



Die  
Bundesregierung

KLiVO

DEUTSCHES  
KLIMAVORSORGE-  
PORTAL

# Monitoringbericht 2019

zur Deutschen Anpassungsstrategie  
an den Klimawandel

Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe  
Anpassungsstrategie der Bundesregierung

Umwelt  
Bundesamt

# Impressum

## Herausgeber:

Umweltbundesamt  
Postfach 14 06  
06844 Dessau-Roßlau  
Tel: +49 340-2103-0  
info@umweltbundesamt.de  
Internet: www.umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

## Editoren:

Petra van Rüth (KomPass – Kompetenzzentrum Klimafolgen  
und Anpassung, Umweltbundesamt)  
Konstanze Sch nthalder, Stefan von Andrian-Werburg,  
Mareike Buth (Bosch & Partner GmbH)

## Gestaltung:

Stefan von Andrian-Werburg und Konstanze Sch nthalder  
(Bosch & Partner GmbH)

## Bildquellen:

Titel: Robert Kneschke / stock.adobe.com  
Autoren aller weiteren Bilder s. Bildunterschriften

## Druck:

AZ Druck und Datentechnik GmbH Kempten  
gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier  
klimaneutral gedruckt: ClimatePartner.com/53106-1909-1003

Stand: November 2019

## Broschüren bestellen:

Umweltbundesamt  
c/o GVP  
Postfach 30 03 61  
53183 Bonn  
Service-Telefon: 0340 2103-6688  
Service-Fax: 0340 2104-6688  
E-Mail: uba@broschuerenversand.de  
Internet: www.umweltbundesamt.de

## Publikation als pdf:

www.umweltbundesamt.de/publikationen/  
monitoringbericht-2019  
www.klivoportal.de/monitoringbericht2019

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassungsstrategie (IMAA) der Bundesregierung. Die IMAA wird geleitet vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU). In der IMAA vertreten sind Auswärtiges Amt (AA), Bundeskanzleramt (BK), Bundesministerium der Finanzen (BMF), Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI), Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS), Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), Bundesministerium der Verteidigung (BMVg), Bundesministerium für Familie, Senioren, Frauen und Jugend (BMFSFJ), Bundesministerium für Gesundheit (BMG), Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ). Ständig beisitzende Oberbehörde ist das Umweltbundesamt (UBA).

# Monitoringbericht 2019

zur Deutschen Anpassungsstrategie  
an den Klimawandel

Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe  
Anpassungsstrategie der Bundesregierung

# INHALT

Einführung .....	5	Boden.....	80
Klimaentwicklung in Deutschland .....	17	Bodenwasserversorgung – es kann zu Engpässen kommen .....	82
Die Klimaentwicklung in Deutschland seit dem Ende des 19. Jahrhunderts .....	18	Bodenabtrag durch Wasser und Wind – empfindliche Verluste .....	84
Mittlere Klimaänderungen .....	19	Humus stärkt Widerstandskraft der Böden .....	86
Änderungen der Extreme .....	22	Grünlanderhaltung – wichtig für den Bodenschutz .....	88
Indikatoren zu Klimawandelfolgen und Anpassung .....	29	Landwirtschaft .....	90
Menschliche Gesundheit .....	30	Neue Herausforderungen durch veränderte jahreszeitliche Witterungsverläufe .....	92
Hitzebelastung bringt steigende Gesundheitsrisiken ....	32	Stärkere Ertragsschwankungen erhöhen das Produktionsrisiko.....	94
Hitzewellen verursachen zusätzliche Todesfälle .....	34	Ertragsausfälle durch Extremwetterereignisse .....	96
Allergene Pflanzen gewinnen an Boden .....	36	Erhöhter Druck durch Schadorganismen ist möglich .....	98
Exotische Mücken bergen neue Gesundheitsrisiken ....	38	Anpassung der Bewirtschaftungsplanung .....	100
Cyanobakterien – Beeinträchtigung der Badegewässer.....	40	Perspektiven für neue Kulturpflanzenarten.....	102
Rechtzeitige Hitzewarnungen – Voraussetzung für gute Prävention.....	42	Anderes Klima – andere Sorten.....	104
Pollenallergische Menschen brauchen Information .....	44	Differenzierte Anwendung von Pflanzenschutzmitteln	106
Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft, Küsten- und Meeresschutz .....	46	Beregnung wird lukrativer.....	108
Vermehrtes Auftreten niedriger Grundwasserstände.....	48	Wald und Forstwirtschaft .....	110
Wasserverfügbarkeit verändert sich .....	50	Anpassungsfähigkeit der natürlichen Baumarten .....	112
Immer wieder Hochwasserereignisse .....	52	Fichte gerät zunehmend unter Druck.....	114
Niedrigwasserereignisse – keine klimawandelbedingte Häufung erkennbar .....	54	Veränderungen im Zuwachs.....	116
Klarer Trend zu höheren Wassertemperaturen in Seen ..	56	Forstwirtschaft wird risikoreicher .....	118
Frühjahrsalgenblüten – stark zwischen den Jahren schwankend.....	58	Borkenkäfer – großes Problem für die Fichte .....	120
Die Nordsee wird wärmer.....	60	Waldbrandgefahr steigt .....	122
Der Meeresspiegel der Nord- und Ostsee steigt .....	62	Kronenverlichtung durch Klimawandel? .....	124
Erhöhung von Sturmfluten durch Meeresspiegelanstieg .....	64	Mischwälder – Vielfalt streut das Risiko .....	126
Wassernutzung deutlich zurückgegangen .....	66	Aktiver Waldumbau – der Natur auf die Sprünge helfen .....	128
Zurück zur natürlichen Struktur der Gewässer.....	68	Gefährdete Nadelholzbestände gezielt reduzieren .....	130
Mehr Beschattung kühlt die Gewässer .....	70	Genetische Vielfalt – Schlüssel zur Anpassung.....	132
Küstenschutz erfordert umfangreiche Investitionen.....	72	Humus – Helfer in schweren Zeiten .....	134
Fischerei .....	74	Forstliche Information zum Thema Anpassung.....	136
Wärmeliebende Fischarten in der Nord- und Ostsee .....	76	Biologische Vielfalt .....	138
Noch unklare Entwicklungen in der Binnenfischerei .....	78	Zeitliche Entwicklung von Wildpflanzenarten verschiebt sich im Jahresverlauf .....	140
		Einfluss des Klimawandels auf Vogelarten nimmt zu... 142	
		Zunahme natürlich überflutbarer Flächen fördert die biologische Vielfalt in Auen.....	144
		Auswirkungen des Klimawandels finden zunehmend Eingang in die Landschaftsplanung.....	146
		Schutzgebiete – Rückzugsräume für Tiere und Pflanzen im Klimawandel.....	148

<b>Bauwesen .....</b>	<b>150</b>	<b>Finanzwirtschaft.....</b>	<b>212</b>
Großstädte im Hitzestress .....	152	Für die Versicherungsunternehmen könnte es	
Kühlgradtage .....	154	teuer werden.....	214
Sturzfluten – hohes Schadenspotenzial für		Risikobewusstsein – Schlüssel zur Vorsorge.....	216
Siedlungen .....	156		
Hohe witterungsbedingte Schäden in der			
Sachversicherung.....	158		
Städtische Grünflächen – kühlende Oasen.....	160	<b>Raumordnung, Regional- und</b>	
Begrünte Gebäude – gut für Klimaanpassung und		<b>Bauleitplanung .....</b>	<b>218</b>
biologische Vielfalt.....	162	Raum für Entwicklung sichern – Vorrang- und	
Klimaangepasste Gebäude – die Hitze bleibt draußen..	164	Vorbehaltsgebiete für Natur und Landschaft.....	220
Klimawandelangepasstes Bauen und Sanieren fördern..	166	Raumordnerischer Trinkwasser- und Grundwasser-	
Noch immer zu wenige Abschlüsse von Elementar-		schutz.....	222
schadenversicherungen .....	168	Flächensicherung für den Hochwasserschutz im	
		Binnenland .....	224
<b>Energiewirtschaft</b>		Freihalten von wichtigen Flächen für das lokale Klima ..	226
<b>(Wandel, Transport, Versorgung) .....</b>	<b>170</b>	Sparsame Flächenneuanspruchnahme – ein	
Die deutsche Stromversorgung, trotz Klimawandel		Beitrag auch zur Anpassung .....	228
eine der sichersten weltweit .....	172	Siedlungsentwicklung in Bereichen mit Klima-	
Hitze beeinflusst Stromproduktion konventio-		gefahren vermeiden .....	230
neller Kraftwerke .....	174		
Auf viele Schultern verteilt und zunehmend		<b>Bevölkerungsschutz .....</b>	<b>232</b>
erneuerbar – die Energieversorgung .....	176	Einsatz bis ans Ende der Kräfte? .....	234
Flexibilisierung des Stromsystems .....	178	Information und Wissen – Bausteine zur Selbsthilfe ...	236
Wasserknappheit als Problem für konventionelle		Eigenvorsorge für Notfallsituationen .....	238
thermische Kraftwerke.....	180	Übungen – Trainieren für den Ereignisfall.....	240
		Gehen uns die (Einsatz-)Kräfte aus?.....	242
<b>Verkehr, Verkehrsinfrastruktur .....</b>	<b>182</b>	<b>Handlungsfeldübergreifende</b>	
Hoch- und Niedrigwasser – Probleme für die		<b>Aktivitäten des Bundes.....</b>	<b>244</b>
Rheinschifffahrt .....	184	Bekommen wir die Klimawandelfolgen in den Griff? ...	246
Starkregen – kurz, aber heftig.....	186	Öffentlichkeitsinformation – wichtige Aufgabe des	
Sicher unterwegs bei Schnee und Eis, Regen und Hitze..	188	Bundes .....	248
Stürme und Starkregen – viel Arbeit für den		Förderung von Forschung und Entwicklung zu	
Straßenbetriebsdienst.....	190	Klimawandelfolgen und Anpassung .....	250
		Kommunen sind wichtige Akteure .....	252
<b>Industrie und Gewerbe .....</b>	<b>192</b>	Anpassung ist eine globale Herausforderung .....	254
Geringere Leistungsfähigkeit bei Sommerhitze.....	194		
Wassernutzung im Verarbeitenden Gewerbe .....	196	<b>Anhang .....</b>	<b>257</b>
		Bearbeitung .....	258
<b>Tourismuswirtschaft.....</b>	<b>198</b>	Beteiligungen .....	258
Wird der Strandurlaub an Nord- und Ostsee beliebter?..	200	Quellenverzeichnis.....	263
Bleibt das heilende Klima in Kurorten erhalten? .....	202	Abkürzungen.....	271
Nimmt die Schneesicherheit im Mittel- und			
Hochgebirge ab? .....	204		
Wie geht's dem Wintertourismus?.....	206		
Verschieben sich die Urlaubszeiten? .....	208		
Verändern die Deutschen ihr Reiseverhalten?.....	210		



# EINFÜHRUNG

## Welche Auswirkungen hat der Klimawandel und wie bereiten wir uns vor?

Der Klimawandel und seine Folgen sind bereits in Deutschland spürbar: Die heißen und trockenen Sommer 2019 und 2018 sowie die Starkregenereignisse in den Jahren 2016 und 2017 bringen den Klimawandel stärker ins öffentliche Bewusstsein. Folgen für die menschliche Gesundheit, die Land- und Forstwirtschaft sowie für private und öffentliche Gebäude und Infrastrukturen werden offensichtlicher; der Klimawandel löst auch in der Natur dynamische Anpassungsprozesse aus (etwa die Verdrängung oder Einwanderung von Tier- und Pflanzenarten), die ihrerseits Auswirkungen für den Menschen und seine wirtschaftlichen Aktivitäten haben. Für den Sommer 2018 ermittelte das Robert-Koch-Institut (RKI) für Berlin und Hessen insgesamt etwa 1.200 hitzebedingte Sterbefälle. Die Trockenheit traf auch die Landwirtschaft: Bund und Länder haben Dürrehilfen in Höhe von 340 Millionen Euro bereitgestellt. Gleichzeitig gibt der Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. (GDV) für das Jahr 2018 2,6 Milliarden Euro an versicherten Schäden an Häusern, Gewerbe- und Industriebetrieben durch Stürme, Hagel und Starkregen an.

Diese Schäden machen den dringenden Handlungsbedarf sowohl im Hinblick auf den Klimaschutz als auch die Anpassung an die Folgen des Klimawandels deutlich. Denn selbst wenn es gelingt, die Erderwärmung entsprechend den Pariser Klimazielen zu begrenzen, wird sich das Klima weiter verändern. Es bedarf einer gemeinschaftlichen Anstrengung und eines koordinierten Handelns auf allen staatlichen Ebenen, um die Voraussetzungen für eine Anpassung an die Folgen des Klimawandels in Deutschland zu schaffen.

Die Bundesregierung hat daher bereits im Jahr 2008 unter der Federführung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit die **Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS)** vorgelegt und seitdem kontinuierlich weiterentwickelt. Sie bildet den **strategischen Rahmen des Bundes** für die Politik der Klimaanpassung. Ziel ist es, die Verletzlichkeit der deutschen Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt zu verringern und die Anpassungsfähigkeit des Landes zu steigern. In 15 zentralen Handlungsfeldern werden die wesentlichen Handlungserfordernisse benannt und (innerhalb der jeweiligen Zuständigkeiten) die **konkreten Schritte und Maßnahmen** des Bundes beschrieben (in alphabetischer Reihenfolge): Bauwesen, Biologische Vielfalt, Boden, Energiewirtschaft, Finanzwirtschaft, Fischerei, Wald und Forstwirtschaft, Industrie

und Gewerbe, Landwirtschaft, menschliche Gesundheit, Tourismuswirtschaft, Verkehr und Verkehrsinfrastruktur, Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft, Küsten- und Meeresschutz sowie die Querschnitt-Handlungsfelder Bevölkerungsschutz und Raumordnung, Regional- und Bauleitplanung. Dies erfolgte im engen Schulterschluss mit Ländern und Kommunen.

Die DAS ist als **Daueraufgabe** etabliert. Sie stützt sich auf ein übergreifendes **Behördennetzwerk** aus 28 Bundesbehörden, z. B. dem Umweltbundesamt (UBA), dem Deutschen Wetterdienst (DWD), dem Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK), dem Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), der Bundesanstalt Technisches Hilfswerk (THW) und der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG). Es verfügt über ein **kontinuierliches Berichtswesen**.

Im Rahmen der DAS legt die Bundesregierung nunmehr den zweiten **Monitoringbericht 2019** vor. Er unterlegt die Wirkungen des Klimawandels mit wissenschaftlich gesicherten Daten und informiert die Öffentlichkeit sowie Entscheidungsträgerinnen und -träger in allen Bereichen des gesellschaftlichen Lebens über die beobachteten Folgen des Klimawandels. Der Monitoringbericht 2015 wird hierdurch fortgeschrieben, weitere Aktualisierungen sollen künftig alle vier Jahre erfolgen. Anhand von durch Expertinnen und Experten **ausgewählten Indikatoren und gemessenen Daten aus den 15 Handlungsfeldern** zeigt der Bericht auf, welche Veränderungen sich durch den Klimawandel heute schon in Deutschland feststellen lassen und welche Gegenmaßnahmen bereits greifen. Die Folgen der Klimaerwärmung zeigen beispielsweise bereits deutliche Wirkungen in unbewirtschafteten Ökosystemen (z. B. Veränderung der phänologischen Jahreszeiten mit Verlängerung der Vegetationsperiode, erste Veränderungen der Baumartenzusammensetzung in Naturwaldreservaten). Der Monitoringbericht belegt auch die Vorsorgeanstrengungen durch den Bund gegenüber den steigenden Risiken. Deutlich wird jedoch auch, dass die Anstrengungen zum Klimaschutz intensiviert werden müssen, um die Auswirkungen des Klimawandels zu begrenzen, und dass gleichzeitig die Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel verstärkt werden müssen, um den mit den unvermeidbaren Auswirkungen verbundenen ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Risiken effektiv zu begegnen und Schäden zu mindern.

Die Bundesregierung überprüft daher die DAS regelmäßig und entwickelt sie im Rahmen von Fortschrittsberichten weiter, die etwa alle fünf Jahre vom Kabinett beschlossen werden. Zusammen mit den Fortschrittsberichten werden die Maßnahmen der Aktionspläne vereinbart. Der

nächste Fortschrittsbericht zur DAS wird voraussichtlich im Herbst 2020 vorgelegt; die Ergebnisse des Monitoringberichts 2019 werden darin einfließen.

Die **Begleitung und Abstimmung** der Arbeiten erfolgte innerhalb der Bundesregierung unter Federführung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) über die Interministerielle Arbeitsgruppe Anpassung an den Klimawandel (IMAA). In ihr sind nahezu alle Bundesministerien und die ihnen zugeordneten wissenschaftlichen Behörden eingebunden. Der Bericht sowie das zugrundeliegende Indikatorensystem wurden unter Beteiligung zahlreicher Expertinnen und Experten aus den zuständigen Bundes- und Länderbehörden sowie aus wissenschaftlichen Einrichtungen und privaten Institutionen entwickelt. Die Arbeiten wurden vom UBA, Fachgebiet KomPass – Klimafolgen und Anpassung in Deutschland, in der Funktion einer Geschäftsstelle organisiert.

## Wesentliche Ergebnisse

Der Berichtszeitraum 2014–2017 des zweiten Monitoringberichts 2019 zur DAS war als Reihung sehr warmer Jahre geprägt von langen Trockenperioden und Extremereignissen wie Stürmen und heftigen Starkregen. Im Monitoringbericht 2019 zur DAS sind die Daten aus den Jahren 2018

und 2019 noch nicht systematisch berücksichtigt, da die Aufbereitung statistisch gesicherter, bundesweiter Daten eine zeitliche Verzögerung bedingt. Ziel des fortlaufenden Monitorings im Rahmen der DAS ist weniger eine Darstellung der jeweils aktuellsten Entwicklung, sondern die systematische Beobachtung von Klimawirkungen und Anpassung aufgrund statistisch fundierter Zeitreihen. Wo schon möglich wird in den Berichtstexten jedoch eine erste Einschätzung auf die Entwicklungen in 2018/19 gegeben.

### Ansteigende Hitzebelastung

Die Sommer in den Jahren 2003, 2018 und 2019 waren in Deutschland die wärmsten seit Beginn der Wetteraufzeichnungen. Das Jahresmittel der Lufttemperatur ist im Flächenmittel von Deutschland von 1881 bis 2018 statistisch gesichert um 1,5 °C angestiegen. In den zurückliegenden Jahrzehnten zeichnet sich ein Trend zunehmender Hitze-Extrema ab. Insbesondere die Zahl der „Heißen Tage“, an denen die höchste gemessene Temperatur 30 °C oder mehr beträgt, hat signifikant zugenommen (Indikator GE-I-1). Auf der Grundlage bundesweiter Daten zeigt sich, dass im Jahr 2003 etwa 7.500 Menschen mehr gestorben sind als ohne Hitzewelle zu erwarten gewesen wäre. Für die Jahre 2006 und 2015 ergeben sich jeweils etwa 6.000 zusätzliche Todesfälle (GE-I-2). Neben gesundheitspräventiven Maßnahmen werden

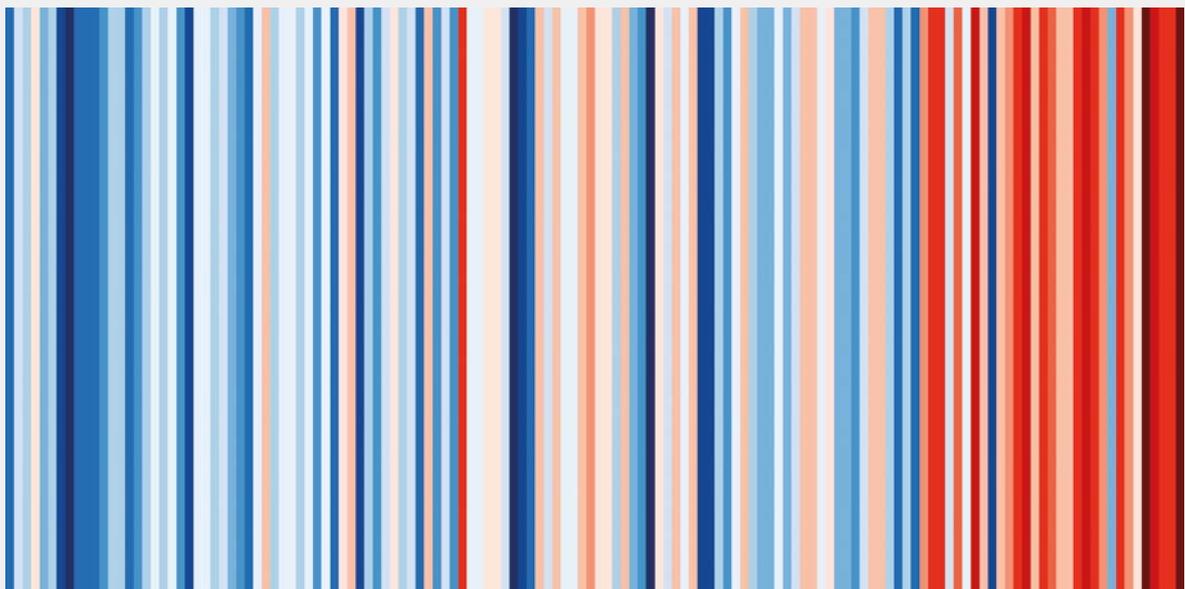


Abbildung 1: Durchschnittstemperatur für Deutschland zwischen 1881 und 2018 (jeder Streifen steht für ein Jahr, Basis ist der Datensatz des DWD)

Grafik: Ed Hawkins / showyourstripes.info

planerische und bautechnische Anpassungen umgesetzt, um die Wärmebelastung vor allem in Städten zu mindern (BAU-I-1, BAU-I-2, BAU-R-1, BAU-R-2, RO-R-4). Auch das Bewusstsein in der Bevölkerung für gesundheitliche Folgen von Hitzeperioden nimmt zu, wie die Nutzung von Warn- und Informationsdiensten und die Ergebnisse repräsentativer Umfragen zeigen (HUE-2, GE-I-1, GE-R-1, GE-R-3, BS-R-1).

#### Beeinträchtigung der Wassernutzungen durch zunehmende Erwärmung und vermehrte Sommer-trockenheit

Die Daten bundesweit ausgewählter Grundwasserstände zeigen im Vergleich zum langjährigen Mittel, dass Monate mit unterdurchschnittlich niedrigen Grundwasserständen signifikant häufiger werden (WW-I-1). Vor allem über mehrere Jahre hintereinander auftretende Niederschlagsdefizite führten zu sinkenden Grundwasserständen oder verringerten Quellschüttungen, wie zwischen 2013 und 2017 zu beobachten war. Aufgrund der ausgeprägten Trockenperiode lassen die Daten für das Jahr 2018 eine ähnliche, voraussichtlich sogar noch extremere Situation erwarten.

Die Zeitreihe seit den 1960er Jahren zeigt für die mittlere Abflusshöhe an 80 über die Flussgebiete Deutschlands verteilten Pegeln deutliche Schwankungen zwischen den Jahren. Für das hydrologische Winterhalbjahr von Anfang November bis Ende April war kein statistisch signifikanter Trend des mittleren Abflusses zu beobachten. Im Sommerhalbjahr geht die mittlere Abflusshöhe jedoch signifikant zurück. Dies deutet auf eine Abnahme der sommerlichen Wasserverfügbarkeit hin (WW-I-2). Die bereits 2015 berichteten problematischen Entwicklungen bei der Bodenwasserversorgung (BO-I-1) setzen sich fort. Angepasste landwirtschaftliche Bewirtschaftungsweisen sind notwendig, mit denen der Humusvorrat im Boden und die Bodenwasserversorgung gefördert werden können, um auf Dürreperioden besser vorbereitet zu sein. Auswirkungen des Klimawandels finden im Zeitraum zwischen 2000 und 2017 zunehmend Eingang in die Landschaftsplanung und in anderen Fachplanungen wie z. B. bei der Ausweisung von Flächen für den vorbeugenden Hochwasserschutz (BD-R-1, RO-R-3).

#### Schäden durch Starkregen und Sturzfluten in urbanen Räumen

Im DAS Monitoringbericht 2019 werden erstmals auch Starkregenereignisse in Siedlungsbereichen erfasst und abgebildet (BAU-I-4). Damit wird das DAS Monitoring präziser auf die Ergebnisse der Vulnerabilitätsanalyse

ausgerichtet, die 2015 Starkregen und Sturzfluten in urbanen Räumen als handlungsleitenden Schwerpunkt identifizierte. Eine Vorsorge gegenüber Schäden durch Starkregen und Sturzfluten wird im DAS Monitoring über die Versicherungsdichte der erweiterten Elementarschadenversicherung erfasst. Die Daten zeigen, dass die Versicherungsdichte in den letzten Jahren zwar signifikant gestiegen ist, allerdings im bundesweiten Überblick mit 43 % bei der Gebäudeversicherung und 24 % bei der Hausratsversicherung noch immer gering ausfällt.

#### Hochwasser und Flussüberschwemmungen

Die Entwicklung der Hochwassertage zeigt für die Zeitreihe weder für das Sommer- noch für das Winterhalbjahr einen signifikanten Trend (WW-I-3). Die Entstehung des Hochwassers hängt stets mit besonderen Witterungskonstellationen zusammen, die aber bisher nicht systematisch und regelmäßig wiederkehrend auftreten. Ein Beispiel hierfür sind sogenannte Vb Wetterlagen, die z. B. zum Elbehochwasser 2002 und anderen Hochwasserereignissen geführt haben. Auch zur Verteilung der Hochwassertage auf das hydrologische Winter- und Sommerhalbjahr lässt sich bisher kein Trend feststellen. Neben dem Klimawandel beeinflussen allerdings auch zahlreiche andere Entwicklungen das Hochwassergeschehen.

#### Meeresspiegelanstieg und Sturmfluten

Die im DAS Monitoring 2019 erfassten Pegel der Nord- und Ostsee zeigen einen überwiegend signifikanten Anstieg für den Meeresspiegel (WW-I-8). Die Erhöhung der Intensität von Sturmfluten (WW-I-9) ist weitgehend auf den Meeresspiegelanstieg zurückzuführen. Dies bedeutet für Küstenregionen, vor allem für Ästuar- und tiefliegende Küstenebenen, eine langsam zunehmende Gefährdung.

#### Veränderung der Artenzusammensetzung und natürlicher Entwicklungsphasen durch einen graduellen Temperaturanstieg

Steigende Temperaturen haben auch Einfluss auf natürliche Systeme. So hat sich seit dem ersten DAS-Monitoringbericht 2015 die Dauer der Vegetationsperiode weiter verlängert (BD-I-1). Im Vergleich setzen beispielsweise charakteristische Entwicklungsstadien von Wildpflanzen (z. B. Blattentfaltung, Blüten- oder Fruchtbildung, Laubfall) im Frühling, Sommer und Frühherbst früher ein und solche im Vollherbst, Spätherbst und Winter beginnen später. Die veränderten jahreszeitlichen Witterungsverläufe können sich in der Landwirtschaft sowohl positiv als auch negativ auswirken. Beispielsweise ist mit

einer früher eintretenden Apfelblüte ein höheres Risiko von Spätfrostschäden verbunden, die zu Ernteausfällen führen können (LW-I-1).

Auch in derzeit direkt vom Menschen wenig beeinflussten Ökosystemen zeigt die Häufung von warmen und trockenen Jahren eine deutliche Wirkung. So hat der Anteil der Buche gegenüber besser trockenheitsangepassten Arten in warm-trockenen Naturwaldreservaten abgenommen (FW-I-1). Der aktuelle Zustand des Waldes und seine Veränderung seit der letzten Bundeswaldinventur im Jahre 2012 werden erst nach der nächsten Bundeswaldinventur 2022 im dritten Monitoringbericht berücksichtigt werden können. Wirkungen der zunehmenden Erwärmung zeigen sich auch in signifikant angestiegenen Wassertemperaturen von Seen (WW-I-5) und der Nordsee (WW-I-7).

Auch wenn die Jahresmitteltemperaturen kontinuierlich ansteigen, bleiben Witterungseinflüsse von langen, kalten Wintern auf Ökosysteme wirksam. Das illustriert die Entwicklung der Vogelartengemeinschaften (BD-I-2). Seit 1990 hat sich die Zusammensetzung der Vogelartengemeinschaft zugunsten von wärmeliebenden Arten verschoben. In den Jahren 2009/10 bis 2012/13 gab es eine Reihe strenger Winter mit negativen Auswirkungen auf die Bestände vieler Brutvögel. Sie wirkten sich besonders auf Arten aus, die aus dem Süden eingewandert sind.

## Methodik des DAS-Monitoring-Indikatorensystems

### Indikatoren

Für den zweiten Monitoringbericht 2019 wurde das Indikatorensystem des Monitorings von 2015 überprüft und weiterentwickelt. Die Mehrzahl der Indikatoren wurden dabei in der bereits 2015 verwendeten Methodik fortgeschrieben. Insgesamt 21 Indikatoren wurden überarbeitet bzw. neu entwickelt.

Insbesondere die Indikatoren für die Handlungsfelder Menschliche Gesundheit, Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft, Küsten- und Meeresschutz, Bauwesen sowie Verkehr und Verkehrsinfrastruktur wurden verbessert und um wesentliche Themenfelder ergänzt.

Im Handlungsfeld Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft, Küsten- und Meeresschutz erfolgte eine enge Zusammenarbeit von Expertinnen und Experten aus Bund und Ländern in der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) sowie der entsprechenden Arbeitsgruppe (LAWA AK). Die Indikatoren wurden zum Teil mit

flächendeckenden Daten unterlegt, die von Behörden der Bundesländer bereitgestellt wurden. Ziel war es, ein abgestimmtes Indikatoren System für die Wasserwirtschaft zu entwickeln, das neben der Klimafolgenberichterstattung des Bundes auch von den Ländern für ihre eigenen Berichtssysteme genutzt werden kann.

Insgesamt umfasst das DAS-Monitoring-Indikatorensystem nach der Weiterentwicklung 105 Monitoring Indikatoren, 56 davon beschreiben Auswirkungen des Klimawandels (Impact-Indikatoren), 44 Anpassungsmaßnahmen oder Aktivitäten und Bedingungen, die den Anpassungsprozess unterstützen (Response-Indikatoren). Hinzu kommen 5 handlungsfeldübergreifende Monitoring-Indikatoren, die nicht in Impact und Response Kategorien gefasst werden.

Fünf Indikatoren können nicht mehr berichtet werden, da die zugrunde liegenden Daten nicht mehr zur Verfügung stehen. Dies betrifft die DAS-Monitoring-Indikatoren (2015): GE-I-4 Gefährdung durch Eichenprozessionsspinner, BO-R-3 Fläche organischer Böden, WW-I-6 Dauer der Stagnationsperiode in stehenden Gewässern, LW-I-3 Qualität von Ernteprodukten, EW-I-4 Potenzieller und realer Windenergieertrag.

Grundsätzlich haben alle Monitoring-Indikatoren zum Ziel, bundesweite Entwicklungen abzubilden. Regionale Differenzierungen sind nur in wenigen Ausnahmefällen Inhalt der Darstellungen. Für thematische Aspekte, zu denen keine bundesweiten Daten für die Indikatorenbildung zur Verfügung stehen, ließen sich teilweise sogenannte Fallstudien entwickeln. Sie zeigen anhand konkreter räumlich begrenzter Datensätze stellvertretend, welche Aussagen sich bei entsprechender Datenverfügbarkeit auch bundesweit generieren ließen.

### Umgang mit Unsicherheiten

Nicht alle relevanten Prozesse und Handlungsansätze lassen sich im Rahmen einer quantitativen Analyse mit Monitoring-Indikatoren abzubilden. Viele Datenerhebungen stehen erst am Anfang, und es bedarf längerer Zeitreihen zur Interpretation der Entwicklungen. Die Beschränkungen der Datenverfügbarkeit haben auch zur Folge, dass die derzeit verwendete Anzahl von Monitoring-Indikatoren nicht unbedingt die Bedeutung des jeweiligen Handlungsfelds bzw. Querschnittsthemas widerspiegelt.

Datenschluss für die Aktualisierung der Zeitreihen im vorliegenden zweiten Monitoringbericht war der 31.12.2017. Grundsätzlich ist daher 2017 das letztgenannte Datum in

den Grafiken. Wo schon möglich wird in den Berichtstexten ein Ausblick auf die Entwicklungen in den Jahren 2018 und 2019 gegeben. In wenigen Fällen erfolgen die den Monitoring-Indikatoren zugrundeliegenden Erhebungen in einem größeren zeitlichen Turnus wie z. B. bei der zehnjährigen Bundeswaldinventur; hier wird eine Aktualisierung mit dem nächsten Monitoringbericht erfolgen.

Bei vielen Monitoring-Indikatoren lässt sich die Kausalität des Klimawandels zu beobachtbaren Veränderungen in der Umwelt, Gesellschaft oder Wirtschaft nicht oder nicht sicher bestimmen, da Veränderungsprozesse vielfältig beeinflusst werden. So sind beispielsweise bei der Beurteilung von Waldschäden neben den Folgen des Klimawandels wie vermehrte sommerliche Hitze- und Trockenheitsperioden oder starke Stürme auch umfangreiche nicht klimatischen Wirkungskomplexe zu berücksichtigen, die die Baumgesundheit beeinträchtigen, wie Nährstoffeinträge, Versauerung und hohe Ozonkonzentrationen. Bei der Entwicklung des DAS-Monitoring-Indikatorensystems wurden Ursache-Wirkungsbeziehungen intensiv diskutiert.

Unschärfen der Interpretation ergeben sich auch bei der Zuordnung von Anpassungsmaßnahmen. Zwar lassen sich viele spezifische Anpassungsmaßnahmen wie beispielsweise der Betrieb des Hitzewarndiensts des DWD beschreiben. Andere Maßnahmen, die zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels beitragen, dienen nicht allein diesem Zweck oder wurden sogar aus ganz anderen Motiven heraus ergriffen. Dennoch können sie einen wirkungsvollen Anpassungsprozess unterstützen.

In Anbetracht der diskutierten Unsicherheiten und Unschärfen ist vorgesehen, dass auch künftig das Monitoring-Indikatorensystem jeweils im Prozess der Fortschreibung überprüft und weiterentwickelt wird.

Auf die Nennung umfassender weiterführender Literatur wird bewusst verzichtet, weil sie angesichts der Bandbreite und Vielzahl der adressierten Themen den Rahmen des Monitoringberichts sprengen würde

## Bewertung der Entwicklungen

Die DAS-Monitoring-Indikatoren sollen eine Bewertung der Entwicklung ermöglichen. Maßstab ist die Zielsetzung der DAS, die Verwundbarkeit gegenüber den Folgen des Klimawandels zu verringern sowie die Anpassungsfähigkeit natürlicher und gesellschaftlicher Systeme an die unvermeidbaren Auswirkungen des Klimawandels zu erhalten und steigern. Die Politikziele der verschiedenen Handlungsfelder sollen auch unter sich ändernden klimatischen Rahmenbedingungen erreichbar sein. Die aufgenommenen Ziele referenzieren auf Ziele aus der DAS 2008 oder Ziele anderer politischer Strategien, Gesetze und Richtlinien.

Die DAS-Monitoring-Indikatoren selbst beinhalten keine spezifischen Ziele und Bewertungen. Die Bewertung beschränkt sich aus diesem Grunde auf die Ergebnisse der statistischen Trendberechnung und eine Beurteilung, ob der Trend im Hinblick auf die Ziele der DAS grundsätzlich in die richtige Richtung weist.

Nicht in allen Fällen erscheint allerdings eine Bewertung der Trends sinnvoll, da die Konsequenzen der Veränderungen nicht immer bekannt sind. So ist eine frühere Blüte des Winterraps als Folge des Klimawandels zwar ein Zeichen dafür, dass der nicht erwünschte Klimawandel Auswirkungen auf die landwirtschaftlichen Kulturen hat, die frühere Blüte ist aber per se nicht zwangsläufig negativ zu bewerten. In solchen Fällen beschränkt sich die Darstellung lediglich auf das Ergebnis der Trendanalyse und es wird keine Bewertung vorgenommen.

Im Rahmen der statistischen Trendanalyse wurden die Zeitreihen bezüglich ihrer Trendverläufe klassifiziert. Die Analyse wurde für alle Indikatoren unter Anwendung des gleichen statistischen Verfahrens durch das Statistische Beratungslabor der Ludwig-Maximilians-Universität München vorgenommen. Dargestellt werden sowohl steigende und fallende Trends als auch Trends mit einer Trendumkehr (quadratischer Trend). Durch Letztere lassen sich

Trendbeschreibung	
	Steigender Trend
	Fallender Trend
	Trend mit Trendumkehr: zuerst fallend, dann steigend
	Trend mit Trendumkehr: zuerst steigend, dann fallend
	Kein Trend

Trendbewertung	
	Günstige Entwicklung
	Ungünstige Entwicklung
	Keine Bewertung der Entwicklung möglich

insbesondere bei Betrachtung längerer Zeitreihen auch Entwicklungsverläufe beschreiben, bei denen sich ursprünglich negativ zu bewertende Trends durch erfolgreich verlaufende Anpassungsmaßnahmen in jüngerer Zeit zum Positiven gewendet haben.

Trends werden für alle Zeitreihen mit sieben und mehr Datenpunkten analysiert. In die Trendanalyse werden dabei alle Datenpunkte der verfügbaren Zeitreihe einbezogen. Datenreihen, die über zu wenige Datenpunkte verfügen oder die auf unregelmäßigen und zeitlich weit auseinanderliegenden Erhebungen basieren, werden von der Analyse ausgeschlossen.

## Die DAS-Monitoring-Indikatoren im Überblick

### Cluster „Gesundheit“

Impact-Indikatoren – Auswirkungen		Response-Indikatoren – Anpassungen	
Handlungsfeld Menschliche Gesundheit			
GE-I-1	Hitzebelastung	GE-R-1	Hitzewarndienst
GE-I-2	Hitzetote	GE-R-2	Erfolge des Hitzewarnsystems
GE-I-3	Belastung mit Ambrosiapollen	GE-R-3	Informationen zu Pollen
GE-I-4	Überträger von Krankheitserregern (ehemals GE-I-5)		
GE-I-5	Blaualgenbelastung von Badegewässern (ehemals GE-I-6)		

### Cluster „Wasser“

Impact-Indikatoren – Auswirkungen		Response-Indikatoren – Anpassungen	
Handlungsfeld Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft, Küsten- und Meeresschutz			
WW-I-1	Grundwasserstand (grundlegend überarbeitet in 2019)	WW-R-1	Wassernutzungsindex
WW-I-2	Mittlerer Abfluss (grundlegend überarbeitet in 2019)	WW-R-2	Hochwasserschutz (neu in 2019)
WW-I-3	Hochwasser (grundlegend überarbeitet in 2019)	WW-R-3	Uferbewuchs von kleinen und mittelgroßen Gewässern (neu in 2019)
WW-I-4	Niedrigwasser (grundlegend überarbeitet in 2019)	WW-R-4	Investitionen in den Küstenschutz (ehemals WW-R-3)
WW-I-5	Wassertemperatur stehender Gewässer (Fallstudie, überarbeitet und erweitert in 2019)		
WW-I-6	Eintreten der Frühjahrsalgenblüte in stehenden Gewässern		
WW-I-7	Wassertemperatur des Meeres (überarbeitet in 2019)		
WW-I-8	Meeresspiegel (überarbeitet in 2019)		
WW-I-9	Intensität von Sturmfluten (überarbeitet in 2019)		
Handlungsfeld Fischerei			
FI-I-1	Verbreitung warmadaptierter mariner Arten		
FI-I-2	Vorkommen wärmeliebender Arten in Binnengewässern		

## Cluster „Land“

Impact-Indikatoren – Auswirkungen		Response-Indikatoren – Anpassungen	
<b>Handlungsfeld Boden</b>			
BO-I-1	Bodenwasservorrat in landwirtschaftlich genutzten Böden	BO-R-1	Humusgehalte von Ackerböden
BO-I-2	Regenerosivität	BO-R-2	Dauergrünlandfläche
<b>Handlungsfeld Landwirtschaft</b>			
LW-I-1	Verschiebung agrarphänologischer Phasen	LW-R-1	Anpassung von Bewirtschaftungsrhythmen
LW-I-2	Ertragsschwankungen	LW-R-2	Anbau und Vermehrung wärmeliebender Ackerkulturen
LW-I-3	Hagelschäden in der Landwirtschaft	LW-R-3	Anpassung des Sortenspektrums
LW-I-4	Schaderregerbefall	LW-R-4	Pflanzenschutzmittel-Anwendung
		LW-R-5	Maissorten nach Reifegruppen
		LW-R-6	Landwirtschaftliche Beregnung
<b>Handlungsfeld Wald und Forstwirtschaft</b>			
FW-I-1	Baumartenzusammensetzung in Naturwaldreservaten	FW-R-1	Mischbestände
FW-I-2	Gefährdete Fichtenbestände	FW-R-2	Förderung des Waldumbaus
FW-I-3	Holzzuwachs	FW-R-3	Umbau gefährdeter Fichtenbestände
FW-I-4	Schadholz – Umfang zufälliger Nutzungen	FW-R-4	Erhaltung forstgenetischer Ressourcen
FW-I-5	Schadholzaufkommen durch Buchdrucker	FW-R-5	Humusvorrat in forstlichen Böden
FW-I-6	Waldbrandgefährdung und Waldbrand	FW-R-6	Forstliche Information zum Thema Anpassung
FW-I-7	Waldzustand		
<b>Handlungsfeld Biologische Vielfalt</b>			
BD-I-1	Phänologische Veränderungen bei Wildpflanzenarten	BD-R-1	Berücksichtigung des Klimawandels in Landschaftsprogrammen und Landschaftsrahmenplänen
BD-I-2	Temperaturindex der Vogelartengemeinschaft	BD-R-2	Gebietsschutz
BD-I-3	Rückgewinnung natürlicher Überflutungsflächen		

## Cluster „Infrastrukturen“

Impact-Indikatoren – Auswirkungen		Response-Indikatoren – Anpassungen	
<b>Handlungsfeld Bauwesen</b>			
BAU-I-1	Wärmebelastung in Städten	BAU-R-1	Erholungsflächen (geändert in 2019)
BAU-I-2	Sommerlicher Wärmeinseleffekt	BAU-R-2	Gründächer auf Bundesgebäuden (neu in 2019)
BAU-I-3	Kühlgradtage (neu in 2019)	BAU-R-3	Spezifischer Energieverbrauch der privaten Haushalte für Raumwärme
BAU-I-4	Starkregen (neu in 2019)	BAU-R-4	Fördermittel für klimawandelangepasstes Bauen und Sanieren

Impact-Indikatoren – Auswirkungen		Response-Indikatoren – Anpassungen	
<b>Handlungsfeld Bauwesen</b>			
BAU-I-5	Schadenaufwand in der Sachversicherung (geändert in 2019)	BAU-R-5	Versicherungsdichte in der Elementarschadenversicherung (geändert in 2019)
<b>Handlungsfeld Energiewirtschaft (Wandel, Transport und Versorgung)</b>			
EW-I-1	Wetterbedingte Unterbrechungen der Stromversorgung	EW-R-1	Diversifizierung der Elektrizitätserzeugung
EW-I-2	Wetterbedingte Nichtverfügbarkeit der Stromversorgung	EW-R-2	Diversifizierung des Endenergieverbrauchs für Wärme und Kälte
EW-I-3	Umgebungstemperaturbedingte Stromminderproduktion thermischer Kraftwerke	EW-R-3	Möglichkeiten der Stromspeicherung
		EW-R-4	Wassereffizienz thermischer Kraftwerke
<b>Handlungsfeld Verkehr, Verkehrsinfrastruktur</b>			
VE-I-1	Hochwassersperrungen am Rhein (geändert in 2019)		
VE-I-2	Niedrigwassereinschränkungen am Rhein (geändert in 2019)		
VE-I-3	Starkregen und Straße (neu in 2019)		
VE-I-4	Witterungsbedingte Straßenverkehrsunfälle		
VE-I-5	Beeinträchtigung von Straßen durch außergewöhnliche Wetter- und Witterungsereignisse (Fallstudie, neu in 2019)		

## Cluster „Wirtschaft“

Impact-Indikatoren – Auswirkungen		Response-Indikatoren – Anpassungen	
<b>Handlungsfeld Industrie und Gewerbe</b>			
IG-I-1	Hitzebedingte Minderung der Leistungsfähigkeit	IG-R-1	Wasserintensität des Verarbeitenden Gewerbes
<b>Handlungsfeld Tourismuswirtschaft</b>			
TOU-I-1	Badetemperaturen an der Küste		
TOU-I-2	Übernachtungen im touristischen Großraum Küste		
TOU-I-3	Wärmebelastung in heilklimatischen Kurorten		
TOU-I-4	Schneedecke für den Wintersport		
TOU-I-5	Übernachtungen in Wintersportorten		
TOU-I-6	Saisonale Übernachtungen in deutschen Tourismusgebieten		
TOU-I-7	Präferenz von Urlaubsreisezielen		
<b>Handlungsfeld Finanzwirtschaft</b>			
FiW-I-1	Schadenquote, Schaden-Kosten-Quote bei der Verbundenen Wohngebäudeversicherung		
FiW-I-2	Betroffenheit durch Stürme und Hochwasser		

## Cluster „Raumplanung und Bevölkerungsschutz“

Impact-Indikatoren – Auswirkungen		Response-Indikatoren – Anpassungen	
Handlungsfeld Raumordnung, Regional- und Bauleitplanung			
		RO-R-1	Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für Natur und Landschaft
		RO-R-2	Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für Grundwasserschutz und Trinkwassergewinnung
		RO-R-3	Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für (vorbeugenden) Hochwasserschutz
		RO-R-4	Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für besondere Klimafunktionen
		RO-R-5	Siedlungs- und Verkehrsfläche
		RO-R-6	Siedlungsnutzung in Hochwassergefahrenbereichen
Handlungsfeld Bevölkerungsschutz			
BS-I-1	Einsatzstunden bei wetter- und witterungsbedingten Schadenereignissen	BS-R-1	Information zum Verhalten im Katastrophenfall
		BS-R-2	Vorsorge in der Bevölkerung
		BS-R-3	Übungsgeschehen
		BS-R-4	Aktive Katastrophenschutz Helfer

## Handlungsfeldübergreifende Indikatoren

Response-Indikatoren – Anpassungen	
HUE-1	Beherrschbarkeit von Klimawandelfolgen
HUE-2	Nutzung von Warn- und Informationsdiensten
HUE-3	Bundeszuwendungen zur Förderung von Forschungsprojekten zu Klimawandelfolgen und Anpassung
HUE-4	Klimawandelanpassung auf kommunaler Ebene
HUE-5	Internationale Klimafinanzierung zur Anpassung (aus Haushaltsmitteln)





# **KLIMAENTWICKLUNG IN DEUTSCHLAND**

## Die Klimaentwicklung in Deutschland seit dem Ende des 19. Jahrhunderts

Das Klima kann durch den mittleren Zustand der Atmosphäre, charakteristische Extremwerte und Häufigkeitsverteilungen meteorologischer Größen wie Lufttemperatur, Niederschlag, Wind an einem Ort beschrieben werden. Das Klima ist das Ergebnis des komplexen Zusammenspiels aller Komponenten des Systems Land-Atmosphäre-Ozeane. Dazu gehören auch die Biosphäre mit jahreszeitlichen Vegetationswechseln, die Hydrosphäre, der Boden und die Kryosphäre (Eis). Dass sich das Klima im Laufe der Zeit ändert, wissen wir mindestens aus der Kenntnis über die letzte Eiszeit, die große Teile des heutigen Deutschlands unter einen Eispanzer setzte. Auswertungen von Beobachtungsdaten seit Mitte des 19. Jahrhunderts zeigen eine fortschreitende Erwärmung der Erde, die durch natürliche Ursachen nicht erklärbar ist und es ist heute wissenschaftlicher Sachstand, dass ein weiterer Temperaturanstieg zu erwarten ist. Die Mitteltemperatur an der Land- und Wasseroberfläche hat in den vergangenen Jahrzehnten im Mittel stetig zugenommen. Seit den 1960er Jahren war jede Dekade wärmer als die vorherige und die bisherigen Daten für das laufende Jahrzehnt deuten darauf hin, dass auch die Dekade 2011 bis 2020 einen neuen Höchststand markieren wird. Entsprechend den Analysen der amerikanischen Forschungseinrichtungen NASA und NOAA liegt die globale Durchschnittstemperatur aktuell etwa 1 °C über dem Niveau in der Mitte des 18. Jahrhunderts (siehe Abbildung 2). Dabei ist ein Großteil der Erwärmung in den letzten 35 Jahren zu verzeichnen: 15 der 16 wärmsten Jahre in den globalen Aufzeichnungen wurden in den Jahren seit 2001 registriert, das Jahr 2016 war global betrachtet das bisher wärmste Jahr und die letzten vier Jahre 2015 bis 2018 waren global die vier wärmsten Jahre seit Beginn der systematischen Messungen.

Für Deutschland sind seit dem Jahr 1881 ausreichend Daten vorhanden, um Veränderungen des Klimas auch in der Fläche detailliert zu bestimmen. Dies gilt jedoch nur für die Größen Temperatur und Niederschlag bei monatlicher Betrachtungsweise. Die entsprechenden täglichen Daten sowie andere Messgrößen wie zum Beispiel die Sonnenscheindauer liegen in der Regel erst ab 1951 weitestgehend flächendeckend vor. Auf der Basis der zur Verfügung stehenden Daten lassen sich somit aber zumindest die mittleren Verhältnisse der beiden wichtigsten meteorologischen Größen bis zum Ende des 19. Jahrhunderts und damit im Wesentlichen auch bis zum Beginn der menschlichen Einflussnahme auf das Klima zurückverfolgen. Während sich die Wirkung der zusätzlichen Treibhausgase in der Temperaturentwicklung der vergangenen 139 Jahre dabei unmittelbar niederschlägt, ist der Zusammenhang mit den Änderungen der Niederschlagsverhältnisse eher indirekter Natur. Hier spielen unter anderem durch die allgemeine Erwärmung ausgelöste Veränderungen der großräumigen Wetterlagen eine Rolle. Dennoch ist der Niederschlag als ein wesentlicher Faktor für die Wasserverfügbarkeit von praktisch ebenso großem Interesse wie die Temperatur selbst. Auf eine Darstellung weiterer meteorologischer Größen wird im Folgenden aufgrund ihrer etwas geringeren Bedeutung verzichtet. Zudem lassen sich diese um mehr als die Hälfte kürzeren Zeitreihen ohnehin nur eingeschränkt mit den Verläufen von Temperatur und Niederschlag vergleichen. Letzteres gilt prinzipiell auch für die Untersuchung von Extremereignissen, da hierfür tägliche Messwerte benötigt werden. Allerdings bergen gerade solche Ereignisse aufgrund ihres hohen Schadenspotenzials die größte Gefahr für unsere Gesellschaft. Eine Analyse der bisherigen Änderungen dieser Ereignisse erfolgte daher trotz der auch in diesem Fall beschränkten Datenverfügbarkeit.

## Mittlere Klimaänderungen

Für die Auswertung der mittleren klimatischen Verhältnisse wurden die für die Größen Temperatur und Niederschlag seit 1881 vorliegenden Monatsdaten zu jahreszeitlichen und jährlichen Mittelwerten zusammengefasst. Die an meteorologischen Stationen punktuell erhobenen Daten wurden darüber hinaus mittels wissenschaftlicher Verfahren auf die gesamte Fläche von Deutschland übertragen.

### Temperatur

Das Jahresmittel der Lufttemperatur ist im Flächenmittel von Deutschland von 1881 bis 2018 statistisch gesichert um  $1,5\text{ °C}$  angestiegen<sup>1</sup> (siehe Abbildung 2). Dieser Wert liegt um  $0,5\text{ °C}$  höher als der globale Temperaturanstieg während des gleichen Zeitraums. Über solch langfristige Auswertungen hinaus ist es gemäß den Empfehlungen der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) üblich, zur

Erfassung des Klimas und seiner Änderungen Mittelwerte über einen Zeitraum von 30 Jahren zu bilden. Dadurch lässt sich der Einfluss kurzzeitiger Witterungsschwankungen aus der statistischen Betrachtung des Klimas einerseits ausklammern, andererseits das Auf und Ab des Klimas aber trotzdem nachverfolgen. Als Klimareferenzperiode schlägt die WMO dabei den Zeitraum von 1961–1990 vor. Auch im Vergleich der Klimareferenzperiode (1961–1990) zum aktuellen Bezugszeitraum (1981–2010) ist der Mittelwert der Lufttemperatur in Deutschland von  $8,2\text{ °C}$  auf  $8,9\text{ °C}$  gestiegen.

Bei genauerer Betrachtung der zeitlichen Entwicklung zeigt sich, dass sich der Temperaturanstieg nicht gleichmäßig vollzogen hat. Vielmehr gab es neben den Phasen der Erwärmung auch Zeiträume der Stagnation sowie immer wieder auch kurze Abschnitte, in denen die Temperaturen tendenziell etwas zurückgegangen sind. Ein Grund für diesen ungleichmäßigen Verlauf ist die große Schwankungsbreite der Witterung von Jahr zu Jahr in einer im globalen Maßstab kleinen Region wie Deutschland. So ist in Abbildung 2 auch zu erkennen, dass die Variabilität der Temperatur in Deutschland (Balken) bedeutend größer ist als bei der globalen Temperatur (Fläche). Über Zeiträume von mehreren Jahrzehnten

<sup>1</sup> Sämtliche im Text gemachten Angaben zu Änderungen von Temperatur und Niederschlag sowie zu den auf diesen Größen basierenden Extremindizes wurden mittels linearem Trend (least-square) berechnet und werden als statistisch gesichert bezeichnet, sofern sie mindestens das 99 % Signifikanzniveau erreichen.

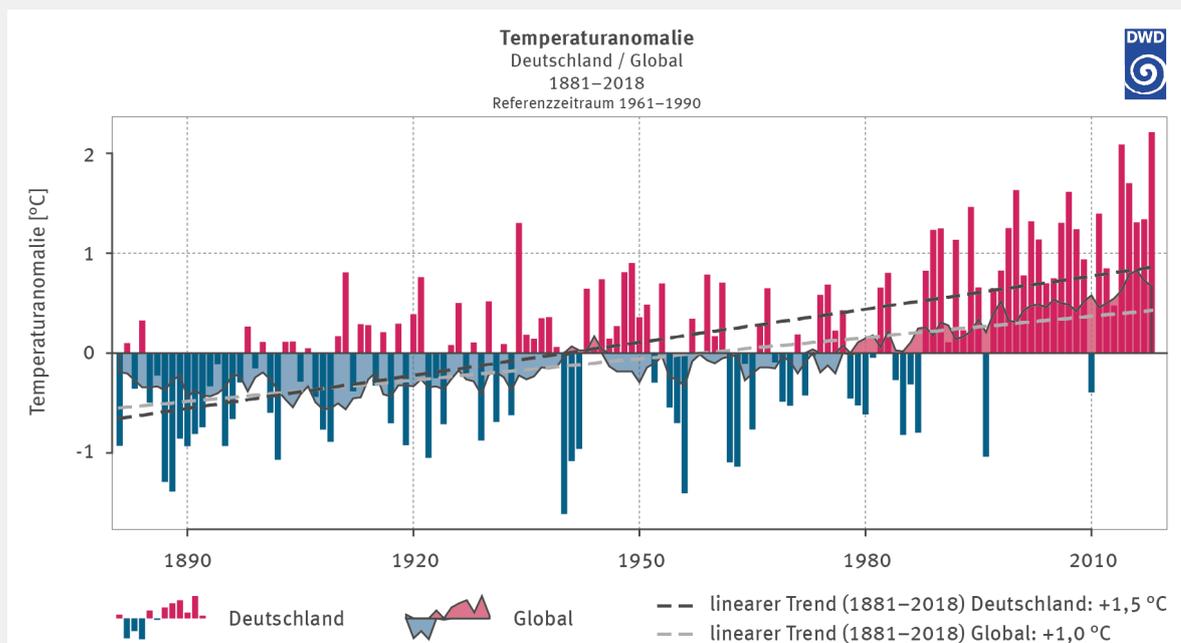


Abbildung 2: Abweichung der Jahresmittel der Temperatur für Deutschland und Global vom vieljährigen Mittel 1961–1990 (Daten: DWD, NOAA)

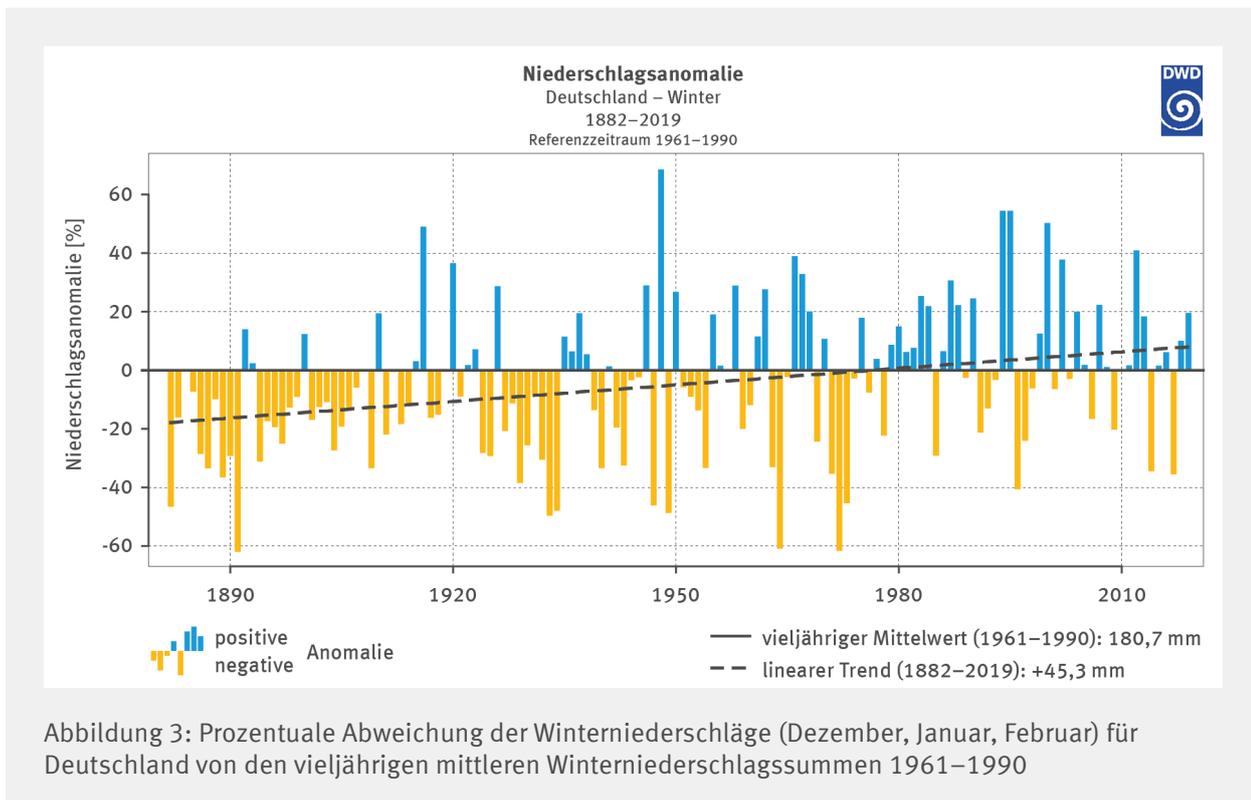
spielt aber vor allem auch die sogenannte dekadische Klimavariabilität eine entscheidende Rolle. Dabei handelt es sich um periodische Schwankungen von einigen Jahren bis hin zu wenigen Jahrzehnten Andauer, die eng mit den Meeresströmungen gekoppelt sind. Abhängig von den sich von Zeit zu Zeit ändernden Meeresoberflächentemperaturen kommt es zu Phasen der Erwärmung oder Abkühlung der Atmosphäre. Diese Phasen überlagern den Einfluss der das Klima von außen antreibenden Faktoren, zu denen neben den natürlichen Elementen Sonneneinstrahlung und Vulkanaktivität auch die vom Menschen verursachten Einflüsse infolge von Landnutzungsänderungen, der Luftverschmutzung durch den Schwefelausstoß von Industrieanlagen sowie durch die Emission von Treibhausgasen wie Kohlenstoffdioxid zählen. In den Zeiträumen einer stärker abkühlenden Wirkung der Ozeanzirkulation auf die Atmosphäre kann es daher zu einer vollständigen Verschleierung des langfristigen Trends kommen, auch dann, wenn die Summe der externen Klimaantriebe allein zu einer Erwärmung führen würde. Kehrt sich der Einfluss der Ozeane um, steigen auch die beobachteten Temperaturen wieder an.

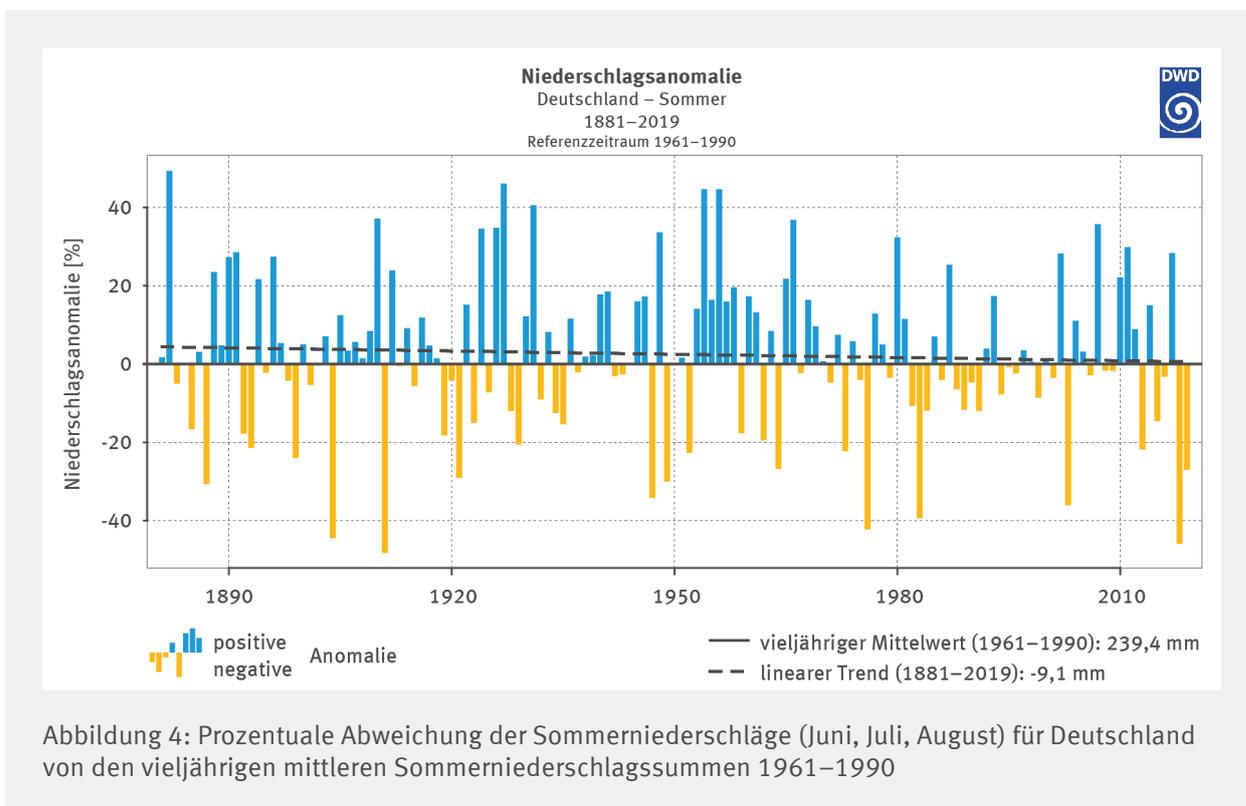
In Deutschland stellt sich der bislang beobachtete Temperaturanstieg überwiegend einheitlich dar. Prinzipiell gilt dies auch für die unterschiedlichen meteorologischen Jahreszeiten. Nur im Sommer (Juni bis August) weicht der

Wert mit einem Flächenmittel von  $1,4\text{ °C}$  leicht vom Jahresmittel ab. Die anderen Jahreszeiten weisen mit  $1,5\text{ °C}$  den gleichen Temperaturanstieg auf wie das gesamte Jahr. Ähnliches gilt für die räumlichen Unterschiede. Hier reicht die Spanne des Anstiegs der Jahresmitteltemperatur von  $1,3\text{ °C}$  bis  $1,6\text{ °C}$ , wobei die Erwärmung in den westlichen und südlichen Bundesländern tendenziell bislang etwas höher und in den nördlichen Bundesländern sowie in Brandenburg und Berlin etwas geringer ausgefallen ist als im Landesdurchschnitt. Größere Abweichungen von dieser generellen räumlichen Verteilung gibt es ausschließlich für die Wintermonate. Während dieser Jahreszeit stiegen die Temperaturen in den nordöstlichen Bundesländern mit Werten von  $1,2\text{ °C}$  bis  $1,3\text{ °C}$  bislang allgemein am geringsten an, während es in den anderen Gebieten bis zu  $1,7\text{ °C}$  (Bayern) wärmer geworden ist.

## Niederschlag

Im Gegensatz zur Temperatur weisen die Änderungen des Niederschlags in Deutschland insbesondere jahreszeitlich, aber auch räumlich deutliche Unterschiede auf. Während die mittleren Regenmengen im Sommer weitestgehend unverändert geblieben sind, ist es insbesondere im Winter signifikant feuchter geworden. In den Übergangsjahreszeiten sind die Niederschlagsmengen ebenfalls





angestiegen, jedoch deutlich weniger stark und statistisch auch nicht nachweisbar. In der Summe ergibt sich daher im Flächenmittel von Deutschland seit 1881 ein Anstieg der mittleren jährlichen Niederschlagsmenge von 8,7%. Dabei zeigen sich allerdings große räumliche Unterschiede. Während es insbesondere in den nordwestlichen Bundesländern mit bis zu 16% in Schleswig-Holstein deutlich nasser geworden ist, nahmen die Niederschlagsmengen von Mecklenburg-Vorpommern bis Sachsen-Anhalt und Thüringen im Jahresmittel nur leicht zu (unter 10%). In Sachsen ist es im selben Zeitraum sogar geringfügig trockener geworden. Ein grundsätzlich ähnliches räumliches Bild ergibt sich auch für die Übergangsjahreszeiten Frühling und Herbst.

Die stärksten Änderungen wurden bislang für den Winter beobachtet. Wie Abbildung 3 zeigt, hat das Flächenmittel der mittleren Niederschlagsmenge seit dem Winter 1881/1882 um 25% zugenommen. Die räumliche

Verteilung der Änderungen ähnelt dabei der der Temperatur zu dieser Jahreszeit. Das heißt, die geringsten Zunahmen mit Werten unter 25% wurden bislang in den nordöstlichen Bundesländern registriert. In den übrigen Bundesländern sind die Regenmengen dagegen zumeist stärker angestiegen als im Bundesdurchschnitt. Mit dieser räumlich unterschiedlich stark ausgeprägten Erwärmung und Niederschlagszunahme haben sich die Unterschiede in der Kontinentalität der Regionen, also im Verhältnis des Einflusses von Land und Meer auf das Klima an einem bestimmten Ort, im Verlaufe des 20. Jahrhunderts tendenziell noch etwas verstärkt. Für die Sommermonate lässt sich bislang kaum eine Änderung feststellen. Zwar hat die mittlere Niederschlagsmenge zu dieser Jahreszeit seit 1881 um 3,8% abgenommen, jedoch lässt sich aus diesem minimalen, im Bereich der natürlichen Variabilität liegenden Rückgang nicht einmal auf eine Tendenz schließen (siehe Abbildung 4).

## Änderungen der Extreme

Da Extreme definitionsgemäß sehr seltene Ereignisse sind, die stark von den üblichen Zuständen abweichen, sind statistische Analysen weniger stark belastbar als Auswertungen von mittleren Zuständen. Die Bestimmung von sogenannten Jahrhundertereignissen (das sind Extremereignisse, die statistisch einmal in 100 Jahren auftreten), muss zum Beispiel auf der Basis von Messreihen durchgeführt werden, die meistens nur wenig länger sind. Eine relativ einfache und sehr anschauliche Möglichkeit, Änderungen von Extremereignissen zu bestimmen, bieten sogenannte klimatische Kenntage, bei denen es sich um Schwellenwertereignisse handelt. Es werden also Tage ausgewertet, an denen beispielsweise die Höchsttemperatur einen bestimmten Grenzwert überschreitet, wie zum Beispiel die Anzahl der Heißen Tage mit einer Höchsttemperatur von mindestens 30 °C. Neben reinen Kenntagen können weitere Indizes genutzt werden, die unter anderem auch geeignet sind, länger andauernde Klimaextreme wie Hitze- oder Trockenperioden zu erfassen. Im Folgenden werden verschiedene Indizes für die Analyse der Änderung von Extremereignissen der Temperatur und des Niederschlags vorgestellt und diskutiert.

Statistisch gesicherte Aussagen sind heute schon zu Änderungen der Häufigkeit von Grenzwertüberschreitungen bei der Temperatur möglich: Die Häufigkeit von Heißen Tagen hat in ganz Deutschland zugenommen, während die Eistage (Tage mit einer Höchsttemperatur < 0 °C) im Laufe der letzten 60 Jahre immer seltener aufgetreten

sind. Auch die Häufigkeit von intensiven Hitzeperioden hat sowohl in der Häufigkeit wie auch in der Intensität in ganz Deutschland seit 1951 zugenommen.

Schwieriger ist es, gesicherte Aussagen bei Trends von Starkniederschlagsereignissen zu treffen. Zum einen weisen solche Ereignisse eine sehr hohe Variabilität in Raum und Zeit auf. Zum anderen sind insbesondere in den Sommermonaten konvektive Ereignisse (Entstehung von Schauern und Gewittern) relevant, die auf einer Zeitskala von einer Stunde und weniger auftreten. Auch wenn inzwischen Tendenzen zu einer größeren Häufigkeit von Starkniederschlägen in den letzten 65 Jahren zu erkennen sind, ist es aufgrund der geringen Datenverfügbarkeit bisher noch nicht möglich, statistisch gesicherte klimatologische Aussagen über Änderungen von Starkniederschlagsereignissen zu treffen.

## Temperatur

Zur Analyse der Temperaturextreme wurde neben der Anzahl der Heißen Tage auch die Anzahl der Eistage betrachtet. Außerdem wurde für acht deutsche Städte die intensivste jährliche 14-tägige Hitzeperiode mit einem mittleren Tagesmaximum der Lufttemperatur von mindestens 30 °C für den Zeitraum 1951–2018 ausgewertet.

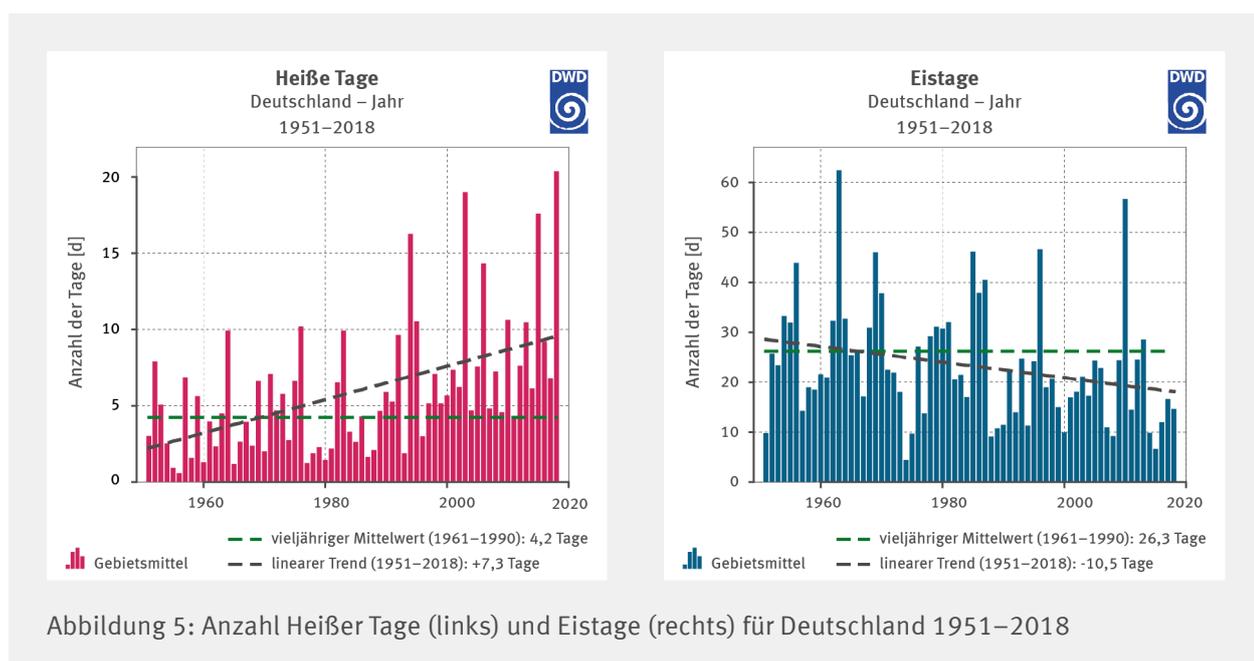


Abbildung 5: Anzahl Heißer Tage (links) und Eistage (rechts) für Deutschland 1951–2018

Seit 1951 hat die Anzahl der Heißen Tage im Flächenmittel von Deutschland von im Mittel etwa drei Tagen pro Jahr auf derzeit im Mittel etwa zehn Tage pro Jahr zugenommen (siehe Abbildung 5 links). Mehr als zehn Heiße Tage gab es deutschlandweit vor 1994 noch nie, die Jahre mit den meisten Heißen Tage waren 2018, 2003 und 2015. Dieser Anstieg ist trotz der großen Variabilität dieses Index von Jahr zu Jahr statistisch gesichert. Demgegenüber ist die Abnahme der mittleren Anzahl der Eistage von rund 27 Tagen pro Jahr auf derzeit etwa 18 Tage pro Jahr deutlich weniger markant und statistisch auch nicht nachweisbar (siehe Abbildung 5 rechts).

In Abbildung 6 wird für mehrere deutsche Städte die intensivste jährliche 14-tägige Hitzeperiode mit einem mittleren Tagesmaximum der Lufttemperatur von mindestens 30 °C für den Zeitraum 1950–2018 dargestellt. Für die untersuchten Städte ist zu erkennen, dass die Häufigkeit und Intensität der hier untersuchten intensiven Hitzeperioden von Norden nach Süden ansteigen. Allgemein liegen in den nördlicher gelegenen Städten die höchsten mittleren Tagesmaxima der Hitzeperioden unter 33 °C, dieser Wert wird in den südlichen Großstädten des Öfteren überschritten. München hat weniger Ereignisse als für den Süden typisch, da die Station relativ hoch liegt (515 m). Darüber hinaus ist zu erkennen, dass solche extremen Hitzewellen seit den 1990er Jahren häufiger auftreten; in Hamburg fanden sich zum Beispiel im Zeitraum 1950–1993 nie solche Ereignisse, seit 1994 gab es inzwischen fünf extreme Hitzewellen.

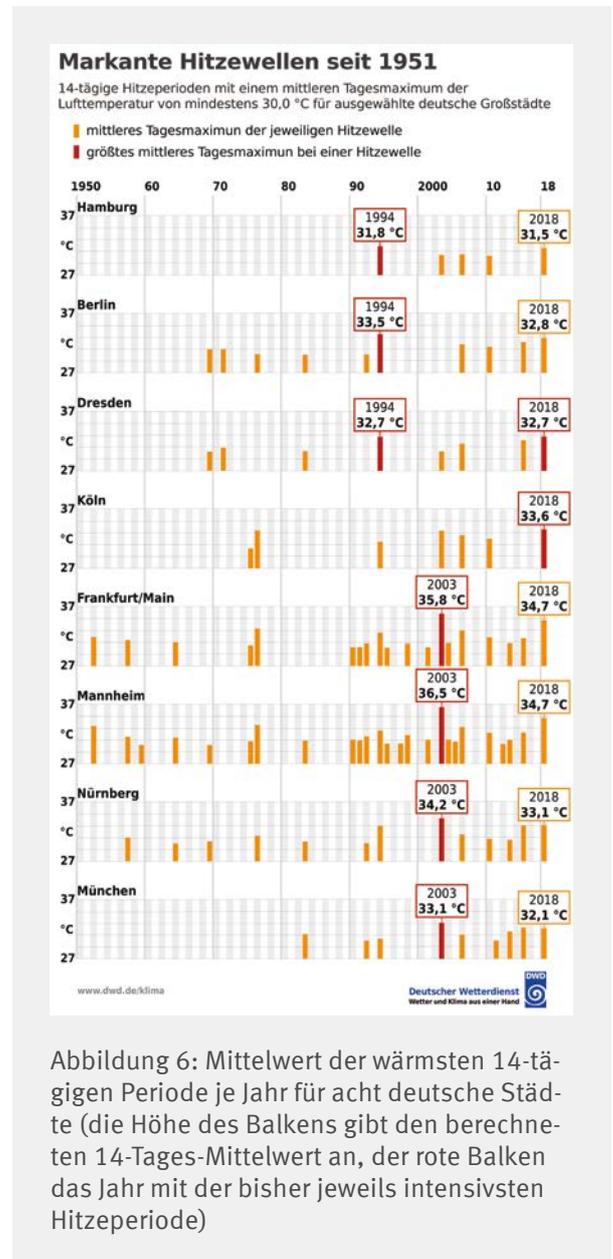


Abbildung 6: Mittelwert der wärmsten 14-tägigen Periode je Jahr für acht deutsche Städte (die Höhe des Balkens gibt den berechneten 14-Tages-Mittelwert an, der rote Balken das Jahr mit der bisher jeweils intensivsten Hitzewelle)

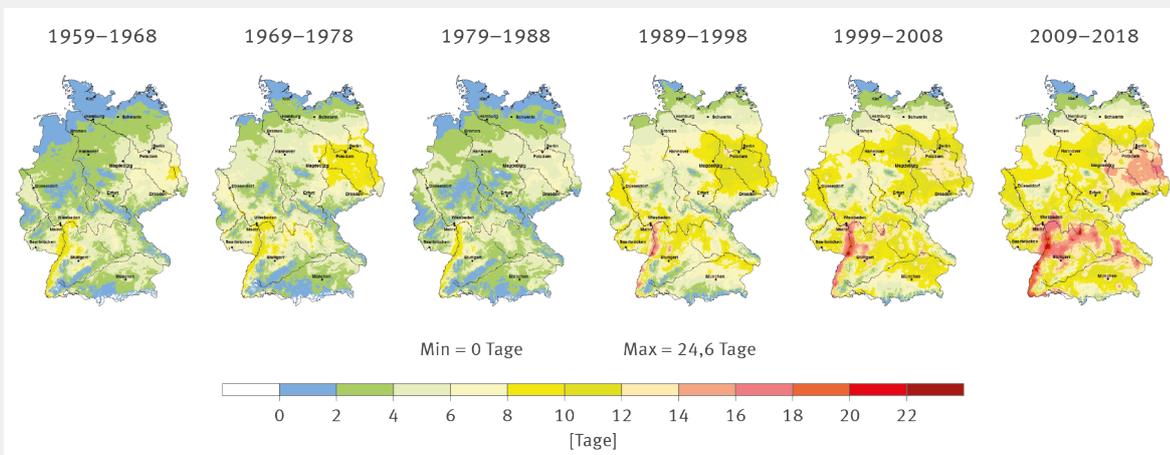


Abbildung 7: Mittlere jährliche Anzahl der Heißen Tage

Der zeitliche Verlauf der Flächenmittelwerte der Temperaturindizes spiegelt sich auch in deren räumlichen Entwicklung erkennbar wider. Ebenso sind aber auch die großen räumlichen Unterschiede zwischen den einzelnen Regionen Deutschlands gut auszumachen. Im Zeitraum 1959–1968 lag die mittlere Anzahl der Heißen Tage weitverbreitet zwischen null und vier Tagen pro Jahr. Nur entlang des Rheingrabens sowie in Nordostdeutschland südlich von Berlin traten vier bis acht, im südlichen Rheingraben teilweise auch bis zu zehn solcher Tage auf (siehe Abbildung 7). Bis zur Dekade 1999–2008 hat die Anzahl der Heißen Tage dann auf im Mittel bis zu 18 Tage pro Jahr zugenommen. Lediglich im äußersten Norden Schleswig-Holsteins traten auch in diesem Jahrzehnt weniger als zwei Heiße Tage pro Jahr auf. In den vergangenen zehn Jahren ist die Zahl der Heißen Tage insbesondere im Osten Deutschlands und im Rhein-Main-Gebiet nochmals stark angestiegen, sodass im vieljährigen Mittel im Süden und Osten weitverbreitet mehr als zehn solcher Tage pro Jahr registriert wurden.

### Niederschlag

Wärmere Luft kann mehr Wasserdampf aufnehmen als kältere Luft. Deshalb sind bei weitgehend gleichbleibender relativer Luftfeuchte grundsätzlich auch mehr Niederschläge zu erwarten. Darüber hinaus kann davon ausgegangen werden, dass es, insbesondere auf der sogenannten konvektiven Skala, also bei der Entstehung von Schauern und Gewittern, infolge der geänderten meteorologischen Verhältnisse auch zu einer Intensivierung der ablaufenden wolken- und niederschlagsbildenden Prozesse kommt. Die unter derartigen Bedingungen fallenden Starkniederschläge würden dann im Vergleich zum erhöhten Wasserdampfgehalt der Luft sogar überproportional zunehmen. Von Starkregen spricht man bei großen Niederschlagsmengen pro Zeiteinheit. Er fällt meist aus konvektiver Bewölkung (zum Beispiel Cumulonimbuswolken). Starkregen kann zu schnell ansteigenden Wasserständen und Überschwemmungen führen, häufig einhergehend mit Bodenerosion. Die vom DWD genutzten drei Warnstufen sind für verschiedene Andauern in Tabelle 1 aufgeführt.

Andauer	Starkregen		Dauerregen	
	1 Stunde	6 Stunden	24 Stunden	48 Stunden
Markantes Wetter	15 bis 25 l/m <sup>2</sup>	20 bis 35 l/m <sup>2</sup>	30 bis 50 l/m <sup>2</sup>	40 bis 60 l/m <sup>2</sup>
Unwetter	25 bis 40 l/m <sup>2</sup>	35 bis 60 l/m <sup>2</sup>	50 bis 80 l/m <sup>2</sup>	60 bis 90 l/m <sup>2</sup>
Extremes Unwetter	> 40 l/m <sup>2</sup>	> 60 l/m <sup>2</sup>	> 80 l/m <sup>2</sup>	> 90 l/m <sup>2</sup>

Tabelle 1: Warnstufen des DWD bei verschiedenen Dauerstufen für Stark- und Dauerregen

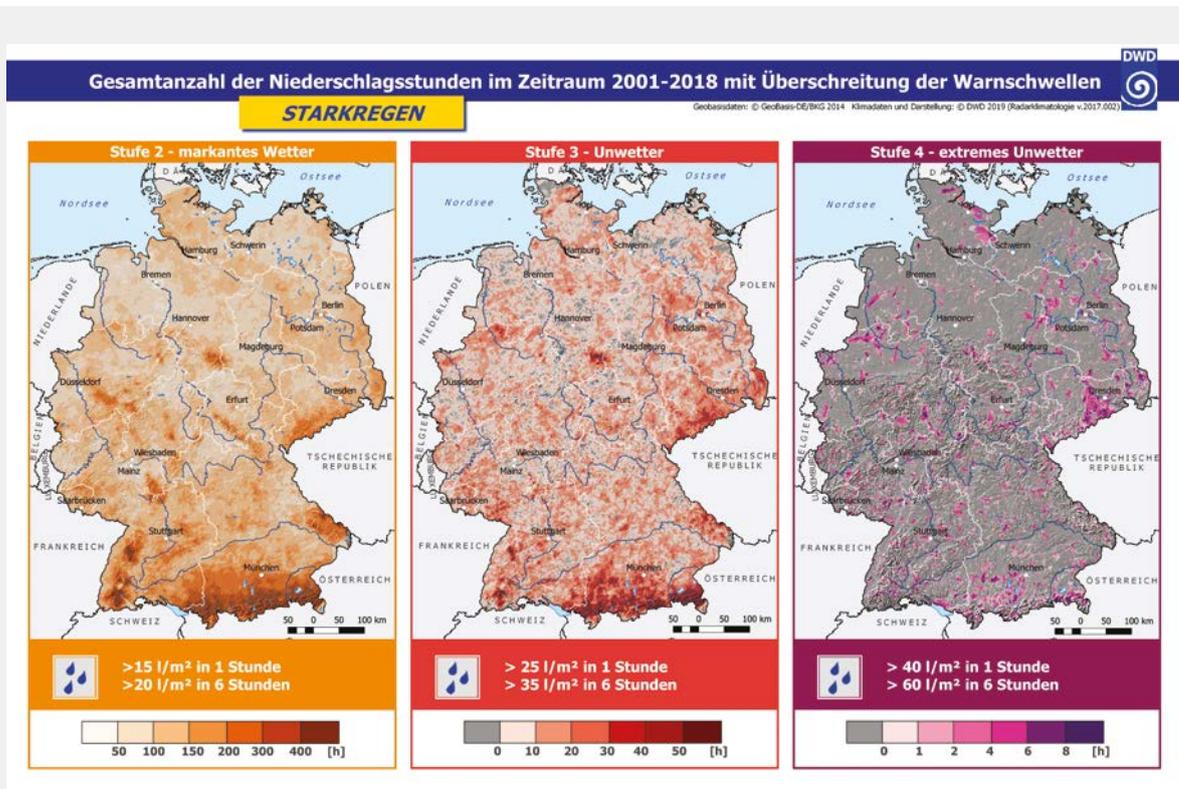


Abbildung 8: Gesamtsumme der Niederschlagsstunden im Zeitraum von 2001 bis 2018, in denen die Warnschwellen des DWD überschritten wurden (Datenbasis bilden die quantifizierte Niederschlagsanalysen der Daten des Wetterradarverbunds und der automatischen Ombrometer sowie der bereits eingebundenen Partnermessnetze der Bundesländer) (Quelle: DWD)

Allerdings spielen bei der Niederschlagsbildung zahlreiche weitere Faktoren und Prozesse eine wesentliche Rolle, die regionale Unterschiede bewirken. Nicht überall werden die Niederschläge im gleichen Maße zunehmen, in manchen Gebieten könnte es durchaus auch trockener werden.

Aufgrund der Messgegebenheiten wird dabei häufig zwischen Tagesniederschlagssummen und kürzeren Zeitintervallen bis hinunter auf Dauerstufen von 5 Minuten unterschieden. Allerdings beschränken sich viele Untersuchungen infolge der Datenverfügbarkeit auf eine minimale zeitliche Auflösung von 60 Minuten. Die Häufigkeit von Starkniederschlägen der Dauerstufe 24 Stunden (siehe auch Tabelle 1) hat in Deutschland in den vergangenen 65 Jahren im Winter bereits um rund 25% zugenommen. Für die Sommermonate ist dagegen bislang kein eindeutiger Trend auszumachen. Für die Intensität der Starkniederschläge auf dieser Zeitskala gilt grundsätzlich Ähnliches.

Für die in Mitteleuropa vorwiegend im Sommerhalbjahr relevanten Starkniederschläge kurzer Dauerstufen gibt es dagegen insgesamt noch verhältnismäßig wenige

Erkenntnisse. Es existieren zwar einige Anhaltspunkte für eine Zunahme der Intensität konvektiver Ereignisse mit steigender Temperatur. Auf dieser Zeitskala besteht aber noch Forschungsbedarf. Trendanalysen von Starkniederschlägen sind prinzipiell dadurch erschwert, dass die häufig besonders intensiven kleinräumigen Niederschläge nicht immer von den meteorologischen Stationen erfasst werden. Für die vergangenen rund 18 Jahre existieren zwar zusätzlich auch flächendeckende Radardaten, für robuste Trendaussagen ist ein solcher Zeitraum aber noch zu kurz.

Radardaten haben aber erstmals ermöglicht, das tatsächliche Auftreten von Starkregen flächendeckend festzustellen und auszuzählen. So zeigt die Abbildung 8 erstmals, dass die Stunden mit Starkniederschlägen besonders hoher Intensität von über 25 l/m<sup>2</sup> in 1 Stunde respektive über 35 l/m<sup>2</sup> in 6 Stunden in Deutschland (siehe Abbildung 8, Mitte) deutlich gleichmäßiger verteilt sind als die Gesamtstunden mit moderatem Starkregen (siehe Abbildung 8, links), dessen räumliche Verteilung stark an das Relief Deutschlands gebunden ist. Erstmals konnte damit

gezeigt werden, dass extreme kleinräumige Starkregen kurzer Andauer und mit hohem Schadenspotenzial in Deutschland jeden treffen können und somit kein Risiko sind, das nur den südlichen Ländern vorbehalten ist. Die zeitliche Verlängerung dieser Art der Starkregenanalyse wird in Zukunft auch eine Trendanalyse für diese Überschreitungshäufigkeiten ermöglichen.

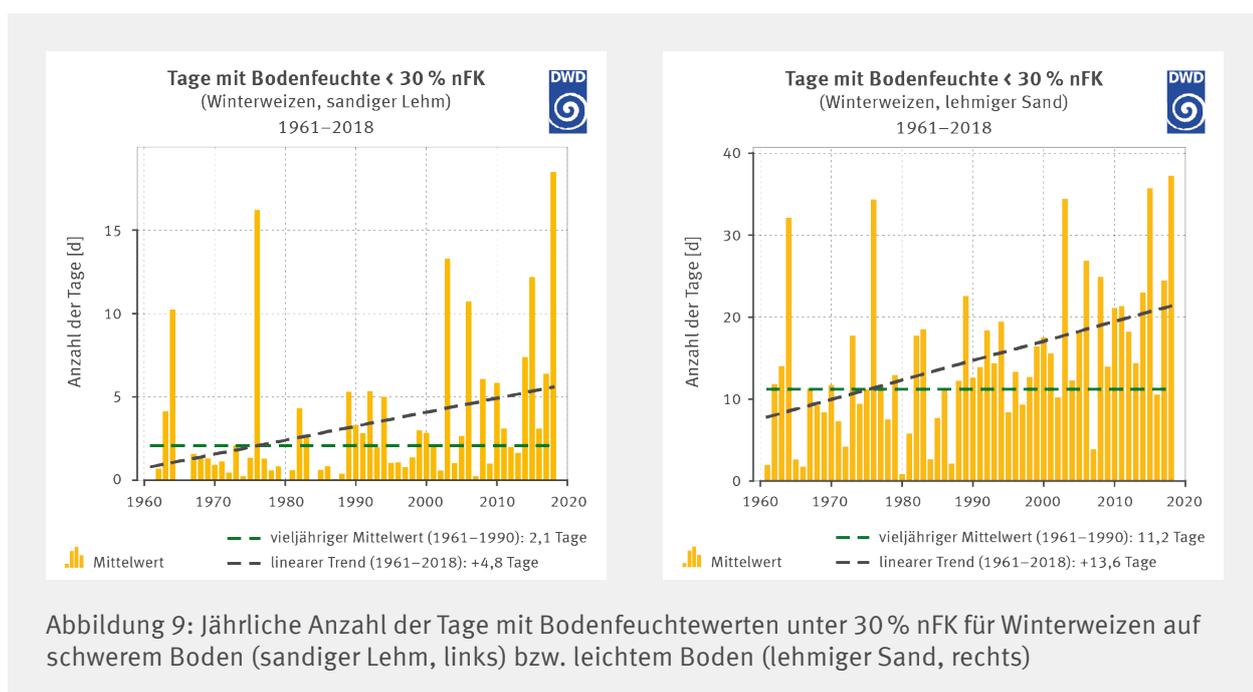
## Trockenheit

Neben der Frage nach der Veränderung der Starkniederschläge ist es insbesondere im Sommer auch von großer Wichtigkeit, inwieweit die Erwärmung mit einer zusätzlichen Austrocknung der Böden einhergeht. Besonders betroffen von der Trockenheit ist die Landwirtschaft. Spricht man in der Landwirtschaft von Trockenheit oder Dürre, so bezieht sich dies immer auf den Zustand der Pflanzen, die aufgrund fehlender Wasservorräte im Boden ihre Photosynthese-Aktivität stark einschränken müssen oder im Zweifelsfall ganz absterben können. Geringe Wasservorräte im Boden können zum einen durch fehlende oder geringe Niederschläge, zum anderen durch hohe Verdunstungsraten der Pflanzen hervorgerufen werden, die bei trockener und warmer Witterung höher sind als bei kalt feuchten Bedingungen.

Ein idealer Zeiger für den Wasserversorgungsgrad der Pflanzen ist die Bodenfeuchte, die in Prozent nutzbarer Feldkapazität (% nFK) ausgedrückt wird. Die nFK ist ein relatives Maß für das Bodenwasser, das von der Pflanze

genutzt werden kann. Wenn die Bodenfeuchte unterhalb von 30% bis 40% nFK sinkt, nimmt die Photosyntheseleistung und somit das Wachstum der Pflanze stark ab. Umso länger die Pflanze in diesem Zustand bleibt, umso stärker kann sie geschädigt werden. Aus diesem Grunde wurde die Anzahl der Tage betrachtet, an denen die kritischen Bodenfeuchtwerte von 30% nFK für die Kultur Winterweizen unterschritten wurde. Betrachtet wurde die Hauptwachstumszeit von Winterweizen, die in der Regel von März bis Juli oder August andauert. Außerdem hat auch die Art des Bodens einen großen Einfluss auf die Bodenfeuchte. Ein schwerer Boden (zum Beispiel sandiger Lehm) kann mehr Wasser für die Pflanzen zwischenspeichern als ein leichter Boden (zum Beispiel lehmiger Sand) und somit längere Trockenperioden überbrücken.

Wie in Abbildung 9 zu sehen ist, hat die mittlere Anzahl der Tage mit Bodenfeuchtwerten unter 30% nFK in Deutschland sowohl für den schweren Boden (links) als auch für den leichten Boden (rechts) seit 1961 signifikant zugenommen. Durch die geringere Wasserspeicherkapazität des leichten Bodens ist hier die Anzahl der Tage, in denen der kritische Schwellenwert unterschritten wird, insgesamt höher als für den schweren Boden. Besonders betroffen von der zunehmenden Bodentrockenheit sind der Osten Deutschlands sowie das Rhein-Main Gebiet (siehe Abbildung 10).



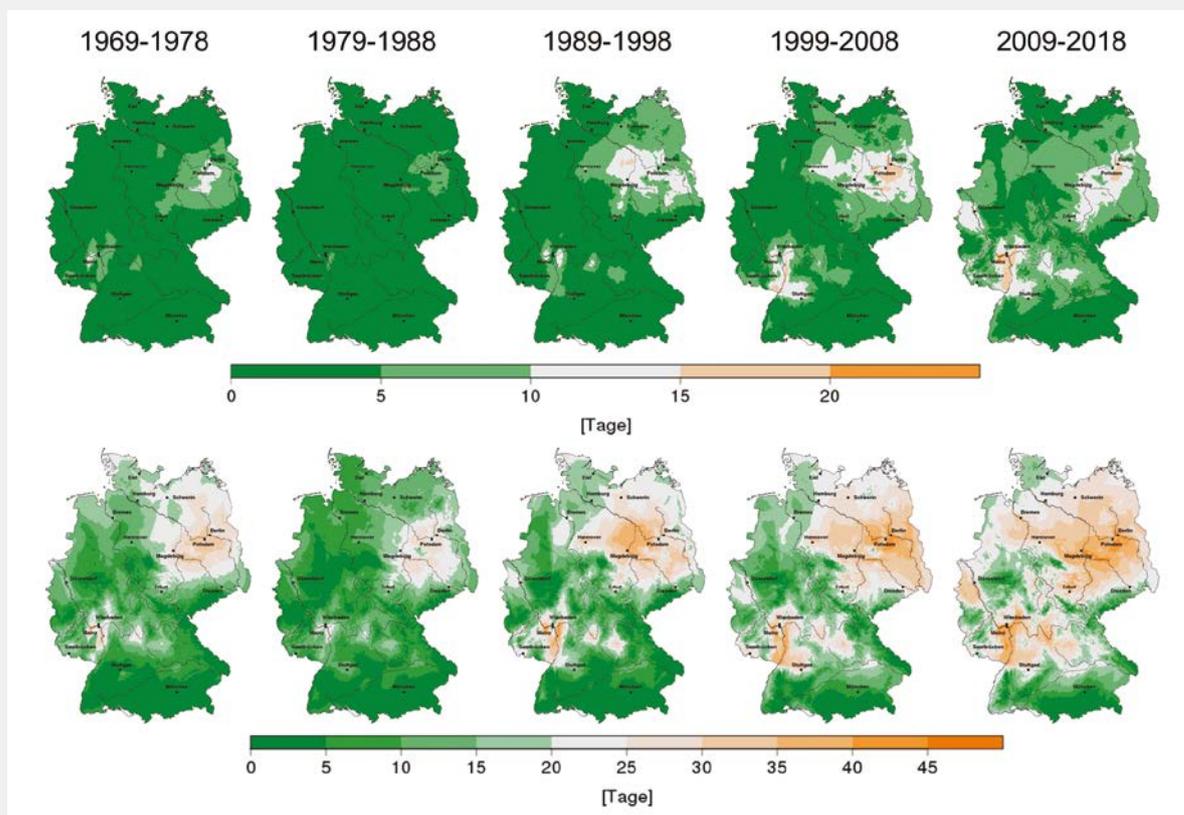


Abbildung 10: Mittlere jährliche Anzahl der Tage mit einer Bodenfeuchte unter 30% nFK für Winterweizen auf einem schweren Boden (oben, sandiger Lehm) und einem leichten Boden (unten, lehmiger Sand)



**INDIKATOREN ZU  
KLIMAWANDELFOLGEN  
UND ANPASSUNG**



© deberarr / stock.adobe.com

# Menschliche Gesundheit

Der menschliche Organismus setzt sich ständig mit den klimatischen Bedingungen seiner Umwelt auseinander und reagiert mit körpereigenen Anpassungsreaktionen auf diese Reize. Vor allem extreme Wetter- und Witterungssituationen können die Gesundheit sowie die Leistungsfähigkeit und das Wohlbefinden beeinträchtigen.

Der Klimawandel hat bereits heute vielfältige direkte und indirekte Auswirkungen auf die Gesundheit. Witterungs- und Klimaveränderungen können dazu führen, dass Infektionskrankheiten sowie nicht-übertragbare Krankheiten wie Allergien zunehmen oder sich die Symptome bei Herz-Kreislauf und Atemwegserkrankungen verstärken. Extremereignisse wie Stürme, Hochwasser, Lawinenabgänge oder Erdbeben sind eine unmittelbare Gefahr für Leib und Leben, sie können außerdem zu sozialen und psychischen Belastungen und Störungen wie Stress, Angstzuständen und Depressionen führen. Zu berücksichtigen ist, dass sich zeitgleich mit dem Klimawandel demografische und gesellschaftliche Veränderungen vollziehen. Steigende Lebenserwartung erhöht das Risiko chronischer Krankheit. Es kommt zu einem vermehrten Alleinleben und damit einhergehendem Einsamkeitsempfinden. Aufgrund dieser Unsicherheiten erscheint es derzeit angemessen, primär die sich verändernden Risiken, die aus dem Klimawandel für die menschliche Gesundheit resultieren, in den Blick zu nehmen.

Im Zentrum von Anpassungsbemühungen steht die gesundheitliche Vorsorge. Mit fundierten und gut zugänglichen Informationen lassen sich Bürgerinnen und Bürger motivieren, durch Verhaltensanpassungen ihre persönlichen Risiken zu mindern. Gleichzeitig bedarf es der aktiven medizinischen und pflegerischen Unterstützung besonders empfindlicher Bevölkerungsgruppen, wenn es zu gesundheitsgefährdenden Situationen beispielsweise während Hitzewellen kommt.

## Auswirkungen des Klimawandels

Hitzebelastung bringt steigende Gesundheitsrisiken (GE-I-1) .....	32
Hitzewellen verursachen zusätzliche Todesfälle (GE-I-2) .....	34
Allergene Pflanzen gewinnen an Boden (GE-I-3) .....	36
Exotische Mücken bergen neue Gesundheitsrisiken (GE-I-4) .....	38
Cyanobakterien – Beeinträchtigung der Badegewässer (GE-I-5) .....	40

## Anpassungen

Rechtzeitige Hitzewarnungen – Voraussetzung für gute Prävention (GE-R-1 und GE-R-2) .....	42
Pollenallergische Menschen brauchen Information (GE-R-3) .....	44

## Hitzebelastung bringt steigende Gesundheitsrisiken

Neben steigenden Durchschnittstemperaturen wird der Klimawandel voraussichtlich auch vermehrt gesundheitlich belastende Hitzeereignisse mit sich bringen. Im Rückblick zeichnet sich seit den 1970er Jahren bereits ein Trend zur Zunahme „Heißer Tage“ ab, an denen der Tageshöchstwert der Temperatur 30 °C oder mehr beträgt. In „Tropennächten“ sinken die Temperaturen nicht unter 20 °C, eine nächtliche Erholung ist dann insbesondere nach sehr heißen Tagen eingeschränkt.

Tropennächte treten bislang in unseren Breiten im Gegensatz zu den Heißen Tagen noch selten auf. Allerdings kommt es in Jahren mit ausgeprägten Hitzewellen auch regelmäßig zur Ausbildung von Tropennächten.

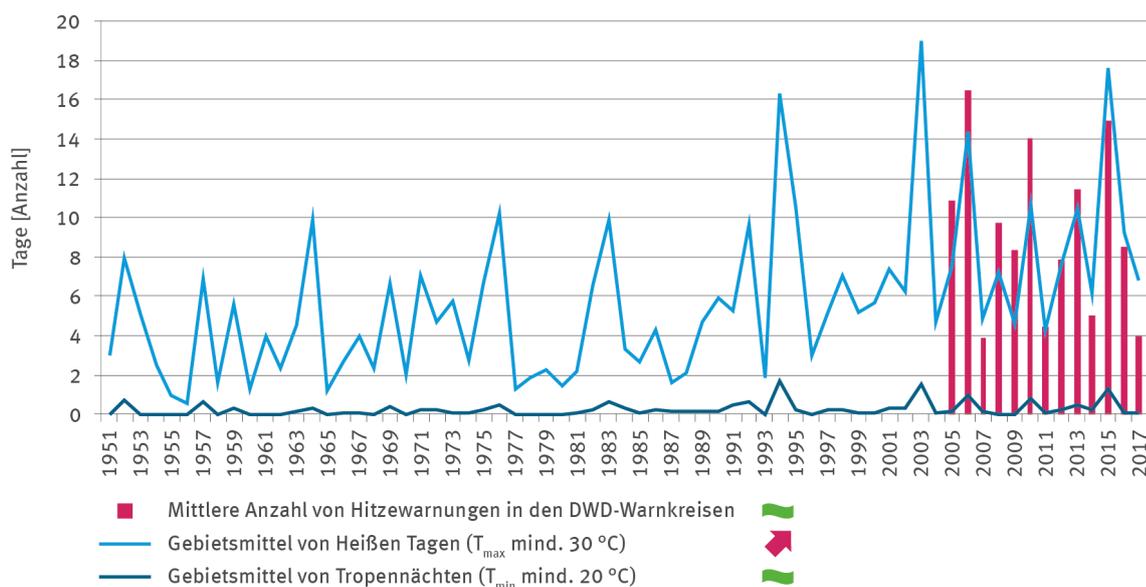
Starke Korrelationen mit der Entwicklung der Heißen Tage zeigt die Anzahl der Hitzewarnungen, die der DWD seit 2005 im Rahmen seines Hitzewarnsystems ausspricht. Gewarnt wird, wenn an zwei aufeinander folgenden Tagen eine mindestens „starke Wärmebelastung“ von 32 bis 38 °C „Gefühlter Temperatur“ vorhergesagt wird und es nachts nur zu einer unzureichenden

Abkühlung kommt. Sind extreme Belastungen von 38 °C und mehr zu erwarten, erfolgt in jedem Falle, d. h. auch bei kürzerer Dauer, eine Warnung (s. GE-R-1). Seit Bestehen des Hitzewarnsystems schwankte in Abhängigkeit der Witterung die mittlere Anzahl der Hitzewarnungen in den sogenannten Warnkreisen, die in ihrem Zuschnitt den Landkreisen ähnlich sind, von Jahr zu Jahr. Nach 2003 traten in den Jahren 2006, 2010, 2013, 2015 und auch 2018 an mehr als zehn Tagen im Gebietsmittel Heiße Tage mit Temperaturen von mehr als 30 °C auf. Vor dem Jahr 2000 wurde die Marke von zehn Tagen allein in den Jahren 1976 und 1995 erreicht und 1994 überschritten. Im Süden Deutschlands wurde im Jahresmittel an rund drei Tagen mehr, im Norden an vier Tagen weniger gewarnt als im deutschlandweiten Mittel.

Die Heißen Tage und Tropennächte sowie die Hitzewarnungen weisen auf gesundheitlich belastende Witterungssituationen hin, lassen aber keine Rückschlüsse zu, wie viele Menschen tatsächlich von Hitze gesundheitlich betroffen sind. Von Hitze beeinträchtigt werden vor allem ältere Menschen, chronisch Kranke, kleine Kinder und

### GE-I-1: Hitzebelastung

Neben den steigenden Jahresmitteltemperaturen zeichnet sich in den zurückliegenden vierzig Jahren auch ein Trend zunehmender Hitzeextrema ab. Insbesondere die Zahl der Heißen Tage hat signifikant zugenommen. Für die Tropennächte lässt sich derzeit noch kein Trend erkennen. Gleiches gilt für die Zahl der Hitzewarnungen.



Datenquelle: DWD (Hitzewarnungen, Deutscher Klimaatlas)

isoliert lebende Personen. Gesunde Personen können sich besser anpassen und den Hitzefolgen aktiv entgegensteuern. Ursachen für gesundheitliche Beeinträchtigungen sind häufig hohe Flüssigkeits- und Elektrolytverluste durch Schwitzen und eine übermäßige Belastung des Herz-Kreislaufsystems durch die Anforderung eines hohen Wärmetransports.

Das Bewusstsein der Bevölkerung für gesundheitliche Beeinträchtigungen durch Hitzeperioden ist in den letzten Jahren angestiegen. Dies zeigen die Ergebnisse der repräsentativen Bevölkerungsumfrage „Umweltbewusstsein in Deutschland“<sup>1</sup> im Jahr 2016<sup>1</sup> im Vergleich zu den Erhebungen aus den früheren Jahren. 2016 gaben 50% der Befragten an, dass sie subjektiv für sich in Zukunft erwarten, dass Hitzewellen ihr körperliches Wohlbefinden oder ihre Gesundheit sehr stark oder stark betreffen

I Die repräsentative Bevölkerungsumfrage (deutschsprachige Wohnbevölkerung ab 14 Jahre) „Umweltbewusstsein und -verhalten in Deutschland“ wird seit dem Jahr 2000 zweijährlich im Auftrag des BMU und des UBA durchgeführt. Seit 2012 wurden Fragen aufgenommen, die Daten für die DAS Monitoring Indikatoren liefern, ab 2016 werden diese Fragen alle 4 Jahre in der Umweltbewusstseinsstudie erhoben.

### Schnittstellen

GE-R-1: Hitzewarndienst

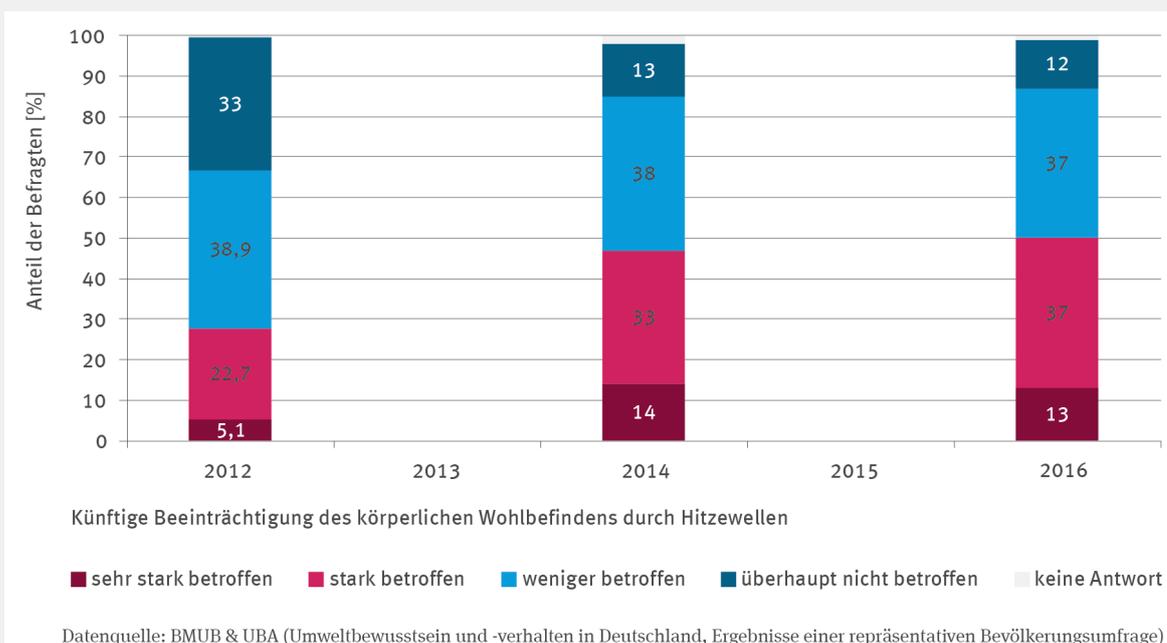
### Ziele

Recht auf Leben und körperliche Unversehrtheit (Grundgesetz, Art. 2)

werden. Im Vergleich dazu erwarteten dies 2012 nur knapp 30% der Befragten<sup>2</sup>. Nur noch 12% sahen sich 2016 überhaupt nicht betroffen, bei der Befragung im Jahr 2012 waren es noch 33% der Befragten.

### GE-I-1 (Zusatz): Bewusstsein der Bevölkerung für gesundheitliche Folgen von Hitzewellen

2016 sahen sich schon die Hälfte der Befragten in ihrem körperlichen Wohlbefinden in der Zukunft stark oder sehr stark von Hitzewellen in ihrer Gesundheit beeinträchtigt. 2012 war es erst ein knappes Drittel der Befragten.



## Hitzewellen verursachen zusätzliche Todesfälle

Seit Beginn des Jahrtausends hat es in Deutschland, wie in den meisten europäischen Ländern, eine Abfolge intensiver Hitzewellen gegeben. Zwischen 2000 und 2018 wurden acht der elf wärmsten Jahre seit Beginn der Wetteraufzeichnungen im Jahr 1881 beobachtet. Besonders viele Hitzetage wurden in den Jahren 2003, 2006, 2010, 2013, 2015 und 2018 registriert. Im Jahr 2018 traten in Deutschland durchschnittlich mehr als 20 Heiße Tage auf, das ist die bislang höchste Anzahl seit 1881. Im Jahr 2003 gab es durchschnittlich 19 Heiße Tage und 2015 wurden deutschlandweit im Durchschnitt 17 Heiße Tage registriert.

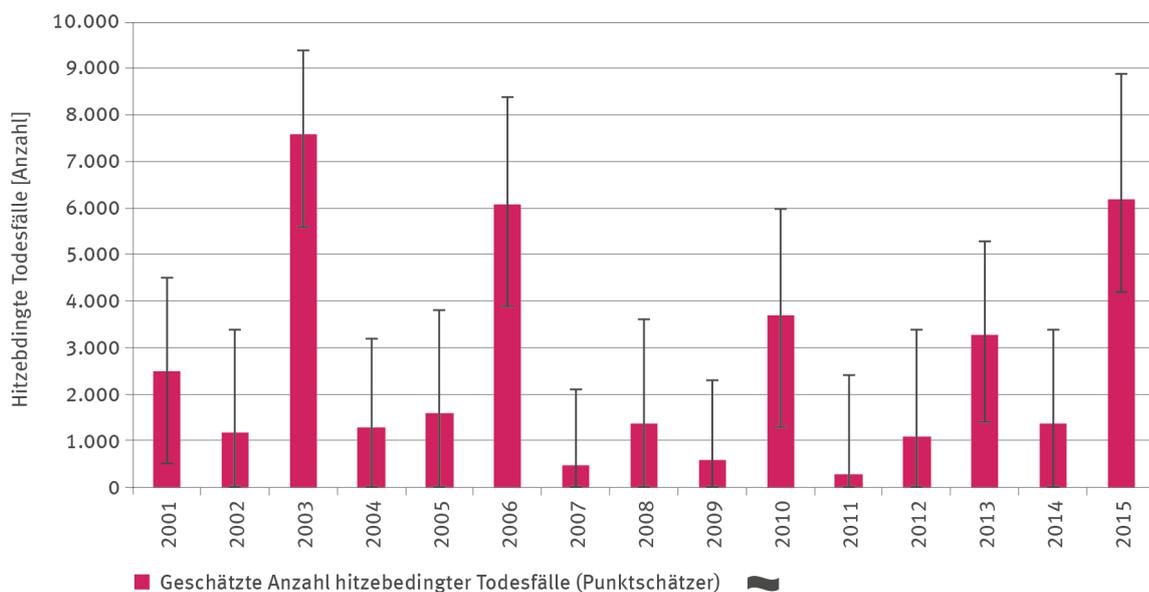
Hitzebelastung führt zu einem größeren Flüssigkeitsverlust des Körpers. Dieser kann zu Dehydrierung (Wassermangel im Körper) führen und unter anderem eine verringerte Blutviskosität nach sich ziehen. Damit steigt das Risiko für Thrombosen und andere Herz-Kreislaufkrankungen. Wenn die Thermoregulation (der Mechanismus des menschlichen Körpers, eine Körpertemperatur von etwa 37 °C konstant aufrecht zu erhalten) eingeschränkt ist, können Störungen im Wasser- und

Elektrolythaushalt auftreten, die zu lebensbedrohlichen Beeinträchtigungen des Herz-Kreislaufsystems führen können. Insbesondere ältere und gebrechliche Menschen sind durch Hitzestress stark gefährdet, ebenso Patienten mit chronischen Erkrankungen wie Herz-Kreislauf- oder Atemwegserkrankungen<sup>3</sup>. Auch Umweltbedingungen haben Einfluss auf die gesundheitliche Gefährdung. Studien belegen, dass in dicht bebauten Stadtgebieten<sup>4</sup>, in denen sich sommerliche Wärmeinseln ausbilden (Urban Heat Islands) und erhöhte Ozon- und Feinstaubwerte<sup>5</sup> auftreten, die Gesundheitsrisiken erhöht sind.

In Todesfallstatistiken werden Sterbefälle, die mit Hitzeeinflüssen verbunden sind, in der Regel anderen Todesursachen zugeschrieben (z. B. Krankheiten des Herz-Kreislauf-Systems). Liegt die Anzahl von Todesfällen über den saisonal üblichen und damit zu erwartenden Werten, ist das ein Hinweis, dass hier außergewöhnliche Ereignisse eine Rolle spielen. Zur Bestimmung des Indikators „Hitzebedingte Todesfälle“ wurden aggregierte Mortalitätsdaten des Statistischen Bundesamtes verwendet, welche die wöchentliche Gesamtsterblichkeit nach

### GE-I-2: Hitzebedingte Todesfälle

In Jahren mit einer überdurchschnittlich hohen Anzahl von Hitzetagen treten mehr Todesfälle auf als ohne Hitzewelle zu erwarten gewesen wäre. 2003 sind in Deutschland etwa 7.500 Menschen mehr gestorben, für 2006 und 2015 ergeben die Untersuchungen etwa 6.000 zusätzliche Todesfälle.



Datenquelle: RKI (eigene Berechnungen)

Bundesländern und Altersjahrgängen im Zeitraum 2001 bis 2015 beschreiben.

Das verwendete mathematische Modell beschreibt den nichtlinearen Zusammenhang hoher Temperaturen mit der Mortalitätsrate. Während in einem Bereich zwischen 10 °C und 20 °C Wochenmitteltemperatur die Mortalität relativ konstant verläuft, steigt sie bei Wochenmitteltemperaturen über 20 °C deutlich an. Dieser Anstieg ist besonders ausgeprägt in den Altersgruppen 65–74, 75–84 und 85+. Die Wochenmitteltemperatur gibt den Mittelwert aller stündlichen Werte innerhalb einer Woche an, insbesondere werden hier Tages- und Nachttemperaturen miteinbezogen. Wochen mit einer Mitteltemperatur über 20 °C enthalten typischerweise auch einen oder mehr Heiße Tage.

Die Zahl der hitzebedingten Todesfälle wird geschätzt als Differenz der modellierten Mortalität und einem hypothetischen Mortalitätsverlauf, der sich ergäbe, wenn die Wochenmitteltemperatur nicht über 20 °C steigen würde.

Die genaue Methode der Schätzung wird im Themenheft „Gesundheitliche Herausforderungen des Klimawandels“ des Bundesgesundheitsblattes beschrieben<sup>6</sup>. Die Ergebnisse zeigen, dass im Jahr 2003 etwa 7.500 Menschen mehr gestorben sind als ohne Hitzewelle zu erwarten gewesen wäre. Für die Jahre 2006 und 2015 ergeben sich jeweils etwa 6.000 zusätzliche Todesfälle.

Diese Todesfälle treten vor allem in den Altersgruppen 75–84 und 85+ auf, wobei die Rate pro 100.000 Einwohner in der Altersgruppe 85+ besonders hoch ist. Im Zeitraum zwischen 2001 und 2015 traten im Norden Deutschland weniger oft Wochenmitteltemperaturen über 20 °C auf, sodass die meisten hitzebedingten Todesfälle in der Mitte oder im Süden Deutschlands zu verzeichnen sind.



Zu große und lang anhaltende Hitze beeinträchtigt vor allem ältere Menschen. (Foto: © chingyunsong/stock.adobe.com)

### Schnittstellen

GE-I-1: Hitzebelastung  
GE-R-1 Hitzewarndienst

### Ziele

Recht auf Leben und körperliche Unversehrtheit  
(Grundgesetz, Art. 2)

## Allergene Pflanzen gewinnen an Boden

In Deutschland leiden rund 15 % der Erwachsenen mindestens einmal in ihrem Leben (Lebenszeitprävalenz) an Heuschnupfen und 9 % an Asthma bronchiale. Allergene Pollen sind Hauptauslöser von Heuschnupfen, und mehrere klinische Studien zeigen einen Zusammenhang zwischen dem Auftreten luftgetragener Pollen und dem Vorkommen von Heuschnupfen. Das Pollenaufreten wiederum ist stark von der Witterung bzw. dem Klima beeinflusst. Ein insgesamt milderes Klima mit einer längeren Vegetationsperiode begünstigt längere Pollenflugzeiten und höhere Pollenkonzentrationen. Möglicherweise nimmt auch die Allergenität von Pollenallergenen mit höheren Temperaturen zu. Wird es wärmer, können außerdem wärmeliebende Pflanzenarten, die bisher in Deutschland nicht heimisch waren, einwandern, darunter auch Pflanzen mit hohem allergenen Potenzial.

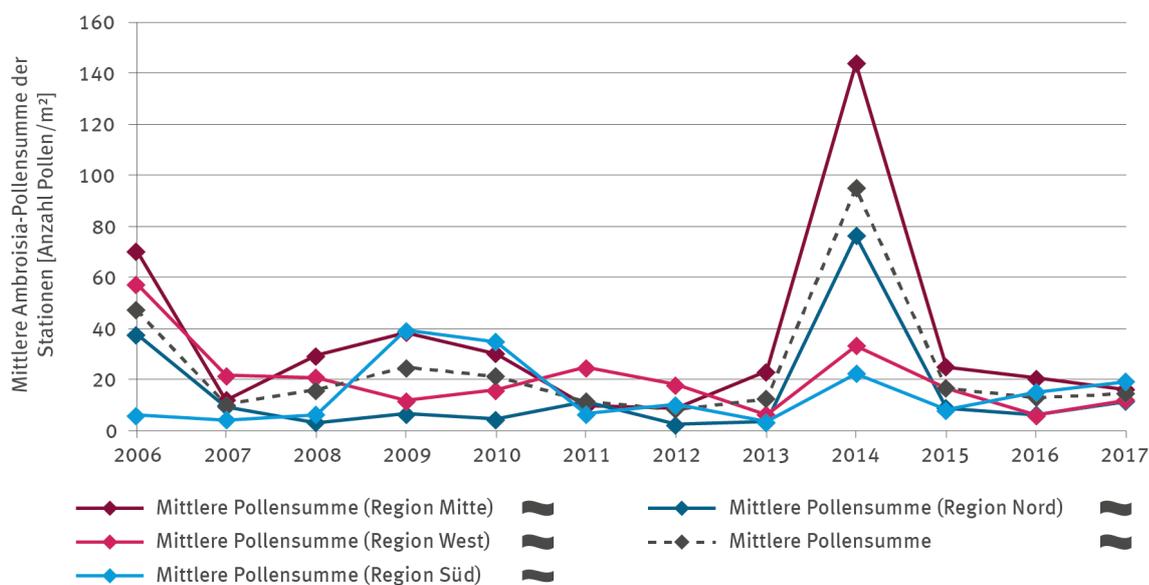
Das aus Nordamerika stammende Beifußblättrige Traubenkraut, kurz Beifuß-Ambrosie (*Ambrosia artemisiifolia*), war in Deutschland lange ein relativ seltenes und unbeständiges Unkraut. Erst seit Anfang der 1990er Jahre nehmen die Bestände zu. Heute kommt die

Beifuß-Ambrosie in allen Bundesländern vor und bildet vor allem in Süd- und Ostdeutschland örtlich auch schon größere, etablierte Bestände mit vielen tausend Pflanzen. Die Pflanze wächst in Gärten, auf nicht genutzten oder brach gefallenen Flächen, Äckern und Schnittblumenfeldern, landwirtschaftlichen Stilllegungsflächen, Baustellen sowie an Straßen- und Wegrändern. Ursache der Ausbreitung der Art sind unter anderem die Einfuhr von Vogelfutter oder von Wildacker- oder Blumensaaten, die mit Ambrosiasamen verunreinigt sind, sowie der Transport von Erde aus befallenen Gebieten im Zuge von Baumaßnahmen oder das Anhaften an landwirtschaftlichen Maschinen oder an Mähgeräten, die an Straßenrändern eingesetzt werden. Zur Begrenzung der Verunreinigung von Futtermitteln mit Ambrosiasamen ist im Jahr 2011 eine EU-Verordnung in Kraft getreten.

Dass sich die Ambrosie in Deutschland ausbreiten und etablieren kann, wird aber in erheblichem Maße auch mit dem Klimawandel in Verbindung gebracht, denn die einjährige Pflanze erreicht die zur Verbreitung erforderliche Samenreife nur in warmen oder gemäßigten

### GE-I-3: Belastung mit Ambrosiapollen

Die Ausbreitung und Etablierung der Beifuß-Ambrosie wird vermutlich durch den Klimawandel begünstigt. Noch zeigen die Ergebnisse der Pollenmessungen aber keine signifikanten Trends.



Datenquelle: Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst (Pollenfallen)

Klimaten mit milden Herbstmonaten. Ein systematischer wissenschaftlicher Nachweis für diesen Zusammenhang konnte allerdings noch nicht geführt werden. Ähnliche Befürchtungen zur Ausbreitung und Etablierung gibt es für weitere hoch allergene wärmeliebende Pflanzen wie das Glaskraut (*Parietaria officinalis*, *P. judaica*) oder den Olivenbaum (*Olea europaea*).

Die Pollen der Beifuß-Ambrosie gelten als hoch allergen. Bei sensibilisierten Personen können bereits geringe Pollenkonzentrationen, d. h. rund zehn Pollen pro Kubikmeter Luft, einen Heuschnupfen und bei bis zu einem Viertel der betroffenen Allergikerinnen und Allergiker auch Asthma auslösen. Ferner wird von Hautreaktionen nach Hautkontakten mit dem Blütenstand oder anderen Pflanzenbestandteilen berichtet. Hinzu kommt, dass sich mit der Verbreitung der Beifuß-Ambrosie die Flugzeit allergener Pollen im Jahr bis Ende Oktober verlängert, da die Pflanze zu den Spätblüheren zählt. Das bedeutet eine zusätzliche Belastung für entsprechend sensibilisierte Allergikerinnen und Allergiker durch die Verlängerung bzw. Spreizung der Pollenflugzeiten und damit der Beschwerdezeit.

Die derzeitigen Pollenkonzentrationen der Beifuß-Ambrosie in Deutschland sind im Mittel zwar noch gering, allerdings regional sehr unterschiedlich. Zudem können Ferntransporte aus stärker belasteten Nachbarländern in einigen Gebieten zu besonders starkem Pollenaufreten führen. Trendaussagen zur Entwicklung der in Deutschland gemessenen Pollensummen sind auf Grundlage der noch relativ kurzen Zeitreihe mit Unsicherheiten behaftet. Auch bezüglich der Belastungssituation in den vier Hauptregionen Nord, West, Mitte und Süd zeichnet sich noch kein klares Muster ab. Die deutschlandweit hohe Belastung mit Ambrosia-Pollen im Jahr 2014 wurde verursacht durch einen langanhaltenden Fernflug von Pollen aus der ungarischen Tiefebene während der Blütezeit der Beifuß-Ambrosie. Besonders stark verbreitet ist die Beifuß-Ambrosie in Ungarn und umgebenden Ländern, insbesondere Slowakei, Rumänien, Serbien, Bosnien-Herzegowina und Kroatien; von diesen Ländern können die sogenannten „Fernflüge“ der Pollen ausgehen.

Die gemessene Pollensumme erlaubt keine gesicherten Rückschlüsse auf das Risiko der Bevölkerung, tatsächlich mit den Pollen in Kontakt zu kommen oder eine Sensibilisierung oder allergische Reaktionen zu entwickeln. Dennoch sollte aus Gründen der Vorsorge unter Beachtung der Verhältnismäßigkeit alles getan werden, um die weitere Ausbreitung der Pflanze in Deutschland zu unterbinden.



Der Klimawandel begünstigt die Ausbreitung und Etablierung hoch allergener Arten wie der Beifuß-Ambrosie. (Foto: © Elenathewise / stock.adobe.com)

## Schnittstellen

GE-R-3: Informationen zu Pollen

## Ziele

Prüfung von Maßnahmen zur Eindämmung der Ausbreitung der Beifuß-Ambrosie durch Bund und Länder (DAS, Kap. 3.2.1)

Deutschland so weit wie möglich von Vorkommen der Art freihalten (Aktionsprogramm Ambrosia des Julius Kühn-Instituts – durchgeführt seit 2007)

## Exotische Mücken bergen neue Gesundheitsrisiken

Weltweit sind wir mit neuen und wieder auftretenden Infektionserregern konfrontiert, die oft zwischen Tier und Mensch übertragen werden können und sich aufgrund der stetig wachsenden globalen Mobilität rasch verbreiten. Sowohl langfristige Klimaänderungen (Temperatur, Niederschlag) als auch die Zunahme von Extremwetterlagen sind von Bedeutung. Bei Vektor-übertragenen Infektionskrankheiten wie Malaria, Dengue, Leishmaniose, Zika, Chikungunya oder Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME) ist zu befürchten, dass in Deutschland unter veränderten Klimabedingungen sowohl für die tierischen Überträger wie z. B. Stechmücken oder Zecken als auch für die Erreger günstigere Bedingungen herrschen und infolge dessen auch das Infektionsrisiko für Mensch und Tier steigt. Dies zeigt, wie eng die Gesundheit von Mensch, Tier und Umwelt miteinander verknüpft sind (One Health).

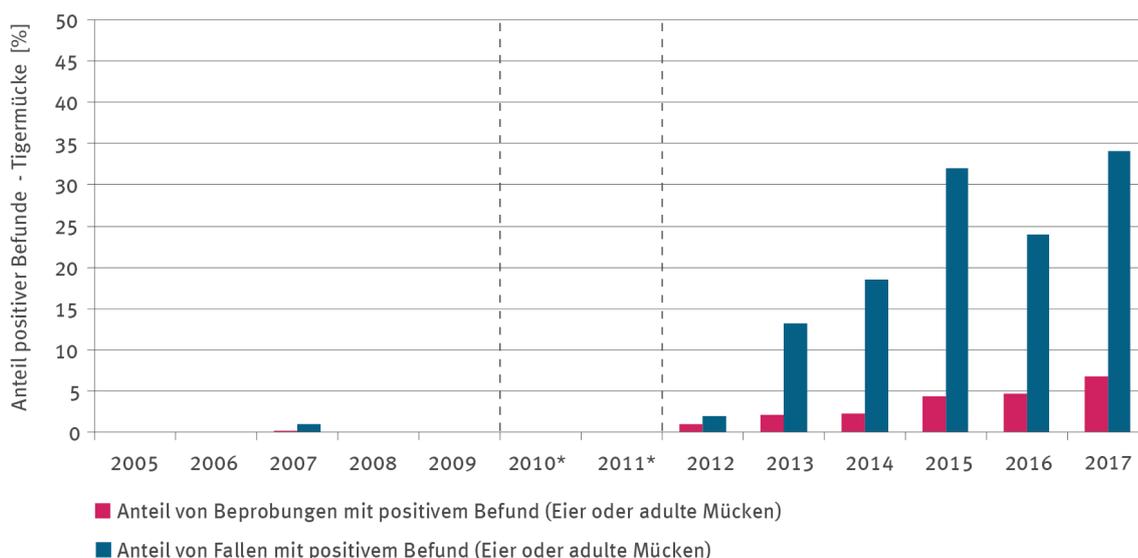
Die Mechanismen von Aufnahme, Entwicklung und Vermehrung von Krankheitserregern in Vektoren und die Übertragung auf Tiere und Menschen sind in vielen Fällen noch nicht vollständig aufgeklärt. Veränderte klimatische

Verhältnisse können an mehreren Stellen dieses Zusammenwirkens von Krankheitserregern und Vektoren Einfluss auf die Entwicklungen nehmen. Veränderte klimatische Verhältnisse können unter anderem Änderungen in der Vermehrungsrate der tierischen Vektororganismen, ihrer Lebensdauer, ihrem Verhalten oder ihrer Populationsdichte zur Folge haben. Auch ihre Effizienz bei der Übertragung von Krankheitsüberträgern kann beeinflusst sein. Kurze Winter können dazu führen, dass die Tiere längere Zeit im Jahr aktiv sind, sich schneller vermehren und mehr Generationen ausbilden. Es kann dazu kommen, dass sich ursprünglich in Deutschland nicht heimische Vektorarten, die aus warmen Ländern eingeschleppt werden, hier etablieren und verbreiten.

Die Untersuchung der Zusammenhänge zwischen Klimawandel und Vektor- bzw. Erregerausbreitung ist noch im Aufbau. Während die Erfassung der meisten mit Vektoren assoziierten Infektionskrankheiten aufgrund der Regelungen des Infektionsschutzgesetzes (u. a. Meldepflichten) bereits systematisch und i. d. R. auch bundesweit stattfindet, mangelt es noch an Daten zum Vorkommen und zur

### GE-I-4: Überträger von Krankheitserregern – Fallstudie

Wärmere Klimabedingungen können die Etablierung und Ausbreitung der Asiatischen Tigermücke in Deutschland begünstigen. Damit sind erste Voraussetzungen geschaffen, dass sich dieser Erreger lokal auch hierzulande weiter verbreiten kann, sofern er durch infizierte Personen eingeschleppt wird. Die Funde von Eiern und Mücken in Fallen und positive Beprobungen im Oberrheingebiet haben deutlich zugenommen.



Datenquelle: Kommunale Aktionsgemeinschaft zur Bekämpfung der Schnakenplage KABs e.V. (Mückenmonitoring)

\*) Für die Jahre 2010 und 2011 stehen keine Daten zur Verfügung, ab 2012 Fortsetzung der Erhebungen mit anderen Fallentypen.

Verbreitung von Vektorarten und deren Durchseuchung mit den Erregern. Aufgrund dessen beschränkt sich die Darstellung beispielhaft nur auf einen Vektor, die Asiatische Tigermücke (*Aedes albopictus*), eine ursprünglich aus Südostasien stammende Stechmückenart. Sie gilt als hocheffizienter Vektor, der über 20 unterschiedliche Viren übertragen kann.

Die Tigermücke ist in Südeuropa sowie in Teilen Mitteleuropas inzwischen in einer aus den USA stammenden, bereits an nicht tropische Verhältnisse angepassten Form weit verbreitet. In Deutschland werden seit einigen Jahren regelmäßig Eier, Larven und erwachsene Tiere gefunden. Der Eintrag erfolgt nach derzeitigem Kenntnisstand über den Kraftverkehr aus dem Süden kommend (z. B. Italien). Dort, wo die Tigermücke günstige Bedingungen vorfindet, kann sie sich etablieren und weiter ausbreiten. Begünstigt wird die Ansiedlung der Tigermücke, wenn sie in unmittelbarer Nähe ihrer Freisetzungsstelle genügend Brutstätten, Blutwirte und Rückzugszonen findet, wie z. B. in Kleingärtenanlagen und Siedlungsbereiche mit hohem Gartenanteil.

Für das Chikungunya-Virus konnte bereits gezeigt werden, dass eine Übertragung durch *Ae. albopictus* auch in Deutschland weniger durch die Außentemperaturen, sondern insbesondere durch das ausreichende Auftreten der Stechmücken begrenzt wird<sup>7</sup>. Für das Zika-Virus zeigen Laborversuche, dass die Vektorkompetenz von *Ae. albopictus* bei Temperaturen von 27 °C deutlich gegenüber niedrigeren Temperaturen von 18 °C erhöht ist<sup>8</sup>. Mit der Etablierung dieser Stechmücken sind so erste Voraussetzungen geschaffen, dass sich dieser Erreger lokal auch hierzulande weiterverbreiten kann, sofern er durch infizierte Personen eingeschleppt wird.

Die Rheinebene ist innerhalb Deutschlands eine wärmebegünstigte Region. Sie gilt auch über den Kraftfahrverkehr als eine wichtige Eintrittspforte wärmeliebender Arten aus den Nachbarländern (u. a. der Schweiz und Italien) nach Deutschland. Seit dem Jahr 2005 wird das Auftreten der Tigermücke im Oberrheingebiet erfasst. Im Jahr 2007 gab es einen ersten Nachweis. Damals wurden 105 Fallen untersucht und in einer von über tausend Beprobungen fünf Eier der Tigermücke nachgewiesen. Nach einer Unterbrechung des Monitoring in den Jahren 2010 und 2011 und der Aufstellung neuer Fallentypen kam es im Jahr 2012 erneut zu positiven Befunden, es wurden insgesamt acht Tiere gefunden, damit war ein Prozent aller Fallenbeprobungen positiv. Ab 2012 wurde die Anzahl der Beprobungen ausgeweitet, ab 2014 wurden jährlich etwa 1.500 Beprobungen im Oberrheingebiet durchgeführt. Im Jahr 2013 ergaben bereits 13 % aller Fallen und etwas über 2 % aller Beprobungen Nachweise von Eiern oder ausgewachsenen



Die Asiatische Tigermücke kann eine Vielzahl von Krankheitserregern übertragen. (Foto: © emodeath / stock.adobe.com)

Mücken. In den Folgejahren ist die Zahl positiver Befunde weiter angestiegen. Im Jahr 2014 konnte bei ca. 18 % und 2017 bereits bei ca. 34 % der Fallen an den Autobahnen ein *Ae. albopictus*-Nachweis geführt werden. Darüber hinaus spricht man in Baden-Württemberg mittlerweile von mindestens vier etablierten Populationen. An den Standorten in Heidelberg und Freiburg haben nachweislich drei aufeinanderfolgende Überwinterungen von 2015 auf 2016, 2016 auf 2017 und 2017 auf 2018 stattgefunden. Seit 2015 wird bundesweit ein Stechmückenmonitoring aufgebaut<sup>9</sup>.

Die Durchseuchung mit *Ae. albopictus* in Deutschland ist dennoch niedriger als in Südeuropa. Auch die Warmwetter Perioden fallen in Deutschland immer noch kürzer aus. Da selbst in Südeuropa neben zwei Chikungunya-Virus-Ausbrüchen in Italien nur seltene Einzelfälle und kleine Cluster an Übertragungen von Dengue- und Chikungunyavirus identifiziert wurden, kann insgesamt das Risiko einzelner Übertragungen für Deutschland zwar nicht ausgeschlossen werden, die Gefahr größerer Ausbrüche scheint aber begrenzt zu sein.

## Ziele

Bund und Länder sollten zusätzliche Daten gewinnen und analysieren, um epidemiologische Entwicklungen in Deutschland rechtzeitig zu erkennen, ihre Ursachen und Zusammenhänge zu verstehen, Risiken besser abschätzen zu können und Präventions- und Interventionsstrategien zu entwickeln. (DAS, Kap. 3.2.1)

## Cyanobakterien – Beeinträchtigung der Badegewässer

Wenn in Zukunft die Temperaturen im Sommer ansteigen, wird das Bedürfnis der Menschen nach einem kühlenden Bad in Seen und Flüssen sowie im Meer zunehmen. Gleichzeitig kann der Klimawandel aber die Qualität von Badegewässern nachteilig beeinflussen. Ein im Zusammenhang mit dem Klimawandel viel diskutiertes Gesundheitsrisiko ist die Belastung von Badegewässern mit Cyanobakterien, landläufig auch als Blaualgen bezeichnet.

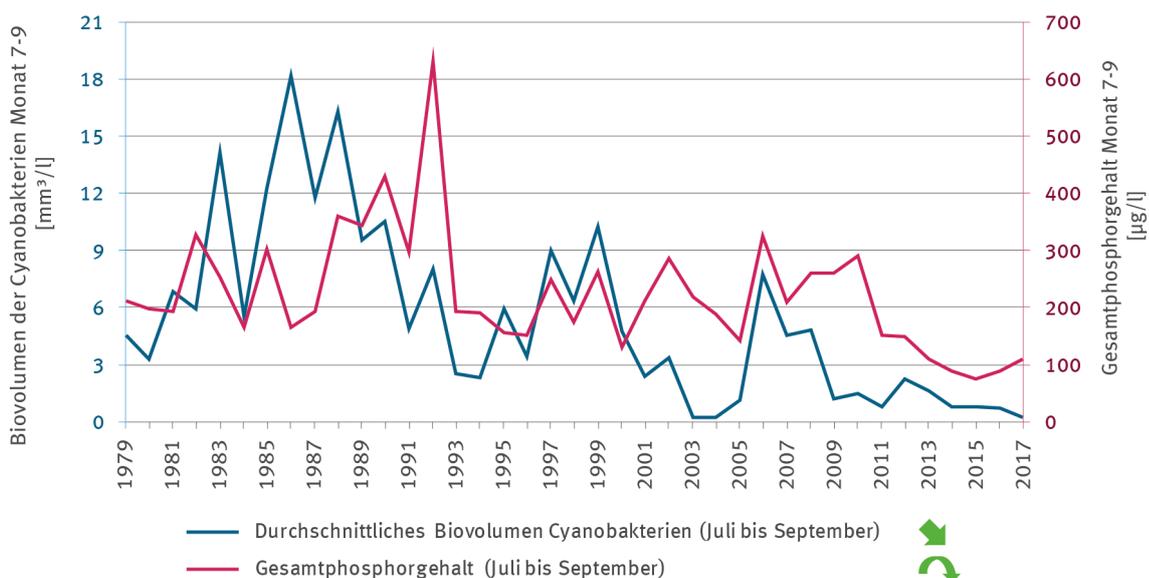
Zu erhöhten Konzentrationen von Cyanobakterien kommt es vor allem in Gewässern, die reich an Pflanzennährstoffen, vor allem an Gesamtphosphor, sind. In noch mäßig mit Nährstoffen belasteten Gewässern müssen Cyanobakterien sowohl mit höheren Wasserpflanzen als auch mit anderem Phytoplankton um die verfügbaren Nährstoffe konkurrieren, und kommen dadurch selten zur Dominanz. Bei starker Nährstoffbelastung kommt es jedoch oft zur Massenvermehrung von Cyanobakterien, den sogenannten „Wasserblüten“. Begünstigt werden diese zudem durch eine stabile thermische Schichtung des Gewässers, die vor allem bei hohen Temperaturen und

stabilen Wetterlagen entsteht. Eine stabile Schichtung bedingt auch, dass manche Cyanobakterien an der Oberfläche aufräumen und es somit lokal zu einer weiteren Anhäufung von Cyanobakterien kommen kann. Aufgrund der Verstärkung der Blaualgenblüten durch Witterungsbedingungen wird ein Zusammenhang zwischen dem Klimawandel, der Wassererwärmung und gesundheitlichen Beeinträchtigungen durch Cyanobakterien diskutiert.

Durch Baden in stark blaualgenhaltigem Wasser treten – Beobachtungen zufolge – vermehrt Symptome wie Haut und Schleimhautreizungen und allergische Reaktionen, aber auch Magen-Darm- und Atemwegserkrankungen auf. Ob diese letztendlich durch die cyanobakteriellen toxischen Inhaltsstoffe (Cyanotoxine) oder Begleitbakterien verursacht sind, ist noch nicht geklärt. Bei der Aufnahme größerer Mengen von Cyanotoxinen kann es zu schwerwiegenden Schädigungen an Leber, Nieren und Nerven kommen. Besonders gefährdet sind Kleinkinder und Kinder im Grundschulalter, die beim Krabbeln oder Toben im Flachwasserbereich unbeabsichtigt auch größere Wassermengen schlucken können, oder ungeübtere

### GE-I-5: Cyanobakterienbelastung von Badegewässern – Fallstudie

Witterungsabhängig kann es an Badegewässern in der Badesaison zu gesundheitlichen Risiken durch erhöhte Konzentrationen von Cyanobakterien kommen. Die Erhebungen am Berliner Müggelsee zeigen, dass es aufgrund stark reduzierter Nährstoffeinträge ab Ende der 1980er zu einem deutlichen Rückgang der Belastungen gekommen ist.



Datenquelle: Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei IGB (Seenmonitoring)

Wassersportler, die beim Surfen und Wasserskifahren mit Cyanobakterien belastetes Wasser nicht nur verschlucken, sondern auch über die Atmung aufnehmen. Ist das Wasser deutlich sichtbar durch Cyanobakterien getrübt oder bilden sich gar Schlieren an der Wasseroberfläche, wird vom Baden abgeraten. Dies gilt auch für Hunde.

Beobachtungen haben gezeigt, dass die Zusammenhänge bei der Entwicklung von Cyanobakterienbelastungen komplex und Verallgemeinerungen außerordentlich schwierig sind. Je nach Nährstoffverfügbarkeit, Größe, Tiefe, Windexposition und Nutzung kann die Entwicklung im jeweiligen Gewässer sehr unterschiedlich verlaufen. Um bundesweit repräsentative Aussagen treffen zu könnten, müssten mehrere Badegewässer in die Betrachtung einbezogen werden. Allerdings sind die Untersuchungen an Gewässern zum Blaualgenvorkommen derzeit noch sehr unterschiedlich. Aussagen, ob es in Deutschland in den vergangenen Jahren generell an den Badegewässern zu einer vermehrten Blaualgenbelastung gekommen ist, sind mit den zurzeit verfügbaren Daten nicht möglich.

Exemplarisch lässt sich die Entwicklung der letzten knapp vierzig Jahre anhand von Daten zum Großen Müggelsee aufzeigen. Der größte der Berliner Seen hat vor allem für die östlichen Stadtteile einen hohen Freizeit- und Erholungswert. Seit den 1980er Jahren ist die Biomasse von Blaualgen zurückgegangen. Der starke Rückgang Ende der 1980er bis Anfang der 1990er Jahre ist vor allem Folge der verminderten Nährstoffeinträge über die Spree nach der politischen Wende 1989. Seit Mitte der 1990er Jahre zeichneten sich dann allerdings weder bei der Phosphorbelastung noch der Blaualgen-Biomasse klare Trends ab. Dies liegt zum einen daran, dass die Phosphorbelastung noch immer die kritische Grenze überschreitet, ab der sich Blaualgenblüten ausbilden können. Zum anderen kommt es im Zuge der Erwärmung immer wieder zu länger andauernden und stabileren Schichtungen des Wasserkörpers. Diese fördern in besonderer Weise die Entwicklung der Cyanobakterien, die in diesen Phasen dann auch sehr hohe Anteile an der gesamten Phytoplanktonbiomasse erreichen können.

Die teilweise starken Schwankungen der Cyanobakterienbelastung zwischen den Jahren sind im Wesentlichen auf die unterschiedliche Ausprägung der Schichtungsereignisse in den jeweiligen Jahren zurückzuführen. So war beispielsweise im Hitzesommer 2003 die sommerliche Schichtung deutlich weniger stabil als 2006, einem Jahr in dem eine vergleichsweise hohe Cyanobakterienbiomasse und ein Anteil der Cyanobakterien von fast 80% an der Phytoplanktonbiomasse messbar waren. Häufiger



Baden in Gewässern mit Blaualgenbelastung ist ein Gesundheitsrisiko. (Foto: Ingrid Chorus / Umweltbundesamt)

auftretende längere und stabilere Schichtungen können künftig die positiven Auswirkungen verminderter Nährstoffeinträge auf die Cyanobakterienbelastung konterkarieren, solange die Nährstoffkonzentration im Gewässer nicht in Bereichen liegt, die das Cyanobakterienwachstum deutlich limitieren ( $< 30 \mu\text{g}$  Gesamtphosphat pro Liter).

## Schnittstellen

WW-I-6: Eintreten der Frühjahrsalgenblüte in stehenden Gewässern

## Ziele

Bei Massenvermehrung von Cyanobakterien und einer Gefährdung der Gesundheit unverzüglich angemessene Bewirtschaftungsmaßnahmen zur Vermeidung einer Exposition gegenüber dieser Gefahr und Information der Öffentlichkeit (EU-Badegewässerrichtlinie, Art. 8)

## Rechtzeitige Hitzewarnungen – Voraussetzung für gute Prävention

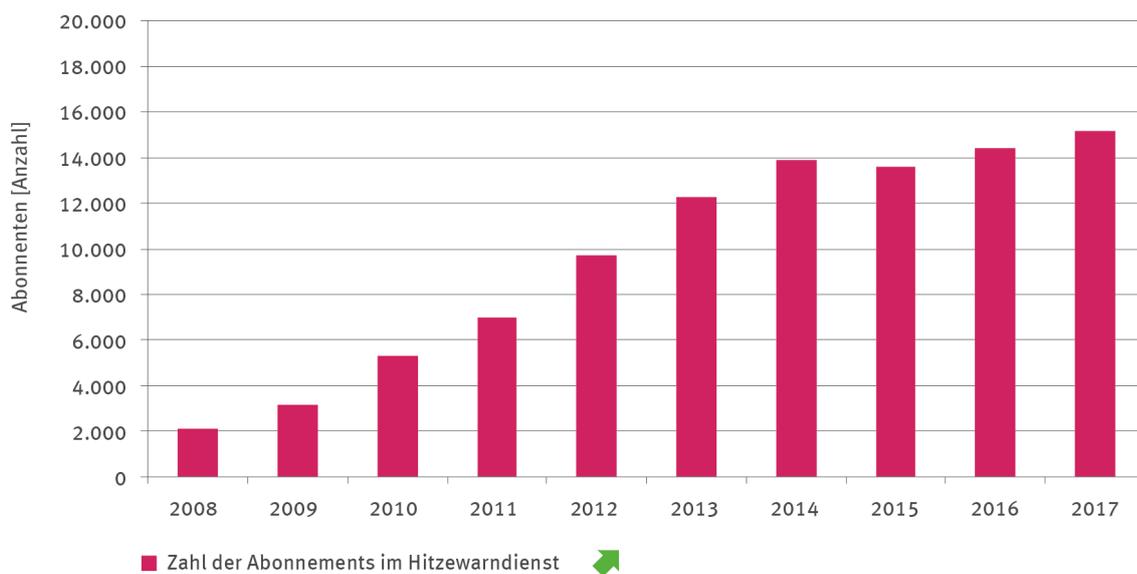
Insbesondere in Einrichtungen der stationären Alten- und Behindertenhilfe führte die Hitzeperiode des Hitzesommers 2003 zu vermehrten Krankenhauseinweisungen von Bewohnerinnen und Bewohnern infolge von Flüssigkeitsmangel oder zu erhöhten Sterblichkeitsraten durch Überhitzung. Um den stationären Einrichtungen und alleinlebenden Personen die Möglichkeit zu geben, sich auf Hitzewellen vorzubereiten und rechtzeitig Vorsorge- und Schutzmaßnahmen zu ergreifen, hat der DWD im Jahr 2005 ein Hitzewarnsystem eingerichtet. Differenziert für Warnkreise, die im Wesentlichen dem Zuschnitt der Landkreise entsprechen, werden täglich Hitzewarnungen für den aktuellen und den folgenden Tag ausgesprochen, sobald die Gefühlte Temperatur definierte Schwellenwerte erreicht und weitere Faktoren, wie Innenraumtemperaturen, bestimmte Hitzebelastungen für ältere Menschen und besondere thermische Situationen in Städten gegeben sind.

Die Ausgabe von Hitzewarnungen erfolgt auf unterschiedlichen Wegen, über das Internet, über das Abonnement des „Newsletter Hitzewarnungen“ oder seit Juli 2013 auch

über Smartphone-Apps. Einrichtungen des Gesundheitswesens wurden bis Ende 2010 aktiv über e-Mail, ftp oder Fax informiert. Im Jahr 2011 hat der DWD das System für die Einrichtungen des Gesundheitswesens mit dem Ziel umgestellt, den Newsletter als alleinigen Informationskanal zu etablieren. Die Umstellung auf die Newsletter-Abonnements konnte im Laufe des Jahres 2011 nahezu komplett vollzogen werden. Der Newsletter wird zunehmend auch von Privatpersonen genutzt. Die Zahl der Abonnements ist in den zurückliegenden Jahren kontinuierlich gestiegen. Um tatsächlich wirksam zu werden, müssen den Hitzewarnungen aber auch konkrete Maßnahmen folgen. Hierzu gehören die Vermeidung starker körperlicher Anstrengungen, die Aufnahme von genug Flüssigkeit, die Sicherstellung des Elektrolytausgleichs sowie Maßnahmen zur aktiven und passiven Kühlung der Räume. In Einrichtungen der Alten- und Behindertenhilfe leben Menschen, die diese Maßnahmen nicht in jedem Falle selbständig ergreifen können. Die Betreuungs- und Pflegepersonen müssen hier aktive Unterstützung leisten, also nach Bekanntwerden einer Hitzewarnung angemessene Vorsorgemaßnahmen treffen.

### GE-R-1: Hitzewarndienst

Der „Newsletter Hitzewarnungen“ des DWD informiert, wenn für den aktuellen und den nächsten Tag mit einer mindestens „starken Wärmebelastung“ von i. d. R. 32 bis 38 °C Gefühlter Temperatur (Hitzewarnung Stufe I) oder einer „extremen Wärmebelastung“ mit mehr als 38 °C Gefühlter Temperatur (Stufe II) gerechnet werden muss. In den zurückliegenden Jahren hat sich die Zahl der Newsletter-Abonnenten (stationäre Einrichtungen und Privatpersonen) kontinuierlich erhöht.



Datenquelle: DWD (Hitzewarndienst, Aufzeichnungen zu den Newsletter-Abonnenten und ausgegebenen Warnungen)

Eine systematische bundesweite Prüfung, welche Maßnahmen von den Hitzewarnungen tatsächlich ausgelöst werden, findet derzeit noch nicht statt. In Hessen führt die Betreuungs- und Pflegeaufsicht seit 2009 an Hitzetagen gezielt stichprobenhafte Kontrollen in den stationären Einrichtungen durch. Sie prüft, ob in angemessenem Umfang präventive Maßnahmen durchgeführt werden, berät im Falle von Mängeln und trifft ggf. Anordnungen zur Mängelbeseitigung. Seit 2009 erstrecken sich die Kontrollen jährlich auf rund 10 bis 25 % aller Einrichtungen. In Jahren mit mehr Hitzetagen wie beispielsweise in 2010, 2013 und 2015 kommt es zu umfangreicheren Kontrollen. Geprüft wird nach einem einheitlichen Kriterienkatalog. Wenn Einrichtungen an Hitzetagen ihren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern kostenlos Getränke anbieten, lässt sich daraus schlussfolgern, dass eine Sensibilisierung für die nachteiligen Auswirkungen von Hitzewellen stattgefunden hat. Wird die Leistungsfähigkeit der Mitarbeitenden aufrechterhalten, stellt dies letztendlich auch die angemessene Versorgung der Bewohnerinnen und Bewohner sicher. Zu einer kostenlosen Getränkeausgabe an die Bewohnerinnen und Bewohner selbst sind die Einrichtungen im Rahmen einer bedarfsangemessenen Versorgung verpflichtet. Im

**Schnittstellen**

- GE-I-1: Hitzebelastung
- GE-I-2: Hitzebedingte Todesfälle

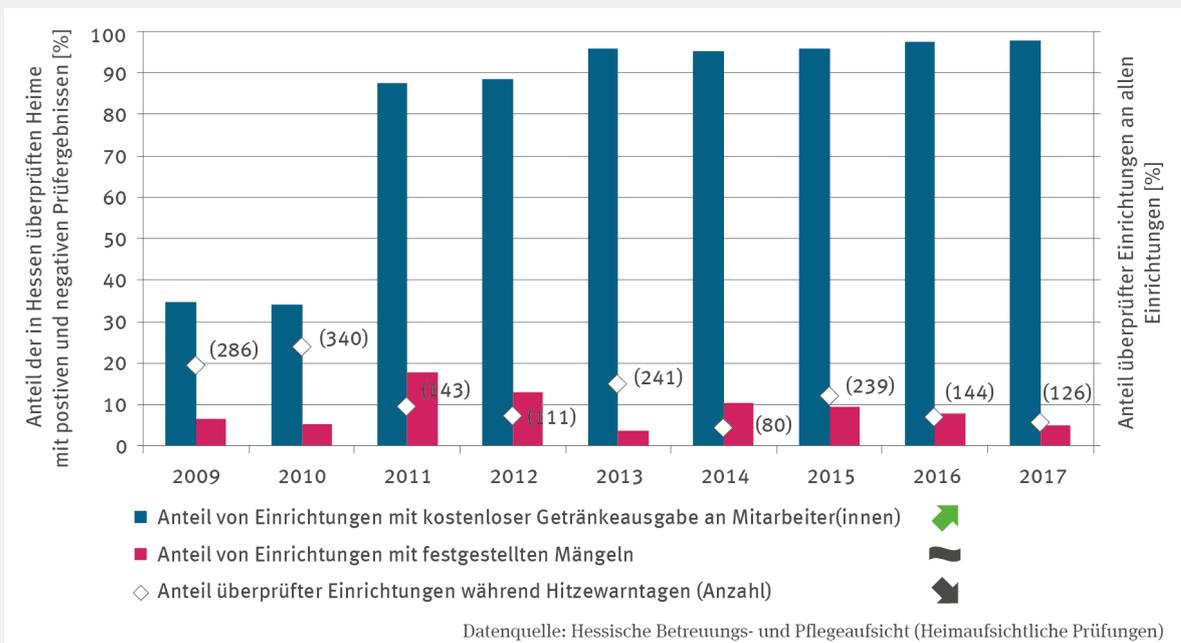
**Ziele**

Förderung der zielorientierten, sachgerechten Aufklärung der Bevölkerung, von Risikogruppen, Multiplikatorinnen und Multiplikatoren wie dem Personal in Medizin und Katastrophenschutz; stärkere Vernetzung zwischen dem DWD, den informierten Stellen auf Länder- und Landkreisebene sowie Einrichtungen des Gesundheitswesens, des Katastrophenschutzes oder Einrichtungen wie Schulen und Kindergärten, um vor Ort vorbeugende und akute Maßnahmen ergreifen zu können (DAS, Kap. 3.2.1)

Jahr 2017 hat eine solche kostenlose Getränkeausgabe an die Mitarbeitenden bereits in fast 98% aller geprüften Heime stattgefunden. In den letzten Jahren konnte eine deutliche Verbesserung erreicht werden.

**GE-R-2: Erfolge des Hitzewarnsystems – Fallstudie**

In den stationären Einrichtungen der Alten- und Behindertenhilfe beispielsweise in Hessen lösen die Hitzewarnungen präventive Maßnahmen aus. Die stichprobenhafte Kontrolle von Einrichtungen an Hitzetagen deckt zwar nach wie vor Mängel auf, die jedoch in den letzten vier Jahren rückläufig waren.



## Pollenallergische Menschen brauchen Information

„Heuschnupfen“ ist der landläufige und zugleich verharmlosende Begriff für eine Erkrankung, die zu einem Großteil durch allergene Pollen ausgelöst wird. Heuschnupfen ist aber nicht harmlos, er kann mit hohen Einbußen an Lebensqualität und schwerwiegenden gesundheitlichen Beeinträchtigungen verbunden sein. Insbesondere wenn die allergische Entzündung von Nase und Augen auf die Bronchien übergreift, kann es zu chronischen Atembeschwerden und irreversiblen Umbauvorgängen in den Bronchien und der Lunge kommen. Einer von drei Heuschnupfenpatienten entwickelt im Laufe seines Lebens ein pollenassoziertes Asthma, das später in ein ganzjähriges Asthma übergehen kann.

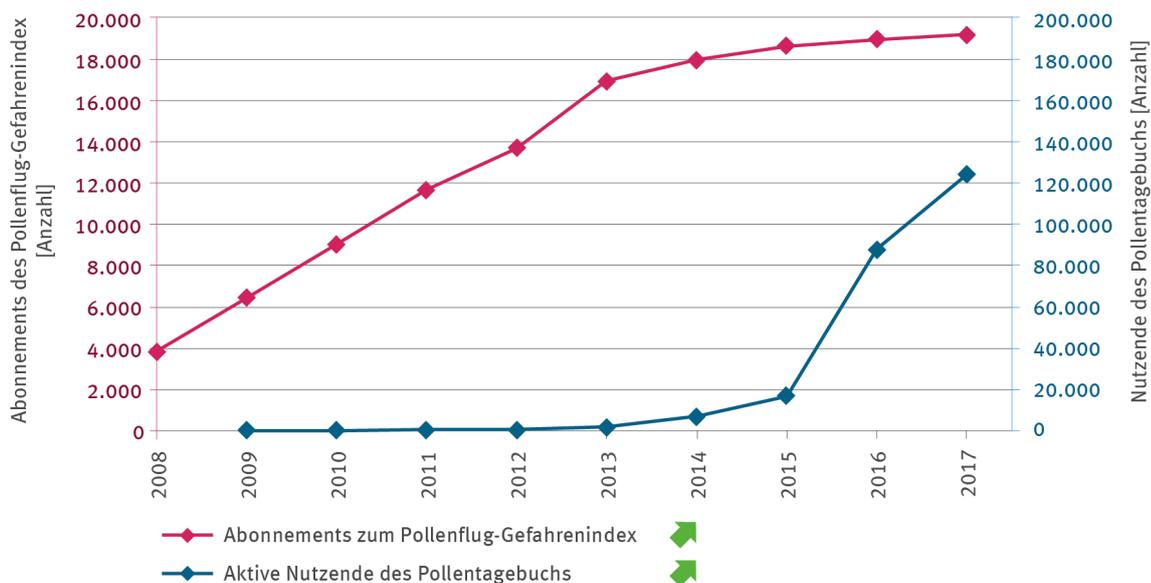
Mit allergenen Pollen in der Umwelt in Berührung zu kommen, ist in vielen Fällen unausweichlich bzw. nur eingeschränkt steuerbar. Daher ist es von großer Bedeutung, den Patienten die Möglichkeit zu geben, ihr Krankheitsbild mit den dahinter liegenden Ursachen besser zu verstehen und Ausweichstrategien zu entwickeln. Es gilt: Je mehr Allergikerinnen und Allergiker ihre Krankheit verstehen, umso weniger leiden sie.

Zur besseren Information von Allergikerinnen und Allergikern gibt der DWD gemeinsam mit der Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst e. V. (PID) einen PollenflugGefahrenindex heraus. Er informiert während der Pollenflugsaison über die Belastungsintensität der acht allergologisch wichtigsten Pollen (Hasel, Erle, Esche, Birke, Süßgräser, Roggen, Beifuß und Ambrosia) für den aktuellen und den folgenden Tag. Die hohe Aktualität der Vorhersage ermöglicht den Pollen-Allergikerinnen und -Allergikern eine gezielte Prophylaxe in Form von Verhaltensanpassung und angemessener Medikation.

Die Informationen zum aktuellen und vorhersehbaren Belastungsrisiko lassen sich direkt im Internet abrufen. Alternativ kann auch ein Newsletter abonniert werden, durch den die Abonnenten im Falle einer Belastung eine direkte Warnung erhalten. Weitere Informationen zum Thema Allergien werden über ein Online-Portal des Helmholtz-Zentrums München zu Prävention und Versorgung bei Allergien angeboten ([www.allergieinformationsdienst.de](http://www.allergieinformationsdienst.de)).

### GE-R-3: Informationen zu Pollen

Die verfügbaren Informationen zum PollenflugGefahrenindex und das Angebot in Pollentagebuch oder Smartphone-Apps, die eigene Heuschnupfensymptomatik zu erfassen, werden in zunehmendem Maße genutzt. Die Anzahl der verschickten Newsletter und auch die Nutzung der von PID und Techniker Krankenkasse angebotenen Dienste steigen signifikant an.



Datenquelle: DWD (Pollenflug-Gefahrenindex), Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst (Pollentagebuch)

Seit 2009 hat der PID zusätzlich zum Pollenflug-Gefahrenindex weitere Angebote zur Unterstützung von Allergikerinnen und Allergikern entwickelt. Zunächst wurde das Online-Pollentagebuch angeboten, das Menschen mit Heuschnupfen ermöglicht, ihre aktuellen Beschwerden an Augen, Nase und Bronchien sowie die genutzte Medikation mit den Werten der Pollenaktivität an dem Ort, an dem sie sich gerade aufhalten (auch im europäischen Ausland), zu verbinden. Die tägliche Protokollführung im Internet-Pollentagebuch unterstützt die Allergikerinnen und Allergiker dabei, ihre Beschwerdeintensität und die Stärke des aktuellen Pollenflugs schnell und selbst zu analysieren. Zudem erhalten die Tagebuchnutzerinnen und -nutzer eine individuelle Auswertung ihrer Pollensaison. Das Pollen-Tagebuch kann auch für den behandelnden Arzt ein wertvolles Hilfsmittel für die Diagnostik und die Therapieplanung sein. Der technischen Entwicklung folgend gibt es seit dem Jahr 2013 eine Pollen-App (Pollen-App 5.0) für Smartphones. Sie ermöglicht die Erfassung der individuellen Symptome sowie ihres Schweregrads und liefert individuelle Vorhersagen zu wahrscheinlichen Beschwerden für die folgenden zwei Tage.

Seit 2015 bietet die Techniker Krankenkasse in Zusammenarbeit mit der PID die App „Husteblume“ an. Die Inhalte sind mit der „Pollen App 5.0“ identisch. In der Husteblume werden zusätzlich zu der allgemeinen und individuellen Pollenflugvorhersage und Symptomerfassung auch allgemein gefasste Therapiehinweise gegeben. Zur Pollensaison 2019 wurde die App grundlegend überarbeitet und um viele neue Funktionen erweitert. Die Nutzerzahlen des Pollentagebuchs in den beiden nahezu identischen Apps (Pollen App und Husteblume) sind in den zurückliegenden Jahren enorm gestiegen. Annähernd 200.000 Nutzende machen Eintragungen zu ihren Beschwerden an Nase, Augen und Bronchien und der benutzten Medikation. Da die „Pollen App 5.0“ in fünf Sprachen in Europa genutzt wird, ergeben sich hieraus auch für wissenschaftliche Studien Möglichkeiten des Vergleichs.

An den in den zurückliegenden Jahren gestiegenen Abonnementzahlen lässt sich ein steigendes Interesse am PollenflugGefahrenindex von DWD und PID und an den von PID und Techniker Krankenkasse angebotenen Diensten erkennen. Systematische Evaluationen zu den positiven Effekten des Pollenflug-Gefahrenindex und des Pollentagebuchs der PID mit der angebotenen Smartphone-Apps auf die Lebensqualität der Allergikerinnen und Allergiker sind noch nicht durchgeführt worden. Eine Untersuchung der App „Husteblume“ der Techniker Krankenkasse zeigt aber, dass 56 % der Nutzenden sich



Die Vorhersage des Pollenflug-Gefahrenindex erleichtert Allergikern die zielgerichtete Prophylaxe.  
(Foto: © Jürgen Kottmann / stock.adobe.com)

besser über ihre Allergie informiert fühlen, 34 % geben an, dass sie mit ihrer Allergie besser umgehen können, seit sie die App nutzen. 27 % berichten, dass sich ihre Lebensqualität durch die App verbessert hat. Bei jedem Elften hat sich sogar die Allergie insgesamt gebessert<sup>10</sup>.

## Schnittstellen

GE-I-3: Belastung mit Ambrosiapollen



© photobars / stock.adobe.com

# **Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft, Küsten- und Meeresschutz**

Das Niederschlagsgeschehen und der Temperaturhaushalt beeinflussen den natürlichen Wasserkreislauf entscheidend, im globalen wie im regionalen Maßstab. Ändern sich die klimatischen Verhältnisse, ändern sich in der Folge auch der Wasserhaushalt und damit der Rahmen für die Wasserwirtschaft.

Nicht von ungefähr beschäftigt sich die Wasserwirtschaft in Deutschland schon seit vielen Jahren mit den Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt und die Wasserqualität. Wichtige Themen sind der dauerhafte Schutz vor extremen Hochwasserereignissen und der angemessene Umgang mit Niedrigwasser. Die Aufrechterhaltung einer in allen Teilen Deutschlands ausreichenden und zugleich nachhaltigen Versorgung mit Trink- und Brauchwasser gerät mit dem zurückliegenden Dürrejahr 2018 zunehmend in den Blick. Wasser ist für viele Nutzungen unverzichtbar, z. B. als Trinkwasser, Kühlmedium in der Energiewirtschaft, als Roh- und Betriebsstoff in der Industrie, als Verkehrsträger für die Schifffahrt, für die Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen oder auch für Erholung und Freizeit. Um den unterschiedlichen Ansprüchen gerecht werden zu können, muss das Wasser bestimmten Anforderungen an Menge und Qualität genügen. Selbst in einem grundsätzlich wasserreichen Land wie Deutschland kann es regional in trockenen Sommern zu Schwierigkeiten hinsichtlich einer ausreichenden Wasserverfügbarkeit kommen. Ein schonender Umgang mit den Wasservorräten und die Balance zwischen Wasserdargebot und -nutzung sind daher ebenfalls wichtige Aufgaben der Klimawandelanpassung.

Auch für alle wasserabhängigen Ökosysteme ist eine ausreichende Wasserverfügbarkeit entscheidend. Die Wasserwirtschaft beschäftigt sich daher zunehmend mit ökologischen Fragestellungen. Die EU-Wasserrahmenrichtlinie gibt vor, einen guten ökologischen und chemischen Zustand der oberirdischen Gewässer und des Grundwassers zu erhalten oder wiederherzustellen und deren Funktion als Lebensraum für Tiere und Pflanzen dauerhaft sicherzustellen. Es gilt, diese Ziele trotz Klimawandel zu erreichen.

## Auswirkungen des Klimawandels

Vermehrtes Auftreten niedriger Grundwasserstände (WW-I-1) .....	48
Wasserverfügbarkeit verändert sich (WW-I-2) .....	50
Immer wieder extreme Hochwasserereignisse (WW-I-3) .....	52
Niedrigwasserereignisse – keine klimawandelbedingte Häufung erkennbar (WW-I-4).....	54
Klarer Trend zu höheren Wassertemperaturen in Seen (WW-I-5).....	56
Frühjahrsalgenblüten - stark zwischen den Jahren schwankend (WW-I-6) .....	58
Die Nordsee wird wärmer (WW-I-7) .....	60

Der Meeresspiegel der Nord- und Ostsee steigt (WW-I-8) .....	62
Erhöhung von Sturmfluten durch Meeresspiegelanstieg(WW-I-9) .....	64

## Anpassungen

Wassernutzung deutlich zurückgegangen (WW-R-1) ....	66
Zurück zur natürlichen Struktur der Gewässer (WW-R-2) .....	68
Mehr Beschattung kühlt die Gewässer (WW-R-3).....	70
Küstenschutz erfordert umfangreiche Investitionen (WW-R-4) .....	72

## Vermehrtes Auftreten niedriger Grundwasserstände

Wie viel Grundwasser sich in einem Gebiet neu bilden kann und welche Grundwasserstände sich einstellen, hängt von einer Vielzahl unterschiedlicher Einflussgrößen ab. Dazu gehören u. a. der Abstand der grundwasserleitenden Schicht von der Geländeoberkante, die Beschaffenheit der Deckschichten über dem Grundwasser, die Größe und Gestalt der Hohlräume im Gestein sowie der unterirdische Zu- und Abfluss von Grundwasser. Vor allem wird die Grundwasserneubildung in einem Gebiet aber durch den Niederschlag sowie den oberirdischen Abfluss und das Verdunstungsgeschehen bestimmt. Ändern sich die klimatischen Rahmenbedingungen, hat dies Auswirkungen auf die Grundwasserneubildung.

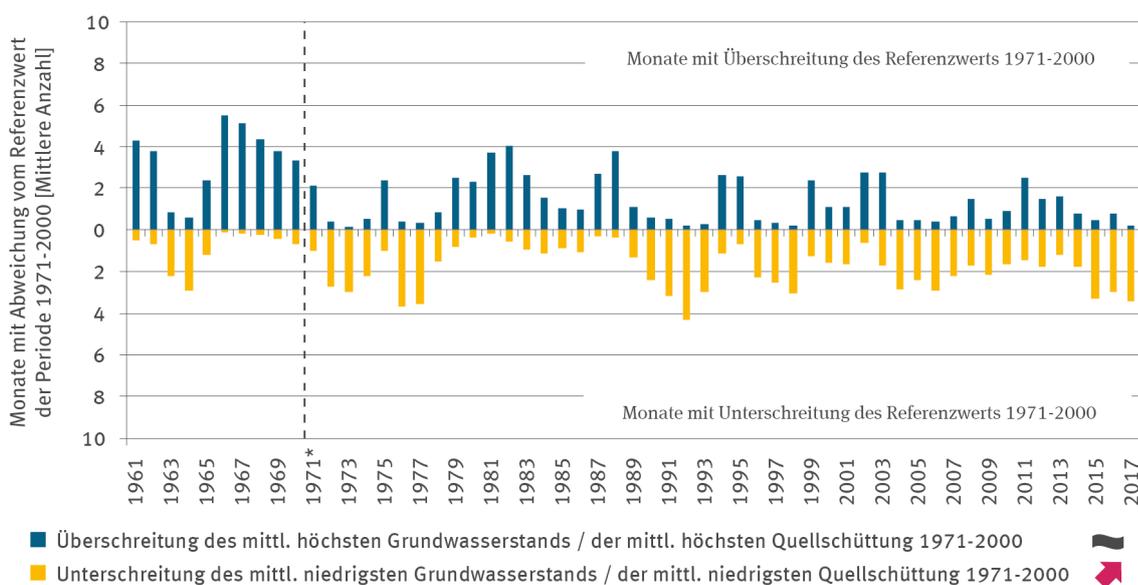
Steigende Temperaturen sind Auslöser für eine insgesamt höhere potenzielle Verdunstung mit der Folge, dass weniger Wasser versickern und ins Grundwasser infiltrieren kann. Jahre mit einer geringen Gesamtniederschlagsmenge machen sich nicht unmittelbar im Grundwasserstand bemerkbar. Grundwässer reagieren insgesamt im Vergleich zu Oberflächengewässern eher träge auf ein verändertes Niederschlagsregime. Die Situation kann sich in Gebieten

zuspitzen, in denen die Wasserverfügbarkeit in Zukunft zum einen durch abnehmende Niederschläge und zum anderen durch einen höheren Verdunstungsanspruch der Atmosphäre eingeschränkt wird. Sowohl die Veränderung der Temperaturen als auch der Niederschläge beeinflussen auch den oberirdischen Abfluss mit Auswirkungen auf die Grundwässer. In den Wintermonaten nehmen die Niederschlagsmengen zwar zu, sie treffen dann aber auf bereits wassergesättigte oder gefrorene Böden und können nicht versickern. In den Sommermonaten trocknen Böden infolge höherer Temperaturen und geringerer Niederschläge stärker aus. Niederschläge, die zukünftig häufiger als Starkregen auftreten können, können dann von den trockenen Böden nicht oder kaum aufgenommen werden und fließen deshalb zu einem großen Teil oberirdisch ab.

Um einen Überblick über die Entwicklung der Grundwasserstände in Deutschland zu erhalten, wurden über alle Bundesländer und hydrogeologischen Räume hinweg 136 Grundwassermessstellen und Quellschüttungen ausgewählt, für die Daten ab 1971 zur Verfügung stehen; für 96 Messstellen reichen die Beobachtungsreihen sogar bis

### WW-I-1: Grundwasserstand

Im Vergleich zum langjährigen Mittel werden Monate mit unterdurchschnittlich niedrigen Grundwasserständen signifikant häufiger. Vor allem über mehrere Jahre hintereinander auftretende Niederschlagsdefizite führen zu sinkenden Grundwasserständen oder verringerten Quellschüttungen.



\* Erweitertes Messstellenkollektiv ab 1971

Datenquelle: Grundwassermessnetze der Länder

in das Jahr 1961 zurück. Es handelt sich in allen Fällen um Messstellen, die den obersten Grundwasserleiter erfassen und anthropogen möglichst unbeeinflusst sind. Das bedeutet, im Einzugsgebiet finden keine relevanten Grundwasserentnahmen oder Beregnungen statt, der Grad der Bodenversiegelung ist gering und es gab im Beobachtungszeitraum nur geringfügige Änderungen in der Flächenbewirtschaftung. Damit lassen sich die beobachtbaren Veränderungen zu einem erheblichen Anteil mit Veränderungen des Temperatur- und Niederschlagsregimes in Zusammenhang bringen.

Über die gesamte Zeitreihe betrachtet wird deutlich, dass im Mittel aller betrachteten Messstellen vor allem in der zurückliegenden Dekade vermehrt extrem niedrige Grundwasserstände bzw. geringe Quellschüttungen aufgetreten sind. Die Anzahl von Monaten im Jahr, in denen die langjährig, d. h. über die Jahre 1971 bis 2000 gemittelten niedrigsten Grundwasserstände bzw. Quellschüttungen unterschritten wurden, hat seit 1961 signifikant zugenommen. Gleichzeitig ist auch die Anzahl der Monate, in denen die langjährig gemittelten höchsten Grundwasserstände bzw. Quellschüttungen überschritten wurden, zurückgegangen. Dieser Trend ist aber statistisch nicht signifikant. Es wird zudem deutlich, dass es witterungsbedingt zumindest bis in die 1990er Jahre hinein zyklische Veränderungen der Grundwasserstände gegeben hat. Diese sind seit Mitte der 1990er Jahre in dieser Ausprägung nicht mehr erkennbar.

Innerhalb Deutschland sind die Entwicklungen unterschiedlich, auch wenn die Muster sich überall gleichen. Besonders ausgeprägt ist der Trend zu vermehrten Grundwasserniedrigstständen von Grundwasser in den niederschlagsarmen Gebieten im Nordosten Deutschlands, d. h. in Gebieten mit weniger als 700 mm Jahresniederschlag. Dies betrifft vor allem Brandenburg, Sachsen-Anhalt und Mecklenburg-Vorpommern. Aber auch in den besonders niederschlagsreichen Regionen (mit über 900 mm Jahresniederschlag), d. h. in den Mittelgebirgen und im Bereich der Alpen, sind niedrige Grundwasserstände deutlich erkennbar, für deren Erklärung es weiterer Untersuchungen bedürfte. Auffällig niedrige Grundwasserstände und geringe Quellschüttungen gab es hier vor allem in den Jahren 2013 bis 2017. Aufgrund der ausgeprägten Trockenperiode lassen die Daten für das Jahr 2018 eine ähnliche, voraussichtlich sogar noch extremere Situation erwarten.

In Deutschland stammen fast drei Viertel des Trinkwassers aus Grundwasser. Die mengenmäßig ausreichende Neubildung qualitativ hochwertigen Grundwassers ist daher eine grundlegende Voraussetzung für eine nachhaltige Trinkwasserbereitstellung, auch und besonders in Zeiten des Klimawandels. Knapp 96 % der Grundwasserkörper



Für Grundwasser ist ein weites Netz von Grundwassermessstellen installiert, die regelmäßig Daten zum Grundwasserstand liefern. (Foto: Christiana Mühlner)

wiesen im DAS Monitoring 2015 einen guten mengenmäßigen Zustand auf, d. h. Grundwasserneubildung und Grundwasserentnahme waren im Gleichgewicht.

## Schnittstellen

WW-I-2: Mittlerer Abfluss

WW-I-4: Niedrigwasserabfluss

BO-I-1: Bodenvasservorrat in landwirtschaftlich genutzten Böden

## Ziele

Bewirtschaftung des Grundwassers dergestalt, dass eine Verschlechterung seines mengenmäßigen Zustands vermieden bzw. ein guter mengenmäßiger Zustand erhalten oder erreicht wird (WHG § 47 (1))

Förderung der dezentralen Niederschlagsversickerung als Beitrag zur Grundwasserneubildung; verstärkte raumordnerische Sicherung von Wasserressourcen und planerisches Hinwirken auf angepasste Nutzungen bei sinkenden Grundwasserneubildungsraten (DAS, Kap. 3.2.14)

Nachfragemanagement sowie technische Methoden und Verbesserungen zum effizienteren Wassereinsatz, um bei längeren und häufigeren regionalen Trockenheitsphasen und Niedrigwasserperioden regionale Nutzungskonflikte [...] bei oberflächennahen Grundwasserentnahmen zu vermeiden (DAS, Kap. 3.2.3)

## Wasserverfügbarkeit verändert sich

Das natürliche Abflussgeschehen der Fließgewässer wird im deutlich überwiegenen Teil Deutschlands von Regenfällen bestimmt. In der warmen Jahreszeit spielt zudem die Höhe der Verdunstung eine Rolle. Dadurch treten hohe Mittelwasserabflüsse im Winter und im zeitigen Frühjahr auf, niedrige Abflüsse hingegen im Spätsommer und Herbst. Vor allem im Süden Deutschlands ist für das Abflussgeschehen neben dem Regen auch die winterliche Schneebedeckung entscheidend. Da der Niederschlag in den alpin geprägten Einzugsgebieten der großen Flüsse wie beispielsweise von Iller, Isar, Lech und Inn im Winter in Form von Schnee angesammelt wird, treten in dieser Jahreszeit die geringsten Abflüsse auf. Aufgrund der Schneeschmelze im Frühjahr und Frühsommer, die häufig zusätzlich von Regenfällen begleitet wird, kommt es zu einem Abflussmaximum in der Jahresmitte. Man spricht in diesem Falle von einem nivalen Abflussregime.

Neben den Niederschlägen spielt zudem das Relief der Einzugsgebiete eine wichtige Rolle und ist entscheidend dafür, wie schnell die Niederschläge tatsächlich abflusswirksam werden.

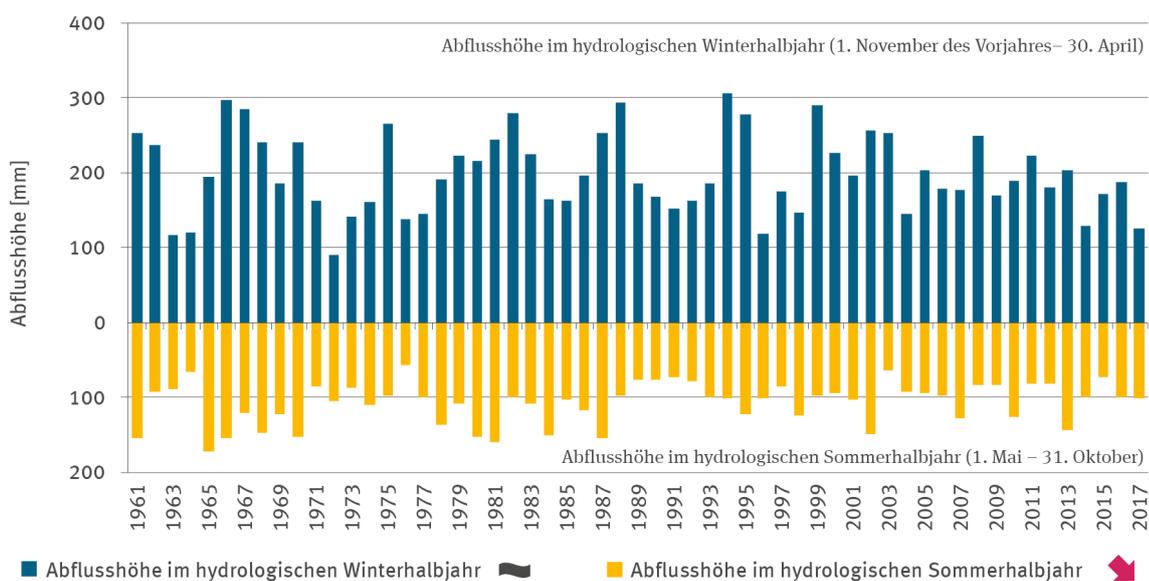
Ändern sich infolge des Klimawandels die Niederschlags- und Temperaturverhältnisse, so wird sich dies auch im Abflussgeschehen niederschlagen. Auswirkungen können sich sowohl bei der Menge des insgesamt abfließenden Wassers als auch bei der jahreszeitlichen Verteilung des Abflusses ergeben.

Für die Analyse des Abflussgeschehens und seiner Entwicklung wurden über die Flussgebiete Deutschlands verteilt insgesamt 80 Pegel ausgewählt. Sie repräsentieren mittlere Einzugsgebietsgrößen in einer Größenordnung von 250 bis 2.500 km<sup>2</sup>. Es handelt sich dabei um Pegel, die möglichst wenig anthropogen beeinflusst sind, d. h. an denen Abflusshöhen ermittelt werden, die beispielsweise nicht durch Wasserüberleitungen oder Stauhaltungen überprägt sind.

Der Mittelwasserabfluss (MQ) bzw. die daraus unter Berücksichtigung der Einzugsgebietsgröße abgeleitete jährliche Abflusshöhe (Ah) ist ein Indikator für das Wasserangebot. Er gibt Auskunft über die prinzipielle Wasserverfügbarkeit und somit über das Wasser, das zur

### WW-I-2: Mittlerer Abfluss

Die mittlere Abflusshöhe an 80 über die Flussgebiete Deutschlands verteilten Pegeln zeigt deutliche Schwankungen zwischen den Jahren. Die Abflusshöhe im hydrologischen Winterhalbjahr ist seit 1961 leicht, wenn auch nicht signifikant gesunken. Im Sommerhalbjahr ist der Rückgang der mittleren Abflusshöhe hingegen signifikant und deutet auf einer Veränderung der sommerlichen Wasserverfügbarkeit hin.



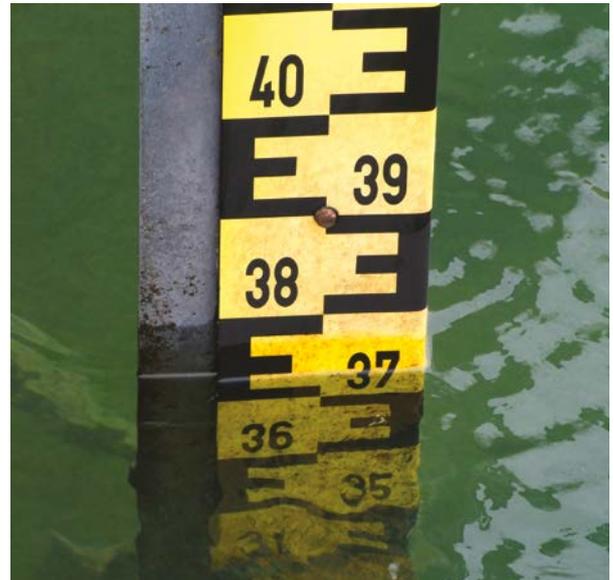
Datenquelle: Abflusspegel der Länder

Bewirtschaftung und für die verschiedenen Oberflächenwassernutzungen wie Kühlwassernutzung oder Schifffahrt zur Verfügung steht. Veränderungen des mittleren Abflusses können auch Veränderungen der Grundwasserstände in ufernahen Bereichen nach sich ziehen und auf diesem Wege unter anderem die Trink- und Brauchwasserversorgung beeinflussen.

Bei Betrachtung der Zeitreihe seit den 1960er Jahren zeigt sich für das hydrologische Winterhalbjahr von Anfang November bis Ende April zwar ein leichter Rückgang des mittleren Abflusses, es handelt sich aber nicht um einen statistisch signifikanten Trend. Im hydrologischen Sommerhalbjahr, das heißt von Anfang Mai bis Ende Oktober, lässt sich hingegen bereits ein signifikant abnehmender Trend beobachten. Dieser ist Folge abnehmender Sommerniederschläge und einer temperaturbedingt höheren Verdunstung in diesen Monaten. Diese Entwicklung lässt den Rückschluss zu, dass sich Veränderungen der prinzipiellen Wasserverfügbarkeit im Winter- und Sommerhalbjahr bereits abzeichnen.

Über Deutschland gemittelt sind aufgrund der oben beschriebenen Wirkung von Niederschlag und Verdunstung die winterlichen Abflüsse generell deutlich höher als die Abflüsse im Sommerhalbjahr. Das Niedrigwasserjahr 1972 ist das einzige Jahr in der betrachteten Zeitreihe, in dem die sommerlichen Abflüsse die winterlichen geringfügig übertroffen haben. Seither war dies in keinem Jahr mehr der Fall. Allerdings zeigt das Verhältnis der mittleren Abflüsse im Sommer- und Winterhalbjahr bisher keine statistisch signifikante Veränderung.

Im Flussgebiet der Donau, dessen Abflussgeschehen durch Flüsse mit vorwiegend nivalem Abflussregime geprägt ist, gab es von 1960 bis Ende der 1980er Jahre noch ebenso viele Jahre, in denen die Sommerabflüsse überwogen, wie solche mit höheren Winterabflüssen. Nach 1990 sind die Jahre, in denen die Abflüsse im Winterhalbjahr die des Sommerhalbjahres übertrafen, wie in ganz Deutschland deutlich häufiger. Dies deutet darauf hin, dass der Einfluss der Schneedecke auf das Abflussgeschehen abnimmt.



Die Abflüsse im Sommer gehen zurück. Dies ist Ausdruck einer verminderten Wasserverfügbarkeit.  
(Foto: © Jodocos / stock.adobe.com)

## Schnittstellen

WW-I-1: Grundwasserstand

WW-I-3: Hochwasser

WW-I-4: Niedrigwasser

## Immer wieder Hochwasserereignisse

Im Vergleich zu den Schwankungen und Veränderungen des mittleren Abflusses sind Hochwasserereignisse stärker im Bewusstsein der Öffentlichkeit, da diese menschliche Aktivitäten ganz unmittelbar betreffen und Personen- und Sachschäden anrichten können.

Die Zeitreihe seit 1961 macht deutlich, dass das Hochwassergeschehen von Jahr zu Jahr sehr unterschiedlich ausgeprägt ist. Dies gilt sowohl für das Ausmaß von Hochwasserereignissen als auch deren jahreszeitliche Verteilung. Für 79 über die Flussgebiete Deutschlands verteilte Pegel wurden die Hochwassertage ausgewertet. Hochwassertage sind Tage, an denen der mittlere Tagesabfluss höher ist als der für den jeweiligen Pegel ermittelte mittlere Hochwasserabfluss (MHQ) der Referenzperiode 1961 bis 1990. Der MHQ wird differenziert für das hydrologische Winterhalbjahr (November des Vorjahres bis April) und das Sommerhalbjahr (Mai bis Oktober) aus den jeweils höchsten Abflüssen (HQ) der einzelnen Halbjahre berechnet.

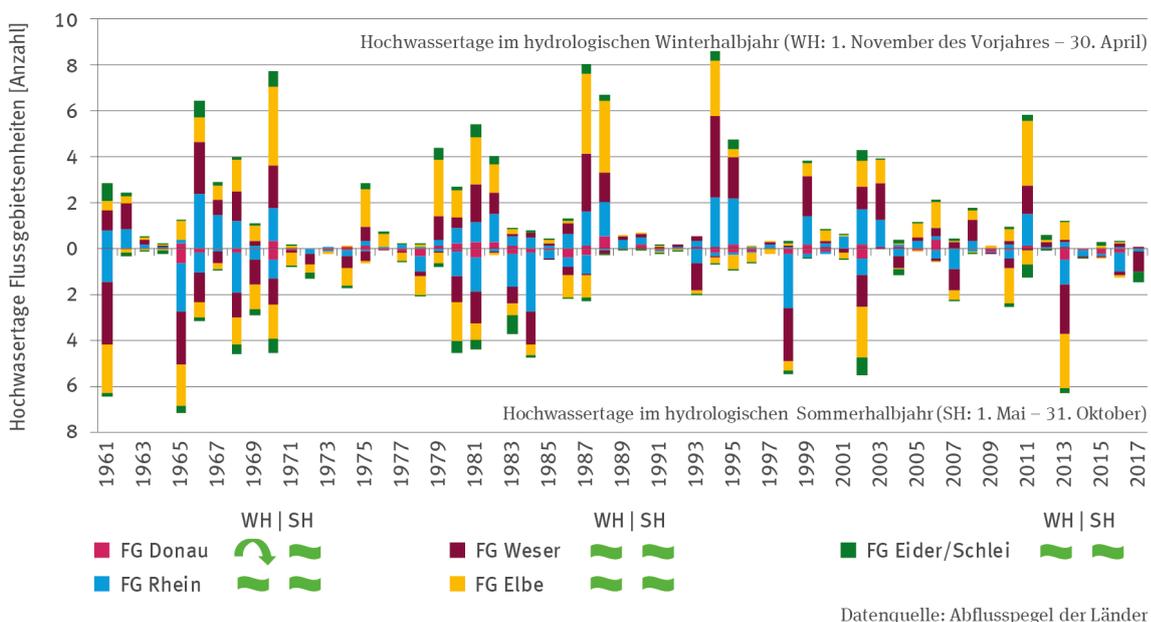
Mittelt man die Anzahl der Hochwassertage über alle betrachteten Pegel eines Flussgebiets, wird deutlich, auf

welche Räume sich das Hochwassergeschehen in welchen Jahren konzentriert hat. Hochwasserereignisse können durch regional begrenzte Witterungskonstellationen ausgelöst werden. Im Sommer sind dies in der Regel über mehrere Tage anhaltende Regenfälle und Starkregenerereignisse, die häufig sogar sehr lokal begrenzt auftreten. Im Winter führen häufig Tauwetterlagen verbunden mit Regenfällen zu Hochwasser, da es unter diesen Bedingungen innerhalb weniger Stunden zum Abfluss großer Schmelzwassermengen kommen kann.

Unter den Sommerhochwasserereignissen nach der Jahrtausendwende treten insbesondere die Jahre 2002 und 2013 hervor. Das Hochwasser im August 2002 betraf innerhalb Deutschlands vor allem das Elbe- und Donaugebiet. Es wurde durch tagelange, extreme Regenfälle verursacht und führte zu wochenlangen Hilfseinsätzen, um die Flutkatastrophe zu bewältigen. Auch das Hochwasser Ende Mai und Anfang Juni des Jahres 2013 wurde durch mehrtägige Regenfälle ausgelöst. Stark betroffen waren neben Deutschland und Österreich auch weitere Länder in Mittel- und Osteuropa. Der Mai des Jahres 2013

### WW-I-3: Hochwasser

Die Zeitreihe zum Hochwassergeschehen ist durch einzelne wiederkehrende Hochwasserereignisse sowohl im Winter als auch im Sommerhalbjahr geprägt. Signifikante Trends lassen sich nicht feststellen. Je nach Witterungskonstellation ergeben sich räumliche Schwerpunkte des Hochwasserauftretens. In der Regel sind aber mehrere Flussgebiete betroffen.



gehörte zu den niederschlagsreichsten seit Beginn der Wetteraufzeichnungen. Im Jahr 2017 sorgte im Juli das Tiefdruckgebiet Alfred für mehrtägige Regenfälle und führte vor allem im Harz und Harzvorland zu Hochwasser. Entsprechend war auch das Flussgebiet der Weser am stärksten betroffen.

Zum jüngsten großen Winterhochwasser kam es im Januar 2011 ebenfalls mit räumlichem Schwerpunkt im Elbe- und Mainingebiet, aber auch die anderen großen Flussgebiete waren betroffen. Dem Hochwasser ging ein vergleichsweise niederschlagsreicher Dezember voraus, in dem sich auch in tieferen Lagen erhebliche Schneehöhen akkumulierten. So war ein beachtliches Wasseräquivalent in der Schneedecke gespeichert, als ab der zweiten Januarwoche mit einem atlantischen Tiefausläufer starkes Tauwetter einsetzte, das zu einem raschen Abschmelzen der Schneedecken auch im Bergland führte. Dem Tauwetter folgten unmittelbar mehrere Regengebiete mit ergiebigen Niederschlägen.

Die Entwicklung der Hochwassertage zeigt für die bisherige Zeitreihe weder für das Sommer- noch für das Winterhalbjahr einen signifikanten Trend. Die Entstehung des Hochwassers hängt stets mit besonderen Witterungskonstellationen zusammen, die aber bisher nicht systematisch und regelmäßig wiederkehrend auftreten. Auch zur Verteilung der Hochwassertage auf das hydrologische Winter- und Sommerhalbjahr lässt sich bisher kein Trend feststellen. Die Ereignisse treten in beiden Halbjahren auf, etwas vermehrt im Winter.

Ein einzelnes Hochwasserereignis lässt sich nicht mit dem Klimawandel erklären. Atmosphärenbedingungen und Großwetterlagen, die die Bildung von Hochwasser begünstigen, weisen eine große Variabilität auf. Mit der Erwärmung kann die Atmosphäre grundsätzlich mehr Wasserdampf speichern, also Feuchtigkeit aufnehmen, und das Potenzial für Starkregen nimmt zu. Westwindlagen im Winter könnten zunehmen ebenso wie die Häufigkeit und Ausprägung von sogenannten Vb-Zugbahnen im Sommer. Bei diesen Wetterlagen verlagern sich Tiefdruckgebiete vom Mittelmeer, wo sie sich mit Wasserdampf aufladen, nach Mitteleuropa. Häufig ziehen sie östlich an den Alpen vorbei und regnen sich dann an den östlichen Mittelgebirgen und dem östlichen Alpenvorland ab. Die die Vb-Zugbahn verursachende Wetterlage kann lange Zeit stationär bleiben und für Dauerregen oder auch Hitzewellen sorgen.

Neben dem Klimawandel beeinflussen allerdings auch zahlreiche andere Entwicklungen das Hochwassergeschehen. Zunehmende Versiegelung und Bodenverdichtung in den Einzugsgebieten sowie Begrenzungen natürlicher



Hochwasser entstehen nach starken und langanhaltenden Regenfällen oder bei Schneeschmelze.  
(Foto: © mb67 / stock.adobe.com)

Überflutungsflächen und Eindeichungen führen zu höheren Abflüssen in den Flüssen.

## Schnittstellen

VE-I-1: Hochwassersperrungen am Rhein  
FiW-I-2: Betroffenheit durch Stürme und Hochwasser

## Ziele

Schutz gegen zunehmende Hochwasserrisiken in Flussgebieten (DAS, Kap. 3.2.14)

Festsetzung von Überschwemmungsgebieten und Schaffung von Rückhalteflächen (WHG, §§ 76 (2), 77)

## Niedrigwasserereignisse – keine klimawandelbedingte Häufung erkennbar

Niedrigwasserereignisse gehören ebenso wie auch Hochwasser zum natürlichen Abflussgeschehen. In den alpin geprägten Einzugsgebieten kann es im Winter aufgrund der Speicherung der Niederschläge in Form von Schnee zu Niedrigwasserereignissen kommen. In den von Mittelgebirgen geprägten Flussgebieten und bei den Flüssen des Tief- und Flachlandes dagegen treten Niedrigwasser vor allem im Sommer und Frühherbst infolge der gegenüber dem Niederschlag hohen Verdunstung auf. Länger anhaltende meteorologische Trockenzeiten, d. h. Zeiten mit geringem oder keinem Niederschlag, verschärfen die jahreszeitlich bedingten Niedrigwasser vor allem in den Sommermonaten.

Die mit dem Klimawandel einhergehenden Veränderungen können den Zeitpunkt, die Dauer und die Intensität von Niedrigwasserereignissen auf vielerlei Weise beeinflussen. Mit der projizierten Verringerung des Niederschlags im Sommerhalbjahr sowie einem höheren

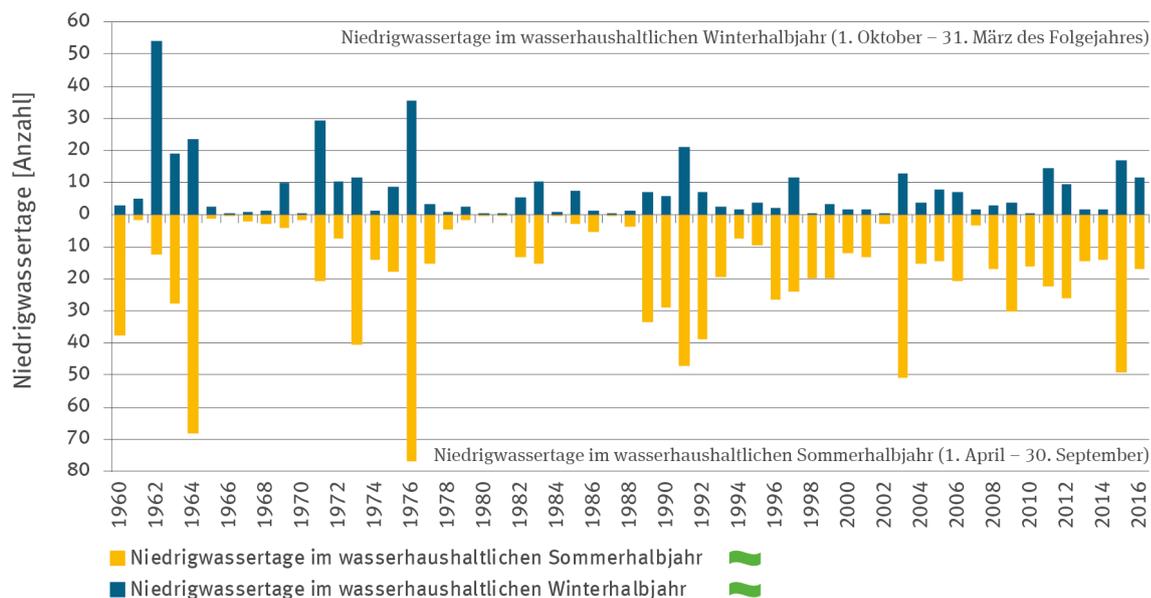
Verdunstungsanspruch der Atmosphäre können die Abflüsse im Sommerhalbjahr abnehmen.

Die Folgen von Niedrigwasserereignissen beeinflussen sowohl die Ökologie der Gewässer als auch deren Nutzung. Durch die niedrigeren Fließgeschwindigkeiten bei Niedrigwasser erwärmt sich das Wasser schneller. Dies hat ein stärkeres Pflanzenwachstum insbesondere von Algen zur Folge, was zu verringerten Sauerstoffkonzentrationen vor allem in Flusseen führt. Reduzieren sich die Abflüsse, werden zudem Einträge in die Gewässer weniger verdünnt, was zu höheren Nährstoff- bzw. Schadstoffkonzentrationen führt. Beide Prozesse haben weitreichende Auswirkungen auf die Lebewesen in den Gewässern und die Wasserqualität.

Für verschiedene Nutzungen der Gewässer ist ein ausreichender Abfluss bzw. eine ausreichende Wasserverfügbarkeit Grundvoraussetzung. Die Schifffahrt ist unterhalb einer jeweils flussspezifischen Mindestwasserführung

### WW-I-4: Niedrigwasser

Das Niedrigwassergeschehen in den Flussgebieten Deutschlands war in den letzten Jahren in erheblichem Maße durch einzelne ausgeprägte Niedrigwasserjahre bestimmt. Vor allem in den Jahren 1991, 2003 und 2015 sowie zuletzt in 2018 haben langanhaltende Trockenperioden zu einem starken Absinken der Wasserstände an den Flüssen geführt.



nur eingeschränkt möglich. Außerdem kann bei geringem Abfluss die Wasserentnahme zu Kühlzwecken oder zur landwirtschaftlichen Beregnung gefährdet sein, oder es können mengenmäßige Beschränkungen für die Einleitung von Abwasser erlassen werden.

Für die dargestellte Zeitreihe wurden die Abflusswerte von 80 Pegeln an deutschen Flüssen daraufhin ausgewertet, an wie vielen Tagen im wasserhaushaltlichen Sommerhalbjahr (1. April bis 30. September) und im wasserhaushaltlichen Winterhalbjahr (1. Oktober bis 31. März des Folgejahres) Niedrigwasser aufgetreten ist. Ein Niedrigwassertag ist definiert als ein Tag, an dem der mittlere jährliche Tagesabfluss niedriger ist als der für den jeweiligen Pegel ermittelte mittlere Niedrigwasserabfluss (MNQ) der Zeitspanne 1961 bis 1990. Der MNQ wird aus den jeweils niedrigsten Abflüssen der einzelnen Wasserhaushaltsjahre (NQ) berechnet. Mittelt man die Anzahl der Niedrigwassertage über alle betrachteten Pegel, wird deutlich, dass es immer wieder einzelne Jahre mit einer extremen Häufung von Niedrigwassertagen gegeben hat. In den zurückliegenden 30 Jahren traten solche Häufungen vor allem in den Jahren 1991, 2003 und 2015 auf. Hiervon waren vor allem die Flussgebiete Rhein, Elbe und Weser, etwas weniger ausgeprägt auch die Donau betroffen. In den Flussgebietseinheiten von Eider/Schlei, Schlei/Trave und Warnow/Peene wiesen die Wasserhaushaltsjahre 1996 und 2008 eine hohe Anzahl an Niedrigwassertagen auf. Da sich Niedrigwasserereignisse in der Regel auf stabile Hochdruckwetterlagen zurückführen lassen, treten in der Folge auch die Auswirkungen sehr großräumig auf.

Im Jahr 2015 herrschte in Deutschland mehr als sechs Monate lang Niedrigwasser. Besonders stark und langandauernd betroffen war der Osten der Bundesrepublik, da hier die sommerliche Trockenheit bis in den späten Herbst hinein fort dauerte, während sich die Situation in den südwestlichen Einzugsgebietsanteilen von Rhein und Donau durch nennenswerte Niederschläge im schweizerischen Rheingebiet und am südlichen Oberrhein entschärfte. Der Sommer des Jahres 2015 verlief insgesamt zwar weniger extrem als der des Jahres 2003, aber die Trockenperiode erstreckte sich über einen außerordentlich langen Zeitraum. An vielen Flussstrecken war die Schifffahrt 2015 erheblich eingeschränkt.

Mit dem Jahr 2018 kommt ein weiteres extremes Niedrigwasserjahr mit Auswirkungen auf alle deutschen Flussgebiete hinzu. Am Rhein wurden aufgrund der monatelangen Trockenheit seit vielen Jahren nicht eingetretene Niedrigwasserstände und -abflüsse erreicht, und es lagen in der Folge bis dahin nicht gekannte Felsformationen



Zu Niedrigwasser kommt es vor allem im Sommer und Frühjahr, wenn Niederschläge länger ausbleiben.  
(Foto: © Comofoto / stock.adobe.com)

und Kiesbänke im Flussgebiet im Trockenem. Auch an Elbe, Donau und Weser wurden ausgeprägte Niedrigwasserstände erreicht. An allen großen deutschen Wasserstraßen kam es zu teilweise länger andauernden Einschränkungen für die Schifffahrt.

Über die gesamte Zeitreihe hinweg lässt sich ein signifikanter Trend weder für das Winter- noch für das Sommerhalbjahr erkennen. Dies mag unter anderem auch daran liegen, dass die extremen Niedrigwassersituationen in den 1960er und 1970er Jahren noch in einem erheblichen Maße die Entwicklung prägen.

Allerdings zeichnet sich bei der jahreszeitlichen Verteilung der Niedrigwassertage ein signifikanter Trend ab. Im Verhältnis zu den Niedrigwassertagen im Winter nehmen die im Sommer deutlich zu. Wie beim mittleren Abfluss ist dies ein Zeichen dafür, dass sich Veränderungen der jahreszeitlichen Verfügbarkeit von Wasser vollziehen.

## Schnittstellen

EW-R-4: Wassereffizienz thermischer Kraftwerke  
VE-I-1: Niedrigwassereinschränkungen am Rhein

## Klarer Trend zu höheren Wassertemperaturen in Seen

Die Wassertemperatur ist eine der zentralen Einflussgrößen auf die in Seen ablaufenden Prozesse und damit zugleich ein wichtiger Faktor, der die Rahmenbedingungen für die Nutzung der Seen, für ihre Lebensgemeinschaften und das wasserwirtschaftliche Management der Seen bestimmt. Die Wassertemperatur ist wiederum direkt abhängig von der Lufttemperatur und deren tages- und jahreszeitlichem Verlauf. Vor diesem Hintergrund ist es naheliegend, von unmittelbaren Auswirkungen des Klimawandels auf die Wassertemperatur und die Ökosysteme stehender Gewässer auszugehen.

Viele in den Gewässern vorkommende Lebewesen sind an spezifische Temperaturverhältnisse angepasst. Bereits geringfügige Veränderungen können daher Verschiebungen der Artenzusammensetzung in stehenden Gewässern nach sich ziehen. Dabei können ursprünglich vorkommenden Arten von Organismen von anderen Arten verdrängt werden. Dabei kann es sich insbesondere um nicht heimische Arten handeln, die von den höheren Temperaturen profitieren. Außerdem kann es zu

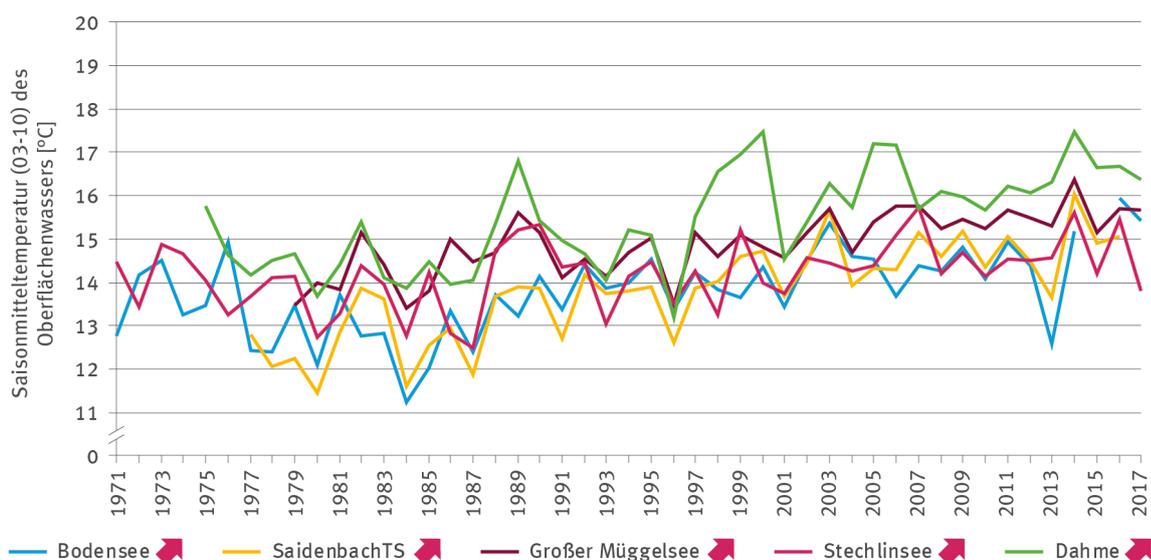
Veränderungen im jahreszeitlichen Entwicklungszyklus von Lebewesen kommen.

Die Temperatur und der Wärmehaushalt eines Gewässers steuern grundlegende physikalische, biologische und chemische Prozesse. So nimmt die Reaktionsgeschwindigkeit vieler chemischer und biochemischer Prozesse bei einer Temperaturerhöhung zu; Stoffe wie beispielsweise natürliche Salze lösen sich in wärmerem Wasser leichter, Gase wie Sauerstoff hingegen schwerer. Manche Organismen kommen auch mit geringen Sauerstoffgehalten oder hohen Salzkonzentrationen zurecht, wohingegen andere auf einen sehr guten Gewässerzustand angewiesen sind. Auch diese durch die Temperaturerhöhung ausgelösten stofflichen Veränderungen haben einen erheblichen Einfluss auf Pflanzen und Tiere in den Gewässern.

Beobachtbare Veränderungen der Artenzusammensetzung auf den Klimawandel zurückzuführen, ist schwierig, da zahlreiche Einflussfaktoren vor allem der Nutzung der Gewässer und ihrer Randbereiche zusammenwirken. Möglich ist es daher aus derzeitiger Sicht nur, aus sich

### WW-I-5: Wassertemperatur stehender Gewässer – Fallstudie

Die Wassertemperaturen sind in den jeweiligen Betrachtungszeiträumen signifikant angestiegen. Dies gilt sowohl für die ganzjährige Mitteltemperatur als auch das Mittel der Saison von März bis Oktober. Die Temperaturerhöhung betrifft sowohl die Seen der Alpen und des Alpenvorlands (Bodensee) und der Mittelgebirge (Saidenbachtalsperre) als auch die unterschiedlichen Seentypen des Norddeutschen Tieflands (Großer Müggelsee, Dahme und Stechlinsee).



Datenquellen: LUBW/ISF (Bodensee), TU Dresden/Ökolog. Station Neuzeinhain, LTV (Saidenbachtalsperre), IGB (Müggelsee, Stechlinsee), SenUVK Berlin (Dahme)

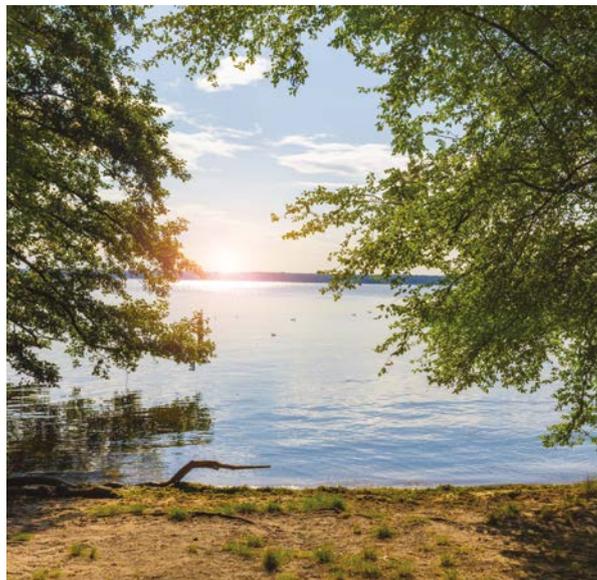
verändernden Temperaturverhältnissen wahrscheinliche Einflüsse auf die Artenzusammensetzung in den Seen abzuleiten. Unsicherheiten gelten ebenso für die Auswirkungen des Klimawandels auf die Nutzungsmöglichkeiten der Seen und die wasserwirtschaftlichen Herausforderungen. Hier sind zahlreiche andere Einflussfaktoren von erheblicher Bedeutung.

Mit der Lage im Hochgebirge oder Tiefland verändern sich die Charakteristika der Gewässer. Unterschiede ergeben sich vor allem beim Kalkgehalt, dem Wasserdurchfluss und häufig auch der Gewässertiefe. Damit ist auch die Wassertemperatur stark von der geographischen Lage der jeweiligen Seen abhängig. Als wesentliche Größe, anhand derer sich klimawandelbedingte Veränderungen darstellen lassen, wird die Entwicklung der Wassertemperatur anhand repräsentativer Seen für unterschiedlicher Naturräume dargestellt.

Der Bodensee ist eine typischer See des Naturraums Alpen und Alpenvorland. Er bezieht sein Wasser zum größten Teil aus seinem alpinen Einzugsgebiet über die Zuflüsse des Alpenrheins und der Bregenzer Aach. Die sommerliche Wasserführung der Alpenflüsse bestimmt wesentlich auch die Temperatur des Sees. Der Bodensee ist der drittgrößte See Mitteleuropas und hat infolgedessen auch eine ausgeprägte Temperaturschichtung.

Die Saldenbachtalsperre ist repräsentativ für die Gruppe der geschichteten, calciumreichen Mittelgebirgsseen, die ein relativ großes Einzugsgebiet haben. Bei der Saldenbachtalsperre kann aufgrund ihres regelmäßigen Betriebs eine relevante anthropogene, d. h. betriebsbedingte Beeinflussung der Oberflächentemperatur ausgeschlossen werden kann, sodass sie sich grundsätzlich eignet, die klimawandelbedingten Temperaturänderungen abzubilden.

Die Seen der norddeutschen Tiefebene werden durch wärmere und calciumreiche Zuflüsse geprägt. Es gibt sehr flache Flusseen wie beispielsweise die Dahme, ein Nebenfluss der Spree, und viele polymiktische Seen wie der Große Müggelsee, die aufgrund ihrer verhältnismäßig geringen Wassertiefe keine länger anhaltenden thermischen Schichtungsphasen aufweisen. Ebenso gibt es aber auch eiszeitgeprägte Seen mit deutlich größerer Tiefe. Der Stechlinsee ist mit rund 70 Metern der tiefste See in Brandenburg. Er entwickelt daher während des Jahres stabile Schichtungen. Bei der Darstellung der Temperaturentwicklung wurde berücksichtigt, dass der Stechlinsee bis zum Jahr 1990 stark vom Kühlkreislauf des Kernkraftwerks Rheinsberg beeinflusst wurde. Die Temperaturkurve wurde um diesen Einfluss bereinigt.



Steigende Wassertemperaturen in Seen haben grundlegende Auswirkungen auf die Gewässerökosysteme.  
(Foto: © Maurice Tricatelle / stock.adobe.com)

Die Wassertemperaturen aller hier analysierten Seen sind in den jeweiligen Betrachtungszeiträumen signifikant gestiegen und zwar sowohl im ganzjährigen Mittel als auch im Mittel der Saison zwischen März und Oktober. Gegenüber dem Monitoringbericht 2015, in dem der Indikator basierend auf dem Mittel der beiden jeweils wärmsten Monate berechnet wurde, ergibt sich bei den Mitteltemperaturen ein sehr klarer Trend. Am Bodensee betrug der Anstieg in der Saison zwischen 1971 und 2017 beispielsweise rund zwei Grad, in der Saldenbachtalsperre zwischen 1977 und 2016 sogar drei Grad.

## Schnittstellen

WW-I-6: Eintreten der Frühjahrsalgenblüte in stehenden Gewässern

FI-I-2: Vorkommen wärmeliebender Arten in Binnengewässern

## Ziele

Bewirtschaftungsziele für oberirdische Gewässer: guter ökologischer und chemischer Zustand / gutes ökologisches und chemisches Potenzial (WHG, § 27)

## Frühjahrsalgenblüten – stark zwischen den Jahren schwankend

Neben den bereits beschriebenen direkten und indirekten Wirkungen der Wassertemperatur auf den Stoffhaushalt von Seen, deren Artenzusammensetzung und Nutzbarkeit verändert sich mit den Wassertemperaturen auch die Schichtung der Gewässer, die Auswirkungen auf zentrale gewässerökologische Prozesse hat.

Vor allem in ausreichend tiefen Seen wechseln im Jahresverlauf Phasen der Durchmischung und der stabilen Temperaturschichtung. Die sommerliche Sonneneinstrahlung erwärmt das Oberflächenwasser, nicht aber die tiefen Wasserschichten. Durch die unterschiedlichen Wassertemperaturen entwickelt sich eine mehr oder weniger stabile Schichtung des Wasserkörpers, die sogenannte Sommerstagnation, die den Austausch von Sauerstoff und Nährstoffen zwischen den Schichten verhindert.

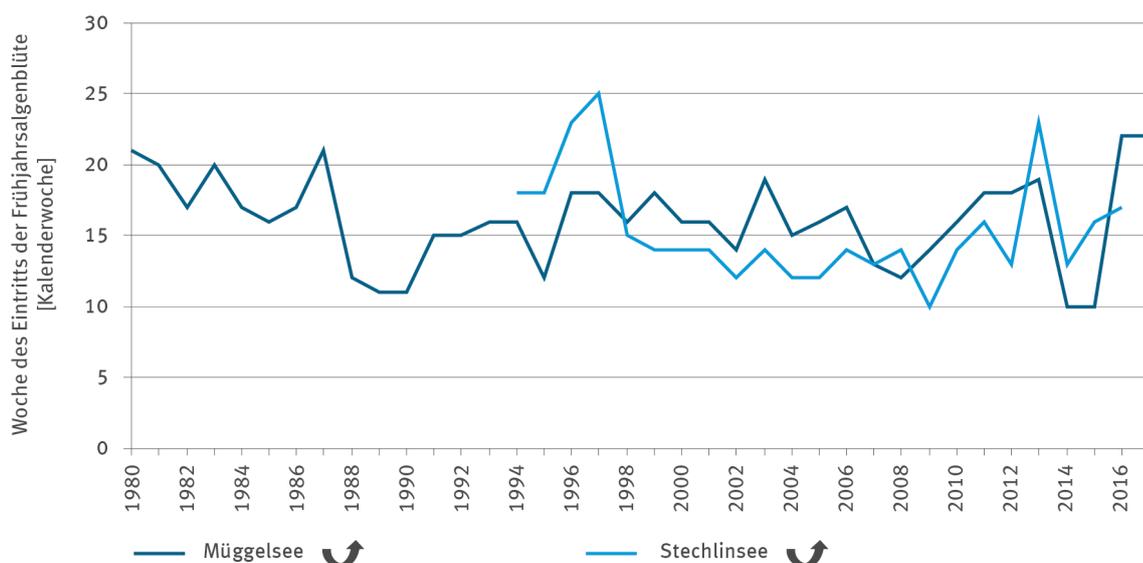
Die Sommerstagnation endet, wenn im Herbst bei Absinken der Oberflächentemperatur die Zirkulation wieder einsetzt. Die infolge der winterlichen Abkühlung des

Oberflächenwassers wieder entstehende stabile Schichtung wird in Abhängigkeit der Lufttemperaturen im Winter und Frühjahr unterschiedlich schnell wieder durch die Frühjahrzirkulation aufgehoben. Mit dieser gelangt nährstoffreiches Tiefenwasser an die Seeoberfläche und fördert dort in dieser Phase das Wachstum von Algen. Je wärmer der Winter und je höher die Frühjahrstemperaturen sind, desto früher setzt diese Frühjahrsalgenblüte ein, es beginnt eine Phase des Algenwachstums, die abklingt, wenn die zur Verfügung stehenden Nährstoffe aufgebraucht sind und starker Fraßdruck durch das Zooplankton auftritt. Das Klarwasserstadium tritt ein.

Grundsätzlich ist der zeitliche Verlauf der Zirkulation und Schichtung in Abhängigkeit u. a. von der Seengröße, der Wassertiefe, dem Zirkulationstyp und dem regionalen Klima für jeden See verschieden. Tiefe Seen – wie der Stechlinsee in Brandenburg – bilden meist eine stabilere Schichtung aus als flache Seen wie der Große Müggelsee in Berlin. Diese können durch Winde auch im Sommer

### WW-I-6: Eintreten der Frühjahrsalgenblüte in stehenden Gewässern – Fallstudie

Der Zeitpunkt des Eintretens der Frühjahrsalgenblüte ist abhängig von den im Spätwinter und Frühjahr herrschenden Temperaturen. Besonders milde Winter wie beispielsweise 2001/2002 oder besonders kalte Winter wie 2013/2014 prägen den Verlauf der Zeitreihe. Der statistisch ermittelte quadratische Trend darf daher nicht überinterpretiert werden.



Datenquelle: Leibniz Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (eigene Messungen)

vollständig durchmischt werden. In Deutschland stehen lange Zeitreihen von Temperaturmessungen mit Tiefenprofilen, aus denen sich Jahresgänge ablesen lassen, nur sehr beschränkt zur Verfügung. Derzeit sind daher Zeitreihen der Schichtungsverhältnisse charakteristischer Seen nicht valide darstellbar.

Der flache Große Müggelsee und der tiefe Stechlinsee zeigen von Jahr zu Jahr Unterschiede für das Eintreten der Frühjahrsalgenblüte. Im Müggelsee tritt sie wie in den Jahren 2014 und 2015 frühestens Anfang März ein, 2016 und 2017 traten die Frühjahrsalgenblüten erst Ende Mai ein. Der 70 m tiefe Stechlinsee zeigt eine noch größere Schwankungsbreite, hier tritt im Jahr 2009 die Frühjahrsalgenblüte bereits Anfang März ein, während sie 1997 und 2013 erst Mitte bzw. Anfang Juni eintraten. In den 1990er Jahren gab es eine Reihe milder Winter, die zu einem vergleichsweise früheren Eintreten der Frühjahrsalgenblüte führten. Zwischen 2008/2009 und 2012/2013 waren alle Winter kälter als im langjährigen Mittel, sodass die Frühjahrsalgenblüte später eintrat.



Wenn sich im Frühjahr das Wasser erwärmt, kann sich das Phytoplankton schlagartig vermehren.  
(Foto: © Dudarev Mikhail / stock.adobe.com)

### Schnittstellen

WW-I-5: Wassertemperatur stehender Gewässer  
GE-I-5: Cyanobakterienbelastung von Badegewässern  
FI-I-2: Vorkommen wärmeliebender Arten in Badegewässern

### Ziele

Bewirtschaftungsziele für oberirdische Gewässer:  
guter ökologischer Zustand bzw. gutes ökologisches Potenzial sowie guter chemischer Zustand (WHG, § 27)

## Die Nordsee wird wärmer

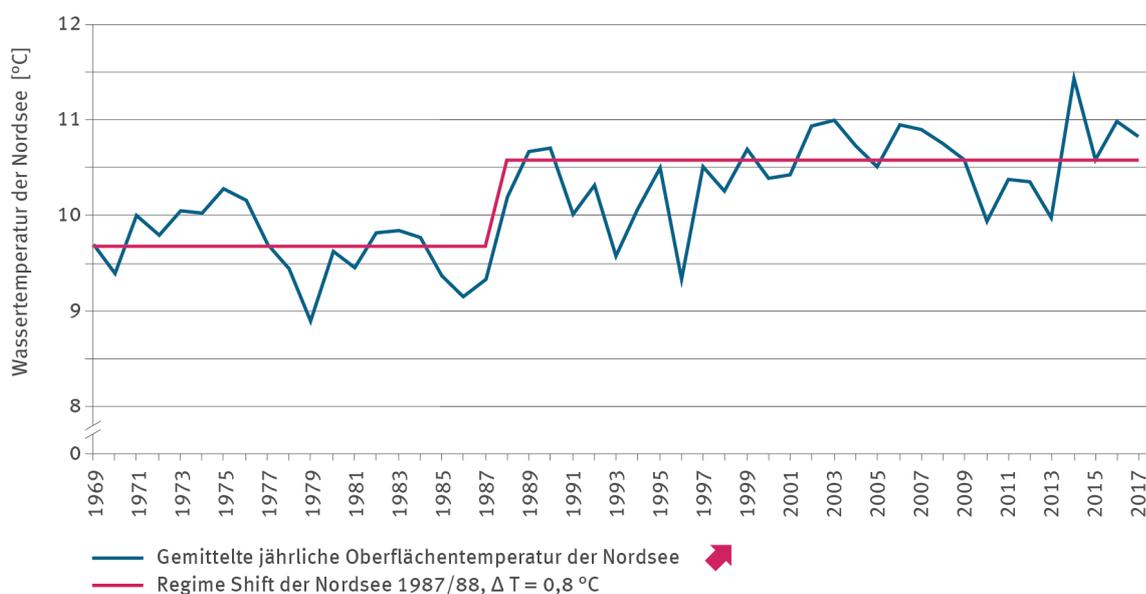
Die Hitzewelle im Sommer 2018 war nicht auf Deutschland beschränkt, sondern erfasste weite Teile der nordhemisphärischen Landmasse. An den deutschen Küsten erreichten die Wassertemperaturen im Juli mit 25 °C mediterranes Niveau. Die mittlere Oberflächentemperatur der Nordsee verfehlte im Juli 2018 die Rekordtemperatur von 17,4 °C vom Juli 2014 um nur 0,1 °C. Die „marine Hitzewelle“ erstreckte sich auch über die gesamte Ostsee, deren mittlere Oberflächentemperatur für Juli mit 20,0 °C den bisherigen Rekord von 2014 um weitere 0,5 °C übertraf. Vordergründige Ursache war eine nahezu ortsfeste Verteilung von Hoch- und Tiefdruckgebieten – eine langlebige Stagnationsperiode, die durch den mit fortschreitender Erwärmung abnehmenden Temperaturkontrast zwischen polaren und mittleren Breiten begünstigt wird<sup>11</sup>.

Über 90% der durch den anthropogenen Treibhauseffekt erzeugten Überschusswärme wird im Ozean gespeichert. Im Zeitraum 1960–2015 ist die Wärmemenge der obersten 2.000 m des Weltozeans um 304 Trilliarden Joule ( $304 \times 10^{21}$  J) angestiegen. Über die gesamte

Erdoberfläche gemittelt ergibt sich eine Erwärmungsrate von 0,33 Watt pro Quadratmeter ( $W/m^2$ ), die sich zuletzt (1992–2015) auf 0,61  $W/m^2$  fast verdoppelt hat<sup>12</sup>. Die jährlich vom Ozean aufgenommene Wärmemenge liegt damit aktuell bei  $9,8 \times 10^{21}$  J und somit etwa 17mal höher als der Weltenergiebedarf im Jahr 2017 (13.511,2 Milliarden Tonnen Öläquivalent)<sup>13</sup>. Verteilt sich die Wärmemenge ausschließlich auf die obersten 5 m des Ozeans, ergäbe sich ein Temperaturanstieg von 1,3 °C pro Jahr. Tatsächlich stieg die Oberflächentemperatur des Ozeans im Zeitraum 2000–2015 mit einer Rate von 0,013 °C pro Jahr<sup>14</sup>. Demnach „verstecken“ sich 99% der Erwärmung in tieferen Schichten. Die Klimaerwärmung in erster Linie am Anstieg der global gemittelten Oberflächentemperatur (GMST) zu messen, kommt einer 100-fachen Unterschätzung und Fehleinschätzung der Problematik gleich. So wurde die globale Erwärmung sogar in Zweifel gezogen, als die GMST im Zeitraum 1998–2013 mehr oder minder stagnierte (global warming hiatus). Tatsächlich manifestiert sich der Klimawandel in der GMST lediglich oberflächlich. Von einer Unterbrechung (Hiatus) der globalen Erwärmung kann auch insofern keine Rede sein, als der

### WW-I-7: Wassertemperatur des Meeres

Die mittlere Oberflächentemperatur der Nordsee ist im Zeitraum 1969 bis 2017 angestiegen. Der abrupte Temperatursprung von 1987/88 manifestiert sich in einer Regime- und Mittelwertverschiebung um 0,8 °C.



Datenquelle: Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie

Wärmeinhalt des Ozeans (und auch der Meeresspiegel) in der Hiatus-Phase beschleunigt angestiegen sind.

Eine unmittelbare Folge der Wärmespeicherung im Ozean ist die Ausdehnung (Volumenzunahme) des Meerwassers – eine der wesentlichen Ursachen des Meeresspiegelanstiegs. Der globale Meeresspiegel lag 2017 77 mm über dem Niveau von 1993 (dem Beginn der Satellitenmessungen) und damit auf Rekordhöhe<sup>15</sup>. Knapp 40 % davon sind auf die thermische Ausdehnung des Meerwassers zurückzuführen, der überwiegende Rest auf den Massezuwachs durch Schmelzwasser.

Dass auch Nordsee und Ostsee wärmer geworden sind, belegen insbesondere die großräumigen Oberflächentemperaturanalysen für die Nordsee, die am Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) seit über 50 Jahren durchgeführt werden und hier zu Jahresmitteltemperaturen aggregiert wurden. Formal lässt sich ein signifikanter linearer Trend von  $1,3 \pm 0,6 \text{ }^\circ\text{C}$  (95 % Konfidenzintervall) für den Gesamtzeitraum angeben. Der suggerierte langsame und graduelle Temperaturanstieg beschreibt den Regimecharakter der historischen Entwicklung jedoch nicht adäquat. Kennzeichnend für diese ist ein bis 1987 andauerndes Kaltregime, das mit dem abruptem Temperatursprung von 1987/88 abbrach und vom gegenwärtigen Warmregime abgelöst wurde. Der Regimewechsel manifestiert sich in signifikant verschiedenen Langzeitmitteln von  $9,7 \text{ }^\circ\text{C}$  bis 1987 und  $10,5 \text{ }^\circ\text{C}$  ab 1988. Ähnlich wie die Hiatusphasen der GMST sind Kaltregime ( $-0,5 \pm 1,0 \text{ }^\circ\text{C}$ ) und Warmregime (bis 2013:  $0,3 \pm 0,7 \text{ }^\circ\text{C}$ ) trendfrei. Ob der Temperatursprung von 2013/14 ein extremeres Warmregime einleitet, muss die Zukunft zeigen. Die Zeitreihe der Jahresmittel der Lufttemperatur in Deutschland zeigt eine qualitativ ähnliche Entwicklung (vgl. Abbildung 1, S. 19).

Die bisher höchsten Jahresmitteltemperaturen der Nordsee von  $11,0 \text{ }^\circ\text{C}$  (2003, 2006, 2016) und darüber ( $11,4 \text{ }^\circ\text{C}$ , 2014) ergaben sich in der Regel aus einer extremen Erwärmung in den Sommermonaten. Das gehäufte Auftreten solcher Ereignisse im Warmregime ist keine Überraschung. Der Regimewechsel war nicht auf Nord- und Ostsee beschränkt, sondern wurde weltweit in einer Vielzahl von Variablen beobachtet<sup>16,17</sup>. Die ökologischen Konsequenzen der Erwärmung in Nord- und Ostsee wurden u. a. von Beaugrand (2004)<sup>18</sup> und Alheit et al. (2005)<sup>19</sup> dokumentiert.

Die ansteigenden Meerestemperaturen haben weitreichende Auswirkungen auf das gesamte marine Ökosystem. Arten passen ihre Verbreitungsgebiete an, sterben (lokal oder regional) aus, und andere Arten besetzen



Die Wassertemperaturen der Nordsee steigen an.  
(Foto: Peter Löwe, BSH)

diese ökologischen Nischen. Auch indirekte Begleitscheinungen des Klimawandels wie Sauerstoffmangel und die Versauerung der Meere tragen dazu bei, dass sich mit der Artenvielfalt, -zusammensetzung und -verbreitung das gesamte marine Nahrungsnetz verändert. Auch die ökonomischen Folgen für die Meeresfischerei sind schwer überschaubar. An den deutschen Küsten haben hohe Meerestemperaturen in den vergangenen Jahren für Schlagzeilen gesorgt, wenn der Badetourismus durch Blaualgenblüten beeinträchtigt wurde; solche Blaualgenblüten werden zusätzlich durch die Überdüngung der Meere provoziert.

## Schnittstellen

FI-I-1: Verbreitung warmadaptierter mariner Arten  
TOU-I-1: Badetemperaturen an der Küste

## Ziele

Begrenzung aller Faktoren, die zur Erwärmung und zur Versauerung führen (DAS, Kap. 3.2.3)

## Der Meeresspiegel der Nord- und Ostsee steigt

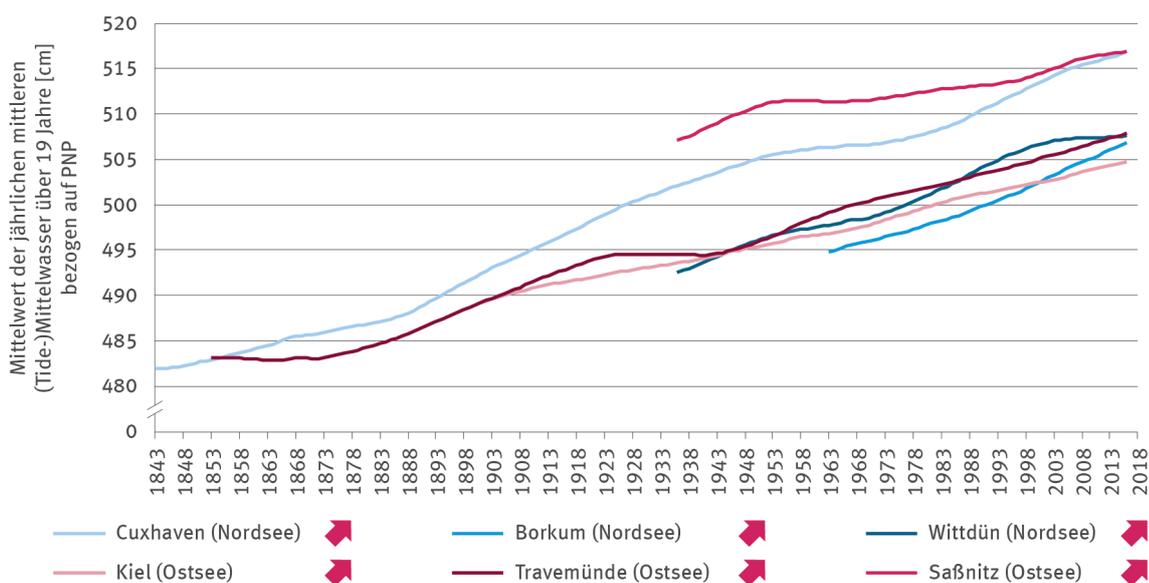
Die Gletscher und die Eisschilde der Pole schmelzen und liefern den Meeren große Mengen von Schmelzwasser. Gleichzeitig dehnt sich bei steigenden Wassertemperaturen das Meerwasser aus. Hierdurch steigt der Meeresspiegel weltweit an. Der Sonderbericht über den Ozean und die Kryosphäre in einem sich wandelnden Klima (SROCC) des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) vom September 2019 liefert Projektionen von Erdsystemmodellen für den mittleren globalen Meeresspiegelanstieg sowie für Extremwerte und deren Häufigkeiten, die auf Szenarien der sozio-ökonomischen Entwicklung beruhen. Die wahrscheinliche Bandbreite des mittleren globalen Meeresspiegelanstiegs liegt Ende dieses Jahrhunderts im Vergleich zum Jahr 2000 bei 61–110 cm, der Median bei 84 cm. Diese Werte sind größer als beim vorigen IPCC-Sachstandsbericht von 2013, weil neue Erkenntnisse auf einen größeren Beitrag von Schmelzwasser aus dem Antarktischen Eisschild hinweisen. Der SROCC zeigt auch auf, dass Sturmflutwasserstände als Konsequenz des mittleren Meeresspiegelanstiegs höher ausfallen werden als bisher. Der Meeresspiegel wird auch über das Jahr 2100 hinaus für Jahrhunderte weiter ansteigen und erhöht bleiben.

Der Anstieg des Meeresspiegels vollzieht sich regional und lokal jedoch sehr unterschiedlich, dies gilt auch für die Nord- und Ostsee. Wasserstände an den deutschen Küsten werden seit über 150 Jahren regelmäßig gemessen, sodass sich konkrete Zahlen für die Veränderung nennen lassen. In der südlichen Deutschen Bucht betrug in den vergangenen 100 Jahren der mittlere Anstieg des Meeresspiegels 1,1–1,9 mm pro Jahr – ohne den Einfluss von Landsenkungen. Damit liegen die Anstiegsraten an Nord- und Ostsee etwas unterhalb der Werte für den globalen Anstieg. Wird jedoch der Einfluss von Landsenkungen hinzugerechnet, erhöhen sich die Anstiegsraten in einigen deutschen Küstenbereichen auf 1,6–2,9 mm pro Jahr.

Die Nordsee ist vom Gezeitenwechsel geprägt, daher ist das Mittlere Tidemittelwasser (MTmw) entscheidend. Die Ostsee hingegen unterliegt aufgrund ihrer geografischen Lage mit nur geringer Verbindung zu den Ozeanen einem lediglich schwachen Gezeiteneinfluss, weshalb hier die jährlichen Mittleren Wasserstände (MW) maßgeblich sind. Für diese Kennwerte des Wasserstands wurde ein

### WW-I-8: Meeresspiegel

Die an ausgewählten Pegeln der Nord- und Ostsee gemessenen und über 19 Jahre gemittelten Wasserstände illustrieren den Meeresspiegelanstieg. Die Zunahmen der Pegelstände sind überwiegend signifikant.



Datenquelle: Bundesanstalt für Gewässerkunde (Pegeldatenbank der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes)

gleitendes Mittel über 19 Jahre ermittelt. An den ausgewählten Nordseepiegeln in Cuxhaven sowie auf Borkum und Wittdün auf Amrum zeigen die Tidemittelwasserstände signifikant steigende Werte. Die Ostseepiegel Kiel, Travemünde und Saßnitz zeigen ebenfalls einen signifikant steigenden Meeresspiegel. Unterschiede in der Anstiegsrate zwischen der Nordsee und der Ostsee haben ihre Ursache in unterschiedlichen vertikalen Landbewegungen.

Der ansteigende Meeresspiegel bedeutet für Küstenregionen, vor allem für Ästuare und tiefliegende Küstenebenen, eine sehr langsam ansteigende Erhöhung der Gefährdung durch Sturmfluten. Die Entwicklung bis Ende des Jahrhunderts wird unterschiedlich eingeschätzt.

Eine weitere Folgewirkung des ansteigenden Meeresspiegels ist die voranschreitende Küstenerosion, die vor allem sandige Brandungsküsten betrifft und damit auch viel besuchte Strände. Diese Küstenabschnitte sind die Grundlage für die touristische Entwicklung an der Nord- und Ostsee. Dies bedeutet zusätzliche Herausforderungen beim Küstenschutz. Auch für den Betrieb von Wasserstraßen ist mit Mehraufwand beispielsweise im Sedimentmanagement zu rechnen.



Der Meeresspiegelanstieg gefährdet die Küsten.  
(Foto: © jomo333 /stock.adobe.com)

## Schnittstellen

WW-I-7: Wassertemperatur des Meeres

WW-I-9: Intensität von Sturmfluten

WW-R-3: Investitionen in den Küstenschutz

## Ziele

Entwicklung von integrierten Entwicklungsstrategien für die Ökosysteme des Küstenraums einschließlich der Flusstrichter (Ästuarbereiche). Etablierung von Ausweichhabitaten für vom Meeresspiegelanstieg betroffene Lebensgemeinschaften. Nautuzng von Synergien zwischen Naturschutz und Küstenschutz (DAS, Kap. 3.2.5)

Untersuchung und Dokumentation der durch den prognostizierten Meeresspiegelanstieg ergebenden Veränderungen der Strömungen, der Erosion und der Sedimentation in den Ästuaren und Seeschiffahrtsstraßen (DAS, Kap. 3.2.11)

Für bestehende oder geplante Industriestandorte sind national wie international die Auswirkungen des Klimawandels zu berücksichtigen; ein Beispiel sind die Folgen eines zu erwartenden Anstiegs des Meeresspiegels in küstennahen Gebieten. (DAS, Kap. 3.2.12)

Der Anstieg des Meeresspiegels und der damit verbundene Anstieg des Grundwasserspiegels sowie die Zunahme der Küstenerosionstendenzen erfordern zusätzliche Anstrengungen beim Schutz der Küstengebiete und begründen wesentliche neue Gesichtspunkte für die Entwicklung der Küstenlandschaften. (DAS, Kap. 3.2.14)

## Erhöhung von Sturmfluten durch Meeresspiegelanstieg

An der Nordseeküste wird von Sturmfluten gesprochen, wenn der Wasserstand 1,50 m über dem mittleren Hochwasserstand liegt. Sturmfluten entstehen, wenn Wind mit Sturm- oder Orkanstärke und aufländiger Windrichtung größere Wassermassen gegen eine Küste drückt. Tritt der durch den Wind verursachte Windstau während eines astronomischen Hochwassers (etwa MHW) auf, kann dies an der Nordseeküste ab Windstärke Bft. 8–9 (Beaufortskala) aus Nord West zu einer Sturmflut führen.

Eine zusätzliche Erhöhung von Sturmfluten kann durch Fernwellen entstehen, die von Windfeldern im Nordatlantik erzeugt werden und ähnlich wie die Gezeitenwelle gegen den Uhrzeigersinn durch die Nordsee laufen.

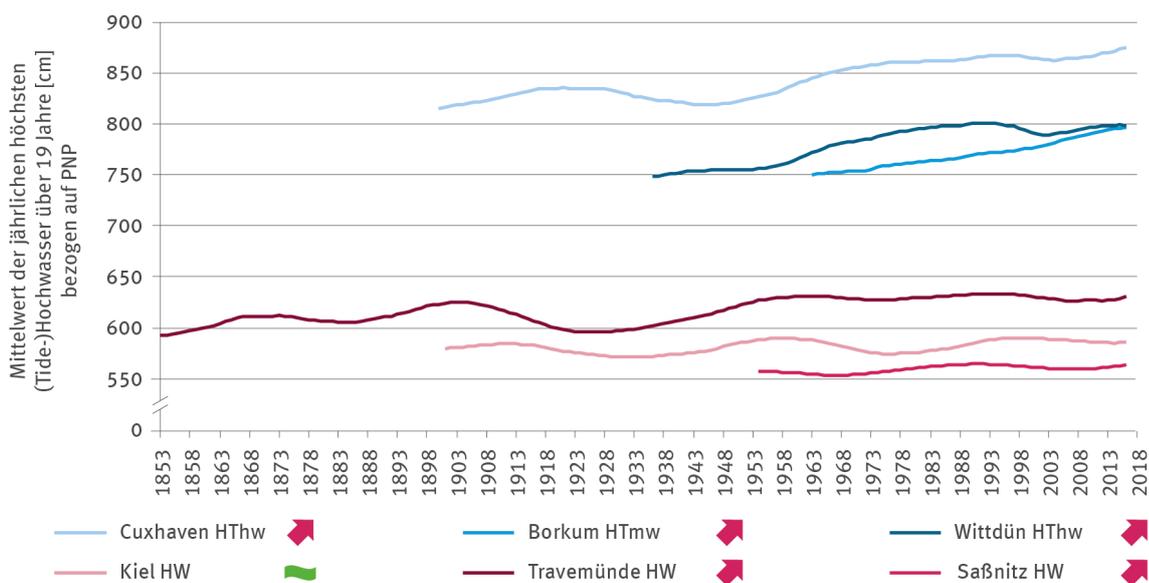
Aufgrund des Anstiegs des Meeresspiegels an der Nordsee in den letzten hundert Jahren haben Sturmfluten in der Nordsee heute ein höheres Ausgangsniveau und laufen höher auf. Neben dem Meeresspiegelanstieg kommt es vor allem in den Ästuaren zur Erhöhung von Sturmflutwasserständen durch zunehmende Eindeichung und das Absperren von Nebenflüssen von Ems, Weser und

Elbe. Damit sind die natürlichen Überflutungsflächen erheblich eingeengt worden.

Größere Sturmflutereignisse führen im Allgemeinen zu Schäden an küstennahen Gebäuden und Infrastrukturen. Vor allem an der Nordsee hatten große Sturmfluten in der Vergangenheit große zur Folge. Sturmfluten werden seit fast 2.000 Jahren an den deutschen Küsten dokumentiert. Schon 1219 kam es durch die sogenannte „Grote Mandränke“ an der Nordseeküste zu etwa 36.000 Todesopfern. Die Sturmflut vom 16. Februar 1962, die in der gesamten Deutschen Bucht und insbesondere in Hamburg auftrat, hat sich vielen Menschen eingeprägt. Durch die große Nordfrieslandflut im November 1981 kam es zu umfangreichen Schäden vor allem an den durch Dünen und nicht durch Deiche gesicherten Nordseeinseln. Der Orkan Anatol im Dezember 1999 erreichte Sturmspitzen von bis zu 200 Stundenkilometern und führte kurzfristig zu einem sehr hohen Anstieg der Pegelstände im gesamten Nordseegebiet. Im Dezember 2013 war das gesamte Nordseegebiet vom Orkan Xaver und einer teils sehr schweren Sturmflut betroffen. Die Deiche am Festland

### WW-I-9: Intensität von Sturmfluten

Die Entwicklung der Sturmfluten an den Nord und Ostseeküsten zeigt an den fünf berücksichtigten Pegeln steigende Trends. Eine Ausnahme bildet Kiel, dort gibt es keinen signifikanten Trend.



Datenquelle: Bundesanstalt für Gewässerkunde (Pegeldatenbank der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes)

hielten den Wassermassen stand, aber an den Ost- und Westfriesischen Inseln kam es zu starken Dünenabbrüchen.

An der Ostsee, wo die Gezeiten kaum eine Rolle spielen, bestimmen vor allem die Dauer und die Stärke des Windes, ob eine Sturmflut entsteht. Wasserstände ab einem Meter über dem mittleren Wasserstand gelten hier als Sturmflut. An der Ostsee kommen außerdem die sogenannten „Seiches“ (französisch für stehende Welle) zum Tragen, bei denen bei West- oder Nordwestwinden das Wasser von der deutschen Ostseeküste weggedrückt wird. Bei einem Nachlassen des Sturms schwappt das Wasser dann zurück und führt zu Sturmfluten an der westlichen Ostseeküste. Im weiteren Verlauf kommt es zu einer Pendelbewegung des Ostseewassers (Hin- und Herschwappen) bis zum Abklingen. Das gleiche Phänomen ist auch bei anhaltenden Ostwinden zu beobachten. Zusätzlich tragen Luftdruckveränderungen, die Eigenschwingungen der Wassermassen erzeugen, wesentlich zu Wasserstandsschwankungen bei.

An der deutschen Ostseeküste liefen jeweils am Jahresbeginn 2017 und 2019 schwere Sturmfluten auf. In Wismar wurde zum Abend des 3. Januar 2017 ein Wasserstand von 1,83 m über dem mittleren Wasserstand erreicht, der zwei Jahre später am 2. Januar 2019 am gleichen Ort mit 1,91 m übertroffen wurde. Nach diesen Ereignissen wurden vor allem an den Küsten und Stränden Schäden verzeichnet.

Die Erhöhung der Intensität von Sturmfluten durch den Anstieg des Meeresspiegels kann mit dem jährlich höchsten Tidehochwasser (HTHW) an den Nordseepegeln bzw. dem jährlich höchsten Hochwasser (HW) an den Ostseepegeln beschrieben werden. Der Indikator betrachtet das höchste Tidehochwasser pro Jahr an der Nordsee und das höchste Hochwasser pro Jahr an der Ostsee. Für diese Wasserstände wurde durch die BfG ein gleitendes Mittel über 19 Jahre ermittelt.

Für die ausgewählten Pegel der Nordsee lässt sich ein Trend in der Größenordnung der Meeresspiegelerhöhung ableiten. Für die Ostseeküste zeigt sich verstärkt ein zyklisches Verhalten mit einer Periodizität von 30 bis 40 Jahren, das auch an der Nordsee den Trend überlagert. Aus der Darstellung auf Basis gleitender 19-Jahresmittelwerte sind extreme Einzelereignisse nicht abzulesen. Lediglich Häufungen von solchen Ereignissen führen zu ansteigenden Werten.



Sturmfluten sind auch eine Bedrohung für küstennahe Infrastrukturen. (Foto: © Wojciech Wrzesień /stock.adobe.com)

## Schnittstellen

WW-I-8: Meeresspiegel

WW-R-3: Investitionen in den Küstenschutz

## Ziele

Raumordnerische Voraussetzungen für den Schutz gegen zunehmende Sturmflut und Hochwasserrisiken (DAS, Kap. 3.2.14)

## Wassernutzung deutlich zurückgegangen

Deutschland ist ein wasserreiches Land, in dem es unter den aktuellen Bedingungen lediglich regional und saisonal begrenzt zu Einschränkungen der Wasserverfügbarkeit kommen kann. Im langjährigen Mittel sind rund 188 Milliarden Kubikmeter Grund- und Oberflächenwasser potenziell verfügbar, nur ein Bruchteil dessen wird genutzt. Gleichwohl kann es vor allem bei längeren und häufiger auftretenden Trockenheitsphasen und Niedrigwasserperioden infolge eines reduzierten Wasserdargebots zu regionalen Nutzungskonflikten bei oberirdischen Gewässern und insbesondere bei oberflächennahen Grundwasserentnahmen kommen. Betroffen sind vor allem die zentralen Teile Ostdeutschlands, das nordostdeutsche Tiefland und das südostdeutsche Becken, die ungünstige klimatische Wasserbilanzen aufweisen, d. h. in denen es vergleichsweise wenig regnet, aber aufgrund hoher Sommertemperaturen viel Wasser verdunstet.

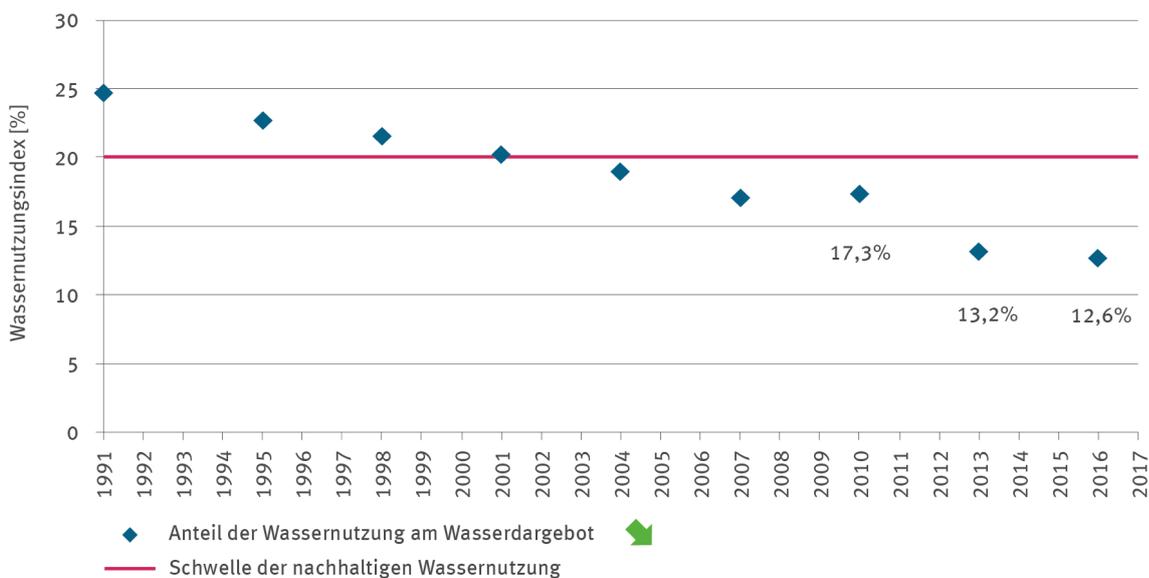
Der Wassernutzungsindex liefert einen ersten Anhaltspunkt, ob die Nutzung der Wasserressourcen in Deutschland nachhaltig ist oder Wasserknappheit entsteht. Als

nachhaltig gilt eine Wasserentnahme dann, wenn sie die Marke von 20 % des verfügbaren Wasserdargebots nicht überschreitet. Die 20%-Schwelle ist dabei ein international gültiger Orientierungswert. Übersteigt die Wassernutzung diese Marke, gilt dies als Zeichen von Wasserstress. Ab 40 % wird von starkem Wasserstress ausgegangen. Zur Überschreitung der Marke kann es sowohl in Folge einer verstärkten Wasserentnahme als auch aufgrund einer Verknappung des natürlichen Wasserdargebots kommen.

Durch einen Rückgang sowohl der gewerblichen als auch der privaten Wassernutzung in Deutschland wird seit dem Jahr 2004 diese 20%-Schwelle unterschritten. Insgesamt sind die Werte des Wassernutzungsindex seit 1991 signifikant rückläufig. Das Maß der Wassernutzung kann also nach den international gültigen Orientierungswerten als nachhaltig angesehen werden. Zu dem deutlichen Rückgang haben vor allem die Energieerzeuger sowie die Industrie- und Bergbauunternehmen beigetragen, die mit mehr als 80% den deutlich überwiegenden Teil der Wassernutzung ausmachen. Da die Kühlwasserentnahmen durch Wärmekraftwerke den größten

### WW-R-1: Wassernutzungsindex

Die Wassernutzung ist den vergangenen 25 Jahren signifikant zurückgegangen. Im Jahr 2004 unterschritt sie erstmalig den als kritisch bewerteten Wassernutzungsindex von 20 %, d. h. es werden nicht mehr als 20% des potenziellen Wasserdargebots genutzt. Allerdings gibt es in Deutschland deutliche regionale Unterschiede, und der Klimawandel stellt die Wasserversorger vor neue Herausforderungen, um beispielsweise saisonale Spitzenverbräuche decken zu können.



Datenquelle: UBA (basierend auf Daten des StBA zur Wassernutzung und der Bundesanstalt für Gewässerkunde zum Wasserdargebot)

Teil gewerblicher Wassernutzungen ausmachen, hatten Effizienzverbesserungen durch Mehrfach- bzw. Kreislaufnutzungen in diesem Bereich zumindest bis zum Jahr 2007 besonders positive Auswirkungen auf die Bilanz.

Auch die Wassernutzung in privaten Haushalten und im Gewerbe konnte seit 1991 von 144 Liter pro Person und Tag auf 123 Liter pro Person und Tag deutlich reduziert werden. Dennoch ist es auch weiterhin von Bedeutung, sorgsam mit Trinkwasser umzugehen.

Der bisher als Indikator genutzte Wassernutzungsindex ist allerdings nur bedingt geeignet, den Anpassungsbedarf und die Anpassungsaktivitäten in der Wasserwirtschaft abzubilden. Die Betrachtung der bundesweiten Situation lässt die deutlichen regionalen Unterschiede innerhalb Deutschlands außer Acht. So kann die Wasserbilanz künftig infolge des Klimawandels durch die weitere Abnahme der Sommerniederschläge und eine erhöhte Verdunstung unter anderem im Osten Deutschlands noch ungünstiger werden, und die Wasserverfügbarkeit könnte in diesem Raum zurückgehen. Gleichzeitig kann es während längerer Hitzeperioden zu einer erhöhten Wassernachfrage kommen. Mit Blick auf die private Wassernutzung ist vor allem für Siedlungsbereiche mit hohem Einfamilienhausanteil und Reihenhaussiedlungen, die über Außenlagen verfügen, bei anhaltenden Hitzeperioden ohne Niederschlag von hohen Verbrauchsspitzen auszugehen, da dann in größerem Umfang Gartenanlagen bewässert werden.

Die insgesamt rückläufige Wassernutzung einerseits und die klima-induziert höheren Spitzenverbräuche andererseits sowie die unterschiedliche regionale Verteilung der Wasserressourcen und der Wassernachfrage stellen die Wasserversorger vor neue Herausforderungen. Vor allem Wasserversorger im ländlichen Raum und in Mittelgebirgsregionen, die stark dezentrale und von Niederschlägen abhängige Wasserversorgungsstrukturen haben, können bei längeren Dürreperioden in Bedrängnis geraten. Bei zentralen und auf Fernwasserleitungen basierender Versorgung lassen sich hingegen regionale und temporäre Unterschiede in der Wasserverfügbarkeit und -nachfrage bisher ausgleichen. Bei mehreren aufeinanderfolgenden Jahren mit anhaltender Dürre ist sicherzustellen, dass jederzeit ausreichend Wasserressourcen für die Versorgung zur Verfügung stehen.



Im Sommer kann es zu Spitzen der Trinkwassernutzung im Haushalt kommen. Es gibt aber deutliche regionale Unterschiede. (Foto: © Sashkin – stock.adobe.com)

## Schnittstellen

WW-I-1: Grundwasserstand

WW-I-4: Niedrigwasser

EW-R-4: Wassereffizienz thermischer Kraftwerke

IG-R-1: Wasserintensität des verarbeitenden Gewerbes

## Ziele

Im Zusammenhang mit einem Nachfragemanagement sind technische Methoden und Verbesserungen zum effizienteren Einsatz von Wasser möglich und sollten nach dem Prinzip der Verhältnismäßigkeit erwo-gen werden. (DAS, Kap. 3.2.3)

## Zurück zur natürlichen Struktur der Gewässer

Hochwasser sind natürliche Ereignisse. Menschliche Eingriffe wie die Trennung der Auen vom Fluss, die Begrädiung von Flüssen, die Abholzung von Auenwäldern und die Bebauung von Überschwemmungsgebieten führen dazu, dass die Landschaft heute weniger Wasser zurückhalten kann und Niederschlagswasser schneller in die Gewässer abfließt. Es wird davon ausgegangen, dass mit dem fortschreitenden Klimawandel das Hochwasserrisiko an Fließgewässern ansteigt. Damit gewinnt das Hochwasserrisikomanagement, das 2007 mit der europäischen Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie (HWRM-RL) einen Rechtsrahmen erhielt, weiter an Bedeutung.

Bis Ende 2015 wurden für alle deutschen Flussgebiete erstmals national und international abgestimmte Hochwasserrisikomanagementpläne erstellt. Sie müssen alle sechs Jahre von den für die Hochwasservorsorge zuständigen Ländern auch unter Berücksichtigung der voraussichtlichen Auswirkungen des Klimawandels überprüft und fortgeschrieben werden. Hierzu werden für gefährdete Gebiete Gefahren- und Risikokarten erstellt und aktualisiert, Ziele zum Umgang mit vorhandenen

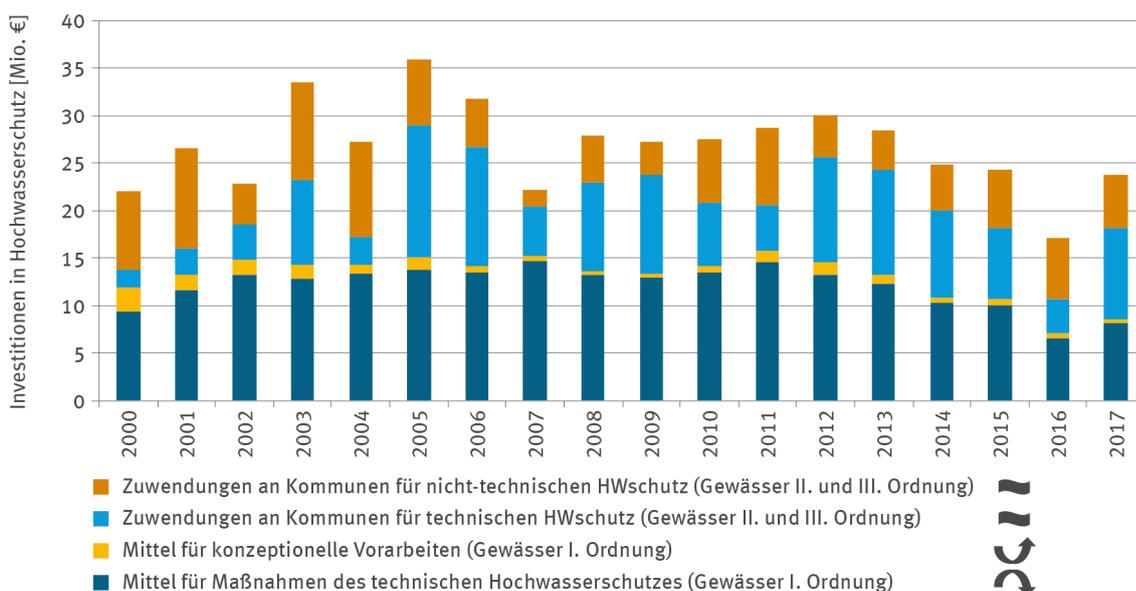
Risiken formuliert und Maßnahmenpläne zur Zielerreichung erarbeitet und fortentwickelt. Diese Pläne enthalten Maßnahmen des technischen Hochwasserschutzes, der Wiedergewinnung von Retentionsflächen und der Wiederherstellung naturnaher Gewässerstrukturen.

Zusätzliche Maßnahmen wie die Abgrenzung und Festsetzung von Überschwemmungsgebieten oder planerische Vorarbeiten zur Umsetzung operativer Maßnahmen des Hochwasserschutzes sind im Wasserhaushaltsgesetz (WHG) verankert. In diese planerischen und konzeptionellen Maßnahmen sind z. B. in Hessen in den letzten zehn Jahren kumuliert allein 6,85 Millionen Euro ausgegeben worden. Als ganzheitlicher Ansatz kommt aber auch anderen Bereichen wie der Verhaltens- und Bauvorsorge, der Raumplanung, der Verbesserung der Hochwasservorhersage, dem Krisenmanagement und dem risikoangepassten Wiederaufbau eine wichtige Rolle zu.

Technische Hochwasserschutzanlagen wie Dämme, Deiche und Mauern, Regen- und Hochwasserrückhaltebecken, Stauanlagen, Schöpfwerke und Flutmulden

### WW-R-2: Investitionen in den Binnengewässer-Hochwasserschutz – Fallstudie

In Hessen sind in den zurückliegenden zehn Jahren 259,71 Millionen Euro von Bund und Land in den Hochwasserschutz geflossen. Die eigenen Investitionen der Kommunen sind nicht berücksichtigt. Da die Pflicht zur Gewässerunterhaltung nur bei den Altrheinern dem Land obliegt, werden nicht-technische Hochwasserschutzmaßnahmen an Gewässern I. Ordnung in Hessen in einem nur geringen (und in der Grafik nicht darstellbaren) Umfang durchgeführt.



Datenquelle: HMUKLV (Haushaltsrechnung)

dienen dem Zurückhalten, Durchleiten und Umleiten von Wasser. Einige Bundesländer wie Baden-Württemberg oder Bayern arbeiten bereits heute bei der Bemessung von Hochwasserschutzanlagen für Fließgewässer mit einem „Lastfall Klimaänderung“. Über „Klimaänderungsfaktoren“ wird auf den derzeit gültigen Bemessungswert, beispielsweise ein hundertjähriges Hochwasserereignis, ein Sicherheitsaufschlag berechnet, um auch künftig steigende Hochwasserrisiken abzusichern. Im Fall Hessen sind die Investitionen in den technischen Hochwasserschutz in den letzten Jahren zurückgegangen, da die lange währenden Deichsanierungen an Rhein und Main nun im Wesentlichen abgeschlossen sind.

Zusätzlich zu den Maßnahmen des technischen Hochwasserschutzes gewinnen auch nicht-technische Maßnahmen an Bedeutung, denn natürliche oder naturnahe Gewässerstrukturen können Wasser zurückhalten, den Landschaftswasserhaushalt stabilisieren und insbesondere mittlere Hochwasserereignisse an Fließgewässern abmildern. Renaturierungen werden daher – wo immer möglich – vorangetrieben. Mäandrierende Flüsse und Bäche verringern die Fließgeschwindigkeit und mindern die Abflussspitzen von Hochwasser. Eine durchlässige Gewässersohle aus Sanden und Kiesen erlaubt natürlicherweise einen Austausch zwischen Oberflächen- und Grundwasser und kann dadurch teilweise Hochwasserspitzen oder Wassermangel abpuffern. An den Gewässerlauf angebundene Altarme, Auen und Überflutungsflächen können einen Teil des Hochwasserabflusses aufnehmen. Auch wenn naturschutzfachliche Überlegungen oftmals leitend für die Durchführung vieler Renaturierungsmaßnahmen sind, reduzieren diese mehr oder weniger auch das Hochwasserrisiko. So betont auch das im Februar 2017 vom Bundeskabinett beschlossene Bundesprogramm „Blaues Band Deutschland“ ausdrücklich den gesellschaftlichen Nutzen einer Fließgewässerrenaturierung für die Anpassung an die Folgen des Klimawandels. Eine der zentralen Herausforderungen des nicht-technischen Hochwasserschutzes bleibt die Bereitstellung zusätzlicher Retentionsflächen, die im Hochwasserfall überflutet werden können.

Der Bund erstattet den Ländern im Rahmen der Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“ (GAK) 60 % ihrer Ausgaben für den Neubau und die Verstärkung von Hochwasserschutzanlagen, für die Rückverlegung von Deichen und Maßnahmen zur naturnahen Gewässerentwicklung. Das Nationale Hochwasserschutzprogramm, das nach dem Juni-Hochwasser 2013 im Elbe- und Donaugebiet von Bund und Ländern gemeinsam erarbeitet wurde, soll die Umsetzung überregional wirkender Maßnahmen des vorbeugenden Hochwasserschutzes in den Flussgebieten beschleunigen. Der Bund



Flexibel gestaltete technische und nicht-technische Hochwasserschutzmaßnahmen unterstützen auch die Anpassung an den Klimawandel. (Foto: © Ewald Fröch / stock.adobe.com)

unterstützt die Länder über den Sonderrahmenplan (SRP) „Präventiver Hochwasserschutz“ bei der Umsetzung von Maßnahmen zur Deichrückverlegungen und Wiedergewinnung natürlicher Retentionsfläche sowie zur gesteuerten Hochwasserrückhaltung über Hochwasserrückhaltebecken und Polder. Dabei fördert der Bund auch erstmalig den Ankauf von Retentionsflächen. Für die Umsetzung von Maßnahmen zum Hochwasserschutz an Gewässer I. Ordnung wenden die Länder zusätzlich zu den GAK- und SRP-Mittel hinaus weitere Haushaltsmittel auf. Zudem geben die Länder Zuwendungen an Kommunen, die im Rahmen ihrer Zuständigkeiten für die Gewässer II. und III. Ordnung Maßnahmen umsetzen.

## Schnittstellen

WW-I-3: Hochwasser  
 BD-I-3: Rückgewinnung von Überflutungsflächen  
 WW-R-3: Investitionen in den Küstenschutz

## Ziele

Rückgewinnung und Redynamisierung von Flussauen (DAS, Kap. 3.2.3)

Schutz gegen zunehmende Hochwasserrisiken durch Verstärkung von passiven Sicherungsmaßnahmen (insbesondere Freihaltung von Bebauung) und aktive Abflussregulierung; erhebliche Ausweitung der Retentionsflächen (DAS, Kap. 3.2.14)

Festsetzung von Überschwemmungsgebieten (WHG, § 76)

## Mehr Beschattung kühlt die Gewässer

Natürliche und naturnahe Gewässerstrukturen bieten grundsätzlich günstigere Lebensbedingungen für Gewässerorganismen als strukturell stark veränderte Gewässer. Je reicher strukturiert die Gewässer sind, desto mehr unterschiedliche Kleinhabitats bieten sie, in welche die Gewässerlebewesen bei sich verändernden Lebensbedingungen ausweichen können. Mit Blick auf den Klimawandel und die damit verbundene Erhöhung der Wassertemperatur spielt der Uferbewuchs eine bedeutende Rolle.

Vor allem bei kleinen sowie mittleren und damit schmalen Gewässern kann eine Beschattung durch gewässerbegleitende Gehölzvegetation dazu beitragen, dass sich das Wasser nicht zu stark erwärmt. Krautiger Uferbewuchs ist hingegen selbst bei kleinen Gewässern für die Beschattung von nur untergeordneter Bedeutung. Bei den größeren Fließgewässern hat die begleitende Ufervegetation zwar geringere Auswirkungen auf die Beschattung des gesamten Fließgewässerquerschnitts und die Kühlung, aber auch hier führt sie zu einer Diversifizierung und schafft kühlere, beschattete Uferbereiche, die in warmen Sommermonaten als Rückzugsräume für sensible Arten

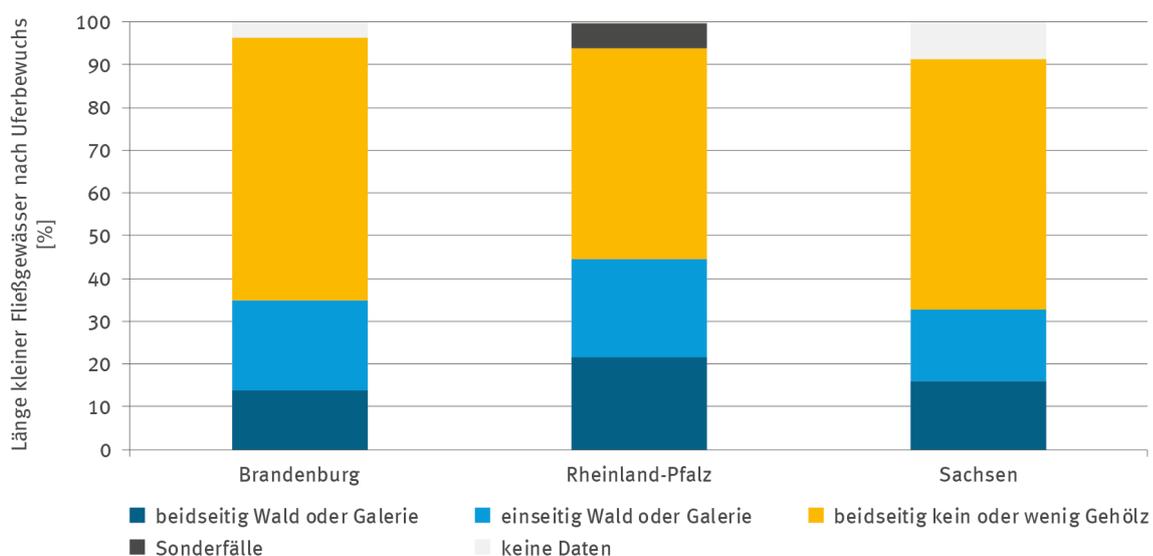
und damit zur Verbesserung der Lebensraumbedingungen dienen können.

Natürlicherweise wäre das Ufer fast aller kleinen und mittleren Gewässer mit Ufergehölzen wie Erlen, Weiden und Eschen bestanden. Durch bauliche Maßnahmen an und in Gewässern, die Intensivierung der Landnutzung bis in die Gewässerrandbereiche hinein und die Wasserkraftnutzung haben viele Gewässer allerdings ihre natürliche Ufervegetation verloren. Dieser stark veränderte Zustand wird durch regelmäßige Gewässerunterhaltungsmaßnahmen aufrechterhalten, um der natürlichen Sukzession entgegen zu wirken. Die Wiederherstellung vor allem von Ufergehölzen ist eine Anpassungsmaßnahme an den Klimawandel, mit der aktiv einer weiteren Erhöhung der Wassertemperaturen entgegengewirkt werden kann.

Die Bundesländer führen im Rahmen der Gewässerstrukturkartierung Erhebungen zu unterschiedlichen Strukturparametern durch, um damit die Naturnähe der Strukturen zu bestimmen. In den Ländern wird hierfür auch nach einheitlicher Methodik der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft

### WW-R-3: Uferbewuchs von kleinen und mittelgroßen Gewässern – Fallstudie

Uferbegleitende Gehölze tragen durch die damit verbundene Beschattung dazu bei, einem Anstieg der Wassertemperaturen entgegen zu wirken. Ein- oder beidseitige Gehölzsäume finden sich heute in den hier beispielhaft betrachteten Bundesländern nur noch an einem Drittel bis knapp der Hälfte der Gewässerstrecken kleiner und mittelgroßer Gewässer.



\* Aufgrund abweichender Datenerhebung sind für Brandenburg Gewässer mit einer Wasserspiegelbreite von 1 bis 8 m erfasst

Datenquelle: LFU Brandenburg, LFU Rheinland-Pfalz, LFULG Sachsen (Gewässerstrukturkartierung)

Wasser der Bewuchs mit Ufergehölzen erfasst und bewertet. Die Kartierungsergebnisse fließen unterstützend in die Bewertung des ökologischen Zustandes der Gewässer im Rahmen der Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) ein.

Die jüngsten Kartierungsergebnisse der Gewässerstrukturkartierung der Landesumweltämter sind im Indikator für Brandenburg, Rheinland-Pfalz und Sachsen dargestellt. Der Indikator fokussiert auf kleine und große Bäche sowie kleine Flüsse mit einer mittleren Mittelwasserspiegelbreite von bis zu 20 Metern, da hier begleitende Gehölze einen deutlichen Einfluss auf die Gewässertemperaturen haben. Die einseitig oder beidseitig mit Gehölzen bewachsenen Uferstrecken entsprechen in Brandenburg 35,1 %, in Rheinland-Pfalz 44,6 % und in Sachsen knapp 32,9 % der gesamten kartierten Uferstrecke. Der deutlich höhere Anteil in Rheinland-Pfalz liegt wesentlich darin begründet, dass hier 40,6 % der Landesfläche bewaldet sind, gegenüber knapp 35 % in Brandenburg und nur 22,3 % in Sachsen. Daher fließt ein größerer Anteil der Bäche und Flüsse durch bewaldetes Gebiet.

Da für den Beschattungseffekt durch einseitige Gehölzstreifen entscheidend ist, in welcher Himmelsrichtung sich dieser zum Gewässer befindet, bedeutet das Vorhandensein eines solchen Bewuchses nicht zwangsläufig eine zeitlich und räumlich ausgedehnte Beschattung. Hierfür wären differenziertere Analysen erforderlich. Zugleich lässt sich aus einem fehlenden Uferbewuchs nicht zwingend auf eine fehlende Beschattung rückschließen, da beispielsweise auch Bauwerke an Gewässerrändern den Wasserkörper beschatten können. Allerdings ist für solche Abschnitte auch davon auszugehen, dass die Gewässerstrecken insgesamt stark anthropogen verändert sind.

Zudem wird für die Anlage naturnaher Gewässerschutzstreifen diskutiert, ob ein lückenhafter Uferbewuchs mit einem natürlichen Wechsel beschatteter und sonniger Bereiche einer vollkommenen Beschattung („Grünverrohrung“) grundsätzlich vorzuziehen ist, da ein solcher Wechsel eher den natürlichen Strukturen entspricht. Eine in dieser Weise differenzierte Bewertung ist auf der Grundlage der derzeit verfügbaren Kartierungsergebnisse aber nicht möglich.

Die bisherigen Daten ermöglichen noch nicht die Darstellung von Zeitreihen, um Fortschritte bei der Wiederherstellung naturnaher gewässerbegleitender Gehölzsäume abzubilden. Hierzu bedarf es einer in Zukunft regelmäßigen Abfrage der Datenbanken der Gewässerstrukturkartierung. Eine Weiterentwicklung des Indikators ist außerdem erforderlich, um weitere Bundesländer einzubeziehen und



Beschattung durch uferbegleitende Vegetation kann dazu beitragen, dass die Wassertemperaturen nicht zu stark ansteigen. (Foto: © XtravaganT / stock.adobe.com)

die Daten ggf. nach den naturräumlichen Ausgangsbedingungen zusammenfassen und so den Handlungsbedarf spezifischer fassen zu können.

Es ist zu erwarten, dass weitere Renaturierungsbemühungen zur Wiederherstellung naturnäherer Gewässerstrukturen positive Effekte auf die Wassertemperaturen haben werden.

## Ziele

Erreichung eines guten Zustandes der Oberflächengewässer (WRRL, Artikel 4 (1))

Erhöhung der Durchgängigkeit und Strukturvielfalt von Gewässern, Rückgewinnung und Redynamisierung von Flussauen (DAS, Kap. 3.2.3)

Bevorzugung von Maßnahmen in der WRRL, die die natürliche Anpassungsfähigkeit der Gewässer wie auch die Lebensraum- oder Habitatvielfalt unserer Gewässer erhalten oder stärken (DAS, Kap. 3.2.3)

## Küstenschutz erfordert umfangreiche Investitionen

Mit dem Anstieg des Meeresspiegels und der erwarteten Zunahme der Häufigkeit und Intensität von Sturmfluten sind auch die deutschen Küstenregionen einem erhöhten Risiko durch Überschwemmungen ausgesetzt. In Deutschland gelten Gebiete als gefährdet, die an der Nordseeküste bis zu 5 Meter über dem Meeresspiegel und an der Ostseeküste bis zu 3 Meter über dem Meeresspiegel liegen. Das betrifft eine Fläche von rund 13.900 Quadratkilometern mit 3,2 Millionen Bewohnerinnen und Bewohnern sowie mit volkswirtschaftlichen Werten in Höhe von 900 Milliarden Euro<sup>20</sup>. Durch Sturmfluten bedroht sind vor allem küstennahe Städte wie Hamburg, Bremen, Kiel, Lübeck, Rostock und Greifswald.

Um Infrastrukturen, Gebäude und Menschenleben in den gefährdeten Küstenregionen vor zukünftig stärkeren Hochwasserereignissen zu schützen, müssen die existierenden Anlagen des technischen Hochwasserschutzes an die veränderten Klimabedingungen angepasst werden.

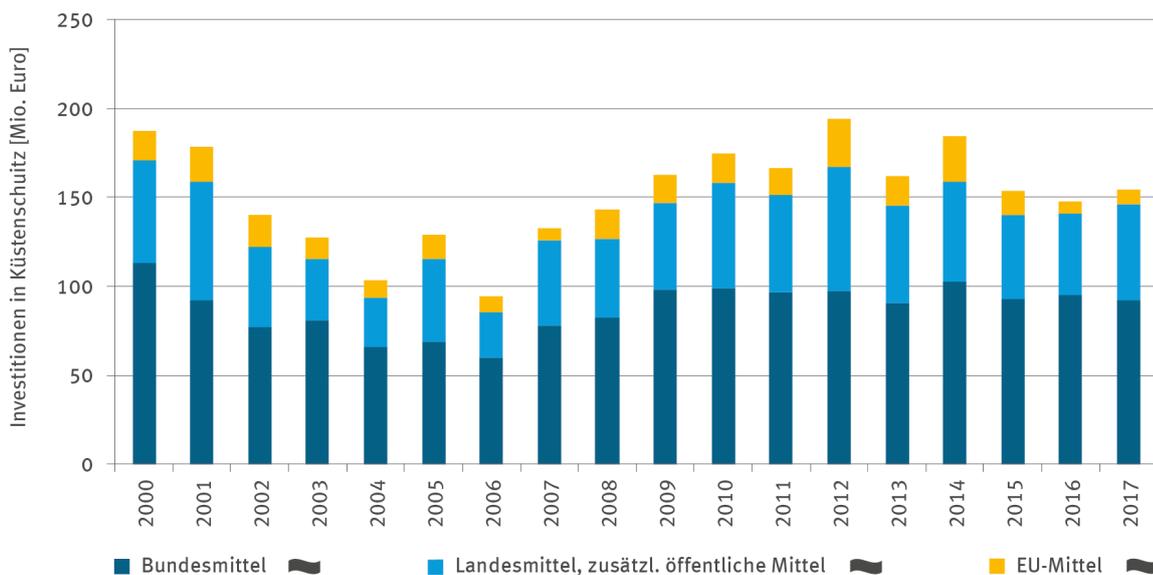
Zu den Küstenschutzmaßnahmen gehören u. a. der Neubau oder die Erhöhung und Ertüchtigung von Deichen, der

Ausbau von Uferschutzanlagen, Sandvorspülungen oder der Bau bzw. die Verstärkung von Sturmflutsperrwerken. Jede dieser Maßnahmen bedeutet einen genehmigungspflichtigen Eingriff, durch den natürliche Lebensräume wie Wattflächen, Seegraswiesen, Salzwiesen oder Dünen beeinträchtigt werden oder unwiderruflich verlorengehen. Als weitere Maßnahme wird diskutiert, örtlich Überflutungsräume, die durch Eindeichung in der Vergangenheit verloren gegangen sind, durch die Rückverlegung oder Schlitzung von Deichen zurückzugewinnen. Die verschiedenen Küstenschutzmaßnahmen werden durch die Ausweisung raumplanerischer Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für den Küsten bzw. Küstenhochwasserschutz flankiert.

Im Jahr 2011 haben Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern das Bemessungsverfahren für die Küstenschutzmaßnahmen an der Ostseeküste novelliert. Im Rahmen der Umsetzung der HWRM-RL, die die Berücksichtigung des mit dem Klimawandel projizierten Meeresspiegelanstieg zwingend vorschreibt, wurde ein neuer Grundsatz für die Bemessung der Küstenschutzanlagen eingeführt. Dieser entspricht nun prinzipiell dem Vorgehen

### WW-R-4: Investitionen in den Küstenschutz

Die durch den Bund zur Verfügung gestellten finanziellen Mittel für den Küstenschutz gingen zwischen 2000 und 2006 zurück. Nachdem die Mittel zwischen 2006 und 2009 wieder angestiegen sind, sind die Investitionssummen des Bundes auf hohem Niveau relativ konstant.



Datenquelle: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (GAK-Berichterstattung)

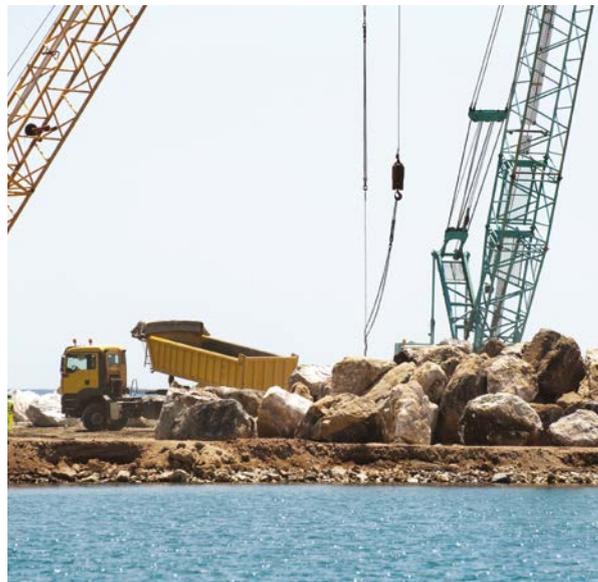
der Bundesländer an der Nordseeküste. Der Klimazuschlag für den Meeresspiegelanstieg wird demnach auf 50 cm für die nächsten hundert Jahre veranschlagt. Das neue Bemessungsverfahren hat erheblichen Einfluss auf die mittelfristige Maßnahmenplanung. Für Deiche sowie Stahl- und Stahlbetonwasserbauten bedeutet dies teilweise eine Erhöhung, für Küstenschutzdünen einschließlich ihrer Strand- und Vorstrandbereiche möglicherweise in Zukunft häufiger durchgeführte und im Volumen umfangreichere Sandaufspülungen. Außerdem wurde beispielsweise in Schleswig-Holstein die Konstruktion der Deiche so verändert, dass diese später relativ einfach und kostengünstig weiter erhöht werden können.

In Deutschland werden Maßnahmen des technischen Küstenschutzes zum deutlich überwiegenden Teil aus der GAK finanziert. Die Finanzierungsanteile der EU liegen dabei zwischen 5 und 13 %. Bund und Länder, die für den überwiegenden Teil der Förderung aufkommen, teilen sich die Investitionskosten im Verhältnis 70 zu 30. Mit dem Ziel, die laufende Verstärkung der Küstenschutzanlagen zu beschleunigen oder im Einzelfall auch zu ergänzen, stellt der Bund den Küstenländern über einen GAK-Sonderrahmenplan in den Jahren 2009 bis 2025 für Küstenschutzmaßnahmen infolge des Klimawandels zusätzlich 25 Millionen Euro pro Jahr zur Verfügung.

Zu den mit GAK-Mitteln förderfähigen Küstenschutzmaßnahmen zählen der Neubau, die Verstärkung und die Erhöhung von Küstenschutzanlagen wie von Deichen, Sperrwerken, Buhnen, Wellenbrechern und Uferschutzwerken. Ebenso werden Vorlandarbeiten vor Deichen ohne Deichvorland bis zu 400 Meter und Sandvorspülungen gefördert. Außerdem sind der notwendige Grunderwerb und die infolge von Küstenschutzmaßnahmen notwendigen Maßnahmen des Naturschutzes und der Landschaftspflege förderfähig.

Nachdem die Investitionen in den Küstenschutz zwischen 2000 und 2006 um etwa die Hälfte abgenommen hatten, stiegen die Ausgaben seit 2007 wieder an und erreichten im Jahr 2012 die Summe von knapp 200 Millionen Euro, seither pendeln die jährlichen Ausgaben aus Mitteln von Bund, EU und Ländern um jährlich 150 Millionen Euro. Die Investitionen des Bundes lagen zwischen 2009 und 2017 relativ konstant bei knapp über 100 Millionen Euro.

Schleswig-Holstein hat im Jahr 2012 im Generalplan Küstenschutz vorrangig zu verstärkende Deiche bestimmt – insgesamt 93 Kilometer. Davon wurden bis Ende 2017 auf Nordstrand, auf Sylt, in Büsum und in der Hattstedter Marsch insgesamt knapp neun Kilometer Deich verstärkt. Diese Deiche wurden nach dem sogenannten Klimaprofil gebaut. Dabei wird der Deich so konstruiert, dass bei



Küstenschutzanlagen müssen an die veränderten Klimabedingungen angepasst werden.  
(Foto: © Deyan Georgiev / stock.adobe.com)

späterem Bedarf eine Kappe aufgesetzt und der Deich um rund 1 bis 1,5 Meter erhöht werden kann. Von 2012 bis Ende 2017 wurden in Schleswig-Holstein insgesamt rund 292 Millionen Euro in den Küstenschutz investiert. Neben der Verstärkung von Deichen wurden mit diesen Mitteln unter anderem Sandvorspülungen auf Sylt und Föhr, Wegebauten an den Deichen, Deckwerke, Buhnen, Wellenbrecher, Verstärkungen von Sperrwerken, Arbeiten zum Aufbau des Vorlandes, Warftverstärkungen und Maßnahmen der Wasser- und Bodenverbände sowie der Gemeinden umgesetzt.

## Schnittstellen

WW-I-8: Meeresspiegel

WW-I-9: Intensität von Sturmfluten

WW-R-2: Investitionen in den Hochwasserschutz

RO-R-3: Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für (vorbeugenden) Hochwasserschutz

## Ziele

Zusätzliche Anstrengungen beim Schutz der Küstengebiete; Entwicklung neuer Formen von – insbesondere auch passiven – Sicherungsmaßnahmen für die Inseln und Küsten (DAS, Kap. 3.2.14)

Strategisches Management der Küstengebiete (IKZM, S. 6f.)



© SINNBILD Design / stock.adobe.com

# Fischerei

Wie die Land- und Forstwirtschaft ist auch die Fischerei unmittelbar von der Verfügbarkeit und Regenerationsfähigkeit der natürlichen Ressourcen abhängig. Verändern sich infolge des Klimawandels Fischbestände in ihrer Größe und räumlichen Lage, und gibt es Veränderungen in den Artengemeinschaften, verändert dies unmittelbar auch die Bedingungen für die Fischerei. Dies gilt grundsätzlich – wenn auch in unterschiedlicher Ausprägung – sowohl für die Meeres- als auch für die Binnenfischerei.

Zur Veränderung der Fischbestände kommt im Falle der Meeresfischerei hinzu, dass Meeresspiegelanstieg und häufigere Sturmfluten auf küstennahe Lebensräume wirken und dort auch die Fangbedingungen verschlechtern. In der Binnenaquakultur beginnt die Diskussion um Engpässe bei der Wasserverfügbarkeit zur Bewirtschaftung von Teichanlagen und die nachteiligen Auswirkungen von steigenden Wassertemperaturen sowie Starkniederschlägen und Hochwasser insbesondere für die auf schwebstoffreies und sauerstoffhaltiges Wasser angewiesene Zucht von Salmoniden wie Forellen und Saiblingen.

Spezifische Anpassungsmaßnahmen werden bislang weder für die Meeres- noch für die Binnenfischerei beschrieben. In der Meeresfischerei wird in der Fachdiskussion insbesondere die Forderung nach einer Reduzierung der Überfischung mit der Anpassung in Zusammenhang gebracht, da man davon ausgehen kann, dass nachhaltig genutzte Fischbestände gegenüber Klimaveränderungen resilienter sind als überfischte Bestände. In der Aushandlung der Fangquoten spielt der Klimawandel aber bisher keine Rolle. In der Binnenfischerei dominieren derzeit noch andere Managementherausforderungen.

## Auswirkungen des Klimawandels

Wärmeliebende Fischarten in der Nord- und Ostsee (FI-I-1) .....	76
Noch unklare Entwicklungen in der Binnenfischerei (FI-I-2) .....	78

## Wärmeliebende Fischarten in der Nord- und Ostsee

Steigende Wassertemperaturen, veränderte Strömungsverhältnisse und steigende CO<sub>2</sub>-Konzentrationen im Meerwasser verändern die Lebensbedingungen für alle Meeresorganismen. Die Wassermassen der Nordsee erwärmen sich dabei nicht in einem einfachen Nord-Südgefälle. Die Wassererwärmung vollzieht sich in komplexeren räumlichen Mustern. In der Nordsee verlagern sich mit zunehmender Erwärmung die Bestände von Kälte liebenden Arten von Fischen, Weichtieren und Krebstieren tendenziell in kühlere Zonen. Ihr Organismus benötigt eine bestimmte Temperaturspanne, die ihnen ihr bisheriger, zu warm gewordener Lebensraum nicht mehr bietet. Außerdem folgen sie Pflanzen, Plankton und anderen Meeresorganismen, von denen sie sich ernähren und die kältere Wassertemperaturen bevorzugen. Gleichzeitig dringen neue Arten in die Nordsee vor, die bisher eher in südlicheren Meeresgebieten beheimatet waren.

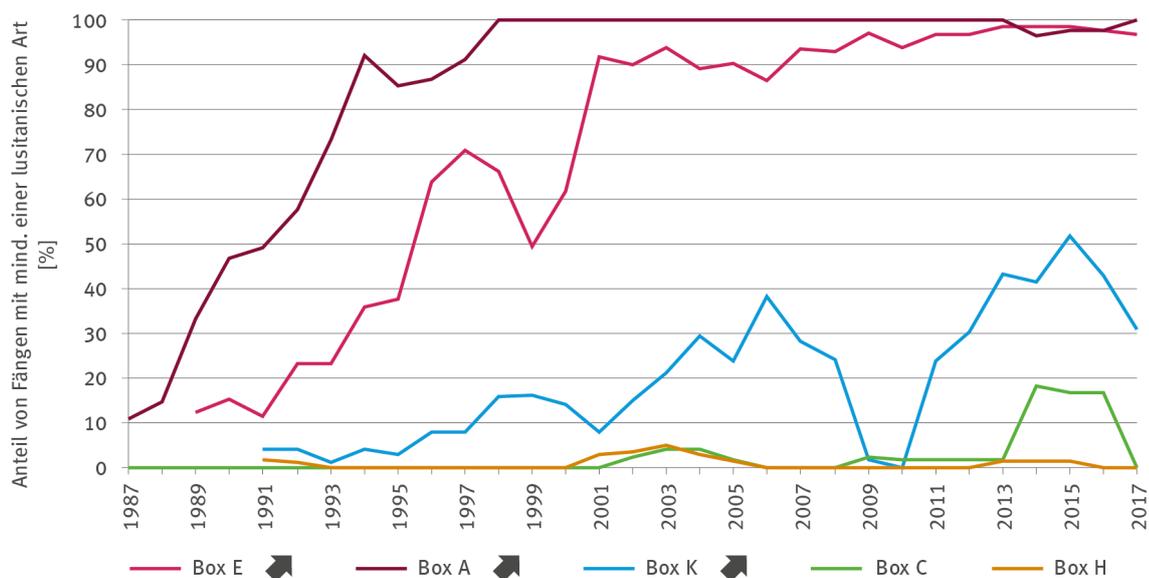
Im Brackwassermilieu der Ostsee, in dem sich Süß- und Salzwasser mischen, haben sich aufgrund der spezifischen Bedingungen labile ökologische Gleichgewichte eingestellt. Die hohe Variabilität der Umweltbedingungen

bietet dort nur wenigen sehr toleranten Fischarten ausreichende Lebens- und Reproduktionsbedingungen. Aufgrund der höheren Toleranz der Arten ist zu erwarten, dass sich die Folgen des Klimawandels in der Ostsee auch weniger deutlich in Artenverschiebungen niederschlagen werden als in der Nordsee. Allerdings sind Veränderungen in der Produktivität der Fischbestände für die Ostsee wahrscheinlich.

Veränderungen in der Verbreitung von Fischbeständen und in der Artenzusammensetzung stellen die Meeresfischerei vor neue Herausforderungen. So können mit der räumlichen Verschiebung von Fischpopulationen der Nordsee in kühlere Zonen wirtschaftliche Einbußen für die entsprechenden Fischereien einhergehen, wenn die neuen Verbreitungsgebiete der bekannten Arten nur noch schwer und mit deutlich höherem Aufwand zu erreichen sind. Inwieweit solche wirtschaftlichen und ökologischen Effekte durch Änderungen in Verbreitung und Abundanz anderer Arten ausgeglichen werden können, lässt sich bisher nicht sicher vorhersagen. In der Nordsee lohnt ein gezielter Fang auf diese anderen Arten derzeit noch nicht.

### FI-I-1: Verbreitung warmadaptierter mariner Arten

In der Nordsee zeigen sich die Auswirkungen des Klimawandels auf die Fischbestände bereits heute im Vordringen südeuropäischer, wärmeliebender Arten nach Norden. In den am südlichsten und am nächsten zur deutschen Nordseeküste gelegenen Untersuchungsgebieten kommt inzwischen in fast jedem Fang eine südliche Art vor. In einem der nördlicher gelegenen Untersuchungsgebiete deutet sich ebenfalls eine Zunahme an.



Datenquelle: Thünen-Institut für Seefischerei (GSBTS: German Small-scale Bottom Trawl Survey)

Wichtige Grundlage für künftige Anpassungen des Fischereimanagements ist die genaue Beobachtung räumlicher Verschiebungen von Fischbeständen und Änderungen der Artengemeinschaften. Im Rahmen des „German Small-scale Bottom Trawl Survey“ (GSBTS) werden in festgelegten Gebieten der Nordsee jährlich standardisierte Fänge durchgeführt. Sie dienen dem Ziel, die natürliche Variabilität der Fangraten diverser Fischarten abzuschätzen und mittel- bis langfristige Veränderungen in den Fischgemeinschaften zu erfassen.

Analysiert man die Fangergebnisse der letzten bis zu 30 Jahre in fünf Untersuchungsgebieten innerhalb der Deutschen Bucht, stellt man fest, dass immer häufiger bestimmte südeuropäische Arten mit Herkunft aus dem portugiesischen Meeresgebiet in den Fängen auftaucht sind. Typische Vertreter dieser Artengruppe sind beispielsweise der Rote Knurrhahn (*Chelidonichthys lucerna*), die Streifenbarbe (*Mullus surmuletus*), die Zwerg- und Lammzunge (*Buglossidium luteum* und *Arnoglossus laterna*) sowie die Sardelle (*Engraulis encrasicolus*) und die Sardine (*Sardina pilchardus*). In den beiden südlichsten Fanggebieten, die der deutschen Küste am nächsten liegen (Box A und Box E), findet sich inzwischen in fast jedem Fang mindestens eine dieser Arten, während Ende der 1980er Jahre solche Fänge noch eher eine Seltenheit waren. In der etwas nördlicher, ungefähr auf der Breite des dänischen Esbjergs gelegenen Box K erschienen seit Mitte der 1990er Jahre Vertreter der genannten Arten und entwickelten sich in der Folge – allerdings nicht kontinuierlich – auf ein mittleres Häufigkeitsniveau. Zunehmend gibt es auch in den in der nördlichen Nordsee gelegenen Box C Funde, die auf eine potenzielle Verbreitung bei ansteigenden Temperaturen auch in diesen Bereichen hindeuten.

Gleichzeitig mit dem Vordringen der südeuropäischen Arten wird bereits eine Abnahme kälteliebender Arten beobachtet. So ist der Kabeljau aus der südlichen Nordsee inzwischen fast verschwunden. Dies ist nicht nur die Folge intensiver Fischerei, sondern liegt auch daran, dass die wärmeren Bedingungen in diesen Breiten die Ernährungsgrundlage und die physiologischen Prozesse dieser Fischart nachteilig beeinflussen.

Obwohl neben dem Klimawandel auch andere Faktoren wie beispielsweise die kommerzielle Fischerei für die Verlagerung von Fischbeständen verantwortlich sind, scheint die zunehmende Erwärmung eine gewichtige Rolle bei der räumlichen Verlagerung von Fischbeständen zu spielen. Die milden Winter ermöglichen einigen südlichen Fischarten, auch in der Nordsee zu überwintern und sich fortzupflanzen.



Die wärmeliebenden Sardinen erobern die Nordsee und gewinnen an fischereilicher Relevanz. (Foto: © ermess / stock.adobe.com)

## Schnittstellen

FI-I-2: Vorkommen wärmeliebender Arten in Binnengewässern

WW-I-7: Wassertemperatur des Meeres

## Noch unklare Entwicklungen in der Binnenfischerei

In der Binnenfischerei spielen die Auswirkungen des Klimawandels bisher eine gegenüber anderen Einflussfaktoren nur untergeordnete Rolle. Für die Fangergebnisse der Seen- und Flussfischerei sind neben den Einflüssen durch den gezielten Besatz mit ausgewählten, fischereilich interessanten Fischarten in erster Linie die Rahmenbedingungen der Fischereiausübung und kostendeckende Vermarktungsmöglichkeiten entscheidend. So werden derzeit Konflikte im Zusammenhang mit der zunehmenden touristischen Nutzung der Gewässer, Fischverluste an Wasserkraftwerken, Einschränkungen der Fischerei durch naturschutzfachlich begründete Nutzungsaufgaben oder auch Veränderungen der Nährstoffgehalte der Gewässer sehr viel intensiver diskutiert als die möglichen Auswirkungen einer Klimaerwärmung. Langanhaltende Trockenperioden, die eine Folge eines voranschreitenden Klimawandels sind, bedrohen allerdings in zunehmend erkennbarem Maße in Klein- und Kleinstgewässern vorkommende Großmuschel-, Krebs- und Kleinfischpopulationen. Ähnlich ist es in der Aquakultur, auch wenn hier die durch den Klimawandel beeinflussten Wassertemperaturen, die Dauer der Eisbedeckung der Winterteiche

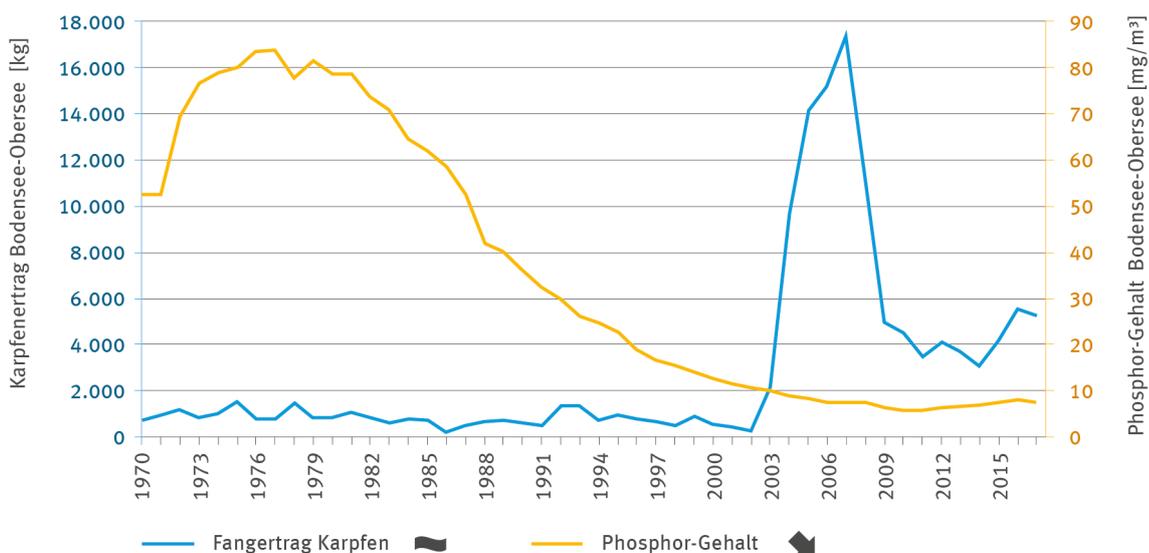
und die Wasserdurchflussmengen als wichtige Einflussgrößen für die Produktion gelten. Grundsätzlich messen die Fischer der Verbreitung von Fischkrankheiten und den in den vergangenen zwei Jahrzehnten stark angewachsenen Beständen des Kormorans größere Bedeutung bei.

In der Binnenfischerei herrschen generell dezentrale Produktionsstrukturen und kleine Betriebsgrößen vor. Daher fehlt es an bundesweiten Daten, aus denen sich in systematischer Weise klimaabhängige Veränderungen zu Verschiebungen in der Artenzusammensetzung der Fischfauna in Fließgewässern und Seen sowie zu den Bedingungen in der Aquakultur ableiten ließen.

Für die Zukunft schließen Expertinnen und Experten nicht aus, dass der Klimawandel einen zunehmenden Einfluss auf die Fischbestände, die Ertragsbedingungen und die Erträge der Binnenfischerei haben wird. So haben beispielsweise wärmeliebende Arten, die über den Schiffsverkehr auf Kanälen verbreitet werden, bei steigenden Wassertemperaturen bessere

### FI-I-2: Vorkommen wärmeliebender Arten in Binnengewässern – Fallstudie

Trotz stark verminderter Phosphorgehalte kam es am Bodensee-Obersee in Folge des Hitzesommers 2003 zu einer explosiven Vermehrung des wärmeliebenden Karpfens. Vor allem während der Laichzeit und der Entwicklungszeit der Larven verschaffen warme Witterungsbedingungen dem Karpfen Konkurrenzvorteile. Der Berufsfischerei bescherte der warme Sommer in den Folgejahren Rekorderträge.



Datenquelle: Landwirtschaftliches Zentrum Baden-Württemberg - Fischereiforschungsstelle (Fangstatistik der Berufsfischerei Bodensee-Obersee)

Etablierungsmöglichkeiten. Für wärmeliebende Arten wie den Karpfen könnten sich die Konkurrenzbedingungen verbessern, während sich für die Bachforelle und andere Arten, die nur in einem engen Bereich niedriger Temperatur existieren können, bei steigenden Wassertemperaturen die Lebensräume einschränken dürften.

Anhand des Bodensees, für den langjährige Fangstatistiken der Berufsfischerei vorliegen, lässt sich beispielhaft zeigen, dass besonders warme Jahre Veränderungen in der Fischfauna zur Folge haben können. Der Bodensee-Obersee und in ähnlicher Weise auch der Bodensee-Untersee wurden in den letzten Jahren infolge von Maßnahmen der Gewässerreinigung wieder zu nährstoffarmen Seen. Der Phosphorgehalt des Bodensees, der Ende der 1970er und Anfang der 1980er Jahre noch über 80 mg pro Kubikmeter Wasser betrug, pendelt sich inzwischen auf rund 6–8 mg ein. In solchen Seen werden üblicherweise kaum größere Mengen von Karpfen erwartet.

Der im Jahr 2003 entstandene, überraschend starke Karpfenjahrgang ist daher ganz offensichtlich eine Folge der besonders warmen Bedingungen im Sommer dieses Jahres. Speziell im Bodensee ist eine frühe und andauernde Erwärmung des Wassers in der Laichzeit der Karpfen und der sich daran anschließenden Entwicklungszeit der Karpfenlarven selten. In den meisten Jahren folgt auf eine warme Periode im Frühsommer eine kühlere Phase, die mit einer Abkühlung des Sees einhergeht. Solche Bedingungen sind für ein Aufkommen von Jungkarpfen nicht förderlich. Aufgrund der günstigen Bedingungen im Jahr 2003 kam es in den nachfolgenden Jahren zu den höchsten Karpfenerträgen, die seit Bestehen der Berufsfischereistatistik am Bodensee erzielt wurden. Zwischen 1970 und 2003 pendelten die Karpfen-Fangerträge um 800 kg pro Jahr, 2007 wurden mehr als 17.000 kg gefangen. Nach 2009 haben die Fangerträge auf ein deutlich höheres Niveau von etwa 4.000 kg eingependelt und steigen nach den warmen Jahren 2014 und 2015 wieder an. Über die längerfristigen Auswirkungen, insbesondere auch des warmen Jahres 2018 sind noch keine Aussagen möglich.



Fischarten wie der Karpfen sind unter wärmeren Bedingungen konkurrenzfähiger.  
(Foto: © Vladimir Wrangel / stock.adobe.com)

## Schnittstellen

FI-I-1: Verbreitung warmadaptierter mariner Arten  
WW-I-5: Wassertemperaturen stehender Gewässer



© mintra / stock.adobe.com

# Boden

Böden erfüllen vielfältige Aufgaben für den Naturhaushalt, die der Mensch direkt oder indirekt in Anspruch nimmt. Bodeneigenschaften wie der Humusgehalt und die Bodenstruktur sind neben dem Klima entscheidend für die Fruchtbarkeit eines Bodens. Fruchtbare Böden sind Produktionsgrundlage für die Landwirtschaft und Grundlage für die Erzeugung gesunder Lebensmittel. „Ärmere“ Böden sind häufig Standort von besonderen Lebensräumen, die Heimat für seltene Pflanzen und Tiere bieten. Auch im Wasserhaushalt der Landschaft spielen Böden eine wichtige Rolle. Sie speichern und filtern Wasser in beträchtlichem Umfang. Damit bilden sie einen natürlichen Puffer gegen Hochwassergefahren und versorgen uns mit sauberem Grundwasser. Die Bodenfunktionen sind seit 1999 durch das Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) gesetzlich geschützt.

Das Klima beeinflusst viele Bodenprozesse und damit auch die Bodenbildung, die Bodeneigenschaften und Bodenfunktionen. Bodenprozesse wie die Verwitterung, Mineralneubildung, Zersetzung, Humus- und Gefügebildung vollziehen sich in großen Zeiträumen und sind stark von der Temperatur und der Wasserverfügbarkeit abhängig.

So vielfältig die Böden sind, so vielfältig sind die Auswirkungen des Klimawandels. Den flächenmäßig größten direkten Eingriff in die natürlichen Bodenstrukturen stellt die landwirtschaftliche Nutzung dar, denn mehr als die Hälfte der Fläche Deutschlands wird landwirtschaftlich genutzt. Sie ist so nachhaltig und ressourcenschonend wie möglich zu gestalten, um die naturgegebene Widerstandskraft der Böden gegenüber den nachteiligen Auswirkungen des Klimawandels wie sommerliche Austrocknung, winterliche Staunässe sowie Bodenabtrag durch Wasser und Wind zu erhalten bzw. zu fördern.

Damit Böden ihre wichtigen Funktionen im Naturhaushalt erfüllen können, müssen sie vor Überbauung und Versiegelung geschützt werden.

## Auswirkungen des Klimawandels

Bodenwasserversorgung – es kann zu Engpässen kommen (BO-I-1) .....	82
Bodenabtrag durch Wasser und Wind – empfindliche Verluste (BO-I-2) .....	84

## Anpassungen

Humus stärkt Widerstandskraft der Böden (BO-R-1) ....	86
Grünlanderhaltung – wichtig für den Bodenschutz (BO-R-2) .....	88

## Bodenwasserversorgung – es kann zu Engpässen kommen

Niederschlag und Temperatur sind bedeutende Einflussfaktoren der Bodenbildung und beeinflussen unmittelbar den Wasser- und Stoffhaushalt des Bodens. Verändern sich mit dem Klimawandel die Niederschlags- und Temperaturverhältnisse, so wird dies Folgen für die Böden haben, und zwar unabhängig davon, ob es sich um land- oder forstwirtschaftlich genutzte Böden, um Böden in Städten oder um solche mit naturnaher Vegetation handelt. Eine Zunahme der Bodentemperatur hat Folgen für den Pflanzenbau (Keimung und Wachstum der Pflanzen), das Leben im Boden (Aktivität der unzähligen Bodenorganismen) und die Bodenstruktur. Bodenentwicklungsprozesse wie Verwitterung, Zersetzung und Humifizierung werden beschleunigt. Ein Anstieg der Bodenatmung kann zu einer zusätzlichen CO<sub>2</sub>-Freisetzung aus den Böden und damit zu einer positiven Rückkopplung bei der Erderwärmung führen.

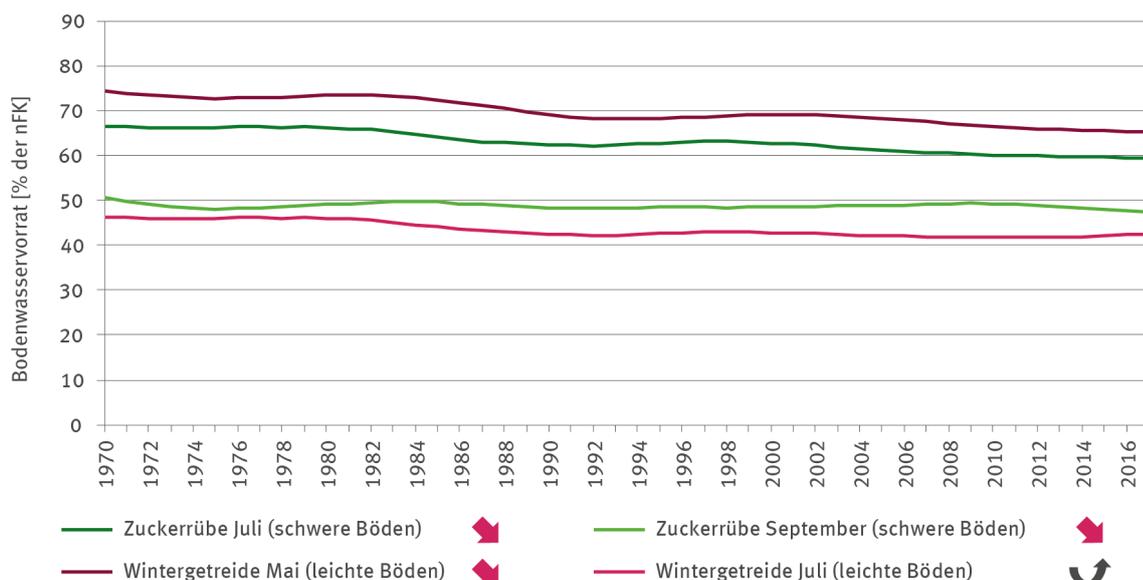
In Abhängigkeit von den Bodeneigenschaften wird erwartet, dass Sickerwassermengen im Sommer durch höhere Verdunstung ab- und im Winter durch mehr Niederschlag zunehmen werden. Dies hat einerseits Folgen für die

Grundwasserneubildung. Zum anderen entscheidet die Höhe der Sickerwassermenge über die Verlagerung von Stoffen wie beispielsweise Nitrat im Boden. Hohe Niederschläge im Winter, die vor allem bei landwirtschaftlicher Nutzung auf nur gering mit Vegetation bedeckte Böden treffen, können zu vermehrten Stoffausträgen führen. Trocknen vor allem tonhaltige Böden in den Sommermonaten stärker aus, verhärtet sich die Bodenoberfläche, und Niederschlagswasser kann nur noch schwer einsickern. Vermehrter Oberflächenabfluss erhöht dann das Erosionsrisiko.

Für das Pflanzenwachstum ist die Wasserverfügbarkeit im Boden eine hoch relevante Einflussgröße. Wenn in den Frühjahrs- und Sommermonaten Perioden mit hohen Temperaturen und geringen Niederschlägen mit einem erhöhten Wasserbedarf der Vegetation zusammenfallen, kann das pflanzenverfügbare Bodenwasser rasch ausgeschöpft sein, und es kann zu Trockenstress kommen. Für einjährige Pflanzen, die wie viele landwirtschaftliche Kulturpflanzen (vor allem Getreidearten) überwiegend in den Monaten April bis Juni ihre Blüten anlegen und dann besonders

### BO-I-1: Bodenwasservorrat in landwirtschaftlich genutzten Böden

Ein ausreichender Bodenwasservorrat ist eine entscheidende Einflussgröße für die Pflanzenentwicklung. Bei landwirtschaftlichen Kulturen können sowohl Unter- als auch Übersättigung in kritischen Entwicklungsphasen die Erträge negativ beeinflussen. Sowohl auf leichten als auch auf schweren Böden haben in den letzten knapp 50 Jahren die Bodenwasservorräte während der Vegetationsperiode mit signifikantem Trend abgenommen.



Datenquelle: DWD (Deutscher Klimaatlas - Landwirtschaft)

starkes Wachstum zeigen, sind Einschränkungen der Wasserversorgung in dieser Phase besonders kritisch. Aber auch die natürliche Vegetation z. B. in Feuchtgebieten kann durch unzureichende Bodenwasserfügbarkeit geschädigt werden. Besonders gefährdet sind sandige Böden, die nur in begrenztem Umfang Wasser aus den Winter- und Frühjahrsniederschlägen speichern können. Später in der Vegetationsperiode erschöpfen sich dann oftmals die Wasservorräte. Trockene Böden sind auch im städtischen Bereich in ihren Funktionen eingeschränkt. Der sommerliche Wärmeinseleffekt in Städten kann verstärkt werden, wenn ausgetrocknete Böden keine kühlende Wirkung mehr entfalten können.

Der DWD modelliert die Bodenwassergehalte. Ausgehend von den meteorologischen Verhältnissen (Daten des bundesweiten Stationsmessnetzes) und des Entwicklungszustands der Pflanzen wird die aktuelle Verdunstung ausgewählter landwirtschaftlicher Kulturen berechnet und diese Wassermenge dem Boden rechnerisch entzogen.

Die Bodenfeuchte wird als Prozentanteil der nutzbaren Feldkapazität (nFK) angegeben und kennzeichnet so den Wasservorrat eines Bodens, der von den Pflanzen genutzt werden kann. In Abhängigkeit von den Bodeneigenschaften ist die nutzbare Feldkapazität unterschiedlich hoch. Durch Angabe der Bodenfeuchte in % nFK können verschiedene Böden miteinander verglichen werden. Sinkt die Wassersättigung aufgrund geringer Niederschläge unter einen Wert von 50% nFK, muss bei vielen Pflanzenarten bereits mit Wasserstress gerechnet werden. Werte über 100% nFK bedeuten, dass die Böden mit Wasser gesättigt sind und Versickerung in tiefere Schichten erfolgt.

Bundesweite Mittelwertbetrachtungen sind zwar mit Vorsicht zu interpretieren, denn Bodeneigenschaften und Niederschlagsverhältnisse sind regional und lokal sehr unterschiedlich. Dennoch erlauben sie Rückschlüsse auf längerfristige Entwicklungstrends. Betrachtet man beispielsweise für leichte Böden mit hohen Sandanteilen, die mit Wintergetreide kultiviert werden, den Bodenwasservorrat in den Monaten Mai und Juli, so wird deutlich, dass es während der letzten rund 40 Jahre im bundesdeutschen Mittel einen rückläufigen Trend gab. Für das Wintergetreide liegt der Mai mitten in der Aufwuchsphase, in der der Wasserbedarf besonders hoch und damit eine ausreichende Wasserversorgung für die Pflanzenentwicklung entscheidend ist. Im Juli dagegen ist eine schlechtere Wasserversorgung weniger gravierend, denn dann vollzieht sich der Abreifungsprozess des Getreides. Zu hohe Wassergehalte können in dieser Phase die Erträge sogar nachteilig beeinflussen, z. B. weil die Befahrbarkeit bei der Ernte durch zu hohe Wassergehalte eingeschränkt sein kann.



Trockene Böden beeinträchtigen das Wachstum von Kultur- und Wildpflanzen. (Foto: © Maurizio Targhetta / stock.adobe.com)

Trends zu niedrigeren Bodenwasservorräten zeigen teilweise auch die Beobachtungen auf den schweren, d. h. ton- und lehmhaltigen Böden. Analysiert man für diese Böden beispielhaft die Bedingungen für die Zuckerrübe (stellvertretend für die Hackfrüchte), so ergeben sich auch hier für den Juli, als mittleren Zeitpunkt der ertragsbestimmenden Aufwuchsphase, rückläufige Werte. Auch für den September zeigt sich ein Trend zu niedrigeren Werten. Dies kann sich nachteilig auswirken, weil die Zuckerrübe auf ausreichende Wasserversorgung angewiesen ist, um auch noch kurz vor der Ernte Biomasse zuzulegen.

Auch wenn die Bodenwasserversorgung primär durch die Niederschlagsverhältnisse bestimmt ist, haben Landwirtinnen und Landwirte grundsätzlich die Möglichkeit, auf niedrigere Wassergehalte der Böden während kritischer Phasen der Pflanzenentwicklung zu reagieren. Hierzu gehören der Anbau weniger wasserbedürftiger Kulturen und Sorten, eine angepasste Bodenbearbeitung wie beispielsweise die pfluglose Bewirtschaftung oder die Bewässerung.

## Schnittstellen

BO-I-2: Regenerosivität  
 LW-I-2: Ertragsschwankungen  
 LW-R-3: Anpassung des Sortenspektrums  
 LW-R-6: Landwirtschaftliche Beregnung

## Ziele

Schutz der Bodenfunktionen (DAS, Kap. 3.2.4)

## Bodenabtrag durch Wasser und Wind – empfindliche Verluste

Böden sind das Resultat jahrtausendelanger Entwicklungsprozesse. Es dauert mindestens hundert Jahre, bis bei entsprechendem Pflanzenaufwuchs aus der Verwitterung von Gestein eine ein Zentimeter mächtige, humose Bodenschicht entsteht. Der Verlust von Boden durch Überbauung oder Bodenabtrag ist daher ein schwerwiegender Schaden, der nur in Grenzen wieder rückgängig zu machen ist.

Die Bodenerosion durch Wasser gehört zu den intensiv diskutierten Folgen des Klimawandels auf die Böden. Als Ursachen gelten u. a. häufige und ausgeprägte erosionswirksame Starkregenereignisse sowie eine Zunahme der Sommertrockenheit und der Winterniederschläge.

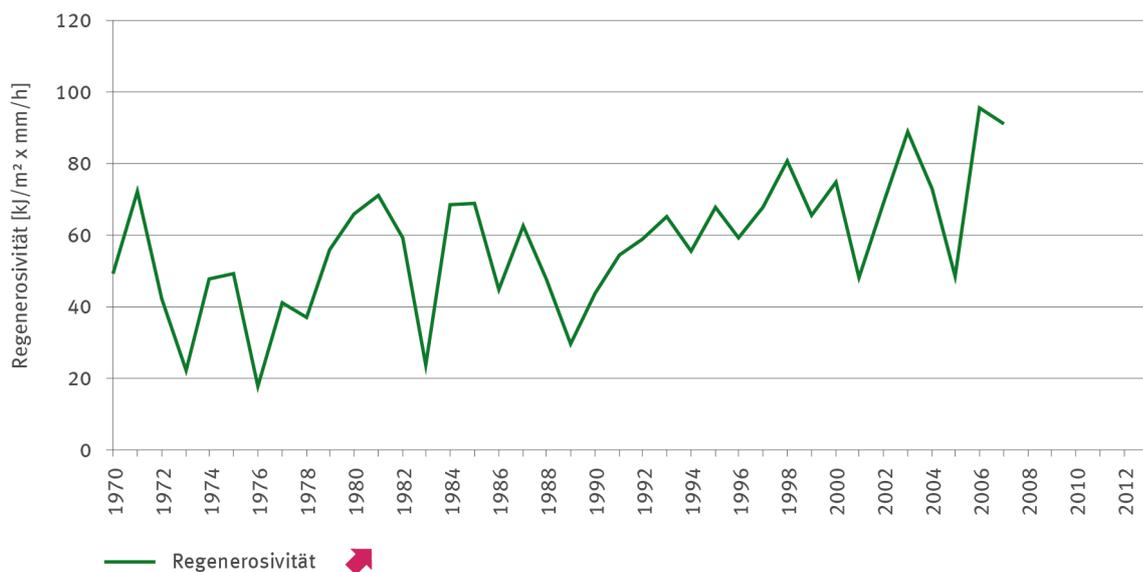
Wenn Letztere nicht als Schnee fallen und bei landwirtschaftlich genutzten Böden i. d. R. auf eine höchstens lückenhafte Vegetationsdecke treffen, können sie zu erheblichen Bodenabträgen führen. Mit dem Klimawandel und der damit verbundenen Temperaturerhöhung werden sich außerdem die Entwicklungsphasen der Pflanzen, auch der landwirtschaftlicher Kulturpflanzen, verschieben. Die daraus resultierenden Veränderungen der

Bodenbedeckung werden voraussichtlich das Erosionsrisiko erhöhen. In jedem Falle werden trockenheitsbedingte Lücken in der Vegetation und ausgetrocknete Bodenoberflächen erosionsfördernde Effekte haben. Vor allem in den nördlichen küstennahen Bundesländern spielt auf den vorwiegend sandigen Böden auch Wind als Erosionsursache eine Rolle. Mit zunehmender Frühjahrs- und Sommertrockenheit wird das Risiko von Winderosion steigen.

Bodenerosion bedeutet in erster Linie eine Verringerung der Bodenmächtigkeit und einen Verlust des besonders nährstoff- und humusreichen Oberbodens. Abgetragenes Bodenmaterial wird in der Fläche verlagert und kann in benachbarte Gewässer eingetragen werden. Dort führen die diffusen Stoffeinträge, vor allem von Phosphor, zu einer nicht erwünschten Gewässereutrophierung. Diese Prozesse können Bemühungen zur Verbesserung des Gewässerzustands zuwiderlaufen. Bodenerosion ist meist ein wenig sichtbarer und schleichender Prozess und führt zu einer Beeinträchtigung wichtiger Bodenfunktionen. Durch Bodenerosion können Böden, deren Bildung mehrere Jahrhunderte gedauert hat, innerhalb kurzer Zeit verloren gehen.

### BO-I-2: Regenerosivität – Fallstudie

Hohe Niederschlagsintensitäten erhöhen das Bodenabtragsrisiko. In Nordrhein-Westfalen ist die sommerliche Regenerosivität seit den 1970er Jahren signifikant angestiegen. Für Standorte mit empfindlichen Böden und großer Hangneigung bedeutet dies, dass vor allem bei der landwirtschaftlichen Bodennutzung gezielte Maßnahmen zum Erosionsschutz ergriffen werden müssen.



Datenquelle: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW (Klimafolgenmonitoring Nordrhein-Westfalen)

Ein flächendeckendes Erosions-Monitoring gibt es in Deutschland bislang nicht. Das Bodenerosionsmonitoring, das auf vorhandenen Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF) in einzelnen Bundesländern durchgeführt wird, ist das einzige länderübergreifende Messnetz zur langfristigen Erfassung der Bodenerosion in Deutschland. Vorgehensweise und Intensität sind dabei nicht einheitlich. Trotz des Fehlens repräsentativer Monitoringdaten können auf Bundesebene Gefährdungspotenziale abgeleitet werden.

Die wesentlichen Einflussfaktoren für die Höhe des Bodenabtrags durch Wasser sind Niederschlag, Gelände­neigung, Bodeneigenschaften sowie Bodenbedeckungsgrad und Bodennutzung. Letztere beinhaltet die Art der Bodenbearbeitung, die in Verbindung mit der Bestellrichtung maßgeblich von der Flurgestaltung beeinflusst wird. Der Bodenbedeckungsgrad kann bei Dauerkulturen (z. B. Wein) aber auch in einjährigen Kulturen durch Untersaaten zur Erosionsminderung erhöht werden. Als landwirtschaftliche Kulturarten mit besonders hohem Bodenabtragspotenzial gelten u. a. Kartoffel, Mais, Zuckerrübe und Winterweizen sowie viele Sonderkulturen und Wein im Steillagenanbau. Unter allen beschriebenen Wechselwirkungen zwischen Klimawandel und Bodenerosion durch Wasser ist die Veränderung der Niederschlagsintensität diejenige Größe, die am unmittelbarsten das Erosionsrisiko beeinflussen wird. Bei allen anderen Einflussfaktoren wie beispielsweise der Bodenbedeckung gibt es deutlich größere Unsicherheiten bei der Abschätzung der Klimawandelfolgen.

Für Nordrhein-Westfalen wurde anhand zeitlich hoch aufgelöster Niederschlagsdaten die Entwicklung der niederschlagsbedingten Erosivität ermittelt. Die Zeitreihe zeigt seit Mitte der 1970er Jahre einen signifikanten Trend hin zu einer höheren Regenerosivität. Damit steigt das Risiko eines zunehmenden Bodenabtrags. Die Aktualisierung der Daten ist derzeit noch nicht möglich. Der Bund und mehrere Länder arbeiten an dem Thema, sodass perspektivisch im nächsten Monitoringbericht ein methodisch deutlich verbesserter Indikator berichtet werden kann.

Die möglichen Maßnahmen zur Verhinderung von Erosion sind vor allem für Ackerflächen vielfältig. Sie reichen von einer standortangepassten Fruchtfolge, die für eine kontinuierliche Bodenbedeckung über das Jahr hinweg sorgt, über Untersaaten und den Einsatz von Mulchmaterialien bis hin zu der Anpassung der Bewirtschaftungsrichtung und einer dauerhaft pfluglosen, konservierenden Bodenbearbeitung, um das natürliche Bodengefüge zu erhalten und eine möglichst hohe Bedeckung mit schützenden Pflanzenresten zu erzielen.



Zunehmende Niederschlagsintensitäten erhöhen das Risiko von Bodenabtrag. (Foto: © murasal / stock.adobe.com)

Die vorliegenden Daten und Ergebnisse zeigen, dass der Klimawandel erhebliche Folgen auf die Bodenerosion hat. Die Bewertung einer klimabedingten Veränderung der Bodenerosion anhand repräsentativer Messdaten erfordert eine deutliche Verdichtung des bestehenden Messnetzes mit kontinuierlichen und standardisierten Messungen, wobei der Fokus auf den besonders gefährdeten, klimavulnerablen Naturräumen liegen muss. Wichtige fachliche Ansätze ergeben sich aus den laufenden Aktivitäten zur Konzeption und Umsetzung eines Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds.

## Schnittstellen

BO-I-1: Bodenwasservorrat in landwirtschaftlich genutzten Böden

BO-R-2: Dauergrünlandfläche

## Ziele

Schutz der ökologischen Leistungsfähigkeit der Böden durch Verringerung bzw. Vermeidung der Bodenerosion und der Bodenverdichtung sowie durch die Erhaltung der organischen Substanz (DAS, Kap. 3.2.4)

Möglichst Vermeidung von Bodenabträgen durch eine standortangepasste Nutzung, insbesondere durch Berücksichtigung der Hangneigung, der Wasser- und Windverhältnisse sowie der Bodenbedeckung (BBodSchG, § 17 (2) 4)

Kontinuierliche Rückführung der Bodenerosion bis 2020 (NBS, Kap. B 2.5)

## Humus stärkt Widerstandskraft der Böden

Böden sind in vielfältiger Weise vom Klimawandel betroffen. Nur gesunde, belebte und widerstandsfähige Böden können den Gefahren von Austrocknung und Erosion durch Wind und Wasser standhalten und auch weiterhin ihre vielfältigen positiven Funktionen für den Wasser- und Stoffhaushalt einer Landschaft wahrnehmen.

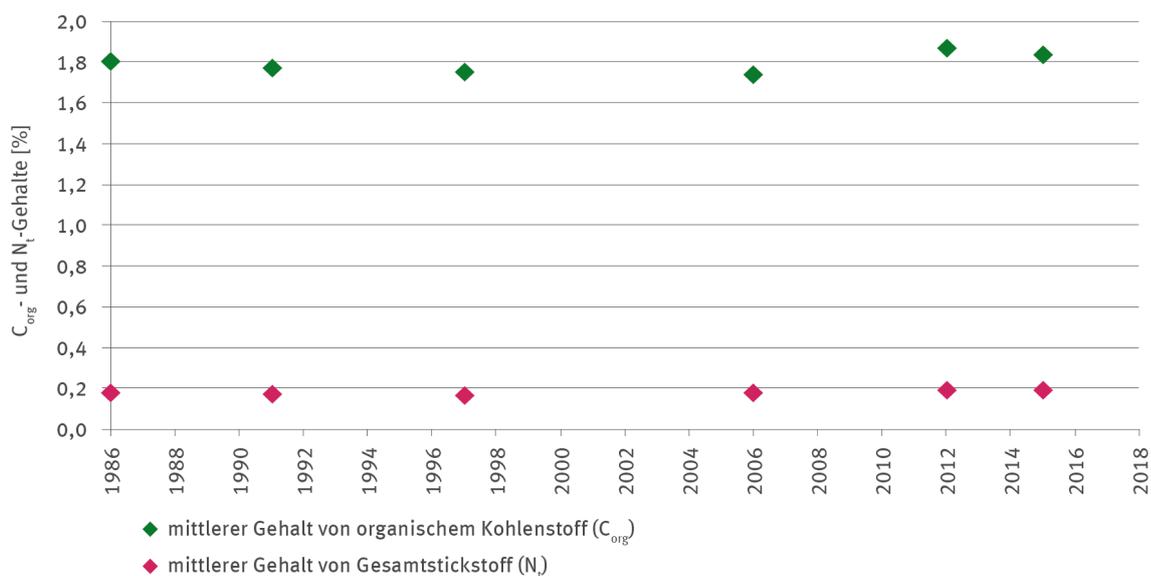
Eine herausragende Rolle für die Widerstandsfähigkeit eines Bodens spielt der Humus, denn er beeinflusst in komplexer Weise nahezu alle Bodeneigenschaften und -funktionen. Humus ist die Gesamtheit der organischen Substanz im Boden, die sich aus allen in und auf dem Boden befindlichen abgestorbenen pflanzlichen und tierischen Stoffen sowie deren organischen Umwandlungsprodukten zusammensetzt. Humus ist wichtiges Speichermedium für Nährstoffe und Wasser. Er sorgt für ein günstiges Bodengefüge, was den Luft und Wasserhaushalt des Bodens positiv beeinflusst. Außerdem reduziert Humus die sommerliche Austrocknung, fördert die Aktivität der Bodenorganismen und die Entwicklung einer stabilen Bodenstruktur. Letztere schützt wirksam vor Bodenverdichtungen und Bodenerosion.

Standortangepasste Humusgehalte zu erhalten und gegebenenfalls auch Humus zu mehren, ist daher eine wichtige Anpassungsmaßnahme zur Gesunderhaltung der Böden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der Klimawandel unmittelbar Einfluss auf den Humus in Böden hat. Höhere Temperaturen können Mineralisationsprozesse im Boden und folglich auch den Abbau der organischen Substanz beschleunigen. Gleichzeitig kann der Klimawandel aber auch humusmehrende Effekte haben, indem beispielsweise Pflanzen durch höhere Temperaturen mehr Biomasse bilden und dadurch auch mehr Material für die Umwandlung in organische Bodensubstanz zur Verfügung steht. Noch komplexer werden die Zusammenhänge bei zusätzlicher Betrachtung der Niederschlagsverhältnisse, denn für den Humusabbau und für die Humusbildung ist in ausreichendem Umfang, aber eben auch nicht zu viel Wasser erforderlich.

Aufgrund dieser komplexen Zusammenhänge zwischen Klimawandel und Humusbildung oder -abbau sind gegenwärtig keine gesicherten Aussagen über die Veränderungen der Gehalte und Vorräte an organischer

### BO-R-1: Humusgehalte von Ackerböden – Fallstudie

Die Humusgehalte auf landwirtschaftlich genutzten Bodendauerbeobachtungsflächen in Bayern haben sich im Durchschnitt seit Mitte der 1980er Jahren nicht relevant verändert. In Abhängigkeit vom Standort und der Nutzung können die Entwicklungen allerdings sehr unterschiedlich verlaufen.



Datenquelle: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (Auswertungen von Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Bayern)

Substanz möglich. Änderungen der Bodennutzung wie z. B. Grünlandumbruch zu Ackerland haben zudem viel stärkere Effekte auf den Humusgehalt als die langfristigen Klimaänderungen.

Die Gehalte an organischer Substanz in Böden werden im Wesentlichen von den standorttypischen Gegebenheiten (Bodenart, Grundwasserstufen etc.) bestimmt und lassen sich daher nicht pauschal durch Zugabe von organischen Materialien erhöhen. Wirksame Steuerungsinstrumente sind hingegen veränderte Nutzungspraktiken. Auf landwirtschaftlichen Böden dienen beispielsweise Grünlandnutzung, Stallmistwirtschaft, Zwischenfruchtanbau oder das Belassen von Ernte- und Wurzelrückständen der Pflege und Akkumulation von Humus. Viele Trends, die sich derzeit mit der Intensivierung der Landwirtschaft vollziehen, laufen der Stabilisierung oder gar Mehrung der Humusgehalte allerdings entgegen. Im Wald sind die Baumartenzusammensetzung und der Umfang der Holzernterückstände entscheidende Faktoren für die Humusbildung.

Regelmäßige Erhebungen zu den Humusgehalten in Böden führen die Länder im bundesweiten Netz der Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF) durch. Das Thünen-Institut hat eine bundesweit einheitliche Bodenzustandserhebung landwirtschaftlich genutzter Böden (BZE-Landwirtschaft) an über 3.000 Punkten eingerichtet. Die bundesweiten Auswertungen von 171 landwirtschaftlichen BDF ergab an insgesamt 39 BDF statistisch signifikante Humus-Veränderungen. Wesentliche Humus-Veränderungen wurden durch das Humus-Ausgangsniveau der Flächen gesteuert<sup>21</sup>.

Der Einfluss längerfristiger Klimaänderungen auf die Humus-Entwicklung kann nicht ausgeschlossen werden und ist noch weiter zu untersuchen. Ergebnisse aus Bayern zeigen, dass die mittleren Gehalte der wichtigsten Humusbestandteile organischer Kohlenstoff ( $C_{org}$ ) und Gesamtstickstoff ( $N_{tot}$ ) in Bodentiefen von 0 bis 15 cm über die vergangenen Jahre nahezu gleich geblieben sind. Grund ist, dass sich Veränderungen der Humusgehalte, vor allem Humusmehrungen, nur sehr langsam vollziehen, und es Messungenauigkeiten gibt. In Abhängigkeit von der Nutzung der beobachteten Flächen unterscheiden sich die Entwicklungen: In Bayern gingen auf den ackerbaulich genutzten Beobachtungsflächen mit hohem Mais- und Hackfruchtanteil und niedrigem Getreide-, Raps- und Futterleguminosen-Anteil in der Fruchtfolge die Humusgehalte seit Ende der 1980er Jahre signifikant zurück<sup>22</sup>.

Schwierig ist auch eine eindeutige Bewertung der Ergebnisse, denn welche Humusgehalte optimal sind, bedarf einer standortdifferenzierten Festlegung. Wichtige Grundlagen für die Ableitung standorttypischer



Zwischenfrüchte sorgen für eine kontinuierliche Bodenbedeckung und fördern den Humusaufbau.  
(Foto: © Burkhard / stock.adobe.com)

Humusgehalten kann die BZE-Landwirtschaft liefern<sup>23</sup>. Sie stellt bundesweite Daten zum  $C_{org}$  von landwirtschaftlichen Böden bereit und soll in zehn Jahren wiederholt werden, um Veränderungen des Humusvorrats in Mineralböden in Abhängigkeit des Standorts und der Bewirtschaftung deutschlandweit bewerten zu können.

## Schnittstellen

FW-R-5: Humusvorrat in forstlichen Böden  
BO-R-2: Dauergrünlandfläche

## Ziele

Erhaltung des standorttypischen Humusgehalts des Bodens insbesondere durch eine ausreichende Zufuhr an organischer Substanz oder durch Reduzierung der Bearbeitungsintensität (BBodSchG, § 17 (2) 7)

Standortangepasste Bewirtschaftung und Gewährleistung der nachhaltigen Bodenfruchtbarkeit und langfristigen Nutzbarkeit der Flächen (BNatSchG, § 5 (2) 1)

Schutz der ökologischen Leistungsfähigkeit der Böden durch [...] Erhaltung der organischen Substanz, Intensivierung des Bodenschutzes im Hinblick auf die Gefahren [...] des Rückgangs der Humusgehalte, Umsetzung standortangepasster Landnutzungsstrategien zur Verringerung negativer Effekte durch Veränderungen in der Boden- und Humusbildung und damit der C-Sequestrierung (DAS, Kap. 3.2.4)

## Grünlanderhaltung – wichtig für den Bodenschutz

Dauergrünland ist eine landwirtschaftliche Nutzungsform, die aufgrund der permanenten Bodenbedeckung, der Humusanreicherung und der Artenvielfalt vor allem im Vergleich zur Ackernutzung viele günstige ökologische Wirkungen entfaltet und die Böden gegenüber den projizierten nachteiligen Folgen des Klimawandels vergleichsweise gut schützt. Sowohl die Gefahren einer Austrocknung als auch eines Bodenabtrags durch Wasser und Wind sind für Böden unter Grünland deutlich reduziert. Bei Starkniederschlägen kann das Niederschlagswasser in ständig bewachsene Grünlandböden besser eindringen. Dauergrünland zu erhalten oder auch auszuweiten, ist aus diesem Grunde insbesondere in empfindlichen Lagen wie landwirtschaftlich genutzten Hangbereichen oder Überschwemmungsgebieten eine geeignete Maßnahme zum Schutz des Bodens auch unter veränderten Klimabedingungen.

Der Verlust bzw. Umbruch von Grünland ist auch aus Gründen des Klimaschutzes sehr kritisch zu bewerten. Durch Grünlandumbruch wird ein erheblicher Teil des im Boden gespeicherten Kohlenstoffs in Form von

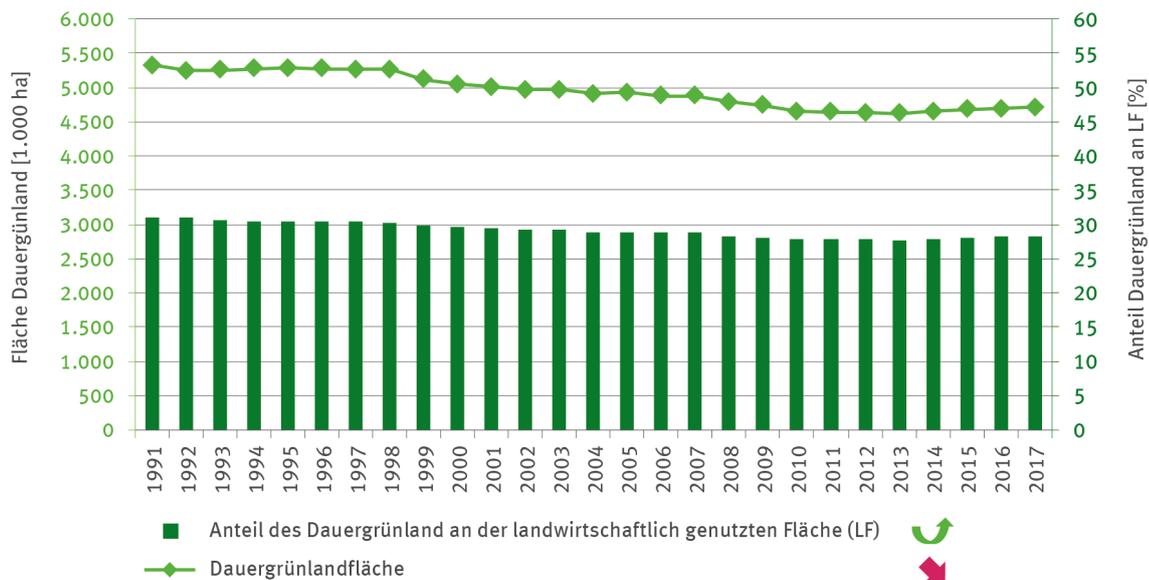
Treibhausgasen in die Atmosphäre freigesetzt. Dies gilt in besonderer Weise für Grünland auf organischen Böden, die besonders hohe Anteile organischer Substanz aufweisen. Die Erhaltung des Grünlands ist daher auch aus Klimaschutzsicht eine Maßnahme von hoher Relevanz. Außerdem hat Grünland große Bedeutung für den Artenschutz, die Erhaltung der biologischen Vielfalt sowie den Boden- und Gewässerschutz.

Die Grünlandfläche in Deutschland hat sich zwischen 1991 und 2013 verringert und steigt seit 2014 leicht an. Der bundesweite Rückgang der Grünlandfläche hat sich dabei nahezu proportional entwickelt zum Rückgang der Landwirtschaftsfläche in Deutschland insgesamt. Seit 2014 nimmt auch der Anteil von Grünland an der Landwirtschaftsfläche wieder zu.

Die Daten zur Entwicklung der Dauergrünlandfläche lassen keine differenzierten Aussagen zur ökologischen Wertigkeit der verlorenen Grünlandflächen zu. Umgebrochen wurde Grünland grundsätzlich auf sämtlichen Grünlandstandorten, d. h. auch naturschutzfachlich

### BO-R-2: Dauergrünlandfläche

Die Erhaltung von Dauergrünland dient dem Schutz von landwirtschaftlich genutzten Böden gegenüber den nachteiligen Folgen des Klimawandels. Die Grünlandfläche unterlag zwischen 1991 und 2013 einem kontinuierlichen und signifikanten Rückgangstrend. Seit 2013 steigen die Flächen und der Anteil an der landwirtschaftlich genutzten Fläche sehr langsam an. Dies spiegelt sich für die Grünlandfläche noch nicht im Ergebnis der statistischen Trendanalyse.



Datenquelle: StBA (Bodennutzungshaupterhebung und Agrarstrukturerhebung)

und ökologisch besonders wertvolle und empfindliche Standorte der Halbtrockenrasen und Feuchtgrünländer waren betroffen. Der Umbruch auf nassen Böden und Moorböden ist dabei aus Klimaschutzsicht besonders bedenklich.

Seit 2015 ist das Dauergrünlanderhaltungsgebot im Rahmen des sogenannten „Greening“ in Kraft, mit dem positive Effekte für die Erhaltung der biologischen Vielfalt sowie den Wasser-, Klima- und Bodenschutz in der Agrarlandschaft erreicht werden sollen. Demnach ist eine Umwandlung von Dauergrünland in Ackerland grundsätzlich nur nach Genehmigung erlaubt und je nach Flächenlage und Alter des Dauergrünlands überwiegend nur noch möglich, wenn dafür an anderer Stelle neues Dauergrünland angelegt wird. In Gebieten, die nach der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH-Gebiete) ausgewiesen sind, gilt für Dauergrünland sogar ein striktes Umbruch- und Umwandlungsverbot. Neu angelegtes Grünland hat allerdings nicht dieselbe Bedeutung für den Klimaschutz oder die Artenvielfalt, da dies in der Regel artenarm ist<sup>24</sup>.



Grünlandnutzung kann die Böden vor vielen nachteiligen Folgen des Klimawandels vergleichsweise gut schützen  
(Foto: © goldbany / stock.adobe.com)

## Ziele

Förderung standortangepasster Landnutzungsstrategien (DAS, Kap. 3.2.4)

Unterlassen von Grünlandumbruch auf erosionsgefährdeten Hängen, in Überschwemmungsgebieten, auf Standorten mit hohem Grundwasserstand sowie auf Moorstandorten (BNatSchG, § 5 (2) 5)



© Image\*in / stock.adobe.com

# Landwirtschaft

Seit jeher reagieren Landwirtinnen und Landwirte auf sich verändernde Klima- und Witterungsbedingungen. Ihre Möglichkeiten, sich an den Klimawandel anzupassen, sind vergleichsweise breit gefächert. Vor allem bei einjährigen Kulturen lassen sich Anpassungsentscheidungen auch kurzfristig treffen. Anspruchsvoller ist es dagegen in Betrieben, die Dauerkulturen bewirtschaften oder in der Tierproduktion tätig sind, denn hier sind längerfristig wirksame Investitionsentscheidungen erforderlich.

Für die Landwirtschaft sind die möglichen Auswirkungen des Klimawandels differenziert zu beurteilen. Einerseits werden extrem trockene und heiße Witterungsperioden, Starkregenereignisse oder auch Hagelschläge nachteilige Folgen für die Produktion haben. Andererseits steigern ein moderater Temperaturanstieg und eine verlängerte Vegetationsperiode bei ausreichender Wasserversorgung das Ertragspotenzial. Außerdem können sich Bedingungen einstellen, die auch den Anbau von bisher nicht in unseren Breiten kultivierbaren Fruchtarten ermöglichen. Die Auswirkungen sind in Abhängigkeit der jeweiligen Anbauswerpunkte, der naturräumlichen Voraussetzungen und der sich tatsächlich vor Ort vollziehenden Klimaveränderungen regional sehr unterschiedlich. Daher sind bundesweite Durchschnittswerte stets mit Sorgfalt zu interpretieren.

Neben der Pflanzenproduktion ist auch die Tierproduktion vom Klimawandel betroffen. Zu rechnen ist unter anderem mit Einbußen in der Milch-, Eier- und Fleischerzeugung infolge von Hitzewellen, dürrebedingt mangelndem Grundfutteraufkommen und hitzebedingten Beeinträchtigungen der Tiergesundheit. Wenn Tiere unter Hitzestress geraten, kann es zu einer Abnahme der Fruchtbarkeit oder zu Beeinträchtigungen der Eutergesundheit kommen, und auch Tiere sind von Infektionskrankheiten betroffen, die von wärmeliebenden Krankheitserregern übertragen werden. Neue und wiederauftretende Infektionserreger können häufig auch zwischen Tier und Mensch übertragen werden. Die Gesundheit von Mensch, Tier und Umwelt sind miteinander verknüpft („One-Health-Konzept“). Bislang sind die hierfür erforderlichen Daten aber nicht bundesweit verfügbar.

## Auswirkungen des Klimawandels

Neue Herausforderungen durch veränderte jahreszeitliche Witterungsverläufe (LW-I-1) .....	92
Stärkere Ertragsschwankungen erhöhen das Produktionsrisiko (LW-I-2).....	94
Ertragsausfälle durch Extremwetterereignisse (LW-I-3).....	96
Erhöhter Druck durch Schadorganismen ist möglich (LW-I-4) .....	98

## Anpassungen

Anpassung der Bewirtschaftungsplanung (LW-R-1) ...	100
Perspektiven für neue Kulturpflanzenarten (LW-R-2)..	102
Anderes Klima – andere Sorten (LW-R-3, LW-R-4) .....	104
Differenzierte Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (LW-R-5) .....	106
Beregnung wird lukrativer (LW-R-6) .....	108

## Neue Herausforderungen durch veränderte jahreszeitliche Witterungsverläufe

Die landwirtschaftliche Nutzung ist wie kaum eine andere Nutzung in die natürlichen jahreszeitlichen Rhythmen eingebunden. Die Landwirtinnen und Landwirte müssen mit der Bewirtschaftung der jeweiligen Kulturen auf die jährlich wechselnden Witterungsbedingungen und die jeweils aktuellen Wetterverhältnisse reagieren. Witterungsveränderungen können sich sowohl positiv als auch negativ auf die Kulturen auswirken. So fördern höhere Wärmesummen bei ausreichender Wasserversorgung das Wachstum bestimmter Kulturarten. Zu hohe Temperaturen oder Trockenheit wiederum können Ertrags- oder Qualitätseinbußen beispielsweise durch ein zu frühes Abreifen von Getreide zur Folge haben.

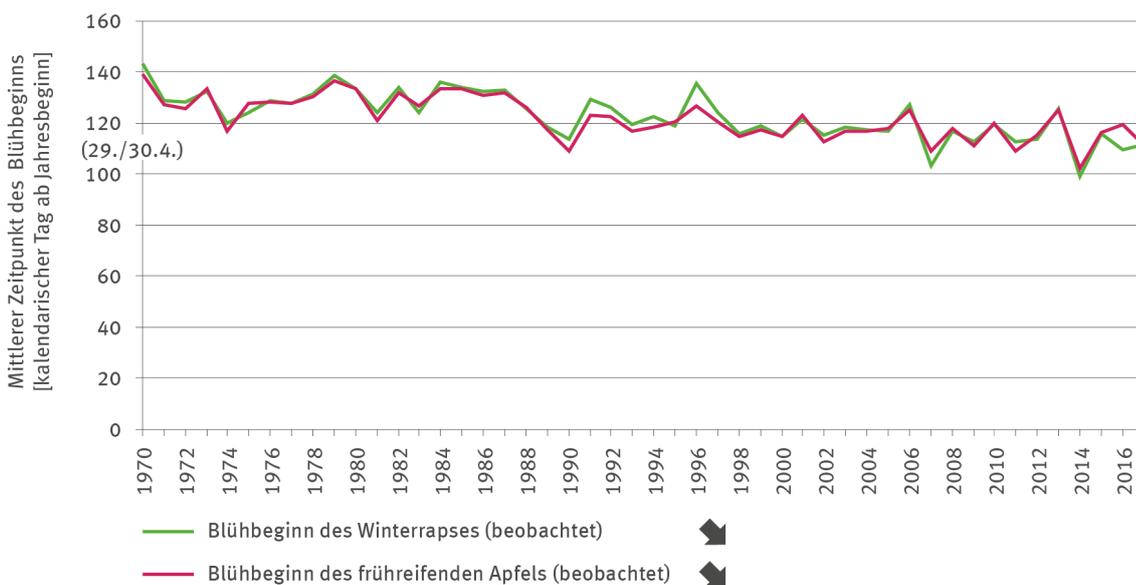
Der Klimawandel hat Auswirkungen auf den jahreszeitlichen Witterungsverlauf und dies wiederum beeinflusst den jahreszeitlichen Entwicklungsgang landwirtschaftlicher Kulturen. Für das Frühjahr werden steigende Temperaturen erwartet, die Sommer sollen trockener und heißer, die Winter wärmer und feuchter werden.

Vereinfachte Rückschlüsse auf die Höhe, Qualität und Stabilität von Erträgen lassen sich daraus nicht ziehen, denn je nach landwirtschaftlicher Kultur und Fruchtfolge können die Auswirkungen der klimatischen Veränderungen unterschiedlich sein. Vor allem gibt es auch große regionale Unterschiede.

Die Veränderung natürlicher jahreszeitlicher Rhythmen und die damit verbundenen zeitlichen Verschiebungen in der Entwicklung von Pflanzen werden seit vielen Jahren anhand sogenannter phänologischer Beobachtungen dokumentiert. Erfasst wird dabei bundesweit das Eintreten bestimmter periodisch wiederkehrender biologischer Erscheinungen wie Blatt- und Knospenaustrieb, Blüte, Fruchtreife oder Blattfall. Das phänologische Beobachtungsnetz des DWD schließt neben Wildpflanzen auch landwirtschaftliche Kulturen und Bewirtschaftungsgänge ein und gibt damit Hinweise auf die Folgen für die landwirtschaftliche Bewirtschaftung, denn aus den Veränderungen der jahreszeitlichen Witterungsverläufe ergeben

### LW-I-1: Verschiebung agrarphänologischer Phasen

Veränderungen des jahreszeitlichen Witterungsverlaufs bringen neue Herausforderungen für die landwirtschaftliche Bewirtschaftungsplanung. Apfel und Winterraps blühen aufgrund der höheren Wärmesummen im Frühjahr immer früher.



Datenquelle: DWD (Phänologisches Beobachtungsnetz)

sich neue Herausforderungen für die Landwirtinnen und Landwirte. Sie müssen die Wahl der Fruchtart und -sorte, die Fruchtfolgen und die Terminierung der Bewirtschaftungsgänge auf die neuen Verhältnisse abstimmen.

Der Beginn der Blüte von Apfel und Winterraps markiert in Deutschland den Frühlingsbeginn. Beide Blühzeitpunkte sind unabhängig von vorherigen Einflüssen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung wie beispielsweise dem Zeitpunkt der Aussaat. Äpfel sind Dauerkulturen, und der Winterraps wird bereits im Vorjahr, spätestens Anfang September, gesät. Der Blühzeitpunkt steht daher in unmittelbarem Zusammenhang mit klimatischen Faktoren, vor allem den Wärmesummen, die in den ersten Monaten des neuen Jahres erzielt werden.

Je nach Witterungsverlauf schwanken die Zeitpunkte des Blühbeginns von Apfel und Winterraps von Jahr zu Jahr teilweise erheblich. Die Unterschiede zwischen den Jahren können bis zu drei Wochen betragen. Über die letzten mehr als vierzig Jahre betrachtet, zeigt sich aber bei beiden Kulturen ein signifikanter Trend zu einem früheren Blühbeginn. Im Vergleich zu den 1970er Jahren blühen heute Apfel und Winterraps rund zwanzig Tage früher. Im Obstbau kann die frühe Blüte das Risiko von Spätfrostschäden erhöhen. Vielerorts reagieren die Obstbäuerinnen und -bauern bereits auf diese Entwicklung und führen vermehrt Frostschutzberegnungen durch, bei denen die Pflanzen gezielt mit sehr feinen Wassertröpfchen besprüht werden. Beim Gefrieren des Wassers wird Kristallisationswärme freigesetzt, die Blätter und Blüten vor Frostschäden schützt.

Beim Winterraps dagegen kann die frühe Blüte mit Vorteilen für das Schaderregermanagement und die Fruchtfolge verbunden sein. Landwirtinnen und Landwirte bevorzugen aus diesem Grunde auch zunehmend frühblühende Winterrapsorten. Da bei den phänologischen Beobachtungen aber die jeweilige Sorte nicht berücksichtigt werden kann, schlagen sich die Effekte von Sortenveränderungen auch in den beiden phänologischen Beobachtungen erfassten Blühzeitpunkten nieder. Der Vergleich mit dem Verlauf beim Apfel, bei dem eine frühere Blüte nicht Züchtungsziel ist, macht jedoch deutlich, dass die Witterungseinflüsse auf die Verfrühung der Blüte erheblich sind.



Eine frühere Apfelblüte erhöht das Risiko von Spätfrostschäden. In Obstbaubetrieben werden zum Schutz zunehmend Frostschutzberegnungen durchgeführt.  
(Foto: Lämpel / Wikimedia Commons, CC BY-SA 3.0)

## Schnittstellen

LW-R-1: Anpassung von Bewirtschaftungsrythmen  
LW-R-6: Landwirtschaftliche Beregnung  
BD-I-1: Phänologische Veränderungen bei Wildpflanzenarten

## Stärkere Ertragsschwankungen erhöhen das Produktionsrisiko

Die Witterungsbedingungen gehören zu den wichtigsten produktionsbestimmenden Größen in der Landwirtschaft. Eine verlängerte Vegetationsperiode und höhere Temperatursummen können die Erträge steigern. Hinzu kommt, dass die höheren CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in der Atmosphäre, die letztendlich für den Treibhauseffekt verantwortlich sind, die Photosynthese und das Pflanzenwachstum stimulieren können. Allerdings bringt der Klimawandel u. a. durch Trockenstress oder Extremereignisse wie Stürme, Starkregen, Hagel und Überschwemmungen auch das zunehmende Risiko von Ertragsseinbußen mit sich.

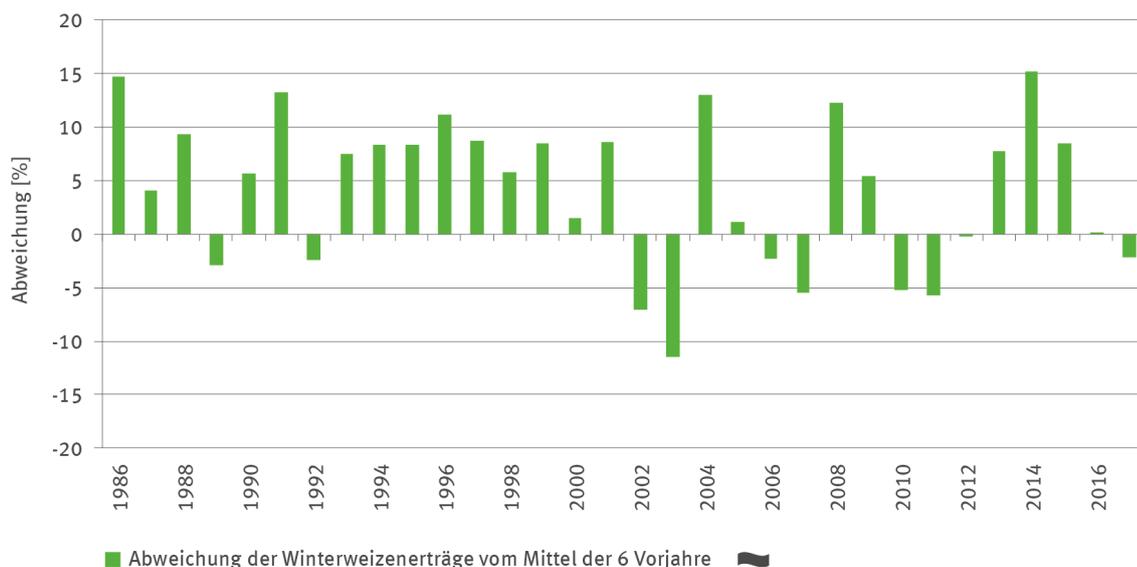
Der züchterische und technische Fortschritt haben die landwirtschaftlichen Erträge bei den wichtigen Kulturarten in Deutschland in den letzten fünfzig Jahren ansteigen lassen. Die Züchtung brachte neue Sorten mit verbesserten Eigenschaften hinsichtlich Ertragshöhe und -stabilität, Qualität, Ressourceneffizienz, Stresstoleranz und Krankheitsresistenz hervor. Auch bei den Aussaat,

Pflege- und Erntetechniken sowie bei der Düngung und beim Pflanzenschutz gab es Verbesserungen. Allerdings ist die Ertragshöhe darüber hinaus noch von zahlreichen anderen Faktoren abhängig.

Die Ertragsstagnation, die beim Weizen in den letzten Jahren in der landwirtschaftlichen Praxis festzustellen war, hat komplexe Ursachen, die noch genauer untersucht werden müssen. Neben den bereits erwähnten Faktoren können hierfür auch der Anbau auf ertragsärmeren Standorten, sogenannten Grenzstandorten, sowie engere Fruchtfolgen eine Ursache sein. In der Landwirtschaft ist es wichtig, Betriebsmanagement und Betriebsmitteleinsatz zu optimieren. In welchem Umfang ertragssteigernde Maßnahmen ergriffen werden, hängt immer auch stark von den erzielbaren Produktpreisen ab. Je höher das Preisniveau, desto eher kann sich der Einsatz ertragssteigernder oder ertragssichernder Betriebsmittel wie u. a. mineralischer Düngemittel und Pflanzenschutzmittel lohnen.

### LW-I-2: Ertragsschwankungen

Ertragsschwankungen zwischen den Jahren lassen sich unmittelbarer mit Veränderungen des Witterungsgeschehens in Zusammenhang bringen als langfristige Ertragstrends. Nimmt die Ertragsvariabilität zu, bedeutet dies ein steigendes Produktionsrisiko für die Landwirtinnen und Landwirte. Extremjahre führen zu ausgeprägten Wechseln zwischen positiven und negativen Abweichungen der Erträge von den Vorjahren.



Datenquelle: BMEL (Ernte- und Betriebsberichterstattung sowie Besondere Ernte- und Qualitätsermittlung)

Derzeit lässt sich noch schwer abschätzen, in welchem Ausmaß der Klimawandel die Ertragshöhe hierzulande beeinflusst. Einerseits wird diskutiert, dass zumindest regional die klimatischen Grenzen für eine weitere Ertragssteigerung erreicht werden könnten. Andererseits geht man davon aus, dass die Landwirtschaft mit den langfristigen Klimatrends zurecht kommen kann, denn vor allem beim Anbau einjähriger Kulturen gibt es viele Möglichkeiten, mit der Wahl von Fruchtarten und Sorten, der Fruchtfolge und der Bewirtschaftungsplanung auf die veränderten Rahmenbedingungen zu reagieren.

Größere Herausforderungen werden voraussichtlich mit den zunehmenden Wetter- oder Witterungsschwankungen zwischen den Jahren verbunden sein, auf die sich die Landwirtinnen und Landwirte weniger gut einstellen können. Witterungsextreme wie lange Trockenperioden können zu unvorhersehbaren Ertragseinbrüchen führen. Im Trockenjahr 2003 beispielsweise lag der Weizenanbau im Bundesdurchschnitt 12 bis 13 % unter dem erwarteten Trendertrag des Jahres. Auch in den vergangenen zwei Jahren hatte die Landwirtschaft mit erschwerten Wetterbedingungen und in der Folge mit Ertragseinbußen zu kämpfen. Im Herbst 2017 fielen in Norddeutschland überdurchschnittliche Regenmengen, deshalb war die Herbstbestellung mit Wintergetreide vielfach unmöglich, und es wurden im Frühjahr 2018 ertragsschwächere Sommergetreidearten angesät. Die ab April folgenden hohen Temperaturen und geringen Niederschläge führten zu einem ungewöhnlich frühen Erntebeginn und hatten schlechte Ertragsergebnisse zur Folge. Nach dem Ergebnis der „Besonderen Ernte- und Qualitätsermittlung“ wird für 2018 im Vergleich zu einem dreijährigen Mittel ein Rückgang von 20 % für die deutsche Getreideernte berichtet<sup>25</sup>. Insbesondere in Nord- und Ostdeutschland betragen die Ertragsausfälle beim Getreide über 30 %.

In zwischenjährlichen Ertragsschwankungen werden sich die Folgen des Klimawandels deutlicher niederschlagen als in den langjährigen Ertragstrends, die Ausdruck längerfristig geplanter Anpassungsprozesse nicht nur an den Klimawandel, sondern auch an die Marktbedingungen sind. Die Ertragsschwankungen wurden über die Abweichung des Jahresertrags vom durchschnittlichen Ertrag der jeweils sechs vorangegangenen Jahre ermittelt. Mit zunehmender Ertragsvariabilität erhöht sich das Produktionsrisiko für die Landwirtschaft, da bei der Kalkulation u. a. der einzusetzenden Betriebsmittel mit bestimmten Ertragshöhen gerechnet wird.

Betrachtet man für den Winterweizen, die derzeit wichtigste Kulturart in Deutschland, die Abweichung des Jahresertrags vom durchschnittlichen Ertrag der jeweils



Je nach Witterungsbedingungen wie hier bei Hitze und Trockenheit können die Erträge in den Jahren sehr unterschiedlich ausfallen. (Foto: Konstanze Schönthaler / Bosch & Partner GmbH)

vorangegangenen sechs Jahre im Zeitverlauf, wird deutlich, dass es in den zurückliegenden Jahren ein starkes Auf und Ab der Erträge gegeben hat. Die Zahlen sind allerdings in der vergleichsweise kurzen Zeitreihe sorgsam zu interpretieren. Die starken Ausschläge sind deutlich von Extremjahren geprägt, sodass von einem generell gültigen Trend noch nicht gesprochen werden kann. In der betrachteten Zeitreihe von 1986 bis 2017 sind bislang die Ertragseinbußen in Folge der starken Frühsommerdürre im Jahr 2003 am deutlichsten ausgeprägt.

Zu berücksichtigen ist auch, dass es innerhalb Deutschlands erwartungsgemäß deutliche regionale Unterschiede gibt. Vor allem im Osten Deutschlands, wo in großem Umfang leichte sandige Böden bewirtschaftet werden, die auf Niederschlagsextreme besonders schnell und stark reagieren, fielen die zwischenjährlichen Ertragsschwankungen stärker aus als beispielsweise im mittleren westlichen Teil Deutschlands, wo die Erträge in den eher feuchten und kühlen Mittelgebirgsregionen stabiler waren.

## Schnittstellen

### LW-I-3: Hagelschäden in der Landwirtschaft

## Ertragsausfälle durch Extremwetterereignisse

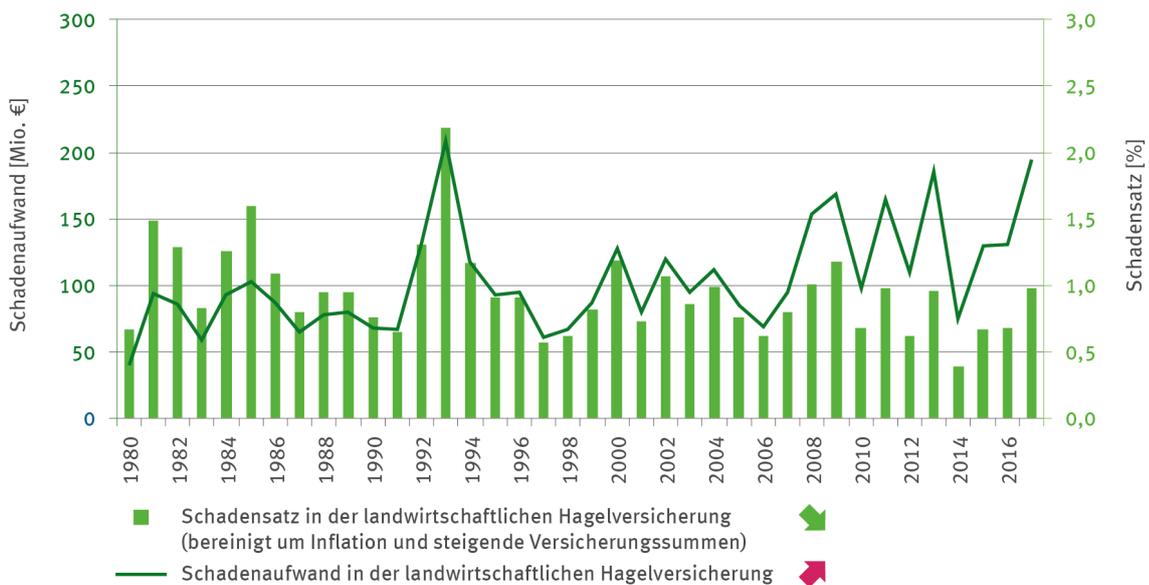
Infolge von Wetterextremen sind in der deutschen Pflanzenproduktion in den letzten Jahren immer wieder zum Teil erhebliche Ertragsausfälle entstanden. Eine Studie des GDV zur Landwirtschaftlichen Mehrgefahrenversicherung für Deutschland zeigt, dass die durch Wetterrisiken in Deutschland verursachten jährlichen Ernteschäden bei rund 510 Millionen Euro jährlich lagen<sup>26</sup>. Ein überwiegender Teil der Ertragsausfälle ging auf das Konto von Trockenheit und Dürre. Rund ein Fünftel der Schäden waren durch Hagel und nur etwa ein Sechstel durch Sturm, Starkregen oder Überschwemmung verursacht. Auch Fröste haben Schäden hinterlassen. Nehmen Extremereignisse infolge des Klimawandels zu, wird auch die Landwirtschaft vermehrt von Ernteschäden oder ausfällen betroffen sein. Dass die oben genannten durchschnittlichen Ertragsausfälle auch deutlich höher ausfallen können, zeigte der Dürresommer 2018. Die langanhaltende Trockenheit und Hitze verursachte Schäden und Ertragsausfälle in Höhe von 770 Millionen Euro<sup>27</sup>. Die betroffenen Landwirtschaftsbetriebe sind für diese Ausfälle zumindest teilweise von staatlicher Seite entschädigt worden.

Die genauen Zusammenhänge von Klimaveränderungen, vermehrtem Auftreten von Extremwetterereignissen und der Zunahme von Schäden in der Landwirtschaft sind zwar noch nicht abschließend geklärt, sie sind aber Gegenstand intensiver Forschung.

Für die deutschen Landwirtinnen und Landwirte sind die Möglichkeiten, sich gegen Ernteauffälle infolge von Extremwetterereignissen zu versichern, bislang noch sehr eingeschränkt. Daher handelt es sich bei Angaben zu witterungsbedingten Ertragsausfällen i. d. R. um Näherungswerte. Eine Ausnahme sind Hagelschäden, denn die Absicherung gegen Hagel ist in der Landwirtschaft vergleichsweise weit verbreitet: Mehr als zwei Drittel aller landwirtschaftlich genutzten Flächen sind gegen Hagel versichert<sup>28</sup>. Über die Meldungen der Hagelversicherungen zu den Aufwendungen für auftretende Versicherungsfälle lassen sich damit zumindest für einen Teil der Schäden Aussagen treffen. Zu allen anderen Schäden, die die Landwirtinnen und Landwirte selbst tragen oder für die sie fallweise Gelder aus Hilfsprogrammen erhalten, gibt es keine gesicherten Datengrundlagen.

### LW-I-3: Hagelschäden in der Landwirtschaft

Extremwetterereignisse wie Dürre, Hagel, Sturm, Starkregen, Überschwemmung, Frost und Auswinterung können Ertragsseinbußen in der Landwirtschaft zur Folge haben. Versichert sind i. d. R. aber nur Hagelschäden. Der zunehmende Schadenaufwand ist wesentlich durch steigende Versicherungssummen verursacht. Der Schadensatz erlaubt direktere Rückschlüsse auf Hagelereignisse. Er zeigt einen fallenden Trend.



Datenquelle: Institut für Agribusiness (Technische Ziffern Hagel)

Der Schadenaufwand, d. h. die Bruttoaufwendungen für auftretende Versicherungsfälle, ist seit 1980 signifikant angestiegen. Dies ist allerdings nicht allein Folge vermehrter Schadensereignisse, sondern auch Ergebnis steigender Versicherungssummen. Der Markt für die landwirtschaftliche Hagelversicherung gilt in Deutschland auch heute noch nicht als gesättigt. Im Gegensatz zum Schadenaufwand ist der Schadensatz in der landwirtschaftlichen Hagelversicherung um die Effekte steigender Versicherungssummen und der Inflation bereinigt. Er lässt daher direktere Rückschlüsse auf die Schadentreiber, sprich Hagelereignisse, zu. Für den Schadensatz zeichnet sich ein fallender Trend ab. Das Jahr 1993 war das im Beobachtungszeitraum hagelreichste Jahr. Im Jahr 2002 führten schwere Hagelunwetter vor allem im Südwesten und Osten Deutschlands vielerorts zu Totalschäden, 2009 waren der Norden und Süden zwischen Ende April und Mitte August von einer Abfolge von Unwettern überdurchschnittlich stark betroffen. 2017 führten zunächst Spätfröste zu starken Ausfällen in der Obstblüte, zusätzliche Verluste im Obstbau entstanden durch wechselhafte Witterung im Sommer mit regionalen Hagelereignissen.

Die Hagelversicherung ersetzt den Landwirtinnen und Landwirten den konkreten Ernteausfall, allerdings nicht die damit verbundenen Folgewirkungen für den Gesamtbetrieb. Der Verlust der Marktpräsenz in einem Hageljahr, die mangelnde Auslastung vorhandener betrieblicher Infrastruktur oder auch ein erhöhter Ernte- und Sortieraufwand sind durch die Versicherung nicht gedeckt. Auch aus diesem Grunde betrachten viele Landwirtinnen und Landwirte den Abschluss einer Hagelversicherung nicht als alleinige Option. Insbesondere im Obstbau wird zunehmend mit Hagelschutznetzen gearbeitet, um Ernteschäden vorzubeugen.



Hagelschäden können zu erheblichen Ertragsausfällen führen: beschädigtes Maisfeld nach Sturm und Hagel.  
(Foto: Zumthie / Wikimedia Commons, Public Domain)

## Schnittstellen

LW-I-2: Ertragsschwankungen

BAU-I-5: Schadenaufwand in der Sachversicherung

## Erhöhter Druck durch Schadorganismen ist möglich

Mit dem Klimawandel verändern sich nicht nur die Bedingungen für die landwirtschaftlichen Kulturpflanzen, sondern auch für Schaderreger und Pflanzenkrankheiten. Wärmere Witterung und die Verlängerung der Vegetationsperiode bieten einigen Schaderregern günstigere Ausbreitungsbedingungen und ermöglichen, dass sich mehr Generationen im Jahr ausbilden können. Andere Schaderreger dagegen, die zum Beispiel auf längere Feuchteperioden angewiesen sind, könnten zurückgehen. Bedingt durch den Klimawandel ist in den nächsten Jahren daher mit Verschiebungen im Artenspektrum von Pflanzenschädlingen in der Landwirtschaft zu rechnen. Schäden durch Pilzkrankungen können – mit Ausnahme von Krankheiten, die durch wärmeliebende Pilzarten wie beispielsweise den Mehltau ausgelöst werden – in vielen Bereichen voraussichtlich abnehmen. Die Bedeutung verschiedener Ungräser und Unkräuter, tierischer Schädlinge und nichtparasitärer Krankheiten könnte dagegen eher zunehmen. Ferner profitieren Insekten grundsätzlich von wärmeren Temperaturen. Neue Risiken sind von Schaderregern zu erwarten, die bisher nicht in unseren Breiten vorkamen und sich nach ihrer Einschleppung unter den

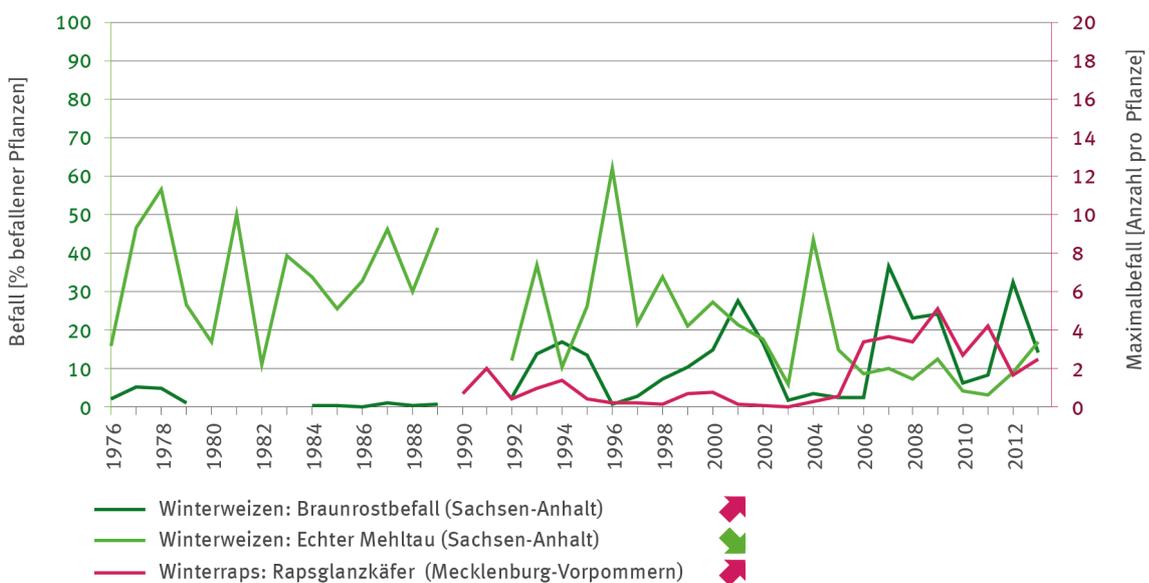
veränderten klimatischen Rahmenbedingungen ausbreiten und etablieren können.

Auf eine Zu- oder Abnahme des Schaderregerbefalls insgesamt lassen die bisherigen Beobachtungen aber nicht schließen. Im Einzelnen sind die Entwicklungen noch nicht prognostizierbar. Klar ist jedoch, dass viele Schaderreger sehr empfindlich und spontan auf veränderte Witterungsverhältnisse reagieren können und den Landwirtinnen und Landwirten damit rasche und flexible Reaktionen auf die akute Schaderregerproblematik abverlangt werden.

Welche Schaderreger sich in besonders starker Abhängigkeit von Witterungs- bzw. Klimaveränderungen entwickeln, ist bisher noch nicht umfassend untersucht worden. Erst systematische Auswertungen von Befallsdaten eines breiten Spektrums unterschiedlicher Schaderreger werden hier Klarheit bringen. Beim Braunrost (*Puccinia triticina*) und Echten Mehltau (*Erysiphe graminis*) an Weizen, Gerste und Triticale, einer Kreuzung aus Weizen und Roggen, sowie beim Rapsglanzkäfer (*Meligethes aeneus*) kann nach derzeitigem Wissensstand davon ausgegangen werden,

### LW-I-4: Schaderregerbefall – Fallstudie

Im Falle des Braunrosts, Echten Mehltaus und Rapsglanzkäfers wird davon ausgegangen, dass der Klimawandel mit wärmeren Wintern und einem trockeneren und wärmeren Frühjahr den Befall fördert. Dennoch verläuft die Schaderregerentwicklung sehr spezifisch. Generalisierende Aussagen zum Einfluss des Klimawandels auf die Befallsituation sind auf der derzeitigen Datengrundlage noch nicht möglich. Die Zeitreihe kann erst 2023 fortgeschrieben werden.



Datenquelle: Julius Kühn-Institut (Auswertungen von Befallsdaten der Länder)

dass der Klimawandel mit wärmeren Wintern und einem trockeneren und wärmeren Frühjahr die Entwicklung bzw. die Massenvermehrung fördert.

Langjährige Datenreihen zum Befall liegen aber bundesweit noch nicht vor, lediglich aus einzelnen Bundesländern wurden Daten aufbereitet, die für den Monitoringbericht 2015 genutzt wurden. Eine Fortschreibung der Zeitreihen ist erst für den Monitoringbericht 2023 möglich.

Beim Braunrost in Sachsen-Anhalt und beim Rapsglanzkäfer in Mecklenburg-Vorpommern zeichnet sich in der Tendenz eine zunehmende Relevanz ab. Beim Echten Mehltau, zu dem ebenfalls Daten aus Sachsen-Anhalt vorliegen, gibt es seit den 1970er Jahren zwar immer wieder Jahre mit einem hohen Befallsniveau. Über die gesamte darstellbare Zeitreihe ergibt sich aber ein signifikanter Rückgang. Die Daten machen auch deutlich, dass der Befall mit dem jeweiligen Schaderreger in den einzelnen Jahren sehr unterschiedlich stark sein kann. Die eine, den Schaderregerbefall generell fördernde Witterungskonstellation gibt es nicht.

Repräsentative Aussagen zur Entwicklung der Schaderregerproblematik sind auf der Grundlage der Daten zu Braunrost, Mehltau und Rapsglanzkäfer aus Sachsen-Anhalt und Mecklenburg-Vorpommern derzeit noch nicht möglich. Erwartungsgemäß wird es große Unterschiede im Infektionsrisiko und Befall sowohl zwischen den unterschiedlichen Schaderregern als auch zwischen den Regionen und Jahren geben. Da die Züchtung bei der Entwicklung von Pflanzensorten verstärkt auf Resistenzbildung gegenüber Schaderregern hin ausgerichtet ist, ist die Befallshäufigkeit bzw. -stärke zumindest bei einigen Fruchtarten auch stark von den jeweils angebauten Sorten abhängig. Auch die Durchführung von Pflanzenschutzmaßnahmen variiert in den Kulturen stark. Das für den Pflanzenschutz auf Bundesebene zuständige Julius-Kühn-Institut führt Analysen zur Klima- und Witterungsabhängigkeit des Schaderregerbefalls durch. Auf der Grundlage dieser Arbeiten werden in Zukunft voraussichtlich umfassendere und repräsentativere Aussagen zur Entwicklung des Schaderregerbefalls möglich sein.



Rapsglanzkäfer fressen neben den Pollen auch Stempel und Fruchtknoten der Rapsblüten und können bei Massenaufreten erhebliche Schäden anrichten.

(Foto: © agrarmotive / stock.adobe.com)

## Schnittstellen

LW-R-4: Pflanzenschutzmittel-Anwendung

## Ziele

Vermindern der Neueinschleppungen von Schadorganismen, effiziente Bekämpfung neuer Schadorganismen, Prioritätensetzung bei einer Bekämpfung je nach Risikopotenzial (u. a. schnelle Risikoanalysen und Entscheidungen), effiziente Monitoringsysteme für bestimmte Schadorganismen (Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln 2013, Kap. 5.2.4)

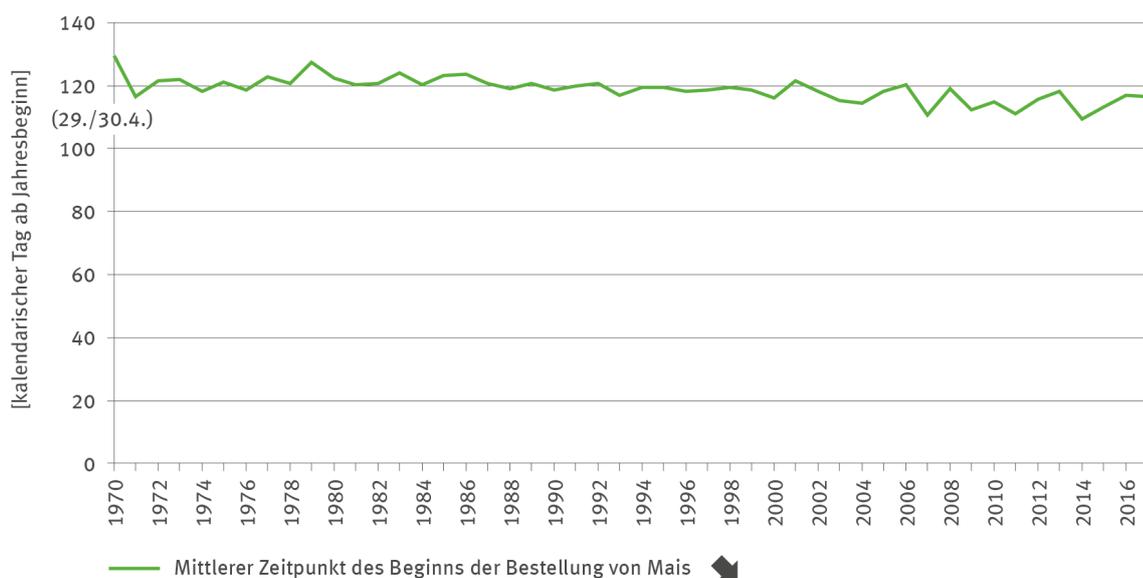
## Anpassung der Bewirtschaftungsplanung

Mit den sich im Zuge des Klimawandels vollziehenden Veränderungen jahreszeitlicher Witterungsverläufe müssen die Landwirtinnen und Landwirte ihre Bewirtschaftungsplanung umstellen. Sie müssen die günstigsten Zeitpunkte für Bestellung, Aussaat und Ernte sowie für die Ausbringung von Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln in jedem Jahr neu ermitteln. Die Witterungsverhältnisse spielen dabei sowohl direkt als auch indirekt eine entscheidende, wenn auch keine alleinige Rolle für die Terminierung der einzelnen Bewirtschaftungsgänge. Direkten Einfluss nimmt die Witterung insofern, als beispielsweise der günstigste Zeitpunkt für die Bodenbearbeitung stark von der Bodenfeuchte abhängig ist, oder im Frühjahr die Aussaat bestimmter Kulturpflanzen wie Mais erst bei Erreichen bestimmter Bodentemperaturen erfolgen kann. Indirekte Einflüsse veränderter Witterungsverhältnisse werden wirksam, indem die Landwirtinnen und Landwirte mit ihrer Kulturpflanzen und Sortenwahl bzw. der Fruchtfolge auf die sich verändernden klimatischen Rahmenbedingungen reagieren.

Für die Landwirtschaft stellen diese Anpassungen keine grundsätzlich neuen Herausforderungen dar, da sie mit der Durchführung von Bewirtschaftungsgängen schon immer auf die Jahreszeiten und phänologischen Entwicklungsphasen ihrer Kulturen reagiert hat. Möglicherweise nehmen aber unvorhersehbare Wetter- oder Witterungssituationen zu. Um die Folgen von Extremwetterereignissen abzufedern, Erosion zu vermeiden und die Nachlieferung von Wasser- und Nährstoffen in Trockenperioden zu gewährleisten, müssen Landwirtinnen und Landwirte eine hohe Infiltrationsrate, die Wasser- und Nährstoffspeicherkapazität sowie ein gutes Aggregatgefüge ihrer Böden bewahren. Wichtig ist, die organische Bodensubstanz zu erhalten bzw. standortbezogen nach oben zu korrigieren. Stabilisierende Maßnahmen in Einzelbetrieben sind Zwischenfruchtanbau, Untersaaten, vielfältige Artenkombinationen, Einarbeitung von Ernterückständen, Anbau von mehrjährigen Kulturen, organische Düngung und angepasste Bodenbearbeitung. Auf höherer Organisationsebene sind wesentliche Elemente einer klimaangepassten Landwirtschaft Futter-Wirtschaftsdünger Kooperationen, die Integration und Nutzung von mehrjährigen

### LW-R-1: Anpassung von Bewirtschaftungsrythmen

Landwirtinnen und Landwirte reagieren mit der Terminierung der einzelnen Bewirtschaftungsgänge in den Kulturen auf die sich verändernden Witterungsbedingungen. Die Bestellung von Mais verfrühte sich in den letzten vierzig Jahren um rund fünf Tage. Der Trend ist signifikant.



Datenquelle: DWD (Phänologisches Beobachtungsnetz)

Futterpflanzen in Fruchtfolgen, die Erhaltung des Grünlands, die Stabilität viehhaltender Gemischtbetriebe sowie ökologischer Landbau und Landschaftsgestaltung (z. B. Agroforstsysteme, Konturbewirtschaftung, Randstreifen).

Das bundesweite phänologische Beobachtungsnetz des DWD erfasst neben den zeitlichen Veränderungen der Entwicklung von Pflanzen auch Änderungen bei der Durchführung von Bewirtschaftungsgängen in landwirtschaftlichen Kulturen. Je nach betrachtetem Bewirtschaftungsgang sind die Einflüsse auf die Terminierung unterschiedlich. Neben der Witterung spielen i. d. R. auch zahlreiche andere Faktoren eine Rolle. Relevant sind zuallererst die Sorten- und Fruchtfolgenwahl. Gesät werden kann erst dann, wenn die Vorfrucht in der Fruchtfolge geräumt ist. Auch organisatorische Anforderungen in den Betrieben können entscheidend sein. Je nach Größe der Betriebsfläche und Umfang des eigenen Maschinenparks bzw. der erforderlichen Fremdarbeit können sich Bewirtschaftungsgänge zeitlich verschieben. Dies bedeutet, dass sich zeitliche Verschiebungen der Bewirtschaftungsgänge in der Landwirtschaft nicht allein mit veränderten Witterungsverhältnissen erklären lassen. Dennoch können entsprechende Beobachtungen Hinweise auf Anpassungen in der Bewirtschaftungsplanung geben.

Die Bestellung von Mais erfolgt i. d. R. im Laufe des April und Mai. Im Frühjahr sind bewirtschaftungsbedingte Einflüsse noch vergleichsweise gering und die Witterungseinflüsse spielen eine bedeutendere Rolle als bei der Terminierung der Bewirtschaftungsgänge im Sommer und Herbst. Witterungseinflüsse beeinflussen dann beispielsweise das Abfrieren von Zwischenfrüchten. Wenn dies nicht mehr gewährleistet ist, können zusätzliche Arbeitsgänge für die Saatbettbereitung der Hauptkultur Mais notwendig werden.

In den zurückliegenden vierzig Jahren wurde mit der Maisbestellung immer früher begonnen. Natürlich gibt es deutliche Unterschiede zwischen den Jahren, aber der Trend weist signifikant auf frühere Bestelltermine hin. So fand in den 1970er und 1980er Jahren die Bestellung vorzugsweise noch zwischen Ende April und Anfang Mai statt. Nach dem Jahr 2000 erfolgte sie im Schnitt bereits rund eine Woche früher, in einigen Jahren bereits Mitte April.



Landwirtinnen und Landwirte passen sich mit ihrer Bewirtschaftungsplanung an veränderte Klimabedingungen an.  
(Foto: © Dusan Kostic / stock.adobe.com)

## Schnittstellen

LW-I-1: Verschiebung agrarphänologischer Phasen  
BO-R-1: Humusgehalte von Ackerböden

## Perspektiven für neue Kulturpflanzenarten

Mit wärmerem Klima und milderem Witterungsbedingungen eröffnen sich für die Landwirtschaft neue Optionen der Fruchtartenwahl. Der Anbau wärmeliebender Kulturpflanzenarten in Deutschland könnte sich ausweiten, wenn zugleich eine ausreichende Nachfrage am Markt besteht und der Anbau wirtschaftlich interessant ist. Zu den wärmeliebenden Kulturpflanzen gehören u. a. der Körnermais, die Sorghum-Hirse, die Sojabohne, die Sonnenblume und der Hartweizen (Durum).

Im Falle der Sojabohne hat sich der Anbau in den letzten Jahren bereits ausgeweitet. 2018 wurden auf rund 24.000 Hektar Sojabohnen angebaut. Im Rahmen der Eiweißpflanzenstrategie (EPS) der Bundesregierung wurde das Sojanetzwerk für die Ausweitung und Verbesserung des Anbaues und der Verarbeitung von Sojabohnen von 2013 bis 2018 gefördert. Aufgrund attraktiver Absatzwege und hoher Erzeugerpreise, insbesondere im Lebensmittel-sektor (z. B. Tofu), besteht an Sojaanbau und -saatgut sowohl im konventionellen als auch im ökologischen Landbau zunehmendes Interesse. Da die Ökolandwirtschaft zudem auf gentechnikfreies Sojasaatgut angewiesen sind,

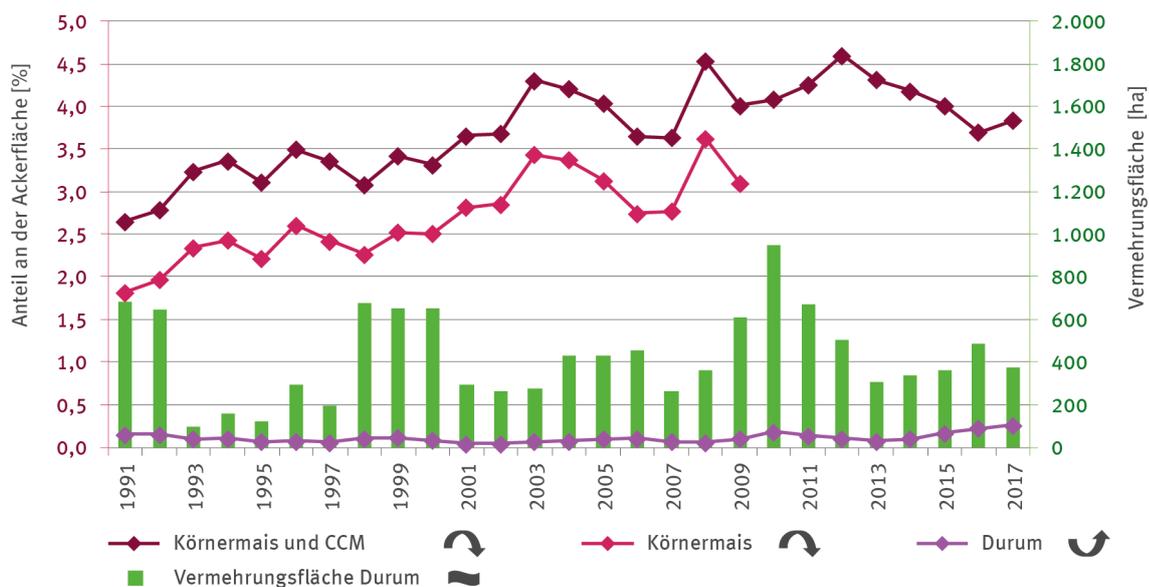
ist zu erwarten, dass das Interesse auch an der Erzeugung von Sojasaatgut innerhalb Deutschlands wächst.

Die aus der Sahelzone stammende Sorghum-Hirse verträgt Trockenheit sehr gut, braucht aber auch viel Wärme. Bisher war es in Deutschland zu kühl für den Anbau. Hirse ist vor allem mit Blick auf die energetische Nutzung interessant. Wenn sich die klimatischen Anbaubedingungen für den Hirseanbau verbessern, könnte sie eine interessante Ergänzung oder auch Alternative im bioenergetisch nutzbaren Fruchtartenspektrum werden. Für die Entwicklung der Anbaufläche von Körnermais und Hartweizen (Durum) liegen langjährige Daten vor, die sich beispielhaft für die Entwicklung der wärmeliebenden Kulturpflanzenarten darstellen lassen. Der Anbau von Sojabohnen wird dagegen erst seit 2016 in der Bodennutzungshaupterhebung separat erfasst. Der Anbau von Hirse geht in der Statistik wegen der noch geringen Bedeutung in einer Summenposition auf.

Beim Körnermais sind die Anbauflächen in den 1990er Jahren signifikant angestiegen. Körnermais ist zum

### LW-R-2: : Anbau und Vermehrung wärmeliebender Ackerkulturen

Körnermais und Hartweizen sind wärmeliebende Kulturpflanzen, deren Anbau bei wärmeren Klimabedingungen in Deutschland ausgeweitet werden könnte. Der Körnermais anbau hat in den letzten zwanzig Jahren bereits zunehmende Bedeutung erlangt. Die Hartweizenanbaufläche ist noch immer sehr gering.



Datenquelle: StBA (Bodennutzungshaupterhebung und Erhebung über die Viehbestände), BSA (Blatt für Sortenwesen)

Ausreifen auf vergleichsweise hohe Wärmesummen angewiesen, daher wird die Ausweitung der Anbaufläche u. a. mit den für diese Kultur günstigeren Klimaverhältnissen in ursächlichen Zusammenhang gebracht. Körnermais wird überwiegend zur Verfütterung eingesetzt und nicht zur Bioenergieerzeugung genutzt. Daher sind die Perspektiven der Viehhaltung zu berücksichtigen, da bei rückläufigen Viehbeständen (insbesondere von Schweinen) auch der Futtermittelbedarf sinkt. Die Ausweitung des Energiepflanzenanbaus beeinflusst diese Entwicklung dagegen nicht. Weil der Körnermais unmittelbar nach der Ernte auf einen definierten Wassergehalt von ca. 14,5 % getrocknet werden muss, sind die Trocknungskosten der entscheidende Rentabilitätsfaktor. Je günstiger die Witterungsverhältnisse sind und je trockener der Körnermais vom Feld kommt, desto wirtschaftlicher ist der Anbau. Unschärfen bei der Interpretation der Zusammenhänge zwischen einer Ausweitung der Körnermaisanbaufläche und den Klimaverhältnissen ergeben sich dadurch, dass Körnermais zu Futterzwecken auch feucht siliert oder zu Corn-Cob-Mix (CCM) weiterverarbeitet werden kann. Bei der Herstellung von CCM wird neben den Körnern auch die Spindel des Maiskolbens verwendet. Für diese Nutzungen sind günstige Trocknungsbedingungen von geringerer wirtschaftlicher Bedeutung als bei der Nutzung von Körnermais zum Ausreifen. Die Statistik unterscheidet ab 2010 nicht mehr zwischen Körnermais zum Ausreifen und CCM. Allerdings war in den Jahren vor der statistischen Zusammenlegung die Körnermaisanbaufläche drei bis viermal so groß wie die CCM-Anbaufläche, sodass auch die kombinierten Körnermais-/CCM-Daten Aussagen zulassen.

Hartweizen ist ebenfalls wärmeliebend und relativ trockenheitstolerant. Innerhalb von Europa wird Durum vor allem in Spanien, Frankreich und Italien angebaut. In Deutschland wird er als Nischenkultur schon seit vielen Jahren kultiviert. Heute liegen die größten Anbauflächen in Sachsen-Anhalt und Thüringen. Im Anbau ist Durum eine anspruchsvolle und risikoreiche Kultur, denn seine Verwertbarkeit ist stark abhängig von der Freiheit von Pilzen und Krankheiten. Da Durum primär als Grieß für die Nudelherstellung verarbeitet und vermarktet wird, sind Fehler im Erntegut deutlich als schwarze Punkte sichtbar und gelten als Ausschlusskriterium für die Vermarktung. Die Witterungsbedingungen – insbesondere zur Erntezeit – sind also sehr bedeutsam und waren in vielen Regionen bisher noch zu unsicher für eine erfolgreiche Anbauprognose. Bei veränderten Witterungsverhältnissen, insbesondere bei stärkerer Sommertrockenheit, könnten sich langfristig die Bedingungen für den Anbau hierzulande verbessern. Noch ist jedoch die Bedeutung des Durumanbaus mit einem Anteil von nur rund 0,25 % der



Die wärmeliebende Hirse könnte künftig für die bioenergetische Nutzung interessant werden.

(Foto: Isidre blanc / Wikimedia Commons, CC BY-SA 4.0)

Ackerfläche sehr gering. Der leichte Anstieg seit Anfang des Jahrtausends lässt sich nicht eindeutig interpretieren. Hinweise für ein zunehmendes Anbauinteresse könnte künftig auch die Entwicklung der Vermehrungsflächen für Durum-Saatgut in Deutschland liefern. Nimmt der Umfang der Vermehrungsflächen zu, deutet dies auf die Erwartung einer stärkeren Saatgutnachfrage aus dem In- und Ausland hin. Noch ist ein solcher Trend aber nicht erkennbar.

Um die Entwicklung der Anbauflächen wärmeliebender Kulturpflanzen mit dem Klimawandel in Zusammenhang bringen zu können, bedarf es noch längerer Datenreihen, da die Anbauentscheidungen der Landwirtinnen und Landwirte zu deutlichen jährlichen Ausschlägen bei der Anbaufläche führen können. Vor allem die Marktbedingungen (erzielbare Preise, regionale Absatzmöglichkeiten) spielen dabei eine wichtige Rolle.

## Schnittstellen

LW-R-3: Anpassung des Sortenspektrums

## Ziele

Züchtungsforschung zur Erweiterung des Fruchtartenspektrums, um mit „neuen“ bzw. bislang vernachlässigten Fruchtarten (z. B. Hirse oder Körnerleguminosen) optimale Erträge unter künftigen Standortbedingungen zu sichern und Risiken wie Witterungsextreme, Krankheits- und Schädlingsbefall zu mindern (Nachhaltigkeitskonzept des BMELV 2008, S. 10)

## Anderes Klima – andere Sorten

Ähnlich den Anpassungsmöglichkeiten durch den Anbau wärmeliebender Kulturpflanzenarten ist auch die Sortenwahl ein für die Landwirtinnen und Landwirte geeignetes Mittel, um bei gleichbleibender Fruchtart auf sich verändernde Rahmenbedingungen des Anbaus zu reagieren. Bevorzugt werden dabei diejenigen Sorten, die unter den absehbaren Bedingungen hohe und qualitativ hochwertige sowie sichere Erträge und gute Vermarktungsmöglichkeiten versprechen. Die jeweilige Sortenwahl ist dabei immer Resultat unterschiedlicher Faktoren, die die Landerwirtinnen und Landwirte in ihren Entscheidungen gegeneinander abwägen. Die Witterung ist stets nur ein Faktor unter mehreren. Mitunter erfolgt die Sortenwahl in der Landwirtschaft auch sehr spontan, primär gesteuert durch Erfahrungen aus der letzten Anbauperiode oder durch sich aktuell abzeichnenden Marktchancen.

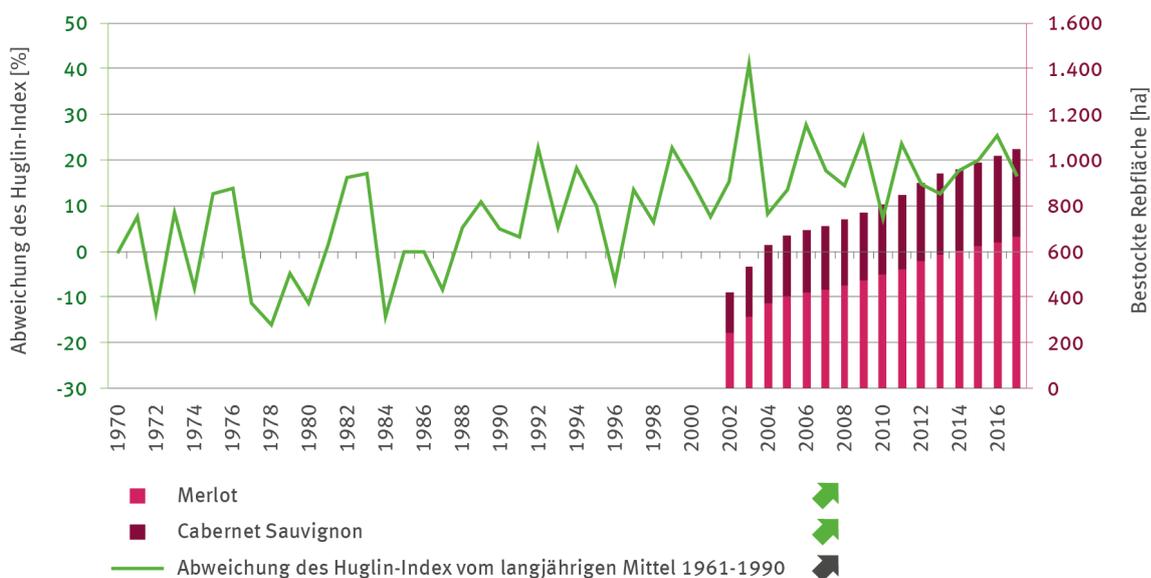
Bei den einjährigen Kulturen sind Landwirtinnen und Landwirte in ihrer Sortenwahl relativ flexibel, bei mehrjährigen Kulturen dagegen legen sie sich mit der Sortenentscheidung für einen längeren Zeitraum fest. Im Weinbau beispielweise will die Sortenwahl sorgfältig

bedacht sein, denn die Reben haben mit zwanzig bis dreißig Jahren eine lange Lebensdauer, d. h. Winzerinnen und Winzer treffen bei Neupflanzungen längerfristige Produktionsentscheidungen. Wein ist außerdem ein landwirtschaftliches Produkt mit teilweise außerordentlich hoher Wertschöpfung und trotz vergleichsweise kleiner Fläche großer wirtschaftlicher Bedeutung. Die Sortenwahl genießt daher besondere Aufmerksamkeit.

Zur Beurteilung der Anbaufähigkeit bestimmter Rebsorten in verschiedenen Weinbauregionen wird der sogenannte Huglin-Index eingesetzt. Er summiert die Tage mit Temperaturen von mehr als 10°C für den Zeitraum 1. April bis 30. September und gibt an, ob die Wärmesummen, die eine Rebsorte benötigt, um erfolgreich über längere Zeit kultiviert zu werden, in einer Region erreicht werden. In den letzten rund vierzig Jahren ist der Huglin-Index über ganz Deutschland betrachtet signifikant angestiegen. Das hat zur Folge, dass einige bisher auf südlichere Regionen beschränkte, besonders wärmeliebende Rotweinsorten nun auch in deutschen Anbauregionen grundsätzlich Anbaueignung erlangt haben. Hierzu

### LW-R-3: Anpassung des Sortenspektrums

Mit steigenden Wärmesummen erlangen auch besonders wärmeliebende Rotweinsorten in deutschen Anbauregionen Anbaueignung. Die Anbaufläche der international beliebten Rotweinsorten Merlot und Cabernet Sauvignon bewegt sich zwar noch auf einem geringen Niveau, ist aber signifikant im Anstieg begriffen.



Datenquelle: DWD (Deutscher Klimaatlas – Landwirtschaft), StBA (Weinstatistik – Grunderhebung der Rebflächen und Rebflächenerhebung)

gehören beispielsweise Merlot, Cabernet Sauvignon und Syrah. Diese Rebsorten genießen international eine hohe Reputation, weshalb die Motivation bei einigen Winzerinnen und Winzern groß ist, sie anzubauen, wenn die klimatischen Voraussetzungen erfüllt sind. Die Anbauflächen von Merlot und Cabernet Sauvignon, die seit dem Jahr 2002 in der Weinstatistik erfasst werden, sind zwar noch vergleichsweise gering, die Flächenzunahme weist aber auf ein zunehmendes Anbauinteresse hin. Es wird davon ausgegangen, dass der Klimawandel den Rebsortenspiegel in Zukunft beeinflussen wird.

Züchterinnen und Züchter richten ihre Sortenwicklungen auf die neuen Anforderungen aus. Die Anträge auf Neuzulassung von Sorten, die jährlich beim Bundessortenamt angemeldet werden, lassen Rückschlüsse zu, an welchen Sorteneigenschaften in der Züchtung gearbeitet wird. Die Züchtung einer neuen Sorte beansprucht allerdings i. d. R. zwischen acht und zehn Jahre, sodass sich eine veränderte Sortennachfrage nicht immer zeitnah in den Zahlen niederschlagen wird. Durch Anwendung moderner Methoden in der Pflanzenzüchtungsforschung könnte es zukünftig schneller und effektiver gelingen, Sorten bereit zu stellen, die an

### Schnittstellen

LW-R-2: Anbau und Vermehrung wärmeliebender Ackerkulturen

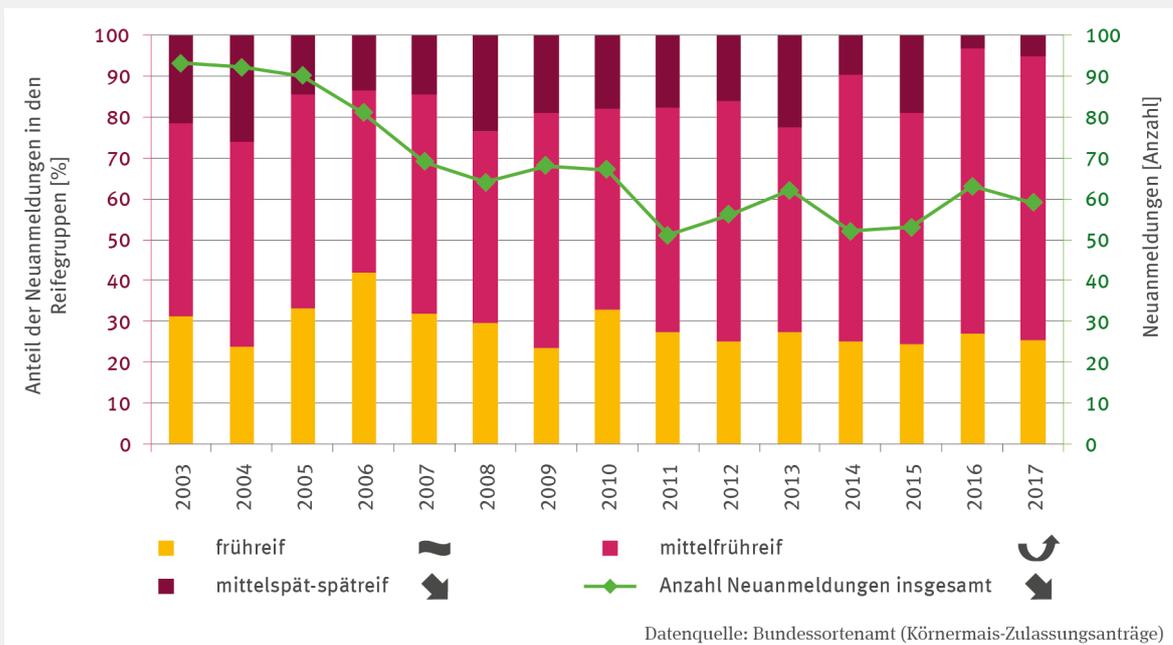
### Ziele

Förderung von Innovationen im Bereich der Pflanzenzüchtung im Hinblick auf die Anpassung an Klimaänderungen, die Nährstoffbilanz der Kulturpflanzen, die Resistenz- und Qualitätseigenschaften (DAS, Kap. 3.2.6)

veränderte Klimabedingungen wie Trockenheit oder erhöhte CO<sub>2</sub>-Konzentrationen angepasst sind. Beim Körnermais steigert die Verwendung frühreifer Sorten die Wahrscheinlichkeit, dass höhere Trockensubstanzgehalte bei der Ernte erzielt und damit die Trocknungskosten geringer werden. Frühreife Sorten könnten unter diesen Umständen an Attraktivität gewinnen. Allerdings haben die spätreifenden Sorten noch immer ein höheres Ertragspotenzial. Die aktuellen Züchtungsbemühungen gehen daher dahin, frühreife Maissorten mit höheren Erträgen zu entwickeln.

## LW-R-4: Maissorten nach Reifegruppen

Noch ist kein Trend zu einer vermehrten Anmeldung frühreifer Maissorten beim Bundessortenamt erkennbar. Diese Entwicklung ist derzeit offensichtlich durch andere Effekte überlagert.



## Differenzierte Anwendung von Pflanzenschutzmitteln

Die Auswirkungen der Klima- und Witterungsverhältnisse auf den Befall landwirtschaftlicher Kulturen mit Schadorganismen lassen sich derzeit noch nicht konkret prognostizieren. Klar ist jedoch, dass Schadorganismen sehr empfindlich und spontan auf veränderte Witterungsverhältnisse reagieren können und dass Landwirtschafts- und Gartenbaubetrieben rasche und flexible Reaktionen auf auftretende Pflanzenschutzprobleme abverlangt werden.

Für Landwirtinnen und Landwirte wird damit eine genaue Beobachtung der eigenen Bestände im Rahmen des integrierten Pflanzenschutzes immer bedeutsamer. Dazu gehören vorbeugende Maßnahmen, um durch gesunde und widerstandsfähige Bestände auftretende (Witterungs-)Extreme und latente Befallssituationen abzapuffern, die sorgfältige Überwachung der Kulturen und die Berücksichtigung des Resistenzmanagements beim Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel unter Beachtung des Vorrangs für nicht-chemische Maßnahmen.

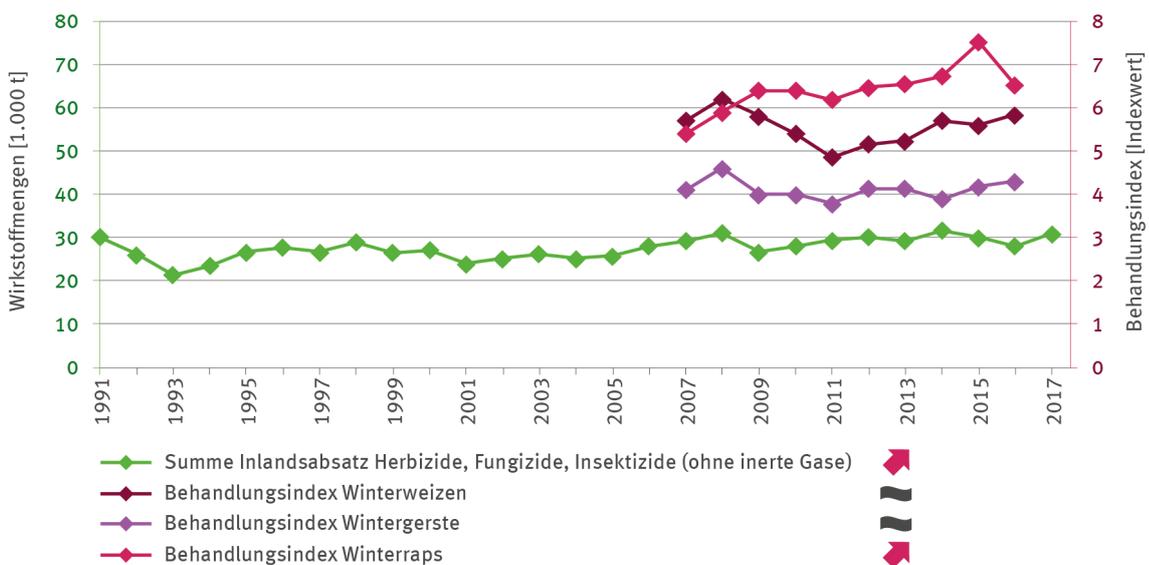
Der von Bund und Ländern beschlossene Nationale Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (NAP) zielt darauf ab, die Risiken, die durch die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln entstehen können, weiter zu reduzieren, die Anwendung von chemischen Pflanzenschutzmitteln auf das notwendige Maß zu begrenzen. Der Klimawandel kann dazu führen, dass sich das Erstauftreten und die Entwicklung sowie die Infektions- bzw. Befallsbedingungen verschiedener Schadorganismen verändern. Darauf sollte mit gezielten Bestandesüberwachungen und der Beachtung sowie gegebenenfalls der Anpassung von Bekämpfungsrichtwerten reagiert werden.

Für die Praxis bedeutet dies, dass Produktionssysteme anzupassen sind und Investitionen in aktuelle und verbesserte Prognose- und Entscheidungshilfesysteme zunehmen werden.

Bei der Interpretation langjähriger Datenreihen zum Absatz von Pflanzenschutzmitteln und zu den Intensitäten im Pflanzenschutz ist zu berücksichtigen, dass die

### LW-R-5: Pflanzenschutzmittel-Anwendung

Der Klimawandel wird größere Unsicherheiten im Pflanzenschutz mit sich bringen. Diese sollten nicht dazu führen, dass der Absatz von Pflanzenschutzmitteln und die Intensitäten im Pflanzenschutz steigen. Für die Summe des Inlandsabsatzes ergab sich über den Gesamtzeitraum betrachtet ein steigender Trend.



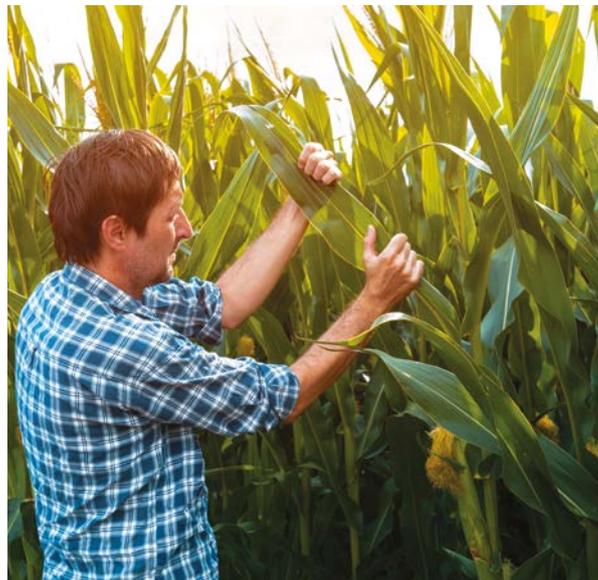
Datenquelle: Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (Meldungen gemäß § 19 Pflanzenschutzgesetz), Julius Kühn-Institut und Staatliche Pflanzenschutzdienste der Bundesländer (Netz von Vergleichsbetrieben Pflanzenschutz)

Entwicklungen neben witterungsbedingten Ursachen durch zahlreiche weitere Faktoren beeinflusst werden. So kann unter anderem die steigende Spezialisierung der Betriebe mit sich bringen, dass vermehrt Probleme im Pflanzenschutz auftreten. Auch Entscheidungen für eine Minimalbodenbearbeitung mit dem Ziel Bodenschutz und Humusaufbau können zu einem höheren Unkrautdruck und zur Konkurrenz für die Kulturpflanzen führen.

Entscheidungen zur Bewirtschaftung können also zu einer vermehrten Anwendung von Pflanzenschutzmitteln führen, wenn deren Einsatz als „ultima ratio“ gemäß den Prinzipien des integrierten Pflanzenschutzes nicht zu vermeiden ist. Außerdem ist bei der Interpretation der Daten zu Absatzmengen und Intensitäten im Pflanzenschutz zu berücksichtigen, dass moderne hochwirksame Pflanzenschutzmittel eine zunehmende Verringerung der Einsatzmengen erlauben können, wenn die eingesetzten Mittel z. T. ökotoxikologisch stärkere Wirkungen haben. Diese Mittel können aus ökotoxikologischer Sicht allerdings trotz geringer werdenden Mengen das gleiche Risiko aufweisen wie ältere Mittel, die in höheren Mengen zum Einsatz kamen, sodass das Gesamt-Risikopotenzial auch bei gleichbleibendem Absatz steigen kann.

Dargestellt ist der Inlandsabsatz von Pflanzenschutzmitteln. Dieser gibt nur eine grobe Orientierung zu den Einsatzmengen in Deutschland, auch weil Pflanzenschutzmittel über die Grenzen Deutschlands hinweg gehandelt werden. Dieser Handel ist hier nicht berücksichtigt. In den letzten zwanzig Jahren haben sich die Absatzmengen mengenmäßig auf einem Niveau eingependelt. Sollten sich im Zuge des Klimawandels die Schaderregerspektren verändern, weil beispielsweise Unkräuter und -gräser sowie Insekten besonders von der wärmeren Witterung profitieren, dann könnte sich dies auch in den Anteilen der Wirkungsbereiche von Pflanzenschutzmitteln (Herbizide, Fungizide, Insektizide) am gesamten erfassten Inlandsabsatz niederschlagen. In den zurückliegenden zwanzig Jahren waren aber auch diesbezüglich noch keine Verschiebungen erkennbar.

Aussagen zur Intensität der Pflanzenschutzmittelanwendung ermöglicht der Behandlungsindex. Er verrechnet die Anzahl der in einem Jahr durchgeführten Anwendungen mit den Aufwandmengen einer jeden Spritzung im Verhältnis zur höchsten zugelassenen Aufwandmenge für die jeweilige Kultur und Indikation. Die Zu- oder Abnahme der Intensität der Pflanzenschutzmittelanwendung wird durch steigende oder sinkende Behandlungsindices ausgedrückt. Zu einer Zunahme der Intensität sollte es trotz der mit dem Klimawandel verbundenen Herausforderungen im Pflanzenschutz nicht kommen.



Wenn der Befall mit Schadorganismen unberechenbarer wird, werden sorgfältige und regelmäßige Bestandskontrollen immer wichtiger. (Foto: Bits and Splits / stock.adobe.com)

## Schnittstellen

### LW-I-4: Schaderregerbefall

#### Ziele

Reduzierung der Abhängigkeit von der Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel, u. a. durch Einführung und Weiterentwicklung alternativer Pflanzenschutzverfahren, Züchtung widerstandsfähiger und resilienter Kulturpflanzen und Ausbau des Flächenanteils des ökologischen Landbaus (Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln 2013, u. a. Kap. 5.1 und 6.1.2; 5-Punkte-Programm des UBA für einen nachhaltigen Pflanzenschutz, Kap. III)

Weiterentwicklung und konsequente Umsetzung des integrierten Pflanzenschutzes zur Begrenzung der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln auf das notwendige Maß (Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln 2013, Kap. 4.9 und 5.1)

Reduzierung und Kompensation der Risiken, die durch die Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel entstehen können. (5-Punkte-Programm des UBA für einen nachhaltigen Pflanzenschutz, Kap. III)

## Beregnung wird lukrativer

Eine ausreichende Wasserversorgung ist Grundvoraussetzung für hohe und stabile landwirtschaftliche Erträge. Insbesondere in der Kartoffel und Gemüseproduktion sowie für Sonderkulturen reicht dafür Regenwasser allein in aller Regel nicht aus. In diesen Fällen ist es nur durch eine zusätzliche Beregnung möglich, auf den betroffenen Flächen bestmögliche Qualitäten und hohe Produktionsmengen zu erzielen.

Zwei heute bereits beobachtbare Klimatrends wirken sich im Hinblick auf eine ausreichende Wasserversorgung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen in der Hauptvegetationsperiode, die für die Ertragsbildung eine entscheidende Rolle spielt, negativ aus: Zum einen nehmen die (Früh-)Sommerniederschläge ab, zum anderen können die Sommerniederschläge vermehrt als Starkregenereignisse auftreten, wodurch sich die Verfügbarkeit für die Pflanzen zusätzlich verschlechtert. Die Landwirtschaft kann u. a. mit einem verstärkten Anbau trockenstresstoleranterer Sorten, angepassten Verfahren der Bodenbearbeitung für eine Erhöhung der Bodenfeuchte oder mit zunehmender und effizienterer

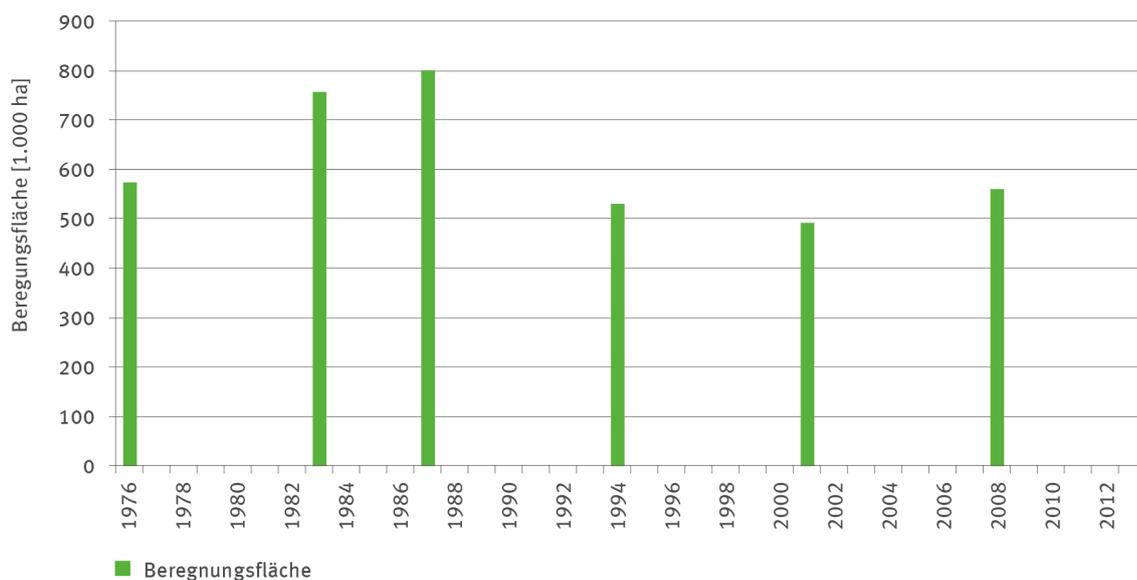
Bewässerung bzw. Beregnung landwirtschaftlicher Kulturen auf diese Situation reagieren.

Daher ist auch eine Ausdehnung der Beregnung insbesondere sensibler landwirtschaftlicher Kulturen bzw. Fruchtfolgen als Anpassungsreaktion der Landwirtschaft zu erwarten. Das bedeutet, mit den klimatischen Veränderungen gerät die Beregnung stärker ins Blickfeld; gleichzeitig wird eine Steigerung der Wassernutzungseffizienz in der Landwirtschaft relevanter.

Insgesamt wurden 2015 in Deutschland 451.800 Hektar landwirtschaftliche Fläche bewässert. Mehr als die Hälfte liegt in Nordost-Niedersachsen. In anderen Bundesländern befinden sich auch intensive Bewässerungsregionen, jedoch mit deutlich kleineren Bewässerungsflächen (Statistisches Bundesamt, Daten von 2015). Beregnungswasser wird vor allem im Obstanbau auch zu Zwecken des Frostschutzes eingesetzt, da als Folge früher einsetzender Blühtermine das Risiko von Spätfrostschäden steigt.

### LW-R-6: Landwirtschaftliche Beregnung

Unter den Bedingungen des Klimawandels wird die Bewässerungsbedürftigkeit voraussichtlich weiter zunehmen und sich auch auf weitere Kulturen ausweiten. Bislang stehen keine regelmäßig erhobenen Daten für die Landwirtschaftliche Beregnung zur Verfügung. Die Abfrage des Bundesfachverbandes Feldberegnung wurde nicht aktualisiert.



Datenquelle: Bundesfachverband Feldberegnung (unregelmäßige Umfragen bei den Ländern zum Stand der Beregnung in Deutschland)

Da Daten zu den mit Beregnungstechnik ausgestatteten und mit Wasserrechten belegten Flächen nicht jährlich erhoben werden, sind Tendaussagen zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht möglich. Daten des Statistischen Bundesamts zu Betrieben und Flächen mit Bewässerung zeigen jedoch einen deutlichen Anstieg von 2009 zu 2015. In diesem Zeitraum hat die tatsächlich bewässerte Fläche von 372.750 Hektar um 21 % auf 451.800 Hektar zugenommen. In 79 % der Betriebe werden Sprinkler für die Bewässerung eingesetzt, 32 % der Betriebe nutzen (auch) Tropfbewässerung. Bundesweit wird das Wasser für Beregnungszwecke zu 77 % aus Grund- und Quellwasser gewonnen, jeweils circa 11 % stammen aus Oberflächengewässern und aus öffentlichen oder privaten Versorgungsnetzen (Statistisches Bundesamt, Daten von 2015<sup>29</sup>).

Bundesweit ist seit 2002 ein zunehmendes Interesse an der Beregnung zu verzeichnen. Die finanzielle Förderung überbetrieblicher Einrichtungen zur Beregnung wird im Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums (ELER) durch die EU sowie Bund und Länder ab 2014 und in der neuen Förderperiode der GAK ab 2018 fortgesetzt. Die Förderungen sind an die Bedingung geknüpft, dass es sich um wassersparende Einrichtungen handelt.

In ökologischer Hinsicht ist die Beregnung nicht in allen Regionen und Situationen gleich zu bewerten. Grundwasserspiegelabsenkungen und Veränderungen im Stoffhaushalt der Böden können nachteilige Effekte einer Beregnung sein. Noch ist der Anteil der landwirtschaftlichen Wasserentnahme für die Beregnung in Deutschland mit 1,25 % an den Gesamtwasserentnahmen sehr gering (Statistisches Bundesamt, Daten von 2016)<sup>30</sup>. Gleichwohl können nachhaltige Einflüsse auf den Wasserhaushalt in den regionalen Bewässerungsschwerpunkten ebenso wie Nutzungskonflikte nicht ausgeschlossen werden. In Nordost-Niedersachsen sind die den Betrieben im Rahmen der wasserrechtlichen Erlaubnisse zugewiesenen Wasserkontingente ein begrenzender Faktor für eine weitere Ausdehnung der Bewässerung. Während der Trockenheit 2018 wurden Schätzungen zufolge einige dieser Wasserkontingente schon überschritten. Daher sind Maßnahmen zur Steigerung der Wassernutzungseffizienz nötig. Möglichkeiten sind die Verbesserung des Humusgehalts, die Förderung einer tiefen Durchwurzelung, optimierte Bodenbearbeitung, Fruchtfolgegestaltung, Arten- und Sortenwahl, angepasste Bestandsdichten, Beregnungssteuerung und Anpassung der Beregnungstechnik.



Wenn die Sommerniederschläge weiter abnehmen und diese gleichzeitig vermehrt als Starkregen fallen, kann eine Beregnung wirtschaftlich interessant werden.

(Foto: Martina Nolte / Wikimedia Commons, CC BY-SA 3.0)

## Schnittstellen

BO-I-1: Bodenwasservorrat in landwirtschaftlich genutzten Böden

LW-I-1: Verschiebung agrarphänologischer Phasen

## Ziele

Förderung der Infrastruktur zur landwirtschaftlichen Bewässerung über die GAK bei effizienterem Einsatz von Wasser wie beispielsweise verlustärmere Bewässerung landwirtschaftlicher Nutzflächen (DAS, Kap. 3.2.3)

Weiterentwicklung Wasser sparender Ackerbausysteme und Bewässerungstechniken, Erweiterung der Bewässerungsmöglichkeiten (Nachhaltigkeitskonzept des BMELV, S. 10)

Berücksichtigung qualitativer Aspekte für das Bewässerungswasser (aufbauend auf DIN 19650, DIN 19684-10) und wasserwirtschaftlicher Bewertung zur Entnahme von Wasser zur Bewässerung (DWA-M 590)



© Robert Kneschke / stock.adobe.com

# Wald und Forstwirtschaft

In Deutschland bedecken Wälder rund 11,4 Millionen Hektar Fläche, das entspricht etwa einem Drittel der gesamten Landoberfläche. Aufgrund ihrer vielfältigen wirtschaftlichen, sozialen und ökologischen Funktionen kommt Waldökosystemen eine besondere Bedeutung zu. Das Bundeswaldgesetz sieht daher vor, den Wald mit all seinen Funktionen zu erhalten, falls erforderlich auch zu mehren und seine ordnungsgemäße Bewirtschaftung sicherzustellen.

Der Klimawandel und die damit erwartete Häufung und Verschärfung von Witterungsextremen wie Hitze und Trockenheit und möglicherweise auch von Stürmen sind eine der bedeutendsten Herausforderungen für die Forstwirtschaft. Die Auswirkungen auf den Wald sind insofern gravierend, als sich die Klimaveränderungen in einer bisher nicht gekannten Geschwindigkeit vollziehen. Dies ist für den Wald vor allem deshalb problematisch, weil Bäume sehr langlebig und ortsfest sind, und Waldbestände daher in ihrer gesamten Lebensspanne sehr unterschiedlichen Umwelt- und Wachstumsbedingungen ausgesetzt sind. Können sich Wälder an diese Umweltänderungen nicht anpassen, wird nicht nur der einzelne Baum geschwächt, sondern das gesamte Waldökosystem gestört. Trockenheits- und Sturmschäden sowie großflächiger Schädlingsbefall können zum Verlust der Schutzfunktion der Wälder und verstärkter Bodenerosion führen. Abbauprozesse abgestorbener Biomasse ziehen erhöhte Treibhausgas-Emissionen nach sich. Zudem sind Qualitätseinbußen des Holzes und zu Ertragsminderungen mögliche Folgen. Das nach größeren Schadereignissen zumeist große Angebot an Holz auf dem Markt hat zudem häufig einen Preisverfall zur Folge. Darauf muss die Forstwirtschaft, die es von jeher mit langen Produktionszeiträumen zu tun hat und langfristig planen muss, rechtzeitig reagieren. Sie muss diese zukünftigen Veränderungen der Wuchsbedingungen berücksichtigen, ohne dass sie aber genau weiß, wo und in welchem Umfang sich welche konkreten Veränderungen vollziehen werden.

Da die Bundeswaldinventur (BWI) in Abständen von 10 Jahren durchgeführt wird, sind in die Darstellung die Ergebnisse der letzten Inventur aus dem Jahr 2012 eingeflossen. In den beiden letzten Jahren 2018 und 2019 haben extreme Dürre, überdurchschnittlich viele Waldbrände, Borkenkäferbefall und Stürme gravierende Schäden in den Wäldern verursacht. Im Dürrejahr 2018 sind nach Angabe der Bundesländer rund 32,4 Millionen Kubikmeter Schadholz angefallen. Allein durch Brände ging 2018 eine Fläche von 2.349 Hektar verloren. Fachleute erwarten für 2019 sogar noch größere Mengen Schadholz. Hauptsächlich sind Fichtenbestände betroffen; es zeichnet sich jedoch ab, dass auch Laubbäume wie beispielsweise die Rotbuche gravierende Schäden aufweisen. Diese aktuellen Entwicklungen können erst im Monitoringbericht 2023 dargestellt werden.

## Auswirkungen des Klimawandels

Anpassungsfähigkeit der natürlichen Baumarten (FW-I-1) .....	112
Fichte gerät zunehmend unter Druck (FW-I-2) .....	114
Veränderungen im Zuwachs (FW-I-3) .....	116
Forstwirtschaft wird risikoreicher (FW-I-4) .....	118
Borkenkäfer – großes Problem für die Fichte (FW-I-5) .....	120
Trotz zunehmender Waldbrandgefahr nicht mehr Waldbrände (FW-I-6) .....	122
Kronenverlichtung durch Klimawandel? (FW-I-7) .....	124

## Anpassungen

Mischwälder – Vielfalt streut das Risiko (FW-R-1) .....	126
Aktiver Waldumbau – der Natur auf die Sprünge helfen (FW-R-2).....	128
Gefährdete Nadelholzbestände gezielt reduzieren (FW-R-3).....	130
Genetische Vielfalt – Schlüssel zur Anpassung an den Klimawandel (FW-R-4) .....	132
Humus – Helfer in schweren Zeiten (FW-R-5) .....	134
Forstliche Information zum Thema Anpassung (FW-R-6).....	136

## Anpassungsfähigkeit der natürlichen Baumarten

Wälder sind sehr langlebige Ökosysteme. Dementsprechend hat es auch die Forstwirtschaft mit langen Produktionszeiträumen zu tun. Sie muss weit vorausschauend planen und zukünftige Veränderungen der Wuchsbedingungen berücksichtigen. Baumarten, die bislang noch gut mit den Klimabedingungen an ihrem Standort zurechtkommen, können in den kommenden Jahrzehnten anfälliger für Schäden werden und Zuwachseinbußen erleiden. Im Wirtschaftswald wird die Artenzusammensetzung von der forstlichen Nutzung und Pflege geprägt. Hier überlagern sich die natürliche Waldentwicklung und die vom Menschen durchgeführten Eingriffe.

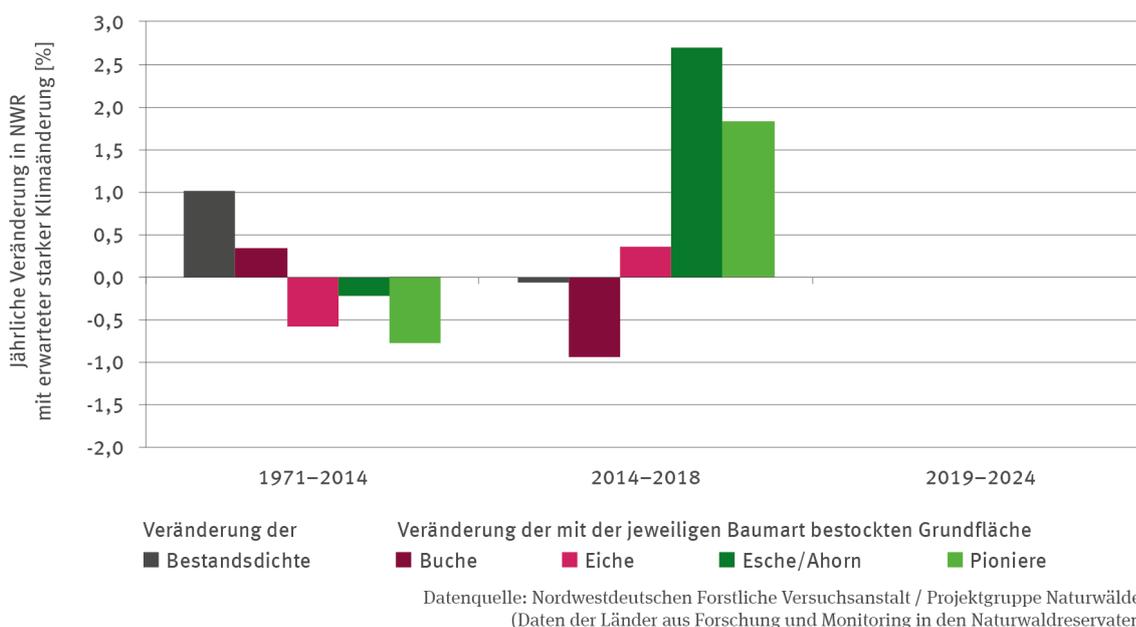
In Naturwaldreservaten entwickeln sich die Wälder ohne direkte menschliche Eingriffe. Ende 2017 gab es in Deutschland 742 Naturwaldreservate mit einer Fläche von insgesamt 35.500 Hektar. In der überwiegenden Zahl der Naturwaldreservate dominieren die standortheimischen Baumarten. Ob die Grenzen ihrer Anpassungsfähigkeit infolge der Klimaveränderungen überschritten werden, sollen Beobachtungen der natürlichen Walddynamik in diesen Gebieten zeigen. Die

Ergebnisse erleichtern den Waldbewirtschaftenden die Entscheidung, in welchem Umfang wärme- und trockenheitstolerantere Baumarten in forstlich genutzte Bestände eingebracht werden sollten, um die Holznutzung auch künftig zu sichern.

Regionale Projektionen des künftigen Klimawandels ermöglichen eine Unterscheidung zwischen Naturwaldreservaten, in denen in Zukunft eher geringe Änderungen der Wasserversorgung zu erwarten sind, und solchen, in denen sich die Wasserbilanz voraussichtlich deutlich negativ verändern wird, sodass der Baumbestand unter Trockenstress geraten könnte. Fasst man innerhalb dieser Gebiete die vorkommenden Baumarten zu Gruppen mit bestimmten Anpassungseigenschaften zusammen und beobachtet deren langfristige Entwicklung, lassen sich Aussagen zum Verlauf von Anpassungsprozessen der Waldökosysteme treffen. Während der Trauben und Stieleiche, der Esche, dem Berg- und Spitzahorn sowie den sogenannten Pionierarten wie der Sand- und Moorbirke, der Salweide, der Aspe und der Eberesche ein vergleichsweise hohes Anpassungsvermögen zugeschrieben

### FW-I-1: Baumartenzusammensetzung in Naturwaldreservaten – Fallstudie

In den Naturwaldreservaten, für die stärkere Klimaänderungen mit höheren Temperaturen und trockeneren Bedingungen sowie häufigeren und stärker ausgeprägten Witterungsextremen erwartet werden, hat der Anteil der Buche abgenommen.



wird, ist zu vermuten, dass die Rotbuche eher empfindlich auf Trockenstress reagiert. Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass auch andere Faktoren wie beispielsweise Schädlingsbefall, Windwürfe oder die Konkurrenz um Licht, Wasser und Nährstoffe die Entwicklung der einzelnen Baumartengruppen beeinflussen.

In Naturwaldreservaten der Bundesländer Baden-Württemberg, Bayern, Brandenburg, Hessen, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein zeichneten sich bis 2014 Verschiebungen in der Baumartenzusammensetzung ab, die sich nicht mit Klimaveränderungen erklären ließen. Überwiegend zeigten die Baumbestände eine Zunahme der Bestandesdichte, was als Hinweis darauf gewertet werden konnte, dass die Vitalität der Bäume nicht erkennbar beeinträchtigt wurde. Während die Buche ihren Anteil erhöhen konnte, waren die Anteile der Eichenarten und der Esche / Ahorn-Gruppe zurückgegangen. Diese Entwicklung kann zum einen mit der Konkurrenzkraft der Buche und zum anderen mit krankheitsbedingten Absterbeerscheinungen bei der Eiche und der Esche erklärt werden. Die Gruppe der Pionierbaumarten zeigte nur eine sehr geringfügige Veränderung. Insgesamt deuteten die Ergebnisse nicht darauf hin, dass die Entwicklungen merklich vom Klimawandel beeinflusst waren.

In der zweiten Beobachtungsperiode von 2014 bis 2017 hat sich die Entwicklungsrichtung in denjenigen Naturwaldreservaten umgekehrt, für die stärkere Klimaänderungen mit höheren Temperaturen und trockeneren Bedingungen sowie häufigeren und stärker ausgeprägten Witterungsextremen erwartet werden. Bei einer nur noch sehr geringen Zunahme der Bestandesdichte hat der Anteil der Buche abgenommen, während die Anteile aller anderen Baumartengruppen zugenommen haben. Angesichts des recht kurzen Beobachtungszeitraums müssen die Ergebnisse zwar vorsichtig interpretiert werden, sie entsprechen jedoch den unter Klimawandel erwarteten Entwicklungen. Gestützt wird diese Interpretation auch dadurch, dass sich in Naturwaldreservaten, für die eher geringere Veränderungen der Wasserversorgung erwartet werden, die Entwicklung der ersten Beobachtungsperiode fortsetzt. Hier nehmen Bestandesdichte und Buchenanteile weiter zu. Die beiden Gruppen zeigen also erstmals eine unterschiedliche Entwicklung.



In Naturwaldreservaten lässt sich ohne Einfluss von Bewirtschaftungseffekten beobachten, welche Baumarten am jeweiligen Standort die konkurrenzfähigeren sind.  
(Foto: Peter Meyer / NWFVA)

## Ziele

In vorhandenen nutzungsfreien Wäldern wird das Klimaanpassungspotenzial der Baumbestände ohne Pflege und Nutzung untersucht. Auf dieser Grundlage werden Hinweise für die Forstwirtschaft gegeben. (Waldstrategie 2020, S. 11)

Erhaltung und Entwicklung der natürlichen und naturnahen Waldgesellschaften (NBS, Kap. B 1.2.1)

## Fichte gerät zunehmend unter Druck

Die gezielte Ausweitung des Fichtenanbaus in deutschen Wäldern begann vor über 200 Jahren. Die Wälder waren damals vielerorts aufgrund von Waldweide und intensiver Holznutzung in einem schlechten, sehr stark aufgelichteten Zustand. Die Fichte wurde aufgrund ihrer Anspruchslosigkeit, Robustheit und leichten Vermehrbarkeit als die ideale Baumart gesehen, um Flächen rasch wiederzubewalden. Das gut und vielseitig verwertbare Holz galt als geeignet, um die befürchtete Holznot zu überwinden. Allerdings ist die Fichte durch ihr meist flaches Wurzelsystem sturm- und trockenheitsempfindlich. Als Folge der massiven Ausweitung des Fichtenanbaus wurde die Baumart auch auf Standorten angebaut, die ihren Ansprüchen an eher kühle und feuchte Klimabedingungen nicht gerecht werden und die den Klimawandelzenarien zufolge künftig noch wärmer und trockener werden.

Früh zeigte sich, dass Fichtenreinbestände ein hohes Anbaurisiko aufweisen. Schon Ende des 19. Jahrhunderts kam es infolge von Schädlingsbefall oder Sturmereignissen immer wieder zu einer Zerstörung lokaler Bestände.

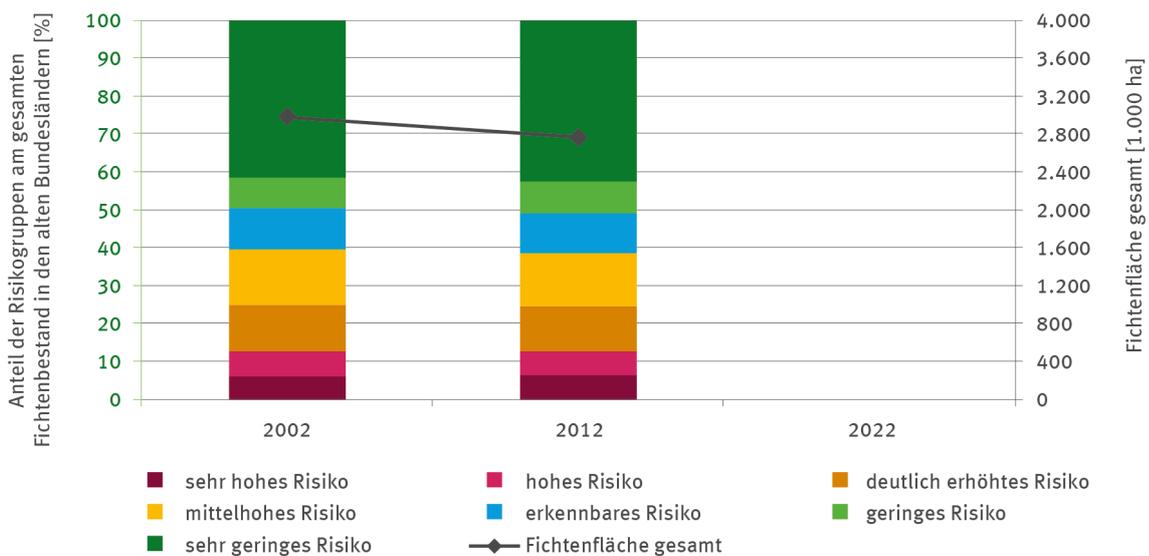
Allerdings verdeutlichten erst die großflächigen Schadereignisse der letzten zwei Jahrzehnte das Ausmaß der Anfälligkeit der Fichte. Starke Orkane wie Vivian bzw. Wiebke, Lothar und Kyrill führten zu hohen Schadholzmengen.

Selbst bei einem moderaten Temperaturanstieg von unter 2 °C wird das Anbaurisiko der Fichte deutlich zunehmen, weil zunehmend mehr Anbauregionen in den Bereich jenseits der Wärme- und Trockenheitsgrenze der Fichte geraten werden. Probleme wie beispielsweise überdurchschnittlicher Schädlingsbefall und geringe Wuchskraft, die jetzt nur in Randregionen des Fichtenanbaus auftreten, werden zukünftig auch Gebiete betreffen, die bislang als ertragreiche Anbauggebiete mit beherrschbarem oder tolerierbarem Risiko auftraten.

Mit der Bundeswaldinventur werden die Waldverhältnisse und die Produktionsmöglichkeiten regelmäßig auf Stichprobenbasis erfasst. Bei der zweiten Inventur im Jahr 2002 erfolgten die Erhebungen erstmalig auch bundesweit. 2012 wurde die dritte Inventur

### FW-I-2: Gefährdete Fichtenbestände

Die Fichte wird unter den sich verändernden Klimabedingungen zunehmend für sie ungünstige Wuchsbedingungen vorfinden. Zwischen den beiden Bundeswaldinventuren 2002 und 2012 hat sich die Risikosituation in den deutschen Wäldern noch nicht gravierend verändert. Fichten auf Hochrisikostandorten sind nicht in relevantem Umfang zurückgegangen. Insgesamt nahm die dominant mit Fichten bestockte Waldfläche ab.



Datenquelle: Thünen-Institut für Waldökosysteme, Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (Modellierung auf der Basis der Bundeswaldinventur)

durchgeführt. Überlagert man die bei der zweiten und dritten Bundeswaldinventur ermittelte Fichtenfläche mit klimatischen Risikobereichen für die Fichte, die für die Klimanormalperiode 1981–2010 festgelegt wurden, wird deutlich, dass sich in diesem Zeitraum kaum Änderungen vollzogen haben. 2002 standen 12,7 % aller Fichten in Bereichen, in denen sie einem sehr hohen und hohen klimatischen Risiko ausgesetzt sind, in denen also die klimatischen Bedingungen aufgrund geringer Niederschlagssummen und vergleichsweise hoher Jahresdurchschnittstemperaturen zum damaligen Zeitpunkt schon sehr ungünstig waren. Dieser Anteil lag 2012 noch immer bei 12,5 %. Der Anteil der Fichtenfläche (mit mindestens 90 % Bestockungsanteil der Fichte) in Bereichen mit sehr geringem und geringem Risiko ist demgegenüber zwischen 2002 und 2012 um 1,2 Prozentpunkte angestiegen. Diese nur geringen Veränderungen erlauben den Rückschluss, dass sich die Risikosituation für Trockenschäden im Zeitraum zwischen 2002 und 2012 noch nicht in relevantem Umfang verändert hat. Die Ergebnisse der nächsten Bundeswaldinventur, in denen die Wirkungen der vergangenen sehr trockenen und warmen Jahre einfließen, werden 2022 vorliegen.

Insgesamt war die Fichtenwaldfläche im Jahre 2012 gegenüber 2002 um 215.000 Hektar kleiner. Infolgedessen ist der Bestockungsanteil der Fichte an der gesamten Waldfläche in Deutschland von 28,4 % auf 25,4 % zurückgegangen. Diese Entwicklung ist zum größten Teil auf Sturmwürfe der Fichte und den Waldumbau von Fichtenreinbeständen in Laub- und Mischwälder zurückzuführen, mit dem die Standortgerechtigkeit der Wälder verbessert werden soll. Eine spezifische Anpassung von trockenheitsgefährdeten Fichtenbeständen spielte dabei bisher eine untergeordnete Rolle.

Grundsätzlich gehört die Ermittlung der Anbaurisiken bzw. -potenziale für forstlich bedeutsame Arten zu den wichtigen Planungshilfen für die Forstwirtschaft. Lassen sich die Risiken eines Misserfolgs beim Anbau abschätzen, kann die Forstwirtschaft bei allen Unsicherheiten und Wissenslücken die betrieblichen Entscheidungen der Baumartenwahl daran ausrichten.



Die Trockenheit in den Jahren 2018 und 2019 haben der Fichte stark zugesetzt. (Foto: © KI Photography/ stock.adobe.com)

## Schnittstellen

FW-I-5: Schadholzaufkommen durch Buchdrucker  
FW-R-3: Umbau gefährdeter Fichtenbestände

## Ziele

Voranbringen des Waldumbaus von Reinbeständen in standortgerechte, risikoarme Mischbestände (DAS, Kap. 3.2.7)

Erhaltung der Waldfläche in Deutschland und Steigerung der Stabilität und Vielfalt der Wälder. Anbau standortgerechter Baumarten mit hoher Widerstandsfähigkeit, Anpassungsfähigkeit und Wuchsleistung (Waldstrategie 2020, S. 23)

Kontinuierliche Reduktion des Anteils nicht standortheimischer Baumarten (NBS, Kap. B 1.2.1)

## Veränderungen im Zuwachs

Wie schnell Bäume wachsen und wie viel Holzvolumen je Zeiteinheit gebildet wird, ist wesentlich von der Nährstoff- und Wasserversorgung ihrer Standorte sowie von den vorherrschenden Temperaturen abhängig. In Berglagen oder kalten Senken, die bisher wärmelimitiert sind, können sich Temperaturerhöhungen positiv auf den Zuwachs der dort stockenden Bäume auswirken. In Bereichen wie beispielsweise der Oberrheinebene, in denen das Wachstum schon heute vielerorts durch Hitze- und Trockenheit begrenzt ist, werden sich weitere Temperaturerhöhungen und zunehmende Trockenheit infolge des Klimawandels dagegen nachteilig auf die Holzzuwächse auswirken. Insgesamt wird erwartet, dass sich die mit dem Klimawandel einhergehenden Witterungsveränderungen standorts- und bestandspezifisch unterschiedlich auf den Holzzuwachs auswirken werden.

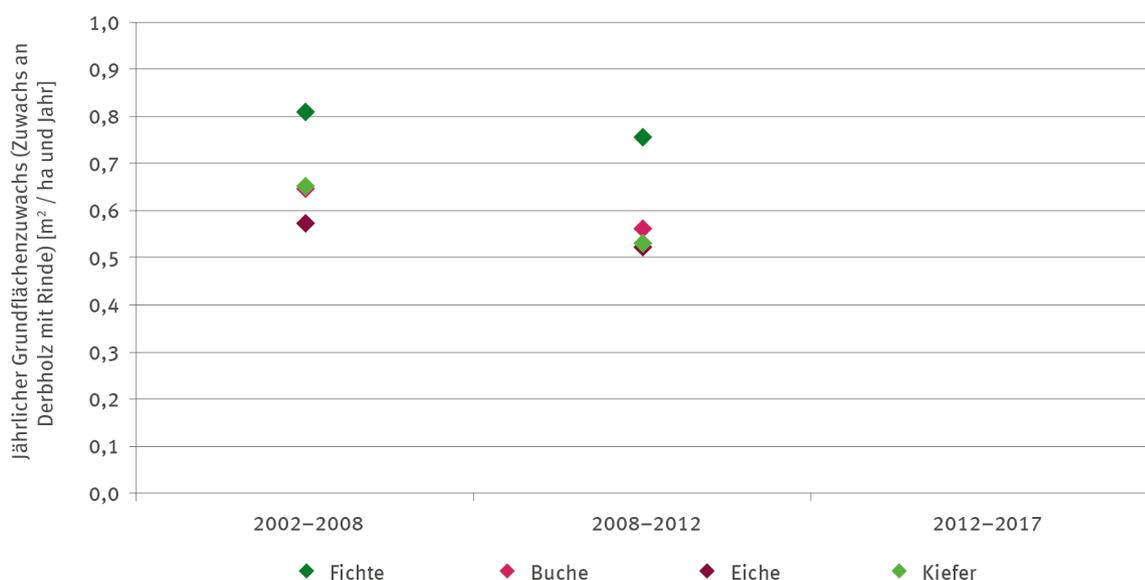
Viel diskutiert wird neben den Witterungseinflüssen auch der düngende Effekt erhöhter Kohlendioxid-Konzentrationen in der Atmosphäre. Er kann sich grundsätzlich produktivitätssteigernd auswirken, wenn gleichzeitig andere wichtige Wachstumsfaktoren nicht

begrenzt sind. Ein weiterer bedeutender Einflussfaktor ist die Altersstruktur der Bestände, denn die Zuwachseleistung der Bäume ist abhängig von ihrem Alter. Junge Bäume mit einem Alter von unter 20 Jahren weisen einen geringen Volumenzuwachs auf. Dieser steigt dann in den Folgejahren stark an und sinkt im Alter in Abhängigkeit von der Baumart wieder ab. Analysen von Zuwachsdaten müssen daher stets das Alter berücksichtigen.

Das Zusammenwirken aller Einflussfaktoren ist komplex und lässt sich in seinen Auswirkungen für den künftigen Zuwachs nur schwer voraussagen. Klar ist aber bereits, dass es im Wald in Abhängigkeit von den jeweiligen Standortverhältnissen Gewinner und Verlierer des Klimawandels geben wird. Grundsätzlich ist der produktive Holzzuwachs neben der Qualität des Holzes für die Forstwirtschaft eine relevante Größe, denn er entscheidet letztendlich über die Höhe der erzielbaren Holzerträge. Sinken in Wirtschaftswäldern u. a. infolge ungünstigerer Witterungsverhältnisse die Zuwächse beständig in erheblichem Umfang, werden gezielte forstliche Managementmaßnahmen erforderlich, um die Produktionsfunktion

### FW-I-3: Holzzuwachs

Der Zuwachs im Zeitraum 2008 bis 2012 fiel für alle Hauptbaumarten geringer aus als im vorhergehenden Zeitraum 2002 bis 2008. Dies deutet darauf hin, dass einzelne Trockenjahre bisher nicht dominant die Zuwächse bestimmten, denn die besonders warmen und trockenen Jahre 2003 und 2006 fielen in den ersten Zeitraum mit den noch höheren Zuwächsen.



Datenquelle: Thünen-Institut für Waldökosysteme (Auswertungen auf der Basis der BWI)

des Waldes aufrechtzuerhalten. Der Holzzuwachs ist außerdem insofern von Bedeutung, als er Voraussetzung für die Funktion des Waldes als Kohlenstoffspeicher ist. Je mehr Holz in einem Bestand zuwächst, desto mehr Kohlendioxid wird der Atmosphäre entzogen und in Form von Kohlenstoff im Holz festgelegt. Man geht davon aus, dass in jedem Kubikmeter Holz rund 250 kg Kohlenstoff gebunden sind. Damit leisten Wälder mit positiver Kohlenstoffbilanz auch einen bedeutenden Beitrag zum Klimaschutz.

Die bisher verfügbaren Ergebnisse der Bundeswaldinventur stellen Startpunkte für den Aufbau einer längeren Zeitreihe zum Holzzuwachs dar. Ab 2002 stehen bundesweite Inventurdaten zur Verfügung. Die Daten lassen vor allem Schlussfolgerungen zu den Wirkungen extremer Witterungssituationen im jeweiligen Beobachtungszeitraum zu. So ließen sich die hohen durchschnittlichen Holzzuwächse der Wälder, die bis zum Ende des 20. Jahrhunderts ermittelt wurden, im Zeitraum 2002 bis 2008 in den alten Bundesländern vor allem für die Fichte nicht mehr in diesem Umfang ermitteln. Es wird davon ausgegangen, dass insbesondere die heißen und trockenen Jahre 2003 und 2006 zu Produktivitätseinbußen geführt haben. Aber auch im Folgezeitraum 2008–2012 ohne Trockenjahre sind die Holzzuwächse im bundesweiten Mittel bei den vier Hauptbaumarten weiter zurückgegangen, am stärksten bei der Kiefer, gefolgt von der Buche.

Die Ergebnisse der Zwischeninventur zur Erfüllung der Treibhausgasberichterstattung (CI 2017) lagen bei der Erstellung des DAS-Monitoringberichts 2019 noch nicht vor. Daher können die Zuwächse im Zeitraum 2012–2017 noch nicht dargestellt werden. Mit einer längeren Zeitreihe werden sich künftig die längerfristig wirkenden Effekten des Klimawandels auf den Holzzuwachs abbilden lassen.



Je nach Witterungsbedingungen können die Holzerträge in den Jahren sehr unterschiedlich hoch ausfallen.  
(Foto: Andreas Bolte / Thünen-Institut)

## Schnittstellen

LW-I-2: Ertragsschwankungen

## Ziele

Sicherstellung der Produktion von Holz aus nachhaltiger Forstwirtschaft; Deckung des steigenden inländischen Holzbedarf auch nach 2020 überwiegend aus heimischer Erzeugung (Waldstrategie 2020, S. 7)

## Forstwirtschaft wird risikoreicher

Die langen Produktionszeiträume in der Forstwirtschaft erfordern eine sorgfältige und langfristige Planung der forstlichen Bewirtschaftung, und nur, wenn sich die Maßnahmen planungsgemäß umsetzen lassen, ist es möglich, die angestrebten Bewirtschaftungsziele zu erreichen. Der Klimawandel hat in zweierlei Hinsicht Auswirkungen auf die Planbarkeit der forstlichen Nutzung in Wirtschaftswäldern. Zum einen können die veränderten Witterungsverhältnisse die Bäume schwächen und damit anfälliger für Schäden, insbesondere Insektenbefall, machen. Zum anderen wird davon ausgegangen, dass Extremereignisse wie beispielsweise Stürme, im Zuge des Klimawandels in ihrer Häufigkeit und Intensität zunehmen.

In der Folge beider Entwicklungen kann es zu einem erhöhten Anfall von Wurf- und Bruchholz sowie zu Zwangsnutzungen nach Schädlingsbefall kommen. Dieses Holz gefährdet die Sicherheit der weiteren Produktion, da es Brutraum für Borkenkäfer ist. Hinzu kommt, dass jede ungeplante Holznutzung eine Belastung für das gesamte Waldökosystem bedeutet. Dies ist wiederum mittel- und langfristige für die Forstwirtschaft nachteilig.

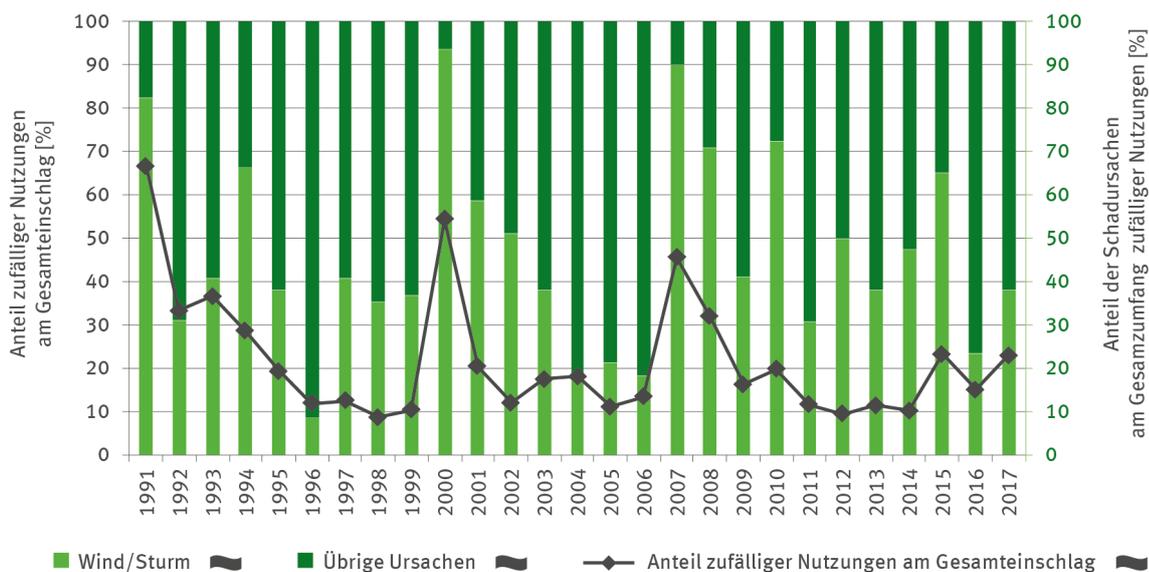
Es erschwert zudem die weitere Bewirtschaftung der Wälder und ist ein Sicherheitsrisiko für Waldarbeiter und Waldbesucher.

Daher muss Wurf- und Bruchholz aus den bewirtschafteten Beständen entfernt werden. Insbesondere nach Großschadensereignissen binden solche ungeplanten Holznutzungen erhebliche Kapazitäten in den forstwirtschaftlichen Betrieben. Diese fehlen dann für die Umsetzung gezielter Bewirtschaftungsmaßnahmen, die ja gerade in Anbetracht der erforderlichen Anpassung an den Klimawandel von großer Bedeutung sind. In der Regel dauert es mehrere Jahre, bis die Folgen von Kalamitäten aufgearbeitet sind und die Forstwirte wieder unter „normalen“ Nutzungsbedingungen planen und wirtschaften können.

Für den Waldbesitzer, sei es der Staat, die Kommune oder der private Waldbesitzer, sind große Mengen von Wurf-, Bruch- und Befallsholz mit erheblichen Mindererträgen verbunden. So sind die Aufarbeitungskosten in geschädigten Beständen deutlich höher und die

### FW-I-4: Schadholz – Umfang nicht planmäßiger Nutzungen

Ungeplante Nutzungen durch Wurf-, Bruch- und Befallsholz bringen für die Forstwirtschaft viele Nachteile. Ein Trend zu mehr ungeplanten Nutzungen ist bislang nicht erkennbar. Starke Winterstürme wie vor allen in den Jahren 1990, 1999, 2007 und 2010 haben aber zu erheblichen Mengen von Schadholz geführt.



Datenquelle: BMEL (Zusammenstellungen auf der Basis von Länderinformationen), BMEL und StBA (Holzeinschlagsstatistik)

Holzqualitäten oftmals schlechter. Gleichzeitig fällt der Holzpreis vor allem nach größeren Schadereignissen deutlich. Holz muss dann zum Teil längere Zeit gelagert werden, was zusätzliche Kosten verursacht. Daher ist Ende 2018 ein neuer Fördertatbestand „Förderung von Maßnahmen zur Bewältigung der durch Extremwetterereignisse verursachten Folgen im Wald“ in der GAK beschlossen und mit zusätzlichen Bundesmitteln in Höhe von 10 Millionen Euro für das Jahr 2019 ausgestattet worden.

Auch wenn sich in den zurückliegenden knapp zwanzig Jahren kein statistisch abgesicherter Trend zu einer Zunahme des Umfangs ungeplanter Holznutzungen abzeichnet, entsteht in der Forstwirtschaft zunehmend der Eindruck, dass die Phasen ohne relevante Einflüsse von Zwangsnutzungen immer kürzer werden.

Die extrem hohen Anteile ungeplanter Nutzungen am Gesamtschlag von Holz entstehen im Wesentlichen durch Wurf- und Bruchholz, werden also vor allem durch Stürme verursacht. So führten die Orkane Vivian und Wiebke im Spätwinter 1990 zur Notwendigkeit umfangreicher Aufarbeitungen im darauffolgenden Jahr 1991, und zwar in großen Teilen Deutschlands. Im Dezember 1999 verwüstete Lothar weite Bereiche Südwestdeutschlands. Im Januar 2007 zerstörte das Orkantief Kyrill insbesondere Wälder in Nordrhein-Westfalen, mit Schwerpunkt im Sauerland. Der Orkan Niklas Ende März 2015 hinterließ viele Schäden in Bayern, verursachte aber geringere Schadholzmengen als vergleichbare Orkane. Der Herbststurm Xavier brachte Anfang Oktober 2017 Schäden in noch voll belaubten Laubwäldern Brandenburgs. Für die Statistik 2018 ist ein Anstieg der Sturm-Schadholzmengen durch die Januar-Orkane Friederike und Burglind zu erwarten. In Jahren ohne überregional bedeutsame Sturmereignisse tragen Insektenschäden den Großteil der ungeplanten Nutzungen bei. Hier ist insbesondere auch durch das Trockenjahr 2018 ein erheblicher Anstieg zu erwarten.

Bei der Bewertung von Daten zum Wurf-, Bruch- und Be-fallsholz ist zu berücksichtigen, dass diese i. d. R. keinen vollständigen Überblick über die tatsächlich entstandenen Schäden ermöglichen. Nicht in allen Bundesländern werden neben den Daten zum Staatswald auch Informationen zum Privat- und Körperschaftswald erhoben und übermittelt. Der Schwerpunkt der Erfassung liegt außerdem bislang noch auf den Winterstürmen. Neben den Auswirkungen des Klimawandels können zusätzlich andere Trends die Entwicklung der Zeitreihe stark beeinflussen. Die Altersstruktur der deutschen Wälder tendiert zu höherem Bestandsalter. Ältere Bäume sind



Bei voller Belaubung fielen auch Buchen auf nassen Böden dem Herbststurm Xavier Anfang Oktober 2017 in Brandenburg zum Opfer. (Foto: Tanja Sanders / Thünen-Institut)

aber stärker sturmwurfgefährdet als jüngere, und mit zunehmendem Holzvorrat steigt auch die Schadholzmengen. Letzteres führt auch dazu, dass je nach Örtlichkeit der Kalamität die Schäden unterschiedlich hoch ausfallen können. So werden beispielsweise Stürme in Regionen mit eher locker bestockten Kiefernforsten, die auf den sandigen Böden Brandenburg oder Mecklenburg-Vorpommerns weit verbreitet sind, zu geringeren Schadholzmengen führen als Stürme im vorratsreichen Schwarzwald.

## Schnittstellen

FW-I-5: Schadholzaufkommen durch Buchdrucker

### Ziele

Anstreben möglichst stabiler, gemischter Bestände mit größerer Widerstandsfähigkeit gegen großflächige Unglücksereignisse u. a. durch Stürme und Borkenkäfer (DAS, Kap. 3.2.7)

Anbau standortgerechter Baumarten mit hoher Widerstandsfähigkeit und Wuchsleistung (Waldstrategie 2020, S. 23)

## Borkenkäfer – großes Problem für die Fichte

Während viele Bäume durch die projizierten Klimaveränderungen, insbesondere die zunehmende Sommertrockenheit, an Vitalität verlieren, können wärmeliebende Insekten und Krankheitserreger von diesen Bedingungen profitieren. Im Falle der Nadelbäume werden vor allem vermehrte Schäden durch rindenbrütende Borkenkäfer wie Buchdrucker und Kupferstecher an der Fichte mit den veränderten Witterungsbedingungen in Zusammenhang gebracht. Die Schäden erlangten in den vergangenen zehn Jahren in Deutschland überregionale Bedeutung.

Auch wenn der Klimawandel nicht die einzige Ursache für vermehrten Schädlingsbefall ist, wird beispielsweise im Falle des Buchdruckers davon ausgegangen, dass mit höheren Temperaturen das Schwärmen der Käfer früher im Jahr erfolgt und infolgedessen eine zusätzliche Käfergeneration ausgebildet werden kann.

Befallsholz muss aus bewirtschafteten Beständen entfernt werden, da sich der Käfer sonst ungehindert weiter ausbreiten kann. Käferholz ist zwar generell noch gut

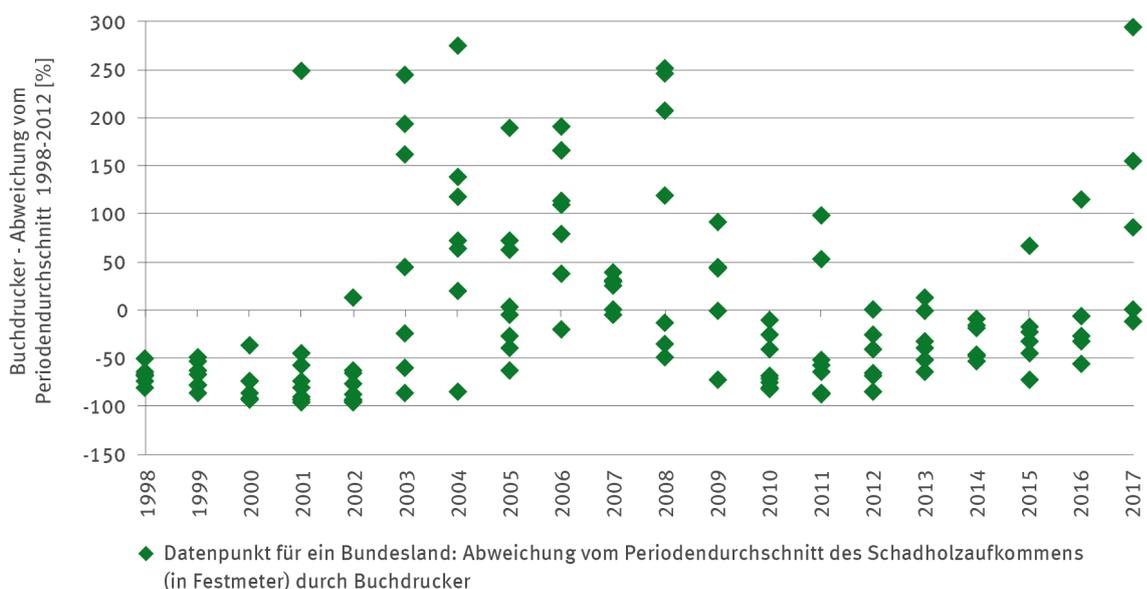
nutzbar, es muss aber schnell aus den Beständen geholt werden. Bleibt Käferholz länger stehen und verliert dann die Rinde, ist es nur noch sehr eingeschränkt beispielsweise als Brennholz brauchbar.

Daten zum Schadholzaufkommen infolge von Schädlingsbefall liegen bundesweit nicht in harmonisierter Form vor, die Datenreihen zum Schadholzaufkommen durch Buchdruckerbefall aus acht Bundesländern erlauben aber eine Einschätzung der Entwicklung.

Diese Daten zeigen deutlich, dass der Käferbefall infolge des Hitze- und Trockenjahrs 2003 in nahezu allen der betrachteten Bundesländer sprunghaft angestiegen ist. Die Nachwirkungen hielten in den Folgejahren an, noch einmal verstärkt durch den ebenfalls sehr warmen und trockenen Sommer 2006. Im Jahr 2007 konnte sich aufgrund des eher verregneten Monats Mai und eines kalten Septembers die Borkenkäferpopulation weniger stark entwickeln. Erst ab dem Jahr 2010 wurde in etwa wieder das Niveau des Schadholzaufkommens von vor dem Hitzesommer 2003 erreicht. Seit dem warmen

### FW-I-5: Schadholzaufkommen durch Buchdrucker – Fallstudie

Der Buchdrucker profitiert von trockener und heißer Witterung und befällt bevorzugt bereits vorgeschädigte oder geschwächte Bäume. Befallsdaten aus acht Bundesländern machen deutlich, dass es in der Folge von Hitze- und Trockenjahren sowie von Sturmereignissen zu einem Schadholzaufkommen kommt, das gegenüber dem langjährigen Mittelwert deutlich höher ist



Datenquelle: Zeitschrift AFZ - DerWald (Übersichtskapitel der Länder zum Waldschutz)

Sommer 2015 steigt die Schadholzmenge aber wieder an. Ablesbar sind auch die Folgen extremer Sturmjahre, die i. d. R. vermehrten Käferbefall an geschädigten oder umgeworfenen Bäumen nach sich ziehen. Damit begründet sich das überdurchschnittlich hohe Schadholzaufkommen in einem der Bundesländer im Jahr 2001 (nach dem Sturm Lothar im Dezember 1999) und in mehreren Bundesländern im Jahr 2008 (als Folge von Kyrill). Durch die Abfolge von Winterstürmen in 2018 (Friederike, Burglind) und dem extrem heißen und trockenen Sommern in den Jahren 2018 und 2019 muss mit einem starken Anstieg der Schäden gerechnet werden. Nach Angaben der Bundesländer sind 2018 rund 32,4 Millionen Kubikmeter Schadholz angefallen, für 2019 werden noch größere Mengen erwartet.

Der Buchdrucker steht stellvertretend für andere Schädlinge, die bedingt durch Witterungsveränderungen verbesserte Bedingungen zur Vermehrung vorfinden. Neben den Borkenkäfern werden an den Nadelbäumen auch vermehrt Schäden durch die Tannentriebblaus und durch Pilze als Folgen des Klimawandels diskutiert. Bei den Laubbäumen sind es unter anderem der Maikäfer, der Eichenprozessions- und Schwammspinner sowie der Eichenprachtkäfer, die Miniermotte an Rosskastanien und der Kleine Buchenborkenkäfer sowie der Buchenprachtkäfer an der Buche, deren vermehrtes Auftreten mit der zunehmend warmen und sommertrockenen Witterung in Zusammenhang gebracht wird.



Die rasche Räumung von Käferholz aus den Beständen ist eine große forstwirtschaftliche Herausforderung. Aber nur schnell geerntetes Holz ist noch nutzbar.

(Foto: Andreas Bolte /Thünen-Institut)

## Schnittstellen

FW-I-4: Schadholz – Umfang zufälliger Nutzungen

## Ziele

Anstreben möglichst stabiler, gemischter Bestände mit größerer Widerstandsfähigkeit gegen großflächige Unglücksereignisse u. a. durch Stürme und Borkenkäfer (DAS, Kap. 3.2.7)

Anbau standortgerechter Baumarten mit hoher Widerstandsfähigkeit und Wuchsleistung (Waldstrategie 2020, S. 23)

## Waldbrandgefahr steigt

Gegenüber Schäden durch Sturmwurf, Bruch und Schädlinge spielten jene durch Waldbrände in den meisten Regionen Deutschlands bislang eine eher untergeordnete Rolle. In Brandenburg sowie den klimatisch stärker kontinental geprägten Regionen Mecklenburg-Vorpommerns, Sachsens, Sachsen-Anhalts und Niedersachsens, die zu den klassischen Anbaugebieten der Kiefer gehören und vor allem bei längeren sommerlichen Trockenperioden zu hoher Brandgefährdung neigen können, sind Waldbrände allerdings relevante Gefährdungsfaktoren.

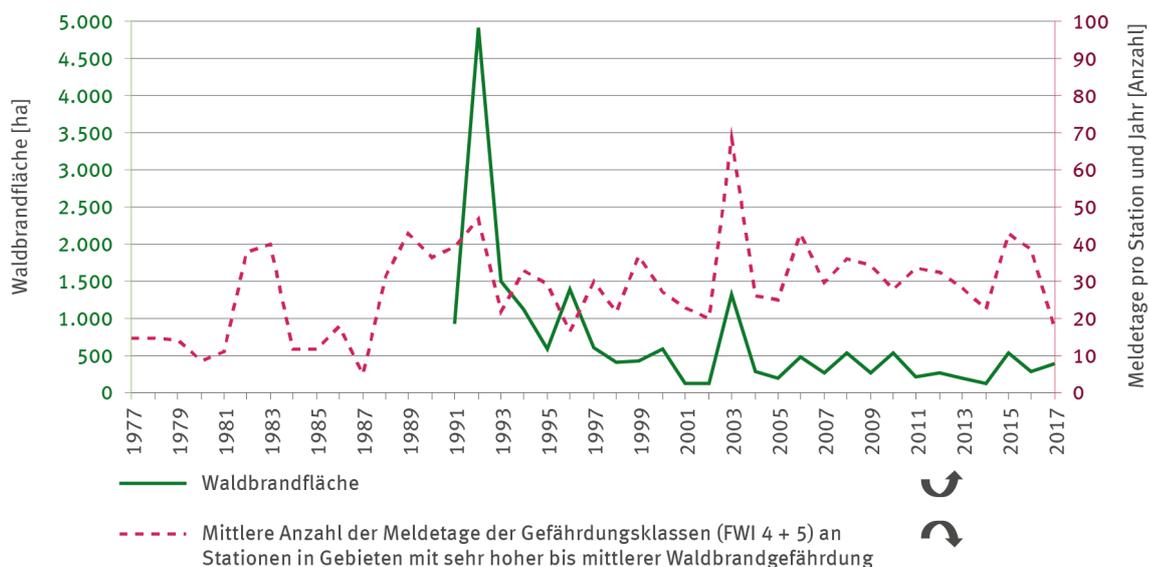
Für die Entstehung von Waldbränden sind zahlreiche Faktoren verantwortlich. Wichtige Zündursachen sind vor allem fahrlässiges Handeln und Brandstiftung. Ob es nach erfolgter Anfangszündung zu einem Waldbrand kommt, hängt im Wesentlichen von der Menge trockenen, brennbaren Materials und damit von der Witterung und Bestandsstruktur ab. Für die Feuerausbreitung sind dagegen die Windgeschwindigkeit sowie die Feuerüberwachungs- und Feuerlöschkapazitäten entscheidend. Mit Ausnahme der Witterung verändern sich alle genannten Ursachenfaktoren i. d. R. eher kontinuierlich. Kommt

es dagegen in einzelnen Jahren zu sprunghaften Veränderungen, wie z. B. im Jahr 2003, in dem es besonders häufig auch großflächig zu Waldbränden kam, dann lässt sich das i. d. R. auf extreme Witterungsverhältnisse mit starker Trockenheit in den Frühjahrs-, Sommer- und Herbstmonaten und großer Hitze zurückführen.

In Deutschland nahmen gemäß Bundesstatistik im Zeitraum von 1991 bis 2017 sowohl die Anzahl der Waldbrände als auch die von Bränden betroffene Fläche signifikant ab. Die Tatsache, dass die Brandfläche stärker zurückgeht als die Anzahl der Brände, deutet darauf hin, dass es zunehmend besser gelungen ist, Waldbrände bereits in einem frühen Stadium zu erkennen und erfolgreich einzudämmen. In der Tat haben die Bundesländer in den zurückliegenden Jahren mit finanzieller Unterstützung der EU in erheblichem Umfang in die Waldbrandverhütung und Verbesserung der Infrastruktur zur Früherkennung und Bekämpfung von Waldbränden investiert. So sind beispielsweise die alten Feuerwachtürme in den besonders waldbrandgefährdeten östlichen Bundesländern und im waldbrandgefährdeten Osten

### FW-I-6: Waldbrandgefährdung und Waldbrand

Zwischen 1991 und 2017 haben die Flächen von Waldbränden signifikant abgenommen. Die witterungsbedingte Waldbrandgefährdung ist in diesem Zeitraum gleichgeblieben bzw. in einzelnen Gebieten gestiegen. Die Situation in den trockenen und heißen Jahren 2018 und 2019 ist in der Darstellung noch nicht abgebildet.



Datenquelle: Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (Waldbrandstatistik der Bundesrepublik Deutschland), DWD (regionalisierter kanadischer FWI)

Niedersachsens durch digitale und funkgesteuerte optische Sensoren ersetzt worden, die eine unmittelbare Informationsweiterleitung an die Waldbrandzentralen ermöglichen. Ferner wurden klassische Vorsorgemaßnahmen wie die Anlage von Wundstreifen und Wasserentnahmestellen weiter vorangetrieben sowie die Information der Öffentlichkeit verbessert. Letztere ist nicht nur mit Blick auf fahrlässiges Handeln von Bedeutung, sondern unterstützt auch die Bereitschaft von Waldbesucherinnen und -besuchern, im Brandfall frühzeitig (i. d. R. über das eigene Mobiltelefon) die Feuerwehr zu alarmieren und damit ein schnelles Eingreifen zu ermöglichen.

Im Zusammenhang mit dem Klimawandel wird eine Erhöhung der Waldbrandgefährdung diskutiert, denn in den kritischen Monaten wird es wärmer und trockener. Die witterungsbedingte Waldbrandgefährdung wird mit einem Indexwert ausgedrückt. Je höher dieser Wert auf der 5-stufigen Skala ist, desto höher ist die Waldbrandgefährdung. Die Zeitreihe zur Anzahl jener Tage, für die in den letzten Jahren hohe Indexwerte der Stufen 4 und 5 gemeldet wurden, zeigt signifikant steigende Werte.

Nachdem in den 1990er Jahren die Waldbrandprävention und -bekämpfung in den östlichen Bundesländern umstrukturiert wurde, bestehen fortentwickelte und gut funktionierende Strukturen, sodass im Beobachtungszeitraum bis 2017 deutlich geringere Schäden durch Waldbrand zu beklagen waren. In trockenen Jahren wie 2003, 2006, 2015 und 2016 wird mit einer höheren Waldbrandgefährdung auch eine im Vergleich zu feuchten Jahren größere Waldbrandfläche beobachtet. Mit einer deutschlandweit betroffenen Waldbrandfläche von 395 Hektar war das feuchte Jahr 2017 ein unterdurchschnittliches Jahr im Vergleich zum mehrjährigen Mittel. Im Gegensatz dazu war 2018 ein extrem trockenes Jahr. Allein in Brandenburg sind bei 491 Waldbränden rund 1.664 Hektar Wald verbrannt, bundesweit ging in diesem Jahr eine Fläche von 2.349 Hektar verloren. Im Boden verbliebene Kampfmittel schränken die Löschmöglichkeiten teilweise ein. Notwendig sind vor diesem Hintergrund Konzepte für den vorbeugenden und abwehrenden Waldbrandschutz, die durch gezielte Kampfmittelräumungen Löscheinsätze im erforderlichen Umfang ermöglichen.

Mit der Zunahme heißer und trockener Witterungen werden die Herausforderungen in der Waldbrandprävention und -bekämpfung eher zu- als abnehmen. Die kontinuierliche Verbesserung der Systeme ist daher eine Daueraufgabe.



Mit dem Klimawandel kann die Waldbrandgefahr steigen. Die Anforderungen an die Waldbrandprävention und -bekämpfung werden zunehmen. (Foto: © Butch / stock.adobe.com)

## Schnittstellen

BS-I-1: Einsatzstunden bei wetter- und witterungsbedingten Schadenereignissen

## Ziele

Vorbeugung von Waldbränden (Waldgesetze der Länder)

## Kronenverlichtung durch Klimawandel?

Der Kronenzustand galt viele Jahre als geeigneter Indikator, um die Auswirkungen von Schadstoffbelastungen auf die Vitalität der Waldbäume abzubilden. Heute weiß man, dass die Ursachen vielfältiger sind und in komplexer Weise zusammenwirken. Das Witterungsgeschehen ist inzwischen stärker ins Blickfeld geraten, denn Zusammenhänge zwischen dem zeitlichen Verlauf der Nadel- und Blattverluste und dem sommerlichen Witterungsverlauf sind offensichtlich geworden.

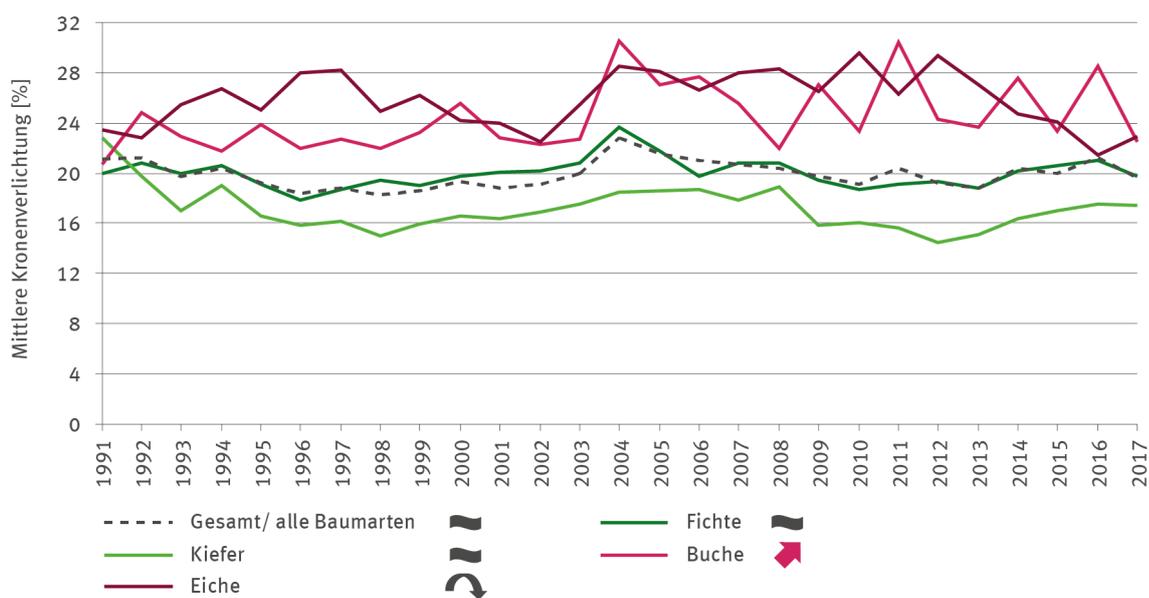
In allen Statistiken zur Entwicklung des Waldzustands der vergangenen Jahre stehen die Folgen des Hitzejahrs 2003 mit verstärkten Blatt- und Nadelverlusten bei den Hauptbaumarten besonders hervor. Lediglich bei der trockenheitstoleranten Kiefer zeigten sich im Folgejahr 2004 keine signifikanten Veränderungen gegenüber den Vorjahren. Blatt- und Nadelverluste können dabei direkte Folge von Trockenheit und Hitze sein oder auch indirekt durch verstärkten Schädlingsbefall zustande kommen. Aufgrund der beschriebenen Zusammenhänge liegt es nahe, einen Einfluss des Klimawandels auf den Kronenzustand der Waldbäume zu diskutieren.

Wenn Bäume ihre Blätter und Nadeln verlieren, dann bedeutet das allerdings nicht zwangsläufig, dass sie geschädigt sind. Bei Laubbäumen ist die spontane Reduzierung der Blattmasse unter ungünstigen Bedingungen zumeist eine angemessene Anpassungsreaktion. Die Bäume können auf diese Weise zu großen Wasserverlusten vorbeugen. Kritisch wird es nur dann, wenn infolge einer Häufung von Jahren mit Trockenstress die Kronenverlichtung zum Dauerzustand wird. Dann wird es zwangsläufig zu Produktivitätseinbußen oder gar zum Absterben von Bäumen kommen. Bei Nadelbäumen ist die Situation etwas anders, denn Nadelbäume reagieren weniger spontan mit Nadelverlusten, da sie mehr in ihre dauerhafteren Nadeln investieren müssen. In diesen Fällen liegt es daher näher, von einer Schädigung der Bäume auszugehen, wenn die Krone lichter wird.

Noch schwieriger wird die Interpretation von Nadel- und Blattverlusten, wenn man zusätzlich die Zusammenhänge mit der Fruchtbildung berücksichtigt. Auch diese kann erheblichen Einfluss auf den Kronenzustand nehmen. In sogenannten Mastjahren mit besonders

### FW-I-7: Waldzustand

Bis 2017 gibt es keine Anzeichen, dass sich der Waldzustand aufgrund von Klimaveränderungen kontinuierlich verschlechtert. Die Auswirkungen besonders heißer und trockener Jahre wie des Jahres 2003 äußern sich aber – mit Ausnahme der Kiefer – bei allen Hauptbaumarten in deutlichen Nadel- und Blattverlusten. Bei den Laubbäumen sind größere Schwankungen der Kronenverlichtung zu verzeichnen.



Datenquelle: BMEL (Bundesweite Waldzustandserhebung)

starker Fruchtbildung investieren die Bäume weniger in ihre Blatt- und Nadelmasse. Die Krone erscheint dann transparenter.

Über die Gesetzmäßigkeiten der Fruchtbildung gibt es aber bislang nur wenige Informationen, auch wenn Zusammenhänge mit dem Klimawandel diskutiert werden. Während es beispielsweise bei der Buche und Eiche früher nur rund alle sechs bis sieben Jahre zu Mastjahren kam, liegt die Häufigkeit heute zwischen zwei und drei Jahren. Erwiesen ist ein Zusammenhang mit dem Klimawandel aber noch nicht.

Bis 2017 gab es noch keine Anzeichen dafür, dass sich der Waldzustand infolge der Klimaveränderungen kontinuierlich verschlechtert. Es ist aber nachweisbar, dass widrige Witterungseinflüsse, insbesondere heiße und trockene Sommer, zu Nadel- und Blattverlusten führen. 2018 wurde lokal beobachtet, dass auch bei Kiefern starke Schädigungen aufgrund der Trockenheit aufgetreten sind. Sollten sich diese Extrembedingungen in Zukunft vermehrt einstellen und der Umbau des Waldes zu trocken- und hitzetoleranteren Beständen nicht schnell genug voranschreiten, könnte dies tatsächlich verstärkte Waldschäden zur Folge haben.



Auch trocken-tolerante Kiefern leiden unter zu großer Trockenheit wie hier Schwarzkiefern in der Nähe von Würzburg. (Foto: Tanja Sanders / Thünen-Institut)

## Schnittstellen

FW-I-5: Schadholzaufkommen durch Buchdrucker – Fallstudie

## Ziele

Steigerung der Stabilität und Vielfalt der Wälder (Waldstrategie 2020, S. 23)

## Mischwälder – Vielfalt streut das Risiko

Unter Waldexperten besteht Übereinstimmung, dass sich der Klimawandel ab der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts besonders stark auf den Wald auswirken wird. Die möglichen Klimawandel-Szenarien sehen aber durchaus unterschiedlich aus. Das bedeutet, dass die Forstwirtschaft mit erheblichen Planungsunsicherheiten umgehen muss. Gleichwohl ist es möglich, die verschiedenen Wahrscheinlichkeiten der zukünftigen Klimaentwicklung im Planungsprozess zu berücksichtigen. Die Baumartenmischung ist ein wichtiger Ansatzpunkt, um die Bestände stabiler und vitaler zu machen und damit die wichtigen Waldfunktionen auch für die Zukunft sicherzustellen. Die Steuerung der Baumartenmischung bedarf allerdings aufgrund der Langlebigkeit der Waldbäume weit vorausschauender Waldumbaustrategien.

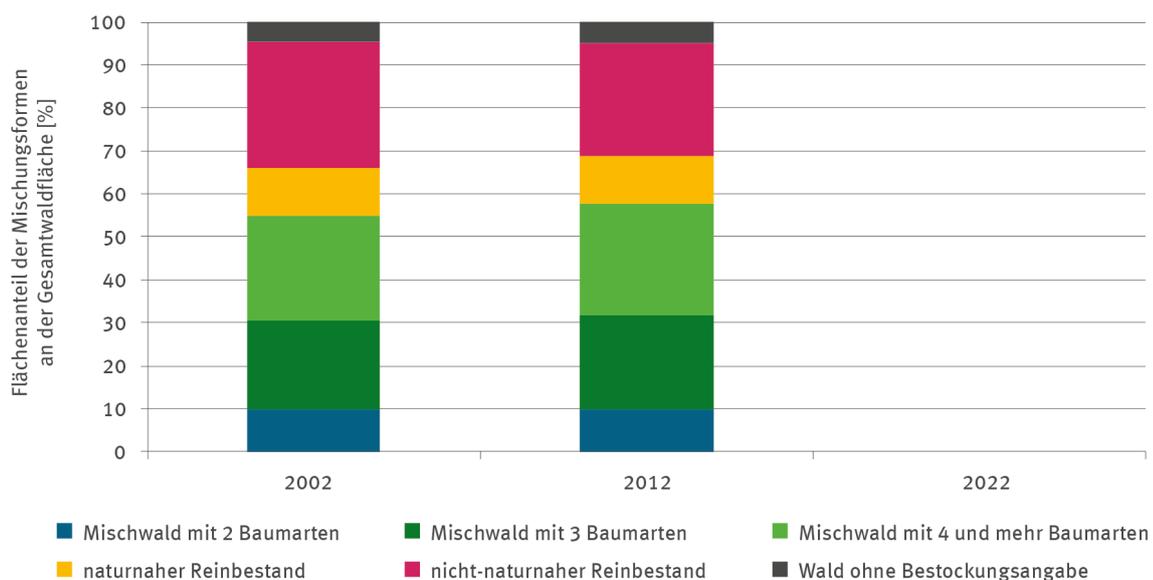
Mit der gezielten Förderung von Mischwäldern verfolgen die Forstwirte eine Strategie der Risikostreuung unter dem Motto: Je mehr unterschiedliche Bäume eine Waldgemeinschaft bilden und je vielfältiger die Waldstrukturen sind, desto geringer wird das Risiko sein, dass im Falle einer schleichenden oder plötzlichen Veränderung

der Standortbedingungen der gesamte Wald von Schäden betroffen sein wird oder gar ganz zusammenbricht. Es wird dann immer einzelne Arten geben, die auch mit den neuen Bedingungen gut zurechtkommen und die Grundlage einer neuen Bestandsentwicklung bilden können. Außerdem ist Baumartenvielfalt meist auch mit einem hohen Maß an Struktur- und Lebensraumvielfalt verbunden. Damit einhergehen vielfältige Lebensräume für Gegenspieler von Schaderregern und in der Folge geringere Ausbreitungs- und Befallsmöglichkeiten als in homogenen Reinbeständen. Die Anfälligkeit von Mischbeständen gegenüber Schaderregern ist daher häufig geringer. Dies gilt insbesondere auch für neue Schadorganismen, die teilweise nur auf eine oder wenige Baumarten spezialisiert sind. Aus Produktionsgesichtspunkten kann eine Diversifizierung im Baumbestand auch eine geeignete Antwort auf unsichere zukünftige Holzpreise sein.

Gleichförmige und artenarme Bestände stehen aus den genannten Gründen im besonderen Fokus forstwirtschaftlicher Bemühungen zum Waldumbau; hier wird die größte Handlungsnotwendigkeit gesehen.

### FW-R-1: Mischbestände

Angesichts unsicherer Vorhersagen zur künftigen Klimaentwicklung ist die Förderung der Arten- und Strukturvielfalt im Wald eine geeignete Strategie, das Risiko zu streuen. Mischwälder aus zwei und mehr Baumarten bedeckten im Jahr 2002 knapp 54,9%, in 2012 bereits 57,8% der Waldfläche. Lässt man den Anteil naturnaher Reinbestände außer Acht, ließe sich noch auf etwa einem Viertel der gesamten Waldfläche der Mischwaldanteil weiter steigern.



Datenquelle: Thünen-Institut für Waldökosysteme (Auswertungen der Bundeswaldinventur)

Grundsätzlich besteht das Ziel, diese Bestände in vielfältigere Bestände mit überwiegend heimischen Baumarten umzuformen und damit die erwünschte Risikostreuung zu erreichen. Gleichzeitig müssen jedoch die spezifischen standörtlichen Voraussetzungen, Ertragsaspekte und andere Waldfunktionen im Blick bleiben. Auf bestimmten Standorten stellen sich von Natur aus Reinbestockungen mit Bäumen einer Art wie beispielsweise der Buche ein, auf anderen entwickeln sich natürlicherweise Mischbestockungen sehr unterschiedlicher Ausprägung. Grundsätzlich gilt, dass dem Anteil von Mischbeständen natürlicherweise Grenzen gesetzt sind, allerdings ist das Optimum an Mischung in den deutschen Wäldern noch lange nicht erreicht.

Die Mischbestandsfläche nimmt in den deutschen Wäldern zu, und mit Blick auf Anpassungserfordernisse geht die Entwicklung in die richtige Richtung. Die Bundeswaldinventur aus dem Jahr 2002 ergab, dass knapp 55 % der Waldfläche gemischt und rund 45 % ungemischt bestockt sind. Zu den restlichen knapp 5 % lagen keine Bestockungsangaben vor. Die Ergebnisse aus der Folgeinventur im Jahr 2012 zeigen, dass sich der Anteil der Mischwaldfläche auf knapp 58 % erhöht hat. Die Fläche der naturnahen Reinbestände ist bis 2012 mit 11 % stabil geblieben. Die nicht-naturnahen Reinbestände, die vor allem aus Fichte und Kiefer bestehen und auf die sich die Bemühungen zum Waldumbau konzentrieren, sind im genannten Zeitraum um 3 Prozentpunkte zurückgegangen.

Für die Bewertung des Ergebnisses ist nicht relevant, ob die Zunahme der Mischbestände letztendlich Ergebnis zielgerichteter Waldumbaumaßnahmen ist oder sich diese Veränderungen spontan, d. h. im Zuge natürlicher Sukzessionsprozesse, vollziehen. Die Ergebnisse der nächsten Bundeswaldinventur werden 2022 vorliegen.



Die Klimaprojektionen sind unsicher, mit der Mischung von Baumarten sind die Förster und Waldbauern auf der sicheren Seite. (Foto: © RuZi / stock.adobe.com)

## Schnittstellen

FW-R-2: Förderung des Waldumbaus  
 FW-R-4: Erhaltung forstgenetischer Ressourcen  
 FW-R-3: Umbau gefährdeter Fichtenbestände

## Ziele

Die Waldeigentümer sollten den Waldumbau von Reinbeständen in standortgerechte, risikoarme Mischbestände voranbringen (DAS, Kap. 3.2.7).

Begründung vielfältiger, stabiler und ertragsstarker Mischwälder (Waldstrategie 2020, S. 23)

Erhaltung der Waldfläche in Deutschland und Steigerung der Stabilität, Vielfalt und Naturnähe der Wälder. Der Anbau standortgerechter und überwiegend heimischer Baumarten leistet hierzu einen wichtigen Beitrag. (Waldstrategie 2020, S. 23)

Anpassung der Wälder an die Herausforderungen des Klimawandels z. B. durch Anbau möglichst vielfältiger Mischbestände (NBS, Kap. B 1.2.1)

Kontinuierliche Reduktion des Anteils nicht standortheimischer Baumarten (NBS, Kap. B 1.2.1)

Erhaltung und Entwicklung der natürlichen und naturnahen Waldgesellschaften (NBS, Kap. B 1.2.1)

## Aktiver Waldumbau – der Natur auf die Sprünge helfen

Naturverjüngung gilt i. d. R. als eine günstige und die natürlichste Form der Walderneuerung. Die forstlichen Eingriffe konzentrieren sich dabei auf die Entfernung hiebsreifer Einzelbäume aus dem Bestand. Dadurch entstehen Lücken, die ausreichen, um den Keimlingen aus Samen der umstehenden Bäume ausreichend Licht zum Aufwachsen zur Verfügung zu stellen. Im traditionellen naturnahen Waldumbau wird zumeist ausschließlich mit dem Verfahren der Naturverjüngung gearbeitet.

Die Anpassung der Wälder an die veränderten Klimabedingungen erfordert allerdings in vielen Fällen einen zielgerichteten Umbau des existierenden Bestands. Naturverjüngung führt nicht immer zu einem Baumartenwechsel, vor allem wenn keine Samenbäume von geeigneten Baumarten in der Umgebung zu finden sind. Ausnahmen bilden höchstens Aufwüchse aus natürlichem Samenanflug mit sehr leichten Samen von beispielsweise Kiefern, Birke oder Pappeln, die auch aus größerer Entfernung in einen Bestand eingeweht werden können und durch Hähersaat oder Eichhörnchen verbreitete Eichen und Buchen.

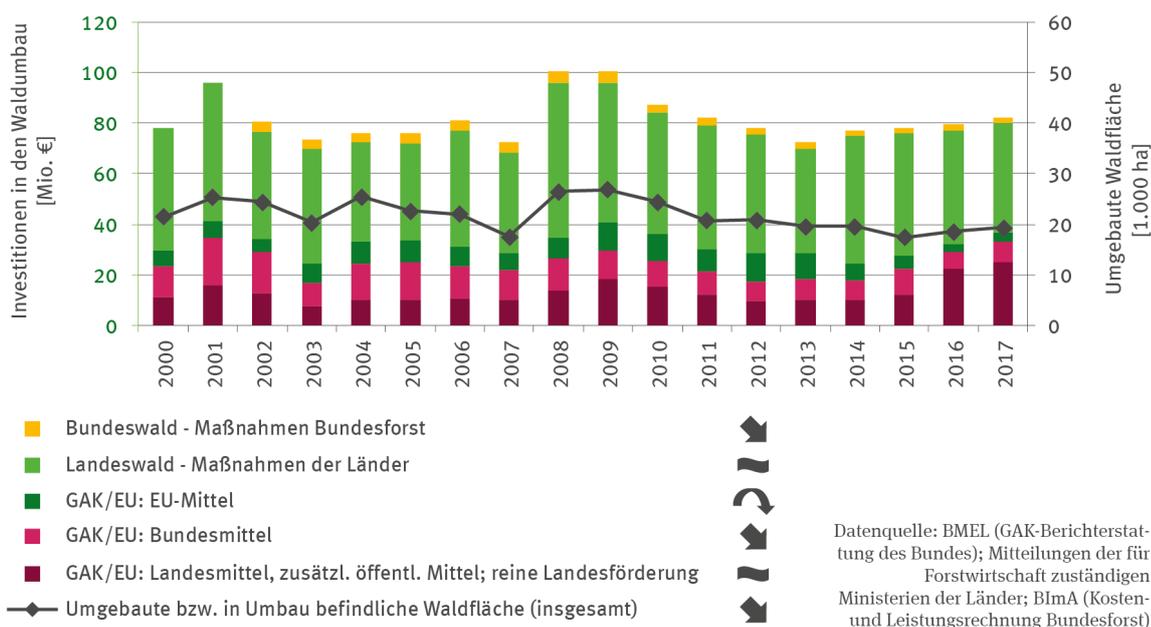
Um nicht standortgerechte Nadelholzbestände in Mischwälder umzubauen oder auch gezielt wärmetolerante Arten oder Herkünfte in Bestände einzubringen, sind Verfahren der künstlichen Verjüngung zwingend erforderlich. Dabei werden die gewünschten Baumarten durch Saat oder Pflanzung in die Bestände eingebracht und – wenn es aufgrund eines zu hohen Wildeinflusses notwendig ist – durch Schutzmaßnahmen in ihrem Aufwuchs gesichert. Auf diesem Wege können auch gezielte Ergänzungen der spontanen Naturverjüngung vorgenommen werden.

Der Waldumbau ist als Ziel und zu fördernde Maßnahme inzwischen in zahlreichen forstlichen Strategien und Programmen auf Bundes- und Landesebene verankert. Sowohl von der EU als auch von Bund und Ländern werden diesen Zielen entsprechend finanzielle Mittel für den Waldumbau im Privat- und Körperschaftswald sowie im Staatswald bereitgestellt. Die Finanzierungsmechanismen sind in den einzelnen Bundesländern sehr verschieden.

Für den Privat- und Körperschaftswald bilden die aus der GAK und aus ELER bereitgestellten Fördermittel den

### FW-R-2: Förderung des Waldumbaus

Der Waldumbau im Staats-, Körperschafts- und Privatwald wird über Förderungen mit EU-, Bundes- und Landesmitteln sowie aus Haushaltsmitteln finanziert vorangetrieben. In den zurückliegenden Jahren bis 2017 sind im Schnitt jährlich rund 22.000 Hektar Wald umgebaut worden. In diesen Umbau sind Finanzmittel in Höhe von durchschnittlich rund 82 Millionen Euro pro Jahr geflossen.



deutlich überwiegenden Teil der Förderaktivitäten ab. Dabei werden die EU-, Bundes- und Landesmittel von den einzelnen Bundesländern unterschiedlich kombiniert. Zusätzlich unterstützen wenige Länder im Rahmen von Forst- oder Waldförderrichtlinien oder spezifischen Programmen Waldumbaumaßnahmen mit alleinigen Landesmitteln. Zwischen den Jahren 2000 und 2017 sind auf diese Weise jährlich zwischen 25 und 41 Millionen Euro in den Umbau des Privat und Körperschaftswalds geflossen.

Im Landeswald wird der Waldumbau nahezu ausschließlich im Rahmen der „normalen“ forstwirtschaftlichen Bewirtschaftung, die aus Haushaltsmitteln finanziert ist, vorangetrieben. Aktive Umbaumaßnahmen, die bei der Berechnung des Indikators berücksichtigt werden, dienen i. d. R. dem Ziel, standortgerechte Baumarten zu etablieren und eine größere Baumartenmischung herbeizuführen. Hierzu zählen neben Maßnahmen der Wiederaufforstung auch Maßnahmen der Ergänzung der Naturverjüngung in jungen Beständen sowie des Vor- und Unterbaus. Mit dem Voranbau verschafft man den gewünschten Zielbaumarten einen Wuchsvorsprung im jungen Bestand. Dabei werden unter einem noch stockenden, in der Regel einschichtigen Hauptbestand neue Zielbaumarten gepflanzt oder eingesät. Ziel ist es, diese neuen Zielbaumarten nach Ernte des bestehenden Bestands in den neuen Hauptbestand zu übernehmen. Die Länder haben in den Jahren 2000 bis 2017 zwischen 38 und 61 Millionen Euro jährlich in den Waldumbau investiert.

Der bundeseigene Wald umfasst in Deutschland nur 4 % der Waldfläche. Dabei handelt es sich im Wesentlichen um Wald auf (ehemaligen) Truppenübungsplätzen sowie entlang von Bundeswasserstraßen und Autobahnen, die von der Bundesanstalt für Immobilienaufgaben (BImA) mit ihrer Sparte Bundesforst betreut werden. Auch für den Bundeswald ist es ausdrückliches Ziel, nicht standortgerechte Bestände in stabile und naturnähere Mischbestände umzubauen. Im Mittel hat der Bundesforst im betrachteten Zeitraum rund 3,2 Millionen Euro pro Jahr für Maßnahmen des Waldumbaus aufgebracht.

Gemessen am bundesweiten Anteil des Landeswalds von 29 % an der gesamten Waldfläche ist der Anteil der in den Umbau des Landeswalds fließenden Mittel am bundesweiten Mitteleinsatz überproportional hoch. Im Schnitt der letzten Jahre betrug er fast 56 %. Der Anteil der Mittel zum Umbau der Privat- und Körperschaftswälder, die rund 67 % der Gesamtwaldfläche ausmachen, ist demgegenüber mit durchschnittlich 39 % geringer<sup>31</sup>. Dies hat seinen Grund auch darin, dass gerade im Privatwald



In nicht standortgerechte Wälder müssen mitunter gezielt Baumarten eingebracht werden, um die Bestände anpassungsfähig zu machen. (Foto: © highwaystarz / stock.adobe.com)

viele Waldbesitzer Waldumbaumaßnahmen durchführen, für die sie keine Förderung beantragen und zu deren Umfang daher auch keine Informationen verfügbar sind.

## Schnittstellen

FW-R-1: Mischbestände

FW-R-3: Umbau gefährdeter Fichtenbestände

## Ziele

Die Waldeigentümer sollten den Waldumbau von Reinbeständen in standortgerechte, risikoarme Mischbestände voranbringen. (DAS, Kap. 3.2.7)

Anbau standortgerechter und überwiegend heimischer Baumarten mit hoher Widerstandsfähigkeit und Wuchsleistung (Waldstrategie 2020, S. 23)

Anpassung der Wälder an die Herausforderungen des Klimawandels z. B. durch Anbau möglichst vielfältiger Mischbestände (NBS, Kap. B 1.2.1)

Kontinuierliche Reduktion des Anteils nicht standortheimischer Baumarten (NBS, Kap. B 1.2.1)

Erhaltung und Entwicklung der natürlichen und naturnahen Waldgesellschaften (NBS, Kap. B 1.2.1)

## Gefährdete Nadelholzbestände gezielt reduzieren

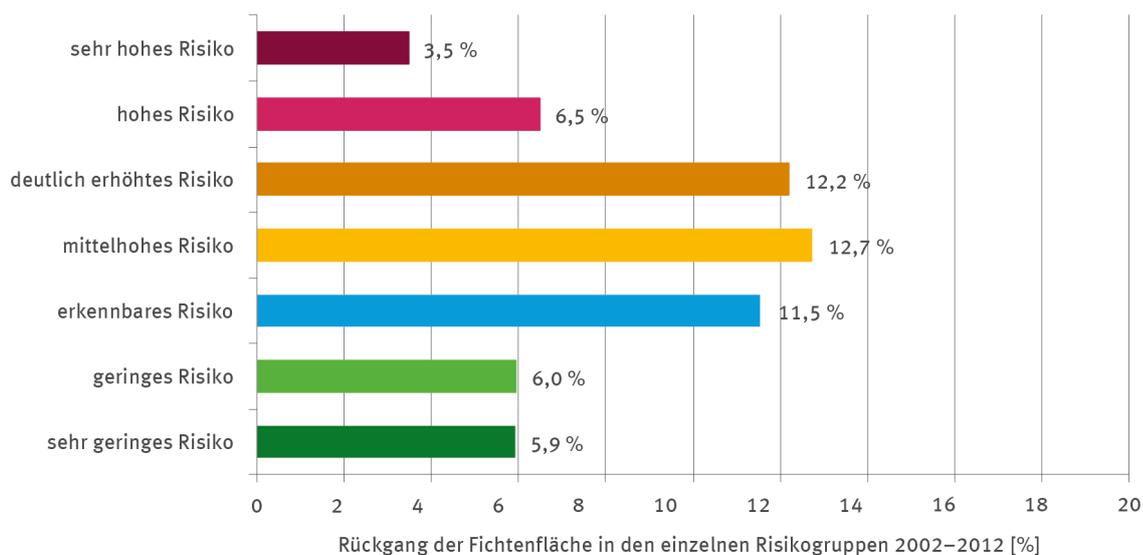
Im Fokus des Waldumbaus stehen insbesondere reine Nadelholzbestände auf Flächen, auf denen sie bereits heute nicht standortgerecht sind oder dies durch den Klimawandel bedingt künftig nicht sein werden. Im zentralen und südlichen Deutschland und in höheren Lagen wurden Reinbestände der Fichte angebaut. Forstwirtschaftliche und ökologische Probleme mit nicht standortgerechten Fichtenbeständen gibt es insbesondere auf den warm-trockenen Standorten. Aus diesem Grunde sollte sich der Waldumbau mit erster Priorität auch auf diejenigen Standorte konzentrieren, die als kritisch einzustufen sind und auf denen sich mit Blick auf die Klimaprojektionsergebnisse die Anbauprobleme voraussichtlich noch weiter verschärfen werden.

Bei der differenzierten Analyse der Entwicklung der Fichtenfläche zwischen 2002 und 2012 wird deutlich, dass in diesem Zeitraum bundesweit gesehen noch keine systematischen und speziell auf die Hochrisikogebiete des Fichtenanbaus ausgerichteten Waldumbaumaßnahmen stattgefunden haben. Legt man die mittlere klimatische Situation der Periode 1961–1990 zugrunde, an deren

Ende mit dem gezielten Waldumbau begonnen wurde, ließen sich im Jahr 2002 rund 6,6 % der Fichtenfläche Gebieten mit einem hohen bis sehr hohen Fichtenanbaurisiko zuordnen. In diese Risikoklassen werden Gebiete mit einer jährlichen Durchschnittstemperatur von über 8 °C und einer Jahresniederschlagssumme von weniger als 800 mm eingestuft. Mit dem Ziel einer nachhaltigen forstlichen Bewirtschaftung sollte die Fichte in diesen Gebieten eigentlich nur als Mischbaumart in mäßigen bis sehr geringen Anteilen in die Bestände eingebracht werden. In den deutschen Wäldern war sie in 2002 innerhalb dieser vergleichsweise warm-trockenen Gebiete aber noch auf rund 196.700 Hektar Fläche die Hauptbaumart, d. h. sie machte dort mehr als 90 % der Gesamtbestockung aus. Bis zum Jahr 2012 reduzierte sich diese Fläche nur geringfügig auf rund 186.100 Hektar und hatte einen Anteil von 6,7 % an der gesamten Fichtenfläche. Ursachen für den Rückgang können entweder gezielte Waldumbaumaßnahmen sein oder Bestandszerstörungen durch Kalamitäten wie beispielsweise Borkenkäferbefall. Dass der Rückgang in diesen zehn Jahren nur so gering ausgefallen ist, könnte zum einen daran liegen, dass

### FW-R-3: Umbau gefährdeter Fichtenbestände

Der Waldumbau von Fichtenreinbeständen schreitet voran. Die Umbaumaßnahmen konzentrierten sich zwischen 2002 und 2012 aber noch nicht systematisch auf die Gebiete mit besonders warm-trockenen Klimaverhältnissen, in denen das Anbaurisiko deutlich erhöht bis sehr hoch ist.



Datenquelle: Thünen-Institut für Waldökosysteme, Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (Modellierung auf Basis der Bundeswaldinventur)

viele Bestände in diesen Risikoklassen die Hiebsreife noch nicht erreicht haben und aus wirtschaftlichen Gründen noch nicht mit dem gezielten Waldumbau begonnen wurde. Zum anderen ist es möglich, dass die im Rahmen von Umbaumaßnahmen unterpflanzten Bäume noch zu geringe Stammdurchmesser haben, um in der Inventur bereits erfasst zu werden.

Im bundesweiten Rahmen ist für den Zeitraum 2002 bis 2012 also noch nicht klar erkennbar, dass für die Gebiete mit deutlich erhöhtem bis sehr hohem Fichtenanbaurisiko besonders intensive Bemühungen zur Ablösung der Fichte durch standortangepasste und weniger schadenfällige Arten unternommen worden wären. Die stärkste absolute Reduzierung der Fichtenfläche hat sich mit fast 108.100 Hektar sogar in Gebieten mit sehr geringem Risiko vollzogen, in denen die standörtlichen Verhältnisse den Anbau der Fichte als führende Baumart auch weiterhin möglich machen. Allerdings ist diese Risikokategorie auch mit Abstand die flächenmäßig größte. Die durch den Risikoindikator nicht abgedeckten Sturmrisiken haben hier vermutlich eine wichtige Rolle bei der Umbauentscheidung gespielt.

In der Diskussion um einen klimagerechten Waldumbau stehen die standortgerechten Fichtenbestände im besonderen forstwirtschaftlichen Fokus. Möglicherweise ist bis zur nächsten Inventur vielerorts die Verjüngung anderer Baumarten unter Fichtenaltbeständen soweit aufgewachsen, dass sie dann im Hauptbestand mit erfasst wird und sich dementsprechend 2022 ein anderes Bild zeigt.

Die Risikogruppen in der Abbildung sind wie folgt definiert:

- sehr geringes Risiko = Fichte als führende Baumart möglich
- geringes Risiko = als führende Baumart mit ausreichender Beimischung anderer Baumarten möglich
- erkennbares Risiko = als Mischbaumart in hohen Anteilen möglich
- mittelhohes Risiko = als Mischbaumart in mittleren Anteilen möglich
- deutlich erhöhtes Risiko = als Mischbaumart in mäßigen Anteilen möglich
- hohes Risiko = als Mischbaumart in geringen Anteilen möglich
- sehr hohes Risiko = als Mischbaumart in sehr geringen Anteilen möglich



Beim Waldumbau müssen die besonders risikoreichen Fichtenreinbestände Priorität haben.  
(Foto: © AVTG / stock.adobe.com)

## Schnittstellen

FW-I-2: Gefährdete Fichtenbestände  
FW-R-1: Mischbestände

## Ziele

Die Waldeigentümer sollten den Waldumbau von Reinbeständen in standortgerechte, risikoarme Mischbestände voranbringen. [...] Bei der Wahl der Baumarten [...] muss darauf geachtet werden, dass sie dem Standort und seiner zu erwartenden Entwicklung angepasst sind. (DAS, Kap. 3.2.7)

Anbau standortgerechter und überwiegend heimischer Baumarten mit hoher Widerstandsfähigkeit und Wuchsleistung (Waldstrategie 2020, S. 23)

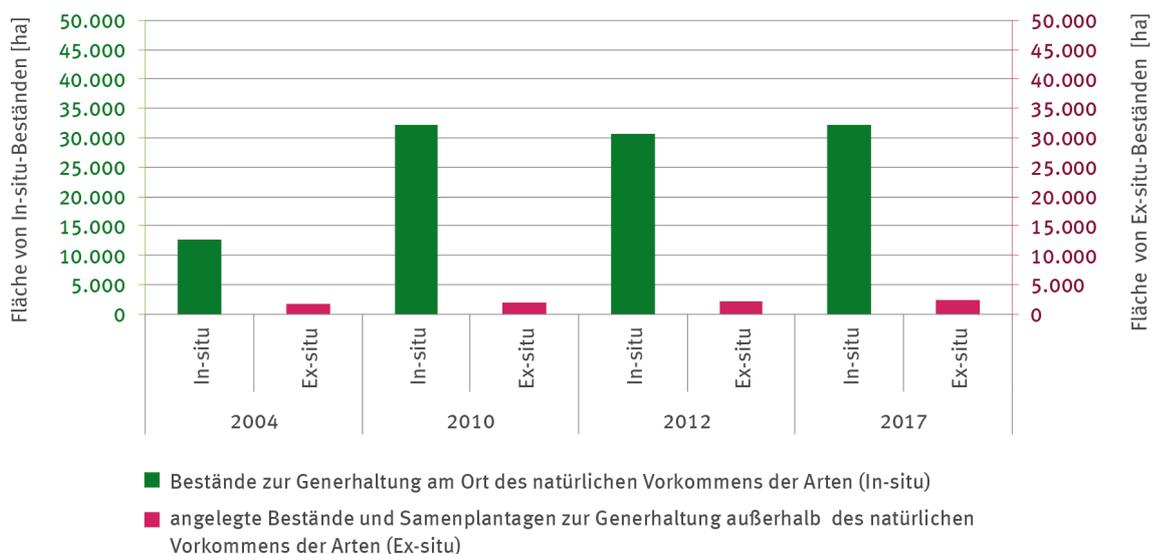
## Genetische Vielfalt – Schlüssel zur Anpassung

Im Rahmen des weiter fortschreitenden Klimawandels erhöhen extreme Witterungsereignisse und ihre Folgewirkungen den Selektionsdruck auf Waldbestände. Nur genetisch angepasste Individuen, d. h. einzelne Bäume, können innerhalb größerer Populationen überleben, wachsen und sich fortpflanzen. Angesichts der Vielzahl der Wechselwirkungen und der Dynamik der Einzelfaktoren lässt sich nicht vorhersagen, welche Individuen oder Populationen das sein werden. Die Lösung dieses Dilemmas besteht in der Aufrechterhaltung einer hinreichend großen Anzahl und Vielfalt potenziell anpassungsfähiger Individuen. Denn die genetische Vielfalt sowohl auf der Ebene der Individuen als auch der Populationen ist die Basis von Anpassung und Artenreichtum. Daher steht die Beobachtung und Erhaltung der genetischen Vielfalt und des genetischen Systems seit nahezu 100 Jahren im Fokus von Maßnahmen zur Erhaltung genetischer Ressourcen<sup>32</sup>. Von besonderer Bedeutung ist die weitergehende Erfassung der genetischen Eignung der verschiedenen räumlichen Vorkommen heimischer Baumarten in Deutschland.

Die Maßnahmen zur Erhaltung forstlicher Genressourcen können entweder in In-situ- und Ex-situ-Maßnahmen eingeteilt werden. Die In-situ-Maßnahmen gehören zur dynamischen Erhaltung. Sie haben zum Ziel, die jeweiligen genetischen Ressourcen am Ort ihres Vorkommens als sogenannte „Generhaltungsobjekte“ zu erhalten. Die Sicherung und Verbreitung ihrer genetischen Informationen in die nächste Baumgeneration erfolgt über die natürliche Verjüngung. Besonders gefährdete Arten oder Varianten werden in speziell angelegten Archiven, ggf. in Samenplantagen, (Ex-situ) erhalten. Die Ex-situ-Maßnahmen sind statische Maßnahmen, die die Sicherung der aktuellen Ausprägung der genetischen Vielfalt zum Ziel haben. Darunter fallen Maßnahmen zur langfristigen Einlagerung von Saatgut, Pollen, Pflanzen oder Pflanzenteilen unter kontrollierten Bedingungen als Träger genetischer Informationen. Diese Erhaltungsstrategien haben unterschiedlich hohe Anforderungen hinsichtlich des Flächenbedarfs, der Anlagekosten, Nutzung und Beobachtung, sodass die finanziell aufwändige Ex-situ-Erhaltung weniger Anwendung findet als die In-situ-Erhaltung.

### FW-R-4: Erhaltung forstgenetischer Ressourcen

Die In-situ- und Ex-situ-Erhaltungsbestände konnten in den zurückliegenden Jahren ausgeweitet werden. Sie stellen sicher, dass die genetische Vielfalt bei den häufigen und seltenen Baumarten erhalten bleibt. Damit werden grundlegende Voraussetzungen für die Bewahrung der Anpassungsfähigkeit der Wälder geschaffen.



Datenquelle: Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (Generhaltungsobjekte: GENRES (Informationssystem genetische Ressourcen) – FGRDEU-Online (Nationales Inventar forstgenetischer Ressourcen))

In Deutschland liegt die Verantwortung für Generhaltungsmaßnahmen bei den Ländern. Die Konzepte der Länder zur Erhaltung forstlicher Genressourcen bilden den Rahmen für die notwendigen Generhaltungsmaßnahmen. Auf Bundesebene werden die Informationen über die Ausweisung aller Generhaltungsobjekte in einem Nationalen Inventar forstgenetischer Ressourcen (FGRDEU) zusammengeführt. Die Daten werden im mehrjährigen Turnus aktualisiert und ergänzt.

Eine einfache Interpretation der sich ändernden Anzahl und Flächengröße der Generhaltungsobjekte in Deutschland ist nicht möglich. Denn die genetische Anpassungsfähigkeit an sich verändernde Klimabedingungen wird von zahlreichen Faktoren beeinflusst und lässt sich somit nur schwer abschätzen. Die Anzahl der Generhaltungsobjekte je Baumart und die Größen der Erhaltungsflächen geben lediglich eine Orientierung. Die Interpretation dieser Daten erfordert grundsätzlich forstwirtschaftliche Detailkenntnisse und die Anwendung von speziellen Indikatoren (z. B. Erhaltungsfähigkeit, Ökologischer Erhaltungsindex). So würde z. B. die Angabe der „In-situ-Erhaltungsfläche“ für seltene und Neben-Baumarten angesichts geringer Populationsgrößen bzw. Individuenzahlen den Erhaltungszustand überschätzen. Andererseits verrät die Anzahl der Generhaltungsobjekte nichts über die Größe der Population. Ebenso stehen genetische Inventuren, die den Grundsätzen des forstlichen Monitorings genügen, erst am Anfang. Von einem eindimensionalen „je mehr Generhaltungsobjekte, desto besser“ kann somit nicht ausgegangen werden, denn für jede Baumart gibt es einen sinnvollen Umfang von Generhaltungsbeständen, über den hinaus eine Steigerung der Fläche oder des Umfangs der Einlagerung von Generhaltungsobjekten keine weitere Verbesserung der Absicherung bringt.

Insgesamt hat die Erhaltung forstgenetischer Ressourcen einen deutlichen Fortschritt erfahren. Dies zeigt sich u. a. an der bundesweit einheitlichen Abstimmung der Ausweisungskriterien für Generhaltungsobjekte, der zunehmenden Anwendung von genetischen Markern zur Charakterisierung forstgenetischer Ressourcen und der Etablierung von bundesweiten Monitoringprogrammen (derzeit für Rot-Buche und Fichte) für populationsgenetische und evolutive Fragestellungen. Diese Entwicklungen bieten eine weitere Grundlage für die Bewertung der genetischen Anpassungsfähigkeit von Gehölzen unter den Bedingungen des Klimawandels.

In Deutschland haben die Flächen der In-situ- und Ex-situ-Generhaltungsobjekte in den letzten Jahren zugenommen. Lediglich zwischen 2010 und 2012 gab



Die Generhaltung widmet sich auch Baumarten, die in den Wäldern heute seltener vorkommen.  
(Foto: Amt für Waldgenetik, Teisendorf)

es eine geringfügige Reduzierung der Fläche der In-situ-Bestände. Bei den häufigeren Waldbaumarten, für die das Forstvermehrungsgutgesetz (FoVG) die Erzeugung, das Inverkehrbringen sowie die Ein- und Ausfuhr von Forstvermehrungsgut regelt, stieg die Fläche von In-situ-Beständen von 2004 bis 2017 von 12.681 auf 32.405 Hektar. Seltene und gefährdete Baumarten unterliegen nicht dem FoVG. Für Flaum-Eiche, Elsbeere, Speierling, Wild-Apfel, Wild-Birne, Eibe, Feld-Ahorn, Grün-Erle, Grau-Erle und Gemeiner Trauben-Kirsche erfolgte eine systematische und vereinheitlichte Erfassung. Untersucht wurden Lage, Populationsgröße, Vitalitätszustand und Altersstruktur der Vorkommen. Hier wurde bis 2017 eine Ausweitung der gemeldeten In-situ-Bestände auf rund 4.560 Hektar erreicht. Auch die Flächen der angelegten Bestände und Samenplantagen zur Generhaltung (Ex-situ) sind von 2004 (1.777 Hektar) auf bis 2017 (2.470 Hektar) angewachsen.

## Schnittstellen

FW-R-1: Mischbestände

## Ziele

Erhaltung der Vielfalt und eines angepassten Genpools von Baum- und Straucharten (Forstliche Genressourcen in Deutschland, S. 29)

Erhaltung der genetischen Vielfalt der Forstpflanzen (Waldstrategie 2020, S. 23)

## Humus – Helfer in schweren Zeiten

Neben der Steuerung der Baumartenzusammensetzung haben Forstleute weitere Möglichkeiten, die Anpassungsfähigkeit der Wälder an die sich verändernden Klimabedingungen zu fördern. Die Humuspflge ist dabei ein wichtiger Schlüssel zur Schaffung günstiger Wuchsbedingungen und höherer Stabilität, denn der Humus bzw. dessen wichtigster Bestandteil, der organische Kohlenstoff, sorgt für eine günstige Bodenstruktur und ist von großer Bedeutung für die Nährstoff und Wasserversorgung der Waldbäume. Vor allem auf nährstoffarmen und eher trockenen Standorten können sich die Bedingungen für Waldbäume bei guter Humusversorgung deutlich verbessern.

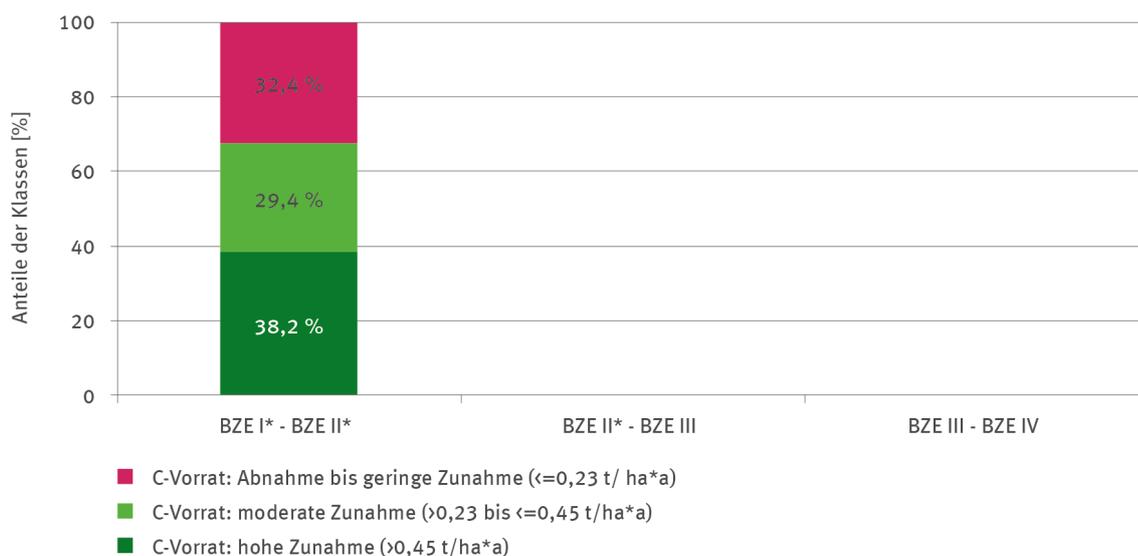
Die Wechselwirkungen zwischen Klimaveränderungen und dem Gehalt bzw. dem Vorrat an Humus gehen allerdings noch weit über den oben skizzierten Sachverhalt hinaus. Neben der günstigen Beeinflussung der Anpassungsfähigkeit der Wälder sind ausreichende Humusvorräte auch mit Blick auf den Klimaschutz erstrebenswert, denn der Boden gehört zu den bedeutendsten Speichern von Kohlenstoff. Kohlenstoff, der im Boden festgelegt ist,

ist nicht als klimarelevantes Kohlendioxid in der Atmosphäre. Die Humuspflge ist damit sowohl eine Anpassungs- als auch eine Klimaschutzmaßnahme. Als weitere Wechselwirkung werden der Einfluss der Witterung auf die Aktivität der Bodenmikroorganismen und damit die Auf- und Abbauprozesse von Humus diskutiert.

In Urwäldern ist die organische Substanz, die für die Humusbildung zur Verfügung steht, besonders hoch, da alle Bäume nach dem Absterben zersetzt werden und letztendlich die Humusvorräte aufbauen. Anders ist die Situation in Wirtschaftswäldern, denn bei der Holzernte wird ein Großteil des Kohlenstoffs aus dem Wald entnommen; in welchem Umfang hängt in erheblichem Maße vom im Bestand verbliebenen Anteil der geernteten Bäume ab. Je mehr Blätter, Nadeln oder Äste am Schlagort im Wald verbleiben, desto mehr „Nachschub“ für die Bildung organischer Substanz gibt es. Dabei spielt auch eine Rolle, wie gut der Ernterücklass auf den Hiebsflächen verteilt wird. Mit der Zunahme der Energieholznutzung gibt es allerdings einen vermehrten Anreiz auch zur Verwertung schwächerer Sortimente und von Kronenmaterial.

### FW-R-5: Humusvorrat in forstlichen Böden

Hohe Gehalte organischen Kohlenstoffs in Waldböden fördern die Wasserspeicherkapazität und verbessern die Nährstoffversorgung. Sie erleichtern es den Bäumen damit auch, heiße und niederschlagsarme Perioden besser zu überstehen. Zwischen 1987 und 2008 gab es mehr Flächen, auf denen die Humusvorräte im Mineralboden zugenommen haben, als solche, auf denen es zu Abnahmen gekommen ist.



\* BZE I: 1987-1993; BZE II: 2006-2008

Datenquelle: Thünen-Institut für Waldökosysteme (Auswertung auf der Basis von Daten der Bodenzustandserhebung (BZE) im Wald)

Da – im Gegensatz zur Landwirtschaft – die technischen Möglichkeiten zu einem Ausgleich von Kohlenstoff und Nährstoffausträgen im Wald jedoch sehr beschränkt sind, ist es letztendlich entscheidend, dass die Nutzungsintensität den standörtlichen Voraussetzungen bestmöglich angepasst wird. Nur so kann eine ausreichende Humusbildung sichergestellt werden.

Im Rahmen der Bodenzustandserhebung im Wald (BZE) werden bundesweit Erhebungen zu den Kohlenstoffvorräten in den oberen 30 cm des Mineralbodens und der Humusaufgabe im Wald durchgeführt. Die bisherigen Daten ermöglichen den Vergleich der Situation im Zeitraum 1987 bis 1993 mit der des Zeitraums 2006 bis 2008. Insgesamt gab es mehr Flächen, auf denen sich die Kohlenstoffvorräte im Mineralboden seit der Erstinventur erhöht haben, wobei die Zunahme in den nördlichen Landesteilen besonders stark ausgeprägt war. Im Süden Deutschlands fanden sich keine Hinweise auf größere Veränderungen. Ob sich diese Veränderungen bereits auf eine zielgerichtete Humuswirtschaft im Wald zurückführen lassen, ist allerdings eher fraglich, denn der Trend kann durch geänderte Baumartenzusammensetzungen infolge von Waldumbaumaßnahmen, Änderungen von Luftschadstoffeinträgen und Kalkungsmaßnahmen überlagert werden.

In der Humusaufgabe wurden auf den meisten Standorten zwischen den beiden Erhebungszeiträumen keine nennenswerten Veränderungen von Kohlenstoffvorräten gefunden. Allerdings lassen sich die Untersuchungsergebnisse bisher nicht eindeutig interpretieren. Der organische Kohlenstoff in der Humusaufgabe unterliegt vergleichsweise schnellen Auf- und Abbauprozessen und ist somit besonders stark äußeren Einflüssen ausgesetzt. Außerdem schwanken die Humusvorräte kleinräumig sehr stark, was die Interpretation von Änderungsraten erschwert. Aus diesen Gründen bildet der Indikator Änderungen von Kohlenstoffvorräten in der Humusaufgabe nicht ab.

Für die Auswertung der ersten beiden BZE zu den Änderungen der Kohlenstoffvorräte in den oberen 30 cm des Mineralbodens wurden die Klassengrenzen für eine Abnahme bzw. geringe Zunahme, eine moderate Zunahme sowie eine hohe Zunahme so definiert, dass sich die bewertete Waldfläche gleichmäßig auf die drei Klassen verteilt. Mit der Aktualisierung der BZE werden sich – bei Beibehaltung der nun definierten Klassengrenzen – Veränderungen abbilden, indem sich die Flächenanteile, die den drei Klassen jeweils zugeordnet werden, verschieben.



Hohe Humusvorräte in Waldböden vermindern die Anfälligkeit von Wäldern gegenüber Trockenheit.  
(Foto: Petra Dühnel / Thünen-Institut)

## Schnittstellen

BO-R-3: Humusgehalte von Ackerböden

## Ziele

Wald soll als CO<sub>2</sub>-Senke erhalten bleiben.  
(Waldstrategie 2020, S. 11)

Bestehende Kohlenstoffbestände sollen geschützt und ausgebaut und neue Kohlenstoffbestände angelegt werden. (Europäische Forststrategie, Pkt. 13)

Schutz der ökologischen Leistungsfähigkeit der Böden durch [...] die Erhaltung der organischen Substanz, Umsetzung standortangepasster Landnutzungsstrategien zur Verringerung negativer Effekte durch Veränderungen in der Boden- und Humusbildung (DAS, Kap. 3.2.4)

## Forstliche Information zum Thema Anpassung

Die Waldwirtschaft steht in Anbetracht des Klimawandels in den nächsten Jahrzehnten vor immensen Herausforderungen. Im Zusammenhang mit der Anpassung der Wälder stellen sich viele praxisnahe Entwicklungs- und Managementfragen, die u. a. die Baumartenwahl, die Technik des Waldumbaus und geeignete Maßnahmen der zielgerichteten Waldpflege betreffen. Handlungsbedarf besteht dabei nicht nur im Staats- und Körperschaftswald, sondern ebenso auch im Privatwald, denn dieser bedeckt in Deutschland immerhin rund 48 % der gesamten Waldfläche<sup>33</sup>.

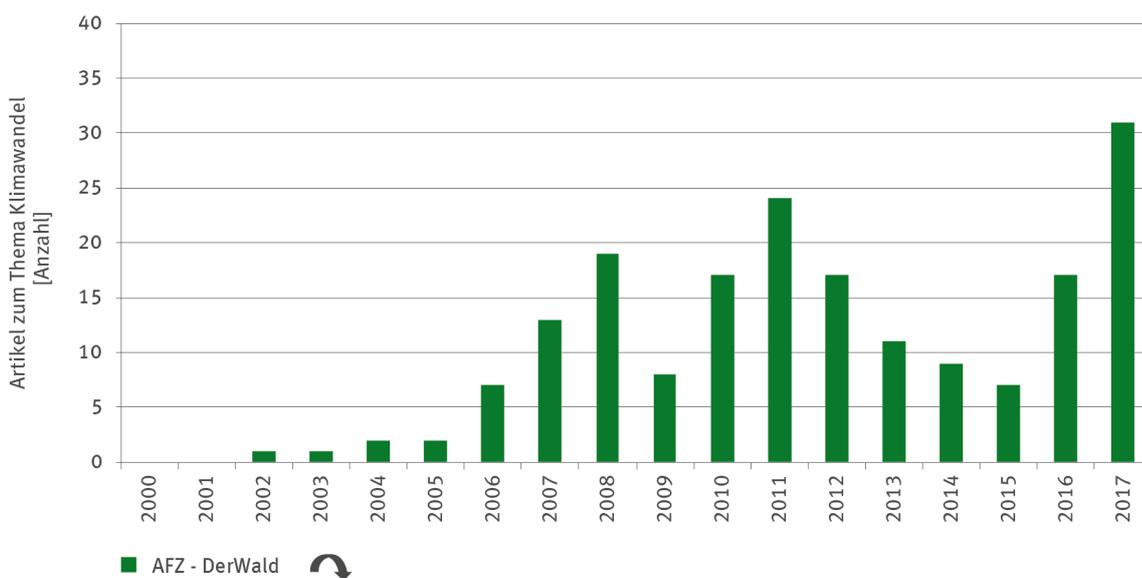
Privatwaldbesitzer sind häufig Kleinwaldbesitzerinnen und -besitzer, die im Durchschnitt über eine Waldfläche von weniger als 10 Hektar verfügen. Sie haben ihren beruflichen Schwerpunkt überwiegend außerhalb der Forstwirtschaft und bewirtschaften ihre Wälder nach sehr individuellen und unterschiedlichen Zielvorstellungen. Der wirtschaftliche Anreiz, sich forstwirtschaftlich zu engagieren und entsprechendes Wissen anzueignen, ist in vielen Fällen eher gering. Für die Pflege und Entwicklung der Wälder sind das ungünstige Bedingungen, die sich

mit dem demographischen Wandel und dem Strukturwandel in ländlichen Räumen künftig aller Voraussicht nach eher noch verschärfen werden<sup>34</sup>.

Der forstlichen Beratung der Privatwaldbesitzenden kommt vor diesem Hintergrund eine bedeutende Rolle zu. Sie muss die Voraussetzungen schaffen, dass auch die Bewirtschaftung des Privatwalds einen Beitrag zur Anpassung der Wälder leistet. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich die für große, geschlossene und intensiv bewirtschaftete Staatswaldkomplexe entwickelten und dort angewendeten Waldbauverfahren nicht ohne Weiteres auf den Privatwald übertragen lassen, denn die Ausgangsbedingungen sind dort häufig andere. So sind fichtendominierte Bestände oftmals aufgrund einer zu geringen Durchforstung besonders instabil. Aufgrund der kleinen Flächen und der ungünstigen Ausformung der Bestände sind Schutzmaßnahmen gegen Wildverbiss wie eine Zäunung zu aufwändig und zu teuer. Außerdem fällt es vielen Waldbesitzenden schwer, sich von der traditionellen Fichtenkultur zu verabschieden, oder es fehlt ihnen schlichtweg das Wissen und die Zeit, sich mit

### FW-R-6: Forstliche Information zum Thema Anpassung

Über Form, Umfang und Intensität der forstlichen Beratung lassen sich bundesweit keine gebündelten Informationen abrufen. In einer groben Annäherung bildet die zunehmende Anzahl von Artikeln, die in der viel gelesenen praxisnahen Forstzeitschrift „AFZ DerWald“ zum Thema Klimawandel veröffentlicht werden, die Intensität der diesbezüglichen Fachdiskussion ab.



Datenquelle: Thünen-Institut für Waldökosysteme (Auswertungen der Zeitschrift AFZ - DerWald)

standortangepassten Waldbaukonzepten auseinanderzusetzen.

Forstliche Beratungen werden von zahlreichen unterschiedlichen Einrichtungen durchgeführt. In den Ländern widmen sich u. a. die Landesforstverwaltungen, Landeswaldbetriebe sowie die Forstbetriebsgemeinschaften und Waldbesitzerverbände dieser Aufgabe. Insgesamt ist das gesamte Feld der forstlichen Beratung vielfältig und zugleich unübersichtlich. Über Form, Umfang und Intensität der Privatwaldberatung lassen sich daher bundesweit keine gebündelten Informationen abrufen.

Ein wichtiges Mittel, forstlich relevante Informationen zu verbreiten, sind Zeitschriften, die insbesondere von Praktikerinnen und Praktikern in der Forstwirtschaft gelesen werden. Zu diesen Zeitschriften gehört unter anderem die „AFZ Der-Wald“, die unter den forstlichen Zeitschriften aufgrund ihrer kurzgefassten Artikel in deutscher Sprache derzeit die öffentlichkeitswirksamste ist. Artikel, die in dieser Zeitschrift zum Thema Klimawandel und Anpassung veröffentlicht werden, erreichen eine sehr breite Leserschaft, die sich mit forstlichen Bewirtschaftungsfragen auseinandersetzt.

In den Jahren zwischen 2000 und 2011 hat sich die Anzahl von Artikeln, die sich dem Thema Klimawandel widmen, deutlich erhöht. Nach einer zwischenzeitlichen Abnahme bis 2015 hat sich deren Anzahl in den Jahren bis 2017 wieder deutlich gesteigert. In der Regel lassen sich dabei Themen des Klimaschutzes und der Anpassung nicht strikt voneinander trennen. Die Daten erlauben die Schlussfolgerung, dass den Klimawandel betreffende Fragestellungen zunehmend Eingang in die praxisorientierte Fachdiskussion gefunden haben. Nicht erlaubt sind allerdings Rückschlüsse, inwieweit dann – auf diesen Diskussionen und Empfehlungen aufbauend – auch tatsächlich konkrete Umsetzungen in der Praxis erfolgen.



Privatwaldbesitzende brauchen angemessene fachliche Beratung, um ihren Beitrag zum klimagerechten Waldbau leisten zu können. (Foto: © Robert Crum / stock.adobe.com)

## Ziele

Bund und Länder sollten Informationsdefizite abbauen, um die mehr als 1,8 Millionen Waldbesitzenden von der Notwendigkeit von Anpassungsmaßnahmen zu überzeugen. (DAS, Kap. 3.2.7)

In Anbetracht der steigenden gesellschaftlichen, klimapolitischen, ökologischen und wirtschaftlichen Ansprüche an Wald und Forstwirtschaft sollen entsprechende Beratungsleistungen für den Kleinprivatwald als öffentliche Aufgabe im Sinne der Daseinsvorsorge und des Gemeinwohls weiter ausgebaut werden. (Waldstrategie 2020, S. 14)



© athomenden / stock.adobe.com

# Biologische Vielfalt

Die Verbreitung der Tier- und Pflanzenarten, der Lebensgemeinschaften und der Ökosysteme auf der Erde wird wesentlich vom Klima bestimmt. Veränderungen u. a. der Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse sowie der Häufigkeit von Extremereignissen beeinflussen langfristig die jahreszeitliche Entwicklung, das Verhalten, die Fortpflanzung, die Konkurrenzfähigkeit und die Nahrungsbeziehungen von Arten. Den Projektionsergebnissen zufolge werden sich für viele der in Deutschland vorkommenden Arten die klimatisch geeigneten Lebensräume nach Norden, in höhere Lagen der Gebirge oder entlang von Feuchtegradienten verschieben. Der Klimawandel kann Arten gefährden, wenn deren Verbreitungsgebiete schrumpfen oder wenn die betroffenen Arten neue Lebensräume nicht besiedeln können, weil ihre Ausbreitung beschränkt ist. Zu einer Gefährdung kann es auch kommen, wenn die Entwicklungsrhythmen bestimmter Arten nicht mehr aufeinander abgestimmt sind. Heute gilt der Klimawandel nach dem Landnutzungswandel als einer der wichtigsten Einflussfaktoren auf die biologische Vielfalt.

Neben direkten hat der Klimawandel auch indirekte Auswirkungen auf die biologische Vielfalt. Auslöser sind Anpassungen der Landnutzung u. a. in der Land- und Forstwirtschaft oder Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung und der Infrastruktur, beispielsweise ein verändertes Gewässermanagement. Auch die Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen wie der Ausbau der erneuerbaren Energien oder die Dämmung von Gebäuden nimmt Einfluss auf Vorkommen von Arten und die Qualität von Lebensräumen. Allerdings lässt sich in den meisten Fällen nur schwer nachweisen, in welchem Umfang diese Entwicklungen die biologische Vielfalt beeinflussen, da neben dem Klimawandel in der Regel zahlreiche weitere Faktoren wirken.

Um den Schutz der biologischen Vielfalt unter sich verändernden klimatischen Bedingungen zu verbessern, müssen vor allem Voraussetzungen dafür geschaffen werden, dass ausreichend große Populationen und ihre genetische Vielfalt erhalten bleiben, dass die Lebensräume von Arten gut miteinander vernetzt sind und dass andere nachteilige Einflüsse sowohl auf Arten als auch auf Lebensräume so weit wie möglich vermindert werden.

## Auswirkungen des Klimawandels

Zeitliche Entwicklung von Wildpflanzenarten verschiebt sich im Jahresverlauf (BD-I-1).....	146
Einfluss des Klimawandels auf Vogelarten nimmt zu (BD-I-2) .....	142
Zunahme natürlich überflutbarer Flächen fördert die biologische Vielfalt in Auen (BD-I-3) .....	144

## Anpassungen

Auswirkungen des Klimawandels finden zunehmend Eingang in die Landschaftsplanung (BD-R-1).....	146
Schutzgebiete – Rückzugsräume für Tiere und Pflanzen im Klimawandel (BD-R-2).....	148

## Zeitliche Entwicklung von Wildpflanzenarten verschiebt sich im Jahresverlauf

In unseren Breiten bestimmen insbesondere die klima- und witterungsbedingten Temperaturverläufe den Jahresgang der Entwicklung der Pflanzen. So lässt sich beispielsweise in einem warmen Winter eine sehr frühe Blüte von Gehölzen wie Hasel oder Schwarzerle beobachten. Für diese Entwicklung sind nicht einzelne besonders warme oder kalte Tage entscheidend, sondern längerfristige Witterungsverläufe, die der Blüte vorangehen. Sind die Temperaturen z. B. während des Winters über mehrere Wochen hinweg hoch, bauen sich hohe Wärmesummen auf, die die Pflanzenentwicklung beschleunigen.

Veränderungen natürlicher jahreszeitlicher Rhythmen und die damit verbundenen zeitlichen Verschiebungen in der Entwicklung von Pflanzen werden seit vielen Jahren anhand sogenannter phänologischer Beobachtungen dokumentiert. Erfasst wird dabei bundesweit das Eintreten bestimmter periodisch wiederkehrender biologischer Erscheinungen wie Blatt- und Knospenausrieb, Blüte, Fruchtreife oder Blattfall. Das phänologische

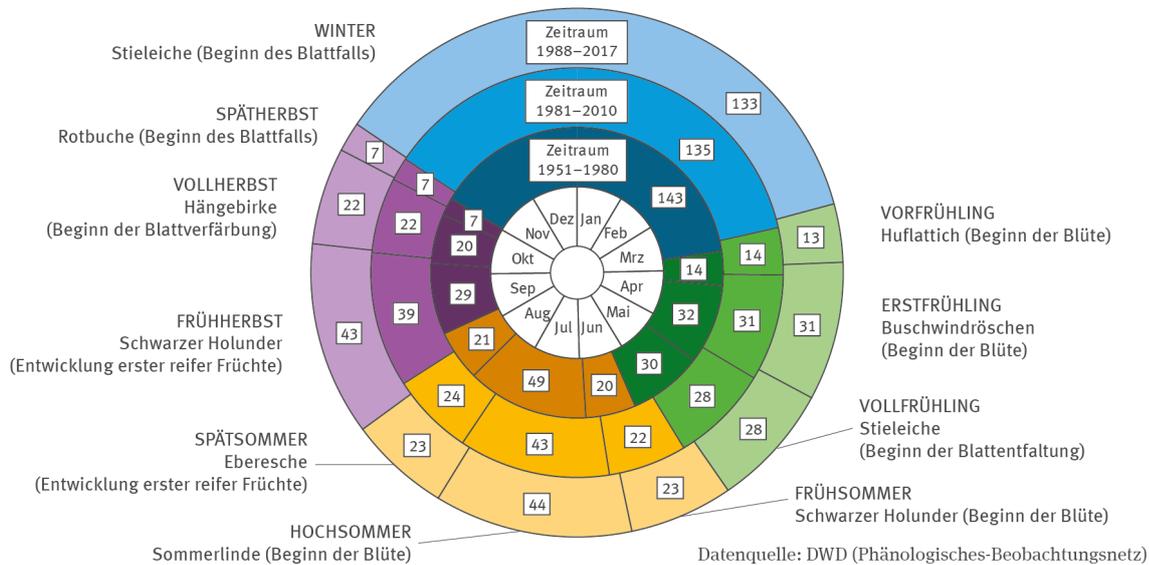
Beobachtungsnetz des DWD umfasst u. a. ein breites Spektrum von Wildpflanzen, deren spezifische Entwicklungsphasen den Beginn der phänologischen Jahreszeiten markieren. Wildpflanzen eignen sich besonders für die Beobachtung phänologischer Verschiebungen, da ihre Reaktionen nicht durch züchterische Veränderungen oder landbauliche Maßnahmen beeinflusst werden.

Da eine Interpretation der Verschiebungen jahreszeitlicher Zyklen nur über größere Zeiträume betrachtet zu gesicherten Ergebnissen führt, werden phänologische Daten ebenso wie klimatische Daten über Zeiträume von 30 Jahren gemittelt. Vergleicht man in der sogenannten phänologischen Uhr die mittleren Eintrittszeitpunkte der phänologischen Jahreszeiten im Referenzzeitraum 1951 bis 1980 und im Vergleichszeitraum 1981 bis 2010 mit denen im Zeitraum 1988 bis 2017, wird folgendes Muster deutlich: Die phänologischen Jahreszeiten vom Vorfrühling über den Frühsommer bis zum Frühherbst setzten in den beiden Perioden nach 1981 jeweils früher

### BD-I-1: Phänologische Veränderungen bei Wildpflanzenarten

Der Beginn des phänologischen Frühlings, Sommers und Herbstes hat sich in den letzten 67 Jahren im Jahresverlauf im Durchschnitt nach vorne verschoben. Der Winter ist deutlich kürzer, der Frühherbst deutlich länger geworden. Diese Veränderungen sind Ausdruck der Anpassungsfähigkeit von Pflanzen an das veränderte Klima. Sie können aber auch weitergehende Folgen für die biologische Vielfalt bis hin zur Gefährdung von Tier- und Pflanzenarten haben.

Gegenüberstellung des mittleren Beginns und der mittleren Dauer (Zahl der Tage) zehn phänologischer Jahreszeiten im Referenzzeitraum 1951-1980 und im Zeitraum 1988-2017



ein als im Referenzzeitraum 1951 bis 1980, Vollherbst, Spätherbst und Winter hingegen jeweils später. Dadurch war insbesondere der Frühherbst im Mittel der Jahre 1988 bis 2017 um etwa 14 Tage länger als im Referenzzeitraum 1951 bis 1980, der Winter jedoch um etwa zehn Tage kürzer als noch zwischen 1951 und 1980. Dieser Vergleich ergibt auch, dass der Sommer im Mittel der drei betrachteten Perioden zwar unverändert etwa 90 Tage dauerte, aber Beginn und Ende des Sommers in der Periode 1988 bis 2017 durchschnittlich jeweils etwa zwölf Tage früher lagen als in der Referenzperiode 1951 bis 1980. Analysiert man die Eintrittsdaten der phänologischen Jahreszeiten im Vergleich der Periode 1988 bis 2017 mit dem Referenzzeitraum 1951 bis 1980, so ergeben sich statistisch signifikante bzw. in den meisten Fällen sogar hochsignifikante Unterschiede zwischen den beiden Perioden für alle Jahreszeiten.

Verschiebungen phänologischer Jahreszeiten sind zum einen Ausdruck der Anpassungsfähigkeit von Pflanzen und Tieren an veränderte Klimaverhältnisse. Zum anderen lassen die durch den Klimawandel verursachten Veränderungen von Entwicklungszyklen aber auch auf weitergehende Folgen für die biologische Vielfalt schließen. Phänologische Verschiebungen können in bestimmten Fällen das zeitliche Zusammenspiel zwischen Organismen entkoppeln. Dadurch werden etablierte Wechselwirkungen beispielsweise zwischen Pflanzen und deren Bestäubern oder in Räuber-Beute-Beziehungen beeinflusst. Dies wirkt sich auf Struktur und Funktionen von Ökosystemen aus und kann zur Gefährdung von Tier- und Pflanzenarten führen. So konnte unter anderem anhand von Populationen des Trauerschnäppers in den Niederlanden nachgewiesen werden, dass die Individuenzahl zurückging, weil es zu einer solchen zeitlichen Entkopplung der Aufzuchtzeit der Nestlinge von der Zeit des optimalen Nahrungsangebots gekommen ist.<sup>35</sup> Da Trauerschnäpper Langstreckenzieher sind und in Afrika überwintern, können sie auf veränderte Zyklen der Entwicklung ihrer Nahrungsorganismen nicht ausreichend reagieren.

Für Deutschland gibt es keine breit angelegten Untersuchungen oder systematischen Beobachtungen der Folgen solcher durch phänologische Verschiebungen veränderter Beziehungen zwischen Pflanzen und Tieren. Möglich ist daher zum jetzigen Zeitpunkt nur die Aussage, dass mit weiteren Verschiebungen der phänologischen Phasen eine Zunahme solcher Veränderungen erwartet wird.

Gleiches gilt für die beobachtete Verlängerung der phänologischen Vegetationsperiode. Deren Dauer entspricht der Summe der Tage des phänologischen Frühlings, Sommers und Herbstes. Während die Vegetationsperiode



Der Hufplattich blüht heute früher im Jahr als noch Mitte des letzten Jahrhunderts. (Foto: © kraichgaufoto / stock.adobe.com)

in den Jahren 1951 bis 1980 im Mittel lediglich 222 Tage dauerte, verlängerte sie sich im Durchschnitt der Jahre 1981 bis 2010 um 8 Tage auf 230 Tage und im Durchschnitt der Jahre 1988 bis 2017 um 10 Tage auf 232 Tage. Dabei ist zu beachten, dass die Länge über die Jahre hinweg stark variiert. Eine Verlängerung der Vegetationsperiode kann beispielsweise zu einer höheren Produktivität von Ökosystemen führen, was wiederum Beziehungen zwischen verschiedenen Arten beeinflussen kann. Deutschlandweite systematische Untersuchungen der Auswirkungen einer verlängerten Vegetationsperiode auf die biologische Vielfalt liegen bisher nicht vor.

## Schnittstellen

LW-I-1: Verschiebung agrarphänologischer Phasen  
 LW-R-1: Anpassung von Bewirtschaftungsrhythmen  
 WW-I-6: Eintreten der Frühjahrsalgenblüte in stehenden Gewässern

## Ziele

Abpufferung und Minimierung der Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt in Deutschland (z. B. Verschiebung der Vegetationszonen, Veränderung des Vogelzugverhaltens, Gefährdung kälteliebender Arten) (NBS, Kap. B 3.2)

## Einfluss des Klimawandels auf Vogelarten nimmt zu

Vögel reagieren auf viele Veränderungen ihrer Umwelt vergleichsweise sensibel. Dies führt dazu, dass sich die Zusammensetzung von Vogelgemeinschaften in Abhängigkeit von Umwelteinflüssen stark verändern kann. In der Regel sind diese Veränderungen Ergebnis des Zusammenwirkens vieler unterschiedlicher Einflussfaktoren. Eine alleinige Ursache für den Wandel von Artengemeinschaften und den Rückgang oder Ausfall einzelner Arten gibt es i. d. R. nicht. Wissenschaftliche Untersuchungen belegen jedoch, dass Klimaveränderungen hierbei neben dem Landnutzungswandel eine entscheidende Rolle spielen können.

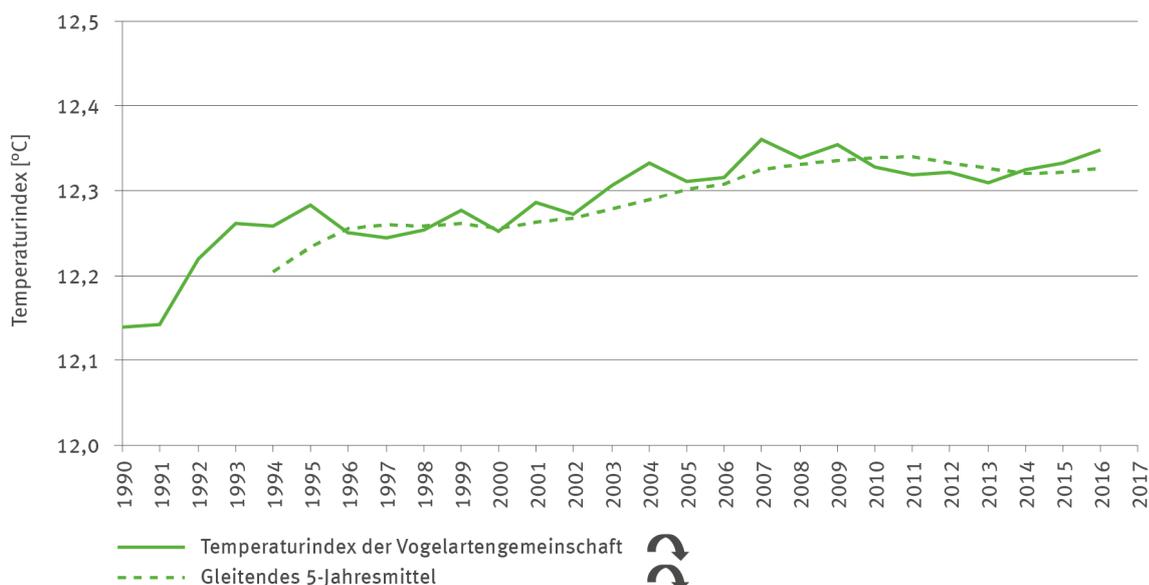
Brutvögel haben in der Brutzeit artspezifische Temperatursprüche. Diese sind beispielsweise beim Braunkehlchen, dem Sprosser und dem Gelbspötter niedriger als beim Schwarzkehlchen, der Nachtigall und dem Orpheusspötter. Nehmen bedingt durch den Klimawandel die Temperaturen in der Brutzeit im langfristigen Mittel zu, dann finden wärmeliebende Arten bessere Bedingungen vor und werden im Vergleich zu anderen Vogelarten

häufiger. Umgekehrt werden kälteliebende Arten im Vergleich zu anderen Vogelarten seltener.

In den Jahren 1990 bis 2016 lässt sich eine solche Entwicklung anhand von 88 in Deutschland häufig vorkommenden Brutvogelarten beobachten. In diesem Zeitraum haben sich – wie der Temperaturindex häufiger Brutvogelarten zeigt – die relativen Häufigkeiten der betrachteten Vogelarten zu Gunsten wärmeliebender Arten bzw. zu Ungunsten kälteliebender Arten verschoben. Die Entwicklung des gleitenden 5-Jahresmittels des Temperaturindex zeigt seit 1994 zunächst einen Anstieg bis ca. 2010, danach eine in etwa gleichbleibende Entwicklung. Die Entwicklung ab dem Jahr 2010 lässt sich allerdings auf Witterungseinflüsse zurückführen, die unabhängig vom langfristigen klimatischen Trend wirkten. Von 2009/10 bis 2012/13 gab es eine Reihe strenger Winter in Folge mit negativen Auswirkungen auf die Bestände vieler Brutvögel. Im Zuge ökologischer Veränderungsprozesse kommt dem Auftreten außergewöhnlich kalter Winter auch bei fortschreitender klimatischer Erwärmung große Bedeutung zu.

### BD-I-2: Temperaturindex der Vogelartengemeinschaft

Der Klimawandel führt zu Veränderungen von Artengemeinschaften. Bei 88 in Deutschland häufig vorkommenden Brutvogelarten haben sich in den Jahren 1990 bis 2016 die relativen Häufigkeiten zu Gunsten wärmeliebender Arten bzw. zu Ungunsten kälteliebender Arten verschoben. Welche weiteren Auswirkungen dies auf die biologische Vielfalt hat, lässt sich derzeit noch nicht vollständig überblicken. Die angezeigte Trendumkehr lässt sich auf eine Reihe strenger Winter zwischen 2009 und 2013 zurückführen, die unabhängig vom langfristigen klimatischen Trend wirkten.



Datenquelle: Dachverband Deutscher Avifaunisten e.V.

Zur Berechnung des Temperaturindex wird jeder der 88 Arten ein artspezifischer Temperaturanspruchswert zugeordnet, der aus der durchschnittlichen Temperatur für den Referenzzeitraum 1961–1990 innerhalb des europäischen Verbreitungsgebiets der Art ermittelt wird. Diese artspezifischen Temperaturanspruchswerte gehen – nach der relativen Häufigkeit der Art im jeweiligen Jahr gewichtet – in die Berechnung des Index ein. Je stärker der Temperaturindex häufiger Brutvogelarten langfristig zunimmt, desto stärker verschieben sich die relativen Häufigkeiten der Arten untereinander zugunsten wärmeliebender Arten und desto stärker ist der Einfluss eines Temperaturanstiegs auf die betrachtete Gruppe der Vögel. Die gezeigten Indexwerte beziehen sich auf ganz Deutschland, d. h. Aussagen zu einer veränderten Zusammensetzung regionaler Brutvogelgemeinschaften sind hiermit nicht möglich.

Auch andere Artengruppen wie Tagfalter oder Gefäßpflanzen können als Zeiger für langfristige Temperaturveränderungen im Klimawandel dienen. Dabei zeigen sich Artverschiebungen am deutlichsten in ökologischen Grenzregionen wie den Gebirgen. So haben europaweit angelegte Untersuchungen der Vegetation in den Gipfelbereichen der Gebirge oberhalb der Baumgrenzen ergeben, dass sich die dortigen Artengemeinschaften der Gefäßpflanzen in ihrer Zusammensetzung verändern. Hier siedeln sich wärmeliebende Arten aus tiefer gelegenen Gebieten an. Auch in Flüssen, Seen und Meeren vollziehen sich bereits Veränderungen der Zusammensetzung von Artengemeinschaften.

Neben Verschiebungen der Arthäufigkeiten innerhalb bestehender Artengemeinschaften führt der Klimawandel auch zur Einwanderung und Ausbreitung von Arten, die zuvor nicht in unseren Breiten vorkamen. Diese Entwicklungen vollziehen sich sowohl bei Pflanzen als auch bei Tieren. Beispiele hierfür sind der Orpheusspötter, der aus Südwesteuropa kommend in den 1980er Jahren als Brutvogel nach Deutschland eingewandert ist und sich derzeit tendenziell weiter ausbreitet, oder die Gottesanbeterin, die sich seit den 1990er Jahren vom Mittelmeerraum kommend in Deutschland allmählich weiter nördlich ausbreitet.



Der Gelbspötter gehört zu den Klimawandelverlierern. Sein Bestand hat in Deutschland seit 1990 deutlich abgenommen. (Foto: © Ron Knight / Wikimedia Commons, CC BY 2.0)

### Schnittstellen

FW-I-1: Baumartenzusammensetzung in Naturwaldreservaten

FI-I-1: Verbreitung warmadaptierter mariner Arten

FI-I-2: Vorkommen wärmeliebender Arten in Binnengewässern

### Ziele

Abpufferung und Minimierung der Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt in Deutschland (z. B. Verschiebung der Vegetationszonen, Veränderung des Vogelzugverhaltens, Gefährdung kälteliebender Arten) (NBS, Kap. B 3.2)

## Zunahme natürlich überflutbarer Flächen fördert die biologische Vielfalt in Auen

Neben den beschriebenen direkten Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt bedingen der Klimawandel und die damit verbundenen Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen auch indirekte Auswirkungen vor allem in Form einer veränderten Landnutzung. Nach Einschätzung von Experten nehmen diese indirekten Klimawandelfolgen sogar größeren Einfluss auf die Entwicklung der biologischen Vielfalt als die direkten Wirkungen der sich verändernden klimatischen Bedingungen. Eine exakte Quantifizierung indirekter Folgen von Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen für Arten und Lebensräume ist derzeit jedoch kaum möglich, da das Zusammenwirken der unterschiedlichen Einflussfaktoren sehr komplex ist.

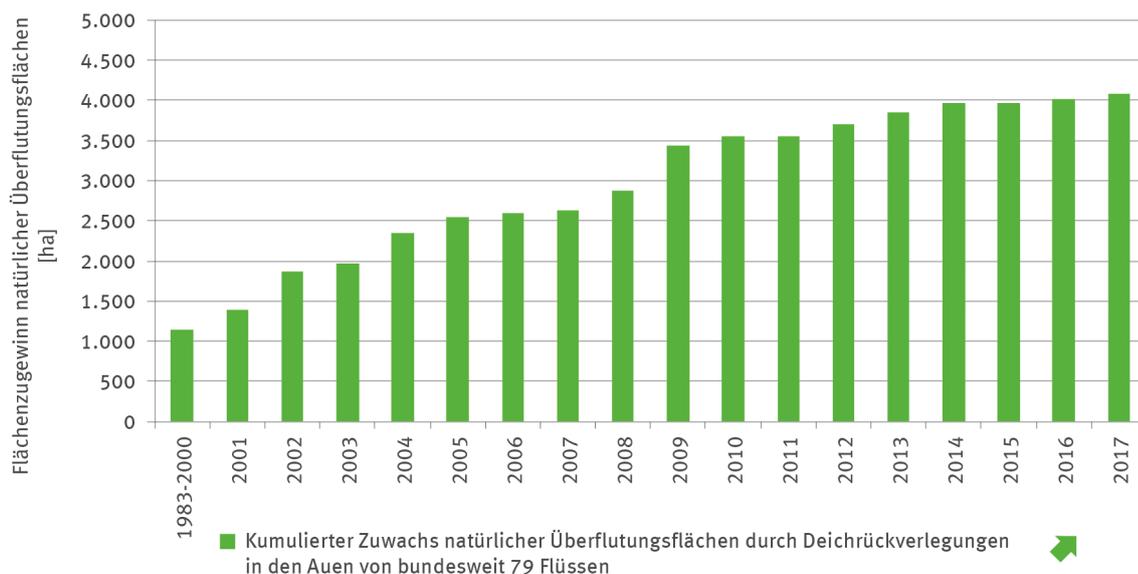
Zu den Landnutzungsveränderungen, die in einen Zusammenhang mit dem Klimawandel gestellt werden können, gehören auch Anpassungsmaßnahmen im Rahmen der Gewässer- und Auenentwicklung. Neben Deicherhöhungen, der Errichtung von Rückhaltebecken

oder anderen technisch geprägten Maßnahmen gilt die dauerhafte Wiederherstellung natürlicher Überflutungsflächen als wirksamer Baustein eines umfassenden Hochwasserrisikomanagements.

Können sich Flüsse im Falle von Hochwasserereignissen in diese Überflutungsflächen hinein ausdehnen, wird der Abfluss verlangsamt und die Hochwasserwelle gedämpft. Solche neu gewonnenen Überflutungsflächen wurden zuvor in vielen Fällen intensiv landwirtschaftlich genutzt. Eine Überführung in Flächen mit natürlicher Hochwasserdynamik ermöglicht eine Wiederbesiedlung mit vielen autotypischen Pflanzen- und Tierarten. Darunter befinden sich auch zahlreiche seltene und gefährdete Arten, die an die besonderen Bedingungen stark wechselnder Wasserstände angepasst sind, u. a. Biber, Fischotter, Eisvogel, Uferschwalbe, Rohrweihe, mehrere vor allem störungsempfindliche Entenarten sowie zahlreiche Libellen- und Amphibienarten. Zudem stellen natürlich überflutbare Lebensräume der Auen ein wichtiges

### BD-I-3: Rückgewinnung natürlicher Überflutungsflächen

Rückverlegung, Rückbau oder Schlitzung von Deichen haben seit 1983 zu einer Zunahme von natürlichen Überflutungsflächen geführt. Durch den Anschluss an die Gewässer und die Wiederherstellung der natürlichen Überschwemmungsdynamik sind neue naturschutzfachlich wertvolle Lebensräume für eine Vielzahl seltener und gefährdeter Tier- und Pflanzenarten sowie naturschutzfachlich bedeutsame Auwälder entstanden.



Datenquelle: Möhring et al. 2012, Bundesamt für Naturschutz (Eigenrecherche)

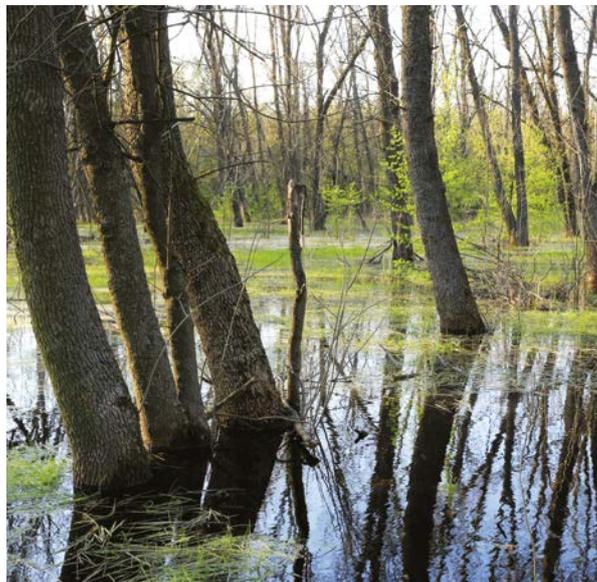
Bindeglied im Biotopverbund und Schutzgebietssystem Natura 2000 dar.

Anhand des Deichrückbaus zur Wiederherstellung natürlicher Retentionsräume in Flussauen wird deutlich, dass Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel im Rahmen des naturverträglichen Hochwasserschutzes auch positive Auswirkungen auf die biologische Vielfalt haben können.

Durch Rückbau, Rückverlegung oder Schlitzung von Deichen an bundesweit 79 Flüssen in den Jahren von 1983 bis 2017 sind 4.080 Hektar ehemalige Auenfläche wieder an die natürliche Überflutungsdynamik der Fließgewässer angeschlossen worden und werden bei Hochwasserereignissen ungesteuert überschwemmt. Die Einrichtung gesteuerter Hochwasserschutzpolder oder sonstige gesteuerte Flutungen der Aue sind dabei nicht berücksichtigt. Der jährliche Netto-Zugewinn ist abhängig von der Größe der fertiggestellten Projekte im jeweiligen Jahr und damit sehr variabel. Von 2014 bis 2017 wurden nur vergleichsweise kleine Flächen hinzugewonnen.

Auch wenn Maßnahmen zur Rückgewinnung natürlicher Überflutungsflächen i. d. R. nicht allein bzw. nicht primär zur Anpassung an den Klimawandel geplant wurden, so ist doch vor allem in den letzten fünfzehn Jahren das Bewusstsein gewachsen, dass der Klimawandel eine veränderte Abflussdynamik in den Flusseinzugsgebieten mit sich bringt und natürliche Retentionsflächen rückgewonnen werden müssen, um Hochwasserschäden z. B. an Siedlungen, Verkehrsinfrastruktur oder landwirtschaftlichen Flächen vorzubeugen.

Eine bundesweite Auenerfassung im Jahr 2009 kam zu dem Ergebnis, dass von ehemals rund 1,5 Millionen Hektar Auenfläche an Flüssen heute noch rund 480.000 Hektar bei Hochwasser als Retentionsraum zu Verfügung stehen.<sup>36</sup> Die in den Jahren von 1983 bis 2017 erzielte Rückgewinnung natürlich überflutbarer Auenflächen umfasst demgegenüber eine vergleichsweise kleine Fläche.



Die Rückgewinnung natürlicher Überflutungsflächen dient dem Hochwasserschutz und hat positive Auswirkungen auf die biologische Vielfalt. (Foto: © Pavel Klimenko / stock.adobe.com)

## Schnittstellen

WW-I-3: Hochwasser

WW-R-3: Uferbewuchs von kleinen und mittelgroßen Gewässern

RO-R-3: Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für (vorbeugenden) Hochwasserschutz

RO-R-6: Siedlungsnutzung in Hochwassergefahrenbereichen

## Ziele

Vergrößerung der Rückhalteflächen an den Flüssen um mindestens 10% bis 2020 (NBS, Kap. B 1.2.4)

Frühere Überschwemmungsgebiete, die als Rückhalteflächen geeignet sind, sollen so weit wie möglich wiederhergestellt werden, wenn überwiegende Gründe des Wohls der Allgemeinheit dem nicht entgegenstehen (WHG, § 77 (2))

Förderung von Maßnahmen mit abmildernder Wirkung auf Extremereignisse, z. B. zur Verbesserung der Hydromorphologie (u. a. Anbinden von Altarmen, aber auch Deichrückverlegungen) (DAS, Kap. 2.3)

## Auswirkungen des Klimawandels finden zunehmend Eingang in die Landschaftsplanung

Die Landnutzung hat wesentlichen Einfluss auf die biologische Vielfalt und ist damit auch einer der zentralen Ansatzpunkte zum Schutz von Tieren und Pflanzen und zur Entwicklung geeigneter Lebensräume. Der Klimawandel stellt dabei in mehrfacher Hinsicht neue Anforderungen an eine naturverträgliche und zukunftsorientierte Steuerung der Landnutzung, da die Konkurrenz um Flächen aller Voraussicht nach weiter zunehmen wird. Der Ausbau erneuerbarer Energien zu Zwecken des Klimaschutzes, insbesondere aber die Verwendung von Biomasse zur Energiegewinnung führt regional zu einer Intensivierung der Flächennutzung durch Land- und Forstwirtschaft.

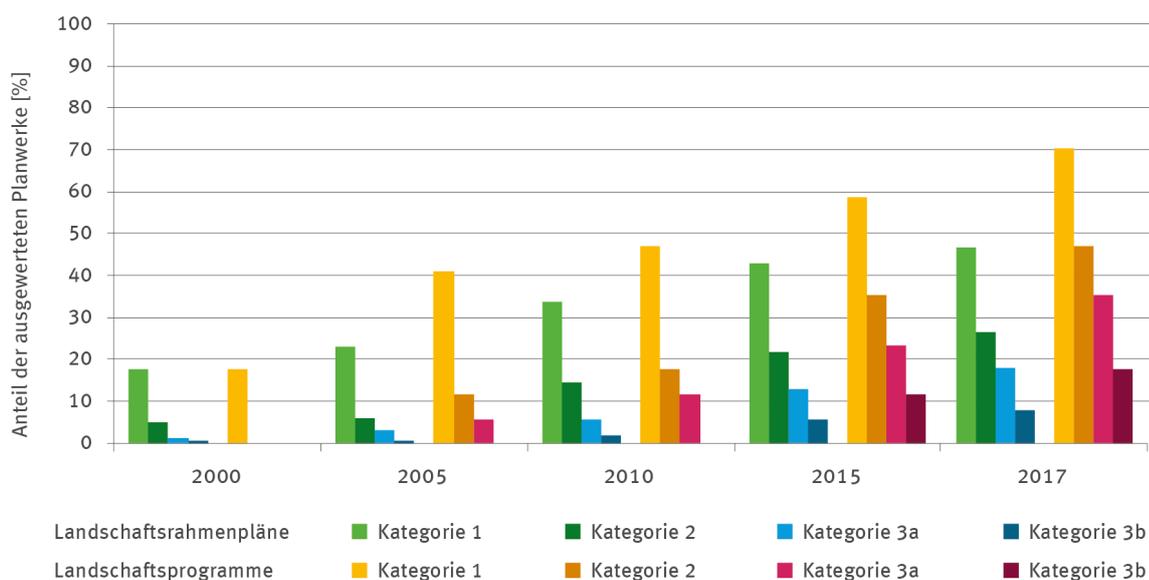
Zur Sicherung der biologischen Vielfalt ist es notwendig, bei naturschutzfachlichen Entscheidungen die direkten und indirekten Auswirkungen des Klimawandels zu berücksichtigen, auf der konzeptionellen und planerischen Ebene die erforderlichen Ziele zu benennen und konkrete Maßnahmen vorzubereiten. Der Landschaftsplanung kommt dabei als flächendeckendem Instrument

des Naturschutzes besondere Bedeutung zu. Die Landschaftsprogramme übernehmen auf Ebene der Bundesländer wichtige koordinierende Funktionen und setzen Prioritäten bei der Festlegung landesweit bedeutsamer Erfordernisse und Maßnahmen des Naturschutzes. Sie enthalten neben programmatischen Zielsetzungen und Leitlinien für die Naturschutzpolitik eines Bundeslandes auch raumkonkrete Darstellungen beispielsweise zum landesweiten Biotopverbund oder zu naturschutzfachlich besonders wertvollen Gebieten. Für Planungsregionen bzw. Landkreise oder Regierungsbezirke werden Landschaftsrahmenpläne erstellt. Sie konkretisieren die Vorgaben der Landschaftsprogramme, enthalten Vorschläge zur Festlegung von Vorranggebieten und treffen regionspezifische Aussagen.

Die Regelungen der einzelnen Landesnaturschutzgesetze zur Aufstellung und Fortschreibung von Landschaftsprogrammen und Landschaftsrahmenplänen sind allerdings uneinheitlich. So verzichten die Stadtstaaten Berlin,

### BD-R-1: Berücksichtigung des Klimawandels in Landschaftsprogrammen und -rahmenplänen

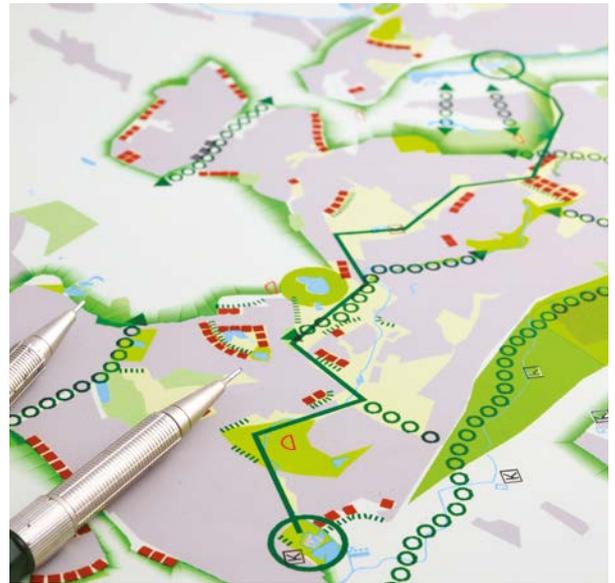
Landschaftsprogramme und Landschaftsrahmenpläne konkretisieren Ziele und Grundsätze von Naturschutz und Landschaftspflege auf landesweiter und regionaler Ebene. Die Klimawandelfolgen und die daraus resultierenden Anforderungen an den Biotop- und Artenschutz finden zunehmend Eingang in diese Planwerke. Konkrete Aussagen u. a. zu Zielen und Maßnahmen mit Klimawandelbezug fehlen bislang aber in der überwiegenden Mehrzahl der Pläne.



Datenquelle: Bundesamt für Naturschutz (eigene Auswertung)

Bremen und Hamburg sowie das Saarland und seit 2010 auch Hessen auf die Aufstellung von Landschaftsrahmenplänen.<sup>37</sup> Teilweise führt die aktuelle Rechtslage auch dazu, dass ältere Landschaftsprogramme nicht mehr fortgeschrieben werden müssen. Der Fortschreibungsturnus der Landschaftsrahmenpläne ist ebenfalls unterschiedlich. Nach wie vor gilt jedoch, dass Landschaftsprogramme und Landschaftsrahmenpläne die zentrale planerische Ebene darstellen, auf der die aus dem Klimawandel resultierenden Anforderungen an die Landschaftsplanung und den Naturschutz verankert werden können.

Eine Auswertung der 16 Landschaftsprogramme der Länder sowie der verfügbaren Landschaftsrahmenpläne – im Jahr 2017 waren dies 162 – zeigt, dass die Auswirkungen des Klimawandels und die daraus resultierenden planerischen Anforderungen zwar noch keine breite Berücksichtigung finden, jedoch haben Klimawandelbezogene Aussagen in den analysierten Planwerken im Zeitraum zwischen 2000 und 2017 bereits deutlich zugenommen. So finden der Klimawandel sowie Themen des Klimaschutzes und der Anpassung an den Klimawandel im Zusammenhang mit naturschutzfachlichen Fragen inzwischen in etwas mehr als zwei Drittel (71 %) der Landschaftsprogramme Erwähnung. Dabei wurde für den Klimaschutz die Berücksichtigung von Flächen mit Speicher- bzw. Senkenfunktion für Kohlenstoff in den Plänen ausgewertet. Demgegenüber lässt die deutliche Mehrzahl der Planwerke Beschreibungen konkreter Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt bislang vermissen. Auf dem Stand des Jahres 2017 werden nur in rund 17 % der Landschaftsrahmenpläne einzelne naturschutzfachliche Ziele und Maßnahmen zumindest zum Teil mit dem Klimawandel begründet. Auf Grundlage der vorgenommenen Analysen sind detaillierte Aussagen



Die Landschaftsplanung kann Anpassungsmaßnahmen zum Schutz und zur Entwicklung der biologischen Vielfalt vorbereiten. (Foto: © darknightsky / stock.adobe.com)

zur fachlich-inhaltlichen Tiefe der Berücksichtigung des Klimawandels in den Planwerken nicht möglich. Es lässt sich jedoch feststellen, dass die Landschaftsplanung auf Ebene der Länder und Regionen mit Blick auf die Herausforderungen des Klimawandels bislang nur in geringem Umfang zukunftsweisende Aussagen zu konkreten Zielen und Maßnahmen trifft. Die aktuellen Initiativen einzelner Länder lassen erwarten, dass die planerischen Steuerungsmöglichkeiten bei anstehenden Programm- und Planfortschreibungen künftig stärker ausgeschöpft werden.

#### Kategorien der Berücksichtigung des Klimawandels in Landschaftsprogrammen und -rahmenplänen

- 1 Klimawandel bzw. klimawandelrelevante Flächen (mit Speicher- bzw. Senkenfunktion für Kohlenstoff) werden im Zusammenhang mit naturschutzfachlichen Fragen erwähnt.
- 2 Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt werden beschrieben.
- 3a Einzelne naturschutzfachliche Ziele und Maßnahmen werden u. a. mit dem Klimawandel begründet.
- 3b Einzelne naturschutzfachliche Ziele und Maßnahmen werden ausschließlich oder vorwiegend mit dem Klimawandel begründet.

#### Schnittstellen

RO-R-1: Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für Natur und Landschaft

#### Ziele

Vorausschauende Berücksichtigung der Dynamik und Veränderungen in Natur und Landschaft durch den Klimawandel in der Landschaftsplanung (DAS, Kap. 3.2.5)

## Schutzgebiete – Rückzugsräume für Tiere und Pflanzen im Klimawandel

Wildlebende Tiere und Pflanzen und ihre Lebensräume sind in den fast flächendeckend von menschlichen Nutzungen geprägten Landschaften Deutschlands vielfältigen Einflüssen ausgesetzt. Neben den negativen Wirkungen einer fortschreitenden Intensivierung der Landnutzung verursacht der Klimawandel in vielen Fällen zusätzliche Belastungen. Unter diesen Bedingungen gewinnt die Unterschutzstellung naturschutzfachlich wertvoller Gebiete als Rückzugsräume an Bedeutung für den Fortbestand heimischer und oftmals gefährdeter Tier- und Pflanzenpopulationen. Neben der Größe und Qualität von Schutzgebieten spielt vor dem Hintergrund des Klimawandels die räumliche Verteilung und Vernetzung dieser Gebiete eine wichtige Rolle.

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 eines Nationalparkgebiets soll ein möglichst ungestörter Ablauf

natürlicher Vorgänge möglich sein. Der Indikator bilanziert die Gesamtfläche der streng geschützten Gebiete in Deutschland. Dafür wird der prozentuale Anteil der Flächen der Naturschutzgebiete und der Nationalparke an der Landfläche Deutschlands ermittelt. Natura-2000-Gebiete sowie Kern- und Pflegezonen der Biosphärenreservate sind hierin eingeschlossen, falls sie als Naturschutzgebiete oder Nationalparke ausgewiesen wurden. Die Fläche dieser streng geschützten Gebiete hat von 1.129.225 Hektar im Jahr 2000 auf 1.591.580 Hektar im Jahr 2016 statistisch signifikant zugenommen. Auf die Landfläche Deutschlands bezogen bedeutet dies eine Steigerung von 3,2% im Jahr 2000 auf 4,4% der Fläche im Jahr 2016. Der Anstieg der Fläche streng geschützter Gebiete war in der Vergangenheit unter anderem durch die Umsetzung des Natura-2000-Netzwerkes bedingt. Die Fläche streng geschützter Gebiete, die zum Zweck der rechtlichen Sicherung der gemeldeten Natura-2000-Gebiete neu ausgewiesen werden, wird in Deutschland voraussichtlich nur noch in einem überschaubaren Umfang zunehmen. Dies liegt

### BD-R-2: Gebietsschutz

Naturschutzgebiete und Nationalparke sind als streng geschützte Gebiete wichtige Rückzugsräume, in denen nachteilige Auswirkungen auf Tiere und Pflanzen vermieden oder gemindert werden. Unter diesen Bedingungen schaffen Schutzgebiete günstige Voraussetzungen für die Erhaltung von Arten und Lebensräumen, die durch den Klimawandel besonders gefährdet sind. Der statistisch signifikante Zuwachs streng geschützter Gebiete ist positiv zu bewerten.



Kern- und Pflegezonen der Biosphärenreservate unter Nationalparks geführt, wenn diese als NSG oder NLP ausgewiesen sind

Datenquelle: Bundesamt für Naturschutz

maßgeblich daran, dass die Natura-2000-Gebiete bereits größtenteils rechtlich gesichert wurden und die Länder neben der Ausweisung als Naturschutzgebiet oder Nationalpark andere Formen der Unterschutzstellung wählen.

Während die Fläche der Naturschutzgebiete von 2000 bis 2014 stetig angewachsen ist, vergrößerte sich die Fläche der Nationalparke nur zwischen den Jahren 2003 und 2004 nach Gründung der Nationalparke „Eifel“ in Nordrhein-Westfalen und „Kellerwald-Edersee“ in Hessen sowie durch die Errichtung der Nationalparke „Schwarzwald“ in Baden-Württemberg im Jahr 2014 und „Hunsrück-Hochwald“ in Rheinland-Pfalz und im Saarland im Jahr 2015.

Die Flächenzunahme der streng geschützten Gebiete ist gerade mit Blick auf die neuen Anforderungen, die sich aus dem Klimawandel für den Arten- und Biotopschutz ergeben, positiv zu bewerten. Die formale Ausweisung eines Schutzgebiets ist allerdings nur ein erster, wenn auch wichtiger Schritt zur Anpassung des Schutzgebietsystems an die mit dem Klimawandel verbundenen Anforderungen. Da vom Klimawandel besonders gefährdete Lebensräume wie Feuchtgebiete oder auch die Gebirge zu den naturschutzfachlich hochwertigen Gebieten gehören, treffen sich Bestrebungen zu deren Unterschutzstellung mit Zielen der Anpassung an den Klimawandel.

Neben der Unterschutzstellung geeigneter Gebiete in ausreichend großem Umfang bedarf es eines effektiven Managements dieser Gebiete im Sinne der festgelegten Ziele des Naturschutzes. Da die Verordnungen der einzelnen Schutzgebiete stark voneinander abweichen können und die Zahl aller Schutzgebiete in Deutschland sehr groß ist, lassen sich umfassende Aussagen über die Qualität der Gebiete und des Managements bislang nicht treffen. Unklar ist auch, in welchem Umfang bereits Aspekte der Klimawandelanpassung beim Management der Schutzgebiete berücksichtigt werden. Möglicherweise vollziehen sich mit den Klimaveränderungen dynamische Entwicklungen, die eine Anpassung der festgelegten Ziele und des Managements in Schutzgebieten künftig erforderlich machen.

Naturschutzgebiete und Nationalparke sollen auch Teile des nach den Vorgaben des Bundesnaturschutzgesetzes aufzubauenden länderübergreifenden Biotopverbunds sichern. Eine ausreichende Vernetzung von Biotopen ermöglicht einen genetischen Austausch zwischen Populationen. Dieser wiederum ist unabdingbare Voraussetzung für die Erhaltung und Entwicklung der Arten. Mit dem Klimawandel gewinnt daher der Biotopverbund zunehmend an Bedeutung, um die Wanderungs- und Ausbreitungsmöglichkeiten zwischen verschiedenen Vorkommen von Tier- und Pflanzenarten großräumig zu verbessern.



Streng geschützte Rückzugsgebiete gewinnen an Bedeutung, wenn durch den Klimawandel bedingte Stressfaktoren zunehmen. (Foto: © Soeren Wilde / stock.adobe.com)

Wie im Falle der Ausweitung der Schutzgebietsfläche gilt auch für den Biotopverbund, dass die bundesweiten Bemühungen zur Wiedervernetzung von Lebensräumen Ziele der Anpassung an den Klimawandel unterstützen. Allerdings lässt sich mit Hilfe des Indikators keine Aussage treffen, ob die spezifischen Anforderungen, die sich aus dem Klimawandel ergeben, bei der derzeitigen Planung und Umsetzung des Biotopverbunds ausreichend berücksichtigt sind.

## Ziele

Analyse von Optionen zur Anpassung des bestehenden Schutzgebietssystems an zukünftige Anforderungen durch den Klimawandel (DAS, Kap. 3.2.5)

Berücksichtigung der Erfordernisse des Klimawandels bei der Erstellung bzw. der Überarbeitung der Pflege- und Entwicklungspläne sowie Managementpläne für Schutzgebiete (DAS, Kap. 3.2.5)

Bis 2010 soll Deutschland auf 10% der Landesfläche über ein repräsentatives und funktionsfähiges System vernetzter Biotope verfügen. (NBS, Kap. B 1.1.3)

2020 beträgt der Flächenanteil der Wälder mit natürlicher Waldentwicklung fünf Prozent der Waldfläche. (NBS, Kap B 1.2.1)

Bis 2020 soll sich die Natur auf 2% der Fläche Deutschlands wieder ungestört entwickeln können. (NBS, Kap. B 1.3.1)



© skrotov / stock.adobe.com

# Bauwesen

Seit jeher ist es die Aufgabe von Gebäuden, ihre Bewohnerinnen und Bewohner sowie deren Hab und Gut bzw. die in ihnen angesiedelten Funktionen dauerhaft vor den Unbilden von Wetter und Witterung zu schützen. Neben den verfügbaren Baumaterialien und den Gebäudefunktionen spiegeln traditionelle Bauweisen und regionale Besonderheiten des Städtebaus daher vor allem auch die klimatischen Verhältnisse wider. Heute stellen Baustandards und -normen sicher, dass Gebäude sehr unterschiedlichen Klimabeansprüchen gerecht und vorhersehbare Schäden weitgehend vermieden werden. Regionale Unterschiede der klimatischen Bedingungen sind hierfür z. B. durch die Schneelast-, Windlast- oder Schlagregenzonen beschrieben, die bei der Gestaltung von Gebäuden zu berücksichtigen sind.

Angesichts der großen Auslegungsbreite der bestehenden Standards sind es vor allem die erwartete Zunahme und höhere Intensität von Extremereignissen, die Herausforderungen für das Bauwesen mit sich bringen werden. Hitzeperioden, Hagel, Stürme, Starkniederschläge und Hochwasser, aber auch Bodensenkungen und Erdbeben können künftig zu vermehrten Schäden an Gebäuden führen.

Neben den Auswirkungen für einzelne Gebäude umfassen die Diskussionen zum Bauwesen die erwarteten stadtklimatischen Veränderungen und mögliche Anpassungsmaßnahmen. Thema ist vor allem die zunehmende Überwärmung von Innenstädten, mit denen angesichts steigender Durchschnittstemperaturen und zunehmender Temperaturextreme zu rechnen ist

## Auswirkungen des Klimawandels

Großstädte im Hitzestress (BAU-I-1, BAU-I-2) .....	152
Kühlgradtage (BAU-I-3).....	154
Sturzfluten – hohes Schadenspotenzial für Siedlungen (BAU-I-4).....	156
Hohe witterungsbedingte Schäden in der Sachversicherung (BAU-I-5).....	158

## Anpassungen

Städtische Grünflächen – kühlende Oasen (BAU-R-1).....	160
Begrünte Gebäude – gut für Klimaanpassung und biologische Vielfalt (BAU-R-2) .....	162
Klimaangepasste Gebäude – die Hitze bleibt draußen (BAU-R-3) .....	164
Klimawandelangepasstes Bauen und Sanieren fördern (BAU-R-4) .....	166
Noch immer zu wenige Abschlüsse von Elementarschadenversicherungen (BAU-R-5).....	168

## Großstädte im Hitzestress

In Großstädten herrschen oft klimatische Verhältnisse, die sich deutlich vom Klima in ihrer Umgebung unterscheiden. So ist etwa die relative Luftfeuchte geringer, und die mittleren Temperaturen liegen höher. Mit Blick auf die Temperaturunterschiede zwischen Stadt und Land sprechen Klimatologen von der „städtischen Wärmeinsel“. Wie stark der städtische Wärmeineffekt ist, hängt vor allem von der Größe der Stadt, ihrer Dichte, der Höhe der Bebauung, dem Grünflächenanteil sowie den verwendeten Baumaterialien ab. Auch die Wolkenbedeckung und die Windverhältnisse spielen eine wichtige Rolle für die Hitzebelastung in Städten.

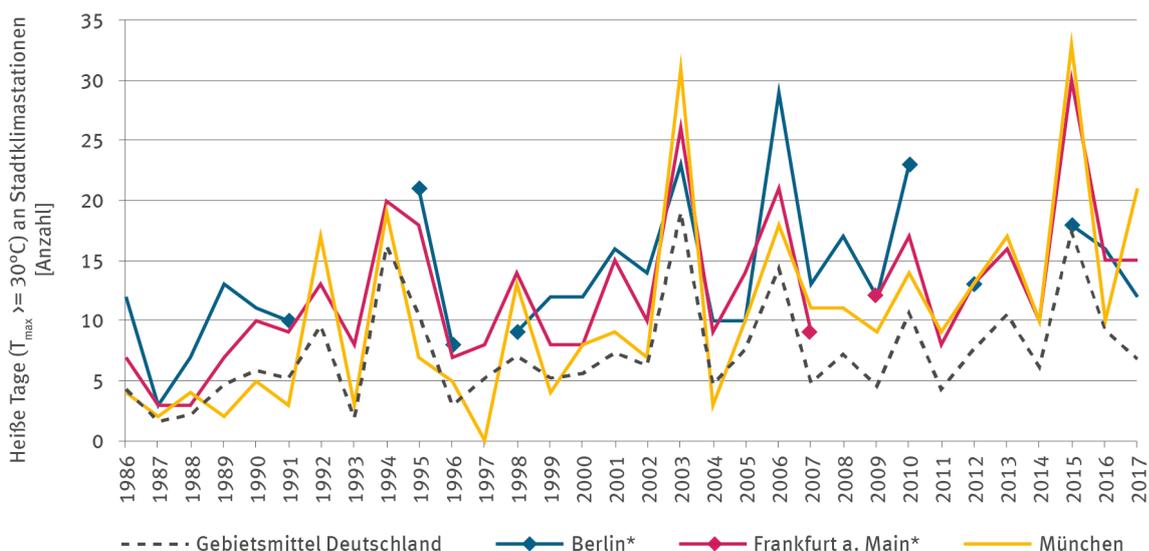
In heißen Sommermonaten können daraus gesundheitliche Belastungen für die Bevölkerung entstehen, wenn sich die Stadträume wegen ihrer spezifischen Charakteristik tagsüber stark aufheizen, ohne sich in der Nacht im gleichen Maße wie das Umland abzukühlen. Diese Situationen können sich zukünftig häufen. Klimaprojektionen für Mitteleuropa zeigen, dass die mittleren Temperaturen ansteigen werden und sich die Wettercharakteristik insgesamt ändern wird. Erwartet werden unter anderem

häufigere thermische Extremwerte. So werden beispielsweise die sogenannten „Heißen Tage“ zunehmen, an denen die maximale Lufttemperatur 30°C erreicht oder überschreitet. Belastend für die Bevölkerung sind zudem „Tropennächte“, in denen das Thermometer nicht unter 20°C fällt und eine erholsame Nachtruhe nur noch eingeschränkt möglich ist.

Im Flächenmittel Deutschlands hat die Anzahl der Heißen Tage von im Mittel etwa 3,5 Tagen pro Jahr in den 1950er Jahren auf derzeit etwa 10 Tage pro Jahr zugenommen (s. S. 22). Die Zeitreihen für die Stadtklimastationen in Berlin, Frankfurt am Main und München reichen nicht bis 1951 zurück. Ein direkter Vergleich mit der bundesweiten Entwicklung ist daher nicht möglich. Schon die kürzeren Zeitreihen belegen aber die Sonder-situation der Großstädte. Heiße Tage treten hier – bei regionalen Unterschieden – in den meisten Jahren deutlich häufiger auf als im bundesweiten Mittel. In Jahren mit überdurchschnittlich warmen Sommern, wie 2003, 2006 und 2015, sind die Unterschiede besonders groß. In noch stärkerem Maß gilt das für die hier nicht dargestellten

### BAU-I-1: Wärmebelastung in Städten

Heiße Tage und ebenso Tropennächte (nicht abgebildet) treten in den untersuchten Großstädten in den meisten Jahren deutlich häufiger auf als im deutschlandweiten Flächenmittel. Vor allem in Jahren mit überdurchschnittlich warmen Sommermonaten häufen sich in Großstädten Situationen, die zu Wärmebelastungen der Bevölkerung führen können.



\* keine ausreichenden Daten für Berlin-Alexanderplatz in den Jahren 1992-1995, 1997, 2011, 2013, 2014; für Frankfurt a. Main im Jahr 2008.

Datenquelle: DWD (Ausgewählte Klimamessstationen, Deutscher Klimaatlas)

Tropennächte. Lag das Flächenmittel Deutschlands in den genannten Jahren zwischen 1 und 1,5 Tropennächten, wurden in Berlin bis zu 12 und in Frankfurt am Main bis zu 14 solcher Nächte registriert.

Anders als bei Heißen Tagen und Tropennächten bezieht sich die Zeitreihe zum städtischen Wärmeineffekt nicht auf die Häufigkeit von Schwellenwertüberschreitungen, sondern nimmt auf der Basis von 10-minütlich gemessenen Werten für die Stadt Berlin die maximalen täglichen Temperaturunterschiede zwischen dem Zentrum und dem direkten Umland in den Blick. Im Mittel liegen diese in den Sommermonaten Juni bis August zwischen 3 und 4 Kelvin. An Spitzentagen sind aber auch Temperaturunterschiede von annähernd 9 Kelvin möglich. Hohe Temperaturdifferenzen treten insgesamt vor allem in den Abend- und Nachtstunden auf. Das heißt, die Innenstadt kühlt im Sommer deutlich langsamer und weniger ab als das Umland. Für die Stadtbevölkerung kann es dann häufiger zu warm sein, um ausreichend erholsamen Schlaf zu finden.

Anhand der Zeitreihe lässt sich bislang nicht beurteilen, ob der Klimawandel den städtischen Wärmeineffekt verschärft. Ein Grund hierfür kann sein, dass

### Schnittstellen

- GE-I-1: Hitzebelastung
- BAU-R-1: Erholungsflächen
- IG-I-1: Hitzebedingte Minderung der Leistungsfähigkeit

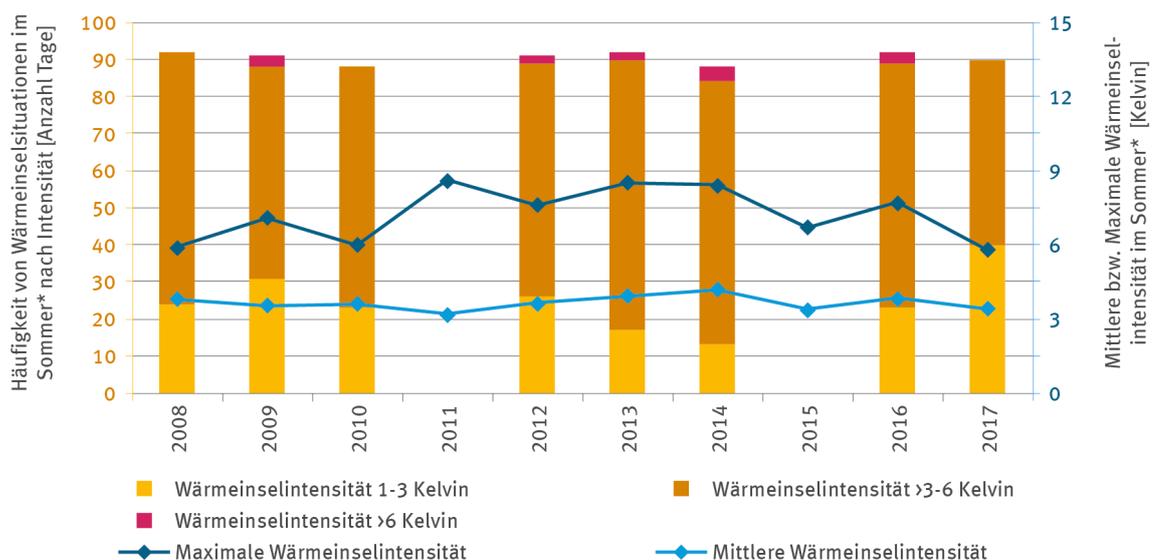
### Ziele

Linderung einer klimatisch bedingten verstärkten Aufheizung der Städte und dem damit verbundenen Hitzestress durch geeignete Architektur sowie Stadt- und Landschaftsplanung; Gewährleistung der Frischluftzufuhr über unverbaute Frischluftkorridore gerade in Ballungszentren; Hemmen einer weiteren Versiegelung von Freiflächen durch Siedlungs- und Verkehrsflächen bei der Stadtentwicklung (DAS, Kap. 3.2.1)

Wärmebelastungen in Stadt und Umland gleichermaßen zunehmen. Darauf weisen etwa Projektionen für Frankfurt am Main hin<sup>38</sup>. Auch ohne eine Zunahme der städtischen Wärmeinselintensität hieße das für die Zukunft: Belastende Situationen werden wahrscheinlich weiterhin dort am häufigsten auftreten, wo die Wärmebelastung bereits heute hoch ist.

## BAU-I-2: Sommerlicher Wärmeineffekt – Fallstudie

Zwischen der Innenstadt und dem Umland Berlins kann sich in den Sommermonaten Juni bis August ein maximaler Temperaturunterschied von bis zu 9 Kelvin bilden. Ob der Klimawandel den Wärmeineffekt verschärft, kann noch nicht beurteilt werden. Aber auch wenn die Lufttemperaturen in Stadt und im Umland „nur“ im gleichen Maß zunehmen, werden die Wärmebelastungen vor allem für die Stadtbevölkerung besonders oft sehr hoch sein.



\* Meteorologischer Sommer: Juni, Juli, August; keine ausreichenden Daten für eine Häufigkeitsermittlung in den Sommermonaten 2011 und 2015

Datenquelle: DWD (Klimamessstationen Berlin Alexanderplatz und Schönefeld)

## Kühlgradtage

Das Jahr 2018 war in Deutschland das wärmste Jahr seit Beginn der Wetteraufzeichnungen, und noch nie gab es im deutschlandweiten Mittel so viele Heiße Tage mit Temperaturen von 30 °C und mehr. Den Herstellern von Klimageräten und Ventilatoren bescherte dieser heiße Sommer hohe Umsätze, denn in vielen Büros und Wohnungen lagen die Temperaturen deutlich außerhalb der Komfortzone.

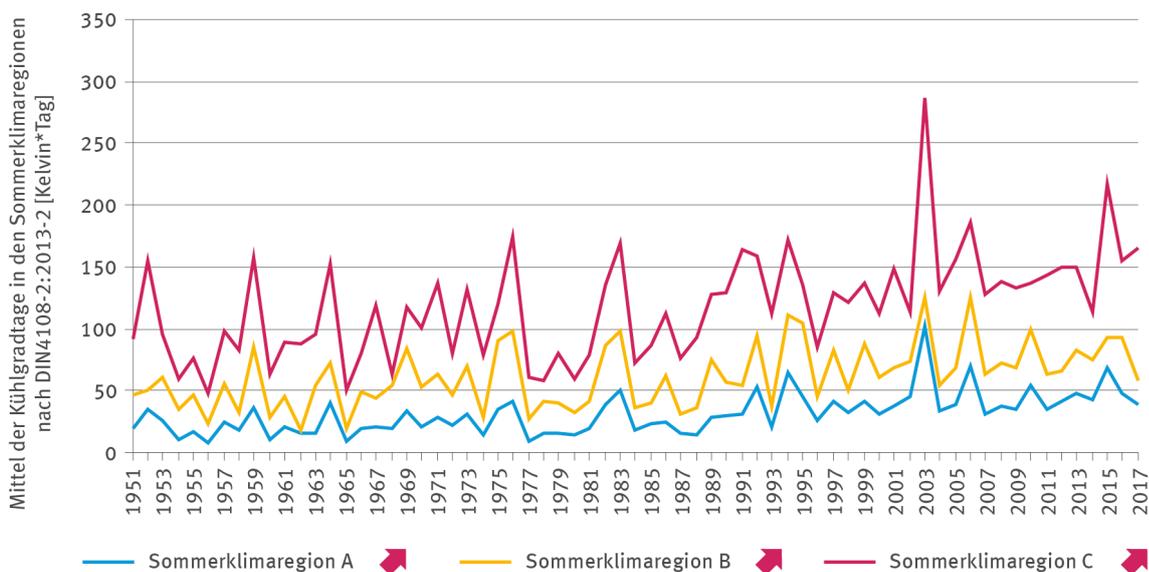
Der bauliche Wärmeschutz soll unter anderem gewährleisten, dass solche Situationen die Ausnahme bleiben und das Innenraumklima in Gebäuden auch bei sommerlich hohen Außenlufttemperaturen erträglich bleibt. Die „Mindestanforderungen an den Wärmeschutz“ einschließlich des sommerlichen Wärmeschutzes beschreibt die gleichnamige DIN 4108-2:2013-02. Um diese Mindestanforderungen räumlich zu konkretisieren, unterteilt die DIN Deutschland in die drei Sommerklimaregionen A, B und C. Sommerklimaregion A umfasst die Küstengebiete von Nord- und Ostsee sowie die Mittelgebirgslagen und die Alpen, also die tendenziell kühleren Gebiete. Sommerklimaregion C umfasst die tendenziell wärmeren

Gebiete. Hierzu zählen der Bodensee und der Oberrheingraben, das Rhein-Neckar- und das Rhein-Main-Gebiet, das Mosel- und das Mittelrheintal, das Ruhrgebiet sowie die Stadtregionen Leipzig/Halle und Dresden. Die weiteren Gebiete sind in Region B zusammengefasst.

Diese drei Sommerklimaregionen bilden den räumlichen Hintergrund für die dargestellten Zeitreihen der Kühlgradtage, die nach dem Verfahren von Spinoni et al. 2015<sup>39</sup> berechnet wurden. Auswertungen zu Kühlgradtagen werden als Grundlage herangezogen, um die zeitliche Entwicklung des Kühlbedarfs beziehungsweise der Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz in diesen Regionen abzuschätzen. Die Kühlgradtage sind eine (fiktive) Größe, die ausgehend von der Überschreitung eines Temperaturschwellenwerts, in diesem Fall 22 °C, berechnet wird, indem man die Höhe der Überschreitung pro Tag für alle Tage eines Jahres in gewichteter Form aufsummiert: Das geringste Gewicht haben Tage, an denen allein die Tageshöchsttemperatur die Schwelle überschreitet. In diesem Fall wird die Differenz von Tageshöchsttemperatur und Schwellenwert zu einem

### BAU-I-3: Kühlgradtage

In den drei Sommerklimaregionen der DIN 4108-2:2013-02, die für den sommerlichen Wärmeschutz von Gebäuden maßgeblich ist, nimmt die Zahl der Kühlgradtage, mit signifikant steigendem Trend zu. Seit 1999 liegen die Kühlgradtage in den drei Regionen durchgängig über dem Mittel der Klimanormalperiode 1961–1990. Die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz steigen deutschlandweit.



Datenquelle: Deutscher Wetterdienst, Regionales Klimabüro Essen

Viertel angerechnet. Das höchste Gewicht erhalten Tage, an denen das Tagesminimum der Temperatur über der Schwelle liegt. Hier wird die Differenz aus Tagesmittel und Schwellenwert gezählt. Dazwischen liegen Tage, an denen die mittlere Temperatur über dem Schwellenwert liegt. Die Daten für die Zeitreihe der Sommerklimaregion A lieferten die DWD-Stationen Bremerhaven und Stötten auf der Schwäbischen Alb. Für die Sommerklimaregion B wurden die Werte der Stationen Potsdam, Essen und Hamburg-Fuhlsbüttel verwendet, und Region C wird durch die Station Mannheim repräsentiert.

Alle drei Zeitreihen zeigen seit 1951 einen signifikant steigenden Trend. Dabei nehmen die Kühlgradtage in Sommerklimaregion C (beziehungsweise an der Station Mannheim) schneller zu als in den beiden anderen Regionen. Unabhängig davon zeigt ein Vergleich mit der Klimanormalperiode 1961–1990, dass die Kühlgradtage in allen drei Regionen seit 1999 durchgängig über dem Mittelwert der Jahre 1961–1990 liegen. Das bedeutet, in ganz Deutschland steigen die Anforderungen an den Wärmeschutz. Folgt man den aktuellen Klimaprojektionen, wird sich diese Entwicklung bis zum Ende des 21. Jahrhunderts weiter fortsetzen.

Mit dieser Perspektive vor Augen und der Notwendigkeit im Kopf, aus Klimaschutzgründen auch im Gebäudebereich verstärkt Kohlendioxid einzusparen, gilt es, die steigenden Anforderungen an den Wärmeschutz bei der Gebäudeplanung vorausschauend zu berücksichtigen. DIN 4108-2:2013-02 definiert allerdings nur die Anforderungen, die Neubauten, Gebäudeerweiterungen und neu angebaute Bauteile wie etwa Wintergärten mindestens erfüllen müssen und bezieht sich dabei auf das Klima der Jahre 1988 bis 2007. Aktuell wird sie weiterentwickelt, um die projizierte Klimaerwärmung und ihre Folgen stärker zu berücksichtigen und die Mindestanforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz daran anzupassen. Bis dies erfolgt ist, liegt es in der Verantwortung der Bauherren, über die Mindestanforderungen der Norm hinaus Vorsorgemaßnahmen zu treffen. Ansatzpunkte sind beispielsweise der Anteil der Fensterflächen und eine geeignete Fensterneigung und -orientierung, die Art der Nachtlüftung sowie der Einsatz von Sonnenschutzverglasung und passiven Kühlungssystemen. Unterstützt durch eine präventive Stadt- und Quartiersplanung, die unter anderem für eine gute Durchlüftung und geeignete Begrünung in den Städten sorgt, kann das Innenklima von Gebäuden so auch bei steigenden Temperaturen in der Komfortzone bleiben.



Rollos und Fensterläden, Markisen und Jalousien, ein Balkon oder der Baum vor dem Haus – es gibt viele Möglichkeiten den Sonneneintrag in Haus oder Wohnung zu verringern. (Foto: © U.J. Alexander / stock.adobe.com)

## Schnittstellen

GE-I-1: Hitzebelastung

BAU-R-1: Erholungsflächen

IG-I-1: Hitzebedingte Minderung der Leistungsfähigkeit

## Ziele

Auch bei der Gebäudeplanung und der technischen Ausstattung sollten Anpassungen an klimatisch bedingte Veränderungen berücksichtigt werden. [...] Dagegen wird in der Gebäudeplanung und Gebäudetechnik eine stärkere Anpassung an höhere durchschnittliche Sommertemperaturen und zwischenzeitlich längere Hitzeperioden notwendig sein, insbesondere für Dachgeschosswohnungen. (DAS, Kap. 3.2.1)

## Sturzfluten – hohes Schadenspotenzial für Siedlungen

Immer wieder sind Bilder wie aus Berlin im Juli 2017 oder Braunsbach im Mai 2016 in den vergangenen Jahren durch die Presse gegangen: Binnen weniger Minuten bringen unwetterartige Starkregen die Kanalisation zum Überlaufen und setzen ganze Straßenzüge unter Wasser. Sie lösen Sturzfluten aus, die Autos mit sich reißen und Straßen und Häuser verwüsten. Ereignisse wie diese können immense Sachschäden verursachen und in Einzelfällen können sie auch Menschenleben kosten.

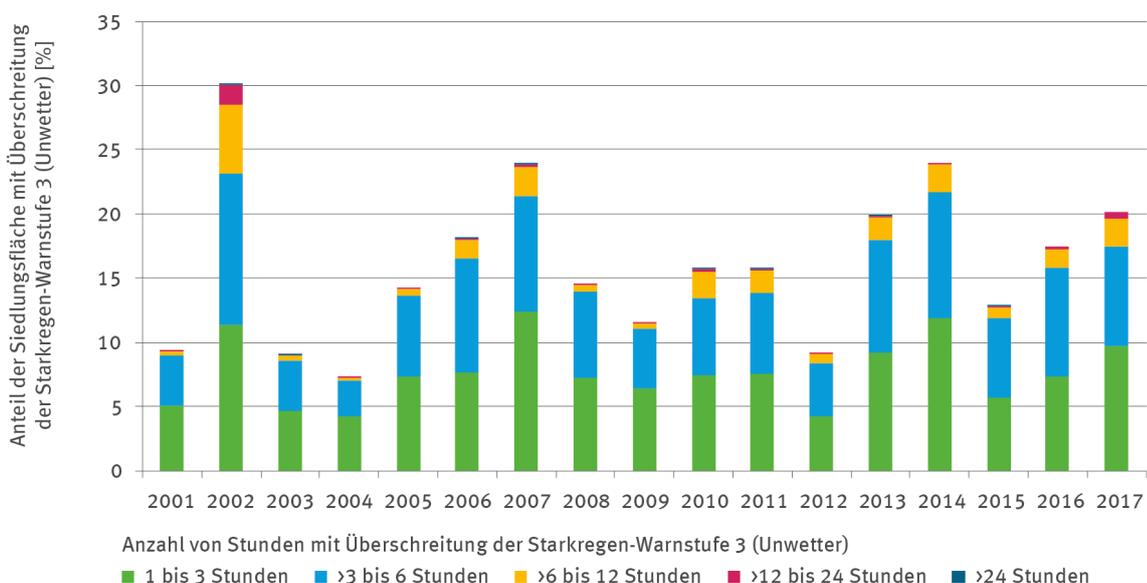
Starkregen sind Wetterereignisse, bei denen innerhalb kurzer Zeit große Regenmengen niedergehen. Der DWD warnt vor unwetterartigem Starkregen, wenn in einer Stunde mehr als 25 Liter je Quadratmeter ( $l/m^2$ ) oder in sechs Stunden mehr als  $35 l/m^2$  Regen erwartet werden. Als extremes Unwetter werden Regenmengen von mehr als  $40 l/m^2$  beziehungsweise  $60 l/m^2$  in diesen Zeiträumen eingestuft. Häufig kommt es zu diesen Wolkenbrüchen, wenn durch Konvektion gebildete, massive Wolken ihre Schleusen öffnen und zu starken Regenfällen auf zu meist kleiner Fläche führen. Aber auch bei großflächigen, langanhaltenden Dauerregen können wie im Jahr 2002

die Warnschwellen für Starkregen zeitweise überschritten werden.

Schäden entstehen bei oder nach Starkregen vor allem durch sogenannte Sturzfluten. Das sind extreme Hochwasser als Folge der starken Regenfälle. Im Flachland entstehen sie, wenn das Regenwasser nicht rasch genug abfließen oder im Boden versickern kann. Das Wasser sammelt sich an der Oberfläche oder staut sich aus überlasteten Abwasser- und Entwässerungssystemen, deren Bemessungsgrenzen überschritten sind, zurück. Vor allem in Mulden und Unterführungen kann der Wasserstand dann sehr schnell steigen. In hügeligem Gelände kann es zu sogenannten Gebirgssturzfluten kommen. Das schnell abfließende Wasser sammelt sich in Rinnen oder Bachbetten und kann extrem schnell zu schwallartigen Hochwasserwellen ansteigen. Diese erreichen mitunter auch Gegenden, in denen es vorher gar nicht geregnet hat.<sup>40</sup> Wenn solche Gebirgssturzfluten Material wie beispielsweise Baumstämme oder Steine mit sich reißen, kann es an Gebäuden zu massiven Schäden bis hin zum Totalverlust kommen.

### BAU-I-4: Starkregen im Siedlungsbereich

Im Jahr 2002 war die hohe Zahl an Stunden mit Starkregen im Süden und Osten Deutschlands eine Ursache für die Hochwasserkatastrophen an Donau und Elbe. Hohe Schäden können aber auch schon bei einer deutlich geringeren Betroffenheit entstehen. Für das Jahr 2016 werden die versicherten Schäden, die durch Starkregen verursacht wurden, auf knapp 1 Milliarde Euro beziffert.



Datenquelle: Deutscher Wetterdienst (RADOLAN-Klimatologie), Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (DLM250)

Starkregen und Sturzfluten können Gebäude aber auch auf andere Art schädigen. So kann das Wasser am Gebäude höher anstehen, als es bei der Gebäudeplanung bedacht war, und beispielsweise durch ebenerdige Hauseingänge, Kellerfenster oder auch durch den Rückstau aus dem Kanal ins Gebäude eindringen. Dort verteilt es in den überschwemmten Räumen Schlamm und Schmutz, der zudem mit Mineralöl, Chemikalien und Fäkalien belastet sein kann. Oberhalb und unter der Erdoberfläche können das anstehende Wasser oder die hohe Bodenfeuchte zu typischen Hochwasserschäden an der Bausubstanz führen, beispielsweise Durchfeuchtung und Wasserstandlinien, Ausblühungen an Oberflächen, abgelöste Beschichtungen oder Schimmel.<sup>41</sup> Um Schäden vorzubeugen, können Hausbesitzer eine Reihe von Maßnahmen ergreifen, etwa auf eine ausreichende Höhe von Gebäudeöffnungen über dem Gelände, wasserdichte Baustoffe und geeignete Entwässerungssysteme mit Rückstausicherung achten.<sup>42</sup>

Klimaforschende und Meteorologen gehen davon aus, dass Starkregenfälle zukünftig zunehmen werden. Ein Grund dafür ist, dass die Luft bei höheren Temperaturen mehr Wasser aufnehmen kann – rund sieben Prozent mehr Wasser bei einer Temperaturerhöhung um ein Kelvin.<sup>43</sup> Zudem ist davon auszugehen, dass sich aufgrund der geänderten meteorologischen Verhältnisse bei der Entstehung von Schauern und Gewittern die Wolken- und Niederschlagsbildung intensivieren werden.<sup>44</sup> In der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts werden in Deutschland – bei starken regionalen und saisonalen Unterschieden – heute noch relativ selten auftretende Tagesmengen des Niederschlags deutlich häufiger vorkommen. Am vergleichsweise stärksten soll die Zunahme bei den heute noch seltenen Ereignissen ausfallen.<sup>45</sup>

Wie häufig und intensiv Starkregen sind und ob die Erderwärmung schon einen Einfluss auf sie hat, lässt sich nur schwierig ermitteln. Da sie oft nur lokal begrenzt auftreten, werden Starkregen nur teilweise durch das meteorologische Stationsmessnetz erfasst. Unter anderem aus diesem Grund hat der DWD eine radargestützte Niederschlags erfassung entwickelt, aus der seit dem Jahr 2001 weitgehend flächendeckende Niederschlagsdaten vorliegen.<sup>46</sup> Dieser Datensatz beinhaltet nahezu alle Starkregenereignisse, die seit 2001 in Deutschland aufgetreten sind. Die zeitliche Verlängerung dieser Datenerfassung wird in Zukunft auch Trendanalysen zur Überschreitungshäufigkeit der vom DWD verwendeten Warnstufen ermöglichen (s. S.25).

Für den dargestellten Indikator wurden die jährlichen Daten aus der radargestützten Niederschlagsmessung



Sturzfluten infolge von Starkregen können eine erhebliche Bedrohung für Siedlungen darstellen.  
(Foto: © Tom Bayer / stock.adobe.com)

mit der Siedlungsfläche in Deutschland überlagert. Im Ergebnis hebt sich vor allem das Jahr 2002 ab. Zahlreiche starke Regenfälle über einen langen Zeitraum verursachten damals die Flutkatastrophe an Elbe und Donau. In keinem anderen der untersuchten Jahre war mehr Siedlungsfläche in einer so hohen Zahl von Stunden durch Starkniederschläge betroffen. Diese beiden Faktoren sind aber nicht immer entscheidend für das Ausmaß der Schäden. Im Jahr 2016 etwa, das in der Zeitreihe eher unauffällig ist, beliefen sich die versicherten Schäden auf knapp 1 Milliarde Euro.

## Schnittstellen

BAU-I-5: Schadenaufwand in der Sachversicherung  
VE-I-3: Starkregen und Straße  
VE-I-5: Beeinträchtigung von Straßen durch außergewöhnliche Wetter- und Witterungsereignisse  
BS-I-1: Einsatzstunden bei wetter- und witterungsbedingten Schadenereignissen

## Ziele

Das Ziel eines gemeinsamen Starkregenrisikomanagements ist die Verringerung des Risikos starkregen- und sturzflutbedingter nachteiliger Folgen auf die menschliche Gesundheit, Gebäude und Infrastruktur, die Umwelt, das Kulturerbe und die wirtschaftlichen Tätigkeiten. (LAWA-Strategie Starkregenrisikomanagement, Kap. 1)

## Hohe witterungsbedingte Schäden in der Sachversicherung

Nach den gegenwärtigen wissenschaftlichen Erkenntnissen, die der IPCC unter anderem in seinem Sonderbericht zum „Management des Risikos von Extremereignissen und Katastrophen zur Förderung der Anpassung an den Klimawandel“ 2018 zusammengetragen hat, wird die fortschreitende Klimaerwärmung die Stärke, Häufigkeit, räumliche Ausdehnung und Dauer von Extremwetterereignissen verändern. Für die Zukunft muss unter anderem von häufigeren und extremeren Starkniederschlagsereignissen ausgegangen werden, die Überschwemmungen zur Folge haben können. Für die Entwicklung der Häufigkeit und Intensität von Stürmen lässt sich derzeit für Deutschland noch kein klarer Trend erkennen. Auch Projektionen in die Zukunft sind im Gegensatz zu Temperaturvorhersagen nach wie vor schwierig. Allerdings zeigen inzwischen mehrere wissenschaftliche Studien, dass die Heftigkeit der stärksten Stürme und damit auch das Ausmaß von sturmbedingten Schäden zunehmen werden. Vor allem die Winterstürme fallen besonders stark aus. Friederike war der letzte von fünf zerstörerischen Orkanen der Wintersaison 2017/2018. Sie haben 21 Menschen in Deutschland das

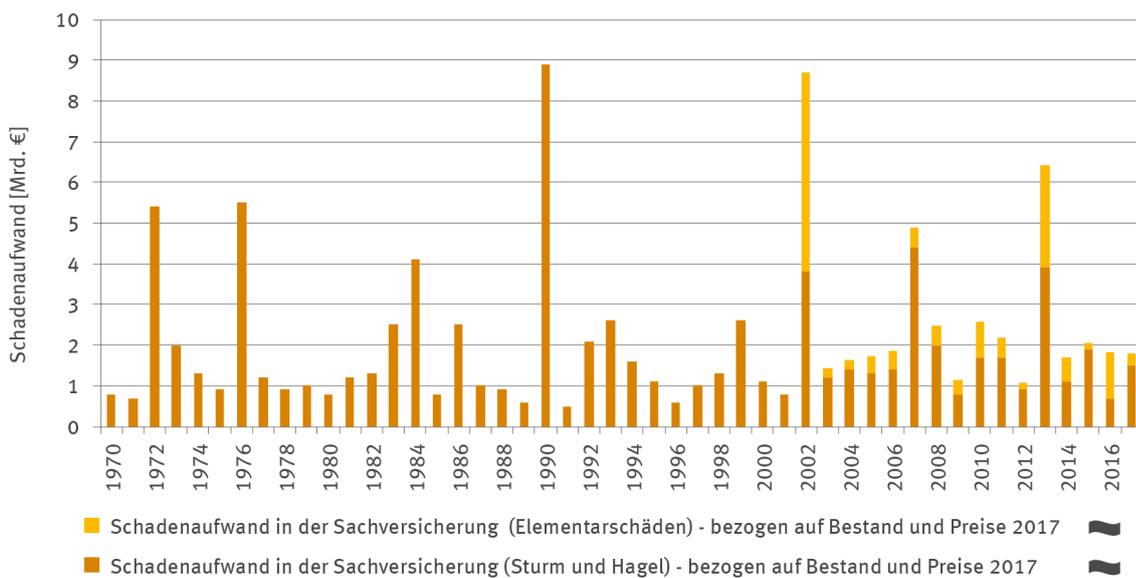
Leben gekostet und versicherte Sachschäden von über einer Milliarde Euro verursacht.

Witterungsbedingte Extremereignisse können Schäden an der Gebäudehülle und im Innern von Gebäuden anrichten. Typische Sturmschäden an Gebäuden sind losgerissene Dachziegel oder Dach- und Fassadenteile und zerbrochene Fenster- oder Türscheiben. Indirekt können Gebäude durch umgefallene oder abgebrochene Bäume und Masten oder Schäden an Gebäuden in der Nachbarschaft beeinträchtigt werden. Hagelkörner haben in Abhängigkeit von ihrer Größe eine enorme Schlagkraft und beschädigen dann Dächer, Fensterscheiben oder Verblendungen. Vor allem wenn Wasser in Gebäude eindringt, sei es durch Hochwasser oder Starkregen, können auch erhebliche Schäden an den Gebäudeinhalten, insbesondere dem Hausrat, entstehen. Die höchsten Einzelschäden an Einfamilienhäusern können sich bei solchen Extremereignissen auf über 100.000 Euro belaufen.

Der Umfang, in dem Schäden an und in Gebäuden durch Extremereignisse entstehen, lässt sich anhand von

### BAU-I-5: Schadenaufwand in der Sachversicherung

Schäden durch Stürme und Hagel sowie Schäden durch wetterbedingte Elementargefahren wie Überflutungen nach Starkregen und Hochwasser verursachen den Versicherungsunternehmen hohe Kosten in der Sachversicherung. Die Zeitreihe ist stark von einzelnen extremen Unwetterereignissen geprägt. Ein signifikanter Trend zeichnet sich für den Schadenaufwand in der Sachversicherung bisher nicht ab.



Datenquelle: Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.

Zahlen der Versicherungswirtschaft ersehen. Vor allem bei hohen Versicherungsdichten wie bei der Versicherung privater Gebäude gegen Sturm und Hagel (hier besteht mit 94 % annähernd Marktsättigung) bilden sich auch regional begrenzte Schadenergebnisse gut in der Statistik ab. Eine Veränderung der gemeldeten Schäden und der damit verbundenen Leistungen der Versicherungsunternehmen an die Versicherungsnehmerinnen und -nehmer lässt sich daher unmittelbar mit einer Veränderung der Schadensereignisse in Häufigkeit und Intensität in Zusammenhang bringen.

Mit Blick auf die in der üblichen Sachversicherung abgesicherten Schäden gilt, dass die Schadenssummen durch Brand, Blitzschlag, Explosion und Leitungswasser über die Jahre hinweg annähernd stabil sind. Im Falle der Sturm- und Hagelschäden sowie der Elementarschäden, die durch Erdbeben, Erdbeben, Erdsenkung, Schneeeindruck und Lawinen sowie durch Überschwemmung infolge von Flussausuferung oder Starkregen ausgelöst werden, schwanken die Schäden dagegen stärker von Jahr zu Jahr. Schadensereignisse können in manchen Jahren in Abhängigkeit der Witterung gehäuft auftreten, und einzelne sehr heftige Ereignisse können große Schäden verursachen. Andere Jahre verlaufen dagegen vergleichsweise „ruhig“.

Der Schadenaufwand in der Sachversicherung schließt neben den privaten Wohngebäuden und deren Hausrat auch gewerbliche und industriell genutzte Gebäude und deren Gebäudeinhalte sowie Betriebsunterbrechungen infolge von Schadereignissen ein. Er umfasst die Zahlungen und Rückstellungen für die im jeweiligen Geschäftsjahr verursachten Schäden einschließlich der Aufwendungen für die Schadenregulierung. Es erfolgt für die Zeitreihe eine Hochrechnung auf Bestand und Preise im Jahr 2017, um Inflationseffekte und Veränderungen im versicherten Bestand auszugleichen und die Zahlen der einzelnen Jahre miteinander vergleichbar zu machen.

Die Zeitreihe des Schadenaufwands in der Sachversicherung zeigt bisher weder für Sturm und Hagel noch für die Elementarschäden einen signifikanten Trend. Es gibt aber immer wieder Jahre, in denen einzelne Extremereignisse den Schadenaufwand in die Höhe treiben. Nach der Jahrtausendwende gehört hierzu vor allem das Jahr 2002, in dem das August-Hochwasser und darüber hinaus mehrere Orkane, insbesondere der Orkan Jeanett, sehr massive Schäden anrichteten. Das Orkantief Kyrill im Januar 2007 beeinträchtigte das öffentliche Leben in weiten Teilen Europas und forderte 47 Todesopfer. Ende Februar 2010 verursachte das Sturmtief Xynthia in Deutschland Schäden in Höhe von 500 Millionen Euro.



Hochwasserschäden sind heute längst noch nicht bei allen Gebäuden versichert. (Foto: © Mykola / stock.adobe.com)

Im Jahr 2013 trieben gleich vier größere Hagelereignisse die Schäden in die Höhe: Manni und Norbert im Juni sowie Andreas und Bernd im Juli mit Schwerpunkt in Niedersachsen und Baden-Württemberg. Das Juni-Hochwasser im selben Jahr verursachte noch einmal Schäden in Höhe von 1,95 Milliarden Euro.

## Schnittstellen

WW-I-3: Hochwasser

BAU-R-5: Versicherungsdichte der erweiterten Elementarschadenversicherung für Wohngebäude

## Ziele

Aktives Management der Risiken und Chancen durch Banken und Versicherungen (DAS, Kap. 3.2.10)

Unterstützung der Eigenvorsorge im Hochwasserschutz (DAS, Kap. 3.2.3)

## Städtische Grünflächen – kühlende Oasen

Thermische Belastungen können bei der Bevölkerung zu gesundheitlichen Problemen und in extremen Fällen auch zu einer erhöhten Sterblichkeit führen. Risikogruppen sind vor allem ältere Menschen, chronisch Kranke, Kinder und isoliert lebende Personen. Aber auch andere Bevölkerungsgruppen können durch zukünftig häufigere Wärmebelastungen möglicherweise beeinträchtigt werden. So können beispielsweise Beschäftigte unter Müdigkeit, Konzentrationsschwäche und Belastungen des Herz-Kreislaufsystems leiden, wenn die Temperaturen am Arbeitsplatz zu hoch klettern. Hinzu kommen die möglichen Folgen von hohen nächtlichen Temperaturen, da dann eine erholsame Nachtruhe verhindert oder eingeschränkt wird.

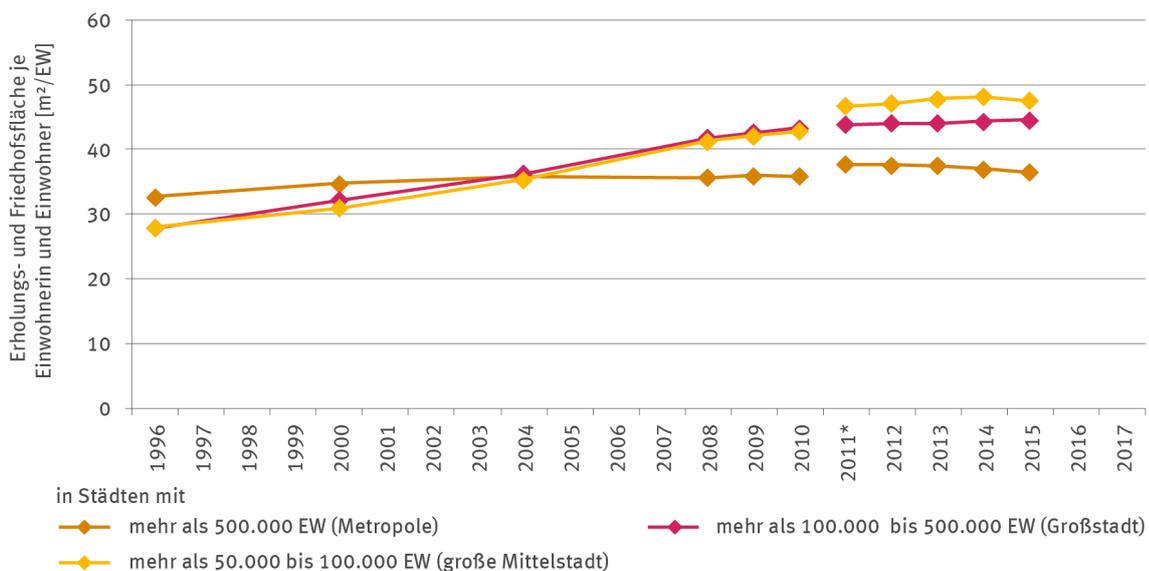
Es wird erwartet, dass sich durch den Klimawandel stadtklimatische Effekte weiter verstärken und hitzebedingte Gesundheitsprobleme häufiger auftreten können. Um diesen möglichen Klimawandelfolgen entgegenzuwirken oder vorzubeugen, können Maßnahmen auf verschiedenen Ebenen ansetzen. Einen wichtigen Beitrag dazu leisten eine angepasste Gestaltung von Städten

und Quartieren und deren quantitativ und qualitativ ausreichende Ausstattung mit „grünen“ und „blauen“ Infrastrukturen, also mit Grün- und Gewässerflächen. Überwiegend grüne, wenig versiegelte Flächen, etwa Erholungsflächen wie Sport- und Spielflächen, Grünanlagen und Campingplätze oder auch Friedhofsflächen, übernehmen wichtige Funktionen für das lokale Kleinklima.

Die positive Wirkung von Grünflächen auf das Stadtklima sowie für die Luftqualität und Lärminderung wird durch die Größe, den Aufbau und die Zusammensetzung der vegetationsbestandenen Flächen bestimmt. Schon mit Gras bepflanzte Flächen lassen gegenüber der bebauten Umgebung günstige Veränderungen in ihrer Strahlungs- und Wärmebilanz erkennen, sofern sie gut mit Wasser versorgt sind. Sträucher und schattenspendende hohe Bäume verstärken die bioklimatischen Effekte. Im Vergleich zur Umgebung stellen sich niedrigere Oberflächen- und Lufttemperaturen ein. Zudem zeichnen sich Grünflächen, insbesondere wenn sie mit Bäumen

### BAU-R-1: Erholungsflächen

Die Versorgung mit Erholungsflächen ist in Metropolen sowie in großen Mittelstädten in den letzten Jahren rückläufig. Dies kann mit einer steigenden Bevölkerungszahl und zunehmenden Verdichtung in den Städten zusammenhängen. Gerade für die Bevölkerung in Metropolen ist es wichtig, ausreichende Flächen für den stadtklimatischen Ausgleich zu bewahren, um eine gute Lebensqualität zu erhalten.



\* gemäß Bevölkerungsforschung auf Grundlage des Zensus 2011

Datenquelle: Länderinitiative Kernindikatoren (Indikator C4 – Erholungsflächen)

bestanden sind, durch eine höhere relative Luftfeuchtigkeit gegenüber versiegelten Flächen aus.

Eine besondere Verantwortung für das Siedlungsklima kommt den Kommunen zu. Positiven Einfluss können sie nehmen, indem sie zum Beispiel bestehende grüne Flächen erhalten, miteinander vernetzen und zusätzlich neues Grün schaffen. Idealerweise sind die Grünflächen über Ventilationsbahnen an Kaltluftentstehungsgebiete wie Wiesen und Felder im ländlichen Umland angebunden. In den urbanen Gebieten werden die Kommunen damit zudem die ökologischen Funktionen der Siedlungsgebiete auf und steigern Lebens- und Wohnqualität.

In den großen deutschen Städten mit einer Bevölkerungszahl von über 50.000 Personen ist die öffentliche Erholungsfläche, die jeder Einwohnerin und jedem Einwohner zur Verfügung steht, indirekt proportional zur Größe. So ist aktuell die Ausstattung mit Erholungsflächen in den Metropolen, deren Bevölkerungszahl über 500.000 liegt, am geringsten. Die großen Mittelstädte mit einer Bevölkerungszahl zwischen 50.000 und 100.000 Personen liegen, sind mengenmäßig derzeit am besten mit Erholungsflächen versorgt.

Anders als der Status quo für das Jahr 2015, für das die Berechnung auf dem seit Dezember 2015 bundesweit eingeführten Amtlichen Liegenschaftskatasterinformationssystem (ALKIS) beruht, ist die zeitliche Entwicklung der Datenreihe schwierig zu interpretieren. Grund sind Änderungen in der Zuordnung und der Bewertung von Flächen, die im Zuge der Einführung von ALKIS angepasst wurden. Hierdurch kommt es in der Flächennutzungsstatistik zu Veränderungen, denen keine tatsächlichen Nutzungsänderungen zugrunde liegen. Insbesondere in den Jahren 2000 und 2008 kam es in einigen Bundesländern zu massiven Umwidmungen, die die Datenreihe maßgeblich beeinflussen. Unabhängig davon zeigt die Datenreihe für die Jahre nach 2011, dass der Versorgungsgrad mit Erholungsflächen in den Metropolen und den großen Mittelstädten zuletzt rückläufig war. Ein Grund hierfür kann sein, dass die Bevölkerungszahl in diesen Städten zunimmt. Werden zum Beispiel im Zuge einer Innenverdichtung keine neuen Erholungsflächen geschaffen, steht den Einwohnerinnen und Einwohnern im Mittel weniger grüne Fläche zur Verfügung. Gerade in Metropolen gilt es, diese Entwicklung genau zu beobachten und zu steuern, damit das Wachstum nicht zu Lasten des Stadtklimas und damit der Lebensqualität geht.



Innenstädtische Grünflächen wie hier in München sind bei hochsommerlichen Wetterlagen Kälteinseln in der Stadt.  
(Foto: © Ernst August / stock.adobe.com)

## Schnittstellen

GE-I-1: Hitzebelastung

BAU-I-1: Wärmebelastung in Städten

BAU-I-3: Kühlgradtage

RO-R-4: Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für besondere Klimafunktionen

## Ziele

Linderung einer klimatisch bedingten verstärkten Aufheizung der Städte und dem damit verbundenen Hitzestress durch geeignete Architektur sowie Stadt- und Landschaftsplanung; Gewährleistung der Frischluftzufuhr über unverbaute Frischluftkorridore gerade in Ballungszentren; Hemmen einer weiteren Versiegelung von Freiflächen durch Siedlungs- und Verkehrsflächen bei der Stadtentwicklung (DAS, Kap. 3.2.1)

Freihaltung von Frisch- und Kaltluftentstehungsgebiete sowie -abflussbahnen im Rahmen der Siedlungsentwicklung (DAS, Kap. 3.2.14)

Öffentlich zugängliches Grün mit vielfältigen Qualitäten und Funktionen steht in der Regel fußläufig zur Verfügung. (NBS, Kap. B 1.3.3)

## Begrünte Gebäude – gut für Klimaanpassung und biologische Vielfalt

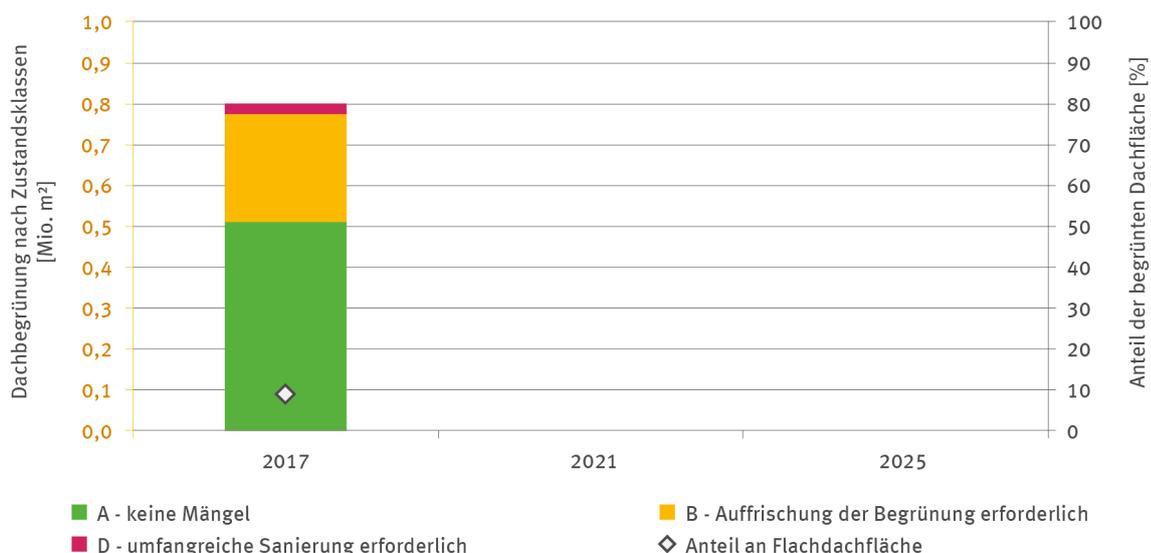
Grün in der Stadt ist nicht auf Parks und Grünanlagen, auf Straßenbegrünungen und private Gärten begrenzt. Auch die Fassaden und Dächer von Gebäuden bieten viel Raum für Grün. Bei Fassaden reichen die Möglichkeiten von einer Begrünung mit Kletterpflanzen bis zu intensiv bepflanzten vertikalen Gärten. Und Dächer können – je nach Gebäudestatik – von einer sich weitgehend selbst erhaltenden extensiven Begrünung mit Moosen, Kräutern und Gräsern bis zu intensiven Pflanzungen mit Nutzpflanzen, Stauden und Gehölzen sehr unterschiedliche Vegetationsformen beherbergen.

Dächer und Fassaden mit einer vitalen Begrünung haben vielfältige Wirkungen, die für das einzelne Gebäude und die einzelne Liegenschaft die negativen Folgen des Klimawandels abmildern können. Im städtischen Raum können diese positiven Wirkungen auch auf das Umfeld der Gebäude ausstrahlen.

Dies trifft zum Beispiel für die kühlenden Effekte von begrünten Gebäuden zu. Indem begrünte Dächer und Fassaden die Sonneneinstrahlung verringern und die Pflanzen über ihre Blätter Wasser verdunsten, kühlen sie das Gebäude und die Umgebungsluft ab. An heißen Sommertagen oder in Hitzeperioden profitieren davon zum einen die Nutzerinnen und Nutzer der Gebäude. Zum anderen gewinnt auch das städtische Umfeld, denn durch die Absorption der eingestrahlten Energie und die Verdunstung verringern Gebäudebegrünungen die Erwärmung insbesondere von dicht bebauten und besiedelten Städten. Wichtig: Die Verdunstungswirkung und die damit verbundenen stadtklimatischen Effekte können nur eintreten, wenn das Substrat der Dachbegrünungen Feuchtigkeit enthält. Dies ist insbesondere bei extensiven Begrünungen zu beachten, die in der Regel nicht gepflegt werden, in heißen Sommermonaten aber möglicherweise bewässert werden müssen. Ein weiterer positiver Effekt ist die lufthygienische Wirkung der Begrünungen. Die Vegetationsoberfläche bremst den

### BAU-R-2: Dachbegrünung von Bundesgebäuden

Vitale Dachbegrünungen und Fassaden können viele positive Effekte haben, für das Klima im Stadtquartier und im Gebäude, für den Regenrückhalt, für die Luftqualität und für die biologische Vielfalt. Sie können damit die lokalen Folgen des Klimawandels abschwächen. Beim Neubau und der Sanierung von Bundesgebäuden könnte in geeigneten Fällen darauf hingewirkt werden, den derzeit noch geringen Flächenanteil sukzessive zu erhöhen.



\*Die im Liegenschaftsmanagementsystem der BImA grundsätzlich angelegte Bewertungsstufe C wird für Dachbegrünungen nicht genutzt.

Datenquelle: BImA (Elektronisches Liegenschaftsmanagementsystem)

Luftstrom ab, sodass sich Feinstäube und Schadstoffe leichter absetzen können.<sup>47</sup>

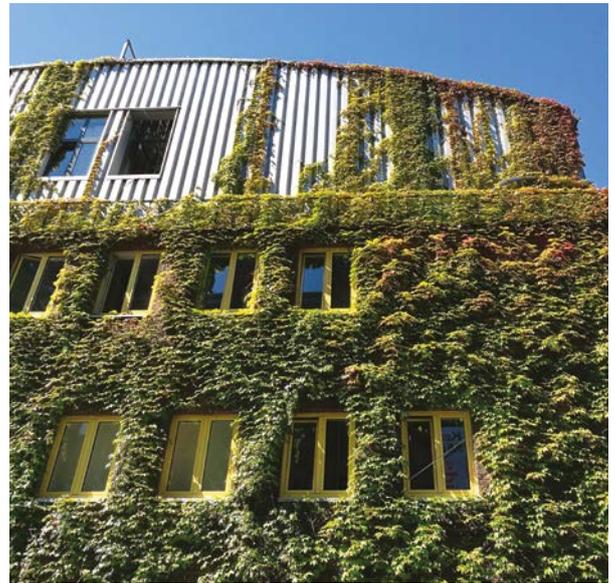
Gründächer helfen auch bei zu viel Niederschlag. In Abhängigkeit von ihrem Aufbau können Gründächer mitunter beträchtliche Mengen an Regenwasser speichern und später verdunsten, wenn die Niederschläge abgezogen sind. Mit Blick auf möglicherweise häufigere und intensivere Starkregenfälle bilden die Begrünungen einen Puffer, der das Regenwasser wie ein Schwamm aufnimmt und verzögert wieder in den Wasserkreislauf abgibt. Dadurch können die Entwässerungssysteme von Liegenschaften ebenso wie von Stadtquartieren entlastet und Überlastungen vermieden werden.

Außerdem tragen begrünte Dächer und Fassaden zum Schutz von Gebäude- und von Bauteilen bei. Sie können beispielsweise die Schäden von Starkregen und Hagelschlag an Fassaden und Dächern verringern, und sie verlangsamen oder verhindern die Verwitterung von Dachabdichtungen. „Nebenbei“ sind Gründächer und Fassadenbegrünungen auch Lebensraum für Flora und Fauna: Sie bieten Vögeln, Wildbienen, Schmetterlingen und Laufkäfern ein Zuhause und erhöhen dadurch die biologische Vielfalt.

Zahlreiche Städte bezuschussen daher die Begrünung von Dächern und Fassaden direkt oder indirekt und treffen in ihren Bebauungsplänen hierzu Festlegungen. Der Bund seinerseits hat sich für Immobilien in seinem Verantwortungsbereich in geeigneten Fällen zum Ziel gesetzt, zukünftig die Möglichkeiten für Bauwerksbegrünungen verstärkt auszuloten und zu nutzen.<sup>48</sup> In seiner Rolle als Bauherr und Eigentümer nimmt er dabei auch eine Vorbildfunktion für andere Akteure ein.<sup>49</sup>

Aussagekräftige Daten über die Verbreitung von begrünten Gebäuden oder über kommunale Förderprogramme sind nicht verfügbar. Vor diesem Hintergrund stellt der Indikator behelfsmäßig den Bestand und den Anteil von Gründächern – genauer gesagt von begrünten Flachdächern – auf Bundesgebäuden dar. Er verwendet dazu Daten der BImA, die mit über 18.000 Liegenschaften und 30.000 Gebäuden den größten Teil der militärisch und zivil genutzten Bundesimmobilien verwaltet. Die Daten bilden die Ergebnisse der vereinfachten Bauzustandserfassung ab, mit der die BImA kontinuierlich den zu erwartenden Bauunterhalt für den gesamten von ihr verwalteten Gebäudebestand abschätzt.

Der dargestellte Ausgangsbestand für das Jahr 2017 zeigt, dass derzeit mit rund 9 % der Flachdachfläche beziehungsweise knapp 5 % der gesamten Dachfläche



Fassaden- und Dachbegrünungen haben positive Auswirkungen auf das Stadtklima und das Gebäude selbst. (Foto: © Martin Debus / stock.adobe.com)

nur ein kleinerer Teil der Bundesgebäude mit begrünten Dächern ausgestattet ist. Die sukzessive Ausdehnung dieser Fläche beim Neubau und bei der Sanierung könnte daher ein – im jeweiligen Einzelfall zu prüfender – Ansatzpunkt sein, um Bundesgebäude und -liegenschaften den gesteckten Zielen für die Klimaanpassung und die Förderung der biologischen Vielfalt Stück für Stück näher zu kommen.

## Schnittstellen

- GE-I-1: Hitzebelastung
- BAU-I-1: Wärmebelastung in Städten
- BAU-I-2: Sommerlicher Wärmeinseleffekt
- BAU-I-4: Starkregen im Siedlungsbereich

## Ziele

Linderung einer klimatisch bedingten verstärkten Aufheizung der Städte und dem damit verbundenen Hitzestress durch geeignete Architektur sowie Stadt- und Landschaftsplanung (DAS, Kap. 3.2.1)

Deutliche Erhöhung der Durchgrünung der Siedlungen einschließlich des wohnumfeldnahen Grüns (zum Beispiel Hofgrün, kleine Grünflächen, Dach- und Fassadengrün) bis zum Jahre 2020 (NBS, Kap. B 1.3.3)

Anstreben eines vorbildlichen Bauwesens, das sich an biodiversitätserhaltenden Standards orientiert, bis zum Jahr 2020 (NBS, Kap. B 2.2; StrÖff, Kap. D.7)

## Klimaangepasste Gebäude – die Hitze bleibt draußen

Eine klimagerechte städtebauliche Gestaltung, die innerstädtisches Grün bewahrt und ausweitet, ist ein Weg, um Wärmebelastungen vorzubeugen oder sie zumindest zu mindern. Andere Maßnahmen setzen direkt am Gebäudebestand an.

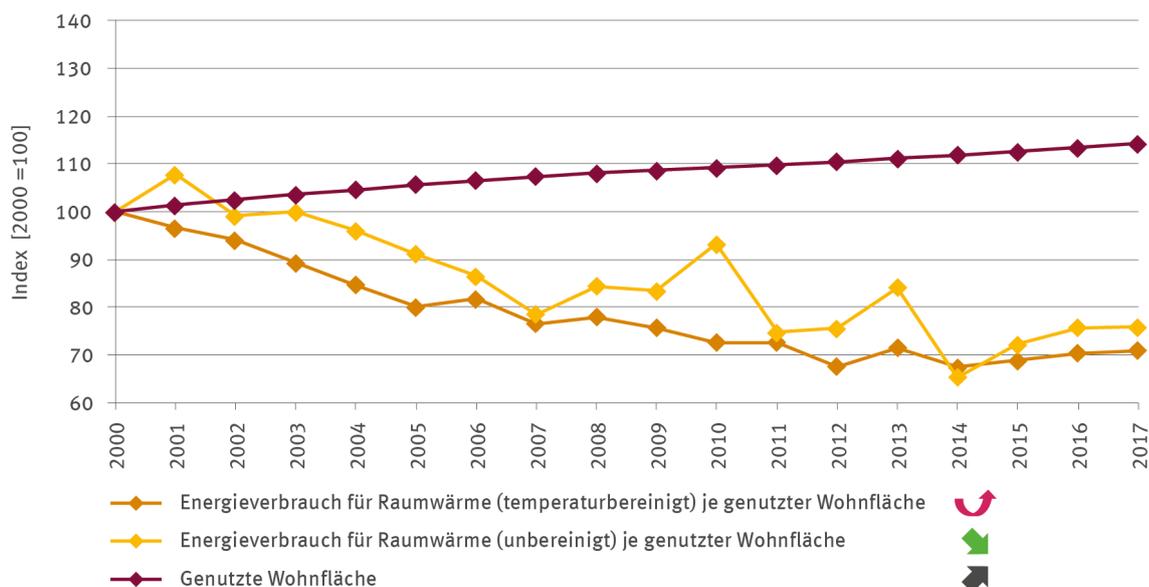
Um eine Überwärmung von Innenräumen zu vermeiden, kommt in wärmeren Klimazonen vielfach eine aktive technische Kühlung von Wohn- und Arbeitsstätten zum Einsatz. In den heißen Sommern der vergangenen Jahre war diese Reaktion auch in Deutschland zu beobachten: Der Verkauf mobiler Klimaanlage zur aktiven Kühlung von Wohnungen und Häusern stieg außergewöhnlich stark an. Allerdings ist die Nutzung von Klimaanlage mit einem höheren Stromverbrauch verbunden, der wiederum zu einem verstärkten CO<sub>2</sub>-Ausstoß führt, solange das Energiesystem noch zum größeren Teil auf fossilen Energien beruht. Bemühungen um den Klimaschutz laufen diese Maßnahmen daher zuwider. Hinzu kommt, dass die Abluft der Klimaanlage lokal an ihrem Einsatzort die Stadtatmosphäre erwärmt und damit die bioklimatischen Belastungen verstärken kann. Maßnahmen

der passiven Kühlung sollten aus diesem Grund sowohl bei der Sanierung des Gebäudebestands als auch beim Neubau größere Priorität genießen.

Um das Innenraumklima zu sichern und baulich vor Sommerhitze zu schützen, müssen Bauherren und Architekten zwei Strategien gleichzeitig verfolgen: Die erste lässt eine Erwärmung innerhalb des Gebäudes erst gar nicht zu, die zweite führt die vorhandene Wärme ohne oder mit möglichst geringem Energieeinsatz nach draußen ab. Letzteres lässt sich z. B. durch natürliche Lüftungs- und Ventilationssysteme, eine kontrollierte nächtliche Lüftung oder eine antizyklische Speicherung bzw. Abgabe von Wärme bzw. Kälte erreichen. Möglichkeiten für einen vorbeugenden sommerlichen Wärmeschutz – die erste Strategie – bestehen beispielsweise darin, Fensterflächenanteile und Gebäudeausrichtung sorgfältig zu planen, außen liegende Verschattungselemente und Sonnenschutzgläser einzusetzen, Gebäudefassaden und -dächer zu begrünen oder Gebäude mit einer guten Wärmedämmung zu versehen und hohe energetische Baustandards einzuhalten.

### BAU-R-3: Spezifischer Energieverbrauch der privaten Haushalte für Raumwärme

Der bis 2014 rückläufige temperaturbereinigte Energieverbrauch für Raumwärme deutet darauf hin, dass neben Verhaltensänderungen und dem zunehmenden Einsatz effizienterer Heizsysteme auch bauliche Maßnahmen zum Wärmeschutz erfolgreich umgesetzt wurden. Diese Maßnahmen haben auch positive Auswirkungen auf den Schutz der Gebäude vor sommerlicher Überhitzung. Seit 2015 steigt der temperaturbereinigte Energieverbrauch für Raumwärme wieder an.



Datenquelle: StBA (Umweltökonomische Gesamtrechnungen)

Die Maßnahmen des baulichen Wärmeschutzes verringern auch die für Heizung und Kühlung von Gebäuden eingesetzte Energie. In neuen Gebäuden werden Anforderungen an den Wärmeschutz bei Planung und Bau berücksichtigt. Bei älteren Gebäuden verbessert die energetische Sanierung den Wärmeschutz – in Deutschland werden aktuell pro Jahr etwa 1,4 % des vor 1979 errichteten Gebäudebestands entsprechend modernisiert.<sup>50</sup> Diese und andere passive Maßnahmen können der Überhitzung von Innenräumen vorbeugen. Zusammen mit effizienzsteigernden Maßnahmen und verhaltensbedingten Einsparungen, die aus einem gestiegenen Kosten- und Umweltbewusstsein resultieren, schlagen sie sich in einem deutlich verringerten Energieverbrauch der privaten Haushalte für Raumwärme nieder. Der verringerte Energieverbrauch für Raumwärme kann also auch ein Anhaltspunkt dafür sein, dass sich die Voraussetzungen für kühlere Innentemperaturen während Hitzeperioden verbessert haben.

Die erfolgreiche Umsetzung aller genannten Maßnahmen wird am temperaturbereinigten, d. h. am rechnerisch auf einen mittleren bundesweiten Verlauf der Lufttemperatur angepassten Verbrauch von Heizenergie der privaten Haushalte ablesbar. Aussagen über die Robustheit der Wohngebäude gegen Überhitzung in Hitzeperioden können daraus allerdings nur ansatzweise getroffen werden. Das gilt auch für Nicht-Wohngebäude, die dieser Indikator nicht abdeckt.

Im Jahr 2000 wendeten die Haushalte temperaturbereinigt noch mehr als 580 Terawattstunden Heizenergie auf, bis zum Jahr 2016 ging der Energieverbrauch auf 471 Terawattstunden zurück. Bezogen auf die Wohnfläche, die im gleichen Zeitraum deutlich zunahm, bedeutet das einen signifikanten Rückgang des temperaturbereinigten Energieverbrauchs für Raumwärme von knapp 20 %.



Eine gute Gebäudeisolierung schützt auch vor sommerlicher Hitze. (Foto: © mitifoto / stock.adobe.com)

## Schnittstellen

BAU-R-1: Erholungsflächen

BAU-R-4: Fördermittel für klimawandelangepasstes Bauen und Sanieren

## Ziele

Stärkere Anpassung an höhere durchschnittliche Sommertemperaturen und zwischenzeitlich längere Hitzeperioden in der Gebäudeplanung und Gebäudetechnik (DAS, Kap. 3.2.2)

## Klimawandelangepasstes Bauen und Sanieren fördern

Die in den vergangenen Jahren erzielten Verbesserungen beim Wärmeschutz und die damit verbundene Reduzierung des Energieverbrauchs im Gebäudebereich sind u. a. ein Ergebnis gezielter Förderpolitik. Obwohl das Einhalten eines sommerlichen Komforts während Hitzeperioden in Bundesprogrammen kein Förderkriterium ist, dienen manche der geförderten baulichen Maßnahmen sekundär auch zum Schutz vor einer sommerlichen Überwärmung von Gebäuden und bieten somit die Grundlage für Synergieeffekte zwischen Klimaschutz und Anpassung.

Eine wesentliche Säule der finanziellen Förderung von Maßnahmen zur energetischen Sanierung von Gebäuden bzw. von energieeffizienten Neubauten sind die durch Fördermittel des Bundes finanzierten Programme der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW).

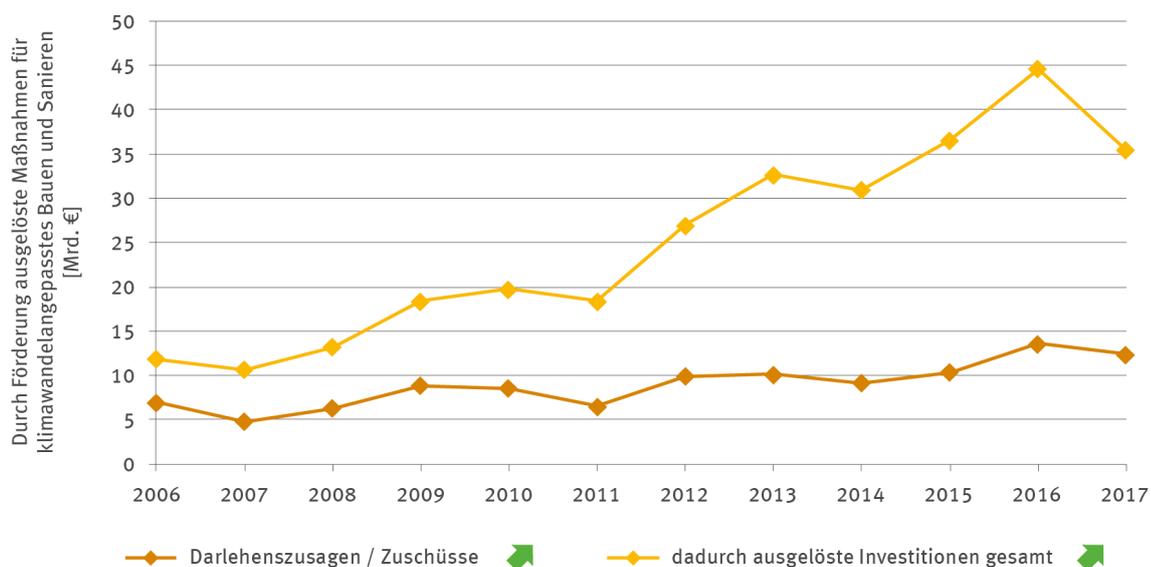
Hierfür standen in den Jahren 2006 bis 2017 KfW-Mittel in Höhe von insgesamt rund 107,6 Milliarden Euro zur Verfügung, im Jahr 2017 ca. 12,4 Milliarden Euro. Mit den Programmen werden über Investitionszuschüsse

oder über im Zins vergünstigte Darlehen in Verbindung mit Tilgungszuschüssen Energieeffizienzmaßnahmen gefördert, die die gesetzlichen Anforderungen (Energieeinsparverordnung) überschreiten. Insgesamt wurde durch die Förderung bis Ende 2017 ein Investitionsvolumen von rund 300 Milliarden Euro ausgelöst.

In den durch Bundesmittel geförderten KfW-Programmen, die für die Anpassung an den Klimawandel relevant sind, wurden in den zurückliegenden zwölf Jahren jährlich Darlehenszusagen oder Zuschüsse zwischen 4,8 und 13,6 Milliarden Euro bewilligt. Als anpassungsrelevant werden dabei solche Programme der KfW betrachtet, deren Fördermittel zu mehr als zwei Dritteln Maßnahmen zugutekommen, die Gebäude vor dem sommerlichen Aufheizen schützen, z. B. Dämmung oder Sonnenschutz, oder Maßnahmen, mit denen sich Raumklima und Frischluftzufuhr regeln und steuern lassen. Im Jahr 2017 wurden durch diese Programme über 35,4 Milliarden Euro an Investitionen gefördert, die sekundär auch die Anpassung an den Klimawandel unterstützen können. Eine finanzielle Förderung, die

### BAU-R-4: Fördermittel für klimawandelangepasstes Bauen und Sanieren

Die KfW vergibt jährlich Bundesmittel als Darlehenszusagen und Zuschüsse in Höhe von 4,8 bis 13,6 Milliarden Euro für energetische Bau- und Sanierungsmaßnahmen, die bei guter Planung auch die Gefahr von Hitzebelastungen in Gebäuden verringern können. Seit 2006 nahmen Darlehenszusagen und Zuschüsse sowie die dadurch ausgelösten Investitionen signifikant zu. Über die Vorbeugung gegen weitere Einflüsse des Klimawandels kann der Indikator keine Aussagen treffen.



Datenquelle: KfW (Förderreport der KfW-Bankengruppe)

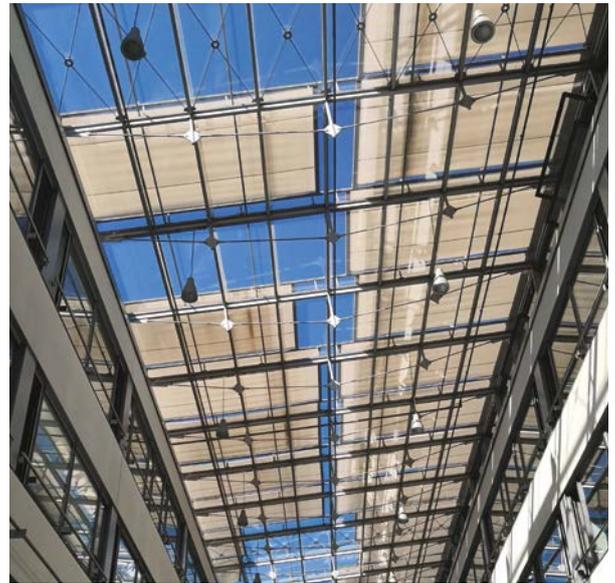
gezielt und direkt die bauliche Klimaanpassung von Gebäuden adressiert, gibt es in Deutschland nicht.

Der Schutz vor Überwärmung ist eine der Anforderungen, mit der sich Bauherren, Immobilieneigentümer und Architekten mit Blick auf den Klimawandel auseinandersetzen müssen. Mit den oben genannten und weiteren Maßnahmen wie der Reduzierung innerer Wärmequellen, einem durchdachten Umgang mit großen Glasflächen oder dem Einsatz massiver Bauteile zum Temperatúrausgleich lassen sich sommerliche Überwärmungsprobleme in Gebäuden auch ohne technische Anlagen zur Klimatisierung weitgehend vermeiden.

Darüber hinaus erfordern auch möglicherweise zunehmende extreme Ereignisse wie Starkniederschläge und Schlagregen, Stürme und Tornados, Hagel oder Schneelasten bauliche Anpassungen zum Gebäudeschutz. Zwar stellt der in Deutschland herrschende hohe Standard von Bauplanung, -technik und -ausführung grundsätzlich sicher, dass Gebäude und Baupraxis für eine große Spannweite an wetter- und witterungsbedingten Beanspruchungen ausgelegt sind. Nicht alle Auswirkungen der genannten Extremereignisse werden sich aber innerhalb dieses Standards bewältigen lassen.

Neben dem Schutz vor Hitze umfassen mögliche Schutzmaßnahmen an einzelnen Gebäuden etwa den Einbau von Schutzgittern und Schutzglas gegen Hagelschäden, die Befestigung von Dachmaterial oder die Integration von Solarthermie- oder Photovoltaik-Anlagen in den Dachaufbau zur Sicherung bei Stürmen. Zahlreich sind die möglichen Maßnahmen zum Schutz gegen Hochwasser und Starkregen: Sie reichen von der Gebäudeabdichtung durch den Einsatz von Bitumenbahnen oder wasserdichtem Beton über Drainagen und Pumpen bis zur Rückstausicherung der Abwasserleitungen. Der Schutz von Einzelgebäuden insbesondere gegen Überflutung ist schwierig. Daher vermeidet eine vorsorgende Raum- und Stadtplanung die bauliche Nutzung von Gebieten mit einem erhöhten Schadenspotenzial durch solche Gefahren.

Im Zuge von Neubauten können die entsprechenden Anpassungserfordernisse z. B. durch die Auswahl robusterer Materialien und stabilerer Konstruktionsweisen bereits in der Planung berücksichtigt werden. Dies verursacht aber auch dort erhöhte Baukosten. Für bestehende Gebäude sind Anpassungen in Form nachträglicher Maßnahmen wie beispielsweise Abdichtungen von Kellern gegen drückendes Wasser i. d. R. schwieriger und kostspieliger umzusetzen. Aller Voraussicht nach lassen sich aber zumindest die meisten klimabedingten



Auch Maßnahmen des Sonnenschutzes können durch die KfW gefördert werden. (Foto: © Armin Hering / stock.adobe.com)

Probleme mit Sanierungs- und Modernisierungsmaßnahmen in den Griff bekommen.

Grundsätzlich liegt es in der Verantwortung des jeweiligen Bauherrn oder der Immobilieneigentümerinnen und -eigentümer, diese und andere Maßnahmen umzusetzen und sich baulich vor Klimarisiken zu sichern.

## Schnittstellen

BAU-R-3: Spezifischer Energieverbrauch der privaten Haushalte für Raumwärme

RO-R-3: Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für (vorbeugenden) Hochwasserschutz

## Ziele

Langfristige Senkung des Wärmebedarfs des Gebäudebestandes mit dem Ziel, bis 2050 nahezu einen klimaneutralen Gebäudebestand zu haben. (Energiekonzept 2010, S. 22)

Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel sollen Anstrengungen zum Klimaschutz möglichst nicht entgegenwirken bzw. sollen Alternativen den Vorzug erhalten, die auch zur Minderung der Treibhausgasemissionen beitragen und umgekehrt, beispielsweise Investitionen in die Isolierung von Gebäuden. (DAS, Kap. 3.4)

## Noch immer zu wenige Abschlüsse von Elementarschadenversicherungen

Die Wohngebäudeversicherung gegenüber Sturm und Hagel ist bei den Hausbesitzerinnen und -besitzern inzwischen eine Selbstverständlichkeit. Demgegenüber hat sich der Abschluss von Versicherungen gegenüber anderen extremen Naturereignissen wie Starkregen und Hochwasser noch nicht in der Breite durchgesetzt, auch wenn gerade für diese Gefahren eine Zunahme infolge des Klimawandels zu befürchten ist und Starkregenereignisse ortsunabhängig auftreten. Es kann also jede und jeder von Schäden an seiner Immobilie und seinem Hausrat betroffen sein.

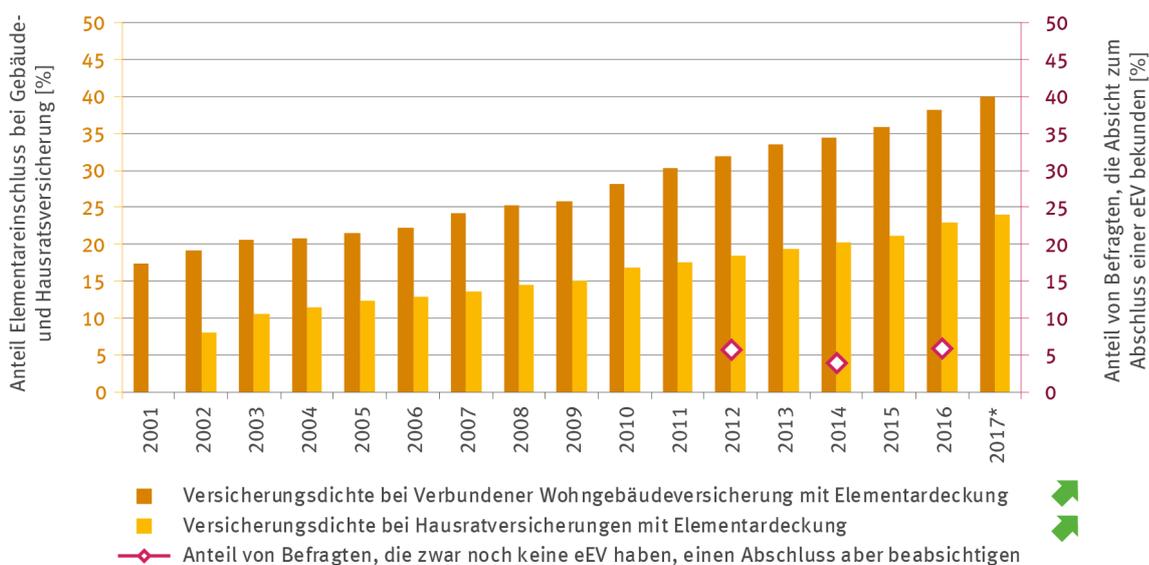
Im Schadensfall haben die geschädigten Privatleute und Gewerbetreibenden in der Vergangenheit häufig staatliche und nicht-staatliche Hilfen erhalten, so zum Beispiel nach dem extremen August-Hochwasser vom Sommer 2002, das Schäden in Höhe von insgesamt über 11 Milliarden Euro verursachte. Nur ein Teil davon war versichert. Für Wiederaufbau und Schadenersatz wurde der Bund-Länder-Fonds „Aufbauhilfe“ eingerichtet. Er speiste sich zu 3,5 Milliarden Euro aus Bundes- und zu 3,6 Milliarden Euro aus

Landesmitteln. 923 Millionen Euro davon flossen allein in die Instandsetzung beschädigter Wohngebäude sowie in die Erneuerung beschädigter oder zerstörter Bauteile. Die Schäden des Juni-Hochwassers 2013, das Sachsen-Anhalt, Sachsen, Bayern und Thüringen am schlimmsten betroffen hat, lagen bei etwa 8 Milliarden Euro. In diesem Falle bewilligten Bund und Länder Fluthilfen in Höhe von 3,7 Milliarden Euro für die mitteldeutschen Länder.

In Anbetracht der erheblichen Mittel, die in die Fluthilfe fließen, und da staatliche Hilfen nicht alle privaten Schäden decken können, appelliert der Staat an Haus- und Wohnungsbesitzer sowie Mieter, in größerem Umfang Eigenvorsorge zu betreiben, um mögliche Schäden und damit auch Anforderungen an staatliche Hilfen zu reduzieren. Wer von Hochwasser betroffen sein kann, ist sogar gesetzlich dazu verpflichtet, Vorsorgemaßnahmen zu treffen. Zur Eigenvorsorge gehört neben baulichen Maßnahmen vor allem auch ein ausreichender Versicherungsschutz. Im Jahr 2017 verständigten sich die

### BAU-R-5: Versicherungsdichte der erweiterten Elementarschadenversicherung für Wohngebäude

Die Elementarschadenversicherung (eEV) ergänzt die Verbundene Wohngebäudeversicherung und die Hausratsversicherung um eine Absicherung der Schäden, die unter anderem durch Überschwemmung, Starkregen, Schneedruck und Lawinen entstehen. Die Versicherungsdichte der eEV ist in den letzten Jahren zwar signifikant gestiegen, sie ist im bundesweiten Überblick mit 43 % bei der Gebäudeversicherung und 24 % bei der Hausratsversicherung aber noch immer gering.



\* Wert vorläufig

Datenquelle: Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.; BMUB & UBA (Umweltbewusstsein in Deutschland)

Ministerpräsidenten der Länder, dass künftig nur derjenige mit Hilfgeldern über Soforthilfen hinaus rechnen kann, der sich erfolglos um eine Versicherung bemüht hat oder dem Versicherungen zu wirtschaftlich unzumutbaren Bedingungen angeboten wurde.

Im Versicherungsmarkt ist die erweiterte Elementarschadenversicherung (eEV), die die sogenannten Elementarschäden abdeckt, inzwischen ein etabliertes Produkt. Bundesweit war Ende 2018 aber nur für 43 % der Wohngebäude eine eEV abgeschlossen. Für Mieter sind Hausratsversicherungen mit Elementardeckung relevant, denn mit Elementarschäden an Gebäuden können vor allem in Erdgeschosswohnungen oder Kellerräumen auch Schäden am Hausrat von Mietern einhergehen. Ende 2017 hatten allerdings gerade mal 24 % aller abgeschlossenen Hausratsversicherungen eine Elementardeckung.

Auch wenn die Zahl der Versicherungsabschlüsse kontinuierlich steigt, ist das Bewusstsein für die Notwendigkeit einer eEV in der Bevölkerung noch immer nicht ausreichend verankert. Die Gefahren werden unterschätzt und die Kenntnis über die mit den abgeschlossenen Versicherungen tatsächlich abgedeckten Schäden reicht nicht aus. Extremereignisse hatten in der Vergangenheit immer nur sehr kurzfristig eine Steigerung der Versicherungsbereitschaft zur Folge. Die Ergebnisse der im Auftrag des UBA zweijährlich durchgeführten repräsentativen Bevölkerungsumfrage „Umweltbewusstsein in Deutschland“<sup>1</sup> lassen auch für die nächsten Jahre keinen steilen Anstieg der Versicherungsdichte erwarten. Im Jahr 2012 bekundeten nur knapp 6 % aller Befragten, dass sie zwar noch keine eEV abgeschlossen haben, eine solche Versicherung aber in Zukunft abschließen möchten. Zwei Jahre später waren es sogar nur 4 %. Die letzte Umfrage im Jahr 2016 ergab wieder einen Anteil von 6 %. Es ist hier also bisher keine klare Tendenz ersichtlich.

Um das Verantwortungsbewusstsein zu stärken und für mehr Eigenvorsorge zu werben, ziehen Politik, Versicherungswirtschaft und Verbraucherschutz in zahlreichen Bundesländern an einem Strang. Ende 2018 hatten bereits zehn Bundesländer Kampagnen umgesetzt oder gestartet, um die Bevölkerung zu informieren und zum Abschluss geeigneter Versicherungen anzuregen. Den Versicherern ist es möglich, nahezu alle Gebäude und

<sup>1</sup> Die repräsentative Bevölkerungsumfrage (deutschsprachige Wohnbevölkerung ab 14 Jahre) „Umweltbewusstsein und -verhalten in Deutschland“ wird seit dem Jahr 2000 zweijährlich im Auftrag des BMU und des UBA durchgeführt. Seit 2012 wurden Fragen aufgenommen, die Daten für die DAS Monitoring Indikatoren liefern, ab 2016 werden diese Fragen alle 4 Jahre in der Umweltbewusstseinsstudie erhoben.



Die Elementarschadenversicherung versichert gegen Schäden u. a. durch Hochwasser und Starkregen.  
(Foto: © elmar gubisch / stock.adobe.com)

Wohnungen in Deutschland und zu einem deutlich überwiegenden Teil auch zu bezahlbaren Preisen gegen Elementarschäden zu versichern. Ausnahmen gelten nur für wenige Gebiete mit besonders hoher Gefährdung. Auch hier lassen sich aber durch die Vereinbarung von hohen Selbsthalten und risikoadäquaten, höheren Prämien oft individuelle Versicherungslösungen finden.

Trotz des Abschlusses von Versicherungen sollten sich alle Bürgerinnen und Bürger aber auch mit gezielten Maßnahmen gegen mögliche Schäden schützen. Dazu gehören bau- und anlagentechnische Schutzmaßnahmen an Haus und Wohnung sowie Vorsichtsmaßnahmen vor, während und nach einem Extremereignis.

## Schnittstellen

WW-I-3: Hochwasser  
BAU-I-5: Schadenaufwand in der Sachversicherung  
BAU-R-4: Fördermittel für klimawandelangepasstes Bauen und Sanieren  
RO-R-6: Siedlungsnutzung in Hochwassergefahrenbereichen

## Ziele

Unterstützung der Eigenvorsorge im Hochwasserschutz (DAS, Kap. 3.2.3)

Aktives Management der Risiken und Chancen durch Banken und Versicherungen (DAS, Kap. 3.2.10)



© Stefan Loss / stock.adobe.com

# **Energiewirtschaft (Wandel, Transport, Versorgung)**

Mit dem Ausbau der erneuerbaren Energien und dem Ausstieg aus Kernenergie und Kohleverstromung sind weitreichende strukturelle und infrastrukturelle Anpassungen notwendig, die alle Bereiche der Energiewirtschaft berühren. Dazu gehören z. B. der Ausbau der Übertragungs- und Verteilnetze, die Modernisierung und Dekarbonisierung des Kraftwerks-parks oder die Flexibilisierung des Energiesystems durch unterschiedliche Optionen. Die aktuellen energiewirtschaftlichen Planungen sind mit langlebigen Investitionen verbunden. Um auch unter veränderten klimatischen Bedingungen eine stabile Versorgung abzusichern, müssen diese den Anforderungen der Klimaanpassung Rechnung tragen.

Zahlreiche Unternehmen der Energiewirtschaft haben die Folgen von Wetter- und Witterungsextremen bereits erfahren müssen, die im Zuge des Klimawandels zukünftig möglicherweise häufiger und intensiver auftreten werden. Von der Ressourcengewinnung und -logistik über die Energieumwandlung und -verteilung bis zur Versorgung der Kunden können alle Ebenen der energiewirtschaftlichen Produktionskette betroffen sein. Gegenwärtig sind z. B. noch die Auswirkungen der Hitzeperioden in den Jahren 2003, 2006 und 2018, als die Stromproduktion in Kern- und Wärmekraftwerken wegen fehlender Kühlwasserkapazitäten oder wegen eingeschränkter Kohlebelieferung aufgrund von Niedrigwasser teilweise massiv eingeschränkt war. Netzbetreiber haben vor allem die Wirkungen von Winterstürmen zu spüren bekommen.

In der von 2011 bis 2015 durch das „Netzwerk Vulnerabilität“ durchgeführten deutschlandweiten Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalyse<sup>51</sup> wurde die Vulnerabilität der Energiewirtschaft gegenüber Wirkungen des Klimawandels aufgrund der hohen Anpassungskapazität als gering eingeschätzt. Eine Ausnahme bei dieser Bewertung bildet die Verfügbarkeit von Kühlwasser für thermische Kraftwerke. Mit der Energiewende und der damit verbundenen abnehmenden Bedeutung thermischer Kraftwerke und technischen Anpassungen in der Kühltechnologie sinkt jedoch auch die Bedeutung der Verfügbarkeit von Kühlwasser.

## Auswirkungen des Klimawandels

Die deutsche Stromversorgung, trotz Klimawandel eine der sichersten weltweit (EW-I-1, EW-I-2).....	172
Hitze beeinflusst Stromproduktion konventioneller Kraftwerke (EW-I-3) .....	174

## Anpassungen

Auf viele Schultern verteilt und zunehmend erneuerbar – die Energieversorgung (EW-R-1, EW-R-2).....	176
Flexibilisierung des Stromsystems (EW-R-3).....	178
Wasserknappheit als Problem für konventionelle thermische Kraftwerke(EW-R-4).....	180

## Die deutsche Stromversorgung, trotz Klimawandel eine der sichersten weltweit

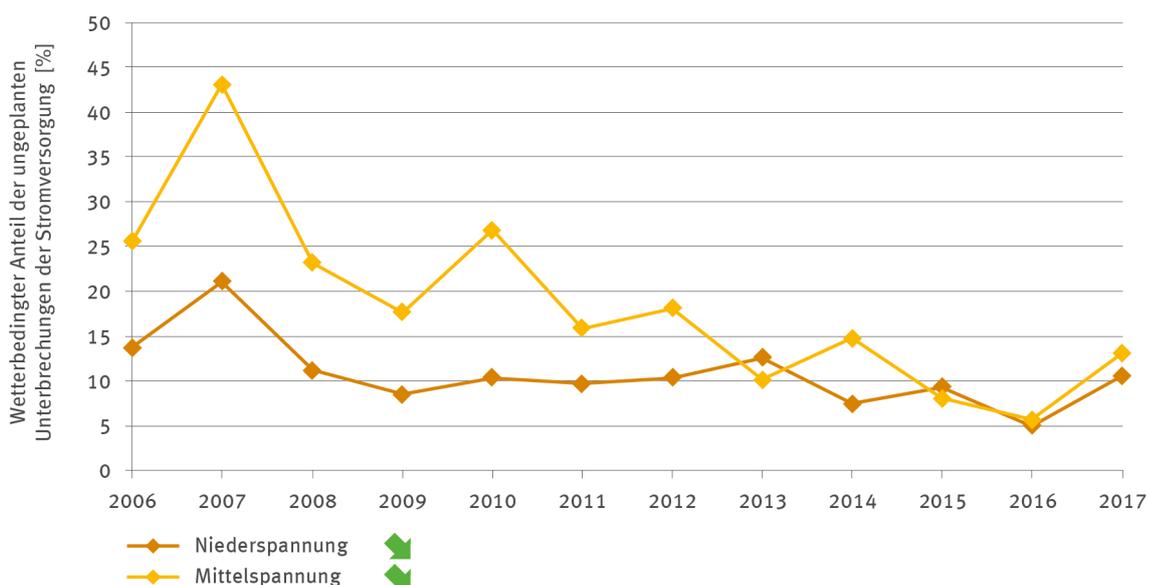
Die sehr zuverlässige Stromversorgung in Deutschland zeichnet sich u. a. dadurch aus, dass Unterbrechungen nur selten und mit kurzer Dauer auftreten. In Deutschland erfasst die Bundesnetzagentur (BNetzA) das Unterbrechungsgeschehen. Im Rahmen ihrer Zuständigkeit wertet sie die Meldungen der Netzbetreiber zu Unterbrechungen mit einer Dauer von mehr als drei Minuten der Mittel- und Niederspannungsebene aus, die das verbrauchernahe Verteilnetz bilden. Die BNetzA unterscheidet verschiedene Ursachen von Netzunterbrechungen. Unter dem Begriff „Atmosphärische Einwirkungen“ fasst sie beispielsweise Wind- und Temperatureinwirkungen oder Überspannungen durch Blitze zusammen. Als „Höhere Gewalt“ werden Ereignisse besonderer Schwere klassifiziert, z. B. außergewöhnliche Hochwasser oder Orkane. Vor allem diese Ereignisse können längere Beeinträchtigungen nach sich ziehen, denn wenn Leitungsnetze z. B. auf größerer Strecke unterbrochen sind, können die notwendigen Reparaturen mitunter viel Zeit in Anspruch nehmen.

Deutschland verfügt über eines der stabilsten Stromnetze weltweit. Doch auch hier können extreme Wetter- und Witterungsereignisse die Elektrizitätsübertragung und -verteilung beeinflussen. Besonders markant waren die Auswirkungen des Orkans Kyrill im Jahr 2007. Die Zahl der Unterbrechungen lag in diesem Jahr etwa doppelt so hoch wie in den meisten anderen bislang erfassten Jahren. Dabei waren Letztverbraucher in diesem Jahr durchschnittlich knapp 22 Minuten aufgrund von Wetter und Witterung ohne Strom. Zum Vergleich: In den weiteren Jahren liegt dieser Wert zwischen 3 und 7,5 Minuten. Im Jahr 2010 sind höhere Werte auf den Orkan Xynthia zurück zu führen und im Jahr 2017 waren es die Stürme Herwart und Xavier, die für Versorgungsunterbrechungen sorgten.

Nehmen extreme Wettersituationen, vor allem schwere Stürme und Orkane, infolge des Klimawandels zu, können sich dadurch verursachte Unterbrechungen der Stromversorgung künftig möglicherweise mehr und

### EW-I-1: Wetterbedingte Unterbrechungen der Stromversorgung

Extremwetterereignisse wie die Orkane Kyrill (2007), Xynthia (2010) und zuletzt Herwart und Xavier (2017) schlugen sich in der Unterbrechungsstatistik der Stromversorgung nieder. Der Anteil von atmosphärischen Einwirkungen und höherer Gewalt an allen Unterbrechungen war in diesen Jahren deutlich erhöht. Über die gesamte Zeitreihe betrachtet weisen wetterbedingte Unterbrechungen fallende Trends aus.



Datenquelle: Bundesnetzagentur (Störungsstatistik)

länger an dauern, wenn die Netze nicht entsprechend ausgerüstet und gewartet sind. Die Betroffenheit der Elektrizitätsnetze hängt neben den atmosphärischen Einwirkungen unter anderem auch von Qualität, Wartungszustand und Alter der im Netz verwendeten technischen Komponenten ab. Seit 2010 sind Investitionen und Aufwendungen für Neuinstallationen, Ausbau, Erweiterungen, Erhaltung und Erneuerungen kontinuierlich angestiegen. Daher werden die Leitungen, Transformatoren und Leistungsschalter des deutschen Übertragungsnetzes als funktionsgerecht eingeschätzt.<sup>52</sup>

Auch die Netzstruktur ist eine wichtige Einflussgröße. Bisher verlaufen Höchst und Hochspannungsnetz zu etwa 95 % oberirdisch und sind Wind und Wetter direkt ausgesetzt. Die Knotenpunkte des Netzes sind aber miteinander verknüpft (Vermaschung). Ein hoher Vermaschungsgrad trägt zu hoher Versorgungszuverlässigkeit bei. Fallen einzelne Leitungen aus, kann die Versorgung i. d. R. über redundante andere Leitungen erfolgen (n-1-Sicherheit). Für den Letztverbraucher bedeuten Unterbrechungen im Übertragungsnetz daher i. d. R. keinen Stromausfall. Einen wirksamen Schutz vor Stürmen, Schnee- oder Eislasten kann die unterirdische Verlegung

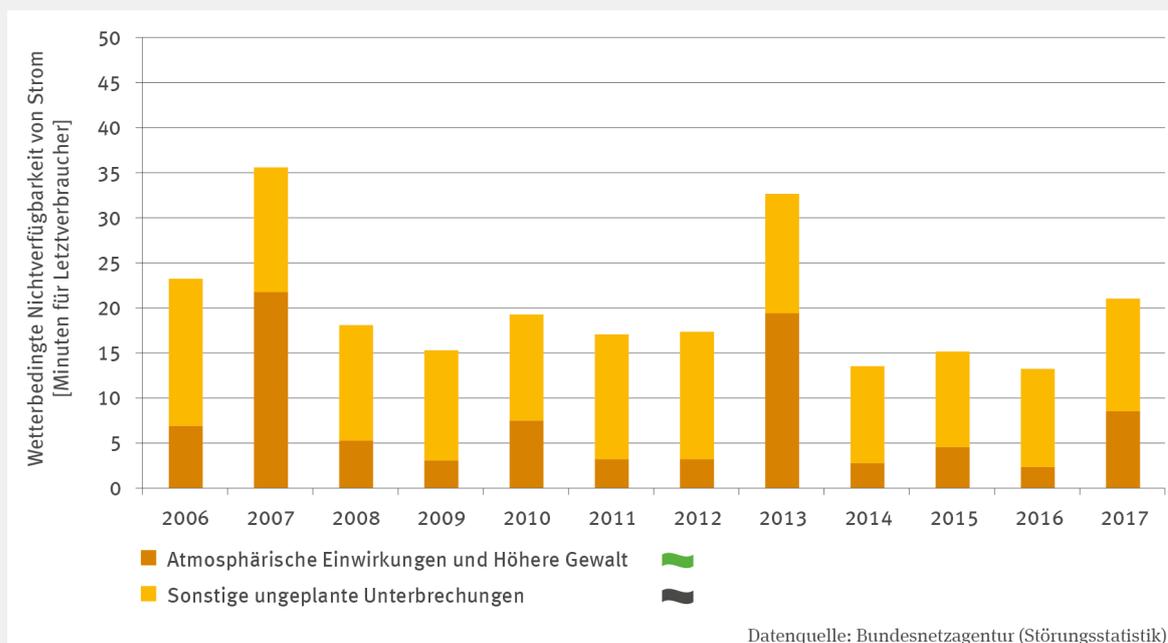
## Ziele

Verpflichtung der Betreiber zum Betrieb eines sicheren, zuverlässigen und leistungsfähigen Energieversorgungsnetzes (EnWG, § 11 (1))

von Stromleitungen (Verkabelung) bieten. Das Gesetz zur Änderung von Bestimmungen des Rechts des Energieleitungsbaus verankert seit 2015 für neue Leitungen im Höchst und Hochspannungsnetz den Vorrang der Erdverkabelung als Planungsgrundsatz in der Bundesfachplanung. Es kann somit neben der Steigerung der Akzeptanz des Netzausbaus<sup>53</sup> auch zu einer besseren Resilienz des Netzes gegenüber klimawandelbedingten Einflüssen beitragen. Daneben wird auf ausgewählten Pilotstrecken die Möglichkeit zur Erdverkabelung im Drehstrombereich untersucht.

## EW-I-2: Wetterbedingte Nichtverfügbarkeit der Stromversorgung

Der Orkan Kyrill im Jahr 2007 führte im Vergleich zu anderen Jahren zu schwereren und umfangreicheren Schäden an den Stromnetzen. In 2007 hatte dies eine durchschnittliche kumulierte Unterbrechungsdauer der Stromversorgung von knapp 22 Minuten je angeschlossenem Kunden durch wetterbedingte Ereignisse zur Folge.



## Hitze beeinflusst Stromproduktion konventioneller Kraftwerke

Durch die Energiewende, mit der unter anderem der Atom- und Kohleausstieg verbunden ist, hat die Bedeutung thermischer Kraftwerke für das Energiesystem in den vergangenen Jahren abgenommen. Sie wird in den kommenden Jahren weiter zurückgehen. Erneuerbare Energien hingegen konnten bis Ende 2018 ihren Anteil am Bruttostromverbrauch auf fast 38 % ausweiten.<sup>54</sup>

Trotz des in den vergangenen Jahren stark wachsenden Beitrags der erneuerbaren Energien zur Stromversorgung werden die thermischen Kraftwerke noch eine gewisse Zeit eine wichtige Rolle im deutschen Energieversorgungssystem spielen.

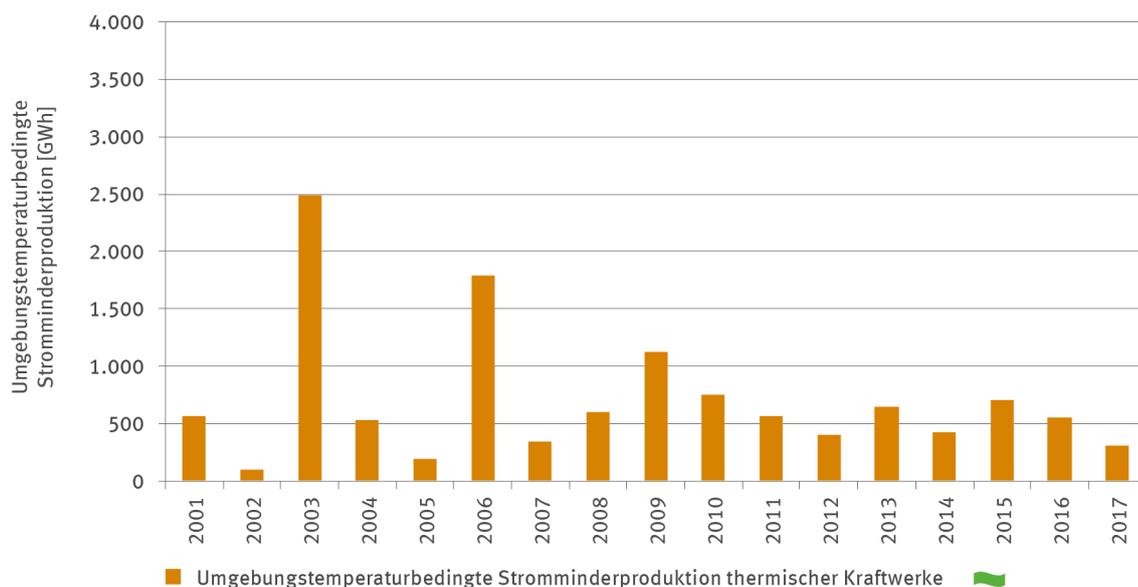
Thermische Kraftwerke sind aufgrund ihres Funktionsprinzips auf die Abfuhr von Prozesswärme durch Kühlung angewiesen. Im wasserreichen Deutschland wird in aller Regel Wasser als Kühlmedium verwendet. Im Falle von Frischwasserkühlsystemen wird das aus einem Fluss entnommene Wasser dabei entweder direkt

(Durchlaufkühlung) oder nach Abkühlung in einem Kühlturm (Ablaufkühlung) wieder ins Gewässer eingeleitet. Kreislaufkühlsysteme benötigen eine deutlich geringere Wasserzufuhr aus den Gewässern.

Lässt sich die Prozesswärme z. B. wegen Hitze und Trockenheit nicht in ausreichendem Maße abführen, nimmt der Wirkungsgrad der Kühlsysteme und damit auch der Kraftwerke ab. Vor allem aber können bei niedrigen Wasserständen und erhöhten Gewässertemperaturen wasserrechtliche Auflagen greifen. Diese bestimmen, wie viel Frischwasser für Kühlzwecke aus Gewässern entnommen und in welcher Menge und mit welcher Temperatur erwärmtes Kühlwasser wieder in Gewässer eingeleitet werden kann. Für die Betreiber kann sich daraus bei Hitze und Trockenheit die Notwendigkeit ergeben, die Stromproduktion in den betroffenen Kraftwerken zu drosseln bzw. ganz einzustellen.

### EW-I-3: Umgebungstemperaturbedingte Stromminderproduktion thermischer Kraftwerke

Hitze und Trockenheit können die Stromproduktion thermischer Kraftwerke einschränken, indem sie deren Wirkungsgrade verschlechtern oder Probleme bei der Kühlwasserentnahme bzw. der Einleitung von Kühlwasser in die Gewässer verursachen. In den heißen Sommern 2003 und 2006 kam es dadurch zu markanten Einbußen, ein signifikanter Trend ist bislang nicht zu verzeichnen. Detaillierte Daten für 2018 liegen noch nicht vor.



Datenquelle: VGB PowerTech e.V. (Nichtverfügbarkeits-Modul des Kraftwerksinformationssystems KISSY)

In den vergangenen Jahren haben die heißen Sommer in den Jahren 2003, 2006 und 2018 vor Augen geführt, welche Folgen Hitze und Trockenheit für die Stromerzeugung haben können. 2018 traten neben den temperaturbedingten Einschränkungen bei der Kühlwasserverfügbarkeit, Schwierigkeiten mit der Nachlieferung von Kohle auf, da aufgrund von Niedrigwasser der Lieferverkehr eingeschränkt war.

Europaweit waren während der sommerlichen Hitzeperiode im Jahr 2003 über 30 Kernenergieanlagen gezwungen, ihre Stromproduktion zurückzufahren. In Deutschland betraf dies z. B. Kraftwerke an Isar und Rhein. Im Jahr 2006 kam es zu kühlwassertemperaturbedingten Einschränkungen der Stromproduktion in thermischen Kraftwerken an den Ufern von Weser und Elbe. In diesen Jahren mussten die zuständigen Wasserbehörden teilweise Ausnahmegenehmigungen erteilen, um die Versorgungssicherheit mit Strom zu gewährleisten.

Die Zeitreihe zur Stromminderproduktion stellt dar, wie viel Strom aufgrund von temperaturbedingten äußeren Einflüssen in thermischen Kraftwerken nicht produziert werden konnte. Ihr liegen Angaben zu knapp zwei Dritteln der in Deutschland installierten Leistung thermischer Kraftwerke zugrunde. Die größten Einschränkungen waren bislang im heißen Sommer 2003 zu verzeichnen. In diesem Jahr summierte sich die Stromminderproduktion auf insgesamt 2,5 Terrawattstunden.



In heißen und trockenen Sommern kann es zu Schwierigkeiten bei der Entnahme bzw. Einleitung von Kühlwasser kommen. (Foto: © Markus Volk / stock.adobe.com)

## Schnittstellen

EW-R-4: Wassereffizienz thermischer Kraftwerke

## Ziele

Erhöhung der Versorgungssicherheit insbesondere bei Extremereignissen durch sich ergänzende dezentrale und diversifizierte Erzeugungsstrukturen, die erneuerbare Energien einschließen (DAS, Kap. 3.2.9)

Ermittlung und Bewertung von möglichen Versorgungsrisiken und Eruierung von Maßnahmen zu ihrer Reduzierung (DAS, Kap. 3.2.9)

## Auf viele Schultern verteilt und zunehmend erneuerbar – die Energieversorgung

Vor allem mit Blick auf häufigere und intensivere extreme Wetter- und Witterungsereignisse und deren Folgen gibt es kaum einen Energieträger, auf den Auswirkungen durch den Klimawandel nicht denkbar wären. Je nach Energieträger sind die möglichen Klimawandelfolgen dabei verschieden und erfordern unterschiedliche Anpassungsmaßnahmen. Um die Risiken für die Zuverlässigkeit und Qualität des Energieversorgungssystems insgesamt gering zu halten, sind eine Senkung des absoluten Endenergieverbrauchs und eine risikomindernde räumliche Verteilung von Energieinfrastrukturen wichtige Bausteine. Auch eine Energieversorgungsstruktur, die viele Energieträger und Kraftwerkstypen nutzt, trägt dazu bei, die Risiken künftiger Klimawandelfolgen auf viele Schultern zu verteilen und dadurch zu mindern.

Den Rahmen für den zukünftigen Energieträgermix in Deutschland spannen die energie- und klimaschutzpolitischen Vorgaben auf, die langfristig u. a. auf den Ersatz fossiler und nuklearer Energieträger durch

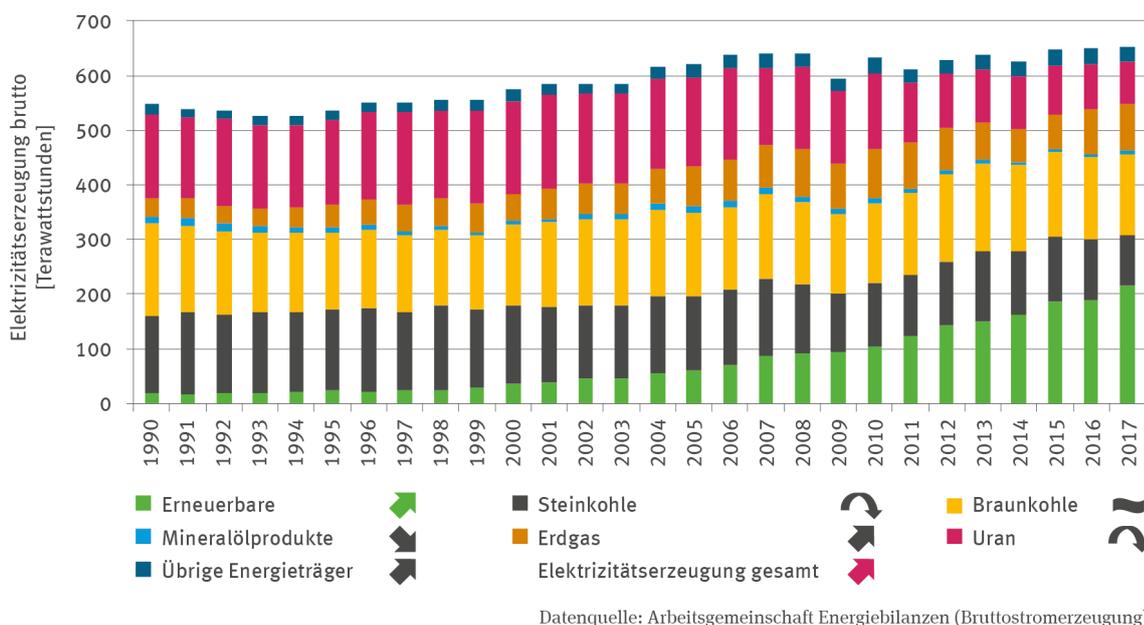
klimafreundliche erneuerbare Energien zielen. Wie der zukünftige Mix der verschiedenen Energieträger mit Blick auf die Auswirkungen des Klimawandels optimal gestaltet werden kann, ist bislang aber noch unklar.

Die energie- und klimaschutzpolitischen Weichenstellungen der vergangenen Jahre haben eine hohe Dynamik in der Energiewirtschaft ausgelöst und Bewegung in die Energieträgerstruktur gebracht. Das gilt besonders für die Stromerzeugung, bei der die erneuerbaren Energien sehr stark zunahmen. Rückgänge betrafen bei der Stromerzeugung vor allem Steinkohle und Kernenergie, während Gas und in den letzten Jahren zunehmend auch die mit hohen CO<sub>2</sub>-Emissionen verbundene Braunkohle an Bedeutung gewannen.

Beim Endenergieverbrauch für die Erzeugung von Wärme (Raumwärme, Warmwasser, Prozesswärme) und Kälte (Klimatisierung, Prozesskälte) stieg der Anteil der erneuerbaren Energien ebenfalls an. Der

### EW-R-1: Diversifizierung der Elektrizitätserzeugung

Die energiepolitischen Weichenstellungen der letzten Jahre haben bei einer nach wie vor zunehmenden Stromerzeugung eine stärker auf erneuerbare Energien gestützte Struktur hervorgebracht, die im Sinne einer Risikostreuung auch die Anpassung an den Klimawandel unterstützt. Klimaschutz- und Anpassungsziele lassen sich dabei vor allem durch eine stärkere Nutzung CO<sub>2</sub>-armer, insbesondere erneuerbarer Energieträger verbinden.



Transformationsprozess läuft jedoch langsamer und anders im Vergleich zur Stromerzeugung ab. So zeigten sich für Fernwärme und die CO<sub>2</sub>-intensive Kohle keine eindeutigen Trends, wohingegen der Einsatz von Mineralöl und von Gas, dem wichtigsten Energieträger für diesen Anwendungsbereich, signifikant abnahm. Im Ergebnis ist die Energieversorgung, vor allem mit Blick auf die Stromerzeugung, heute auf mehr Schultern verteilt als Anfang der 1990er Jahre.

Für die Bewertung der Entwicklungen hin zu einem umweltfreundlichen, zuverlässigen und wirtschaftlichen Energiesystem, das sowohl treibhausgasarm als auch klimaresilient ist, ist es wichtig, energieträgerspezifische Klimarisiken zu analysieren und diese in die Entwicklungsvorstellungen für eine zukünftige Energielandschaft zu integrieren. Ungeachtet dessen führte der Zuwachs der erneuerbaren Energieträger sowohl bei der Stromerzeugung als auch beim Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte zu einem stärker diversifizierten Energieträgermix, der durch die Vermeidung von Treibhausgasemissionen zum Klimaschutz beiträgt und der gleichzeitig durch eine breitere Streuung der Risiken die Anpassung an den Klimawandel unterstützt.

### Schnittstellen

BAU-R-3: Spezifischer Energieverbrauch der privaten Haushalte für Raumwärme

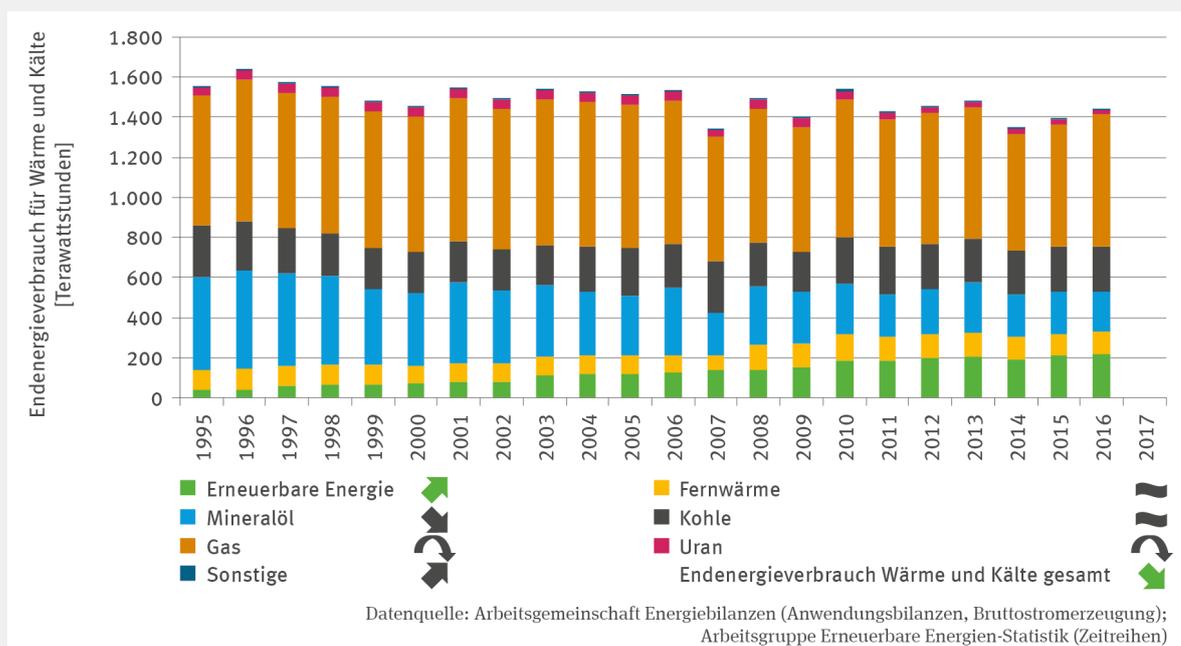
### Ziele

Erhöhung der Versorgungssicherheit durch sich ergänzende [...] diversifizierte Erzeugungsstrukturen, die erneuerbare Energien einschließen (DAS, Kap. 3.2.9)

Sichere [...] Versorgung der Allgemeinheit mit Elektrizität und Gas, die zunehmend auf erneuerbaren Energien beruht (EnWG, § 1 (1) 1)

## EW-R-2: Diversifizierung des Endenergieverbrauchs für Wärme und Kälte

Beim Endenergieverbrauch zur Wärme- und Kälterzeugung sind seit einigen Jahren stärkere insbesondere jahreszeitliche Schwankungen zu beobachten, wobei sich die einzelnen Energieträger sehr unterschiedlich entwickeln. Grundsätzlich positiv ist auch hier die breitere Risikostreuung durch den Aufwärtstrend der erneuerbaren Energieträger zu bewerten, der gleichzeitig zum Klimaschutz beiträgt.



## Flexibilisierung des Stromsystems

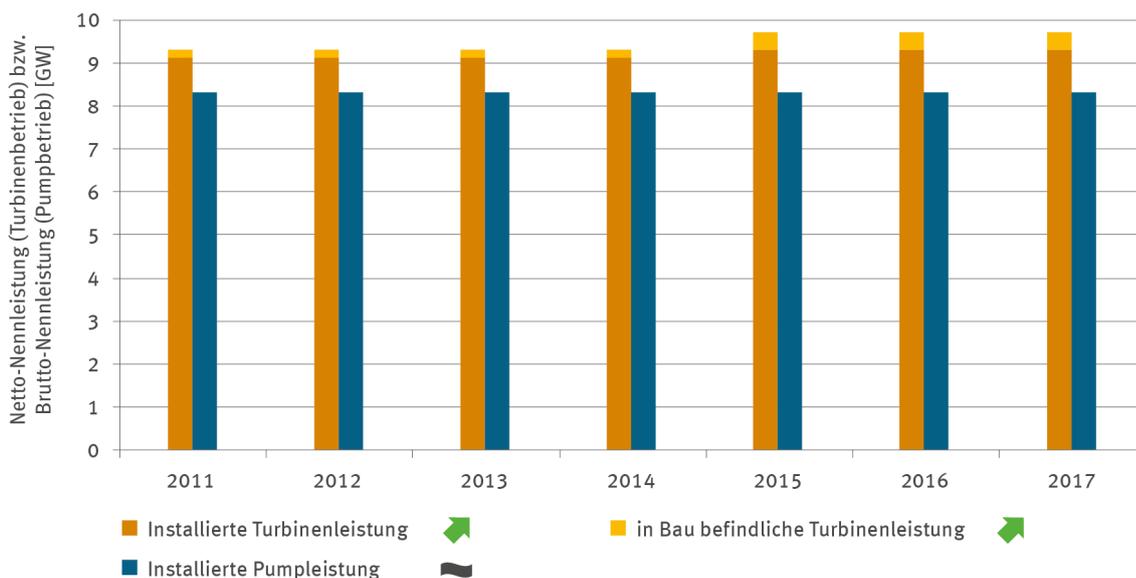
Während die konventionelle Stromerzeugung der Nachfrage folgte, muss das Stromsystem nun zunehmend die wetterabhängige Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energiequellen integrieren. Die erforderliche Flexibilisierung des Gesamtsystems wird über den Ausbau und die bessere Auslastung der Stromnetze sowie den Wettbewerb von flexiblen Erzeugern, Verbrauchern und Speichern am Strommarkt erreicht. Für einen großräumigen Ausgleich von Erzeugung und Nachfrage wird der Ausbau der Stromnetze vorangetrieben. Dadurch und durch die verstärkte Anbindung an die Netze der europäischen Nachbarn können die kostengünstigsten Erzeugungsorte erschlossen werden. Damit wird auch die Klimaanpassung des Stromversorgungssystems unterstützt, z. B. wenn es zukünftig zu stärkeren zeitlichen und regionalen Ungleichgewichten von Stromangebot und -nachfrage kommt. Treten Engpässe im Netzbetrieb auf, müssen die Netzbetreiber das jeweils effizienteste Mittel zur Behebung ergreifen und können dazu z. B. auf Erzeuger und Speicher (im Rahmen des Redispatch) und flexible Lasten (im Rahmen der Verordnung zu abschaltbaren Lasten) zugreifen.

Zur Deckung der Stromnachfrage treten flexible Erzeuger, Lasten und Speicher am Strommarkt in den Wettbewerb. Indem technologieoffen möglichst viele Anbieter am Strommarkt um die Deckung einer bestimmten Nachfrage oder ggf. die Verwertung von Überschüssen konkurrieren, verteilt sich auch das Risiko einzelner Ausfälle, und es kommt der jeweils kostengünstigste Anbieter zum Zug.

Speichertechnologien können durch den Strombezug, d. h. den zur Befüllung von Speichern notwendigen Stromverbrauch und die spätere Wiedereinspeisung in das Stromsystem dazu beitragen, eine zunehmende Fluktuation der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien abzufedern. Neben Batteriespeichern können z. B. Power-to-Gas-Anlagen (PtG) zur Flexibilität des Stromsystems beitragen. Der dort erzeugte Wasserstoff kann zu einem geringen Anteil, Methan zu einem hohen Anteil in das bereits vorhandene Erdgasnetz eingespeist und dort gespeichert werden. Die eingespeisten Gase können bei Bedarf auch rückverstromt werden. Im Vergleich zur Stromdirektnutzung ist PtG jedoch aufgrund der Wirkungsgradverluste teurer und erfordert einen erhöhten

### EW-R-3: Möglichkeiten der Stromspeicherung

Pumpspeicherkraftwerke sind derzeit die wichtigste Technologie, um in Deutschland Energie in großtechnischem Maßstab zu speichern. Für die Erzeugung von Strom ist in diesen Kraftwerken eine installierte Turbinenleistung von ca. 9 Gigawatt verfügbar; um die Speicher zu befüllen, sind Pumpen mit einer Gesamtleistung von ca. 8 Gigawatt installiert.



Datenquelle: Bundesnetzagentur (Monitoring gemäß § 35 EnWG, Kraftwerksliste)

Zubau von erneuerbaren Energien, der aber durch fehlende Flächen bzw. fehlende Akzeptanz in der Bevölkerung beschränkt wird.

Die Speichertechnologie mit der in Deutschland derzeit größten Leistung und Kapazität sind Pumpspeicherkraftwerke. Bei der Einspeicherung befördern Pumpen Wasser unter Einsatz elektrischer Energie von einem Unter- in ein Oberbecken. Zu einem späteren Zeitpunkt wird die Lageenergie des Wassers genutzt, um beim Ablassen des Wassers aus dem Ober- ins Unterbecken eine Turbine anzutreiben und in einem Generator Strom zu erzeugen. In Pumpspeicherkraftwerken in Deutschland steht eine installierte Turbinenleistung von 6,2 Gigawatt (GW) zur Verfügung, außerdem sind Kraftwerke in Luxemburg (1,1 GW) und Österreich (1,8 GW) an das deutsche Stromnetz angeschlossen. Die installierte Turbinenleistung kann theoretisch abgerufen werden, solange der Turbinenbetrieb in allen Kraftwerken durch Wasser aus den Oberbecken gespeist werden kann, d. h. für etwa drei bis vier Stunden. Danach erschöpfen sich die Kapazitäten der Speicher sukzessive, die Turbinenleistung steht nach und nach nicht mehr für die Stromerzeugung zur Verfügung.

Ein weiterer Ausbau von Pumpspeicherkraftwerken stößt in Deutschland aus verschiedenen Gründen an eng gesetzte Grenzen. In der Öffentlichkeit treffen solche Vorhaben oft auf massive Widerstände von Anwohnern und Erholungssuchenden, nicht zuletzt wegen der in aller Regel auftretenden erheblichen Eingriffe in Natur und Landschaft. Zudem liegen potenzielle Standorte von Pumpspeicherkraftwerken zumeist nicht dort, wo Überschüsse von erneuerbaren Energien erzeugt werden. Aber auch die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen haben sich verändert: Hohe Einspeisungen von Strom aus Photovoltaikanlagen in der Mittagszeit führen dazu, dass früher typische Mittagsspitzen des Strompreises an der Strombörse abflachen und damit die Erträge von Pumpspeicherkraftwerken sinken.

Vor diesem Hintergrund erscheint, neben einer weiteren Flexibilisierung von Stromerzeugung und -nachfrage, die technologische Weiterentwicklung von Speichertechnologien sinnvoll, um insbesondere notwendige Kostensenkungen zu erreichen. Derzeit werden verschiedene Technologien intensiv erforscht, und es wird an der Weiterentwicklung von Wasserstoff-, sonstigen Gas- sowie Batteriespeichern gearbeitet.



Pumpspeicherkraftwerke wie hier am Edersee können sowohl verbrauchs- als auch erzeugungsseitig zur Steuerung des Stromversorgungssystems beitragen.

(Foto: © parallel\_dream / stock.adobe.com)

## Ziele

Mittelfristige Erschließung der verfügbaren deutschen Potenziale für Pumpspeicherkraftwerke im Rahmen der technischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten; Intensivierung der Forschung zu neuen Speichertechnologien und Unterstützung bis zur Marktreife (Energiekonzept 2010, S. 21)

## Wasserknappheit als Problem für konventionelle thermische Kraftwerke

In heißen und trockenen Sommern kann die Versorgung mit Frischwasser für Kühlzwecke ein Flaschenhals für die Stromerzeugung in Wärmekraftwerken sein, die von der Verfügbarkeit von Kühlwasser abhängig sind. Thermische Kraftwerke tragen jedoch im Zuge der Energiewende einen geringeren Anteil zur Stromerzeugung bei, daher wird auch der Kühlwasserbedarf im Zuge der Energiewende künftig eine abnehmende Rolle spielen.

Bislang ist die Energiewirtschaft noch immer die bei weitem größte Wassernutzerin hierzulande. Mehr als die Hälfte des insgesamt zur Nutzung entnommenen Grund und Oberflächenwassers werden in Deutschland in der Energieversorgung vor allem zu Kühlzwecken in Wärmekraftwerken eingesetzt.

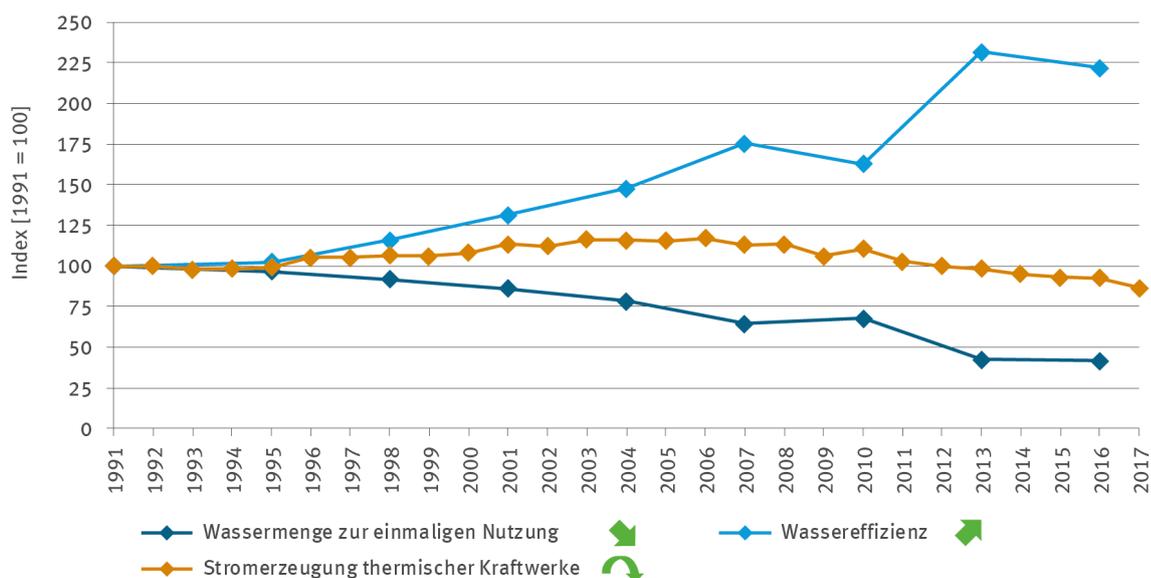
Knapp 95 % des von der Energieversorgung zu Kühlzwecken eingesetzten Wasser wird in Durchlaufkühlsystemen genutzt. Durchlaufkühlsysteme galten als wirtschaftlich effizienteste und daher auch die häufigste Art der

Kraftwerkskühlung in Deutschland. Sie sind gleichzeitig aber auch die wasserintensivsten Kühlsysteme. Das Kühlwasser wird einem Wasserkörper entnommen und einmalig zur Kühlung des Dampfkreislaufs im Kraftwerk genutzt. Anschließend wird das erwärmte Wasser dem Wasserkörper wieder zugeführt. Abhängig vom Standort können dabei Kühltürme zum Einsatz kommen, um die Temperatur des Kühlwassers zu verringern und eine unerwünschte bzw. unzulässige Erwärmung der Flüsse, in die das Wasser eingeleitet wird, zu vermeiden.

Um Mangelsituationen vorzubeugen, kann der Kühlwasserbedarf für thermische Kraftwerke u. a. mithilfe technischer Maßnahmen verringert werden. Kreislaufkühlsysteme können den Wasserbedarf von thermischen Kraftwerken deutlich reduzieren. Die Kühlung kann dabei in einem offenen System (Nasskühlung) oder geschlossenen System (Trockenkühlung) erfolgen. Bei offenen Systemen ist eine Wasserentnahme aus Gewässern nur für den Ausgleich des Verdunstungsverlusts notwendig

### EW-R-4: Wassereffizienz thermischer Kraftwerke

Der Einsatz von Frischwasser zu Kühlzwecken ging durch Effizienzsteigerungen und Maßnahmen wie Mehrfach bzw. Kreislaufnutzungen signifikant zurück und lag 2010 um etwa ein Drittel niedriger als 1991. Insgesamt wird der Kühlwasserbedarf thermischer Kraftwerke im Zuge der Energiewende künftig eine abnehmende Rolle spielen.



Datenquelle: StBA (Umweltstatistik, Monatsbericht über die Elektrizitätsversorgung)

und beträgt im Vergleich zur Durchlaufkühlung nur etwa 2 bis 3,5 %. Bei der Trockenkühlung wird die Wärme über einen Wärmetauscher durch Konvektion an die Luft abgegeben. Ein Verdunstungsverlust findet nicht statt, d. h. der Wasserbedarf wird auf ein Minimum reduziert. Die beiden Systeme können auch in sogenannten Hybridanlagen kombiniert werden.

Neben dem zunehmenden Einsatz wassersparender Technologien spielt die technische Optimierung der Wärmekraftwerke eine wichtige Rolle für die Wassereffizienz. In den vergangenen Jahrzehnten konnten die Wirkungsgrade von Kraftwerken mit fossilen Energieträgern beträchtlich gesteigert werden. Als Folge dieser Entwicklungen nahm die Wassereffizienz kontinuierlich zu. Gleichzeitig tragen Kernkraftwerke und Steinkohlekraftwerke einen geringeren Anteil zur Stromerzeugung bei, sodass derzeit noch nicht vollständig absehbar ist, welche Bedeutung zukünftig einer wassersparenden Kühlwassernutzung zukommt.



Wassereffiziente Kühlsysteme sind unabhängiger von Frischwasser und weniger empfindlich gegenüber Trockenperioden. (Foto: © fototrm12 / stock.adobe.com)

## Schnittstellen

EW-I-3: Umgebungstemperaturbedingte Stromminderproduktion thermischer Kraftwerke  
WW-R-1: Wassernutzungsindex  
WW-I-4: Niedrigwasser

## Ziele

Erwägen von technischen Methoden und Verbesserungen zur effizienteren Kühlung von Kraftwerken nach dem Prinzip der Verhältnismäßigkeit (DAS, Kap. 3.2.3)

Ermittlung und Bewertung von möglichen Versorgungsrisiken und Eruierung von Maßnahmen zu ihrer Reduzierung (DAS, Kap. 3.2.9)



© phogura / stock.adobe.com

# Verkehr, Verkehrsinfrastruktur

Wetter- und Witterungsextreme haben in den vergangenen Jahren immer wieder größere Verkehrsstörungen verursacht. Diese Ereignisse werden zunehmend mit den sich ändernden klimatischen Bedingungen in Verbindung gebracht und zeigen, dass mögliche Klimawandelfolgen die Verkehrsträger Straße und Schiene sowie die Binnen- und Seeschifffahrt gleichermaßen betreffen werden.

Wenn die Bahn- und kommunale Verkehrsunternehmen auf bestimmten Strecken und in bestimmten Stadtgebieten den Nah- und Fernverkehr einstellen müssen, hat dies oft flächendeckende Auswirkungen. So betraf es im Herbst 2017, ausgelöst durch Sturmtief Xavier, den Nahverkehr von Berlin und Hamburg sowie den Bahnverkehr von Schleswig-Holstein, Niedersachsen, Bremen, Teilen Mecklenburg-Vorpommerns und die wichtigen Fernverkehrsstrecken Berlin-Hamburg sowie Berlin-Hannover. Auf Autobahnen kommt es immer wieder zu Streckensperrungen, die durch Hitzeschäden wegen sogenannter Blow-Ups verursacht werden. Dies geschieht an älteren, in Betonbauweise ausgeführten Autobahnen, bei denen sich die Betonplatten ausdehnen und infolge der entstehenden Spannungen ruckartig anheben. Auch Überschwemmungen machen Streckensperrungen notwendig, wie in Folge der Hochwasser an Donau und Elbe im Jahr 2013, als größere Teilstücke der Autobahnen A 3 und A 8 in Bayern wegen Überschwemmung gesperrt werden mussten. Im Spätsommer 2018 war die Binnenschifffahrt am Rhein starken Einschränkungen infolge von Niedrigwasser unterworfen.

Bislang bestehen noch größere Unsicherheiten, welche Auswirkungen des Klimawandels für den Verkehrsbereich besonders relevant sind. Aus diesem Grund setzen sich verschiedene Bundesbehörden in eigens aufgelegten Forschungsprogrammen mit den möglichen Klimawandelfolgen für den Verkehrssektor auseinander und untersuchen mögliche Handlungsoptionen. Ein Ziel der Untersuchungen ist es, zu klären, welche Maßnahmen vordringlich sind, damit das Verkehrssystem auch zukünftig den Anforderungen einer mobilen Gesellschaft gerecht werden kann.

## Auswirkungen des Klimawandels:

Hoch- und Niedrigwasser – Probleme für die Rheinschifffahrt (VE-I-1, VE-I-2) .....	184
Starkregen – kurz, aber heftig (VE-I-3) .....	186
Sicher unterwegs bei Schnee und Eis, Regen und Hitze (VE-I-4) .....	188
Stürme und Starkregen – viel Arbeit für den Straßenbetriebsdienst (VE-I-5) .....	190

## Hoch- und Niedrigwasser – Probleme für die Rheinschifffahrt

Das meteorologisch außergewöhnliche Jahr 2018 zeigte, wie abhängig die Rheinschifffahrt von Wetter und Witterung ist. Im warmen Januar fielen größere Niederschlagsmengen vor allem als Regen und ließ Bäche und Flüsse unmittelbar anschwellen. Am Rhein überschritten die Wasserstände die geltenden Hochwassermarken, die Schifffahrt musste auf allen Stromabschnitten zeitweilig eingestellt werden. Im weiteren Jahresverlauf blieben die Temperaturen hoch, die Niederschläge blieben weitestgehend aus. Das führte am Rhein zu einer ungewöhnlich langen Niedrigwasserphase im Spätsommer und Herbst, die mit Abladebeschränkungen in der Binnenschifffahrt einherging. Die Auswirkungen konnten die Verbraucherinnen und Verbraucher an den steigenden Benzinpreisen mitverfolgen. Da die Tanklastschiffe den Rhein nicht mehr voll abgeladen befahren konnten und zudem in Bayern eine Raffinerie infolge eines Großbrandes längerfristig ausfiel, wurde in Süddeutschland das Benzin an den Tankstellen knapp und teurer. Insgesamt transportierten Deutschlands Binnenschiffe im Jahr 2018

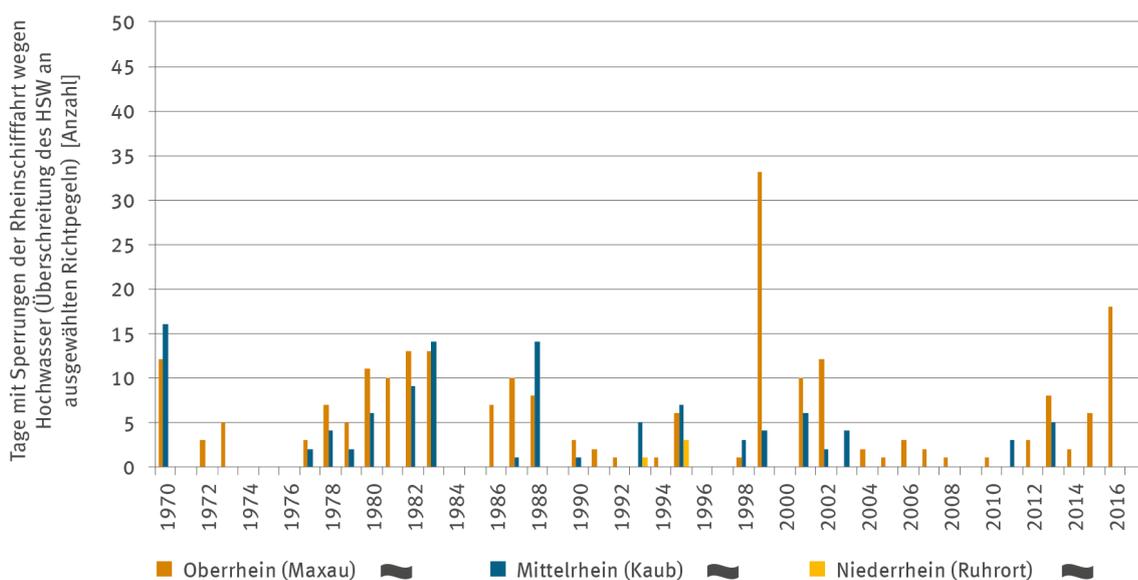
25 Millionen Tonnen Güter weniger als im Vorjahr, das entspricht einem Rückgang um 11,1 %.

Der Rhein ist die wichtigste Binnenwasserstraße in Deutschland. Er ermöglicht einen kostengünstigen und umweltfreundlichen Transport von Waren, den Im- und Export über die Nordseehäfen in Belgien und den Niederlanden und verbindet wichtige industrielle Zentren in Deutschland.<sup>55</sup> Über 80 % der Güterbeförderung der Binnenschifffahrt in Deutschland finden im Rheingebiet statt. Wenn Hoch- und vor allem Niedrigwasser die Rheinschifffahrt einschränken, kann dies auf einzelne Unternehmen oder ganze Produktions- und Lieferketten mitunter erhebliche Auswirkungen haben. Diese können von erhöhten Transportkosten bis zu Produktionsausfällen in Unternehmen mit Just-in-Time-Produktion reichen.

Die Regeln für den Schiffsverkehr auf dem Rhein stehen in der Rheinschifffahrtspolizeiverordnung. Danach müssen die Schiffe unter anderem die Geschwindigkeit

### VE-I-1: Hochwassersperrungen am Rhein

In den vergangenen rund 30 Jahren beeinträchtigten Hochwassersperrungen die Rheinschifffahrt vor allem auf dem Oberrhein. In den Jahren 1999 und 2016 konnten Binnenschiffe den Rhein wegen Hochwasser über einen längeren Zeitraum nicht befahren.



Datenquelle: Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (Sperrungen der Schifffahrt)

verringern und mit einer Sprechfunkanlage ausgerüstet sein, wenn der Wasserstand die Hochwassermarke I überschreitet. Wird der Höchste Schifffahrtswasserstand (HSW) überschritten, sind die betroffenen Abschnitte für die Schifffahrt zu sperren.

In der Vergangenheit kam es immer wieder zu längeren Sperrungen, besonders prägnant im Spätwinter und Frühjahr des Jahres 1999, als der Oberrhein infolge zweier Hochwasser über mehrere Wochen nicht für die Schifffahrt freigegeben war. Zuletzt erfolgten im Juni 2016 durch langanhaltende und starke Regenfälle umfangreichere Sperrungen am Oberrhein. An Mittel- und Niederrhein kam es vor allem in den Jahren 2001, 2003, 2011 und 2013 zu kürzeren Sperrungen, die zumeist aber nach weniger als einer Woche wieder aufgehoben werden konnten. Signifikante Trends sind zu Hochwassersperrungen auf dem Rhein bislang nicht zu verzeichnen.

Unterschreiten die Wasserstände einen flussgebietsbezogenen Schwellenwert, am Rhein den gleichwertigen Wasserstand, ist die Binnenschifffahrt in aller Regel noch möglich. Sie unterliegt dann aber Einschränkungen, die von der Abladetiefe der Binnenschiffe abhängen. Am

### Schnittstellen

- WW-I-3: Hochwasser
- WW-I-4: Niedrigwasser

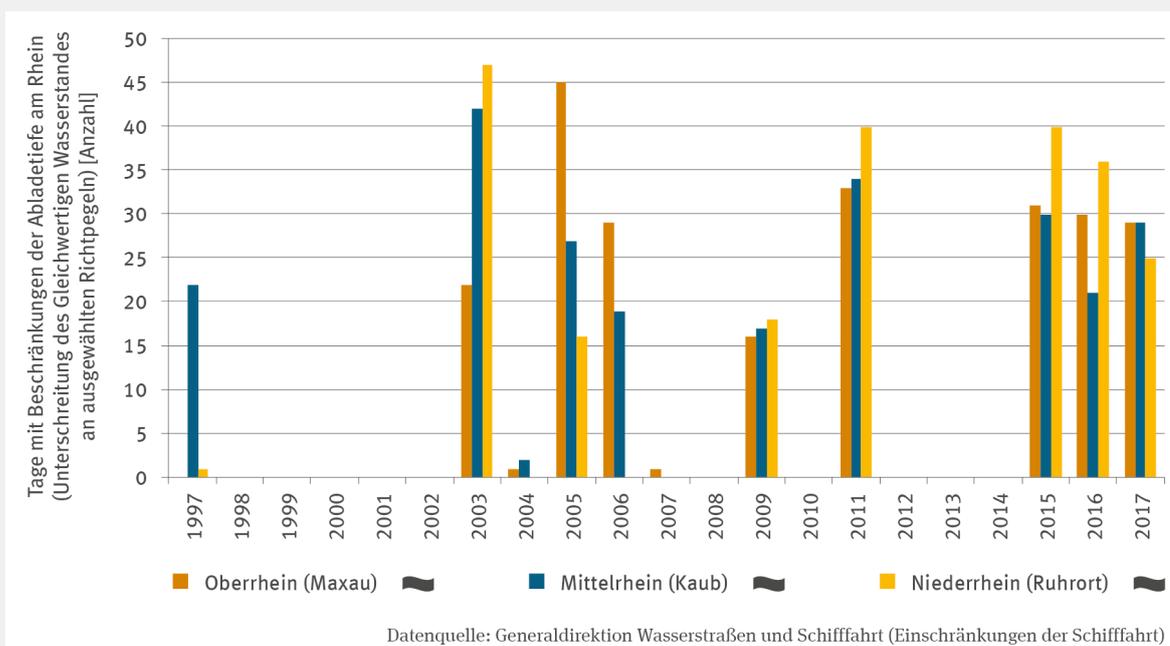
### Ziele

- Verringerung der Bandbreite von Unsicherheiten bezüglich der Entwicklung des Wasserangebots und Ableitung konkreter Auswirkungen für Wasserstraßeninfrastruktur und Schifffahrt (DAS, Kap. 3.2.11)
- Vermeidung von Hochwasser durch die ausreichende, dezentrale Niederschlagversickerung im gesamten Einzugsbereich der Flüsse (DAS, Kap. 3.2.1)

Rhein treten solche Niedrigwasserphasen in der Regel im Spätsommer von August bis Oktober auf. Immer häufiger dauern die Niedrigwasserphasen aber auch bis in den November oder Dezember. So war es in den Jahren 2011, 2015 und zuletzt 2018. Statistisch signifikante Trends lassen sich bisher nicht feststellen.

## VE-I-2:Niedrigwassereinschränkungen am Rhein

Ausgedehnte Niedrigwasserphasen haben in den zurückliegenden Jahren die Schifffahrt auf dem Ober-, Mittel- und Niederrhein immer wieder deutlich eingeschränkt. Ursache hierfür war in aller Regel sommerliche Trockenheit und Hitze. Die Auswirkungen waren teilweise bis in den Dezember hinein zu spüren.



## Starkregen – kurz, aber heftig

Auch wenn viele das Jahr 2018 vor allem wegen der lang andauernden Hitze und Trockenheit in Erinnerung behalten werden – in etlichen Teilen Deutschlands gab es auch heftige Unwetter, bei denen innerhalb kurzer Zeit große Regenmengen niedergingen und teils massive Schäden und Behinderungen verursachten. Betroffen war vielerorts auch der Straßenverkehr. Ende Mai beispielsweise kam es in einem Band von Nordrhein-Westfalen bis nach Sachsen zu Straßensperrungen, weil Straßen überschwemmt oder von Schlammmassen bedeckt waren.

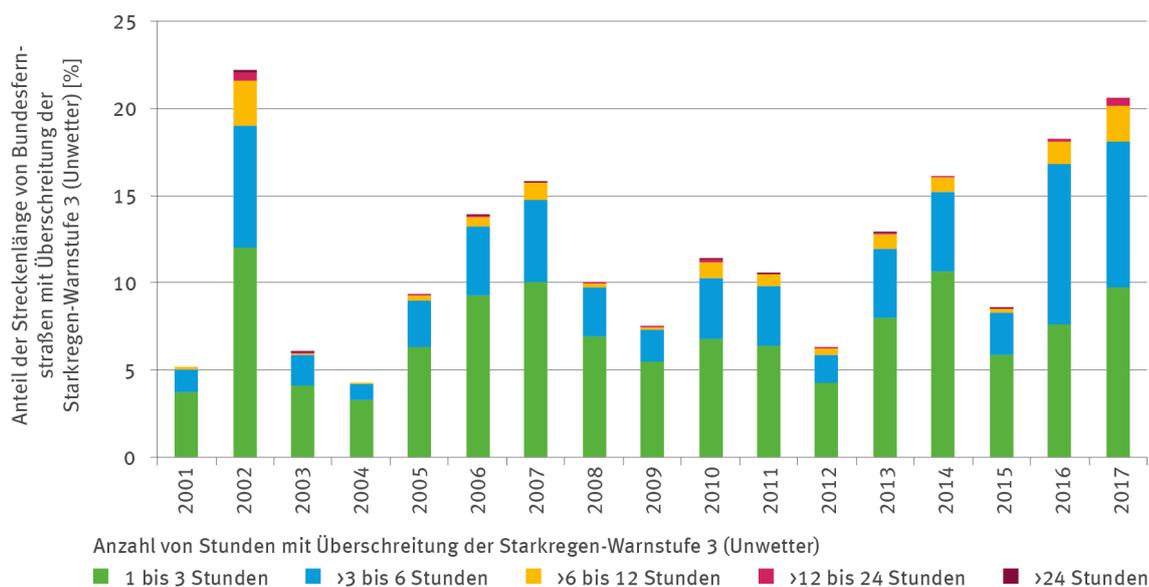
Ursache dieser Sperrungen waren sogenannte Starkregen. Das sind intensive Regenereignisse, die innerhalb kurzer Zeit zumeist in einem lokal begrenzten Gebiet abregnen. Häufig treten sie in den Sommermonaten in Verbindung mit heftigen Gewittern auf. Man spricht dann von konvektiven Starkregenereignissen. Sie entstehen, wenn sich bodennahe, feuchte Luftmassen schnell erwärmen und in der Atmosphäre mit starkem Auftrieb nach oben steigen. In den kühleren höheren Luftschichten kondensiert und gefriert der in der Luft enthaltene Wasserdampf. Bei der richtigen Kombination von Luftströmungen, Temperatur

und Luftfeuchtigkeit können sich innerhalb weniger Stunden Konvektionsgewitter und Starkregen aufbauen.

Die kurzen und heftigen Regenfälle können schwerwiegende Folgen haben. Welche dies sind und welche Schäden sie auslösen, hängt neben der Intensität und Dauer der Regenfälle auch vom Ort des Ereignisses ab. In ebenem Gelände kann das viele Wasser weder schnell abfließen, noch kann der Boden es auf Dauer aufnehmen. Die Folge können mitunter lange andauernde Überflutungen von Straßen in Muldenlage und von Unterführungen sein. Dort sammelt sich das Wasser, das von Entwässerungsanlagen nicht mehr aufgenommen und abgeleitet werden kann. In Mittelgebirgsregionen oder im Alpenraum fließt das Wasser dagegen in der Regel an der Oberfläche und – je nach Gefälle – sehr schnell ab. Bei einem sehr heftigen Starkregen können kleinere Bäche hier zu reißenden Flüssen werden, wenn schnell ansteigende Hochwasserwellen sich durch ein enges Bachbett zwingen. Die Ausläufer dieser Sturzfluten erreichen immer wieder auch Gegenden, die vom Starkregen gar nicht selbst betroffen waren. Die abfließenden Wassermassen

### VE-I-3: Starkregen und Straße

Starkregen können für den Straßenverkehr schwerwiegende Folgen haben. Jedes Jahr sind in Deutschland zwischen 5 bis über 20 % der Bundesfernstraßen von unwetterartigen Starkregen der Warnstufe 3 betroffen. Der gesamte zeitliche Umfang dieser Ereignisse beläuft sich für die meisten betroffenen Straßenabschnitte auf 1 bis 6 Stunden je Jahr.



Datenquelle: Deutscher Wetterdienst (RADOLAN-Klimatologie), Bundesanstalt für Straßenwesen (BISStra)

oder der hohe Wasserdruck können in extremen Fällen Infrastrukturen schädigen.<sup>56</sup>

Häufiger sind Fälle, in denen schlechte Straßen- und Sichtverhältnisse die Unfallgefahr erhöhen, etwa bei Aquaplaning, oder es kommt zu Behinderungen des Straßenverkehrs, beispielsweise wenn Treibgut an Nadelöhren wie Brücken oder Unterführungen zu Verklausungen führt und Verkehrsflächen überstaut werden. Behinderungen können auch auftreten, wenn Hänge und Böschungen nach starken Regenfällen ins Rutschen kommen oder unterspült werden und die Straßen dadurch verschmutzt oder beschädigt werden.

In den Jahren 2001 bis 2017 sind Starkregen praktisch in ganz Deutschland beobachtet worden und damit kein Phänomen der Mittelgebirgs- und Gebirgsregionen allein. Dies ist das Ergebnis einer Auswertung von Radardaten<sup>57</sup> durch den DWD. Die zeitliche Verlängerung dieser Datenerfassung wird in Zukunft auch Trendanalysen zur Überschreitungshäufigkeit der vom DWD verwendeten Warnstufen ermöglichen (s. S. 25).

Klimaforschende erwarten, dass die Häufigkeit von Starkregen und deren Intensität künftig allgemein zunehmen werden. Ein Grund dafür ist, dass die Luft bei höheren Temperaturen mehr Wasser aufnehmen kann – rund 7 % mehr Wasser bei einer Temperaturerhöhung um 1 Kelvin. Des Weiteren führen die sich ändernden meteorologischen Verhältnisse zu einer intensivierten Wolken- und Niederschlagsbildung.<sup>58</sup> Für Deutschland wird insbesondere für die zweite Hälfte des 21. Jahrhunderts bei starken regionalen und jahreszeitlichen Unterschieden davon ausgegangen, dass noch relativ selten auftretende Tagesmengen des Niederschlags zukünftig häufiger vorkommen werden. Am vergleichsweise stärksten soll die Zunahme bei den heute noch seltenen Ereignissen ausfallen.<sup>59</sup> Treten diese Entwicklungen ein, wird die Gefahr von Störungen des Straßenverkehrs und, im extremeren Fall, von Schäden an Straßen und Infrastrukturen steigen. Öffentlich zugängliche Daten, mit denen sich der Umfang solcher Störungen und Schäden zuverlässig und ursachenbezogen beobachten ließe, gibt es bisher nicht. Der hier dargestellte Indikator nimmt daher „nur“ in den Blick, in welchem zeitlichen Umfang das Netz der Bundesfernstraßen von unwetterartigen Starkregenfällen, die mithilfe von Radardaten räumlich konkret ermittelt wurden, betroffen war.

Dass es durch alle mit dem Indikator erfassten Starkregen zu Schäden an Infrastrukturen kommt, ist eher unwahrscheinlich. Der DWD warnt vor unwetterartigem Starkregen, wenn Regenmengen über 25 Liter je Quadratmeter ( $l/m^2$ ) in 1 Stunde oder über 35  $l/m^2$  in 6 Stunden



Starkregen gefährdet die Verkehrssicherheit und kann Straßen unpassierbar machen.  
(Foto: © Animaflora PicsStock/ stock.adobe.com)

erwartet werden. Werden diese Warnwerte nur geringfügig überschritten, sind die Starkregen in der Regel von einer Intensität, die noch nicht zu Schäden an Straßeninfrastrukturen führt. Aber: Der DWD kennzeichnet mit der Warnstufe 3 „Unwetter“ Wettersituationen, die als sehr gefährlich eingestuft werden, und er empfiehlt, Aufenthalte im Freien zu vermeiden. Wer schon einmal von einem Starkregenguss überrascht wurde, egal ob zu Fuß, auf dem Rad oder im Auto, kann das sicher gut nachvollziehen.

## Schnittstellen

VE-I-4: Witterungsbedingte Verkehrsunfälle  
BAU-I-4: Starkregen im Siedlungsbereich

## Ziele

Der Bund wird prüfen, ob und ggf. inwieweit [...] die Dimensionierung der Entwässerungsinfrastruktur an ergiebigere Niederschläge angepasst werden sollte. Der Bund [...] wird die einschlägigen Vorschriften zur Dimensionierung der Entwässerungsinfrastruktur erforderlichenfalls anpassen. (DAS, Kap. 3.2.11)

Das Ziel eines gemeinsamen Starkregenisikomanagements ist die Verringerung des Risikos starkregen- und sturzflutbedingter nachteiliger Folgen auf die menschliche Gesundheit, Gebäude und Infrastruktur, die Umwelt, das Kulturerbe und die wirtschaftlichen Tätigkeiten. (LAWA-Strategie Starkregenisikomanagement, Kap. 1)

## Sicher unterwegs bei Schnee und Eis, Regen und Hitze

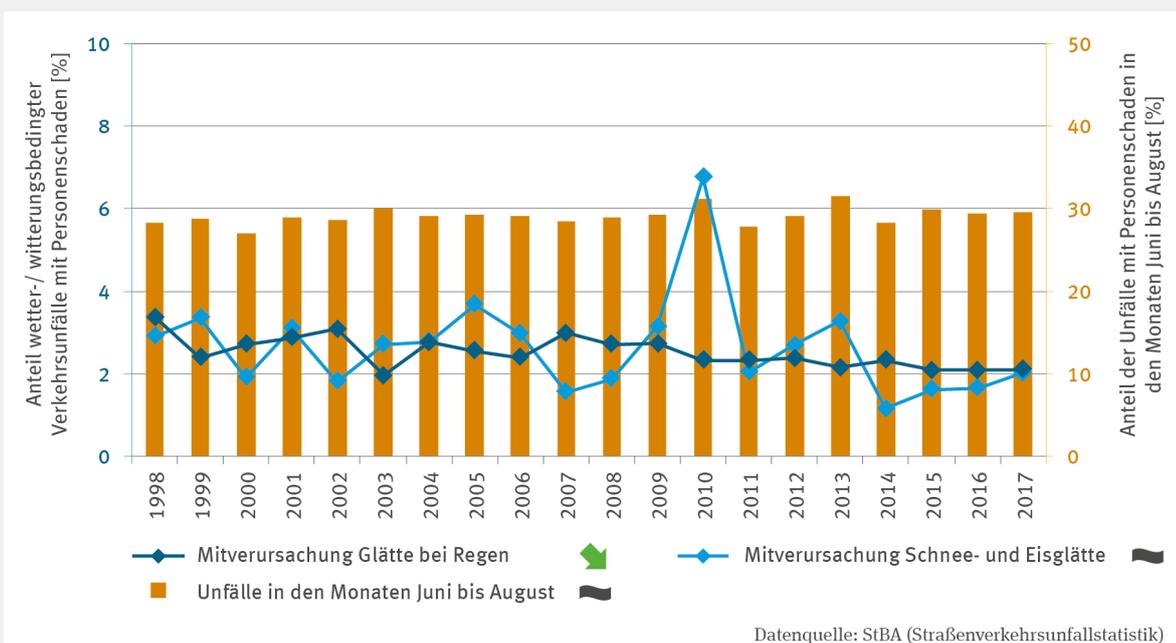
Die Verkehrssicherheit und das Unfallgeschehen auf Deutschlands Straßen hängen von zahlreichen Einflussfaktoren ab. Dazu zählen neben der vorhandenen Infrastruktur, der Dichte und der Struktur des Verkehrs und dem Verhalten der Verkehrsteilnehmenden auch Wetter und Witterung. Regen und Schnee sowie Eis und Hagel beeinflussen die Straßenverhältnisse und sorgen für widrige Fahrbahnbedingungen wie etwa Aquaplaning oder Glätte, auch auf Geh- und Radwegen. Niederschlag und Nebel trüben die Sichtverhältnisse. Die Unfallgefahr ist daher in den Herbst- und Wintermonaten in der Regel höher als im Frühjahr und Sommer. Es kommt insgesamt zu mehr Unfällen. Da die Verkehrsteilnehmenden ihre Geschwindigkeit aber den schlechten Bedingungen anpassen, sind Unfälle mit Personenschaden dabei im Verhältnis seltener als in den warmen Monaten. Dazu trägt auch die durch das schlechte Wetter beeinflusste Verkehrsmittelwahl bei: Die Menschen nutzen bevorzugt den Pkw oder öffentliche Verkehrsmittel, sodass sich weniger ungeschützte und besonders verletzbare Teilnehmerinnen und Teilnehmer im Straßenverkehr bewegen.

In der warmen Jahreszeit sind gegenläufige Verhaltensmuster zu beobachten. Die Menschen nutzen die angenehmen Temperaturen und die längeren Tage. Sie sind mehr im öffentlichen Raum unterwegs und erledigen mehr Wege zu Fuß oder mit dem motorisierten oder nicht-motorisierten Zweirad. Das Verkehrsgeschehen wird insgesamt komplexer und der Anteil schwächerer Verkehrsteilnehmerinnen und -teilnehmer ist höher. Zudem fahren motorisierte Verkehrsteilnehmende bei guter und trockener Witterung schneller als bei rutschiger oder nasser Fahrbahn und provozieren damit auch folgenschwerere Unfälle. Obwohl also in den Sommermonaten die Unfallzahlen im Jahresvergleich eher durchschnittlich sind, ist der Anteil von Unfällen mit Personenschäden, bei denen Personen verletzt oder getötet werden, in diesem Zeitraum besonders hoch.

Das Unfallgeschehen im Jahr 2010 zeigt – einer Auswertung des Statistischen Bundesamts zufolge<sup>60</sup> – beispielhaft, in welcher Weise Wetter und Witterung die Verkehrssicherheit beeinflussen können. In den Monaten Januar, Februar und Dezember herrschten jeweils stark

### VE-I-4: Witterungsbedingte Verkehrsunfälle

Stark winterliche Straßenverhältnisse sowohl in Januar und Februar als auch im Dezember waren im Jahr 2010 die Ursache für eine außergewöhnlich hohe Zahl von Unfällen, die durch Schnee und Eisglätte verursacht wurden. Glätte bei Regen nimmt als mitverursachender Faktor von Unfällen signifikant ab. Für die weiteren Zeitreihen zeichnen sich bislang keine signifikanten Trends ab.



winterliche Straßenverhältnisse. Schnee- und Eisglätte waren Mitverursacher von annähernd doppelt so vielen Unfällen mit Personenschaden wie in den anderen Jahren des betrachteten Zeitraums. Gleichwohl lag der relative Anteil der Unfälle mit Personenschaden in diesen Monaten auf dem niedrigsten Stand seit 1991. Insgesamt hatten sich also viel mehr Unfälle ereignet, wegen einer grundsätzlich vorsichtigen Fahrweise blieb es aber in vielen Fällen bei Sachschäden. Demgegenüber war der Anteil der Unfälle mit Personenschaden in den Sommermonaten in den Jahren 2010 und 2013 überdurchschnittlich hoch. Für das Jahr 2010 kann eine „Teilschuld“ daran der Witterung zugeschrieben werden, denn der Juni und der Juli waren in diesem Jahr insgesamt sehr sonnig und die ersten Juliwochen zudem sehr heiß. Im Jahr 2013 haben sich im Vergleich der letzten zehn Jahre insgesamt wenige Unfälle mit Personenschaden ereignet. Der relativ heiße Juli 2013 war allerdings der unfallträchtigste Juli im betrachteten Zeitraum und ist der Grund für den hohen Anteil an Unfällen in den Sommermonaten in diesem Jahr.

In Anbetracht der Einflüsse, die Wetter und Witterung auf das Unfallgeschehen haben, wird diskutiert, dass der Klimawandel möglicherweise relevante Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit und das Unfallgeschehen hat. Für die winterlichen Gefahren wird dabei für die Zukunft allgemein von einer Abnahme ausgegangen, während es in Frühjahr, Sommer und Herbst u. a. infolge größerer Hitze und vermehrter Starkregen häufiger zu Unfällen kommen könnte. Regional sind in den vergangenen Jahren auch Staub- und Sandstürme als Unfallverursacher in Erscheinung getreten. Bei zunehmender sommerlicher Bodentrockenheit könnten diese künftig häufiger auftreten. Bislang zeichnen sich in den abgebildeten Zeitreihen bei den Verkehrsunfällen mit einer Mitverursachung durch Schnee- und Eisglätte sowie bei den Verkehrsunfällen in den Sommermonaten keine signifikanten Trends ab. Die Unfälle mit einer Mitverursachung durch Glätte bei Regen hingegen nehmen seit 1998 mit einem signifikanten Trend ab.

Es liegt in der Verantwortung der Verkehrsteilnehmenden, sich über bestehende Gefahren zu informieren, Warnhinweise zu beachten und sich in extremen Situationen richtig und angemessen zu verhalten. Sie sind aber grundsätzlich darauf angewiesen, dass Verkehrsinfrastrukturen auch unter extremen Bedingungen funktionieren und keine witterungsbedingten Schäden entstehen. Zu den Aufgaben von Bund und Ländern gehört es, die Verkehrsinfrastrukturen an die sich ändernden klimatischen Verhältnisse anzupassen. Um hierfür die notwendigen Grundlagen zu schaffen, wurde an der Bundesanstalt



Starkregen verstärkt die Aquaplaninggefahr und steigert das Unfallrisiko. (Foto: © chokchaipoo / stock.adobe.com)

für Straßenwesen das Forschungsprogramm „Adaptation der Straßenverkehrsinfrastruktur an den Klimawandel (AdSVIS)<sup>61</sup>“ aufgelegt. In diesem Rahmen wurde beispielsweise das Projekt „RIVA – Risikoanalyse wichtiger Verkehrsachsen des Bundesfernstraßennetzes im Kontext des Klimawandels“ durchgeführt, das zum Ziel hatte, eine Methodik zu entwickeln, um Klimarisiken für das Bundesfernstraßennetz künftig einfacher ermitteln zu können. Weitere Forschungsprojekte beschäftigen sich unter anderem mit der Entwicklung geeigneter Indikatoren für das RIVA-Tool etwa zum Thema Hitze, mit der Kartierung potenzieller Überflutungsflächen oder mit der Resilienz der Straßenverkehrsinfrastruktur.

## Schnittstellen

GE-I-1: Hitzebelastung

VE-I-3: Starkregen und Straße

VE-I-5: Beeinträchtigung von Straßen durch Witterungsextreme und Katastrophenfälle

## Ziele

Monitoring der gegenläufigen Auswirkungen im Winter möglicherweise abnehmender und im Sommer möglicherweise zunehmender Unfallgefahren (DAS, Kap. 3.2.11)

## Stürme und Starkregen – viel Arbeit für den Straßenbetriebsdienst

Im Frühsommer 2016 gab es für den Straßenbetriebsdienst in Rheinland-Pfalz viel zu tun. Ende Mai und Anfang Juni brachten die unter dem Namen „Tief Mitteleuropa“ zusammengefassten Tiefdruckgebiete Elvira, Friederike und Gisela Sturm und Gewitter mit Starkregen, die lokal Sturzfluten und Rekord-Hochwasser auslösten. Ende Juni wiederholte sich das Geschehen. Bei diesen Ereignissen kam es zu Überschwemmungen, die Autos fort- und Straßen unterspülten und weitere Infrastrukturen, beispielsweise Regenrückhaltebecken, beschädigten.

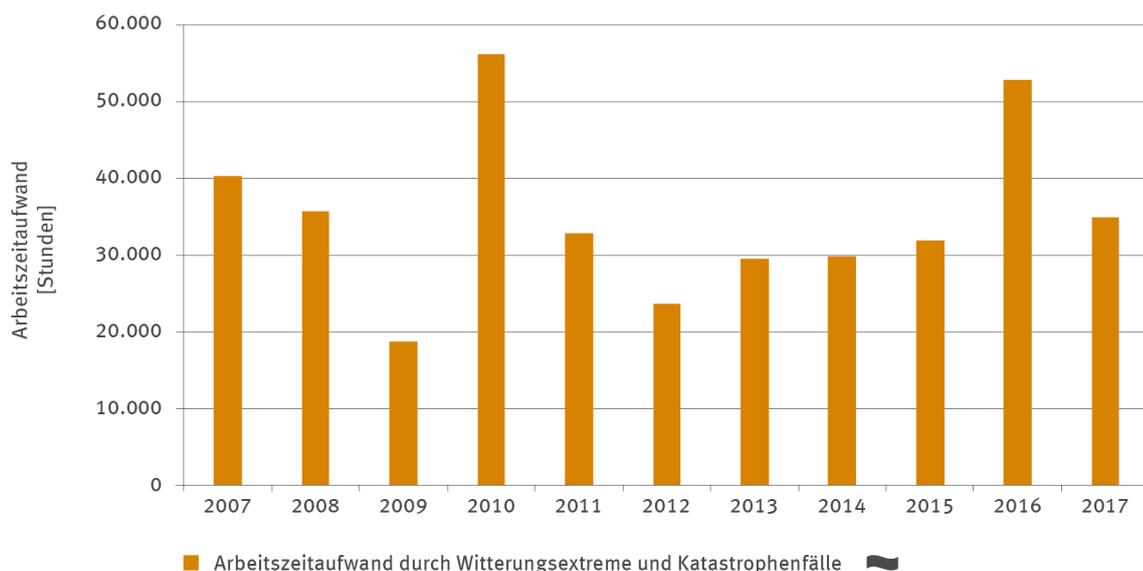
Das ganze Ausmaß der Schäden an Straßen und Infrastrukturen wird oft erst sichtbar, wenn ein Unwetter abgezogen oder das Hochwasser abgelaufen ist. Es ist Aufgabe der Straßenbauverwaltungen, diese Schäden zu beheben. Größere Sanierungsarbeiten an Bauwerken oder Böschungen werden in der Regel an private Firmen vergeben. Kleinere Instandsetzungen und Reinigungsarbeiten werden vom Straßenbetriebsdienst durchgeführt.

Als Straßenbetriebsdienst bezeichnet man die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Autobahn- und Straßenmeistereien. Sie sorgen für einen verkehrssicheren und funktionsfähigen Zustand des Straßennetzes. Alle hierfür erforderlichen Maßnahmen zur Kontrolle, Wartung und Unterhaltung der Straßen erfolgen unter der Prämisse, den Verkehrsablauf so wenig wie möglich zu beeinträchtigen.

Die Aufgaben des Straßenbetriebsdienstes während und nach Stürmen und Orkanen, Hochwasser, Überschwemmungen nach Starkregen sowie sonstigen Katastrophenfällen beschreibt die kurz vor der Einführung stehende Fassung des „Leistungsheft für den Straßenbetriebsdienst auf Bundesfernstraßen“. Laut der weiterentwickelten Leistungsposition 6.1.3 „Maßnahmen bei außergewöhnlichen Witterungsereignissen und Katastrophenfällen“ gehört es zu seinen Leistungen, nach Unwettern Straßenschäden, die die Verkehrssicherheit beeinträchtigen könnten, sofort zu beseitigen. Außerdem

### VE-I-5 : Beeinträchtigung von Straßen durch außergewöhnliche Witterungsereignisse und Katastrophenfälle – Fallstudie

Besonders viel hatte der Straßenbetriebsdienst in Rheinland-Pfalz in den Jahren 2007, 2010 und 2016 zu tun. In 2007 und 2010 mussten vor allem der Windwurf und die dadurch ausgelösten Schäden der Orkane Kyrill bzw. Xynthia beseitigt werden. 2016 beschäftigten die Folgen von Sturm und Starkregen den Straßenbetriebsdienst außergewöhnlich stark.



Datenquelle: Landesbetrieb Mobilität Rheinland-Pfalz

übernimmt er es, Straßen von Gegenständen wie Ästen zu befreien und Verschmutzungen zu beseitigen, beschädigte Verkehrszeichen und Markierungen in Ordnung zu bringen, Bankette zu sanieren und Gräben zu räumen. Sind einzelne Abschnitte nicht passierbar, greift der Straßenbetriebsdienst mit den notwendigen Schildern und Absperrungen verkehrsregelnd ein.

Die Zeitreihe zeigt den Aufwand für die genannten Leistungen im Zuständigkeitsbereich des Landesbetriebs Mobilität Rheinland-Pfalz. Besonders hoch war der Arbeitszeitaufwand für den Umgang mit außergewöhnlichen Witterungsereignissen und Katastrophenfällen außer im Jahr 2016 noch in den Jahren 2007 und 2010. In diesen Jahren wurde Rheinland-Pfalz wie andere Teile Deutschlands und Europas von den Orkanen Kyrill beziehungsweise Xynthia heimgesucht. In Waldgebieten wurden in großer Zahl Bäume entwurzelt und Äste abgerissen. Es entstanden Behinderungen und Schäden an Straßen, die der Straßenbetriebsdienst beheben musste und die einen deutlichen Zusatzaufwand verursachten.

Für Rheinland-Pfalz kann der Indikator gebildet werden, da hier über die Vorgaben des bisherigen Leistungshefts für den Straßenbetriebsdienst hinaus seit 2007 auch der Arbeitszeitaufwand erfasst wurde, der für die Beseitigung von Unwetter- und Hochwasserschäden anfiel. Dabei werden Arbeiten im Zusammenhang mit Absperrungen, Reinigungsarbeiten sowie die Einsatzleitung berücksichtigt.

Zukünftig werden sich nach Einführung des weiterentwickelten Leistungshefts für alle Bundesländer bzw. für Deutschland insgesamt vergleichbare Aussagen zu dem Arbeitszeitaufwand treffen lassen, den außergewöhnliche Witterungsereignisse und Katastrophenfälle für den Straßenbetriebsdienst nach sich ziehen. Für diesen Bereich hat die Bund-Länder-AG BEKORS (Betriebskostenrechnung im Straßenbetriebsdienst) das Leistungsheft bei der Überarbeitung auch mit dem Ziel weiterentwickelt, diesen Arbeitszeitaufwand einheitlich und vergleichbar zu erfassen. Dafür wurden die zu erfassenden Leistungen konkret beschrieben, und es wurde geklärt, dass der Arbeitszeitaufwand nicht nur für die Erst-, sondern auch für die Folgemaßnahmen der Position 6.1.3. „Maßnahmen bei außergewöhnlichen Witterungsereignissen und Katastrophenfällen“ zuzuordnen ist.

Auf dieser Grundlage kann der Indikator zukünftig auf ganz Deutschland ausgedehnt werden. Daran wird sich beobachten lassen, ob der Arbeitsaufwand für den Straßenbetriebsdienst steigt, weil es deutschlandweit in einem verstärkten Maße zu Schäden und Behinderungen



Witterungsbedingte Schäden an Straßen müssen vom Straßenbetriebsdienst beseitigt werden.  
(Foto: © peuceta / stock.adobe.com)

an Straßen durch wetter- und witterungsbedingte Extremereignisse kommt. Dies ist eine der wesentlichen Wirkungen, die für den Verkehrsbereich durch den fortschreitenden Klimawandel erwartet wird.

## Schnittstellen

VE-1-3: Starkregen und Straße



© Martin Debus / stock.adobe.com

# Industrie und Gewerbe

Für den Sektor Industrie und Gewerbe kann der Klimawandel einerseits neue Chancen eröffnen, andererseits aber auch bisher nicht gekannte oder veränderte Risiken bergen. Die Betroffenheit und der Bedarf, sich an die sich ändernden klimatischen Verhältnisse anzupassen, sind dabei so heterogen, wie es auch die Unternehmen sind. Je nach Größe, den angebotenen Produkten und Dienstleistungen, Standorten und dem Grad der Einbindung in regionale, nationale oder auch internationale Produktions- bzw. Lieferketten ergeben sich ganz unterschiedliche Herausforderungen.

Vorausschauende Unternehmen sollten schon aus Eigeninteresse mögliche Chancen von Veränderungen analysieren, um daraus möglicherweise Wettbewerbsvorteile zu ziehen. Diese bestehen z. B. dort, wo Produkte auf eine klimawandelbedingt geänderte Nachfrage treffen oder Produkte oder Prozesse frühzeitig optimiert und innovativ weiterentwickelt werden. Bei der Auseinandersetzung mit Klimarisiken stehen für die meisten Unternehmen bislang regulatorische Risiken im Vordergrund, die sich aus veränderten gesetzlichen und fiskalischen Rahmenbedingungen in Folge von Klimaschutzbemühungen stehen. Mögliche physische Risiken durch extreme Wetterereignisse und graduellen Klimawandel (z. B. Meeresspiegelanstieg) kommen erst langsam in den Blick von Unternehmen sowie Investorinnen und Investoren, obwohl sie z. B. die Funktionsfähigkeit der eigenen Liegenschaften oder wichtiger Infrastrukturen, den reibungslosen Ablauf von Produktions- und Lieferketten oder die Leistungsfähigkeit der Beschäftigten betreffen können<sup>62</sup>. Anpassung im Sinne der DAS setzt vor allem an den physischen Risiken an. Neben baulichen und technischen Maßnahmen sind strategische und organisatorische Ansätze wesentlich. Indem sie z. B. den Klimawandel im eigenen Risikomanagement berücksichtigen oder ein betriebliches Kontinuitätsmanagement für den Umgang mit Störungen im Betriebsablauf einrichten, können Unternehmen systematisch mit Klimarisiken umgehen.

#### Auswirkungen des Klimawandels:

Geringere Leistungsfähigkeit bei Sommerhitze  
(IG-I-1) ..... 194

#### Anpassungen:

Wassernutzung im Verarbeitenden Gewerbe  
(IG-R-1) ..... 196

## Geringere Leistungsfähigkeit bei Sommerhitze

Steigende Temperaturen und steigende absolute Luftfeuchtigkeit haben einen erheblichen Einfluss auf die Gesundheit und Arbeitsproduktivität der Arbeitnehmer. Auswirkungen entstehen nicht nur in Form einer erhöhten Krankheitsanfälligkeit, auch abnehmende Konzentration führt zu erhöhter Fehler- und Unfallanfälligkeit, die ebenfalls zu Produktivitätseinbußen führt.<sup>63</sup> Extreme Hitzewellen bringen zusätzliche Gesundheitsrisiken wie Hitzeschlag, starke Dehydrierung oder Erschöpfung mit sich, während Körpertemperaturen über 40,6 °C sogar lebensbedrohlich sind.<sup>64</sup>

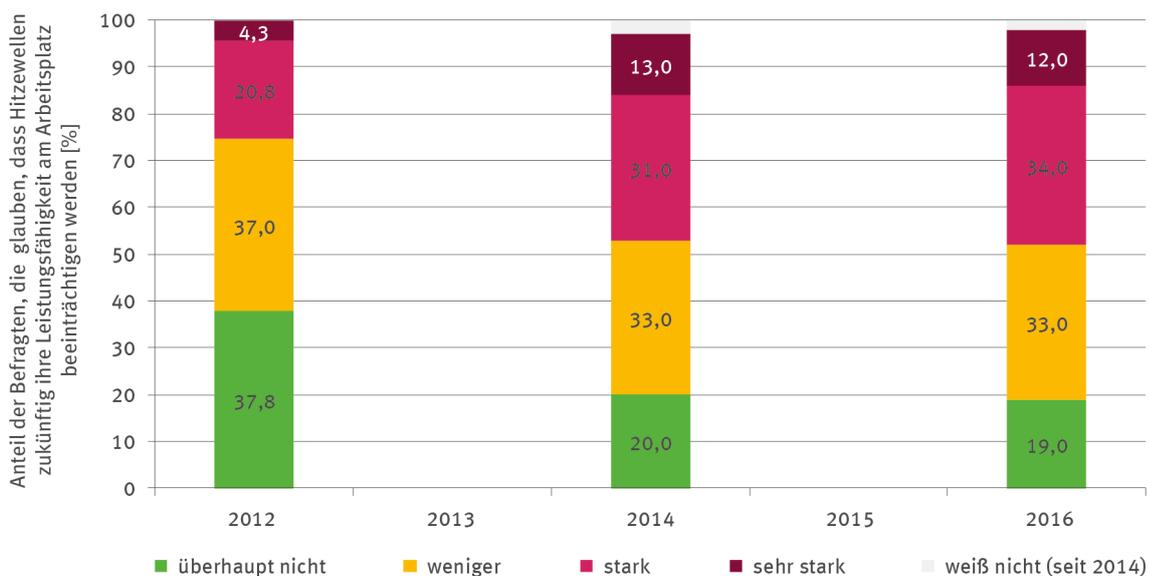
Für Innenraumarbeitsplätze zeigte sich in vielen der Studien ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Leistungsfähigkeit und dem sogenannten thermischen Behaglichkeitsbereich. Weichen die Raumtemperaturen von diesem Bereich nach unten oder oben ab, nimmt die Leistungsfähigkeit ab. Als thermisch behaglich wird ein Raumklima dann bezeichnet, wenn der Mensch Lufttemperatur, Luftfeuchte, Luftbewegung und Wärmestrahlung in seiner Umgebung als optimal empfindet und weder wärmere noch kältere, weder trockenere noch feuchtere

Raumluft wünscht. Für die Sommermonate werden für Beschäftigte mit sitzenden und leichten Tätigkeiten Temperaturen zwischen 23 °C bis 26 °C als Behaglichkeitsbereich angesehen. Maßnahmen zum sommerlichen Wärmeschutz (z. B. Verschattung oder Klimatisierung) können in Innenräumen helfen, diesen Bereich einzuhalten.

In Deutschland arbeiten rund 2 bis 3 Millionen Menschen überwiegend oder zumindest zeitweise im Freien und sind ganzjährig den herrschenden Wetter- und Witterungsbedingungen ausgesetzt. Zunehmende Hitzebelastungen und andere klimatische Veränderungen betreffen diese Menschen deutlich unmittelbarer als solche, die ihrer beruflichen Betätigung in Gebäuden nachgehen. Diese Tätigkeiten erbringen geschätzte 10 bis 15 % der Wertschöpfung der Volkswirtschaft, hauptsächlich in den Sektoren Land- und Forstwirtschaft und Baugewerbe sowie in Teilbereichen der Industrie- und der Dienstleistungssektoren angesiedelt sind.

### IG-I-1: Hitzebedingte Minderung der Leistungsfähigkeit

Durch den Klimawandel können Belastungen durch sommerliche Hitze am Arbeitsplatz künftig zunehmen – sowohl in Gebäuden als auch im Freien. Ein steigender Anteil der Befragten der Umweltbewusstseinsstudie erwartet negative Auswirkungen auf ihre Leistungsfähigkeit am Arbeitsplatz.



Datenquelle: BMUB & UBA (Umweltbewusstsein in Deutschland 2016)

Der Vergleich der Ergebnisse der Umfragen „Umweltbewusstsein in Deutschland“<sup>61</sup> aus den Jahren 2012, 2014 und 2016 zeigt, dass ein wachsender Teil der Befragten erwartet, dass sich eine künftig zunehmende Hitzebelastung stark oder sehr stark auf ihre Leistungsfähigkeit am Arbeitsplatz auswirken wird. Waren es 2012 noch etwa ein Viertel der Befragten, stieg die Anteil derer, die mit Auswirkungen auf ihre Leistungsfähigkeit am Arbeitsplatz rechnen, auf 44 % in 2014 bzw. 46 % in 2016.

Der thermische Komfort eines Arbeitnehmers bestimmt seine Arbeitsfähigkeit und hat daher direkten Einfluss auf die Produktivität von Unternehmen bzw. der gesamten Volkswirtschaft. Studien nehmen für Zeiten hoher Hitzebelastung für Mitteleuropa Produktivitätsabnahmen um 3 bis 12 % an.

In einer Abschätzung wurden diese Zahlen auf das Nationaleinkommen umgerechnet. Danach können sich aufgrund der heute schon auftretenden Hitzetage bei der oben genannten Produktivitätsminderung Einbußen von rund 540 Millionen bis 2,4 Milliarden Euro im Vergleich zu Jahren ohne Hitzetage ergeben.<sup>65</sup> Allerdings unterliegt die Abschätzung der volkswirtschaftlichen Produktivität erheblichen Unsicherheiten. In einigen Studien werden gerade für die Baubranche sogar Produktivitätszuwächse angenommen, da sich die Zeitfenster für Arbeiten im Freien im Jahresverlauf verlängern können.<sup>66</sup>

Die einschlägigen Arbeitsstättenregeln formulieren verschiedene Vorgaben, um die Gesundheit und damit auch die Leistungsfähigkeit der Beschäftigten in Gebäuden auch bei hohen Außenlufttemperaturen von über 26 °C zu erhalten. Überschreiten die Raumtemperaturen in solchen Fällen die Schwelle von 26 °C bzw. 30 °C sollen bzw. müssen Maßnahmen ergriffen werden. Arbeitgeberinnen und Arbeitgeber können z. B. dafür sorgen, dass geeignete Sonnenschutzvorrichtungen installiert und effektiv eingesetzt, die Räumlichkeiten in den frühen Morgenstunden ausreichend gelüftet, innere Wärmelasten reduziert, Arbeitszeiten verschoben und Erfrischungsgetränke bereitgestellt werden. Auch kann es sinnvoll sein, bestehende Bekleidungsordnungen zu lockern.

Auch für Arbeiten im Freien sieht das Arbeitsschutzrecht Maßnahmen vor, um Arbeitnehmerinnen und



Vor allem Menschen in Freiluftberufen, aber auch Beschäftigte in Büros müssen sich vor den Auswirkungen sommerlicher Hitze schützen. (Foto: © Monika Wisniewska / stock.adobe.com)

Arbeitnehmer vor negativen gesundheitlichen Folgen von Hitze zu schützen. Arbeitgeberinnen und Arbeitsgeber können beispielsweise auf Baustellen Anlagen einrichten lassen, mit denen Arbeitsorte beschattet oder belüftet werden können. Vor allem können sie organisatorische Maßnahmen ergreifen, indem die Arbeitszeiten der Witterung anpasst, ausreichend lange Pausenzeiten angeordnet, eine gute Getränkeversorgung sichergestellt und die Mitarbeitenden im Rahmen von Schulungen auf mögliche Gefahren und die entsprechenden Gegenmaßnahmen hingewiesen werden.

I Die repräsentative Bevölkerungsumfrage (deutschsprachige Wohnbevölkerung ab 14 Jahre) „Umweltbewusstsein und -verhalten in Deutschland“ wird seit dem Jahr 2000 zweijährlich im Auftrag des BMU und des UBA durchgeführt. Seit 2012 wurden Fragen aufgenommen, die Daten für die DAS Monitoring Indikatoren liefern, ab 2016 werden diese Fragen alle 4 Jahre in der Umweltbewusstseinsstudie erhoben.

## Schnittstellen

GE-I-1: Hitzebelastung

GE-R-2: Erfolge des Hitzewarnsystems

BAU-I-1: Wärmebelastung in Städten

## Wassernutzung im Verarbeitenden Gewerbe

Wärmeeinleitungen industrieller und gewerblicher Betriebe unterliegen grundsätzlich den gleichen gesetzlichen Vorschriften wie energiewirtschaftliche Betriebe. Auch Industrie- und Gewerbebetriebe können daher in die Situation kommen, ihre Wärmeeinleitungen und damit ihre Produktion zurückfahren zu müssen, um die in der Genehmigung festgelegten Einleitungsbedingungen weiterhin einzuhalten. Dies war beispielsweise in den heißen Sommern der Jahre 2003, 2006 und 2018 der Fall, als infolge der langanhaltenden Hitze und Trockenheit an verschiedenen Gewässern die Wärmeeinleitungen beschränkt wurden.

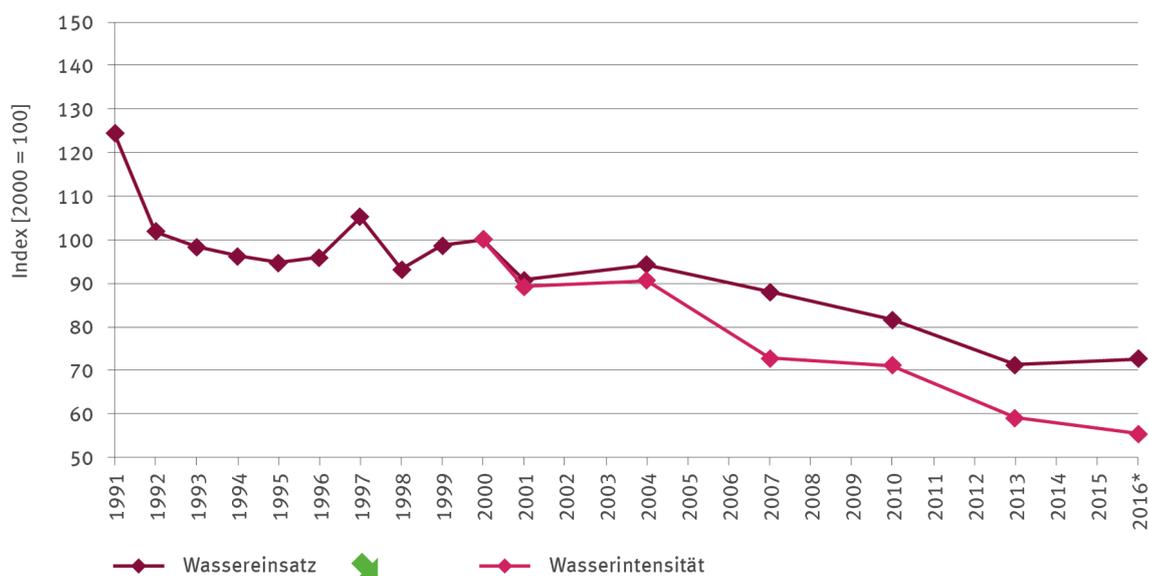
Unter veränderten klimatischen Bedingungen können solche Trocken- und Hitzephasen zukünftig häufiger, intensiver und länger auftreten. Es wird erwartet, dass die Temperaturen in Fließgewässern daher langfristig in den Sommermonaten ansteigen und die Abflussmengen abnehmen. Situationen, in denen die Rückführung von gebrauchtem Kühlwasser bzw. die Entnahme von Kühlwasser nur noch eingeschränkt möglich ist, werden dann häufiger eintreten. Industrieprozesse, die möglichst

unabhängig von der Ressource Wasser sind, sind für diese Auswirkung des Klimawandels besser gerüstet als solche mit einem hohen Wasserbedarf. Um möglichst wenig Wasser als Roh- oder Betriebsstoff einzusetzen und das entnommene oder bezogene Wasser möglichst effizient zu nutzen, können Unternehmen beispielsweise ein innerbetriebliches Wassermanagement einrichten, die Wassernutzung in Kreislaufsystemen betreiben, wassersparende Technologien einsetzen oder Wasser durch andere Substanzen, u. a. Emulsionen, ersetzen.

Wichtiger Ansatzpunkt für das Verarbeitende Gewerbe ist dabei vor allem der sparsame Einsatz von Kühlwasser in Produktionsprozessen und bei der unternehmensinternen Stromerzeugung, denn die Kühlwassernutzung macht etwa drei Viertel der gesamten Wassernutzung des Sektors aus. Hinzu kommt, dass vor allem die Wasserentnahme für Kühlzwecke sowie die Einleitung von Kühlwasser temperaturbezogenen Regelungen unterliegen, die zu Einschränkungen der Produktion bei sommerlicher Hitze führen können. Die Entnahme von Wasser

### IG-R-1: Wasserintensität des Verarbeitenden Gewerbes

Wassereffiziente Betriebe sind für Auswirkungen des Klimawandels besser gerüstet. Der Wassereinsatz im Verarbeitenden Gewerbe nahm seit Beginn der 1990er Jahre sehr deutlich und mit signifikantem Trend ab. Auch die Wasserintensität ist seit dem Jahr 2000 rückläufig, d. h. es konnte mit dem gleichen Wassereinsatz eine höhere Wertschöpfung erzielt werden.



\* vorläufige Daten

Datenquelle: StBA (Umweltökonomische Gesamtrechnungen)

für produktionsspezifische oder belegschaftsbezogene Zwecke ist dagegen weniger temperaturabhängig.

Der Wassereinsatz ging im Verarbeitenden Gewerbe insgesamt zwischen den Jahren 2000 und 2016 um rund 27 % zurück. In vielen Bereichen des Verarbeitenden Gewerbes lag auch die Wasserintensität 2016 deutlich unter dem Wert des Jahres 2000, im Durchschnitt knapp unter 45 %.

Das bedeutet, dass die Effizienz der Wassernutzung im letzten Jahrzehnt erheblich gesteigert und mit einem niedrigeren Wassereinsatz eine höhere Wertschöpfung erzielt werden konnte. Die stärksten Rückgänge von Wassereinsatz und -intensität waren in der Herstellung chemischer und pharmazeutischer Erzeugnisse und in der Nahrungsmittelproduktion zu verzeichnen. Eine deutliche Zunahme zeigte sich vor allem für die Herstellungsprozesse in der Papierindustrie.



Branchen wie die Chemie- oder Papierindustrie benötigen viel Wasser oder Wasserdampf für Produktionsprozesse und die unternehmensinterne Stromerzeugung.

(Foto: © hgoldenporshe / stock.adobe.com)

## Schnittstellen

WW-I-1: Grundwasserstand

WW-I-4: Niedrigwasser

WW-R-1: Wassernutzungsindex

LW-R-6: Landwirtschaftliche Beregnung

EW-R-4: Wassereffizienz thermischer Kraftwerke

## Ziele

Erwägen von technischen Methoden und Verbesserungen zum effizienteren Einsatz von Wasser, z. B. durch Verwenden von Grauwasser, Dachablaufwasser oder Prozesswasser für technische und industrielle Zwecke oder durch Fortentwicklung wasser sparender Methoden (DAS, Kap. 3.2.3)

Förderung einer nachhaltigen Wassernutzung auf der Grundlage eines langfristigen Schutzes der vorhandenen Ressourcen (WRRL, Art. 1 (b))

Verpflichtung zur erforderlichen Sorgfalt bei Maßnahmen, mit denen Einwirkungen auf ein Gewässer verbunden sein können, um eine mit Rücksicht auf den Wasserhaushalt gebotene sparsame Verwendung des Wassers sicherzustellen (WHG, §5 (1) 2)



© monropic / stock.adobe.com

# Tourismuswirtschaft

Die deutsche Tourismuswirtschaft ist eine umsatzstarke Branche und besitzt eine nicht zu unterschätzende wirtschaftliche Bedeutung. Im Jahr 2015 erzeugte die touristische Nachfrage nach Gütern und Dienstleistungen – ohne Berücksichtigung indirekter oder induzierter Effekte – eine Bruttowertschöpfung von insgesamt 105 Milliarden Euro.<sup>67</sup> Die Struktur der Tourismuswirtschaft ist mittelständisch geprägt und setzt sich zusammen aus Beherbergungs- und Gaststättengewerbe, Reisebüros, Reiseveranstaltern, Unternehmen, die Touren und Transportdienstleistungen anbieten, sowie Betreiberinnen und Betreiber touristischer Infrastrukturen oder Einrichtungen aus den Bereichen Sport und Kultur, Gesundheit und Wellness. Bundesländer, Landkreise oder Gemeinden engagieren sich im Tourismus mit dem Anliegen, ihre Region oder ihren Ort als Destination am Tourismusmarkt gut zu platzieren. Auf der anderen Seite stehen die Reisenden und Erholungssuchenden, die die angebotenen Produkte und Leistungen nachfragen.

Die Diskussion um mögliche Klimawandelfolgen für die Tourismuswirtschaft in Deutschland konzentrierte sich auf mögliche Auswirkungen für verschiedene Destinationen, vor allem die Küste und die Wintersportregionen. Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf dem Reiseverhalten deutscher und internationaler Urlauberinnen und Urlauber, von denen angenommen wird, dass sie neben einer Vielzahl anderer Faktoren auch die klimatischen Bedingungen und Veränderungen in ihre Reiseentscheidungen einbeziehen. Angesichts der großen Vielfalt an Einflussfaktoren, die einer Reisebuchungsentscheidung zugrunde liegen, ist es nicht leicht festzustellen, welchen Einfluss klimatische Veränderungen haben.

Angesichts der Bandbreite von Angebot und Nachfrage im Tourismus gibt es keine deutschlandweit übergreifende gültige Antwort auf die Frage, vor welchen Herausforderungen bezogen auf den Klimawandel die Tourismuswirtschaft in Deutschland steht. Auswirkungen sind je nach Region und Art der Reiseangebote sehr unterschiedlich.

## Auswirkungen des Klimawandels:

Wird der Strandurlaub an Nord- und Ostsee beliebter? (TOU-I-1, TOU-I-2).....	200
Bleibt das heilende Klima in Kurorten erhalten? (TOU-I-3).....	202
Nimmt die Schneesicherheit im Mittel- und Hochgebirge ab? (TOU-I-4).....	204
Wie geht's dem Wintertourismus?(TOU-I-5) .....	206
Verschieben sich die Urlaubszeiten? (TOU-I-6).....	202
Verändern die Deutschen ihr Reiseverhalten? (TOU-I-7).....	210

## Wird der Strandurlaub an Nord- und Ostsee beliebter?

Um Urlaub am Strand zu machen, im Meer zu baden oder in der Sonne zu liegen, fahren die Deutschen bislang vorrangig ins Ausland. Die beliebtesten Sommerurlaubsziele der deutschen Wohnbevölkerung waren 2018 Spanien, Italien, Mecklenburg-Vorpommern, Türkei und Schleswig-Holstein. Bade- und Strandurlaub sind mit 12,4 Millionen Reisen die beliebteste Reiseart und mit weitem Abstand die stärkste Motivation für eine Urlaubsreise. Deutschland ist für diesen Reisezweck bislang von geringerer Bedeutung: Bei den Inlandsurlaubsreisen rangierte der Strandurlaub nach Ergebnissen einer Studie von 2013 nur auf Rang vier der möglichen Motive.<sup>68</sup> Für ausländische Gäste ist Badeurlaub als Grund für eine Reise nach Deutschland vernachlässigbar.<sup>69</sup> Etwa 55 % der Übernachtungen an Nord und Ostsee finden in den Sommermonaten zwischen Juni und September statt. In anderen Regionen verteilen sich die Übernachtungsgäste deutlich gleichmäßiger über das Jahr.

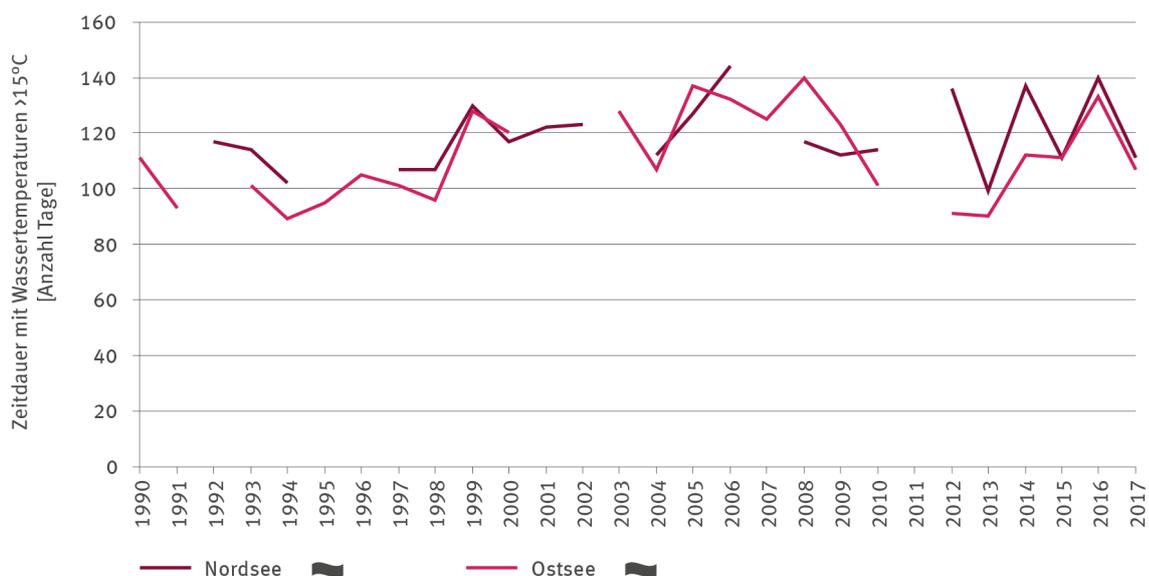
Für Deutschland gibt es die These, dass der Strand- und Badeurlaub an den Küsten als eine typische Form des Sommertourismus von steigenden Luft- und höhere

Meerwassertemperaturen in Folge des Klimawandels profitieren kann. Vor allem könnte es die Attraktivität der Badeorte erhöhen und die Badesaison zukünftig verlängern. Eine Tendenz zu höheren Meerwassertemperaturen in den deutschen Küstengewässern der Nord- und Ostsee wurde in Messungen im Stationsnetz des BSH bereits nachgewiesen. Die zeitliche Entwicklung der über die gesamte Nordsee gemittelten jährlichen Meeresoberflächentemperatur, die auf den seit 1968 am BSH durchgeführten wöchentlichen Analysen basiert, lässt sich durch ein bis 1987 andauerndes Kaltregime und den abrupten Temperatursprung um 0,8 °C von 1987/88 in das seither andauernde Warmregime charakterisieren.

Um bezogen auf die Meerwassertemperaturen das Potenzial für den Badetourismus an den Küsten abzuschätzen, wird die zeitliche Andauer als Anzahl von Tagen dargestellt, an denen die Meerwassertemperaturen in den deutschen Küstengewässern der Nord- und Ostsee einen Schwellenwert von 15 °C überschreiten. Dieser für Badetemperaturen niedrig erscheinende Schwellenwert kennzeichnet zum einen Beginn und Ende der sommerlichen

### TOU-I-1: Badetemperaturen an der Küste

Die Zeitdauer, in der Meerwassertemperaturen an den deutschen Nord- und Ostseeküsten herrschen, die einen Badeurlaub an diesen Küsten potenziell begünstigen, unterliegt sehr starken Schwankungen zwischen den Jahren. In der Regel stellen sich geeignete Temperaturbedingungen im Laufe des Juni ein und dauern bis in den September an. Signifikante Trends sind bisher nicht feststellbar.



Datenquelle: Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (Ausgewählte Messstationen)

Badetemperaturbedingungen. Außerdem zeigen die Zeitreihen Ergebnisse von Messungen, die in einiger Entfernung von der Küste erhoben werden und daher homogener und von kurzfristigen Einflüssen unabhängiger sind. In den Badegewässern an der Küste liegen die Meerwassertemperaturen tendenziell höher und sind – auch durch einen stärkeren Tagesgang – potenziell „badetauglich“. Signifikante Trends für die 1990 einsetzenden und damit vollständig in das rezente Warmregime fallenden Zeitreihen sind angesichts der beobachteten Schwankungsbreiten bislang nicht feststellbar.

Ein Zusammenhang zwischen den beobachteten Badetemperaturen und der Entwicklung der Übernachtungszahlen in den deutschen Küstenregionen ist bisher nicht zu erkennen. Ein solcher lässt sich grundsätzlich auch schwer herzustellen. Zum einen beeinflussen zahlreiche allgemeine Faktoren, beispielsweise die konjunkturelle Entwicklung, das Reiseverhalten und die touristische Nachfrage die Entwicklung der Übernachtungszahlen. Zum anderen sind die Wassertemperaturen nur ein Aspekt unter den zahlreichen klimaverbundenen Einflussgrößen, die die Attraktivität der Nord- und Ostseeküste als Destination für den Strand- und Badetourismus

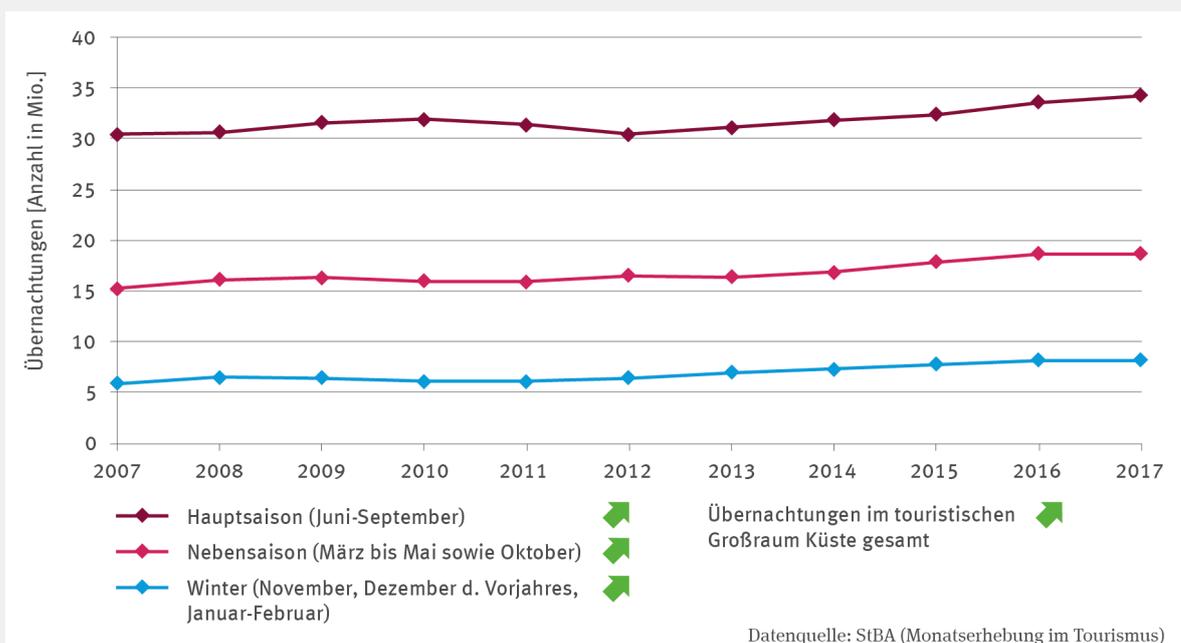
### Schnittstellen

- WW-I-7: Wassertemperatur des Meeres
- TOU-I-6: Saisonale Übernachtungen in deutschen Tourismusgebieten
- TOU-I-7: Präferenz von Urlaubsreisezielen

ausmachen. Zu den Faktoren, die hier nicht berücksichtigt sind, zählen etwa die Sonnenscheindauer und die Luftqualität sowie die bioklimatischen Verhältnisse im Zusammenspiel von Lufttemperatur, Wind, Strahlungsverhältnissen und Luftfeuchte<sup>70</sup>, aber auch das Auftreten von Algen oder Quallen an den Badestränden.

### TOU-I-2: Übernachtungen im touristischen Großraum Küste

Die touristische Nachfrage in den Reisegebieten an Deutschlands Küsten ist in einem besonderen Ausmaß saisonabhängig. Auch bei steigenden Übernachtungszahlen in allen Jahreszeiten, finden noch immer etwa 55 % der Übernachtungen an Nord- und Ostsee in den Sommermonaten zwischen Juni und September statt.



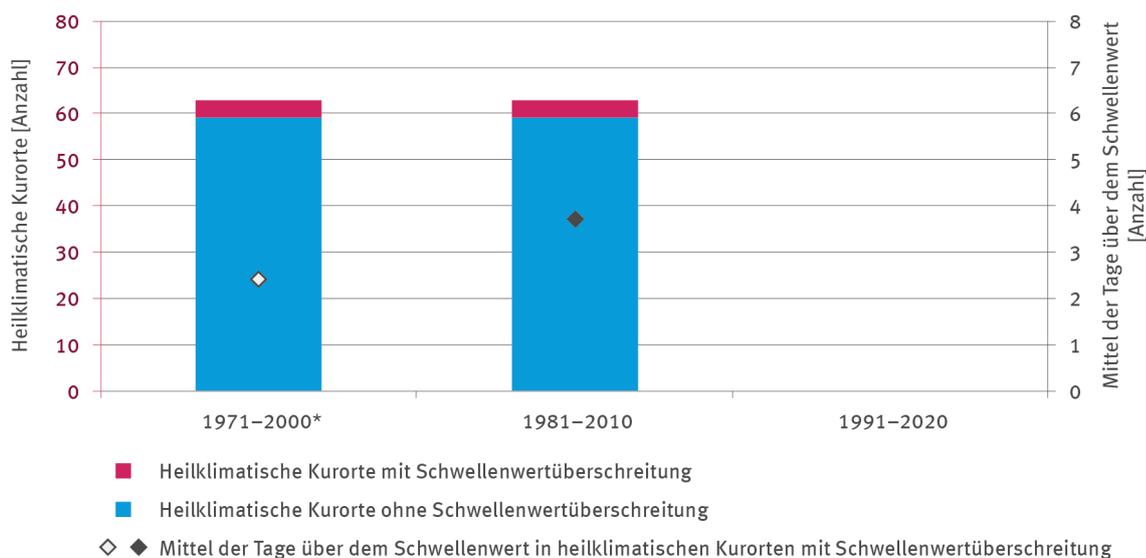
## Bleibt das heilende Klima in Kurorten erhalten?

Der Urlaub in Kurorten hat eine große Bedeutung für den innerdeutschen Tourismus. Das Angebot dieser Orte beschränkt sich dabei nicht allein auf die durch die Sozialversicherungsträger finanzierten Kur und Rehabilitationsmaßnahmen, auch Gesundheits- und Wellnessurlaub genießen einen zunehmend bedeutenden Stellenwert und finden auch in Kurorten statt. Im Jahr 2017 beispielsweise erfolgten etwa 40% aller touristischen Übernachtungen in Deutschland in Gemeinden mit einem entsprechenden Prädikat, d. h. in Heilbädern, Seebädern, Luftkurorten oder Heilklimatischen Kurorten.<sup>71</sup> Auch wenn das vorhandene Prädikat und die angebotenen Kurleistungen für einen Teil der Übernachtungen nicht ausschlaggebend sind (z. B. ist der Familienurlaub an der Nordsee wahrscheinlich oftmals anders motiviert), so stellen Übernachtungen allein in Vorsorge- und Rehabilitationszentren immerhin noch einen Anteil von über 10% an allen Übernachtungen bundesweit. Gerade diese Einrichtungen sind in starkem Maße abhängig von dem Prädikat einer Gemeinde als Kurort.

Allen Kurorten ist eigen, dass sie besondere Anforderungen u. a. an bioklimatische und lufthygienische Bedingungen erfüllen müssen, um ihr Prädikat weiterhin erhalten zu können. Das lokale Klima soll als natürliches ortsgebundenes Heilmittel angewendet werden können. In heilklimatischen Kurorten und Seeheilbädern müssen darüber hinaus die natürlichen Heilmittel des Klimas eine Eignung für Kuren zur Heilung, Linderung oder Vorbeugung menschlicher Erkrankungen aufweisen. Das bedeutet, stimulierende Reize oder Schonfaktoren überwiegen. Als stimulierende Reize gelten z. B. Kältereize, starke Temperaturschwankungen oder böiger Wind; Schonfaktoren sind z. B. weitgehende Luftreinheit oder thermische ausgeglichene Bedingungen. Belastungsfaktoren, zu denen neben einer geringen Intensität der Sonnenstrahlung und einer schadstoffhaltigen Luft auch die Wärmebelastung zählt, dürfen auf lange Sicht nur minimal sein. Je nach Krankheit und nach individueller Konstitution nutzt die Therapie im Heilklima stimulierende Reize und Schonfaktoren so, dass der Körper sich regenerieren oder aber auch abhärten und vor Erkrankungen schützen kann.

### TOU-I-3: Wärmebelastung in heilklimatischen Kurorten

In den beiden Zeiträumen 1971–2000 und 1981–2010 wurde in je vier der 62 heilklimatischen Kurorte der Schwellenwert für die Wärmebelastung überschritten. Die nächste Auswertung wird erst für den Monitoringbericht 2023 vorliegen.



\* wegen einer Änderung des Bewertungsverfahrens ist das Mittel der Tage über dem Schwellenwert zwischen den Zeiträumen 1971–2000 und 1981–2010 nicht direkt vergleichbar.

Datenquelle: DWD (Kurortklimagutachten)

Ein wichtiger Aspekt bei der Beurteilung der bioklimatischen Situation in Kurorten ist die Wärmebelastung. Wärmebelastungen entstehen i. d. R. an Tagen mit sommerlichen, gering bewölkten Hochdruckwetterlagen mit hohen Temperaturen, hoher Luftfeuchte und schwachem Wind. Unter diesen Bedingungen ist die Wärmeabgabe des Körpers erschwert und das körpereigene Thermoregulationssystem muss verstärkt arbeiten, um die Wärmebilanz auszugleichen und eine Überhitzung zu vermeiden.

Statistische Auswertungen von Klimadaten zeigen für Deutschland, dass sich überdurchschnittlich warme Tage und Monate im Lauf des 20. Jahrhunderts häufen und extreme Wärmeereignisse zunehmen. Durch den Klimawandel wird für die Zukunft mit einer weiteren Zunahme der Häufigkeit und Intensität sowie der mittleren Temperaturen von Wärmeperioden gerechnet. Im Zuge dieser Entwicklung können sich in den heilklimatischen Kurorten die bioklimatischen Faktoren verändern, so dass das Klima keine heilsame Wirkung für den Kurgast mehr entfaltet und es nicht mehr als Heilmittel angewendet werden kann. Im schlimmsten Falle kann dies dazu führen, dass einzelnen Gemeinden ihr Prädikat aberkannt wird.

Zur Beurteilung des Klimas in heilklimatischen Kurorten wurde die in einem 30-jährigen Zeitraum auftretende Anzahl der Tage mit Wärmebelastung herangezogen. Als solche galten bislang Tage, an denen der Schwellenwert der Gefühlten Temperatur von etwa 29 °C überschritten wurde. In heilklimatischen Kurorten darf dies im langjährigen Durchschnitt höchstens an 20 Tagen der Fall sein. Im Zeitraum 1971–2000 wurde in vier der 62 heilklimatischen Kurorte der Schwellenwert für die Wärmebelastung an mehr als 20 Tagen überschritten, maximal wurden in einer Gemeinde im langjährigen Durchschnitt 23,3 Tage mit Wärmebelastungen ermittelt. Zu einer Aberkennung des Prädikats hat dies bislang aber nicht geführt.

Für den Zeitraum 1981–2010 wurde die Untersuchungsmethode grundlegend überarbeitet und der Wärmebelastungstag neu definiert. Dabei wurde zum einen der hohen gesundheitlichen Bedeutung der Schwüle ein stärkeres Gewicht verliehen, zum anderen eine mögliche Anpassung des Menschen an ein sich änderndes Klima in Anlehnung an das Hitzewarnsystem des DWD eingeführt. Als Tag mit Wärmebelastung gilt nun ein Tag, an dem die Schwelle zu starker Wärmebelastung oder die Schwelle zu mäßiger Wärmebelastung bei gleichzeitiger Schwüle überschritten wurde. Mit dieser Definition berechnen sich für dieselben meteorologischen Zeitreihen



Heilklimatische Kurorte setzen Klimafaktoren gezielt ein, um Erkrankungen zu heilen, zu lindern oder ihnen vorzubeugen. (Foto: © lotharnahler / stock.adobe.com)

deutlich weniger Tage mit Wärmebelastung als bei der früheren Auswertung. Auch ändert sich die regionale Verteilung. Ein statistisches Verfahren ermöglicht die Berechnung eines ortsspezifischen Richtwerts für die Anzahl der Tage mit Wärmebelastung, der sich an den 20 Tagen des früheren Zeitraums orientiert. Damit lässt sich die Beurteilung der Kurorte trotz aller Änderungen in Kontinuität zu den früheren Auswertungen auch für den Zeitraum 1981–2010 fortsetzen.

## Schnittstellen

BAU-I-1: Wärmebelastung in Städten  
GE-I-1: Hitzebelastung

## Nimmt die Schneesicherheit im Mittel- und Hochgebirge ab?

Ob zum Skifahren oder Snowboarden, zum Langlaufen, Tourengehen oder Schneewandern – schneebedeckte Berge, verschneite Wälder und strahlender Sonnenschein sind das Ideal für Wintertouristinnen und -touristen sowie Wintersportlerinnen und -sportler. Fehlt eine ausreichende Schneeauflage, mangelt es an der notwendigen Grundlage für schneegebundene Tourismusformen. Für die Tourismusdestinationen in Hoch- und Mittelgebirgen können sich deutliche wirtschaftliche Einschränkungen ergeben, wenn die Schneebedeckung rückläufig ist, die Grenze der Schneesicherheit in immer höhere Lagen zurückweicht und die Zeiträume mit Schneebedeckung unbeständiger werden oder sich verschieben.

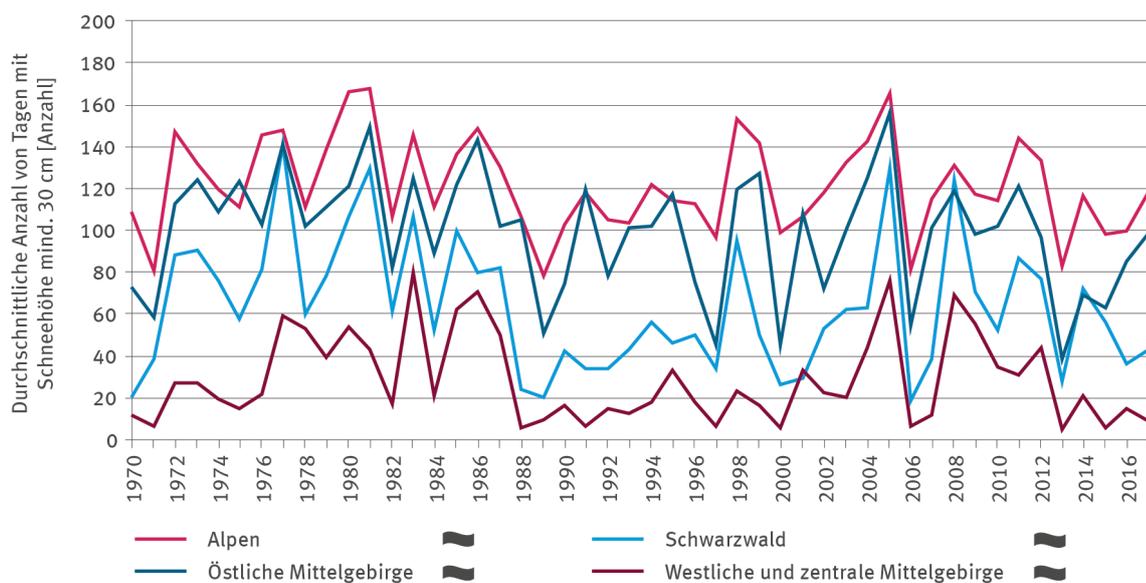
Welche Schneeaufgabe erforderlich ist, hängt vor allem von der jeweiligen Aktivität und dem Gelände ab. Für Langlauf sind i. d. R. bereits Schneehöhen von 10 bis 15 cm ausreichend. Für den Alpinskibetrieb bestimmt vor allem die Pistencharakteristik, welche Schneehöhe mindestens notwendig ist, um Pisten präparieren zu können, den Boden zu schützen, einen sicheren Skibetrieb zu gewährleisten und den Skifahrenden angenehme Skierlebnisse zu

ermöglichen. Allgemein gilt eine Schneehöhe von 30 cm als ausreichend, 50 cm gelten als gut.<sup>72</sup> Steinige und felsige Pisten können aber auch eine sehr viel größere Schneehöhe von bis zu 1 m erfordern, um befahrbar zu sein. Die sogenannte 100-Tage-Regel von Witmer<sup>73</sup> besagt, dass der erfolgreiche Betrieb eines Skigebiets nur dann gewährleistet ist, wenn solche Bedingungen an mindestens hundert Tagen der Saison gegeben sind.

Eine Analyse der Schneehöhendaten für die Alpen und ausgewählte Mittelgebirge der letzten knapp fünf Jahrzehnte zeigt, dass die Schneesituation zwischen 1970 und 2017 in allen skitouristischen Räumen („Alpen“, „Schwarzwald“, „Östliche Mittelgebirge“, „Westliche und zentrale Mittelgebirge“) sehr wechselhaft war. Eine natürliche Schneedecke, die an mehr als hundert Tagen in der Saison für den alpinen Skisport ausreicht, bot in allen Jahren nur die Zugspitz-Region. Dort und in den weiteren Skiregionen im skitouristischen Raum „Alpen“ herrschten aufgrund der Höhenlage insgesamt die besten Schneebedingungen. Bei z. T. sehr starken Schwankungen zwischen den Jahren gab es in den meisten dieser

### TOU-I-4: Schneedecke für den Wintersport

Für keinen der skitouristischen Räume in Deutschland zeigt die Anzahl der Tage mit einer natürlichen Schneedecke von mindestens 30 cm einen signifikanten Trend. In allen diesen Räumen traten in den letzten knapp fünf Jahrzehnten vereinzelt oder auch periodisch schneearme bzw. schneereiche Winter auf.



Datenquelle: DWD (Schneedeckenbeobachtung)

Skiregionen in der Mehrzahl der Jahre eine ausreichende natürliche Schneedecke. In den östlichen Mittelgebirgen herrschten vergleichbare Verhältnisse im Erzgebirge in mehr als der Hälfte der Jahre, im Bayerischen Wald in etwas weniger als jedem zweiten Jahr. Im Schwarzwald und in den westlichen und zentralen Mittelgebirgen, d. h. in Harz, Sauerland, Rhön, Thüringer Wald und Fichtelgebirge, sind die Bedingungen grundsätzlich anders. Hier erreichte die natürliche Schneeeauflage in den meisten Skiregionen nur in besonders schneereichen Jahren an mehr als hundert Tagen eine Höhe von mindestens 30 cm. Im Sauerland und in der Rhön war dies in keinem Jahr der Fall.

Mit diesen Daten wird ausdrücklich nur das natürliche Potenzial für den Wintersporttourismus in den skitouristischen Räumen und ihren jeweiligen Regionen beschrieben. Zu den tatsächlichen Schneeverhältnissen in den Skigebieten lässt diese Größe keine Aussage zu. Dort kann eine für den Wintersport erforderliche Schneeeauflage z. T. durch technische Beschneuerung hergestellt oder deutlich erhöht werden. Als Reaktion auf phasenweise in Folge aufgetretene schneearme Winter, aber auch mit Blick auf die entsprechenden Aktivitäten der internationalen Konkurrenz haben die Betreibenden von Skigebieten mit der Einrichtung teilweise umfangreicher Infrastrukturen zur künstlichen Beschneuerung reagiert. Kunstschnee ist die am weitesten verbreitete Maßnahme, um die Saison zu verlängern oder den Skibetrieb bei starken Wetterschwankungen aufrecht zu erhalten. Im alpenweiten Durchschnitt kann etwa die Hälfte der Skigebiete künstlich beschneit werden, in den bayerischen Alpen verfügte im Jahr 2009 knapp ein Sechstel der Skigebiete über Beschneueungsanlagen.<sup>74</sup> Die beschneibare Fläche wuchs in Bayern zwischen 2005 und 2017 um 530 Hektar auf heute ca. 944 Hektar.

Allerdings sind der Beschneuerung physische und ökonomische Grenzen gesetzt. Ohne additive Stoffe, die in Deutschland nicht genehmigt sind, werden Temperaturen von unter  $-3\text{ °C}$  benötigt, um Kunstschnee zu erzeugen. Die Kosten der Kunstschneeezeugung (Investitions-, Betriebs- und Unterhaltungskosten) sind erheblich, bei steigenden Temperaturen steigen die Kosten überproportional an. Sind die Infrastrukturen wie in den Mittelgebirgen wegen häufiger schneearmer Winter zudem nicht kontinuierlich ausgelastet, ist eine Wirtschaftlichkeit der Anlagen stark in Frage gestellt. Die Maßnahme eignet sich daher grundsätzlich nur begrenzt zur Anpassung. Hinzu kommt, dass die Beschneuerung aufgrund des hohen Energie- und Wasserbedarfs sowie der notwendigen baulichen Maßnahmen zu Beeinträchtigungen von Natur und Umwelt führt. Dies ist ein Grund, warum sich z. B.



In schneearmen und warmen Wintern können auch technische Maßnahmen keine ausreichende Schneeeauflage mehr sicherstellen. (Foto: © mg1708 / stock.adobe.com)

die Alpenstaaten in der Alpenkonvention, die auf den Schutz und die nachhaltige Entwicklung der Alpen zielt, darauf verständigt haben, die Erzeugung von Schnee nur in den Kälteperioden zuzulassen, gekoppelt an die Voraussetzung, dass die jeweiligen örtlichen hydrologischen, klimatischen und ökologischen Bedingungen es erlauben.

## Schnittstellen

TOU-I-7: Präferenz von Urlaubsreisezielen

## Ziele

Vorausschauende Mitwirkung der Raumplanung bei räumlichen Anpassungsmaßnahmen im Tourismus insbesondere in Küstenbereichen und Berggebieten. Die Veränderungen im Tourismusverhalten erfordern ggf. neue Investitionen und neue Infrastrukturen, die entsprechend raumordnerisch vorbereitet werden müssen. (DAS, Kap. 3.2.14)

Möglichst landschaftsschonender Bau, Unterhalt und Betrieb von Skiinfrastruktur unter Berücksichtigung der natürlichen Kreisläufe sowie der Empfindlichkeit der Biotope; Koppelung der Zulassung der Schneeezeugung in Kälteperioden an die Vereinbarkeit mit den jeweiligen örtlichen hydrologischen, klimatischen und ökologischen Bedingungen (Alpenkonvention Protokoll Tourismus, Art. 14)

## Wie geht's dem Wintertourismus?

Die beliebtesten Wintertourismusziele der Deutschen waren im Jahr 2018 Österreich, Spanien, Südost-Asien, Bayern und Italien. Während ein großer Teil der Reisenden in Richtung Süden reist, ist für andere Reisende Winter verbunden mit Schnee. Entweder möchten sie schneegebundene Sportaktivitäten ausüben oder schätzen verschneite Landschaften und die damit verbundene besondere Atmosphäre.

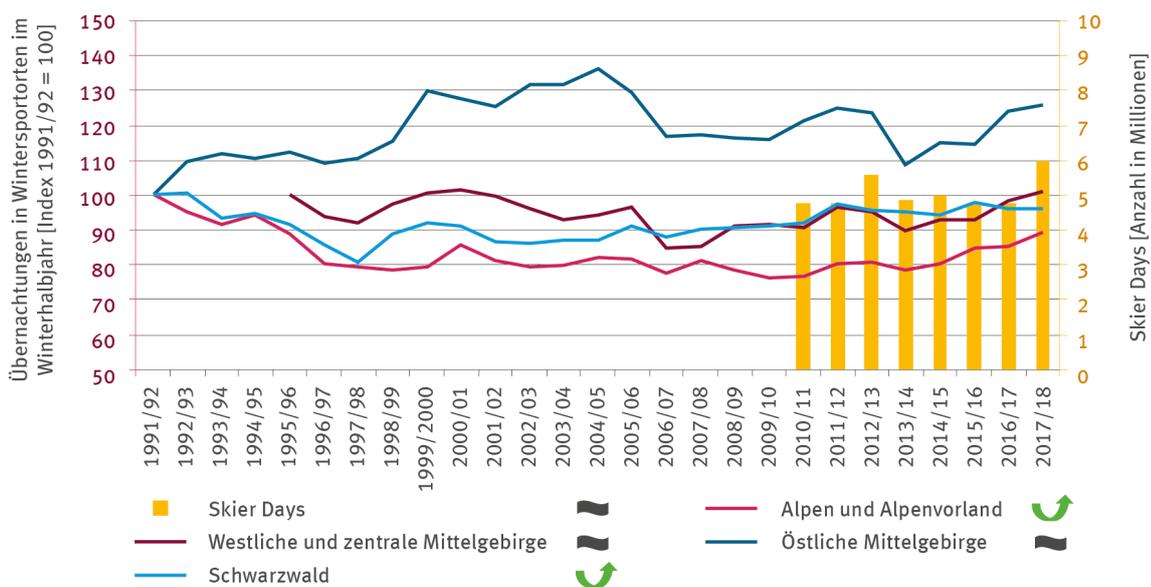
Daher sind für den Wintertourismus in Deutschland die Vorhersagen angesichts des Klimawandels nicht günstig. Bedeutende Destinationen für den Wintertourismus und Skigebiete in den deutschen Alpen liegen überwiegend in einer Höhenlage zwischen ca. 800 und 1.700 m ü. NN und damit deutlich niedriger als die alpinen Destinationen in der Schweiz, in Italien, Frankreich und z. T. auch in Österreich. In Projektionsergebnissen spiegelt sich die heute schon geringere Schneesicherheit in den deutschen Alpen wider, die mit zunehmender Erwärmung weiter abnehmen wird. In den anderen Alpenstaaten – einige österreichische Bundesländer ausgenommen – wird eine

deutliche Abnahme schneesicherer Gebiete erst ab einem Temperaturanstieg von über 2 °C erwartet.<sup>75</sup>

Besonders schneearme Winter wie zuletzt 2013/2014 haben zur Folge, dass Wintersportarten vielerorts nur mit Einschränkungen betrieben werden können. Neben anderen Faktoren, z. B. der größeren Auswahl an Skipisten oder der wegen anderer topographischer Verhältnisse im Bereich des Alpenhauptkamms oft breiteren und längeren Abfahrten, ist dies ein Grund, warum anderen Alpenländern eine höhere Attraktivität für Ski- bzw. Winterurlaube von mehreren Tagen beigemessen wird.<sup>76</sup> Diese Konkurrenz durch schneesichere und attraktivere Skigebiete in den Nachbarstaaten der Alpen ist möglicherweise auch mit dafür verantwortlich, dass der Tourismusboom der Nachwendejahre, der im Winter 1991/1992 für einen Übernachtungsrekord sorgte, nicht dauerhaft anhielt. Ab Mitte der 1990er Jahre gingen die Übernachtungszahlen in den Wintersportgemeinden im deutschen Alpenraum wieder zurück und stagnierten bis 2014 auf einem niedrigeren Niveau. Sie steigen nun langsam wieder an.

### TOU-I-5: Übernachtungen in Wintersportorten

Die Übernachtungszahlen in den verschiedenen Skiregionen entwickeln sich insgesamt recht unterschiedlich. In warmen und schneearmen Wintern wie 2006/2007 und 2013/2014 verzeichnen Beherbergungsbetriebe in allen Wintersportregionen Einbußen. Die noch kurze Zeitreihe der Skier Days, d. h. der Erstnutzungen von Seilbahnen in Skigebieten zeigt noch keine Entwicklungstrends.



Datenquelle: Statistische Landesämter (Monatserhebung im Tourismus), Verband Deutscher Seilbahnen e.V. (Skier Days)

Auch für die Mittelgebirge Deutschlands werden schwierige Zeiten für die Wintertourismusgebiete vorhergesagt. Modellierungen ergeben einen Rückgang der Anzahl der Tage mit einer Schneehöhe von mindestens 30 Zentimetern in den Mittelgebirgen bei einem starken Klimawandel bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts. In den höheren Lagen der Alpen fällt der Rückgang zwar geringer aus – in Abhängigkeit von der geographischen und der Höhenlage kann die Schneebedeckung in manchen Regionen vorübergehend sogar zunehmen –, längerfristig ist aber mit deutlichen Einschränkungen zu rechnen.

Einzelne besonders schneearme und warme Winter schlugen sich in der Vergangenheit negativ in den Übernachtungszahlen nieder. Der bislang wärmste Winter in Deutschland war der Winter 2006 / 2007 mit einer Durchschnittstemperatur von 4,4 °C. In diesem Jahr sind in allen Wintersportregionen im Vergleich zu den Vorjahren rückläufige Übernachtungszahlen festzustellen, besonders markant im Bayrischen Wald, im Fichtelgebirge und in der Rhön. Auch der Winter 2013 / 2014, in dem die Übernachtungszahlen insgesamt relativ niedrig ausfielen, war vergleichsweise schneearm.

Machen Wintertouristinnen und -touristen in den deutschen Wintersportregionen häufiger negative Erfahrungen, werden sie zukünftig zumindest teilweise ihre Urlaubsaktivitäten oder Urlaubszielregion verändern. In der repräsentativen Bevölkerungsumfrage „Umweltbewusstsein in Deutschland“<sup>I</sup> gaben im Jahr 2012 gut ein Viertel der Befragten an, ihre Wintersportaktivitäten anpassen zu wollen, wenn es die klimatischen Rahmenbedingungen erfordern. In den Folgebefragungen 2014 und 2016 waren es jeweils 17 %. Deutsche Wintertouristinnen und -touristen könnten deshalb in stärkerem Maße als bisher für Winterurlaube Destinationen in europäischen Nachbarländern ansteuern.

Für die hiesigen Wintersportregionen kann dies dann zur Folge haben, dass die Bedeutung von Naherholungssuchenden und Tagestourismus weiter zunimmt. Sowohl der deutsche Alpenraum als auch die Mittelgebirge sind in den Wintermonaten sehr beliebte Ziele für den Tagestourismus und genießen vor allem in räumlich nah gelegenen Ballungsräumen hohe Attraktivität. Der Wintertourismus ist ein bedeutender Wirtschaftsfaktor. Sind die



Winterwandern kann bei geringer Schneebedeckung eine vergnügliche Alternative zum Skifahren sein. (Foto: Konstanze Schönthaler / Bosch & Partner GmbH)

Schneebedingungen in einzelnen Jahren wie im langen Winter 2012 / 2013 gut, werden die Wintersportangebote von Tagestouristinnen und -touristen gerne genutzt, wie die hohe Zahl von Ersteintritten an den Lifтанlagen der Skigebiete (Skier Days) zeigt. Um auch für warme und schneearme Winter wie 2013 / 2014 gerüstet zu sein, empfiehlt es sich für Tourismusregionen, zunehmend alternative Angebote zu entwickeln, die weniger oder gar nicht auf Schnee angewiesen sind.

I Die repräsentative Bevölkerungsumfrage (deutschsprachige Wohnbevölkerung ab 14 Jahre) „Umweltbewusstsein und -verhalten in Deutschland“ wird seit dem Jahr 2000 zweijährlich im Auftrag des BMU und des UBA durchgeführt. Seit 2012 wurden Fragen aufgenommen, die Daten für die DAS Monitoring Indikatoren liefern, ab 2016 werden diese Fragen alle 4 Jahre in der Umweltbewusstseinsstudie erhoben.

## Schnittstellen

TOU-I-6: Saisonale Übernachtungen

## Verschieben sich die Urlaubszeiten?

Mit der Änderung der klimatischen Verhältnisse gehen für die Tourismusregionen in Deutschland Veränderungen ihrer Standortfaktoren einher. Während damit z. B. für den klassischen Wintertourismus überwiegend Risiken verbunden sind, wird angenommen, dass in den warmen Monaten des Jahres sowohl Chancen als auch Risiken für die Urlaubsziele in Deutschland erwachsen können. Der erwartete Anstieg der Temperaturen und die geringeren Niederschläge vom Frühling bis in den Herbst sowie eine Zunahme von thermisch komfortablen Bedingungen, vor allem in den höheren Gebirgslagen sowie in den Küstenregionen, können sich insgesamt günstig auswirken. Urlaubsregionen könnten von diesen Veränderungen z. B. durch steigende Zahlen von Urlauberinnen und Urlaubern in der bisherigen Nebensaison oder eine verlängerte Sommersaison profitieren. Die Witterungsveränderungen bergen auf der anderen Seite neue Risiken wie Dürre und vermehrte Algenbildung in Badegewässern.

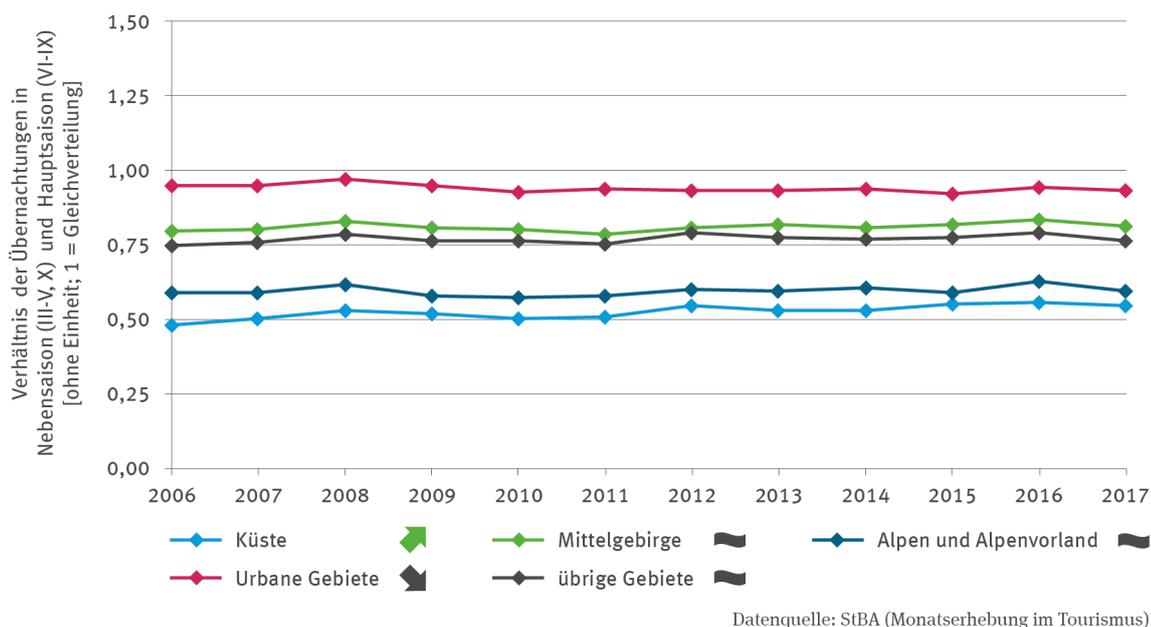
Besonders sensibel gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels sind in positiver wie in negativer Hinsicht

Destinationen, die vorrangig wegen wetter- bzw. witterungsabhängigen Aktivitäten ausgewählt werden und eine starke jahreszeitliche Bindung aufweisen. Dies gilt für alle Reiseregionen in Deutschland, wobei Destinationen, die besonders durch Städte- und Kulturtourismus geprägt sind, weniger betroffen sein werden. Der Tourismus an der Küste ist in Deutschland überwiegend in der Hauptreisezeit von Juni bis September nachgefragt. In diesem Zeitraum werden dort bisher annähernd doppelt so viele Übernachtungsgäste gezählt wie in der Nebensaison.

Auch in der Tourismusregion Alpen und Alpenvorland ist die Bedeutung der Hauptsaison von Juni bis September für den Übernachtungstourismus sehr hoch. Die touristische Bedeutung der Wintersaison in den Alpen manifestiert sich stärker im Tagestourismus und der damit verbundenen hohen Wertschöpfung vor allem in den Skigebieten. An den jährlichen Übernachtungen hat die Wintersaison nur einen Anteil von etwas mehr als 20%.

### TOU-I-6: Saisonale Übernachtungen in deutschen Tourismusgebieten

Die Tourismuswirtschaft weist in den Alpen, im Alpenvorland und an der Küste schwerpunktmäßig in der Hauptsaison hohe Übernachtungszahlen auf. In anderen Tourismusgebieten verteilen sich die Gästezahlen gleichmäßiger über das Jahr. An der Küste ist ein Trend zu mehr Buchungen in der Nebensaison zu verzeichnen.



Die weiteren Tourismusregionen, d. h. die Mittelgebirgsregionen, die urbanen Gebiete und alle übrigen Regionen, weisen bezogen auf die Übernachtungszahlen eine deutlich gleichmäßigere Nachfrage im Jahresverlauf auf. Vor allem der Tourismus in den urbanen Gebieten ist in hohem Maße saisonunabhängig. Diese Regionen profitieren davon, dass die dort vorhandenen Angebote weniger abhängig von Wetter und Witterung sind und ganzjährig genutzt werden können. Hierzu zählen z. B. Kulturreisen, der Wellness-tourismus und andere themenbezogene Reisen.

In allen deutschen Tourismusregionen hat die Zahl der Übernachtungen in den vergangenen Jahren zugenommen, am stärksten in den urbanen Gebieten. Die Zuwächse der Übernachtungszahlen verteilen sich bislang gleichmäßig auf Haupt-, Neben- und auch Wintersaison. Ein signifikanter Trend zur Verschiebung der saisonalen Nachfrage lässt sich bislang nicht feststellen. Für eine Interpretation der Zahlen im Zusammenhang mit den klimatischen Veränderungen ist im Übrigen grundsätzlich Vorsicht angebracht, denn die Zahl der Übernachtungen in deutschen Reisegebieten ist von sehr vielen Faktoren und keineswegs nur von den klimatischen Bedingungen und deren Veränderungen abhängig.

Im Rahmen eines durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projekts wurden 2009 die Möglichkeiten einer nachhaltigen Tourismusentwicklung unter den Vorzeichen des Klimawandels für Pilotregionen an der Küste und in Mittelgebirgsregionen untersucht. Die Ergebnisse zeigen u. a., dass Auswirkungen des Klimawandels bislang nur wenig wahrgenommen werden und das Thema Anpassung im Tourismus deswegen noch keine wichtige Rolle spielt. Eine grundsätzliche Bereitschaft, sich mit dem Thema Klimawandel zu beschäftigen, ist zwar durchaus vorhanden, noch liegt der Schwerpunkt aber im Bereich Klimaschutz, der als Chance genutzt wird, um für touristische Angebote ein umweltfreundliches und innovatives Image zu erzeugen.<sup>77</sup>



Frühjahr und Herbst könnten zukünftig wichtiger für die deutschen Tourismusregionen werden.  
(Foto: © sasun Bughdaryan / stock.adobe.com)

## Schnittstellen

TOU-I-2: Übernachtungen im touristischen Großraum  
Küste

TOU-I-5: Übernachtungen in Wintersportorten

## Verändern die Deutschen ihr Reiseverhalten?

Der Klimawandel ist neben dem demographischen Wandel, der Ferienzeitregelungen, Kaufkraft und verfügbarer Freizeit, politischen Krisen, zunehmendem Konkurrenzdruck, steigender Preissensibilität und Anspruchshaltung eine der Kräfte, die das nationale und internationale Reiseverhalten der Deutschen langfristig beeinflussen werden. Urlauberinnen und Urlauber aus Deutschland sind vielseitig interessiert und probieren gern neue und andere Reiseangebote aus. Reisende werden ihre Reisegewohnheiten zukünftig immer wieder verändern, möglicherweise auch als Folge sich ändernder Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse. Eine repräsentative Umfrage aus dem Jahr 2013 ergab, dass mehr als 22% der deutschen Touristen ihre Reisepläne an steigende Temperaturen anpassen und in kühlere Regionen ausweichen wollen.<sup>78</sup> In der repräsentativen Bevölkerungsumfrage „Umweltbewusstsein in Deutschland“<sup>41</sup> gaben im Jahr 2012 gut die Hälfte der Befragten an, ihre Freizeit- oder Urlaubsplanung umzustellen und beispielsweise anstrengende Aktivitäten bei Hitze

oder heiße Urlaubsregionen zu meiden, 2014 und 2016 waren es schon mehr als zwei Drittel der Befragten.

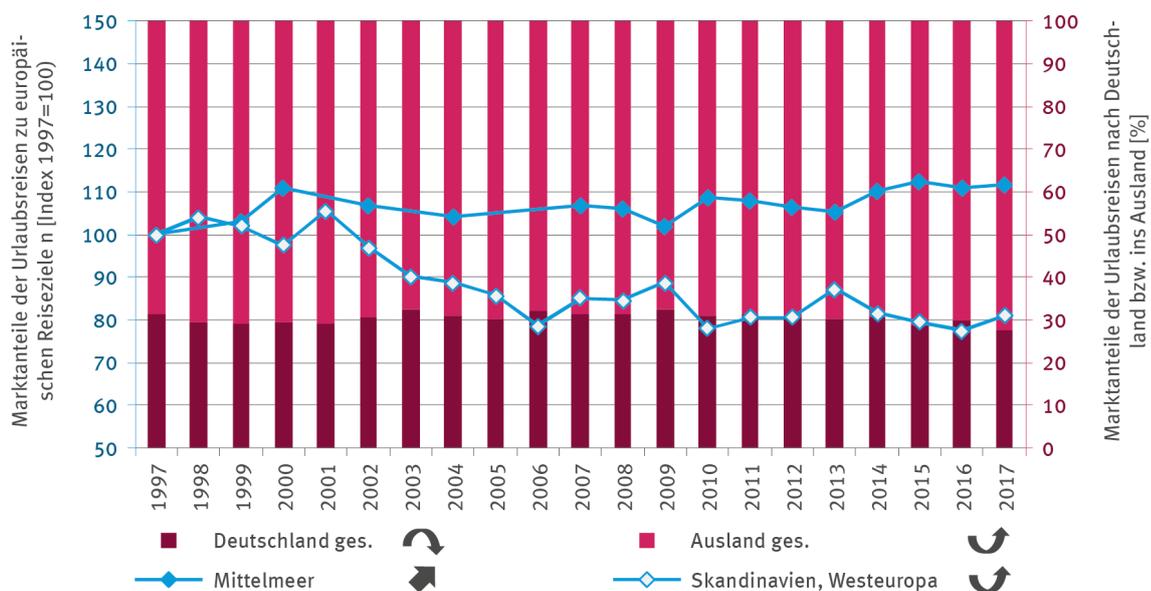
Traditionell stehen der Strandurlaub, Baden und Sonne-Tanken unangefochten an erster Stelle in der schönsten Zeit des Jahres. 29% aller Auslandsurlaube wurden im Jahr 2010 in erster Linie hierfür unternommen.<sup>79</sup> Es verwundert daher nicht, dass das Mittelmeer für die Deutschen das beliebteste Ziel für längere Urlaube von mehr als fünf Tagen Dauer ist.

Vor allem für den sommerlichen Strandurlaub im Süden und damit für die Mittelmeerregion als das „klassische“ Ziel werden negative Folgen des Klimawandels erwartet, so können mediterrane Ziele künftig als weniger geeignet für den Sommerurlaub erscheinen, wenn z. B. für Urlauber bei Hitzewellen und Dürren häufiger Verhältnisse jenseits der thermischen Behaglichkeit herrschen, ausbleibende Niederschläge die Wasserversorgung erschweren und die Gefahr von Waldbränden steigt. Dagegen wird u. a. angenommen, dass die Reiseziele in Mittel- und Nordeuropa in den Sommermonaten von den

I s. Fußnote S. 207

### TOU-I-7: Präferenz von Urlaubsreisezielen

Im Reiseverhalten der Deutschen spiegeln sich bislang wenige der möglichen mit dem Klimawandel assoziierten Entwicklungen. Die Marktanteile des Inlandtourismus sowie des Mittelmeerraums sind stabil. Für Westeuropa und Skandinavien als möglichen Profiteuren klimatischer Veränderungen zeichnet sich nach einer längeren Phase mit rückläufiger Entwicklung ein langsamer Anstieg des Marktanteils an Urlaubsreisen ab.



Datenquelle: Forschungsgemeinschaft Urlaub und Reisen e.V. (Reiseanalyse)

klimatischen Veränderungen profitieren könnten, wenn höhere Temperaturen und geringere Niederschläge die Attraktivität der dortigen Badeziele erhöhen und die Sommersaison länger andauert. Statistische Modellierungen zur Entwicklung des Tourismus in Europa kommen zu dem Ergebnis, dass für bislang kühlere Länder und in höher gelegenen Destinationen zum einen mit einer zunehmenden Zahl internationaler Gäste zu rechnen ist. Es könnte auch zu einer Zunahme des Inlandstourismus kommen, wenn sich die touristische Nachfrage vom Ausland hin zu inländischen Reisezielen verschiebt.<sup>80</sup>

In ausreichend hohen Lagen können in Nordeuropa auch Vorteile für den Wintersporttourismus entstehen. Mit zunehmenden Niederschlags- und damit Schneemengen in der Wintersaison bleibt die Schneesicherheit Skandinaviens höher als in vielen Teilen der Alpen. Damit kann die Region möglicherweise Marktanteile im alpinen und nordischen Skisport gewinnen, wenn traditionelle Wintersportorte in Deutschland, aber auch niedriger gelegene Skigebiete in Österreich wegen rückläufiger Schneesicherheit zukünftig unattraktiver für den Winterurlaub werden.

Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass großräumige klimabedingte Änderungen im Reiseverhalten der Deutschen erst langfristig sichtbar werden. Zum einen verläuft die klimatische Entwicklung nicht kontinuierlich, sondern ungünstige Wetter- und Witterungsbedingungen stellen sich unregelmäßig ein. Erst wenn die Urlauberinnen und Urlauber häufiger und regelmäßiger negative Erfahrungen mit den lokalklimatischen Bedingungen machen, ist mit Auswirkungen auf das Reiseverhalten zu rechnen. Zum anderen besteht für die Urlaubssuchenden dann immer noch die Option, sich innerhalb des Mittelmeerraums an die geänderten Verhältnisse anzupassen. Sie könnten beispielsweise zu einem anderen Zeitpunkt reisen, wenn die heißen Sommertemperaturen in der bisherigen Hochsaison zu hoch werden. Zudem haben sie die Möglichkeit, innerhalb des Mittelmeerraums andere Ziele zu wählen. So wird beispielsweise für Südfrankreich ein langsamerer Anstieg der Temperaturen erwartet als etwa für Spanien oder die nordafrikanische Küste.

Bislang zeigt das Reiseverhalten der Deutschen keine mit dem Klimawandel assoziierten Entwicklungen. Der Mittelmeerraum ist für deutsche Urlauberinnen und Urlauber nach wie vor die attraktivste Reiseregion. Von kleineren Schwankungen abgesehen liegt ihr Marktanteil seit Jahren stabil in einer Größenordnung von ca. 35 %. Auch der Marktanteil der Inlandsurlaube von ca. 30 % zeigt im betrachteten Zeitraum nur geringe Veränderungen. Im Vergleich dazu ziehen die Regionen Skandinavien mit ca. 3 % sowie Westeuropa, d. h. die britischen Inseln,



Wenn es u. a. im Mittelmeerraum immer heißer wird, könnten die deutschen Nord- und Ostseestrände den internationalen Reisezielen zukünftig den Rang ablaufen.  
(Foto: Konstanze Schönthaler / Bosch & Partner GmbH)

die nicht am Mittelmeer gelegene Regionen Frankreichs, die Niederlande, Österreich und die Schweiz mit zuletzt ca. 14 % deutlich weniger deutsche Urlauber an. Nur für diese Regionen ist im Übrigen in den vergangenen Jahren ein Trend zu verzeichnen: Das Interesse an einem Urlaub in Westeuropa und Skandinavien ging seit 1997 signifikant zurück.



© Jirapong / stock.adobe.com

# Finanzwirtschaft

Versicherungsunternehmen, Kreditinstitute und weitere Akteurinnen und Akteure des Finanzsektors sind auf verschiedene Weise mit den Risiken und Folgen des Klimawandels konfrontiert. Ihre Kundschaft, d. h. Privatpersonen und Unternehmen, ist durch Fremdfinanzierungen und Versicherungen eng mit dem Finanzsektor verbunden. Das bedeutet, die Klimarisiken der Geschäftspartnerinnen und -partner können zu Risiken der Finanzinstitute werden.

Die Geschäftstätigkeit von Versicherungen basiert auf dem Grundprinzip der kollektiven Risikoübernahme und -teilung. Voraussetzung für den Erfolg des Versicherungsgeschäfts ist es, Risiken realistisch zu bewerten und den Umfang möglicher Schäden statistisch abschätzbar zu machen, um auf dieser Basis die erforderlichen Versicherungsbeiträge kalkulieren zu können. Versicherungsunternehmen beschäftigen sich daher schon seit längerem intensiv mit den möglichen Folgen des Klimawandels und entwickeln Strategien, um in Zukunft auch mit größeren und häufigeren Schadensereignissen umgehen zu können.

Demgegenüber schätzen die Kreditinstitute die physischen Risiken des Klimawandels zumindest für die nahe Zukunft als beherrschbar ein. Negative Auswirkungen auf die Bonität und Liquidität sowie die Sicherheit von Schuldnerinnen und Schuldner oder die Möglichkeit eines Wertverlusts von Vermögensanlagen werden bislang weniger als Risiko gesehen als bei Versicherungen. Dies gilt insbesondere für die regionalen Kreditinstitute, die nahezu ausschließlich innerhalb Deutschlands aktiv sind und einen großen Teil des inländischen Kreditgeschäfts abwickeln. Für die Kreditinstitute stehen vielmehr Regulatorrisiken, die aus sich verschärfenden Klimaschutz-Auflagen für ihre Kunden entstehen, oder Reputationsrisiken, die mit Investitionen in klimaschädliche Projekte einhergehen können, im Vordergrund.

## Auswirkungen des Klimawandels

Für die Versicherungsunternehmen könnte es teuer werden (FiW-I-1).....	214
Risikobewusstsein – Schlüssel zur Vorsorge (FiW-I-2) .....	216

## Für die Versicherungsunternehmen könnte es teuer werden

Steigende Schadensätze bedeuten steigende Leistungsanforderungen an die Versicherungsunternehmen, denn das Verhältnis zwischen Einnahmen und Ausgaben in dem jeweiligen Versicherungssegment verändert sich. Das ist für die Versicherungen von Bedeutung für ihre Bilanz. Im Jahr 2017 verursachten Stürme und Hagel insgesamt 2,6 Milliarden Euro und damit 90% Versicherungsschäden in der Sach- und KFZ-Versicherung.

Ob ein Versicherungssegment profitabel ist, zeigt die sogenannte Schaden-Kosten-Quote („Combined Ratio“). Die Unwetterereignisse der letzten Jahre haben sich in der Schaden-Kosten-Quote der Wohngebäudeversicherung niedergeschlagen. Liegt die Quote über 100%, bedeutet dies, dass das Unternehmen mit diesem Versicherungsgeschäft Verlust macht. Im Segment der Verbundenen Wohngebäudeversicherung liegt die Schaden-Kosten-Quote typischerweise vergleichsweise hoch. Hier kommt es regelmäßig zu versicherungstechnischen Verlusten. Blickt man auf die vergangenen 21 Jahre zurück, für die die Daten der deutschen Versicherungsunternehmen in der privaten Sachversicherung zentral zusammengeführt

werden, wird deutlich, dass es den deutschen Versicherungsunternehmen bis 2015 nur in drei Jahren gelang (1997, 1998, 2001) mit der Verbundenen Wohngebäudeversicherung einen versicherungstechnischen Gewinn zu erzielen. Zwischen 2002 und 2014 haben die Wohngebäudeversicherer ein versicherungstechnisches Minus von über 7 Milliarden Euro akkumuliert. Lange war in der verbundenen Wohngebäudeversicherung die Preiskonkurrenz am Versicherungsmarkt hoch, sodass die Versicherungsunternehmen gezögert haben, die Kalkulationen der Prämien anzupassen. Nach der Überwindung dieser Preiskämpfe in der Wohngebäudeversicherung und der dann erfolgten Prämien erhöhungen liegt die Combined Ratio für die Jahre 2016 und 2017 wieder unter 100%, sodass in diesen Jahren wieder ein versicherungstechnischer Gewinn in der verbundenen Wohngebäudeversicherung erwirtschaftet wurde. Ein Trend bei der Entwicklung der Schaden-Kosten-Quote lässt sich bisher noch nicht ermitteln.

Betrachtet man alternativ die Zeitreihe der Schadenquote, welche die Verwaltungs- und Abschlusskosten nicht

### FiW-I-1: Schadenquote, Schaden-Kosten-Quote bei der Verbundenen Wohngebäudeversicherung

Die Verbundene Wohngebäudeversicherung ist für die Versicherungsunternehmen generell ein weniger rentables Geschäft. Nach Preisreaktionen auf steigende Schadensummen wurden in den Jahren 2016 und 2017 wieder versicherungstechnische Gewinne erzielt.



Datenquelle: Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.

berücksichtigt und daher keine unmittelbaren Aussagen zur Rentabilität des Versicherungsgeschäfts zulässt, zeigt sich ein ähnliches Bild. Auch hier ist ein Trend noch nicht ersichtlich.

Wollen die Versicherungsunternehmen weitere Prämiensteigerungen für ihre Kunden vermeiden, werden sie voraussichtlich mehr Eigenvorsorge von diesen einfordern müssen. Das bedeutet, die Hausbesitzer müssen selbst aktiv werden und nachweisen, dass sie durch bauliche Maßnahmen ihre Gebäude besser vor den Folgen von Naturgefahren schützen. Die Versicherungswirtschaft geht aber nach wie vor davon aus, dass Schäden aus Naturgefahren in Deutschland auch angesichts des Klimawandels versicherbar bleiben.



Die Wohngebäudeversicherung deckt auch große Schäden durch Hagelschlag ab. (Foto: © Stillkost / stock.adobe.com)

### Schnittstellen

BAU-I-5: Schadenaufwand in der Sachversicherung  
BAU-R-4: Fördermittel für klimawandelangepasstes Bauen und Sanieren

### Ziele

Aktives Management der Risiken und Chancen durch Banken und Versicherungen (DAS, Kap. 3.2.10)

## Risikobewusstsein – Schlüssel zur Vorsorge

Wie Menschen Gefährdungen bzw. Risiken wahrnehmen, wie sie die möglichen Folgen und den Handlungsbedarf einschätzen, ist individuell sehr unterschiedlich. Neben harten naturwissenschaftlich belegten und messbaren Faktoren, die das Ausmaß des Risikos bestimmen, gibt es zahlreiche subjektive Komponenten, die die Risikowahrnehmung in erheblichem Maße beeinflussen können. Risikowahrnehmungen sind dabei oftmals verzerrt. Sie können einerseits geprägt sein von unrealistischem Optimismus und der Illusion, alles unter Kontrolle zu haben, andererseits von den Eindrücken aktueller katastrophaler Ereignisse, die große Betroffenheit auslösen und zur Überschätzung einzelner Risiken führen können.

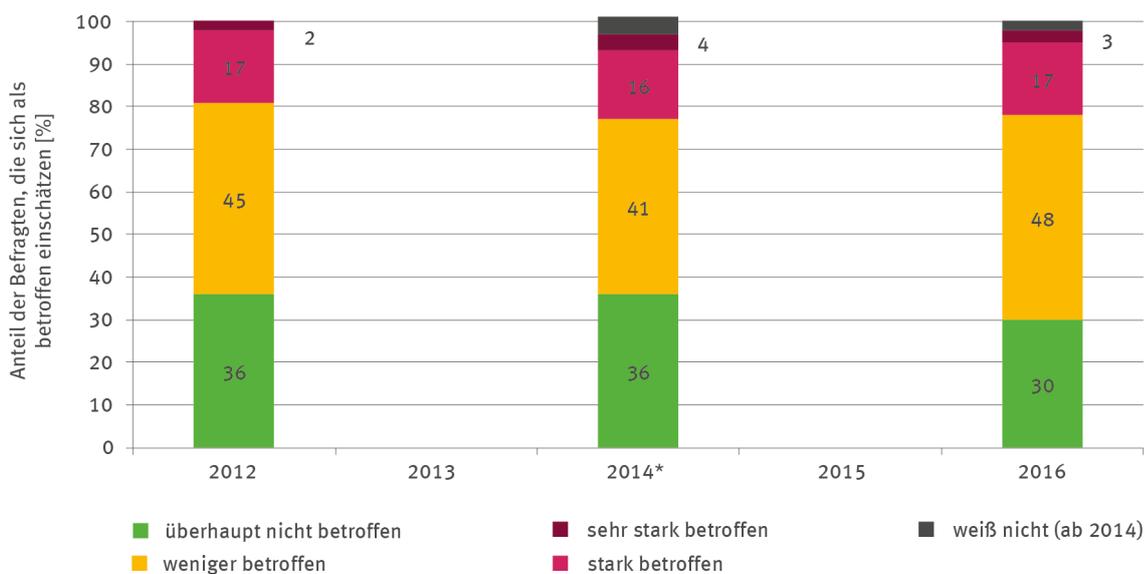
In der im Auftrag des UBA zweijährlich durchgeführten repräsentativen Bevölkerungsumfrage

„Umweltbewusstsein in Deutschland“<sup>1</sup> geben die Befragten seit 2012 auch Einschätzungen ab, in welchem Umfang sie persönlich von den Folgen des Klimawandels betroffen sein werden. Im Jahr 2012 gaben 81 % der Befragten an, sie würden sich weniger bis überhaupt nicht in der Gefahr sehen, dass Hochwasserereignisse und Stürme zu Schäden an ihrem Haus oder ihrer Wohnung führen. An dieser Einschätzung hat sich auch in den Folgebefragungen wenig geändert: 2014 sahen sich 77 % und im Jahr 2016 78 % weniger oder nicht betroffen. Die erhobenen Werte erlauben allerdings nur eingeschränkte Interpretationen, da sie nicht mit der Information über die tatsächliche Exposition der Befragten gegenüber den genannten Klimawandelfolgen verbunden sind. Zu

I Die repräsentative Bevölkerungsumfrage (deutschsprachige Wohnbevölkerung ab 14 Jahre) „Umweltbewusstsein und -verhalten in Deutschland“ wird seit dem Jahr 2000 zweijährlich im Auftrag des BMU und des UBA durchgeführt. Seit 2012 wurden Fragen aufgenommen, die Daten für die DAS Monitoring Indikatoren liefern, ab 2016 werden diese Fragen alle 4 Jahre in der Umweltbewusstseinsstudie erhoben.

### FiW-I-2: Betroffenheit durch Stürme und Hochwasser

Das Risikobewusstsein in der deutschen Bevölkerung ist trotz der extremen Wetterereignisse der vergangenen Jahre noch immer gering. Nicht einmal ein Viertel der befragten Bürgerinnen und Bürger geht davon aus, dass für ihr Haus oder ihre Wohnung ein reales Schadensrisiko durch Stürme und Hochwasser besteht. Entsprechend gering ist infolgedessen auch die Bereitschaft, eine Versicherung abzuschließen, die klimabedingte Risiken abdeckt.



\* Rundungsfehler durch fehlende Dezimalstellen

Datenquelle: BMUB & UBA (Umweltbewusstsein in Deutschland)

ähnlichen Ergebnissen zu Risikoeinschätzungen kommen auch andere ähnlich geartete Umfragen.

So hat der GDV im Rahmen einer forsa-Umfrage im Juni 2013, also kurz nach der Hochwasserkatastrophe, ein Meinungsbild zum Risikobewusstsein in der Bevölkerung eingeholt. Demnach schätzten sogar 90 % der Deutschen das Risiko gering ein, persönlich von Hochwasser, Sturm oder anderen Naturgefahren betroffen zu werden.<sup>81</sup>

Die Realität zeigt jedoch ein anderes Bild, denn die Hochwasser im Juni 2016 trafen zum Teil auch viele Menschen, die weitab der großen Flussläufe leben und sich in Sicherheit wähnten. Auch Überschwemmungen durch Starkregen können fernab von hochwassergefährdeten Gebieten entstehen und erhebliche Schäden verursachen. Erwähnenswert sind hier die Starkregenereignisse im Sommer 2017, die z. B. in Berlin und Brandenburg zu Überschwemmungen mit größeren Schäden führten.

Die Wahrnehmung des eigenen Risikos und der möglichen Betroffenheit sowie das Vorhandensein alltags-tauglicher Handlungsoptionen ist eine der wesentlichen Motivationen für jeden Einzelnen, die bestehenden Möglichkeiten der Risikominderung auszuschöpfen und entsprechende Vorsorgemaßnahmen und Absicherungen zu treffen. Daher ist es von Bedeutung, dass die tatsächlichen Risiken, die mit dem Klimawandel verbunden sind, von möglichst vielen Menschen erkannt und realistisch bewertet werden. Hilfestellung hierfür leistet u. a. das internetgestützte Informationsinstrument „Kompass Naturgefahren“, das Mieterinnen und Mieter, Hausbesitzende und Unternehmen darüber informiert, wie stark ihr Gebäude durch Hochwasser gefährdet ist. Darüber hinaus erfahren die Nutzerinnen und Nutzer dort, welche Risiken für weitere Naturgefahren wie Starkregen, Sturm, Blitzschlag und Erdbeben bestehen. Der „Kompass Naturgefahren“ soll das Bewusstsein der Menschen für die Risiken von Naturereignissen schärfen und zur Eigenvorsorge auffordern. Diesen Service gibt es derzeit für den Freistaat Sachsen, Sachsen-Anhalt, Niedersachsen und Berlin.

Für die Versicherungswirtschaft ist ein angemessenes Risikobewusstsein der Bevölkerung und der Unternehmen eine ihrer wichtigsten Geschäftsgrundlagen. Nur wenn dieses Bewusstsein breit verankert ist und sich infolgedessen viele Menschen versichern, lassen sich ausreichend große Risikogemeinschaften für eine Versicherung bilden, die sicherstellen, dass die Versicherungsprämien erschwinglich sind.

Zum geringen Risikobewusstsein kommt hinzu, dass viele Menschen glauben, sie seien über ihre bestehenden



Viele Menschen schätzen das Risiko, dass ihr Haus oder ihre Wohnung durch Klimawandelfolgen Schaden nehmen könnte, als nur gering ein. (Foto: © Andrey Popov / stock.adobe.com)

Versicherungen bereits ausreichend gegen Schäden infolge des Klimawandels versichert.<sup>82</sup> In vielen Fällen wird dabei übersehen, dass die übliche Verbundene Wohngebäudeversicherung beispielsweise Schäden aus starken Überflutungen nicht abdeckt.

## Schnittstellen

BAU-I-5: Schadenaufwand in der Sachversicherung  
BS-R-1: Information zum Verhalten im Katastrophenfall

HUE-1: Wahrnehmung des Problemfelds Klimawandelfolgen

## Ziele

Aufklärung von Kundinnen und Kunden und Behörden über klimarelevante Zusammenhänge und Schaffung finanzieller Anreize durch entsprechende Vertragsgestaltung durch die Versicherungswirtschaft (DAS, Kap. 3.2.10)



© U. J. Alexander/stock.adobe.com

# Raumordnung, Regional- und Bauleitplanung

Raumordnung, Regional- und Bauleitplanung können die Anpassung an den Klimawandel in zwei wesentliche Richtungen unterstützen. Zum einen können sie auf den jeweiligen Planungsebenen gezielt die Risikovorsorge unterstützen und die Flächennutzung so steuern, dass bestehende oder zu erwartende Klimarisiken z. B. durch extreme Wetter- und Witterungsereignisse und ihre Folgen gemindert werden. Zum anderen können sie die sich ändernden Nutzungsansprüche und -erfordernisse, die durch den Wandel der klimatischen Rahmenbedingungen entstehen werden, untereinander und mit den landschaftlichen Potenzialen planerisch in Einklang bringen.

Auf den unterschiedlichen Planungsebenen stehen für diese Zwecke verschiedene Instrumente zur Verfügung. Die wesentlichen formalen Instrumente der Raumordnung, d. h. der Landes- und Regionalplanung, die eine übergeordnete Steuerung der Raumentwicklung ermöglichen, sind die Planungskategorien der Vorrang- sowie der Vorbehaltsgebiete. In Vorranggebieten haben bestimmte raumbedeutsame Funktionen oder Nutzungen Priorität: Damit nicht vereinbare andere raumbedeutsame Nutzungen sind nach einer Ausweisung ausgeschlossen, soweit sie als bestehende Nutzung nicht Bestandsschutz genießen. In Vorranggebieten sind alle berührten Belange bereits letztverbindlich abgewogen. Untergeordnete Planungsebenen können sie nur noch ihrem jeweiligen Planungsmaßstab entsprechend konkretisieren, aber nicht erneut abwägen. Vorbehaltsgebiete entfalten demgegenüber eine geringere Bindungswirkung: Durch die Ausweisung erhalten bestimmte raumbedeutsame Funktionen oder Nutzungen in den Vorbehaltsgebieten zwar für nachfolgende Abwägungen mit anderen Nutzungen ein besonderes Gewicht; entgegenstehende Nutzungen können in der Abwägung aber höher gewichtet werden und sind daher nicht gänzlich ausgeschlossen.

## Anpassungen:

Raum für Entwicklung sichern – Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für Natur und Landschaft (RO-R-1).....	220
Raumordnerischer Trinkwasser- und Grundwasserschutz (RO-R-2).....	222
Flächensicherung für den Hochwasserschutz im Binnenland (RO-R-3) .....	224
Freihalten von wichtigen Flächen für das lokale Klima (RO-R-4).....	226
Sparsame Flächenneuanspruchnahme – ein Beitrag auch zur Anpassung (RO-R-5).....	228

Siedlungsentwicklung in Bereichen mit Klimagefahren vermeiden (RO-R-6) .....	230
--	-----

## Raum für Entwicklung sichern – Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für Natur und Landschaft

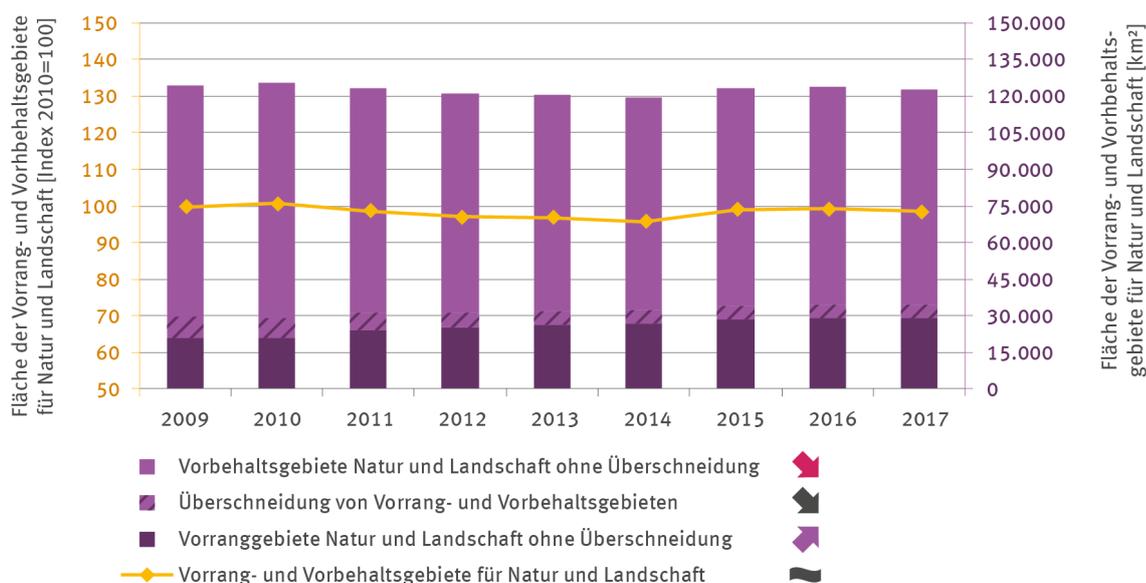
Der Klimawandel wird die ökologischen Bedingungen für Tier und Pflanzenarten auf großer Fläche verändern. Höhere Temperaturen und ein sich änderndes Niederschlagsgeschehen sowie Extremereignisse wirken sich auf verschiedene Bestandteile von Ökosystemen aus und beeinflussen z. B. den Nährstoffhaushalt, die Lebensraumstrukturen oder das verfügbare Nahrungsangebot. Letztlich bedeutet das: Die Grenzen von Lebensräumen von Tier und Pflanzenarten verschieben sich.

Unter diesen Umständen ist für Fauna und Flora, insbesondere für spezialisierte Arten mit spezifischen Standort- und Habitatansprüchen, ein funktionierender Biotopverbund überlebensnotwendig. In einem zusammenhängenden Netz ökologisch bedeutsamer Freiräume ist es den Arten möglich, sich neue, klimatisch geeignetere Lebensräume mit einer ausreichenden Größe und Ausstattung zu erschließen. Nur so ist auch der für den Fortbestand der Arten notwendige Austausch zwischen verschiedenen Populationen und Vorkommen gewährleistet.

Mit der Ausweisung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten für Natur und Landschaft kann die Raumordnung einen Beitrag dazu leisten, ein ökologisches Verbundsystem aufzubauen. Sie kann dadurch Flächen sichern bzw. mit Nutzungsbeschränkungen belegen, die für die Anpassung von Tier und Pflanzenarten an die klimatisch bedingten Veränderungen von Bedeutung sind. Im Jahr 2017 war das auf etwas mehr als einem Drittel der Fläche der Bundesrepublik Deutschland der Fall: Insgesamt ca. 122.000 Quadratkilometer waren in diesem Jahr als Vorrang- und bzw. oder Vorbehaltsgebiet ausgewiesen. Es ist zu berücksichtigen, dass in der Auswertung verschiedene, teils heterogene Ausweisungen in den Ländern zusammengefasst sind, z. B. Raumordnungsgebiete für den Schutz der Natur, den Schutz der Landschaft und die landschaftsorientierte Erholung sowie Gebiete für den Aufbau eines ökologischen Verbundsystems. Aus diesem Grund überlagern sich Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für Natur und Landschaft stellenweise, z. B. wenn Flächen sowohl Vorranggebiet für den Arten- und

### RO-R-1: Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für Natur und Landschaft

Im Jahr 2017 waren in Deutschland ca. 122.000 Quadratkilometer – etwa ein Drittel der Landfläche der Bundesrepublik – als Vorrang- oder Vorbehaltsgebiete für Natur und Landschaft ausgewiesen. Landes- und Regionalplanung unterstützen mit dieser Maßnahme den Biotopverbund und helfen so Tier und Pflanzenarten, ihr jeweiliges Verbreitungsgebiet an die sich ändernden klimatischen Bedingungen anzupassen.



Datenquelle: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (ROPLAMO-Raumordnungsplan-Monitor)

Biotopschutz als auch Vorbehaltsgebiet für den besonderen Schutz des Landschaftsbilds sind. In der Zeitreihe werden diese Teilflächen nur einmal berücksichtigt.

Die ausgewiesenen Flächen nahmen von 2010 bis 2014 um ca. 6.000 Quadratkilometer ab, es wurden vor allem Ausweisungen von Vorbehaltsgebieten zurückgenommen und nur z. T. durch die Neuausweisung von Vorranggebieten kompensiert. Von 2014 bis 2017 nahm die ausgewiesene Fläche aufgrund der Ausweisung von Vorranggebieten wieder um 3.200 Quadratkilometer zu.

Nahezu alle Planungsregionen machen von der Möglichkeit Gebrauch, Vorrang- oder Vorbehaltsgebiete für Natur und Landschaft auszuweisen. Die großflächige Nutzung der Ausweiskategorien zeigt den Stellenwert, den die Planungsregionen dem Schutz von Natur- und Landschaft und damit auch der Schaffung und Erhaltung eines ökologischen Verbundsystems einräumen. Diese Zahlen genügen aber nicht, um beurteilen zu können, ob das ökologische Verbundsystem seine Aufgaben erfüllt und die Landschaft für Tier und Pflanzenarten tatsächlich durchlässig ist. Eine solche Bewertung müsste vor allem ins Kalkül ziehen, wie die ausgewiesenen Gebiete räumlich verteilt und miteinander vernetzt sind und welche ökologische Qualität sie aufweisen. Zudem sind die Vorrang- und Vorbehaltsgebiete nicht die einzigen Flächen, die den ökologischen Verbund sicherstellen sollen. Die Entwicklung und Sicherung des Biotopverbunds ist zunächst eine wesentliche Aufgabe des Naturschutzes, der u. a. mit diesem Zweck Schutzgebiete auf naturschutzrechtlicher Grundlage ausweist und deren Management plant und umsetzt. Diese Flächen sind auch Teil des Biotopverbunds, werden in dieser Auswertung aber nur berücksichtigt, sofern sie durch die Raumordnung gleichzeitig als Vorrang- oder Vorbehaltsgebiet ausgewiesen sind. Auch von Seiten der Raumordnung selbst sind nicht alle Instrumente berücksichtigt, die wie z. B. Regionale Grünzüge bzw. Grünzäsuren einem ökologischen Verbundsystem zugutekommen können. Da diesen Flächen aber auch Aufgaben wie die Erholungsnutzung zugewiesen sein können, die den Zielen des Biotopverbunds zuwiderlaufen, werden sie an dieser Stelle nicht berücksichtigt.

Neben den positiven Wirkungen bieten die ökologischen Verbundsysteme grundsätzlich auch Raum für weniger erfreuliche Entwicklungen. Beispielsweise wird damit gerechnet, dass sich in Folge der Klimaveränderungen unerwünschte Arten oder vom Menschen eingebrachte Arten weiter ausbreiten. Hier wird es auf ein gutes Management der Verbundsysteme ankommen, um den Zielstellungen des Naturschutzes zuwiderlaufende



Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für Natur und Landschaft leisten einen Beitrag zum großräumigen Biotopverbund.  
(Foto:© ExQuisine / stock.adobe.com)

Entwicklungen zu vermeiden oder deren Auswirkungen zu minimieren.

## Schnittstellen

### BD-R-2: Gebietsschutz

#### Ziele

Beitrag zur Anpassung der Arten an die klimabedingte Verschiebung von Lebensräumen durch die planerische Unterstützung bei der Sicherung der Vorranggebiete des Naturschutzes und eines ökologischen Verbundsystems (DAS, Kap. 3.2.14)

Sicherung eines funktional zusammenhängenden Netzes ökologisch bedeutsamer Freiräume, das Wanderungsbewegungen über Ländergrenzen hinweg ermöglicht (Handlungskonzept Klimawandel, MKRO 2013, Kap. 3.7)

Sicherung von Lebensraumkorridoren und Funktionsräumen für den Austausch der Arten zwischen schutzwürdigen Lebensräumen durch die Raum-, Regional- und Bauleitplanung; nachrichtliche Übernahme von weiteren Lebensraumkorridoren in Raumordnungspläne (Bundesprogramm Wiedervernetzung, Kap. C.3.1, C.3.2)

## Raumordnerischer Trinkwasser- und Grundwasserschutz

Obwohl Deutschland ein wasserreiches Land ist und über ein insgesamt ausreichendes Wasserdargebot verfügt, gibt es regional begrenzt Wassermangelgebiete, in denen die nutzbaren Grundwasservorkommen gering sind und die Wassernachfrage in einzelnen Jahreszeiten mitunter nicht aus der Region gedeckt werden kann. Verteilungssysteme gleichen dort regionale Unterschiede in der Wasserverfügbarkeit aus. Durch den Klimawandel kann sich die schon aktuell ungünstige klimatische Wasserbilanz in einigen Regionen Deutschlands weiter verschlechtern. Veränderte Niederschlags- und Temperaturverhältnisse wirken sich auf alle Prozesse im Wasserhaushalt aus und beeinflussen somit auch die Grundwasserneubildungsrate sowie die Menge und Qualität von Grund- und Oberflächengewässern, die für die Trinkwassergewinnung genutzt werden. Aus einer zunehmenden Wasserknappheit und häufigeren Dürren können regional Konflikte um die Nutzung vor allem von oberflächennahe Wasserressourcen entstehen.

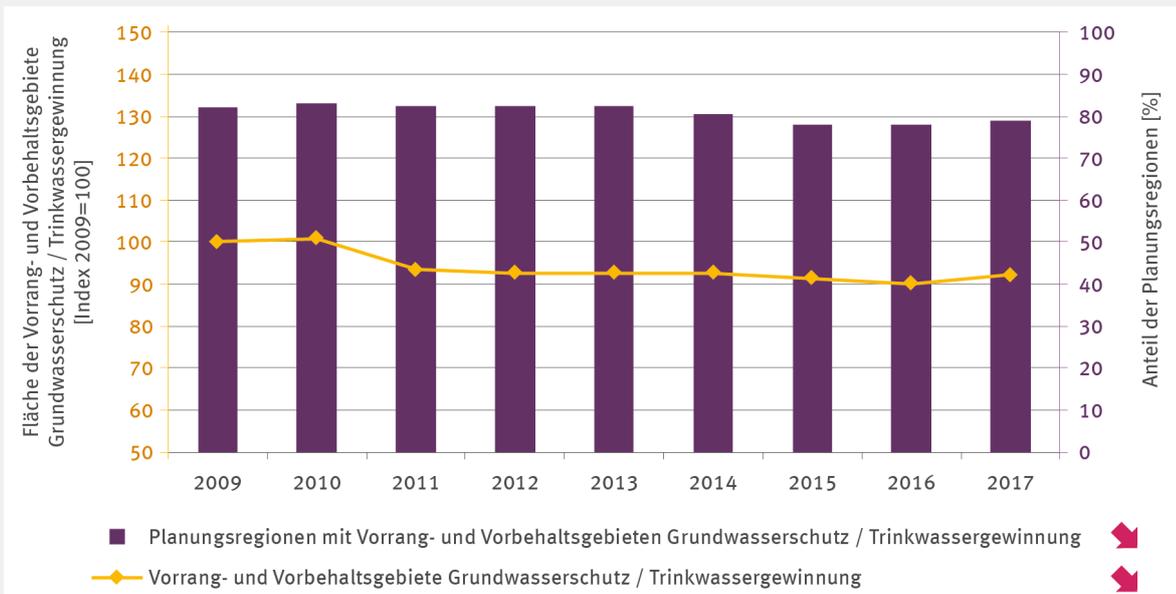
Landes- und Regionalplanung können Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für den Trinkwasser- und

Grundwasserschutz ausweisen, um dadurch Wasserressourcen planerisch zu sichern, zwischen unterschiedlichen Nutzungsansprüchen zu moderieren und Konflikte zu vermeiden oder abzuschwächen. Knapp 80 % der Planungsregionen machen von dieser Möglichkeit Gebrauch. Der hohe Anteil der ausweisenden Planungsregionen macht deutlich, dass die raumordnerischen Instrumente nicht nur in Planungsregionen genutzt werden, die tendenziell von einem Wassermangel betroffen sind. Vielmehr kommt dem Schutz und der Sicherung der Wasserressourcen auch in wasserreichen Gebieten eine hohe Bedeutung zu, auch weil deren Wasservorräte z. T. für die Versorgung der wasserarmen Gebiete mit in Anspruch genommen werden.

In welchem Umfang in den einzelnen Planungsregionen die verschiedenen Gebietskategorien zum Schutz von Grund- und Trinkwasser zur Anwendung gelangen, hängt neben einer unterschiedlichen Planungspraxis vor allem von der jeweiligen naturräumlichen Ausstattung der Regionen ab, z. B. von der Bodenbeschaffenheit und den geologischen Ausgangsbedingungen sowie

### RO-R-2: Vorrang- und Vorbehaltsgebiete Grundwasserschutz / Trinkwassergewinnung

Bei der Neuaufstellung einzelner Regionalpläne in den vergangenen Jahren wurden Vorrang- und Vorbehaltsgebiete nicht erneut oder nur noch in kleinerem Umfang ausgewiesen. In der Folge nahm die Fläche von raumordnerischen Gebieten zum Trinkwasser- und Grundwasserschutz im Vergleich zum Jahr 2009 ab.



Datenquelle: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (ROPLAMO - Raumordnungsplan-Monitor)

der Naturnähe und Nutzungsintensität der Vegetation. Deutschlandweit waren 2017 ca. 39.000 Quadratkilometer Fläche als Vorrang- oder Vorbehaltsgebiete für den Trinkwasser- und Grundwasserschutz ausgewiesen, d. h. mehr als 10% des Bundesgebiets. Auch wenn die Flächenausdehnung allein keine Rückschlüsse erlaubt, ob Gebiete in angemessenem Umfang und angemessener Qualität ausgewiesen sind, zeigt dieser Anteil die hohe Bedeutung, die dem Schutz der Wasserressourcen durch die Raumordnung beigemessen wird.

Regionalpläne werden i. d. R. alle zehn bis 15 Jahre neu aufgestellt oder fortgeschrieben. Die Planungsregionen können dabei die Festlegungen in den Plänen aktualisieren, wodurch es zu Veränderungen der Flächenausweisungen kommen kann. Zudem können die Pläne auch an eine veränderte Rechtslage oder eine geänderte Rechtsprechung angepasst werden.

Insbesondere in trockeneren Regionen des Bundesgebiets sind bei der Fortschreibung von Raumordnungsplänen bereits Festsetzungen zum klimawandelbedingten Grundwasserschutz vorgesehen. Seit 2009 nahm die für den Schutz der Wasserressourcen ausgewiesene Fläche dennoch um ca. 3.700 Quadratkilometer ab. Grund hierfür war, dass Raumordnungsgebiete für die Trinkwassersicherung oder zum Schutz von Grundwasserkommen bei der Neuaufstellung einzelner Regionalpläne nicht erneut festgelegt oder in ihrer Flächenausdehnung reduziert wurden.



Raumordnerische Instrumente sichern eine das Trinkwasser und das Grundwasser schonende Flächennutzung.  
(Foto: © alexlukin / stock.adobe.com)

## Schnittstellen

WW-I-1: Grundwasserstand

WW-R-1: Wassernutzungsindex

## Ziele

Verstärkte raumordnerische Sicherung von Wasserressourcen und planerisches Hinwirken auf angepasste Nutzungen (DAS, Kap. 3.2.14)

Verstärkte Sicherung von Wasserressourcen insbesondere auch zur dauerhaften, langfristigen Sicherung über den gegenwärtigen Nutzungsbedarf hinaus (Reservegebiete); Unterstützung der Erhaltung bzw. Verbesserung des Wasserhaushalts der Böden (Erhöhung der Wasserspeicherfähigkeit, Verbesserung des Infiltrationsvermögens) in den empfindlichen Bereichen der Grundwassereinzugsgebiete; vorausschauende Lenkung stark wasserbrauchender Nutzungen in den von Trockenheit besonders betroffenen Gebieten (Handlungskonzept Klimawandel, MKRO 2013, Kap. 3.5)

## Flächensicherung für den Hochwasserschutz im Binnenland

Als eine mögliche Folge des Klimawandels können sich die Häufigkeit und die Schwere von Hochwasserereignissen ändern, z. B. wenn sich sommerliche Starkniederschläge intensivieren oder die winterlichen Niederschläge zunehmen bzw. vermehrt als Regen fallen. In den Wintermonaten kann in den wassergesättigten Böden nur wenig Niederschlag versickern, sodass dieser i. d. R. direkt abflusswirksam wird. Ein vorausschauender Hochwasserschutz ist daher eine wichtige Anpassungsmaßnahme an die Folgen des Klimawandels.

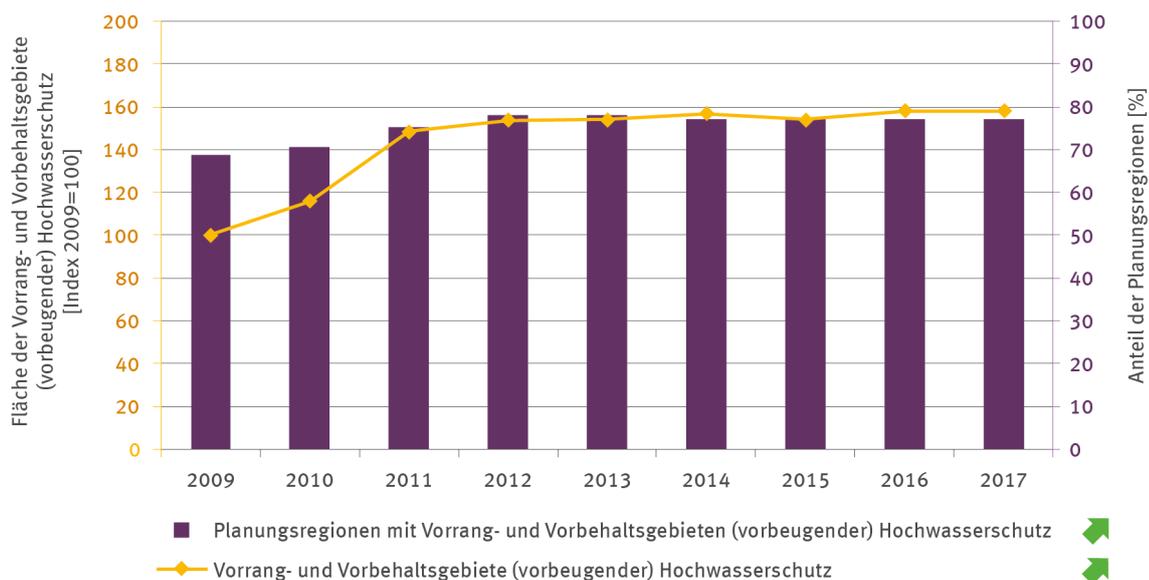
Zentraler Bestandteil eines vorbeugenden Hochwasserschutzes ist die Ausweisung von Überschwemmungsgebieten, für die das WHG bundesweit verbindliche Regeln formuliert. Als Überschwemmungsgebiete sind innerhalb sogenannter Risikogebiete alle Bereiche amtlich festzusetzen, die bei einem hundertjährigen Hochwasserereignis überflutet würden. Zudem sind die zur Hochwasserentlastung und Rückhaltung beanspruchten Gebiete wie z. B. Flutpolder oder Flutmulden in die Ausweisung einzubeziehen.

Über die wasserrechtlichen Vorgaben hinaus ist es aber auch eine Aufgabe der Raumordnung, mit ihren Instrumenten zum vorbeugenden Hochwasserschutz beizutragen. Als wesentliches Instrument stehen ihr dafür die raumordnerischen Festlegungen zum Hochwasserschutz zur Verfügung. Hierdurch kann die Raumnutzung so gesteuert werden, dass sie gegenüber Hochwassergefahren, die erwartungsgemäß in Folge des Klimawandels zunehmen, möglichst wenig anfällig ist. In gefährdeten Bereichen kann eine Nutzung für Siedlungen oder Infrastrukturen ausgeschlossen werden. Flächen, die für den Wasserrückhalt in der Landschaft und einen vorausschauenden, den Klimawandel berücksichtigenden Hochwasserschutz von Bedeutung sind, können gesichert bzw. mit Nutzungsbeschränkungen belegt werden.

Das raumordnerische Instrument mit der größten Tragweite für diesen Zweck sind Vorranggebiete für den vorbeugenden Hochwasserschutz. Im Bereich der in dieser Kategorie ausgewiesenen Flächen hat der Hochwasserschutz Priorität. Raumbedeutsame Nutzungen, die mit diesem Ziel nicht vereinbar sind, sind ausgeschlossen.

### RO-R-3:Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für (vorbeugenden) Hochwasserschutz

Die Fläche von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten zum (vorbeugenden) Hochwasserschutz ist zwischen 2009 und 2013 deutlich um ca. 4.000 Quadratkilometer gewachsen. Bis zum Ende des Jahres 2017 hatten 88 von 114 Regionen entsprechende Festsetzungen in ihren Regionalplänen getroffen.



Datenquelle: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (ROPLAMO - Raumordnungsplan-Monitor)

Die bisherige Praxis zur Ausweisung von Vorranggebieten in den Planungsregionen ist insgesamt noch heterogen, sie nimmt i. d. R. aber Bezug auf die Abgrenzung der wasserrechtlichen Überschwemmungsgebiete. Teilweise werden die Festlegungen nachrichtlich in den Regionalplänen dargestellt, teilweise sind die ausgewiesenen Vorranggebiete identisch mit den festgesetzten Überschwemmungsgebieten; in anderen Regionen gehen die Vorranggebiete über die Überschwemmungsgebiete hinaus. Teilweise ist eine raumordnerische Vorrangaussweisung zum Hochwasserschutz aber – wie durch das sogenannte Doppelsicherungsverbot im Landesplanungsgesetz Bayern – gesetzlich ausgeschlossen.

Die Festsetzung der Überschwemmungsgebiete war gemäß den WHG-Vorgaben bis Ende 2013 abzuschließen. Es war zu erwarten, dass in der Folge auch zahlreiche Planungsregionen die Ausweisung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten für den vorbeugenden Hochwasserschutz nachführen oder erstmalig vornehmen. Im Jahr 2017 waren in den Planungsregionen insgesamt rund 11.800 Quadratkilometer Fläche als Vorrang- und Vorbehaltsgebiete ausgewiesen. Seit 2009 trafen 11 von 114 Planungsregionen in ihren Regionalplänen neu entsprechende Ausweisungen, sodass die Fläche von Vorrang- oder Vorbehaltsgebieten zum vorbeugenden Hochwasserschutz deutschlandweit um ca. 4.330 Quadratkilometer zunahm. Die Mehrzahl der neuen Ausweisungen erfolgte bis 2013.

Im Sinne einer Anpassung an die Folgen des Klimawandels erscheint es wünschenswert, dass raumordnerische Ausweisungen für den vorbeugenden Hochwasserschutz dort, wo es sinnvoll ist, über die wasserrechtlich festgesetzten Überschwemmungsgebiete hinausgehen und damit den Vorsorgegedanken zusätzlich stärken. Verschiedene Modellvorhaben der Raumordnung gingen in den vergangenen Jahren der Frage nach, welche Möglichkeiten hierfür bestehen. In der Region Oberes Elbtal-Ostergebirge wurde dabei beispielsweise eine neue Methodik zur Ausweisung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten Hochwasservorsorge entwickelt und rechtlich geprüft, die eine Abgrenzung der Vorranggebiete für die Hochwasservorsorge anhand der Gefahrenintensität (Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit) bei Extremhochwasser vorsieht und dabei auch den Siedlungsbestand einbezieht. Die Ergebnisse werden im Form von umsetzungsorientierten Handlungsempfehlungen bei der aktuell stattfindenden Gesamtfortschreibung des Regionalplans in der Planungsregion verwendet.



Ausufern erlaubt – Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für den vorbeugenden Hochwasserschutz können Auenbereiche sichern und den Flüssen Raum bieten.

(Foto: © vladk213 / stock.adobe.com)

## Schnittstellen

WW-I-3: Hochwasser

RO-R-6: Siedlungsnutzung in Hochwassergefahrenbereichen

## Ziele

Verstärkter Schutz gegen zunehmende Hochwassererisiken durch passive Sicherungsmaßnahmen, insbesondere die Freihaltung von Bebauung; Sicherung vorhandener Abfluss und Retentionsflächen sowie planerische Vorsorge für deren Ausweitung bezogen auf das Risiko eines 200-jährlichen Hochwassers; erhebliche Ausweitung der Retentionsflächen bis zum Jahr 2020 (DAS, Kap. 3.2.14)

Sicherung vorhandener Überschwemmungsbereiche als Retentionsraum; Rückgewinnung von Überschwemmungsbereichen als Retentionsraum; Risikovorsorge in potenziellen Überflutungsbereichen; Verbesserung des Wasserrückhalts in der Fläche der Einzugsgebiete der Flüsse; Sicherung potenzieller Standorte für Hochwasserschutzmaßnahmen (Handlungskonzept Klimawandel, MKRO 2013, Kap. 3.1)

Vorbeugender Hochwasserschutz im Binnenland vor allem durch Sicherung oder Rückgewinnung von Auen, Rückhalteflächen und Entlastungsflächen (ROG, § 2 (2) 6)

## Freihalten von wichtigen Flächen für das lokale Klima

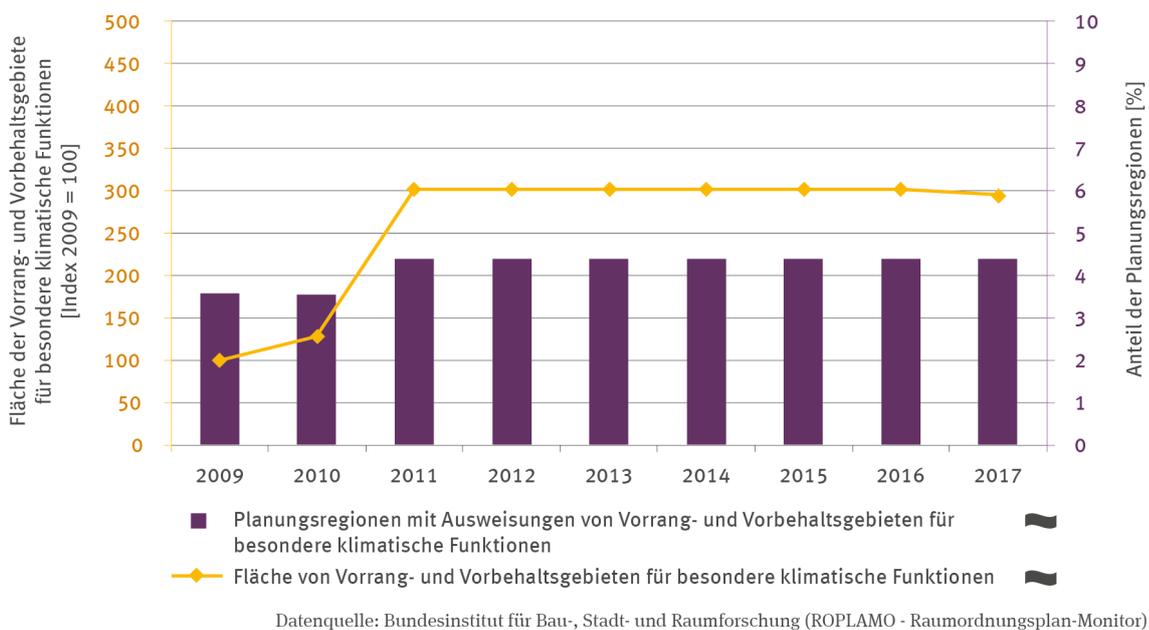
In Städten bzw. Ballungsräumen mit einer hohen Siedlungsdichte und einem hohen Versiegelungsgrad werden oft deutlich höhere Durchschnittstemperaturen und höhere Spitzentemperaturen gemessen als im umgebenden Umland – ein Effekt, der auch als städtische Wärmeinsel bezeichnet wird. Die Intensität des Wärmeinseleffekts nimmt mit steigender Einwohnerzahl zu. In Städten mit rund 100.000 Einwohnerinnen und Einwohnern beträgt der Temperaturunterschied zwischen Stadt und Umland bis zu 6 °C, für die Millionenstadt Köln wurden 2012 am Ende einer Strahlungsnacht über 10 °C nachgewiesen. In Abhängigkeit von den natürlichen bioklimatischen Bedingungen (geografische Lage, Höhenlage etc.) kann es in den Sommermonaten zu verstärkten Wärmebelastungen im Vergleich zum Umland kommen, die sich durch den Klimawandel zukünftig verstärken können. Insbesondere die langsame Abkühlung des Stadtraums abends und in der Nacht kann den Einwohnerinnen und Einwohnern Schwierigkeiten bereiten, wenn aufgrund hoher Temperaturen keine erholsame Nachtruhe möglich ist.

Die Regionalplanung kann dieser projizierten Zunahme von bioklimatischen Belastungssituationen entgegenwirken, indem sie klimatisch bedeutsame großräumige Freiflächen, auf denen sich Kalt und Frischluft sammeln und in die städtischen Räume gelangen kann, als Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für besondere Klimafunktionen ausweist und mit lokalen Grünflächen vernetzt. Sie kann dadurch Flächennutzungen verhindern, die dieser Zielstellung zuwider laufen. Die Planung kann aber auch Gebiete ausweisen, in denen aufgrund der lokalen Verhältnisse ein besonderer Handlungsbedarf besteht, bioklimatische Belastungen zu verringern.

Bislang erfolgt die Ausweisung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten für besondere Klimafunktionen allerdings nur in wenigen Regionen. Dies liegt zum einen daran, dass die Planungskategorie noch relativ neu ist. Planwerke der Landes- und Regionalplanung haben i. d. R. über längere Zeiträume Bestand, sodass sich Neuerungen erst nach und nach in den Plänen etablieren können.

### RO-R-4: Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für besondere Klimafunktionen

Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für besondere Klimafunktionen sind ein noch junges Instrument der Raumordnung. Diese Gebietskategorie kommt daher bislang deutschlandweit erst in fünf Planungsregionen zur Anwendung.



Zum anderen nutzt die Regionalplanung auch andere raumordnerische Instrumente des Freiraumschutzes wie regionale Grünzüge zur Sicherung klimatisch bedeutsamer Freiflächen oder sie stellt z. B. bioklimatisch relevante Luftleitbahnen symbolisch dar, ohne einzelnen Flächen konkrete Aufgaben zuzuweisen. Welche Instrumente zum Einsatz kommen und wie sie angewendet werden, hängt dabei auch von der Ausweisungspraxis im jeweiligen Bundesland ab. Ein zusätzlicher Bedarf an Flächenausweisungen ist daher mitunter gar nicht gegeben.

In den Planungsregionen in Hessen und Rheinland-Pfalz, die Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für besondere Klimafunktionen anwenden, werden die beiden genannten Zielrichtungen, d. h. die Freihaltung klimatisch bedeutsamer Freiflächen und die Ausweisung bioklimatisch belasteter Gebiete mit hohem Handlungsbedarf, in die Praxis umgesetzt. In Hessen geht es in den verschiedenen Regionalplänen um eine nachhaltige Sicherung von Gebieten als klimatische Ausgleichsräume bzw. als Luftleitbahnen. In den Regionalplänen für Mittelhessen und Südhessen werden im Detail Flächen der Kalt- und Frischluftentstehung sowie des Kalt- und Frischluftabflusses benannt, die gesichert und, soweit erforderlich, wiederhergestellt werden sollen. Diese Gebiete sollen von Bebauung und anderen Maßnahmen, die die Entstehung und den Transport von frischer und kühler Luft behindern können, freigehalten werden. Planungen und Maßnahmen, die die Durchlüftung von klimatisch bzw. lufthygienisch belasteten Ortslagen verschlechtern können, sind in diesen Gebieten zu vermeiden. Sie dürfen nur realisiert werden, wenn nachgewiesenermaßen keine erheblichen nachteiligen klimatischen Auswirkungen entstehen.

Die oben skizzierte zweite Anwendungsrichtung der Planungskategorie wird im Regionalplan Mittelrhein-Westerrwald und im Regionalen Flächennutzungsplan Frankfurt/Rhein-Main verfolgt: Hier werden thermisch belastete Räume und klimatisch sensible Tallagen als Vorbehaltsgebiete u. a. mit dem Ziel festgelegt, die klimatischen Bedingungen nach Möglichkeit zu verbessern. Dazu sollen etwa klimatische Ausgleichsflächen erhalten bleiben bzw. erweitert oder Siedlungsvorhaben vermieden werden, die den Frischlufttransport behindern.



Über Wiesen und Weinberge wie hier im Stadtumland von Stuttgart kann in der Nacht Kaltluft entstehen und in die überwärmte Innenstadt fließen.

(Foto: © Manuel Schönfeld / stock.adobe.com)

## Schnittstellen

GE-I-1: Hitzebelastung

BAU-I-1: Wärmebelastung in Städten

BAU-I-2: Sommerlicher Wärmeinseleffekt

## Ziele

Vorbeugen gegen eine sommerliche Überwärmung in Städten und Ballungsräumen durch Planung von Grünzügen und Frischluftschneisen; Freihalten von Frisch- und Kaltluftentstehungsgebieten sowie -abflussbahnen im Rahmen der Siedlungsentwicklung; Vermeidung übermäßiger Erwärmung von Gebäuden und Erholungsflächen (DAS, Kap. 3.2.14)

Sicherung klimawirksamer Ausgleichsräume und Luftaustauschbahnen sowie Ausschluss entgegenstehender Nutzungen durch Festlegung geeigneter Vorrang- / Vorbehaltsgebiete in den Regionalplänen, z. B. als Vorrang- / Vorbehaltsgebiete für besondere Klimafunktionen bzw. klimaökologische Ausgleichsräume; Sicherung klimawirksamer Ausgleichsräume durch sonstige freiraumbezogene Festlegungen; räumliche Steuerung der Siedlungsflächen- / Infrastruktur-entwicklung u. a. durch Darstellung von thermischen Belastungsgebieten (Handlungskonzept Klimawandel, MKRO 2013, Kap. 3.4)

## Sparsame Flächenneuanspruchnahme – ein Beitrag auch zur Anpassung

Die unbebaute, unzerschnittene und unzersiedelte Fläche ist eine begrenzte und begehrte Ressource, um die u. a. Land- und Forstwirtschaft, Siedlung und Verkehr, Naturschutz sowie Rohstoffabbau und Energieerzeugung konkurrieren. Mit der Ausweisung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten verfolgt die Raumordnung das Ziel, die Entwicklung der Flächenneuanspruchnahme zu steuern und die verschiedenen Nutzungsansprüche zu moderieren. Nicht zuletzt gilt es dabei, wichtige Dienstleistungen der Ökosysteme für Mensch und Natur zu erhalten oder weiter zu entwickeln.

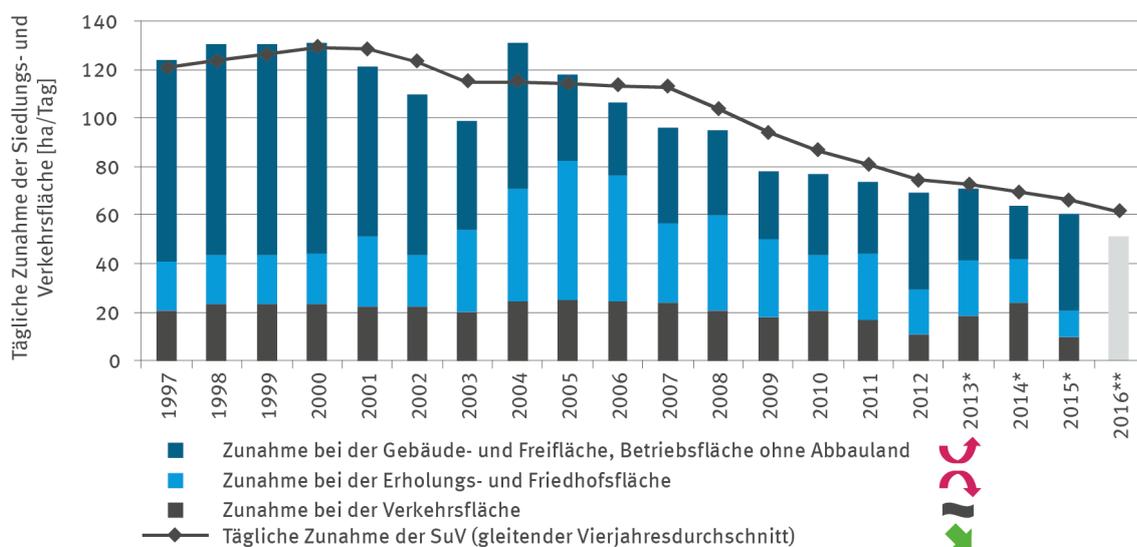
Im Zusammenhang mit den sich ändernden Klimaverhältnissen ist mit diesen Ökosystemdienstleistungen zunächst das Potenzial unversiegelter Flächen angesprochen, Niederschläge zu versickern und das Wasser – auch in Hochwassersituationen – zeitweilig zurückzuhalten. Unverbaute Auenflächen bieten den Flüssen Raum und entlasten die unterliegenden Bereiche der Flussgebiete bei Hochwasser. In bioklimatisch belasteten Räumen steht die

Versorgung von Siedlungsräumen mit frischer und kühler Luft im Vordergrund. Über Wiesen- und Ackerflächen im Umland kann sich in den Sommermonaten warme Luft schneller abkühlen als innerhalb von Siedlungen. Luftleitbahnen, z. B. offene Talbereiche, transportieren die kühle Luft in die angrenzenden Siedlungsbereiche und können dort die thermischen Belastungen abmildern. Für die Land- und Forstwirtschaft sowie für die Erzeugung nachwachsender Rohstoffe ist es vor allem relevant, fruchtbare Böden zu schützen und produktive Flächen für die Zukunft zu erhalten. Tiere und Pflanzen wiederum sind auf unverbaute Flächen und vernetzte, unzerschnittene Landschaftsstrukturen als Lebensräume angewiesen. Verändern sich die Lebensraumbedingungen infolge des Klimawandels, benötigen Fauna und Flora einen funktionierenden Biotopverbund, um sich anpassen zu können.

Während diese Potenziale bei einer (Um-)Nutzung für land- und forstwirtschaftliche Zwecke, für die regenerative Energieerzeugung oder für den Naturschutz erhalten bleiben

### RO-R-5: Siedlungs- und Verkehrsfläche

Der Höhepunkt der Flächeninanspruchnahme für Siedlungs- und Verkehrszwecke wurde, bezogen auf den Vierjahresdurchschnitt, im Jahr 2000 überschritten. Vor allem der Zuwachs der Gebäude- und Freiflächen hat sich deutlich verlangsamt, er zieht allerdings in den letzten Jahren wieder an. Zu berücksichtigen ist, dass Umstellungen in den amtlichen Liegenschaftskatastern die Zeitreihen der Flächenkategorien in ihrer Aussagekraft einschränken.



\*2013 bis 2015: korrigierte Daten wegen Methodenumstellungen in einzelnen Bundesländern;

\*\*2016: Aufgrund von Umgruppierungen zwischen Nutzungsarten hat das StBA nur den Wert für den 4-Jahres-Mittelwert 2013 bis 2016 veröffentlicht.

Datenquelle: StBA (Indikatoren zur nachhaltigen Entwicklung in Deutschland)

oder vergleichsweise kurzfristig wiederhergestellt werden können, gehen sie bei einer Neuinanspruchnahme von Flächen für Siedlung und Verkehr oder durch Abgrabungen z. B. bei großflächigen Abbauvorhaben dauerhaft verloren. Die Flächeninanspruchnahme mit ihren verschiedenen nachteiligen Wirkungen zu reduzieren, kann daher als eine generelle Anpassungsmaßnahme angesehen werden, die die räumliche Planung mit ihrem Instrumentarium in ihrer Umsetzung unterstützen kann. Die Verringerung der Flächenneuanspruchnahme ist zugleich eines der zentralen Nachhaltigkeitsziele der Bundesregierung: Die tägliche Neuinanspruchnahme von Flächen für Siedlungs- und Verkehrszwecke soll bis zum Jahr 2020 auf 30 Hektar und für 2030 auf unter 30 Hektar (minus X) gesenkt werden. Die Flächenneuanspruchnahme ist seit dem Jahr 2000 rückläufig. Dies ist vor allem auf einen verlangsamten Zuwachs der Entwicklung der Gebäude- und Freiflächen sowie Betriebsflächen ohne Abbauand zurückzuführen, der sich nach dem Jahr 2000 innerhalb weniger Jahre halbiert und seit 2005 zwischen 30 und 40 Hektar pro Tag einpendelt hat. Derzeit zieht die Bautätigkeit allerdings wieder an, wobei vor allem der flächensparende Geschosswohnungsbau zugelegt hat und weniger der flächenzehrende Ein- und Zweifamilienhausbau. Die Zunahme der Verkehrsflächen lag bis zum Jahr 2007 infolge des anhaltenden Ausbaus der überörtlichen Straßenverkehrsinfrastruktur weitgehend konstant zwischen ca. 20 und 25 Hektar pro Tag. Seit 2008 verläuft der Zuwachs langsamer, 2012 war mit rund 11 Hektar täglich der bislang niedrigste Stand erreicht, wobei wegen methodischer Umstellungen der Flächenstatistik größere Unsicherheiten bestehen. Die starke Zunahme der Erholungs- und Friedhofsflächen zwischen 2003 und 2009 ist dagegen z. T. keine reale Flächennutzungsänderung, sondern auf Umstellungen in den amtlichen Liegenschaftskatastern vor allem in den neuen Bundesländern zurückzuführen, die der Erhebung zugrunde liegen. Die reale Flächenneuanspruchnahme lag in diesen Jahren daher tendenziell niedriger, als es die Flächenstatistik ausweist.

In welchem Umfang die räumliche Planung mit ihren Instrumenten zu der insgesamt verlangsamten Flächenneuanspruchnahme beiträgt, lässt sich anhand der flächenstatistischen Zahlen nicht abschätzen. Die Gründe für das verhaltene Wachstum der Siedlungs- und Verkehrsflächen der letzten Jahre werden in der demographischen und der konjunkturellen Entwicklung gesehen. Das bis 2020 angestrebte Nachhaltigkeitsziel wird sich allerdings auch bei einer Fortsetzung des aktuellen Entwicklungstrends mit zwischenzeitlich hoher Zuwanderung nicht ohne weitere Anstrengungen erreichen lassen. Die notwendigen zusätzlichen Bemühungen um eine sparsame Flächenentwicklung müssen möglichen Klimawandelfolgen Rechnung tragen. Unter anderem sollten aus einer verstärkten



Verbaute Böden können wichtige Ökosystemdienstleistungen, die in Zeiten des Klimawandels wichtig sind, nicht mehr erbringen. (Foto: © Superingo / stock.adobe.com)

Siedlungsentwicklung nach Innen, z. B. durch Flächenrecycling oder Nachverdichtung, keine höheren bioklimatischen Belastungen resultieren.

## Schnittstellen

BAU-I-1: Wärmebelastung in Städten

WW-I-3: Hochwasser

RO-R-6: Siedlungsnutzung in Hochwassergefahrenbereichen

## Ziele

Verbesserung der Versickerungsmöglichkeiten durch Reduzierung der Flächenneuanspruchnahme und planerische Unterstützung von Rückbau und Entsiegelung (DAS, Kap. 3.2.14)

Flächeninanspruchnahme unter 30 Hektar pro Tag im Jahr 2030 (NHS 2016, Teil C, II 11)<sup>83</sup>

Sparsamer und schonender Umgang mit Grund und Boden, Verringerung der zusätzlichen Inanspruchnahme von Flächen für bauliche Nutzungen, Vorrang der Innenentwicklung (BauGB, § 1a (2))

Verringerung der erstmaligen Inanspruchnahme von Freiflächen für Siedlungs- und Verkehrszwecke, insbesondere durch quantifizierte Vorgaben zur Verringerung der Flächeninanspruchnahme (ROG, § 2 (2) 6)

Naturgüter, die sich nicht erneuern, sind sparsam und schonend zu nutzen. (BNatSchG, § 1 (3))

## Siedlungsentwicklung in Bereichen mit Klimagefahren vermeiden

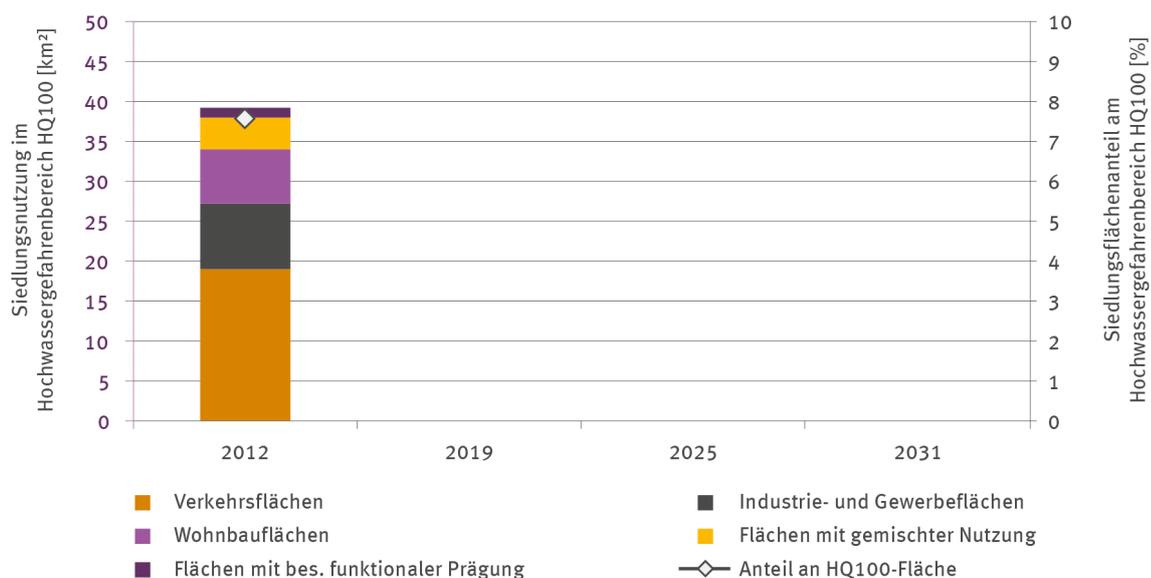
Im Zusammenhang mit dem Klimawandel ist die vorausschauende Risikovorsorge eine der wesentlichen Aufgaben der Raumordnung. Sie kann einerseits dazu beitragen, die Siedlungsentwicklung gezielt in Bereiche zu lenken, in denen mit dem Klimawandel einhergehende Gefahren nicht oder nur in einem beherrschbaren Maße bestehen. Andererseits kann sie dafür sorgen, dass erkennbare Gefahrenbereiche möglichst von Siedlungstätigkeit freigehalten werden. Zu den relevanten Gefahren zählen Massenbewegungen wie Steinschlag, Felsstürze oder Rutschungen und Erdfälle sowie – an den Küsten und auf den Inseln – Sturmfluten. Diese Gefahren können regional infolge des Klimawandels steigen, wenn extreme Wetter- und Witterungssituation zukünftig in ihrer Häufigkeit und Intensität zunehmen.

Als eine Folge des Klimawandels wird auch erwartet, dass sich das Niederschlagsgeschehen verändert und die Gefahren durch Hochwasserereignisse steigen, da diese zum einen häufiger auftreten und zum anderen

heftiger ausfallen können. Der Verlauf von Hochwassern und deren Schadenspotenzial wird maßgeblich auch durch vergangenes und aktuelles Handeln des Menschen beeinflusst. So sind etwa in vielen Flussgebieten in früheren Zeiten natürliche Überschwemmungsgebiete durch Deich- und Flussausbaumaßnahmen weggefallen. Viele Flussläufe wurden verkürzt und die Fließgeschwindigkeit der Flüsse dadurch erhöht; bei Hochwassern konzentriert sich der Abfluss vieler Zuflüsse nun schneller in einem Flussbett. Die Hochwasserwellen sind heutzutage im Vergleich zu früher oft steiler und ihre Laufzeiten kürzer. Die Gefahr der Schäden durch Hochwasser ist dadurch gestiegen. Auch wurden im Schutz der Deiche hohe materielle Werte in Gebieten errichtet, die ehemals den Flüssen als Überschwemmungsflächen zur Verfügung standen. Reicht der Hochwasserschutz nicht aus, und trifft ein Hochwasser diese Siedlungen oder Industriegebiete, können sehr hohe Schäden entstehen.

### RO-R-6: Siedlungsnutzung in Hochwassergefahrenbereichen – Fallstudie

Entlang des bayerischen Mains waren im Jahr 2012 knapp 8 % der Flächen, die durch ein 100-jährliches Hochwasser überschwemmt würden, für Siedlungszwecke genutzt. Verkehrsflächen machen annähernd die Hälfte dieser Flächen aus, aber auch Industrie und Gewerbe sowie Wohnen belegen größere Flächenanteile in den Überschwemmungsgebieten.



Datenquelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hochwasserrisikokarten für das Flussgebiet Main)

Heute ist der Schutz vor Hochwasserereignissen im WHG gemäß den Vorgaben der HWRM-RL geregelt. In Deutschland sind darüber hinaus zur Flächenvorsorge Überschwemmungsgebiete verbindlich auf der Grundlage eines statistisch einmal in hundert Jahren zu erwartenden Hochwassers (HQ100) festzusetzen, in denen spezielle Schutzvorschriften einzuhalten sind. In diesen Gebieten sind sowohl die Ausweisung von neuen Baugebieten im Außenbereich in Bauleitplänen als auch die Errichtung oder Erweiterung baulicher Anlagen untersagt bzw. nur in Ausnahmefällen zulässig. Weiterhin sind seit 2018 auch Hochwasserentstehungsgebiete auszuweisen, in denen bestimmte Nutzungsumwandlungen wie von Grünland zu Ackerland oder von Auwald in eine andere Nutzungsart einer Genehmigung bedürfen.

In der Vergangenheit wurden in vielen Überschwemmungsgebieten aber bereits bauliche Anlagen wie Verkehrsinfrastrukturen, industrielle und gewerbliche Anlagen sowie Wohngebäude errichtet, für die nun ein Hochwasserrisiko besteht. Eine exemplarische Auswertung des Hochwasserrisikomanagement-Plans für das Flussgebiet Main zeigt, dass hier knapp 8% der Flächen, die durch ein hundertjährliches Hochwasser überschwemmt würden, für Siedlungszwecke genutzt sind. Verkehrsflächen machen annähernd die Hälfte dieser Flächen aus, aber auch Industrie und Gewerbe sowie Wohnen belegen größere Flächenanteile in den Überschwemmungsgebieten. Nach der geltenden Gesetzeslage sollten sich diese Flächenanteile zukünftig nicht weiter ausdehnen. Dennoch kann, vor allem in bereits dicht besiedelten Flusstälern mit geringen Entwicklungsspielräumen, nach wie vor ein hoher Druck auf diese Flächen bestehen. Dem muss eine vorausschauende Raumordnung, Regional- und Bauleitplanung entgegenwirken.



Siedlungen entlang von Flussläufen sind den Gefahren extremer Hochwasserereignisse ausgesetzt.  
(Foto: Konstanze Schönthaler / Bosch & Partner GmbH)

## Schnittstellen

WW-I-3: Hochwasser

BAU-R-5: Versicherungsdichte in der Elementarschadenversicherung

RO-R-5: Siedlungs- und Verkehrsfläche

## Ziele

Verstärkter Schutz gegen zunehmende Hochwasserrisiken durch passive Sicherungsmaßnahmen; Sicherung vorhandener Abfluss und Retentionsflächen; erhebliche Ausweitung der Retentionsflächen bis 2020 unter weitgehender Nutzung aller vorhandener Potenziale (DAS, Kap. 3.2.14)

Erhaltung von Überschwemmungsgebieten in ihrer Funktion als Rückhalteflächen; so weit wie möglich Wiederherstellung früherer Überschwemmungsgebiete, die als Rückhalteflächen geeignet sind (WHG, § 77)

Sicherung vorhandener Überschwemmungsbereiche als Retentionsraum; Rückgewinnung von Überschwemmungsbereichen als Retentionsraum; Risikovorsorge in potenziellen Überflutungsbereichen (Handlungskonzept Klimawandel, MKRO 2013, Kap. 3.1)

Vorbeugender Hochwasserschutz im Binnenland vor allem durch Sicherung oder Rückgewinnung von Auen, Rückhalteflächen und Entlastungsflächen (ROG § 2 (2) 6)



© Christian Schwier / stock.adobe.com

# Bevölkerungsschutz

Die Bewältigung von Starkregen und Stürmen, aber auch von Hochwasserereignissen oder Hitzeperioden ist eine Kernaufgabe des Bevölkerungsschutzes. Die Auswirkungen des Klimawandels bringen neue Herausforderungen für die Katastrophenvorsorge und das Katastrophenmanagement mit sich, auf die sich der Bevölkerungsschutz einstellen muss. Neue Anforderungen entstehen vor allem aus der erwarteten Zunahme der Häufigkeit und der Intensität von extremen Wetterlagen und Witterungen und den damit verbundenen Folgen.

Auch unter diesen Vorzeichen soll der Bevölkerungsschutz seine Aufgaben zuverlässig erfüllen können. Dazu gehört z. B. der Schutz von Leben und Gesundheit der Bürgerinnen und Bürger sowie die Vermeidung materieller Schäden bei Katastrophen und schweren Notlagen. Ein zentrales Anliegen ist es darüber hinaus, die Verfügbarkeit der sogenannten „Kritischen Infrastrukturen“ (KRITIS) sicherzustellen, zu denen z. B. Energie- und Wasserversorgung, Transport und Verkehr sowie Telekommunikations- und Informationstechnik zählen. Hierbei ist Vorbeugung oft der beste Schutz und in eigener Verantwortung durch die jeweiligen staatlichen und privaten Akteure zu leisten.

Bei der weiteren Entwicklung des Bevölkerungsschutzes wird es für die Behörden und die im Bevölkerungsschutz tätigen Organisationen darum gehen, ihre materiellen, personellen und infrastrukturellen Ressourcen zunehmend auf Wetterextreme und deren Folgewirkungen auszurichten. Darüber hinaus können Anpassungen z. B. in den Bereichen Aus- und Weiterbildung, Einsatzkoordination oder Organisation notwendig werden oder Optimierungen von Warnungen und Meldewegen erforderlich sein. Nicht zuletzt kommen Information und Aufklärung der Bevölkerung sowie dem Einüben von Verhaltensweisen für den Ereignisfall eine besondere Bedeutung zu, denn eine Vielzahl von Schutz- und Hilfemaßnahmen kann und muss durch die Bürgerinnen und Bürger selbst geleistet werden.

## Auswirkungen des Klimawandels

Einsatz bis ans Ende der Kräfte? (BS-I-1) ..... 234

## Anpassungen

Information und Wissen – Bausteine zur  
Selbsthilfe (BS-R-1) ..... 236  
Eigenvorsorge für Notfallsituationen (BS-R-2) ..... 238  
Übungen – Trainieren für den Ereignisfall (BS-R-3).... 240  
Gehen uns die (Einsatz-)Kräfte aus? (BS-R-4) ..... 242

## Einsatz bis ans Ende der Kräfte?

Deutschland erlebte seit dem Jahr 2000 eine Reihe von extremen Hochwasserereignissen, die jeweils Ausmaße einer Jahrhundertflut annahmen. Zuletzt standen im Frühsommer 2016 ganze Landstriche im Süden und Osten Deutschlands unter Wasser. Orte wurden aus über die Ufer tretenden Flüssen auch mit Schlamm und Treibgut überschwemmt, Keller überflutet, Häuser stark geschädigt oder gar zerstört. Deutliche Spuren hinterließen auch Orkane wie Xavier und Herwart im Oktober 2017.

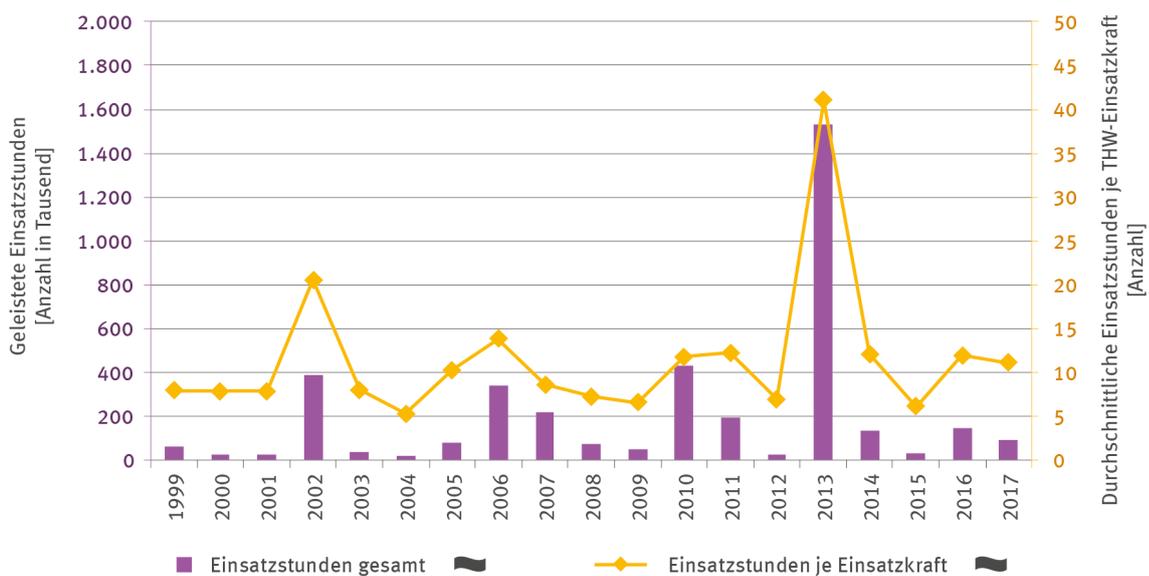
Insbesondere diese extremen Ereignisse, deren Häufigkeit und Intensität den Projektionsergebnissen zufolge unter den sich ändernden Klimabedingungen zunehmen können, sind mit teilweise massiven Einsatzbelastungen für die Einsatzkräfte verbunden. Schließlich gehört es zu deren wesentlichen Aufgaben, technische Hilfe zu leisten, wenn aus extremen Wetter- und Witterungsereignissen Notlagen bis hin zu Katastrophen entstehen. Die Einsatzkräfte sichern z. B. Deiche mit Sandsäcken oder montieren mobile Hochwasserschutzwände, um Überflutungen zu verhindern, sie evakuieren Anwohner und verhindern, dass Industrieanlagen oder Klärwerke

überschwemmt werden. Nach heftigen Stürmen oder Orkanen entfernen sie Windbruch von Straßen und Schienen und machen diese wieder befahrbar. Auch nach einem vergleichsweise kurz und kleinräumig auftretenden Starkregenereignis sind die Einsatzkräfte oft über Stunden mit dem Auspumpen der überfluteten Keller und Wohnräume beschäftigt.

Vielorts signalisieren die im Bevölkerungsschutz tätigen Organisationen bereits heute, dass die Zahl der wetterbedingten Einsätze zu technischen Hilfeleistungen ansteigt. Detaillierte quantitative und vergleichbare Daten über die Anzahl, Dauer und Ursachen von Einsätzen liegen für das THW vor. Signifikante Trends zu einer dauerhaft erhöhten Belastung der Einsatzkräfte sind bislang zwar nicht zu verzeichnen, die Zahlen für die vergangenen Jahre zeigen jedoch, wie einzelne Extremereignisse – und insbesondere die Jahrhunderthochwasser in den verschiedenen Flussgebieten – das Einsatzgeschehen prägen.

### BS-I-1: Einsatzstunden bei wetter- und witterungsbedingten Schadenereignissen

In Jahren mit Orkanen, heftigen Starkregen oder extremen Hochwasserereignissen kommt es zu deutlich erhöhten Einsatzbelastungen für die Helferinnen und Helfer des Technischen Hilfswerts. Die Zeitreihe ist stark von einzelnen extremen Ereignissen geprägt. Ein signifikanter Trend zeichnet sich bislang nicht ab.



Datenquelle: Bundesanstalt Technisches Hilfswerk (Helferstatistik)

Die Hochwasserereignisse in den Einzugsgebieten von Donau und Elbe im Jahr 2013 ragen hinsichtlich der Einsatzbelastung besonders heraus: Insgesamt fielen in diesem Jahr 1,5 Millionen Einsatzstunden an. Grund für die hohe Belastung waren eine verstärkte, z. T. auch vorsorgende Anforderung des THW, der konstant hohe Bedarf an Einsatzkräften während der gesamten Dauer des Einsatzes von Ende Mai bis Mitte Juli sowie die flächenhafte Ausdehnung: Es waren insgesamt neun Bundesländer betroffen. Auch die hohen Einsatzzahlen in den Jahren 2002, 2006 und 2010 wurden maßgeblich durch Hochwasserereignisse ausgelöst. Für das Jahr 2007 gingen die überdurchschnittlichen Einsatzzahlen zu großen Teilen auf das Konto des Orkantiefs Kyrill im Januar.

Im Mai und Juni 2016 hielten die Folgen von Starkregen die Einsatzkräfte bundesweit in Atem. Von Ende Mai bis Anfang Juli waren rund 10.000 THW-Einsatzkräfte, davon 7.700 Ehrenamtliche des THW mit Booten, Hochleistungspumpen, großen Notstromaggregaten zur Energieeinspeisung sowie Beleuchtungsgerät Tag und Nacht im Einsatz. In Simbach am Inn kam es zum größten Trinkwassereinsatz des THW in Deutschland: Das THW versorgte die Bevölkerung 14 Tage lang mit insgesamt 5,6 Millionen Liter Wasser. Ein weiterer Schwerpunkt war die Wiederherstellung von Straßenbrücken und Versorgungsinfrastrukturen, die durch reißende Bäche und Flüsse zerstört waren.

Insbesondere mehrere Wochen dauernde Einsätze mit einem stetig hohen Bedarf an Einsatzkräften sind eine große Herausforderung für das überwiegend ehrenamtlich aufgebaute THW. Für einige Helferinnen und Helfer ist eine Freistellung von ihrem Arbeitsplatz für mehrere Wochen aufgrund der Arbeitsmarktsituation problematisch. Die Folge ist ein hoher Durchlauf an Einsatzkräften, der eine verstärkte Koordination erfordert und organisatorische Probleme mit sich bringt.

Grundsätzlich ist zu berücksichtigen, dass die Einsatzzahlen des THW nur eingeschränkt Rückschlüsse auf die anderen im Bevölkerungsschutz tätigen Organisationen erlauben, da das THW nur auf Anforderung eingesetzt wird. Außerdem sind die Zahlen auch von der Art der auftretenden Ereignisse abhängig, denn für bestimmte Einsatzfälle ist vor allem das THW mit seiner spezifischen Materialausstattung gerüstet. Für Jahre mit ausgeprägten Extremereignissen muss aber davon ausgegangen werden, dass auch bei anderen Organisationen – neben dem THW sind dies die Feuerwehren, das Deutsche Rote Kreuz, der Arbeiter-Samariter-Bund, die Deutsche Lebensrettungsgesellschaft, der Malteser Hilfsdienst und die Johanniter Unfallhilfe – deutliche wetter- und



Große Schadensereignisse verlangen auch gut trainierten Rettungskräften einiges ab.  
(Foto: © Sebastian / stock.adobe.com )

witterungsbedingte Einsatzbelastungen und mit der ehrenamtlichen Struktur verbundene Schwierigkeiten auftreten.

Derzeit werden Möglichkeiten geprüft, um auch die Erfahrungen anderer Hilfsorganisationen für das DAS-Monitoring im Bevölkerungsschutz nutzbar zu machen.

## Schnittstellen

BS-R-4: Aktive Katastrophenschutz Helfer  
BAU-I-5: Schadenaufwand in der Sachversicherung  
WW-I-3: Hochwasser

## Ziele

Anpassung des bestehenden effektiven Krisenmanagements und der Notfallvorsorge an aktuelle Erfordernisse und künftige Entwicklungen wie den Klimawandel (DAS, Kap. 3.2.14)

## Information und Wissen – Bausteine zur Selbsthilfe

Die Selbstschutzzfähigkeit der Bevölkerung ist eine wichtige Komponente des Bevölkerungsschutzes. Als Selbstschutz bezeichnet man die Summe der individuellen Maßnahmen der Bevölkerung, von Behörden und / oder Betrieben zur Vermeidung, zur Vorsorge und zur Selbsthilfe, d. h. zur Bewältigung von Ereignissen. Durch das richtige Verhalten in Notfallsituationen können Bürgerinnen und Bürger dazu beitragen, sich selbst und ihre Mitmenschen zu schützen und die allgemeine Sicherheit zu verbessern.

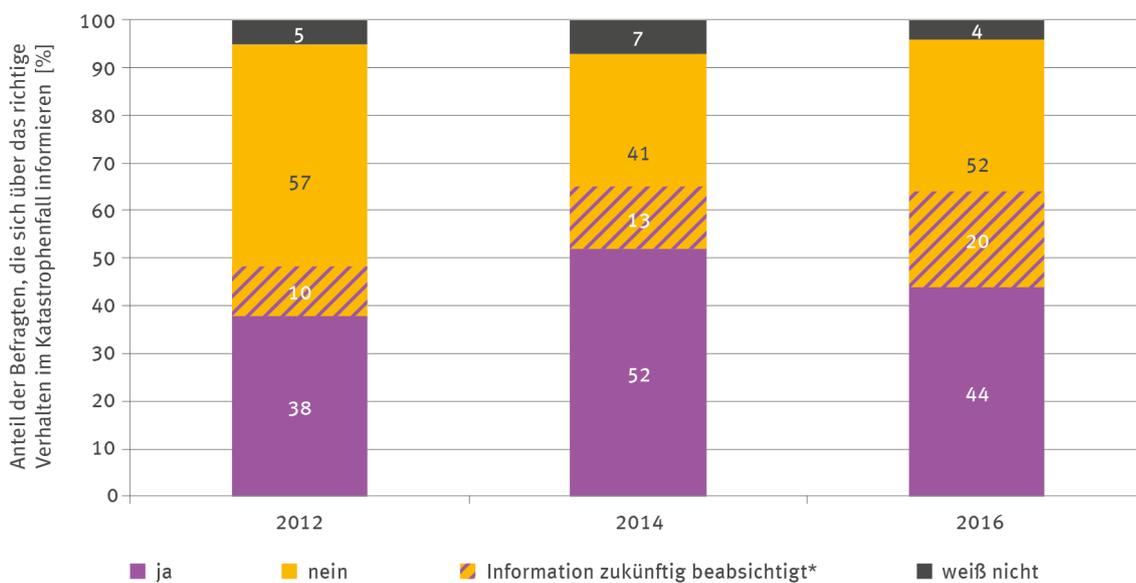
Kommt es zu einem Unfall oder einer Notsituation, benötigen die Rettungskräfte Zeit, um den Einsatzort zu erreichen und Hilfe leisten zu können. Sind dies bei einem Unfall i. d. R. nur wenige Minuten, kann es bei wetter- und witterungsbedingten Extremereignissen wesentlich länger dauern, bis Rettungskräfte in ausreichender Anzahl eintreffen, um allen Betroffenen helfen zu können. Auch kann das Einsatzgebiet zu groß sein, um alle Hilfsbedürftigen schnell zu erreichen. Um Leib und Leben zu schützen und Sachwerte zu erhalten, ist es daher bei Ereignissen wie schweren Unwettern,

außergewöhnlich starken Schneefällen, Sturzfluten oder großflächigen Überschwemmungen besonders wichtig, dass die Bürgerinnen und Bürger sich zunächst selbst helfen können, bis Feuerwehr, Rettungsdienst oder Katastrophenschutz zur organisierten Hilfeleistung eintreffen.

Dabei gilt, dass vor allem derjenige richtig helfen kann, der sich mit den möglichen Folgen eines Schadensereignisses schon auseinander gesetzt hat, bevor es eintritt. Es ist daher von Bedeutung, dass möglichst viele Menschen die sie betreffenden Gefahren kennen und über die richtigen Verhaltensweisen in Notfallsituationen informiert sind. Der technische Fortschritt in der Verarbeitung und Verbreitung geografischer Informationen hat in den letzten Jahren zahlreiche neue Quellen hervorgebracht, aus denen sich Bürgerinnen und Bürger über lokal oder regional bestehende Gefahren informieren können. So werden im Internet mittlerweile z. T. flurstückgenaue Informationen zu Hochwassergefahren, zu Geofahren wie Massenbewegungen und Erdbeben oder auch zu Sturmschadensrisiken angeboten. Der GDV bietet mit dem „Kompass Naturgefahren“ im Internet eine

### BS-R-1: Information zum Verhalten im Katastrophenfall

44 Prozent der Befragten der Umweltbewusstseinsstudie 2016 informierten sich bislang über das richtige Verhalten im Katastrophenfall, weitere 20 Prozent haben sich dies für die Zukunft vorgenommen haben. Etwas mehr als die Hälfte der Befragten sieht hierfür keinen Bedarf.



\* Teilmenge von „nein“

Datenquelle: BMUB & UBA (Umweltbewusstsein in Deutschland)

adressgenaue Einschätzung der Naturgefahren von Hochwasser, Sturm und Hagel, Blitz und Überspannung an. Derzeit stehen die Daten aber noch nicht flächendeckend zur Verfügung.

Ausgehend vom Wissen um die Gefahren, die möglicherweise für ihren Wohn- und Arbeitsort bestehen, können die Bürgerinnen und Bürger sich Informationen über das richtige Verhalten für Notfallsituationen einholen. Wichtig ist zum einen die Entwicklung und Pflege allgemeiner Fähigkeiten z. B. durch Erste-Hilfe-Kurse. Zum anderen werden von Behördenseite Informationsmaterialien angeboten. Von Bundeseite informiert vor allem das BBK über das richtige Verhalten im Katastrophenfall, etwa in Form von Broschüren und über die Internetseite. Darüber hinaus können Bürgerinnen und Bürger in der Warn-App NINA (Notfall-Informations- und Nachrichten-App des Bundes) neben Warnungen zum Bevölkerungsschutz auch Unwetterwarnungen des DWD und Hochwasserinformationen des länderübergreifenden Hochwasserportals abonnieren, sowohl für selbst gewählte Orte als auch für den eigenen Standort. Hinzu kommen Informationsangebote der Länder und ggf. der vor Ort zuständigen kommunalen Behörden.

Der Anteil derer, die bei der repräsentativen Umweltbewusstseinsstudie<sup>1</sup> angaben, sich über das richtige Verhalten im Katastrophenfall informiert zu haben, ist leicht angestiegen. Waren es 2012 noch 38 %, so antworteten 2014 bereits 52 % und 2016 44 % aller Befragten, entsprechende Informationen eingeholt zu haben.

Auch der Anteil derjenigen, die sich zukünftig informieren möchten, ist von 10 % in 2012 auf 20 % in 2016 gestiegen. Zwar geben die Zahlen keine Auskunft darüber, wie intensiv sich die Befragten mit den unterschiedlichen Gefahren und möglichen Verhaltensweisen auseinander gesetzt haben, sie zeigen aber, dass mehr als die Hälfte der Befragten den Bedarf für solche Informationen sieht. Bei der Interpretation der Zahlen ist auch zu berücksichtigen, dass nicht alle Bürgerinnen und Bürger allen wetter- und witterungsbedingten Naturgefahren in gleichem Umfang ausgesetzt sind. So treten Sturmfluten oder Hochwasser entlang der Küsten bzw. von Flussläufen auf, andere Gebiete sind hiervon nicht oder deutlich seltener und in geringerem Umfang betroffen. Auch wenn

<sup>1</sup> Die repräsentative Bevölkerungsumfrage (deutschsprachige Wohnbevölkerung ab 14 Jahre) „Umweltbewusstsein und -verhalten in Deutschland“ wird seit dem Jahr 2000 zweijährlich im Auftrag des BMU und des UBA durchgeführt. Seit 2012 wurden Fragen aufgenommen, die Daten für die DAS Monitoring Indikatoren liefern, ab 2016 werden diese Fragen alle 4 Jahre in der Umweltbewusstseinsstudie erhoben.



Die Pflege und Entwicklung allgemeiner Fähigkeiten wie der Ersten Hilfe ist Teil der persönlichen Vorsorge.  
(Foto: rh2010 / stock.adobe.com)

der Informationsbedarf insgesamt unterschiedlich ist, wäre wegen der teilweise flächenhaften Ausdehnung der Gefahren (z. B. Hitze), ihres teilweise praktisch überall möglichen Eintritts (z. B. Starkregen) und angesichts der hohen Mobilität der deutschen Bevölkerung eine weiter verbreitete Kenntnis über die grundlegenden Verhaltensregeln in Notfallsituationen wünschenswert.

## Schnittstellen

BS-R-2: Vorsorge in der Bevölkerung  
FiW-I-2: Betroffenheit durch Stürme und Hochwasser  
HUE-2: Nutzung von Warn- und Informationsdiensten

## Ziele

Weiterentwicklung der Risikokommunikation mit Bürgerinnen und Bürgern; Unterstützung von Vorsorgemaßnahmen; Verbesserungen im Hinblick auf die zeitnahe, eindeutige und effektive Warnung und Information der Bevölkerung und auf den gesundheitlichen Bevölkerungsschutz. (DAS, Kap. 3.2.14)

Weitgehende Reduzierung der Folgen von gravierenden Störungen und Ausfällen Kritischer Infrastrukturen durch (...) eine wirkungsvolle Selbsthilfekapazität der unmittelbar Betroffenen (KRITIS-Strategie, Kap. 5)

## Eigenvorsorge für Notfallsituationen

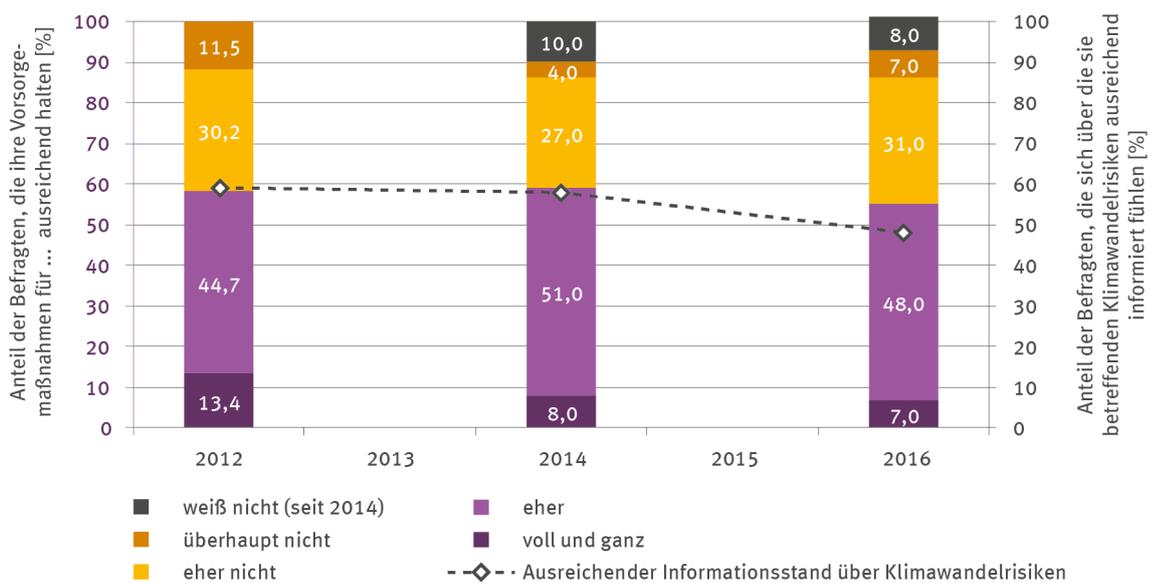
Für den Selbstschutz ist nicht nur die Fähigkeit wichtig, sich und anderen schnell und zielgerichtet helfen zu können. Die Bürgerinnen und Bürger können durch geeignete Maßnahmen in ihrem persönlichen Umfeld auch in vielfältiger Weise Vorsorge gegen die Folgen von Wetter- und Witterungssituationen wie Hitzeperioden, Stürmen oder Starkregen treffen und dadurch Schlimmerem vorbeugen. Hierfür ist es wesentlich, dass Bürgerinnen und Bürger sich über die Risiken, die mit den Folgen des Klimawandels verbunden sind, ausreichend informiert fühlen. Manche der an Extremwetter angepassten Verhaltensweisen erfolgen mehr oder weniger unbewusst als Teil der täglichen Lebensführung. Hierzu gehört u. a., sportliche Anstrengungen bei übermäßiger Hitze zu vermeiden, temperaturangepasste Kleidung am Arbeitsplatz und zu Hause zu tragen, ausreichend Flüssigkeit an heißen Tagen zu sich zu nehmen oder auch unnötige Fahrten bei Risikowetterlagen zu vermeiden.

Sind diese Maßnahmen noch sehr selbstverständlich, ist es die darüber hinaus gehende Vorsorge für Notlagen in deutlich geringerem Maße. In Deutschland funktioniert

die Versorgung mit den grundlegenden Gütern und Dienstleistungen wie Lebensmitteln, Wasser, Strom und Telekommunikation auf einem hohen Niveau. Die Bürgerinnen und Bürger können sich in aller Regel auf die zugrunde liegende Logistik und Infrastruktur verlassen. Die Kehrseite der Medaille: Da schlechte Erfahrungen mit der Versorgung in Deutschland glücklicherweise selten sind, ist die Bevölkerung insgesamt weniger auf Ausnahmesituationen vorbereitet. Notvorräte von Wasser, Lebensmitteln, Kerzen oder Batterien, die vor wenigen Jahrzehnten noch selbstverständlich waren, legen heute nur noch vergleichsweise wenige Haushalte an. Schon durch diese zumeist einfachen Vorsorgemaßnahmen können Bürgerinnen und Bürger aber dazu beitragen, dass extreme Situationen für sie persönlich keinen katastrophalen Verlauf nehmen. Hauseigentümer können zudem bauliche Maßnahmen zum Schutz der eigenen vier Wände vor wetter- und witterungsbedingten Risiken wie Hochwasser und Sturzfluten, Sturm, Hagel oder auch Hitze ergreifen. Das BBK informiert Hausbesitzerinnen und Hausbesitzer hierzu neben Informationsbroschüren auch durch Videos auf einem eigens erstellten YouTube-Kanal

### BS-R-2: Vorsorge in der Bevölkerung

Zwar fühlten sich 2016 noch etwa die Hälfte der Mehrheit der Befragten (48%) ausreichend über die sie betreffenden Folgen des Klimawandels informiert, seit 2012 ist der Anteil jedoch gesunken. Die Einschätzung, selbst genügend Vorsorgemaßnahmen zu ergreifen, liegt in allen Befragungen bei mehr als der Hälfte der Befragten.



Datenquelle: BMUB & UBA (Umweltbewusstsein in Deutschland 2012, 2014, 2016)

(<https://m.youtube.com/user/bbk>), um eine möglichst breite Bevölkerungsgruppe zu erreichen.

Für den Bevölkerungsschutz spielt die Vorsorge von Bürgerinnen und Bürger mit ihren verschiedenen Facetten eine wichtige Rolle. Wer Vorsorge getroffen hat, benötigt weniger Hilfeleistung, kann möglicherweise die Einsatzkräfte bei deren Arbeit entlasten und selbst Hilfe leisten.

Im Vergleich der Ergebnisse der Umweltbewusstseinsstudien<sup>1</sup> von 2012, 2014 und 2016 wird deutlich, dass der Anteil der Befragten, die sich ausreichend über die sie betreffenden Folgen des Klimawandels informiert fühlt, gesunken ist. Waren es 2012 noch 59%, so ist der Wert 2016 mit 48% um mehr als 10% gesunken. Beim Blick darauf, ob selbst in ausreichendem Maß Vorsorgemaßnahmen getroffen werden, haben in allen Befragungen etwas mehr als die Hälfte der Befragten den Eindruck, dass sie ausreichend vorsorgen. Die Ergebnisse bedeuten auch, dass mehr als die Hälfte der Befragten ihren Informationsstand und rund 40% der Befragten die eigenen Vorsorgemaßnahmen als nicht ausreichend erachten. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist einschränkend zu berücksichtigen, dass dem ein subjektives Verständnis von Risikoinformation und Vorsorge zugrunde liegt und nicht eingeschätzt werden kann, ob die Befragten tatsächlich im notwendigen Maß für Notlagen vorsorgen.



Im Notfall autark – in die Vorratshaltung gehören neben Lebensmitteln auch Trinkwasser, Medikamente, Batterien, Kerzen und vieles mehr.

(Foto: Konstanze Schönthaler / Bosch & Partner GmbH)

## Schnittstellen

BS-R-1: Information zum Verhalten im Katastrophenfall

## Ziele

Weitgehende Reduzierung der Folgen von gravierenden Störungen und Ausfällen Kritischer Infrastrukturen durch (...) eine wirkungsvolle Selbsthilfekapazität der unmittelbar Betroffenen (KRITIS-Strategie, Kap. 5)

<sup>1</sup> s. Fußnote S. 237

## Übungen – Trainieren für den Ereignisfall

Regelmäßige Übungen der Einsatzkräfte schaffen die Basis dafür, in extremen Situationen richtig agieren und zielgenaues Krisenmanagement betreiben zu können. Sie befähigen die Einsatzkräfte zum richtigen Handeln, sowohl bei der Organisation und Koordination als auch bei der direkten Hilfe vor Ort. Ein spezieller Klimabezug der Übungen ist dabei keine Voraussetzung, um sich auf Klimawandelfolgen vorzubereiten, denn die möglichen Ereignisse werden nicht grundsätzlich anders geartet sein als bisher. Die Bewältigung von Starkregenfällen und Stürmen, aber auch von Hochwasserereignissen oder Hitzeperioden und deren Folgen ist seit jeher eine Kernaufgabe des Bevölkerungsschutzes. Neue Anforderungen können vor allem daraus entstehen, dass diese Ereignisse zukünftig häufiger und intensiver auftreten und sich möglicherweise auch in zunehmendem Maße zeitlich überlagern.

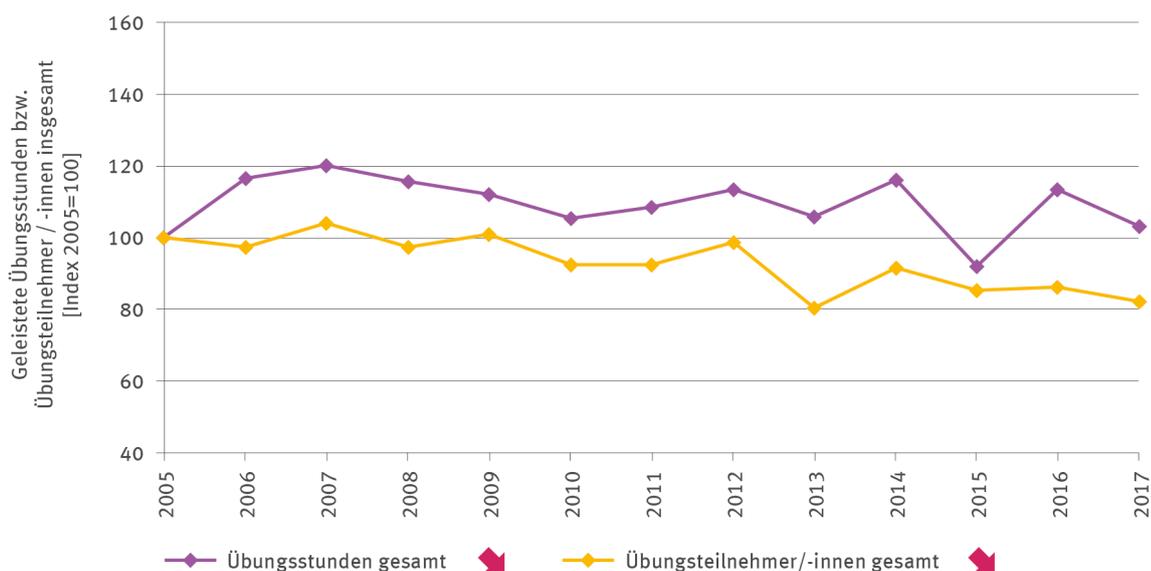
Übungen des Bevölkerungsschutzes können im Grundsatz auf zwei verschiedene Arten durchgeführt werden: als sogenannte Vollübung mit realisiertem Übungsszenario oder als Stabsrahmenübung. Letztere sollen

insbesondere dazu beitragen, Kommunikationsstrukturen zu überprüfen und die Katastrophenschutzbehörden auf den Ernstfall vorzubereiten. Denn in der Nachbetrachtung von Einsätzen und Übungen wird oft deutlich, dass Verbesserungsbedarf des Bevölkerungsschutzes vor allem in der organisationsübergreifenden Kommunikation und Koordination liegen kann. Auch deshalb werden Übungen des Bevölkerungsschutzes i. d. R. so angelegt, dass Einheiten aus verschiedenen Regionen und ggf. mit verschiedenen Spezialisierungen z. B. hinsichtlich ihrer Materialausstattung gemeinsam üben können.

Die Häufigkeit von und die Teilnahme an Übungen unterliegen dabei verschiedenen Einflussfaktoren. Mitunter kommt es zu einem geringeren Übungsgeschehen, ohne dass die Leistungsfähigkeit der Einsatzkräfte darunter leidet. So kann in Jahren mit einer erhöhten Einsatzhäufigkeit die Zahl der Übungsteilnehmenden und -stunden rückläufig sein, weil den Helferinnen und Helfern die Zeit zur Teilnahme fehlt oder man ihnen die notwendigen Ruhephasen ermöglichen muss. Die nicht in Übungen

### BS-R-3: Übungsgeschehen

In der Regel kann das THW auch in Jahren mit Extremereignissen sein Übungspensum zeitlich und personell in einem adäquaten Umfang absolvieren. Im Jahr 2013 hat sich die starke Einsatzbelastung durch die frühsummerlichen Hochwasser in einer vergleichsweise niedrigen Beteiligung am Übungsgeschehen niedergeschlagen.



Datenquelle: Bundesanstalt Technisches Hilfswerk (Übungsstatistik)

erworbene Routine wird dann durch die Erfahrungen aus den Einsätzen kompensiert.

Ein Hindernis für die Teilnahme an Übungen ist zunehmend die mangelnde Bereitschaft von Arbeitgeberinnen und Arbeitgebern, die ehrenamtlichen Helferinnen und Helfer des THW oder anderer Hilfsorganisationen für die Dauer der Übung freizustellen. In Jahren mit hohen Einsatzzahlen wird mitunter auch deswegen auf die Teilnahme an Übungen verzichtet, um keine zusätzlichen Freistellungen vom Arbeitsplatz erforderlich zu machen.

Seit 2005 nimmt die Teilnehmendenzahl an Übungen signifikant ab. In den Jahren 2005–2012 beteiligten sich durchschnittlich etwa 19.500 Haupt- und Ehrenamtliche an den Übungen des THW. Deutlich unterdurchschnittlich war die Zahl der Teilnehmerinnen und Teilnehmer im Jahr 2013 mit ca. 16.000 Personen. Ursache hierfür war die starke Einsatzbelastung durch die früh sommerlichen Hochwasser in den Einzugsgebieten von Donau und Elbe. Von 2013–2017 beteiligten sich im Durchschnitt knapp 17.000 Helferinnen und Helfer. Die Zahl der geleisteten Übungsstunden schwankte im betrachteten Zeitraum zwischen ca. 308.000 und 400.000 Stunden, im Mittel wurden etwas mehr als 365.000 Übungsstunden geleistet. Die niedrigste Zahl von Übungsstunden mit etwas mehr als 308.000 Stunden gab es im Jahr 2015. Ursache war in diesem Jahr die verstärkte Einbindung des THW in die Koordinierung und Umsetzung der Unterbringung von Flüchtlingen in Deutschland.

Auch die anderen Organisationen, die Aufgaben im Bevölkerungsschutz übernehmen, beteiligen sich an Übungen und bereiten sich so ebenfalls auf die Bewältigung von wetter- und witterungsbedingten Extremereignissen vor. Rückschlüsse auf das Übungsgeschehen der anderen Organisationen lassen die Zahlen des THW aber nicht zu.



Damit im Ernstfall jeder Handgriff sitzt, üben die Einsatzkräfte regelmäßig für unterschiedlichste Szenarien. (Foto: © Jörg Hüttenhölcher / stock.adobe.com)

## Schnittstellen

BS-I-1: Einsatzstunden bei wetter- und witterungsbedingten Schadenereignissen

## Ziele

Anpassung des bestehenden effektiven Krisenmanagements und der Notfallvorsorge an aktuelle Erfordernisse und künftige Entwicklungen wie den Klimawandel (DAS, Kap. 3.2.14)

## Gehen uns die (Einsatz-)Kräfte aus?

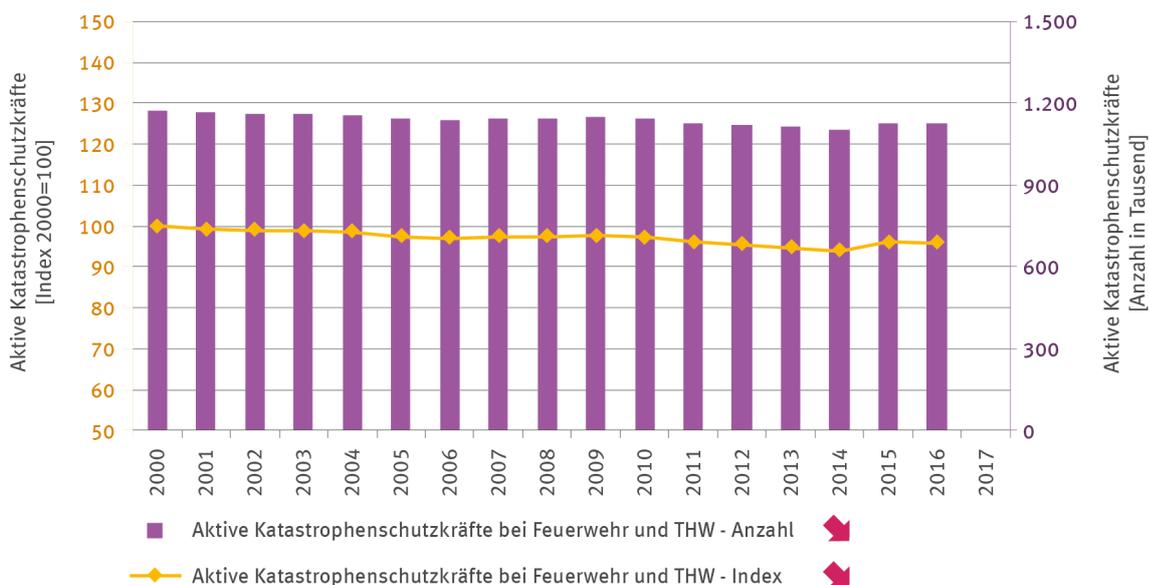
Für den Bevölkerungsschutz in Deutschland ist das Ehrenamt die maßgebliche Stütze: Rund 1,7 Millionen ehrenamtliche Helferinnen und Helfer engagieren sich in den verschiedenen Hilfsorganisationen. Beim THW üben ca. 99% der Angehörigen ihre Tätigkeit ehrenamtlich aus. Rund 95% der Feuerwehrmitglieder in Deutschland sind in Freiwilligen Feuerwehren organisiert. Die im Bevölkerungsschutz eingebundenen Akteurinnen und Akteure betonen daher regelmäßig, dass ohne die Bereitschaft zur ehrenamtlichen Mitarbeit in den Organisationen die Einsatzfähigkeit der Einheiten bedroht ist. Auch für die weitere Entwicklung des Bevölkerungsschutzes mit Blick auf den Klimawandel ist ein zumindest stabiler Bestand an haupt- und ehrenamtlichen Helferinnen und Helfern notwendig. Nicht nur, weil sich durch die erwarteten Änderungen der klimatischen Rahmenbedingungen möglicherweise mehr und längere Einsätze und damit höhere Belastungen ergeben können, sondern auch, weil die Verfügbarkeit von Einsatzkräften z. B. wegen der gesundheitlichen Auswirkungen von Hitzewellen eingeschränkt ist.

Betrachtet man die Entwicklung der Jahre von 2000 bis 2016, so ist ein signifikanter Rückgang der aktiven Einsatzkräfte bei THW und Feuerwehren zu verzeichnen. Ihre Zahl ging in diesem Zeitraum um etwa 50.000 von etwa 1,17 Millionen auf 1,12 Millionen Aktive zurück. Der Rückgangstrend spiegelt vor allem die negative Entwicklung bei den Freiwilligen Feuerwehren wider. Während Berufsfeuerwehren sowie Werks- und Betriebsfeuerwehren steigende oder zumindest konstante Mitgliederzahlen vorweisen, zählen die Freiwilligen Feuerwehren 2016 rund 74.000 weniger Ehrenamtliche als noch zehn Jahre zuvor. Insgesamt engagierten sich 2016 mehr als 250.000 junge Menschen ehrenamtlich in Jugendfeuerwehren.

Die Zahl der aktiven Helferinnen und Helfer beim THW liegt im Vergleich zu den Feuerwehren um ein Vielfaches niedriger. Daher haben Steigerungen der Anzahl von THW-Helferinnen und -Helfer nur einen geringen Einfluss auf die Gesamtzahl der Entwicklung der aktiven Einsatzkräfte. Die Zahl der aktiven THW-Helferinnen und -Helfer lag im Mittel der Jahre 2000 bis 2014 bei rund 41.000

### BS-R-4: Aktive Katastrophenschutz Helfer

Die Zahl der Einsatzkräfte war im Zeitraum von 2000 bis 2016 vor allem wegen eines Rückgangs der Mitgliederzahlen bei den Feuerwehren signifikant rückläufig. Das wachsende Engagement weiblicher Einsatzkräfte, dem auch mit Blick auf die ausgesetzte Wehr und Zivildienstpflicht immer mehr Bedeutung zukommt, kann den Rückgang an männlichen Freiwilligen nur teilweise abfedern.



Datenquelle: Bundesanstalt Technisches Hilfswerk (Helferstatistik), Deutscher Feuerwehrverband e.V. (Feuerwehr-Statistik)

Personen, 2015 stieg die Zahl auf 66.000 aktive THW-Helferinnen und -Helfer und blieb 2016 und 2017 auf diesem Niveau. Beim THW ist der Anteil von Frauen seit 1999 kontinuierlich um fast 7.000 Frauen angestiegen. Waren es 1999 knapp 4 %, betrug der Anteil aktiver THW-Helferinnen im Jahr 2017 13,5 %. Die Mitgliedszahlen bei der THW-Jugend sind in den letzten Jahren auf hohem Niveau stabil.

Es sind verschiedene Entwicklungen, die den Rückgang der Mitgliederzahlen bei den Freiwilligen Feuerwehren bedingen. Die Aussetzung der Wehrpflicht seit dem Jahr 2011 hatte eine wichtige Bedeutung für die Rekrutierung von Helferinnen und Helfern in der Altersgruppe der 20- bis 25-Jährigen. Für die Sicherung des Bestands an Einsatzkräften sind etwa beim THW jährlich etwa 5.200 neue Helferinnen und Helfer notwendig. Bis zum Jahr 2011 konnten hiervon jährlich 2.500 Personen über die Freistellung vom Wehrdienst verpflichtet werden.

Auch die Auswirkungen des demografischen Wandels auf den Bevölkerungsschutz sind unübersehbar. Die Veränderungen in der Alterspyramide reduzieren den Pool an potenziellen Helferinnen und Helfern ebenso wie die zunehmende Konzentration der Bevölkerung in den Städten. Vor allem in dünn besiedelten ländlichen Bereichen mit einer vergleichsweise älteren Bevölkerung können trotz einer im Vergleich zu den Städten höheren Bereitschaft zu bürgerschaftlichem Engagement personelle Engpässe entstehen. Verschiedene Studien beurteilen die Zukunft diesbezüglich sehr kritisch und werfen die Frage auf, wie die bestehenden Strukturen fortgeführt werden und verlässlich funktionieren können.

Um die ehrenamtlichen Strukturen des Bevölkerungsschutzes und eine ausreichende Zahl an Helferinnen und Helfern zu erhalten, wollen sich die im Bevölkerungsschutz tätigen Organisationen z. B. stärker um die Einbeziehung von Menschen mit Migrationshintergrund bemühen oder auch Senioren ihren Möglichkeiten entsprechend einbinden. Zumindest ist es in den letzten Jahren schon gelungen, den Frauenanteil bei den eher technisch ausgerichteten Organisationen zu steigern: Im Jahr 2000 waren es 5,7 %, bis 2016 stieg der Anteil ehrenamtlicher Helferinnen auf 9,2 %. Auch bei den Jugendfeuerwehren ist der Anteil junger Frauen von 2000 bis 2016 von 22 % auf 27 % langsam angestiegen. Bei den Feuerwehren sind heute 30.000 Frauen mehr aktiv als im Jahr 2000.

Darüber hinaus eröffnen gesellschaftliche und technische Entwicklungen aber auch neue Wege. So wurde beispielsweise während der Hochwasser 2013 und 2016 in vielen



Die Ausbildung junger Einsatzkräfte ist erforderlich, um für möglicherweise wachsende Einsatzanforderungen und -belastungen gewappnet zu sein. (Foto: © Kzenon / stock.adobe.com)

betroffenen Gebieten Hilfe schnell und unbürokratisch über soziale Netzwerke organisiert. Möglicherweise lässt sich so die nach wie vor bestehende Bereitschaft zu Engagement und Hilfeleistung, die sich aber weniger als früher in festen Strukturen binden möchte, auch für den Bevölkerungsschutz nutzen.

## Schnittstellen

BS-I-1: Einsatzstunden bei wetter- und witterungsbedingten Schadenereignissen

## Ziele

Anpassung des bestehenden effektiven Krisenmanagements und der Notfallvorsorge an aktuelle Erfordernisse und künftige Entwicklungen wie den Klimawandel (DAS, Kap. 3.2.14)



© Tom Bayer / stock.adobe.com

# Handlungsfeldübergreifende Aktivitäten des Bundes

Die Anpassung an die Folgen des Klimawandels ist eine Herausforderung, der sich die Handelnden in nahezu allen Bereichen des gesellschaftlichen, politischen und wirtschaftlichen Lebens stellen müssen. Die Auswirkungen des Klimawandels und bereits begonnene Aktivitäten in den einzelnen Handlungsfeldern der DAS sind in den vorangegangenen Kapiteln dargestellt und erläutert worden. Neben informativen und planerischen Maßnahmen wurden dabei auch konkrete operative Aktivitäten und deren Finanzierung angesprochen. Es wird deutlich, dass der Anpassungsprozess auf den Schultern einer Vielzahl unterschiedlicher Engagierter im staatlichen und nicht-staatlichen Umfeld ruht. Der Bund hat abhängig vom jeweiligen Handlungsfeld im föderalen System unterschiedliche Aufgaben und Möglichkeiten, den Anpassungsprozess zu unterstützen und Entwicklungen zu steuern.

Die Bundesregierung hat in den Jahren 2011 Aktionplan Anpassung (APA I) und 2015 Aktionplan Anpassung (APA II) jeweils einen Überblick über ihre spezifischen Aufgaben im Anpassungsprozess gegeben. Im APA I wurden die notwendigen Aktivitäten in drei nationale handlungsfeldübergreifende strategische Säulen gegliedert. Danach besteht eine wichtige Aufgabe des Bundes darin, Wissen über den Klimawandel und die Erfordernisse des Anpassungsprozesses bereitzustellen, Bürgerinnen und Bürger und wichtige Akteurinnen und Akteure zu informieren und auf diese Weise in die Lage zu versetzen, gezielt reagieren zu können. Weitere Handlungsmöglichkeiten des Bundes ergeben sich über bundesweite Rahmensetzungen beispielsweise in Form rechtlicher Regelungen, Normungen oder über die Weiterentwicklung von Förderprogrammen. Teilweise kann der Bund auch im Bereich seiner eigenen Liegenschaften selbst vorbildhafte Anpassungsmaßnahmen umsetzen. Dies gilt beispielsweise für die staatlichen Gebäude und Infrastrukturen oder auch für den Bundeswald. Entsprechende Aktivitäten sind im Zusammenhang mit den Handlungsfeldern bereits angesprochen worden. Ergänzt werden die drei nationalen Säulen durch eine Säule für internationale Vorhaben und Aktivitäten der Bundesregierung, denn nicht zuletzt übernimmt der Bund auch internationale Verantwortung. Relevante Politikmaßnahmen werden dabei unter anderem im Rahmen des als Teil der UN-Klimarahmenkonvention beschlossenen „Adaptation Framework“ gebündelt. Die Monitoring Indikatoren zu handlungsfeldübergreifenden Aktivitäten geben Informationen zu übergreifenden Aktivitäten in den vier strategischen Säulen.

## Anpassungen

Bekommen wir die Klimawandelfolgen in den Griff? (HUE-1).....	246	Anpassung ist eine globale Herausforderung (HUE-5).....	254
Öffentlichkeitsinformation – wichtige Aufgabe des Bundes (HUE-2).....	248		
Förderung von Forschung und Entwicklung zu Klimawandelfolgen und Anpassung (HUE-3) .....	250		
Kommunen sind wichtige Akteure (HUE-4) .....	252		

## Bekommen wir die Klimawandelfolgen in den Griff?

Die Verfügbarkeit und der Zugang zu möglichst belastbaren Abschätzungen der künftigen Klimaänderungen und der damit verbundenen Folgen sind eine wesentliche Voraussetzung für angemessene politische, administrative, betriebliche und private Entscheidungen und entsprechendes Handeln.

Die Bundesregierung sieht es als eine ihrer zentralen Aufgaben, für eine solche ausreichende Informationsbereitstellung zu sorgen und Betroffenen und Entscheidungshilfen überzeugend darzustellen. Hierzu hat die Bundesregierung unter anderem das Deutsche Klimavorsorgeportal ins Leben gerufen. Unter [www.klivoportal.de](http://www.klivoportal.de) können Behörden, Unternehmen und die Zivilgesellschaft geprüfte Unterstützungsangebote zur Anpassung an den Klimawandel gezielt finden und anwenden. Ob die bereitgestellten Informationen letztendlich aber auf das Interesse der relevanten gesellschaftlichen Akteuren und Akteure stoßen und diese motivieren, rational und zielführend tätig zu werden, hängt in erheblichem Umfang von deren Problemwahrnehmung ab. Nur wenn ein breiter gesellschaftlicher Konsens besteht, dass der

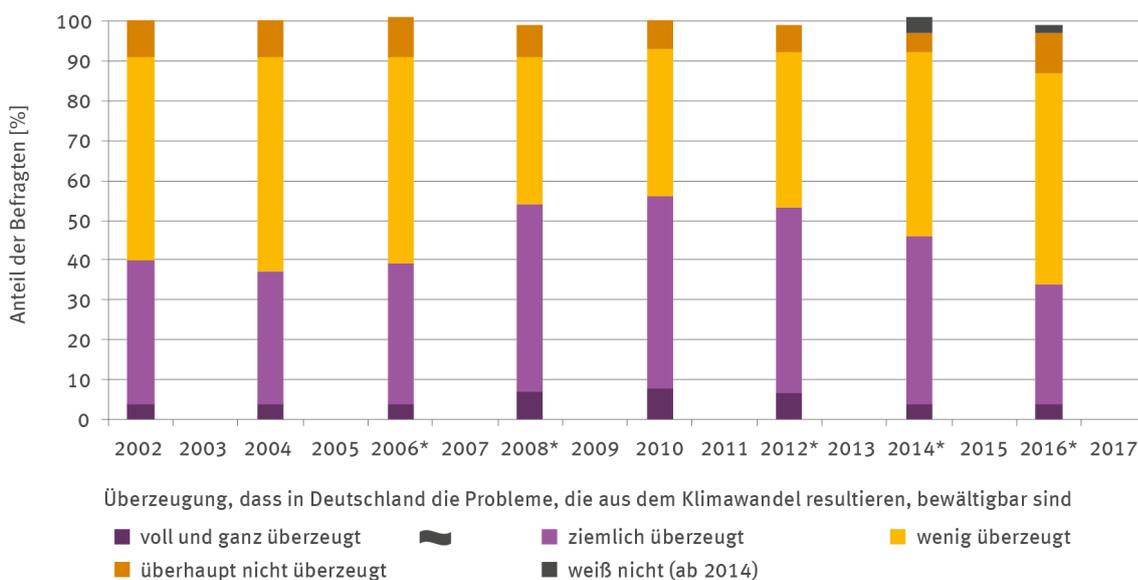
Klimawandel eine ernst zu nehmende Herausforderung darstellt, wird es auch in Deutschland flächendeckend zur Konzeption und Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen kommen.

Das Wissen, wie der Klimawandel und seine Folgen in der Gesellschaft wahrgenommen und bewertet werden, ist für den Bund eine wichtige Grundlage, um seine Informationspolitik angemessen ausgestalten und seine Förderaktivitäten zielführend ausrichten zu können.

Diese gesellschaftliche Bewertung der Problematik ist dabei Resultat vieler und mitunter komplex zusammenwirkender Faktoren. Entscheidend sind unter anderem die persönliche Risikoeinschätzung, der individuelle Informationsstand über Ursachen, Folgen und Handlungsmöglichkeiten, das Vertrauen in die staatliche Handlungsfähigkeit sowie die von der privaten und beruflichen Lebenssituation abhängigen Handlungsspielräume der Einzelnen.

### HUE-1: Beherrschbarkeit von Klimawandelfolgen

Seit dem Jahr 2010 nimmt der Anteil der im Rahmen einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage befragten Bürgerinnen und Bürger ab, die der Meinung sind, dass die Klimawandelfolgen in Deutschland zu bewältigen sind. 2016 waren 63 % der Befragten wenig oder überhaupt nicht überzeugt.



\* Rundungsfehler durch fehlende Dezimalstellen

Datenquelle: BMUB & UBA (Umweltbewusstsein in Deutschland)

In der im Auftrag des UBA zweijährlich durchgeführten repräsentativen Bevölkerungsumfrage „Umweltbewusstsein in Deutschland“<sup>1</sup> sind mehrere Fragen enthalten, die Rückschlüsse zu den Einschätzungen der befragten Bürgerinnen und Bürger bezüglich der Klimawandelfolgen zulassen. Seit dem Jahr 2002 ist im Fragenkatalog der Umweltbewusstseinsstudie auch die Frage enthalten, inwieweit die Befragten davon überzeugt sind, dass wir in Deutschland die Probleme, die aus dem Klimawandel resultieren, bewältigen können. Die Ergebnisse zu dieser Frage sind der nebenstehenden Grafik zugrunde gelegt.

Für die zurückliegenden Jahre lässt sich noch keine Trendaussage treffen. Trotzdem ist festzustellen, dass bis zum Jahr 2006 die Mehrheit der Befragten noch wenig bis überhaupt nicht von der Bewältigbarkeit der Klimawandelfolgen überzeugt war. In den Jahren von 2008 bis 2012 hat sich ein anderes Mehrheitsverhältnis eingestellt, und die Einschätzungen fielen optimistischer aus. So waren im Jahr 2012 immerhin 53,1 % der Überzeugung, dass sich die Klimawandelfolgen in Deutschland bewältigen lassen. Die Ergebnisse der Jahre 2014 und 2016 lassen wieder auf mehr Skepsis schließen. 2014 war etwas mehr als die Hälfte der Befragten wenig oder überhaupt nicht überzeugt, dass in Deutschland die Probleme, die aus dem Klimawandel resultieren, bewältigbar sind. 2016 waren es fast zwei Drittel.



Können wir den Klimawandel noch in den Griff bekommen? Es gibt Skepsis. (Foto: © Vlad Chorniy / stock.adobe.com)

<sup>1</sup> Die repräsentative Bevölkerungsumfrage (deutschsprachige Wohnbevölkerung ab 14 Jahre) „Umweltbewusstsein und -verhalten in Deutschland“ wird seit dem Jahr 2000 zweijährlich im Auftrag des BMU und des UBA durchgeführt. Seit 2012 wurden Fragen aufgenommen, die Daten für die DAS Monitoring Indikatoren liefern, ab 2016 werden diese Fragen alle 4 Jahre in der Umweltbewusstseinsstudie erhoben.

## Schnittstellen

FiW-I-2: Betroffenheit durch Stürme und Hochwasser  
BS-R-2: Vorsorge in der Bevölkerung

## Ziele

Verbesserung der Wissensbasis, um Chancen und Risiken besser benennen und vermitteln sowie Handlungsmöglichkeiten aufzeigen zu können (DAS, Kap. 3.2.4)

## Öffentlichkeitsinformation – wichtige Aufgabe des Bundes

Ein zentrales Instrument der Öffentlichkeitsinformation des Bundes sind Warn- und Informationssysteme, die die Bevölkerung über grundlegende Risiken informieren und bevorstehende kritische Ereignisse ankündigen. Es liegt im Interesse des Bundes, dass diese Systeme so intensiv wie möglich von der Bevölkerung genutzt werden und dass ihr Bekanntheitsgrad steigt.

Auf Bundesebene sind verschiedene Warn- und Informationssysteme verfügbar, die im Zusammenhang mit klimabedingten Veränderungen der Risiken und Belastungssituation stehen. Der Hitzewarndienst wurde vom DWD im Jahr 2005 eingerichtet und spricht auf Landes- bzw. Warnkreisebene täglich bei Erreichen definierter Schwellenwerte Hitzewarnungen für den aktuellen und den folgenden Tag aus. Die allgemeine Öffentlichkeit kann die Warnungen über das Internet abrufen. Über dieses Portal warnt der DWD außerdem vor weiteren markanten und extremen Wetterereignissen wie u. a. Stürmen, Starkregen oder Gewittern. Zur besseren Information von Allergikern gibt der DWD gemeinsam mit der PID einen Pollenflug-Gefahrenindex heraus. Er informiert während

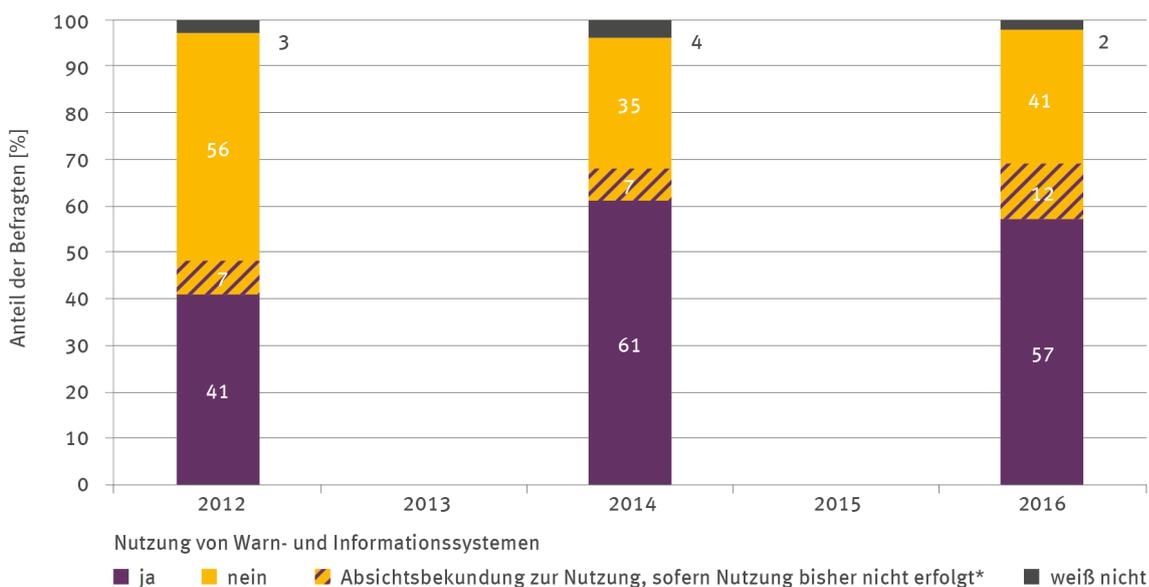
der Pollenflugsaison über die Belastungsintensität der acht allergologisch wichtigsten Pollen für den aktuellen und den folgenden Tag.

Darüber bietet das BBK die Warn-App NINA (Notfall- Informations- und Nachrichten-App des Bundes) an, in der Warnungen zum Bevölkerungsschutz, Unwetterwarnungen des DWD und Hochwasserinformationen des länderübergreifenden Hochwasserportals sowohl für selbst gewählte Orte als auch für den eigenen Standort zur Verfügung gestellt werden.

Nur indirekt mit dem Klimawandel verbunden sind die gesundheitlichen Gefahren durch Ozon und UV-Strahlung. Es könnten im Zuge der Klimaveränderungen vermehrt Witterungskonstellationen auftreten, die die Bildung bodennahen Ozons fördern. Im globalen Kontext werden auch Folgen für die stratosphärische Ozonschicht diskutiert, die Auswirkungen auf die Intensität der UV-Strahlung auch in unseren Breiten haben können. Prognosen zum bodennahen Ozon liefert das Internetangebot des UBA. Aus dem deutschlandweiten solaren

### HUE-2: Nutzung von Warn- und Informationsdiensten

Warn- und Informationsdienste des Bundes und der Länder werden von mehr als der Hälfte der Bevölkerung in Anspruch genommen.



\* Teilmenge von „nein“

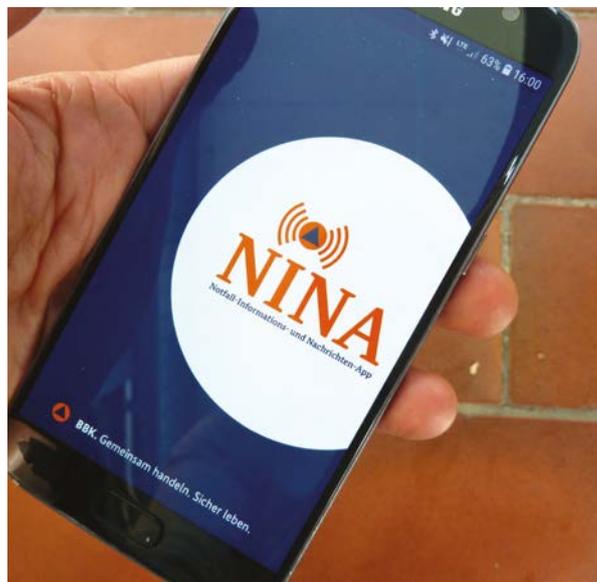
Datenquelle: BMUB & UBA (Umweltbewusstsein in Deutschland)

UV-Monitoring Messnetz generiert das Bundesamt für Strahlenschutz in Kooperation mit dem UBA Informationen zur tagesaktuellen UV-Strahlenbelastung. UV-Warnungen sind darüber hinaus auch Warngegenstand des DWD.

Die bereits seit vielen Jahren betriebenen Hochwasserwarn- oder -informationsdienste der Wasser und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, die aktuelle Pegelstände für die Bundeswasserstraßen zur Verfügung stellen, genießen bei extremen Wasserstandentwicklungen eine stark erhöhte Aufmerksamkeit. Gleiches gilt für das von den Ländern betriebene gemeinsame Hochwasserportal, über das die Länder für die Gewässer in ihrem Zuständigkeitsbereich tagesaktuelle Daten zu Hochwasserwarnungen bereitstellen. Einen kleineren Adressatenkreis hat der Sturmflutwarndienst, der vom BSH betrieben wird und über Wasserstände an Pegeln der Nord- und Ostseeküste berichtet.

Weitere existierende Warn- und Informationsdienste, die auf Ereignisse gerichtet sind, die sich mit dem Klimawandel in Zusammenhang bringen lassen, sind vor allem für ausgewählte Berufsgruppen, Unternehmen oder Verwaltungen von Interesse. Hierzu gehören beispielsweise die Pflanzenschutzdienste der Länder, die das Auftreten von Schadorganismen prognostizieren und integrierte Pflanzenschutzmaßnahmen empfehlen, oder auch die Niedrigwasser-Informationsdienste.

In der repräsentativen Bevölkerungsumfrage „Umweltbewusstsein in Deutschland“<sup>1</sup> wird seit 2012 auch nach der Nutzung von Warn- und Informationsdiensten gefragt. Beispielhaft wird dabei auf den Polleninformationsdienst, die Hitzewarndienste sowie die Hochwasserwarn- oder -informationsdienste hingewiesen. In der Umfrage 2012 gaben 41 % aller Befragten an, dass sie Warn- und Informationsdienste nutzen. Die Ergebnisse der Folgebefragungen zeigen einen Anstieg der Nutzung. 2014 gaben 61 % und 2016 57 % der Befragten an, Warndienste zu nutzen. Auch der Anteil derer, die solche Dienste künftig nutzen wollen, lag weiterhin bei 7 % in 2014 bzw. 12 % in 2016. Die zunehmende Nutzung von Smartphones erleichtert die Nutzung von Warndiensten, da diese so auch spontan und unterwegs abrufbar sind. Auch das Angebot entsprechender Apps ist gestiegen, wie z. B. auch die Weiterentwicklung von Polleninformationsdiensten der PID zeigt.



Auf viele Warn- und Informationsdienste kann man mit einem Internet-fähigen Mobiltelefon auch von unterwegs zugreifen. (Foto: Konstanze Schönthaler / Bosch & Partner)

Diese und weitere Informationsdienste zu Klimafolgen und zur Vorsorge vor Klimaschäden bündelt das Deutsche Klimavorsorgeportal unter [www.klivoportal.de](http://www.klivoportal.de).

## Schnittstellen

- GE-R-1: Hitzewarndienst
- GE-R-2: Erfolge des Hitzewarnsystems
- GE-R-3: Information zu Pollen

## Ziele

Gut funktionierende Frühwarnsysteme vermindern die Gefahren für gesundheitliche Folgen. (DAS, Kap. 3.2.1)

Prüfung, ob aus den klimabedingten Veränderungen Anpassungen der Vorhersage- und Warndienste in der Seeschifffahrt notwendig werden (DAS, Kap. 3.2.11)

<sup>1</sup> s. Fußnote S. 247

## Förderung von Forschung und Entwicklung zu Klimawandelfolgen und Anpassung

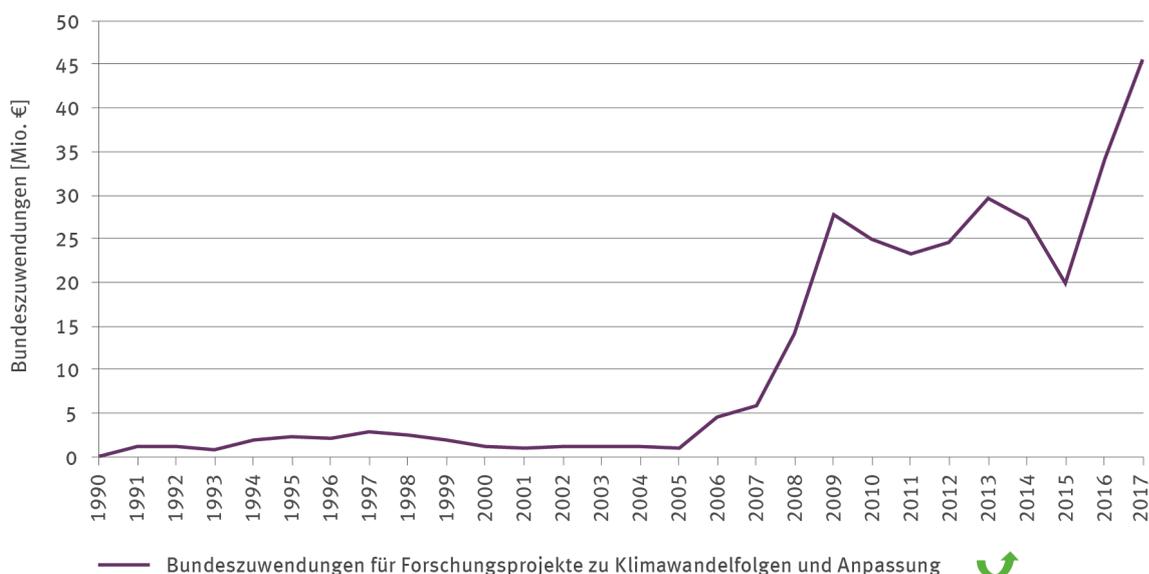
Bereits heute müssen bei vielen langfristig wirkenden Entscheidungen die möglichen Folgen des Klimawandels und die zukünftigen klimatischen Verhältnisse mitbedacht und berücksichtigt werden. Planungen und Projekte der öffentlichen Hand, z. B. Infrastrukturprojekte wie der Aus- oder Neubau von Straßen- und Schienenwegen oder die Weiterentwicklung der Binnenschiffahrtsstraßen, die Errichtung neuer Stromtrassen, Hochwasserschutzmaßnahmen, die Ausweisung von Baugebieten auf der kommunalen Ebene oder die Errichtung öffentlicher Gebäude, sollen bereits heute widerstandsfähig gegenüber den Folgen zukünftiger klimatischer Veränderungen sein. Ebenso wollen Unternehmen langfristige Investitionen wie die Errichtung neuer Gebäude oder Anlagen klimarobust gestalten und Standortentscheidungen so treffen, dass sie dauerhaft tragfähig sind. Nicht zuletzt wollen auch Privatpersonen, beispielsweise mit Blick auf ihre Gesundheit oder in ihrer Rolle als Bauherren, die richtigen Entscheidungen treffen.

Eine wesentliche Grundlage für die Entscheidungsfindung ist zum einen ein möglichst fundierter Blick in die Zukunft, der möglichst belastbare Abschätzungen zu den künftigen Klimaänderungen ebenso erlaubt wie eine solide Erfassung der bestehenden Verwundbarkeiten und der möglichen Auswirkungen des Klimawandels. Zum anderen bedarf es robuster und flexibler strategischer, technischer oder auch instrumenteller Lösungen, die angesichts der nach wie vor bestehenden Unsicherheiten für eine große Bandbreite möglicher Klimaveränderungen gleichsam angemessen sind. Es ist daher ein wichtiges Bestreben des Bundes, die Wissensbasis als Grundlage für Anpassungsprozesse und -maßnahmen zu erweitern und diesbezügliche Forschungsaktivitäten systematisch zu fördern.

Viele Forschungsförderaktivitäten des Bundes zu Klimawandel und Anpassung werden unter dem Dach des vom BMBF finanzierten Rahmenprogramms „Forschung für Nachhaltige Entwicklung“ FONA gebündelt. Darüber hinaus gibt es in weiteren Bundesressorts Programme,

### HUE-3: Bundeszuwendungen für Forschungsprojekte zu Klimawandelfolgen und Anpassung

Mehrere Bundesressorts fördern die Forschung im Themenfeld Klimawandelfolgen und Anpassung über Zuwendungen für zeitlich befristete Projekte. Der Umfang dieser Zuwendungen ist ab dem Jahr 2006 deutlich angestiegen. Die Zahlen bilden aber nur einen Teil der Forschungsförderung des Bundes ab. Auch die Auftragsforschung der Bundesministerien ist darin nicht berücksichtigt.



Datenquelle: BMBF (Förderkatalog zur Projektförderung des Bundes – eigene Auswertung)

in denen zu Anpassung geforscht wird und pilothaft Anpassungsmaßnahmen erprobt werden. Besonders hervorzuheben ist in diesem Kontext für das BMU der Schwerpunktbereich „Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels“ im Ressortforschungsplan. Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) hat bis 2015 einen Großteil der ressorteigenen Forschungsaktivitäten zur Anpassung im Rahmen von KLIWAS (Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt – Entwicklung von Anpassungsoptionen) zusammengeführt. Seit 2016 hat das BMVI ein Expertennetzwerk entwickelt, indem sieben Ressortforschungseinrichtungen und Fachbehörden Innovationen in den Bereichen Anpassung an den Klimawandel, Umweltschutz und Risikomanagement erarbeiten.

In vielen Fällen, z. B. beim Ressortforschungsplan des BMU, werden zeitlich befristete Forschungs- und Entwicklungsvorhaben im Rahmen von wettbewerblichen Verfahren vergeben (Auftragsforschung). Darüber hinaus stellt der Bund finanzielle Mittel für die Förderung von Projekten in Form von zweckgebundenen Zuwendungen für Vorhaben im Rahmen von Förder- und Fachprogrammen bereit. Bezogen auf Projekte im Bereich von Klimawandelfolgen und -risiken sowie Anpassung werden auf diese Weise z. B. durch das BMBF große Verbundprojekte wie „Klimaresilienz durch Handeln in Stadt und Region“ (innerhalb der FONA-Leitinitiative Zukunftsstadt) und „Regionale Informationen zum Klimahandeln (RegIKlim)“ gefördert.

Eine ressortübergreifende Zusammenstellung aller Förderaktivitäten zur Anpassung an den Klimawandel und eine Übersicht über die hierfür verausgabten Mittel gibt es bislang nicht. Lediglich die über Zuwendungen vergebenen Mittel von BMBF, BMU, BMVI sowie des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) und des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) werden im Förderkatalog des BMBF an zentraler Stelle dokumentiert und lassen sich nach den Themen Klimawandelfolgen sowie Anpassung auswerten. Betrachtet man die Zuwendungen für Projekte mit diesen Schwerpunkten, wird deutlich, dass die Forschungsförderung in diesem Themenfeld ab dem Jahr 2006 deutlich angestiegen ist. Damals wurde vom BMBF der Förderschwerpunkt „klimazwei-Forschung für den Klimaschutz und Schutz vor Klimawirkungen“ ins Leben gerufen, der für den Zeitraum 2006 bis 2009 mit einem Finanzvolumen von ca. 35 Millionen Euro ausgestattet war. Ab dem Jahr 2008 wurden dann im Programm KLIMZUG durch das BMBF insgesamt über 80 Millionen Euro für Projekte in sieben regionalen Verbundvorhaben bereitgestellt. Maßnahmen des BMBF haben den größten Anteil an der zuwendungsbasierten Finanzierung



Forschung ist nach wie vor eine wichtige Grundlage, um solide planen und handeln zu können.  
(Foto: © tinyakov / stock.adobe.com)

von Forschung und Entwicklung zu Klimawandelfolgen und Anpassung, weitere diesbezügliche Zuwendungen leisteten das BMEL sowie das BMU. Da der Förderkatalog jedoch die Auftragsforschung nicht umfasst, bilden die Zahlen nur einen begrenzten Ausschnitt aus der Finanzierung von Forschung und Entwicklung zur Anpassung an den Klimawandel ab.

Diesbezügliche Aktivitäten z. B. des Bundesministeriums für Gesundheit (BMG), dessen geplante Aktivitäten im Rahmenplan Ressortforschung dargestellt sind, oder entsprechende Teile des Ressortforschungsplans des BMU berücksichtigt der Indikator derzeit nicht. Auch Maßnahmen, die indirekt eine Anpassungswirkung entfalten, sind in der Zeitreihe nicht enthalten. Die Daten lassen keine bewertenden Aussagen im Hinblick auf Quantität und Qualität der Bundeszuwendungen zu.

## Schnittstellen

HUE-4: Klimawandelanpassung auf kommunaler Ebene

## Ziele

Erweiterung und Vertiefung der wissenschaftlichen Grundlagen für den Anpassungsprozess durch Forschungsaktivitäten des Bundes (DAS, Kap. 5.2)

## Kommunen sind wichtige Akteure

Die Kommunen gehören zu den zentralen Akteuren der Anpassung an den Klimawandel, denn viele Folgen des Klimawandels zeigen ihre Wirkungen auf der lokalen Ebene. Entsprechend müssen Maßnahmen mit und in den Kommunen entwickelt und umgesetzt werden. Hierzu gehören u. a. Maßnahmen der städtischen Grünplanung und Siedlungsentwicklung sowie der Anpassung städtischer Infrastruktur oder Vorsorgemaßnahmen im Bauwesen. Allerdings ist Anpassung an den Klimawandel als kommunale Aufgabe in Deutschland ein relativ neues und noch wenig wahrgenommenes Aktionsfeld. Der Bund räumt daher der Unterstützung der Kommunen im Anpassungsprozess einen hohen Stellenwert ein.

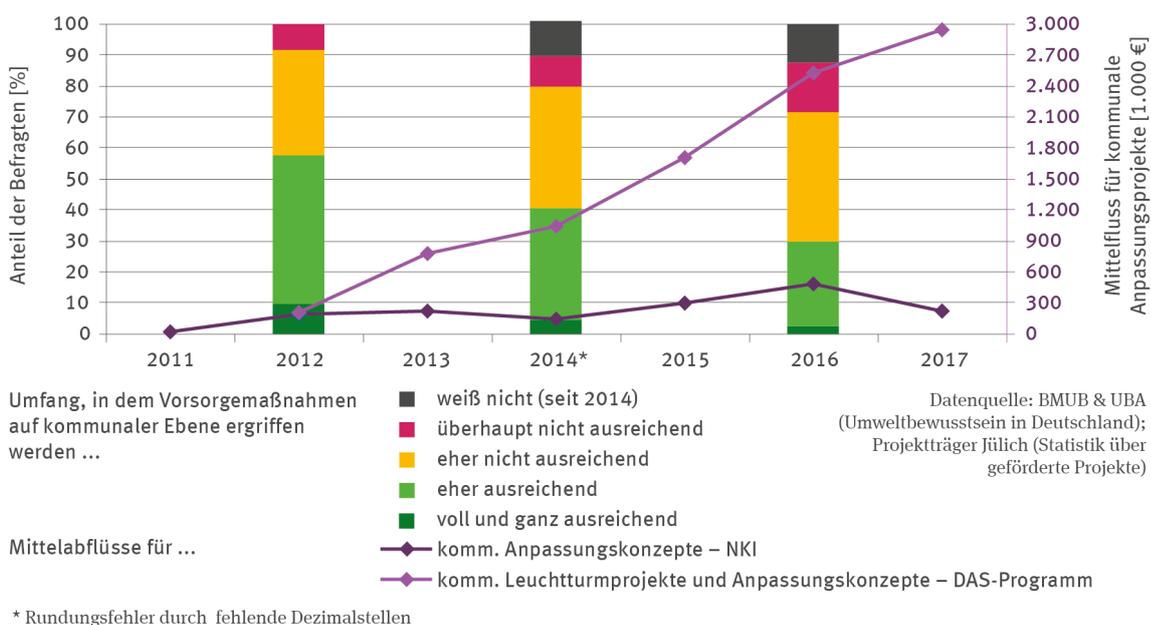
Ein Gesamtüberblick über die Unterstützungsleistungen des Bundes für die Kommunen lässt sich derzeit nicht herstellen. Stellvertretend spiegelt die Bewilligung von Mitteln im Rahmen zweier bedeutender kommunaler Förderprogramme das Engagement des Bundes in einem Ausschnitt wider. Im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative (NKI) unterstützte der Bund seit 2011 die Erstellung kommunaler Anpassungskonzepte.

Kommunen oder kommunale Zusammenschlüsse konnten im Rahmen der Kommunalrichtlinie für die Erstellung kommunaler Anpassungskonzepte Fördermittel und zur Umsetzung des Anpassungskonzepts eine Anpassungsmanagerin bzw. einen -manager beantragen.

Die Konzepte dienen den Kommunen als strategische Planungs- und Entscheidungshilfen, sie identifizieren den Bedarf an Anpassung, treffen Aussagen zur Beteiligung relevanter Akteurinnen und -aktuelle und zeigen Handlungsmöglichkeiten vor Ort auf. Von 2011 bis 2017 erhielten 39 Städte und Landkreise Mittelbewilligungen in Höhe von knapp 1,6 Mio. € für die Erarbeitung eines Anpassungskonzepts. Im gleichen Zeitraum wurde die Umsetzung von zwei Teilkonzepten Anpassung gefördert. Der gesamte Mittelabfluss im Rahmen der Kommunalrichtlinie betrug im Zeitraum von 2012 bis 2017 rund 359 Mio. €. Der in Anpassungskonzepte fließende Anteil fällt sehr gering aus. Ein Grund hierfür ist, dass über die NKI keine investiven und damit kostspieligen Anpassungsmaßnahmen gefördert werden. Seit Anfang

### HUE-4: Klimawandelanpassung auf kommunaler Ebene

Der Bund unterstützt Gemeinden, Städte und Landkreise u. a. über die Nationale Klimaschutzinitiative (2011–2018) und das DAS-Programm bei der Erstellung von Konzepten und der Umsetzung von Maßnahmen zur guten Anpassung. Der Mitteleinsatz in den Programmen hat zugenommen. Die Zustimmung der repräsentativ befragten Bürgerinnen und Bürgern zur Frage ob sich ihre Stadt oder Gemeinde ausreichend in der Anpassung engagiert, hat dagegen deutlich abgenommen.



2019 ist die Förderung der NKI wieder ausschließlich auf Aktivitäten im Bereich Klimaschutz beschränkt.

Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel werden seit 2012 außerdem im Rahmen des sogenannten DAS-Programms „Förderung von Maßnahmen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels“ durch das BMU gefördert. Die Förderung zielt darauf ab, die Anpassungsfähigkeit insbesondere auf der lokalen und regionalen Ebene durch Initiativen zur Bewusstseinsbildung, zu Dialog und Beteiligung sowie Vernetzung und Kooperation von regionalen oder lokalen Akteuren zu stärken. Kommunale Initiativen zur Anpassung werden vor allem in zwei der drei Förderschwerpunkte des Programms unterstützt. Zum einen schafft der Bund Anreize für Unternehmen zur Erstellung von Anpassungskonzepten; dabei sind auch explizit Unternehmen in kommunaler Verantwortung angesprochen. Die Möglichkeit der Förderung von Anpassungskonzepten für kommunale Unternehmen wird jedoch nicht wahrgenommen. Bislang hat noch kein kommunales Unternehmen ein Anpassungskonzept erstellt. Zum anderen geht es um die Förderung kommunaler Leuchtturmvorhaben sowie interkommunaler oder regionaler Verbände mit dem Ziel, Kooperationen aufzubauen, Anpassungskonzepte zu erstellen und diese pilothaft umzusetzen. Für kommunale Leuchtturmprojekte hat der Bund in den Jahren 2012 bis 2017 insgesamt knapp 9,2 Mio. € bewilligt. Das nun bereits mehr als sechs Jahre bestehende Förderinstrument soll schrittweise weiter finanziell aufgebaut werden.

Die beiden Programme geben kein vollständiges Bild der Investitionen in Anpassungskonzepte und -prozesse der Kommunen, denn diese hatten noch mehrere andere Möglichkeiten der Finanzierung. Hierzu gehören die Förderprogramme KLIMZUG („Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten“) und KlimaMORO (Modellvorhaben „Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel“), die ihren Schwerpunkt auf Forschungsaktivitäten legen und inzwischen ausgelaufen sind. Auch über die EU-Strukturförderung lassen sich kommunale Projekte zur Anpassung finanzieren. Bei operativen Umsetzungsmaßnahmen in Förderprogrammen ist der Umgang mit Klimawandelfolgen oft nur ein Nebenziel, das die Ausgestaltung der Maßnahme zwar beeinflussen kann, dessen anpassungsspezifische Kosten sich aber i. d. R. nicht aus der Gesamtsumme herausrechnen lassen. Daneben existieren diverse Länderprogramme oder Länderförderungen. Von besonderer Bedeutung auf kommunaler Ebene ist es, die Bürgerinnen und Bürger in die Diskussion um gute Anpassung und die konkrete Umsetzung von Maßnahmen einzubeziehen. Voraussetzung für bürgerschaftliches Engagement sind dabei aktive Kommunen,



Kommunen müssen bei der Planung und Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen unterstützt werden.  
(Foto: © coastoak / stock.adobe.com)

die ihren Bürgerinnen und Bürger Plattformen für die Diskussion und Beteiligung geben und selbst mit guten Umsetzungsprojekten als Vorbilder im Anpassungsprozess auftreten.

In der repräsentativen Umfrage „Umweltbewusstsein in Deutschland“<sup>1</sup> werden Bürgerinnen und Bürger seit 2012 zu ihrer Einschätzung befragt, ob sich die Stadt oder Gemeinde, in der sie leben, hinreichend mit dem Thema Anpassung auseinandersetzt und ob sie in ausreichendem Umfang Vorsorgemaßnahmen ergreift. Während sich in der Befragung 2012 noch 58 % der Befragten dazu mehrheitlich positiv äußerten, waren es 2014 mit 41 % deutlich weniger und 2016 mit 30 % nur noch weniger als ein Drittel der Befragten.

<sup>1</sup> s. Fußnote S. 247

## Schnittstellen

HUE-3: Bundeszuwendungen zur Förderung von Forschungsprojekten zu Klimawandelfolgen und Anpassung

## Ziele

Da Anpassung in den meisten Fällen auf regionaler oder lokaler Ebene erfolgen muss, sind viele Entscheidungen auf kommunaler oder Kreisebene zu treffen.  
(DAS, Kap. 5.2)

## Anpassung ist eine globale Herausforderung

Angesichts der globalen Dimension des Klimawandels und seiner Folgen setzt sich Deutschland seit vielen Jahren intensiv für eine weitreichende internationale Zusammenarbeit zur Anpassung ein. Es geht es um die Mitgestaltung der europäischen Rahmenbedingungen für die Anpassung in Schwellen- und Entwicklungsländern und die europäische Forschungskoooperation. Im weitergehenden internationalen Umfeld richten sich die deutschen Aktivitäten auf internationale Prozesse und Kooperationen inklusive des IPCC.

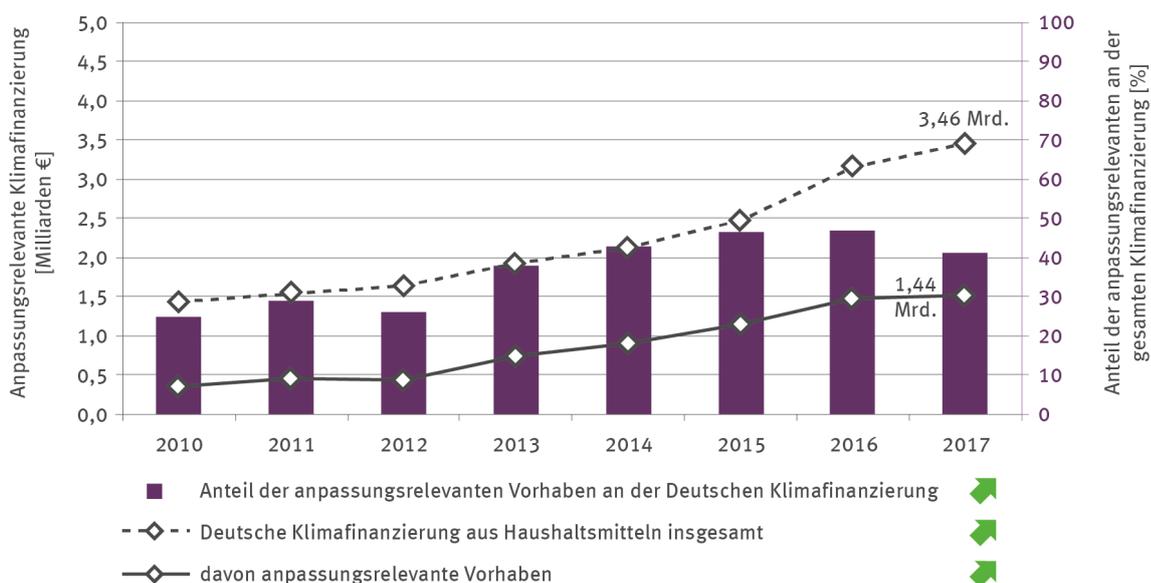
Entwicklungsländer sind von den nachteiligen Auswirkungen der Klimaänderung besonders betroffen. Schon heute zeigen sich Auswirkungen durch besonders ausgeprägte Witterungsextreme und die Verschlechterung u. a. der landwirtschaftlichen Anbaubedingungen. Aufgrund ihrer wirtschaftlichen und politischen Situation verfügen die besonders betroffenen Länder zum Teil nur über geringe Anpassungskapazitäten. Die solidarische Unterstützung der Entwicklungsländer ist schon deshalb geboten, weil sie im Vergleich zu den industrialisierten Staaten und Schwellenländern bisher nur einen vergleichsweise geringen Anteil an den klimawirksamen Treibhausgasemissionen hatten.

Deutschland fördert Anpassungsmaßnahmen in Entwicklungsländern im Rahmen der Entwicklungs- und klimapolitischen Zusammenarbeit und unterstützt die Formulierung und Umsetzung der Nationalen Anpassungspläne (NAP) und der Anpassungsziele, die in den nationalen Klimabeiträgen (NDCs) unter dem Pariser Klimaabkommen formuliert wurden, z. B. über die NDC-Partnerschaft. 80 bis 90% des deutschen Beitrags zur internationalen Klimafinanzierung stellt das Bundesministerium für Wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) bereit. Weitere Mittel fließen über das BMU überwiegend im Rahmen der Internationalen Klimaschutzinitiative (IKI). In Forschungskoooperationen sind weitere Ministerien an Vorhaben beteiligt. Deutschland strebt an, die im Pariser Klimaabkommen genannte Balance von Minderung und Anpassung im Rahmen der internationalen Klimafinanzierung auch in seinen nationalen Beiträgen zu erreichen.

Auf der Weltklimakonferenz in Kopenhagen 2009 haben Industrieländer zugesagt ab 2020 100 Milliarden USD aus einer Vielzahl von Quellen zu mobilisieren. Diese Zusage wurde auf der Weltklimakonferenz 2015 in Paris bis 2025

### HUE-5: Internationale Klimafinanzierung zur Anpassung (aus Haushaltsmitteln)

Die Bemühungen zur Unterstützung von Anpassung im internationalen Kontext haben in den vergangenen Jahren deutlich zugenommen. Der Anteil der anpassungsrelevanten Finanzierung an der gesamten internationalen Klimafinanzierung ist von knapp 25% im Jahr 2010 auf 41,4% im Jahr 2017 gestiegen. Der Bedarf an Anpassungsfinanzierung wird in Zukunft weiter wachsen.



Datenquelle: BMZ (Berichterstattung zur EU-MMR-Richtlinien)

fortgeschrieben. Unterschieden wird zwischen finanziellen Beiträgen zu multilateralen Programmen und der bilateralen Entwicklungszusammenarbeit. Bei der multilateralen Finanzierung zahlen mehrere Staaten in internationale Fonds bei multilateralen Entwicklungsbanken (MDBs) und internationalen Organisationen ein. Seit 2002 existiert der Least Developed Countries Fund mit dem Schwerpunkt Anpassung. Der Grüne Klimafond (GCF) operiert seit 2014 und strebt an, die Mittel nach dem Schlüssel 50:50 zwischen Minderung und Anpassung aufzuteilen. Mit 54% der GCF Mittel für Anpassung hat der GCF dieses Ziel bisher sogar übertroffen. Hierdurch konnte die Anpassungsfähigkeit von ca. 310 Millionen Menschen verbessert werden. Deutschland hat 750 Millionen Euro zur Erstauffüllungsrunde beigetragen (Zusage von 1 Milliarde USD). Zur Wiederauffüllung trägt Deutschland weitere 1,5 Milliarden Euro (ca. 1,69 Milliarden USD) bei. 2008 wurde unter dem Kyoto-Protokoll der Anpassungsfonds gegründet. Dieser wird nun auch Aufgaben unter dem Pariser Klimaabkommen umsetzen. Bei der Klimakonferenz in Kattowice 2018 hat das BMU 70 Millionen Euro zugesagt. Im Rahmen der bilateralen Projekt- und Programmfinanzierungen leistet Deutschland Zuwendungen an spezifische Projekte zur Förderung eines kohlenstoffarmen und klimaresilienten Wachstums. Projekte werden insbesondere von der Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH und der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) Bankengruppe, aber auch von privaten, zivilgesellschaftlichen und kirchlichen Trägern sowie von politischen Stiftungen in Entwicklungsländern umgesetzt.

Neben den Projekten, deren Hauptziel die Anpassung an den Klimawandel ist, weisen Projekte der Entwicklungszusammenarbeit auch einen Bezug zum Klimawandel als Querschnittsthema auf. Zum Beispiel dienen viele Projekte mit den Zielen Armutsbekämpfung, Ernährungssicherung und Diversifizierung der Wirtschaftsstruktur auch der Anpassung an den Klimawandel. Die Verknüpfung von nachhaltiger Entwicklung und Anpassung an den Klimawandel erhöht die Wirkung der öffentlichen Gelder. Entscheidend für die Anrechnung als Anpassungsprojekt in der internationalen Klimafinanzierung ist jedoch, dass Ziele der Anpassung ausdrücklich formuliert sind und spezifische Maßnahmen umgesetzt werden, die die Vulnerabilität eines menschlichen oder natürlichen Systems gegenüber Einflüssen oder Risiken des Klimawandels mindern und so deren Klimaresilienz steigern. Hierzu gehören Maßnahmen der Information, Bewusstseinsbildung und des Kapazitätsaufbaus ebenso wie Maßnahmen im rechtlichen, planerischen und programmatischen Bereich sowie Umsetzungsmaßnahmen wie die Umstellung auf wassersparende Bewässerungssysteme, der Anbau trockenresistenter Ackerfrüchte, die Einführung nachhaltiger



Entwicklungsländer sind von Extremereignisse besonders betroffen und verfügen oft über geringere Anpassungskapazitäten. (Foto: © africa / stock.adobe.com)

Praktiken in der Fischerei oder Maßnahmen zur Malaria-bekämpfung.

Die Gesamtsumme der internationalen Klimafinanzierung Deutschlands für Minderungs-, Anpassungs-, Wald- und Biodiversitätsmaßnahmen aus Haushaltsmitteln ist von 471 Millionen Euro in 2005 auf 3,46 Milliarden Euro in 2017 gestiegen. Seit 2010 erfasst Deutschland den in die Anpassung fließenden Anteil der internationalen Klimafinanzierung gesondert, dieser hat sich von 355 Millionen Euro in 2010 auf 1,44 Milliarden Euro in 2017 mehr als vervierfacht. Auch der Anteil der Anpassungsfinanzierung an der gesamten internationalen Klimafinanzierung ist gestiegen und betrug 2017 mit 41,4% bereits knapp die Hälfte. Enthalten sind Vorhaben mit Anpassungswirkungen im Bereich Waldschutz/Schutz biologischer Vielfalt. Ohne diese betragen die internationalen Beiträge Deutschlands 2017 zur Anpassungsfinanzierung bereits 1,21 Milliarden Euro.

## Ziele

Unterstützung besonders anfälliger Entwicklungsländer bei der Anpassung an die nachteiligen Folgen des Klimawandels (DAS, Kap. 4)

Bereitstellung angemessener, berechenbarer und nachhaltige Finanzquellen [...], um Anpassungsmaßnahmen in den Entwicklungsländern zu unterstützen (Copenhagen Accord 2009)



**ANHANG**

## Bearbeitung

Institution	Bearbeiterinnen und Bearbeiter
<b>Federführung</b>	
Umweltbundesamt (UBA), Koordinierungsstelle für das Monitoring zur DAS	FG I 1.6 KomPass: Dr. Petra van Rüh, Gabriele Schönwiese
<b>Weiterentwicklung von Indikatoren für die Handlungsfelder Bauwesen; Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft, Küsten- und Meeresschutz; Verkehr, Verkehrsinfrastruktur</b>	
Bosch & Partner GmbH	Konstanze Schönthaler, Stefan von Andrian-Werburg, Mareike Buth
<b>Statistische Auswertungen zu den Indikatoren</b>	
Ludwig-Maximilian-Universität München	Fakultät für Mathematik, Informatik und Statistik, Institut für Statistik, Statistisches Beratungslabor: Prof. Dr. Helmut Küchenhoff, Jonas Hagenberg, Sevag Kevork
<b>Klimaentwicklung in Deutschland – Daten und Texterstellung</b>	
Deutscher Wetterdienst (DWD)	Referat KU 21 Nationale Klimaüberwachung: Dr. Florian Imbery, Karsten Friedrich
	Referat KU 42 Niederschlagsüberwachung: Dr. Andreas Becker
	Referat KU 41 Hydrometeorologische Beratungsleistungen: Dr. Thomas Deutschländer
	Referat KU 31 Agrarmeteorologische Fachleitung und Beratung: Dr. Christina Koppe, Elisabeth Krauthan

## Beteiligungen

Die nachstehende Aufstellung enthält alle Beteiligten, die mit konkreten Beiträgen an der Weiterentwicklung sowie der Aktualisierung der Indikatoren und / oder der Erstellung der Texte für den DAS-Monitoringbericht 2019 mitgearbeitet haben. Die Personen sind dabei denjenigen Institutionen zugeordnet, denen sie zum Zeitpunkt der Beteiligung angehört haben. Diejenigen Personen, die im Vorfeld des DAS-Monitoringberichts 2015 an der Entwicklung der Indikatoren und / oder der Erstellung der Texte mitgearbeitet haben, sind an dieser Stelle nicht gesondert aufgeführt. Sie sind im Anhang des DAS-Monitoringberichts 2015 genannt.

Institution	Bearbeiterinnen und Bearbeiter
<b>Indikatoren für das Handlungsfeld Biologische Vielfalt</b>	
Bearbeitung im Rahmen der BfN-Vorhaben „Indikatorensystem zur Darstellung direkter und indirekter Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt“ (FKZ 3511 82 0400) und „Weiterentwicklung von Indikatoren zu Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt“ (FKZ 3517811000)	
Bundesamt für Naturschutz (BfN)	Fachgebiet II 1.3 Monitoring: Dr. Elisa Braechevelt, Dr. Ulrich Sukopp
Technische Universität Berlin	Fachgebiet Landschaftsplanung und Landschaftsentwicklung: Prof. Dr. Stefan Heiland, Laura Radtke, Annika Miller, Rainer Schliep Fachgebiet Ökosystemkunde / Pflanzenökologie: Dr. Robert Bartz, Prof. Dr. Ingo Kowarik
Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden	Fakultät Landbau / Landespflege, Professur Tierökologie / Angewandter Umweltschutz: Prof. Dr. Frank Dziock, Silvia Dziock
Universität Stuttgart	Fakultät Bau- und Umweltingenieurwissenschaften, Institut für Raumordnung und Entwicklungsplanung: Dr. Livia Schäffler, Prof. Dr. Stefan Siedentop (auch ILS Dortmund), Stefan Fina
Dachverband Deutscher Avifaunisten e. V.	Dr. Christoph Sudfeldt, Sven Trautmann
PAN Planungsbüro für Angewandten Naturschutz GmbH	Werner Ackermann

Institution	Beteiligte
<b>Ministerien des Bundes</b>	
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, und nukleare Sicherheit (BMU)	Referat WR I 1 Allgemeine, grundsätzliche sowie internationale und europäische Angelegenheiten der Wasserwirtschaft: Silke Jung, Susanne Hempten, Susanne Huckele
Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL)	Referat 521 Nachhaltigkeit und Klimaschutz, Klimafolgen
Bundesministerium für Gesundheit (BMG)	Referat 422 Grundsatzfragen der Prävention, Eigenverantwortung, Selbsthilfe, Umweltbezogener Gesundheitsschutz: Karin Höppner
Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)	Referat G22 Alternative Kraftstoffe und Antriebe, Infrastruktur, Energie: Lena Fiebig Referat G21 Energie und Klimaschutz: Sascha Faradsch, Kai Nowak
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)	Referat IVC2 Klimaschutz, Emissionshandel, Internationale Umweltschutzpolitik: Jana Zimmermann
Bundesministerium für Wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ)	Referat 420 Klimapolitik: Christoph von Stechow Referat 421 Klimafinanzierung: Katharina Stepping Referat 422 Klimainitiativen: Ingrid Barth
Bundesministerium der Finanzen (BMF)	Referat I B 3 Energie, Umwelt, Telekommunikation, Post, Verbraucher und Nachhaltigkeit: Kerstin Lindner
<b>Bundesoberbehörden</b>	
Umweltbundesamt (UBA)	<p>Fachgebiet I 1.6 KomPass Klimafolgen und Anpassung: Petra Mahrenholz, Dr. Thomas Abeling, Birgit Börner, Dr. Achim Daschkeit, Gabriele Schönwiese, Clemens Hasse, Dr. Inke Schauser, Kirsten Sander, Andreas Vetter</p> <p>Fachgebiet I 1.2 Internationale Umweltschutz- und Nachhaltigkeitsstrategien, Politik- und Wissenstransfer: Hans-Joachim Hermann, Ulrike Wachotsch</p> <p>Fachgebiet I 1.4 Wirtschafts- und sozialwissenschaftliche Umweltfragen, nachhaltiger Konsum: Dr. Angelika Gellrich</p> <p>Fachgebiet I 2.1 Umwelt und Verkehr: Petra Röthke-Habeck</p> <p>Fachgebiet I 2.5 Nachhaltige Raumentwicklung, Umweltprüfungen: Gertrude Penn-Bressel, Christoph Rau</p> <p>Fachgebiet II 1.5 Umweltmedizin und gesundheitliche Bewertung: Dr. Conny Höflich, Dr. Hans-Guido Mücke</p> <p>Fachgebiet II 2.1 Übergreifende Angelegenheiten Wasser und Boden: Corinna Baumgarten, Manuela Helmecke, Cindy Mathan</p> <p>Fachgebiet II 2.7 Bodenzustand, Bodenmonitoring: Dr. Frank Glante, Dr. Marc Marx, Jeanette Mathews, Kirstin Marx</p> <p>Fachgebiet II 2.9 Landwirtschaft: Dr. Knut Ehlers, Frederike Balzer, Lea Köhler</p> <p>Abteilung II.3 Trinkwasser- und Badebeckenwasserhygiene: Dr. Ingrid Chorus</p> <p>Fachgebiet II 3.3 Trinkwasserressourcen und Wasseraufbereitung: Dr. Jutta Fastner</p> <p>Fachgebiet IV 1.3 Pflanzenschutzmittel: Steffen Matezki, Konstantin Kuppe</p> <p>Fachgebiet IV 1.4 Gesundheitsschädlinge und ihre Bekämpfung: Dr. Carola Kuhn, Dr. Erik Schmolz</p> <p>Abteilung V 1 Klimaschutz und Energie: Michael Marty</p> <p>Fachgebiet V 1.3 Erneuerbare Energien: Carla Vollmer</p> <p>Fachgebiet V 1.4 Energieeffizienz: Jens Schubert</p> <p>Fachgebiet V 1.5 Energieversorgung und -daten: Jeanette Pabst, Fabian Sandau</p>

Institution	Beteiligte
Bundesamt für Naturschutz (BfN)	Fachgebiet II 2.1 Biotopschutz, Biotopmanagement und Nationales Naturerbe: Stefanie Heinze
Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK)	Referat II.3 Grundsatzangelegenheiten Kritische Infrastrukturen: Susanne Krings, Christina Nikogosian
Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH)	Referat M2 Meeresphysik und Klima: Peter Löwe
Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG)	Referat M1 Hydrometrie und Gewässerkundliche Begutachtung: Dr. Hartmut Hein, Silke Rademacher Referat M2 Wasserhaushalt, Vorhersagen und Prognosen: Peter Krahe, Dr. Enno Nilson
Bundesanstalt für Immobilienaufgaben (BImA)	Zentrale – Sparte Facility Management, Fachgebiet 32: Thomas Boos, Oliver Schmidt; Fachgebiet 52: Elena Buscow-Ferber Zentrale – Sparte Bundesforst, Abteilung Naturschutz: Lothar Schmid
Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE)	Referat 321 Informations- und Koordinationszentrum für Biologische Vielfalt: Michaela Haverkamp Referat 324 Wald und Holz: Michaela Lachmann
Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)	Referat S1 Anpassung an den Klimawandel: Jens Kirsten
Bundesanstalt Technisches Hilfswerk (THW)	Referat E1 Grundsatz: Alexandra Hohmann, Tobias Nothhelfer
Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)	Referat I 1 Raumentwicklung: Dr. Brigitte Zaspel-Heisters, Claudia Benz
Bundesnetzagentur (BNetzA)	Referat 603 Marktbeobachtung, Monitoring Energie: Maximilian Plugge Referat 606 Zugang zu Elektrizitätsverteilnetzen, technische Grundsatzfragen, Versorgungsqualität, Dominik Oleff, Carolin Wagner
Bundessortenamt (BSA)	Referat 203 Wertprüfung Mais, Gräser, Klee: Volker Klemm Referat P2 Kommunikation, Biopatent-Monitoring, Qualitätsmanagement: Nora-Sophie Quett
Deutscher Wetterdienst (DWD)	Referat KU 21 Nationale Klimaüberwachung: Dr. Florian Imbery, Silke Brinkmann Referat KU 42 Regionale Niederschlagsüberwachung: Dr. Tanja Winterrath Referat KU 41 Hydrometeorologische Beratungsleistungen: Dr. Uwe Böhm Zentrum für Medizin-Meteorologische Forschung KU 13: Dr. Stefan Muthers, Angelika Grätz Zentrum für Agrarmeteorologische Forschung KU 32: Dr. Mathias Herbst, Dr. Cathleen Frühauf Zentrales Klimabüro KU 11: Petra Fuchs, Dr. Meinolf Koßmann Regionales Klimabüro Essen KU 1 EM: Guido Halbig
FriedrichLoefflerInstitut (FLI)	Institut für Infektionsmedizin: PD Dr. Helge Kampen
Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (GDWS)	Dez. Ökologische Entwicklung der Bundeswasserstraßen (U 10): Dörthe Eichler
Julius Kühn-Institut (JKI)	Institut für Strategien und Folgenabschätzung im Pflanzenschutz: Sandra Kregel
Robert Koch-Institut (RKI)	Abteilung für Epidemiologie und Gesundheitsmonitoring: Dr. Hildegard Niemann Abteilung für Infektionsepidemiologie: Dr. Matthias an der Heiden

Institution	Beteiligte
Statistisches Bundesamt (StBA)	Referat G 204 Materialfluss, Energie und Wasserrechnungen: Helmut Mayer, Linda Strelau, Christine Flachmann Gruppe VII-A Land- und Forstwirtschaft, Fischerei: Hamide Erfidan Referat G202 Nachhaltigkeitsindikatoren und Statistiken der Wasserwirtschaft: Franz-Josef Kolvenbach, Dr. Simon Felgendreher Verkehrszweigübergreifende Aufgaben, Personenverkehr, Verkehrsunfälle: Gerhard Kraski
Thünen-Institute (TI)	Institut für Agrarrelevante Klimaforschung: Dr. Andreas Gensior Institut für Seefischerei: Dr. Anne Sell Institut für Ostseefischerei: Dr. Christopher Zimmermann Institut für Waldökosysteme: Prof. Dr. Andreas Bolte, Erik Grüneberg, Franz Kroihner, Dr. Heino Polley, Dr. Thomas Riedel, Dr. Joachim Rock, Dr. Tanja Sanders, Dr. Walter Seidling, Dr. Nicole Wellbrock
<b>Ministerien der Länder</b>	
Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz	Referat III 2 Finanzierung, fachbezogene Verwaltung, Hochwasserschutz, Hydrologie, Badegewässer: Matthias Löw
Ministerium für Umwelt, Energie, Ernährung und Forsten Rheinland-Pfalz	Referat 37 Hochwasserschutz, Hydrologie und Wasserbau: Andreas Christ
Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung des Landes Schleswig-Holstein	Referat 45 Küstenschutz, Hochwasserschutz, Häfen: Frank Krüger
Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern	Referat 440 Boden- und Grundwasserschutz, Altlastenfreistellung: Dr. Christine Reuther
<b>Fachbehörden der Länder</b>	
Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)	Referat 84 Qualität der Seen, Dienststelle Wielenbach: Martina Sendl
Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW)	Thomas Gudera Institut für Seenforschung (ISF): Bernd Wahl
Landwirtschaftliches Zentrum Baden-Württemberg	Fischereiforschungsstelle Baden-Württemberg: Dr. Roland Rösch
Regierungspräsidium Gießen	Abt. VI Soziales, Dezernat 62, Hessische Betreuungs und Pflegeaufsicht: Regine Krampen
Landesbetrieb Mobilität Rheinland-Pfalz (LBM RP)	Geschäftsbereich Betrieb, Fachgruppe Straßenunterhaltung, -betrieb: Mike Fensterseifer
Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz (LfU)	Referat 51 Flussgebietsentwicklung : Christoph Linnenweber
Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW	Fachbereich 52 Grundwasser, Wasserversorgung, Trinkwasser, Lagerstättenabbau: Peter Neumann
Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt	Sachgebiet Waldnaturschutz / Naturwaldforschung: Dr. Peter Meyer
Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz (LfU)	Abt. 5 Gewässerschutz: Dr. Jochen Fischer
Thüringer Landesamt für Umwelt, Bergbau und Naturschutz (TLUBN)	Referat 51 Gewässerkundlicher Landesdienst, Hochwassernachrichtenzentrale: Dr. Peter Krause

Institution	Beteiligte
<b>LAWA AK Klimaindikatoren</b>	
(Expertenkreis für die Weiterentwicklung der Indikatoren zum Handlungsfeld Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft, Küsten- und Meeresschutz)	
Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG)	Referat M2: Wasserhaushalt, Vorhersagen und Prognosen: Peter Krahe
Umweltbundesamt (UBA)	FG I 1.6 KomPass: Dr. Petra van Rüth FG II 2.1 Übergreifende Angelegenheiten Wasser und Boden: Corinna Baumgarten
Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz Berlin (SenUVK Berlin)	Referat II B Wasserrecht, Wasserwirtschaft und Geologie, Fachbereich B II B 24 Wasserwirtschaft, Wasserrahmenrichtlinie, Hochwasserschutz: Antje Köhler
Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft Brandenburg (MLUL)	Referat 22 Oberflächenwasser, Siedlungswasserwirtschaft: Sandra Berdermann
Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG)	Dezernat W3 Hydrologie, Hochwasserschutz: Dr. Gerhard Brahmer Dezernat W4 Hydrogeologie, Grundwasser: Dr. Georg Berthold
Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern	Referat 420 Gewässerkunde, Seenprogramm, Klimawandel: Eckhard Kohlhas
Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz NRW (MULNV)	Referat IV-5 Oberflächengewässer- und Grundwasserbeschaffenheit, Wasserversorgung: Christoph Rapp Referat IV-6 Flussgebietsmanagement, Gewässerökologie, Hochwasserschutz: Sabine Brinkmann
Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz (MUEBK)	Referat 23 Grundwasser, Wasserversorgung, Fachplanungs- und Datenmanagement, Gewässerkundlicher Landesdienst: Dr. Astrid Krüger, Ulrike Lipkow, Ute Brase
Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz (LfU)	Abt. 5 Gewässerschutz: Dr. Wolfgang Frey
Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (SMUL)	Referat 44 Oberflächenwasser, Wasserrahmenrichtlinie: Karin Kuhn Referat 43 Siedlungswasserwirtschaft, Grundwasser: Dr. Peter Börke
Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Energie Sachsen-Anhalt	Referat Boden- und Gewässerschutz, Altlasten, Wasserrahmenrichtlinie, Geschäftsstelle LAWA-AO Ständiger Ausschuss „Oberirdische Gewässer und Küstengewässer“ der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser: Susan Zimmermann
Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW)	Dr. Gabriel Fink
Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt (LHW)	Christiana Mühlner
<b>Hochschulen und andere wissenschaftliche Einrichtungen</b>	
Charité – Universitätsmedizin	Allergie-Zentrum: Prof. Dr. Karl-Christian Bergmann
Forschungszentrum Jülich GmbH/Projektträger Jülich (PtJ)	UMW 3 Nachhaltigkeit und Klima: Franziska Eichler, Heide Stephani-Pessel, Stefanie Porschel
Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB)	Dr. Rita Adrian Dr. Peter Kasprzak
<b>Nicht-behördliche Einrichtungen</b>	
Deutscher Feuerwehrverband e. V. (DFV)	Carsten-Michael Pix
Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V. (DVGW)	Berthold Niehues
Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. (GDV)	Sach- und Technische Versicherung, Schadenverhütung, Statistik: Dr. Olaf Burghoff
Ingenieurbüro Prof. Dr. Hauser GmbH	Dr.-Ing. Stephan Schlitzberger

Institution	Beteiligte
KfW Bankengruppe	Geschäftsbereich Mittelstandsbank & Private Kunden: Lars Rahn
Kommunale Aktionsgemeinschaft zur Bekämpfung der Schnakenplage KABS e. V.	Dr. habil. Norbert Becker, Artur Jöst
Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst e. V. (PID)	Prof. Dr. Karl-Christian Bergmann
Verband Deutscher Seilbahnen und Schlepplifte e. V. (VDS)	Birgit Priesnitz, ThuHà Prügelhof
VGB PowerTech e. V.	Power Plant Technologies: Stefan Prost

## Quellenverzeichnis

### Endnoten

#### Menschliche Gesundheit

- 1 BMUB – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit & UBA – Umweltbundesamt (Hrsg.) 2017: Umweltbewusstsein in Deutschland 2016 – Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage. Berlin, 88 S.
- 2 BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit & UBA – Umweltbundesamt (Hrsg.) 2012: Umweltbewusstsein in Deutschland 2012 – Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage. Berlin, 84 S.
- 3 Kovats R. S. & Hajat S. 2008: Heat stress and public health: a critical review. *Annu. Rev. Public Health* 29: 41-55.
- 4 Gabriel, K. M. & Endlicher W. R. 2011: Urban and rural mortality rates during heat waves in Berlin and Brandenburg, Germany. *Environmental pollution* 159(8–9): 2044–2050.
- 5 Eis D., Helm D., Laußmann D., Stark K. 2010: Klimawandel und Gesundheit – Ein Sachstandsbericht. Berlin, 244 S.  
[www.rki.de/DE/Content/Gesund/Umwelteinfluesse/Klimawandel/Klimawandel-Gesundheit-Sachstandsbericht.pdf](http://www.rki.de/DE/Content/Gesund/Umwelteinfluesse/Klimawandel/Klimawandel-Gesundheit-Sachstandsbericht.pdf)
- 6 an der Heiden M., Muthers S., Niemann H., Buchholz U., Grabenhenrich L., Matzarakis A. 2019: Schätzung hitzebedingter Todesfälle in Deutschland zwischen 2001 und 2015. *Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz*. Volume 62, Issue 5: 571–579.  
<https://doi.org/10.1007/s00103-019-02932-y>
- 7 Heitmann A., Jansen S., Lühken R., Helms M., Pluskota B., Becker N., Kuhn C., Schmidt-Chanasit J., Tannich E. 2018: Experimental risk assessment for chikungunya virus transmission based on vector competence, distribution and temperature suitability in Europe, 2018. *Euro Surveill*. 2018;23(29):pii=1800033.  
<https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2018.23.29.1800033>
- 8 Heitmann A., Jansen S., Lühken R., Leggewie M., Badusche M., Pluskota B., Becker N., Vapalahti O., Schmidt-Chanasit J., Tannich E. 2017: Experimental transmission of Zika virus by mosquitoes from central Europe. *Euro Surveill*. 2017;22(2):pii=30437.  
<https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2017.22.2.30437>
- 9 Seit 2015 wird in Deutschland ein kontinuierliches, aktives Stechmückenmonitoring in Deutschland aufgebaut, das mit Hilfe von speziellen Mückenfallen und gesonderten Larvalsammlungen das geografische und saisonale Auftreten von Stechmücken-Arten und der von ihnen übertragenen tier- und humanpathogenen Krankheitserreger in Deutschland erfasst. Ebenfalls seit 2015 wird das Citizen-Science Forschungsvorhaben „Mückenatlas“ durchgeführt (s. auch <https://mueckenatlas.com>). Bis zum Frühjahr 2019 hatten mehr als 22.000 Teilnehmende mehr als 120.000 Stechmücken für die Forschung gefangen und an die Expertinnen und Experten beim Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung und am Friedrich-Loeffler-Institut geschickt. Dadurch wurde es möglich, zahlreiche weitere Nachweise der Tigermücke abseits der Autobahnen zu führen und sogar Populationen zu entdecken, die in Thüringen, Heidelberg und Erding überwintert haben.

- 10 Husteblume – die Allergie-App der Techniker: [www.tk.de/techniker/magazin/digitale-gesundheit/apps/husteblume-allergie-app-2025388](http://www.tk.de/techniker/magazin/digitale-gesundheit/apps/husteblume-allergie-app-2025388)

## Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft, Küsten- und Meeresschutz

- 11 Masters J. 2014: The Jet Stream is Getting Weird. *Scientific American*, 311: 68–75.  
DOI: 10.1038/scientificamerican1214-68
- 12 Cheng L., Trenberth K. E., Fasullo J., Boyer T., Schuckmann K., Zhu J. 2017: Taking the Pulse of the Planet. *Eos Transactions American Geophysical Union*, 98.  
<https://doi.org/10.1029/2017EO081839>
- 13 BP Statistical Review of World Energy 2018: BP Statistical Review of World Energy – June 2018. 67th edition. London, 53 pp.  
[www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf](http://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf)
- 14 Huang B., Thorne P.W., Banzon V.F., Boyer T., Chepurin G., Lawrimore J.H., Menne M.J., Smith T.M., Vose R.S., Zhang H. 2017: Extended Reconstructed Sea Surface Temperature, Version 5 (ERSSTv5): Upgrades, Validations, and Intercomparisons. *J. Climate*, 30: 8179–8205  
DOI: 10.1175/JCLI-D-16-0836.1
- 15 Thompson P.R., Merrifield M.A., Leuliette E., Sweet W., Chambers D.P., Hamlington B.D., Jevrejeva S., Marra J.J., Mitchum G.T., Nerem R.S., Widlansky M.J. 2018: Sea Level Variability and Change. In: *State of the Climate in 2017. Bulletin of the American Meteorological Society*, 99(8): 84–87.
- 16 Loewe P., Frohse F., Schulz A. 2009: Temperatur. In: Loewe P. (Hrsg.): *System Nordsee – Zustand 2005 im Kontext langzeitlicher Entwicklungen. Berichte des BSH (Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg und Rostock)*, 44: 111–134.
- 17 Reid P.C., Hari R.E., Beaugrand G., Livingstone D. M., Marty C., Straile D., Barichivich J., Goberville E., Adrian R., Aono Y., Brown R., Foster J., Groisman P., Hélaouët P., Hsu H., Kirby R., Knight J., Kraberg A., Li J., Lo T.-T., Myneni R.B., North R.P., Pounds J. A., Sparks T., Stübi R., Tian Y., Wiltshire K.H., Xiao D., Zhu Z. 2016: Global Impacts of the 1980s Regime Shift. *Global Change Biology*, 22: 682–703.  
DOI: 10.1111/gcb.13106.
- 18 Beaugrand G. 2004: The North Sea Regime Shift: Evidence, Causes, Mechanisms and Consequences. *Progress in Oceanography*, 60: 245–262.  
DOI: 10.1016/j.pocean.2004.02.018.
- 19 Alheit J., Möllmann C., Dutz J., Kornilovs G., Loewe P., Mohrholz V., Wasmund N. 2005: Synchronous ecological regime shifts in the central Baltic and the North Sea in the late 1980s. *ICES Journal of Marine Science*, 62: 1205–1215  
DOI: 10.1016/j.icesjms.2005.04.024.
- 20 maribus gGmbH (Hrsg.) 2010: *World Ocean Review: Mit den Meeren leben*. Hamburg, 240 S.  
<http://worldoceanreview.com/herunterladen/>

## Boden

- 21 Marx M., Rinklebe J., Kastler M., Molt C., Kaufmann-Boll C., Lazar S., Lischeid G., Schilli C., Körschens M. 2016: Erarbeitung fachlicher, rechtlicher und organisatorischer Grundlagen zur Anpassung an den Klimawandel aus Sicht des Bodenschutzes – Teil 3: Bestimmung der Veränderungen des Humusgehalts und deren Ursachen auf Ackerböden Deutschlands. UBA-Texte 26/2016. Dessau-Roßlau, 90 S.  
[www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte\\_26\\_2016\\_erarbeitung\\_fachlicher\\_rechtlicher\\_und\\_organisatorischer\\_grundlagen\\_zur\\_anpassung\\_0.pdf](http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_26_2016_erarbeitung_fachlicher_rechtlicher_und_organisatorischer_grundlagen_zur_anpassung_0.pdf)
- 22 Capriel P. & Seiffert D. (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft) 2009: 20 Jahre Boden-Dauerbeobachtung in Bayern. Teil 3: Entwicklung der Humusgehalte zwischen 1986 und 2007. Schriftenreihe 10 der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft LfL, Freising, 47 S.

- 23 Jacobs A., Flessa H., Don A., Heidkamp A., Prietz R., Dechow R., Gensior A., Poeplau C., Riggers C., Schneider F., Tiemeyer B., Vos C., Wittnebel M., Müller T., Säurich A., Fahrion-Nitschke A., Gebbert S., Jaconi A., Kolata H., Laggner A., Weiser C., Freibauer A. 2018: Landwirtschaftlich genutzte Böden in Deutschland - Ergebnisse der Bodenzustandserhebung. Thünen Report 64, Braunschweig: 316 S.  
DOI: 10.3220/ REP1542818391000
- 24 BfN – Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.) 2017: BfN-Agrarreport 2017 – Biologische Vielfalt in der Agrarlandwirtschaft. Bonn-Bad Godesberg, 61 S.  
[www.bfn.de/fileadmin/BfN/landwirtschaft/Dokumente/BfN-Agrar-Report\\_2017.pdf](http://www.bfn.de/fileadmin/BfN/landwirtschaft/Dokumente/BfN-Agrar-Report_2017.pdf)

## Landwirtschaft

- 25 BMEL – Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (Hrsg.) 2018: Ernte 2018 – Mengen und Preise. Berlin, 38 S.  
[www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Landwirtschaft/Markt-Statistik/Ernte2018Bericht.pdf](http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Landwirtschaft/Markt-Statistik/Ernte2018Bericht.pdf)
- 26 GDV – Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft 2016: Landwirtschaftliche Mehrgefahrenversicherung für Deutschland. Berlin, 47 S.  
[www.gdv.de/resource/blob/8942/fa2dc37ecb8fafbb8b6fe7c2ae1a10d1/publikation---landwirtschaftliche-mehrgefahren-versicherung-fuer-deutschland-data.pdf](http://www.gdv.de/resource/blob/8942/fa2dc37ecb8fafbb8b6fe7c2ae1a10d1/publikation---landwirtschaftliche-mehrgefahren-versicherung-fuer-deutschland-data.pdf)
- 27 Informationen des BMEL zu Klimaschutz und Klimawandel: [www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Nachhaltige-Landnutzung/Klimawandel/\\_Texte/Extremwetterlagen-Zustaendigkeiten.html](http://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Nachhaltige-Landnutzung/Klimawandel/_Texte/Extremwetterlagen-Zustaendigkeiten.html)
- 28 BMEL (Hrsg.) 2017: Extremwetterlagen in der Land- und Forstwirtschaft – Maßnahmen zur Prävention und Schadensregulierung. Berlin, 26 S.  
[www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/Extremwetterlagen.html](http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/Extremwetterlagen.html)
- 29 Destatis – Statistisches Bundesamt 2017: Land- und Forstwirtschaft, Fischerei – Bewässerung in landwirtschaftlichen Betrieben / Agrarstrukturerhebung 2016.  
[www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Landwirtschaftliche-Betriebe/Publikationen/Downloads-Landwirtschaftliche-Betriebe/betriebe-bewaesserung-5411205169004.html](http://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Landwirtschaftliche-Betriebe/Publikationen/Downloads-Landwirtschaftliche-Betriebe/betriebe-bewaesserung-5411205169004.html)
- 30 Destatis 2018: Umwelt – Nichtöffentliche Wasserversorgung und nichtöffentliche Abwasserentsorgung – Fachserie 19 Reihe 2.2 – 2016. 113 S.  
[www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Wasserwirtschaft/Publikationen/Downloads-Wasserwirtschaft/wasser-abwasser-nichtoeffentlich-2190220169004.html](http://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Wasserwirtschaft/Publikationen/Downloads-Wasserwirtschaft/wasser-abwasser-nichtoeffentlich-2190220169004.html)

## Wald und Forstwirtschaft

- 31 BMEL (Hrsg.) 2014: Der Wald in Deutschland – Ausgewählte Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur. Berlin, 56 S.  
[www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/Bundeswaldinventur3.pdf](http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/Bundeswaldinventur3.pdf)
- 32 Die Erhaltung forstlicher Genressourcen beispielsweise in Genarchiven oder Saatgutlagern war ein wichtiger Grundpfeiler der sich Anfang des 20. Jahrhunderts entwickelnden Forstpflanzenzüchtung. Seitdem ist die Erhaltung forstgenetischer Ressourcen für eine Vielzahl von Baum- und Straucharten sowie die Beobachtung des genetischen Systems (genetisches Monitoring) eine zentrale Aufgabe der Forstgenetik. Während sich die Emission von Luftschadstoffen in den 1980er Jahren durch politische Rahmenbedingungen und technische Lösungen mindern ließ, sind die regionalen Auswirkungen des globalen Klimawandels bisher nicht beherrschbar. Damit ist die Sicherung vielfältiger genetischer Ressourcen (im Sinne von Informationen für biologische Leistungen) eine Grundvoraussetzung für die Klimaanpassung von Wäldern und eine zukunftsfähige Waldwirtschaft.
- 33 s. Endnote Nr. 31
- 34 BMELV – Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Hrsg.) 2011: Waldstrategie 2020 – Nachhaltige Waldbewirtschaftung – eine gesellschaftliche Chance und Herausforderung. Bonn: 13.

## Biodiversität

- 35 Both C., Bouwhuis S., Lessells C.M., Visser M.E. 2006: Climate change and population declines in a long-distance migratory bird. *Nature* 441: 81–83.  
DOI: 10.1038/nature04539
- 36 BMU & BfN (Hrsg.) 2009: Auenzustandsbericht – Flussauen in Deutschland. Berlin, Bonn, 34 S.
- 37 Lipp T. 2016: Landschaftsrahmenplan. In: Riedel W., Lange H., Jedicke E., Reinke M. (Hrsg.): Landschaftsplanung. Berlin: 237–249.  
Schleswig-Holstein hat die Landschaftsrahmenpläne 2016 wieder eingeführt. Informationen im Landesportal Schleswig-Holstein: [www.schleswig-holstein.de/DE/Fachinhalte/L/landschaftsplanung/lp\\_03\\_Landschaftsrahmenplanung.html](http://www.schleswig-holstein.de/DE/Fachinhalte/L/landschaftsplanung/lp_03_Landschaftsrahmenplanung.html)

## Bauwesen

- 38 Früh B., Koßmann M., Roos M. 2011: Frankfurt am Main im Klimawandel – Eine Untersuchung zur städtischen Wärmebelastung. *Berichte des Deutschen Wetterdienstes Nr. 237*, Offenbach, 68 S.
- 39 Spinoni J., Vogt J., Barbosa P. 2015: European degree-day climatologies and trends for the period 1951–2011. In: *International Journal of Climatology* 35 (1): 25–36.  
DOI: 10.1002/joc.3959.
- 40 BBK – Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (Hrsg.) 2015a: Die unterschätzten Risiken „Starkregen“ und „Sturzfluten“ – Ein Handbuch für Bürger und Kommunen. Bürgerinformation, Ausgabe 1, Bonn: 27.
- 41 BBSR – Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Hrsg.) 2018: Starkregeneinflüsse auf die bauliche Infrastruktur. Bonn: 19ff.
- 42 BBK – Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (Hrsg.) 2015b: Empfehlungen bei Unwetter – Baulicher Bevölkerungsschutz. Bürgerinformation, Ausgabe 1. Bonn: 27ff.  
BBSR 2018: s. Endnote Nr. 40: 25ff.
- 43 DWD – Deutscher Wetterdienst (Hrsg.) 2016: Starkniederschläge in Deutschland. Offenbach am Main: 1.
- 44 Becker P., Becker A., Dalelane C., Deutschländer T., Junghänel T., Walter A. 2016: Die Entwicklung von Starkniederschlägen in Deutschland – Plädoyer für eine differenzierte Betrachtung: 1.  
[www.dwd.de/DE/fachnutzer/wasserwirtschaft/entwicklung\\_starkniederschlag\\_deutschland\\_pdf](http://www.dwd.de/DE/fachnutzer/wasserwirtschaft/entwicklung_starkniederschlag_deutschland_pdf)
- 45 LAWA – Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (Hrsg.) 2018: LAWA-Strategie für ein effektives Starkregenerisikomanagement. Erarbeitet von der Kleingruppe „Starkregen“ des Ständigen Ausschusses „Hochwasserschutz und Hydrologie“ (LAWA-AH) der LAWA. Thüringer Ministerium für Umwelt, Energie und Naturschutz, Erfurt: 21.
- 46 Winterrath T., Brendel C., Hafer M., Junghänel T., Klameth A., Lengfeld K., Walawender E., Weigl E., Becker A. 2018: RADKLIM Version 2017.002: Reprozessierte, mit Stationsdaten angeeichte Radarmessungen (RADOLAN), Niederschlagsstundensummen (RW).  
DOI: 10.5676/DWD/RADKLIM\_RW\_V2017.002
- 47 DDV – Deutscher Dachgärtnerverband e. V. 2017: Multitalent Gründach. Online-Informationen des DDV zu Gründächern.  
BBSR (Hrsg.) 2015: Überflutungs- und Hitzevorsorge durch die Stadtentwicklung – Strategien und Maßnahmen zum Regenwassermanagement gegen urbane Sturzfluten und überhitzte Städte. Ergebnisbericht der fallstudiengestützten Expertise „Klimaanpassungsstrategien zur Überflutungsvorsorge verschiedener Siedlungstypen als kommunale Gemeinschaftsaufgabe“, Bonn: 37, 43.  
Tröltzsch J., Görlach B., Lückge H., Peter M., Sartorius C. 2012: Kosten und Nutzen von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel – Analyse von 28 Anpassungsmaßnahmen in Deutschland. *Climate Change* 10/2012, Dessau-Roßlau, 209 S.
- 48 BMUB (Hrsg.) 2017: Weißbuch Stadtgrün – Grün in der Stadt – Für eine lebenswerte Zukunft. Berlin: 42ff.
- 49 Die Bundesregierung (Hrsg.) 2011: Aktionsplan Anpassung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Beschlossen vom Bundeskabinett am 31. August 2011: 34.

- 50 Cischinsky H. & Diefenbach N. 2016: Datenerhebung Wohngebäudebestand 2016 – Datenerhebung zu den energetischen Merkmalen und Modernisierungsraten im deutschen und hessischen Wohngebäudebestand. Forschungsbericht eines durch das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung sowie das Hessische Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung geförderten Vorhabens. Darmstadt, 179 S.

### Energiewirtschaft (Wandel, Transport, Versorgung)

- 51 Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel – Sektorenübergreifende Analyse des Netzwerks Vulnerabilität. *Climate Change 24/2015*, Dessau-Roßlau: 43.  
[www.umweltbundesamt.de/publikationen/vulnerabilitaet-deutschlands-gegenueber-dem](http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/vulnerabilitaet-deutschlands-gegenueber-dem)
- 52 BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2017: Zweiter Fortschrittsbericht zur Energiewende – Die Energie der Zukunft – Berichtsjahr 2017: 197, 280.  
[www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/fortschrittsbericht-monitoring-energiewende.html](http://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/fortschrittsbericht-monitoring-energiewende.html)
- 53 BMWi 2018: Sechster Monitoring-Bericht zur Energiewende – Die Energie der Zukunft – Berichtsjahr 2016: 134.  
[www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/sechster-monitoring-bericht-zur-energiewende.html](http://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/sechster-monitoring-bericht-zur-energiewende.html)
- 54 Pressemitteilung des UBA: Bilanz 2018 – Anteil erneuerbarer Energien steigt auf 16,6 Prozent  
[www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/bilanz-2018-anteil-erneuerbarer-energien-steigt-auf](http://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/bilanz-2018-anteil-erneuerbarer-energien-steigt-auf)

### Verkehr, Verkehrsinfrastruktur

- 55 Unterrichtung durch die Bundesregierung, Bericht zur Risikoanalyse im Bevölkerungsschutz 2018, Risikoanalyse Dürre.  
<http://dipbt.bundestag.de/doc/btd/19/095/1909521.pdf>
- 56 S. Endnote Nr. 45: 19.  
 S. Endnote Nr. 40: 20ff.
- 57 S. Endnote Nr. 46.
- 58 S. Endnote Nr. 44: 1.
- 59 S. Endnote Nr. 45: 21.
- 60 StBA – Statistisches Bundesamt (Hrsg.) 2011: Unfallentwicklung auf deutschen Straßen 2010. Begleitmaterial zur Pressekonferenz am 6. Juli 2011 in Berlin. Wiesbaden, 38 S.
- 61 Laufzeit: Januar 2011 bis Dezember 2014

### Industrie und Gewerbe

- 62 Vgl. z. B. die Arbeiten der Task Force on Climate-related Financial Disclosures: [www.fsb-tcfd.org/](http://www.fsb-tcfd.org/)
- 63 Kjellstrom T., Holmer I., Lemke B. 2009: Workplace Heat Stress, Health and Productivity – an Increasing Challenge for Low and Middle-Income Countries during Climate Change. *Global Health Action 2 (1)*: 2047.  
<https://doi.org/10.3402/gha.v2i0.2047>
- Parsons K. 2014: *Human Thermal Environments: The Effects of Hot, Moderate, and Cold Environments on Human Health, Comfort, and Performance*. CRC press, 635 pp.
- 64 UNDP CVF –United Nations Development Programme, Climate Vulnerable Forum 2016: *Climate Change and Labour: Impacts of Heat in the Workplace*. New Zealand, 33 pp.  
[www.undp.org/content/undp/en/home/librarypage/climate-and-disaster-resilience-/tackling-challenges-of-climate-change-and-workplace-heat-for-dev.html](http://www.undp.org/content/undp/en/home/librarypage/climate-and-disaster-resilience-/tackling-challenges-of-climate-change-and-workplace-heat-for-dev.html)
- 65 Hübler M. & Klepper G. 2007: *Kosten des Klimawandels – Die Wirkung steigender Temperaturen auf Gesundheit und Leistungsfähigkeit*. Aktualisierte Fassung einer Studie im Auftrag des WWF Deutschland, Frankfurt, 65 S.
- 66 Urban H. & Steininger K.W. 2015: *Manufacturing and Trade: Labour Productivity Losses*. In: Steininger K., König M., Bednar-Friedl B., Loibl W., Kranzl L., Pretenthaler F., Haas W., Formayer H., Goetzl M., Zulka K. 2015: *Economic Evaluation of Climate Change Impacts – Development of a Cross-Sectoral Framework and Results for Austria*. Basel: 301–322.  
 DOI: 10.1007/978-3-319-12457-5

## Tourismuwirtschaft

- 67 BMWi (Hrsg.) 2017: Wirtschaftsfaktor Tourismus in Deutschland – Kennzahlen einer umsatzstarken Querschnittsbranche. Ergebnisbericht. Berlin, 52 S.  
[www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Tourismus/wirtschaftsfaktor-tourismus-in-deutschland-lang.html](http://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Tourismus/wirtschaftsfaktor-tourismus-in-deutschland-lang.html)
- 68 DZT – Deutsche Zentrale für Tourismus e. V. (Hrsg.) 2013: Das Reiseverhalten der Deutschen im Inland. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie. Frankfurt a. M., 59 S.  
[www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/studie-zum-inlandsreiseverhalten.html](http://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/studie-zum-inlandsreiseverhalten.html)
- 69 DZT (Hrsg.) 2018: Deutschland das Reiseland, Zahlen, Daten, Fakten 2017 Frankfurt a. M., 15 S.
- 70 Endler C. & Matzarakis A. 2010: Klimatrends in den Modellregionen Nordsee und Schwarzwald aus einer tourismus-klimatischen Sichtweise – Analyse hoch aufgelöster regionaler Klimasimulationen. Schlussbericht zum Teilvorhaben „Klima- und Wetteranalyse“ des BMBF klimazwei Verbundprojekts Kuntikum. Freiburg, 81 S.
- 71 StBA 2018: Tourismus in Zahlen 2017. Tabelle 2.1 Ankünfte und Übernachtungen in Beherbergungsbetrieben 2017.
- 72 Agrawala S. (Hrsg.) 2007: Klimawandel in den Alpen: Anpassung des Wintertourismus und des Naturgefahrenmanagements. OECD Publications, Paris, 131 S.
- 73 Bürki, R. 2000: Klimaänderungen und Anpassungsprozesse im Wintertourismus, Ostschweizerische Geographische Gesellschaft, Neue Reihe Heft 6, S. 40
- 74 LfU – Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.) 2008: Beschneiungsanlagen und Kunstschnee. Reihe UmweltWissen Nr. 11, Augsburg, 8 S.
- 75 S. Endnote Nr. 72.
- 76 Bausch T. 2010: Wintertourismus und Großveranstaltungen. Hintergrundinformationen und Überlegungen zur weiteren Diskussion. Unveröffentlichte Präsentation, zit. nach: Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.) 2010: Perspektiven naturverträglicher Sport- und Erholungsnutzung im bayerischen Alpenraum. Augsburg, 123 S.
- 77 Matzarakis A., Möller A., Kreilkamp E., Carstensen I., Bartels C., Burandt S., Endler C. 2009: Anpassungsstrategien zum Klimawandel touristischer Pilotdestinationen in Küsten- und Mittelgebirgsregionen. In: Mahammadzadeh M., Biebeler H., Bardt H. 2009: Klimaschutz und Anpassung an die Klimafolgen – Strategien, Maßnahmen und Anwendungsbeispiele. Institut der deutschen Wirtschaft Medien GmbH, Köln: 253–262.
- 78 Schwirplies C. & Ziegler A. 2013: Are German Tourists Environmental Chameleons? A Micro-econometric Analysis of Adaptation to Climate Change. Joint Discussion Paper Series in Economics by the Universities of Aachen – Gießen – Göttingen – Kassel – Marburg – Siegen, Nr. 34/2013, Marburg, 26 S.
- 79 S. Endnote Nr. 68.
- 80 Hamilton J. & Tol R.S.J. 2007: The impact of climate change on tourism in Germany, the UK and Ireland: a simulation study. Regional Environmental Change, Jg. 2007, H. 7: 161–172.

## Finanzwirtschaft

- 81 GDV 2016: Die 7 größten Irrtümer über den Versicherungsschutz gegen Naturgefahren.  
[www.gdv.de/de/themen/news/die-7-groessten-irrtuemer-ueber-den-versicherungsschutz-gegen-naturgefahren-13806](http://www.gdv.de/de/themen/news/die-7-groessten-irrtuemer-ueber-den-versicherungsschutz-gegen-naturgefahren-13806)
- 82 SBI – Sustainable Business Institute e. V. 2010: Herausforderung Klimakompetenz – Kundenerwartungen an Finanzdienstleister – Ergebnisse einer Befragung von Privat- und Geschäftskunden. In Zusammenarbeit mit dem „Finanz-Forum: Klimawandel“ im Rahmen des vom BMBF geförderten Projekts „CFI - Climate Change, Financial Markets and Innovation“. 20 S.  
[www.cfi21.org/fileadmin/user\\_upload/Herausforderung\\_Klimakompetenz.pdf](http://www.cfi21.org/fileadmin/user_upload/Herausforderung_Klimakompetenz.pdf)

## Raumordnung, Regional- und Bauleitplanung

- 83 Die Bundesregierung 2016: Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie – Neuauflage 2016. Berlin, 258 S.  
[www.bundesregierung.de/resource/blob/975274/318676/3d30c6c2875a9a08d364620ab7916af6/2017-01-11-nachhaltigkeitsstrategie-data.pdf](http://www.bundesregierung.de/resource/blob/975274/318676/3d30c6c2875a9a08d364620ab7916af6/2017-01-11-nachhaltigkeitsstrategie-data.pdf)

## Quellen der zitierten Zielstellungen

- 5-Punkte-Programm des UBA für einen nachhaltigen Pflanzenschutz. Umweltbundesamt (Hrsg.), Position // Januar 2016  
[www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/publikationen/uba-positionspapier\\_5-punkte-programm\\_nachhaltigkeit\\_pflanzenschutz\\_web.pdf](http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/publikationen/uba-positionspapier_5-punkte-programm_nachhaltigkeit_pflanzenschutz_web.pdf)
- Alpenkonvention Protokoll Tourismus: Protokoll zur Durchführung der Alpenkonvention von 1991 im Bereich Tourismus Tourismus – Protokoll „Tourismus“  
[www.alpconv.org/de/startseite/konvention/rahmenkonvention](http://www.alpconv.org/de/startseite/konvention/rahmenkonvention) (02.10.2019)
- BauGB: Baugesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 3. November 2017 (BGBl. I S. 3634).
- BBodSchG: Bundes-Bodenschutzgesetz vom 17. März 1998 (BGBl. I S. 502), das zuletzt durch Artikel 3 Absatz 3 der Verordnung vom 27. September 2017 (BGBl. I S. 3465) geändert worden ist
- BNatSchG: Bundesnaturschutzgesetz vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2542), das zuletzt durch Artikel 8 des Gesetzes vom 13. Mai 2019 (BGBl. I S. 706) geändert worden ist
- Bundesprogramm Wiedervernetzung: Bundesprogramm Wiedervernetzung. Beschlossen vom Bundeskabinett am 29.02.2012.  
[www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Naturschutz/bundesprogramm\\_wiedervernetzung\\_bf.pdf](http://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Naturschutz/bundesprogramm_wiedervernetzung_bf.pdf)
- Copenhagen Accord 2009: Copenhagen Accord, Vereinbarung der COP 15, 2009.  
<https://unfccc.int/resource/docs/2009/cop15/eng/l07.pdf>
- DAS: Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Vom Bundeskabinett am 17.12.2008 beschlossen.  
[www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/das\\_gesamt\\_bf.pdf](http://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/das_gesamt_bf.pdf)
- DWA-M 590: Merkblatt DWA-M 590 Grundsätze und Richtwerte zur Beurteilung von Anträgen zur Entnahme von Wasser für die Bewässerung. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (Hrsg.), DWA-Regelwerk, Juni 2019.
- Energiekonzept 2010: Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. Die Bundesregierung.  
[www.bundesregierung.de/resource/blob/975238/439778/794fd0c40425acd7f46afache62600f6/2017-11-14-beschluss-kabinettt-umwelt-data.pdf](http://www.bundesregierung.de/resource/blob/975238/439778/794fd0c40425acd7f46afache62600f6/2017-11-14-beschluss-kabinettt-umwelt-data.pdf)
- EnWG: Energiewirtschaftsgesetz vom 7. Juli 2005 (BGBl. I S. 1970, 3621), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 13. Mai 2019 (BGBl. I S. 706) geändert worden ist
- EU-Badegewässerrichtlinie: Richtlinie 2006/7/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Februar 2006 über die Qualität der Badegewässer und deren Bewirtschaftung
- Europäische Forststrategie: Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. Eine neue EU-Forststrategie: für Wälder und den forstbasierten Sektor – COM/2013/0659.  
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?qid=1570013668518&uri=CELEX:52013DC0659R>
- Forstliche Genressourcen in Deutschland: Forstliche Genressourcen in Deutschland – Konzept zur Erhaltung und nachhaltigen Nutzung forstlicher Genressourcen in der Bundesrepublik Deutschland. BMEL (Hrsg.) 2010  
[www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/ForstgenetischeRessourcen.pdf](http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/ForstgenetischeRessourcen.pdf)
- Grundgesetz: Grundgesetz für die Bundesrepublik Deutschland in der im Bundesgesetzblatt Teil III, Gliederungsnummer 100-1, veröffentlichten bereinigten Fassung, das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 28. März 2019 (BGBl. I S.404) geändert worden ist
- Handlungskonzept Klimawandel, MKRO 2013: Raumordnung und Klimawandel. Umlaufbeschluss der Ministerkonferenz für Raumordnung vom 06.02.2013.  
[www.klimamoro.de/fileadmin/Dateien/Transfer\\_KlimaMORO/Beratungsmodul/Leitfaeden/Leitfaeden\\_mit\\_Maßnahmenvorschlagen\\_in\\_relevanten\\_Handlungsfeldern/MKRO-Handlungskonzept\\_der\\_Raumordnung.pdf](http://www.klimamoro.de/fileadmin/Dateien/Transfer_KlimaMORO/Beratungsmodul/Leitfaeden/Leitfaeden_mit_Maßnahmenvorschlagen_in_relevanten_Handlungsfeldern/MKRO-Handlungskonzept_der_Raumordnung.pdf)
- IKZM: Integriertes Küstenzonenmanagement in Deutschland. Nationale Strategie für ein integriertes Küstenzonenmanagement (Bestandsaufnahme, Stand 2006). Kabinettsbeschluss vom 22.03.2006.

- [www.ikzm-strategie.de/dokumente/endbericht\\_kabinetversion\\_30032006.pdf](http://www.ikzm-strategie.de/dokumente/endbericht_kabinetversion_30032006.pdf)
- KRITIS-Strategie: Nationale Strategie zum Schutz Kritischer Infrastrukturen (KRITIS-Strategie). [www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/themen/bevoelkerungsschutz/kritis.pdf](http://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/themen/bevoelkerungsschutz/kritis.pdf)
- LAWA-Strategie Starkregenrisikomanagement: LAWA-Strategie für ein effektives Starkregenrisikomanagement. LAWA – Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (Hrsg.) 2018. [www.lawa.de/documents/lawa-starkregen\\_2\\_1552299106.pdf](http://www.lawa.de/documents/lawa-starkregen_2_1552299106.pdf)
- Nachhaltigkeitskonzept des BMELV 2008: Nachhaltigkeit konkret – Nachhaltigkeitskonzept des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. [www.bundesregierung.de/resource/blob/975274/430184/55833e1c11fb9209b315ffe316ae593b/2012-03-05-bmelv-nachhaltigkeit-konkret-data.pdf](http://www.bundesregierung.de/resource/blob/975274/430184/55833e1c11fb9209b315ffe316ae593b/2012-03-05-bmelv-nachhaltigkeit-konkret-data.pdf)
- Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln 2013. Kabinettsbeschluss vom 10.04.2013. [www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/NationalerAktionsplanPflanzenschutz.pdf](http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/NationalerAktionsplanPflanzenschutz.pdf)
- NBS: Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. Kabinettsbeschluss vom 7. November 2007. [www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Pool/Broschueren/nationale\\_strategie\\_biologische\\_vielfalt\\_2015\\_bf.pdf](http://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/nationale_strategie_biologische_vielfalt_2015_bf.pdf)
- NHS 2016: Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie – Neuauflage 2016. Kabinettsbeschluss vom 11. Januar 2017. [www.bundesregierung.de/resource/blob/975274/318676/3d30c6c2875a9a08d364620ab7916af6/2017-01-11-nachhaltigkeitsstrategie-data.pdf](http://www.bundesregierung.de/resource/blob/975274/318676/3d30c6c2875a9a08d364620ab7916af6/2017-01-11-nachhaltigkeitsstrategie-data.pdf)
- ROG: Raumordnungsgesetz vom 22. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2986), das zuletzt durch Artikel 2 Absatz 15 des Gesetzes vom 20. Juli 2017 (BGBl. I S. 2808) geändert worden ist
- StrÖff: Strategie der Bundesregierung zur vorbildlichen Berücksichtigung von Biodiversitätsbelangen für alle Flächen des Bundes 2016 (StrÖff) [www.bmu.de/publikation/naturschutzstrategie-fuer-bundesflaechen-der-bund-staerkt-seine-vorbildfunktion-fuer-biologische-vielf/](http://www.bmu.de/publikation/naturschutzstrategie-fuer-bundesflaechen-der-bund-staerkt-seine-vorbildfunktion-fuer-biologische-vielf/)
- Waldstrategie 2020: Waldstrategie 2020. Nachhaltige Waldbewirtschaftung – eine gesellschaftliche Chance und Herausforderung. Waldstrategie der Bundesregierung vom November 2011. [www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/Waldstrategie2020.pdf](http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/Waldstrategie2020.pdf)
- WHG: Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 4. Dezember 2018 (BGBl. I S. 2254) geändert worden ist
- WRRl: Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik

## Abkürzungen

AdSVIS	Adaptation der Straßenverkehrsinfrastruktur an den Klimawandel	ELER	Europäischer Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums
AG	Arbeitsgemeinschaft	EPS	Eiweißpflanzenstrategie
Ah	jährliche Abflusshöhe	etc.	et cetera
ALKIS	Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem	EU	Europäische Union
APA	Aktionsplan Anpassung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel	FFH	Fauna-Flora-Habitat
BBK	Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe	FGRDEU	Nationales Inventar forstgenetischer Ressourcen
BBodSchG	Bundes-Bodenschutzgesetz	FoVG	Forstvermehrungsgutgesetz
BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung	GAK	Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“
BDF	Bodendauerbeobachtungsflächen	GCF	Grüner Klima-Fonds (Green Climate Fund)
BEKORS	Betriebskostenrechnung im Straßenbetriebsdienst	GDV	Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V.
BfG	Bundesanstalt für Gewässerkunde	ggf.	gegebenenfalls
BfN	Bundesamt für Naturschutz	GIZ	Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit
BImA	Bundesanstalt für Immobilienaufgaben	GMST	Globale mittlere Oberflächentemperatur (Global Mean Surface Temperature)
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung	GSBTS	German Small-scale Bottom Trawl Survey
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft	GW	Gigawatt
BMELV	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (seit 2014: BMEL)	HQ100	Hochwasserabfluss mit einer mittleren Eintrittswahrscheinlichkeit von 100 Jahren
BMG	Bundesministerium für Gesundheit	HQ	Hochwasserabfluss
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (seit 2018: BMU)	HThw	Höchster Tidehochwasserstand
BMU	Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit	HW	Höchster Wasserstand
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur	HWRM-RL	Europäische Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie	i. d. R.	in der Regel
BMZ	Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung	IKI	Internationale Klimaschutzinitiative
BNetzA	Bundesnetzagentur	IKZM	Nationale Strategie für ein integriertes Küstenzonenmanagement
BSA	Bundessortenamt	IMAA	Interministerielle Arbeitsgruppe Anpassung an den Klimawandel
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie	IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen)
bzw.	beziehungsweise	KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
ca.	circa	KRITIS	Kritische Infrastrukturen“
CCM	Corn-Cob-Mix	LAWA	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser
d. h.	das heißt	MDB	Multilaterale Entwicklungsbank (Multilateral Development Bank)
DAS	Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel	MHQ	mittlerer Hochwasserabfluss
DWD	Deutscher Wetterdienst	Mio.	Millionen
eEV	erweiterten Elementarschadenversicherung	MKRO	Ministerkonferenz für Raumordnung
		MNQ	mittlerer Niedrigwasserabfluss
		MQ	Mittelwasserabfluss
		Mrd.	Milliarden

MThw	Mittlerer Tidehochwasserstand	PtG	Power-to-Gas-Anlage
MTnw	Mittlerer Tideniedrigwasserstand	RKI	Robert Koch-Institut
MW	Mittelwasserstand	SROCC	Sonderbericht über den Ozean und die Kryosphäre in einem sich wandelnden Klima
NAP	Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln	StBA	Statistisches Bundesamt
NAP	Nationaler Anpassungsplan	THW	Bundesanstalt Technisches Hilfswerk
NASA	National Aeronautics and Space Administration (Nationale Aeronautik- und Raumfahrtbehörde)	u. a.	unter anderem
NBS	Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt	UBA	Umweltbundesamt
NDC	Nationale Klimabeiträge	USD	US-Dollar
nFK	Nutzbare Feldkapazität	WHG	Wasserhaushaltsgesetz
NHS	Nationale Nachhaltigkeitsstrategie	WMO	World Meteorological Organization (Weltorganisation für Meteorologie)
NKI	Nationale Klimaschutzinitiative	WRRL	EU-Wasserrahmenrichtlinie
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration (Nationale Ozean- und Atmosphärenbehörde)	z. B.	zum Beispiel
NQ	Niedrigwasserabfluss	z. T.	zum Teil
o. g.	oben genannt	z. Z.	zur Zeit
PID	Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst e. V.	ü. NN	über Normalnull





[www.facebook.com/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)  
[www.twitter.com/umweltbundesamt](https://www.twitter.com/umweltbundesamt)

► **Diese Broschüre als Download**  
[www.umweltbundesamt.de/publikationen](http://www.umweltbundesamt.de/publikationen)

 **Klimaneutral**  
Druckprodukt  
ClimatePartner.com/53106-1909-1003