

A photograph of a vineyard with an irrigation system. The vines are supported by wooden stakes and are in bloom with pink flowers. A central pivot point is visible, with multiple arms extending outwards, each ending in a sprinkler head that is spraying water. The background shows a line of trees and a clear blue sky.

Klimafolgen und Klimaanpassung in Bayern
Monitoringbericht 2023



Klimafolgen und Klimaanpassung in Bayern
Monitoringbericht 2023

Inhalt

1	Einleitung	5
2	Methodische Herangehensweise und Anforderungen	6
3	Klimawandel in Bayern: Vergangenheit und Zukunft	8
4	Indikatoren zu Klimafolgen und Klimaanpassung	13
4.1	Wasserwirtschaft	15
	I-WW-1 Grundwasserneubildung aus Niederschlag	16
	I-WW-2 Trockenheitsindex	18
	R-WW-1 Hochwasserschutzmaßnahmen	20
4.2	Landwirtschaft	23
	I-LW-1 Verschiebung agrarphänologischer Phasen	24
	R-LW-1 Anbau wärmeliebender Sorten	26
4.3	Wald und Forstwirtschaft	29
	I-FW-1 Mistelbefall von Waldbäumen	30
	R-FW-1 Mischbestände	32
4.4	Naturschutz	35
	I-NA-1 Phänologische Veränderungen bei Wildpflanzenarten	36
	I-NA-2 Ausbreitung der Sichelchrecke	38
	R-NA-1 Flächen für Naturschutzziele	40
4.5	Bodenschutz und Georisiken	43
	I-BO-1 Schwinden von Permafrost	44
	R-BO-1 Ökologische Landwirtschaft	46
	R-BO-2 Humusentwicklung	48
4.6	Menschliche Gesundheit und Katastrophenschutz	53
	I-GE-1 Hitzebelastung	54
	I-GE-2 Allergene Pflanzen	56
	I-GE-3 Belastung mit Ambrosia	58
	I-KS-1 Wetter- und witterungsbedingte Katastrophenfälle	62
4.7	Stadt- und Raumplanung	65
	I-SB-1 Wärmeinseleffekt	66
	R-SB-1 Flächenverbrauch	69
	R-RO-1 Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für die Wasserversorgung	72
4.8	Verkehr	75
	I-VE-1 Schiffbarkeit der Binnenschiffahrtsstraßen	76
	I-VE-2 Wetter- und witterungsbedingte Straßenverkehrsunfälle	80

4.9 Wirtschaft und Energie	83
I-EW-1 Heiz- und Kühlgradtage	84
I-EW-2 Wetterbedingte Unterbrechungen der Stromversorgung	88
R-IG-1 Wasseraufkommen und -intensität	90
4.10 Versicherungswirtschaft	93
I-FI-1 Gebäudeschäden durch Sturm und Hagel	94
I-FI-2 Elementarschäden in der Verbundenen Wohngebäudeversicherung	96
5 Exkurs Ursachenforschung: Über das Verständnis der Ursachen von Langzeittrends hin zu Einzelereignissen und deren Auswirkungen	98
6 Bewertung zur Umsetzung und Fortschreibung der BayKLAS	101
7 Zusammenfassung	103
8 Ausblick und mögliche Weiterentwicklung des Monitorings	108
Glossar	109
Literatur	116
Bildnachweis	123

1 | Einleitung

Die Extremereignisse der letzten Jahre wie die Hitzesommer 2018, 2019 und 2022 sowie die Starkniederschläge im Juli 2021 zeigen deutlich: Der Klimawandel ist längst in Bayern angekommen und seine Folgen werden in vielen Lebensbereichen sichtbar spürbar. Der Freistaat Bayern hat das frühzeitig erkannt und bereits 2009 mit der „Bayerischen Klimaanpassungsstrategie (BayKLAS)“ eine der ersten Anpassungsstrategien auf Länderebene entwickelt. Im Jahr 2016 wurde diese Strategie aktualisiert und weiterentwickelt (Bayerische Staatsregierung 2016). Das Bayerische Klimaschutzgesetz (BayKlimaG) legt die regelmäßige Fortschreibung der Anpassungsstrategie (Art. 5 Abs. 1 (2)) sowie die jährliche Berichterstattung über den Stand der Umsetzung (Art. 9 Abs. 1 (3)) fest. Darüber hinaus wurde ein umfassendes Klimaschutzprogramm verabschiedet, das rund 150 konkrete Klimaschutz- sowie Klimaanpassungsmaßnahmen enthält.

Um eine sach- und fachgerechte Bewertung von Klimafolgen und Anpassungsmaßnahmen zu ermöglichen, wurde in der BayKLAS 2016 die Entwicklung eines Indikatorensystems zum Monitoring von Klimafolgen (Impacts) und Anpassungsmaßnahmen (Responses) im Freistaat Bayern angekündigt. Aufbauend auf der Machbarkeitsstudie „Indikatoren zu Klimafolgen und Klimaanpassung in Bayern“ (LfU 2017) wurde ein Satz von 27 Indikatoren entwickelt.

Ziel des Monitorings ist es, die Auswirkungen des Klimawandels und die Vulnerabilität der Systeme hinreichend zu quantifizieren und zu qualifizieren sowie die komplexen Wirkungszusammenhänge innerhalb und zwischen den Handlungsfeldern sichtbar zu machen. Dazu wurden für 14 der 15 Handlungsfelder der BayKLAS: Wasserwirtschaft, Landwirtschaft, Wald und

Forstwirtschaft, Naturschutz, Bodenschutz und Georisiken, Menschliche Gesundheit, →Katastrophenschutz, Raumordnung, Städtebau und Bauleitplanung, Bauwesen, Straßenbau und Verkehr, Energiewirtschaft, Industrie und Gewerbe sowie Finanzwirtschaft Indikatoren gemäß dem DPSIR-Ansatz¹ entwickelt. Für das Handlungsfeld Tourismus als heterogene Querschnittsbranche werden zusätzlich zu den über die Landesgrenzen hinausgehenden Indikatoren im Rahmen der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel keine eigenen Indikatoren auf Landesebene erhoben.

Der vorliegende Bericht beginnt mit einer kurzen Darstellung der methodischen Herangehensweise (Kapitel 2), gefolgt von einer Beschreibung des vergangenen und zukünftigen Klimawandels in Bayern (Kapitel 3). Herzstück des Monitorings ist die Darstellung und Interpretation der Indikatoren in den Handlungsfeldern (Kapitel 4). Hierfür wurden teilweise thematisch eng verwandte Handlungsfelder zusammengefasst: Menschliche Gesundheit und Katastrophenschutz sowie Wirtschaft und Energie. Darauf folgt ein Exkurs zu der sogenannten →Attributionsforschung, die insbesondere in den letzten Jahren die Klimawissenschaften durch die Zuordnung von einzelnen Extremwetterereignissen als Folge des Klimawandels revolutioniert hat (Kapitel 5). Abschließend werden die Umsetzung der BayKLAS 2016 und deren Fortschreibung bewertet (Kapitel 6), die zentralen Ergebnisse des Monitorings zusammengefasst (Kapitel 7) sowie mögliche Weiterentwicklungen des Monitorings diskutiert (Kapitel 8).

¹ DPSIR (Abkürzung für Driving forces, Pressures, States, Impacts und Responses) ist ein von der Europäischen Umweltagentur entwickelter Ansatz zur Strukturierung von Indikatorensystemen.

2 | Methodische Herangehensweise und Anforderungen

Die Indikatoren des Klimafolgen- und Klimaanpassungsmonitorings sollen möglichst alle 15 Handlungsfelder der BayKLAS abdecken. Aus diesem Grund fand die Entwicklung, Dokumentation und Interpretation der Indikatoren in enger Abstimmung mit den zuständigen Ministerien und Fachbehörden der Bayerischen Staatsverwaltung statt. Im Rahmen der Machbarkeitsstudie „Indikatoren zu Klimafolgen und Klimaanpassung in Bayern“ (LfU 2017) konnten bereits Indikatoren ausgearbeitet und zahlreiche weitere Indikationsmöglichkeiten identifiziert werden. Hierfür lieferten insbesondere Indikatoren des Indikatorensystems der Deutschen Klimaanpassungsstrategie (DAS), der Länderinitiative Kernindikatoren (LIKI), des Umweltberichts Bayern sowie Indikatoren bayerischer Fachbehörden aber auch anderer Bundesländer Anknüpfungspunkte.

Basierend auf den Ergebnissen der Machbarkeitsstudie wurden für die Erstellung des vorliegenden Monitoringberichts 27 Indikatoren final umgesetzt, graphisch dargestellt und interpretiert. Je nach Verfügbarkeit wurden die dafür benötigten Daten durch die betroffenen Fachbehörden zur Verfügung gestellt oder von öffentlich zugänglichen Portalen (z. B. Genesis Online Datenbank des Bayerischen Landesamtes für Statistik, Climate Data Centre Portal des Deutschen Wetterdienstes) heruntergeladen.

Ein Indikator kann sich aus mehreren Teilindikatoren zusammensetzen. Er kann dadurch Sachverhalte kombinieren, die mit Daten aus unterschiedlichen Quellen generiert wurden oder denen unterschiedliche Berechnungsvorschriften zu Grunde liegen wie z. B. im Indikator „I-GE-2 Allergene Pflanzen“, der den Blühbeginn verschiedener Pflanzen darstellt. Jeder Indikatorteil bildet darin den Blühbeginn einer einzelnen Pflanze ab. Unterschiedliche Indikatorteile können

auch zu zweiachsigen Darstellungen in der Indikatorgrafik führen. Lassen sich die Sachverhalte nicht in einer Grafik kombinieren, kann ein Indikator in Form zweier Grafiken dargestellt werden. In diesem Fall wird von Indikator I und II gesprochen. Im Indikator „I-SB-1 Wärmeinselseffekt“ kann somit z. B. die →[Wärmeinselintensität](#) am Tag und in der Nacht verdeutlicht werden.

Die Indikatoren wurden nach den folgenden Anforderungen ausgewählt:

- Es sollen möglichst alle 15 Handlungsfelder der BayKLAS abgedeckt werden.
- Die Indikatoren müssen dem DPSIR-Ansatz entsprechen und den fachlichen Anforderungen der zuständigen Behörden genügen.
- Soweit möglich wird ein ausgeglichenes Verhältnis zwischen Impact- und Response-Indikatoren angestrebt.
- Die Darstellung der Indikatoren soll einfach und verständlich sein.
- Für die Berechnung muss bereits eine entsprechende Datengrundlage vorhanden sein und auch in Zukunft zur Verfügung stehen.
- Die Indikatoren sollen fortschreibbar sein.
- Neben bayernweiten Aussagen sollen möglichst auch regionale Aussagen innerhalb Bayerns möglich sein.

Der Vorteil von Indikatoren ist, dass sie in einem komplexen System zeitliche Veränderungen anzeigen können, ohne dass das Gesamtsystem aufwendig beschrieben werden muss. Sie dienen also der vereinfachten

Betrachtung und Bewertung von Systemen. Daher sucht man Indikatoren, die einfach zu beschreiben sind und für die Daten zur Verfügung stehen. Andererseits werden Indikatoren häufig durch mehrere Faktoren bestimmt, ohne dass immer klar ist, welche Faktoren das sind und wie groß ihr Einfluss auf die Ausprägung des Indikators ist. In diesen Fällen beschreibt ein Indikatoren-system möglicherweise das Gesamtsystem nur unvollständig oder aber auch nur einzelne Teilbereiche des Gesamtsystems. Es bleibt daher eine ständige Aufgabe, ein Indikatorensystem zu hinterfragen und im Spannungsfeld zwischen dem Aufwand für die Datenerhebung und der Repräsentativität für das Gesamtsystem zu optimieren. Indikatoren, die die Auswirkungen des Klimawandels auf Umwelt, Natur und Gesellschaft beschreiben, werden im Folgenden als Impact-, Indikatoren, die die Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen beschreiben, als Response-Indikatoren bezeichnet.

Als Impact-Indikator für den Waldzustand wird von der Forstwirtschaft beispielsweise der Mistelbefall von Waldbäumen herangezogen. Grund dafür ist, dass der Klimawandel statistisch gut mit einem stärkeren Mistelbefall in Korrelation gesetzt werden kann, sodass er auch in diesem Bericht als einfacher Indikator für die Belastung des komplexen Waldökosystems verwendet wird. Allerdings kann der Mistelbefall von Waldbäumen auch durch andere Faktoren als den Klimawandel (z. B. durch Insektenbefall geschwächte Bäume) bedingt sein. Außerdem führen Belastungen durch den Klimawandel nicht immer und nicht bei allen Baumarten zu einem stärkeren Mistelbefall. Das teilweise dramatische Schadgeschehen bei allen Hauptbaumarten wird also nur indirekt sichtbar.

Response-Indikatoren wiederum zeigen zunächst einmal an, ob auf einen Impact überhaupt gesellschaftlich reagiert wird. Inwieweit der Response dem Impact ursächlich begegnet, ist damit noch nicht ausgedrückt. Hierfür sind teilweise komplexe Ursache-Wirkungsbeziehungen aufzuklären, die auch permanent zu hinterfragen sind. So wird

davon ausgegangen, dass durch steigenden Flächenverbrauch der Hitzeinseleffekt im besiedelten Bereich zunimmt. Als unspezifischer Indikator sagt der Flächenverbrauch aber nichts darüber aus, wo dieser stattfindet und zu welchem Anteil diese Fläche versiegelt wird. Gleichzeitig gäbe es auch andere Indikatoren, die Maßnahmen gegen den Hitzeinseleffekt anzeigen könnten wie z. B. der Anteil an Gebäudebegrünung. Hierfür liegen aber bisher keine flächendeckenden Daten vor.

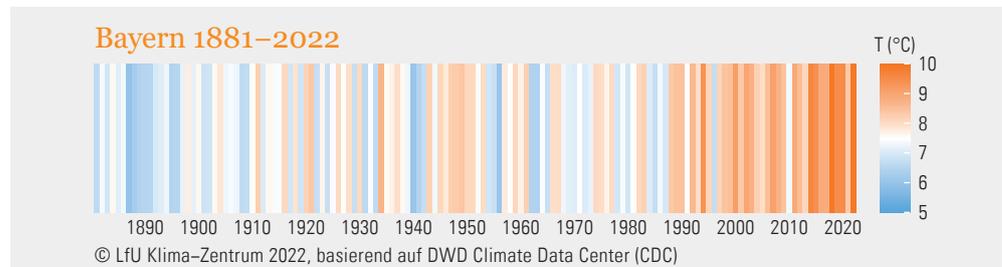
Um den Klimawandel mittels Indikatoren beschreiben und bewerten zu können, bedarf es möglichst langer Beobachtungszeiträume. Die Vorgabe für die Entwicklung des vorliegenden Klimafolgen- und Klimaanpassungsmonitoring war daher, auf möglichst langjährige Daten- und Messreihen bestehender Monitoringsysteme zurückzugreifen. Die Einrichtung eines neuen, speziell auf den Klimawandel ausgerichteten Monitoringsystems, wäre zum einen sehr kosten- und personalintensiv. Zum anderen wären erste Trendaussagen erst nach vielen Jahren Vorlaufzeit möglich. Eine permanente Fortentwicklung der Indikatoren unter dem Gesichtspunkt der Datenverfügbarkeit und der kausalen Ursache-Wirkungsketten ist aber unerlässlich.

Um die regelmäßige Fortschreibung und Weiterentwicklung der Indikatoren zu ermöglichen, werden die Indikatoren in sogenannten Indikatoren-Kennblättern detailliert beschrieben und damit transparent dokumentiert. Die Dokumentation beinhaltet neben Basisinformationen wie Ansprechperson und Berechnungsgrundlagen auch eine Begründung und Interpretation, technische Informationen und die Datenquelle, die Darstellung des Indikators sowie weiterführende Literaturhinweise und Links. Die Indikatoren-Kennblätter sind nicht Bestandteil des vorliegenden Berichtes. Sie werden als PDF im Bestellschop des StMUV zusätzlich zum Monitoringbericht zum Download zur Verfügung gestellt.

Download Indikatoren-Kennblätter unter www.bestellen.bayern.de/shoplank/stmuv_klima_020.htm

3 | Klimawandel in Bayern: Vergangenheit und Zukunft

Abb. 1: Warming Stripes 1881–2022 für Bayern (Ein Jahr ist je nach mittlerer Temperatur mit einem farbigen Strich – von dunkelblau (kalt) über hellblau und hellrot bis dunkelrot (warm) – abgebildet.)



Die menschengemachte Erderwärmung setzt sich weiter fort und hat sogar noch an Tempo zugelegt: sehr anschaulich zeigen dies die sogenannten Warming Stripes (siehe Abb. 1). Seit Ende der 1980er-Jahre nimmt die Jahresmitteltemperatur in Bayern immer mehr zu. Legt man einen linearen Trend durch die Beobachtungsdaten der letzten 70 Jahre (1951–2019), so ist die Jahresmitteltemperatur in Bayern in diesem Zeitraum um 1,9 °C gestiegen. In der Folge hat auch die Anzahl der →Hitzetage mit Lufttemperaturen über 30 °C seit 1951 um rund 9 Tage zugenommen, während die Anzahl der Eistage, an denen das Thermometer nicht über 0 °C klettert, um 15 Tage gesunken ist².

Im Gegensatz zu der Temperatur zeigt die Entwicklung der jährlichen Niederschlagssummen keinen signifikanten Trend³. Die Variabilität des Niederschlags liegt stets innerhalb des für den Referenzzeitraum (1971–2000) ermittelten Schwankungsbereichs. Auch für Herbst-, Winter- und Frühjahrsquartal liegen keine statistisch signifikanten Trends vor. Nur im Sommer (Juni–August) ist bayernweit eine Abnahme der Niederschlagssumme um 13 Prozent über den Zeitraum 1951 bis 2019 statistisch signifikant.

Temperatur und Niederschlag zeigen in Bayern eine hohe regionale Variabilität: von den Alpen über die Mittelgebirge bis hin zu Main und Donau ist der Freistaat durch unterschiedliche klimatische Bedingungen

geprägt. Um diese regionalen Besonderheiten besser abbilden zu können, wurde Bayern in sieben Klimaregionen unterteilt (siehe Abb. 2). Diese beschreiben zusammenhängende Regionen, die in sich ähnliche Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse aufweisen, sich untereinander aber zum Teil stark unterscheiden: die Alpenregion, das Voralpenland, das Südbayerische Hügelland, die Donauregion, die Mainregion, die Spessart-Rhön-Region und das Ostbayerische Hügelland und Bergland⁴. Die Alpen beispielsweise sind aufgrund ihrer Höhenlage eine äußerst kühle Region. Auf die empfindlichen alpinen Ökosysteme wirkt sich die voranschreitende Erwärmung besonders stark aus. Die Klimaregionen Main- und Donauregion sind bereits heute sehr warm und werden in Zukunft durch Hitzetage und →Tropennächte zusätzlich belastet.

Die Differenzierung nach Klimaregionen erlaubt eine regionale Darstellung der Klimawandelfolgen und dient als fachliche Grundlage für regionale Klimaanpassungsmaßnahmen. Klimaanpassung orientiert sich jedoch nicht nur an der bereits stattgefundenen Erwärmung und ihren Folgen, sondern muss sich auch auf den zukünftigen Klimawandel einstellen. Wie aber wird sich das Klima in Zukunft entwickeln? Dies hängt von den politischen Anstrengungen ab, die unternommen werden, um die anthropogenen Treibhausgasemissionen auf null zu senken. Um diese Unsicherheiten menschlichen Handelns abzubilden, wird in der Klimamodellierung mit verschiedenen Szenarien gearbeitet (siehe Abb. 3).

2 Erkunden Sie im BayKIS die Klimazukunft vor Ihrer Haustür: klimainformationssystem.bayern.de/

3 Zur Abschätzung der Belastbarkeit des Trends wurde ein Signifikanztest nach der Methode von Mann-Kendall verwendet. Bei „nicht signifikanten“ Trends ist die Variabilität zwischen den Einzeljahren so groß, dass die Wahrscheinlichkeit für ein zufälliges Zustandekommen des Trendwerts größer als 10 Prozent und das Ergebnis somit nicht belastbar ist.

4 Einen Blick in die Klimazukunft Bayerns Klimaregionen bieten sieben regionale Broschüren: www.lfu.bayern.de/klima/klimawandel/klima_in_bayern/index.htm#brosch

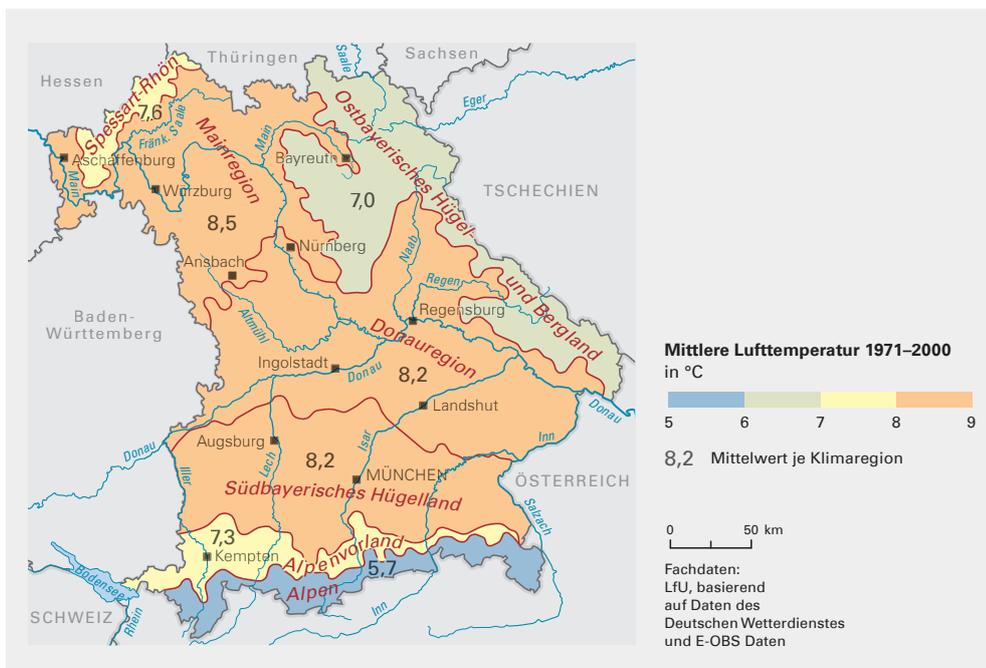


Abb. 2: Mittlere Lufttemperatur im Referenzzeitraum 1971–2000 in den sieben Klimaregionen Bayerns

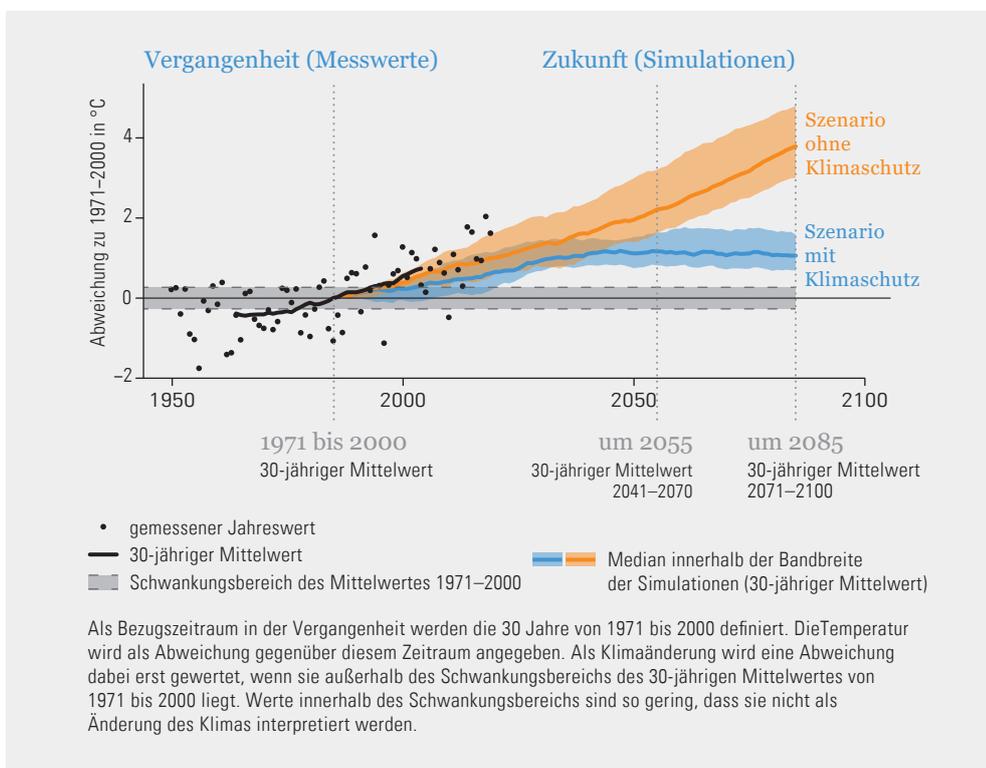


Abb. 3: Jahresmitteltemperatur in Bayern im Vergleich zur Referenzperiode 1971–2000, Beobachtungsdaten sind mit Punkten gekennzeichnet, Szenario RCP8.5 in orange, Szenario RCP2.6 in dunkelblau

Dabei wird unterschieden zwischen einem Szenario „ohne Klimaschutz“, in dem die globale Erwärmung weitgehend ungebremst voranschreitet (bezeichnet als RCP8.5) und einem Szenario „mit Klimaschutz“, in dem im Einklang mit dem Pariser Klimaabkommen die 2 °C-Obergrenze eingehalten wird (bezeichnet als RCP2.6).

Im Falle einer ungebremsten Erwärmung (RCP8.5) wird für Bayern eine Temperaturzunahme um +3,0 bis +4,8 °C gegenüber 1971 bis 2000 (Mittelwert: 7,9 °C) bis zum Ende dieses Jahrhunderts erwartet (siehe Abb. 2). Dieser Temperaturanstieg trifft alle Klimaregionen gleichermaßen: die bereits heute durch Hitze belastete Main- und Donauregion ebenso wie die vulnerablen Ökosysteme der Alpen, in denen sogar eine Zunahme von +5,1 °C bis Ende des Jahrhunderts möglich ist. Noch stärker als die Jahresmitteltemperatur steigen die Höchsttemperaturen im Sommer. Die Anzahl von →[Hitzetagen](#) (siehe Abb. 3) aber auch von tropisch warmen Nächten wird ohne Klimaschutz bis Ende des Jahrhunderts drastisch zunehmen (LfU 2021). Mit Klimaschutz werden dagegen im Schnitt nur vier Hitzetage mehr, aber auch kaum mehr →[Tropennächte](#) in Bayern erwartet als 1971–2000. In Städten fällt die Hitzebelastung aufgrund des →[Wärmeinseleffektes](#) noch einmal höher aus, als es die großräumigen Klimasimulationen anzeigen (siehe dazu auch Kapitel 4.7, Indikator I-SB-1 Wärmeinseleffekt).

In Bezug auf den Niederschlag zeigt sich wie in der Vergangenheit auch in der Zukunft kein eindeutiger Trend. Die Jahresniederschlagssummen in Bayern bleiben insgesamt wahrscheinlich konstant. Bei gleichzeitig steigenden Temperaturen führt dies jedoch aufgrund einer höheren Verdunstung zu zunehmender Trockenheit. Allerdings ist nicht nur der Jahresniederschlag, sondern auch die saisonale Verteilung von

Bedeutung: Die Mehrheit der Klimasimulationen kommt zu dem Ergebnis, dass der Niederschlag ohne wirksamen Klimaschutz in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts im Sommer ab- und im Winter zunehmen wird, weshalb gerade in der Vegetationsperiode mit einem stark zunehmenden Wasserdefizit zu rechnen ist (siehe Abb. 5).

Außerdem werden Extremwetterereignisse in Stärke und Häufigkeit klimawandelbedingt weiter zunehmen: (Lokale) Starkregenereignisse treten öfter und intensiver auf. Ohne Klimaschutz wird fast überall in Bayern eine Zunahme der Starkregentage erwartet (siehe Abb. 5). Dies bedeutet, dass es mehr oberflächlichen Abfluss und eine abnehmende →[Grundwasserneubildung](#) geben würde. Werden zügig Klimaschutzmaßnahmen umgesetzt, zeigt sich in den Simulationen dagegen keine Zunahme der Starkregentage. Aber auch Trockenperioden werden häufiger und intensiver. Auch hier gilt, dass die Veränderung mit Klimaschutz geringer ausfällt.

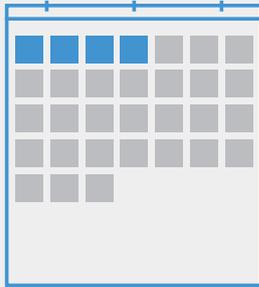
Auch eine Begrenzung der globalen Erwärmung auf unter 2 °C (RCP2.6) bedeutet einen weiteren Temperaturanstieg in Bayern um +0,7 bis +1,6 °C gegenüber 1971–2000 bis Ende des Jahrhunderts. Allerdings wird der Höchststand bereits Mitte des Jahrhunderts erreicht, langfristig stabilisiert sich die mittlere Temperatur (siehe Abb. 2). Schon heute sind die Folgen des vergangenen Klimawandels spürbar: Hitze, Trockenheit, Dürre, Starkregen. Wie sehr sich diese Klimafolgen in Zukunft verstärken und weitere Folgen auftreten werden, hängt zentral davon ab, wie ambitioniert Klimaschutz betrieben wird. Jedes Zehntel Grad weniger zählt.

Die Broschüre „Grundlagen für die klimaangepasste Stadtplanung schaffen“ erläutert Methoden und Werkzeuge der Klimanalyse im besiedelten Bereich anhand konkreter Beispiele aus bayerischen Kommunen:
www.bestellen.bayern.de/shoplank/lfu_klima_00208.htm

Hitzetage im Jahr im Durchschnitt in Bayern

Bezugszeitraum
(Messwerte)

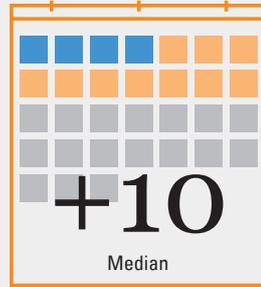
Mittelwert 1971–2000



4 Tage

Änderungen in Zukunft
(Szenario ohne Klimaschutz)

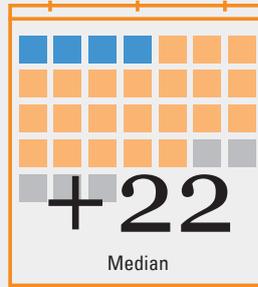
um 2055



+6 bis +19 Tage

Bandbreite der Simulationen

um 2085



+16 bis +36 Tage

Bandbreite der Simulationen

Tage mit einer maximalen Temperatur von mehr als 30 °C

Abb. 4: Mittlere Anzahl der Hitzetage pro Jahr in Bayern 1971–2000 und mögliche Veränderung in Zukunft bei einem Szenario ohne Klimaschutz

Vergangenheit (Messwerte)

Zukunft (Simulationen)

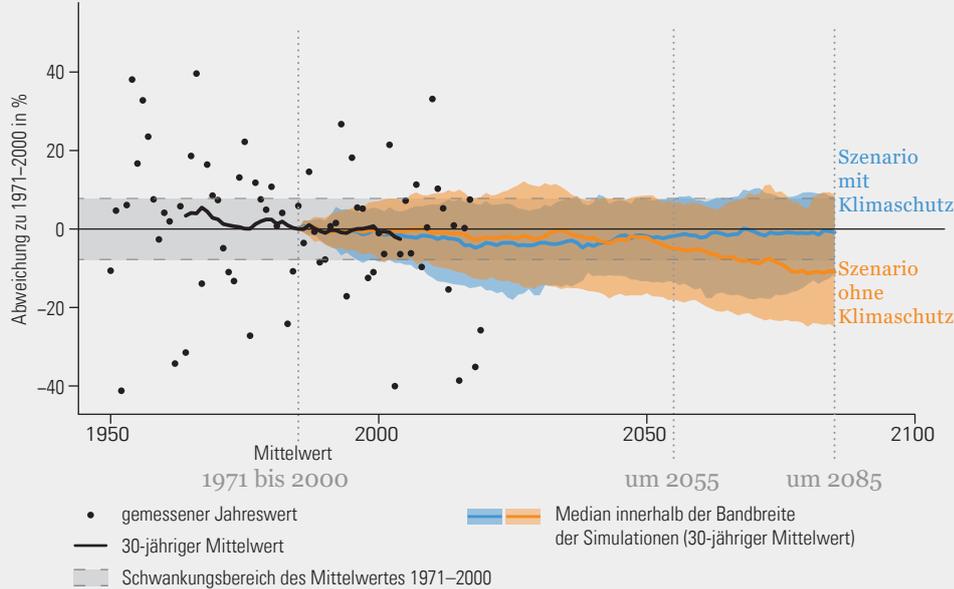


Abb. 5: Entwicklung des Sommerniederschlags (Juni–August) in Prozent in Bayern im Vergleich zur Referenzperiode 1971–2000, Beobachtungsdaten sind mit Punkten gekennzeichnet, Szenario RCP8.5 in orange, Szenario RCP2.6 in dunkelblau

4 | Indikatoren zu Klimafolgen und Klimaanpassung

Die im vorliegenden Kapitel beschriebenen und dargestellten Indikatoren bilden sowohl die Auswirkungen des Klimawandels (Impacts) in Bayern als auch die Anpassungsaktivitäten (Responses) ab. Bis auf den Tourismus umfassen die Indikatoren alle Handlungsfelder der Bayerischen Klimaanpassungsstrategie. Bisher konnten 27 Indikatoren entwickelt werden (siehe Tab. 1). 18 davon sind Impact- und 9 Response-Indikatoren. Eine Gleichgewichtung zwischen Impact- und Response-Indikatoren ist nicht gegeben. Response-Indikatoren werden in den meisten Fällen durch weitere,

nicht klimaanpassungsrelevante Faktoren maßgeblich beeinflusst. Die Wirkungsanteile der einzelnen Einflussfaktoren am Gesamtergebnis lassen sich in aller Regel nicht quantitativ bestimmen. Hinzu kommt die Schwierigkeit, Prozesse der Maßnahmenumsetzung mit quantitativen Daten zu beschreiben. Vor diesem Hintergrund ist das im ersten Monitoringbericht vorgestellte Indikatorenset nicht als abschließend zu betrachten. Die Indikatoren werden stetig angepasst, weiterentwickelt und durch geeignete neue Indikatoren ergänzt (siehe dazu auch Kapitel 8).

Handlungsfeld	Impact-Indikatoren	Response-Indikatoren
Wasserwirtschaft	I-WW-1 Grundwasserneubildung aus Niederschlag I-WW-2 Trockenheitsindex	R-WW-1 Hochwasserschutzmaßnahmen
Landwirtschaft	I-LW-1 Verschiebung agrarphänologischer Phasen	R-LW-1 Anbau wärme-liebender Sorten
Wald und Forstwirtschaft	I-FW-1 Mistelbefall von Waldbäumen	R-FW-1 Mischbestände
Naturschutz	I-NA-1 Phänologische Veränderungen bei Wildpflanzenarten I-NA-2 Ausbreitung der Sichelshrecke	R-NA-1 Flächen für Naturschutzziele
Bodenschutz und Georisiken	I-BO-1 Schwinden von Permafrost	R-BO-1 Ökologische Landwirtschaft R-BO-2 Humusentwicklung
Menschliche Gesundheit und Katastrophenschutz	I-GE-1 Hitzebelastung I-GE-2 Allergene Pflanzen I-GE-3 Belastung mit Ambrosia I-KS-1 Wetter- und witterungsbedingte Katastrophenfälle	-
Stadt- und Raumplanung	I-SB-1 Wärmeineleffekt	R-SB-1 Flächenverbrauch R-SB-2 Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für die Wasserversorgung
Verkehr	I-VE-1 Schiffbarkeit der Binnenschiffahrtsstraßen I-VE-2 Wetter- und witterungsbedingte Straßenverkehrsunfälle	-
Wirtschaft und Energie	I-EW-1 Heiz- und Kühlgradtage I-EW-2 Wetterbedingte Unterbrechungen der Stromversorgung	R-EW-1 Wasseraufkommen und -intensität
Versicherungswirtschaft	I-FI-1 Gebäudeschäden durch Sturm und Hagel I-FI-2 Elementarschäden in der Verbundenen Wohngebäudeversicherung	-



4.1 | Wasserwirtschaft

Wasser ist Leben. Dieser Satz ist aktueller denn je. Führt man sich vor Augen, dass weltweit 1,1 Milliarden Menschen keinen Zugang zu sauberem Trinkwasser haben, so leben wir noch in einer privilegierten Region, in der Wasser vermeintlich jederzeit in der benötigten Menge und Qualität zur Verfügung steht. In Folge des Klimawandels verstärkt auftretende Extreme wie Hitze, Trockenheit, Dürre, Starkregen, Hoch- und Niedrigwasser zeigen uns jedoch unmissverständlich, dass der Klimawandel den Wasserhaushalt und damit die Bewirtschaftung der Gewässer in Bayern bereits heute erheblich verändert.

Schon jetzt wird deutlich: Vor allem im Sommer ist mit häufigeren und länger andauernden Trockenperioden aufgrund abnehmender Niederschlagsmengen bei gleichzeitig zunehmenden Starkregenereignissen und steigender Verdunstung zu rechnen. Dies hat nicht nur auf die Wasserwirtschaft selbst erhebliche Auswirkungen, sondern ebenso auf die Land- und Forstwirtschaft, die Schifffahrt sowie die Wasserkraftnutzung. Gleichzeitig steigt die Niederschlagsintensität, was sich in einer Zunahme der Häufigkeit und Intensität von Starkregenereignissen und Hochwasser äußern kann. Diese stellen, wie insbesondere die großflächigen Starkregenereignisse im Juli 2021 gezeigt haben, ein sehr hohes Schadenspotenzial dar. Zusätzlich verstärken anthropogene Faktoren wie intensive landwirtschaftliche Nutzung und Flächenversiegelung die Folgen des Klimawandels auf Oberflächen- und Grundwasser. Die dargestellten Auswirkungen beeinflussen den Landschaftswasserhaushalt. Sie sind in den verschiedenen klimatischen Regionen Bayerns räumlich unterschiedlich ausgeprägt und werden sich durch den Klimawandel sehr wahrscheinlich im gesamten Freistaat weiter verschärfen.

Der Umgang mit den Auswirkungen des Klimawandels erfordert Strategien und Maßnahmen der bayerischen Wasserwirtschaft:

Mit der integralen bayerischen Gesamtstrategie „Wasserzukunft Bayern 2050“ nimmt sich der Freistaat den Herausforderungen an. Im Gewässer-Aktionsprogramm „PRO Gewässer 2030“ werden in den drei Bereichen Hochwasserschutz, Ökologie und Sozialfunktion die bisherigen Aktivitäten maßgeblich erweitert und beschleunigt. Um den Aspekten Trockenheit und Dürre in geeigneter Form Rechnung zu tragen, wurde zudem das Programm „Wassersicherheit 2050“ auf den Weg gebracht. Es beinhaltet wesentliche innovative Felder, wie beispielsweise die Ertüchtigung der Fernwasserversorgung, die Anpassung der Kläranlagen, den Aufbau nachhaltiger Bewässerungsinfrastrukturen, die Sanierung des Landschaftswasserhaushalts, die Weiterentwicklung von Kommunen zu sog. „Schwammstädten“ oder die Optimierung bestehender Speicher und des Überleitungssystems. Letzteres dient dem Ausgleich der regionalen Unterschiede im Wasserdargebot zwischen Nord- (trocken) und Südbayern (feucht).

Informationsdienste wie der Hochwassernachrichtendienst (HND), die Hochwasservorhersage und der Niedrigwasser-Informationsdienst (NID) behalten die landesweiten Pegel im Auge und helfen die Folgen von Hoch- und Niedrigwasser bewusst zu machen und zu reduzieren. Als Sicherheitszuschlag wird seit 2005 der sogenannte Klimaänderungsfaktor bei neuen wasserbaulichen Schutzanlagen wie z. B. Deichen berücksichtigt, um auch zukünftig bei klimawandelbedingt stärkeren Hochwasserereignissen ausreichend Sicherheit und Schutz zu gewährleisten.

Eine weitere große Herausforderung besteht darin, die Ziele der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) – das heißt einen guten ökologischen und chemischen Zustand der Oberflächengewässer und des Grundwassers zu erhalten oder wiederherzustellen – trotz ungünstiger Bedingungen durch den Klimawandel zu erreichen.

I-WW-1 Grundwasserneubildung aus Niederschlag

Rückgang der Grundwasserneubildung führt zu abnehmenden Grundwasserständen



Eine besondere Herausforderung für die Wasserwirtschaft, heute und in Zukunft, stellt die Sicherstellung des Spitzenwasserbedarfs der öffentlichen Trinkwasserversorgung in Trockenzeiten bei gleichzeitig erhöhtem Bewässerungsbedarf seitens der Landwirtschaft dar (LAWA 2017). In Bayern liefert das Grundwasser rund 92 Prozent unseres Trinkwassers. Erneuert werden diese wichtigen Grundwasservorräte durch Niederschläge. Bereits heute beeinflusst jedoch der Klimawandel die → **Grundwasserneubildung** durch ein verändertes Niederschlagsgeschehen. Mit steigenden Temperaturen erhöht sich zudem die Verdunstung, wodurch sich die Sickerwasserrate und letztlich die Grundwasserneubildung verringern. Da Niederschlagszunahmen in den Wintermonaten in der Regel zu einem Anstieg der Grundwasserstände führen, wirken sich Niederschlagsabnahmen in diesen Monaten besonders negativ auf die Grundwasserneubildungsrate aus. Niederschläge während der Sommermonate tragen im Allgemeinen, vor allem aufgrund der in dieser Zeit hohen Verdunstungsraten, nur zu einem geringeren Anteil zur Grundwasserneubildung bei.



Der Indikator I-WW-1 Grundwasserneubildung aus Niederschlag zeigt die relative Abweichung der Grundwasserneubildung als zehnjähriges gleitendes Mittel gegenüber dem langjährigen Mittel der Grundwasserneubildung im Zeitraum 1971 bis 2000 für Bayern sowie regionalisiert für Süd- und Nordbayern (südlich beziehungsweise nördlich der Donau). Durch die Darstellung eines 10-Jahresmittelwertes fallen die teils erheblichen Schwankungen der Einzeljahre deutlich schwächer ins Gewicht, womit sich ein langjähriger Trend besser abzeichnet. Die Grundwasserneubildung unterlag im Beobachtungszeitraum 1951 bis 2020 regelmäßigen Schwankungen (siehe Abb. 7). So wechselten sich mehrjährige Zeiträume mit

im Mittel unterdurchschnittlichen Grundwasserneubildungsraten (z. B. 1951–1965 und 1971–1976) mit Abschnitten mit überdurchschnittlichen Grundwasserneubildungsraten (z. B. 1965–1970, 1977–1988 und 1998–2002) ab. Auffallend ist jedoch der Zeitraum seit 2003. Dieser ist durch deutlich unterdurchschnittliche Grundwasserneubildungsjahre charakterisiert. Besonders feuchte Jahre waren, mit Ausnahme von 2013, gar nicht vertreten. Entsprechend zeigen die Grundwasservorkommen, welche überwiegend von der Grundwasserneubildung aus Niederschlag abhängig sind, in der Regel abnehmende Grundwasserstände. In den letzten Jahren hat sich diese Entwicklung noch einmal verstärkt, sodass derzeit die geringsten Grundwasserneubildungsraten der gleitenden 10-Jahreswerte im gesamten Beobachtungszeitraum registriert werden. Insbesondere Teile der Oberpfalz, Unter- und Oberfrankens sind davon besonders betroffen.

Die Kenntnis über die Neubildung qualitativ hochwertigen Grundwassers ist eine grundlegende Voraussetzung für eine nachhaltige Trinkwasserbereitstellung. Liegt die Grundwasserneubildungsrate deutlich über der für verschiedene Nutzungen entnommenen Wassermenge, so ist in der Regel eine quantitativ nachhaltige Nutzung der entsprechenden Ressourcen sichergestellt. Dieser Aspekt wird auch bei der Beurteilung des mengenmäßigen Zustands des Grundwassers nach Wasserrahmenrichtlinie berücksichtigt. Dem gegenüber führt eine über die Grundwasserneubildungsrate hinausgehende Nutzung von Grundwasservorkommen langfristig zu niedrigeren Grundwasserspiegeln. Der Anschluss an eine gute Wasserversorgung, etwa an große Talsperren und Stauseen, oder der Ausbau regionaler Wasserverbünde wird damit insbesondere im Norden und Nordosten Bayerns immer wichtiger.

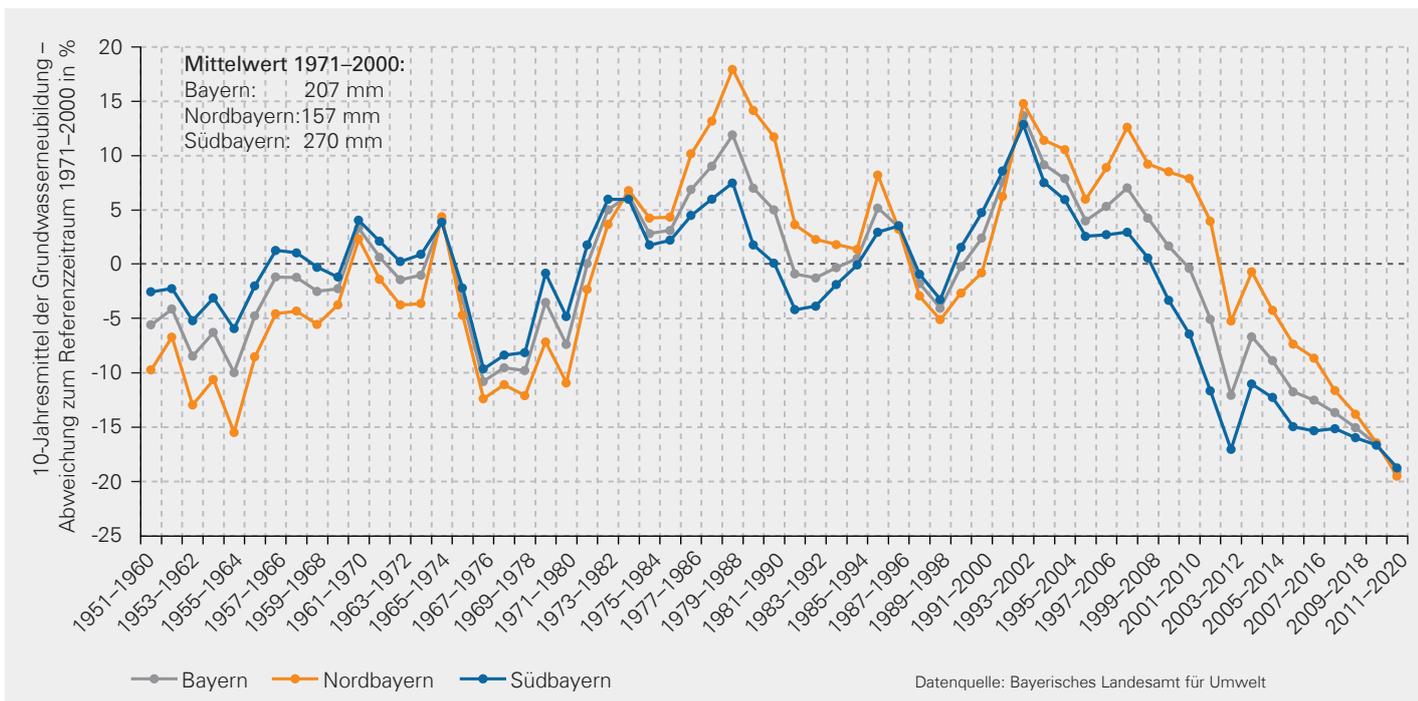


Abb. 7: I-WW-1 Grundwasserneubildung aus Niederschlag: zehnjähriges gleitendes Mittel der relativen Abweichung der Grundwasserneubildung im Zeitraum 1951–2020 gegenüber der Referenzperiode 1971–2000 in Süd- und Nordbayern sowie in Bayern insgesamt

Gesetzliche Zielstellung:

Bayerisches Wassergesetz zur Bewirtschaftung des Grundwassers (Teil 2, Abs. 4, Art. 29 & 30)

Wasserhaushaltsgesetz: Jede Person ist verpflichtet, [...] eine mit Rücksicht auf den Wasserhaushalt gebotene sparsame Verwendung des Wassers sicherzustellen, [...] die Leistungsfähigkeit des Wasserhaushalts zu erhalten [...]. (WHG § 5 (2-3))

Wasserhaushaltsgesetz: Das Grundwasser ist so zu bewirtschaften, dass eine Verschlechterung seines mengenmäßigen und seines chemischen Zustands vermieden wird. (WHG § 47 (1))

Wasserrahmenrichtlinie: Die Mitgliedstaaten [...] gewährleisten ein Gleichgewicht zwischen Grundwasserentnahme und -neubildung [...]. (WRRL, Art. 4, b), ii))

Wasserrahmenrichtlinie: Der Grundwasserspiegel im Grundwasserkörper ist so beschaffen, dass die verfügbare Grundwasserressource nicht von der langfristigen mittleren jährlichen Entnahme überschritten wird. (WRRL, Anhang V, 2.1.2)

Schnittstellen zu anderen Indikatoren im Bericht:

I-WW-2 Trockenheitsindex

Maßnahmen der BayKLAS:

Sicherung der für die öffentliche Wasserversorgung nutzbaren Grundwasservorkommen durch Vorrang- und Vorbehaltsgebiete in den Regionalplänen (NW_04)

Entwicklung von Prognose- und Wasserhaushaltsmodellen zur Abschätzung von Niedrigwasserereignissen und Grundwasserneubildungsraten (NW_08)

Maßnahmen des Klimaschutzprogramms:

2.14 Sicherstellung der Trinkwasserversorgung

2.17 Ausbau der Grundwassermessnetze

I-WW-2 Trockenheitsindex

Bodenwasserspeicher trocknen aus, Bewässerungsbedarf nimmt deutlich zu



Klimawandelbedingte Veränderungen im Temperatur- und Niederschlagsregime führen zu einer Änderung des Bodenwasserspeichers. Mit steigenden Temperaturen erhöhen sich vegetations- und einstrahlungsbedingt die Verdunstungsraten, was zu einer zügigen Entleerung auch gut gefüllter Bodenwasserspeicher führen kann. Veränderte Niederschlagsverhältnisse und die Häufung von Trockenperioden, vor allem im Sommerhalbjahr, wirken sich dabei besonders nachteilig aus. Der Füllzustand des Bodenwasserspeichers ermöglicht Aussagen zur Entwicklung von Trockenperioden und zum Trockenstress der Vegetation und erlaubt Rückschlüsse auf den Bewässerungsbedarf in der Landwirtschaft und indirekt auch auf den möglichen Spitzenbedarf der öffentlichen Wasserversorgung.

Der Füllzustand des Bodenwasserspeichers kann durch den Indikator I-WW-2 → [Trockenheitsindex](#) beschrieben werden. Der Trockenheitsindex wird definiert als die Anzahl von Tagen mit einer Bodenwasserspeicherfüllung von weniger als 30 Prozent der nutzbaren Feldkapazität. Im Zeitraum 1951 bis 2010 unterlag der Trockenheitsindex, bis auf wenige Ausnahmen, meist nur geringen Schwankungen (siehe Abb. 8).

Auffallend ist jedoch die Entwicklung in den letzten Jahren, vor allem seit 2011. Im Mittel hat sich der Trockenheitsindex in Bayern in 2011 bis 2020 gegenüber der Referenzperiode 1971 bis 2000 um +16 Tage im Jahr deutlich erhöht (Nordbayern + 22 Tage pro Jahr, Südbayern +10 Tage pro Jahr), sodass derzeit für den Trockenheitsindex die höchsten gleitenden 10-Jahresmittel im gesamten Beobachtungszeitraum erfasst werden. Regional betrachtet hat vor allem der wasserärmere Norden Bayerns schon heute mit deutlich mehr Trockenheit zu kämpfen als der Süden Bayerns.

Anhand des Trockenheitsindex lässt sich somit gut der Anstieg des Wasserbedarfs landwirtschaftlicher Bewässerung, teilweise auch der Trinkwasserversorgung, in der jüngeren Vergangenheit insbesondere in Nordbayern ableiten. Diese Entwicklung beruht in erster Linie auf der Verlängerung der Vegetationsperiode, der Zunahme von Hitzeperioden, der zurückgehenden klimatischen Wasserbilanz im Sommerhalbjahr und der in den letzten Jahren gehäuft aufgetretenen Frühjahrs- und Herbsttrockenheit mit einer geringen Auffüllung des Bodenwasserspeichers.



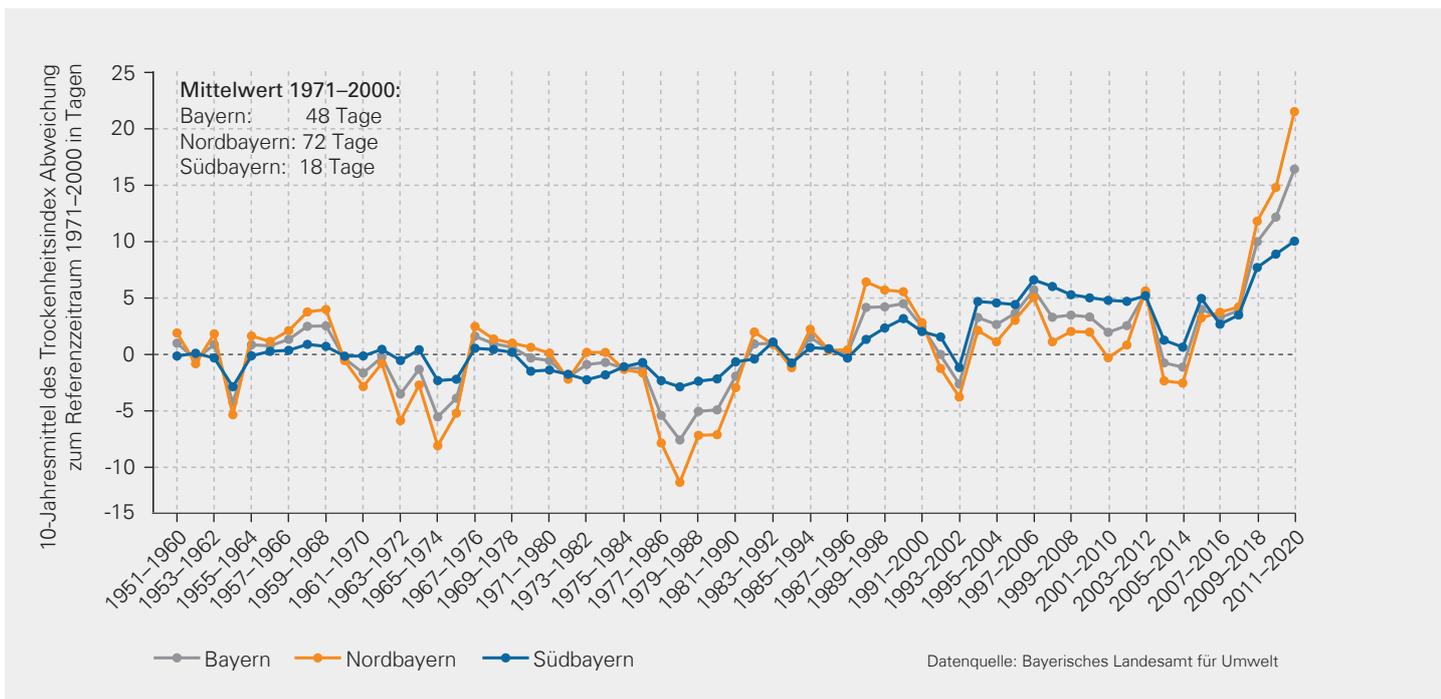


Abb. 8: I-WW-2 Trockenheitsindex: 10-jähriges gleitendes Mittel des Trockenheitsindex im Zeitraum 1951–2020 gegenüber der Referenzperiode 1971–2000 in Süd- und Nordbayern sowie in Bayern insgesamt

Gesetzliche Zielstellung:

Wasserhaushaltsgesetz: Jede Person ist verpflichtet, [...] eine mit Rücksicht auf den Wasserhaushalt gebotene sparsame Verwendung des Wassers sicherzustellen, [...] die Leistungsfähigkeit des Wasserhaushalts zu erhalten [...]. (WHG § 5 (2–3))

Schnittstellen zu anderen Indikatoren im Bericht:

I-WW-1 Grundwasserneubildung aus Niederschlag

Maßnahmen der BayKLAS:

Reduzierung der Verluste bei der Wasserverteilung, Maßnahmen zur wassersparenden Bewässerung, Anpassung der behördlichen Genehmigungen (NW_01)

Entwicklung von Prognose- und Wasserhaushaltsmodellen zur Abschätzung von Niedrigwasserereignissen und Grundwasserneubildungsraten (NW_08)

Ermittlung der Bedarfsdeckung von Industrie, Gewerbe und Landwirtschaft (NW_11)

Sensibilisierung der verschiedenen Nutzergruppen hinsichtlich ihres Wasserverhaltens, Förderung der Reduzierung der Wasserentnahme (NW_16)

Maßnahmen des Klimaschutzprogramms:

2.15 Niedrigwassermanagement

R-WW-1 Hochwasserschutzmaßnahmen

Ausgaben für Hochwasserschutz nehmen tendenziell zu



Der Klimawandel führt zu einem verstärkten Auftreten von Wetterextremen wie Trockenperioden oder Starkregenereignissen und somit zu Veränderungen des Wasserhaushalts. Änderungen der Hochwasserabflüsse sind bereits für die Vergangenheit nachgewiesen oder werden für die Zukunft erwartet (StMUV 2022). Vor dem Hintergrund des Pfingsthochwassers 1999 hat die bayerische Landesregierung im Jahr 2001 das „Hochwasserschutz-Aktionsprogramm 2020“ (AP2020) ins Leben gerufen, die erste integrale bayernweite Hochwasserschutzstrategie. Nach dem Junihochwasser 2013 wurde das AP2020 zum „Hochwasserschutz-Aktionsprogramm 2020plus“ (AP2020plus) fortgeschrieben. Das weiterentwickelte AP2020plus rückt noch stärker einen ganzheitlichen Risikomanagement-Ansatz in den Mittelpunkt. Im Rahmen des AP2020 beziehungsweise AP2020plus wurden über 2,8 Milliarden Euro in technischen Hochwasserschutz, natürlichen Rückhalt und Hochwasservorsorge investiert. Rechnet man noch die Sondermittel zum Donauausbau in Höhe von etwa 0,6 Milliarden Euro hinzu, ist das AP2020 beziehungsweise AP2020plus mit einem Gesamtvolumen von rund 3,4 Milliarden Euro das bisher größte wasserbauliche Infrastrukturprogramm Bayerns (StMUV 2014). Seit 2021 wird das AP2020plus als eine Säule des neuen Bayerischen Gewässer-Aktionsprogramms 2030 (PRO Gewässer 2030) fortgeführt.

Bei allen drei Aktionsprogrammen wird die Umsetzung im Rahmen von Leistungsbilanzen dokumentiert. Somit können der finanzielle Aufwand, mit dem das Land Bayern Hochwasserschutz betreibt, sowie die durch umgesetzte technische Hochwasserschutzmaßnahmen erzielten Verbesserungen beschrieben werden. Die jährlichen für den Hochwasserschutz verausgabten Haushaltsmittel werden im Indikator R-WWV-1 abgebildet. Sie zeigen im Zeitraum von 1999 bis 2020 eine tendenzielle Zunahme,

von etwa 100 auf über 160 Millionen Euro jährlich (siehe Abb. 9). Als Folge des Hochwasserereignisses im Juni 2013, wurde die Investitionszielmarke im Rahmen der Programmweiterung zum AP2020plus deutlich angehoben. Es zeigt sich, dass die Aufwendungen für Hochwasserschutzmaßnahmen auch infolge der Auswirkungen des Klimawandels stetig steigen.

Bei den zusätzlich geschützten bebauten Flächen zeigt sich demgegenüber eine Abnahme im betrachteten Zeitraum von 2001 bis 2020. Dies dürfte in erster Linie daran liegen, dass nach dem Pfingsthochwasser 1999 umfangreiche Deichsanierungen an Donau, Main und Isar durchgeführt wurden. Diese Deiche schützen recht große Flächen, was sich auch in den Leistungsbilanzen niederschlägt. Nach dem weitgehenden Abschluss dieser Deichsanierungen pendeln sich die jährlich zusätzlich geschützten Flächen auf ein einheitliches Niveau von gut 1.000 Hektar jährlich ein. Abnehmende Werte spiegeln somit kein negatives Ergebnis wider. So kann gerade in Stadtgebieten trotz „kleiner“ geschützter Flächen der Nutzen, also das Vermeiden von Schäden, besonders hoch sein.

Ferner kann nicht in jedem Fall die Höhe der verausgabten Haushaltsmittel direkt mit der Größe der zusätzlich geschützten Fläche im gleichen Jahr in Verbindung gesetzt werden. So dauern Planung und Bau technischer Hochwasserschutzmaßnahmen regelmäßig mehrere Jahre. Die zusätzlich geschützte Fläche wird in diesem Fall aber allein dem Jahr zugeschrieben, in dem der Bau fertiggestellt wird. Dadurch sind auch die zum Teil sprunghaften Anstiege bei den zusätzlich geschützten Flächen zu erklären. Die bayerische Wasserwirtschaftsverwaltung setzt die verfügbaren Haushaltsmittel dort ein, wo ein dringender Bedarf besteht und/oder ein möglichst großer Nutzen erzielt werden kann.

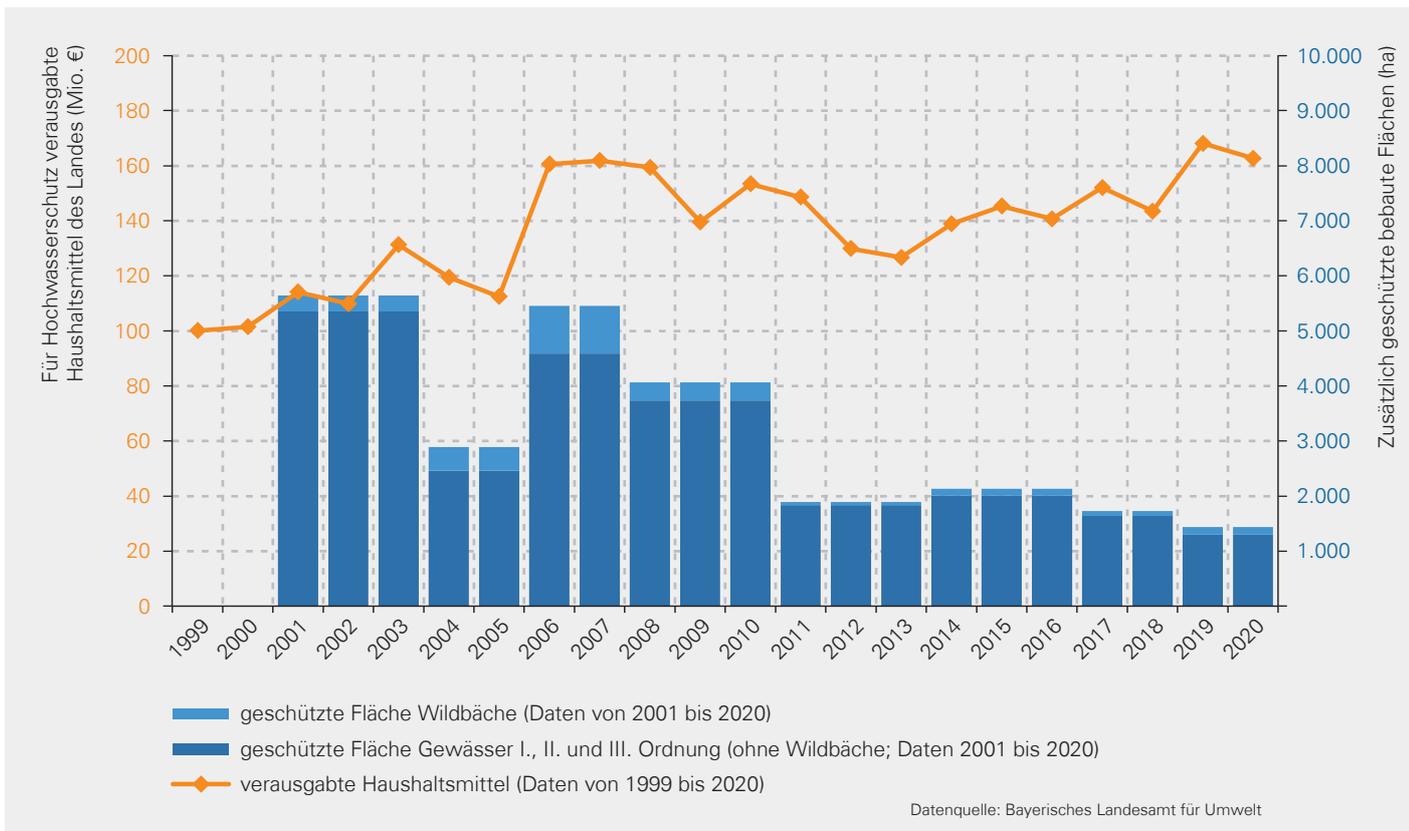


Abb. 9: R-WW-1 Hochwasserschutzmaßnahmen: Verausgabte Haushaltsmittel für den Hochwasserschutz sowie durch technischen Hochwasserschutz vor Hochwasser geschützte bebaute Fläche an → Gewässern I., II. und III. Ordnung und vor Hochwasser und Muren geschützte bebaute Fläche an → Wildbächen

Gesetzliche Zielstellung:

Bayerisches Gewässer-Aktionsprogramm 2030 (PRO Gewässer 2030): Säule I: Hochwasserschäden vorbeugen – Nachhaltiger Schutz vor Hochwasser und Sturzfluten sowie Stärken des natürlichen Rückhalts und der Eigenvorsorge.

Maßnahmen der BayKLAS:

Planung und Umsetzung von Maßnahmen zur Wasserrückhaltung in der Fläche (HW_04)

Erstellen und Umsetzen von Rückhaltekonzepten an Gewässern unter Berücksichtigung des Klimaänderungsfaktors (HW_07)

Optimierte Steuerung und optimierter Betrieb sowie Sanierung von Hochwasserschutzeinrichtungen (HW_08)

Umsetzung der Konzepte für den technischen Hochwasserschutz unter Berücksichtigung des Klimaänderungsfaktors bei der Bemessung (HW_09)

Weitere – vor allem planerische und konzeptionelle – Anpassungsmaßnahmen finden sich in der BayKLAS auf den Seiten 44ff.

Maßnahmen des Klimaschutzprogramms:

2.13 Hochwasserschutz

2.16 Starkregen-Risikomanagement – bayernweite Hinweiskarten

2.18 Einführung eines Hochwasser-Checks



4.2 | Landwirtschaft

Die Landwirtschaft ist unmittelbar von Klimaänderungen und deren Folgen betroffen. Sie muss sich auf längere Vegetationszeiten, aber auch auf Veränderungen der Nährstoffverfügbarkeit, neue Krankheiten und Schädlinge sowie zunehmende Extremereignisse einstellen. An kontinuierliche Veränderungen können sich einzelne landwirtschaftliche Bereiche durch Sortenwahl und Fruchtfolgegestaltung oder Veränderungen bei der Bodenbearbeitung vergleichsweise gut anpassen. Häufigere und intensivere Extremereignisse wie Starkregen, Stürme, Hagel oder länger andauernde Trockenphasen im Sommerhalbjahr, insbesondere im Norden Bayerns, sind dagegen schwer kalkulierbar und nur bedingt durch Vorsorgemaßnahmen ausgleichbar. Im Obstbau wird das Spätfrostisiko auch in Zukunft eine potenzielle Gefahr durch den frühzeitigen Vegetationsbeginn darstellen. Spätfröste und Extremereignisse können hohe Schäden und erhebliche wirtschaftliche Verluste bis hin zum totalen Ertragsausfall bewirken.

In Bayern wird mit 46,2 Prozent knapp die Hälfte der Landesfläche landwirtschaftlich genutzt. Rund 65 Prozent davon sind Ackerland, 35 Prozent Grünland. Regional weichen die Acker- und Grünlandanteile erheblich von den Durchschnittswerten ab. So dominiert im Alpenvorland Schwabens und Oberbayerns das Dauergrünland, während vor allem in Niederbayern und in Ober-, Mittel und Unterfranken vorwiegend Ackerbau betrieben wird. Obwohl Garten-, Obst- und Rebland nur einen geringen Flächenanteil von 0,4 Prozent ausmachen, ist deren wirtschaftliche Bedeutung hoch. Die größte Relevanz hat der Weinanbau in Franken, wo sich 98 Prozent der bayerischen Rebflächen befinden.

Neben dem Pflanzenbau ist auch die Tierhaltung vom Klimawandel betroffen.

Mit steigenden Temperaturen verringert sich das Wohlbefinden, die Produktivität und Fruchtbarkeit der Tiere. Weiter steigt das Risiko für neue Infektionskrankheiten und das Auftreten von Tierseuchen, die häufig auch zwischen Tier und Mensch übertragen werden.

Als gesetzliche Grundlage für die Anpassung an den Klimawandel im Bereich Landwirtschaft dient das Bayerische Gesetz zur Nachhaltigen Entwicklung der Agrarwirtschaft und des ländlichen Raumes (BayAgrarWiG). Entscheidungen für Anpassungsmaßnahmen sind jedoch in erheblichem Maße von den Marktbedingungen, Agrarzah-lungen und Fördermöglichkeiten abhängig. Mit dem Agrarinvestitionsprogramm fördert der Freistaat beispielsweise Maßnahmen des Umwelt- und Klimaschutzes. Allerdings sind die Handlungsmöglichkeiten auf Landesebene begrenzt, da förderpolitische Rahmenbedingungen von Entscheidungen auf der EU- und Bundesebene abhängen.

I-LW-1 Verschiebung agrarphänologischer Phasen

Zeitigere Apfelblüte erhöht Spätfrostgefahr



Wie kaum eine andere Nutzung ist die Landwirtschaft an die natürlichen jahreszeitlichen Rhythmen gebunden und muss ständig auf wechselnde Witterungsbedingungen reagieren. Diese können sowohl positive als auch negative Auswirkungen auf die Kulturen haben. Höhere Wärmesummen fördern das Pflanzenwachstum, wenn gleichzeitig eine ausreichende Wasserversorgung gesichert ist. Allerdings können zu hohe Temperatursummen oder Trockenheit auch dazu führen, dass bestimmte Wachstums- und Entwicklungsphasen landwirtschaftlicher Kulturen wie z. B. die Kornfüllungsphase bei Getreide zu schnell durchlaufen werden und es infolgedessen durch eine zu frühe Abreife zu Ertragseinbußen kommt. Bei Kulturpflanzen ist zudem zu beachten, dass eine Verfrühung des Blühbeginns nicht synchron mit dem Auftreten der nötigen Bestäuber-Insekten verlaufen muss.

Die Veränderung natürlicher jahreszeitlicher Rhythmen und die damit verbundenen zeitlichen Verschiebungen in der Entwicklung von Pflanzen lassen sich über die Beobachtung des Eintretens definierter →**phänologischer Phasen** erfassen. Erfasst werden dabei z. B. Blatt- und Knospentrieb, Blüte, Frucht reife oder Blattfall im Rahmen des phänologischen Messnetzes des Deutschen Wetterdienstes (DWD).

Die Veränderung der phänologischen Phasen gilt als einer der besten Bioindikatoren für Veränderungen des Klimas, speziell der Temperatur. Einen besonders starken Zusammenhang zwischen Temperatur(-summe) und phänologischen Phasen gibt es bei den Frühjahrs- und Sommerphasen. Allerdings muss sichergestellt sein, dass entsprechende phänologische Änderungen in dieser Zeit primär auf klimatische Änderungen zurückzuführen sind und andere relevante Einflüsse wie beispielsweise erhöhte atmo-

sphärische CO₂-Konzentration ausgeschlossen werden können (Menzel et al. 2006, siehe DAS-Indikator-Factsheet LW-I-1). Zur Beschreibung phänologischer Auswirkungen des Klimawandels lassen sich innerhalb der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen nur Winterkulturen und Dauerkulturen als Zeigerpflanzen nutzen, um auszuschließen, dass das Eintreten der phänologischen Phasen wie Bestellung, Reife und Ernte nicht von den landwirtschaftlichen Bewirtschaftungspraktiken abhängt.

Der im Indikator I-LW-1 Verschiebung agrarphänologischer Phasen (siehe Abb. 10) abgebildete Blühbeginn von Winterraps und Apfel markiert den Frühlingsbeginn. Beide Blühzeitpunkte reflektieren die Witterungsentwicklungen vergleichsweise unmittelbar, da bewirtschaftungsbedingte Einflüsse für den Zeitpunkt der Blüte nur eine untergeordnete Rolle spielen. Die Raps- wie auch die Apfelblüte sind dabei sehr sichtbare phänologische Phasen, die auch von der Bevölkerung gut wahrgenommen werden können.

Der Blühbeginn von Winterraps und Apfel schwankt je nach Witterungsverlauf von Jahr zu Jahr im Mittel um sieben Tage. Über den gesamten Zeitraum zeigen beide Kulturen einen abnehmenden Trend: In der Periode 1991 bis 2020 lag der Blühbeginn im Mittel um acht (Winterraps) beziehungsweise zehn Tage (Apfel) früher als 1961 bis 1990. Der früheste Blühbeginn der Zeitreihe seit 1961 wurde im Jahr 2014 beobachtet, gefolgt von 2020 und 2007. Die Folgen der klimawandelbedingten Temperaturzunahme im Frühjahr ist somit direkt und robust an der →**Phänologie** erkennbar. Beide Teile des Indikators zeigen einen sehr ähnlichen zeitlichen Verlauf, was darauf hindeutet, dass verschiedene Kulturarten sehr ähnlich auf Temperaturen reagieren.

6 DAS-Factsheet LW-I-1:
www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/4770/dokumente/lw-i-1_indikator_agrophaenologie_2019.pdf

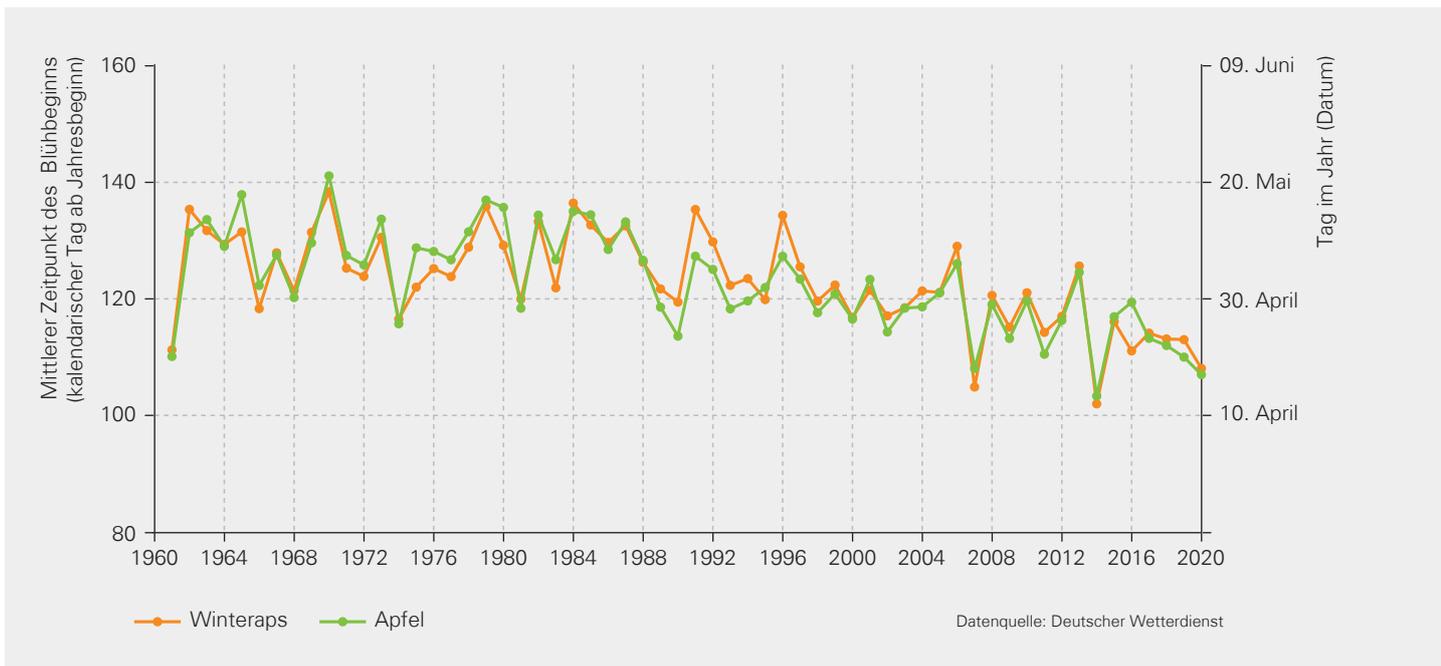


Abb. 10: I-LW-1 Verschiebung agrarphänologischer Phasen: Mittlerer Zeitpunkt des Blühbeginns von Wintereraps und Apfel im Zeitraum 1961 bis 2020

Eine durch Klimaveränderungen zeitlich vorgeschobene Blüte beim Apfel kann zu einer erhöhten Spätfrostgefährdung der Kulturen führen. Vielerorts reagiert der Obstbau bereits mit Frostschutzberegnung, bei der die Pflanzen gezielt mit feinen Wassertröpfchen besprüht werden. Beim Gefrieren des Wassers wird Kristallisationswärme freigesetzt, die Blätter und Blüten vor Frostschäden schützt. Durch die Wahl der Fruchtart und -sorte, der Fruchtfolgen und der Terminierung der Bewirtschaftungsgänge können sich Landwirtinnen und Landwirte zudem an Veränderungen der jahreszeitlichen Witterungsverläufe anpassen.



Schnittstellen zu anderen Indikatoren im Bericht:

I-NA-1 Phänologische Veränderungen bei Wildpflanzenarten

Maßnahmen der BayKLAS:

Anbau frostharter und frühreifer Sorten sowie Entwicklung von Frostschadensprävention in Sonderkulturen (PW_18)

R-LW-1 Anbau wärmeliebender Sorten

Bayerische Winzerinnen und Winzer setzen zunehmend auf mediterrane Rotweine



Im Weinbau erfordert beziehungsweise ermöglicht der Klimawandel den Anbau neuer Rebsorten. Da die Weinrebe ursprünglich aus südlichen Gefilden stammt, profitiert sie von vermehrter Sonneneinstrahlung und höheren Wärmesummen. Insbesondere für die wärmeliebenden Rotweinsorten können mit den Klimaveränderungen die Anbaubedingungen verbessert werden (u. a. Maaß und Schwab 2011). So sind in Bayern durch die veränderten Klimabedingungen seit 2002 die Rebsorten Merlot und Cabernet Sauvignon für den Anbau zugelassen (LWGa und LWGb). Beide Rotweinsorten genießen international eine hohe Reputation (Schwab und Knott 2012). Ein Anbau qualitativ hochwertiger Rotweine stößt daher zunehmend auf Interesse, auch weil bisher rund 80 Prozent des in Deutschland konsumierten Rotweins importiert werden muss (Schwab und Knott o.J.).

Die Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau hat Anbauversuche mit verschiedenen Rotwein-Rebsorten, unter anderem mit Syrah, Cabernet Sauvignon und Merlot, durchgeführt. Die Ergebnisse für Cabernet Sauvignon und Merlot sind vielversprechend. Vor allem als Cuvéepartner können beide Trauben gemeinsam gute Rotweine hervorbringen (Schwab und Knott 2012, LWGa und LWGb). Auf die fruchtbetonten Weißweine hingegen wirken sich zu hohe Temperaturen und veränderte →Lichtqualität eher negativ aus: Manche Rebsorten könnten sogar verschwinden.

Im Indikator R-LW-1 Anbau wärmeliebender Sorten wird die Entwicklung der mit Keltertrauben bestockten Rebfläche, differenziert nach den Rebsorten Merlot und Cabernet Sauvignon für die Weinbaugebiete in Bayern sowie der mittlere →Huglin-Index für die Klimaregion Mainregion dargestellt (siehe Abb. 11). Die Klimaregion Mainregion repräsentiert das Weinbaugebiet Franken.

Der Huglin-Index ist wärmebasiert und ermöglicht gebietsbezogene Abschätzungen der Anbaumöglichkeiten verschiedener Rebsorten, da jede Rebsorte eine bestimmte Wärmesumme benötigt, um erfolgreich über längere Zeit kultiviert zu werden. Dass die Berechnung des Huglin-Index auf die Klimaregion Mainregion beziehungsweise auf das Weinbaugebiet Franken begrenzt ist, liegt in der Dominanz dieses Weinbaugebiets gegenüber den anderen bayerischen Weinbaugebieten begründet. In Franken liegen rund 98 Prozent der bayerischen Rebflächen.

Seit den 2000er-Jahren ist ein Anstieg des Huglin-Index zu erkennen. Insbesondere die sehr warmen Jahre wie 2003 und 2018 weisen einen sehr hohen Huglin-Index für die gesamte Mainregion auf. Der stetig steigende Huglin-Index führt letztendlich dazu, dass die Winzerinnen und Winzer in Mainfranken zunehmend auch mediterrane Rebsorten wie Merlot und Cabernet Sauvignon erfolgreich anbauen können. Zu sehen ist diese Adaption an den Klimawandel durch eine stetig zunehmende Rebfläche der wärmebedürftigen Rebsorten in der Weinbauregion Franken.

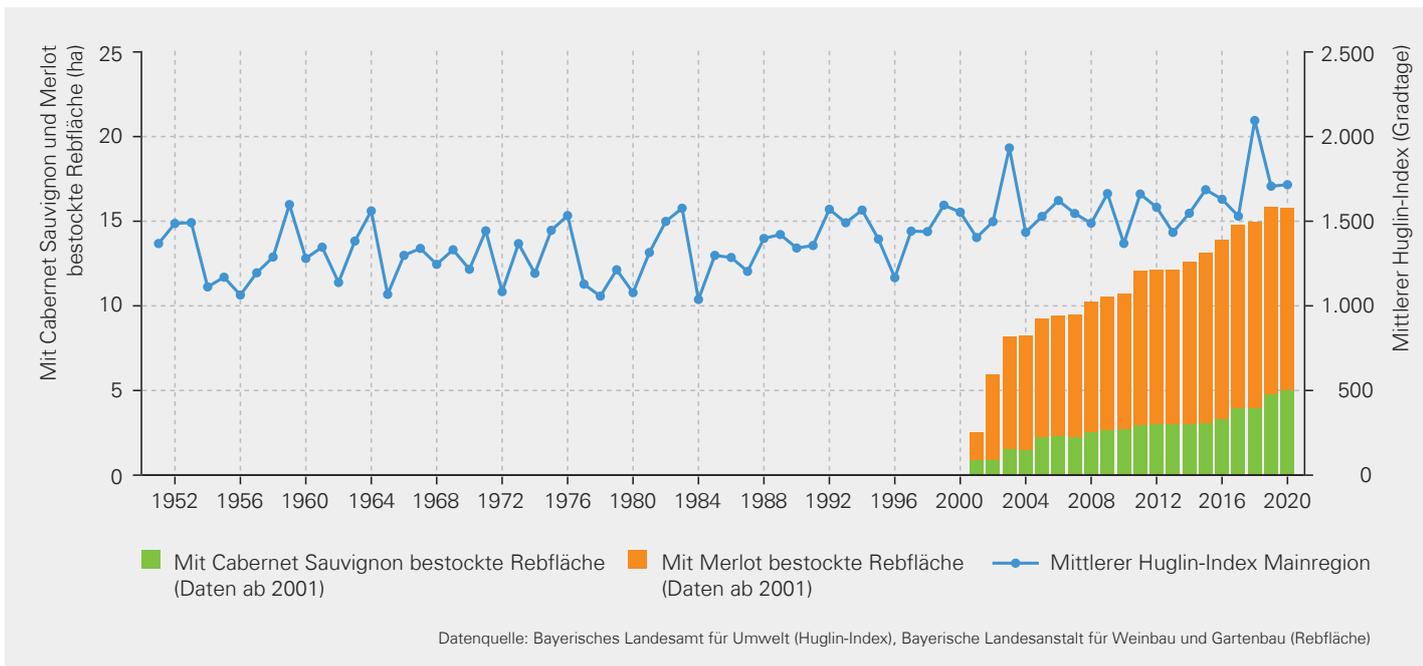


Abb. 11: R-LW-1 Anbau wärmeliebender Sorten: Entwicklung der mit Keltertrauben bestockten Rebfläche, differenziert nach den Rebsorten Merlot und Cabernet Sauvignon für die Weinbaugebiete in Bayern von 2001 bis 2020 sowie der mittlere Huglin-Index für die Klimaregion Mainregion im Zeitraum 1951 bis 2020

Schnittstellen zu anderen Indikatoren im Bericht:

I-LW-1 Verschiebung phänologischer Phasen

Maßnahmen der BayKLAS:

Anbau frostharter und frühreifer Sorten sowie Entwicklung von Frostschadensprävention in Sonderkulturen (PW_18)

Entwicklung neuer Anbauverfahren und Sortimentzusammensetzungen v. a. für wirtschaftlich wichtige Kulturen wie Gurken und Tomaten (PW_23)





4.3 | Wald und Forstwirtschaft

Unsere Wälder und mit ihnen die rund 700.000 Waldbesitzerinnen und Waldbesitzer in Bayern sind stark vom Klimawandel betroffen. Zusätzlich zu Schadstoff- und Stickstoffeinträgen beeinflussen die hohe Geschwindigkeit und das Ausmaß der Klimaveränderungen die Anpassungsfähigkeit der Wälder und bringen sie in große Bedrängnis. Steigende Temperaturen, zunehmende Trockenheit und Extremereignisse wie Stürme haben Auswirkungen auf das Waldwachstum und das Überleben der Baumarten, die Baumartenzusammensetzung, die Nutz- und Schutzfunktion der Wälder und begünstigen bestehende und neu auftretende Schädlinge und Krankheiten. Für die warm-trockenen Regionen Bayerns werden sogar noch stärkere Konsequenzen als im Rest von Deutschland erwartet. Grund dafür ist die in Bayern überdurchschnittlich häufig vorkommende Kombination der Baumarten Fichte und Kiefer, die besonders empfindlich gegenüber den Veränderungen sind.

Als besonders gefährdet gelten Standorte, die bereits heute zu trocken sind, und die Baumartenzusammensetzungen aufweisen, die den zukünftigen Standort- und Klimabedingungen nicht Stand halten werden. Regionale Schwerpunkte finden sich z. B. in den warm-trockenen Gebieten Frankens oder im Nordosten Bayerns (Franken-, Oberpfälzer-, Bayerischer Wald). Aber auch im Alpenraum beeinträchtigt der Klimawandel die Schutzfunktion der Bergwälder. Dies kann durch reduzierte Wasserrückhaltefunktionen Auswirkungen auf das Hochwassergeschehen bis weit ins Alpenvorland haben.

Insbesondere die Fichte, mit 42 Prozent die häufigste Baumart Bayerns, zeigt eine hohe Anfälligkeit gegenüber Trockenheit. Eingeschränkte Vitalität und zunehmender Befall

durch Borkenkäfer ist die Folge, wobei die Lage in einigen Gebieten wie Frankenwald, Bayerischer Wald und Mittelfranken angespannter ist als in anderen Landesteilen. Derzeit reagieren auch Kiefer und Buche in einigen Regionen Bayerns mit Vitalitätseinbußen, Wachstumsrückgängen oder mit verstärkter Mortalität auf die extremen Witterungsbedingungen der letzten Jahre.

Wälder können sich nicht kurzfristig an stark verändernde Umweltbedingungen anpassen. Damit Wälder auch in Zukunft ihre zahlreichen Funktionen erfüllen und den nachwachsenden Rohstoff Holz bereitstellen können, müssen sie klimatolerant umgebaut werden. Dies erfordert ein rasches Handeln der Forstwirtschaft. Dazu muss der Umbau unserer Wälder in klimaresiliente, artenreiche Mischwälder beschleunigt und weiter vorangetrieben werden.

Mit dem Waldumbauprogramm, der Bergwaldoffensive und der Initiative Zukunftswald Bayern wurden bereits wichtige Maßnahmen zur Anpassung der privaten und körperschaftlichen Wälder auf den Weg gebracht. Weiter können sich Waldbesitzerinnen und Waldbesitzer im Bayerischen Standortinformationssystem (BaSIS) eine Vorstellung vom Wald der Zukunft in ihrer Region machen und erhalten wichtige Informationen zum Aufbau klimatoleranter Waldbestände. In den von den Bayerischen Staatsforsten bewirtschafteten staatlichen Wäldern wird der Waldumbau besonders ehrgeizig vorangetrieben. Einen rechtsverbindlichen Rahmen für eine nachhaltige Waldbewirtschaftung bilden das Bayerische Waldgesetz (BayWaldG) sowie das Bundeswaldgesetz (BWaldG).

I-FW-1 Mistelbefall von Waldbäumen

Zunehmender Mistelbefall von Waldbäumen



Während viele Bäume und Wälder durch veränderte klimatische Bedingungen, insbesondere durch die zunehmende sommerliche Trockenheit, an Vitalität verlieren können, profitieren einige Schädlinge und Krankheitserreger von den veränderten Umweltbedingungen.

Als Schädling zählt auch die immergrüne, weißbeerige Mistel. Sie ist in Mitteleuropa weit verbreitet und kommt in drei Unterarten vor: Tannenmistel, Kiefernmistel und Laubmistel. Fichte und Lärche werden nur selten, Rotbuche und Platane gar nicht von der Mistel besiedelt. Die Mistel hat einen hohen Licht- und Wärmeanspruch, weshalb man infolge des Klimawandels von einer Verbreitung der Mistel ausgeht (Lemme 2009). Dies erklärt auch, warum die Mistel im wärmebegünstigten Mittelfranken an der Kiefer deutlich weiter verbreitet ist als beispielsweise im Alpenraum an der Tanne (Petercord et al. 2017).

Die Mistel schädigt ihre Wirtspflanze durch Wasser- und Nährstoffentzug. Der zunehmende Vitalitätsverlust der Wirtspflanze

begünstigt zudem weiteren Mistelbefall und der beginnende Nadel- oder Laubverlust verbessert die Lichtbedingungen in der Krone (Lemme 2009), wodurch das Mistelwachstum zusätzlich angeregt wird. Dadurch kommt es zu einem sich selbst verstärkenden Effekt. Als Sekundärschaden kann auch der Befall durch andere Schadorganismen zunehmen. Aus forstlicher Sicht ist vor allem der Befall von Kiefer und Tanne problematisch (Petercord et al. 2017). So zeigen Erfahrungen aus den inneralpinen Trockentälern des Schweizer Wallis, dass sich begünstigt durch den Mistelbefall die Baumartenzusammensetzung verändern kann (Lemme 2009). Die Bekämpfung der Mistel ist ausgesprochen schwierig und kommt daher im Wald nicht in Betracht. In Obstbeständen kann diese aber aus wirtschaftlichen Gründen und an Straßenbäumen zur Erfüllung der Verkehrssicherungspflicht erforderlich werden.

Im Indikator I-FW-1 Mistelbefall wird der relative Anteil der mit Misteln befallenen Baumarten Tanne und Kiefer dargestellt (siehe Abb. 12 und Abb. 13). Er basiert auf der

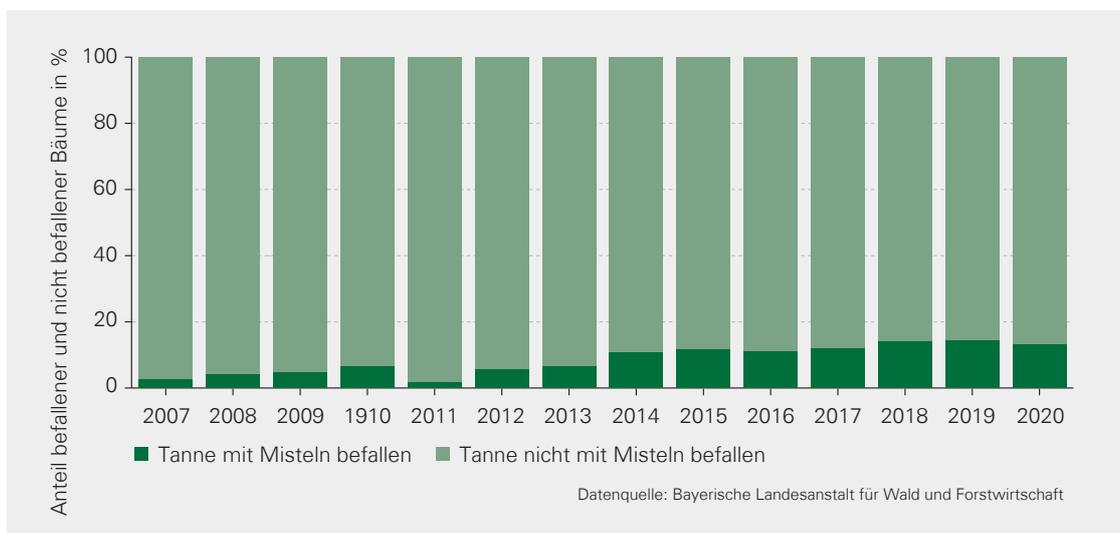


Abb. 12: I-FW-1 Mistelbefall von Waldbäumen, Indikator I: Befall der Tanne im Zeitraum 2007 bis 2020

jährlichen Waldzustandserfassung, bei der seit 2007 auch der Mistelbefall der Baumkronen erfasst wird. Aufgrund ihres Wärmeanspruchs sowie gegebenenfalls veränderter Areale der Vogelarten, die die Mistel verbreiten, ist als Folge des Klima-

wandels eine Zunahme der Mistel beobachtbar. Die relative Befallsrate der Tannenmistel in Bayern stieg zwischen 2007 und 2020 von 2,8 Prozent auf 13,4 Prozent und die relative Befallsrate der Kiefernmistel von 1,4 Prozent auf 36,5 Prozent deutlich an.

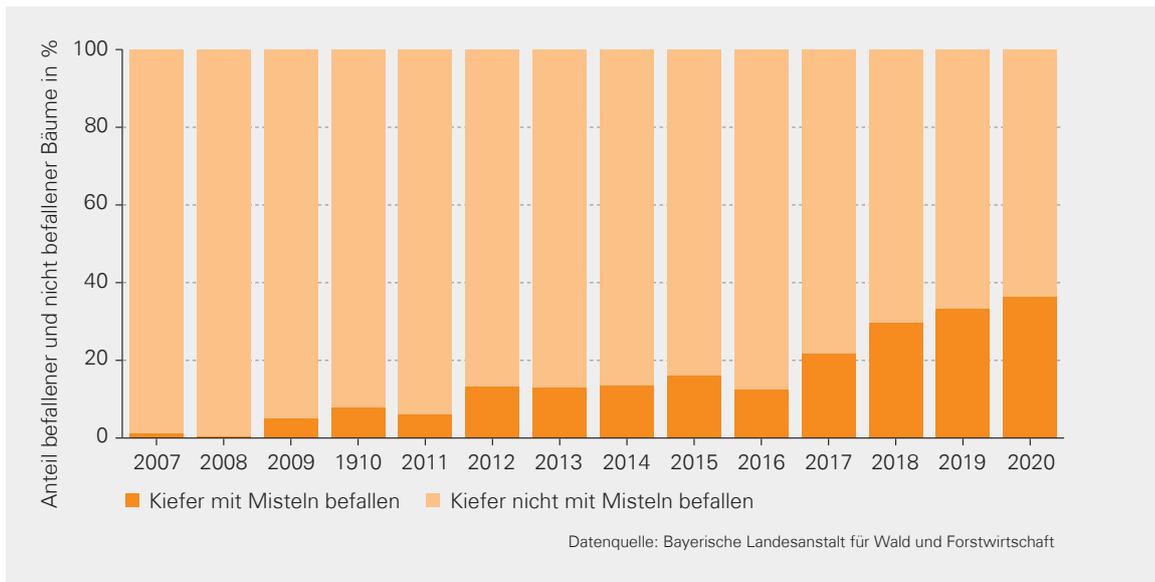


Abb. 13: I-FW-1 Mistelbefall von Waldbäumen, Indikator II: Befall der Kiefer im Zeitraum 2007 bis 2020

Schnittstellen zu anderen Indikatoren im Bericht:

I-WW-2 Trockenheitsindex

R-FW-1 Mischbestände

Maßnahmen der BayKLAS:

Beobachtung und Analyse der Auswirkungen des Klimawandels sowie der ergriffenen Maßnahmen; bei Bedarf Weiterentwicklung und Ergänzung der Monitoringsysteme (z. B. [...] Waldzustandserhebung) (GF_01)

Beobachtung, Bewertung und Information der Öffentlichkeit bezüglich biotischer und abiotischer Klimarisiken für die Wälder und Betriebe, als Grundlage für Prävention, Abwehr und Schadensbewältigung (GF_03)

Maßnahmen des Klimaschutzprogramms:

2.1 Waldumbauoffensive 2030 im Privat- und Körperschaftswald

2.2 Pflanzung von 30 Mio. Bäumen von 2020 bis Ende 2024 im Staatswald

2.3 „Klimawald“ – Ausrichtung der Bewirtschaftung der Bayerischen Staatsforsten an den Leistungen für den Klimaschutz

5.1 Ausweitung der Forschung für klimatolerante Bäume

R-FW-1 Mischbestände

Risikostreuung durch Mischwälder



Je mehr Arten eine Lebensgemeinschaft bilden und je vielfältiger ihre Strukturen sind, desto geringer wird grundsätzlich das Risiko sein, dass im Falle einer schleichenden oder plötzlichen Veränderung der Standortbedingungen die gesamte Lebensgemeinschaft zusammenbricht. Es wird dann immer einzelne Arten geben, die Grundlage einer neuen Bestandsentwicklung werden können. In der Forstwirtschaft in Bayern wurde daher bereits massiv mit der Umsetzung eines Waldumbauprogramms zur Erhaltung und Entwicklung klimatoleranter Mischwälder begonnen. Bis zum Jahr 2030 sollen im Rahmen der Waldumbauoffensive 2030 von den akut gefährdeten Fichten- und Fichten-Kiefern-Beständen im Privat- und Körperschaftswald rund 200.000 Hektar in klimatolerantere Mischwälder umgebaut werden (Treutlein und Achhammer 2018). Im bayerischen Staatswald sollen im selben Zeitraum 172.000 Hektar Nadelholzreinbestände umgebaut werden.

Das Ziel, Mischwälder zu schaffen, gilt zwar primär für Baumarten auf Standorten, die bereits heute als vom Klimawandel gefährdet gelten. Doch auch heute als standortgerecht oder naturnah einzuschätzende Baumarten können z. B. durch Erwärmung oder Trockenheit in Zukunft als weniger angepasst gelten (sogenannte Arealverschiebung, siehe Bolte und Ibisch 2007). Auch für einen reinen Buchenbestand, insbesondere in heute schon warmen und trockenen Gebieten, könnte daher in Zukunft das Ziel gelten, diesen mit zusätzlichen Baumarten anzureichern, um das Risiko stärker zu streuen (siehe DAS-Indikator-Factsheet FW-R-1⁷).

Der Indikator R-FW-1 Mischbestände stellt den prozentualen Flächenanteil von Mischbeständen dar. Er zeigt die aktiv geförderte und natürliche Zielerreichung von klimaanfälligen Reinbeständen hin zu klimaresistenten und klimaresilienteren Mischbeständen

für die Jahre 2002 und 2012 (siehe Abb. 14). Datengrundlage ist die Bundeswaldinventur, die alle 10 Jahre durchgeführt wird. Die Daten für die Erhebungen im Jahr 2022 werden voraussichtlich im Jahr 2024 vorliegen. Zwischen den Erhebungen zeigen sich aufgrund der sehr langen Wachstums- und Bewirtschaftungszeiträume in den Wäldern nur relativ geringe prozentuale Veränderungen, die jedoch in Anbetracht der zu Grunde liegenden Waldfläche Bayerns von 2,6 Millionen Hektar eine große Leistung darstellen. Eine Zunahme gab es in der Kategorie des Mischwalds mit drei (+1,5 Prozent) und insbesondere mit vier Baumarten (+5,3 Prozent). In der Kategorie des Mischwalds mit zwei Baumarten zeigt sich eine geringfügige Abnahme von 0,3 Prozent.

Ein veränderter Flächenanteil von Mischbeständen kann ein Ergebnis zielgerichteter Waldumbaumaßnahmen sein. Die stetigen und über die letzten Jahrzehnte massiv ausgeweiteten Aktivitäten des Freistaates Bayern zur Anpassung der Wälder in allen Waldbesitzarten tragen Zug um Zug zu einem höheren Anteil an klimatoleranteren Laubbäumen und auch zu einer höheren Baumartenvielfalt bei. Der höhere Anteil an Mischbeständen kann sich aber bis zu einem gewissen Umfang auch natürlicherweise einstellen. Allerdings vollzieht sich dieser Prozess in der Regel in deutlich längeren Zeiträumen. Im Resultat lassen sich daher natürliche oder spontane Entwicklungen nicht eindeutig von anthropogen gesteuerten Prozessen unterscheiden. Für die Bewertung ist letztendlich die Zunahme der Mischbestände aus klimatoleranten Baumarten relevant, egal ob diese zielgerichtet durch aktive Bewirtschaftung oder im Zuge natürlicher Prozesse entstanden sind. Es braucht jedoch in der Praxis immer eine fachkundige Bewertung des Einzelfalls, denn Mischbestände aus nicht klimatoleranten Baumarten würden nicht zur Anpassung beitragen.

⁷ DAS-Factsheet FW-R-1: www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/4770/dokumente/fw-r-1_indikator_mischbestaende_2019.pdf

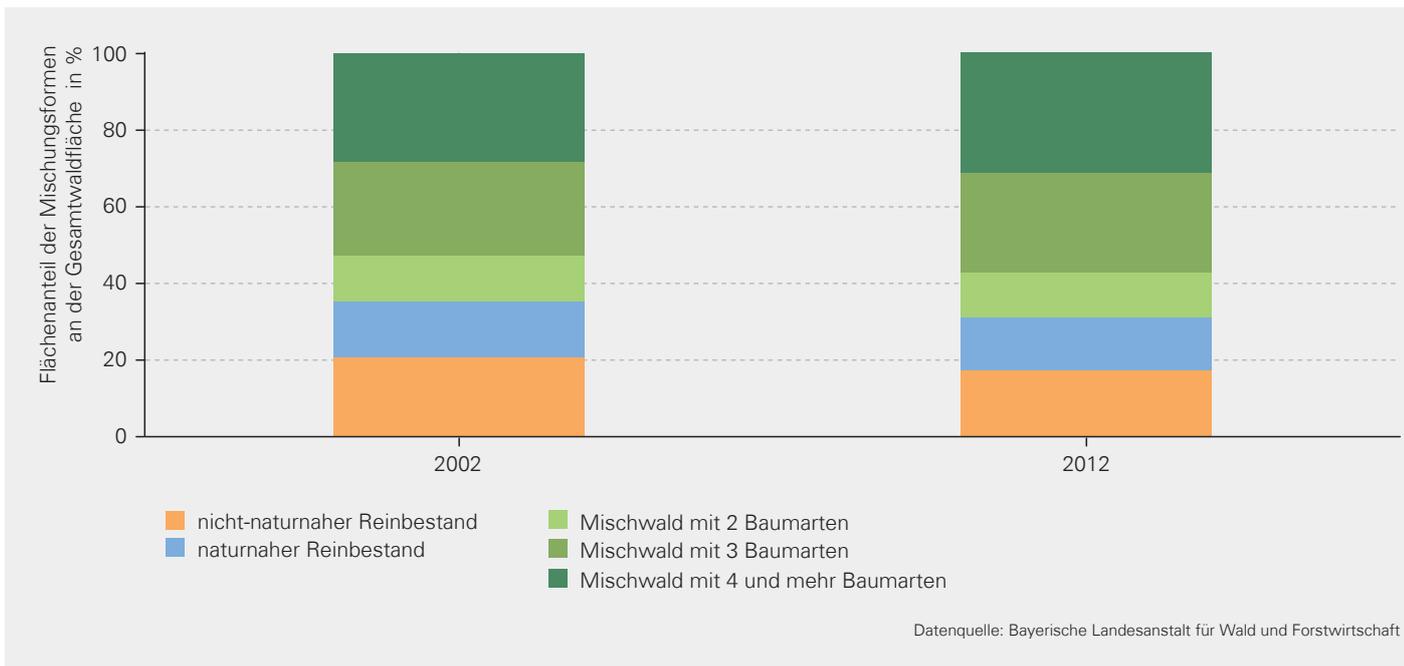


Abb. 14: R-FW-1 Mischbestände: Flächenanteil der Mischungsformen an der Gesamtwaldfläche 2002 und 2012

Gesetzliche Zielstellung:

Waldumbauoffensive 2030: Umbau von rund 200.000 Hektar akut gefährdeten Reinbeständen im Privat- und Körperschaftswald in klimatolerante Mischwälder. Bis Ende 2022 wurden bereits rund 95.000 Hektar umgesetzt.

Waldumbau im Staatswald: Bis 2030 Umbau von 172.000 Hektar Nadelholzreinbestände in klimastabile Mischwälder aus mindestens vier Baumarten durch Naturverjüngung und Pflanzung. Deutlich über die Hälfte ist bereits geschafft.

Schnittstellen zu anderen Indikatoren im Bericht:

I-FW-1 Mistelbefall von Waldbäumen

Maßnahmen der BayKLAS:

Bereits heute lässt sich eine Verschiebung der Baumartenverteilung und Waldstruktur aufgrund klimati-

scher Veränderungen beobachten. Betroffen sind vor allem an kühlfeuchte Bedingungen angepasste Arten, die zunehmend durch wärmeliebende und trockenheitsverträglichere Arten verdrängt werden (S. 69).

Zukünftig ist durch den prognostizierten Klimawandel davon auszugehen, dass sich die Klimaareale und die Verbreitung der Waldgesellschaften weiter in die Höhe als auch polwärts verschieben (S. 69).

Maßnahmen des Klimaschutzprogramms:

2.1 Waldumbauoffensive 2030 im Privat- und Körperschaftswald

2.2 Pflanzung von 30 Mio. Bäumen von 2020 bis Ende 2024 im Staatswald

2.3 „Klimawald“ – Ausrichtung der Bewirtschaftung der Bayerischen Staatsforsten an den Leistungen für den Klimaschutz

5.1 Ausweitung der Forschung für klimatolerante Bäume



Naturschutzgebiet



4.4 | Naturschutz

Biologische Vielfalt und Klima sind eng miteinander verwoben. Einerseits gefährdet der Klimawandel Arten und Ökosysteme. Graduelle Temperatur- und Niederschlagsänderungen sowie zunehmende Wetterextreme verändern die Lebensbedingungen vieler Arten. Dies führt zu einer Verschiebung der Verbreitungsgebiete und zu Veränderungen der Saisonalität und der Zusammensetzung der Artengemeinschaften. Für einige Arten, die bisher gemeinsam in einem Lebensraum vorkamen, verschieben sich die jeweils klimatisch geeigneten Lebensräume an andere Standorte. Dies führt zu einer räumlichen Entkopplung und damit zu einem Rückgang der Populationen. Ähnlich verhält es sich mit der zeitlichen Entkopplung, z. B. wenn Insekten früher fliegen, als die Blumen blühen, von denen sie sich ernähren. Ein anderes Beispiel ist der Kuckuck, dessen Wirtsvogel früher mit der Brut beginnen, als der Kuckuck aus seinem Winterquartier zurückkehrt. Außerdem können Arten aus wärmeren Regionen, auch solche mit invasivem Potenzial, einwandern und die Beziehungsstruktur zwischen den Arten verändern (EEA 2021).

Andererseits können Naturschutz und Naturregeneration einen zentralen Beitrag zu Klimaschutz und Klimaanpassung leisten, indem die Ökosysteme Kohlenstoff speichern und es Menschen und Wildtieren ermöglichen, sich an veränderte Bedingungen anzupassen: So können Feuchtgebiete, Wälder und Grasland als Puffer gegen extreme Wetterereignisse wie Überschwemmungen oder Dürren dienen. Intakte, zusammenhängende natürliche Lebensräume werden auch einigen Arten helfen, ihr Verbreitungsgebiet als Reaktion auf den Klimawandel zu verlagern.

Grundlage und Voraussetzung für erfolgreichen Klimaschutz und Klimaanpassung sind daher intakte Ökosysteme. Die Erhaltung, Wiederherstellung und nachhaltige Nutzung von Ökosystemen leistet einen entscheidenden Beitrag, um den Klimawandel und seinen Folgen für die Menschen und ihre Lebensgrundlage zu bewältigen. Naturschutz ist somit gleichermaßen Klimaschutz und Klimaanpassung.

I-NA-1 Phänologische Veränderungen bei Wildpflanzenarten

→Phänologische Jahreszeiten setzen früher ein,
Vegetationsperiode verlängert sich



Aufgrund des fortschreitenden Klimawandels werden Veränderungen der biologischen Vielfalt in Bayern erwartet. Hiervon können die Verbreitung und die Häufigkeit von Pflanzen und Tieren, die Zusammensetzung von Lebensgemeinschaften sowie Strukturen und Funktionen von Lebensräumen betroffen sein. Bereits heute belegen statistische Auswertungen Zusammenhänge zwischen Klimawandel und Veränderungen der Verteilung von Arten in Raum und Zeit (z. B. Parmesan und Yohe 2003, Menzel et al. 2006).



Die →Phänologie erfasst den jahreszeitlichen Entwicklungsgang von Pflanzen und Tieren. Phänologische Veränderungen im Jahresverlauf sind unmittelbare Anzeichen für Auswirkungen der Klimaveränderungen auf Ökosysteme. In den Frühjahrsphasen, die durch Blattaustrieb und Blüte gekennzeichnet sind, reagieren Pflanzen dabei nicht nur auf die Temperatur unmittelbar bei Eintritt der →phänologischen Phase, sondern ebenso auf die Summe der Temperaturen im Zeitraum vor dem Eintritt (Menzel 2007, LfU 2014). Den Eintritt der Herbstphasen, die über Fruchtreife, Blattverfärbung und Blattfall beschrieben werden, beeinflussen neben der Temperatur auch die Niederschläge.

Der Indikator I-NA-1 Phänologische Veränderungen bei Wildpflanzenarten (siehe Abb. 15) stellt Beginn und Dauer von vier zusammengefassten phänologischen Jahreszeiten dar. Diese sogenannte →phänologische Uhr bildet ab, bei welchen phänologischen Jahreszeiten es zu einer Verfrühung oder Verspätung beziehungsweise zu einer Phasenverlängerung oder -verkürzung kommt. Der Beginn der einzelnen phänologischen Jahreszeiten wird durch den mittleren Eintrittstermin repräsentativer →phänologischer

Leitphasen bestimmt. Die betrachteten Wildpflanzen wurden basierend auf ihrer Sensitivität gegenüber Temperaturveränderungen und der Verlässlichkeit der eingehenden phänologischen Meldungen ausgewählt.

Mittels langfristiger phänologischer Beobachtungen lassen sich Trends für phänologische Veränderungen als Folge des Klimawandels erkennen. Der Vergleich der Zeitspannen 1951 bis 1980 gegenüber 1991 bis 2020 zeigt: In den letzten Jahrzehnten wurde in Bayern ein früherer Beginn des Frühlings (fünf Tage früher) und des Sommers (zwölf Tage früher) sowie ein früher beginnender und deutlich länger andauernder Herbst (13 Tage früher und 16 Tage länger) beobachtet. Die Veränderungen sind dabei am stärksten im Frühling und Herbst ausgeprägt. Diese Phasenverschiebungen führen zu einer Verlängerung der Vegetationszeit.

Eine längere Wachstumsphase könnte bei gewissen Pflanzen zu Ertragssteigerungen führen, z. B. bei Winterraps (Flaig et al. 2014), wenn eine ausreichende Nährstoffversorgung und Wasserverfügbarkeit gegeben ist. Eine zeitiger im Jahr beginnende Vegetationszeit macht Pflanzen jedoch auch anfälliger gegenüber Spätfrost und kann die Synchronisation von Pflanzen und ihren Bestäubern aufbrechen. Diese Entkopplung aufeinander abgestimmter biologischer Interaktionen geschieht derzeit in einer Geschwindigkeit, die einen Anpassungsprozess möglicherweise ausschließt und somit Tier- und Pflanzenarten gefährdet (AK Bioindikation 2020). Für die menschliche Gesundheit haben phänologische Veränderungen zudem Auswirkungen auf das Auftreten von Pflanzenallergenen und die Länge der Pollenflugzeit (siehe I-GE-2, I-GE-3).

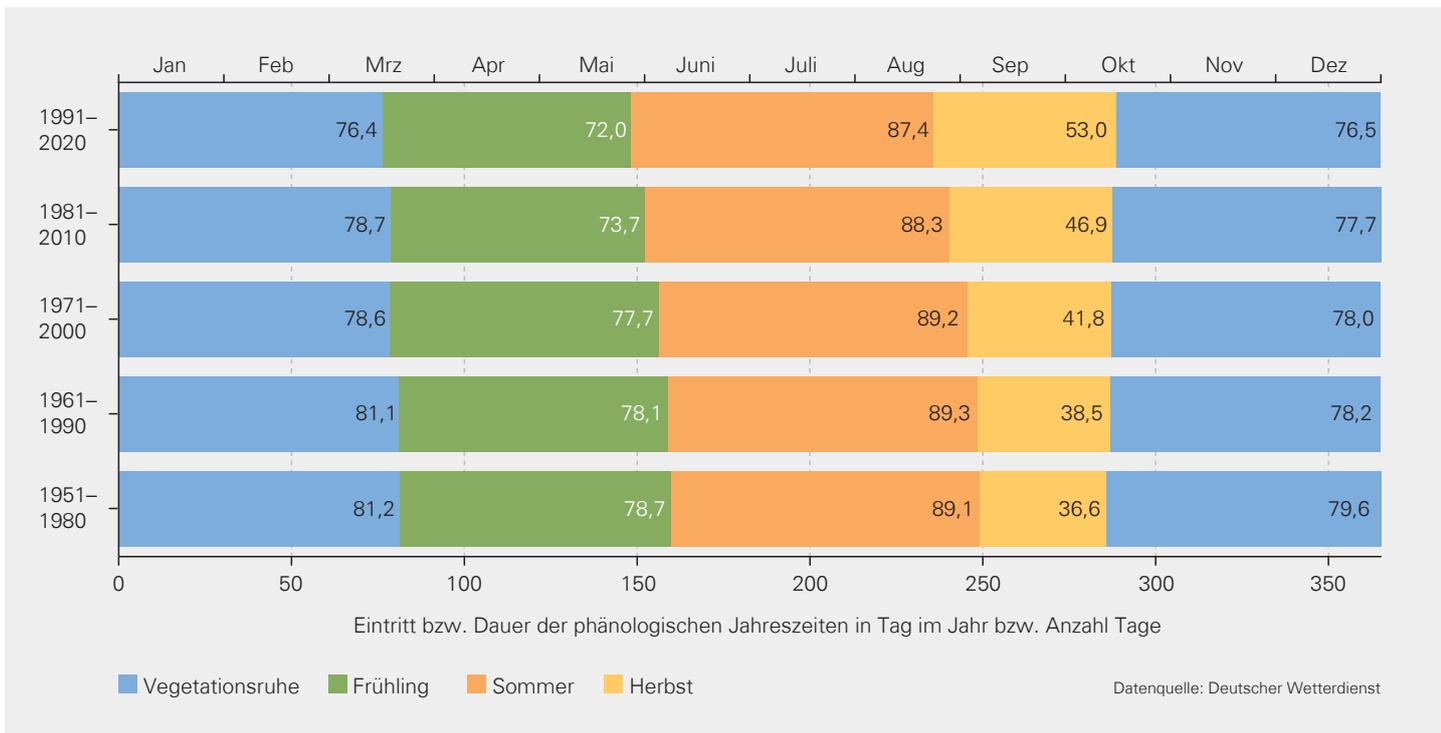


Abb. 15: I-NA-1 Phänologische Veränderungen bei Wildpflanzenarten: Eintritt und Dauer der phänologischen Jahreszeiten

Schnittstellen zu anderen Indikatoren im Bericht:

- I-LW-1 Verschiebung agrarphänologischer Phasen
- I-NA-2 Ausbreitung der Sichelschrecke
- I-GE-2 Allergene Pflanzen
- I-GE-3 Belastung mit Ambrosia

Maßnahmen der BayKLAS:

Verursacht durch den Klimawandel lässt sich bereits heute eine Verlängerung der Vegetationsperiode in Bayern feststellen. Dazu gehören Beobachtungen wie ein frühzeitiger Beginn der Blüte und des Blatt-austriebs von Pflanzen sowie eine später einsetzende Laubfärbung (S. 79).

Die Alpen sind durch eine hohe Vielfalt an endemi-schen Tier- und Pflanzenarten geprägt. Der Tempera-turanstieg begünstigt zum einen die Verschiebung der Lebensräume von anpassungsfähigen Tieren und Pflanzen in höhere Lagen sowie eine längere Vege-tationsperiode und kürzerer Schneebedeckung mit Vorteilen für früh- und spätblühende Arten (S. 182).

I-NA-2 Ausbreitung der Sichelschrecke

Ausbreitung der wärmeliebenden Sichelschrecke in höhere Lagen



Der Klimawandel gefährdet Arten, deren Verbreitungsgebiete schrumpfen oder die potenzielle neue Lebensräume nicht besiedeln können. Die Lebensräume wärmeliebender Arten weiten sich aus, die kältetoleranter Arten gehen zurück. Damit profitieren wärmeliebende Arten vom Klimawandel, während kältetolerante Arten unter Druck geraten.

Als Indikatoren für klimabedingte Veränderungen sind grundsätzlich Insektenarten geeignet, die einerseits von bestimmten Temperaturverhältnissen in ihren Lebensräumen abhängig sind, andererseits aber hinsichtlich ihrer Habitatansprüche möglichst wenig spezialisiert sind. Ihre Unabhängigkeit von spezifischen Lebensraumbedingungen ermöglicht es ihnen, sich mit steigenden Temperaturen weiträumig auszubreiten. Die Gemeine Sichelschrecke (Phaneroptera

falcata) ist eine solche Art und wurde zudem aufgrund der Verfügbarkeit ihrer Verbreitungsdaten als Indikator ausgewählt.

Die Gemeine Sichelschrecke lebt in Mittel- und Südeuropa. Sie bevorzugt wärmere Regionen und war ursprünglich vor allem aus Gegenden wie dem Rheintal, der Bodenseeregion und dem Thüringer Becken bekannt. Auch im Nordwesten Bayerns war die Gemeine Sichelschrecke ursprünglich heimisch. In den 1980er-Jahren war die Gemeine Sichelschrecke vom Süden kommend bis Köln und Mittelhessen verbreitet. Mitte der 1990er-Jahre gab es bereits Funde in Nordhessen. Inzwischen wurde die Gemeine Sichelschrecke sogar in Niedersachsen und Schleswig-Holstein nachgewiesen (Wimmer 2010, NABU 2012).

Der Indikator I-NA-2 Ausbreitung der Sichelschrecke zeigt die Anzahl der Fundorte in Bayern (siehe Abb. 16) sowie eine Karte der Fundorte im Zeitverlauf (siehe Abb. 17). Einhergehend mit der Erwärmung breitet sich die Sichelschrecke in Bayern nach Süden und Osten und damit in höhere Lagen aus. Im ursprünglich zu kühlen Alpenvorland beispielsweise, in dem sie in den 1990er-Jahren noch nicht heimisch war, wurden in den vergangenen Jahren zunehmend Exemplare gefunden. Indikator I (siehe Abb. 16) zeigt die Anzahl der Funde oberhalb von 500 m ü. NN. In diesem montanen und hochmontanen Bereich lebte die Sichelschrecke bis in die 2010er-Jahre nur vereinzelt. Der überwiegende Teil der Fundorte in Bayern liegt noch immer zwischen 200 und 500 m. ü. NN.

Die Karte der Fundorte (siehe Abb. 17) zeigt, dass sich der Lebensraum der Sichelschrecke seit der Jahrtausendwende stark ausge-

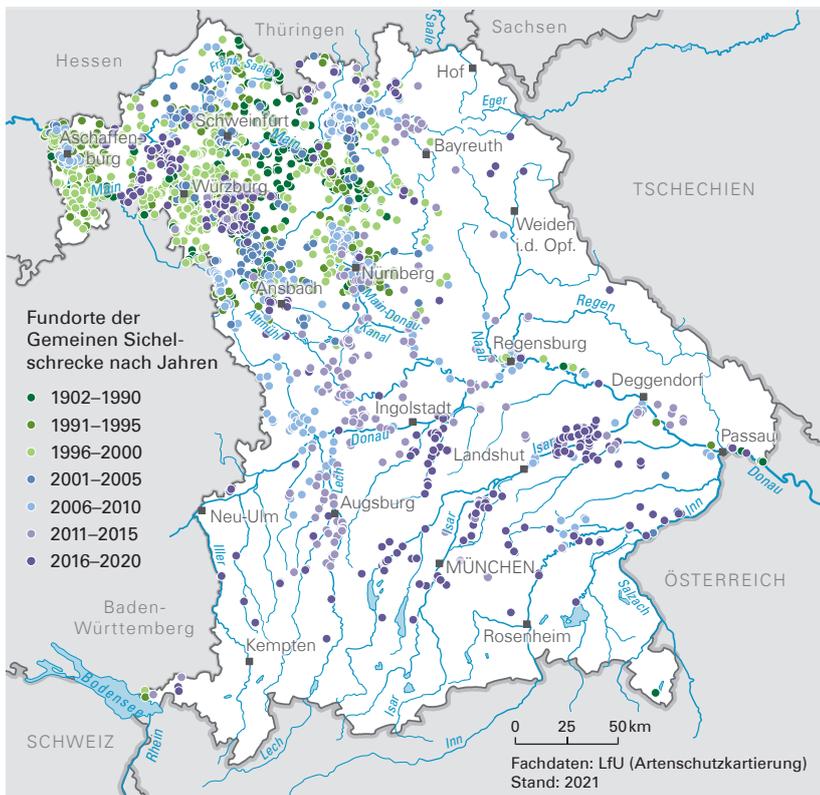


Abb. 17: I-NA-2 Ausbreitung der Sichelschrecke, Indikator II: Karte der Fundorte der Gemeinen Sichelschrecke (*Phaneroptera falcata*)

dehnt hat. Zu sehen ist aber auch, dass es schon vorher aufgrund von Wärmeperioden (z. B. 1940er-Jahre) einzelne Funde im Süden und Osten Bayerns gab.

Dem Datensatz liegt kein systematisches, langfristiges Monitoring zugrunde. Die Anzahl der Funde hängt somit unter anderem von Projekten und dem Engagement

ehrenamtlicher Kartierern und Kartierer ab. So kann es vorkommen, dass Fundorte nicht registriert oder einzelne Arten im Zuge eines Projekts vorübergehend sehr gründlich erhoben werden und die Anzahl der Meldungen nach Abschluss des Projektes einbricht. Die erhobenen Daten zeigen jedoch deutlich die Ausbreitung der Sichelschrecke in den Süden und Osten Bayerns.

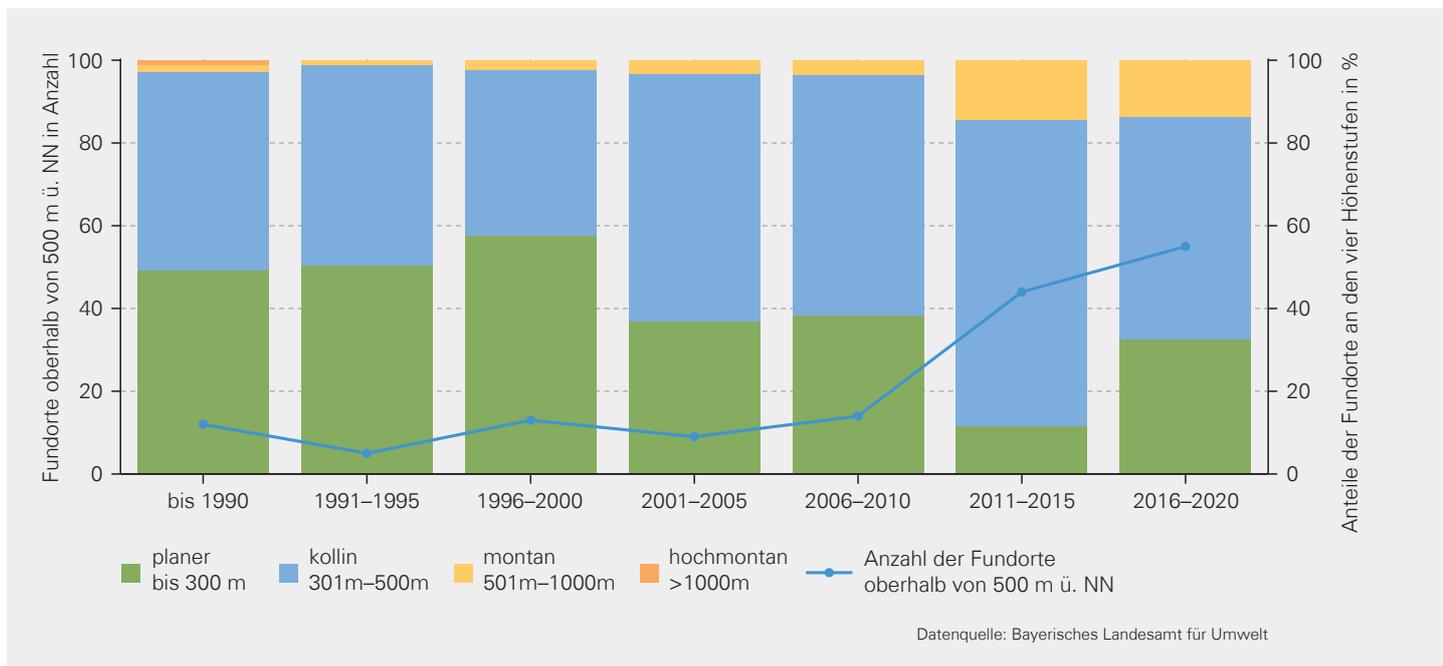


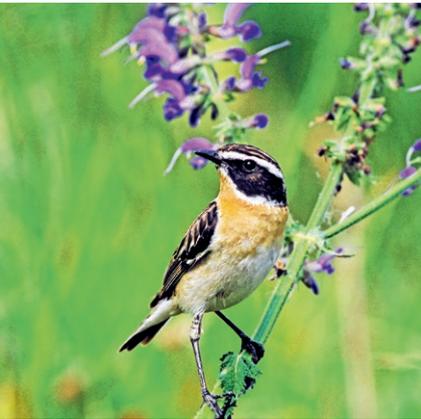
Abb. 16: I-NA-2 Ausbreitung der Sichelschrecke, Indikator I: Anzahl der Fundorte der Gemeinen Sichelschrecke (*Phaneroptera falcata*) oberhalb von 500 m ü. NN sowie prozentualer Anteil der Fundorte der Gemeinen Sichelschrecke differenziert nach vier Höhenstufen (planar, kollin, montan, hochmontan)

Schnittstellen zu anderen Indikatoren im Bericht:

I-NA-1 Phänologische Veränderungen bei Wildpflanzenarten

R-NA-1 Flächen für Naturschutzziele

Ausweisung von Flächen für Naturschutzziele stagniert



Für die Bewältigung des Klimawandels spielen für die Ziele des Naturschutzes ausgewiesene Flächen eine entscheidende Rolle. Sie tragen zum Erhalt der biologischen Vielfalt, zur Entwicklung seltener und gefährdeter Arten und Biotope sowie zum Fortbestand von Tier- und Pflanzenpopulationen bei.

Zu den im Indikator R-NA-1 dargestellten →gesetzlich geschützten Flächen gehören: →Natura 2000-Gebiete, Naturschutzgebiete, Nationalparks, Flächen nach Paragraph 30 des Bundesnaturschutzgesetzes, Naturwaldreservate, flächige Naturdenkmäler sowie geschützte Landschaftsbestandteile. In Naturschutzgebieten und Nationalparks gelten strenge Schutzregelungen, um die Erhaltung und Entwicklung seltener und gefährdeter Arten und Biotope sicherzustellen. Bei Nationalparks spielt zudem die Großräumigkeit eine besondere Rolle: Im überwiegenden Teil des Gebietes von Nationalparks soll ein möglichst ungestörter Ablauf der Naturvorgänge gewährleistet sein.

Nicht nur die Gesamtgröße der geschützten Flächen, sondern auch deren Qualität und Verbindung untereinander sind wichtige Voraussetzungen für erfolgreichen Artenschutz. Deshalb kommt dem europäischen Netz von Schutzgebieten Natura 2000 und dem →BayernNetz Natur (abgebildet über FFH-Gebiete, geschützte Biotope, →Vertragsnaturschutzprogramm (VNP) oder ähnliche) eine herausragende Bedeutung zu. Der Anteil der Natura 2000-Gebiete an der Landesfläche Bayerns betrug im Juli 2020 11,4 Prozent. BayernNetz Natur zählt aktuell über 400 Projekte. Sie fördern Anliegen des Naturschutzes, die für die jeweilige Region von Bedeutung sind, wie z. B. Wiesentäler im Hochspessart oder Magerrasen im bayerischen Oberland.

Neben gesetzlich geschützten Flächen spielt auch der Erwerb ökologisch bedeutsamer Flächen durch andere Akteure, allen voran

Kommunen und Naturschutzverbände, eine Rolle. Diese →eigentumsgleich gesicherten Flächen werden oft mit Unterstützung des Bayerischen Naturschutzfonds oder mit EU-Fördermitteln im Rahmen spezieller Naturschutzprojekte angekauft. Ein weiterer wichtiger Baustein sind →vertraglich gesicherte Flächen, die vor allem über das staatlich geförderte Vertragsnaturschutzprogramm nach den Vorgaben des Naturschutzes bewirtschaftet werden. So wird etwa durch Verzicht auf Düngemittel oder durch eine spätere Mahd erreicht, dass auf diesen Flächen gefährdete Arten und Lebensgemeinschaften überleben können (LfU 2019).

Der Indikator R-NA-1 Flächen für Naturschutzziele bildet die für die Ziele des Naturschutzes ausgewiesenen Flächen in Bayern ab (siehe Abb. 18). Der Indikatorwert hat sich seit einigen Jahren auf einem gleichbleibenden Niveau eingependelt. Es wird nicht mit einem deutlichen Anstieg gerechnet, da derzeit keine Neuausweisungen von Schutzgebieten in einer Größenordnung angedacht sind, die einen signifikanten Einfluss auf die Referenzfläche hätten. Basierend auf den Zielstellungen des Volksbegehrens „Artenvielfalt und Naturschönheit in Bayern – Rettet die Bienen“ wird sich insbesondere der Anteil der vertraglich gesicherten Fläche (entspricht VNP) vergrößern. Womöglich führt dies jedoch nur zu Verschiebungen innerhalb des Indikators und nicht zu einem Anwachsen des Absolutwertes, da ein Hauptziel von VNP die Umsetzung der Managementpläne in den NATURA 2000-Gebieten ist. Allerdings würde eine größere Schnittmenge mehrerer Kategorien des Indikators (also z. B. VNP auf NATURA 2000 oder in geschützten Biotopen) auf einen Qualitätsanstieg dieser Indikatorflächen hindeuten. Derzeit erlaubt der Indikator noch keine umfassende Aussage über die Qualität aller streng geschützten Gebiete und deren Beitrag zum Erhalt der biologischen Vielfalt.

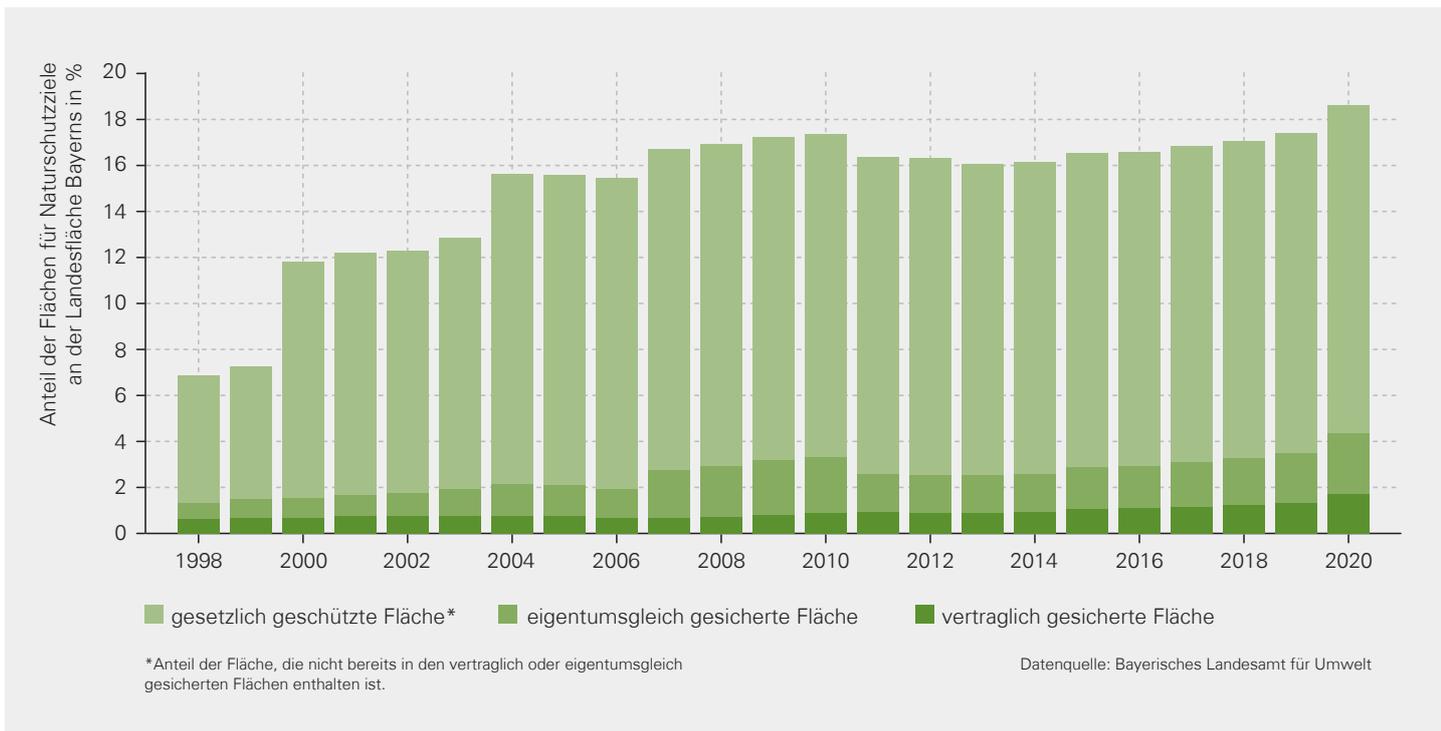


Abb. 18: R-NA-1 Flächen für Naturschutzziele: Anteil der für Naturschutzziele ausgewiesenen Flächen an der Landesfläche Bayerns im Zeitraum 1998 bis 2020 in Prozent

Gesetzliche Zielstellung:

Bayerisches Naturschutzgesetz 2021: Bayern schafft ein Netz räumlich oder funktional verbundener Biotope (Biotopverbund), das bis zum Jahr 2023 mindestens 10 Prozent →**Offenland** bis zum Jahr 2027 13 Prozent Offenland und bis zum Jahr 2030 15 Prozent Offenland der Landesfläche umfasst.

Schnittstellen zu anderen Indikatoren im Bericht:

R-RO-1 Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für die Wasserversorgung

Maßnahmen der BayKLAS:

Verbesserung und Sicherung des Erhaltungszustands der →**Verantwortungsarten** und europaweit geschützten Arten in Bayern durch Umsetzung gezielter Maßnahmen wie z. B. Artenhilfsprogramm inkl. Berücksichtigung der Lebensraumansprüche bei der Pflege, Bestandserfassung und Entwicklung von Schutzgebieten (AS_05)

Qualitativer (z. B. Management, Gebietsbetreuer) sowie am Bedarf orientierter quantitativer Ausbau des bayerischen Netzes an Schutzgebieten (VL_08)

Nutzung und Anpassung bestehender Steuerungs- und Anreizinstrumente für die Vermeidung negativer Auswirkungen auf besonders empfindliche Biotope und Kerngebiete des Naturschutzes beim Anbau von Energiepflanzen z. B. Landschaftsplanung, Schutzgebietsverordnungen, Agrarumweltförderung (VL_20)

Sicherung und Entwicklung landesweit bedeutsamer Flächen als Kernflächen, Verbundachsen und Trittsteinbiotope, insbesondere Naturschutzgebiete, geschützte Landschaftsbestandteile usw. (B_02)



4.5 | Bodenschutz und Georisiken

Der Boden ist ein wichtiger und oft vernachlässigter Bestandteil des Klimasystems. Er ist nach den Ozeanen die zweitgrößte Kohlenstoffsенке (IPCC 2021). Änderungen in Landnutzung und Landbedeckung können den Klimawandel verlangsamen oder beschleunigen. Gleichzeitig hat der Klimawandel einen großen Einfluss auf die Böden. Je nach Region kann die globale Erwärmung dazu führen, dass durch Vegetationswachstum mehr Kohlenstoff in Pflanzen und Böden gespeichert wird, oder dass aufgrund schnellerer Zersetzung und abnehmender Bodenfeuchte mehr Kohlenstoff in die Atmosphäre abgegeben wird.

Steigende Lufttemperaturen führen dazu, dass auch die Bodentemperatur zunimmt. Dies wiederum beschleunigt die chemischen und biologischen Prozesse im Boden und beeinflusst so das Vegetationswachstum, den →Humusgehalt sowie den Abbau organischer Stoffe. Längere Trockenperioden im Sommer lassen Böden verstärkt austrocknen und erhöhen den landwirtschaftlichen Bewässerungsbedarf. In Städten nimmt die Kühlfunktion von Vegetation ab, wenn Pflanzen aufgrund mangelhafter Wasserversorgung der Böden ihre volle Verdunstungsleistung nicht erbringen können. In feuchteren Perioden kann es dagegen zu einer Vernässung der Böden kommen, die auf unbedecktem Boden die Stabilität des Bodengefüges bedroht. Im Zuge des Klimawandels muss zukünftig mit einer Zunahme von Georisiken gerechnet werden. Veränderte Niederschlagsmuster können Bodenerosion durch Wind und Wasser verstärken. Im Hochgebirge der Alpen kann das Auftauen von Permafrost die Hangstabilität reduzieren und die Bildung von Hangbewegungen, Rutschungen und Felsstürzen begünstigen.

Um die Böden mit all Ihren Funktionen wie Nahrungsmittelproduktion, Standort für natürliche Vegetation und Bodenorganismen, Filter- und Pufferfunktion, →Grundwasserneubildungsfunktion oder Klimaschutzfunktion zu erhalten, ist ein nachhaltiger Umgang mit ihnen essenziell. Insbesondere auf eine gesunde Bodenstruktur und ein stabiles Humusgefüge sollte abzielt werden. Eine ökologische Landwirtschaft kann hierzu beitragen.

Den rechtlichen Rahmen für die Umsetzung eines flächendeckenden Bodenschutzes bildet das Bundes-Bodenschutzgesetz (BBod-SchG33). Mit dem Bayerischen Bodenschutzgesetz (BayBodSchG35) macht Bayern von dem Spielraum des Bundesgesetzes zum Erlass landesrechtlicher Vorschriften umfassend Gebrauch. Auf europäischer Ebene fördert die neue Gemeinsame Agrarpolitik langfristige Bodengesundheit, beispielsweise durch Fruchtwechsel und Diversifizierung sowie die Ausweisung einer Mindestfläche für nicht-produktive Zwecke (Europäische Kommission 2021a). Darüber hinaus plant die Europäische Kommission eine Gesetzgebungsinitiative zu Bodengesundheit: die EU-Bodenstrategie für 2030 sieht darin Maßnahmen für Schutz, Wiederherstellung und nachhaltige Nutzung von Böden vor (Europäische Kommission 2021b).

Gesetzliche Grundlagen für die Behandlung von Geogefahren liegen vorwiegend im Baurecht und im Sicherheitsrecht. Die Alpenkonvention schaffte zudem eine völkerrechtliche Grundlage für den Alpenraum. Die auf dieser Basis erstellten Gefahrenhinweiskarten des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (LfU) sowie die digitalen Standortauskünfte liefern grundlegende Informationen zu Geogefahren in Bayern⁸.

⁸ Gefahrenhinweiskarten für Bayern: www.lfu.bayern.de/geologie/massenbewegungen_karten_daten/gefahrenhinweiskarten/index.htm

I-BO-1 Schwinden von Permafrost

Ende des ewigen Eises an der Zugspitze absehbar



Im Zuge des Klimawandels muss in Zukunft mit einer Zunahme von Georisiken gerechnet werden, denn steigende Temperaturen und häufige Frost-/Tauwechsel beschleunigen die Verwitterung von Gesteinen und führen zur Frostsprengung in Gesteinen. Dies vermindert die Gesteinsstabilität. Im Hochgebirge spielt neben dem Schmelzen der Gletscher vor allem das Auftauen von Permafrost im Inneren der Berge eine Rolle. Denn hier wirkt das Eis wie Mörtel und hält teilweise große Felspartien zusammen. Schmilzt dieses Eis, kann der Fels seinen Halt verlieren und Regen- oder Schmelzwasser kann in die eisfreien Klüfte fließen. Dadurch kann sich ein hoher Druck aufbauen, der im schlimmsten Fall ganze Wände abzusprengen vermag.

Eines der wenigen aktuellen Permafrostvorkommen in Deutschland findet man an der Zugspitze. Da die Zugspitze intensiv bebaut und zudem der Talgrund im Norden vergleichsweise dicht besiedelt ist, besteht hier im Fall von Massenbewegungen ein Risiko für Personen und Infrastruktur. Vor diesem Hintergrund ist es erforderlich, die Entwicklung des Permafrosts genauer zu untersuchen. Das LfU beauftragte im Jahr 2007 zwei Bohrungen für Permafrostuntersuchungen quer durch den Gipfelkamm. Eine davon hat den Rücken auf 43 Meter Länge vollständig

durchbohrt. Die Bohrungen wurden mit Messsonden bestückt und liefern seit Mitte des Jahres 2010 konsistente Temperaturdaten aus dem Permafrostbereich.

Der Indikator I-BO-1 Schwinden von Permafrost zeigt das Jahres-Maximum der Tagesmitteltemperaturen im Permafrostbereich in 23,65 Meter Distanz von der Südwand des Zugspitzgipfels (siehe Abb. 19). Hier liegt etwa die Mitte der Bohrung – fast gleich weit von der Süd- und Nordwand entfernt. Die jahreszeitlichen Schwankungen sind hier relativ gering (etwa 0,3 °C pro Jahr) und gleichzeitig liegt der Messpunkt schon relativ nahe an den kältesten Bereichen der Bohrung. Wenn in dieser Tiefe die Temperatur über 0 °C angestiegen ist, wird der Permafrost im Zugspitzgipfel weitgehend verschwunden sein.

In den Jahren 2011 bis 2020 stieg die Temperatur weitgehend linear von –1,14 °C auf –0,73 °C, also um etwa 0,4 °C an. Dies stimmt gut mit dem gemessenen Trend der Jahrestemperaturverläufe der Umgebungstemperatur an der Station Zugspitze des Deutschen Wetterdienstes überein. Bei einer gleichbleibenden Fortsetzung dieses Trends würde die 0 °C-Grenze und damit das Ende des Permafrosts in diesem Bereich bereits um das Jahr 2040 eintreten.



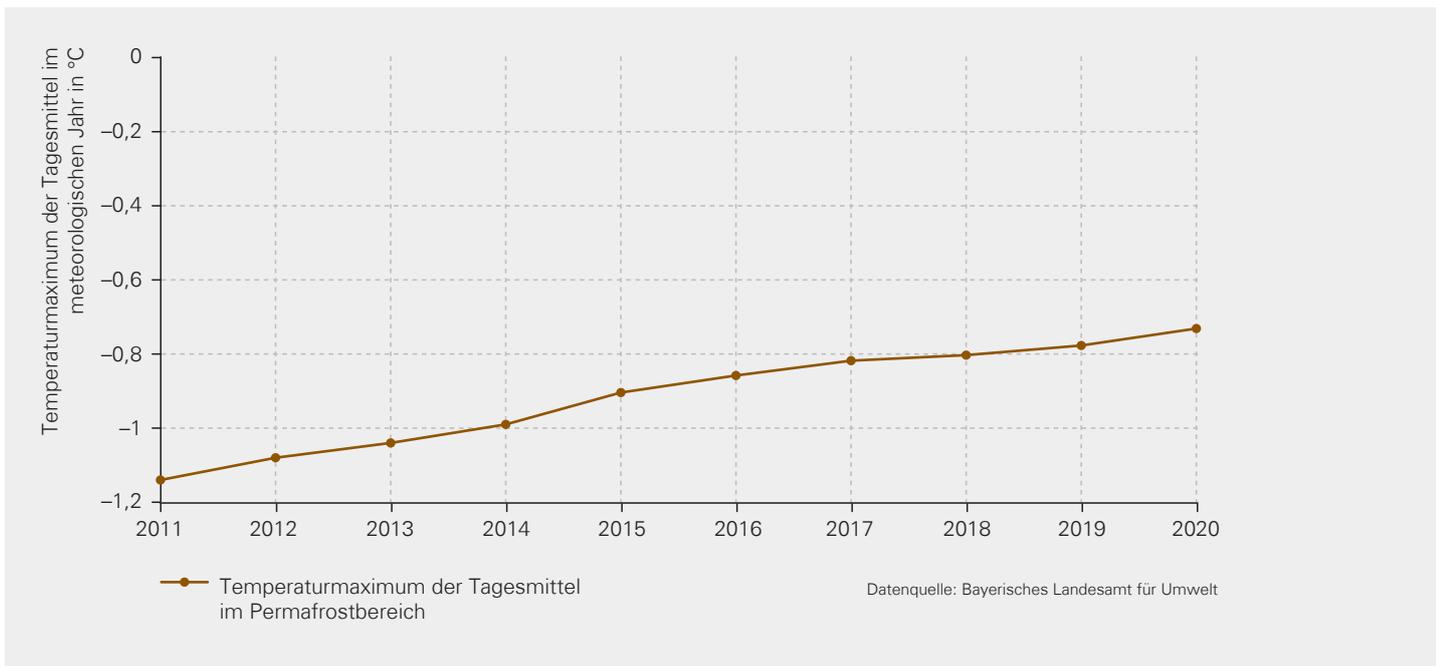


Abb. 19: I-BO-1 Schwinden von Permafrost: Jahres-Maximum der Tagesmitteltemperaturen im Permafrostbereich in 23,65 Meter Distanz von der Südwand des Zugspitzgipfels im Zeitraum 2011 bis 2020

Maßnahmen der BayKLAS:

Dauerhafte Untersuchung der Permafrostentwicklung in den bayerischen Alpen zur Verminderung der lokalen Felssturzgefahr (G_04)

Erarbeitung von Hinweiskarten zu geologischen Gefahren für den gesamten bayerischen Alpenraum zur Identifikation und Beurteilung gefährdeter Gebiete (G_01)

Maßnahmen des Klimaschutzprogramms:

5.32 AlpSenseRely



R-BO-1 Ökologische Landwirtschaft

Ökologisch bewirtschaftete Fläche nimmt zu



Im Pflanzenbau stellt die →**ökologische Landwirtschaft** eine zentrale Anpassungsmaßnahme an den Klimawandel dar. Ziel des Ökolandbaus ist es, im Einklang mit der Natur zu wirtschaften und natürliche Ressourcen zu schonen. Besonders wichtig ist dabei der Schutz des Bodens. Der ökologische Landbau fördert gezielt die →**Humusbildung** und das Bodenleben, um die natürliche Bodenfruchtbarkeit zu erhalten und zu erhöhen. Diese nachhaltige Wirtschaftsweise kann die Ertragsfähigkeit eines Bodens dauerhaft bewahren und trägt wesentlich zur Sicherung der Bodenfunktionen, zur Erhaltung der Biodiversität des Bodens und zur Ertragsstabilität im Klimawandel bei. Bedeutsam ist die humusfördernde Bewirtschaftung auch im Rahmen des Klimaschutzes, da beim Humusaufbau Kohlendioxid gebunden wird, während der Abbau zur Freisetzung von CO₂ führt. Die ökologische Wirtschaftsweise und die damit verbundene höhere Bodenbedeckung und Aggregatstabilität fördert außerdem den Erosionsschutz und die Wasserinfiltration, wodurch der stark steigenden Erosion durch Regen in Bayern entgegengewirkt werden kann.

Der Indikator R-BO-1 Ökologische Landwirtschaft stellt den jährlichen Flächenanteil an der landwirtschaftlichen Fläche in Bayern dar, der unter Richtlinien des ökologischen Landbaus bewirtschaftet wird (siehe Abb. 20).

In Bayern nimmt die Fläche, die nach den Vorgaben des ökologischen Landbaus bewirtschaftet wird, kontinuierlich zu. 2020 lag ihr Anteil bei 12,4 Prozent, zehn Jahre zuvor war sie mit 6,3 Prozent nur etwa halb so hoch. Zugleich liegen die Werte Bayerns seit dem Jahr 2009 durchgehend über dem bundesdeutschen Wert, der im Jahr 2020 bei 10,3 Prozent lag. Im Jahr 2020 stellte Bayern zudem mit insgesamt 386.496 Hektar etwa 23 Prozent der deutschen ökologisch bewirtschafteten Fläche (BLE 2021). Parallel dazu ist die Nachfrage nach Produkten aus der ökologischen Landwirtschaft in den vergangenen Jahren weiterhin stark gewachsen (BÖLW 2021).



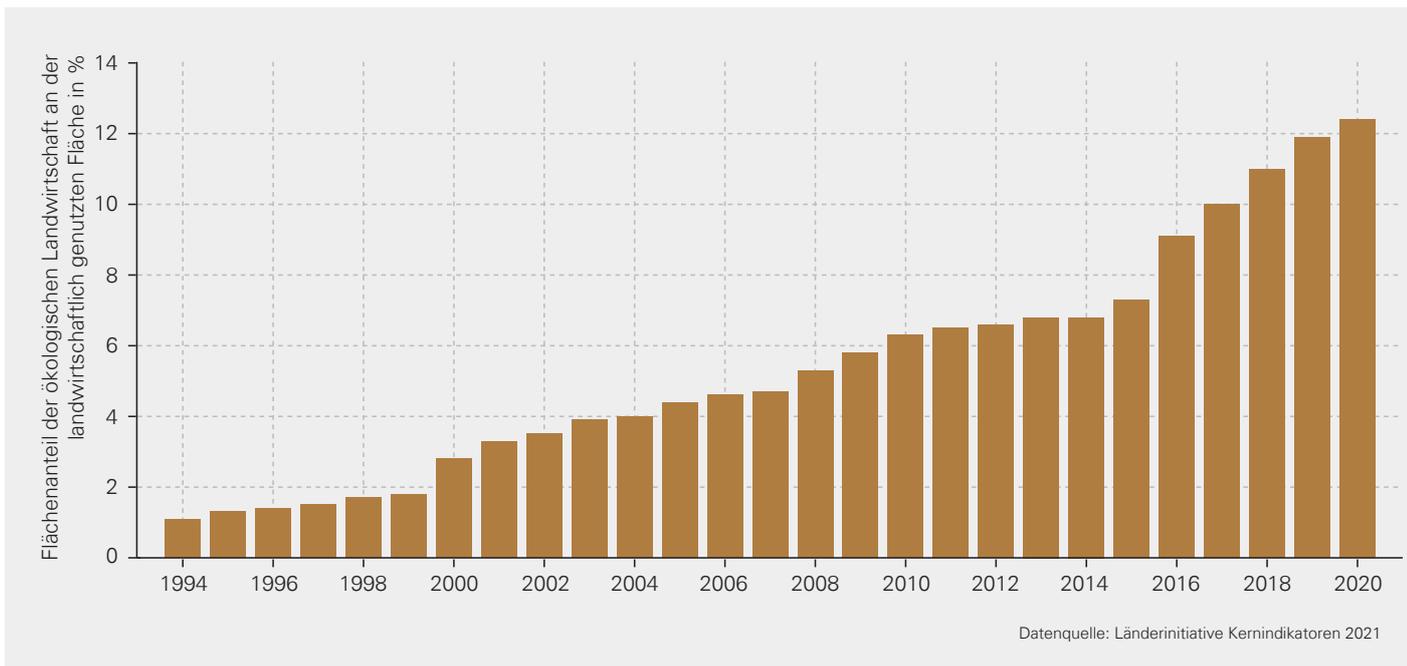


Abb. 20: R-BO-1 Ökologische Landwirtschaft: Entwicklung des Anteils der ökologisch bewirtschafteten Flächen an der landwirtschaftlich genutzten Fläche Bayerns im Zeitraum 1994 bis 2020

Gesetzliche Zielstellung:

Bayerisches Naturschutzgesetz (2021): Ausweitung des ökologischen Landbaus bis 2025 auf mindestens 20 Prozent, bis 2030 auf mindestens 30 Prozent der landwirtschaftlich genutzten Fläche. Staatliche Flächen sind seit dem Jahr 2020 mit einem Anteil von mindestens 30 Prozent nach den Vorgaben des ökologischen Landbaus zu bewirtschaften.

Schnittstellen zu anderen Indikatoren im Bericht:

R-BO-2 Humusentwicklung

Maßnahmen der BayKLAS:

Entwicklung neuer umweltverträglicher Behandlungsstrategien im Pflanzenschutz als Reaktion auf verän-

deres Schaderregeraufkommen infolge des Klimawandels und unter Berücksichtigung des integrierten Pflanzenschutzes sowie des Pflanzenschutzes im ökologischen Landbau (PW_02)

Weiterentwicklung des ökologischen Landbaus im Hinblick auf den Klimawandel, um Effizienz, Wirtschaftlichkeit und Umweltleistungen zu steigern (PW_05)

Maßnahmen des Klimaschutzprogramms:

2.21 Landesprogramm „BioRegio 2030“

2.22 Humuserhalt und -aufbau im Ackerland

2.24 Bayerische Landschaften im Klimawandel

5.39 Forschung zur klimaangepassten und klimaschonenden Landwirtschaft

R-BO-2 Humusentwicklung

Stabilisierung der Böden durch standorttypische Humusgehalte in Acker- und Grünlandböden



→ **Humus** beziehungsweise deren wichtigster Bestandteil, der Gehalt an organischem Bodenkohlenstoff (C_{org}), steht in vielfältiger Wechselwirkung zu Klimaveränderungen: Klima und Witterung haben einen Einfluss auf Humusbildung und -abbau. Gleichzeitig beeinflussen Bewirtschaftung und ihre Veränderung die Entwicklung des Humusgehaltes im Boden. Der organische Kohlenstoff im Boden ist ein wichtiger Bestandteil des globalen Kohlenstoffkreislaufs. Auf- und Abbauprozesse von organischem Bodenkohlenstoff entscheiden somit darüber, ob Böden Senken oder Quellen von CO_2 sind. Darüber hinaus spielt Humus eine herausragende Rolle für die Bodenqualität und -funktionalität (Wiesmeier et al. 2019). Humusreiche Böden sind in der Regel fruchtbarer und können mehr Wasser aufnehmen und halten. Die Sicherung standorttypischer Humusgehalte ist deshalb ein wesentlicher Baustein zur Anpassung der Böden an die Folgen des Klimawandels. Humus beeinflusst die physikalischen, chemischen und biologischen Bodenfunktionen. Hierzu zählen die Speicherung von Nährstoffen und Wasser, das Filter- und Puffervermögen, die biologische Aktivität sowie das Bodengefüge. Landwirtschaftlich genutzte Böden mit standorttypischen Humusgehalten sind daher aus derzeitiger Sicht besser auf die steigenden Klimarisiken wie Starkregen und Austrocknung vorbereitet als solche mit standortgemäß zu niedrigen Humusgehalten (LfL 2010). Vor allem auf Sandböden sind die gefügestabilisierenden Funktionen des Humus von großer Bedeutung für die Fruchtbarkeit. Auf sandigen Standorten trägt der Humus ganz wesentlich zum Nähr- und Schadstoffbindungsvermögen der Böden bei und verbessert deren Wasserspeicherkapazi-

tät. Eine standorttypische Humusversorgung kann erheblich dazu beitragen, die Böden auf die zu erwartenden Klimaveränderungen und deren Folgen wie vermehrte sommerliche Austrocknung oder auch erhöhtes Erosionsrisiko vorzubereiten.

Der Indikator R-BO-2 Humusentwicklung bildet die Entwicklung des Humushaushalts unter Acker- (Indikator I, siehe Abb. 21) sowie unter Grünlandnutzung (Indikator II, siehe Abb. 22) ab. Datengrundlage ist das Bodendauerbeobachtungsprogramm. Die Probenahmen und Bodenanalysen werden im Abstand von fünf Jahren vorgenommen.

Analysen des organischen Bodenkohlenstoffs in Dauerbeobachtungsflächen unter Ackernutzung in Bayern zeigen im Mittel im Zeitraum von 1986 bis 2016 einen minimalen Rückgang der C_{org} -Gehalte (siehe Abb. 21). Unter Grünlandnutzung ist kein Trend erkennbar (siehe Abb. 22). Es bestehen jedoch große Unterschiede zwischen den einzelnen Bodendauerbeobachtungsflächen: neben Standorten mit einem signifikanten Rückgang der organischen Kohlenstoffgehalte im Beobachtungszeitraum zeigt ein Teil der Standorte auch einen signifikanten Anstieg der C_{org} -Gehalte. Für den Großteil der Bodendauerbeobachtungsflächen konnten bislang keine signifikanten Veränderungen des organischen Bodenkohlenstoffs festgestellt werden.

Die beobachteten Veränderungen der organischen Kohlenstoffgehalte in Acker- und Grünlandböden sind vorwiegend durch Veränderungen in der Bewirtschaftung wie Fruchtfolge, Bodenbearbeitung und Düngung zu erklären. Für Grünlandböden spielen jedoch

auch saisonale Klimaveränderungen in Temperatur und Niederschlag, insbesondere eine Erhöhung der Durchschnittstemperatur im Winterhalbjahr, eine wichtige Rolle hinsichtlich beobachteter C_{org} -Verluste (Kühnel et al. 2019, LfU 2020). Klimawandelbedingt könnte es daher in Zukunft zu einem (weiteren) Rückgang der organischen Kohlenstoffgehalte in landwirtschaftlich genutzten Böden kommen, wodurch sich die Anpassungsfähigkeit der Böden gegenüber den Folgen des Klimawandels weiter verschlechtert.

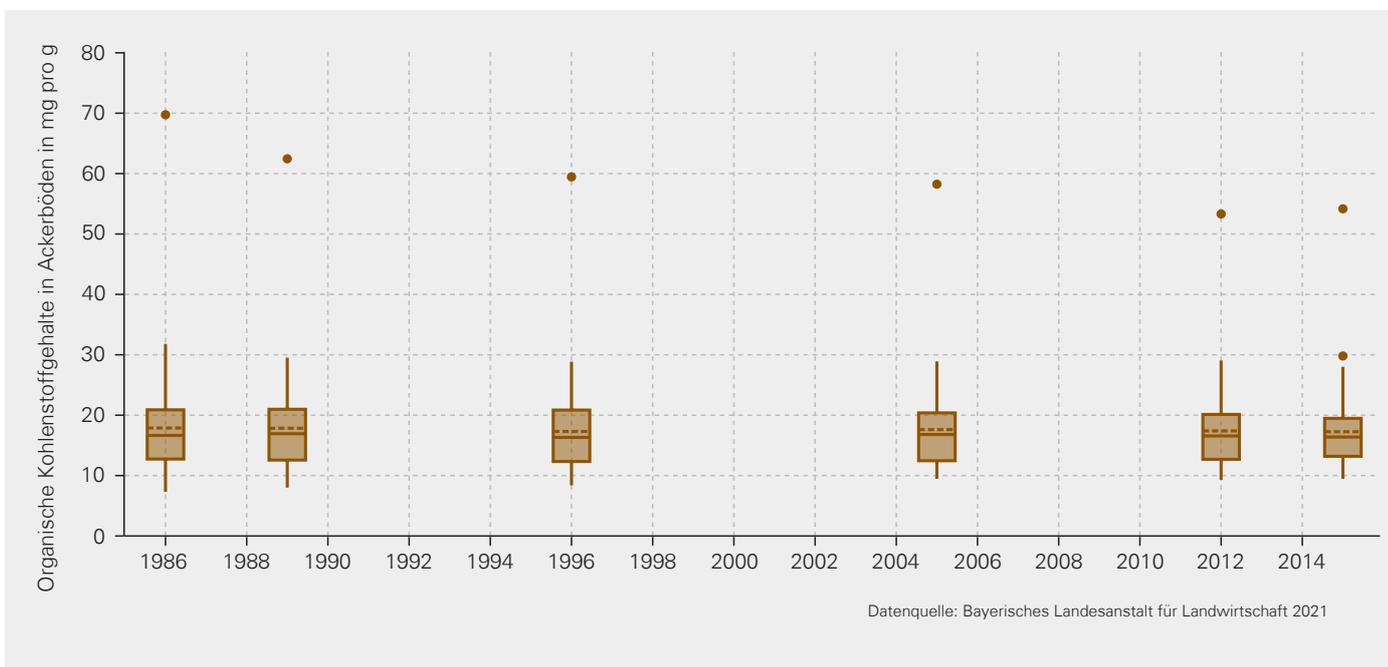


Abb. 21: R-BO-2 Humusentwicklung, Indikator I: Entwicklung der C_{org} -Gehalte in Oberböden (0–15 cm) unter Ackernutzung im Zeitraum 1986–2016 (Der Boxplot repräsentiert die mittleren 50 Prozent der Werte – den sogenannten Interquartilsabstand, die gestrichelte Linie markiert den Mittelwert, die Linie im Boxplot den Median. Die Spannweite zwischen dem größten und kleinsten Beobachtungswert wird durch die Boxantennen gekennzeichnet. Ausreißer werden durch Punkte dargestellt.)

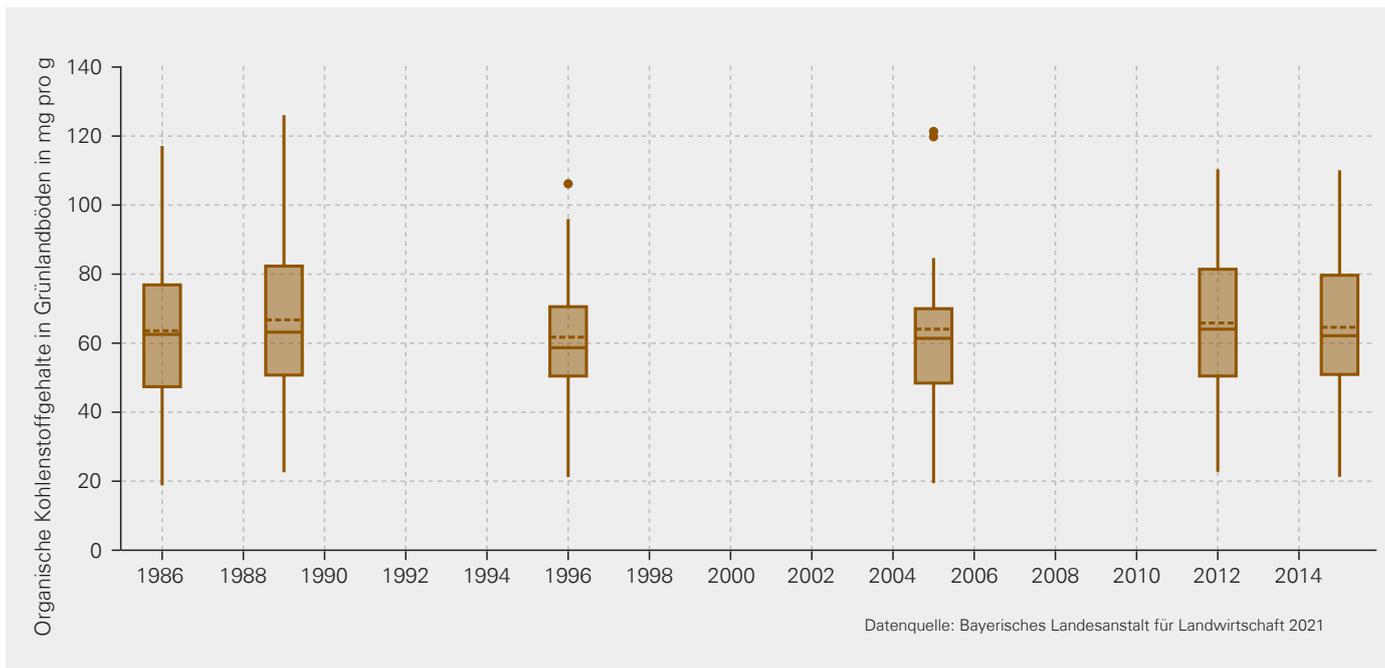


Abb. 22: R-BO-2 Humusentwicklung, Indikator II: Entwicklung der C_{org} -Gehalte in Oberböden (0–10 cm) unter Grünlandnutzung im Zeitraum 1986–2016 (Der Boxplot repräsentiert die mittleren 50 Prozent der Werte – den sogenannten Interquartilsabstand, die gestrichelte Linie markiert den Mittelwert, die Linie im Boxplot den Median. Die Spannweite zwischen dem größten und kleinsten Beobachtungswert wird durch die Boxantennen gekennzeichnet. Ausreißer werden durch Punkte dargestellt.)



Gesetzliche Zielstellung:

Bundesbodenschutzgesetz: Stabilisierung der Böden durch Erhaltung standorttypischer Humusgehalte (BBodSchG § 17)

Schnittstellen zu anderen Indikatoren im Bericht:

R-BO-1 Ökologische Landwirtschaft

Maßnahmen der BayKLAS:

Entwicklung von Kriterien für die Anpassung der Landnutzung zum Schutz vor klimabedingt möglicherweise zunehmender Bodenerosion, Humusabbau und Strukturveränderungen (PW_08)

Gewährleistung der Humusreproduktion durch Belassen von Ernteresten auf dem Feld, Zufuhr organischer Substanz über Düngung, Zwischenfrüchte und angepasste Fruchtfolge (PW_25)

Bindung von Kohlenstoff und Stickstoff in Böden durch angepasste Landnutzungstechniken, Förderung der Moornaturierung und gezielte Humuswirtschaft (BS_08)

Flächendeckende Bestimmung der Eigenschaften von Böden klimatischer Risikogebiete z. B. potenziell pflanzenverfügbares Wasser (nFK), Erosionsgefährdung, Humusgehalte (BS_10)

Maßnahmen des Klimaschutzprogramms:

2.22 Humuserhalt und -aufbau im Ackerland

2.24 Bayerische Landschaften im Klimawandel

5.39 Forschung zur klimaangepassten und klimaschonenden Landwirtschaft





4.6 | Menschliche Gesundheit und Katastrophenschutz

Wetter, Witterung und Klima beeinflussen die Gesundheit und das Wohlbefinden der Menschen. Besonders betroffen hiervon sind Personengruppen mit Vorerkrankungen, Ältere und Pflegebedürftige, Kinder sowie Menschen in Außenberufen. Zu den unmittelbaren Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit zählt die zunehmende Belastung durch Hitze. In urbanen Räumen besteht dabei durch den verstärkenden →**Wärmeinseleffekt** ein höheres Risiko für Hitzeereignisse als in ländlichen Räumen. Weiter führen die Folgen extremer Wetterereignisse, wie Stürme, Hagel oder Überschwemmungen, zu einer erhöhten Gefahr für Leib und Leben und können auch psychische Erkrankungen wie Angststörungen oder posttraumatische Stresserkrankungen zur Folge haben.

Neben der Verschärfung bestehender Gesundheitsrisiken begünstigt der Klimawandel auch die Entwicklung neuer gesundheitlicher Gefährdungen. So führen wärmere Temperaturen und damit einhergehende längere Vegetationsperioden zu einer erhöhten Pollenbelastung durch heimische Pflanzen und begünstigen die Ausbreitung der hochallergenen Beifuß-Ambrosie (*Ambrosia artemisiifolia*). Krankheitsübertragende Tiere, wie Nager, Zecken oder Stechmücken, profitieren ebenfalls von wärmeren Temperaturen und können sich intensiver vermehren, länger aktiv sein oder sich in neuen Regionen ausbreiten. Dies fördert die Verbreitung bereits vorhandener Infektionskrankheiten, wie Borreliose oder Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME), aber auch das Auftreten neuer Krankheiten in Deutschland, wie z. B. Denguefieber. Ebenso unterstützt ein Anstieg der Temperaturen an Tagen mit sehr viel Sonnenschein und vergleichsweise wenigen Wolken die Anreicherung von Luftschadstoffen und bodennahem Ozon sowie das Vorkommen potenziell gesundheitsschädlicher Cyanobakterien in heimischen Gewässern.

Um sich vor Hitze, extremen Wetterereignissen oder Krankheiten zu schützen, können Warn- und Monitoringsysteme helfen. Der DWD hat ein bundesweites Hitzewarnsystem eingerichtet, um vor bevorstehenden Hitze- und Extremwetterereignisse zu warnen. Für Kommunen in Bayern steht des Weiteren eine Toolbox des Landesamtes für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (LGL) zur Erstellung von Hitzeaktionsplänen zur Verfügung (LGL 2021). Das elektronische Polleninformationsnetzwerk (ePIN) stellt tagesaktuelle Pollenmesswerte für Bayern zur Verfügung. Dies kann Allergikerinnen und Allergikern helfen, ihr Verhalten und ihre Medikation anzupassen. Zusätzlich trägt in Bayern seit 2007 das „Aktionsprogramm Ambrosiakämpfung“ zur Eindämmung der Ausbreitung invasiver und hochallergener Pflanzen bei. Zur Erkennung von Risikogebieten für potentielle Übertragungen infektiöser Krankheiten stehen die vom LGL veröffentlichten Risikokarten zur Verbreitung von FSME zur Verfügung. Zudem arbeitet die Universität Bayreuth im Rahmen des Verbundprojektes Klimawandel und Gesundheit (VKG) an Risikokarten zum Infektionsrisiko von stechmückenübertragenen Krankheiten in Bayern (BayVirMos)⁹.

Häufiger und intensiver auftretende extreme Naturereignisse wie Hochwasser, Sturzfluten, Hagel, Lawinen, Murengänge oder Waldbrände bergen nicht nur ein großes Schadpotenzial, sondern stellen auch die mit dem Katastrophenschutz betrauten Behörden, Stellen und Einsatzorganisationen vor Herausforderungen. Neben der Etablierung von Warnsystemen, der Durchführung von Schulungen und der Information der Öffentlichkeit, sollten kritische Infrastrukturen auf Extremereignisse vorbereitet sowie Einsatzplanung und organisationsübergreifende Zusammenarbeit fortentwickelt werden. Durch die systematische Analyse im Nachgang von Extremereignissen können Vorsorge und Management von zukünftigen Krisensituationen gestärkt werden.

*Denguefieber wird unter anderem durch die ursprünglich (sub-)tropische Asiatische Tigermücke (*Aedes albopictus*) übertragen, welche im Jahr 2013 erstmals in Deutschland in einem bayerischen Wohngebiet entdeckt wurde.*

⁹ Weitere Informationen zum Projekt BayVirMos: www.bayceer.uni-bayreuth.de/bayvirmos/?lang=de

I-GE-1 Hitzebelastung

Weitreichende Gesundheitsrisiken durch Hitzebelastung



Steigende Temperaturen und häufigere Hitzeextreme können sich unmittelbar auf die menschliche Gesundheit auswirken. So haben die Hitzewellen im Sommer 2003 in Europa schätzungsweise mehr als 52.000 Menschen das Leben gekostet (Larsen 2006). Auch in Deutschland führten die hohen Sommertemperaturen in den Jahren 2003, 2006, 2010, 2015, 2018 und 2019 zu einem deutlichen Anstieg der hitzebedingten Todesfälle (Winklmayr et al. 2022). Bereits bei einer mäßigen Wärmebelastung mit einer gefühlten Temperatur zwischen 26 und 32 °C kann es zu einer erhöhten Sterblichkeit in der Bevölkerung kommen (Koppe 2009). → **Hitzetage**, das heißt Tage mit Lufttemperaturen über 30 °C, eignen sich daher als gute Indikatoren für ein erhöhtes Sterblichkeitsrisiko. In Jahren mit einer überdurchschnittlich hohen Anzahl von Hitzetagen können mehr Todesfälle auftreten, als ohne Hitze zu erwarten gewesen wären. Auch hitzebedingte Krankheiten, wie Sonnenstich und Hitzschlag, sowie bestehende Herz-Kreislauf- und Atemwegserkrankungen können während Hitzeperioden auftreten beziehungsweise sich verschlimmern.

Der Indikator I-GE-1 Hitzebelastung stellt das 30-jährige gleitende Mittel der Anzahl der Hitzetage in Bayern dar (siehe Abb. 23). Die Entwicklung der Hitzetage zeigt eine hochsignifikante Zunahme für Bayern (LfU 2021). Darüber hinaus zeigen Klimaprojektionen für Bayern, dass die Anzahl an Hitzetagen und → **Tropennächten** in Zukunft weiter signifikant zunehmen wird.

Die Anzahl der Hitzetage informiert über eine mögliche zusätzliche Belastung des menschlichen Organismus aufgrund hoher Außentemperaturen. Das Risiko für hitzebedingte Einschränkungen der menschlichen Gesundheit kann an diesen Tagen erhöht sein, insbesondere für vulnerable Gruppen wie ältere Menschen, chronisch Kranke, Kinder und isoliert lebende Personen.



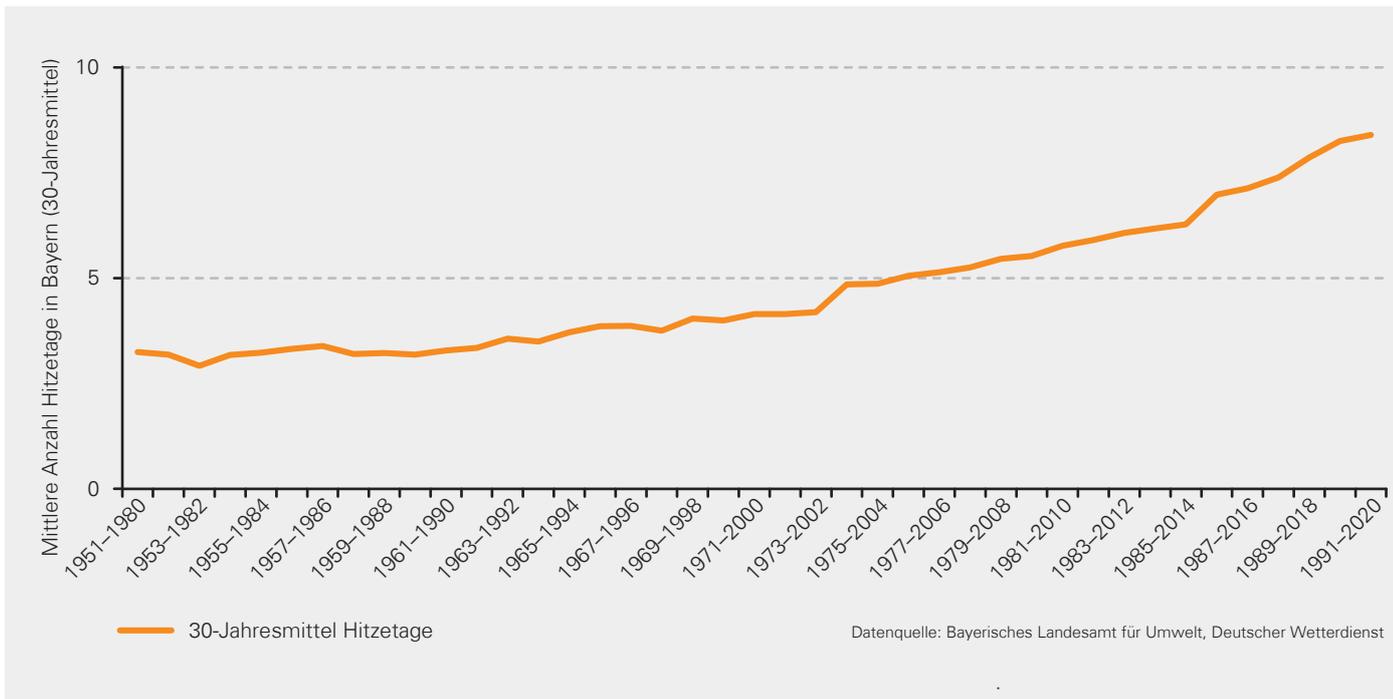


Abb. 23: I-GE-1 Hitzebelastung: 30-jähriges gleitendes Mittel der Anzahl der Hitzetage (Temperaturmaximum mind. 30 °C) als Gebietsmittel Bayerns von 1951 bis 2020

Gesetzliche Zielstellung:

Planung und Umsetzung von Hitzeaktionsplänen auf der kommunalen Ebene (Bayerisches Klimaschutzprogramm gemäß Art. 5 BayKlimaG)

Schnittstellen zu anderen Indikatoren im Bericht:

I-SB-2 Wärmeinseleffekt

I-EW-1 Heiz- und Kühlgradtage

Maßnahmen des Klimaschutzprogramms::

1.23 Förderung des kommunalen Klimaschutzes und kommunaler Klimaanpassungs-Maßnahmen

5.14 Verbundprojekt Klimawandel und Gesundheit in Bayern (VKG)

5.40 Landesarbeitsgemeinschaft Gesundheitsschutz im Klimawandel (LAGiK)

5.41 Klimaanpassung in der Pflege (KlapP)

I-GE-2 Allergene Pflanzen

Pollensaison startet früher im Jahr



Ein insgesamt milderes Klima mit einer längeren Vegetationsperiode begünstigt längere Pollenflugzeiten und damit eine längere Beschwerdezeit von → **Pollenallergikerinnen** und → **-allergikern** sowie höhere Pollenkonzentrationen (Lozàn et al. 2008). Infolge zunehmender Erwärmung (insbesondere im Frühjahr) beginnt der Pollenflug frühzeitiger und hält länger an. Zusätzlich nimmt die Pollenproduktion und -emission zu, da der steigende Anteil von CO₂ in der Luft die Produktivität von Pflanzen zunächst erhöht (sogenannter → **CO₂-Düngeeffekt**; Sperk und Mücke 2009, Kaminski und Glod 2011). Zudem verstärkt sich die Wirksamkeit von Pollenallergenen durch gesteigerten Schadstoffeinfluss und höhere Temperaturen (Beck et al. 2013). Zuletzt begünstigen mildere Temperaturen auch die Ansiedlung und Ausbreitung von gebietsfremden Pflanzen mit allergenem Potenzial (z. B. Ambrosia). Neben Ambrosia gelten unter den heimischen Pollen vor allem die von Birke, Erle, Esche, Gemeinem Beifuß, Hasel, Roggen sowie von Gräsern als allergen.

Eine veränderte Pollenbelastung kann auch die Häufigkeit allergener Krankheiten beeinflussen. In Deutschland ist bei Erwachsenen die Häufigkeit einer Asthmaerkrankung in den vergangenen zehn Jahren von 5,7 Prozent auf 8,6 Prozent gestiegen. Auch bei Kindern und Jugendlichen ist mit zunehmendem Alter ein kontinuierlicher Anstieg von Heuschnupfen und Asthma zu beobachten (Lange et al. 2014). Als möglicher mitbeeinflussender Faktor für die Entstehung dieser allergischen Atemwegserkrankungen wird neben zahlreichen Umweltfaktoren auch der Klimawandel diskutiert (u. a. Beggs 2010, Kaminski und Glod 2011, Bergmann et al. 2012, Gassner und Schmid-Grendelmeier 2013).

Der Indikator I-GE-2 Allergene Pflanzen stellt den mittleren Zeitpunkt des Blühbeginns von Hasel, Birke und Wiesen-Fuchsschwanz dar (siehe Abb. 24). Die Hasel ist eine extrem früh blühende und temperaturempfindliche Art (ab Januar/Februar), deren verfrühte Blüte einen generell früheren Start der Pollensaison verursacht und damit potenziell mit einer höheren Pollenbelastung für Allergikerinnen und Allergiker einhergeht. Während der Blühbeginn der Birke erst später im Jahr startet (ab April), ist sie sowohl in Hinblick auf die freigesetzte Pollenmenge als auch in Hinblick auf das Auslösen von → **Allergien** die bedeutendste allergene Art. Unter den Gräsern gelten vor allem der Wiesen-Fuchsschwanz und das noch etwas später im Jahr zur Vollblüte gelangende Wiesen-Knäuelgras (nicht abgebildet) als besonders allergen. Alle dargestellten Arten, inklusive des Wiesen-Knäuelgras, zeigen eine Tendenz zur Verfrühung des Blühbeginns.

Der Blühbeginn von Pflanzen hängt unter anderem von der Lufttemperatur ab. Je wärmer die Frühjahrsmonate sind, desto früher blühen pollenproduzierende Pflanzen. Mit dem Blühbeginn setzt auch die Freisetzung von Pollen ein. Somit stellt der Blühbeginn den Zeitpunkt dar, ab welchem allergische Beschwerden bei Pollenallergikerinnen und -allergikern auftreten können. Mit einem im Vergleich zu den letzten Jahrzehnten früheren mittleren Zeitpunkt des Blühbeginns beginnt auch die Beschwerdezeit von Pollenallergikerinnen und -allergikern früher. Zusätzlich zu der Belastung durch heimische Pollen können Pollen aus entfernten Regionen, welche über die Luft transportiert werden, die Pollenbelastung vor Ort verstärken (Menzel et al. 2021).

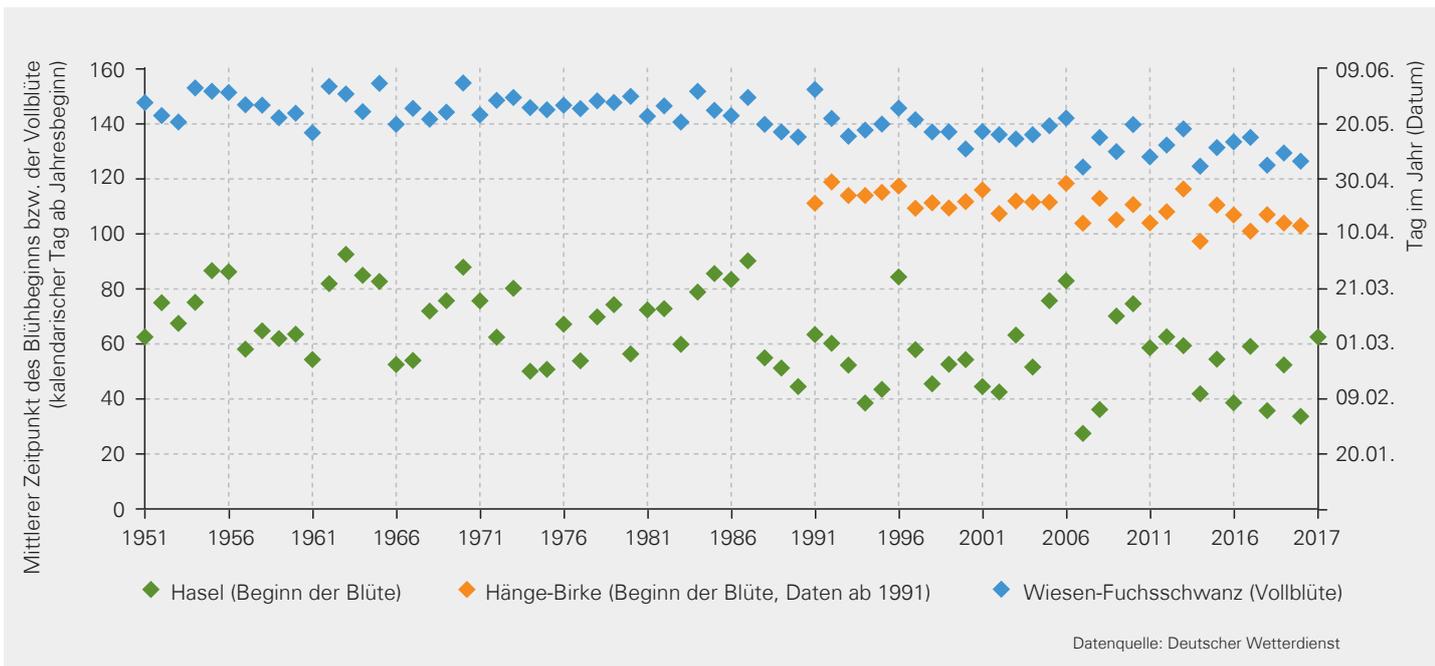


Abb. 24: I-GE-2 Allergene Pflanzen: Mittlerer Zeitpunkt des Blühbeginns der Hasel und der Hänge-Birke sowie mittlerer Zeitpunkt der Vollblüte des Wiesen-Fuchsschwanzes von 1951 bis 2020 in Bayern. Daten zum Blühbeginn der Hänge-Birke stehen erst ab 1991 zur Verfügung

Gesetzliche Zielstellung:

Monitoring der Pollenbelastung wichtiger aeroallergener Pflanzen mittels automatischen Pollenflugmessungen in ePIN

Schnittstellen zu anderen Indikatoren im Bericht:

I-LW-1 Verschiebung agrarphänologischer Phasen

I-NA-1 Phänologische Veränderungen bei Wildpflanzenarten

I-GE-3 Belastung mit Ambrosia

Maßnahmen der BayKLAS:

Monitoring der atmosphärischen Pollenkonzentration, der Allergenität von Pflanzen sowie Prognose der zu erwartenden Pollenbelastung (WK_08)

Maßnahmen des Klimaschutzprogramms:

5.14 Verbundprojekt Klimawandel und Gesundheit in Bayern (VKG)

5.37 Elektronisches Polleninformationsnetzwerk Bayern (ePIN)

I-GE-3 Belastung mit Ambrosia

→Neophyten, wie die hoch-allergene Ambrosia, breiten sich aus



Ambrosia artemisiifolia ist eine hoch-allergene Pflanze, die zusätzlich als spätblühende Art (Juli bis Oktober) die Pollenflug-saison stark nach hinten verlängert. Bereits geringe Pollenmengen von 11 Pollen pro m³ Luft können bei sensibilisierten Personen starke allergische Symptome auslösen, im Unterschied etwa zu Gräserpollen (hier gilt > 50 Pollen pro m³ Luft als starke Belastung) (siehe DAS-Indikator-Factsheet GE-I-3). Ambrosiapollen verursachen in den meisten Fällen eine Heuschnupfen-Symptomatik und zum Teil auch ein bronchiales Asthma. Daneben können Hautreaktionen nach Hautkontakten mit dem Blütenstand oder anderen Pflanzenbestandteilen auftreten (Deutscher Bundestag 2010). Wegen des hohen →Allergiepotenzials ihrer Pollen stellt die Ambrosia bei stärkerer Ausbreitung eine ernsthafte Gesundheitsgefahr für die Bevölkerung dar (Bayerische Staatsregierung 2016).

Lange Zeit war die ursprünglich aus Nordamerika stammende Ambrosia in Deutschland ein relativ seltenes und unbeständiges Unkraut an stark anthropogen beeinflussten Standorten. Seit Anfang der 1990er-Jahre nehmen die Bestände der einjährigen Pflanze jedoch stetig zu, sodass Ambrosia heute in allen Bundesländern vorkommt. Immer häufiger werden neben kleinen und unbeständigen Vorkommen auch größere, etablierte Bestände mit vielen tausend Pflanzen gefunden (Gabrio et al. 2010). In Bayern kommt Ambrosia insbesondere in Oberbayern, Mittelfranken und Niederbayern vor (insgesamt 364 Bestände). In den übrigen Regionen bewegen sich die Funde zwischen 15 und 32 Beständen (LfL 2019). 2021 stieg die Anzahl der bekannt gewordenen großen Ambrosia-Bestände auf insgesamt 544 in ganz Bayern an¹⁰. Die Anzahl der Neufunde ist dabei größer als die Anzahl der nachhaltig bekämpften Vorkommen, sodass sich Ambrosia stetig ausbreitet (StMGP 2020).

Gleichwohl die Ausbreitung von Ambrosia stark anthropogen geprägt ist, insbesondere durch den Transport von Waren wie beispielsweise Saaten oder Erden aus befallenen Gebieten, wird auch von einem Zusammenhang mit dem Klimawandel ausgegangen. Die einjährige Pflanze erreicht die zur Verbreitung erforderliche Samenreife nur in warmen oder gemäßigten Klimaten mit milden Herbstmonaten. Die Samen überdauern die kalte Jahreszeit und bleiben unter Umständen viele Jahre oder gar Jahrzehnte keimfähig, während die Pflanze selbst äußerst frostempfindlich ist und deshalb nur bis zu den ersten stärkeren Frösten im Spätjahr überlebt (Eis 2010).

Neben der räumlichen Verteilung von Ambrosia ist für Allergikerinnen und Allergiker insbesondere die in der Luft zu erwartende tägliche Pollenkonzentration und damit einhergehende gesundheitliche Belastung relevant. Im Indikator I-GE-3 Ambrosia (Teil A) wird die mittlere Anzahl der Tage mit Pollenflugwarnungen zur Ambrosia, differenziert nach Warnstufen, dargestellt (siehe Abb. 25).

Die Einstufung der Belastungsintensität von Ambrosia wird durch den DWD entsprechend der Pollenkonzentration (Anzahl der Pollen als Tagesmittelwerte pro m³ Luft) vorgenommen:

- keine Belastung 0 Pollen pro m³ Luft,
- geringe Belastung 1–5 Pollen pro m³ Luft,
- mittlere Belastung 6–10 Pollen pro m³ Luft
- und hohe Belastung über 10 Pollen pro m³ Luft.

Während im Zeitraum 2011 bis 2015 als höchste Warnstufe die Klasse „geringe bis mittlere Belastung“ erfasst wurde, trat 2016 erstmals die Warnstufe „mittlere Belastung“ und 2019 erstmals die Warnstufe „mittlere bis hohe Belastung“ auf. Die höheren Belastungsintensitäten deuten auf eine stetige Ausbreitung der Ambrosia hin.

¹⁰ Aktionsprogramm Ambrosia Bekämpfung in Bayern – Bayerisches Staatsministerium für Gesundheit und Pflege

Ergänzend zu den Warntagen des DWD wird die jährliche Pollensumme der Ambrosia in Bayern aus dem seit Mai 2019 eingerichteten elektronischen Polleninformationsnetzwerk des LGL erfasst. Mit dem Indikatorteil B kann somit die tatsächliche Jahressumme der Pollenkonzentration an den verwendeten ePIN-Standorten abgebildet werden (siehe Abb. 26). Derzeit besitzt der Indikator

wegen der kurzen Messreihe noch keine Aussagekraft. In Zukunft, wenn ausreichend lange Messreihen aus ePIN vorhanden sind, könnten die Warntage des DWD durch die automatischen Pollenflugmessungen (Blühbeginn und Pollenkonzentration) vollständig ersetzt werden.

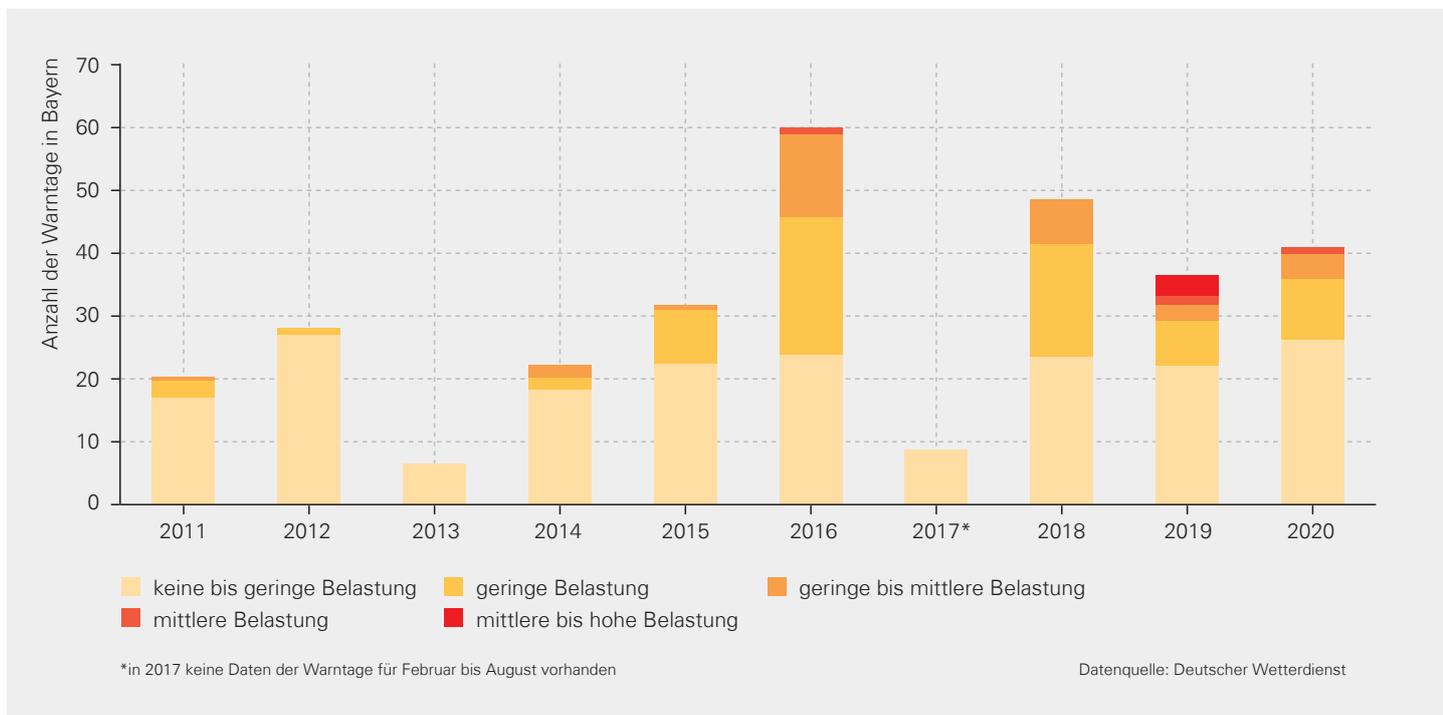


Abb. 25: I-GE-3 Belastung mit Ambrosia, Teil A: Mittlere Anzahl der Warntage in Bayern mit gemessener Ambrosia-Belastung im Zeitraum 2011 bis 2020 (Im Jahr 2017 fehlen die Daten der Warnstufen zu den Monaten Februar bis August)

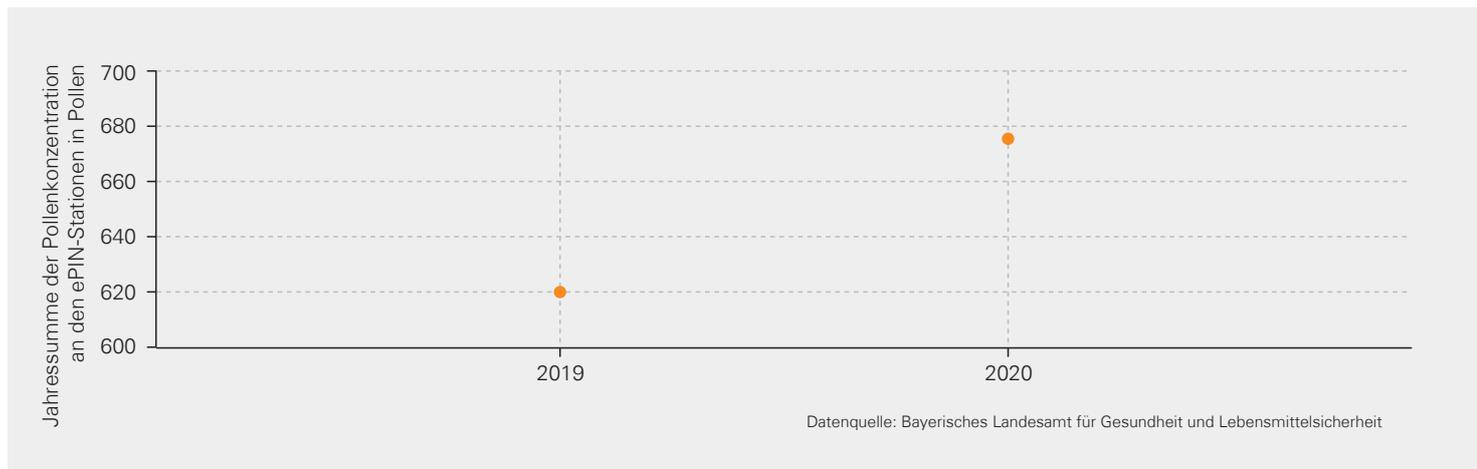


Abb. 26: I-GE-3 Belastung mit Ambrosia, Teil B: Jahressumme der Pollenkonzentration der Ambrosia an den Messstandorten des elektronischen Polleninformationsnetzwerks ePIN für die Jahre 2019 und 2020

Gesetzliche Zielstellung:

Aktionsprogramm Ambrosiabekämpfung in Bayern

Schnittstellen zu anderen Indikatoren im Bericht:

I-GE-2 Allergene Pflanzen

Maßnahmen der BayKLAS:

Monitoring der atmosphärischen Pollenkonzentration, der Allergenität von Pflanzen sowie Prognose der zu erwartenden Pollenbelastung (WK_08)

Maßnahmen des Klimaschutzprogramms:

5.14 Verbundprojekt Klimawandel und Gesundheit in Bayern (VKG)

5.37 Elektronisches Polleninformationsnetzwerk Bayern (ePIN)



I-KS-1 Wetter- und witterungsbedingte Katastrophenfälle

Vermehrtes Auftreten von Waldbränden durch zunehmende Trockenheit



Als eine wesentliche Wirkung des Klimawandels mit Blick auf den Brand- und Katastrophenschutz werden eine Zunahme der Intensität und Häufigkeit von wetter- und witterungsbedingten Extremereignissen und gegebenenfalls auch eine vermehrte Gleichzeitigkeit dieser Ereignisse erwartet. Dadurch werden die Behörden, Stellen und Einsatzorganisationen, die mit der Bewältigung von Extremereignissen betraut sind, immer stärker und häufiger gefordert.

Der Indikator I-KS-1 Wetter- und witterungsbedingte →Katastrophenfälle (siehe Abb. 27) zeigt die jährliche Anzahl der festgestellten Katastrophenfälle mit den Ursachen Überschwemmung (Hochwasser und Sturzfluten), Schnee und Eis sowie Flächenbrände an. Er stellt somit nicht direkt die Einsätze im Brand- und Katastrophenschutz dar, kann aber als Annäherung für die Ermittlung der klimawandelbedingt ansteigenden Einsatzbelastung dienen.

Die Anzahl der festgestellten Katastrophenfälle durch Überschwemmung zeigen die besondere Betroffenheit Bayerns durch das Hochwasser in Mitteleuropa im August 2002, das Alpenhochwasser 2005 sowie das Junihochwasser 2013. 2005 waren insbesondere die Flussgebiete der

Iller, des Lechs, der Mindel, der Zusam, der Schutter, der Isar, der Loisach, der Mangfall und des Inns betroffen. 2013 konzentrierten sich die Überschwemmungen im Donauvorland, der unteren Donau sowie in den alpinen Flussgebieten im Südosten Bayerns.

Katastrophenfälle durch Schnee und Eis traten in den vergangenen Jahren dagegen nur vereinzelt auf. Hier lässt sich kein eindeutiger Trend erkennen. Bei den ursächlich durch Flächenbrände ausgelösten Katastrophenfällen handelt es sich um Waldbrände, die insbesondere das Berchtesgadener Land (2007, 2013) sowie Bad Tölz-Wolfratshausen (2011, 2017) betrafen. In der zweiten Hälfte der Beobachtungsperiode traten Waldbrände aufgrund zunehmender Trockenheit vermehrt auf.

Durch den Bezug zur gesetzlichen Definition bildet der Indikator nicht alle extremen Wetter- und Witterungsereignisse, die im öffentlichen Gedächtnis als „katastrophal“ gespeichert sind, ab. Sturmschäden sind beispielsweise nicht in dem Indikator enthalten. Der Orkan Kyrill, der auch in Bayern massive Schäden verursachte und zu Unterbrechungen im Bahnverkehr führte, ist somit nicht aufgeführt.



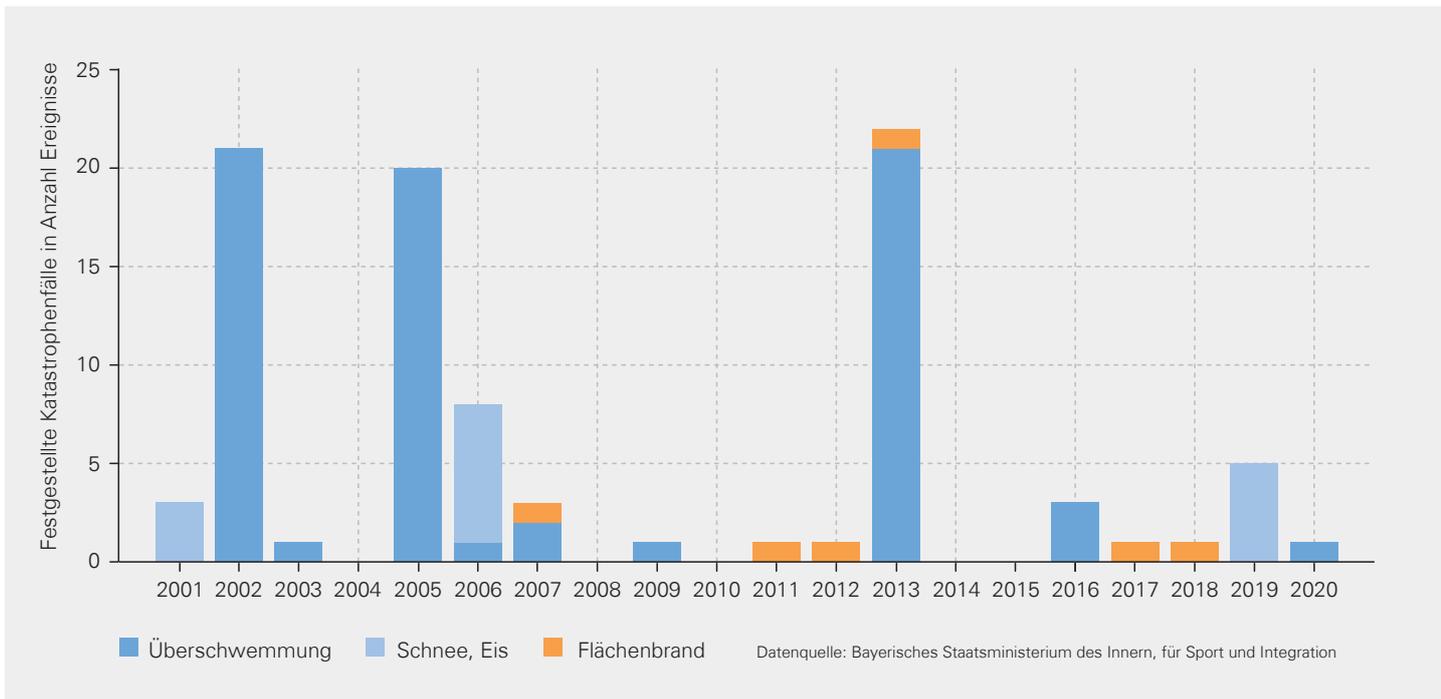


Abb. 27: I-KS-1 Wetter- und witterungsbedingte Katastrophenfälle: Festgestellte Katastrophenfälle, differenziert nach den wetter- und witterungsbedingten Ursachen „Überschwemmungen“, „Flächenbrände“, „Schnee, Eis“ von 2001 bis 2020

Schnittstellen zu anderen Indikatoren im Bericht:

I-VE-2 Wetter- und witterungsbedingte Straßenverkehrsunfälle

Maßnahmen der BayKLAS:

Als Anpassungsmaßnahme wurden bayernweit sogenannte Hilfeleistungskontingente aufgestellt, um bei großflächigen Naturkatastrophen die erforderliche überregionale Katastrophenhilfe zu gewährleisten. (S. 117)

Fortentwicklung der Katastrophenschutz-Sonderplanungen zur Bewältigung von Naturkatastrophen (KS_02)

Fortentwicklung der Einsatzplanung und der organisationsübergreifenden Zusammenarbeit im Katastrophenschutz, auch vor dem Hintergrund zunehmender und in ihrer Intensität verstärkter extremer Naturgefahren (KS_08)



4.7 | Stadt- und Raumplanung

Städte bieten einerseits Chancen für eine klimafreundliche Lebensweise, gleichzeitig sind sie aber auch in besonderem Maße von den Folgen des Klimawandels betroffen. Temperaturanstieg, veränderte Niederschlagsmuster und Zunahme von Wetterextremen wie Hitzeperioden, Hagel, Starkregen, Hochwasser und Stürme wirken sich erheblich auf die Grundversorgung, die Infrastruktur und die Wohnverhältnisse aus. Die hohe Dichte von Menschen, Infrastrukturen und Vermögenswerten macht Städte dabei besonders anfällig.

Wesentliche Elemente einer klimaangepassten Stadt sind daher die sogenannte grüne und blaue Infrastruktur wie Bäume, Grün- und Wasserflächen sowie begrünte Gebäude: Durch Verdunstung und Beschattung sorgen sie für Abkühlung in der Stadt und halten Regenwasser zurück, statt es in die Kanalisation abzuleiten (Prinzip der „Schwammstadt“). Zudem wird das Mikroklima der Stadt erheblich verbessert, wenn regionale Kalt- und Frischluftströme ungehindert vom Umland in die überhitzten Siedlungsgebiete strömen können.

Wenn es um die Umsetzung von Klimaanpassung geht, nehmen Kommunen eine zentrale Rolle ein. Als Träger der Planungshoheit verfügen Städte und Gemeinden über

einen umfangreichen Instrumentenkasten und können Einfluss auf die Zukunft beim klimaangepassten Planen und Bauen nehmen. Durch die systematische Entwicklung und Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen gelingt es Kommunen nicht nur, ihre Resilienz gegenüber den unabwendbaren Folgen des Klimawandels zu stärken. Blaue und grüne Infrastruktur, klimaangepasstes Bauen und urbane Gesundheitsförderung schaffen überdies lebenswerte und zukunftsfähige Städte und Gemeinden.

Zur Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen steht Kommunen dabei im öffentlichen Baurecht und in Form informeller Instrumente wie Gutachten, Leitbilder oder Konzepte ein umfassender Instrumentenkasten zur Verfügung (StMUV 2021). Die zentralen Grundsatzregelungen für klimafreundliche Planungen von Kommunen sind primär im Baugesetzbuch festgelegt. Darüber hinaus treffen die Bayerische Verfassung, die Bayerische Gemeindeordnung, das Bayerische Klimaschutzgesetz und das Naturschutzgesetz weitere Regelungen zu Klima- und Naturschutz sowie kommunaler Landschaftsplanung.

I-SB-1 Wärmeineleffekt

Deutliche nächtliche Überhitzung in München



Eine wesentliche Besonderheit des urbanen Klimas ist die Ausprägung der sogenannten „städtischen Wärmeinsel“. Diese bezeichnet den Effekt, dass urbane Regionen höhere Temperaturen aufweisen als ihre ländliche, unbebaute Umgebung (Roth 2013). Häufigkeit und Intensität von →**Wärmeineleffekten** hängen dabei unter anderem von Größe und Besiedlungsdichte, regionalen Wettermustern, lokaler Geographie wie Nähe zu Gewässern und Topographie sowie von der Bebauungsstruktur, z. B. Gebäudehöhe oder verwendeten Materialien, ab (Hertel 2012). Die größten Temperaturdifferenzen treten in windschwachen →**Strahlungsnächten** auf (Kuttler 2011). Insbesondere in den Sommermonaten führt diese städtische Überhitzung durch zusätzlichen thermischen Stress und erhöhte Luftverschmutzung zu einem vermehrten Auftreten hitzebedingter Krankheiten und Sterblichkeit. Sie stellt somit speziell für Risikogruppen wie Säuglinge, Kleinkinder, ältere Menschen und Menschen mit Vorerkrankungen eine zusätzliche gesundheitliche Belastung dar (Lai 2010, Heaviside 2020).

Der Indikator I-SB-1 Wärmeineleffekt bildet den sommerlichen Wärmeineleffekt der Stadt München differenziert nach Tageszeiten ab (siehe Abb. 28 und Abb. 29). Insbesondere die fehlende Abkühlung in der Nacht ist von großer Bedeutung, da Menschen der nächtlichen Hitzebelastung weniger gut ausweichen können. Die Fallstudie München wurde gewählt, da hier ein geeignetes Messstationspaar für die Berechnung der städtischen Überhitzung zur Verfügung stand.

In den Sommermonaten weist München deutliche Wärmeineleffekte auf. Die Temperaturdifferenz zwischen der Innenstadt Münchens und dem Umland beträgt im Mittel tagsüber 1,5 bis 2 K (siehe Abb. 28) und nachts 2 bis 4 K (siehe Abb. 29). Die Stadt kühlt aufgrund der Wärmeabstrahlung von Gebäuden und versiegelten Flächen in den Abend- und Nachtstunden langsamer und weniger ab als das Umland. Die Überhitzung der Innenstadt Münchens ist dabei nachts besonders stark ausgeprägt. So ist nicht nur der mittlere Wärmeineleffekt nachts höher als tagsüber, nachts zeigen sich ebenfalls vermehrt →**Wärmeinselintensitäten** größer 3 K und teilweise sogar größer 6 K.

Ein eindeutiger Trend der Entwicklung des Wärmeineleffektes in Folge des Klimawandels lässt sich zum aktuellen Zeitpunkt nicht erkennen. Dies könnte daran liegen, dass sich Stadt und Umland in ähnlichem Umfang erwärmen. Klimaprojektionen für die Stadt München zeigen in Zukunft einen Anstieg der Wärmebelastung im gesamten Stadtgebiet mit voranschreitendem Klimawandel (Mühlbacher et al. 2020). Die Anzahl der Sommertage mit maximalen Tagestemperaturen von mindestens 25 °C kann sich im ungünstigsten Fall in München bereits bis Mitte dieses Jahrhunderts verdoppeln (Mühlbacher et al. 2020).

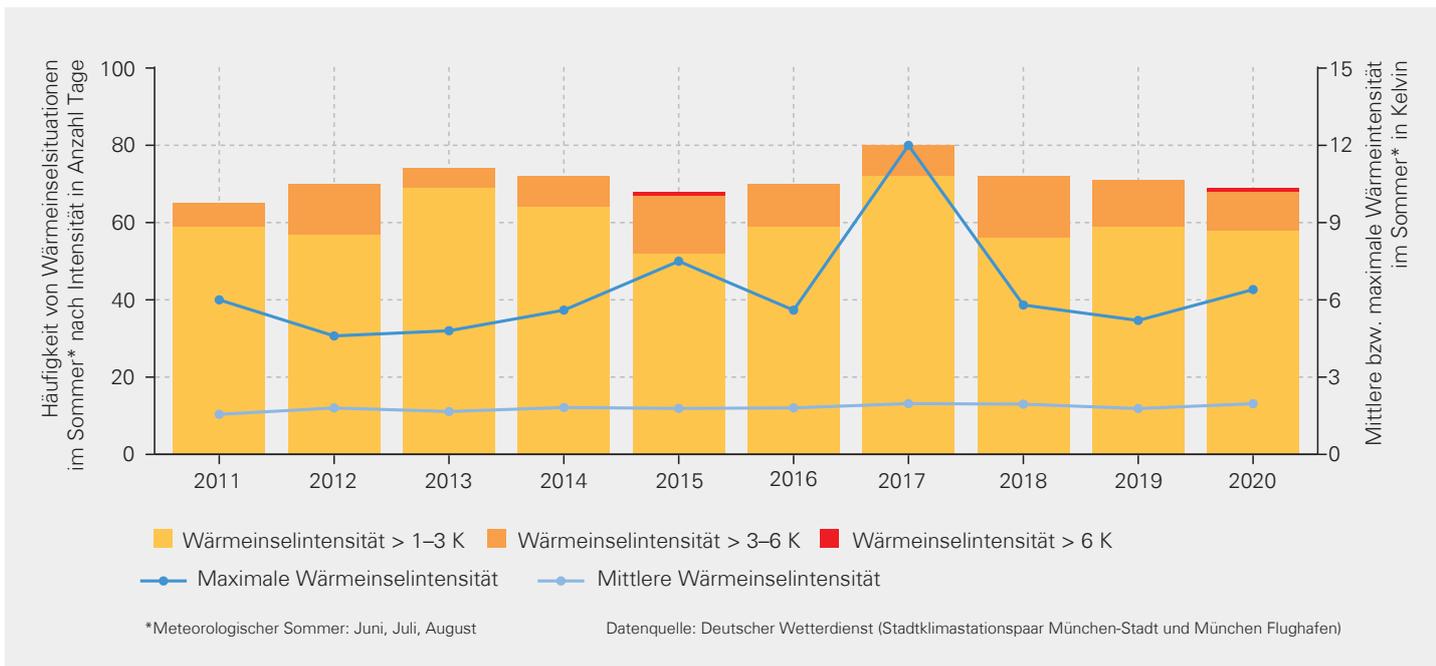


Abb. 28: I-SB-1 Wärmeineleffekt, Indikator I: Städtischer Wärmeineleffekt in München tagsüber im Zeitraum 2011 bis 2020. Die Balken geben die Häufigkeit der Wärmeinelelsituationen im Sommer (Juni, Juli, August) tagsüber (11–19 Uhr) aufgliedert nach Intensitätsklassen wieder. Die mittlere sowie maximale Wärmeinelelsintensität sind in hellblau bzw. dunkelblau vermerkt und können auf der Sekundärachse am rechten Rand des Diagramms abgelesen werden.

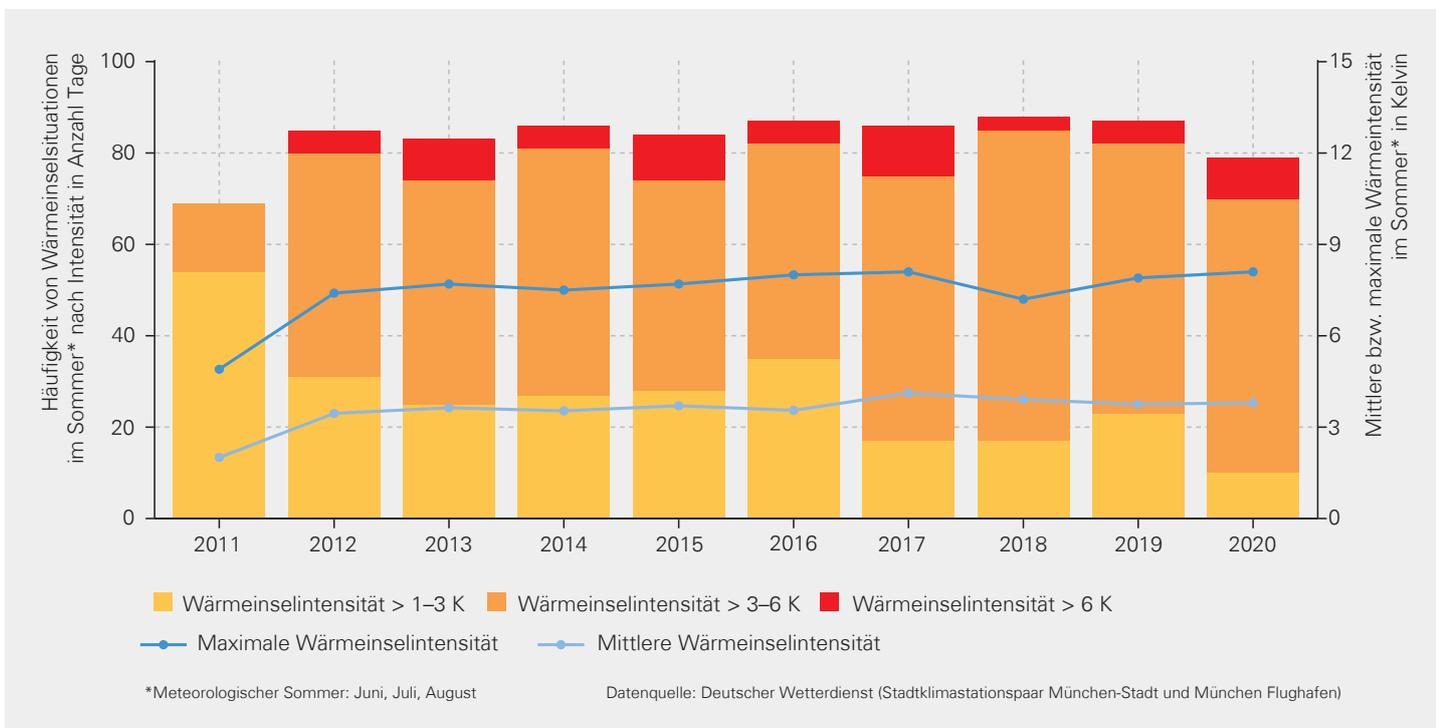


Abb. 29: I-SB-1 Wärmeineleffekt, Indikator II: Städtischer Wärmeineleffekt in München nachts im Zeitraum 2011 bis 2020. Die Balken geben die Häufigkeit der Wärmeinelelsituationen im Sommer (Juni, Juli, August) nachts (22–6 Uhr) aufgliedert nach Intensitätsklassen wieder. Die mittlere sowie maximale Wärmeinelelsintensität sind in hellblau bzw. dunkelblau vermerkt und können auf der Sekundärachse am rechten Rand des Diagramms abgelesen werden.

Schnittstellen zu anderen Indikatoren im Bericht:

R-SB-1 Flächenverbrauch

I-GE-1 Hitzebelastung

Maßnahmen der BayKLAS:

Berücksichtigung des Klimawandels, insbesondere der zu erwartenden Zunahme von Extremereignissen, in der Bauleitplanung und bei der Planung (z. B. Berücksichtigung von Kaltluft- und Frischluftschneisen, Bewahrung unversiegelter Flächen zur Reduzierung von Überwärmung, Entwässerungskonzepte), Gestaltung und Umsetzung der städtebaulichen Erneuerung (SE_04)

Umsetzung nachhaltiger Konzepte und Maßnahmen in den Gebieten der städtebaulichen Erneuerung z. B. nachhaltige Verdichtung, Entsiegelung, Freiflächenkonzepte, Berücksichtigung wechselseitiger Einflüsse der Bebauung auf umgebendes Klima (SE_05)

Neuanlage, Erhalt und Entwicklung von Grün- und Wasserflächen im Innen- und Außenbereich von Siedlungsflächen zur Verbesserung der thermischen und lufthygienischen Belastungssituation (GF_01)

Erhalt und Verbesserung von Kalt- und Frischluftentstehungsgebieten sowie von innerstädtischen Kalt- und Frischluftleitbahnen zur Verringerung der thermischen und lufthygienischen Belastung im verdichteten Siedlungsraum (GF_02)

Berücksichtigung des Einflusses der Bebauung sowie der klimarelevanten Funktionen von Natur und Freiräumen auf die Frisch- und Kaltluftversorgung in Siedlungsgebieten (z. B. Straßenbegleitbäume, Wald-, Gewässerflächen) (GF_03)

Sommerlicher Wärmeschutz unter Berücksichtigung des Energiebedarfs durch Dämmung, Sonnenschutz, Nutzung passiver oder erneuerbarer Energien oder Abwärme betriebener Kühlmöglichkeiten, ggf. Einsatz solarer Kühlung (GB_04)

Dach- und Fassadenbegrünung zur Verringerung des Wärmeeintrags in den Stadtkörper, zur Regenwasserspeicherung und zur Reduzierung von Abflussspitzen (GB_09)

Maßnahmen des Klimaschutzprogramms:

1.23 Förderung des kommunalen Klimaschutzes und kommunaler Klimaanpassungsmaßnahmen

3.1 Umweltinitiative Stadt.Klima.Natur

3.2 Modellvorhaben des Experimentellen Wohnungsbaus: „Klimaanpassung im Wohnungsbau“

3.3 Beratungsstelle Energieeffizienz und Nachhaltigkeit (BEN) der Bayerischen Architektenkammer

3.4 Klimaforschung Stadtnatur

3.5 Modellvorhaben im Städtebau des StMB: „Klimagerechter Städtebau“

3.12 Dach- und Fassadenbegrünung des staatlichen Gebäudebestands

3.13 Begrünung der Flachdächer des StMAS mit einer Fläche von ca. 3.240 m²

3.16 Klimafassade bei staatlichen Neubauten

3.17 Nachhaltigkeit in der Wohnraumförderung

R-SB-1 Flächenverbrauch

Weiterhin zu hoher Flächenverbrauch

Die unbebaute und unzerschnittene Fläche ist bayernweit eine begrenzte und gleichwohl begehrte Ressource. Um dessen Nutzung konkurrieren unter anderem Land- und Forstwirtschaft, Siedlung und Verkehr, Naturschutz sowie Rohstoffabbau und Energieerzeugung. Die Umwidmung von Freiflächen in → **Siedlungs- und Verkehrsflächen** bedeutet in Verbindung mit einer zunehmenden Versiegelung der Böden den Verlust klimatisch bedeutsamer Freiflächen (vor allem gravierend innerhalb von hitzebelasteten Gebieten), den Verlust von Retentionsräumen für einen ausgeglichenen Gebietswasserhaushalt sowie die starke Beeinträchtigung natürlicher Bodenfunktionen, insbesondere des Bodenwasserhaushaltes. Die Reduzierung des Flächenverbrauchs stellt eine generelle Anpassungsmaßnahme an die Folgen des Klimawandels, unter anderem zur Verringerung der städtischen Überhitzung, dar. Gleichzeitig darf die zur Reduzierung des Flächenverbrauchs erwünschte verstärkte Innenentwicklung und Nachverdichtung im Kontext der Klimaanpassung nicht zu Lasten von innerstädtischen Frei- und Erholungsflächen gehen und damit zu einer weiteren Zunahme des Versiegelungsgrades führen.

Der Indikator R-SB-1 Flächenverbrauch bildet die Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsflächen in Bayern ab (siehe Abb. 30). Der Flächenverbrauch schwankt in Bayern auf einem konstant hohen Niveau. Eine starke Zunahme des Versiegelungsgrades von mehr als vier Prozent im Betrachtungszeitraum (2000 bis 2015) ist in allen Teilen Bayerns zu erkennen. Von den 27 Landkreisen und den sieben Städten dieser Kategorie weisen die Landkreise Miltenberg, Berchtesgadener Land, Lindau am Bodensee, Oberallgäu, Rottal-Inn und die Stadt Aschaffenburg sogar Zunahmen von über sieben Prozent auf. In einem Landkreis (Kelheim) und in vier Städten (Straubing, Rosenheim,

Kaufbeuren, Weiden in der Oberpfalz) kann ein zumeist geringer Rückgang des Versiegelungsgrades festgestellt werden. Die mit einer Umwidmung in Siedlungs- oder Verkehrsfläche einhergehende Versiegelung und Verdichtung der Böden führt meist zu einem irreversiblen Verlust der zahlreichen Bodenfunktionen.

Gründe für den nach wie vor zu hohen Flächenverbrauch liegen im Bevölkerungswachstum, vor allem in den Ballungsräumen, in der Zunahme der individuellen Wohnflächen, im Ausbau der Verkehrsinfrastruktur sowie in der interkommunalen Konkurrenz um Einwohnerinnen und Einwohner sowie Gewerbe, welche flächeneffizient agierende Kommunen teilweise benachteiligt. Das niedrigere Niveau des täglichen Flächenverbrauchs seit 2013 hängt wesentlich von der Umstellung der Erfassung der Eingangsdaten ab.

Der Indikator bildet nur indirekt eine Anpassungsmaßnahme an den Klimawandel ab. Streng genommen stellt er fest, ob Maßnahmen zur Reduzierung des Flächenverbrauchs, die auch aus anderen Motivationen wie Umwelt- und Ressourcenschutz heraus erfolgen, zielführend sind. Dennoch ist die Steuerung der Siedlungsentwicklung eine der wichtigen Aufgaben der Raum- und Bauleitplanung zur Verbesserung der Ausgangsbedingungen für die Klimawandelanpassung. So kann die Raumordnung einerseits gezielt die Klimawandelvorsorge unterstützen und die Siedlungsentwicklung so steuern, dass bereits existierende und zukünftige Klimarisiken gemindert werden. Andererseits kann sie Veränderungen der Nutzungsansprüche und -erfordernisse, die sich durch den voranschreitenden Klimawandel in Zukunft ergeben werden, in die Raumplanung integrieren.



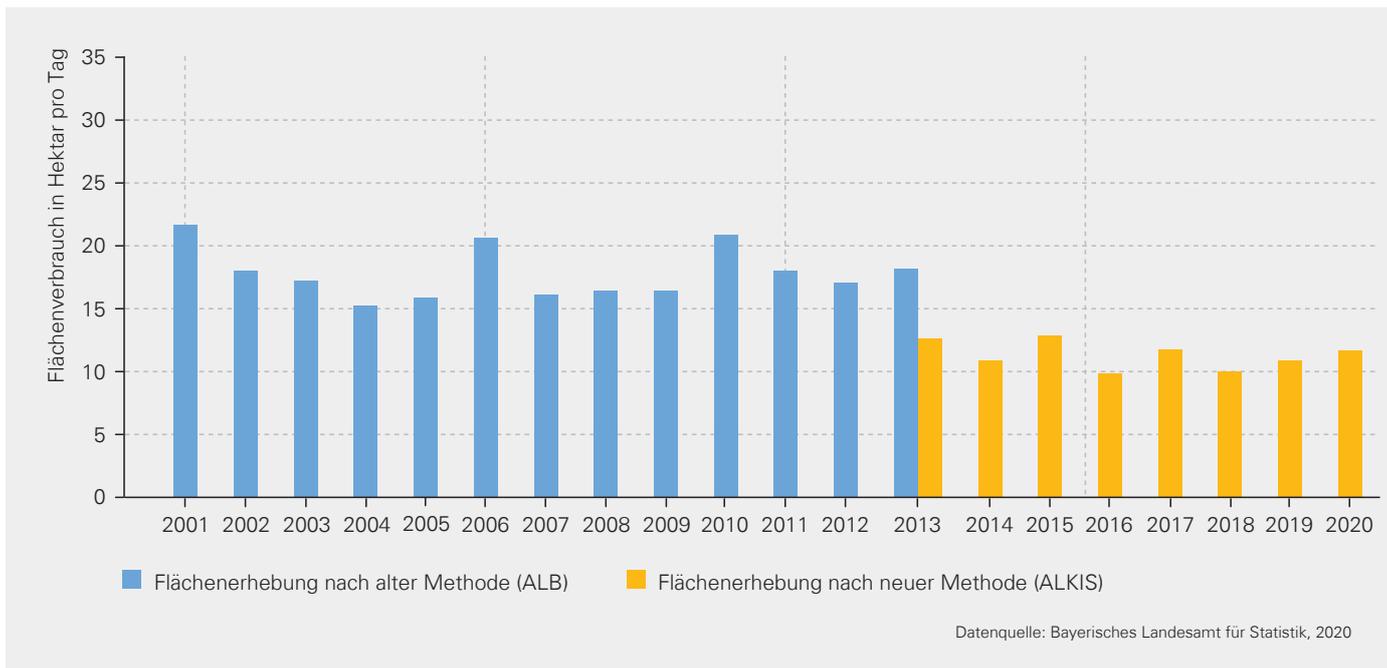


Abb. 30: R-SB-1 Flächenverbrauch: Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsfläche in Bayern von 2001 bis 2020 (in 2013 fand eine Umstellung der Erhebungsmethodik statt)



Gesetzliche Zielstellung:

Im Bayerischen Landesplanungsgesetz wurde 2020 ein Richtwert festgelegt: Der Flächenverbrauch (Siedlungs- und Verkehrsfläche) soll auf fünf Hektar pro Tag bis 2030 verringert werden.

Schnittstellen zu anderen Indikatoren im Bericht:

I-SB-1 Wärmeinseleffekt

I-GE-1 Hitzebelastung

Maßnahmen der BayKLAS:

Forcierung und fachliche Unterstützung nachhaltiger, klimaschonender, ökologisch verträglicher und damit zukunftsorientierter Siedlungskonzepte z. B. Flächenmanagement, kompakte Siedlungseinheiten, rationale Energienutzung, nachhaltige Flächenkonversion, integrierte Planung, Meidung von Gefährdungsbereichen, Verkehrsberuhigung in Wohngebieten (SE_01)

Berücksichtigung des Klimawandels, insbesondere der zu erwartenden Zunahme von Extremereignissen, in der Bauleitplanung und bei der Planung (z. B. Berücksichtigung von Kaltluft- und Frischluftschneisen, Bewahrung unversiegelter Flächen zur Reduzierung von Überwärmung, Entwässerungskonzepte), Gestaltung und Umsetzung der städtebaulichen Erneuerung (SE_04)

Umsetzung nachhaltiger Konzepte und Maßnahmen in den Gebieten der städtebaulichen Erneuerung z. B. nachhaltige Verdichtung, Entsiegelung, Freiflächenkonzepte, Berücksichtigung wechselseitiger Einflüsse der Bebauung auf umgebendes Klima (SE_05)

Entwicklung langfristiger Stadt-, Dorferneuerungs- und Gemeindeentwicklungskonzepte sowie Konzepte der Integrierten Ländlichen Entwicklung zur Reduzierung von Schadenswerten in Risikogebieten z. B. Unterstützung von Rückbau, Aufzeigen von Absiedlungspotenzial, ggf. Anbieten von Ersatzflächen und Minimierung der Versiegelung (SE_08)

Erhalt und Verbesserung von Kalt- und Frischluftentstehungsgebieten sowie von innerstädtischen Kalt- und Frischluftleitbahnen zur Verringerung der thermischen und lufthygienischen Belastung im verdichteten Siedlungsraum (GF_02)

Erhalt der ökologischen Ausgleichsfunktion unversiegelter Flächen und Reduzierung des Flächenverbrauchs, um Flexibilität für Anpassungsmaßnahmen gewährleisten zu können (GF_04)

Erhalt zusammenhängender Flächen entlang von Gewässern zum Biotopverbund, zur Hochwasservorsorge und zur Sicherung von Wasserressourcen (GF_05)

Entwicklung von Konzepten zur Freiraumentwicklung und Integration dieser Konzepte in Bauleitpläne und Konzepte der städtebaulichen Entwicklung (GE_06)

Private Frei- und Grünflächen wie Kleingärten und Höfe als wichtige Bestandteile gesamtstädtischer Freiraumsysteme erhalten und weiterentwickeln (GF_11)

Umsetzung von multifunktionalen Flächenkonzepten z. B. Nachnutzungen auf Brachflächen oder Nutzung von Parkflächen als Retentionsraum bei Hochwasser (GF_12)

Maßnahmen des Klimaschutzprogramms:

3.6 Maßnahmen zum Klimaschutz im Rahmen der Städtebauförderung

3.14 Klimaschutz durch Dorferneuerung und Gemeindeentwicklung

3.17 Nachhaltigkeit in der Wohnraumförderung

4.6 Park & Ride and Live! Neuer Wohnraum auf vorhandenen Flächen

R-RO-1 Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für die Wasserversorgung

Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für die Wasserversorgung schaffen



Klimawandelbedingte Veränderungen der Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse beeinflussen den Wasserkreislauf (siehe auch Kapitel 4.1). Sie wirken sich unter anderem auf die →Grundwasserneubildungsrate sowie die Menge und die Qualität von Grund- und Oberflächengewässern aus, die zur Trinkwassergewinnung genutzt werden. Durch eine Abnahme des Niederschlags in den Sommermonaten verbunden mit temperaturbedingt höheren Verdunstungsraten kann sich die Situation in Wassermangelgebieten weiter verschärfen. Ergänzend zu der Ausweisung von Wasserschutzgebieten im Rahmen des Wasserhaushaltsgesetzes ist die Regionalplanung daher damit beauftragt, →Vorrang- und →Vorbehaltsgebiete für die Wasserversorgung in den Regionalplänen festzulegen. Diese sollen die empfindlichen Bereiche von Grundwassereinzugsgebieten schützen und bedeutsame Grundwasservorkommen sichern.

Vorranggebiete geben bestimmten raumbedeutsamen Funktionen oder Nutzungen Priorität und schließen andere raumbedeutsame Nutzungen in diesem Gebiet aus. Es handelt sich dabei um Ziele der Raumordnung, die bereits letztverbindlich abgewogen sind. Sie können deshalb in Bauleitplänen und in Fachplanungen nicht erneut abgewogen werden. Vorbehaltsgebiete messen in den jeweiligen Gebieten bestimmten raumbedeutsamen Funktionen oder Nutzungen für nachfolgende Abwägungen mit konkurrierenden raumbedeutsamen Nutzungen ein besonderes Gewicht bei. Sie schließen aber die Zulassung entgegenstehender Nutzungen nicht vollständig aus.

Der Indikator R-RO-1 Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für die Wasserversorgung (siehe Abb. 31) bildet die Anwendung des regionalplanerischen Instrumentariums zum Schutz der Ressource Wasser ab. Die Zunahme des Indikators zeigt, dass bayernweit – im Vergleich der Jahre 2008 und 2015 – mehr Flächen in den Regionalplänen zum Schutz von Wasserressourcen ausgewiesen wurden. Die landesweite Betrachtung lässt allerdings keine Rückschlüsse auf die Situation in den einzelnen Planungsregionen zu. Um diese abzubilden, wäre die Aktualität beziehungsweise Vollständigkeit der Umsetzung landes- und regionalplanerischer Instrumente zum Schutz der Wasserversorgung in den Planungsregionen ein aussagekräftiger Indikator. Dies soll in der Fortschreibung des Monitorings berücksichtigt werden.

Stadt- und Raumplanung übernehmen eine Schlüsselrolle bei der Vorbereitung und Umsetzung von Klimaanpassung. Städte und Regionen sind in besonderem Maße von Klimafolgen betroffen und sind gleichzeitig ein zentraler Akteur bei der Anpassung an den Klimawandel. Die formellen und informellen Planungsinstrumente der Landes- und Regionalplanung schaffen dabei wesentliche Voraussetzungen für die klimaangepasste Raum-, Siedlungs- und Infrastrukturentwicklung.

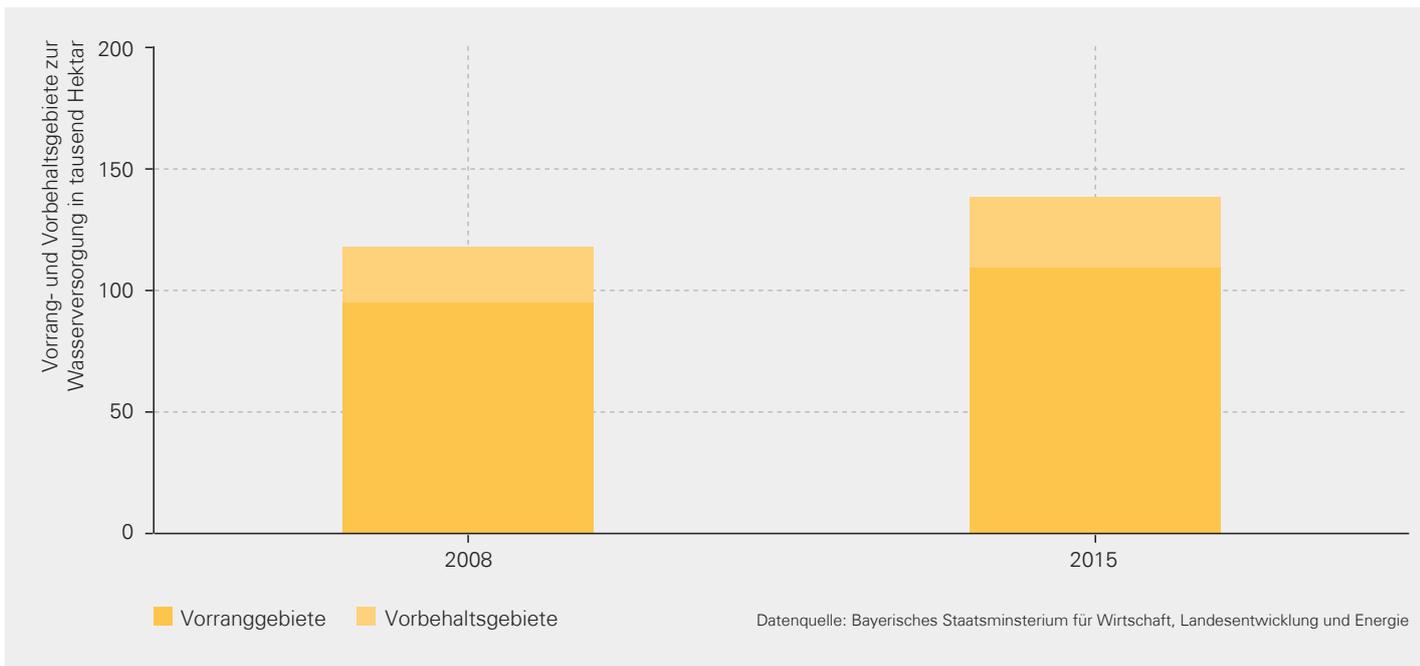


Abb. 31: R-RO-1 Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für die Wasserversorgung: Fläche der Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für die Wasserversorgung in Bayern 2008 und 2015

Gesetzliche Zielstellung:

Soweit es das Wohl der Allgemeinheit erfordert, werden zum Schutz von derzeit bestehenden oder künftigen Wassergewinnungsanlagen für die öffentliche Wasserversorgung Wasserschutzgebiete festgesetzt. Ergänzend tragen Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für die Wasserversorgung (VRG und VBG Wasserversorgung) in den Regionalplänen zum Schutz der empfindlichen Bereiche von Grundwassereinzugsgebieten und zur Sicherung bedeutsamer Grundwasservorkommen bei. Damit wird der Umfang hoheitlicher Schutzgebietsverordnungen nach Fläche und Inhalt auf das erforderliche Mindestmaß beschränkt (LEP 7.2.4 (B)).

Schnittstellen zu anderen Indikatoren im Bericht:

I-WW-1 Grundwasserbildung

I-WW-2 Trockenheitsindex

Maßnahmen der BayKLAS:

Darstellung von gebietsscharfen Festlegungen in Regionalplänen z. B. durch Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für die Wasserversorgung; regionale Grünstreifen sowie landschaftliche Vorbehaltsgebiete (LR_04)



Kempten
Memmingen
Lindau
↑

München
Augsburg
↗

4.8 | Verkehr

Der Verkehrssektor wird durch Temperaturanstieg, veränderte Niederschlagsmuster sowie durch häufigere und intensivere Extremwetterereignisse vor Herausforderungen gestellt. Steigende Temperaturen und längere Hitzewellen können die Verkehrsinfrastruktur wie Schienen und Straßenbeläge sowie den thermischen Komfort in Fahrzeugen beeinträchtigen. Wetterextreme wie Starkregen, Hoch- und Niedrigwasser und deren Folgen können kurzfristige Verspätungen und Unterbrechungen auslösen, aber auch zu langfristigen Unterbrechungen und Umleitungen im Falle zerstörter oder nicht nutzbarer Infrastruktur führen.

Anpassungsmaßnahmen können dabei auf verschiedenen Ebenen ergriffen werden, von der Bereitstellung von Klimainformationen bis zum operativen Management der Infrastruktur und Verkehrsbetriebe (BMDV Expertennetzwerk o.J.). Verbesserte Datenerfassungs- und Vorhersagekapazitäten, Klimainformationsdienste und Frühwarnsysteme liefern die Informationsgrundlage für wirksame technische und operative Anpassungsmaßnahmen. Regulatorische Ansätze wie die Änderung von Konstruktions- und Sicherheitsstandards für neue Infrastrukturen unterstützen die ingenieurtechnische Anpassung in Form baulicher Maßnahmen, beispielsweise durch die Verwendung von

hitzebeständigen Asphaltmischungen oder eine verbesserte Kühlung der elektronischen Bestandteile von Infrastrukturen. Darüber hinaus liegen im operativen Management von Infrastrukturen und Verkehrsbetrieben Anpassungspotentiale, z. B. durch Sedimentmanagement in der Binnenschifffahrt.

Ein gut funktionierendes Verkehrsnetz mit einer klimafesten Infrastruktur erhöht die Klimaresilienz der gesamten Gesellschaft. Die Anpassungskapazität hängt dabei jedoch wesentlich davon ab, wie sich der Klimawandel in Zukunft fortsetzt. Ein klimafestes Verkehrssystem ist deshalb idealerweise auch ein kohlenstoffarmes. Klimaanpassung und Reduktion von Treibhausgasemissionen sollten Hand in Hand gehen, um zukunftsfähigen Transport und Mobilität zu ermöglichen.

I-VE-1 Schiffbarkeit der Binnenschiffahrtsstraßen

Weniger Sperrungen der Binnenschiffahrtsstraßen wegen Eisgang, kein eindeutiger Trend der hochwasserbedingten Sperrungen



Die Nutzbarkeit der Binnenschiffahrtsstraßen hängt entscheidend von der meteorologischen und hydrologischen Situation im Flusseinzugsgebiet der Wasserstraße ab. Hoch- und Niedrigwasser können dabei gleichermaßen zu Einschränkungen der Binnenschiffahrt führen. Im Zuge des Klimawandels könnten diese Schwankungen zunehmen. Hinzu kommen Einschränkungen durch winterlichen Eisgang, für die zukünftig aber eher mit einem Rückgang zu rechnen ist. Bei Niedrigwasser ist eine Schifffahrt in der Regel mit Einschränkungen, z. B. mit geringerer Zuladung, noch möglich. Bei einer Überschreitung des **→höchsten schiffbaren Wasserstands** oder bei stärkerem Eisgang müssen die Wasserstraßen jedoch vollständig für die Schifffahrt gesperrt werden.

Der Indikator I-VE-1 Schiffbarkeit der Binnenschiffahrtsstraßen betrachtet das Wasserstraßengebiet von Main und Donau inklusive des Main-Donau-Kanals, die zusammen Teil der international bedeutsamen Wasserstraßenverbindung zwischen Nordsee, Rheingebiet und Schwarzem Meer sind. Die Indikatoren zeigen für Donau (siehe Abb. 32), Main (siehe Abb. 33) und Main-Donau-Kanal (siehe Abb. 34) die Anzahl der Tage mit Schifffahrtssperrungen wegen Überschreitung des höchsten schiffbaren Wasserstands und wegen Eisgangs. Gezählt werden alle Tage, an denen (gegebenenfalls auch nur für Teilstrecken) Sperrungen erfolgten. Eine Aggregation über alle drei Gewässer hinweg erfolgte nicht, um der unterschiedlichen Charakteristik der verschiedenen Gebiete Rechnung zu tragen. Für die Donau (siehe Abb. 32) werden zusätzlich die Tage dargestellt, an denen die Binnenschiffahrt aufgrund von Niedrigwasser nur eingeschränkt möglich war. Da Main und Main-Donau-Kanal staugeregelt sind, spielt Niedrigwasser für die Schifffahrt hier keine Rolle.

Die Tage mit Schifffahrtssperrungen auf der Donau (siehe Abb. 32) aufgrund von Hochwasser zeigen für den Zeitraum 1978 bis 2020 keinen eindeutigen Trend. Die Werte schwanken deutlich zwischen den Jahren. Die meisten Sperrungen wegen Hochwasser (30 Tage) traten 1988 auf. Die Anzahl an Tagen mit Sperrungen aufgrund von Eisgang nahmen in den letzten Jahren ab. Während zu Beginn der Messreihe nahezu jährlich Sperrungen wegen Eisgang vorkamen, traten diese seit den 90er-Jahren weniger häufig und nur etwa alle vier bis fünf Jahre auf. Tage mit Sperrungen wegen Niedrigwasser zeigen im Zeitraum 2000 bis 2020 zwar eine deutlich zunehmende Tendenz. Aufgrund der relativ kurzen Zeitreihe kann allerdings noch kein Trend abgeleitet werden.

Die Tage mit Schifffahrtssperrungen auf dem Main (siehe Abb. 33) zeigen ebenfalls keinen eindeutigen Trend und liegen erst seit 1995 vor. Die meisten Schifffahrtssperrungen (41 Tage) traten im Hochwasserjahr 2002 auf. Sperrungen aufgrund von Eisgang zeigen eine abnehmende Tendenz. Das letzte Mal musste der Main 2012 wegen Eisgang gesperrt werden.

Die Tage mit Schifffahrtssperrungen auf dem Main-Donau-Kanal (siehe Abb. 34) aufgrund von Hochwasser zeigen keine eindeutige Tendenz. Sperrungen aufgrund von Eisgang sind etwas zurückgegangen. Die letzten Sperrungen wegen Eisgang fanden 2012 und 2017 mit jeweils 23 Tagen statt.

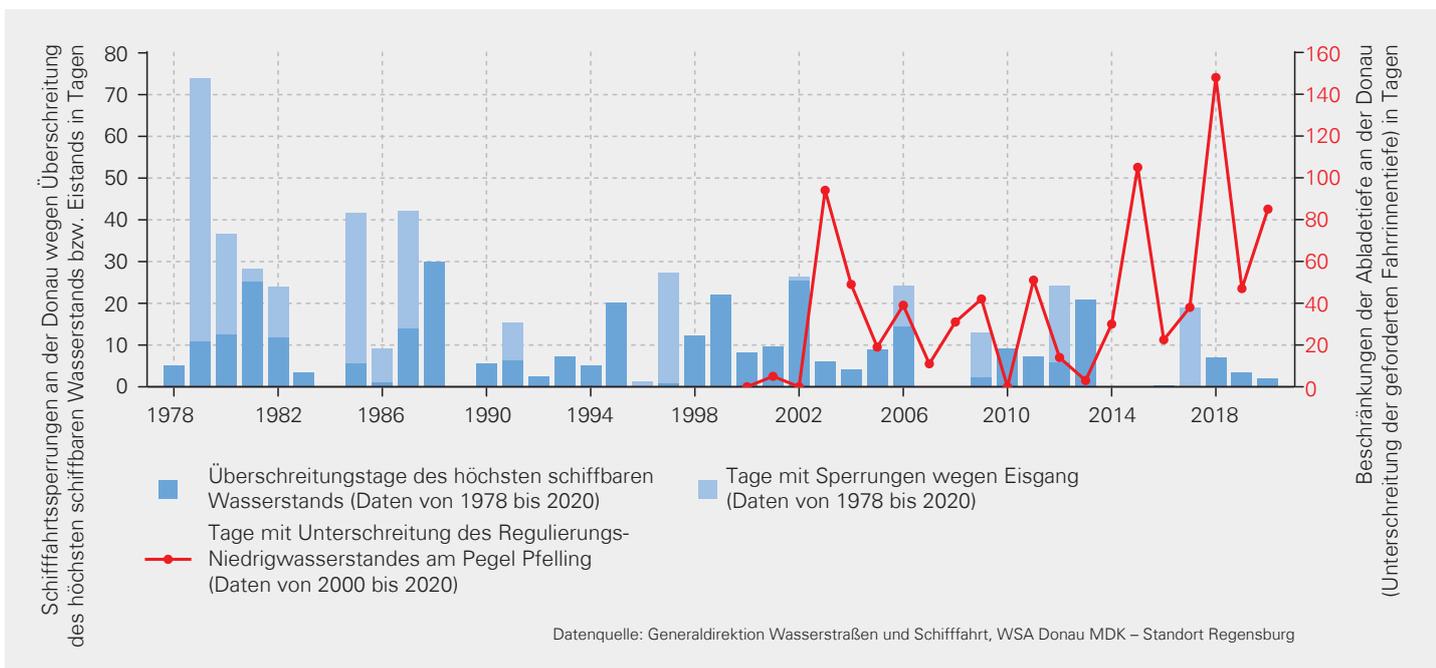


Abb. 32: I-VE-1 Schiffbarkeit der Binnenschifffahrtsstraßen, Indikator I: Schiffbarkeit der Donau von 1978 bis 2020, Tage mit Sperrungen wegen Eisgang, Überschreitung des höchsten schiffbaren Wasserstandes sowie Unterschreitung des **→ Niedrigwasserstandes**

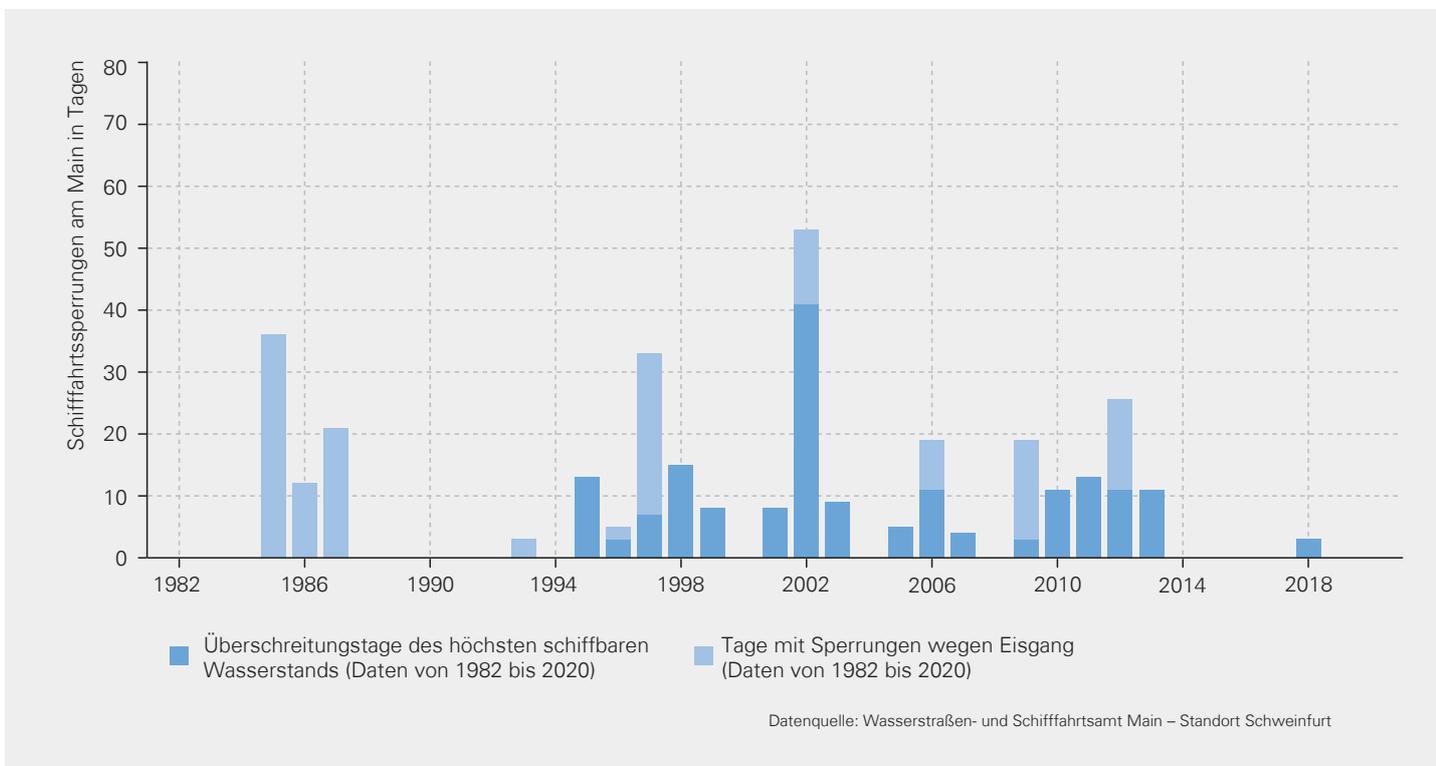


Abb. 33: I-VE-1 Schiffbarkeit der Binnenschifffahrtsstraßen, Indikator II: Schiffbarkeit des Main von 1982 bis 2020, Tage mit Sperrungen wegen Eisgang sowie Überschreitung des höchsten schiffbaren Wasserstandes

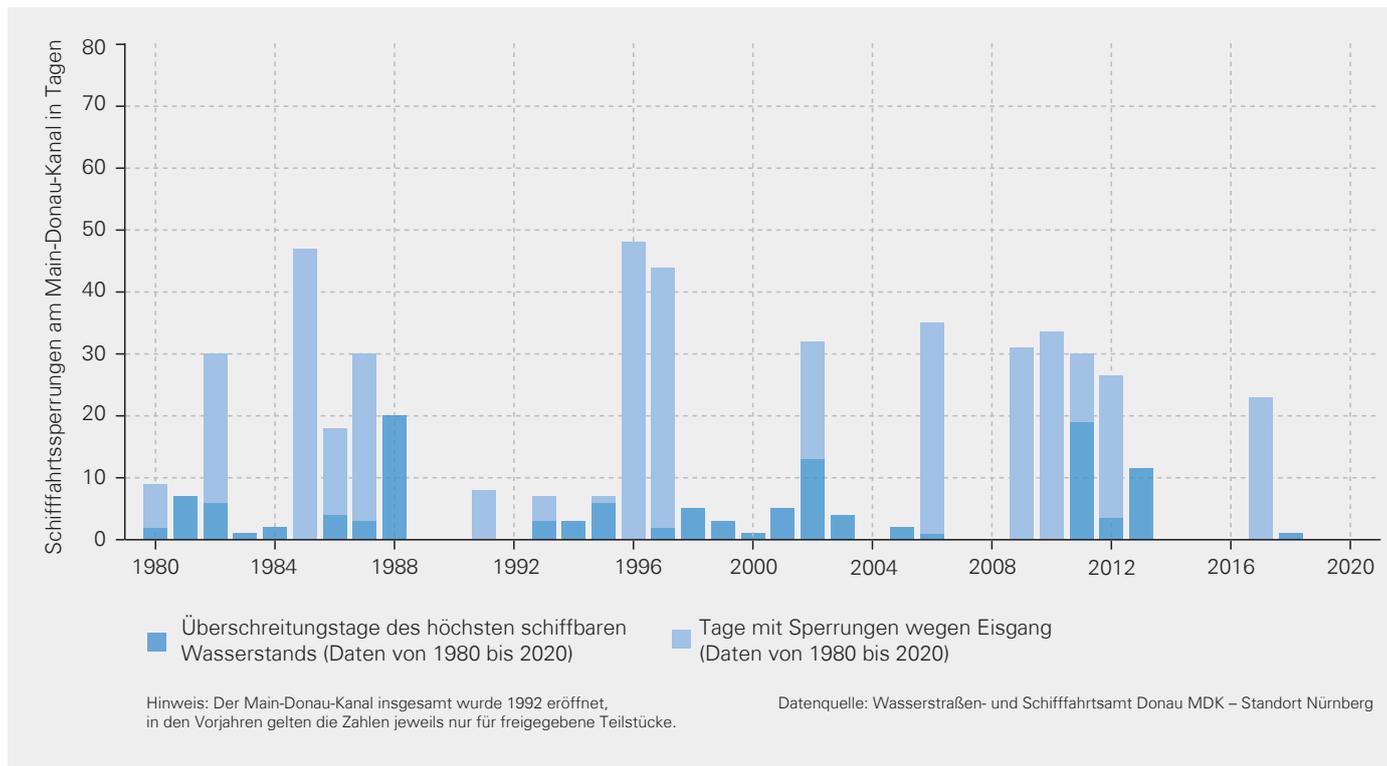


Abb. 34: I-VE-1 Schiffbarkeit der Binnenschiffahrtsstraßen, Indikator III: Schiffbarkeit des Main-Donau-Kanal von 1980 bis 2020, Tage mit Sperrungen wegen Eisgang sowie Überschreitung des höchsten schiffbaren Wasserstandes

Schnittstellen/Verweise zu anderen Indikatoren im Bericht:

I-WW-1 Grundwasserbildung

I-WW-2 Trockenheitsindex

I-VE-2 Wetter- und witterungsbedingte Straßenverkehrsunfälle

Maßnahmen der BayKLAS:

Förderung von Forschungsprojekten zu Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt; Materialforschung für Fahrzeuge und Straßenbeläge (VI_08)

Maßnahmen des Klimaschutzprogramms:

2.15 Niedrigwassermanagement



I-VE-2 Wetter- und witterungsbedingte Straßenverkehrsunfälle

Wetter- und witterungsbedingte Straßenverkehrsunfälle durch Schnee- und Eisglätte leicht rückläufig



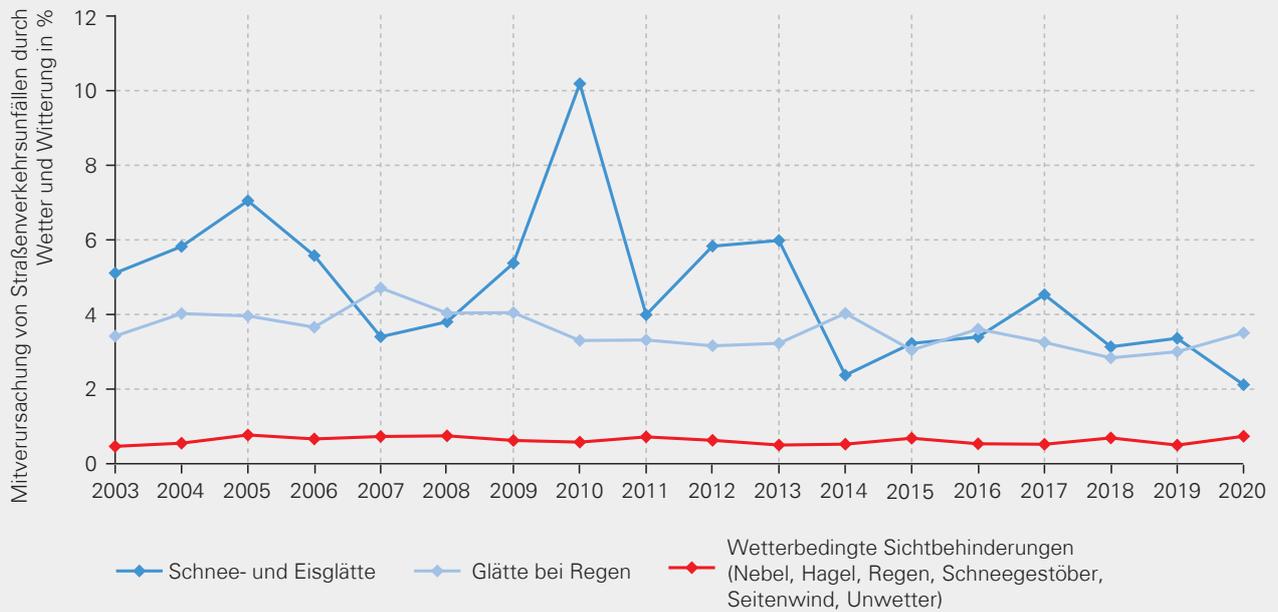
Für die Verkehrssicherheit auf den Straßen werden verschiedene und teilweise gegenläufige Auswirkungen des Klimawandels erwartet. Zum einen können Materialschäden und Verformungen wie Spurrillen durch den häufigen Wechsel zwischen Frost- und Auftauperioden in Verbindung mit hohen Verkehrsbelastungen entstehen und die Unfallgefahr erhöhen. In den Sommermonaten kann unter Hitzestress das Risiko von Herz-Kreislauf-Problemen steigen und die Konzentrationsfähigkeit der Menschen im Straßenverkehr sinken. Die Unfallgefahr kann sich dadurch ebenfalls erhöhen (Bayerische Staatsregierung 2016). Für die Wintermonate wird hingegen in Zukunft eher mit einer abnehmenden Glättegefahr und in der Folge auch mit abnehmenden Unfallzahlen gerechnet (Bayerische Staatsregierung 2016).

Um diese Sachverhalte mit kontinuierlich erhobenen Daten zu beschreiben, kann die Statistik der Straßenverkehrsunfälle herangezogen werden. Dort werden die Unfälle registriert, bei denen infolge des Fahrverkehrs auf öffentlichen Wegen und Plätzen Personen getötet oder verletzt oder Sachschäden verursacht wurden. →**Unfälle mit Personenschaden** werden ebenso wie →**schwerwiegende Unfälle mit Sachschaden** hinsichtlich ihrer Ursachen erfasst. Die Einstufung der Mitverursachung der Witterungseinflüsse erfolgt durch die den Unfall aufnehmenden Polizeibeamten. Als wetter- und witterungsbedingte Ursachen zählen dabei veränderte Straßenverhältnisse wie Glätte oder Schlüpfrigkeit der Fahrbahn wegen Schnee und Eis beziehungsweise wegen Regen sowie Witterungseinflüsse wie Sichtbehinderung durch Nebel, starken Regen, Hagel, Schneegestöber, Seitenwind oder Unwetter. Eine Erfassung von Hitze

oder sommerlichen Temperaturen unter den allgemeinen Unfallursachen bei Straßenverkehrsunfällen mit Personenschäden findet bislang nicht statt. Die thermische Belastung wird somit nicht in der Statistik aufgeführt.

Der Indikator I-VE-2 Wetter- und witterungsbedingte Straßenverkehrsunfälle (siehe Abb. 35) zeigt den Anteil →**schwerwiegender Straßenverkehrsunfälle** mit einer Mitverursachung durch Wetter und Witterung. Im Gegensatz zu einer Darstellung der Unfallhäufigkeit in absoluten Zahlen lassen sich so die relative Bedeutung einzelner Einflussfaktoren und dadurch ein möglicher Handlungsbedarf leichter erkennen. Der Indikator bildet nur teilweise die in der BayKLAS (Bayerische Staatsregierung 2016) genannten Unfallursachen ab. Nicht dargestellt werden Unfälle infolge von Hitze sowie infolge von witterungsbedingten Straßenschäden. Insbesondere für die beiden Ursachen Schnee- und Eisglätte sowie Glätte bei Regen reagiert der Indikator jedoch direkt auf das Wetter- und Witterungsgeschehen des jeweiligen Jahres.

Der Anteil der Verkehrsunfälle bei Schnee- und Eisglätte ist in den letzten Jahren vor allem aufgrund der milden Winter leicht rückläufig. In den Jahren 2005 und 2010 kam es insbesondere im Dezember wegen Schnee- und Eisglätte zu sehr vielen Verkehrsunfällen. Dagegen ist der Anteil der Verkehrsunfälle wegen Glätte bei Regen trotz leichter Schwankungen im langjährigen Vergleich insgesamt nahezu unverändert. Der Anteil der Verkehrsunfälle durch witterungsbedingte Sichtbehinderungen ist trotz leichter Schwankungen insgesamt gering und liegt durchgängig unter einem Prozent.



Datenquelle: Bayerisches Landesamt für Statistik

Abb. 35: I-VE-2 Wetter- und witterungsbedingte Straßenverkehrsunfälle: Schwerwiegende Straßenverkehrsunfälle mit einer Mitverursachung durch Wetter und Witterung im Zeitraum von 2003 bis 2020

Schnittstellen zu anderen Indikatoren im Bericht:

I-KS-1 Wetter- und witterungsbedingte Katastrophenfälle

I-VE-1 Schiffbarkeit der Binnenschiffahrtsstraßen

I-EW-2 Wetterbedingte Unterbrechungen der Stromversorgung

Maßnahmen der BayKLAS:

Geschwindigkeitsbegrenzungen und Brücken- sowie Tunnel(teil)sperrungen zu witterungsbedingten Gefahrenzeiten, als Vorsorge bei u. a. Starkniederschlag und Sturm (z. B. 80 km/h auf windbruchgefährdeten Strecken) (VS_03)

Installation von Windschutzeinrichtungen an windexponierten Talbrücken (VS_04)



4.9 | Wirtschaft und Energie

Die Auswirkungen des Klimawandels auf die bayerische Wirtschaft sind vielfältig. Einerseits verursacht der Klimawandel eine Reihe neuer Geschäftsrisiken wie betriebliche Auswirkungen extremer Wetterereignisse oder durch Wasserknappheit verursachte Versorgungsengpässe. Dadurch können Geschäftsabläufe gestört werden, Sachschäden entstehen sowie Lieferketten und Infrastruktur unterbrochen werden, was zu höheren Wartungs- und Materialkosten sowie zu Preissteigerungen führen kann. Neben diesen physischen Risiken sind Unternehmen überdies Übergangsrisiken ausgesetzt, die sich aus der Reaktion der Gesellschaft auf den Klimawandel ergeben wie Veränderungen bei Technologien, Märkten und Vorschriften, die die Geschäftskosten erhöhen, die Rentabilität bestehender Produkte oder Dienstleistungen infrage stellen oder den Wert von Vermögensgegenständen beeinflussen können (Agrawala et al. 2011).

Der Klimawandel bietet aber auch wirtschaftliche Chancen. Unternehmen können z. B. durch eine Steigerung der Energieeffizienz versuchen, ihre Ressourcenproduktivität zu verbessern und dadurch ihre Kosten senken. Es können neue Geschäftsmöglichkeiten für Produkte und Dienstleistungen entstehen, die weniger kohlenstoffintensiv sind. Durch Innovation und Schaffung von Arbeitsplätzen kann Wohlstand gefördert und so die Resilienz der Unternehmen gestärkt werden. Darüber hinaus können Unternehmen im Rahmen der Klimaanpassung beispielsweise die Abhängigkeit von preisschwankenden fossilen Brennstoffen durch die Umstellung auf erneuerbare Energien verringern.

Auch für die Energiewirtschaft bestehen bereits jetzt Klimarisiken, die mit fortschreitendem Klimawandel weiter zunehmen werden. Intensivere und häufigere Hitzewellen werden die Muster von Energieangebot und -nachfrage verschieben, oft in entgegengesetzte Richtung. Der weitere Temperaturan-

stieg und damit verbundene Dürreperioden können die Verfügbarkeit von Kühlwasser für die thermische Stromerzeugung im Sommer einschränken – was das Energieangebot senkt – während die Nachfrage nach Klimaanlagen steigen wird. Darüber hinaus werden intensivere und häufigere Extremwetterereignisse die Infrastruktur gefährden, insbesondere Überlandleitungen und Verteilung, aber auch Umspannwerke oder Transformatoren (Urban und Mitchell 2011).

Technische Anpassungsmaßnahmen setzen auf schützende Infrastrukturen, um Schäden und Funktionsverluste zu vermeiden, die durch klimabedingte Extremereignisse verursacht werden können. Gezielte Sanierungsmaßnahmen können dazu beitragen, die Robustheit schwächerer Elemente der Energieanlagen zu erhöhen. Darüber hinaus können angepasste Konstruktionsstandards die Widerstandsfähigkeit neuer Infrastrukturen steigern. Durch weiche Maßnahmen wie dem Einsatz verbesserter meteorologischer Vorhersageinstrumente oder einer besseren Kommunikation mit den Wetterdiensten können Klimagefahren angekündigt und so eine rechtzeitige Anpassung ermöglicht werden. Änderungen im Betrieb und in der Instandhaltung der bestehenden Infrastruktur, z. B. Maßnahmen zur Anpassung des Wasserkraftbetriebs an veränderte Abflussmuster der Flüsse, können ebenfalls die Resilienz der Energiewirtschaft erhöhen (Gaudard et al. 2013).

Grundsätzlich spielt der Grad der Diversifizierung eines Energiesystems eine zentrale Rolle hinsichtlich seiner Widerstandsfähigkeit gegenüber Klimafolgen. Die Verfügbarkeit alternativer Mittel zur Energieerzeugung kann die Anfälligkeit des gesamten Energiesektors für bestimmte Klimaauswirkungen verringern. Maßnahmen zur Energie- und Wassereinsparung und zur Nachfragesteuerung sind eine kosteneffiziente Lösung sowohl für Klimaschutz wie auch Klimaanpassung.

I-EW-1 Heiz- und Kühlgradtage

Abnahme von Heiz- und Zunahme von Kühlgradtagen



Der Klimawandel beeinflusst sowohl den Bedarf an Heizenergie als auch den an Kühlenergie. Höhere Temperaturen in den Sommermonaten führen zu einem höheren Kühlenergiebedarf, sofern die Innenraumtemperaturen nicht durch Dämmung oder andere passive Maßnahmen reguliert werden können. In Deutschland ist diese Reaktion in heißen Sommern zu beobachten, wenn der Verkauf mobiler Klimaanlage zur aktiven Kühlung von Wohnungen und Häusern außergewöhnlich stark ansteigt. Der Einsatz dieser Geräte in einer Vielzahl von Gebäuden resultiert in einem erhöhten Strombedarf.

In den Wintermonaten ist eine gegenläufige Entwicklung zu erwarten. Zukünftig zunehmende Wintertemperaturen können dazu führen, dass der Heizenergiebedarf für die Erzeugung von Raumwärme zurückgeht.

Daten, die den Heiz- und den Kühlenergieverbrauch direkt beschreiben, sind nicht in ausreichendem Umfang verfügbar. Daher wird der Bedarf an Gebäudeheizung und -kühlung über die Heiz- und Kühlgradtage beschrieben. Sie beruhen auf einer Heiz- beziehungsweise Kühlgrenztemperatur – die Außentemperatur, von der angenommen wird, dass ab ihr geheizt oder gekühlt wird. Ein Heizgradtag ist hier definiert als ein Tag, an dem der Tagesmittelwert der Außentemperatur den Schwellenwert von 15 °C unterschreitet. Als Kühlgrenztemperatur ist eine Tagesdurchschnittstemperatur von 18,3 °C üblich.



Der Indikator I-EW-1 Heizgradtage zeigt für alle sieben Klimaregionen Bayerns einen abnehmenden Trend (siehe Abb. 36). Entsprechend den geographischen Gegebenheiten bestehen allerdings Unterschiede hinsichtlich der Höhe der Heizgradtage. Die meisten Heizgradtage traten demnach in der Klimaregion Alpen, die wenigsten in der Klimaregion Mainregion auf. Da die Heizgradtage eine rechnerische Größe darstellen, lassen sich keine direkten Schlüsse zu dem tatsächlichen Heizbedarf ziehen. Dennoch kann der Indikator auf einen sinkenden Bedarf an Heizenergie für Gebäude hinweisen.

Dem gegenüber zeigt der Indikator I-EW-1 Kühlgradtage für alle sieben Klimaregionen Bayerns eine Zunahme (siehe Abb. 37). Die meisten Kühlgradtage traten in den Klimaregionen Mainregion und Donauregion, die wenigsten in der Klimaregion Alpen auf. Auch für die Kühlgradtage gilt, dass keine direkten Schlüsse auf den tatsächlichen Kühlbedarf gezogen werden können. Dennoch kann der Indikator auf einen steigenden Bedarf für die Gebäudekühlung hinweisen.

Bei der Interpretation des Indikators ist zu beachten, dass in Bayern weitaus mehr Energie für das Heizen als für das Kühlen von Gebäuden verbraucht wird. Private Wohngebäude benötigen bei einem guten baulichen Sonnenschutz in der Regel keine Klimaanlage.

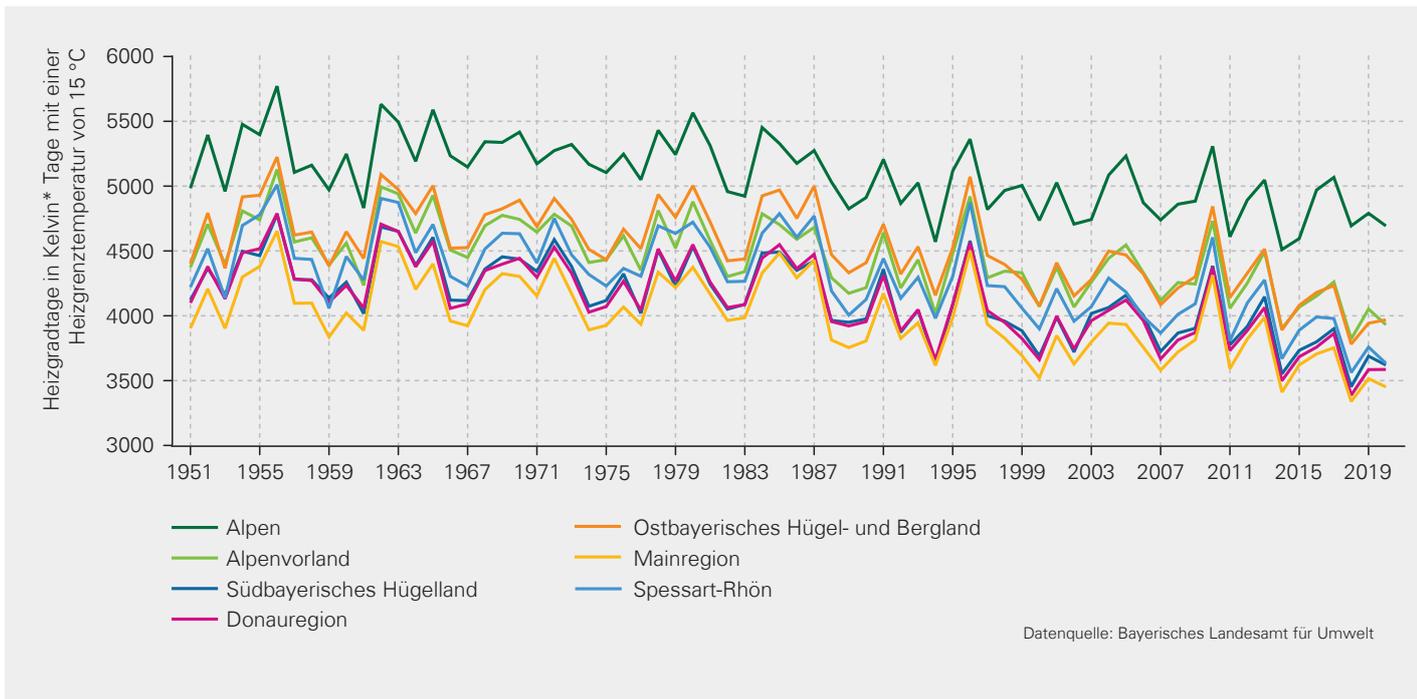


Abb. 36: I-EW-1 Heiz- und Kühlgradtage, Indikator I: Heizgradtage (→ Heizgrenztemperatur von 15 °C) in den sieben bayerischen Klimaregionen im Zeitraum 1951 bis 2020

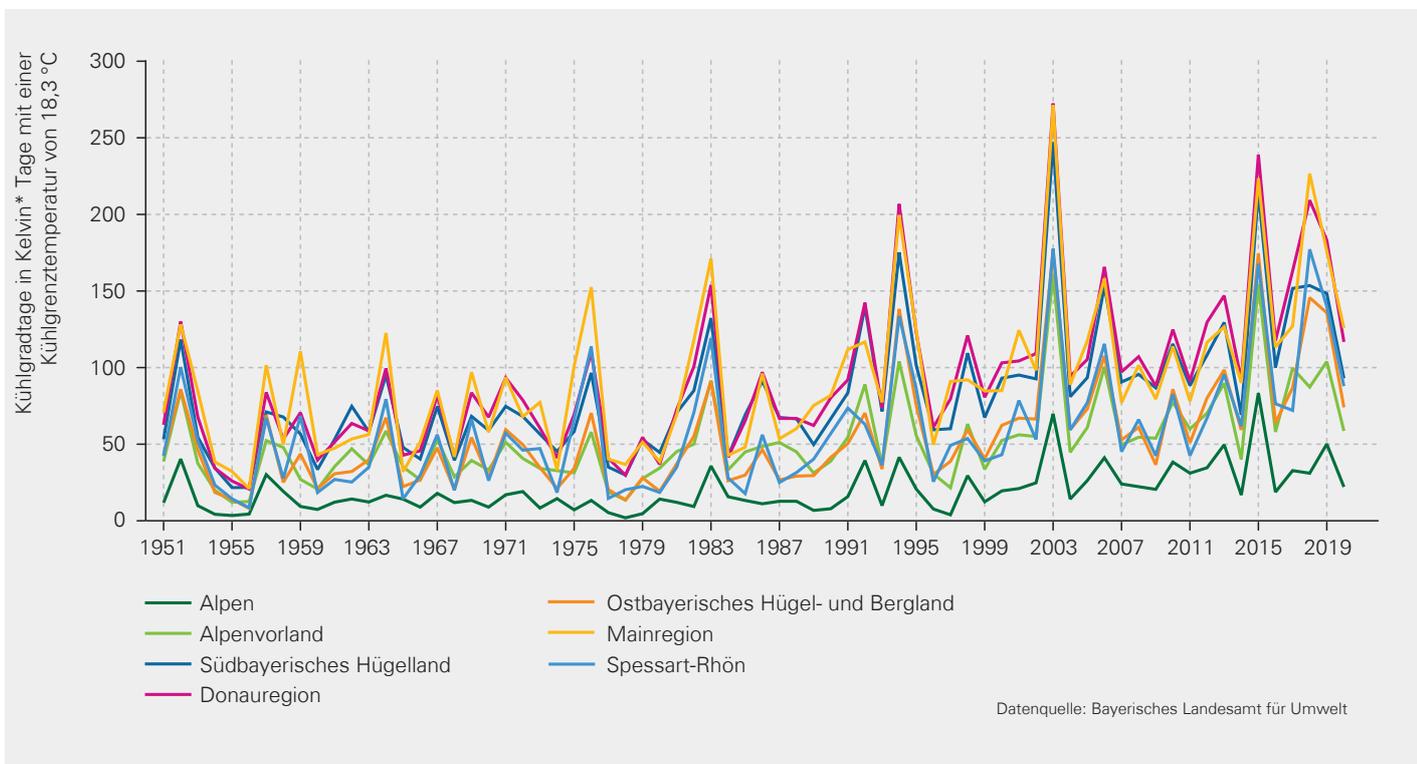


Abb. 37: I-EW-1 Heiz- und Kühlgradtage, Indikator II: Kühlgradtage (Kühlgrenztemperatur von 18,3 °C) in den sieben bayerischen Klimaregionen im Zeitraum 1951 bis 2020

Schnittstellen zu anderen Indikatoren im Bericht:

I-GE-1 Hitzebelastung

I-SB-1 Wärmeinseleffekt

I-EW-2 Wetterbedingte Unterbrechungen der Stromversorgung

Maßnahmen der BayKLAS:

Entwicklung von Smart-Grids (intelligente Stromnetze); durch optimiertes Management von Energieerzeugung, Energiespeicherung, Energieverbrauch und dem Stromnetz selbst können Angebot und Nachfrage synchronisiert werden (EW_11)

Maßnahmen des Klimaschutzprogramms:

1.17 Modifizierung und Erhöhung des Sonderprogramms „Energetische Sanierung staatlicher Gebäude“

1.18 Energiestandards staatlicher Gebäude

1.35 Energetische Sanierungsmaßnahmen im Geschäftsbereich des StMAS

3.6 Maßnahmen zum Klimaschutz im Rahmen der Städtebauförderung

3.13 Begrünung der Flachdächer des StMAS mit einer Fläche von ca. 3.240 m²

3.14 Klimaschutz durch Dorferneuerung und Gemeindeentwicklung

3.16 Klimafassade bei staatlichen Neubauten



I-EW-2 Wetterbedingte Unterbrechungen der Stromversorgung

Leichter Rückgang wetterbedingter Unterbrechungen der Stromversorgung dank zunehmender Robustheit der Stromnetze



Für die Zukunft wird eine Zunahme von Extremwetterereignissen wie Stürme, Eislasten und Blitzschlag erwartet, die zu einer erhöhten Gefährdung von Leitungsnetzen und damit zu einer Gefährdung der Elektrizitätsübertragung und -verteilung führen kann. Insbesondere oberirdische Stromnetze können dabei gehäuft von [→Versorgungsunterbrechungen](#) betroffen sein.

Der Indikator I-EW-2 Wetterbedingte Unterbrechungen der Stromversorgung (siehe Abb. 38) zeigt die Entwicklung der Unterbrechungshäufigkeit der Stromversorgung durch Wetterereignisse als Anteil an allen ungeplanten Unterbrechungen. Damit reagiert er sowohl auf eine Zunahme von Extremereignissen als auch auf die Ergreifung von Maßnahmen für eine Erhöhung der Versorgungszuverlässigkeit. Der Indikator ist auf das Nieder- und Mittelspannungsnetz bezogen. Die Daten zur Häufigkeit der Unterbrechungen liegen dabei mit unterschiedlichen Bezugsgrößen vor, in der Mittelspannung je installierter [→Scheinleistung](#), in der Niederspannung je angeschlossenem Kunden.

Für den Indikator werden Daten der Bundesnetzagentur (BNetzA) zu den Unterbrechungen der Stromversorgung verwendet. Die BNetzA wertet dazu die von den Versorgungsnetzbetreibern übermittelten Meldungen von Unterbrechungen größer drei Minuten aus und kategorisiert diese. Unter wetterbedingt werden im Indikator die Schadenskategorien „Höhere Gewalt und Atmosphärische Einwirkungen“ zusam-

mengefasst. Höhere Gewalt umfasst z. B. Terrorismus (bisher noch nie gemeldet), Erdbeben, schwere Stürme, Abschaltung auf Anordnung von Behörden zum Schutz der öffentlichen Sicherheit etc. Atmosphärische Einwirkungen beinhalten Wind und Sturm bis Windstärke 9, Hochwasser, Schneeschmelze, Hagel, Regen, Gewitter, Schnee, Eis oder Eisregen, Raureif, Nebel oder Betauung sowie Kälte oder Hitze (BNetzA 2020).

Im zeitlichen Verlauf ist ein Rückgang des wetterbedingten Anteils an den ungeplanten Unterbrechungen zu beobachten (siehe Abb. 38). Das gilt für die Nieder- und die Mittelspannungsebene gleichermaßen. Der Indikator zeigt insofern eine zunehmende Robustheit der Nieder- und Mittelspannungsnetze gegenüber wetterbedingten Einwirkungen. Beeinflusst wird dies insbesondere durch einen zunehmenden Anteil an Erdverkabelung in diesen Spannungsebenen sowie durch das jeweilige Vorgehen der Netzbetreiber im Schadensfall. Der seit 2018 ansteigende wetterbedingte Anteil der ungeplanten Unterbrechungen der Stromversorgung in der Mittelspannungsebene geht darauf zurück, dass die absoluten wetterbedingten Unterbrechungen der Stromversorgung stagnieren während die Summe aller Kundenunterbrechungen sinkt.

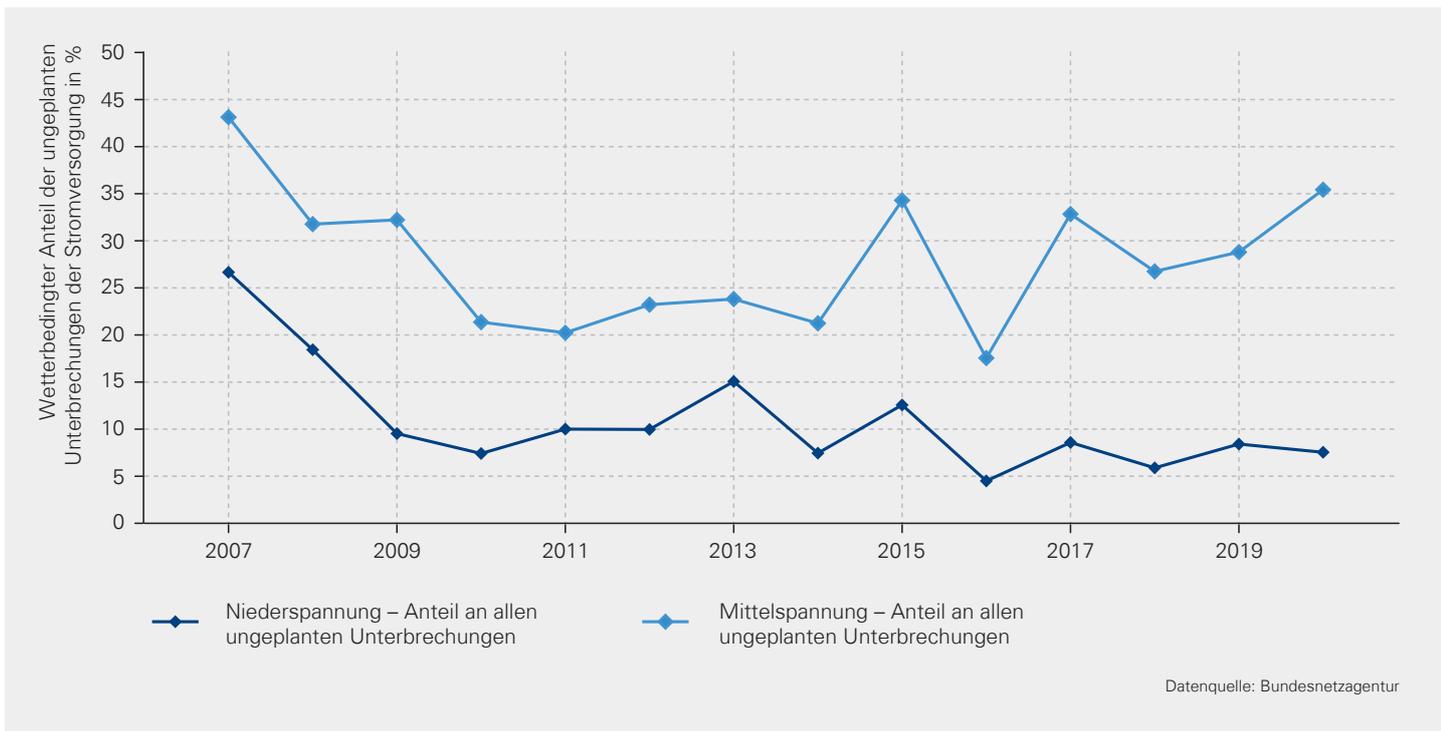


Abb. 38: I-EW-2 Wetterbedingte Unterbrechungen der Stromversorgung: Anteil an allen ungeplanten Unterbrechungen im Zeitraum von 2007 bis 2020

Schnittstellen/Verweise zu anderen Indikatoren im Bericht:

I-KS-1 Wetter- und witterungsbedingte Katastrophenfälle

I-VE-1 Schiffbarkeit der Binnenschiffahrtsstraßen

I-VE-2 Wetter- und Witterungsbedingte Straßenverkehrsunfälle

I-EW-1 Heiz- und Kühlgradtage

Maßnahmen der BayKLAS:

Vielfältige dezentrale Energieerzeugung, um Risiken bei der Verteilung zu vermindern (EW_02)

Ausreichende Redundanzen in der Energieerzeugung (Erzeugung und Netze), um klimabedingte Leistungsausfälle oder Lastspitzen kompensieren zu können (EW_03)

Schutz der Anlagen vor Extremereignissen z. B. durch eine hochwassersichere Ausrüstung und Gestaltung des Abwassernetzes (EW_08)

Maßnahmen des Klimaschutzprogramms:

1.5 Stärkung der dezentralen PV- und Windstromerzeugung und der Solarthermie

R-IG-1 Wasseraufkommen und -intensität

Wasserverbrauch in Papiergewerbe und chemischer Industrie nehmen ab



Im Zusammenhang mit dem Klimawandel wird erwartet, dass Trocken- und Hitzephasen häufiger, intensiver und länger auftreten können. In Zukunft bleiben die Jahresniederschlagssummen in Bayern zwar wahrscheinlich konstant. Allerdings bedeutet dies aufgrund steigender Temperaturen und somit einer erhöhten Verdunstung trotzdem eine Zunahme der Trockenheit. Gleichzeitig muss in Bayern davon ausgegangen werden, dass durch den Klimawandel die Häufigkeit und Intensität von (lokalen) Starkregenereignissen zunimmt. Bei gleichbleibenden Niederschlagssummen dürfte dies zu längeren Trockenperioden führen (StMUV 2021).

Die Temperaturen in Oberflächengewässern können langfristig in den Sommermonaten zu- und die Abflussmengen von Fließgewässern sowie die Grundwasserverfügbarkeit abnehmen (siehe auch I-WW-1 und I-WW-2). Der Klimawandel kann daher die Wasserverfügbarkeit für Unternehmen auf verschiedene Weise beeinflussen: In Regionen, in denen weniger Wasser zur Verfügung steht, kann die Konkurrenz unterschiedlicher Wassernutzungen zunehmen, wobei ein wirklicher Wassermangel nicht erwartet wird. In heißen Sommern können die Verfügbarkeit von Kühlwasser und das Recht, gebrauchtes und dadurch erwärmtes Kühlwasser in Gewässer einzuleiten, im Sinne des Gewässerschutzes eingeschränkt werden. Darüber hinaus kann die Wasserqualität beeinflusst werden, wenn z. B. aufgrund höherer Temperaturen mehr Wasser verdunstet und die im Wasser gelösten Stoffe daher in höherer Konzentration auftreten oder wenn Wärme das Wachstum von Organismen im Wasser fördert. Dies ist besonders für Industriezweige relevant, die auf hohe Wasserqualitäten angewiesen sind wie die pharmazeutische Industrie oder das Ernährungsgewerbe.

Angesichts dieser Einschränkungen können Industrieprozesse unter anderem dann als

angepasst an mögliche Klimawandelfolgen angesehen werden, wenn sie möglichst unabhängig von der Ressource Wasser sind: Sie kommen mit einem möglichst geringen Einsatz von Wasser als Roh- oder Betriebsstoff aus und nutzen das entnommene oder bezogene Wasser möglichst effizient. Ein abnehmender Wassereinsatz sowie eine Verringerung der Wasserintensität können daher ein Hinweis auf eine zunehmende Anpassung an den Klimawandel sein.

Der Indikator R-IG-1 Wasseraufkommen und Wasserintensität (siehe Abb. 39) zeigt im dreijährlichen Zyklus das Wasseraufkommen und die Wasserintensität zweier Wirtschaftszweige mit verhältnismäßig hohem Wasserverbrauch: das Papiergewerbe und die chemische Industrie. Im Jahr 2019 waren dem Papiergewerbe in Bayern 5,0 Prozent des Wasseraufkommens der nichtöffentlichen Wasserversorgung zuzuordnen, auf die chemische und pharmazeutische Industrie Bayerns entfielen 20,9 Prozent des Wasseraufkommens der nichtöffentlichen Wasserversorgung. Zusätzlich zum Wasseraufkommen wird auch die Wasserintensität abgebildet, die das Wasseraufkommen ins Verhältnis zur Bruttowertschöpfung setzt. Dadurch wird die Effizienz der Wassernutzung dokumentiert: Bei einer Verringerung der Produktion wäre auch das Wasseraufkommen rückläufig. Dies kann jedoch nicht als Anpassung gewertet werden. Eine Anpassung findet nur dann statt, wenn das Wasseraufkommen trotz gleichbleibender oder steigender Produktion sinkt beziehungsweise der Wasserverbrauch weniger stark ansteigt als die Bruttowertschöpfung.

Das Papiergewerbe weist im Zeitverlauf einen Rückgang des absoluten Wasseraufkommens von 136 Millionen m³ im Jahr 2010 auf 103 Millionen m³ im Jahr 2019 auf (–24,3 Prozent), bei einem Anstieg der Bruttowertschöpfung um 48,0 Prozent

(2010 bis 2019). Die Wasserintensität hat sich demnach im Zeitverlauf um 48,9 Prozent deutlich verringert, von 100,13 m³ pro Tausend Euro im Jahr 2010 auf 51,21 m³ pro Tausend Euro im Jahr 2019. Das absolute Wasseraufkommen der chemischen und pharmazeutischen Industrie hat sich im Vergleichszeitraum nur geringfügig verändert, von 426 m³ in 2010 auf 430 m³ in 2019. Die Bruttowertschöpfung konnte zwischen 2010

und 2019 um 28,7 Prozent gesteigert werden. Dies resultiert in einem Rückgang der Wasserintensität von 65,18 m³ pro Tausend Euro in 2010 auf 51,16 m³ pro Tausend Euro in 2019 (-21,5 Prozent). Der Indikator (siehe Abb. 39) zeigt damit die hohe Anpassungsfähigkeit sowohl des Papiergewerbes als auch der chemischen und pharmazeutischen Industrie.

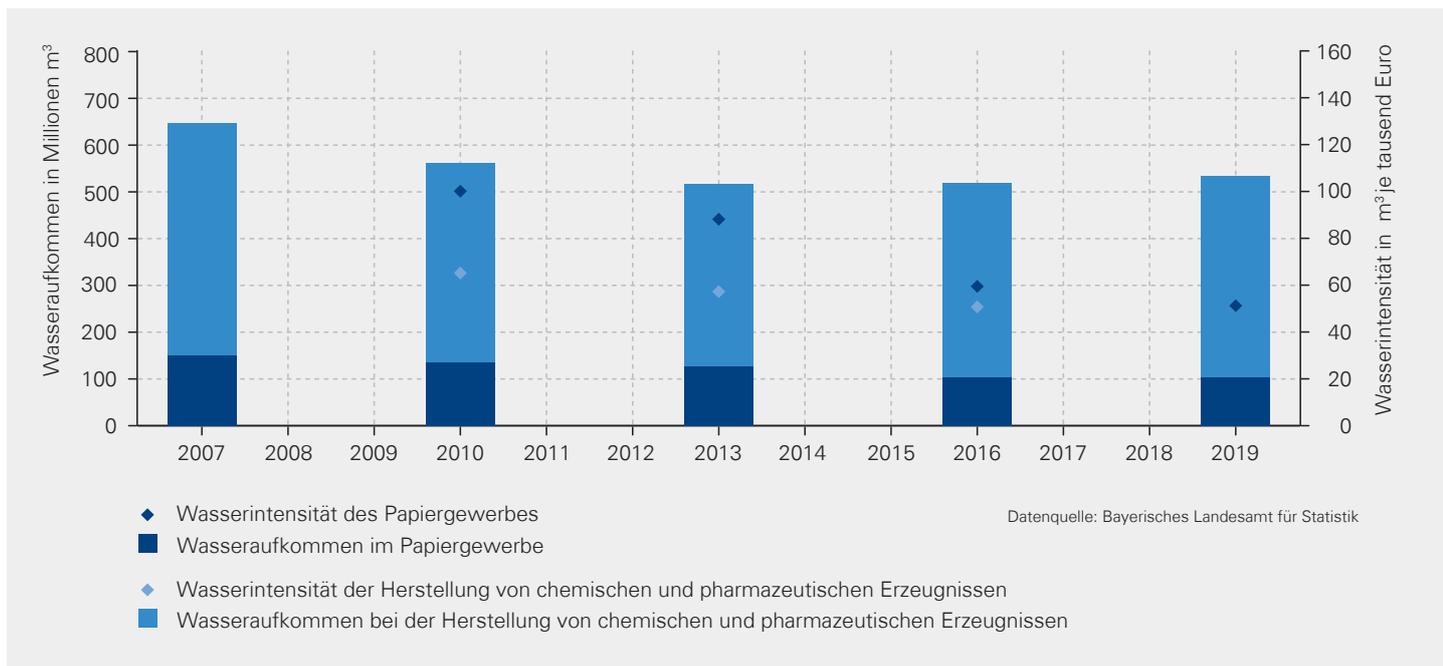


Abb. 39: R-IG-1 Wasseraufkommen und -intensität: Wasseraufkommen (Daten ab 2007) und -intensität (Daten ab 2010) des Papiergewerbes und der chemischen und pharmazeutischen Industrie im Zeitraum von 2007 bis 2019 (Die Wasserintensität in beiden Wirtschaftszweigen liegt im Jahr 2019 bei 51 m³/Tausend Euro, sodass der Marker für die Wasserintensität der Herstellung von chemischen und pharmazeutischen Erzeugnissen von dem Marker für die Wasserintensität des Papiergewerbes überlagert wird.)

Schnittstellen/Verweise zu anderen Indikatoren im Bericht:

I-WW-1 Grundwasserneubildung

I-WW-2 Trockenheitsindex

I-EW-2 Wetterbedingte Unterbrechungen der Stromversorgung

Maßnahmen der BayKLAS:

Unterstützung der Anpassung von Technologien und Produkten an veränderte Bedingungen bzgl.

Strahlung, Wasser, Luft, Temperatur z. B. Auslegung Kühlsysteme, Speicher, Zuluft-Filter, UV-Resistenz etc. (IG_01)

Durchführung ressourcenschonender Produktionsweisen durch Kreislaufwirtschaft wie z. B. Minimierung des Wasser- und Stromverbrauchs oder der Regenwassernutzung (IG_06)

Anpassen der Kühlsysteme für den Betrieb von Industrieanlagen und weitestgehend Verzicht auf Kühlwasser, sofern bei medienübergreifender Betrachtung günstigere Alternativen zur Verfügung stehen (IG_10)



4.10| Versicherungswirtschaft

Die zunehmende Häufigkeit und Intensität extremer Wetterereignisse wie Dürren, Starkregen, Hochwasser und Stürme stellen eine erhebliche Bedrohung für Gesellschaften und natürliche Systeme dar. Häufigere Naturkatastrophen beschädigen oder zerstören Privateigentum, Unternehmen und öffentliche Infrastruktur. Europaweit sind die wetter- und klimabedingten Schäden in den letzten 30 Jahren deutlich angestiegen. Zwischen 1980 und 2019 machten wetter- und klimabedingte Extreme rund 81 Prozent der gesamten durch Naturgefahren verursachten wirtschaftlichen Schäden in den europäischen Mitgliedsländern aus und beliefen sich auf 446 Milliarden Euro. Die höchsten wirtschaftlichen Verluste im Zeitraum 1980 bis 2019 wurden dabei in Deutschland verzeichnet, gefolgt von Italien und Frankreich (EEA 2020).

Versicherungen können dabei als wichtiges Instrument dienen, sich von klimabedingten finanziellen Schäden zu erholen sowie die finanziellen Belastungen von Klimafolgen zu verringern beziehungsweise im Sinne einer präventiven Vorsorge, die sich wiederum positiv auf die Beitragsgestaltung auswirken, die Widerstandsfähigkeit gegenüber extre-

men Wetterereignissen zu fördern. Durch die Übertragung von →Katastrophenrisiken sorgen Versicherungen für den Kapitalfluss, der Gemeinschaften und Infrastrukturen bei der Erholung von Katastrophen unterstützen kann. Ohne eine angemessene Versicherung fällt die Last der Schadensbegleichung größtenteils auf einzelne Bürgerinnen und Bürger, Regierungen oder Hilfsorganisationen.

Darüber hinaus können Versicherungen zu einem breiteren Verständnis der Risiken des Klimawandels beitragen und Maßnahmen fördern, die die Resilienz von Einzelpersonen und Gemeinschaften erhöhen. So kann beispielsweise das Fachwissen der Versicherungen hinzugezogen werden, um das Risiko bestehender oder geplanter Bauvorhaben zu bewerten. Neben der finanziellen Entschädigung für Verluste nach einem extremen Wetterereignis können Versicherungen auch Anreize zur Risikominderung bieten.

I-FI-1 Gebäudeschäden durch Sturm und Hagel

Extreme Jahre mit Hagel- und Sturmschäden in der Verbundenen Wohngebäudeversicherung sichtbar



In Bayern sind rund 80 Prozent der privaten Gebäude im Rahmen der →**Verbundenen Wohngebäudeversicherung** gegen Sturm und Hagel versichert. Neben den witterungsinduzierten Schäden durch Sturm und Hagel sind dadurch in der Regel auch Schäden durch Brand, Blitzschlag, Explosion und Leitungswasser versichert. Während die letztgenannten Schadenstreiber über die Jahre hinweg mehr oder weniger stabile Schadenssummen verursachen, schwanken die Leistungen der Versicherungen für Sturm- und Hagelschäden in der Verbundenen Wohngebäudeversicherung deutlich stärker von Jahr zu Jahr.

Der Indikator I-FI-1 Gebäudeschäden durch Sturm und Hagel (siehe Abb. 40) bildet die Häufigkeit und Intensität von Schadensereignissen durch Sturm und Hagel an privaten Gebäuden ab. Eine Veränderung der Sturm- und Hagelschäden spiegelt sich in den damit verbundenen Leistungen der Versicherungen und somit in Veränderungen der Schadensereignisse in Häufigkeit und Intensität wieder. Der Indikator umfasst dabei zwei Teile: die Schadenhäufigkeit und den Schadensatz. Die Schadenhäufigkeit

weist auf die Anzahl der aufgetretenen Schäden hin. Sie zeigt diese allerdings nicht absolut, sondern bezogen auf die versicherten Risiken. Die absoluten Werte hängen von der Anzahl versicherter Risiken ab; mit der Schadenhäufigkeit werden die einzelnen Jahre vergleichbar. Der Schadensatz berechnet sich aus dem →**Schadenaufwand**, das heißt den Bruttoaufwendungen für auftretende Versicherungsfälle, die ins Verhältnis zum Umfang der Versicherungssumme gesetzt werden. Mit Wertsteigerungen der versicherten Objekte geht auch ein höherer Schadenaufwand einher. Durch den Schadensatz wird der Einfluss der sich vollziehenden Wertsteigerungen und der Inflation herausgerechnet. Der Schadensatz hat damit eine unmittelbarere Beziehung zu den eigentlichen Schadenstreibern.

Die zeitliche Entwicklung von Schadenhäufigkeit und Schadensatz (siehe Abb. 40) zeigt keinen klaren Trend. Extremwetterereignisse, wie beispielsweise der Sturm „Kyrill“ 2007, sind in der Grafik als lokale Spitzen erkennbar.

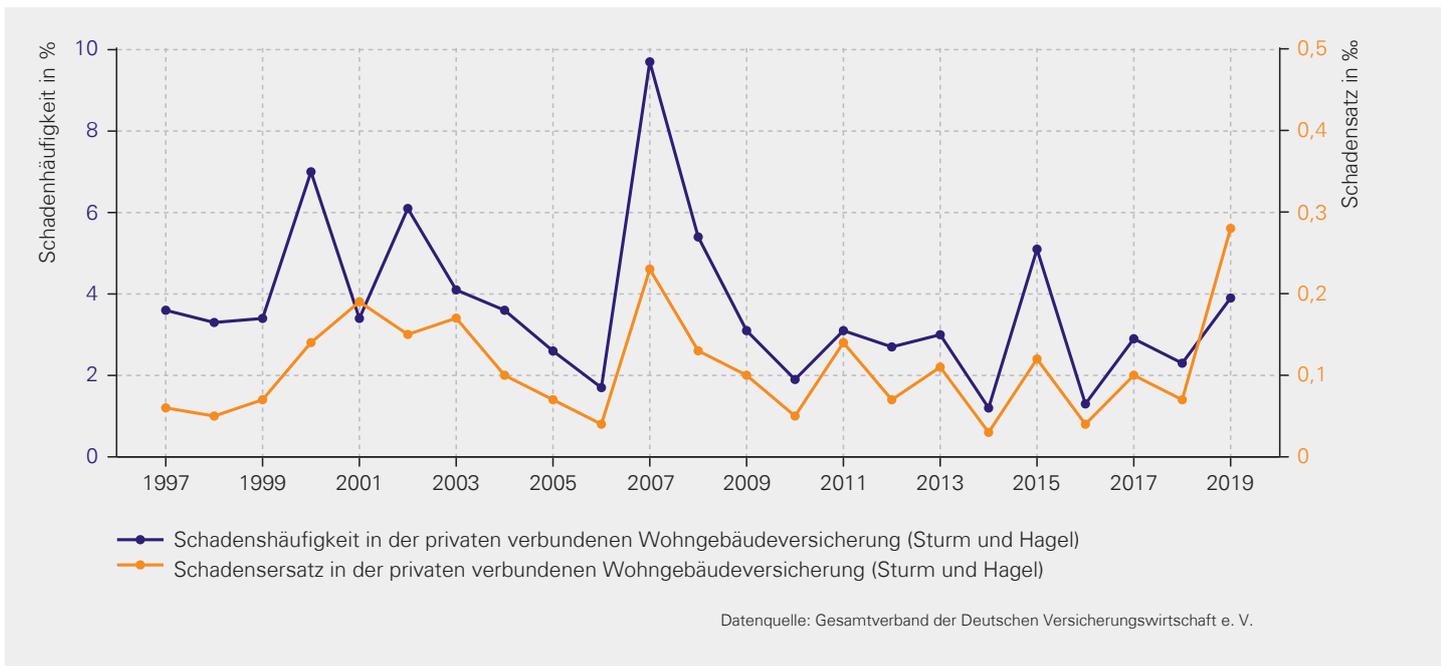


Abb. 40: I-FI-1 Gebäudeschäden durch Sturm und Hagel: Hagel- und Sturmschäden in der Verbundenen Wohngebäudeversicherung in Bayern im Zeitraum von 1997 bis 2019

Schnittstellen/Verweise zu anderen Indikatoren im Bericht:

- I-KS-1 Wetter- und witterungsbedingte Katastrophenfälle
- I-VE-2 Wetter- und Witterungsbedingte Straßenverkehrsunfälle
- I-EW-2 Wetterbedingte Unterbrechungen der Stromversorgung
- I-FI-2 Elementarschäden in der Verbundenen Wohngebäudeversicherung

Maßnahmen der BayKLAS:

- Sensibilisierung der Bevölkerung und Unternehmen für Elementarschadensversicherungen z. B. Bayerische Elementarschadenskampagne „Voraus denken – elementar handeln“ (F_01)
- Prüfung von Zugrunde gelegten Risikomodellen, um finanzielle Stabilität der Versicherungen und Banken zu gewährleisten (F_04)

I-FI-2 Elementarschäden in der Verbundenen Wohngebäudeversicherung

Weniger als 40 Prozent der Privatpersonen gegen Elementarschäden versichert



Insbesondere Starkregen und Hochwasser und damit verbunden Überschwemmungen und durch überlastete Abwasserkanäle verursachter Rückstau werden im Zuge des Klimawandels voraussichtlich zunehmen. Aber auch Schneedruck kann mit steigenden Temperaturen zunächst häufiger vorkommen, da bei geringen Temperaturzunahmen der Wassergehalt im Schnee ansteigt. Wenn die Temperatur stärker steigt, wird der Schneefall in vielen Regionen jedoch deutlich abnehmen (adelphi/PRC/EURAC 2015).

Schäden, die durch diese Einwirkungen an Gebäuden entstehen können, sind nur unvollständig beziehungsweise nicht durch die übliche →**Verbundene Wohngebäudeversicherung** (siehe I-FI-1) abgedeckt. Die Verbundene Wohngebäudeversicherung umfasst vor allem bei älteren Verträgen lediglich Sturm und Hagel als witterungsinduzierte Schäden, sowie Brand und Blitzschlag als mögliche indirekt witterungsinduzierte Ereignisse. Die →**Erweiterte Elementarschadenversicherung** (eEV) ergänzt die Verbundene Wohngebäudeversicherung um die Absicherung durch Erdbeben, →**Erdrutsch**, →**Erdsenkung**, Schneedruck und Lawinen sowie Hochwasserschäden durch Überschwemmung (in Folge von Flusshochwasser und Starkregen). Letztere sind zugleich der größte Schadenstreiber der eEV. In der überwiegenden Anzahl der Verträge ist der kanalgebundene Wasserrückstau aus Starkniederschlägen mittlerweile mitversichert. Die eEV gewinnt daher vor dem Hintergrund zunehmender klimawandelbedingter Risiken an Bedeutung. Die Bayerische Staatsregierung appelliert deshalb an Privatpersonen und Unternehmen, sich umfassend gegen

Schäden aus Naturgefahren abzusichern. Die Öffentlichkeitskampagne „Vorausdenken – elementar versichern“ fordert daher Bürgerinnen und Bürger auf, durch präventive Maßnahmen am und im Gebäude sowie ausreichenden Versicherungsschutz Eigenvorsorge zu betreiben. In Bayern waren 2020 38 Prozent der Gebäude gegen Elementarschäden versichert. Damit liegt Bayern deutlich unter dem bundesdeutschen Durchschnitt von 46 Prozent (GDV 2021).

Daten aus der eEV erlauben Rückschlüsse auf die Häufigkeit und Intensität von Schäden an Wohngebäuden, die zu einem erheblichen Teil witterungsbedingt verursacht sind. Der Indikator I-FI-2 Elementarschäden in der Erweiterten Elementarschadenversicherung (siehe Abb. 41) ergänzt somit die Informationen aus der Verbundenen Wohngebäudeversicherung (siehe I-FI-1). Auch hier werden Schadenhäufigkeit und Schadensatz abgebildet. Die Schadenhäufigkeit gibt die Anzahl der aufgetretenen Schäden im Verhältnis zu den versicherten Risiken wieder. Der Schadensatz zeigt an, wie hoch die Schadensaufwendungen im Vergleich zur Versicherungssumme sind.

Schadensatz und Schadenhäufigkeit zeigen ähnlich wie in der Verbundenen Wohngebäudeversicherung (siehe I-FI-1) keinen klaren Trend. Lokale Spitzen weisen auf besonders schadhafte Ereignisse, wie das Junihochwasser 2013 sowie Starkregen und Sturzfluten im Jahr 2016, z. B. in Simbach, hin.

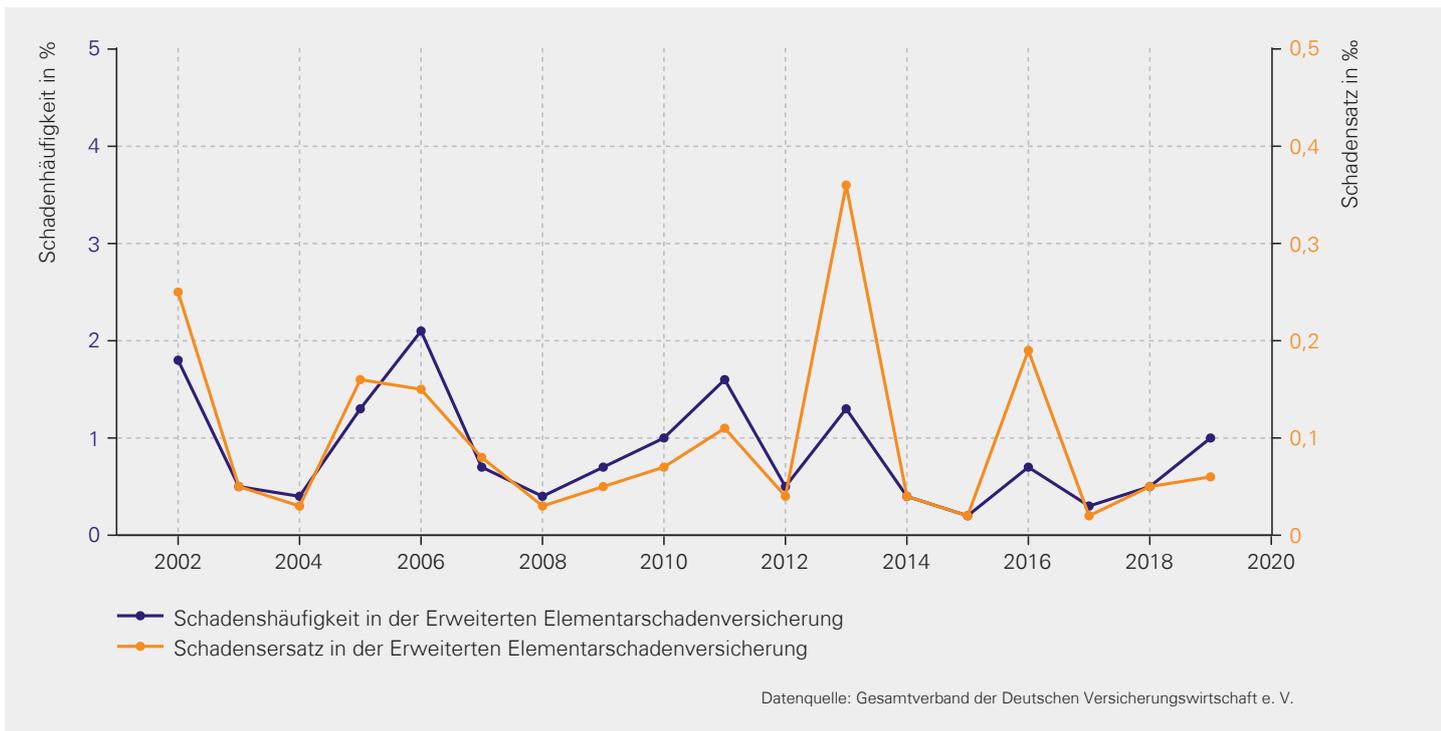


Abb. 41: I-FI-2 Elementarschäden in der Verbundenen Wohngebäudeversicherung: Elementarschäden in der Erweiterten Elementarschadenversicherung in Bayern im Zeitraum von 2002 bis 2019

Schnittstellen/Verweise zu anderen Indikatoren im Bericht:

I-KS-1 Wetter- und witterungsbedingte Katastrophenfälle

I-VE-2 Wetter- und Witterungsbedingte Straßenverkehrsunfälle

I-EW-2 Wetterbedingte Unterbrechungen der Stromversorgung

I-FI-1 Hagel- und Sturmschäden in der Verbundenen Wohngebäudeversicherung

Maßnahmen der BayKLAS:

Sensibilisierung der Bevölkerung und Unternehmen für Elementarschadenversicherungen z. B. Bayerische Elementarschadenskampagne „Voraus denken – elementar handeln“ (F_01)

Prüfung von Zugrunde gelegten Risikomodellen, um finanzielle Stabilität der Versicherungen und Banken zu gewährleisten (F_04)

Schaffung von Anreizmechanismen für Risikominde- rung z. B. Prämiennachlässe bei guter Baustruktur, Erarbeitung von Gebäude- und Hochwasserpässen (F_06)

Abschließen von Elementarschadenversicherungen zur Reduzierung der Schadensrisiken im nicht-öffent- lichen Bereich (GB_08)

5 | Exkurs Ursachenforschung: Über das Verständnis der Ursachen von Langzeittrends hin zu Einzelereignissen und deren Auswirkungen

Ein Gastbeitrag von Jun.-Prof. Dr. Sebastian Sippel¹¹ und Prof. Dr. Markus Reichstein¹²

Was sind die Ursachen für Veränderungen im Klimasystem? Können langfristige Klimaveränderungen durch natürliche Schwankungen oder menschliche Einflussfaktoren erklärt werden?

Und: Können auch Aussagen über Veränderungen in der Intensität oder Häufigkeit von einzelnen Extremereignissen auf regionaler Skala getroffen werden? Kann sogar eine Kausalkette gebildet werden, die beispielsweise Hitze- oder Dürreschäden in mitteleuropäischen Wäldern durch Änderungen in Extremereignissen direkt dem menschengemachten Klimawandel zuschreibt?

Diese zentralen Fragen der Klimaforschung sind ein klassischer Teil der → **Attributionsforschung** (oder: Zuordnungsforschung). Dieser Forschungszweig beschäftigt sich damit, den Beitrag verschiedener ursächlicher Faktoren zu langfristigen Änderungen im Klimasystem, z. B. Trends in Temperatur oder Niederschlag auf regionaler oder globaler Skala, oder in Bezug auf Extremereignisse wie Hitzewellen oder Trockenheiten, herauszuarbeiten und zu quantifizieren (Eyring et al. 2021). Der vorliegende Beitrag soll einen kurzen Einblick in die Attributionsforschung bieten, wichtige Begriffe erklären sowie aktuelle Forschungsfragen anhand eines Beispiels auf regionaler Ebene diskutieren.

Variabilität im Klimasystem und Attribution

Klimaschwankungen treten sowohl durch interne Variabilität im Klimasystem als auch durch externe Faktoren auf. Interne Variabilität schließt räumliche und zeitliche Schwankungen des Klimasystems auf sehr kurzen Zeitskalen („Wetter“) ebenso wie saisonale, jährliche, mehrjährige bis hin zu langfristiger, multidekadischer Variabilität ein. Diese Varia-

bilität heißt „intern“, weil sie durch Wechselwirkungen im System selbst zustande kommt. Interne Variabilität wird beispielsweise durch atmosphärische Zirkulationssysteme hervorgerufen, wie die für Europa relevante, nordatlantische Oszillation. Auf Zeitskalen über die typische Wettervorhersage hinaus ist interne Variabilität kaum vorhersagbar, da die Atmosphäre ein chaotisches System ist. Das bedeutet, dass kleinste Unterschiede im atmosphärischen Zustand zu Beginn der Vorhersage zu völlig unterschiedlichen späteren Zuständen führen. Demgegenüber werden extern getriebene Veränderungen im Klimasystem üblicherweise unterschieden in natürliche und anthropogene Faktoren. Natürliche Faktoren sind z. B. Änderungen in solarer Einstrahlung oder Vulkanausbrüche. Zu den anthropogenen Faktoren zählen vorwiegend die Emissionen von Treibhausgasen, wie z. B. Kohlendioxid oder Methan, und Aerosolen sowie Änderungen der Helligkeit der Landoberfläche durch Landnutzung.

Attributionsstudien zu Langzeitveränderungen verfolgen häufig das Ziel, die beobachteten Trends im Kontext von interner Variabilität und externen Faktoren zu interpretieren und statistisch zu bewerten. Trend-Attributionsstudien unterscheiden häufig zwischen:

- Nachweis („detection“), einer Veränderung im System, die nicht mit interner Variabilität erklärt werden kann; und
- Attribution, also die quantitative Zuordnung zu bestimmten, externen Faktoren.

Mittels Attributionsstudien konnten in den letzten Jahrzehnten großskalige Veränderungen im Klimasystem nachgewiesen werden: Beispielsweise bereits Mitte der 1990er-Jahre in der globalen Temperatur (Santer et al. 1996, Stott et al. 2000), und in den folgenden Jahren in Temperaturextremen (Christidis et al. 2005) und dem Jahresgang der Temperatur (Santer et al. 2018), aber auch in verschiedenen Variablen des hydrologischen Kreislaufes wie Luftfeuchte (Willett et al. 2007), Niederschlag (Zhang et al. 2007, Marvel und Bonfils 2013, Zhang et al. 2007, Marvel et al. 2013) oder Niederschlagsextremen (Min et al. 2011).

¹¹ Institut für Atmosphäre und Klima, ETH Zürich (bis 03/2023); seit 04/2023 Universität Leipzig

¹² Max-Planck-Institut für Biogeochemie, Jena und Professur für Globale Geoökologie, Universität Jena

Dennoch verbleiben gerade auf subkontinentalen und regionalen Skalen noch viele Unsicherheiten in Bezug auf exakte Attributionsergebnisse, insbesondere für Variablen des Wasserkreislaufes. Dies ist unter anderem auf relativ kurze Beobachtungszeiträume, hohe interne Variabilität, Modellunsicherheiten und Unsicherheiten in regionalen Rekonstruktionen von Einflussfaktoren (z. B. Aerosolentwicklung) zurückzuführen. Um historische Klimaentwicklungen auf regionaler Skala besser zu verstehen und Klimafaktoren zuordnen zu können, ist daher weitere Forschung an neuen, höher aufgelösten Modellen und verbesserten statistischen Verfahren zur Reduzierung dieser Unsicherheiten notwendig.

Attribution von Extremereignissen

Unter anderem durch Langzeit-Attributionsstudien ist nachgewiesen, dass sich die Häufigkeit und Intensität verschiedener Arten von meteorologischen Extremereignissen in Mitteleuropa aufgrund des menschengemachten Klimawandels verändert. So sind Zunahmen in der Intensität von Hitzewellen und Starkniederschlägen zu verzeichnen, wohingegen Kältewellen eher abnehmen (Douville et al. 2021). In Mitteleuropa ist die regionale Attribution von Trends in Trockenheit noch nicht abschließend geklärt (Douville et al. 2021), und hängt stark von den betrachteten Indikatoren ab. Dennoch wurden in einigen Nachbarregionen, z. B. im Mittelmeerraum, Trends hin zu stärkerer Sommertrockenheit beobachtet (Douville et al. 2021). Auch in der Schweiz konnte gezeigt werden, dass die Sommerhalbjahre über die letzten Jahrzehnte trockener wurden (Scherrer et al. 2022).

Eine gesellschaftlich hochrelevante Frage, die allerdings nicht von Langzeit-Attributionsstudien beantwortet werden kann, ist, ob ein Beitrag des anthropogenen Klimawandels in einzelnen Extremereignissen feststellbar ist. Diese Teildisziplin wird als „event attribution“, also etwa Ereignisattribution, bezeichnet. Im letzten Jahrzehnt hat sich diese Forschung insbesondere durch neue methodische Ansätze sehr schnell weiterentwickelt. Grundsätzlich kann der anthropogene Klimawandel nicht als die alleinige Ursache eines meteorologischen Extremereignisses angesehen werden, da Extremereignisse immer ein Zusammenspiel verschiedener komplexer Faktoren sind. Hitzewellen in Mitteleuropa sind z. B. häufig durch das Auftreten stationärer Hochdrucklagen geprägt, die dann zu Erwärmung und zusätzlicher Heranführung warmer Luftmassen führen, und gegebenenfalls durch Trockenheit im Boden oder der Vegetation weiter verstärkt werden können. Das Ziel von Ereignisattribution ist, festzustellen, ob der anthropogene Klimawandel die Häufigkeit oder die Intensität eines bestimmten Ereignistyps, wie z. B. Ereignisse „vom Typ einer“ beobachteten Hitzewelle, verändert hat.

Diese Idee kann mit dem Gedankenexperiment eines gezinkten Würfels erklärt werden, indem ein externer Faktor, z. B. der anthropogene Klimawandel, zu einer erhöhten Auftretenswahrscheinlichkeit der Zahl 6 führen würde. Die Zahl 6 würde also das Extremereignis von Interesse im Gedankenexperiment darstellen. Nach einem konkreten Würfelereignis 6 kann nicht entschieden werden, ob der Würfel tatsächlich gezinkt ist oder nicht. Denn auch mit einem fairen Würfel könnte eine 6 eintreten, ebenso wie ein Extremereignis allein durch die interne Variabilität im Klimasystem. Jedoch kann durch vielmaliges Würfeln analysiert werden, ob die Zahl 6 häufiger eintritt als die statistisch zu erwartende Wahrscheinlichkeit in einem fairen Würfel (also $1/6$). Durch die statistische Analyse des vielmaligen Würfeln kann so auf möglicherweise geänderte Wahrscheinlichkeiten im gezinkten Würfel geschlossen werden.

Dies ist der Ansatz von Ereignisattribution. Konkret werden für die Analyse eines bestimmten Extremereignisses X zunächst mit Hilfe einer großen Anzahl an Klimamodell-Simulationen sowohl das tatsächliche Klima (also inklusive anthropogener Einflüsse) und als Gegenbeispiel ein „kontrafaktisches“ Klima (also ohne anthropogene Faktoren) abgebildet. Ersteres entspricht in der oben beschriebenen Analogie also möglichst vielen Würfeln mit dem gezinkten Würfel, die Klimasimulationen ohne anthropogene Faktoren den Würfeln mit einem fairen Würfel. In einem zweiten Schritt können dann durch den Vergleich der Häufigkeitsverteilungen zwischen tatsächlichem und vom Menschen unbeeinflusstem Klima Änderungen in der Auftretenswahrscheinlichkeit und Intensität von Ereignissen vom Typ X bestimmt werden.

Dieser Ansatz hat sich in zahlreichen Studien in den letzten Jahren, insbesondere zu Hitzewellen und Starkniederschlägen, bewährt. So konnte gezeigt werden, dass die Hitzewelle 2003 in Westeuropa (Stott et al. 2004), die Hitzewelle in Westrussland 2010 (Otto et al. 2012), und auch viele weitere Hitzeereignisse der letzten Jahre durch den Klimawandel wahrscheinlicher wurden. Auch Starkniederschläge wie im Sommer 2021 über Westdeutschland wurden durch den Klimawandel wahrscheinlicher (Kreienkamp et al. 2021). Es konnte jedoch nicht in allen betrachteten Einzelereignissen ein Signal des anthropogenen Klimawandels festgestellt werden: beispielsweise blieb die Wahrscheinlichkeit für Starkniederschläge wie im Frühjahr 2013 im Einzugsbereich von Elbe und Donau durch den Klimawandel wohl unverändert (Schaller et al. 2014).

Diese Art der Attribution, die die Häufigkeiten der jeweiligen Ereignisse bewertet, hat allerdings auch einige methodische Nachteile. Unter anderem hängt die Attributionsaussage stark von der Qualität des jeweiligen Klimamodells ab, was für ein komplexes Extremereignis, insbesondere auf regionaler oder lokaler Skala nur bedingt evaluiert werden kann (Otto 2017). Weiterhin kann das Attributionsergebnis recht stark variieren – je nachdem, wie die entsprechende Attributionsfrage gestellt und welche Parameter des beobachteten Events (z. B. Wahl der Variable, Zeitperiode, Region, etc.) als relevant betrachtet werden. In der Regel werden deshalb, zusätzlich zu der Auswertung der Klimamodellsimulationen, auch Langzeit-Trends des jeweiligen Events in Beobachtungsdaten analysiert, um die Attributions-Aussage nicht ausschließlich auf Modellsimulationen zu stützen. Die methodische Erweiterung von Ereignisattribution, beispielsweise mit Hilfe von modernen statistischen Verfahren oder über eine Detailanalyse der jeweiligen meteorologischen Faktoren eines Extremereignisses und deren klimawandelbedingten Veränderungen und Unsicherheiten (sogenannte „Storylines“), sind Gegenstand aktueller Forschung¹³.

Insgesamt hat sich der Fokus der Attributionsforschung in den letzten Jahren also gewandelt: Von einer globalen Betrachtung der Langzeit-Trends und Variabilität im Klimasystem hin zu Betrachtungen auf regionaler Skala. Über statistische Analysen von Beobachtungsdaten und Klimamodellsimulationen können mittlerweile sogar Änderungen in der Häufigkeit und Intensität einzelner Extremereignisse wie Hitzewellen oder Starkregen teilweise dem Klimawandel zugeordnet werden.

Beispiel zu Auswirkungen: Attribution von Spätfrösten

Oft sind Auswirkungen des Klimawandels komplex und hängen letztlich von den Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre, Ökosystemen und Gesellschaft ab. Dadurch können auf den ersten Blick Klimawandelfolgen übersehen werden. Ein Beispiel stellen Spätfröste dar. Grundsätzlich nehmen mit der globalen Erwärmung Frosttage und -nächte ab (Eyring et al. 2021). Also nimmt die Wahrscheinlichkeit ab, am 15. April eine Frostnacht zu erleiden. Für Auswirkungen der Spätfröste auf Obst- und Weinbau ist jedoch entscheidend, ob die Fröste während einer sensiblen Periode, z. B. während der Blüte, auftreten. Wenn es aufgrund der Erwärmung zu einer früheren Blüte kommt, z. B. bereits am 1. April, so kann die Wahrscheinlichkeit eines Frosts zum Zeitpunkt der Blüte zunehmen: da sich der Blühzeitpunkt durch den Klimawandel verschiebt, hier vom 15. April in einer Welt ohne Klimawandel auf den 1. April in einer Welt mit Klimawandel, steigt die Wahrscheinlichkeit von Spätfrösten. Genau dieses Phänomen wurde für den Spätfrost im April 2021 festgestellt, bei dem insbesondere in Frankreich und im Südwesten Deutschlands der Weinbau erheblich gelitten hat und in Frankreich sogar eine „calamité agricole“ (ein „landwirtschaftlicher Katastrophenfall“) ausgerufen wurde. Die Attributionsforschung stellte fest: dieses Ereignis war deutlich wahrscheinlicher unter den aktuellen Klimabedingungen als in früheren Jahrzehnten (Vautard et al. 2022).



¹³ z. B. im EU-Projekt XAIDA („eXtreme events: Artificial Intelligence for Detection and Attribution“): <https://xaida.eu/>

6 | Bewertung zur Umsetzung und Fortschreibung der BayKLAS

Das Ziel der Bayerischen Klimaanpassungsstrategie (BayKLAS) ist es, die negativen Folgen des Klimawandels zu verringern sowie die Anpassungsfähigkeit natürlicher und gesellschaftlicher Systeme an die unvermeidbaren Folgen des Klimawandels durch die Umsetzung geeigneter Maßnahmen zu erhalten und zu steigern.

Die im vorliegenden Monitoringbericht dargestellten Indikatoren beschreiben zum einen, wie Bayern von den Folgen des Klimawandels betroffen ist (Impact-Indikatoren) und zum anderen, wo bereits Maßnahmen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels umgesetzt wurden (Response-Indikatoren). Der Monitoringbericht ist somit ein Instrument, um den Umsetzungsprozess der BayKLAS zu evaluieren. Allerdings können nicht alle Maßnahmen der BayKLAS durch Response-Indikatoren beschrieben werden. Derzeit dokumentieren erst acht dieser Indikatoren die Umsetzung von Maßnahmen im Anpassungsprozess.

Weiter beinhalten die Indikatoren selbst keine spezifischen Ziele und Bewertungen. Die Bewertung beschränkt sich auf eine Beurteilung, ob die Entwicklungen im Hinblick auf die Ziele der Anpassungsstrategie grundsätzlich in die richtige Richtung weisen. Nicht in allen Fällen ist eine Beurteilung der Entwicklung sinnvoll, da die Ursachen und Konsequenzen der Veränderungen nicht immer bekannt sind oder gegenwärtig noch unzureichend lange Zeitreihen für eine robuste Einschätzung zur Verfügung stehen.

Zahlreiche Indikatoren veranschaulichen, dass der Klimawandel in Bayern bereits in allen Handlungsfeldern Auswirkungen hat: Die →[Grundwasserneubildung](#) nimmt seit 2003 ab und entsprechend zeigen die Grundwasservorkommen abnehmende Grundwasser-

stände. Die phänologischen Jahreszeiten setzen früher ein, wodurch sich die Vegetationsperiode verlängert aber auch die Gefahr von Spätfrösten zugenommen hat. Das Ende des Permafrostes in den bayerischen Alpen ist in Sicht. Gesundheitliche Risiken durch Hitzebelastung, Extremereignisse und allergene Pflanzen treten häufiger auf.

Die dargestellten Indikatoren bilden einen Großteil der Schwerpunkte der Bayerischen Klimaanpassungsstrategie ab:

- Schutz vor Hochwasser (siehe R-WW-1, I-VE-1)
- Stabilisierung und Sicherung des Wasserhaushalts (siehe I-WW-1, I-WW-2)
- Vorsorge gegen Trockenheit und Dürre (siehe I-WW-1, I-WW-2, I-VE1)
- Schutz der (Berg-)Wälder (siehe I-FW-1)
- Stabilisierung der biologischen Vielfalt und Ökosysteme (siehe I-NA-2)
- Vorsorge gegen Gefahren durch (neue) Schädlinge und Überträger von Krankheiten (siehe I-FW-1)
- Eindämmung von Georisiken (siehe I-BO-2)
- Verringerung der Folgen von Hitzebelastung (siehe I-GE-1, I-SB-1)
- Schaffung einer nachhaltigen und klimaschonenden Siedlungsentwicklung, Verkehrsinfrastruktur, Energieproduktion und Tourismuswirtschaft (siehe I-SB-1, I-VE-1, I-EW-2)

Basierend auf den vorhandenen Indikatoren sollten bei der Weiterentwicklung der Anpassungsstrategie folgende Schwerpunkte zusätzlich berücksichtigt werden:

- Eindämmung der Ausbreitung invasiver und hochallergener Pflanzen (siehe I-GE-2, I-GE-3)
- Vorsorge gegen Extremereignisse (siehe I-FI-1)
- Klimaresilienter Stadtumbau (siehe I-SB-1)

In der BayKLAS 2016 werden die aufgezeigten Schwerpunkte mit Anpassungsmaßnahmen in insgesamt 15 Handlungsfeldern angegangen. Vor allem in den Handlungsfeldern Wasserwirtschaft, Landwirtschaft, Wald und Forstwirtschaft wird der Umsetzungsprozess durch konkrete Aktivitäten realisiert. Dies zeigen auch die Entwicklungen der Response-Indikatoren:

- Steigende Aufwendungen für Hochwasserschutzmaßnahmen sind zu verzeichnen (siehe R-WW-1)
- Der Umbau bayerischer Wälder in klimatolerante Mischwälder geht voran (siehe R-FW-1). Um das Flächenziel der Waldumbauoffensive 2030 erreichen zu können, muss in den folgenden Jahren der Fortschritt der Umbaumaßnahmen im Privat- und Körperschaftswald allerdings deutlich gesteigert werden. Entsprechende Steuerungsmaßnahmen sind eingeleitet.
- Während viele Pflanzen unter Hitze und Trockenheit leiden, nutzen Winzerinnen und Winzer die höheren Wärmesummen zum Anbau wärmeliebender Rotweinsorten (siehe R-LW-1).

- Die ökologisch bewirtschaftete Fläche nimmt stetig zu und fördert somit den Erosionsschutz (siehe R-LW-2). Zur Erreichung des Ziels, den ökologischen Landbau auf mindestens 30 Prozent der landwirtschaftlich genutzten Fläche bis 2030 auszuweiten, muss in den folgenden Jahren der Flächenumbau jedoch massiv intensiviert werden.

Demgegenüber zeigen einige Response-Indikatoren kaum Veränderungen:

- Der Flächenverbrauch der →[Siedlungs- und Verkehrsfläche](#) in Bayern ist weiterhin viel zu hoch (siehe R-SB-1). Um den täglichen Flächenverbrauch bis 2030 auf 5 Hektar zu senken, müssen die Anstrengungen deutlich verstärkt werden.

Im Rahmen der Fortschreibung der BayKLAS ist somit einerseits die Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen weiter voranzutreiben. Dazu müssen Zuständigkeiten hinsichtlich der Umsetzung von Maßnahmen klar definiert sein und weitere Maßnahmen konkretisiert werden. Durch eine Priorisierung der Maßnahmen könnten sich die zuständigen Akteurinnen und Akteure auf die Umsetzung der wirkungsvollsten Maßnahmen fokussieren. Darüber hinaus ist die Entwicklung und Umsetzung weiterer Response-Indikatoren notwendig, um die Aktivitäten im Umsetzungsprozess und die Einhaltung der Ziele der BayKLAS besser bewerten zu können (siehe Kapitel 8).

7 | Zusammenfassung

Der Klimawandel und seine Folgen sind in Bayern merklich spürbar. Langzeitmessungen bestätigen, dass sich das Klima in Bayern innerhalb der letzten 70 Jahre deutlich verändert hat. So ist die mittlere Lufttemperatur doppelt so stark angestiegen wie im globalen Durchschnitt. Noch stärker als die Mitteltemperatur stiegen die Höchsttemperaturen im Sommer. Dadurch nahm die Anzahl der →[Hitzetage](#) und →[Tropennächte](#) weiter zu. In Städten fällt die Hitzebelastung aufgrund des →[Wärmeinseleffektes](#) sogar noch einmal höher aus.

Die steigenden Temperaturen wirken sich auch auf die Niederschlagscharakteristik aus. Allerdings hat sich der Jahresniederschlag in Bayern seit 1951 weder eindeutig verringert noch erhöht. Dafür zeigen saisonale Auswertungen signifikante Abnahmen in den Sommermonaten. Dem gegenüber lässt sich bereits heute eine Zunahme von Starkregenereignissen beobachten.

Wie sich diese Entwicklungen in Zukunft fortsetzen wird, hängt davon ab, welche Menge an Treibhausgasen die Menschheit weiterhin ausstößt. Insbesondere ohne ambitionierten Klimaschutz ist eine weitere Verschärfung der genannten Entwicklungen zu erwarten. Aus diesem Grund müssen die Anstrengungen zum Klimaschutz intensiviert und sofortige und umfassende Klimaschutzmaßnahmen umgesetzt werden, auch wenn die Folgen in vielen Regionen aktuell noch erträglich sind. Wo wir die Folgen des Klimawandels nicht mehr verhindern können, gilt es, mit gezielten Anpassungsmaßnahmen die ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Risiken zu mindern und die Klimaresilienz von Natur und Gesellschaft in Bayern zu erhöhen.

Mit dem vorliegenden Monitoringbericht werden zahlreiche Auswirkungen des gegenwärtigen Klimawandels in Bayern anhand wissenschaftlich fundierter Daten beschrieben und anschaulich dargestellt. Zugleich zeigt der Bericht, wo bereits Aktivitäten zur

Anpassung an die Folgen des Klimawandels ergriffen werden.

Wasserwirtschaft

Die Jahre seit 2003 sind durch eine deutlich unterdurchschnittliche →[Grundwasserneubildungsrate](#) charakterisiert. Besonders feuchte Jahre waren, mit Ausnahme von 2013, gar nicht vertreten. Entsprechend zeigen die Grundwasservorkommen, welche überwiegend von der Grundwasserneubildung aus Niederschlag abhängig sind, in der Regel abnehmende Grundwasserstände. Insbesondere Teile der Oberpfalz, Unter- und Oberfrankens sind davon besonders betroffen (siehe I-WW-1). Die Trockenheit im Boden nimmt zu und somit auch der Wasserbedarf für die landwirtschaftliche Bewässerung, zum Teil auch für die Trinkwasserversorgung, hat vor allem in Nordbayern zugenommen (siehe I-WW-2). Diese Entwicklung beruht in erster Linie auf der Verlängerung der Vegetationsperiode, der Zunahme von Hitzeperioden, der zurückgehenden klimatischen Wasserbilanz im Sommerhalbjahr und der in den letzten Jahren gehäuft aufgetretenen Frühjahrs- und Herbsttrockenheit mit einer geringen Auffüllung des Bodenwasserspeichers.

Zum Schutz empfindlicher Bereiche von Grundwassereinzugsgebieten und zur Sicherung bedeutsamer Grundwasservorkommen dienen Vorrang- und →[Vorbehaltsgebiete](#) für die Wasserversorgung (siehe R-RO-1). Die Zunahme der Vorrang- und Vorbehaltsgebiete in den Regionalplänen zeigt, dass in der Vergangenheit bayernweit mehr Flächen zum Schutz von Wasserressourcen ausgewiesen wurden.

Mit der Erwärmung nimmt die Wahrscheinlichkeit für häufigere und intensivere Starkregenereignisse und damit die Bildung von Hochwasser und Sturzfluten zu, da eine wärmere Atmosphäre grundsätzlich mehr Wasserdampf speichern und somit mehr



Feuchtigkeit aufnehmen kann. Bayern hat darauf bereits im Jahr 2001 reagiert und das „Hochwasserschutz-Aktionsprogramm 2020“ (AP2020) ins Leben gerufen. Seit 2021 wird das Aktionsprogramm als eine Säule des neuen Bayerischen Gewässer-Aktionsprogramms 2030 „PRO Gewässer 2030“ neben der Gewässerökologie und der Sozialfunktion fortgeführt. Die im Rahmen dieser Aktionsprogramme verausgabten Haushaltsmittel für den Hochwasserschutz zeigen im Zeitraum von 1999 bis 2020 eine tendenzielle Zunahme, von etwa 100 auf über 160 Millionen Euro jährlich (siehe R-WW-1). Die Berücksichtigung der Aspekte Trockenheit und Dürre erfolgt im Programm „Wassersicherheit 2050“. Gemeinsam mit einem entsprechenden Datenmanagement, weiterer Forschung und bewusstseinsbildender Kommunikation stellen die beiden Programme die wasserwirtschaftliche Gesamtstrategie „Wasserzukunft Bayern 2050“ dar.

Landwirtschaft

Die Veränderung der →**phänologischen Phasen** gilt als einer der besten Bioindikatoren für Veränderungen des Klimas, speziell der Temperatur. Anhand der Blüte von Winterraps und Apfel lässt sich ein deutlich zeitigerer Beginn des Frühlings von acht beziehungsweise zehn Tagen (1961–1990 vs. 1991–2020) beobachten (siehe I-LW-1). Diese Entwicklung kann sowohl positive als auch negative Auswirkungen auf die Kulturen haben. Höhere Wärmesummen können das Pflanzenwachstum und Erträge fördern, wenn gleichzeitig eine ausreichende Wasser- und Nährstoffversorgung gesichert ist. Ertragsstatistiken landwirtschaftlich genutzter Böden in Bayern weisen jedoch auf eine Stagnation der Erträge zahlreicher Kulturen, insbesondere Getreide, seit etwa Mitte der 1990er-Jahre hin. Zu hohe Temperatursummen oder Trockenheit können dazu führen, dass bestimmte Wachstums- und Entwicklungsphasen landwirtschaftlicher Kulturen zu schnell durchlaufen werden und es infolgedessen durch eine zu frühe Abreife zu Ertragseinbußen kommt. Auch kann

eine zeitlich vorgeschobene Blüte zu einer erhöhten Spätfrostgefährdung führen.

Im Weinbau ermöglichen die höheren Wärmesummen den Anbau neuer Rebsorten, sodass vor allem Winzerinnen und Winzer in der Weinbauregion Frankens zunehmend auch mediterrane Rebsorten wie Merlot und Cabernet Sauvignon erfolgreich anbauen können. Zu sehen ist diese Adaption an den Klimawandel durch eine stetig zunehmende Rebfläche wärmebedürftiger Rebsorten (siehe R-LW-1).

Wald und Forstwirtschaft

Zunehmende sommerliche Trockenheit, Stürme oder andere Extremereignisse führen dazu, dass Bäume und Wälder verstärkt an Vitalität verlieren. Davon können einige Schädlinge und Krankheitserreger wie die Mistel oder der Borkenkäfer profitieren. Dies zeigt sich bereits in der deutlichen Zunahme der Befallsrate der Mistel (siehe I-FW-1).

Daneben ist anhand der Auswertung von wetter- und witterungsbedingten Katastrophenfällen in den letzten Jahren ein vermehrtes Auftreten von Waldbränden erkennbar, was auf die zunehmende Trockenheit zurückgeführt werden kann (siehe I-KS-1).

Je mehr Arten eine Lebensgemeinschaft bilden kann und je vielfältiger ihre Strukturen sind, desto geringer ist grundsätzlich die Anfälligkeit und das Risiko gegenüber Schädlingen und Krankheitserregern. Bayern hat daher in allen Waldbesitzarten mit der Umsetzung eines Waldumbauprogramms zur Erhaltung und Entwicklung klimatoleranter Mischwälder begonnen. Bis zum Jahr 2030 sollen im Rahmen der Waldumbauoffensive 2030 rund 200.000 Hektar der akut gefähr-



deten Fichten- und Fichten-Kiefern-Bestände im Privat- und Körperschaftswald auf Basis freiwilliger Entscheidungen der Waldbesitzerinnen und -besitzer in klimatolerantere Mischwälder umgebaut werden. Davon waren Ende 2022 rund 95.000 Hektar mit finanzieller Förderung durch den Freistaat Bayern umgesetzt. Im bayerischen Staatswald konnte bereits mehr als die Hälfte der Waldumbaufläche von insgesamt angestrebten 172.000 Hektar bis 2030 realisiert werden. Nach Auswertungen der Bundeswaldinventur zeigt sich ein leichter Rückgang von klimaanfälligen Reinbeständen zugunsten klimaresistenter Mischbestände für die Jahre 2002 und 2012 (siehe R-FW-1). Um das Flächenziel der Waldumbauoffensive 2030 erreichen zu können, müssen in den folgenden Jahren die Umbaufortschritte weiter beschleunigt werden. Die jährliche Waldumbaufläche hat in den Jahren 2021 und 2022 bereits deutlich zugenommen. Unter weiter günstigen Rahmenbedingungen können die ehrgeizigen Ziele erreicht werden.

Naturschutz

Bedingt durch den Temperaturanstieg beginnen in Bayern Frühling, Sommer und Herbst immer zeitiger im phänologischen Jahr. Im Gegensatz dazu setzt die Vegetationsruhe deutlich später ein und endet früher (siehe I-NA-1). Dies kann die Synchronisation von Pflanzen und ihren Bestäubern aufbrechen. Die Entkopplung aufeinander abgestimmter biologischer Interaktionen geschieht derzeit in einer Geschwindigkeit, die einen Anpassungsprozess unter Umständen ausschließt und somit Tier- und Pflanzenarten gefährdet. Für die menschliche Gesundheit haben phänologische Veränderungen zudem Auswirkungen auf das Auftreten von Pflanzenallergenen und die Länge der Pollenflugzeit.

Die Ansiedelung wärmeliebender Tiere und Pflanzen wird durch die Erwärmung begünstigt. Insekten wie die Sichelspanner breiten sich in Bayern immer weiter nach Süden und Osten und damit in höhere Lagen aus (siehe I-NA-2).

Für Tiere und Pflanzen sowie ihre Lebensräume werden damit Schutz und Pflegemaßnahmen zunehmend wichtiger. Vor diesem Hintergrund spielen für die Ziele des Naturschutzes ausgewiesene Flächen eine entscheidende Rolle. Sie tragen zum Erhalt der biologischen Vielfalt, zur Entwicklung seltener und gefährdeter Arten und Biotope und zum Fortbestand von Tier- und Pflanzenpopulationen bei. Seit einigen Jahren stagnieren diese Flächen allerdings auf einem gleichbleibenden Niveau (siehe R-NA-1).

Boden und Georisiken

Untersuchungen im Permafrostbereich an der Zugspitze zeigen alarmierende Ergebnisse. Setzt sich der Temperaturanstieg im Permafrostbereich weiter fort wie bisher, wird die 0 °C-Grenze und damit das Ende des Permafrosts in diesem Bereich bereits um das Jahr 2040 eintreten (siehe I-BO-1). In diesem Fall ist mit einer Zunahme von Georisiken wie Hangrutschungen und Felsstürzen zu rechnen.

Um die Ertragsfähigkeit der Böden in Bayern dauerhaft zu bewahren, die Bodenfunktionen zu sichern und zum Erhalt der Biodiversität des Bodens beizutragen, weitet der Freistaat den ökologischen Landbau immer weiter aus (siehe R-BO-1). Dadurch wird außerdem der Erosionsschutz und die Wasserinfiltration gefördert. Zur Ausweitung des ökologischen Landbaus auf mindestens 30 Prozent der landwirtschaftlich genutzten Fläche bis 2030 muss in den folgenden Jahren der Flächenumbau jedoch massiv intensiviert werden.

Ein wesentlicher Baustein zur Anpassung der Böden gegenüber den Folgen des Klimawandels ist der Erhalt der →Humusgehalte in landwirtschaftlich genutzten Böden. Für den Großteil der Bodendauerbeobachtungsflächen in Bayern konnten bislang allerdings keine signifikanten Veränderungen des organischen Bodenkohlenstoffs festgestellt werden (siehe R-BO-2).





Menschliche Gesundheit

Steigende Temperaturen und häufigere Hitzeextreme können sich unmittelbar auf die menschliche Gesundheit, insbesondere von vulnerablen Gruppen, auswirken. Aufgrund der kurzen Zeitreihe zeigt die Anzahl der Tage mit Hitzewarnungen zwar eine hohe Variabilität und keine eindeutige Entwicklung (siehe I-GE-1). Der beobachtete Anstieg von →**Hitzetagen** und →**Tropennächten** lässt jedoch vermuten, dass hitzebedingte Einschränkungen der menschlichen Gesundheit ebenfalls zugenommen haben.

Ein insgesamt milderes Klima mit einer längeren Vegetationsperiode begünstigt auch längere Pollenflugzeiten und damit eine längere Beschwerdezeit von Pollenallergikerinnen und -allergikern. Die untersuchten Pflanzen Hasel, Birke und Wiesen-Fuchschwanz zeigen eine Tendenz zu einem früheren Blühbeginn (siehe I-GE-2). Auch die hoch-allergene Ambrosia breitet sich in Bayern weiter aus und weist in den letzten Jahren neue, bisher noch nicht erfasste, Belastungsintensitäten auf (siehe I-GE-3).



Stadt- und Raumplanung

Am Beispiel der Stadt München wurde der sommerliche →**Wärmeineleffekt** bei Tag und Nacht untersucht. München weist demnach deutliche Wärmeineleffekte, insbesondere bei Nacht von 2 bis 4 K, auf (siehe I-SB-1). Gerade die fehlende Abkühlung in der Nacht ist von großer Bedeutung, da Menschen der nächtlichen Hitzebelastung weniger gut ausweichen können. Eine Zunahme des Wärmeineleffekts durch den Klimawandel ist anhand der Datenreihe nicht feststellbar. Allerdings zeigen Klimaprojektionen eine in Zukunft allgemein zunehmende Hitzebelastung. In Stadtgebieten wird diese durch den Wärmeineleffekt vermutlich noch wesentlich verschärft.

Eine Anpassungsmaßnahme, unter anderem zur Verringerung der städtischen Überhitzung und des Risikos durch Starkregenereignisse, stellt die Reduzierung des Flächenverbrauchs dar. Gemäß Bayerischem Landesplanungsgesetz 2020 soll daher der Flächenverbrauch der →**Siedlungs- und** →**Verkehrsfläche** auf 5 Hektar pro Tag bis 2030 verringert werden. Datenerhebungen zum Flächenverbrauch zeigen allerdings, dass dieser in Bayern nach wie vor auf einem konstant hohen Niveau von mehr als 10 Hektar pro Tag verharrt (siehe R-SB-1).



Verkehr

Wetter- und Witterungsbedingungen führen immer wieder zu Sperrungen von Schifffahrtsstraßen. Bei Sperrungen aufgrund von Eisgang ist in den letzten Jahren eine Abnahme an Main und Donau zu beobachten. Sperrungen aufgrund von Hoch- oder Niedrigwasser zeigen dagegen keinen eindeutigen Trend (siehe I-VE-1). Wetter- und witterungsbedingte Straßenverkehrsunfälle durch Schnee- und Eisglätte sind dagegen aufgrund der milden Winter leicht rückläufig (siehe I-VE-2).



Wirtschaft und Energie

Der Klimawandel beeinflusst sowohl den Bedarf an Heizenergie als auch den an Kühlenergie. Die Heizgradtage nehmen in allen bayerischen Klimaregionen ab, die Kühlgradtage zu. Diese Entwicklungen weisen auf einen sinkenden Bedarf an Heizenergie beziehungsweise einen steigenden Bedarf für die Gebäudekühlung hin (siehe I-EW-1).

Daten der Bundesnetzagentur zu wetterbedingten Unterbrechungen der Stromversorgung zeigen einen leichten Rückgang, der sich auf eine zunehmende Robustheit der Stromnetze zurückführen lässt (siehe I-EW-2).

Der Klimawandel kann die Wasserverfügbarkeit für Unternehmen auf verschiedene Weise beeinflussen. Angesichts dessen können sich Industrieprozesse an mögliche Klimawandelfolgen anpassen, wenn sie möglichst unabhängig von der Ressource Wasser sind. Sowohl im Papiergewerbe als auch in der chemischen und pharmazeutischen Industrie gibt die beobachtete Abnahme des Wassereinsatzes und die Verringerung der Wasserintensität einen Hinweis auf eine zunehmende Anpassung an den Klimawandel (siehe R-EW-1).

Versicherungswirtschaft

In Bayern sind rund 80 Prozent der privaten Gebäude im Rahmen der →**Verbundenen Wohngebäudeversicherung** gegen Sturm und Hagel versichert. Die zeitliche Entwicklung von Schadenhäufigkeit und Schadensatz zeigt bislang keinen klaren Trend (siehe I-FI-1).

Die →**Erweiterte Elementarschadenversicherung** (eEV) ergänzt die Verbundene Wohngebäudeversicherung um die Absicherung durch Erdbeben, →**Erdrutsch**, →**Erdsenkung**, Schneedruck und Lawinen sowie Hochwasserschäden durch Überschwemmung in Folge von Flusshochwasser und Starkregen. Schadensatz und Schadenhäufigkeit zeigen ähnlich wie in der Verbundenen Wohngebäudeversicherung keinen klaren Trend. Lokale Spitzen weisen auf besonders schadhafte Ereignisse, wie das Junihochwasser 2013 sowie Starkregen und Sturzfluten im Jahr 2016, z. B. in Simbach, hin (siehe I-FI-2).

Vor dem Hintergrund zunehmender klimawandelbedingter Risiken gewinnt die eEV an Bedeutung. Die Bayerische Staatsregierung appelliert deshalb an Privatpersonen und Unternehmen, sich umfassend gegen Schäden aus Naturgefahren abzusichern¹⁴. In Bayern waren 2020 nur 38 Prozent der Gebäude gegen Elementarschäden versichert. Damit liegt Bayern deutlich unter dem bundesdeutschen Durchschnitt von 46 Prozent (GDV 2021).

¹⁴ Die Öffentlichkeitskampagne „Voraus denken – elementar versichern“ fordert daher Bürgerinnen und Bürger auf, durch präventive Maßnahmen am und im Gebäude sowie ausreichenden Versicherungsschutz Eigenvorsorge zu betreiben.

8 | Ausblick und mögliche Weiterentwicklung des Monitorings

Die im vorliegenden Bericht dargestellten Indikatoren zur Beschreibung von Klimawandelfolgen und Anpassungsmaßnahmen sind das Ergebnis eines umfangreichen und ressortübergreifenden Abstimmungsprozesses. Bereits während des Abstimmungsprozesses wurden eine ganze Reihe weiterer Indikationsmöglichkeiten aus anderen Themenbereichen wie z. B. zu fischverträglichen Wassertemperaturen oder zur [→Regenerosivität](#) diskutiert, die jedoch nicht im ersten Monitoringbericht abgebildet werden können. Diese Indikationsmöglichkeiten sollen im Rahmen der Fortschreibung des Monitoringberichts aufgenommen und umgesetzt werden.

Die multifaktoriellen Schwächen der Indikatoren führen dazu, dass das Indikatorensystem möglicherweise das Gesamtsystem nur unvollständig oder nur einzelne Teilbereiche des Gesamtsystems beschreibt. Es bleibt daher eine ständige Aufgabe, das vorliegende Indikatorensystem zu hinterfragen und im Spannungsfeld zwischen dem Aufwand für die Datenerhebung und der Repräsentativität für das Gesamtsystem zu optimieren. Sollte sich mit neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen oder nach mehrjähriger Beobachtung der Entwicklung der Datenreihe herausstellen, dass der Einfluss anderer Faktoren bedeutender ist als ursprünglich angenommen, kann eine Streichung oder der Ersatz eines Indikators aus dem Indikatorenset erfolgen.

Zur Überprüfung der Ziele der BayKLAS bedarf es zukünftig insbesondere einer Erweiterung des Indikatorensets hinsichtlich der Response-Indikatoren. Bisher fehlt es in vielen Themenbereichen der Handlungsfelder an ausreichenden (Wirkungs-)Indikatoren. Wichtige Erkenntnisse könnten zudem aus der Bildung von Indikatorpaaren aus Impact- und Response-Indikatoren abgeleitet werden. Über solche Paare lassen sich für

einzelne Themenfelder möglicherweise evaluierende Aussagen treffen (z. B. kann ein Rückgang der gefährdeten Fichtenbestände auf die Förderung und Finanzierung im Waldumbau zurückgeführt werden). Systematisch kann dies allerdings im Rahmen des Monitorings aufgrund fehlender Datenverfügbarkeit nicht erfolgen.

Mit dem bayerischen Klimaschutzprogramm werden außerdem erstmals Umsetzungsindikatoren für einzelne Klimaanpassungsmaßnahmen benannt, die eine Bewertung des Umsetzungsstands der Maßnahmen und Ziele zur Klimaanpassung in Bayern erlauben. Diese Daten könnten zukünftig in das Monitoring integriert werden.

Weiter sollen zur Unterstützung der Interpretation und Bewertung der Indikatoren zukünftig Trendschätzungen für die Zeitreihen durchgeführt werden.

Bei der Weiterentwicklung des Indikatorensystems sollen zudem Fernerkundungsdaten berücksichtigt werden. Insbesondere dort, wo flächendeckende Daten aus Bodenbeobachtungen fehlen, können Satellitendaten, z. B. zur Erfassung von urbanen Grünflächen, eine gute Ergänzung bieten.

Aufgrund der topographischen und naturräumlichen Unterschiede innerhalb Bayerns sollen mithilfe der Indikatoren – wenn möglich – verstärkt auch regionale Aussagen getroffen werden, um regionale Hotspots zu identifizieren.

Die Geschwindigkeit des Klimawandels und die stetige Weiterentwicklung des Wissensstandes im Bereich Klimafolgen und Klimaanpassung erfordern es, dass das Indikatorensystem regelmäßig überprüft, angepasst und weiterentwickelt wird. Der vorliegende erste Monitoringbericht stellt hierfür den Startpunkt dar.

Glossar

Allergie

Bei einer Allergie reagiert das Immunsystem überempfindlich auf eigentlich harmlose körperfremde Substanzen (Allergene) wie z. B. Pflanzenpollen. Die Beschwerden können leicht, teilweise aber auch sehr belastend für die Betroffenen sein. Das Allergenspektrum sowie die allergischen Beschwerden können nach Aufenthaltsort, Jahres-/Tageszeit und meteorologischen Gegebenheiten deutlich variieren.

Attributionsforschung

Der Begriff Attribution bezeichnet die Zuordnung von Eigenschaften. Im Bereich der Klimawissenschaften wird konkret untersucht, ob und in welchem Ausmaß der voranschreitende Klimawandel für bestimmte extreme Wetterereignisse verantwortlich ist.

BayernNetz Natur

BayernNetzNatur ist ein 1986 etabliertes Programm zur Umsetzung der Bayerischen Biodiversitätsstrategie. In den mittlerweile über 400 abgeschlossenen oder laufenden Einzelprojekten haben unterschiedliche Träger Maßnahmen für den bayernweiten Biotopverbund, zur Erhaltung gefährdeter Arten sowie zur Optimierung von Schutzgebieten umgesetzt. Als Träger engagieren sich Landkreise, Gemeinden und Verbände.

CO₂-Düngeeffekt

Pflanzen reagieren unterschiedlich und ungleichmäßig auf eine erhöhte CO₂-Konzentration in der Luft. Grundsätzlich regt ein vermehrtes Angebot von Kohlendioxid die Photosynthese an, wobei die Wirkung bei sogenannten C3-Pflanzen wie Weizen, Reis und Soja stärker ist als bei sogenannten C4-Pflanzen wie Mais, Hirse oder Zuckerrohr. Feldexperimente zeigen jedoch, dass dieser sogenannte „CO₂-Düngeeffekt“ oft keine oder nur eine vorübergehende Wirkung auf das Wachstum hat.

Eigentumsgleich gesicherte Flächen

Flächen, die mit Förderung durch das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz oder des Naturschutzfonds angekauft wurden, Flächen der Naturschutzverbände, Flächen der Direktion für Ländliche Entwicklung sowie Ausgleichsflächen. Diese Flächen sind im LfU-Ökoflächenkataster verzeichnet.

Erdrutsch

Ein Erdrutsch ist ein naturbedingtes Abgleiten oder Abstürzen von Gesteins- oder Erdmassen. Erdrutsch kann im Rahmen der Gefahrengruppe „Weitere Elementargefahren“ sowohl in der Geschäftsversicherung als auch in der Gebäudeversicherung und in der Hausratversicherung mitversichert werden.

Erdsenkung

Eine Erdsenkung ist eine naturbedingte Absenkung des Erdbodens, die durch unterirdische Auslaugung und Verfrachtung von meist leicht-löslichem Gestein und der Bildung natürlicher Hohlräume verursacht wird.

Schäden, die durch Erdsenkungen entstehen, können sowohl in der Geschäftsversicherung als auch in der Gebäudeversicherung und in der Hausratversicherung mitversichert werden (Gefahrengruppe „Weitere Elementargefahren“).

Erweiterte Elementarschadenversicherung

Eine Elementarschadenversicherung deckt Schäden ab, die durch extreme Naturereignisse verursacht werden. Darunter fallen Schäden durch Überschwemmung (durch Ausuferung und Starkregen), Rückstau, Erdbeben, Erdsenkung, Erdrutsch, Schneeeindruck, Lawinen und Vulkanausbruch. In erweiterten Versicherungen gegen Elemen-

tarschäden sind die Einzelgefahren i. d. R. nicht frei wählbar. Es gilt ein Versicherungsschutz gegen die Gesamtheit der Schadensursachen, auch wenn das individuelle Schadensrisiko der einzelnen versicherten Objekte sehr unterschiedlich sein kann. Dies wird typischerweise bei der Berechnung des individuellen Beitrages berücksichtigt. Aufgrund des Risikoausgleichs ist diese Vertragsgestaltung jedoch notwendig. Die Elementarschadenversicherung kann entweder zusätzlich zur Hausrat- oder zur Wohngebäudeversicherung abgeschlossen werden.

Gefühlte Temperatur (GT)

Die GT dient zur gesundheitsrelevanten Bewertung der thermischen Umwelt (nach Jendretzky 1990). Berücksichtigt werden zur Berechnung die Lufttemperatur, die lang- und kurzweiligen Strahlungsflüsse, die Luftfeuchte und die Windgeschwindigkeit. Berechnet wird auf der Grundlage eines Wärmebilanzmodells des menschlichen Körpers, das alle relevanten Mechanismen des Wärmeaustauschs mit der atmosphärischen Umwelt einschließt. Der Wärmeaustausch wird für einen Standard-Menschen modelliert, den so genannten Klima-Michel. Dieser Standard-Mensch passt seine Bekleidung soweit an, dass er nach Möglichkeit im thermischen Komfortbereich bleibt.

Gesetzlich geschützte Flächen

Dazu gehören nach dem Naturschutzrecht unter anderem:

- Naturschutzgebiete
- Nationalparks
- Natura-2000-Gebiete
- Flächen nach Paragraph 30 des Bundesnaturschutzgesetzes in Verbindung mit Artikel 23 des Bayerischen Naturschutzgesetzes
- Naturwaldreservate
- geschützte Landschaftsbestandteile
- flächige Naturdenkmäler

Gewässer I. Ordnung

GEW I sind Gewässer, die wasserwirtschaftlich, insbesondere wegen ihrer Wasser-, Geschiebe-, Schwebstoff- oder Eisführung oder wegen ihrer Nutzbarkeit von größter Bedeutung sind. Auch größere Seen können in diese Kategorie fallen – GEW I sind in Anlage 1 zum BayWG aufgelistet. Für GEW I (mit Ausnahme der Bundeswasserstraßen) liegt die Verpflichtung zum Ausbau und zur Unterhaltung im Allgemeinen beim Freistaat Bayern.

Gewässer II. Ordnung

GEW II sind mittelgroße Gewässer, die nicht zur ersten Ordnung gehören, jedoch im Hinblick auf oben genannte Eigenschaften wasserwirtschaftlich von relevanterer Bedeutung sind – sie sind in Anlage 1 der Bekanntmachung aufgelistet. Für GEW II liegt die Verpflichtung zum Ausbau und zur Unterhaltung im Allgemeinen beim Freistaat Bayern.

Gewässer III. Ordnung

GEW III sind alle anderen zumeist kleinen Gewässer und Bäche. Für GEW III liegt die Verpflichtung zum Ausbau und zur Unterhaltung im Allgemeinen bei den Gemeinden und im Einzelfall bei Wasser- und Bodenverbänden (bzw. im gemeindefreien Gebiet bei den Eigentümern).

Gradtag

Ein Gradtag ist das Produkt aus einem Tag und der Differenz zwischen → **Heizgrenztemperatur** bzw. Kühlgrenztemperatur und der an diesem Tag geltenden Tagesmitteltemperatur. Die Gradtage eines Betrachtungszeitraums sind die Summe aller einzelnen (diskreten) Gradtage innerhalb des Betrachtungszeitraums. (Einheit: K*d)

Grundwasserneubildung

Die Grundwasserneubildung wird wesentlich durch den Anteil des Niederschlags bestimmt, der als Sickerwasser aus der durchwurzelten Bodenzone den Grundwasserleiter erreicht und ist ein wichtiges Maß für die natürliche Regenerationsfähigkeit der Grundwasserressourcen. Sie stellt vereinfacht die Bilanzgröße aus Niederschlag

abzüglich Verdunstung und Oberflächenabfluss dar.

Heizgrenztemperatur

Die Heizgrenztemperatur ist der Wert der Tagesmitteltemperatur, unterhalb welchem rechnerisch nach der Gradtagmethode Heizen erforderlich ist, um die geforderte Rauminnentemperatur zu erreichen. Sie ist u. a. abhängig von der Dämmung des Gebäudes und seiner tatsächlichen Innenraumtemperatur.

Hitzetage

Temperaturkenntag, an dem das Maximum der Lufttemperatur über 30 °C liegt.

Höchster schiffbarer Wasserstand

Oberer Grenzwert, bis zu dem der Verkehr auf der Wasserstraße zulässig ist: Wird bei Hochwasser dieser Wasserstand erreicht, muss die Schifffahrt eingestellt werden, um zu verhindern, dass die Schiffe an den Brücken Schaden nehmen sowie um Schäden in den Uferbereichen durch die Schiffswellen zu vermeiden.

Huglin-Index (Wärmeindex Rebsorteneignung)

Mit Hilfe des Huglin-Index kann die Anbaueignung verschiedener Rebsorten abgeschätzt werden, da jede Rebsorte eine bestimmte Wärmesumme benötigt, um erfolgreich über längere Zeit in einem Gebiet kultiviert zu werden. Der Index stellt die Temperatursumme oberhalb von 10 °C für den Zeitraum 1. April bis 30. September dar, wobei auch die geografische Breite Berücksichtigung findet.

Humus

Zur organischen Substanz der Böden gehören alle abgestorbenen pflanzlichen und tierischen Stoffe sowie deren organische Umwandlungsprodukte. Die Gesamtheit der toten organischen Substanz bildet den Humus. Die stoffliche Beschaffenheit des Humus und seine Zusammensetzung sind sehr heterogen. Die Bedeutung des Humus liegt in der komplexen Beeinflussung nahezu aller Bodeneigenschaften und -funktionen wie beispielsweise der Nährstoffspeiche-

rung und -nachlieferung, der Reinigung und Speicherung von Wasser, der Stabilisierung der Bodenstruktur und der Speicherung von Kohlenstoff im Hinblick auf die Klimaregulierung.

Katastrophe

Eine Katastrophe im Sinn des Bayerischen Katastrophenschutzgesetzes (BayKSG) ist gemäß Artikel 1 Absatz 2 BayKSG ein Geschehen, bei dem Leben oder Gesundheit einer Vielzahl von Menschen oder die natürlichen Lebensgrundlagen oder bedeutende Sachwerte in ungewöhnlichem Ausmaß gefährdet oder geschädigt werden und die Gefahr nur abgewehrt oder die Störung nur unterbunden und beseitigt werden kann, wenn unter Leitung der Katastrophenschutzbehörde die im Katastrophenschutz mitwirkenden Behörden, Dienststellen, Organisationen und die eingesetzten Kräfte zusammenwirken. Das Vorliegen einer Katastrophe ist gemäß Artikel 4 Absatz 1 BayKSG durch die Katastrophenschutzbehörde festzustellen.

Lichtqualität

Die Lichtqualität wird durch die spektrale Zusammensetzung des Lichts charakterisiert. Die Zusammensetzung des Lichtspektrums dient den Pflanzen als Umweltsignal, das sie mit Fotorezeptoren erfassen. Reaktionen sind z. B. die Triebstreckung bei Beschattung (oder auch Vergeilung) oder die Ausrichtung der Sprossachse zum Licht hin.

Natura 2000

Natura 2000 ist ein länderübergreifendes Netz von Schutzgebieten innerhalb der Europäischen Union. Es besteht aus Schutzgebieten der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH-Richtlinie von 1992) sowie der Vogelschutzrichtlinie von 1979 der Europäischen Union.

Neophyt

Als Neophyten bezeichnet man Pflanzen, die unter bewusster oder unbewusster, direkter oder indirekter Mithilfe des Menschen nach 1492, dem Jahr der Entdeckung Amerikas durch Christoph Kolumbus, in ein Gebiet gelangt sind, in dem sie natürlicherweise nicht vorkamen. Unter den eingeführten Arten bleiben viele auf menschliche Pflege angewiesen, ein Teil aber tritt auch wildwachsend im neuen Gebiet auf. Nur ein kleiner Teil von diesen kann dabei so dominant werden, dass einheimische Arten oder Lebensräume bedroht werden. Diese werden im Sinne der Biodiversitätskonvention als „invasive gebietsfremde Arten (invasive alien species, IAS)“ bezeichnet. Invasive Arten rufen häufig neben ihrem negativen Einfluss auf die biologische Vielfalt auch wirtschaftliche oder gesundheitliche Schäden hervor.

Offenland

Offenland bezeichnet nicht überbaute oder durch Gehölzvegetation dominierte Gebiete. Darunter fallen somit alle Biotoptypen, die nicht zum Wald zählen, also beispielsweise landwirtschaftlich genutzte Flächen wie Äcker und Grünland, natürliche Gebiete wie Moore und Blockhalden oder ehemals intensiver genutzte Gebiete wie stillgelegte Truppenübungsplätze oder Bergbaufolgelandschaften. Siedlungsräume und Verkehrswege gehören nicht zum Offenland.

Ökolandbau/ Ökologische Landwirtschaft

Der ökologische Landbau ist eine umwelt- und tiergerechte sowie ressourcenschonende Art der Landwirtschaft, welche die Anforderungen der EG-Öko-Verordnung (VO EG Nr. 834/2007) zur ökologischen beziehungsweise biologischen Landwirtschaft erfüllt.

Phänologie

Das Wort Phänologie ist dem Griechischen entlehnt und bedeutet Lehre von den Erscheinungen. In der modernen Biologie und Ökologie erfasst die Phänologie den jahreszeitlichen Entwicklungsgang von Pflanzen und Tieren, der neben endogenen Faktoren durch exogene Faktoren – insbesondere

durch den Witterungsverlauf während des Jahres – gesteuert wird (DWD).

Phänologische Jahreszeiten

Das phänologische Jahr wird in zehn physiologisch-biologisch begründete phänologische Jahreszeiten eingeteilt, deren Beginn durch den Eintritt ausgewählter phänologischer Phasen (Leitphasen) bestimmt wird (DWD 2013). In den gemäßigten Breiten wiederholen sich die phänologischen Jahreszeiten in einem über die Jahre hinweg regelmäßig wiederkehrenden Ablauf, wobei sich der Beginn in den einzelnen Jahren zum Teil erheblich verfrühen oder verspäten kann. Außerdem können systematische Verschiebungen der Eintrittstermine über längere Zeiträume auftreten, die beispielsweise durch den Klimawandel verursacht werden.

Phänologische Leitphase

Der Beginn der phänologischen Jahreszeiten wird durch den Eintritt phänologischer Leitphasen bestimmt (DWD 2013). Grundsätzlich stehen für die Festlegung einer phänologischen Leitphase verschiedene phänologische Phasen zur Auswahl. So kann beispielsweise der Beginn des Erstfrühlings durch den Beginn der Blüte der Forsythie (*Forsythia suspensa*), den Beginn der Blüte des Buschwindröschens (*Anemone nemorosa*) oder den Beginn der Blattentfaltung der Stachelbeere (*Ribes uvacrispa*) angezeigt werden.

Phänologische Phase

In der Phänologie unterscheidet man verschiedene phänologische Phasen, deren Beginn durch das Eintreten bestimmter Ereignisse in der Entwicklung ausgewählter Arten angezeigt wird. Eine solche phänologische Phase ist z. B. der Beginn der Blüte einer bestimmten Pflanzenart. Zur Bestimmung der phänologischen Phasen werden weitverbreitete Wild- und Nutzpflanzen in ihrem Entwicklungsgang im Verlauf des Jahres beobachtet. Der Beginn einer phänologischen Phase wird in einem größeren Gebiet an möglichst vielen Orten und Individuen beobachtet. Im Ergebnis kann der über das Gebiet gemittelte Eintrittstag im jeweiligen Kalenderjahr berechnet werden (DWD).

Phänologische Uhr

Die Phänologische Uhr ist eine Darstellung des DWD, die die phänologischen Jahreszeiten – und somit den zeitlichen Vegetationsablauf, wie er im Mittel für ein bestimmtes Gebiet erwartet werden kann – beschreibt. Dabei wird jede phänologische Jahreszeit durch eine Leitphase eröffnet und endet mit dem Beginn der darauffolgenden phänologischen Jahreszeit. Für die jeweilige phänologische Jahreszeit werden das mittlere Eintrittsdatum, das mittlere Enddatum (Beginn der folgenden phänologischen Jahreszeit minus einen Tag) sowie die mittlere Dauer der Phase in Tagen angegeben (DWD 2013).

Pollenallergie

Der Heuschnupfen führt bei etwa jedem dritten Heuschnupfenpatienten unbehandelt zu einem Pollenasthma. Die Atemwegserkrankungen werden durch den Blütenstaub (Pollen) von Bäumen, Sträuchern, Gräsern, Getreide und Wildkräutern ausgelöst. Urheber sind die Befruchtungszellen der Pflanzen, die bei der Berührung mit der menschlichen Schleimhaut ihren Zellinhalt entleeren. Oft sind es nicht nur Pollen einer, sondern verschiedener Pflanzen, die bei Betroffenen allergische Probleme auslösen.

Niedrigwasserstand Donau

Der Niedrigwasserstand bzw. Regulierungs-Niedrigwasserstand auf der Donau ist definiert als der Wasserstand, der sich an mindestens 94 Prozent aller eisfreien Tage im Jahr einstellt (als statistisches Mittel der Jahre 1961 bis 1990). Das Wasser- und Schifffahrtsamt unterhält auf der Donau eine Fahrrinntiefe von 2,0 m unter Regulierungs-Niedrigwasserstand. Der Regulierungs-Niedrigwasserstand am Pegel Pfelling beträgt 2,90 m.

Regenerosivität

Bezeichnet das Potential eines Regens, Bodenerosion zu verursachen.

Schadenaufwand

Der Schadenaufwand umfasst Zahlungen und Rückstellungen für die im Geschäftsjahr verursachten Schäden einschließlich der Aufwendungen für die Schadenregulierung.

Mitunter wird synonym auch der Begriff der Versicherungsleistungen verwendet. Gemeint ist in keinem der beiden Fälle jedoch nur der Betrag, den der Versicherungsnehmer im Schadenfall letztendlich ausbezahlt bekommt.

Scheinleistung

Die Scheinleistung bzw. Bemessungsscheinleistung ist definiert als die geometrische Summe aus Wirkleistung P und Blindleistung Q_{ges} (nicht zur tatsächlichen Leistung beitragender Energiefluss). Einheit: MVA = MegaVoltAmpere. Elektrische Betriebsmittel, die Leistung übertragen, wie Transformatoren oder elektrische Leitungen, müssen entsprechend der übertragbaren Scheinleistung ausgelegt sein.

Schwerwiegende Unfälle mit Sachschaden (im engeren Sinne)

sind Unfälle, bei denen als Unfallursache ein Straftatbestand oder eine Ordnungswidrigkeit (Bußgeld) im Zusammenhang mit der Teilnahme am Straßenverkehr vorlag und bei denen gleichzeitig mindestens ein Kfz aufgrund des Unfallschadens von der Unfallstelle abgeschleppt werden musste (nicht fahrbereit).

Siedlungs- und Verkehrsfläche

Zu den Siedlungs- und Verkehrsflächen gehören: Gebäudeflächen und diejenigen Freiflächen, die den Zwecken der Gebäude untergeordnet sind (Gebäude- und Freifläche), die Betriebsflächen, die überwiegend gewerblich oder industriell genutzt werden, abzüglich Abbauflächen (Betriebsfläche ohne Abbaufläche), die Erholungsflächen (etwa Sportplätze), die Friedhofsflächen und Flächen, die dem Straßen-, Schienen- und Luftverkehr dienen (Verkehrsfläche). Die Siedlungs- und Verkehrsfläche ist nicht gleichzusetzen mit der versiegelten Fläche, da in die Siedlungs- und Verkehrsfläche auch unbebaute und nicht versiegelte Flächen eingehen. Auch unter den Erholungsflächen kann es versiegelte Flächen geben (z. B. Sportplätze).

Strahlungsnacht

Durch geringe Bewölkung und somit starke terrestrische Wärmeabstrahlung gekennzeichnete Nacht, während der es – abhängig von weiteren Einflüssen auf den Strahlungshaushalt, beispielsweise entgegenwirkender städtischer Abwärme – zu Abkühlung kommt.

Trockenheitsindex

Der Trockenheitsindex beschreibt den Füllungszustand des Bodenwasserspeichers und ist ein Indikator für die Wasserverfügbarkeit im Boden. Als Schwellenwert wurde in Anlehnung an die Vorgehensweise des Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg eine 30-prozentige Füllung des Bodenwasserspeichers, bezogen auf die nutzbare Feldkapazität, definiert.

Tropennächte

Temperaturkenntag, an dem das Minimum der Lufttemperatur über 20 °C liegt.

Unfälle mit Personenschaden

Unfälle, bei denen Menschen getötet oder (schwer/leicht) verletzt wurden.

Verbundene Wohngebäudeversicherung

Die Verbundene Wohngebäudeversicherung ist eine so genannte kombinierte Versicherung, die i.d.R. Versicherungsschutz gegen die Gefahren Brand, Blitzschlag, Explosion, Leitungswasser, Sturm und Hagel bietet. Der Versicherungsgegenstand ist das Wohngebäude, ohne dessen Inhalt an beweglichen Sachen. Die Gefahrenreihe kann durch den Abschluss einer erweiterten Elementarschadenversicherung ergänzt werden.

Versorgungsunterbrechung

Kundenunterbrechungen mit einer Dauer von länger als drei Minuten.

Vertraglich gesicherte Flächen

Flächen, auf denen Maßnahmen im Rahmen des Vertragsnaturschutzprogramms durchgeführt werden.

Vertragsnaturschutzprogramm (VNP)

Ziel des Vertragsnaturschutzprogramms (VNP) ist es, die Leistungsfähigkeit des Naturhaushalts zu sichern und zu verbessern sowie die Lebensräume und Lebensgemeinschaften der heimischen Tier- und Pflanzenwelt zu erhalten. Das Programm fördert eine schonende Bewirtschaftung von gesetzlich geschützten Biotopflächen: Landwirte, die auf freiwilliger Basis ihre Flächen nach den Zielen des Naturschutzes bewirtschaften, erhalten für den zusätzlichen Aufwand und den entgangenen Ertrag ein angemessenes Entgelt.

Vorbehaltsgebiete

Vorbehaltsgebiete messen in den jeweiligen Gebieten bestimmten raumbedeutsamen Funktionen oder Nutzungen für nachfolgende Abwägungen mit konkurrierenden raumbedeutsamen Nutzungen ein besonderes Gewicht bei. Sie schließen aber die Zulassung entgegenstehender Nutzungen nicht vollständig aus. Es handelt sich bei Vorbehaltsgebieten um Grundsätze der Raumordnung. Grundsätze sind gemäß Art. 14 Abs. 2 Satz 2 BayLplG zu berücksichtigen, d. h. ihre inhaltliche Ausrichtung ist bei weiteren, auf der Ebene der Raumordnung noch nicht abschließend vollzogenen Abwägungen mit anderen örtlichen oder sektoralen Belangen zu berücksichtigen.

Vorranggebiete

Vorranggebiete geben bestimmten raumbedeutsamen Funktionen oder Nutzungen Priorität und schließen andere raumbedeutsame Nutzungen in diesem Gebiet aus, soweit Letztere mit den vorrangigen Funktionen, Nutzungen oder Zielen der Raumordnung nicht vereinbar sind. Es handelt sich dabei um Ziele der Raumordnung. Ziele der Raumordnung sind gemäß Art. 14 Abs. 2 Satz 1 BayLplG zu beachten. Dies bedeutet, dass sie bereits letztverbindlich abgewogen sind. Sie können deshalb in Bauleitplänen und in Fachplanungen nicht erneut abgewogen (respektive: „weggewogen“), sondern nur noch dem jeweiligen Planungsmaßstab entsprechend konkretisiert werden.

Wärmeinseleffekt

Der Wärmeinseleffekt in der Stadthindernisschicht (urban canopy layer UHI) beschreibt die Temperaturdifferenz zwischen Stadt und Umland, gemessen in 2 m Höhe. Durch städtische Bebauung und versiegelte Flächen heizen sich Städte stärker auf als das Umland, wodurch es zu einem Temperaturunterschied von mehreren Grad Celsius kommen kann. Städtische Wärmeinseln sind in windschwachen Strahlungsnächten besonders stark ausgeprägt.

Wärmeinselintensität

Die Wärmeinselintensität beschreibt das Ausmaß des Wärmeinseleffektes.

Warnkreise

Die Warnkreise des DWD orientieren sich an der Verwaltungsgliederung nach Landkreisen, sind aber mit diesen nicht identisch (z. B. wegen unterschiedlicher Höhenlagen in den Landkreisen). Teilweise aggregiert der DWD bei seiner Einteilung in Kreise einzelne Kreis-Verwaltungseinheiten (z. B. eine kreisfreie Stadt mit dem sie umgebenden Landkreis). Ebenso kommt das Gegenteil vor, dass ein Landkreis, z. B. wenn er ein großes Spektrum an Höhenstufen umfasst, vom DWD in mehrere Warnkreise aufgeteilt wird, etwa in Hochland und Tiefland. Daher lassen sich als Datengrundlage für die Anzahl der Landkreise nicht die offiziellen Daten des Statistischen Bundesamtes nutzen, sondern es muss auf die Daten des DWD zurückgegriffen werden.

Wildbäche

Dabei handelt es sich um diejenigen → [Gewässer III. Ordnung](#) – ggf. auch nur einzelne Streckenabschnitte – die wildbachtypische Eigenschaften (großes Gefälle, rasch und stark wechselnder Abfluss, zeitweise hohe Feststoffführung) aufweisen. Wildbachstrecken sind in einem eigenen Verzeichnis (Anlage 2 zur Bekanntmachung) eingetragen. Abweichend von der Festlegung der Zuständigkeiten bei [Gewässer III. Ordnung](#) ist bei Wildbächen der Freistaat Bayern zum Ausbau verpflichtet, soweit es das Wohl der Allgemeinheit erfordert und die Finanzierung gesichert ist. Für die ausgebauten

Wildbachstrecken liegt auch die Unterhaltungslast im Allgemeinen beim Freistaat Bayern. Für die nicht ausgebauten Strecken sind dagegen im Allgemeinen die Gemeinden (vgl. [Gewässer III. Ordnung](#)) zuständig.

Verantwortungsarten

Arten, für die Deutschland aus globaler Perspektive eine besondere Verantwortlichkeit zugemessen wird, weil sie

- nur hier vorkommen oder
- ein bedeutender Teil der Weltpopulation hier vorkommt oder
- die Art weltweit gefährdet ist.

Bei diesen Arten sind besondere Anstrengungen erforderlich, um den Weltbestand zu sichern. Ihr Schutz hat einen hohen Stellenwert im Naturschutz.

Literatur

- adelphi / PRC / EURAC (2015): Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel. Umweltbundesamt. Climate Change 24/2015. www.umweltbundesamt.de/publikationen/vulnerabilitaet-deutschlands-gegenueber-dem (Abruf am 27.07.2023).
- Agrawala, S., et al. (2011): Private Sector Engagement in Adaptation to Climate Change: Approaches to Managing Climate Risks, OECD Environment Working Papers, No. 39, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/5kg221jkf1g7-en> (Abruf am 27.07.2023).
- Arbeitskreis Bioindikation/Wirkungsermittlung der Landesumweltämter (AK Bioindikation) (2020): Monitoring von Klimaveränderungen mit Hilfe phänologischer Beobachtungen. Teil 1 – Bedeutung phänologischer Beobachtungen.
- Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) [Hrsg.] (2010): Standorttypische Humusgehalte von Ackerböden in Bayern. Schriftenreihe 05 der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Freising, 46 S.
- Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) [Hrsg.] (2019): Auftreten von Ambrosia artemisiifolia in Bayern. Institut für Pflanzenschutz – Herbologie (Gehring K. & Thyssen S.) https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ips/dateien/charakterisierung_der_befallsfl_uchen_07-12.pdf (Abruf am: 27.07.2023)
- Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG) [Hrsg.] (a): Rebsorten-Portrait des Merlot. www.lwg.bayern.de/mam/cms06/weinbau/dateien/w1-rebsorten-merlot.pdf (Abruf am: 27.07.2023).
- Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG) [Hrsg.] (b): Rebsorten-Portrait von Cabernet Sauvignon. www.lwg.bayern.de/mam/cms06/weinbau/dateien/w1-rebsorte-neue-cab.sauvignon.pdf (Abruf am: 27.07.2023).
- Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (LGL) [Hrsg.] (2021): Hitzeaktionspläne in Kommunen – Unterstützung bei der Erstellung von Maßnahmen und Konzepten – Toolbox. München, 24 S.
- Bayerisches Landesamt für Statistik (LfStat) [Hrsg.] (2021): Indikatorenbericht zur nachhaltigen Entwicklung in Bayern. Fürth, 102 S.
- Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU) [Hrsg.] (2014): Beeinflusst der Klimawandel die Jahreszeiten in Bayern – Antworten der Phänologie. UmweltSpezial – Augsburg, 35 S.
- Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU) [Hrsg.] (2017): Indikatoren zu Klimafolgen und Klimaanpassung in Bayern. Machbarkeitsstudie. Augsburg, 67 S.
- Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU) [Hrsg.] (2019): Umweltbericht Bayern 2019. – Augsburg, 103 S.
- Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU) [Hrsg.] (2020): Veränderungen der Humusqualität und -quantität bayerischer Böden im Klimawandel. UmweltSpezial – Augsburg, 83 S.

- Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU) [Hrsg.] (2021): Bayerns Klima im Wandel – Heute und in der Zukunft. – Augsburg, 11 S.
- Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU): Indikator Ökologische Landwirtschaft. https://www.lfu.bayern.de/umweltdaten/indikatoren/ressourcen_effizienz/landwirtschaft/index.htm (Abruf am 27.07.2023).
- Bayerische Staatsregierung (2016): Bayerische Klima-Anpassungsstrategie (BayKLAS) 2016. München, 224 S.
- Bayerisches Staatsministerium für Gesundheit und Pflege (StMGP) [Hrsg.] (2020): Endbericht Forschungsvorhaben zur Beifuß-Ambrosie in Bayern (FOBAB VI-Studie): <https://www.stmgrp.bayern.de/vorsorge/umwelteinwirkungen/ambrosia-bekaempfung/> (Abruf am 27.07.2023).
- Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV) [Hrsg.] (2014): Hochwasserschutz Aktionsprogramm 2020plus. München, 56 S.
- Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV) [Hrsg.] (2021): Instrumente zur Klimaanpassung vor Ort. Eine Arbeitshilfe für Kommunen in Bayern. München, 46 S.
- Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV) [Hrsg.] (2022): Bayerisches Gewässer-Aktionsprogramm 2030. München, 78 S.
- Beck, I., Jochner, S., Gilles, S., McIntyre, M., Buters, J.T. M., Schmidt-Weber, C., Behrendt, H., Ring, J., Menzel, A. & Traidl-Hoffmann, C. (2013): High Environmental Ozone Levels Lead to Enhanced Allergenicity of Birch Pollen. PLOS one, November 20, 2013.
- Beggs, P. J. (2010): Adaptation to impacts of climate change on aeroallergens and allergic respiratory diseases. International Journal of Environmental Research and Public Health 7(8).
- Bergmann, K.C., Zuberbier, T., Augustin, J., Mücke, H.-G. & Straff, W. (2012): Klimawandel und Pollenallergie: Städte und Kommunen sollten bei der Bepflanzung des öffentlichen Raums Rücksicht auf Pollenallergiker nehmen. Allergo Journal 21(2): 103-108.
- Bolte, A. & Ibisch, P. L. (2007): Neun Thesen zu Klimawandel, Waldbau und Waldnaturschutz, AFZ – Der Wald 11/2007: 572-576.
- Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) (2021): Strukturdaten zum Ökologischen Landbau in Deutschland. https://www.ble.de/DE/Themen/Landwirtschaft/Oekologischer-Landbau/_functions/StrukturdatenOekolandbau_table.html (Abruf am 27.07.2023).
- Bundesnetzagentur (BnetzA) (2020): Hinweise zur Zuordnung von Versorgungsunterbrechungen zum Störungsanlass höhere Gewalt. Bonn, 12 S. https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/Netzentgelte/Strom/Qualitaetselement/HinweiseHoehereGewalt.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (Abruf am 27.07.2023).
- Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) (2017): Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft. Bestandsaufnahme, Handlungsoptionen und strategische Handlungsfelder.

- Bund Ökologische Lebensmittelwirtschaft (BÖLW) (2021): Branchenreport Ökologische Lebensmittelwirtschaft. Berlin, 41 S. https://www.boelw.de/fileadmin/user_upload/Dokumente/Zahlen_und_Fakten/Brosch%C3%BCre_2021/07_B%3%96LW_Branchen-report_2021_BioUmsatz.pdf (Abruf am 27.07.2023).
- Christidis, N., Stott, P. A., Brown, S., Hegerl, G.C. & Caesar, J. (2005): Detection of changes in temperature extremes during the second half of the 20th century. *Geophysical Research Letters*, 32(20).
- Deutscher Bundestag, 17. Wahlperiode (2010): Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Undine Kurth (Quedlinburg), Cornelia Behm, Hans-Josef Fell, weiterer Abgeordneter und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN – Drucksache 17/3599 – Aktionsprogramm Ambrosia. <http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/17/037/1703799.pdf> (Abruf am 27.07.2023).
- Douville, H. et al. (2021): Weather and climate extreme events in a changing climate.
- Eis, D. (2010): Klimawandel und nicht-übertragbare Krankheiten – Was wissen wir wirklich? Fortbildung für den Öffentlichen Gesundheitsdienst durch das RKI, Arbeitsgruppe Umweltmedizin in Berlin am 25.03.2010. www.bfr.bund.de/cm/232/klimawandel_und_nicht_uebertragbare_krankheiten.pdf (Abruf am 27.07.2023).
- European Environment Agency (EAA) (2020): Economic losses from climate-related extremes in Europe. <https://www.eea.europa.eu/ims/economic-losses-from-climate-related> (Abruf am 27.07.2023).
- European Environment Agency (EAA) (2021): Interview — Protecting nature in a changing climate: our actions must focus on resilience. <https://www.eea.europa.eu/signals/signals-2021/articles/interview-protecting-nature-in> (Abruf am 27.07.2023)
- Europäische Kommission (2021a): The new common agricultural policy: 2023-27. https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/key-policies/common-agricultural-policy/new-cap-2023-27_de (Abruf am 27.07.2023).
- Europäische Kommission (2021b): EU Soil Strategy for 2030- Reaping the benefits of healthy soils for people, food, nature and climate. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. COM/2021/699 final.
- Expertenetzwerk des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV) (o. J.): Verkehrsinfrastruktur & Anpassung (SPT-102). <https://www.bmdv-expertennetzwerk.bund.de/DE/Themen/Themenfeld1/SPT1/SPT-102.html> (Abruf am 27.07.2023).
- Eyring, V. et al. (2021): Human Influence on the Climate System: Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Sixth Assessment Report.
- Flaig H., Holz, I. & Franzaring, J. (2014): Phänologie der Kulturpflanzen als Indikator für den Klimawandel in Baden-Württemberg. *Landinfo*, 5, 49-53.

- Gabrio, T., Alberternst, B., Kaminski, U., Nawrath, S. & Behrendt, H. (2010): Ambrosia – Welches gesundheitliche Risiko geht von dieser invasiven Art in Deutschland aus. Zeitschrift des Bundesverbands der Hygieneinspektoren. 12 Jg. 02/2010: 54-59.
- Gassner, M. & Schmid-Grendelmeier, P. (2013): Hay fever as a Christmas gift. *New England Journal of Medicine*. 368.
- Gaudard, L., Gilli, M. & Romerio, F. (2013): Climate Change Impacts on Hydropower Management. *Water Resource Management* 27, 5143–5156. <https://doi.org/10.1007/s11269-013-0458-1> (Abruf am 27.07.2023).
- Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV) (2021): Regionale Naturgefahrenbilanz 2020 – Saarland am stärksten von Unwettern betroffen. <https://www.gdv.de/de/medien/aktuell/saarland-am-staerksten-von-unwettern-betroffen-67534> (Abruf am 27.07.2023)
- Heaviside, C. (2020): Urban Heat Islands and Their Associated Impacts on Health. *Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science*. <https://oxfordre.com/environmentalscience/view/10.1093/acrefore/9780199389414.001.0001/acrefore-9780199389414-e-332> (Abruf am 27.07.2023).
- Hegerl, G.C. et al. (1996): Detecting greenhouse-gas-induced climate change with an optimal fingerprint method. *Journal of Climate*, 9(10): 2281-2306.
- Hertel, W., Snyder, P. K., & Twine, T. E. (2012): Factors Contributing to Urban Heat Island Development: A Global Perspective. In *AGU Fall Meeting Abstracts*, Vol. 2012, pp. B43H-0526.
- Kuttler, W. (2011): Climate Change in urban areas, Part 1, effects. *Environmental Sciences Europe* 23, 12 S. <http://www.enveurope.com/content/23/1/11> (Abruf am 27.07.2023).
- Lai, L. W. & Cheng, W. L. (2010): Urban heat island and air pollution – an emerging role for hospital respiratory admissions in an urban area. *Journal of environmental health*, 72(6), 32–35. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20104832/> (Abruf am 27.07.2023).
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2021): *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S.L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M.I., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, J.B.R., Maycock, T.K., Waterfield, T., Yelekçi, O., Yu, R. & Zhou, B. [Hrsg.]]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 S.
- Kaminski, U. & Glod, T. (2011): Are there changes in Germany regarding the start of the pollen season, the season length and the pollen concentration of the most important allergenic pollens. *Meteorologische Zeitschrift*, vol. 20, issue 5: 497-507.
- Koppe, C. (2009): Das Hitzewarnsystem des Deutschen Wetterdienstes. In: BfS, BfR, RKI, UBA 2009: *Klimawandel und Gesundheit. UMID – UmweltMedizinischer Informations-Dienst*, Nr. 3/2009: 39-43.

- Kreienkamp, F. et al. (2021): Rapid attribution of heavy rainfall events leading to the severe flooding in Western Europe during July 2021.
- Kühnel, A., Garcia-Franco, N., Wiesmeier, M., Burmeister, J., Hobley, E., Kiese, R., Dannenmann, M., Kögel-Knabner, I. (2019): Controlling factors of carbon dynamics in grassland soils of Bavaria between 1989 and 2016. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 280, 118-128.
- Lange, M., Butschalowsky, H. G., Jentsch, F., Kuhnert, R., Schaffrath Rosario, A., Schlaud, M., Kamtsiuris, P., KiGGS Study Group (2014): Die erste KiGGS-Folgebefragung (KiGGS Welle 1). Studiendurchführung, Stichprobendesign und Response. 2014. *Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz* 57(7): 747-761.
- Larsen, J. (2006): Plan B Updates – Setting the Record Straight: More than 52.000 Europeans Died from Heat in Summer 2003. Earth Policy Institute.
http://www.earth-policy.org/index.php?plan_b_updates/2006/update56
 (Abruf am 27.07.2023).
- Lemme, H. (2009): Ein ungebetener Säufer – die Mistel. Misteln befallen zunehmend Kiefern – sind sie bereits Vorboten des Klimawandels? *LWF aktuell* 72/2009: 32-33.
- Lozán, J.L., Grassl, H., Jendritzky, G., Karbe, L., Maier, A., Reise, K. (2008): Gesundheitsrisiken durch Klimawandel im Überblick. In Lozán, J., Graßl, H., Jendritzky, G., Karbe, L., Reise, K., Maier, W.A. [Hrsg.]: *Wissenschaftliche Auswertungen*. Hamburg: 11-18.
- Maaß, U. & Schwab, A. (2011): Klimawandel und Sortenwahl – Der Huglin-Index und der Wärmeanspruch von Rebsorten. *Das deutsche Weinmagazin* 10/2011. [Klimawandel_sortenwahl_Internet \(muni.cz\)](http://www.klimawandel-sortenwahl-Internet(muni.cz))
- Marvel, K. & Bonfils, C. (2013): Identifying external influences on global precipitation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(48): 19301-19306.
- Menzel, A. et al. (2006): European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biology* 12: 1969-1976.
- Menzel, A. (2007): Phänologische Modelle. *Promet / Meteorologische Fortbildung* (33) 1/2: 20-27.
- Menzel, A., Ghasemifard, H., Yuan, Y. & Estrella, N. (2021): A first pre-season pollen transportclimatology to Bavaria, Germany. *Frontiers in Allergy* 2, 627863.
- Min, S.-K., Zhang, X., Zwiers, F.W. & Hegerl, G.C. (2011): Human contribution to more-intense precipitation extremes. *Nature*, 470(7334): 378-381.
- Mühlbacher, G., Koßmann, M., Sedlmeier, K. & Winderlich, K. (2020): Stadtklimatische Untersuchungen der sommerlichen Temperaturverhältnisse und des Tagesgangs des Regionalwindes („Alpines Pumpen“) in München – Offenbach am Main: Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, 100 Seiten. (Berichte des Deutschen Wetterdienstes; 252).
- Naturschutzbund Deutschland e.V. (NABU) [Hrsg.] (2012): Tierische Einwanderer im Zeichen des Klimawandels. Pressemitteilung der NABU Walddörfer.

- Otto, F. E. (2017): Attribution of weather and climate events. *Annual Review of Environment and Resources*, 42: 627-646.
- Otto, F. E., Massey, N., Van Oldenborgh, G. J., Jones, R. G. & Allen, M. R. (2012): Reconciling two approaches to attribution of the 2010 Russian heat wave. *Geophysical Research Letters*, 39(4).
- Parmesan C. & Yohe, G. (2003): A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421: 37-42.
- Petercord, R., Wauer, A., Krüger, F. & Wallerer, G. (2017): „Grüne Mitesser“ – Die Misteln an Tanne, Kiefer und Laubbaumarten. *LWF aktuell* 1/2017: 18-22.
- Roth, M. (2013): Urban Heat Islands. In: *Handbook of Environmental Fluid Dynamics, Volume Two: Systems, Pollution, Modeling, and Measurements*. CRC press, 2012.
<https://profile.nus.edu.sg/fass/geomr/roth%20uhi%20hefd13.pdf> (Abruf am 27.07.2023).
- Santer, B. D. et al. (2018): Human influence on the seasonal cycle of tropospheric temperature. *Science*, 361(6399): eaas8806.
- Santer, B. D. et al. (1996): A search for human influences on the thermal structure of the atmosphere. *Nature*, 382(6586): 39-46.
- Schaller, N. et al. (2014): The Heavy Precipitation Event of May–June 2013 in the upper Danube and Elbe basins. *Bulletin of the American Meteorological Society* 95.
- Scherrer, S. C., Hirschi, M., Spirig, C., Maurer, F. & Kotlarski, S. (2022): Trends and drivers of recent summer drying in Switzerland. *Environmental Research Communications*.
- Schwab, A. & Knott, R. (o.J.): Vergleich der internationalen Rotweinsorten Syrah, Cabernet Sauvignon und Merlot. PowerPoint-Vortrag im Rahmen eines VOENOS-Seminars.
www.lwg.bayern.de/mam/cms06/weinbau/dateien/w1_rotweinvgl__internat_sorten-voenos.pdf (Abruf am 27.07.2023).
- Schwab, A. & Knott, R. (2012): Versuche zur Anbaueignung in Franken. Merlot – Ergänzung, aber keine Alternative. In: *Rebe & Wein* 1/2012: 24-25.
- Sperk, C. & Mücke, H.-G. (2009): Klimawandel und Gesundheit – Informations- und Überwachungssysteme in Deutschland Ergebnisse der internetbasierten Studie zu Anpassungsmaßnahmen an gesundheitliche Auswirkungen des Klimawandels in Deutschland. *Umwelt und Gesundheit* 03/2009, Dessau-Roßlau, 83 S.
- Stott, P. A., Stone, D. A. & Allen, M. R. (2004): Human contribution to the European heatwave of 2003. *Nature*, 432(7017): 610-614.
- Stott, P. A. et al. (2000): External control of 20th century temperature by natural and anthropogenic forcings. *Science*, 290(5499): 2133-2137.
- Treutlein, U. & Achhammer, C. (2018): Waldumbauoffensive 2030 – Bayern weitet Waldumbauprogramm aus. *LWF aktuell* 3/ 2018, S. 6-9

- Umweltbundesamt (UBA) (2015): Die Asiatische Tigermücke *Aedes albopictus*. Fachinformation (Faltblatt).
- Urban, F. & Mitchell, T. (2011): Climate change, disasters and electricity generation, Strengthening Climate Resilience Discussion Paper No.8, Brighton: IDS.
- Vautard, R. et al. (2022): Human influence on growing-period frosts like the early April 2021 in Central France. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*: 1-25.
- Wiesmeier, M., Urbanski, L., Hobbey, E., Lang, B., von Lützow, M., Marin-Spiotta, E., van Wesemael, B., Rabot, E., Garcia-Franco, N., Wollschläger, U., Vogel, H.J., Kögel-Knabner, I. (2019): Soil organic carbon storage as a key function of soils – A review of drivers and indicators at various scales. *Geoderma*, 333, 149-162.
- Willett, K. M., Gillett, N. P., Jones, P. D. & Thorne, P.W. (2007): Attribution of observed surface humidity changes to human influence. *Nature*, 449(7163): 710-712.
- Wimmer, W. (2010): Arten im Klimawandel. Der Vormarsch der Streifenwanze. In: *Umweltzeitung*, Heft 5/2010: 20-22.
- Winklmayr, C., Muthers, S., Niemann, H., Mücke, H. G. & an der Heiden, M. (2022): Heat-related mortality in Germany from 1992 to 2021. *Deutsches Ärzteblatt International*; 119: 451–7.
- Zhang, X. et al. (2007): Detection of human influence on twentieth-century precipitation trends. *Nature*, 448(7152): 461-465.

Bildnachweis

Adobe Stock:

© Cachaco – stock.adobe.com, Titelfeld, S. 25; © link drop – stock.adobe.com, S. 12; © brudertack69 – stock.adobe.com, S. 16 unten; © Przemyslaw Bochan – stock.adobe.com, S. 18 oben; © Michael Rogner – stock.adobe.com, S. 18 unten; © Michal – stock.adobe.com, S. 20 unten; © MNStudio – stock.adobe.com, S. 22, S. 104 links; © SiRo – stock.adobe.com, S. 26; © Svenni – stock.adobe.com, S. 27; © Moritz Ziegler – stock.adobe.com, S. 28, S. 104 rechts; © Gernot Krautberger – stock.adobe.com, S. 30; © natros – stock.adobe.com, S. 34, S. 105 oben; © wishzones – stock.adobe.com, S. 36 oben; © Natalya – stock.adobe.com, S. 36 unten; © shpak – stock.adobe.com, S. 38; © dina – stock.adobe.com, S. 40 unten; © Okea – stock.adobe.com, S. 42, S. 105 unten; © YuanGeng – stock.adobe.com, S. 44 oben; © Jacob Lund – stock.adobe.com, S. 46 oben; © ines39 – stock.adobe.com, S. 46 unten; © SoilPaparazzi – stock.adobe.com, S. 48; © galitskaya – stock.adobe.com, S. 52, S. 106 oben; © Photographee.eu – stock.adobe.com, S. 54 unten; © Jürgen Kottmann – stock.adobe.com, S. 56 oben; © Lukeriy – stock.adobe.com, S. 56 unten; © Aleksandr Lesik – stock.adobe.com, S. 61; © kcapaldo – stock.adobe.com, S. 62 oben; © Martin Erdniss – stock.adobe.com, S. 62 unten; © Yury and Tanya – stock.adobe.com, S. 66; © ThomBal – stock.adobe.com, S. 69; © Astrid Gast – stock.adobe.com, S. 70; © Stephan Dinges – stock.adobe.com, S. 76; © Hendrik Schwartz – stock.adobe.com, S. 79; © PRILL Mediendesign – stock.adobe.com, S. 80; © chungking – stock.adobe.com, S. 82, S. 107 links; © industrieblick – stock.adobe.com, S. 84 oben; © romankrykh – stock.adobe.com, S. 84 unten; © artfocus – stock.adobe.com, S. 87; © Christian Schwier – stock.adobe.com, S. 88; © dresden – stock.adobe.com, S. 90; © Csák István – stock.adobe.com, S. 92, S. 107 rechts; © forelle66 – stock.adobe.com, S. 94 oben; © Werner – stock.adobe.com, S. 100

LfU:

Dr. Georg Büttner, LfU, S. 44 unten, S. 45; Dr. Tobias Zuber, LfU, S. 72

Sonstige:

Hajo Dietz, Nürnberg Luftbild, S. 14, S. 20 oben, S. 103; Unsplash/mehmet ali turan, S. 16 oben; Unsplash/anastasiya romanova, S. 24 oben; Unsplash/alexei scutari, S. 24 unten; Martin Lauterbach, Freising, S. 32; Erich Thielscher / piclease, S. 40 oben; Unsplash/david zawila, S. 50, S. 51; geralt / Pixabay, S. 54 oben; Rudolf May / piclease, S. 58; Stefan Wicklein, Kronach, S. 64, S. 106 unten; Klaus Leidorf Luftbilddokumentation, S. 74, S. 106 mittig; Unsplash/jametlene reskp, S. 94 unten; Wasserwirtschaftsamt Deggendorf, S. 96

Herausgeber: Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV)
Rosenkavalierplatz 2, 81925 München

Internet: www.stmuv.bayern.de

E-Mail: poststelle@stmuv.bayern.de

Konzept/Redaktion: Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Klima-Zentrum
Bürgermeister-Ulrich-Str. 160
86179 Augsburg

Gestaltung: LfU

Druck: ALBERSDRUCK GmbH & Co. KG, Leichlinger Straße 11, 40591 Düsseldorf

Bildnachweis: Seite 123

Stand: Juli 2023

© StMUV alle Rechte vorbehalten



Dieses Druckerzeugnis ist mit dem Blauen Engel ausgezeichnet.

Diese Publikation wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt. Sie darf weder von den Parteien noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern im Zeitraum von fünf Monaten vor einer Wahl zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zweck der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Publikation nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Publikation zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die publizistische Verwertung der Veröffentlichung – auch von Teilen – wird jedoch ausdrücklich begrüßt. Bitte nehmen Sie Kontakt mit dem Herausgeber auf, der Sie – wenn möglich – mit digitalen Daten der Inhalte und bei der Beschaffung der Wiedergaberechte unterstützt. Diese Publikation wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die Inhalte fremder Internetangebote sind wir nicht verantwortlich.



BAYERN | DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung. Unter Tel. 089 122220 oder per E-Mail unter direkt@bayern.de erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.