

KLIMAWANDEL

Anpassung an den Klimawandel in Karlsruhe



Stadt Karlsruhe Umwelt- und Arbeitsschutz



Impressum

Inhalte:

Umwelt- und Arbeitsschutz
Tiefbauamt
Vermessung, Liegenschaften, Wohnen

Koordination, Redaktion:

Umwelt- und Arbeitsschutz



Anpassung an den Klimawandel in Karlsruhe

Gliederung

Abkürzungen und Begriffserläuterungen

Einleitung

1. Belege für den Klimawandel

2. Ursachen des Klimawandels

3. Prognosen zum Klimawandel

4. Prognosen über regionale Klimaänderungen

5. Auswirkungen des Klimawandels

5.1 Versicherte u. volkswirtschaftliche Schäden aus Naturkatastrophen steigen

5.2 Sicherheitsrisiko Klimawandel

5.3 Auswirkungen des Klimawandels in Europa

5.4 Auswirkungen des Klimawandels in der Region und in Karlsruhe

5.4.1 Auswirkungen auf die Gesundheit

5.4.2 Auswirkungen auf die Landwirtschaft

5.4.3 Auswirkungen auf die Forstwirtschaft

5.4.4 Auswirkungen auf den Tourismus

5.4.5 Auswirkungen auf die Natur

5.4.6 Auswirkungen auf Schifffahrt und Wasserkraftnutzung

5.4.7 Auswirkungen auf die Entwicklung von meteorologischen Extremereignissen

5.4.8 Auswirkungen auf die Hochwasserentwicklung

5.4.9 Auswirkungen auf Grundwasserstände

5.4.10 Auswirkungen auf die Stadtentwässerung

5.4.11 Auswirkungen auf Arbeitsbedingungen

5.4.12 Information und Kommunikation

Quellenverzeichnis

Internetseiten zum Thema



Abkürzungen und Begriffserläuterungen:

anthropogen:	vom Menschen verursacht
Degradation:	Verschlechterung, Herabsetzung
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
K:	Kelvin, (1 Kelvin entspricht 1° C)
KLIWA:	Arbeitskreis "Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft" (KLIWA)
LUBW:	Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg
ppm:	parts per million
thermohalin:	Dichteschwankung von Meerwasser, abh. von Salzgehalt und Temperatur
Vulnerabilität:	Verwundbarkeit, Verletzlichkeit



Anpassung an den Klimawandel in Karlsruhe

Einleitung

Der Klimawandel ist gegenwärtig in aller Munde. Die Presse berichtet fast täglich von neu zu beobachtenden Phänomenen und den erwartbaren Auswirkungen des Klimawandels. Selbst Kinofilme beschäftigen sich, wenn auch unter unrealistischen Szenarien mit diesem Thema, dennoch wird deutlich, dass der Klimawandel auch in der breiten Bevölkerung als Problem- und Aufgabenstellung wahrgenommen wird. Unterstützt wird dieser Trend durch individuell wahrnehmbare Veränderungen des Wetters sowie der Pflanzen- und Tierwelt.

Die in diesem Zusammenhang geführten Diskussionen über zukünftige Entwicklungen und Auswirkungen sind gekennzeichnet von Mutmaßungen, Unsicherheiten und Spekulationen.

Mitteleuropäer könnten unter Klimaerwärmung zunächst überwiegend positive Aspekte sehen: Wärmere und trockenere Sommermonate wie am Mittelmeer, mehr und wärmere Sommerabende wie im Süden, weniger Eis und Schnee und damit weniger Verkehrsprobleme und geringere Heizkosten.

Es mag daher verwunderlich sein, wenn man den Klimawandel mit Sorge beobachtet. Schreckensszenarien wie heftige Stürme und Extremniederschläge, Anstieg der Meeresspiegel oder Verschwinden des Golfstromes sind Themen, die auch in den Medien recht plakativ aufgegriffen werden.

Die allgemeine Verunsicherung ist groß und es herrscht ein allgemeiner Wunsch nach mehr abgesicherten Informationen und Erkenntnissen sowie eine Antwort auf die Fragen nach Prioritäten von Schutz- bzw. Minderungsmaßnahmen.

Zunächst soll daher auf die Frage eingegangen werden, welche Veränderungen des Klimas überhaupt als gesichert gelten.



1 Belege für den Klimawandel

Es gibt eine Fülle von Beobachtungen, die den Klimawandel belegen.

Als anerkannte und unumstrittene Quelle werden nachfolgend Aussagen des „Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)“ aus dessen jüngster Veröffentlichung im Jahre 2007 zitiert.

- Elf der letzten zwölf Jahre (1995–2006) gehören zu den wärmsten Jahren seit der instrumentellen Messung der globalen Erdoberflächen-temperatur (seit 1850). Der gesamte Temperaturanstieg Durchschnitts-temperatur von 1850–1899 bis 2001–2005 beträgt 0,76 °C.
- Der durchschnittliche atmosphärische Wasserdampfgehalt ist mindestens seit den 1980er Jahren sowohl über dem Land und den Ozeanen als auch in der oberen Troposphäre angestiegen. Die Zunahme steht weitgehend im Einklang mit dem zusätzlichen Wasserdampf, den wärmere Luft aufnehmen kann.
- Die Beobachtungen seit 1961 zeigen, dass die durchschnittliche Temperatur des Weltozeans bis in Tiefen von mindestens 3000 m angestiegen ist und dass der Ozean mehr als 80% der dem Klimasystem zugeführten Wärme absorbiert hat. Diese Erwärmung führt zu einer Ausdehnung des Meerwassers und trägt zum Anstieg des Meeresspiegels bei.
- Gebirgsgletscher und Schneebedeckung haben im Mittel in beiden Hemisphären abgenommen. Die weit verbreitete Abnahme der Gletscher und Eiskappen hat zum Meeresspiegelanstieg beigetragen (Eiskappen schließen die Beiträge der grönländischen und antarktischen Eisschilde nicht mit ein).
- Neue Daten zeigen, dass die Verluste der Eisschilde in Grönland und der Antarktis sehr wahrscheinlich zum Meeresspiegelanstieg zwischen 1993 und 2003 beigetragen haben. Die Fließgeschwindigkeit einiger grönländischer und antarktischer Gletscher, die Eis aus dem Inneren der Eisschilde ableiten (Auslassgletscher), ist angestiegen. Der damit verbundene Massenverlust der Eisschilder ist häufig auf die Ausdünnung, den Abbau oder den Verlust von Schelfeis oder den Verlust einer schwimmenden Gletscherzunge zurückzuführen. Ein solcher dynamischer Eisverlust reicht aus zur Erklärung des größten Teils des Netto-Massenverlustes in der Antarktis und ungefähr der Hälfte des Massenverlustes in Grönland. Der Rest des Massenverlustes in Grönland ist entstanden, weil die Verluste durch das Abschmelzen größer waren als der Zuwachs durch Schneefall.
- Der mittlere globale Meeresspiegel ist von 1961 bis 2003 mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 1.8 mm pro Jahr gestiegen. Die



Geschwindigkeit war zwischen 1993 und 2003 mit ungefähr 3.1 mm pro Jahr größer. Es ist unklar, ob die größere Geschwindigkeit von 1993–2003 eine dekadische Schwankung oder eine Zunahme des langfristigen Trends widerspiegelt. Mit hohem Vertrauen hat die Geschwindigkeit des Meeresspiegelanstiegs vom 19. zum 20. Jahrhundert zugenommen. Der gesamte Anstieg im 20. Jahrhundert beträgt geschätzte 0.17 m.

- Die durchschnittlichen Temperaturen in der Arktis sind in den letzten 100 Jahren fast doppelt so schnell gestiegen wie im globalen Mittel. Die arktischen Temperaturen weisen eine hohe dekadische Variabilität auf, so wurde auch von 1925 bis 1945 eine warme Periode beobachtet.

ÄNDERUNGEN VON TEMPERATUR, MEERESSPIEGEL UND NORDHEMISPHÄRISCHER SCHNEEBEDECKUNG

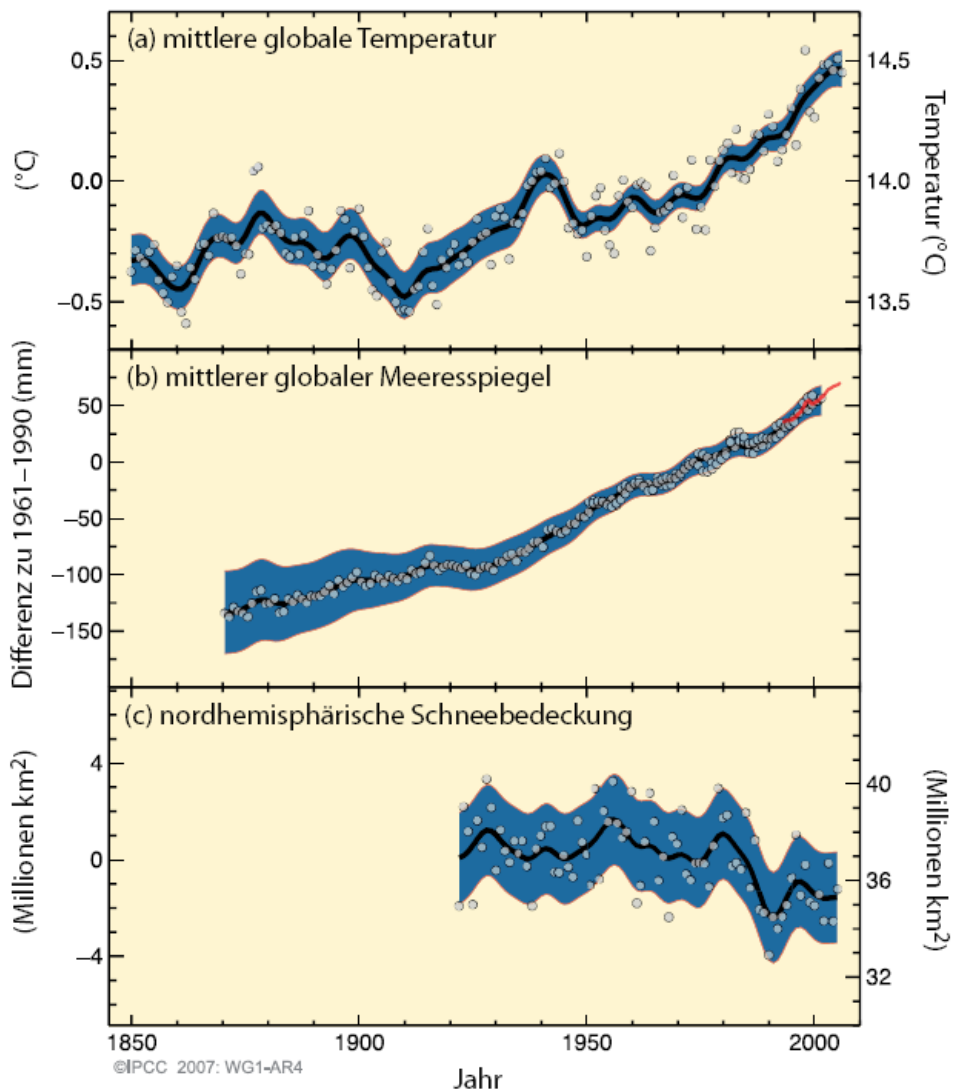


ABBILDUNG SPM.3. Beobachtete Änderungen (a) der mittleren globalen Erdoberflächentemperatur; (b) des mittleren globalen Meeresspiegelanstiegs aus Pegelmessungen (blau) und Satellitendaten (rot) und (c) der nordhemisphärischen Schneebedeckung im März und April. Alle Änderungen beziehen sich auf das Mittel des Zeitraums 1961–1990. Die geglätteten Kurven repräsentieren die über ein Jahrzehnt gemittelten Werte, während Kreise die Jahreswerte darstellen. Die schattierten Flächen zeigen die geschätzten Unsicherheitsbereiche aufgrund einer umfangreichen Analyse bekannter Unsicherheiten (a und b) und aus den Zeitreihen (c). {FAQ 3.1, Abbildung 1, Abbildung 4.2 und Abbildung 5.13}



- Aus den Satellitendaten seit 1978 ist ersichtlich, dass die durchschnittliche jährliche Ausdehnung des arktischen Meereises um 2,7% pro Jahrzehnt geschrumpft ist, wobei die Abnahme im Sommer mit 7,4 % pro Jahrzehnt größer ist.
- Die Temperaturen an der Obergrenze der Permafrostschicht sind in der Arktis seit den 1980er Jahren allgemein gestiegen (um bis zu 3 °C). Die maximale Ausdehnung der Fläche mit saisonal gefrorenem Boden hat in der Nordhemisphäre seit 1990 um etwa 7 % abgenommen, bei einer Abnahme von bis zu 15 % im Frühjahr.
- Signifikante Niederschlagszunahmen wurden in östlichen Teilen von Nord- und Südamerika, im Norden Europas und in Nord und Zentralasien beobachtet. Der Sahel, der Mittelmeerraum, das südliche Afrika und Teile von Südasien sind trockener geworden. Die Niederschläge schwanken räumlich und zeitlich sehr stark, und in einigen Regionen sind nicht genügend Daten vorhanden. In den anderen untersuchten großräumigen Regionen wurden keine langfristigen Trends beobachtet.
- Der Salzgehalt im Wasser der mittleren und hohen Breiten nimmt ab, während er im Wasser der niedrigen Breiten zunimmt. Dies deutet auf Änderungen von Niederschlag und Verdunstung über den Ozeanen hin.
- Die Westwinde in den mittleren Breiten sind in beiden Hemisphären seit den 1960er Jahren stärker geworden.
- Seit den 1970er Jahren wurden insbesondere in den Tropen und Subtropen intensivere und länger andauernde Dürren über größeren Gebieten beobachtet. Zunehmende Austrocknung in Verbindung mit höheren Temperaturen und abnehmenden Niederschlägen hat zu diesen Veränderungen der Dürren beigetragen. Auch Änderungen der Meeresoberflächentemperatur und der Windmuster sowie die Abnahme der Schneemassen und Schneebedeckung wurden mit Dürren in Verbindung gebracht.
- Die Häufigkeit von Starkniederschlagsereignissen hat über den meisten Landflächen zugenommen, im Einklang mit der Erwärmung und der beobachteten Zunahme des atmosphärischen Wasserdampfs.
- In den letzten 50 Jahren wurden weit verbreitete Änderungen bei den Temperaturextremen beobachtet. Kalte Tage, kalte Nächte und Frost sind weniger häufig geworden, während heiße Tage, heiße Nächte und Hitzewellen häufiger geworden sind.



- Beobachtungen belegen eine zunehmende Aktivität starker tropischer Wirbelstürme im Nordatlantik seit ungefähr 1970, verbunden mit einem Anstieg der tropischen Meeresoberflächentemperaturen. Eine zunehmende Aktivität starker tropischer Wirbelstürme in einigen anderen Regionen, wo größere Bedenken bezüglich der Datenqualität bestehen, wird ebenfalls vermutet. Multidekadische Schwankungen und die Qualität der Aufzeichnungen von tropischen Wirbelstürmen vor den routinemäßigen Satellitenbeobachtungen ungefähr im Jahr 1970 erschweren die Erkennung von langfristigen Trends in der Aktivität tropischer Wirbelstürme. Es gibt keinen klaren Trend in der Anzahl tropischer Wirbelstürme pro Jahr.

Bei einigen Klimaaspekten wurden keine Veränderungen beobachtet.

- Auf den neuesten Stand gebrachte Beobachtungen zeigen, dass sich der Temperaturtagesgang von 1979 bis 2004 nicht verändert hat, da die Temperaturen sowohl während der Nacht als auch am Tag ungefähr gleich stark gestiegen sind. Die Trends variieren stark von einer Region zur anderen.
- Die Ausdehnung des antarktischen Meereises zeigt weiterhin Schwankungen von Jahr zu Jahr sowie örtlich begrenzte Veränderungen, aber keine statistisch signifikanten mittleren Trends. Dies steht im Einklang mit den über die Region gemittelten atmosphärischen Temperaturen, die keinen Anstieg zeigen.
- Die Indizien für einen Trend in der thermohalinen Zirkulation des globalen Ozeans oder bei kleinskaligen Phänomenen wie Tornados, Hagel, Blitz oder Staubstürmen, sind ungenügend.

2 Ursachen des Klimawandels

Die Konzentration von Kohlendioxid (CO₂) in der Atmosphäre hat seit ca. 1750 35 % um von 280 ppm auf 380 ppm im Jahr 2005 stark zugenommen.

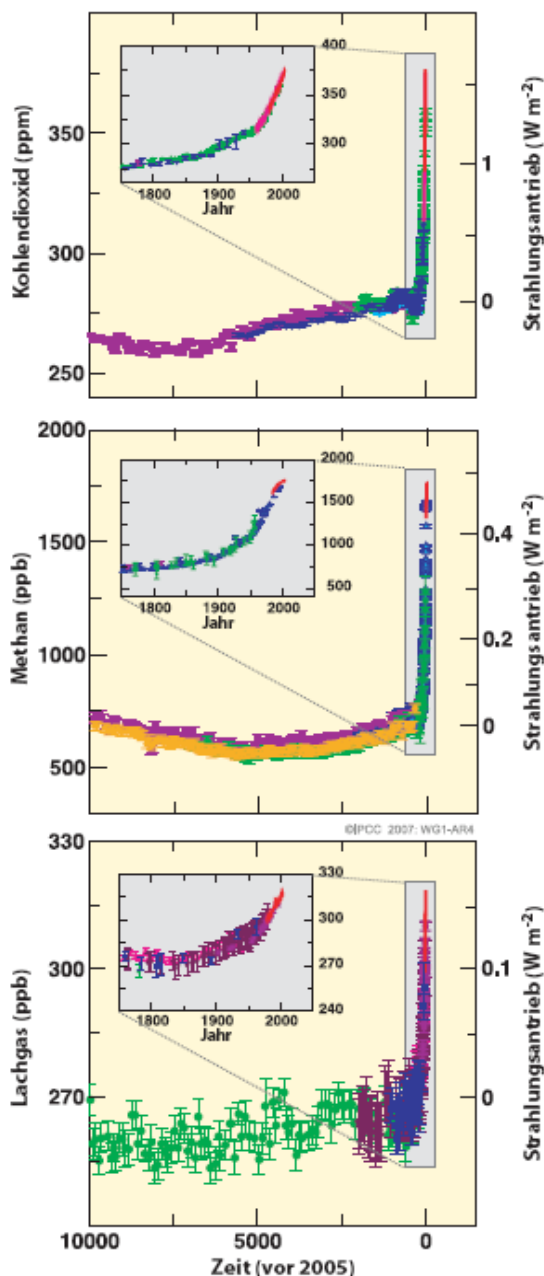
Die Zuwachsrate der letzten 10 Jahre ist die größte seit 50 Jahren. Der heutige Wert ist der größte in den letzten 650.000 Jahren. 78% der Erhöhung gehen auf die Nutzung fossiler Brennstoffe und 22% auf Landnutzungsänderungen (Rodungen) zurück.

In den 80er und 90er Jahren erhöhte sich die CO₂-Konzentration um 1,5 bis 1,6 ppm pro Jahr. Im Zeitraum 2000-2006 betrug der jährliche Zuwachs jedoch 1,93 ppm.



Ursächlich hierfür ist zum einen die tatsächliche Zunahme an CO₂-Emissionen insbesondere durch das Wirtschaftswachstum in Asien. Der Anteil des globalen Wirtschaftswachstums an der CO₂-Zunahme in der Atmosphäre wird von Wissenschaftlern mit 65 % beziffert.

ÄNDERUNGEN DER TREIBHAUSGASE BASIEREND AUF EISBOHRKERNEN UND MODERNEN DATEN



Ein weiterer Grund für die CO₂-Zunahme ist auf die kaum noch aufnahmefähigen CO₂-Senken zurückzuführen. So hat sich die CO₂-Aufnahmefähigkeit des Meeres von 1995-2005 auf die Hälfte verringert. Eine Serie von Dürren in den mittleren Breitengraden ist für die verminderte Leistungsfähigkeiten der CO₂-Senken auf dem Land ursächlich. Insgesamt wird dies mit einem Beitrag von 35 % der CO₂-Zuwachsrates abgeschätzt.

Andere Treibhausgase wie Methan und Lachgas deren Konzentrationen seit 1750 um 148% bzw. 18% zugenommen haben, machen in ihrer Wirkung zusammen etwa halb soviel aus wie der CO₂-Anstieg.

Quelle: IPCC 2007

Die globalen atmosphärischen Konzentrationen von Kohlendioxid, Methan und Lachgas sind als Folge menschlicher Aktivitäten seit 1750 markant gestiegen und übertreffen heute die aus Eisbohrkernen über viele Jahrtausende bestimmten vorindustriellen Werte bei Weitem (siehe Abbildung SPM.1). Der weltweite Anstieg der Kohlendioxidkonzentration ist primär auf den Verbrauch fossiler Brennstoffe und auf Landnutzungsänderungen zurückzuführen, während derjenige von Methan und Lachgas primär durch die Landwirtschaft verursacht wird. {2.3, 6.4, 7.3}

ABBILDUNG SPM.1. Atmosphärische Konzentrationen von Kohlendioxid, Methan und Lachgas in den letzten 10'000 Jahren (große Grafiken) und seit 1750 (eingefügte Grafiken). Dargestellt sind Messungen aus Eisbohrkernen (Symbole mit verschiedenen Farben für unterschiedliche Studien) und atmosphärischen Proben (rote Linien). Die entsprechenden Strahlungsantriebe sind auf der rechten Achse der großen Grafiken angegeben. (Abbildung 6.4)



- Die für Klimaänderungen verantwortlichen Änderungen der Strahlungsbilanz werden vorwiegend durch Kohlendioxid verursacht. Änderungen der solaren Einstrahlung haben dagegen nur geringen Einfluss.
- CO₂ ist ein klimawirksames Gas, das den Strahlungshaushalt der Erde verändert: Ein Anstieg der Konzentration führt zu einer Erwärmung der oberflächennahen Temperaturen. Bei einer Verdoppelung der Konzentration liegt die Erwärmung im globalen Mittel sehr wahrscheinlich zwischen 1,5 und 4,5° C.



3 Prognosen

Im Rahmen des IPCC-Berichtes werden für die zukünftige Entwicklung vier unterschiedliche Emissions-Szenarien vergleichend betrachtet:

DIE EMISSIONS-SZENARIEN DES IPCC-SONDERBERICHTES ÜBER EMISSIONS-SZENARIEN (SRES)¹⁷

A1. Die A1-Modellgeschichte bzw. -Szenarien-Familie beschreibt eine zukünftige Welt mit sehr raschem Wirtschaftswachstum, einer Mitte des 21. Jahrhunderts kulminierenden und danach rückläufigen Weltbevölkerung, und rascher Einführung neuer und effizienterer Technologien. Wichtige grundlegende Themen sind Annäherung von Regionen, Entwicklung von Handlungskompetenz sowie zunehmende kulturelle und soziale Interaktion bei gleichzeitiger substantieller Verringerung regionaler Unterschiede der Pro-Kopf-Einkommen. Die A1-Szenarien-Familie teilt sich in drei Gruppen auf, die unterschiedliche Ausrichtungen technologischer Änderungen im Energiesystem beschreiben. Die drei A1-Gruppen unterscheiden sich in ihrer technologischen Hauptstossrichtung: fossil-intensiv (A1FI), nichtfossile Energiequellen (A1T) oder eine ausgewogene Nutzung aller Quellen (A1B) (wobei ausgewogene Nutzung definiert ist als eine nicht allzu große Abhängigkeit von einer bestimmten Energiequelle und durch die Annahme eines ähnlichen Verbesserungspotentials für alle Energieversorgungs- und -verbrauchstechnologien).

A2. Die A2-Modellgeschichte bzw. -Szenarien-Familie beschreibt eine sehr heterogene Welt. Das Grundthema ist Autarkie und Bewahrung lokaler Identitäten. Regionale Fruchtbarkeitsmuster konvergieren nur sehr langsam, was eine stetig zunehmende Bevölkerung zur Folge hat. Die wirtschaftliche Entwicklung ist vorwiegend regional orientiert und das Pro-Kopf-Wirtschaftswachstum und technologische Veränderungen sind bruchstückhafter und langsamer als in anderen Modellgeschichten.

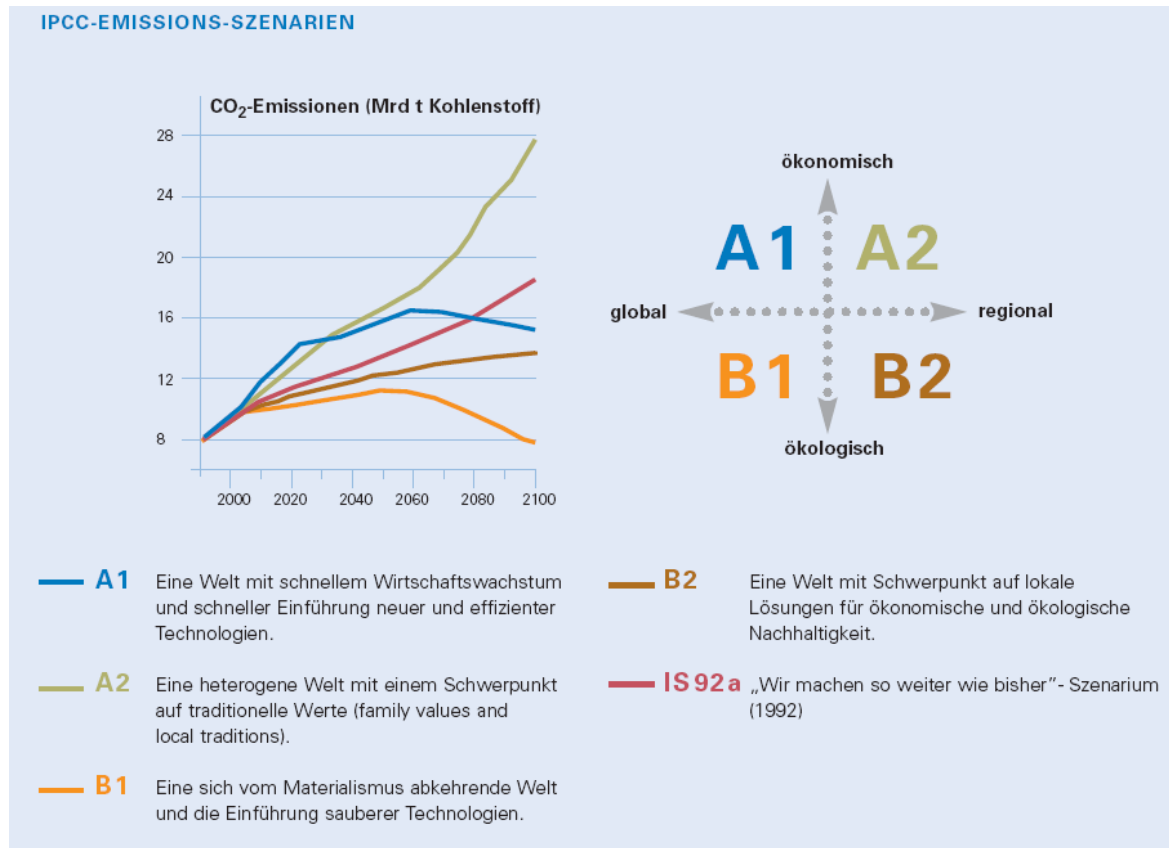
B1. Die B1- Modellgeschichte bzw. -Szenarien-Familie beschreibt eine sich näher kommende Welt, mit der gleichen, Mitte des 21. Jahrhunderts kulminierenden und danach rückläufigen Weltbevölkerung wie in der A1-Modellgeschichte, jedoch mit raschen Änderungen der wirtschaftlichen Strukturen in Richtung einer Dienstleistungs- und Informationswirtschaft, bei gleichzeitigem Rückgang des Materialverbrauchs und Einführung von sauberen und ressourcen-effizienten Technologien. Das Schwergewicht liegt auf globalen Lösungen für eine wirtschaftliche, soziale und umweltgerechte Nachhaltigkeit, einschließlich erhöhter sozialer Gerechtigkeit, aber ohne zusätzliche Klimainitiativen.

B2. Die B2-Modellgeschichte bzw. -Szenarien-Familie beschreibt eine Welt mit Schwerpunkt auf lokalen Lösungen für eine wirtschaftliche, soziale und umweltgerechte Nachhaltigkeit. Es ist eine Welt mit einer stetig, jedoch langsamer als in A2 ansteigenden Weltbevölkerung, wirtschaftlicher Entwicklung auf mittlerem Niveau und weniger raschem, dafür vielfältigerem technologischem Fortschritt als in den B1- und A1-Modellgeschichten. Obwohl das Szenario auch auf Umweltschutz und soziale Gerechtigkeit ausgerichtet ist, liegt der Schwerpunkt auf der lokalen und regionalen Ebene.

Für jede der sechs Szenarien-Gruppen A1B, A1FI, A1T, A2, B1 und B2 wurde ein illustratives Szenario gewählt. Alle sollten als gleich stichhaltig betrachtet werden.

Die SRES-Szenarien beinhalten keine zusätzlichen Klimainitiativen, d.h. es sind keine Szenarien berücksichtigt, die ausdrücklich eine Umsetzung des Rahmentübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (UNFCCC) oder den Emissionszielsetzungen des Kyoto-Protokolls annehmen.





Quelle: KLIWA

Die dargestellten Emissionsszenarien zeigen, dass lediglich mit dem Szenario B1 eine Minderung der CO₂-Emissionen gegenüber dem status quo zu erwarten ist. Alle anderen Szenarien gehen von mehr oder weniger stark steigenden CO₂-Emissionen aus.

Für die nächsten zwei Jahrzehnte wird für eine Reihe von Szenarien eine Erwärmung von 0,2 °C pro Jahrzehnt projiziert.

Selbst wenn die Konzentrationen aller Treibhausgase und Aerosole auf dem Niveau des Jahres 2000 konstant gehalten würden, wäre eine weitere Erwärmung von 0,1 °C pro Jahrzehnt zu erwarten.

Konstante oder höhere Treibhausgasemissionen als heute würden eine weitere Erwärmung verursachen und im 21. Jahrhundert viele Änderungen im globalen Klimasystem bewirken, die *sehr wahrscheinlich* größer wären als die im 20. Jahrhundert beobachteten.

Als sicher gilt ein globaler Meeresspiegelanstieg und - bereits beobachtet - der weltweite Gletscherschwund. Weniger gut berechenbar sind Änderungen der Meeresströme, Abschmelzen von Eismassen in Grönland und Antarktis sowie zunehmende Extremereignisse.



Die anthropogene Erwärmung und der Meeresspiegelanstieg würden aufgrund der Zeitskalen, die mit Klimaprozessen und Rückkopplungen verbunden sind, über Jahrhunderte andauern, selbst wenn die Treibhausgaskonzentrationen stabilisiert würden.

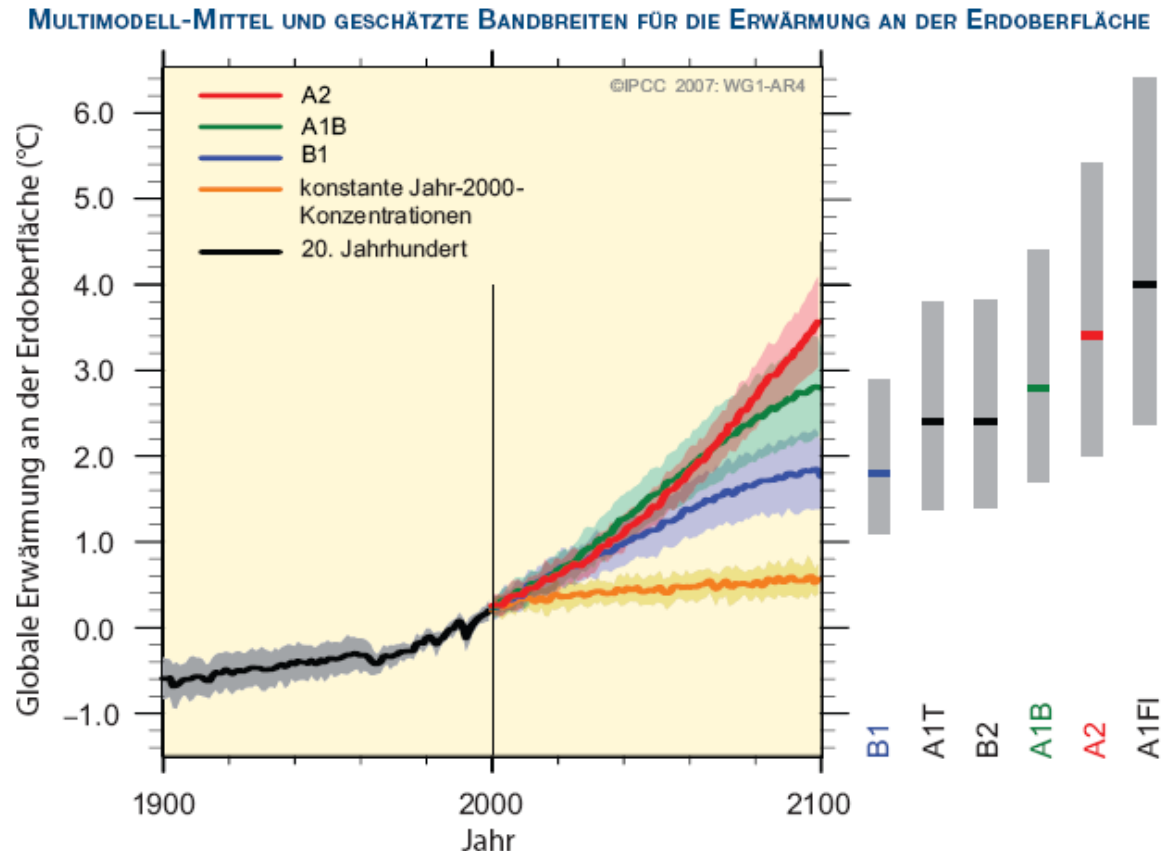
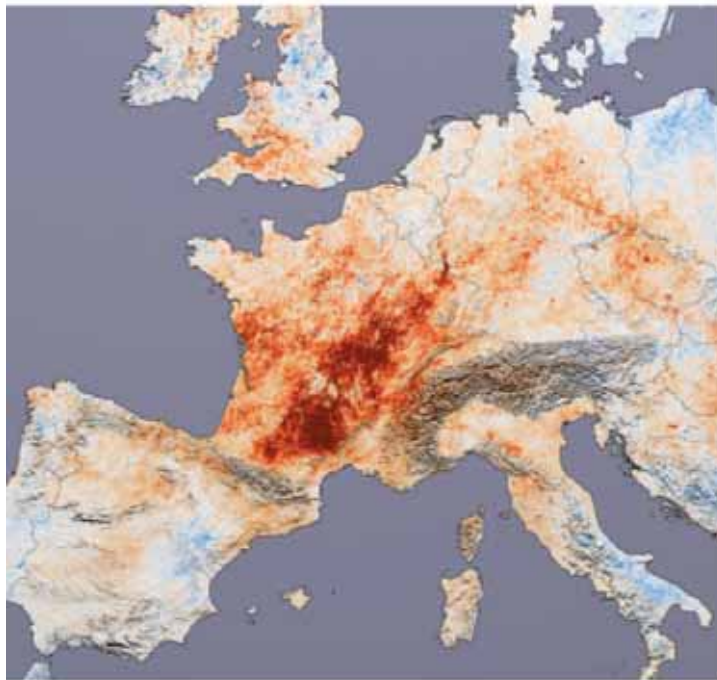


Abbildung SPM.5. Die durchgezogenen Linien sind globale Multimodell-Mittel der Erwärmung an der Erdoberfläche (relativ zu 1980–99) für die Szenarien A2, A1B und B1, dargestellt als Verlängerungen der Simulationen für das 20. Jahrhundert. Die Schattierung kennzeichnet die Bandbreite von plus/minus einer Standardabweichung der einzelnen Modell-Jahresmittel. Die orange Linie stellt das Resultat des Experiments dar, bei dem die Konzentrationen auf Jahr-2000-Werten konstant gehalten wurden. Die grauen Balken auf der rechten Seite zeigen die beste Schätzung (durchgezogene Linie innerhalb des Balkens) und die abgeschätzte wahrscheinliche Bandbreite für die sechs SRES-Musterszenarien. Die Herleitung der besten Schätzungen und wahrscheinlichen Bandbreiten in den grauen Balken beinhaltet sowohl die AOGCMs im linken Teil der Abbildung als auch die Resultate einer Hierarchie von unabhängigen Modellen sowie beobachtungsgestützte Randbedingungen. (Abbildungen 10.4 und 10.29)



4 Prognosen über regionale Klimaänderungen



*Extremsommer 2003:
Hitzewelle (in den roten Gebieten)
in Europa*

BADISCHE TOSKANA? DAS BEISPIEL KARLSRUHE

Die mittlere Durchschnittstemperatur, die im Zeitraum 1971–2000 bei 15,1°C lag, wird im Zukunftsszenario 17,4 °C betragen. Statt 16 wird es 32 heiße Tage geben. Das bedeutet, dass sich bei einer Zunahme der Lufttemperatur um 2,3 °C die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Temperaturen über 30 °C verdoppelt. Dagegen gibt es nur noch vier Tage mit Dauerfrost statt wie bisher elf.

Quelle: KLIWA

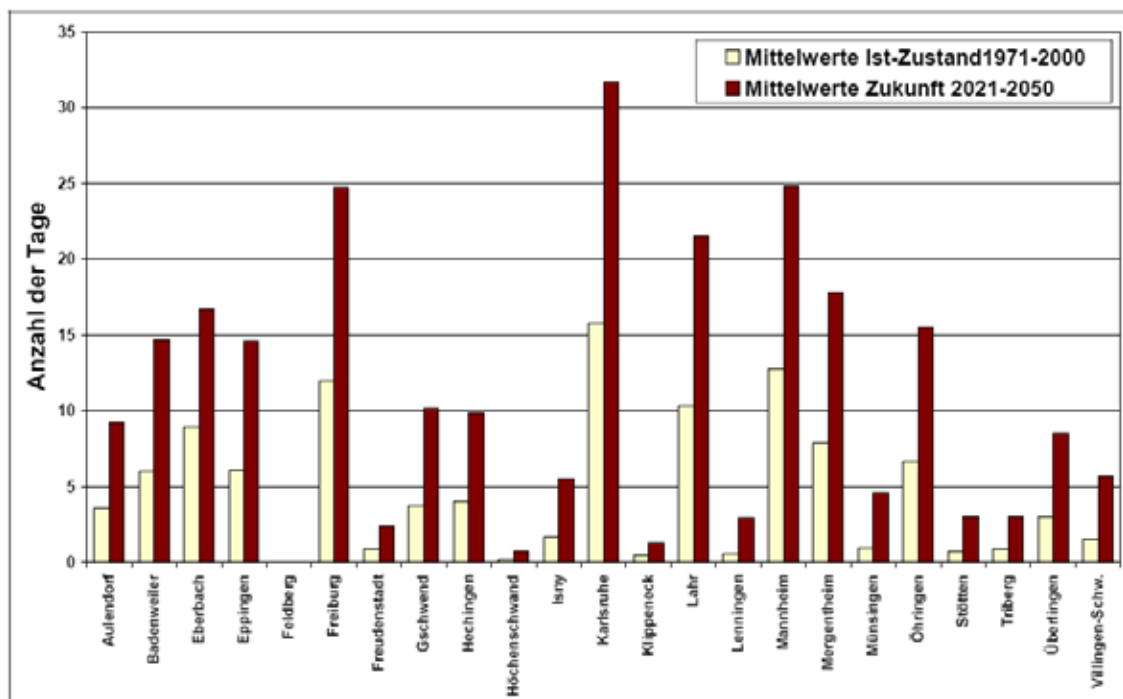


Sowohl für den Niederschlagsrückgang im Sommer als auch die Niederschlagszunahme im Winter ist in der **Oberrhein-Region** keine besonders auffällige Struktur erkennbar. Die Niederschlagsänderungen liegen, im Vergleich zum Deutschlandmittel, bei durchschnittlichen -20% im Sommer und leicht überdurchschnittlichen $+40\%$ bis $+20\%$ im Winter.

Dagegen werden im **Oberrhingraben** schon heute die höchsten Temperaturwerte mit besonders häufigen und lang anhaltenden Hitzewellen beobachtet. Die Temperaturzunahme bis zum Ende des 21. Jahrhunderts ist im Oberrhingraben von der gleichen Größenordnung wie im weit überwiegenden Teil Deutschlands.

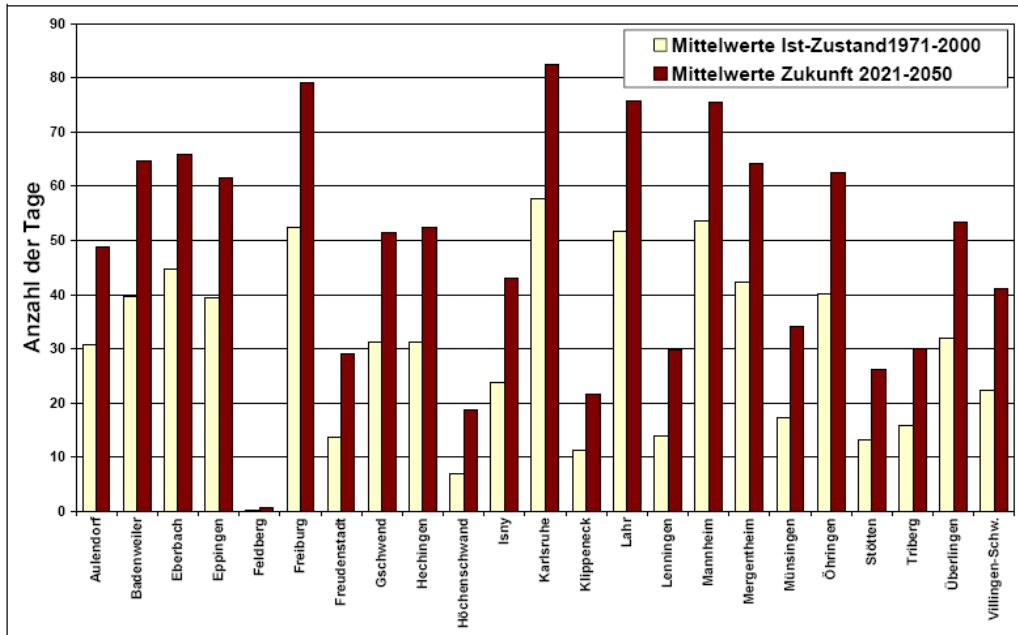
Karlsruhe wäre nach diesen Prognosen hinsichtlich der Veränderung im warmen Bereich, die am stärksten betroffene Stadt Deutschlands. Die heißen Tage ($> 30^\circ\text{C}$) und damit auch die Zahl der Tropennächte werden sich zukünftig auf 32 Tage im Jahr verdoppeln.

Heiße Tage ($T_{\max} \geq 30^\circ\text{C}$)



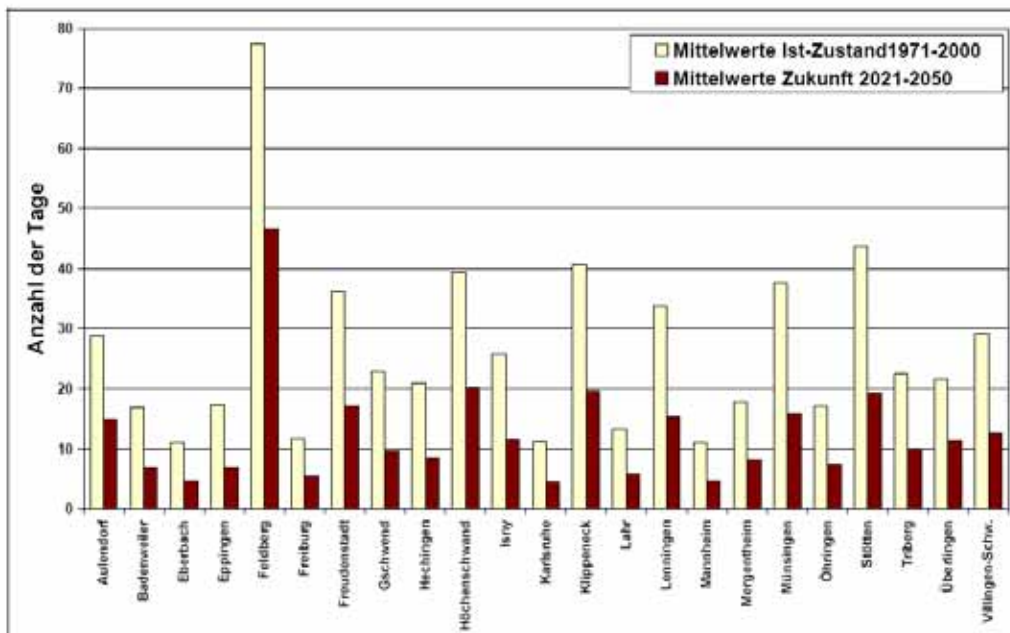
Auch bei der Anzahl der warmen Tage (>25) wird Karlsruhe mit zukünftig 82 Tagen der Spitzenreiter in Baden-Württemberg (und Bayern) werden.

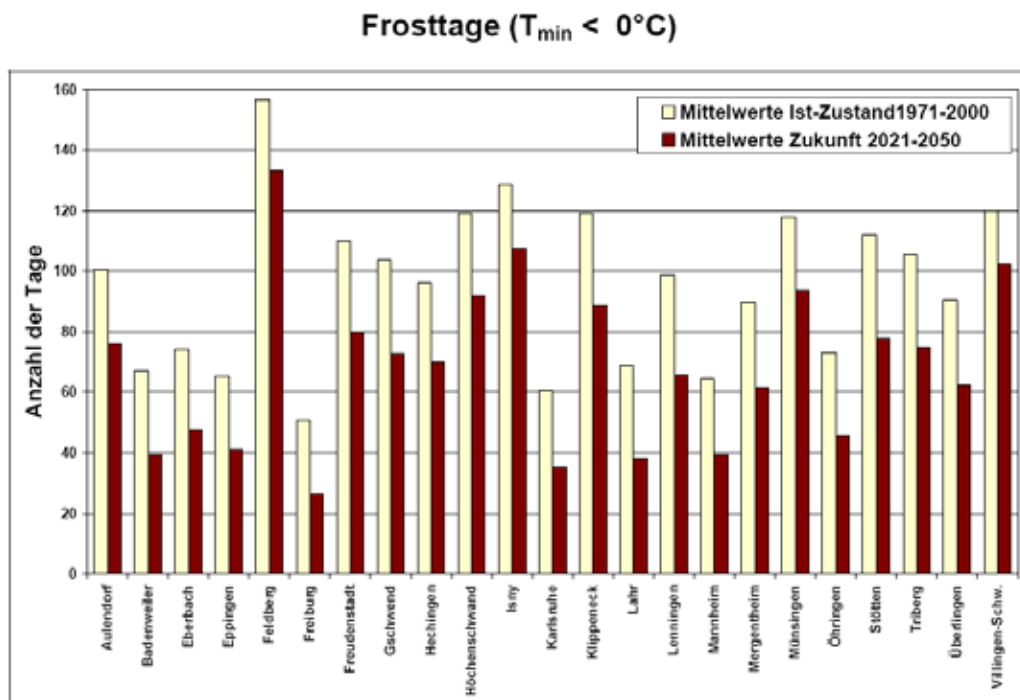
Sommerhalbjahr ($T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$)



Die ohnehin schon vergleichsweise wenigen Frost- und Eistage werden sich zukünftig weiter verringern.

Eistage ($T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$)





Die Niederschlagssumme wird sich in Karlsruhe im Sommer leicht verringern,



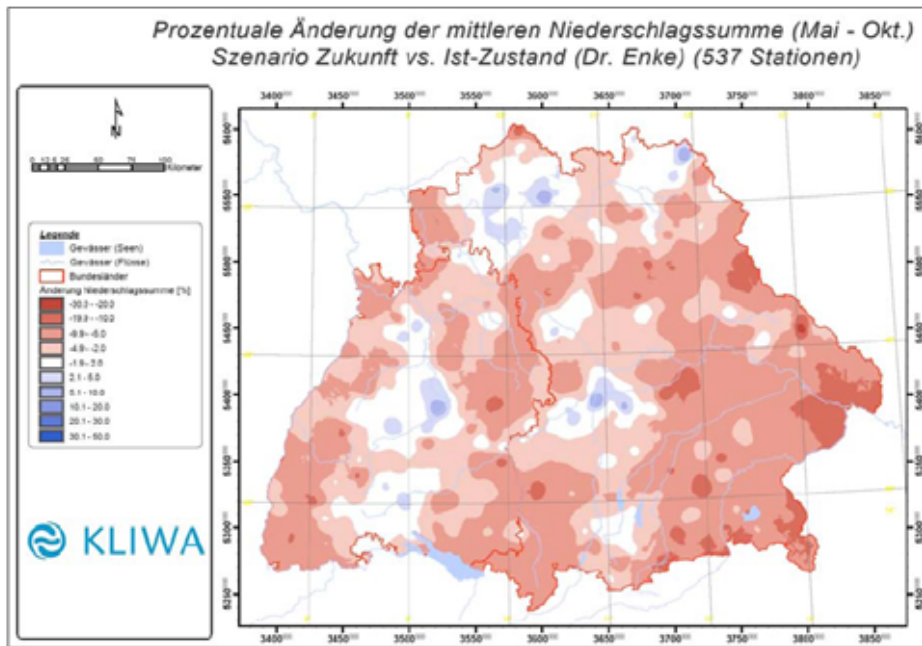


Abb. 5-17: Relative Änderung der Mittelwerte der Niederschläge im Sommer zwischen Zukunftsszenario und Ist-Zustand

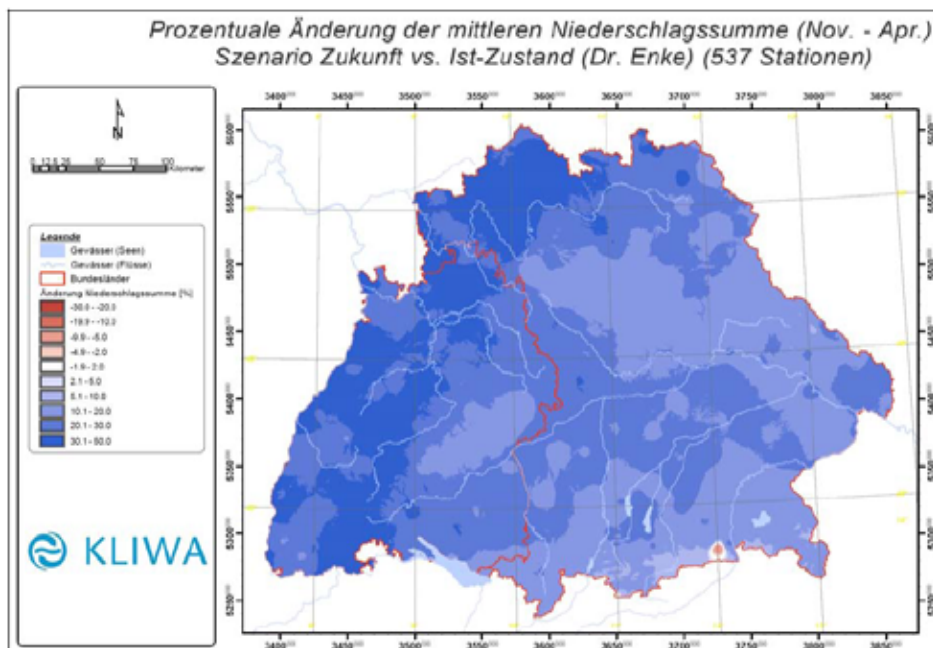


Abb. 5-18: Relative Änderung der Mittelwerte der Niederschläge im Winter zwischen Zukunftsszenario und Ist-Zustand

im Winter dagegen zunehmen.

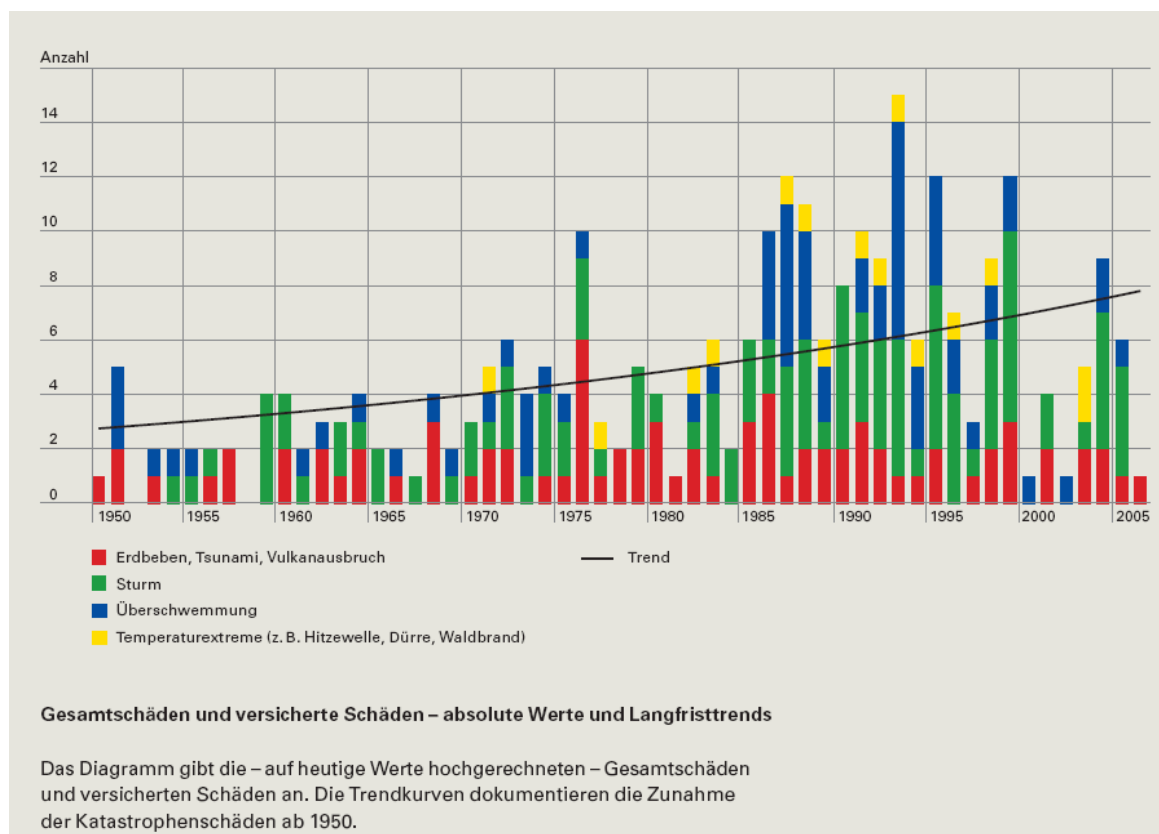
Die Gesamtmenge der Niederschläge im Jahresdurchschnitt in Karlsruhe wird leicht zunehmen.

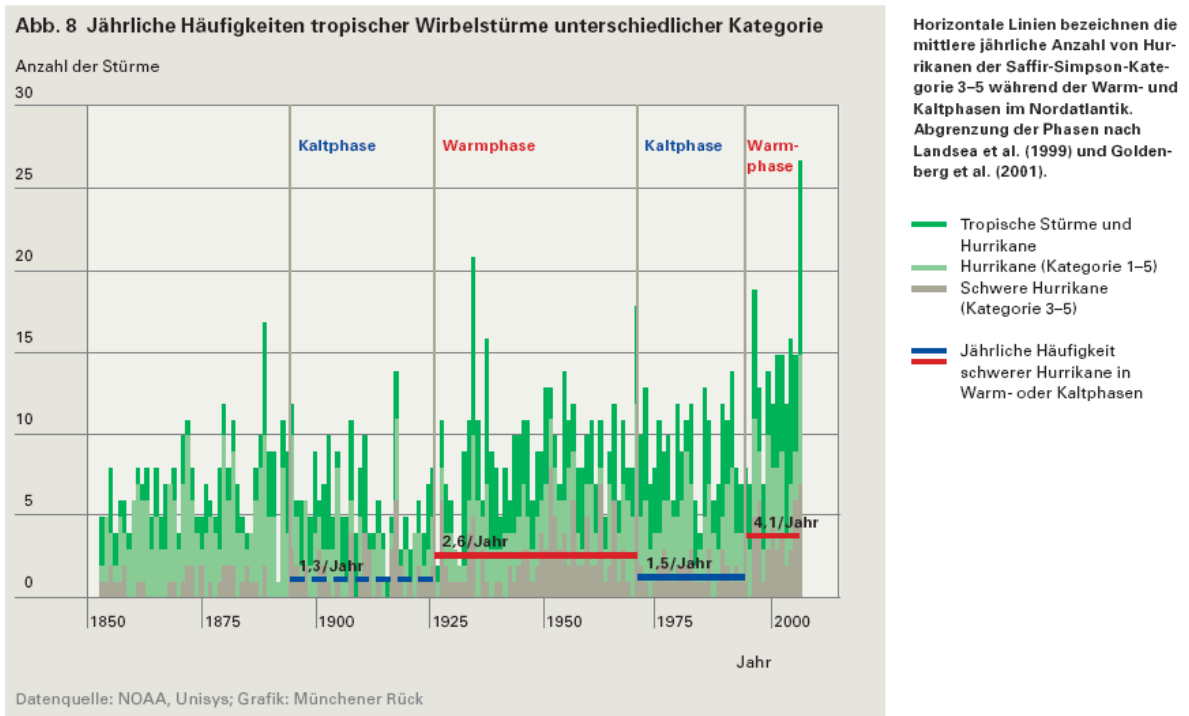


5 Auswirkungen des Klimawandels

5.1 Versicherte und volkswirtschaftliche Schäden aus Naturkatastrophen steigen (Auszug aus Münchener Rück, Topics Geo Naturkatastrophen 2005 und 2006)

Die Langzeitanalyse seit 1950 zeigt einen weiter steigenden Trend – sowohl bei der Anzahl als auch bei den volkswirtschaftlichen und versicherten Schäden. Gab es in den 50er-Jahren noch etwa zwei Großkatastrophen pro Jahr, sind es seit 2000 bereits 7. Ausschlaggebend dafür waren vor allem wetterbedingte Katastrophen. Betrachtet man nur die jährliche Anzahl geologischer Ereignisse (also Erdbeben, Tsunamis und Vulkanausbrüche), ist der Anstieg wesentlich schwächer: von etwa einem in den 50er-Jahren auf rund zwei heute. Entscheidend für den Trend zu immer höheren Schäden sind zum einen sozioökonomische Gründe, etwa steigende Wertekonzentrationen, wachsende Bevölkerungszahlen oder die Besiedelung und Industrialisierung gefährdeter Gebiete. Die Münchener Rück sieht jedoch die Klimaänderung und die dadurch zu erwartende weitere Zunahme großer Wetterereignisse als wesentlichen Treiber der künftigen Schadenentwicklung.



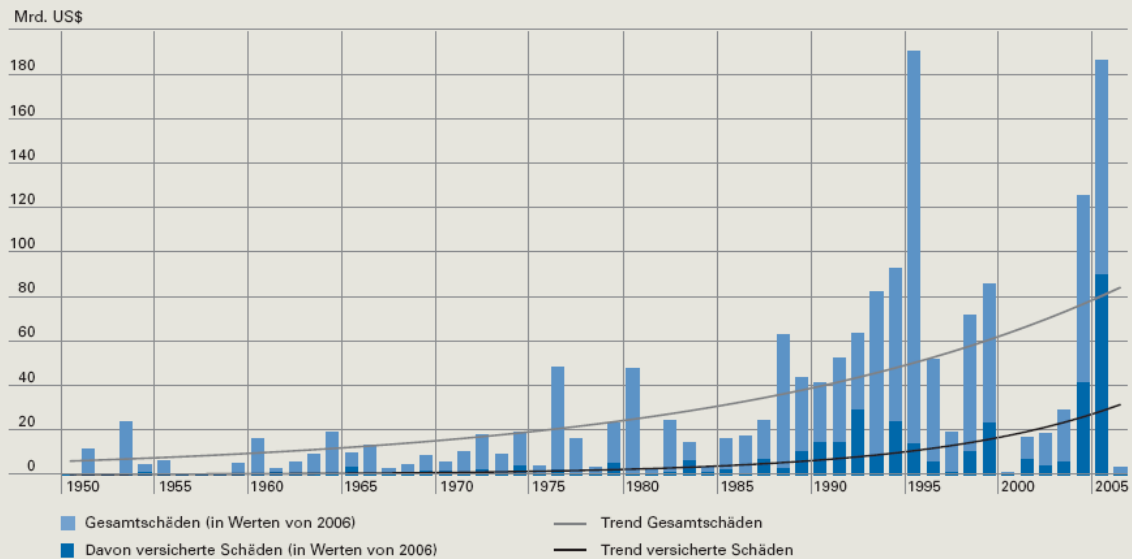


Im Jahr 2005 wurden alle Schadensrekorde gebrochen – das führte schließlich zu einer neuen Qualität der Diskussion um den Klimawandel. Bereits auf dem Klimagipfel im Dezember in Montreal war diese Wende zu spüren. Die Münchener Rück weist seit langem darauf hin, dass sich bei zunehmender globaler Erwärmung außerordentliche Wetterkatastrophen häufen werden und warum mit größeren Schadenpotenzialen zu rechnen ist. Ihre Befürchtungen haben sich 2005 bestätigt. Die internationale Assekuranz hat zwar die Rekordschäden von 2005 bewältigt. Entscheidend für die zukünftige Absicherung von Naturgefahren wird jedoch sein, adäquate Versicherungslösungen für bisher undenkbbare Katastrophenszenarien zu entwickeln.



Gesamtschäden und versicherte Schäden – absolute Werte und Langfristrends

Das Diagramm gibt die – auf heutige Werte hochgerechneten – Gesamtschäden und versicherten Schäden an. Die Trendkurven dokumentieren die Zunahme der Katastrophenschäden ab 1950.



Quelle: Münchener Rück, Topics Geo Naturkatastrophen 2006

5.2 Sicherheitsrisiko Klimawandel

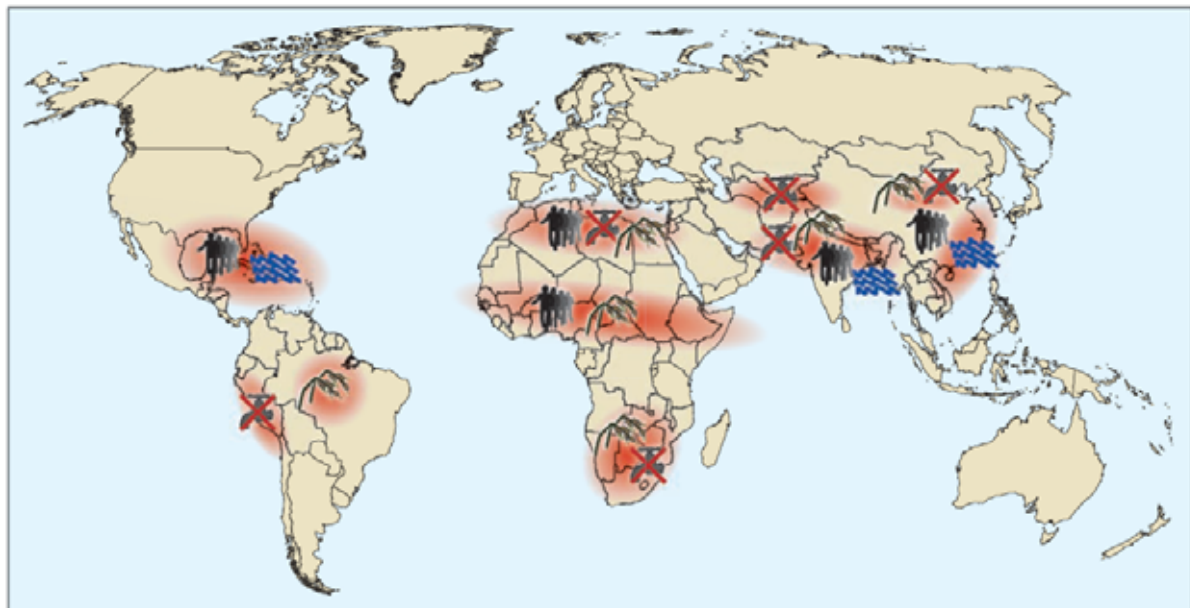
Dieses Thema ist zwar nicht von speziell kommunaler Relevanz, kann sich aber je nach Entwicklung auf den Wohlstand und Lebensstandard unserer Gesellschaft auswirken.

Der „Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen“ (WBGU) kommt in seiner Studie **„Welt im Wandel - Sicherheitsrisiko Klimawandel, 2007“** zu dem Schluss, dass es mehrere klimainduzierte Konfliktkonstellationen geben kann:

- Klimabedingte Degradation von Süßwasserressourcen
- Klimabedingter Rückgang von Nahrungsmittelproduktion
- Klimabedingte Zunahme von Sturm- und Flutkatastrophen
- Umweltbedingte Migration

Die gesellschaftlichen Folgen des Klimawandels werden in den Weltregionen unterschiedlich ausfallen. Regionale Brennpunkte sind Afrika, Zentralasien, Indien und dessen Nachbarstaaten, China, Karibik mit Golf von Mexiko, Andenregion und Amazonien.





Konfliktkonstellationen in ausgewählten Brennpunkten



Abbildung 1

Sicherheitsrisiken durch Klimawandel: ausgewählte Brennpunkte. Die Karte zeigt beispielhaft nur jene Regionen, die in diesem Gutachten abgehandelt werden und sich zu Krisenherden entwickeln könnten.

Quelle: WBGU

Dabei werden sechs Gefährdungen der internationalen Sicherheit und Stabilität gesehen:

- Mögliche Zunahme der Zahl schwacher und fragiler Staaten
- Risiken für die weltwirtschaftliche Entwicklung
- Risiken wachsender Verteilungskonflikte zwischen Hauptverursachern und Hauptbetroffenen
- Gefährdung der Menschenrechte und der Legitimation der Industrieländer als Global-Governance-Akteure
- Induzierung und Verstärkung von Migration
- Überforderung klassischer Sicherheitspolitik

Die Studie kommt zu folgenden Handlungsempfehlungen:

Aktive Klimaschutzpolitik wird zu präventiver Sicherheitspolitik. Ziel müsse sein die globale Erwärmung auf weniger als 2 Kelvin gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen. Wird dieses Ziel nicht erreicht erwartet der WBGU im Zeitraum 2025-2040 klimainduzierte Sicherheitsrisiken in den Regionen.



Ein effektiver Klimaschutz ist weltweit mit geringeren Kosten verbunden, als die durch Klimaschäden zu erwartenden Kosten, die bei klimapolitischer Untätigkeit entstünden. Entwicklungsländer tragen zwar wenig zum anthropogenen Klimawandel bei, müssen aber dennoch umfangreiche Anpassungsmaßnahmen treffen, die sie nicht finanzieren können. Daher sollte dort im Hinblick auf eine präventive Sicherheitspolitik eine internationale Mitfinanzierung stattfinden.

5.3 Auswirkungen des Klimawandels in Europa

Der beobachtete und für die Zukunft prognostizierte Klimawandel stellt auch aus Sicht der Europäischen Union eine große Herausforderung dar.

Der Klimawandel wird sich dabei nicht überall gleich auswirken, sondern je nach Region sehr unterschiedliche Konsequenzen haben.

Im aktuellen Entwurf des „**Grünbuchs der Europäischen Kommission**“ werden allgemein denkbare Szenarien des Klimawandels auf verschiedene Bereiche aufgezeigt:

Wasser:

Einschränkung der sicheren Trinkwasserversorgung durch Wegfall von Gletscherschmelzwasser, nach dem Abschmelzen der Gletscher, Zunahme dürregefährdeter Regionen

Ökosystem:

20-30% der bisher untersuchten Tier- und Pflanzenarten dürften vom Aussterben bedroht sein, wenn die globalen Durchschnittstemperaturen um 1,5 – 2° C steigen.

Nahrungsmittel:

Mit dem Klimawandel dürfte die Gefahr von Hungersnöten zunehmen. Die betroffene Bevölkerung könnte auf mehrere hundert Millionen ansteigen.

Küsten:

Der Meeresspiegelanstieg wird Millionen von Menschen auf kleinen Inseln und in Deltaregionen großer Flüsse bedrohen.

Gesundheit:

Die Folgen von Wetterextremen und die Zunahme von Infektionskrankheiten stellen eine höhere Gefahr für die Gesundheit von Menschen und Tieren dar.



Verwundbarste Gebiete in Europa sind:

Mittelmeerraum:

wegen der hohen Temperaturanstieg und des Rückgang von Niederschlägen

Alpenraum:

wo schnell steigende Temperaturen ein weiträumiges Abschmelzen von Schnee und Eis begünstigen und Veränderungen der Flussströmungen herbeiführen.

Küstengebiete:

aufgrund des steigenden Meeresspiegels und zunehmenden Sturmrisikos

Dicht besiedelte Überschwemmungsgebiete:

aufgrund des verstärkten Risiko von Stürmen, Starkniederschlägen und Blitzfluten

Skandinavien:

das mit sehr viel mehr Niederschlägen und zwar mehr als Regen statt Schnee rechnen muss

Die sich wandelnden Klimabedingungen werden beispielsweise den Energiesektor und die Energieverbrauchsmuster auf verschiedene Weise beeinflussen:

- In Regionen, in denen die Niederschläge zurückgehen oder in denen trockene Sommer immer häufiger vorkommen werden, wird weniger Wasser zur Kühlung von Wärme und Atomkraftwerken und für die Erzeugung von Wasserenergie zur Verfügung stehen. Die Kühlkapazität des Wassers wird ebenfalls abnehmen, weil sich das Wasser generell erwärmen wird; auch die Schwellenwerte für die Wasserableitung werden möglicherweise überschritten.
- Flussströmungen werden sich aufgrund veränderter Niederschlagsmuster, in Berggebieten aufgrund der abgeschmolzenen Schnee- und Eisschichten verändern. Aufgrund der erhöhten Erosionsrisiken kann es zu einer beschleunigten Verlandung von Stauseen für die Wasserkraftzeugung kommen.
- Der Heizbedarf wird zurückgehen, doch das Risiko von Stromausfällen wird zunehmen, weil die Sommerhitze die Nachfrage nach Klimatisierung und dementsprechend die Nachfrage nach Elektrizität nach oben treibt.



- Das zunehmende Sturm- und Hochwasserrisiko kann die Energieinfrastruktur beeinträchtigen.

Wichtige Verkehrsinfrastrukturen mit langer Lebensdauer wie Autobahnen, Eisenbahnstrecken, Wasserstraßen, Flughäfen, Häfen und Bahnhöfe, ihr Betrieb und die entsprechenden Verkehrsmittel sind witterungs- und klimaanfällig und werden folglich durch Klimaänderungen beeinträchtigt.

Zwei Beispiele:

- Der steigende Meeresspiegel wird den Schutzeffekt von Wellenbrechern und Kaimauern schwächen.
- Es ist damit zu rechnen, dass sich das Risiko von Schäden und Systemausfällen infolge von Stürmen und Hochwasser, aber auch von Hitzeperioden, Bränden und Erdbeben generell erhöht.

Anpassungsmaßnahmen können sein:

1. sanft, relativ kostengünstig sein, wie z. B. Gewässerschutz, Änderungen von Fruchtfolgen und Aussaatzeiten, Verwendung anderer Sorten, staatliche Planung und Sensibilisierung der Öffentlichkeit
und
2. kostspielige Schutz- und Umsiedlungsmaßnahmen wie Anhebung von Deichen, Umsiedlung von Häfen, Industrieanlagen sowie ganzen Städten aus tief liegenden Küsten- und Überschwemmungsgebieten sowie Bau neuer Kraftwerke infolge ausfallender Wasserkraftwerke.

Die Anpassung bringt aber auch neue Business-Chancen

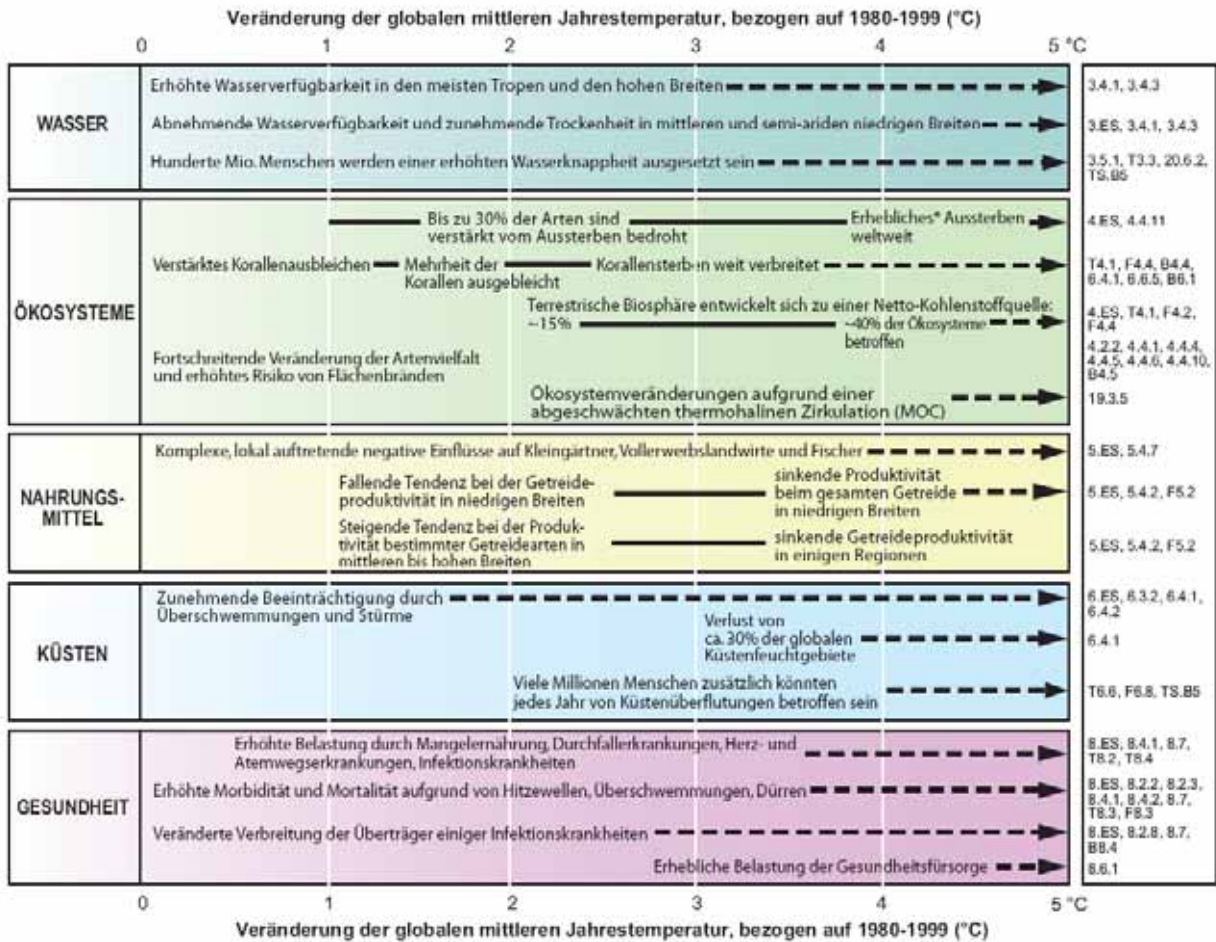
Neue Märkte für klimasichere Bautechniken, Materialien und Produkte

Verlagerung des Badetourismus in Mittelmeerländern auf die Frühjahrs- oder Herbstmonate, Atlantik- und Nordseeküsten als neue Fremdenverkehrsziele bei wärmeren Sommern

Anpassung lokaler Bewirtschaftungspraktiken in Skandinavien an längere Wachstumsperioden

Neue Versicherungsprodukte zur Minderung von Risiko und Anfälligkeit vor dem Eintreten von Katastrophenfällen mit Anreizen zur Risikominimierung





* Erheblich wird hier definiert als mehr als 40%.

** Auf Basis der durchschnittlichen Rate des Meeresspiegelanstiegs von 4,2 mm/Jahr von 2000-2080.

Abbildung SPM.2. Illustrative Beispiele für projizierte globale Auswirkungen von Klimaänderungen (und, falls relevant, von Meeresspiegel und atmosphärischem Kohlendioxid), in Verbindung mit Anstiegen der mittleren globalen Erdoberflächentemperatur unterschiedlichen Ausmaßes im 21. Jahrhundert [T20.8]. Die schwarzen Linien verbinden die Auswirkungen untereinander, die gestrichelten Pfeile zeigen die bei steigender Temperatur fortgesetzten Auswirkungen. Die Einträge sind so platziert, dass die linke Seite des Textes den ungefähren Beginn einer Auswirkung angibt. Mengenmäßige Einträge bezüglich Wasserknappheit und Überschwemmungen stellen zusätzliche Auswirkungen der Klimaänderung dar, und zwar in Bezug auf die innerhalb der Bandbreite der SRES-Szenarien (A1F1, A2, B1 und B2; siehe Kasten 3 am Ende dieser Zusammenfassung) projizierten Bedingungen. Maßnahmen zur Anpassung an die Klimaänderung sind in diesen Abschätzungen nicht enthalten. Alle Einträge sind veröffentlichten Studien entnommen, die in den Kapiteln des Sachstandsberichts verzeichnet sind. Die Quellenangaben befinden sich in der Spalte rechts von der Tabelle. Für alle Aussagen besteht ein hohes Vertrauensniveau.

Quelle: IPCC 2007



Phänomene und Richtung des Trends	Wahrscheinlichkeit eines zukünftigen Trends, basierend auf den Projektionen für das 21. Jahrhundert unter Verwendung der SRES-Szenarien	Beispiele für wesentliche projizierte Auswirkungen nach Sektoren			
		Land- und Forstwirtschaft und Ökosysteme [4.4, 5.4]	Wasserressourcen [3.4]	Menschliche Gesundheit [8.2]	Industrie/Siedlungen/Gesellschaft [7.4]
Über den meisten Landflächen wärmere und weniger kalte Tage und Nächte; wärmere und häufiger heiße Tage und Nächte	Praktisch sicher ^b	Höhere Erträge in kälteren Gebieten; geringere Erträge in wärmeren Gebieten; zunehmende Massenvermehrung von Insekten	Auswirkungen auf von der Schneeschmelze abhängige Wasserressourcen; manchmal Auswirkungen auf die Wasserversorgung;	Rückgang menschlicher Sterblichkeit durch geringere Kälteexposition	Geringere Energielast für Heizung; höherer Bedarf an Kühlung; abnehmende Luftqualität in Städten; weniger Transportunterbrechungen durch Schnee, Eis; Auswirkungen auf den Wintertourismus
Wärmeperioden/ Hitzewellen: Zunahme der Häufigkeit über den meisten Landflächen	Sehr wahrscheinlich	Geringere Erträge in wärmeren Regionen durch Hitzebelastung; erhöhte Gefahr durch Flächenbrände	Erhöhter Wasserbedarf; Probleme mit der Wasserqualität, z.B. Algenblüte	Erhöhtes Risiko für hitzebedingte Sterblichkeit, insbesondere für ältere Menschen und chronisch Kranke, Kleinkinder und gesellschaftlich isolierte Menschen	Verminderung der Lebensqualität für Menschen in warmen Gebieten ohne zweckmäßige Wohnung; Auswirkungen auf ältere Menschen, Kleinkinder und Arme
Starkniederschlagsereignisse: Die Häufigkeit nimmt über den meisten Gebieten zu	Sehr wahrscheinlich	Ernteschäden; Bodenerosion, Verhinderung des Anbaus durch Vernässung der Böden	Nachteilige Auswirkungen auf die Qualität von Oberflächen- und Grundwasser; Verunreinigungen der Wasserversorgung; Abhilfe bei Wasserknappheit möglich	Erhöhtes Risiko für Todesfälle, Verletzungen, Infektions-, Atemwegs- und Hauterkrankungen	Beeinträchtigung von Siedlungen, Handel, Verkehr und einzelnen Bevölkerungsgruppen infolge von Überschwemmungen; starke Belastung städtischer und ländlicher Infrastrukturen; Verlust von Eigentum
Von Dürre betroffene Gebiete nehmen zu	Wahrscheinlich	Bodenbeeinträchtigung, geringere Erträge/Ernteschäden und -ausfälle; vermehrtes Viehsterben; erhöhtes Risiko von Flächenbränden	Größere Verbreitung von Wasserknappheit	Erhöhtes Risiko für Nahrungsmittel- und Wasserknappheit; erhöhtes Risiko für Mangel- und Fehlernährung; erhöhtes Risiko für Krankheiten, die durch Wasser oder Nahrungsmittel übertragen werden	Wasserknappheit für Siedlungen, Industrie und einzelne Bevölkerungsgruppen; geringere Potentiale für Wasserkraftzeugung; Potenzial für Bevölkerungsmigration
Die Aktivität starker tropischer Wirbelstürme nimmt zu	Wahrscheinlich	Ernteschäden; Windwurf (Entwurzelungen) von Bäumen; Schäden an Korallenriffen	Unterbrechung der Stromversorgung bewirken Unterbrechung der öffentlichen Wasserversorgung	Erhöhtes Risiko für Todesfälle, Verletzungen, Krankheiten, die durch Wasser oder Nahrungsmittel übertragen werden; posttraumatische Belastungsstörungen	Störungen durch Hochwasser und starken Wind; Rückzug der Privatversicherer aus der Risikodeckung in verwundbaren Gebieten; Potenzial für Bevölkerungsmigration; Verlust von Eigentum
Zunehmendes Auftreten von extrem hohem Meeresspiegel (ausgenommen Tsunamis) ^c	Wahrscheinlich ^d	Versäzung des Wassers für die Bewässerung, in Flussmündungen und Süßwassersystemen	Abnahme der Verfügbarkeit von Süßwasser durch das Eindringen von Salzwasser	Erhöhtes Risiko für Todesfälle durch Ertrinken infolge des hohen Wasserstandes sowie für Verletzungen; migrationsbedingte gesundheitliche Auswirkungen	Kosten für den Küstenschutz stehen den Kosten einer Landnutzungsverlagerung gegenüber; Potenzial für Bevölkerungs- und Infrastrukturverlagerung; siehe auch tropische Wirbelstürme oben

a Bezüglich Definitionen siehe Tabelle 3.7 im Vierten Sachstandsbericht der Arbeitsgruppe I

b Erwärmung der extremsten Tage und Nächte jedes Jahres

c Extrem hohe Meeresspiegel hängen vom mittleren Meeresspiegel und den regionalen Wettersystemen ab. Sie sind hier definiert als das höchste 1 % der stündlichen an einer Station beobachteten Meeresspiegel für einen bestimmten Bezugszeitraum.

d Der projizierte mittlere globale Meeresspiegel für 2100 liegt in allen Szenarien höher als im Bezugszeitraum [Vierter Sachstandsbericht der Arbeitsgruppe I 10.6]. Die Auswirkungen von Veränderungen der regionalen Wettersysteme auf extreme Meeresspiegel wurden nicht untersucht.

Tabelle SPM.1. Beispiele für mögliche Auswirkungen der Klimaänderung durch Veränderungen extremer Wetter- und Klimaereignisse, basierend auf Projektionen für Mitte bis Ende des 21. Jahrhunderts. Nicht berücksichtigt sind etwaige Änderungen oder Entwicklungen bei der Anpassungskapazität. Beispiele für alle Einträge sind in den Kapiteln des vollständigen Sachstandsberichtes (siehe Quellenangaben in den Spalten oben) enthalten. Die ersten beiden Spalten dieser Tabelle sind direkt der Zusammenfassung für Entscheidungsträger der Arbeitsgruppe I (Tabelle SPM-2) entnommen. Die Bewertungen der Wahrscheinlichkeit in Spalte 2 beziehen sich auf die in Spalte 1 beschriebenen Phänomene. Die Richtung des Trends und die Wahrscheinlichkeit der Phänomene gelten für die IPCC-SRES-Projektionen der Klimaänderung.

Quelle: IPCC 2007



5.4 Auswirkungen des Klimawandels in Baden-Württemberg und Karlsruhe

Gemeinsam mit Bayern, Rheinland-Pfalz und dem Deutschen Wetterdienst beteiligt sich Baden-Württemberg seit 1998 am Kooperationsvorhaben „Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft“ (KLIWA).

Mit dem Projekt „KLARA“ initiierte das Land Baden-Württemberg ein Forschungsvorhaben für die Entwicklung von Strategien zur Bewältigung der Folgen des Klimawandels in Baden-Württemberg.

KLARA steht für **K**limawandel, **A**uswirkungen, **R**isiken und **A**npassung.

Aus den Ergebnissen von KLIWA und KLARA wurden bisher folgende erste Eindrücke gewonnen:

5.4.1 Auswirkungen auf die Gesundheit

In Baden-Württemberg wird auf Grund der zunehmenden Zahl von heißen Tagen verbunden mit Tropennächten für die nächsten 50 Jahre mit einer deutlichen Zunahme der hitzebedingten Todesfälle gerechnet. Dies wird insbesondere Altersgruppen über 75 Jahre betreffen.

Bereits in 2003 hat sich gezeigt, dass eine fehlende nächtliche Abkühlung sich als gesundheitlich beeinträchtigend herausstellte. Gerade der Oberrheingraben ist als wärmste Region Deutschlands von dieser Problematik besonders betroffen.

Die Ausbreitung Wärme liebender sowie die Zuwanderung gebietsfremder Organismen, darunter subtropische und tropische Schädlinge und Krankheitserreger bringen in unseren Breiten neue Gefahren mit sich. Zecken breiten sich immer mehr aus, Stechmücken übertragen immer häufiger gefährliche Krankheiten wie Malaria oder Gelb- und Denguefieber.

Gerade im Oberrheingebiet ist eine potenzielle Gefahr für Menschen dadurch gegeben, da hier über die Burgundische Pforte eine Verbindung nach Italien und Frankreich besteht, die sich als Invasionspfad für die Tigermoskito eignet.



Anpassungsplanungen der Stadtverwaltung

Nachdem sich der Anstieg von Hitzetagen auf die Mortalität sensibler Gruppen (Bevölkerungsteile mit hohem Alter) auswirkt, ist der Entwicklung des Stadtklimas ein besonderes Augenmerk zu widmen. Städtebauliche Entwicklungen müssen daher verstärkt die Auswirkungen auf das lokale Kleinklima beachten.

Im Rahmen der vorgesehenen „Tragfähigkeitsstudie“ der Stadt Karlsruhe soll das gesamte Stadtgebiet klimatisch betrachtet und hinsichtlich seiner Sensibilität bei zukünftigen städtebaulichen Veränderungen bewertet werden. Die bisher durchgeführten objektbezogenen Studien zu stadtklimatischen Auswirkungen sind in einen Gesamtkontext zu stellen.

Die zunehmende Zahl von Hitzetagen lässt der Raumkühlung eine erhöhte Bedeutung zukommen. Einer steigenden Zahl von energieintensiven Klimatisierungsanlagen soll durch strukturelle Lösungen, die auf regenerativer Energienutzung basieren, entgegengewirkt werden. Ein Ansatz könnte der verstärkte Ausbau von Fern- und Nahwärmenetzen sein, die nicht nur zur Wärmeversorgung von Gebäuden, sondern auch zur Kühlung verwendet werden können.

5.4.2 Auswirkungen auf die Landwirtschaft

Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Landwirtschaft in Baden-Württemberg wurde exemplarisch für die Erträge von Mais und Weizen, die Gefährdung durch Schädlinge im Obstbau sowie die Reifebedingungen im Weinbau untersucht. Ein wärmeres Klima wird unter den speziellen Bedingungen von Baden-Württemberg bei der postulierten Niederschlagsentwicklung in der Fläche zur Ausdehnung des Maisanbaus führen, da die Voraussetzungen für dessen Anbau sich weiter verbessern. Der in vielen Regionen zunehmende Trockenstress führt demgegenüber beim Weizen zu leichten Ertragseinbußen

Phänologische Daten, z. B. die Erhebung der Apfelblüte, belegen eine Verfrühung des Frühlingsbeginns. Von 1990-1999 stellte sich der Frühlingsbeginn auch in klimatisch raueren Gebieten 10 Tage früher ein, als im Zeitraum 1961-1990.

In 2007 wurde im Kraichgau erstmalig Braugerste erfolgreich in zweimaliger Folge angebaut. Das frühe Eintreten phänologischer Phasen im Frühjahr, das im Zuge der Klimaerwärmung beobachtet wird, kann somit für die Landwirtschaft auch positive Konsequenzen haben.

Aber auch Krankheiten (z. B. Apfelschorf) und Schädlinge (z. B. Apfelwickler) werden voraussichtlich durch die Klimaerwärmung begünstigt.



Für den Weinbau werden zukünftig bessere Bedingungen für den Anbau anspruchsvollerer und edlerer Sorten angenommen.

5.4.3 Auswirkungen auf die Forstwirtschaft

Während sich die Landwirtschaft auf höhere Temperaturen einstellen und von längeren Vegetationsperioden profitieren kann, wird im Wald der Faktor Wasser zur limitierenden Größe. So wird seit 2003 aufgrund des Trockenstresses eine Schadholzzunahme von 20 – 40 % festgestellt. Bei vermehrter Trockenheit wird eine Zunahme des Problems gesehen. Während in Mitteleuropa die von Natur aus vorherrschenden Buchenwälder mit ihren Begleitarten weniger anfällig gegenüber den zu erwartenden Veränderungen sind, verhält es sich mit nicht standortheimischen Arten anders. Besonders empfindlich dürften Fichtenbestände sein, die außerhalb ihres natürlichen Areals angepflanzt wurden. Die Vorteile der Nadelbäume gehen schnell zunichte im Kampf gegen Dürre, Sturm und Schadinsekten.

Das Ökosystem Wald wird sich bei einer prognostizierten Erwärmung um +3°C deutlich verändern. Die Höhengrenzen der Waldgesellschaften würden sich um 300-500 Meter nach oben verschieben. Für Buchen- und Eichenwälder würden noch bis in 1000 Meter Höhe gute Bedingungen vorherrschen. Die mitteleuropäischen Wälder würden teilweise südeuropäische Charakterzüge annehmen. So könnte das von Tannen und Fichten geprägte Bild des Schwarzwaldes durch Flaumeichen und andere Arten ersetzt werden.

Entscheidend für die Entwicklung des Waldes wird die Geschwindigkeit der Klimaveränderung sein. Schreitet diese schneller als die Anpassung voran, kann dies gravierende Folgen haben. Hauptaufgabe der Forstwirtschaft wird es zukünftig sein, Wälder zu entwickeln, die sich schnell regenerieren und den veränderten Klimabedingungen anpassen.

Die Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt (FVA) will regionale Handlungsstrategien entwerfen und betrachtet Waldflächen in Europa, die heute bereits ein Klima haben, das dem hier erwarteten entspricht. Ziel ist die „Optimierung der Biodiversität mit vielfältigen Mischwäldern, um die Anpassungsfähigkeit der Wälder zu stärken“ und die „genaue Beobachtung der Klimaentwicklung und gegebenenfalls Anpassung der Waldbaukonzepte.“

Laut den Klimaprognosen werden sich die Durchschnittstemperaturen im Karlsruher Raum in den nächsten 50 Jahren stärker als in anderen Landesteilen nach oben entwickeln.

Besonders deutlich werden sich diese Veränderungen auswirken, wo die Wälder bzw. die Bäume bereits heute unter Wassermangel und schlechten Standortbedingungen leiden.



Besonders „anfällig“ scheinen dabei die Hardtwaldgebiete zu sein mit geringen Niederschlägen, sandigen und nährstoffarmen Böden (geringe Wasserhaltekapazität) sowie tief liegendem und damit nicht pflanzenverfügbarem Grundwasser. Die eigentlich genügsame und Trockenheit ertragenden Kiefern der Hardtwälder scheinen schon heute nicht mehr besonders vital zu sein. Viele Kiefern sind mit Misteln besetzt (zusätzliche Wasser Konkurrenz), werden von Prachtkäfern befallen und sterben dann ab. Derzeit handelt es sich um Einzelbäume, aufs Jahr bezogen summiert sich das „Dürrholz“ bei der Kiefer aber doch auf mehrere Hundert Kubikmeter Holz.

Besonders auffällig sind die abnehmende Vitalität und die Zunahme des Absterbens von Einzelbäumen bei der Eiche. Eine ganze Reihe Wärme liebender Schadinsekten setzt den Eichen zu. Besonders auffällig ist die ständige Arealerweiterung des Eichenprozessionsspinners und die Zunahme des Eichen-Heldbocks. Dieser Riese unter den heimischen Käferarten besiedelt nur geschwächte und absterbende Eichen. Die derzeit hohe Dichte dieser Käfer im Karlsruher Raum ist zwar hinsichtlich des Artenschutzes von besonderer Bedeutung, aus forstwirtschaftlicher Sicht ist es jedoch besorgniserregend, da dies zeigt, wie umfassend die Schwächung der alten Eichen fortgeschritten ist.

Die Bemühungen, im Hardtwald noch mehr Laubbäume wie Buchen und Eichen zu fördern, sind durch die Klimaentwicklung zumindest in Frage gestellt. Neueste Modellierungen von Buchenvorkommen in Baden-Württemberg durch die Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Freiburg zeigen, dass schon bei einem Temperaturanstieg von 2 Grad und einem Niederschlagsrückgang von 10 % der Hardtwald nördlich von Karlsruhe zu den sogenannten Buchen-Verlusträumen gehören wird.

Deutlich zeigen sich im Wald die Folgewirkungen von zunehmenden Extremwetterlagen. So haben zuletzt der Orkan Lothar allein im Stadtwald 75 ha Kahlflächen und fast 50.000 Kubikmeter Sturmholz hinterlassen. Spuren hinterlassen hat auch das Trockenjahr 2003. In der Folge kam es zu Borkenkäferbefall bei Fichte und Lärche oder zu Pilzbefall bei Ahorn.

Die Fichte wird im Stadtkreis ihre heute schon geringe Bedeutung weiter verlieren. Durch das hohe Borkenkäfer-Risiko wird diese Baumart bei der Waldverjüngung nicht mehr berücksichtigt.

Insgesamt ist positiv zu bewerten, dass gerade im Stadtwald die Palette der vorkommenden Baumarten sehr groß ist und damit die Risiken verteilt sind. Zudem gibt es viele Waldflächen in der Rheinniederung, in der Kinzig-Murg-Rinne und im Bergwald, wo die Bäume entweder Grundwasseranschluss haben, wo die Böden besser das Wasser speichern können und wo mehr Nährstoffe verfügbar sind.



Besonders wichtig ist vor dem Hintergrund des Klimawandels, die Erhaltung der heimischen Wälder als CO₂-Senke, eine flächendeckende naturnahe Waldbewirtschaftung sowie eine möglichst intensive Nutzung von heimischem und nachhaltig erzeugtem Holz, das CO₂ gespeichert hält.

Viele Fragen sind im Hinblick auf die Auswirkungen des Klimawandels auf den Wald und die Waldbewirtschaftung noch offen.

Solche Fragen sind zum Beispiel:

- Soll man die Nutzungsdauern senken, d.h. die Bäume früher ernten?
- Was ist „naturnah“ unter sich ändernden Klimabedingungen?
- Soll man verstärkt auf andere Baumarten setzen?
- Welche Rolle können dabei die Douglasie oder die Roteiche übernehmen?
- Kann man extreme Ereignisse vorhersagen und eingrenzen?
- Wie ändern sich Lebensraumbedingungen und Verbreitungsareale von Tier- und Pflanzenarten?

Anpassungsplanungen der Stadtverwaltung:

Für das forstliche Handeln ergeben sich bereits heute verschiedene Konsequenzen:

- Keine abrupten Änderungen der Lebensbedingungen von Bäumen
- Reduzierung der Nadelbaumanteile, u. a. der Fichte und der Lärche
- Verzicht bei der Kiefer im Hardtwald auf eine sogenannte Wertästung, da das Risiko zu hoch ist
- Stärkung der Vitalität des Einzelbaumes durch frühzeitige Kronenentwicklung
- Vielfalt erhalten und damit Risiken abmildern
- Ausnutzen von natürlicher Waldverjüngung, da bessere Wurzelentwicklung
- Höhere Aufwendungen für Waldschutz und Verkehrssicherung, z.B. bei absterbenden Eichen

5.4.4 Auswirkungen auf den Tourismus

Die Auswirkungen des Klimawandels auf den Bereich Tourismus hängen stark von der Reiseform ab. Reiseformen wie Städte- oder Kulturreisen sind vom Klimawandel kaum betroffen – es sei denn, die bereisten Städte sind Extremereignissen wie Hitzewellen oder Hochwasser ausgesetzt und nicht daran angepasst.



Direkt vom Klimawandel betroffen ist vor allem der Wintertourismus. Besonders in den tieferen Lagen der Alpen und den deutschen Mittelgebirgen ist bereits in den letzten 50 Jahren ein deutlicher Rückgang der Schneesicherheit zu beobachten.

In Zukunft ist damit zu rechnen, dass in den Alpen nur noch in Höhen über ca. 1500 m, in den Mittelgebirgen in Lagen über 800 – 1000 m Wintersport zu betreiben ist. Beschneigung zur Erhöhung der Schneesicherheit und Saisonverlängerung ist nur kurz- bis mittelfristig als Anpassungsmaßnahme geeignet, da bei steigenden Temperaturen Beschneigung in tieferen Lagen nicht mehr möglich sein wird.

Aufgrund dieser Entwicklung ist mit einer Konzentration des Skitourismus auf die höheren Lagen der zentralen Alpen zu rechnen. Für den Wintertourismus in Deutschland kommt deshalb dem Angebot von alternativen Aktivitäten (Wandern, Kulturreisen, Wellnessaufenthalte) eine wichtige Rolle zu.

Auch die typischen Formen des Sommertourismus, insbesondere der Badeurlaub, sind vom Klimawandel betroffen. Hier wird eher von einer positiven Entwicklung ausgegangen. Höhere Temperaturen und geringere Niederschläge im Sommer erhöhen die Attraktivität deutscher Badeziele und können die Badesaison erheblich verlängern. In Zusammenhang mit Attraktivitätsverlusten der klassischen Badeziele in der Mittelmeerregion durch Sommertemperaturen von z. T. über 40°C kann es zu einer Verlagerung des Sommertourismus aus südlichen Regionen nach Deutschland kommen. Auch im Sommertourismus sind Anpassungsmaßnahmen notwendig, um die potenziellen Sommerreiseziele mit wetterunabhängigen Attraktionen zu versehen.

Der Tourismus ist, unabhängig vom Klimawandel, starken Schwankungen und Veränderungen unterworfen, die im Zusammenhang mit den Veränderungen in den sozioökonomischen Rahmenbedingungen, Veränderungen der Altersstruktur, Veränderungen im Lebensstil und der Angst vor Kriegen und Terror stehen.

Im Verhältnis zu diesen Faktoren werden die Auswirkungen des Klimawandels auf den Tourismus (mit Ausnahme des Wintersports) bisher kaum beachtet. Entsprechend wenig Anpassungsmaßnahmen sind bisher diskutiert. Insgesamt wird dem Angebot von neuen Aktivitäten eine wichtige Rolle zugesprochen.

Zwar ist der Tourismussektor bisher nicht an den Klimawandel angepasst, so dass für den Wintersportbereich in Deutschland ohne weitere Maßnahmen eine „hohe“, für die übrigen Tourismusformen eine „mäßige“ Vulnerabilität durch die Auswirkungen des Klimawandels besteht. Jedoch sollte der Tourismussektor gut dazu in der Lage sein, diese Anpassung in der Zukunft zu vollziehen; denn es bietet sich ihm die Möglichkeit, Verluste im Wintersporttourismus durch Zugewinne im Sommertourismus auszugleichen und ihm steht ein Repertoire an wirksamen Anpassungsoptionen zur Verfügung, von denen



sich einige bereits aus anderen Gründen als dem Klimawandel in der Umsetzung befinden. Wird diese Anpassungsfähigkeit genutzt, ist eine Reduktion auf eine „geringe“ Vulnerabilität des Tourismus gegenüber dem Klimawandel zu erwarten.

5.4.5 Auswirkungen auf die Natur

Schon seit Jahren ist zu beobachten, dass Wärme liebende Pflanzen- und Tierarten einwandern und dieser Prozess wird sich fortsetzen. Zahlreiche der vorhandenen Arten werden sich nicht an das Klima anpassen können und nach Norden oder in höhere Lagen verdrängt werden oder aussterben.

Bei einem moderaten Temperaturanstieg von bis zu 1 ° C kann man in Mitteleuropa mit einem Artenzuwachs rechnen. Darunter meist Wärme liebende Arten, die sich bei uns verbreiten. Bei einem höheren Temperaturanstieg überwiegen die Artenverluste. Hauptsächlich an gemäßigte und kühle Temperaturen angepasste Arten werden ausfallen. Auch Kälte liebende Arten könnten betroffen sein, wie beispielsweise die Bachforelle durch Erwärmung der Bäche. Speziell bei Pflanzen sollen sich die Artenverluste bei einer Zunahme von 1,8 C auf mehr als 30 % auf über 40 % der Fläche Europas belaufen.“

Es werden sich zeitliche Ereignisse verschieben, wie Brutzeiten, Zugzeiten z.B. von Vögeln, Flugzeiten von Insekten.

Neben dem Einfluss von abiotischen Faktoren auf das Auftreten und die Verbreitung von Arten dürften Konkurrenzverhältnisse zwischen Arten eine gewichtige Rolle spielen.

Beispiele:

Auf den Wald-Dauerbeobachtungsflächen der LUBW nimmt der Efeu (Hedera Helix) ein Zeiger für wintermildes Klima seit Mitte der 80er Jahre immer stärker zu. Zudem kommen Wärme liebende, nicht einheimische Pflanzenarten immer häufiger vor.

Die Aleppohirse - aus dem Mittelmeerraum und aus Nordafrika stammend, hat sich in der Oberrheinebene stark ausgebreitet. Auch andere Neophyten wie Beifuß-Ambrosie (Ambrosia artemisiifolia), Bartgras (Botriochloa ischaemum), Mauerglaskraut (Paretaria judaica) sind immer häufiger anzutreffen.

Die Beifuß-Ambrosie bedarf der besonderen Aufmerksamkeit, da sie das weltweit stärkste Pollenallergen besitzt. Dadurch können beim Menschen allergische Erkrankungen der Atemwege und der Haut, aber auch Abgeschlagenheit, Müdigkeit und Kopfschmerzen hervorgerufen werden.



Als äußerst mobile Tiere vermögen **Vögel** Klimaveränderungen relativ rasch anzuzeigen.

Bezüglich der Erstankünfte wird deutlich, dass viele Vogelarten auf die Klimaerwärmung reagiert haben. Dabei wird die klassische Unterscheidung zwischen Lang- und Kurzstreckenzieher aufgeweicht. Zahlreiche ehemalige Langstreckenzieher überwintern bereits im Mittelmeerraum und viele Kurzstreckenzieher dürften sich innerhalb weniger Generationen zu Standvögeln verwandeln.

Bei der überwiegenden Zahl von 17 untersuchten Vogelarten wurde eine frühere Ankunft festgestellt. Dies ist bei Kurzstreckenziehern ausgeprägter als bei Langstreckenziehern. Bei neun von 19 untersuchten Vogelarten wurde eine Verspätung beim Wegzug festgestellt.

Brutbiologische Veränderungen (früherer Legebeginn) sind bei einigen Arten (Blaumeise, Halsbandschnäpper) beobachtet. Unklar ist, ob dies eine Bedrohung für bestimmte Arten bedeutet. Der Brutbeginn von Vögeln wird weitgehend von der Tageslänge bestimmt, diese wird durch den Klimawandel jedoch nicht verändert. Die Temperaturerhöhung im Frühjahr stellt in diesem Zusammenhang nur eine „Feinjustierung“ dar. Frühere Studien haben gezeigt, dass der Brutbeginn an die maximale Nahrungsverfügbarkeit angepasst ist. Es gibt jedoch kaum Untersuchungen darüber, ob sich das Nahrungsangebot in Menge und Phänologie verändert hat.

Früher südlich verbreitete Arten sind eingewandert. Der Bienenfresser, der noch vor wenigen Jahren im südlichen Baden-Württemberg sein nördlichstes Vorkommen aufwies, ist mittlerweile bis nach Südschweden vorgedrungen, wo er erfolgreich brütet.

Auch Wärme liebende gebietsfremde **Insekten** werden immer häufiger angetroffen. Dazu gehören Gottesanbeterin, Schmetterlinge, Laufkäfer, Stechimmen und Libellen wie Südliche Mosaikjungfer (*Aeshna affinis*), Südliche Heidelibelle (*Sympetrum meridionale*), Südlicher Blaupfeil (*Orthetrum brunneum*) sowie Feuerlibelle (*Crocothemis erythraea*).

Der Naturschutz wird neu justieren müssen, was es zu schützen gilt. Da sich die geschilderten dynamischen Veränderungen sicherlich über lange Zeiträume hinziehen werden, wird es vielfach darum gehen die Rahmenbedingungen zu definieren und umzusetzen. Ein gezieltes Monitoring soll frühzeitig auf notwendige Korrekturen hinweisen, insbesondere den Schutz nun gefährdeter Arten und die Zuwanderung problematischer Arten.



5.4.6 Auswirkungen auf Schifffahrt und Wasserkraftnutzung

Generell lassen sich gegenwärtig dieser beiden Themen nur wenig konkrete Aussagen treffen. Am Neckar werden mehr Einschränkungen im Bereich der Schifffahrt durch Niedrigwasserereignisse angenommen. In 2003 drohte eine Abschaltung von Neckarwestheim, da die Gewässerbelastung aufgrund hoher Gewässertemperaturen nicht durch zusätzliche Warmwassereinleitung vergrößert werden sollte.

Die Rheinschifffahrt - und damit auch der Betrieb des Karlsruher Rheinhafens - wird beeinträchtigt durch Hoch- und Niedrigwasserereignisse. Für beide Ereignisperioden werden langfristig zunehmende Tendenzen angenommen.

Bis Mitte des 21. Jahrhunderts wird mit einem starken Rückgang der Alpengletscher gerechnet. Dies könnte zu vermehrtem Auftreten von Niedrigwasserereignissen im Rhein führen.

5.4.7 Auswirkungen auf die Entwicklung von meteorologischen Extremereignissen

Von allen meteorologischen Extremereignissen weisen schwere Winterstürme das höchste Gefahrenpotenzial für Mitteleuropa auf (*Münchener Rück, 1999*). In den vergangenen beiden Jahrzehnten wurde dies vor allem durch die Sturmserien mit Vivian und Wiebke im Jahr 1990 und Anatol, Lothar und Martin im Jahr 1999 eindrücklich dokumentiert. Aufgrund ihrer großskaligen Ausdehnung sind Winterstürme durch Messdaten sehr gut erfasst und können daher auf direktem Weg statistisch ausgewertet werden. Im Gegensatz dazu weisen Gewitterstürme und Hagelschlag eine sehr starke lokale Begrenzung in der Größenordnung von mehreren Kilometern auf und sind deshalb schwieriger zu registrieren.

Eine Analyse der historischen Winterstürme ergab, dass von den neun schwersten Stürmen der vergangenen 200 Jahre in Baden-Württemberg allein sechs in die zweite Hälfte des 20. Jahrhunderts fallen.

An den Talstationen wie der Station Karlsruhe zeigt sich eine markante Zunahme der Böengeschwindigkeit. Die eingezeichnete lineare Ausgleichsgerade steigt von einem mittleren Wert von 18,8 m/s im Jahr 1952 auf 23,6 m/s in 2002 an. Der starken jährlichen Variabilität der Daten überlagert sind außerdem Schwankungen mit einer Periode von jeweils 5-10 Jahren, wie anhand des eingezeichneten 5-jährigen gleitenden Mittelwerts zu sehen ist.

An den Bergstationen wie der Station Feldberg kann dieser ausgeprägte Trend dagegen nicht beobachtet werden. Hier wird sogar eine leichte Abnahme der Geschwindigkeiten über den gesamten Zeitraum beobachtet, die sich insbesondere aus dem starken Rückgang in den 1990ern ergibt. Die Schwankungen mit einer Periode von jeweils 5-10 Jahren treten hier schwächer hervor als an der Station Karlsruhe.



Die Ursache für diese gegenläufigen Trends sind noch nicht abschließend geklärt, als eine Möglichkeit kommt jedoch die veränderte Schichtungsstabilität der Atmosphäre während Starkwindereignissen in Betracht.

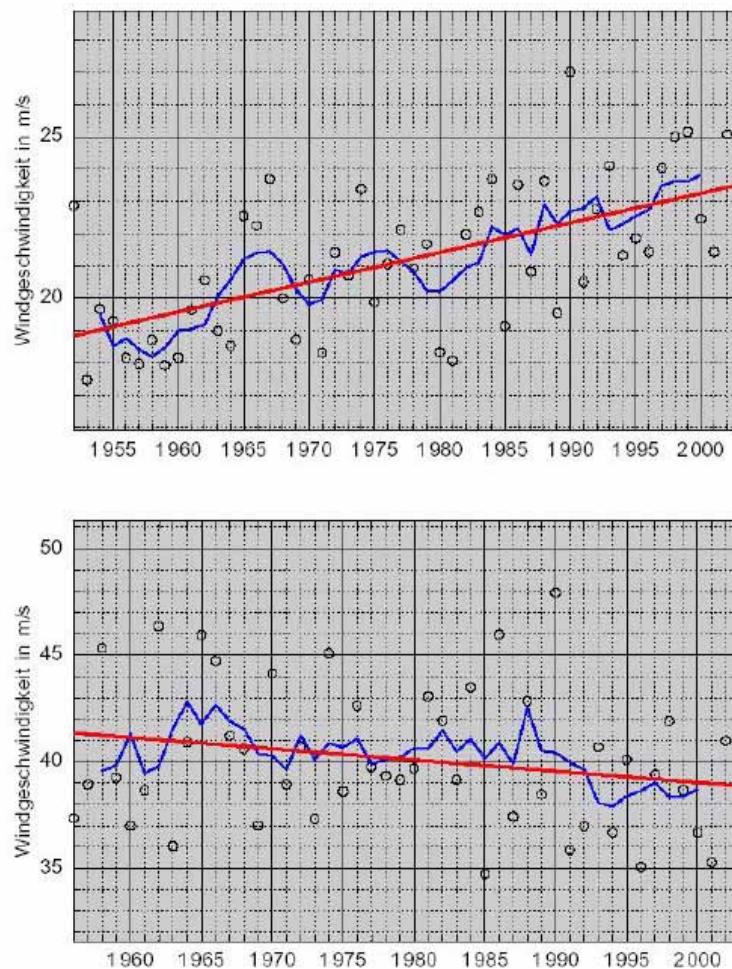


Abb. 9.5: Zeitreihe der höchsten Böengeschwindigkeiten (Jahresmittel der zehn höchsten Tagesmaxima) an den SYNOP-Stationen Karlsruhe (oben) und Feldberg (unten) für den Zeitraum 1952-2002 jeweils mit 5-jährigem gleitendem Mittel (blau) und linearer Ausgleichsgerade (rot).

Auf Grund der Auswertung von Gewitter- und Hagelereignissen kann der Eindruck gewonnen werden, dass das Potenzial für Hagel sowie insbesondere für schwere Gewitter zwischen zugenommen hat.



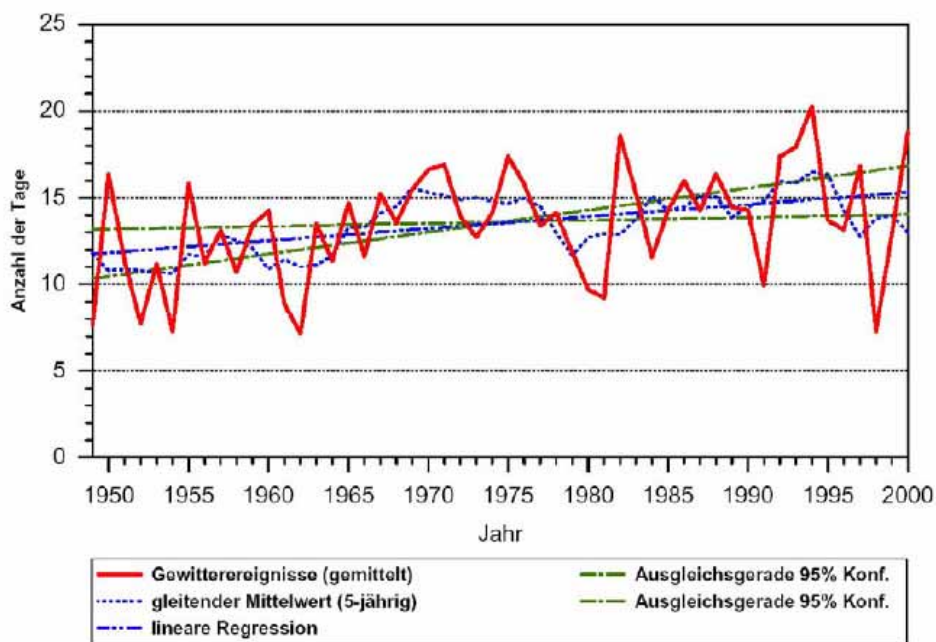


Abb. 9.1: Jährliche Anzahl der Gewittertage für den Zeitraum 1949-2000 als Mittelwert von 13 SYNOP-Stationen in Baden-Württemberg (rot). Zusätzlich sind der gleitende 5-Jahres-Mittelwert (blau gepunktet) und die lineare Regressionsgerade (blau) samt der beiden zugehörigen 95%-Konfidenz-Geraden (grün) eingezeichnet.

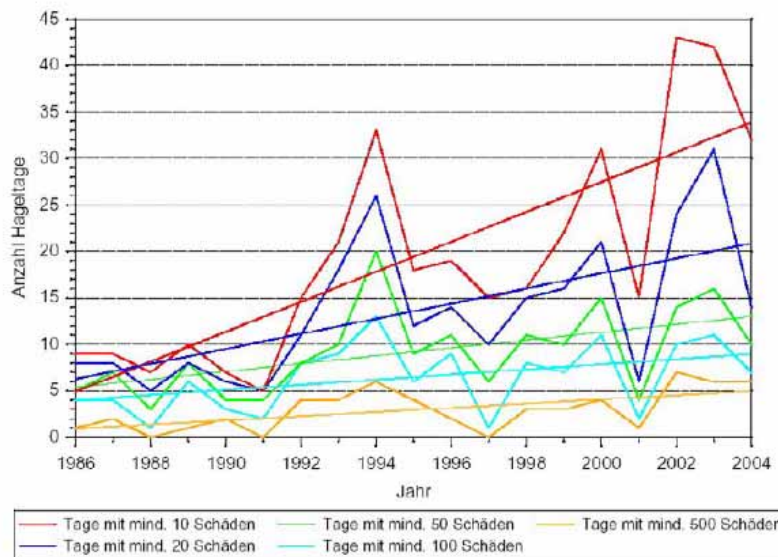


Abb. 9.4: Anzahl der Hageltage pro Jahr in Baden-Württemberg für den Zeitraum 1986-2004 für verschiedene Schwellwerte nach Daten der SV Versicherung. Hageltage wurden dabei definiert durch die Überschreitung verschiedener Schwellwerte an Schadenmeldungen.

Auch für einige Großwetterlagen, die im Zusammenhang mit meteorologischen Ereignissen mit großem Schadenspotenzial stehen, zeigen sich signifikante Veränderungen seit Anfang der 70er Jahre. So ist die



beobachtete Zunahme der Andauer der "Westlage zyklonal" im Winter sowohl für schwere Winterstürme (z.B. Sturm Lothar) als auch für Hochwasserereignisse als sehr kritisch anzusehen.

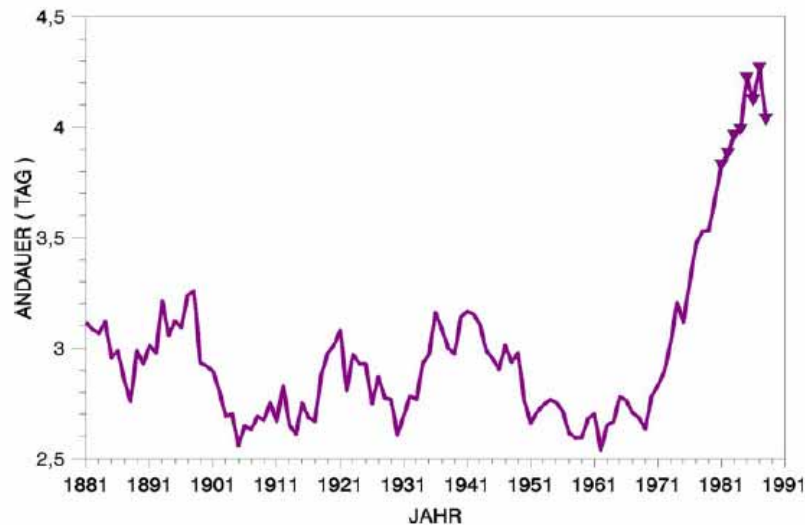


Abb. 9.6: Ergebnis einer statistischen Analyse von winterlichen Westwind-Wetterlagen in Europa für den Zeitraum 1881 bis 1991 (Fraedrich et al., 2001). Die Andauer in Tagen ist im zehnjährigen Mittel angegeben. Seit etwa 1970 nimmt sie signifikant zu. Diese Großwetterlagen sind auch mit Extremereignissen wie Starkregen und Stürmen verbunden, z.B. dem Sturm ‚Lothar‘ (26.12.1999).

Insgesamt kann aus den bisherigen Ergebnissen der vorsichtige Schluss gezogen werden, dass es in den vergangenen Jahrzehnten in Baden-Württemberg einerseits zu einer Zunahme an Gewitterereignissen gekommen ist, andererseits diese aufgrund der höheren verfügbaren Energie auch in ihrer Schwere zugenommen haben. Dieses vorläufige Ergebnis muss allerdings durch weitere Arbeiten bestätigt werden.

Die zukünftige Entwicklung meteorologischer Ereignisse wie Winterstürme, Gewitter und Hagel ist nicht ohne weiteres aus den gefundenen Trends zu projizieren. Zwar spricht manches dafür, dass man auch in Zukunft eher mit einer Zu- denn mit einer Abnahme zu rechnen hat, doch braucht man Simulationen mit Klimamodellen hoher regionaler bis lokaler Auflösung, um die Auswirkungen der Klimaänderung auf veränderte Zirkulationsmuster und Konvektionsbedingungen zu erfassen.

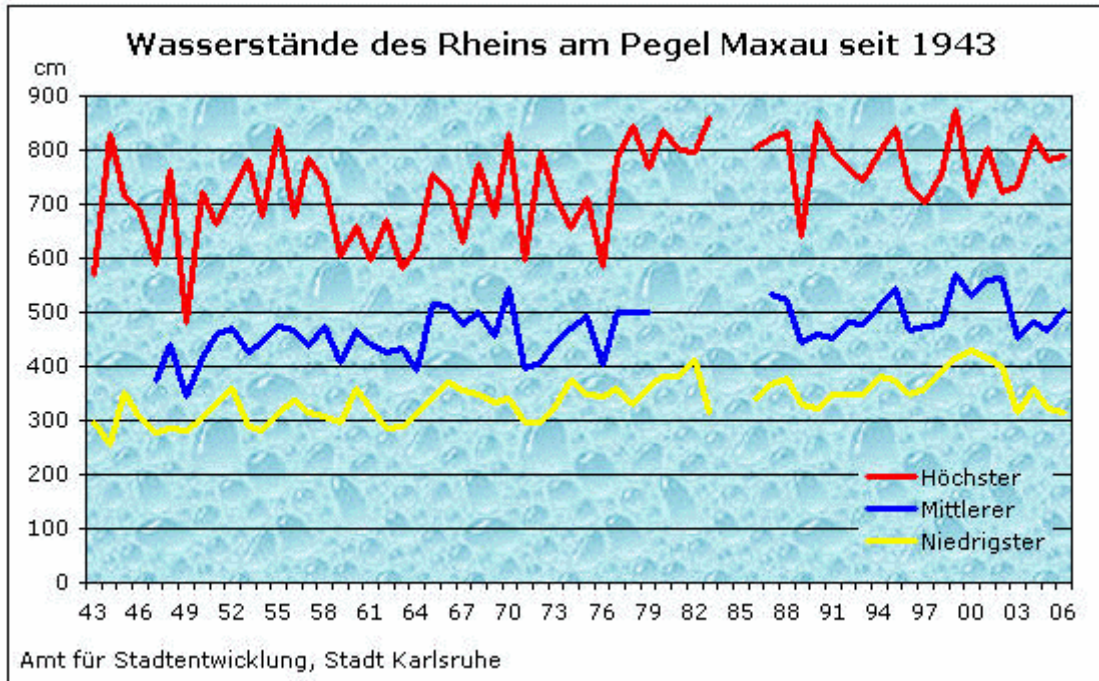
Als erste Konsequenz aus den bisherigen Erfahrungen haben die Wetterdienste ihr Informations- und Frühwarnsystem verbessert.

5.4.8 Auswirkungen auf die Hochwasserentwicklung

Die Prognosen zeigen, dass die Hochwasserabflüsse an fast allen Pegeln zunehmen werden. Die Berücksichtigung des Klimafaktors erfolgt durch einen Zuschlag zum Bemessungswert. Im Flusseinzugsgebiet des Neckars, das



bisher als Pilotgebiet untersucht wurde, wird die Annahme beim hundertjährigen Hochwasserabfluss rund 15% betragen.



Das höchste Hochwasser am Rhein wurde im Jahr 1999 registriert. Am Pegel Maxau war damals ein Höchststand von 8,83 Meter gemessen worden.

Auf den Erkenntnissen der o. a. Arbeitsgemeinschaft „KLIWA“ aufbauend hat Baden –Württemberg im Jahr 2005 einen Leitfaden zur Berücksichtigung der Auswirkungen der Klimaveränderung für den Zeithorizont 2020 bis 2050 hinsichtlich der zu erwartenden Intensität von Hochwasserereignissen herausgegeben. Demnach erhöhen sich voraussichtlich die Hochwasserspitzen.

Anpassungsplanungen der Stadtverwaltung:

Hochwasserereignisse mit hoher Jährlichkeit sind mit einem kleinen Faktor zu erhöhen, Szenarien mit geringerer Auftretenshäufigkeit müssen mit einem größeren Multiplikator versehen werden. Z. B. ist im Raum Karlsruhe ein 100-jährliches Hochwasser mit dem Faktor 1,15 zu multiplizieren, ein 20 bzw. 2 jährliches Hochwasser dagegen bereits mit 1,33 resp. 1,50 zu erhöhen.

Konkret ist den Städten Ettlingen und Karlsruhe der seit 1990 bestehende 100 jährliche Hochwasserschutz an der Alb verloren gegangen. Beide Städte haben deshalb vor einigen Jahren Planungen eingeleitet, diesen Schutzgrad wieder herzustellen. Die hydraulisch zweckmäßigste Lösung wäre ein Rückhaltebecken im Albtal.



5.4.9 Auswirkungen auf Grundwasserstände

Die Grundwasserneubildung findet im Winterhalbjahr statt. Es wird vermutet, dass die verstärkt erwarteten Niederschläge im Winterhalbjahr, einhergehend mit weniger Frosttagen und Schneefall, zu einer erhöhten Grundwasserneubildungsrate führen können. Gravierend wird dies jedoch vermutlich nicht sein, da große Flächenanteile des Stadtgebietes versiegelt sind und bei stärkeren, längeren Niederschlägen sehr viel Wasser oberflächlich abfließt. Am ehesten wäre die Versickerung von Regenwasser in den weniger versiegelten Hügelnbereichen Karlsruhes zu erwarten, die dann in der Rheinebene zu Grundwasseranstiegen führen könnten.

Gegenläufige Entwicklungen könnten durch längere Vegetationsperioden und vermehrte Grundwasserentnahme zur Bewässerung und für den Trinkwasserbedarf aufgrund steigender Zahl von Sommer- und Hitzetagen entstehen.

Die Pegelaufzeichnungen von 1956 - 2007 zeigen den Schwankungsbereich des Karlsruher Grundwassers auf. Die Aufzeichnungen der Grundwasserstände bewegen sich zwischen einem Maximum von 108,1 Meter ü. NN im Jahre 1958 bis zu einem Minimum von 105,7 Meter ü. NN Mitte der 70er Jahre.



Quelle: Stadt Karlsruhe, Tiefbauamt

Das Grundwasserdargebot in unserem Raum ist sehr ergiebig. Eine Beeinträchtigung der lokalen Trinkwassergewinnung durch den Klimawandel ist aus derzeitiger Sicht nicht zu erwarten.

5.4.10 Auswirkungen auf die Stadtentwässerung

In den letzten Jahren fielen in Karlsruhe wiederholt kleinräumig so starke Niederschläge, dass es kurzfristig zu einem Wassereinstau auf den Straßen kam. Solche extremen Starkregen wurden früher nicht festgestellt. Die Bürger werden über solche Gefährdungen durch Rückstau oder frei abfließendes Oberflächenwasser vorbeugend informiert



Vor 10 Jahren wurden die Anforderungen an das Kanalnetz bezüglich der abzuführenden Regenwassermengen um 30 % erhöht. In Karlsruhe sind es nur 0,3 % des rund 1100 km langen Kanalnetzes, die noch nicht diesen Anforderungen entsprechen.

5.4.11 Auswirkungen auf Arbeitsbedingungen

Die zunehmende Zahl von Hitzetagen kann sich zukünftig nachteilig auf die Arbeitsbedingungen von Arbeitnehmern im nicht klimatisierten Arbeitsbereich auswirken. Besonders betroffen sind Branchen mit körperlicher Arbeit im Freien. Mittagstemperaturen zwischen 30°C und 40°C, in manchen Situationen noch deutlich höher (z. B. Arbeiten auf Dächern) können gesundheitliche Beeinträchtigungen und eine Erhöhung der Unfallgefahr nach sich ziehen.

Nach der derzeit geltenden Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) vom 12.08.04 muss in Arbeitsräumen - unter Berücksichtigung der jeweiligen Arbeitstätigkeiten - eine gesundheitlich zuträgliche Raumtemperatur bestehen. Für die Beschäftigten gibt es zwar keinen Anspruch auf klimatisierte Räume oder „hitzefrei“. Der Arbeitgeber ist aber verpflichtet, die Arbeit so zu gestalten, dass eine gesundheitliche Gefährdung möglichst vermieden wird. Bei Arbeiten auf Baustellen bzw. im Freien haben Beschäftigte ebenfalls einen Anspruch darauf, vor Gesundheitsgefahren durch Witterungseinflüsse geschützt zu werden. Welche Anforderungen dabei zu berücksichtigen sind, ist im Rahmen einer Gefährdungsbeurteilung festzulegen.

Neben der kostenintensiven Einrichtung klimatisierter Arbeitsräume können auch organisatorische Maßnahmen, wie z. B. Anpassung des Arbeitszeit- und Pausenregimes in Betracht gezogen werden.

5.4.12 Information und Kommunikation

Die in diesem Bericht enthaltenen Punkte stellen lediglich eine aktuelle Zusammenfassung der derzeit bekannten und vorhersehbaren Entwicklungen dar. Der Klimawandel und dessen Folgen ist ein hochkomplexer Prozess. Es stehen noch viele unbeantwortete Fragen im Raum. Fast täglich werden neue Erkenntnisse bekanntgegeben, die zu einem besseren Verständnis der beobachteten Prozesse beitragen. Zum anderen sind zahlreiche Auswirkungen des Klimawandels direkter und indirekter Art heute noch nicht erkennbar.

Die Anpassung an die Folgen des Klimawandels erhält erst seit kurzer Zeit vermehrte Aufmerksamkeit, ist jedoch im Bewusstsein der Öffentlichkeit und von Entscheidungsträgern in Wirtschaft, Politik und Verwaltung noch weit unterrepräsentiert.



Vor diesem Hintergrund muss in einem ersten Schritt auf dem Weg zu einer an den Klimawandel angepassten Situation ein Risiko- aber auch Chancenbewusstsein geschaffen werden. Hierbei können und sollten das weithin bestehende Bewusstsein von der Existenz eines globalen Klimawandels ebenso genutzt werden, wie extreme Wetterereignisse (Starkniederschläge, Hitzeperioden etc.), die „Aufmerksamkeitsfenster“ für die Klimaproblematik darstellen.

In der Kommunikation der potenziellen Auswirkungen des Klimawandels sollten die bestehenden Unsicherheiten in den Szenarien transparent gemacht werden; ein Verzicht darauf führt langfristig zur Unglaubwürdigkeit, wenn konkrete Vorhersagen nicht eintreffen. Die Risiken des Klimawandels können zu Verdrängungsreaktionen oder sogar zu fatalistischen Reaktionen („Ich kann ja doch nichts tun.“) führen. Um diese Reaktionen von vornherein zu verhindern, sollte ein „Katastrophismus“ – d.h. die Betonung von potenziellen Klimafolgen katastrophalen Ausmaßes – vermieden und die Kommunikation von Risiken immer mit der Kommunikation von Anpassungsmöglichkeiten verbunden werden.

Die Schaffung eines Bewusstseins möglicher Auswirkungen des Klimawandels kann aber nur ein erster Schritt sein. Wenn es um konkrete Anpassungsentscheidungen geht – beispielsweise die Erhöhung von Dämmen aufgrund steigender Hochwassergefahr – wird die Unsicherheit der Folgen des Klimawandels, wie schon in der Kommunikation der Chancen und Risiken des Klimawandels, zu einer besonderen Herausforderung. Auf genauere Studien zu warten, bevor man Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel vornimmt, ist im Sinne des Vorsorgeprinzips eine unverantwortliche Strategie, denn der Klimawandel und seine Auswirkungen finden bereits statt.

Letztlich ist die Klimaanpassung – wie auch die Verminderung der Treibhausgasemissionen – eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe, zu der jeder einzelne Bürger, ebenso wie Akteure aus Wirtschaft, Politik, Verwaltung, Medien, Umweltverbänden, Bildung und Forschung beitragen können und sollten. Wissenschaft und Bildung kommen dabei aufgrund der Komplexität der Klimaproblematik eine entscheidende Bedeutung zu.



Der Verwaltung hat darüber hinaus auch eine besondere Informations- und Koordinationsfunktion für Anpassungsmaßnahmen in Privatwirtschaft und -haushalten.

Anpassungsplanungen der Stadtverwaltung:

Aufgreifen aktueller Erkenntnisse zum Klimawandel und Integration in Planungen der Stadt.

Thematisieren des Klimawandels im Bereich der Umweltpädagogik und allgemeinen Öffentlichkeitsarbeit

Erarbeiten von konkreten Anpassungsstrategien für verschiedene Einzelbereiche



Quellenverzeichnis:

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): 4. Sachstandsbericht 2007

Kommission der EU: Grünbuch der Europäischen Kommission - Anpassung an den Klimawandel in Europa - Optionen für Maßnahmen der EU, (KOM 2007/354 endgültig)

Konstantin Frhr. von Teuffel: Auswirkungen des Klimawandels auf den Wald in Baden-Württemberg, Vortrag vom 19.09.2007

Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW), Arbeitskreis "Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft" (KLIWA): KLIWA-Berichte

Landesanstalt für Umwelt, Messungen und, Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW): Naturschutz-Info 2/2007

Münchener Rück: Topics Geo Naturkatastrophen 2005

Münchener Rück: Topics Geo Naturkatastrophen 2006

Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung: KLARA -Projektbericht vom 30.06.2005

SPIEGEL ONLINE Bericht vom 23.10.07

Umweltbundesamt: Klimawandel in Deutschland 08/05

Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU): Welt im Wandel - Sicherheitsrisiko Klimawandel, 2007

Internetseiten zum Thema:

www.de-ipcc.de

www.kliwa.de

www.lubw.de

www.munichre.com

www.pik-potsdam.de

www.umweltbundesamt.de

www.wbgu.de

