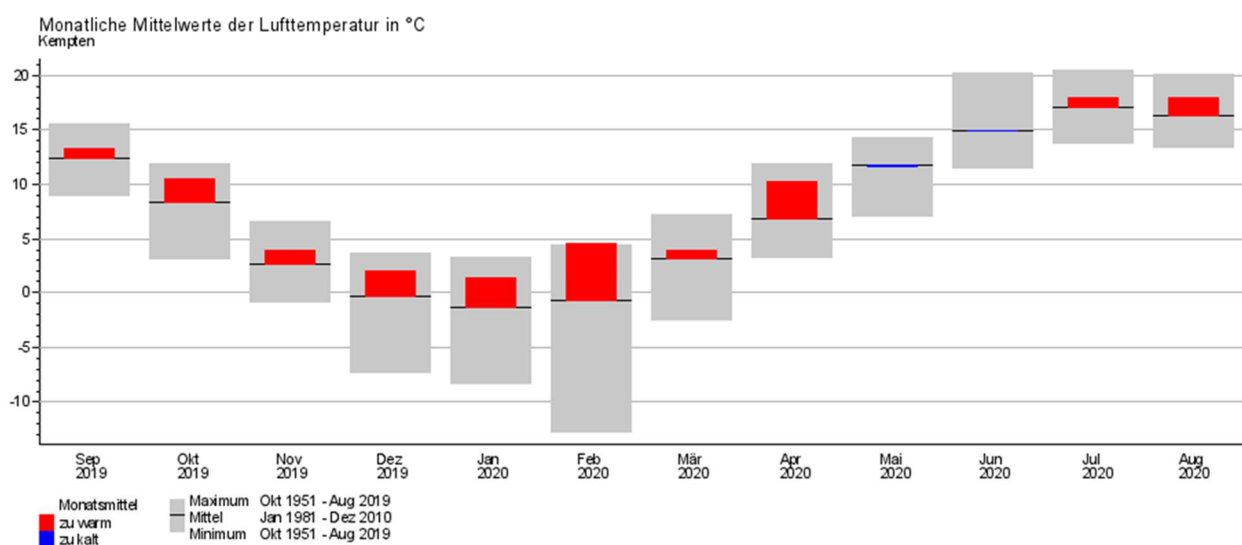


Abbildung 9 | Abweichungen der Monatsmittelwerte 2019/2020 von der Referenzperiode 1981-2010 (Quelle: DWD;
https://www.dwd.de/DE/wetter/wetterundklima_vorort/bayern/kempten/_node.html)

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

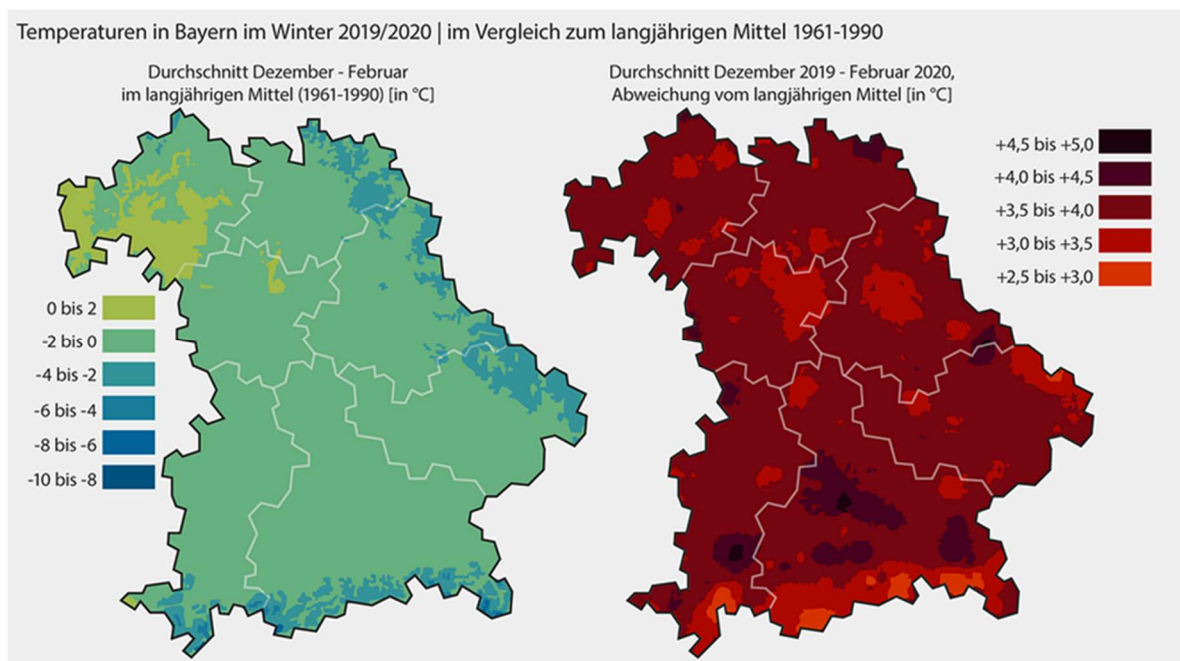
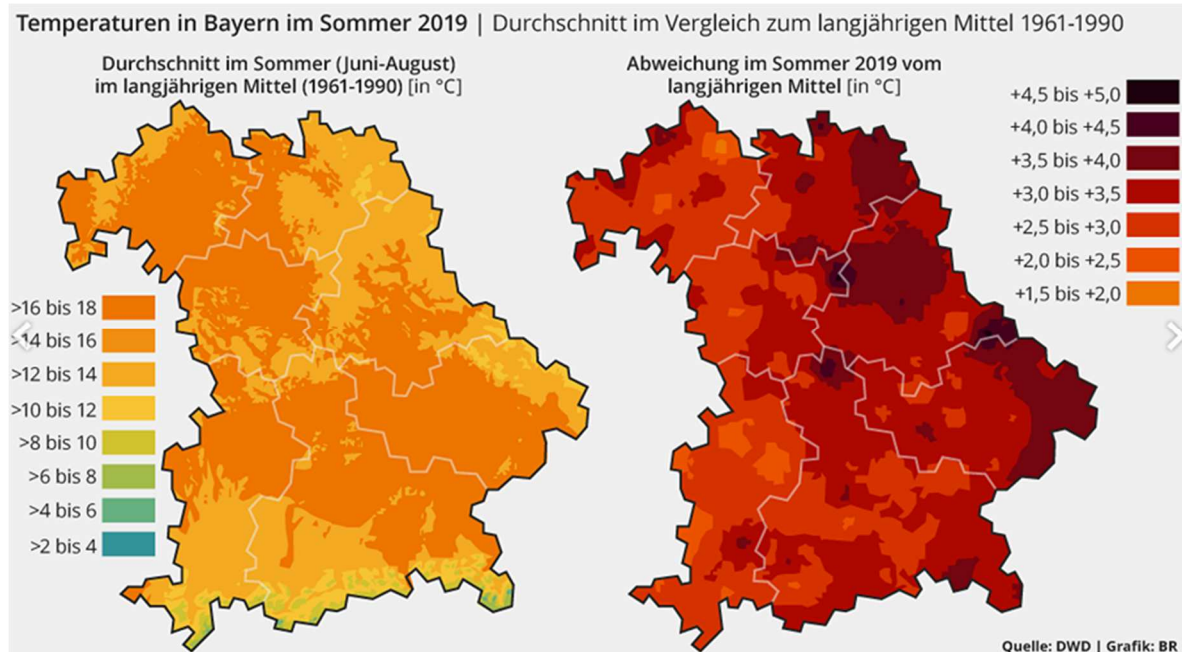


Abbildung 10 | Abweichungen der Temperaturen in Bayern vom langjährigen Mittel im Sommer 2019 und Winter 2019/20 (DWD Daten, Grafik BR
<https://www.br.de/klimawandel/bayern-temperaturen-rekorde-klimawandel-100.html>)

Beim Vergleich der Periode von 1961 bis 1990 mit dem Zeitraum von 2010-2020 an der Station Memmingen zeigt sich, dass die stärkste Erwärmung im Mittel im Winter (Dezember bis Februar) zu beobachten war. Hier liegt die Temperaturzunahme bei 2°. Die geringste mittlere Erwärmung von 0,7°C ist im Zeitraum von März bis Mai zu beobachten (vgl. Tabelle 1). Sommer und Herbst liegen bei 1,3° bzw. 1,1° über der Referenzperiode.

Gegenüber der Referenzperiode von 1961-1990 lag die **Temperaturzunahme** im Unterallgäu (Memmingen) mit 2,0° im Winter am höchsten.

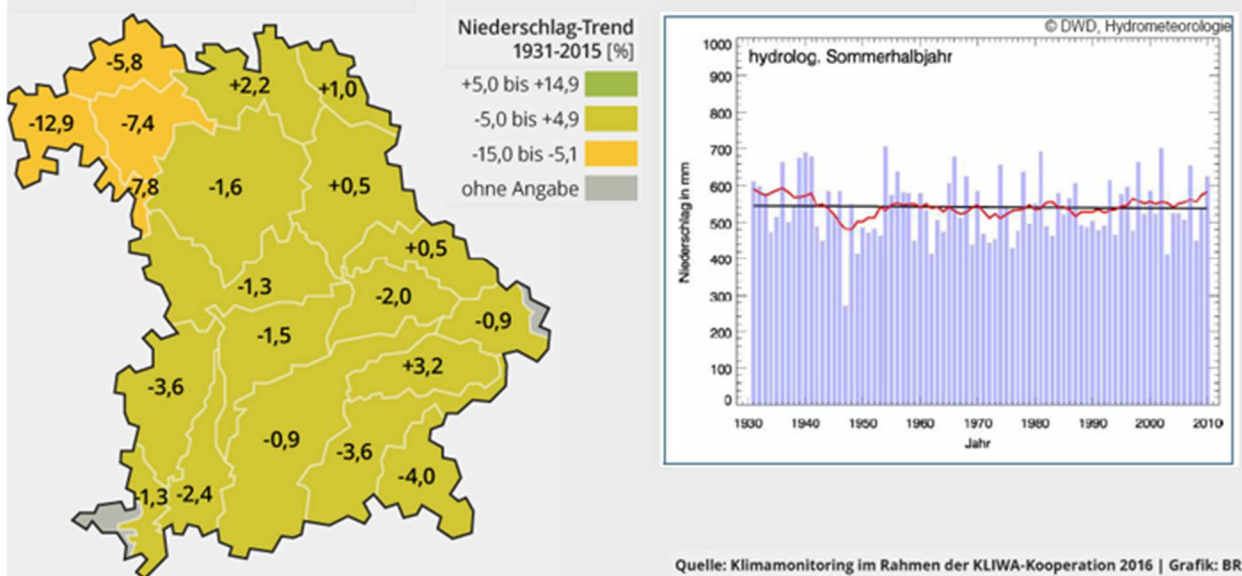
Tabelle 1 | Beobachtete Temperaturzunahme in den verschiedenen Jahreszeiten für Memmingen (Quelle: DWD und PIK 2021)

Bad Grönenbach 2010-2020	1961-1990	Änderung
in °C	T-Mittel	T-Mittel
		in °
Dez-Feb	0,9	-1,1
Mrz-Mai	8,4	7,7
Jun-Aug	17,1	15,8
Sep-Nov	9,4	8,3

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.

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



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

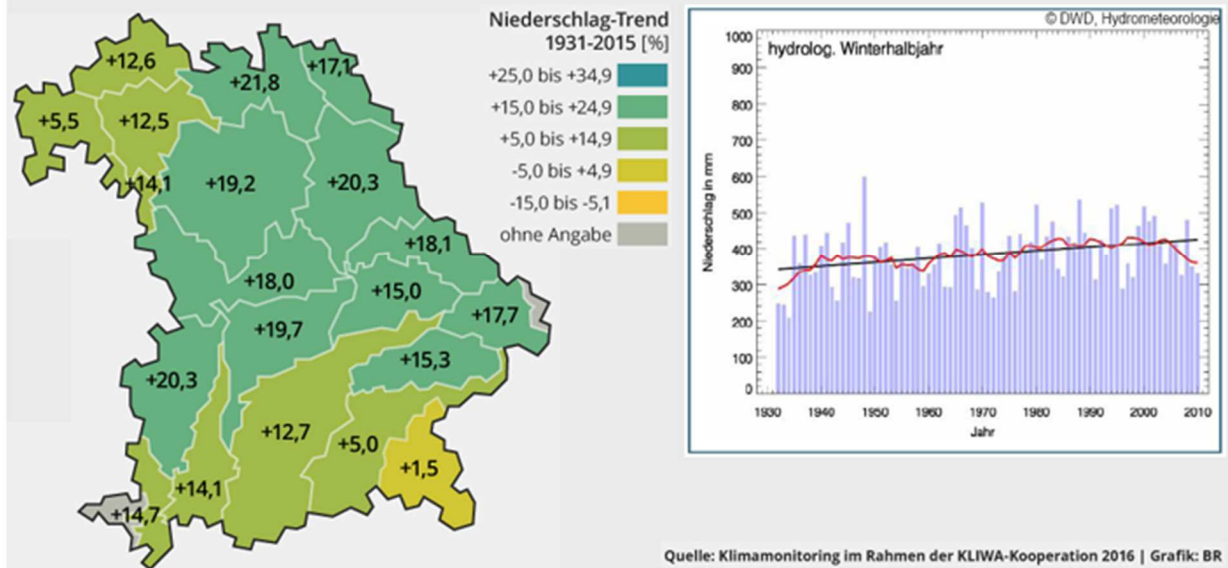


Abbildung 11 | Verteilung der Niederschlagsmengen in Bayern im Sommer- und Winterhalbjahr sowie die Niederschlagsmengen mit gleitendem zehnjähriger Mittelwert (rot) und linearem Trend (schwarz) von 1931-2015 (aus LfU 2012 und BR 2021 unter: <https://www.br.de/klimawandel/bayern-temperaturen-rekorde-klimawandel-100.html>)

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

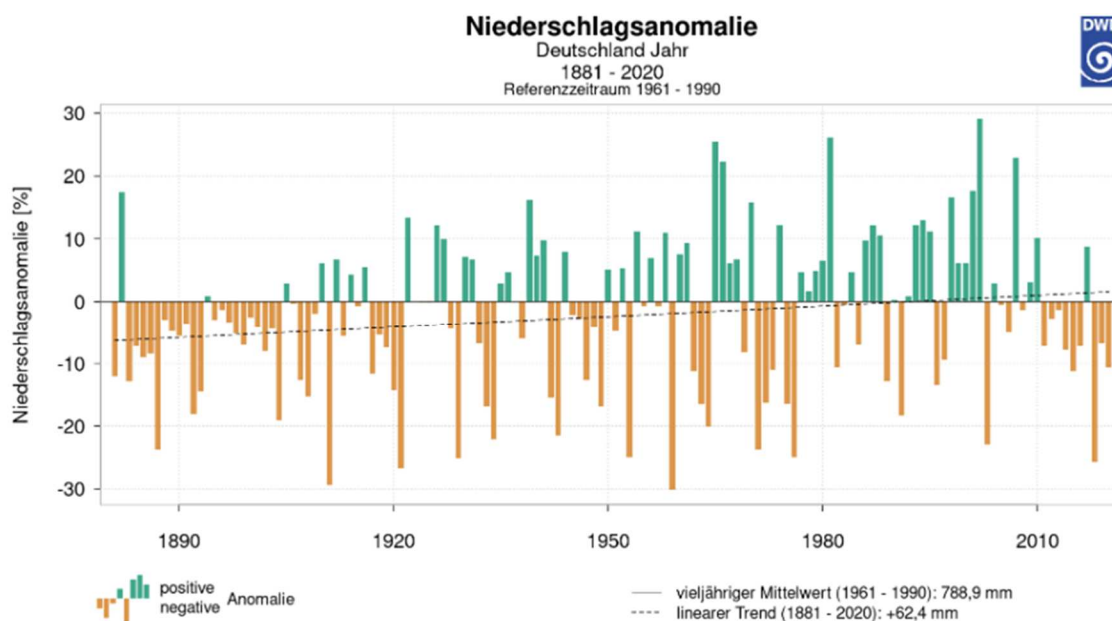


Abbildung 12 | Abweichungen der Niederschläge in Deutschland vom langjährigen Mittel 1961-1990 in %. Auffällig ist die hohe Variabilität der Jahresniederschläge von Jahr zu Jahr (aus DWD 2021)

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 und nach der Studie des KIT (2019) für Bad Grönenbach sogar leicht rückläufig.

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 der 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.

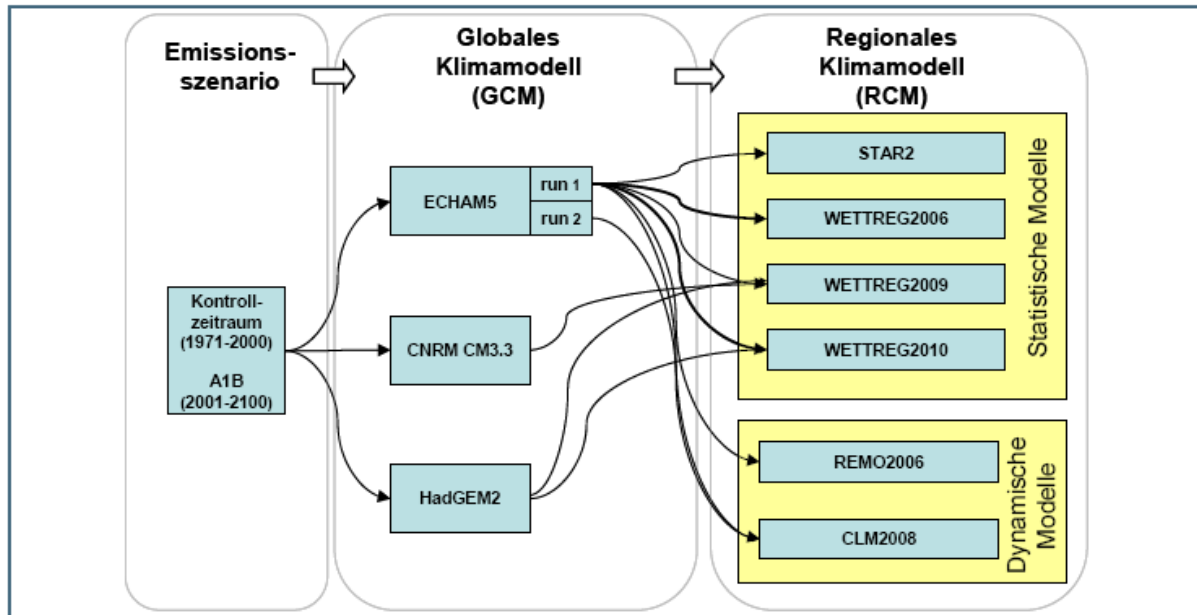


Abbildung 13 | Darstellung der Modelle der bayernweit ausgewerteten Klimaprojektionen (aus LfU 2012)

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 Simulationen 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, die Treibhausgasneutralität aber erst nach 2050 erreicht.

Da die landschaftliche Vielfalt im Bereich zwischen Alpenvorland und Donautal sehr ausgeprägt ist, wird sich der fortschreitende Klimawandel sehr differenziert bemerkbar machen. Generell scheint der Alpenraum, wie auch die großen Flusstäler (Rheintal, Donautal), 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.

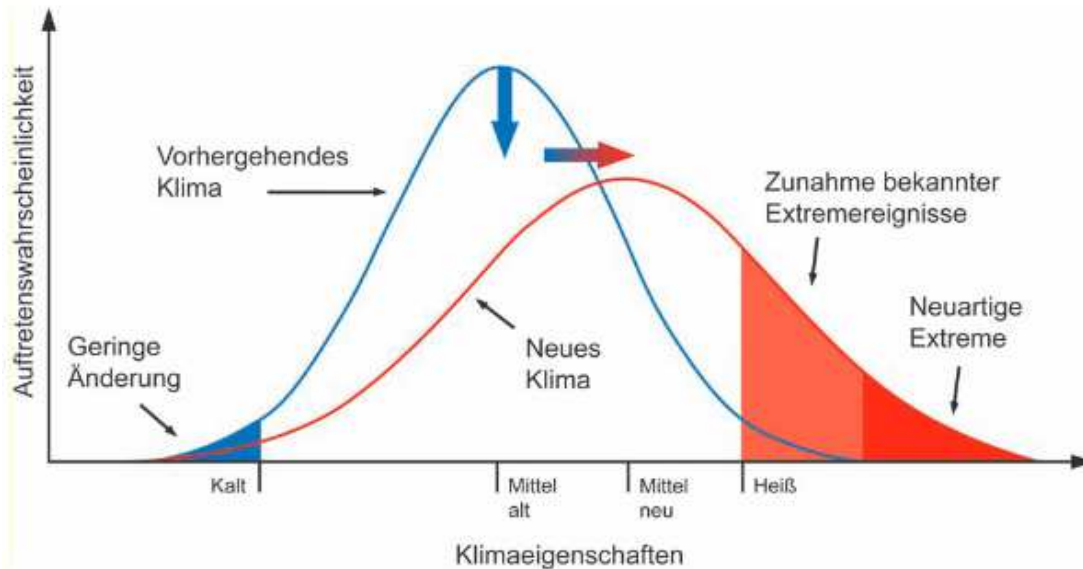


Abbildung 14 | Schematische Darstellung der Häufigkeitsverteilung klimatischer Kenngrößen des Ist-Zustandes (blaue Linie) und unter Einbeziehung des Klimawandels (rote Linie).

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 Marktgemeinde Bad Grönenbach 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 1,4° (in Bayern). Für den Zeitraum von 2041-2070 zeigt sich ein Anstieg von 2,3° und für die Zeitspanne von 2071-2100 von 4,2° im Weiter so-Szenario (RCP8.5). Im Klimaschutzszenario hingegen liegt die Erwärmung für 2071-2100 nur bei 2,3° (PIK 2019).

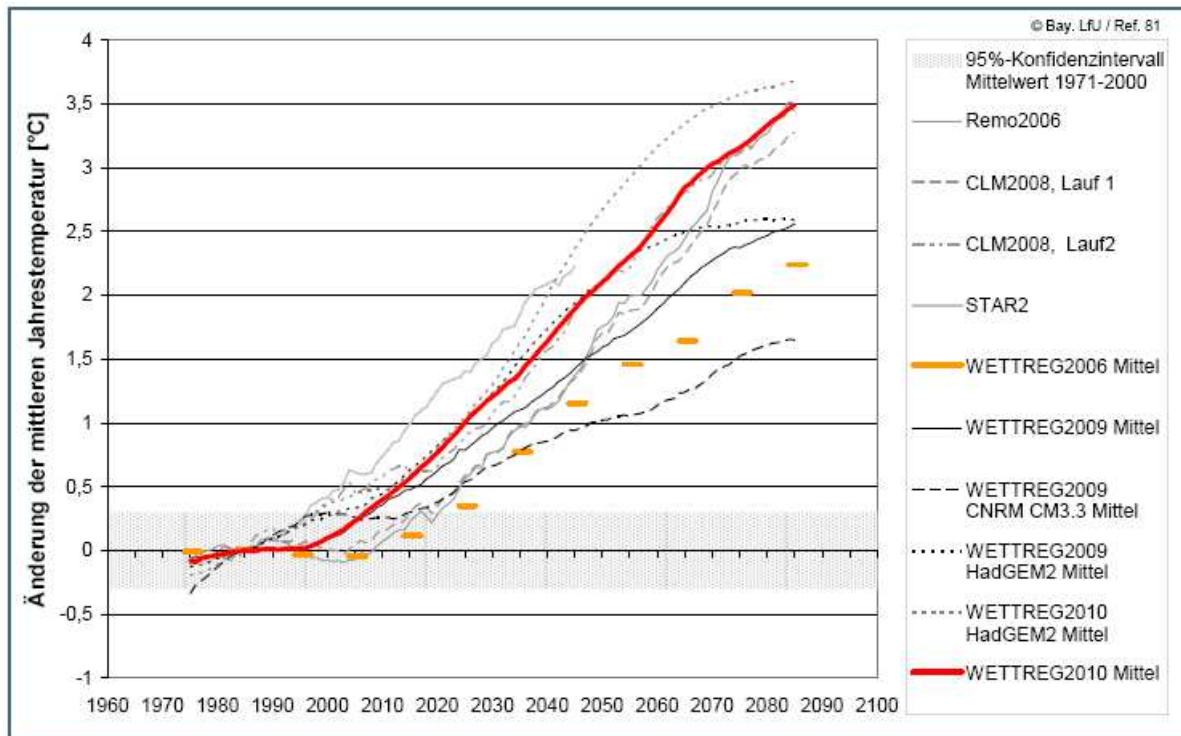


Abbildung 15 | Änderung des 30-jährigen gleitenden Temperaturmittels in Bayern gegenüber 1971-2000 in [°C] für eine Auswahl an regionalen Klimaprojektionen (Ensemble) (aus LfU 2012).

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 um Bad Grönenbach das folgende Bild: Die erwartete Zunahme für das Jahresmittel zwischen 2031-2060 in Bezug zum Referenzzeitraum von 1981-2010 liegt bei $1,7^\circ$. Für den Zeitraum von 2041-2070 steigt die Temperaturzunahme auf $2,2^\circ$ an. Für den Zeitraum von 2071-2100 kann mit einer Temperaturzunahme von $4,1^\circ$ gerechnet werden. Nach Jahreszeiten aufgeschlüsselt ergibt sich folgendes Bild:

Die Temperaturzunahme wird im Herbst und Winter am höchsten ausfallen ($1,9^\circ$ und $2,2^\circ$). Im Frühjahr ist sie mit $1,5^\circ$ am geringsten (Abbildung 16). Wird der Projektionszeitraum weiter bis 2041-2070 ausgedehnt (Abbildung 17), ergibt sich ein ähnliches Bild mit der Erwärmungsspitze im Herbst und Winter (beide $2,5^\circ$), das Frühjahr zeigt mit $1,9^\circ$ die geringste Erwärmung. Wird der Projektionszeitraum noch weiter bis 2071-2100 ausgedehnt (Abbildung 18), dann verstärkt sich die Maximalerwärmung im Winter auf

Die **Temperatur** in Bad Grönenbach wird selbst im Klimaschutzszenario für den Zeitraum von 2041-2070 **um $1,4^\circ$ zunehmen** (gegenüber dem Mittel von 1981-2010).

5,1°. Die folgenden Karten illustrieren die jahreszeitliche Erwärmung für Bad Grönenbach bei unterschiedlichen Projektionszeiträumen.

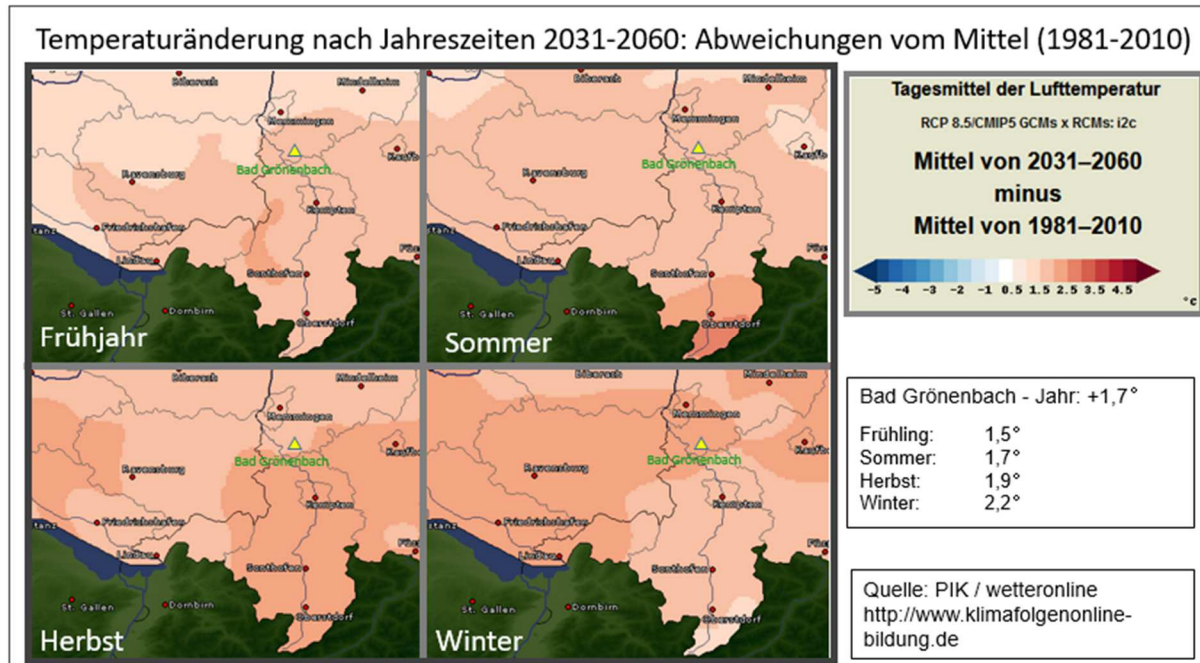


Abbildung 16 | Erwartete Temperaturzunahme für Bad Grönenbach nach Jahreszeiten 2031-2060 (Quelle: abgerufen 2021 - PIK / wetteronline: <http://www.klimafolgenonline-bildung.de>).

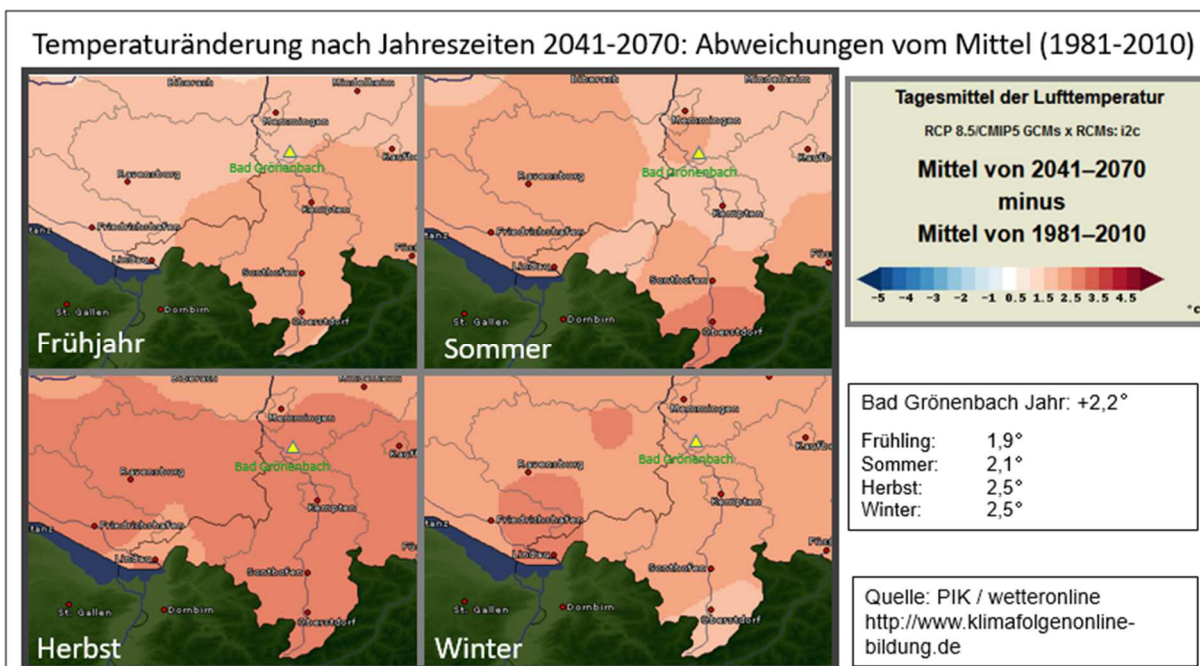


Abbildung 17 | Erwartete Temperaturzunahme für Bad Grönenbach nach Jahreszeiten 2041-2070 (Quelle: abgerufen 2021 - PIK / wetteronline: <http://www.klimafolgenonline-bildung.de>).

Temperaturänderung nach Jahreszeiten 2071-2100: Abweichungen vom Mittel (1981-2010)

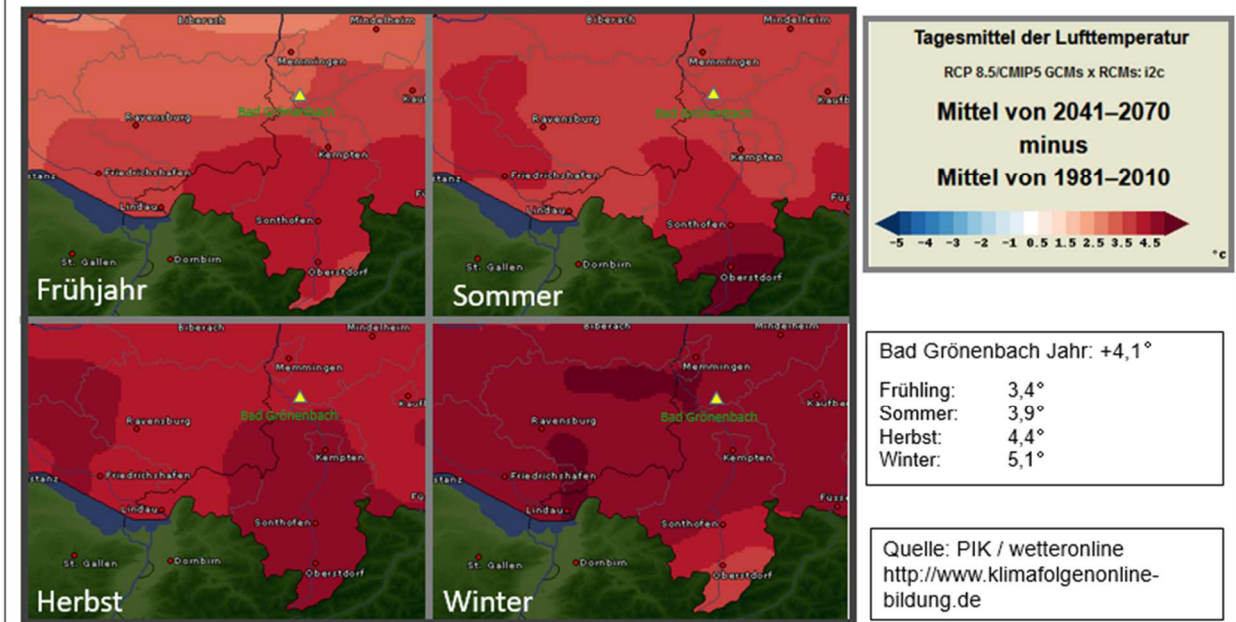


Abbildung 18 | Erwartete Temperaturzunahme für Bad Grönenbach nach Jahreszeiten 2071-2100 (Quelle: abgerufen 2021 - PIK / wetteronline: <http://www.klimafolgenonline-bildung.de>).

Temperaturänderung nach Jahreszeiten 2041-2070: Abweichungen vom Mittel (1981-2010)

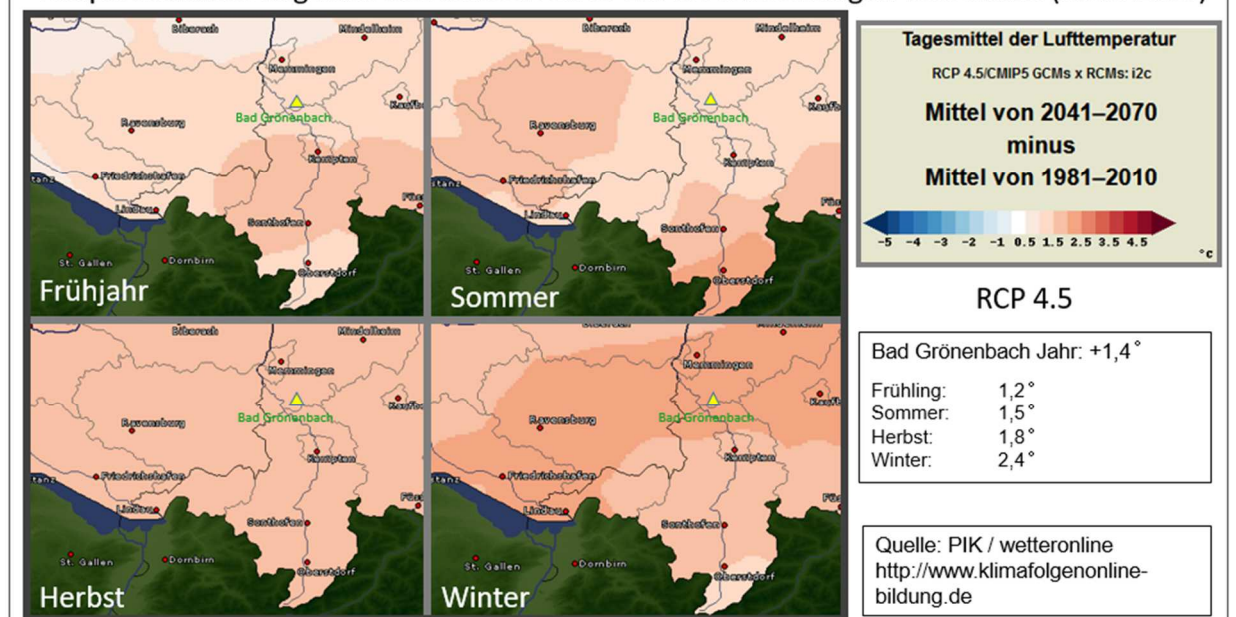


Abbildung 19 | Erwartete Temperaturzunahme für Bad Grönenbach nach Jahreszeiten 2041-2070 im Klimaschutzszenario RCP4.5 (Quelle: abgerufen 2021 - PIK / wetteronline: <http://www.klimafolgenonline-bildung.de>).

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 1,4° deutlich geringer ausfällt (gegenüber 1981-2010). Am stärksten ist in diesem Falle die Winterperiode mit 2,4° 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 Bad Grönenbach reduziert sich die Zahl der Eistage um 12-13 pro Jahr (Abbildung 20), bis 2071-2100 sogar um 24 (Abbildung 21). Im Klimaschutzszenario (RCP4.5) liegt der Rückgang der Eistage für 2041-2070 bei 11 Tagen (Abbildung 22).

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

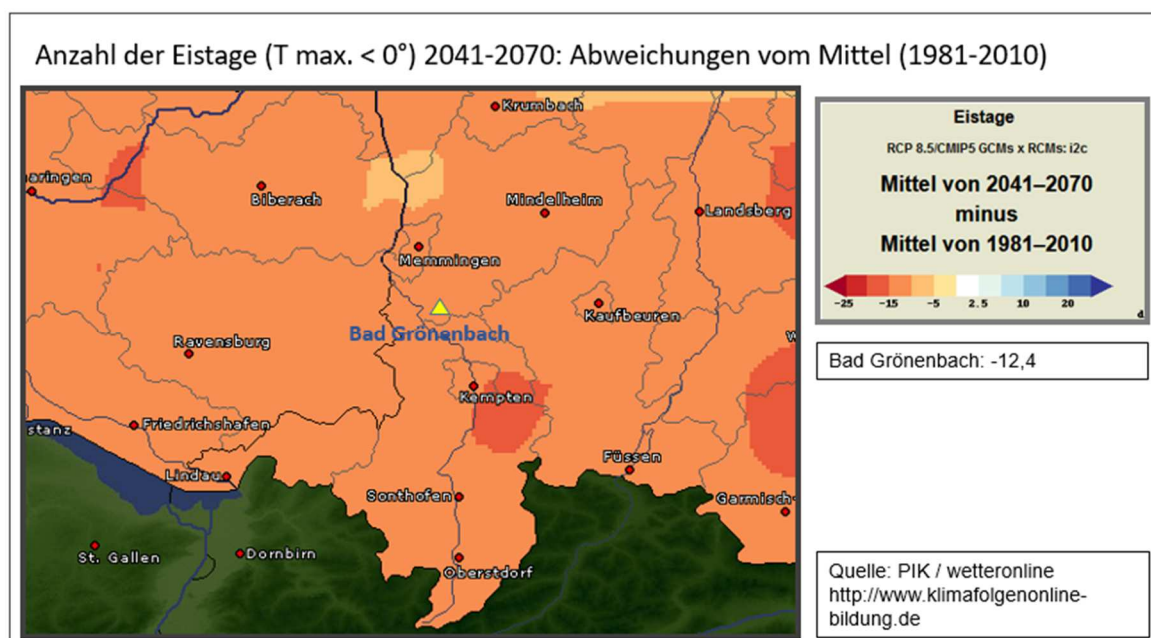


Abbildung 20 | Abweichung der durchschnittlichen Anzahl der Eistage für Bad Grönenbach (Quelle: abgerufen 2021 - PIK / wetteronline: <http://www.klimafolgenonline-bildung.de>)

Anzahl der Eistage (T max. < 0°) 2071-2100: Abweichungen vom Mittel (1981-2010)

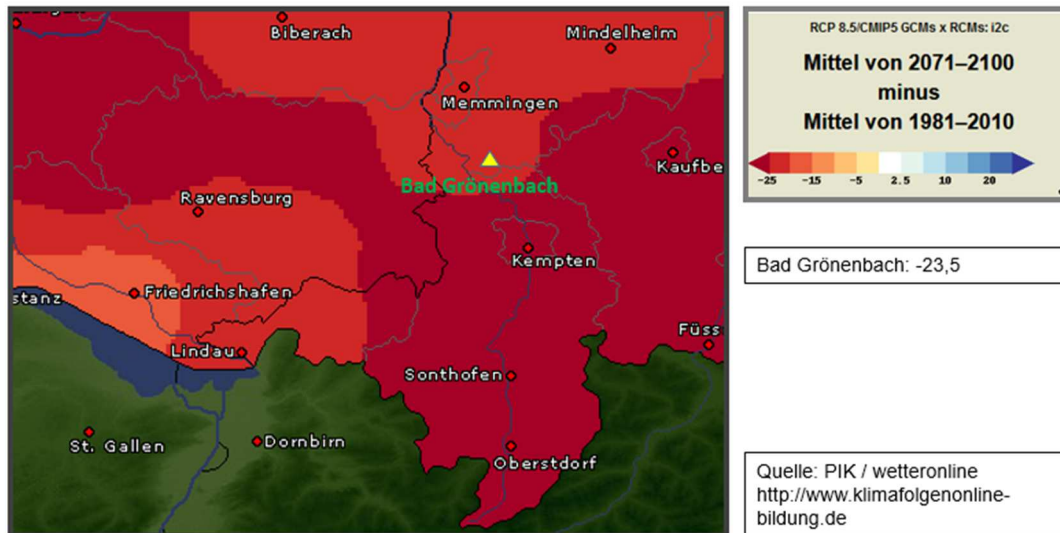


Abbildung 21 | Abweichung der durchschnittlichen Anzahl der Eistage für Bad Grönenbach 2071-2100 (Quelle: abgerufen 2021 - PIK / wetteronline: <http://www.klimafolgenonline-bildung.de>)

Anzahl der Eistage (T max. < 0°) 2041-2070: Abweichungen vom Mittel (1981-2010)

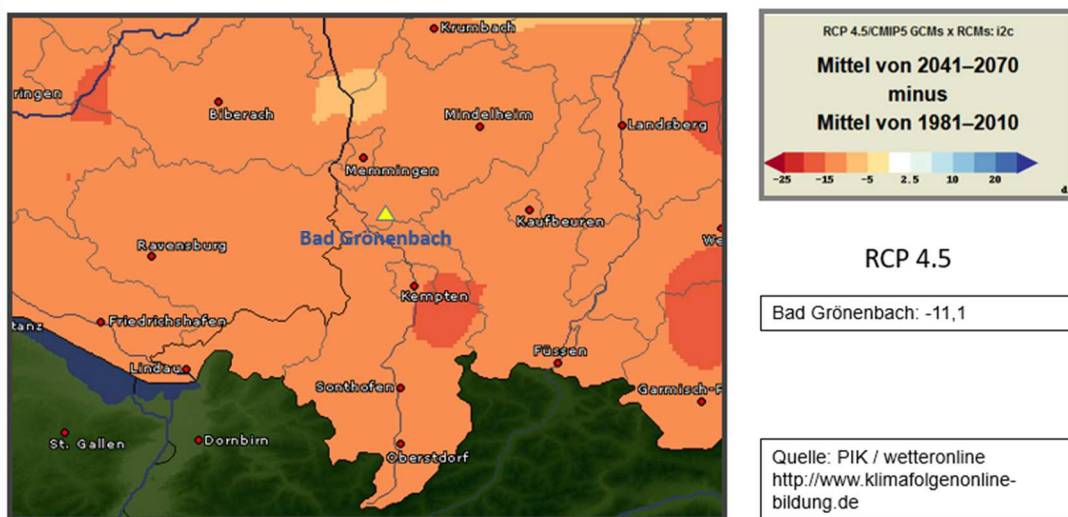


Abbildung 22 | Abweichung der durchschnittlichen Anzahl der Eistage für Bad Grönenbach 2071-2100 im Klimaschutzszenario RCP4.5 (Quelle: abgerufen 2021 - PIK / wetteronline: <http://www.klimafolgenonline-bildung.de>)

Die Zahl der Frosttage (Tage, an denen das Tagesminimum unter 0° liegt) wird um 37 auf dann ca. 62 pro Jahr zurückgehen (Abbildung 23).

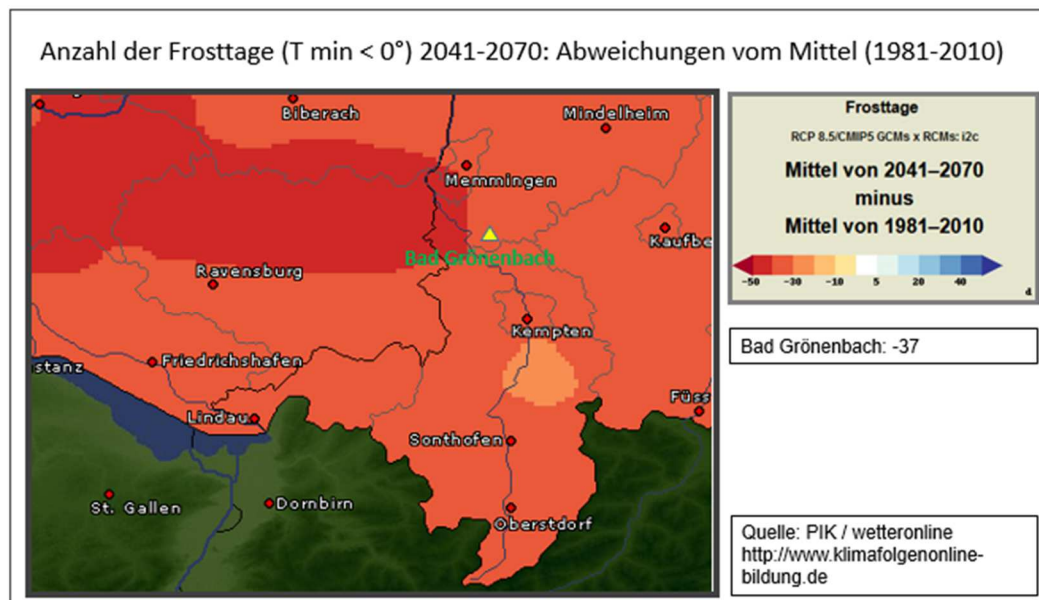


Abbildung 23 | Abweichung der durchschnittlichen Anzahl der Frosttage für Bad Grönenbach 2041-2070 (Quelle: PIK / wetteronline; <http://www.klimafolgenonline-bildung.de>)

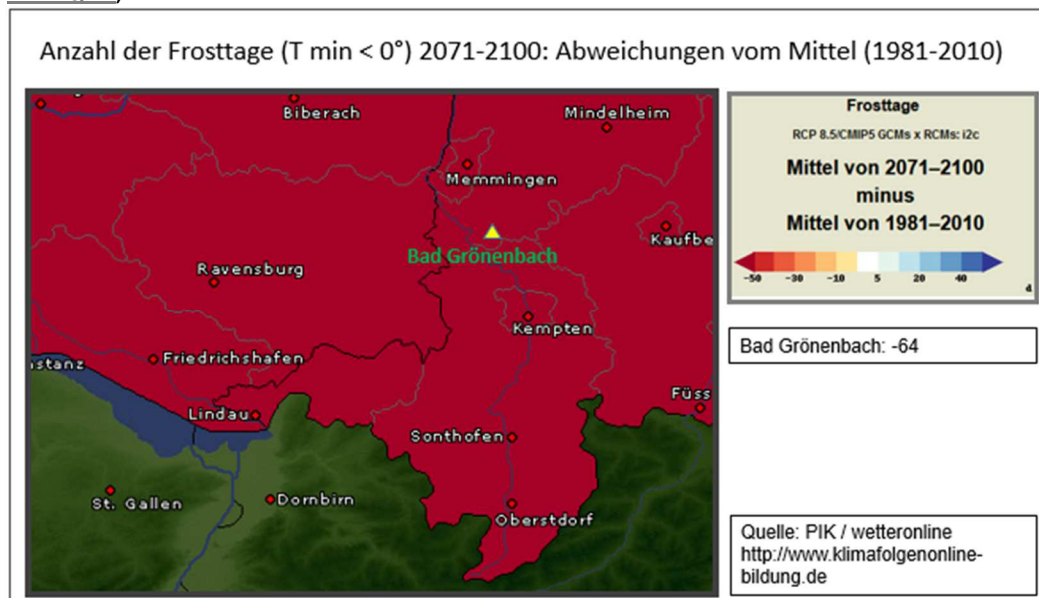


Abbildung 24 | Abweichung der durchschnittlichen Anzahl der Frosttage Bad Grönenbach 2071-2100 (Quelle: PIK / wetteronline; <http://www.klimafolgenonline-bildung.de>)

In der Projektionsperiode von 2071-2100 werden die Tage mit Frosttemperaturen um 64 zurückgehen, so dass jedes Jahr nur noch ca. 35 Frosttage zu erwarten sind (Abbildung 24). Im Klimaschutzszenario (RCP4.5) nimmt die Zahl der Frosttage für den Zeitraum 2041-2070 immerhin noch um 22,5 ab (Abbildung 25).

Die **Zahl der Frosttage** wird sich für 2041-2070 im Mittel um 37 pro Jahr reduzieren (gegenüber dem Mittel von 1981-2010).

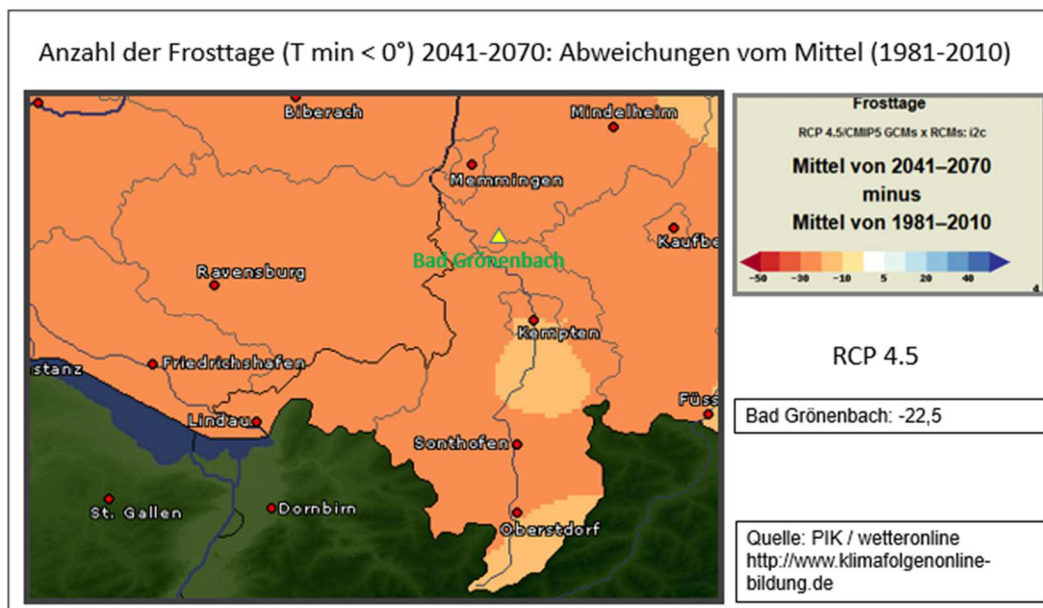


Abbildung 25 | Abweichung der durchschnittlichen Anzahl der Frosttage für Bad Grönenbach 2041-2070 im Klimaschutz-Szenario RCP4.5 (Quelle: PIK / wetteronline; <http://www.klimafolgenonline-bildung.de>)

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 Bad Grönenbach zunächst mäßig ansteigen. Für die Periode von 2041-2070 nimmt die Häufigkeit dieser Tage um 20,4 auf dann ca. 69 pro Jahr zu (Abbildung 26) - zum Vergleich: Im Hitzesommer 2003 gab es 87 Sommertage). In der Zeitspanne von 2071-2100 wird die Zahl der Sommertage um 41 auf 91 pro Jahr ansteigen (Abbildung 27). Im Klimaschutzszenario (RCP4.5) steigt die Zahl der Sommertage nur um 15,3 pro Jahr (für den Zeitraum von 2041-2070) (Abbildung 28).

Die **Zahl der Sommertage** (über 25°) wird um 20,4 pro Jahr zunehmen (gegenüber dem Mittel von 1981-2010).

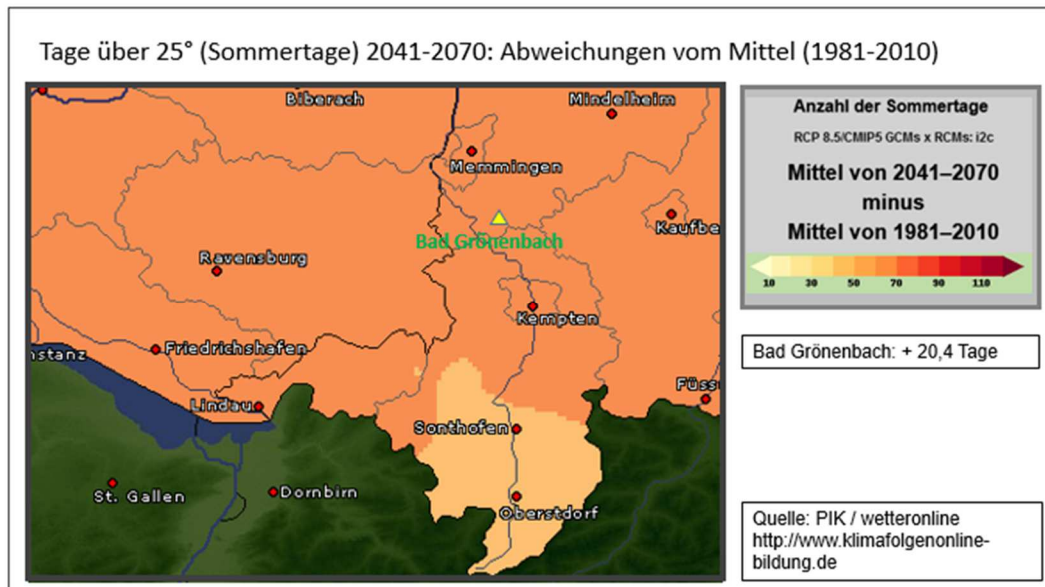


Abbildung 26 | Abweichung der durchschnittlichen Anzahl der Sommertage für Bad Grönenbach für 2041-2070 (Quelle: PIK / wetteronline; <http://www.klimafolgenonline-bildung.de>)



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

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

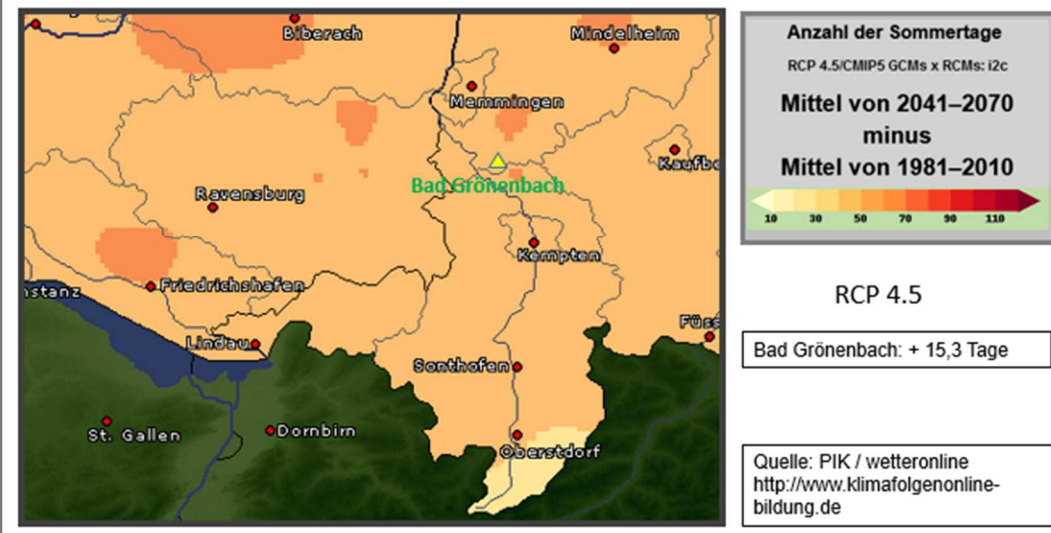


Abbildung 28 | Abweichung der durchschnittlichen Anzahl der Sommertage Bad Grönenbach für 2041-2070 im Klimaschutzszenario RCP4.5 (Quelle: PIK / wetteronline; <http://www.klimafolgenonline-bildung.de>)

Tage über 30° (sogenannte „Hitzetage“) wird es knapp 8 pro Jahr mehr geben, als bisher (1981-2010), wodurch dann in Bad Grönenbach im Mittel 14 heiße Tage im Jahr zu erwarten sind. Für die Projektionsperiode von 2071-2100

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

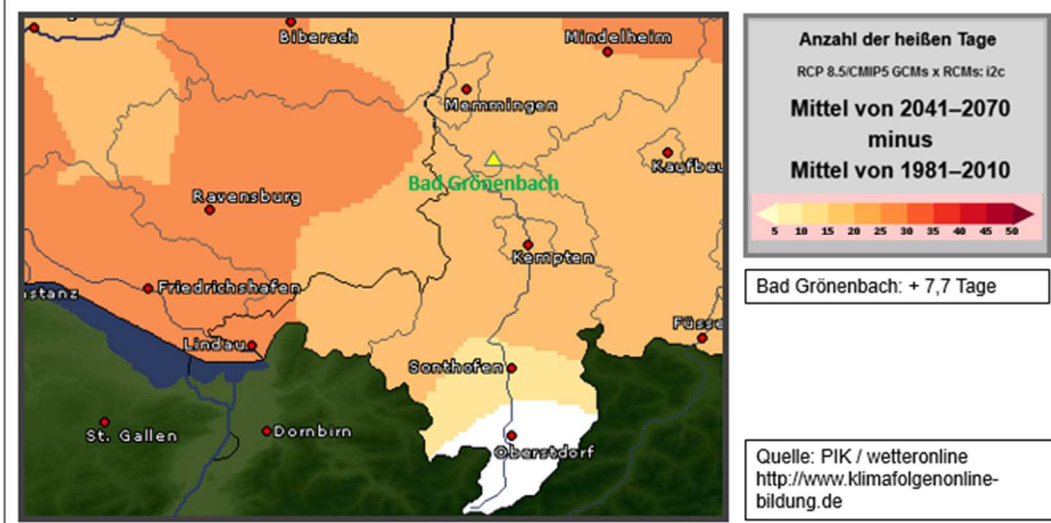


Abbildung 29 | Abweichung der durchschnittlichen Anzahl der Hitzetage für Bad Grönenbach für 2041-2070 (Quelle: PIK / wetteronline; <http://www.klimafolgenonline-bildung.de>)

werden 19 zusätzliche Hitzetage und damit durchschnittlich 25 pro Jahr erwartet (Abbildung 30).

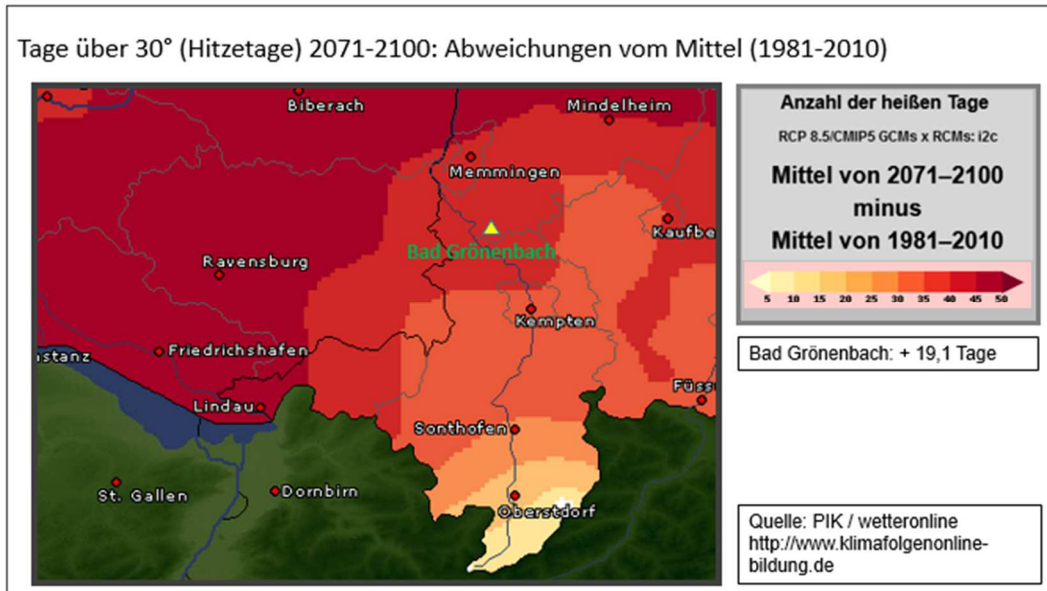


Abbildung 30 | Abweichung der durchschnittlichen Anzahl der Hitzetage für Bad Grönenbach für 2041-2070 (Quelle: PIK / wetteronline; <http://www.klimafolgenonline-bildung.de>)

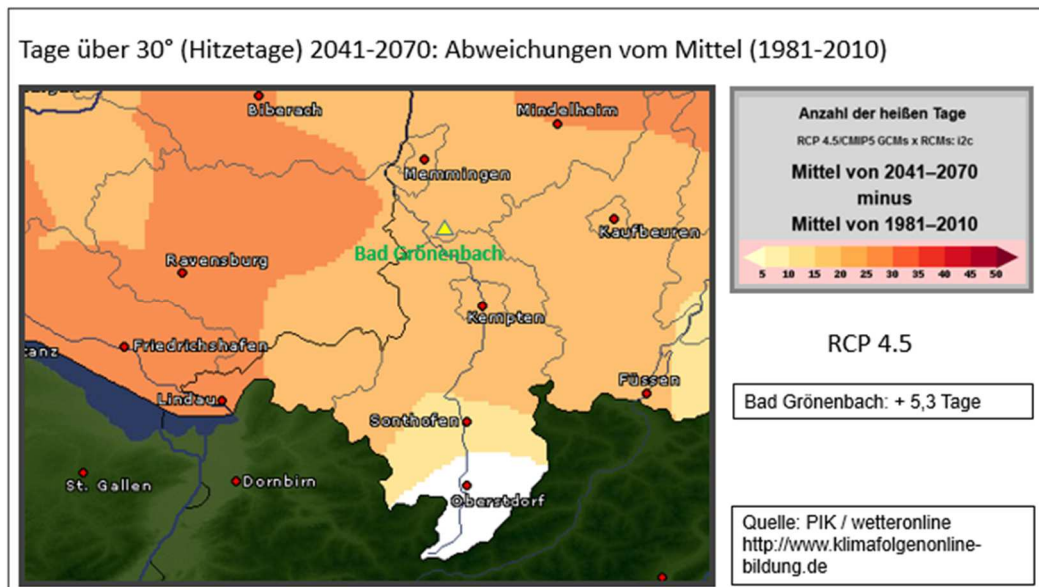


Abbildung 31 | Abweichung der durchschnittlichen Anzahl der Hitzetage für Bad Grönenbach für 2041-2070 im Klimaschutz-Szenario RCP4.5 (Quelle: PIK / wetteronline; <http://www.klimafolgenonline-bildung.de>)

Im Klimaschutzszenario (RCP4.5) werden für den Zeitraum von 2041-2070 nur 5,3 zusätzliche Hitzetage erwartet.

Im Rekordsommer 2003 wurden in Memmingen 25 Hitzetage registriert. Dieser Sommer repräsentiert daher ziemlich genau das, was in Zukunft ein „normaler“ Sommer in der Region sein wird. 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 weitergehen.

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.

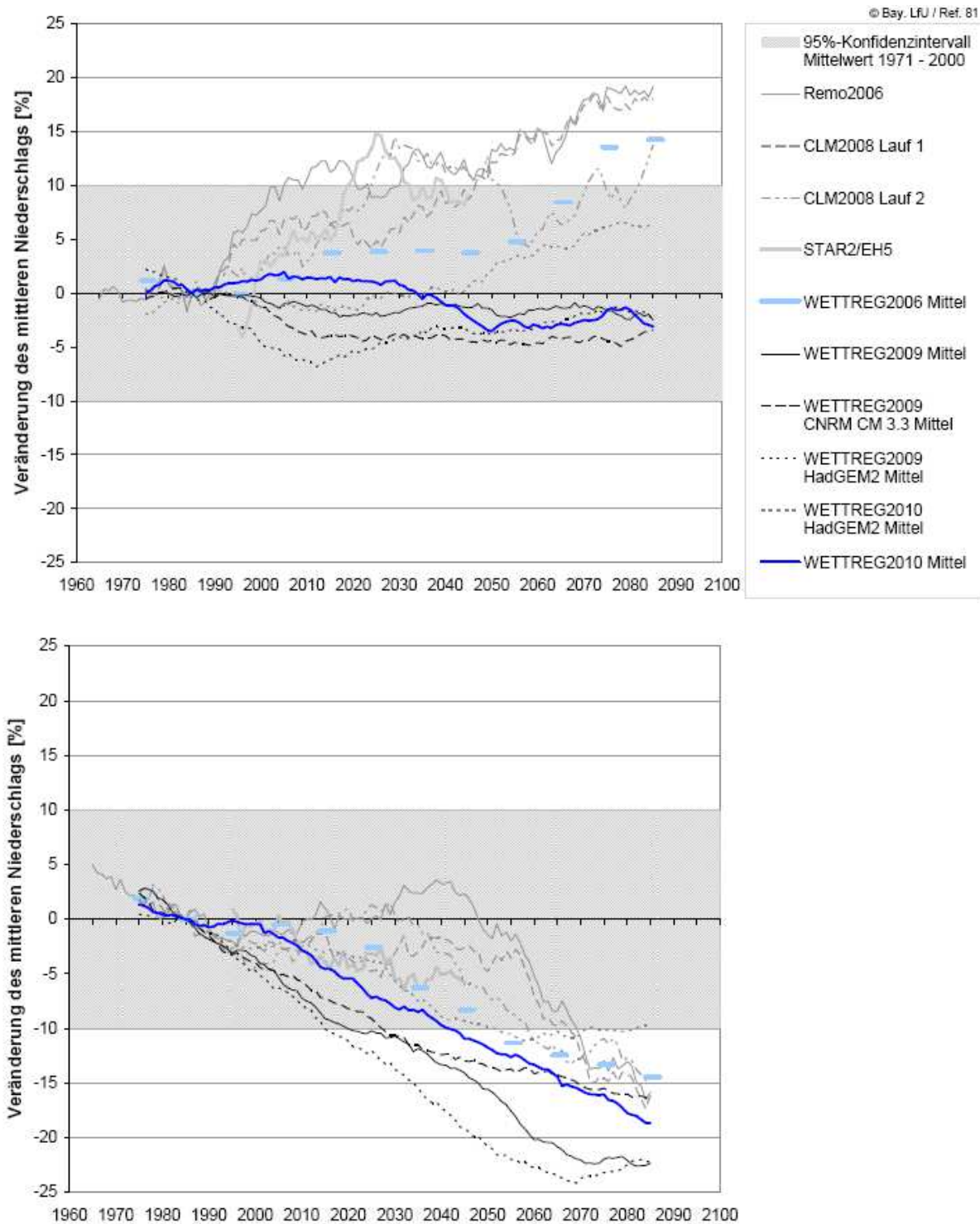


Abbildung 32 | Änderung des 30-jährigen gleitenden Mittels des Niederschlags in Bayern gegenüber der Periode von 1971-2000 für das hydrologische Winterhalbjahr (oben) und Sommerhalbjahr (unten) (Quelle LfU 2012).

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 in Bad Grönenbach 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.

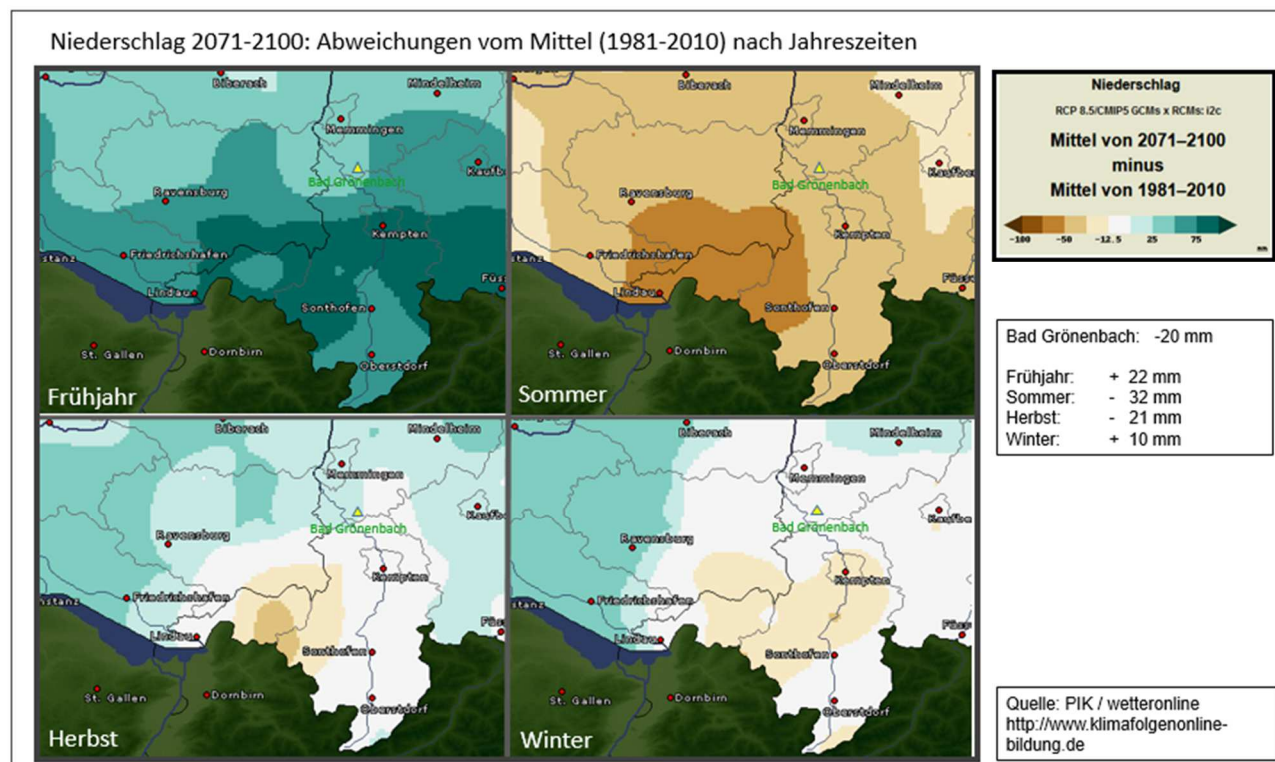


Abbildung 34 | Änderung der zu erwartenden Niederschläge für das Mittel 2071-2100 für die Jahreszeiten in Bad Grönenbach und Umland (Quelle: PIK / wetteronline; <http://www.klimafolgenonline-bildung.de>)

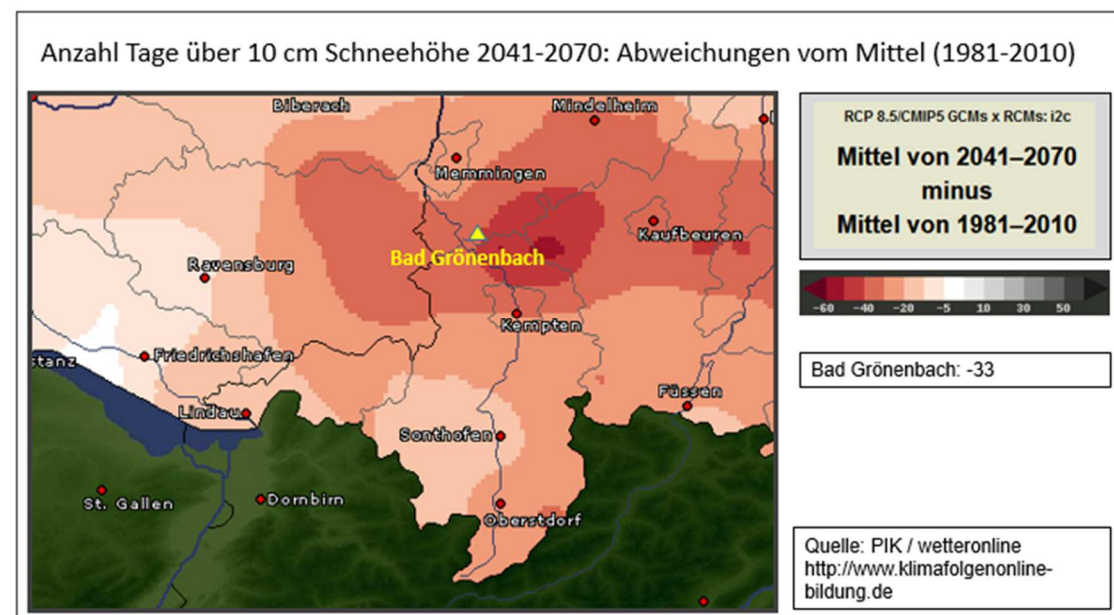


Abbildung 35 | Änderung der zu erwartenden Tage mit über 10 cm Schnee für den Zeitraum 2041-2070 im Vergleich zu 1981-2010 in Bad Grönenbach und Umgebung (Quelle: PIK / wetteronline; <http://www.klimafolgenonline-bildung.de>)

Ein weiterer wichtiger Aspekt für die Gemeinde Bad Grönenbach 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 33 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 Unterallgäu und die Gemeinde Bad Grönenbach 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.

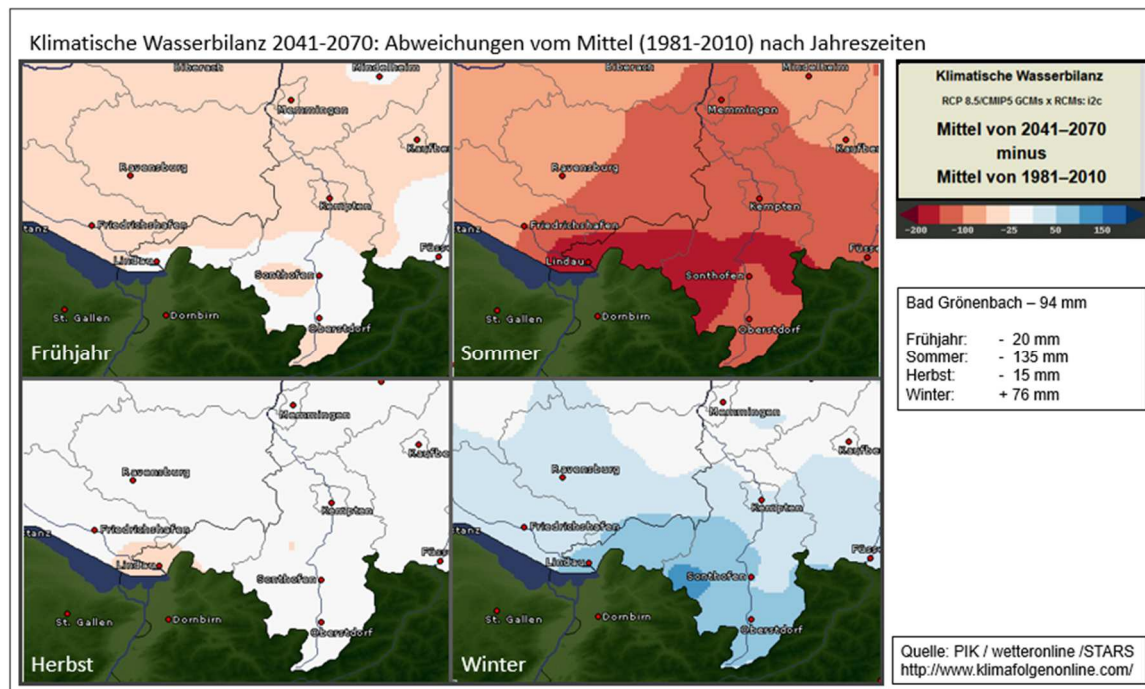


Abbildung 36 | Mittlere Änderung der klimatischen Wasserbilanz für den Zeitraum 2041-2070 im Vergleich zu 1981-2010
(Quelle: PIK / wetteronline; <http://www.klimafolgenonline-bildung.de>)

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 Bad Grönenbach ist aber insgesamt über das Jahr gesehen mit einem Rückgang von 27-40 mm nur schwach betroffen (Abbildung 37).

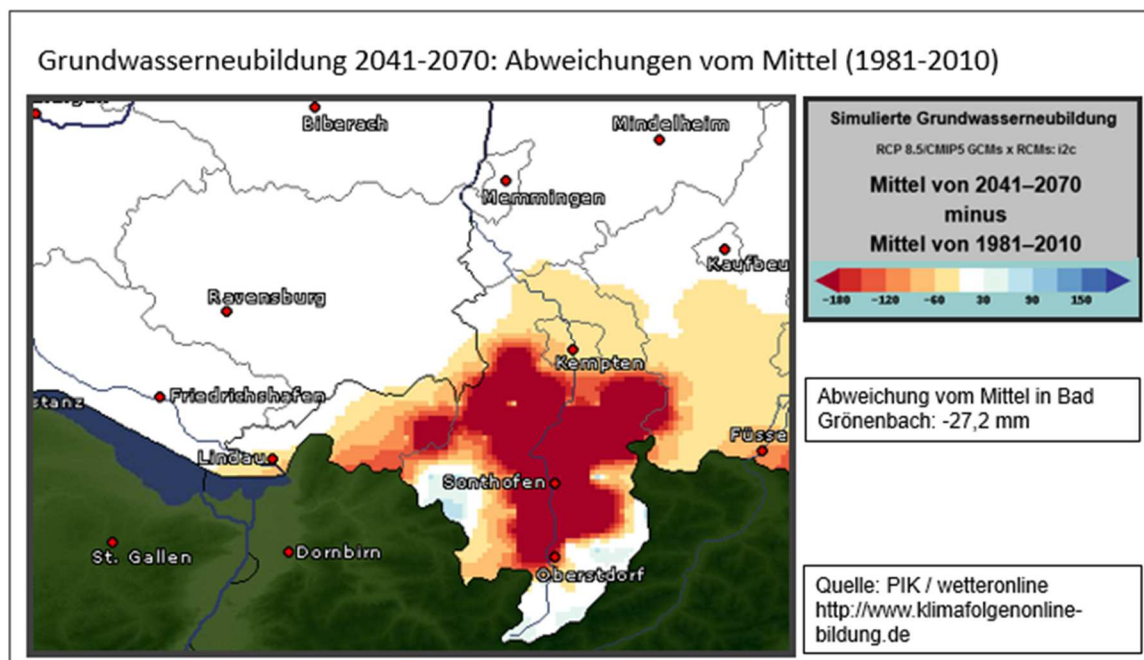


Abbildung 37 | Mittlere Änderung der Grundwasserneubildung für den Zeitraum 2041-2070 im Vergleich zu 1981-2010
(Quelle: PIK / wetteronline; <http://www.klimafolgenonline-bildung.de>)

4.2. Wasserversorgungssicherheit

Der künftige Wasserbedarf in der Gemeinde 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 derzeit keine erheblichen mengenmäßigen Neuerschließungen des Rohwasserdargebotes zugunsten der öffentlichen Wassergewinnung erforderlich. Dies bedeutet, dass die bestehenden Wasserversorgungsstrukturen auf bestmögliche Weise zukunftsicher zu erhalten und zu sichern sind. Daher ist die Versorgungssicherheit für die Gemeinde Bad Grönenbach unter Vorbehalt gewisser zukünftiger Einschränkungen weiter gewährleistet (Abbildung 38) (Reg. v. Schwaben 2015).

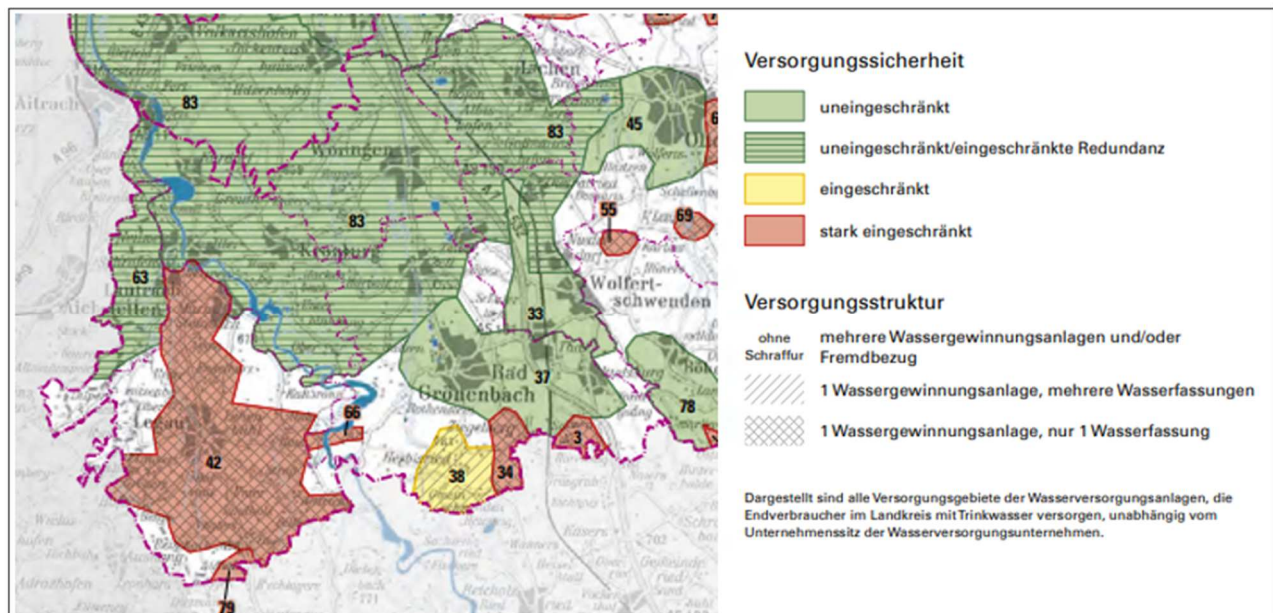


Abbildung 38 | Versorgungssicherheit im südlichen Landkreis bei Bad Grönenbach
 (Quelle: Regierung von Schwaben 2015, Stand 2012;
https://www.regierung.schwaben.bayern.de/Aufgaben/Bereich_5/Wasserwirtschaft_und_Wasserbau/WVB2025_Schwaben_2015-01-26_Web.pdf)

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 Gemeindegebietes von Bad Grönenbach gibt es vergleichsweise wenig betroffene Flächen. Die Hochwassergefahrenkarte für das hundertjährige und das extreme Hochwasser (HQ100 und HQ extrem) zeigt nur entlang der Iller Überflutungen (Abb. 39), die aber kein bewohntes Gebiet betreffen.

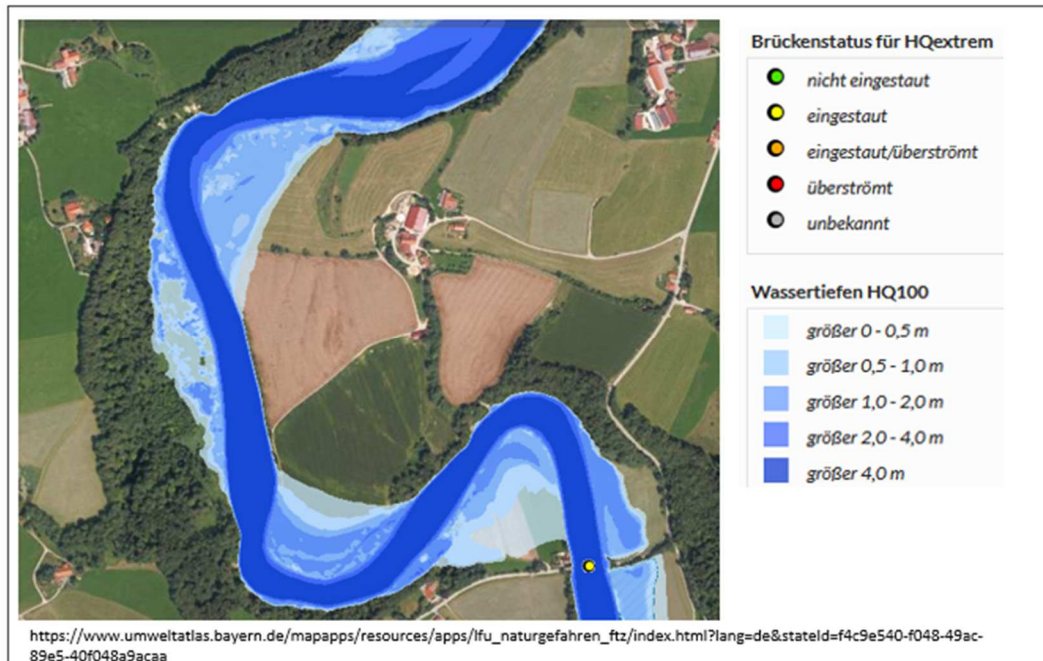


Abbildung 39 | Die Hochwasserstände an der Iller in Bad Grönenbach für ein hundertjähriges Hochwasser (Quelle: Umweltatlas Bayern Überschwemmungsgefährdete Gebiete;
https://www.umweltatlas.bayern.de/mapapps/resources/apps/lfu_naturnaturgefahren_ftz/index.html?lang=de&statelid=f4c9e540-f048-49ac-89e5-40f048a9acaa)

Bei einem 100-jährigen Hochwasser – womit in Zukunft gerechnet werden muss – (hellblauen Bereiche in den Abbildungen 39) ist nur die Brücke bei Unterau betroffen:

- ▶ Brücke bei Unterau wird dann eingestaut. Das Wasser kann nicht mehr ungehindert unter der Brücke hindurchfließen. Hierdurch besteht Gefahr für das Bauwerk und es ist möglicherweise nicht mehr passierbar. Auch ohne Überströmung wird diese Situation sehr gefährlich, sobald Treibholz den Durchfluss weiter blockiert, was auch bei tieferen Wasserständen schon passieren kann. Eine Straßensperrung ist in diesem Falle empfehlenswert.

Weiter gibt es in Bad Grönenbach den Zellerbach, welcher bei Starkregenereignissen stark anschwellen könnte und ein Gefahrenpotenzial darstellt. Aus diesem Grunde hat die Gemeinde Bad Grönenbach 2014 bereits eine Studie zum integralen Hochwasserschutz am Zeller Bach anfertigen lassen. Die dabei durchgeführte Modellierung eines hundertjährigen Hochwassers zeigt die bestehenden Verhältnisse und die Verhältnisse unter Zugrundelegung eines Gewässerentwicklungskonzeptes. In beiden Fällen ergab die Analyse,

dass die Leistungsfähigkeit des Gewässers als auch der 14 Brücken und Verrohrungen weit unter dem zu erwartenden Abfluss liegen. Bei HQ100 sind im Ortsteil Zell etwa 60 Wohnhäuser von der Überflutung betroffen (Abb. 40).



Abbildung 40 | Die Hochwasserstände am Zeller Bach für ein hundertjähriges Hochwasser (Quelle: Kling Consult- HW-Studie 2014, Bad Grönenbach)

Im Ergebnis kommt die Studie zum Schluss, dass ein wirksamer Hochwasserschutz für die betroffenen Gebäude und Straßen eine Reihe von aufwändigen Maßnahmen (Bau mehrerer kaskadenförmig angeordneter Wasserrückhaltebecken und Erhöhung der Leistungsfähigkeit des Zeller Bachs mit Umbaumaßnahmen an etlichen Brückenbauwerken) erforderlich wären. Die zu erwartenden Kosten stehen in keinem Verhältnis zu den Ergebnissen, so dass sich die Gemeinde und die Gebäudeeigentümer auf Maßnahmen zum Objektschutz konzentrieren sollten.

4.4. Starkregen

Neben Hochwasser können extreme Niederschläge (Starkregen) grundsätzlich überall im Gemeindegebiet zu großen Schäden führen, selbst an gewässerfernen Standorten. Selbst bei kleinen Wasserläufen wie dem Zeller Bach können Flutwellen bei Extremereignissen auftreten und 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 auftreten werden. Extreme bzw. katastrophale Folgen hatten mehrere Starkregenereignisse zuletzt im Sommer 2021 in NRW, Franken und Südbayern. Hier löste Mitte Juli der Jahrhundertregen von Tief BERND in Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz die verheerenden Fluten mit mehr als 180 Toten aus. Weiter besonders betroffen waren in den letzten Jahren 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.

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

Tage mit Starkregen im Mittel 1981-2010 (Niederschlag > 20 mm/d)

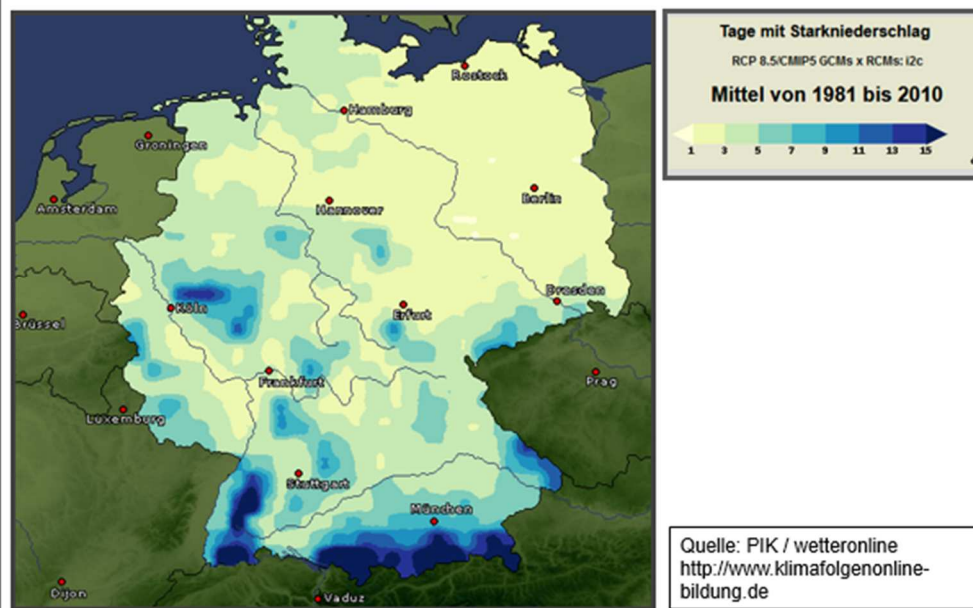


Abbildung 41 | Verteilung der Starkregentage in Deutschland zwischen 1981 und 2010.
(Quelle: PIK / wetteronline; <http://www.klimafolgenonline-bildung.de>)

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. Abbildung 41 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). Bad Grönenbach 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 42).

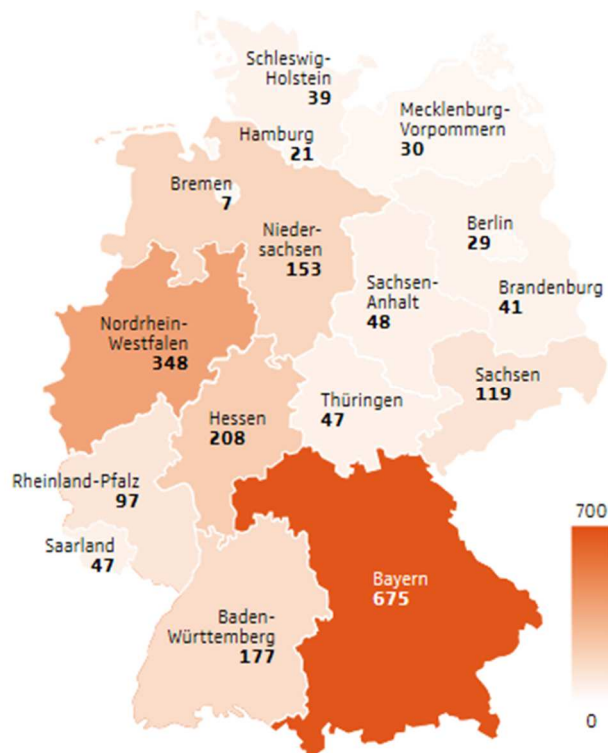


Abbildung 42 | Schadenssummen für Sturm, Hagel und erweiterte Naturgefahren 2019 pro Bundesland in Mio. Euro. (Quelle: GDV 2020)

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 höherer 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 (örtliche 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 durch Flächenspülungsprozesse exponentiell zunimmt. Bei nur 6 mm/h mehr (also 43 mm/h) verzehnfacht sich der Bodenabtrag (Abbildung 43).

Da im Gemeindegebiet von Bad Grönenbach auf 39% der landwirtschaftlich genutzten Fläche Ackerbau betrieben wird, ist die Gefahr der Bodenerosion vergleichsweise hoch. Der mit der Bodenerosion verbundene wirtschaftliche Schaden (Nährstoff- und Humusverlust) wird häufig unterschätzt. Grünlandbereiche und Wald sind hingegen zumeist gut vor Erosion geschützt. Dennoch muss an Hängen der Moränenzüge bei intensiven Niederschlägen mit Erosion und gegebenenfalls Massenbewegungen (vgl. 4.3) gerechnet werden.

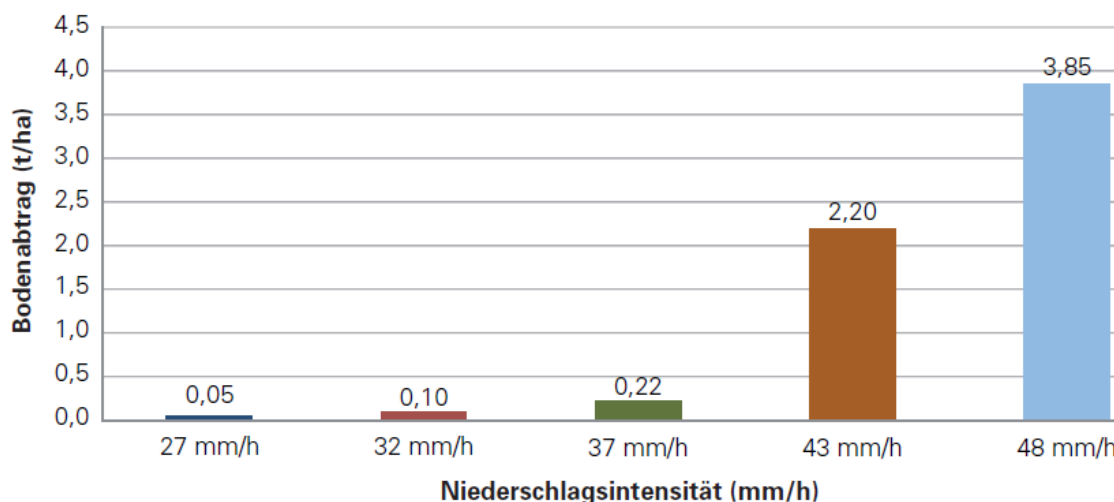


Abbildung 43 | Zunahme der Bodenerosion durch intensive Niederschläge (aus KLIWA 2012 – im Rahmen von KLIWA modellierter Starkregen und die Auswirkung auf den Bodenabtrag auf der Basis von Daten des Erosionsmodells LISEM). Deutlich erkennbar ist, dass ab 37 mm/h der Bodenabtrag signifikant zunimmt.

4.6. Massenbewegungen

Für das Gemeindegebiet von Bad Grönenbach sind seit 2011 kaum Hangrutschungen mit Schadensfolgen dokumentiert. Lediglich an der südlichen Gemeindegrenze sind an den Illertalhängen einige wenige Rutschungen dokumentiert (vergleiche Abbildung 44):

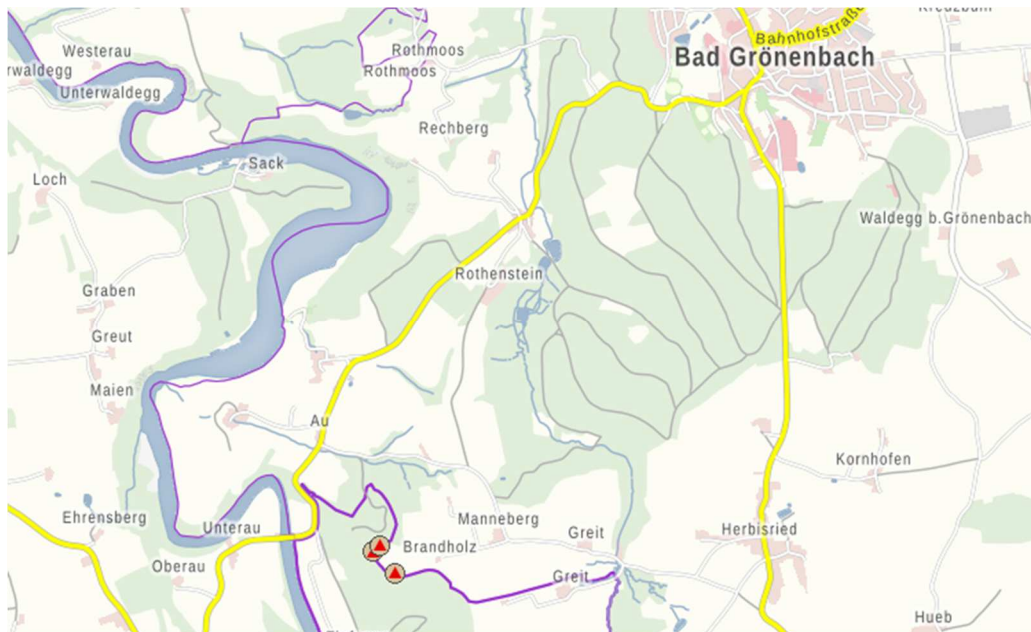


Abbildung 44 | Rutschungen in der jüngeren Vergangenheit seit 2011. Die markierten Punkte sind dokumentierte Hangrutschungsereignisse, die allerdings ohne Schäden abgelaufen sind. (Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt / BayernAtlas unter: <https://geoportal.bayern.de/bayernatlas>).

Die Abrisskanten setzen sich aus mehreren nischenförmigen Anbrüchen zusammen, die von unbewegten Hängen getrennt werden. Im mittleren Drittel des Rutschbereichs ist ca. 30 m oberhalb der nischenförmigen Anbrüche ein weiterer Anbruch entstanden, an dem auch einzelne Schollen abgerutscht sind. Im mittleren Drittel hat sich auf 690 m ü. NN eine sekundäre Abrisskante gebildet. Die Abrisskanten zeichnen sich als Kanten deutlich in der Hangmorphologie ab. Die Höhe der Anbruchflächen variiert stark zwischen 10 und 30 m am oberen Anbruch und zwischen 30 und 80 m an den nischenförmigen Anbrüchen. In den Rinnen im Zentrum des Rutschbereichs und insbesondere an dem oberen Anbruch befinden sich bis zu vier m³ große Konglomeratblöcke auf der Rutschmasse. Aktuell werden keine Anzeichen beobachtet, die auf ein derzeit aktives Verhalten der Hangrutschung hindeuten würden. Eine Reaktivierung der Rutschung

kann jedoch nicht ausgeschlossen werden. Bei einer Reaktivierung der Rutschung könnten lediglich Wirtschaftswege beschädigt werden.

Weitere Risikobereiche werden aktuell nicht ausgewiesen. Allerdings sind prinzipiell Hangbereiche im Umfeld bebauter Flächen kleinräumig auf ihre Stabilität zu prüfen. Potenzielle Gefährdungsbereiche werden vom Bayerischen Landesamt für Umwelt in Abbildung 45 nur für die Bereiche nahe der bisherigen Ereignisse entlang der südlichen Gemeindegrenze (vorwiegend auf dem Gebiet der Nachbargemeinde) ausgewiesen und in einer reliefierten Karte dargestellt. Auf diese Weise erkennt man gut den Zusammenhang zwischen Relief (Hänge) und der Anfälligkeit für Rutschungen (Abbildung 45). Das größte Risiko besteht für die Straße in Richtung Legau unterhalb des Hangs. Auf die Gesamtfläche der Gemeinde Bad Grönenbach bezogen ist das Problem von Massenbewegungen aber als eher gering einzuschätzen.

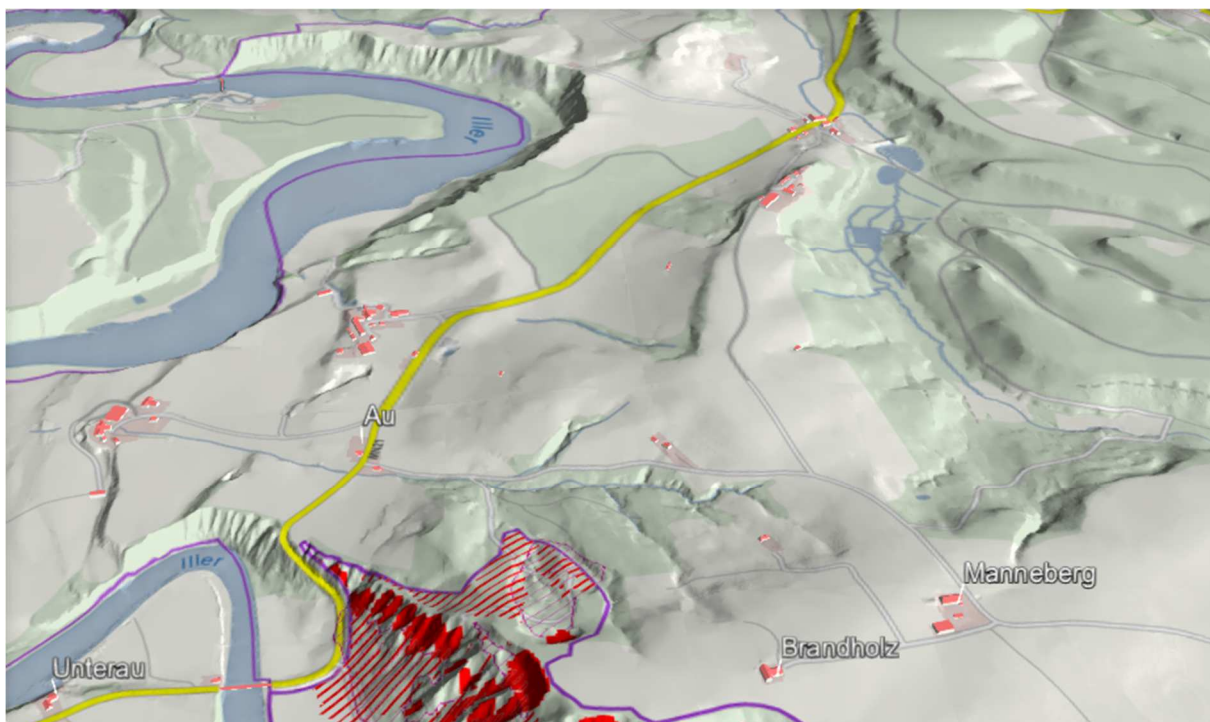


Abbildung 45 | Gefahrenhinweisflächen für Hangrutschungen (schraffierte Flächen) und Risikobereiche für Steinschlag und Blockschlag (rote Flächen) (Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt / BayernAtlas unter: <https://geoportal.bayern.de/bayernatlas>).

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 Bad Grönenbach betrug 2019 mit 415 ha 9,9 % der Gesamtfläche von 4199 ha (BLfStD 2021). Die derzeitige jährliche Zunahme liegt bei durchschnittlich 5,3 ha im Jahr. Dies bedeutet, dass in Bad Grönenbach pro Jahr etwa 2,5 ha vollständig durch Straßen und Bauwerke versiegelt werden (in der Kategorie Siedlungs- und Verkehrsfläche beträgt der tatsächlich versiegelte Anteil etwa 47 %). Dies entspricht 4,3 m² pro Einwohner pro Jahr in der Marktgemeinde Bad Grönenbach. Der bundesweite Durchschnitt liegt bei 2,55 m² pro Einwohner im Jahr.

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

In den letzten 3 Jahren wurden pro **Einwohner** in Bad Grönenbach **13 m² Fläche** versiegelt.

4.7. 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.

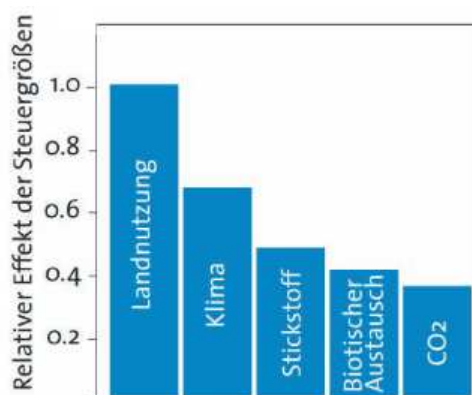


Abbildung 46 | Der Einfluss verschiedener Steuergrößen auf die aktuellen globalen Biodiversitätsverluste (aus LfU nach Sala et al. 2000).

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 die zukünftigen Anpassungsstrategien der Kommune einerseits und des Landkreises, bzw. der Staatsregierung andererseits.

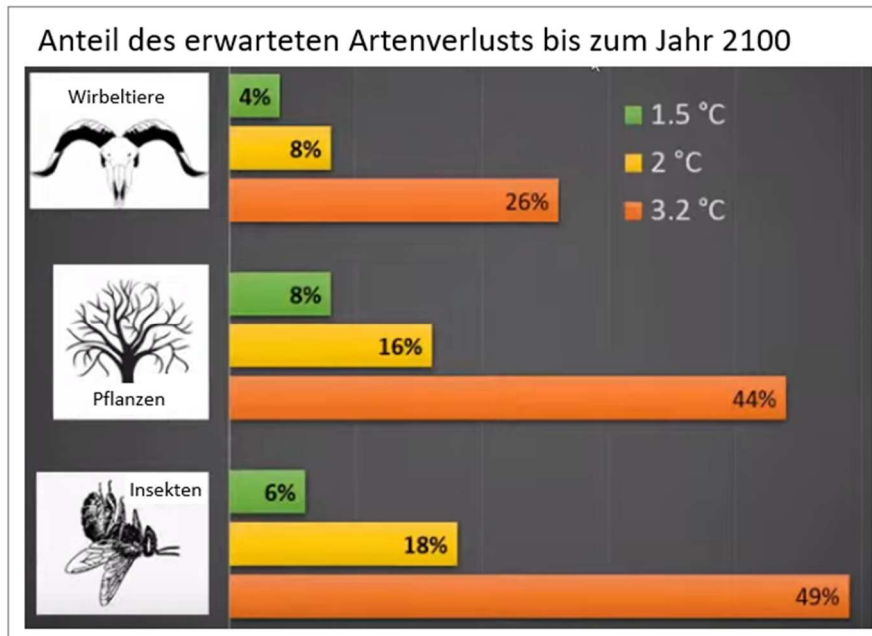


Abbildung 47 | Die Veränderung der Artenvielfalt in Abhängigkeit der Erwärmung bis zum Jahr 2100, nach Steinberger 2021 aus Warren et al. 2018)

4.8. Vegetation

Die offensichtlichsten Veränderungen bei der Vegetation sind die Veränderungen der Entwicklungsstadien (Phänologie), wie z.B. die Blüte- oder die Blattentfaltung 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.

Auf der Basis der modellierten Klimadaten können auch die phänologischen Entwicklungen abgeschätzt werden. Die Blattentfaltung der Eiche beispielsweise findet zunehmend früher statt. Im Vergleich zum Referenzzeitraum findet die mittlere Blattentfaltung der Eiche in der Region um Bad Grönenbach 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.

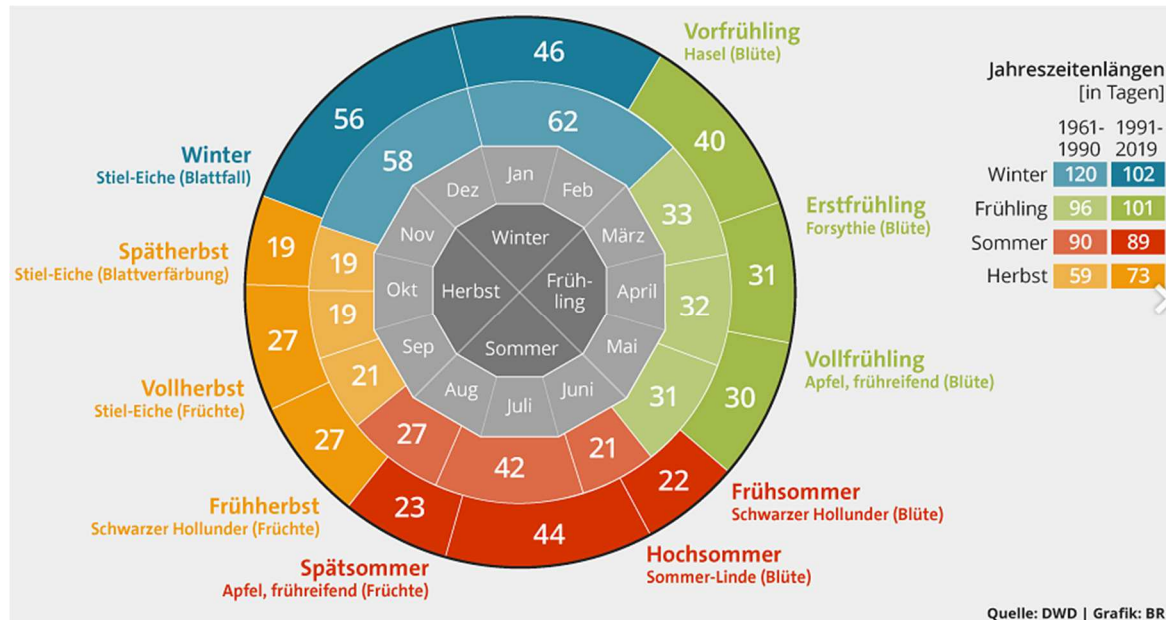


Abbildung 48 | Die Veränderung der Phänologie als Beispiel veränderter Jahreszeiten in Deutschland (Daten DWD, Quelle Bayerischer Rundfunk, download 04/2021 unter: https://www.br.de/klimawandel/bayern-temperaturen-rekorde-klimawandel-100~_image-37_-714e255db7a31f220f8b571c0de6bf00725072ff.html)

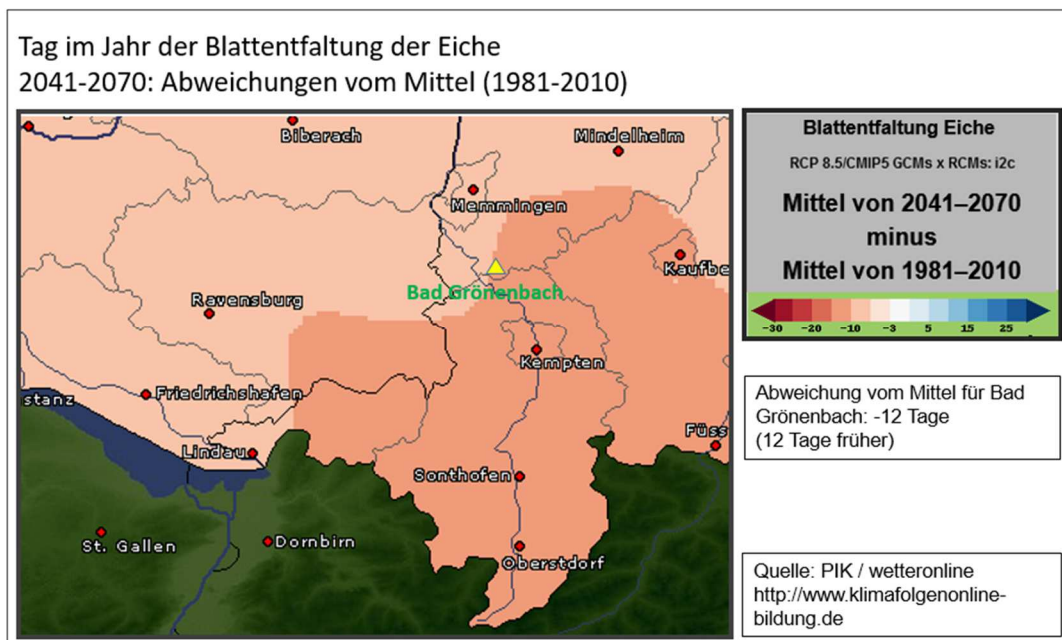


Abbildung 49 | Die Veränderung der Phänologie am Beispiel der Blattentfaltung der Birke. Differenz von 2041-2070 zum Referenzzeitraum 1981-2010 (Quelle: PIK / wetteronline; <http://www.klimafolgenonline-bildung.de>)

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 früheren 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**

4.9. Auswirkungen auf die Forstwirtschaft

Wälder bedecken mit 1032 ha etwa 24,6% der Fläche der Gemeinde Bad Grönenbach. 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 seit 2010 mit einer Abnahme von 22 ha kritisch zu sehen.

Die Herausforderung wird sein, bei den sich vergleichsweise rasch ändernden Klimabedingungen den Wald zukünftig 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 der Klimahülle der Fichte (*Picea Abies*) (Abbildung 50) zeigt, dass die Standorte in der Region um Bad Grönenbach aktuell außerhalb der Anforderungen der Fichte liegen (grüne Fläche). Bad Grönenbach befindet sich im Schnittpunkt der beiden schwarzen Geraden bei 9,0°C und 932 mm Niederschlag. Bei ausreichendem Wasserangebot im Sommer sollte diese Situation für die Fichte nur geringe Probleme bereiten.

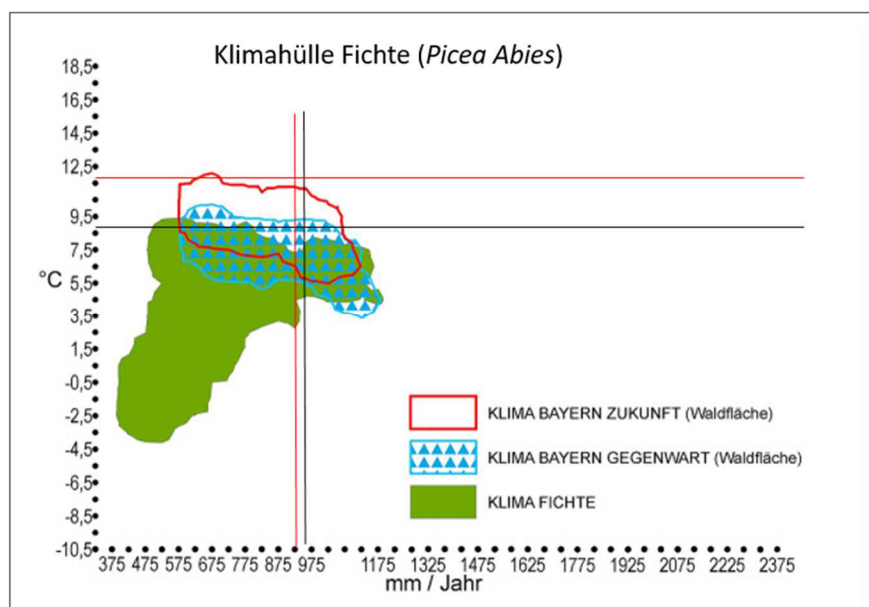


Abbildung 50 | Klimahülle der Fichte (*Picea Abies*) Quelle: LWF (2007) (online unter: <http://www.lwf.bayern.de/boden-klima/baumartenwahl/015506/index.php/>)

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

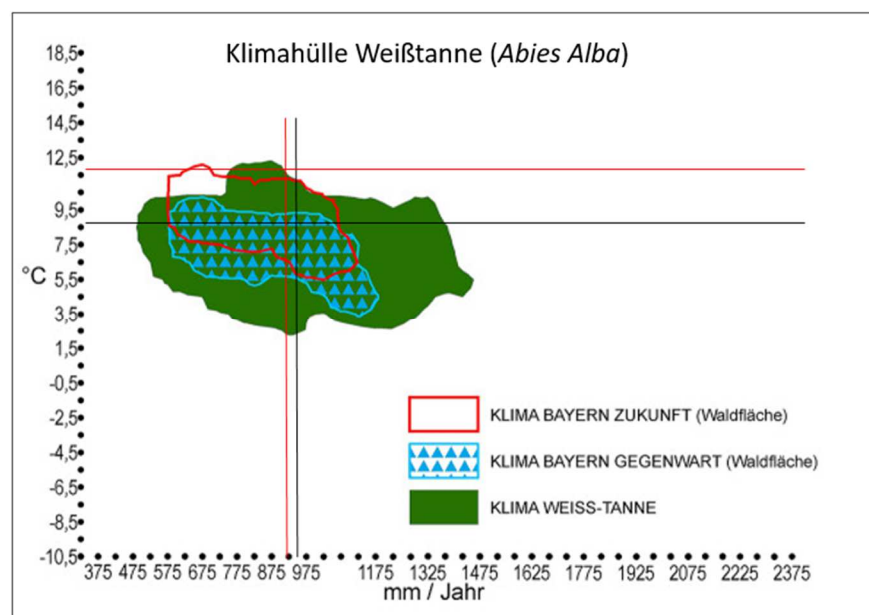


Abbildung 51 | Klimahülle der Weißtanne (*Abies Alba*) Quelle: LWF (2007) (online unter: <http://www.lwf.bayern.de/boden-klima/baumartenwahl/015506/index.php/>)

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.

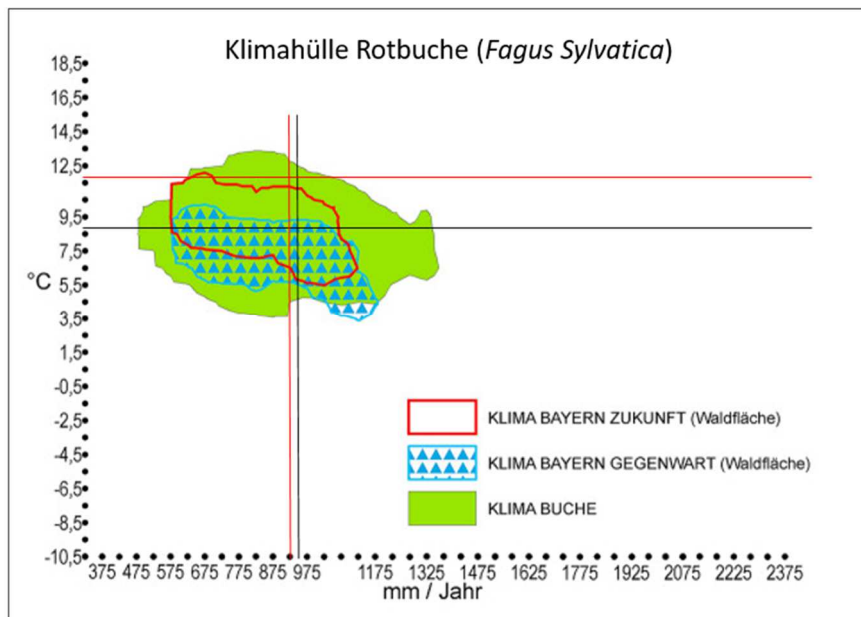


Abbildung 52 | Klimahülle der Rotbuche (*Fagus Sylvatica*) Quelle: LWF (2007) (online unter: <http://www.lwf.bayern.de/boden-klima/baumartenwahl/015506/index.php/>)

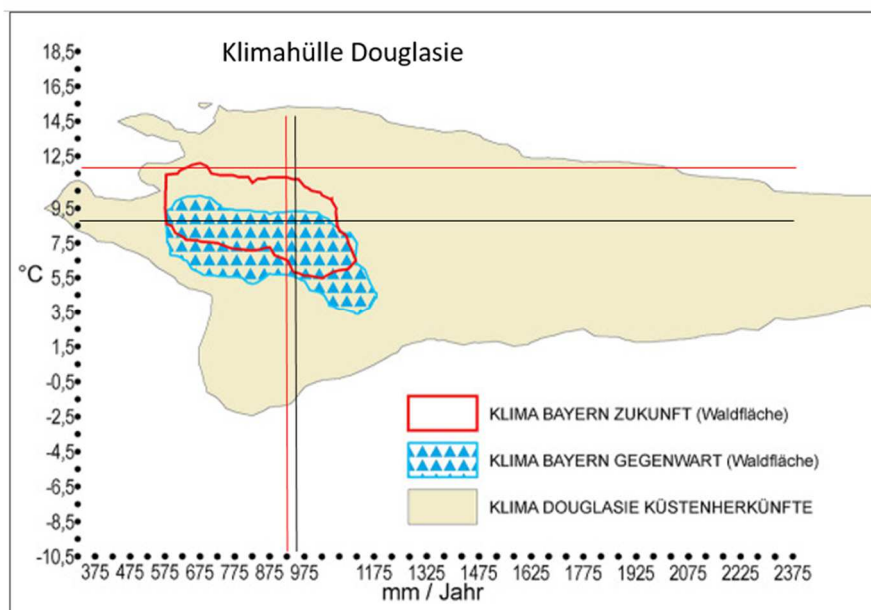


Abbildung 53 | Klimahülle der Douglasie. Quelle: LWF (2007) (online unter: <http://www.lwf.bayern.de/boden-klima/baumartenwahl/015506/index.php/>)

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, 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.

4.10. Auswirkungen auf die Landwirtschaft

In Bad Grönenbach sind 59,4% (2.496 ha) der Fläche als landwirtschaftliche Nutzfläche klassifiziert, davon über die Hälfte Wiesen und Weiden. Eine wesentliche Bedeutung hat auch der Ackerbau. Da auf knapp 800 ha Silo- und Grünmais angebaut wird, sind die erwarteten Veränderungen, besonders hinsichtlich der Niederschlagsverteilung und der damit verbundenen Bodenerosion von großer Bedeutung.

4.10.1. Phänologie

Der Austrieb der Blüten für Obstbäume hat sich seit Anfang der 1990er Jahre bis heute (2020) um ca. 3 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 bayernweit die Folgen des späten Nachtfrostes Mitte April 2017 mit Temperaturen von stellenweise -9°C zu spüren. Je nach Lage und Art 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 2040 und 2070 zur Regel. Die dann herrschende, um 3-5 Wochen verlängerte Vegetationsperiode macht erhöhte Aufwendungen für den Pflanzenschutz erforderlich (mehr Behandlungen durch den längeren Zeitraum), wodurch im konventionellen Ackerbau zusätzliche Kosten entstehen können.

4.10.2. Trockenheit

Längere Trockenphasen im Frühjahr und in den Sommermonaten führen vermehrt zu Trockenschäden und in der Folge zu Produktionsrückgängen bzw. -ausfällen.

4.10.3. 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 deutlich zugenommen hat. Bodenerosion wird häufig vernachlässigt, spielt aber bei intensiven Niederschlägen eine wichtige Rolle und wird mit Starkregenereignissen zum existenziellen Problem. Dies erhöht sich umso mehr, je weniger die Böden durch Bewuchs geschützt sind. Besonders Kulturen wie Mais sind hier am anfälligsten (vgl. 4.5 Bodenerosion).

4.10.4. 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 Knospen von Obstbäumen schädigen. Ein Rückschnitt kann dann erforderlich sein.

4.11. Fazit für die Marktgemeinde Bad Grönenbach

In Anbetracht der aufgezeigten Veränderungen, sowohl der Klimaparameter als auch der Konsequenzen, kann man davon ausgehen, dass die Gemeinde Bad Grönenbach 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 Gemeindegebietes. Weiteres Insekten- bzw. Bienensterben kann mittelfristig zu großflächigen Ernteaussfällen und damit zu einer Bedrohung unserer Lebensgrundlage werden. Davon ist dann auch die Marktgemeinde Bad Grönenbach 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:innen Bad Grönenbachs von Relevanz sein werden.

Da die Gemeinde Aufgaben der Daseinsvorsorge zu übernehmen hat, nimmt man das Thema ernst und hat mit den relevanten Akteuren (Forst, Landwirtschaft, Fachstelle Klimaschutz am Landratsamt, Wasserwirtschaft, örtlichen Unternehmen) einen Workshop zu den Auswirkungen des Klimawandels organisiert. Es wurde gemeinsam mit Experten, Gemeinderatsmitgliedern und Vertretern des Energieteams diskutiert, welche Maßnahmen für das Gemeindegebiet erforderlich sind und was bereits unternommen wird. Die Marktgemeinde Bad Grönenbach möchte selbst als Vorbild agieren und die Bürger auf die Thematik aufmerksam machen.

In einem öffentlichen Vortrag werden die Ergebnisse aus dem Workshop und der Studie vorgestellt und für die relevanten Bereiche Maßnahmen aufgezeigt, mit deren Umsetzung sich die Gemeinde und ihre Bürger:innen auf die klimatischen Veränderungen in den nächsten Jahrzehnten einstellen können.

5. Klimawandelfolgen-Workshop

Zur weiteren Erarbeitung von Maßnahmenvorschlägen wurde bereits zum Jahresende 2021 ein Expert*innen-Workshop geplant, welcher Covid-19-bedingt verschoben werden musste und letztendlich am 01.06.2022 im Kursaal der Gemeinde Bad Grönenbach stattfinden konnte.



Abbildung 54 | Klimawandelfolgenworkshop im Kursaal der Gemeinde Bad Grönenbach (Foto: eza!)

Die teilnehmenden Expert:innen, Gemeinderats- und Energieteammitglieder wurden in zwei Arbeitsgruppen aufgeteilt. Es gab die Arbeitsbereiche:

- Tourismus, Gesundheit und Wasserwirtschaft und
- Wald-, Forst- und Landwirtschaft

Im ersten Schritt erfolgte die Einordnung der Stärke und Schadwirkung der beschriebenen Klimawandeleffekte auf die Gemeinde Bad Grönenbach in der Impakt-Matrix. Die Expert*innen benannten mögliche Schadwirkungen und ordneten deren Bedeutung für die Gemeinde in der Klimafolgen-Matrix an. Diese Einordnungen sind in den folgenden Abbildungen dokumentiert.

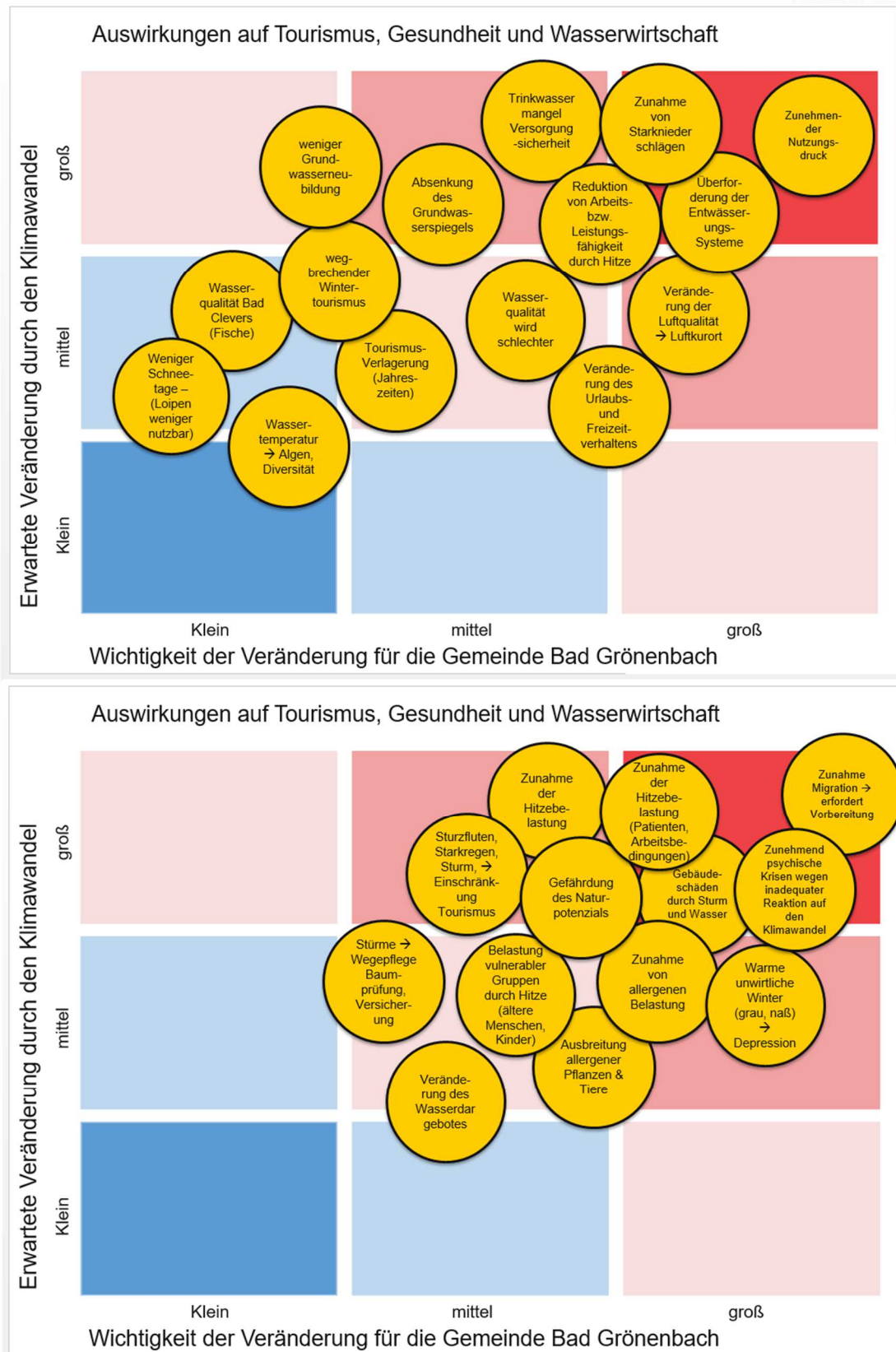


Abbildung 55 | Klimafolgen-Matrix für Tourismus, Gesundheit und Wasserwirtschaft

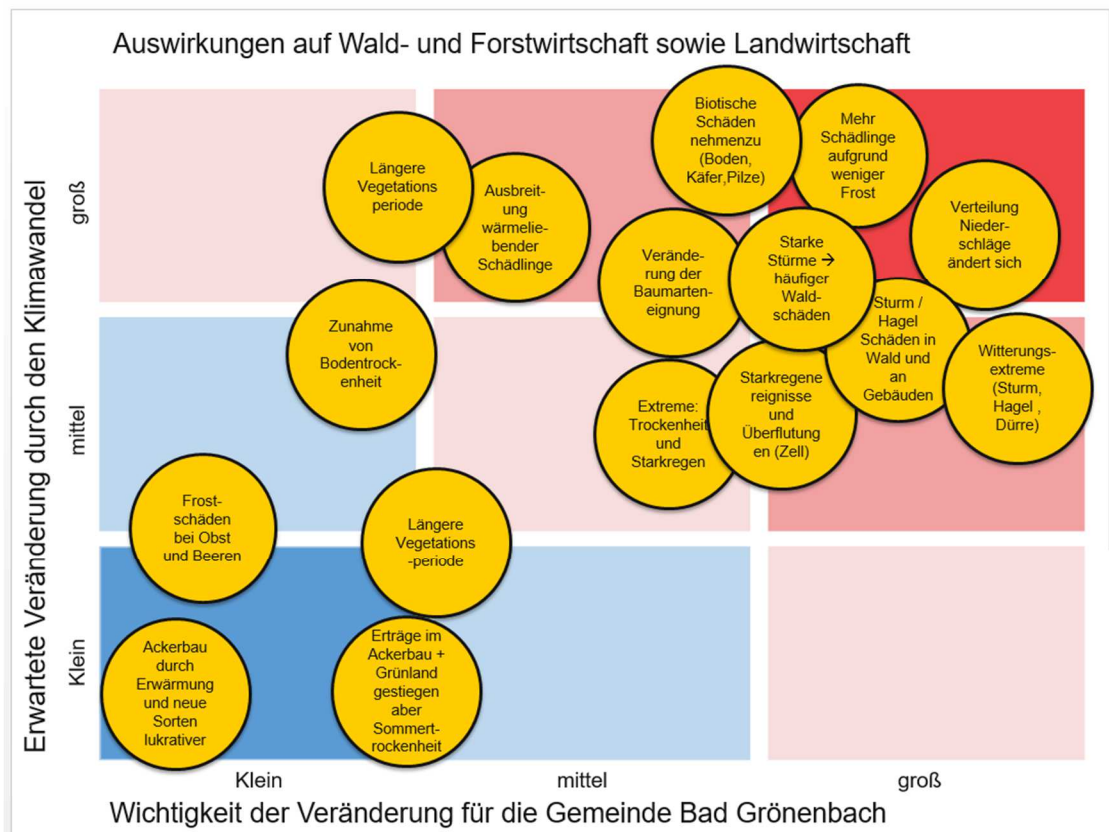


Abbildung 56 | Klimafolgen-Matrix für Wald-, Forst- und Landwirtschaft

5.1. Fazit der Klimafolgenbewertung lokaler Expert*innen für Bad Grönenbach

Wesentliche direkte Klimawandelfolgen mit hohem Schadenspotenzial sind:

- Starkregen (Überflutungsrisiken)
- Stürme (Gebäudeschäden, Waldschäden, Infrastrukturschäden)
- Hitzeperioden (Belastung für Senioren, Patienten, Leistungsfähigkeit Arbeitskräfte)
- Trockenperioden (Wasserverfügbarkeit, Wasserqualität, Grundwasserneubildung, Waldschäden, Luftqualität)
- Milde Winter (Schädlingsvermehrung, biotische Schäden, Depression, Wintertourismus)
- Verlängerte Vegetationsperiode (allergene Belastungen durch Pollen etc., Artenzusammensetzung)
- Generell Gefährdung des naturräumlichen Potenzials, das für die Gemeinde eine zentrale Ressource darstellt

Es stellt sich heraus, dass Bad Grönenbach als Kurort ganz besonders von den natürlichen Ressourcen einer funktionierenden Natur und dem typischen Lokalklima abhängig ist. Luftqualität, Artenvielfalt, grenzflächenreiche Parklandschaften (Täler, Wald, artenreiche Grünflächen, Feuchtbiotope etc. in enger Abfolge) stellen für das Auge und das Empfinden des Menschen naturräumliche Grenzen dar, die positiv wahrgenommen werden. Ein reichhaltiges Tierleben (sichtbar und hörbar) verstärken diese Wahrnehmung. Zahlreiche, sich durch den Klimawandel ergebende, Veränderungen gefährden diese natürlichen Ressourcen.

Milde Winter, die zukünftig stärker von atlantischen Tiefdruckgebieten dominiert werden, reduzieren die Sonnenstunden einerseits als auch die Schneeverfügbarkeit andererseits durch höhere Temperaturen. Beides wird sich für die Gemeinde nachteilig auswirken, da Winterwanderungen und Skilanglauf nur noch in geringem Umfang möglich sind. Zunehmend graue, nasse Winterwochen wiederum vermindern das Regenerationspotenzial, insbesondere für depressive Patienten der verschiedenen Kurkliniken am Ort, und stellen damit einen auch wirtschaftlich wichtigen Belastungsfaktor dar.

Neben diesen Faktoren sind auch für Bad Grönenbach die Schadensauswirkungen, die sich direkt aus Stürmen oder Starkregen ergeben, von hoher Relevanz. Hierzu zählen Schäden an Gebäuden, Inventar und der Infrastruktur, sowie den Baumbeständen, die mit zunehmender Häufigkeit erwartet werden.

5.2. Maßnahmenvorschläge

Auf der Grundlage der Impakt-Matrix wurden dann mit den Teilnehmerinnen und Teilnehmern mögliche Maßnahmen diskutiert und gesammelt, die für die Marktgemeinde Bad Grönenbach als sinnvoll erachtet werden. Im Folgenden werden die Maßnahmen nach Themen geordnet ohne Priorisierung wiedergegeben.

Energiewende:

- Für Tourismusgemeinde die Standortfaktoren „Nachhaltigkeit, erneuerbare Energie und damit saubere Luft und Gesundheit“ mehr kommunizieren (intern und extern)
- Regionalen Planungsverband Donau-Iller auffordern (Bürgermeister/Gemeinderat), das Kapitel Wind umgehend fortzuschreiben und weitere Vorranggebiete zu definieren, bzw. Ausschlussgebiete zu überarbeiten

- Dezentrale Energieversorgung bis hin zur Energieautonomie fortführen und hierzu eine Strategie entwickeln mit Meilensteinen, die regelmäßig überprüft werden können
- Errichtung einer oder mehrerer Bürger-Windenergieanlage(n)
- Photovoltaik ausbauen mittels Kampagnen (Balkon-PV, Dachvollbelegung und Freiland)
- THG-Neutralität bis 3035 als Ziel für die gesamte Gemeinde festlegen (dazu eine Strategie erarbeiten, die mit Meilensteinen nachprüfbar ist und jährlich evaluiert werden soll)
- Einrichtung eines schlagfertigen Energiemanagements und „Kümmerer“ für Maßnahmenumsetzung – dafür Stelle in der Verwaltung schaffen für Klimaschutzmanager

Verkehrswende:

- Die Radwegeinfrastruktur weiter systematisch ausbauen
- Bad Clevers: Parkgebühren einführen um lokale Gäste für das Fahrrad zu motivieren
- Den Marktplatz zur „Ambiente-Zone“ aufwerten, indem der Platz den Menschen zurückgegeben wird mit weiteren „kühlen (schattenspendenden)“ Begegnungsflächen, Grünpflanzen, Gastroangeboten und ohne MIV-Verkehr und Parkplätze (vgl. auch Wochenmarkt) und damit Zeichen setzen (entsprechend kommunizieren)
- ÖPNV stärken, insbesondere die Verbindungen in das Gewerbegebiet, an den Bahnhof, nach Ottobeuren und nach Memmingen
- Sich als Gemeinde mehr für den Bau einer zweiten Bahnlinie zwischen Ulm und Kempten bzw. Oberstdorf einsetzen
- Maßnahmen zur MIV (motorisierter Individualverkehr)-reduktion umsetzen
- Ausbau des ÖPNV mit flexiblen Angeboten (Flexibus, Rufbus, lokale Modelle wie Ortsbus)

Planung:

- Innenverdichtung vorantreiben und neue Flächenversiegelung minimieren (mit Bau in die Höhe, Aufstockungen und neuen Wohnmodellen)
- Reduzierung der Flächenversiegelung (Naturraum einen Preis geben)
- Neubau ökologisch verträglich und treibhausgasneutral gestalten (positives Imagemarketing für Kurort)
- Anreize für ressourcenschonendes Bauen (ökologische Baustoffe, recyclingfähig und klimaneutral) bereitstellen
- Auf „klimasichere“ Gebäudehülle Wert legen
- Leitfaden für nachhaltige Gebäudekühlung und -verschattung bereitstellen
- Kein Neubau in Risikobereichen (und generell reduzieren)

- Bauherreninfo zum klimaangepassten Bauen bereitstellen
- Klimabudget einführen (zur kontinuierlichen Finanzierung von Klimaschutz) – und das Thema mit Priorität behandeln (und entsprechend finanziell ausstatten)
- Informationen zu verschiedenen Verschattungstechniken für Gebäude bereitstellen (zu Nachrüstung und Neubau)

Mikroklima

- Für Bürger und als touristische Infrastruktur „kühle Plätze“ schaffen (Begegnungsstätten wie z.B. Bänke unter Bäumen und grüne Ecken...)
- Bereiche des Marktplatzes überdachen (Schattenbaum oder auch künstlich, z.B. mit semitransparenter PV)

Biodiversität

- Biodiversität fördern mit einem Wettbewerb
- Streuobstwiesen anlegen
- Verbot von Schottergärten umsetzen
- Biodiversitätsmaßnahmen an und um Gebäude herum bewerben und fördern (Insektenhotels, Blühwiesen, Nistkästen...)
- Kontinuierlich neue Bäume pflanzen
- Gülleausbringung reduzieren
- Hecken pflanzen, Biotopverbundsysteme (vgl. Landwirtschaft)

Information

- Vulnerable Gruppen gezielt ansprechen und über Risiken informieren – hier auch Ärzte einbinden
- Katastrophenvorsorge (was ist wann zu tun)
- Feuerwehr-Ausrüstung auf zukünftige Anforderungen anpassen
- Klimabildung, Nachhaltigkeitsbildung bereits im Kindergarten und in der Grundschule als festen Bestandteil für alle einführen

Wasserwirtschaft

- Pläne für Versorgungssicherheit von Trinkwasser bei längeren Trockenperioden erstellen
- Entwässerung prüfen und Schwachstellen identifizieren (Durchlässe, Verrohrungen etc.)
- Modellierung von Starkregenereignissen mit Überflutungsszenarien
- Anreize zur Nutzung von Grau- und Schwarzwasser
- Infiltration fördern (Beläge vorgeben und ggf. entsiegeln)

Arbeitsleben

- Arbeitnehmer*innen vor Hitze schützen (Kühlung, Verschattung, Arbeitszeiten)
- Flexible Arbeitszeitmodelle weiter ausbauen, um im Sommer Mittagshitze zu umgehen

Lebensstil

- Nahversorgung ausbauen mit nachhaltigen Angeboten (Unverpackt, Bio, regional)
- Repair-Café einführen
- Sharing-Angebote unterstützen und einführen (Car-Sharing, Geräte-Sharing, Sharing Oma/Opa mit entsprechender Plattform in der Gemeinde)
- SOLAWI (solidarische Landwirtschaft) einführen, Unverpacktladen etc.

Tourismus

- Alternativangebote zum Wintersport entwickeln und vermarkten
- Naturnähe und Gesundheit durch alternative Mobilität und erneuerbare Energie vermarkten
- Treibhausgas-Neutralität und EE als Standortfaktor nutzen und vermarkten (auch hinsichtlich der Gäste in Kliniken)

Wald- und Landwirtschaft

- Waldumbau systematisch vorantreiben (angepasste Arten aufbauen, mehr Mischbestände, Fichte reduzieren)
- Wälder diversifizieren
- Naturräume erhalten und neue Biotop fördern bzw. anlegen
- Sturm- und trockenresistente Baumarten einführen (auch innerörtlich)
- Hecken pflanzen (im Sinne eines Biotopverbundsystems), Strukturierung der Agrarflächen (Begrünung)
- Erosionsschutz auf Ackerflächen einführen
- Im Ackerbau trockenresistente Sorten einführen/testen
- Ackerbau ausweiten auf Kosten des Grünlands
- Holz verstärkt im Bau verwenden
- Lokales Holz stärker als Brennstoff nutzen
- Biologische, nachhaltige und regionale Landwirtschaft fördern
- Vermarktung regionaler Produkte aus der Landwirtschaft fördern (Einsatz in Gastronomie und Gemeinschaftsverpflegung – ggf. Kooperation mit Ökomodellregion Kempten-Oberallgäu und Ostallgäu)
- Sortenanpassung und auf neue Pflanzenzüchtungen zurückgreifen

5.3. Priorisierung der Maßnahmen

Im Rahmen der Nacharbeitung des Workshops wurden alle Teilnehmenden aufgefordert, die unter 5.2 genannten Maßnahmen zu priorisieren. Alle Teilnehmer:innen hatten die Möglichkeit, 10 Maßnahmen als wichtige Maßnahmen zu markieren. Die Maßnahmen wurden dann nach der Häufigkeit der Nennung sortiert. Bei gleicher Häufigkeit der Nennung von Maßnahmen legte dann das Energieteam der Marktgemeinde die Reihenfolge fest. In der Folge sind die 10 wichtigsten Maßnahmen aus der Priorisierung wiedergegeben. Diese sollen nun im nächsten Schritt im Gemeinderat vorgestellt und möglichst bald vom Gremium beschlossen werden, damit die weitere Umsetzung der Klimawandelanpassungsmaßnahmen als auch der Klimaschutzmaßnahmen in der Marktgemeinde schnell und effizient vorangetrieben werden kann.

1. Stelle als Energie- und Klimaschutzmanager in der Verwaltung schaffen
2. Klimabildung als festen Bestandteil einführen (Klimaschule, Aktionen wie PrimaKlimaKids etc. an Schule und allen Kitas)
3. Verbesserung der Radwegeinfrastruktur
4. Treibhausgasneutralität bis 2035 als Ziel festlegen und Strategie mit Meilensteinen erarbeiten
5. Dezentrale Energieversorgung beschleunigen, dazu Windkraftausbau mit Bürgeranlagen, Intervention beim Regionalen Planungsverband Donau-Iller
6. Marktplatz als „Ambiente-Zone“ mit schattenspendenden Bäumen, autofrei, ohne Parkplätze mit weiteren (Gastro)-Angeboten
7. Innenverdichtung vorantreiben, z.B. mit neuen Wohnmodellen
8. ÖPNV stärken, insbesondere Anbindung Gewerbegebiet und Bahnhof, bessere Verbindungen nach Ottobeuren und Memmingen
9. Waldumbau systematisch vorantreiben mit angepassten Baumarten, Mischbeständen
10. Einführung eines Klimabudgets

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.geoscientific-model-development.com/institutional-repository)
- 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., Bubenzer, 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
- Bayerisches Landesamt für Statistik. Statistik kommunal Markt Bad Grönenbach 2021; <https://www.statistik.bayern.de/>
- 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 Update Klimafolgenonline-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/>