

STELLUNGNAHME DES KLIMASACHVERSTÄNDIGENRATS

03.05.2023

Zur Fortschreibung der Strategie zur Anpassung an die Folgen des
Klimawandels in Baden-Württemberg

Maike Schmidt

Dirk Schindler

Almut Arneth

Sven Kesselring

Sabine Löbbe

Martin Pehnt

Klima-Sachverständigenrat:

Dipl.-Ing. Maike Schmidt (Vorsitzende)

Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW)
Meitnerstr. 1, 70563 Stuttgart
E-Mail: maike.schmidt@zsw-bw.de
Telefon: +49 711 78 70-250

Professor Dr. Dirk Schindler (Stellvertretender Vorsitzender)

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Werthmannstrasse 10, 79085 Freiburg
E-Mail: dirk.schindler@meteo.uni-freiburg.de
Telefon: +49 761 203 3588

Professor Dr. Almut Arneth

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Kreuzeckbahnstraße 19, 82467 Garmisch-Partenkirchen
E-Mail: almut.arneth@kit.edu
Telefon: +49 8821 183-131

Professor Dr. Sven Kesselring

Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen (HfWU)
Parkstraße 4, 73312 Geislingen
E-Mail: sven.kesselring@hfwu.de
Telefon: +49 7331 22525

Professor Dr. Sabine Löbbe

Hochschule Reutlingen
Alteburgstraße 150, 72762 Reutlingen
E-Mail: sabine.loebbe@reutlingen-university.de
Telefon: +49 7121 271-7127

Dr. Martin Pehnt

Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH (ifeu)
Wilckensstraße 3, 69120 Heidelberg
E-Mail: martin.pehnt@ifeu.de
Telefon: +49 6221 4767 0

Diese Stellungnahme beruht auch auf der sachkundigen und engagierten Arbeit unserer wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter:

Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW): **Laura Liebhart**

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg: **Dr. Christopher Jung**

Karlsruher Institut für Technologie (KIT): **Tobias Laimer**

Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen (HfWU): **Claus Seibt**

Hochschule Reutlingen: **Dr. André Hackbarth**

Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH (ifeu): **Dr. Sara Ortner**

Inhalt_Toc134003628

I. Vorwort	4
II. Allgemeine Anmerkungen zur Strategie	5
III. Teil 1: Klimaauswirkungen	7
a) Einleitung	7
b) Lufttemperatur als Leitgröße zur Quantifizierung des regionalen Klimawandels.....	8
c) Niederschlag als Leitgröße zur Quantifizierung des regionalen Klimawandels	12
d) Methodische Aspekte.....	18
IV. Teil 2: Charakteristika und Betroffenheit verschiedener Handlungsfelder	20
a) Systemischer Blick auf die Zusammenhänge.....	20
b) Handlungsfeld Wirtschaft und Energiewirtschaft.....	22
c) Handlungsfeld Querschnittsthema Bevölkerungsschutz	24
d) Handlungsfeld Wasser	25
e) Handlungsfeld Tourismus	26
f) Handlungsfeld Verkehr und Infrastrukturen.....	26
g) Handlungsfeld Stadt- und Raumplanung.....	27
V. Teil 3: Maßnahmenkatalog.....	27
VI. Schlussbemerkungen	30
VII. Literaturverzeichnis	32

I. Vorwort

Der Klima-Sachverständigenrat ist ein unabhängiges Gremium, das auf Basis von § 10 des Klimaschutzgesetzes Baden-Württemberg (KSG) in der Fassung vom 12. Oktober 2021 (GBl. 837) durch die Landesregierung berufen wurde. Gesetzlicher Auftrag des Klima-Sachverständigenrats ist es, die Landesregierung und den Landtag wissenschaftsbasiert, systemorientiert und sektorübergreifend zum Klimaschutz und zur Klimawandelanpassung zu beraten. Dies beinhaltet eine Evaluation des Klimaschutzfortschritts im Rahmen des jährlichen Monitorings ebenso wie die Beratung der Landesregierung bei der Umsetzung der Klimaschutzziele und der Klimawandelanpassungsstrategie, die Mitwirkung bei der Weiterentwicklung von Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen und ggf. das Vorschlagen eigener Maßnahmen.

Im Rahmen der Beteiligung an der Fortschreibung der Strategie zur Anpassung an den Klimawandel in Baden-Württemberg nach § 17 des Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetzes (KlimaG BW) wurde der Klima-Sachverständigenrat um Stellungnahme gebeten. Mit dem vorliegenden Dokument kommt der Klima-Sachverständigenrat seiner Beratungsfunktion nach. Im Fokus steht dabei eine konstruktiv-kritische Analyse zum Aufzeigen von Lücken und möglichen Unstimmigkeiten im vorliegenden Entwurf für die Fortschreibung der Strategie zur Anpassung an den Klimawandel in Baden-Württemberg. Dies erscheint besonders vor dem Hintergrund wichtig, dass sich Anpassungsmaßnahmen nicht nur auf bereits eingetretene Wirkungen des Klimawandels beziehen, sondern auch Schutz vor in Zukunft eintretenden Wirkungen bieten sollen. In diesem Zusammenhang sind die Grundannahmen zur Entwicklung des Klimawandels von besonderer Bedeutung, um nicht mit Maßnahmen auf Entwicklungen zu reagieren, die dann in der erwarteten Form nicht eintreten.

Aus Sicht des Klima-Sachverständigenrats muss es weiterhin oberstes Ziel sein, Klimaschutz als ökonomisches und gesellschaftliches Erfolgsmodell zu etablieren, da nur mit ausreichend wirksamen Klimaschutzmaßnahmen der Klimawandel auf ein Ausmaß begrenzt werden kann, welches Anpassung überhaupt erst möglich macht. Maßnahmen zur Klimawandelanpassung dürfen daher KEINEN Vorrang vor Klimaschutzmaßnahmen erhalten, müssen diese aber zwingend flankieren. Ohne eine Anpassung an die nicht mehr zu vermeidenden Folgen des Klimawandels, würden Baden-Württembergs Wirtschaft und Gesellschaft erheblichen Schaden nehmen.

II. Allgemeine Anmerkungen zur Strategie

Der vorliegende Entwurf zur Fortschreibung der Strategie zur Anpassung an den Klimawandel in Baden-Württemberg zeugt von einem umfassenden Verständnis der Problematik des Klimawandels und der daraus resultierenden Auswirkungen auf Baden-Württemberg. Im ersten Abschnitt „Welche Klimaauswirkungen sind für Baden-Württemberg zu erwarten?“ werden diese auf Grundlage der „Klimazukunft Baden-Württemberg - Was uns ohne effektiven Klimaschutz erwartet! Klimaleitplanken 2.0“¹ der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW) aus dem Jahr 2021 zunächst hergeleitet. Ergänzt wird diese Herleitung durch themenspezifische Mindmaps, die die jeweiligen möglichen Auswirkungen auf die unterschiedlichsten Bereiche von Wirtschaft, Gesellschaft und Natur skizzieren. Die vier thematischen Mindmaps umfassen dabei die Klimawirkungen „Hitze (Schwerpunkt urbane Räume)“, „Trockenheit und Niedrigwasser (Schwerpunkt ländlicher Raum)“, „Starkregen, Hochwasser und andere Extremereignisse“ sowie „Wandel von Lebensräumen und Arten“. Diese sind Ergebnis eines umfangreichen, ressortübergreifenden Entwicklungs- und Abstimmungsprozesses, der eigens für die Fortschreibung der Strategie zur Anpassung an den Klimawandel in Baden-Württemberg initiiert wurde. Die Projektion der Klimaleitplanken 2.0 basiert auf Ergebnissen von Klimamodellen. In der Analyse der vorgestellten Modellergebnisse hat der Klima-Sachverständigenrat Abweichungen der Modellergebnisse von den realen Messwerten der vergangenen Jahre in Baden-Württemberg identifiziert. Als wissenschaftliches Beratungsgremium sieht es der Klima-Sachverständigenrat als seine Aufgabe, auf derartige Zusammenhänge und Schwachstellen in Modellen hinzuweisen, damit Fehlinterpretationen der Ergebnisse und darauf basierend falsche Schlussfolgerungen vermieden werden können. Daher hat der Klima-Sachverständigenrat in dieser Stellungnahme zu den in Abschnitt 1 präsentierten Ergebnissen der Klimawandelanpassungsstrategie eigene Analysen und Plausibilitätsprüfungen durchgeführt, deren Ergebnisse in Kapitel III ausführlich dargestellt sind.

Der zweite Abschnitt der Klimawandelanpassungsstrategie (Kapitel IV der Stellungnahme) „Charakteristika und Betroffenheit verschiedener Handlungsfelder“ widmet sich der Fragestellung, wer und was in welcher Form von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen sein wird. Die Betrachtung bezieht sich dabei auf elf Handlungsfelder und nimmt eine Charakterisierung des jeweiligen Handlungsfelds und eine anschließende Analyse der Vulnerabilitäten bezüglich der Auswirkungen des Klimawandels vor. Der starke Fokus auf das jeweilige Handlungsfeld verstellt dabei manchmal den Blick auf die Auswirkungen im Gesamtsystem. Mögliche Wechselwirkungen mit anderen Handlungsfeldern werden dadurch oft nicht ausreichend adressiert. Dennoch stellen die Analysen eine gute Basis für die Ableitung der Maßnahmen im dritten Abschnitt „Was können wir tun? Maßnahmenkatalog mit Steckbriefen“ dar. Im Analyseteil wurde dabei jeweils analog zu Abschnitt 1 der Strategie auf die vier Hauptklimawirkungen eingegangen. In dieser Stellungnahme sieht es der Klima-Sachverständigenrat als seine Aufgabe, zum Abschnitt 2 der vorgelegten

¹ Riahi et al., The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview, 2017

Strategie. explizit auf systemische Zusammenhänge hinzuweisen. Dem widmet sich insbesondere die Analyse in Kapitel IV.

Allein der aufwendige auf ressortübergreifenden Workshops basierende Prozess zur Entwicklung und Abstimmung der Maßnahmen und weiterer Inhalte des vorgelegten Dokuments ist aus Sicht des Klima-Sachverständigenrats beispielgebend für weitere ressortübergreifende Prozesse, insbesondere auch zur Koordination von Strategien und Maßnahmen für den Klimaschutz. So sind etwa die Maßnahmenblätter ähnlich aufgebaut, wie der Klima-Sachverständigenrat und einige andere Akteure es für die Maßnahmen im Klima-Maßnahmen-Register (KMR) empfohlen haben. Die Strategie zur Anpassung an den Klimawandel zeigt, wie ressortübergreifende Zusammenarbeit erfolgreich Ergebnisse produzieren kann. Der Klima-Sachverständigenrat regt an, dieses prozessuale Vorgehen auch auf die Weiterentwicklung der Klimaschutzmaßnahmen im KMR zu übertragen. Auf die Maßnahmenblätter geht der Klima-Sachverständigenrat in dieser Stellungnahme nicht detailliert ein. In Kapitel V finden sich aber einige generelle Anmerkungen und Verbesserungsvorschläge für die weitere Fortschreibung des Maßnahmenkatalogs.

Ergebnis des umfangreichen Gesamtprozesses der Erarbeitung der Fortschreibung der Strategie zur Anpassung an den Klimawandel in Baden-Württemberg ist ein detailliertes Grundlagenpapier, das seinerseits an verschiedenen Stellen auf weitere Hintergrundpapiere verweist. Als solches stellt es eine wertvolle Informationsbasis dar, kann allerdings nicht handlungsleitend für die Politik oder andere Adressaten wirken, weil hierfür die notwendigen Schlussfolgerungen zum weiteren Vorgehen nicht präzise genug herausgearbeitet sind. So fehlen in den Fazits der jeweiligen Handlungsfelder prägnante Zusammenfassungen der Ergebnisse der Analysen mit klaren Ableitungen von Handlungserfordernissen, der Setzung von Prioritäten und der Skizzierung der nächsten Schritte, aus der sich dann unmittelbar die Maßnahmen ergeben.

Die Strategie ist sachlich und abwägend formuliert. Allerdings spiegelt sie die gesellschaftliche Bedrohungslage durch den Klimawandel häufig nicht ausreichend wider. Die Dringlichkeit und Brisanz der Lage erfordern von Politik und Verwaltung aktives und initiatives Handeln. Der vorliegende Text macht nicht deutlich genug, welche teils massiven Folgen es haben wird, wenn notwendige Entscheidungen nicht umgehend gefällt und Maßnahmen nicht ergriffen werden. Dies wird dadurch begünstigt, dass die Strategie weitgehend qualitativ beschreibend gestaltet ist und Quantifizierungen fehlen. Alle Themen stehen nahezu gleichwertig nebeneinander. Eine Priorisierung nach Dringlichkeit, Wirkmächtigkeit oder anderen Kriterien ist so kaum möglich. Das macht es schwer, unmittelbar Konsequenzen für die praktische Arbeit abzuleiten und lokale Strategien zu entwickeln.

An dieser Stelle möchte der Klima-Sachverständigenrat auf den Stern-Report² verweisen, der umfassend aufzeigt, dass es umso schwieriger, teurer und risikoreicher sein wird, sich an den Klimawandel anzupassen, je weiter dieser voranschreitet. Anpassungsstrategien sind dazu da, die schlimmsten negativen Folgen des Klimawandels für die Gesellschaft abzuwenden. Sie ersetzen

² Stern, Why are we waiting? The logic, urgency, and promise of tackling climate change, 2016

aber keinen echten Klimaschutz, der präventiv ausgerichtet ist und die sozial- und umweltverträgliche Reduktion der Treibhausgase zum Ziel hat. Dieser präventive Klimaschutz hat aus Sicht des Klima-Sachverständigenrats eindeutig Priorität.

Der Klima-Sachverständigenrat begrüßt, dass eine Kurzfassung der vorgelegten Strategie speziell für kommunale Adressaten erstellt werden soll, die die Kommunen in der Entwicklung eigener Klimawandelanpassungsstrategien und bei der Umsetzung von Maßnahmen unterstützt. Für die weitere Fortschreibung der Klimaanpassungsstrategie wird empfohlen, die operative Übersetzung der Landesstrategie auf kommunaler Ebene direkt mitaufzunehmen, um die Kommunen zu entlasten und deren beschleunigten Einstieg in die Umsetzung von Maßnahmen zu gewährleisten.

III. Teil 1: Klimaauswirkungen

a) Einleitung

Zur Beantwortung der Leitfrage „1. Welche Klimaveränderungen kommen auf Baden-Württemberg zu?“ müssen die bekannten gegenwärtig bestehenden, Klimawissenschaftler sprechen von rezenten, Entwicklungen und die in die Zukunft projizierten regionalen Klimaveränderungen passgenau quantifiziert werden. Die Quantifizierung der rezenten regionalen Klimaveränderungen basiert in den meisten Fällen auf der Analyse von Messdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD), die in unbearbeiteter oder bearbeiteter Form zur Beschreibung von Klimaveränderungen seit 1881 in Baden-Württemberg verwendet werden³. Die Quantifizierung der zukünftigen, grundsätzlich unbekanntes Klimaentwicklung erfolgt bis ins Jahr 2100 weitgehend auf der Grundlage von Klimamodelldaten, die unter der Annahme der globalen Klimaszenarien, die dem 5. Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) zugrunde liegen⁴, ausgewählt wurden.

Die rezente und zukünftige Klimaentwicklung wird im Dokument „Klimazukunft Baden-Württemberg - Was uns ohne effektiven Klimaschutz erwartet! Klimaleitplanken 2.0“ (Klimaleitplanken 2.0) für Baden-Württemberg behandelt⁵. Diese Abhandlung basiert weitgehend auf den klimaphysikalischen Leitgrößen Lufttemperatur und Niederschlag.

Dabei wurden die globalen Klimaszenarien (Representative Concentration Pathways, RCP) im Rahmen der Initiativen EURO-CORDEX⁶ und ReKliEs-De⁷ in der horizontalen Auflösung von 12 km u. a. für Baden-Württemberg regionalisiert⁵. Da die Klimaleitplanken 2.0 und die darin verwendeten Quellen die Grundlage für die Fortschreibung der Strategie zur Anpassung an den

³ DWD-CDC, Jährliche Gebietsmittel der Lufttemperatur (Jahresmittel) in °C (2 m Höhe), 2023

⁴ IPCC, 5. 5. Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen, 2013

⁵ LUBW, Klimazukunft Baden-Württemberg - Was uns ohne effektiven Klimaschutz erwartet - Klimaleitplanken 2.0, 2021

⁶ EURO-CORDEX, Coordinated Downscaling Experiment - European Domain, 2023

⁷ ReKliEs-De: Regionale Klimaprojektionen Ensemble für Deutschland, 2020

Klimawandel in Baden-Württemberg bilden, werden die aktuellen Versionen der globalen IPCC-Klimawandelszenarien¹, die dem 6. Sachstandsbericht des IPCC zugrunde liegen⁸ nicht zur Weiterentwicklung der Anpassungsstrategie verwendet. Dies bedeutet, dass der Strategie zur Anpassung an den Klimawandel in Baden-Württemberg nicht die neuesten verfügbaren Ergebnisse der Klimamodellrechnungen zugrunde liegen.

In der vorgelegten Strategie wird ausgeführt, dass aufgrund der sehr rasch ansteigenden mittleren globalen Lufttemperatur, das günstigste IPCC-Klimaszenario RCP 2.6 (Best Case) nicht als Grundlage verwendet wurde. Grundlage für die Klimawandelanpassung sind vielmehr die ungünstigeren Szenarien RCP 4.5 und RCP 8.5, wobei das Szenario RCP 8.5 für die ungünstigste Klimaentwicklung steht (Worst Case). Im Szenario RCP 8.5 werden auf globaler Skala nur sehr geringe Anstrengungen für den Klimaschutz unterstellt, die durch die fortgesetzte Emission großer Mengen von Treibhausgasen zum Ausdruck kommen. Im RCP 8.5-Szenario wird eine mittlere globale Lufttemperaturerhöhung im Jahr 2100 von rund 5,8 °C gegenüber der vorindustriellen Referenzperiode unterstellt⁸.

Sollte sich das zukünftige Klima gemäß dem Szenario RCP 8.5 entwickeln, sind die weitreichendsten Auswirkungen auf das menschliche Leben im Allgemeinen und das Leben in Baden-Württemberg zu erwarten. Gleichzeitig reduziert sich der Spielraum, sich an die immer weniger beherrschbaren Klimaveränderungen anzupassen. Der Klima-Sachverständigenrat begrüßt generell für die Klimawandelanpassung nach dem Vorsichtsprinzip vorzugehen und sich eher am Worst Case Szenario zu orientieren. Er möchte aber darauf hinweisen, dass dies ohne eine entsprechende Einordnung auch so verstanden werden kann, dass durch die Verwendung der Szenarien RCP 4.5 und RCP 8.5 impliziert wird, dass das Erreichen des globalen 1,5 °C-Lufttemperaturziels als unwahrscheinlich angesehen wird.

b) Lufttemperatur als Leitgröße zur Quantifizierung des regionalen Klimawandels

Die wichtigste Leitgröße zur Interpretation und Quantifizierung des derzeit ablaufenden und künftig zu erwartenden globalen und regionalen Klimawandels ist die Lufttemperatur. Sie steht neben der zweiten Leitgröße Niederschlag im Zentrum der Klimaleitplanken 2.0, die als Grundlage für die Entwicklung und Ausgestaltung von Maßnahmen zur Anpassung an den regionalen Klimawandel in Baden-Württemberg dienen.

Da das Jahr 2022 seit 1881 das wärmste Jahr in Baden-Württemberg war, hat sich der Klima-Sachverständigenrat in einem Kurzpapier mit der Quantifizierung der klimawandelbedingten Entwicklung der Lufttemperatur in Baden-Württemberg auseinandergesetzt⁹. Die Schlussfolgerungen, die man dem Kurzpapier entnehmen und aus den diskutierten Ergebnissen ziehen kann, sollen in die Kommentierung der Strategie zur Anpassung an den Klimawandel einfließen. Für die vorliegende Kommentierung hat der Klima-Sachverständigenrat zusätzlich

⁸ Meinshausen et al., The shared socio-economic pathway (SSP) greenhouse gas concentrations and their extensions to 2500, 2023

⁹ Schmidt et al., Klimawandelbedingter Lufttemperaturanstieg in Baden-Württemberg seit 1881. Kurzpapier des Klima-Sachverständigenrats Baden-Württemberg, 2023

eigene Analysen zur klimawandelbedingten Entwicklung des Gebietsniederschlags 1881-2022 in Baden-Württemberg durchgeführt. Die intensive Auseinandersetzung mit der klimawandelbedingten Niederschlagsentwicklung ergibt sich durch die lebenswichtige Bedeutung von Wasser für alle in der Anpassungsstrategie adressierten Handlungsfelder. Gleichwohl sieht sich der Klima-Sachverständigenrat aufgrund der zur Verfügung stehenden Zeit und Ressourcen nicht in der Lage, zu allen Aspekten, die unter den Klimaleitplanken 2.0 subsummiert sind und das dringend erforderliche Klimaanpassungshandeln leiten sollen, durch eigene Untersuchungen Diskussionsbeiträge und Denkanstöße zu liefern.

Zur Erstellung der folgenden Ergebnisse zur klimawandelbedingten Lufttemperatur- und Niederschlagsänderung in Baden-Württemberg wurden jahreszeitliche und jährliche Gebietswerte verwendet, die der DWD über das Climate Data Center (CDC) für die Bundesländer und Kombinationen von Bundesländern veröffentlicht³. Die Gebietswerte stehen für den Zeitraum 1881-2022 zur Verfügung. Eine ausführliche Dokumentation der Herleitung und Berechnung des klimawandelbedingten Lufttemperaturanstiegs 1881-2022 in Baden-Württemberg findet sich in Schmidt et al.⁹

Aus der Abbildung 1 (a) geht hervor, dass sich der Lufttemperaturanstieg in Baden-Württemberg hin zur Gegenwart massiv beschleunigt hat. Eine Trendgerade, die über den gesamten Untersuchungszeitraum zur Quantifizierung des linearen klimawandelbedingten Lufttemperaturanstiegs berechnet wird, kann diese Beschleunigung nicht abbilden, da sie über ihre Steigung für alle Jahre eine konstante Lufttemperaturänderung wiedergibt und damit den sich beschleunigenden klimawandelbedingten Lufttemperaturanstieg vor allem seit den 1980er Jahren in Baden-Württemberg unterschätzt. Entlang dieser Geraden steigt die Lufttemperatur im gesamten Untersuchungszeitraum klimawandelbedingt um rund 1,6 °C an.

Berechnet man über immer kürzere Zeiträume Trendgeraden, kann man die Beschleunigung des klimawandelbedingten Lufttemperaturanstiegs in Baden-Württemberg veranschaulichen. Trendgeraden, die für die Zeiträume 1921-2022, 1951-2022 und 1981-2022 berechnet wurden, weisen höhere Steigungswerte auf. Der mittlere klimawandelbedingte Lufttemperaturanstieg beläuft sich im gesamten Untersuchungszeitraum in Baden-Württemberg pro Jahrzehnt auf 0,11 °C. Im verkürzten Zeitraum 1921-2022 beträgt der mittlere dekadische Lufttemperaturanstieg 0,16 °C. Ab dem Jahr 1951 steigt der mittlere 10-jährige Lufttemperaturwert bedingt durch den menschengemachten Klimawandel um 0,28 °C. Der größte klimawandelbedingte Lufttemperaturanstieg ergibt sich mit 0,41 °C pro Jahrzehnt ab 1981 entlang der entsprechenden Trendgeraden, woraus eine Gesamterhöhung der Lufttemperatur von mindestens 1,6 °C allein in den vergangenen 40 Jahren resultiert.

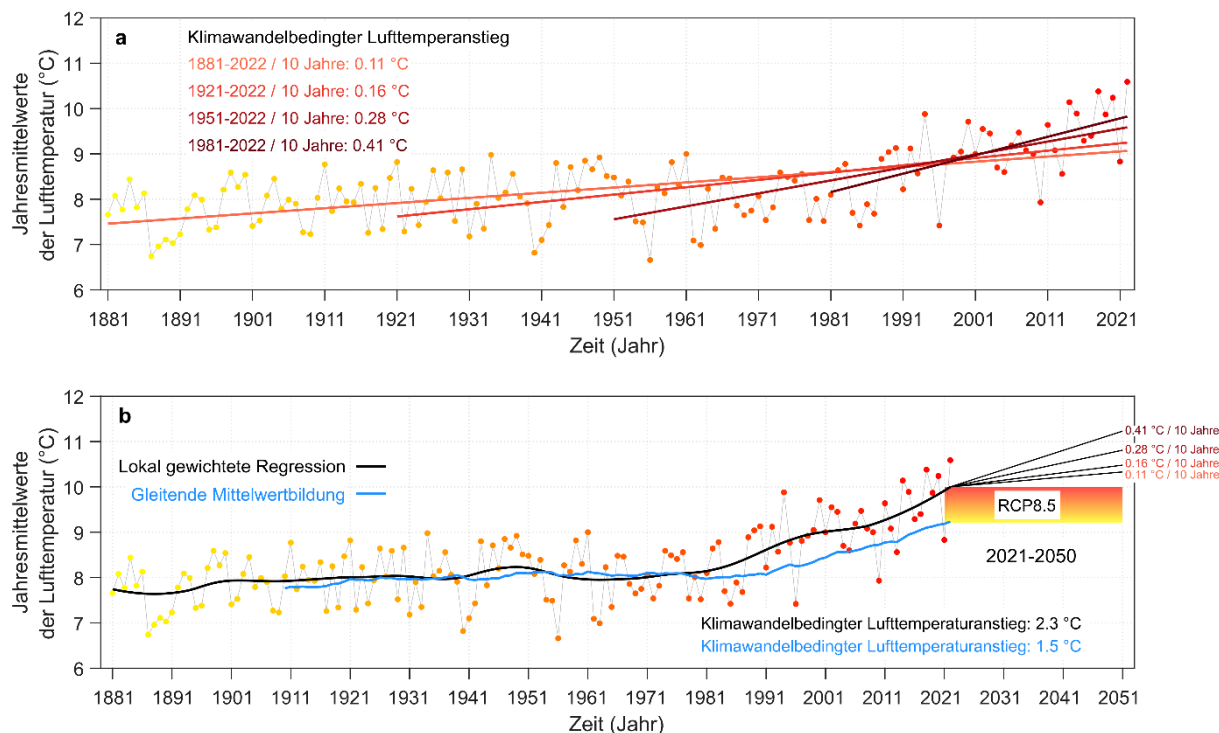


Abbildung 1: (a) Klimawandelbedingter Lufttemperanstieg in Baden-Württemberg in den Zeiträumen 1881-2022 (142 Jahre), 1921-2022 (102 Jahre), 1951-2022 (72 Jahre) und 1981-2022 (42 Jahre) quantifiziert entlang von Geraden. Aus der mittleren jährlichen Steigung der Geraden wurde der jeweilige mittlere 10-jährige Lufttemperanstieg berechnet. (b) Verknüpfung des klimawandelbedingten Lufttemperanstiegs 1881-2022, der auf der Grundlage von 30-jährigen lokalgewichteten Regressionen (schwarze Linie) und gleitender Mittelwerte (blaue Linie) quantifiziert wurde.

Das Verfahren, das im Rahmen der Klimaleitplanken 2.0 zur Quantifizierung des rezenten klimawandelbedingten Lufttemperanstiegs in Baden-Württemberg verwendet wird, ist eine gleichgewichtete gleitende Mittelwertbildung über geradzahlige 30-jährige Zeiträume. Bei dieser Form der gleitenden Mittelwertbildung berechnet sich der jeweils letzte gleitende Mittelwert aus dem aktuellen und den 29 vorherigen Jahresmittelwerten der Lufttemperatur. Methodisch bedingt weisen die gleitenden Mittelwerte, die zur Charakterisierung des klimawandelbedingten Lufttemperanstiegs dienen sollen, eine Verzögerung von 14 bis 15 Jahren auf. Bei der Betrachtung von Abbildung 1 (b) wird deutlich, dass ab den 1980er Jahren die gleitenden Mittelwerte nicht mehr in der Lage sind, die zeitliche Entwicklung des klimawandelbedingten Lufttemperanstiegs realistisch wiederzugeben, was schon allein dadurch zum Ausdruck kommt, dass nur acht von 42 Jahresmittelwerten unterhalb der blauen Kurve liegen, die die Entwicklung der gleitenden Mittelwerte darstellt. Durch die Verwendung gleitender Mittelwerte ergibt sich im Land seit 1881 ein klimawandelbedingter Lufttemperanstieg von 1,5 °C, der am unteren Rand der Klimaprojektionen für den Zeitraum 2021-2050 unter der Annahme des ungünstigsten Szenarios RCP 8.5 liegt.

Zur Quantifizierung des klimawandelbedingten Lufttemperanstiegs verfolgen Schmidt et al.⁹ einen anderen Ansatz. Sie berechnen zur Quantifizierung des klimawandelbedingten Lufttemperanstiegs eine Ausgleichskurve auf der Grundlage eines Ensembles von lokal gewichteten Regressionen, die dem sich in Richtung Gegenwart zunehmend beschleunigenden

klimawandelbedingten Lufttemperaturanstieg folgen. Der mit dieser Methode für Baden-Württemberg berechnete Lufttemperaturanstieg beläuft sich auf 2,3 °C. Er liegt 2022 mit 0,8 °C über dem Lufttemperaturanstieg, der sich durch die Verwendung der gleitenden Mittelwerte im Rahmen der Klimaleitplanken 2.0 ergibt. Unter der Annahme dieses deutlich stärkeren Lufttemperaturanstiegs von +2,3 °C werden bereits 2022 die höchsten, für 2021-2050 mit Klimamodellen im ungünstigen globalen IPCC-Szenario RCP 8.5 projizierten, Lufttemperaturwerte erreicht.

Unterstellt man bis 2050 die mittleren 10-jährigen Steigungen, die in Abbildung 1 (a) für die Zeiträume 1881-2022, 1921-2022, 1951-2022 und 1981-2022 zur Quantifizierung des klimawandelbedingten Lufttemperaturanstiegs veranschaulicht wurden, dann wird klar, dass mit dem ungünstigsten globalen RCP-Szenario die gegenwärtige Lufttemperaturentwicklung in Baden-Württemberg unterschätzt wird. Selbst wenn die Lufttemperatur in den kommenden 30 Jahren keinem weiteren klimawandelbedingten Anstieg unterliegen würde, hätte sie bereits 2022 den Wert erreicht, der als Klimaleitplanke für die Anpassung an den ungünstigen zukünftigen Verlauf der Lufttemperatur im Rahmen der Klimawandelanpassungsstrategie verwendet wird.

Zur Einordnung der Ergebnisse der beiden unterschiedlichen Ansätze zur Berechnung der klimawandelbedingten Lufttemperaturentwicklungen lohnt sich ein Blick über die Grenzen Baden-Württembergs hinaus. Die Weltorganisation für Meteorologie (WMO) gibt für Europa einen Erwärmungstrend in den vergangenen Jahrzehnten an, der dem Erwärmungstrend, der von Schmidt et al.⁹ berechnet wurde, sehr ähnlich ist¹⁰. Die WMO geht davon aus, dass sich Europa (WMO Region VI) im Zeitraum 1991-2021 klimawandelbedingt um 0,5 °C pro Jahrzehnt erwärmt hat. Europa ist damit der Kontinent, der sich infolge des globalen Klimawandels stärker als alle anderen Kontinente erwärmt. Zu einer gleichlautenden Einschätzung der klimawandelbedingten Lufttemperaturänderung in Europa kommt der Copernicus Climate Change Service (C3S) der Europäischen Union. Er gibt die rezente klimawandelbedingte Lufttemperaturänderung im Jahr 2022 gegenüber dem Lufttemperaturmittelwert 1850-1900 mit 2,2 °C an¹¹. C3S geht weiterhin davon aus, sollte die globale Erwärmungsrate weiter so steigen wie seit dem Beginn der 1990er Jahre, dass eine globale Erwärmung von 1,5 °C sehr wahrscheinlich bereits im Jahr 2034 erreicht wird¹². Wenn man den regionalen klimawandelbedingten Lufttemperaturanstieg der letzten 40 Jahre unterstellt, der rund doppelt so hoch ausfällt wie der derzeitige globale klimawandelbedingte Lufttemperaturanstieg, bedeutet dies, dass sich Baden-Württemberg bis zum Jahr 2040 um rund 3,0 °C erwärmt haben wird (Schmidt et al.)⁹.

Ein Grund dafür, dass der gemessene klimawandelbedingte Lufttemperaturanstieg bereits heute das, durch regionale Klimamodelle projizierte, Lufttemperaturniveau 2021-2050 erreicht hat, ist, dass Klimamodelle seit den 1970er Jahren das Lufttemperaturniveau im Land unterschätzen. Die 10-jährige Lufttemperaturdifferenz zwischen den auf Messdaten beruhenden Gebietsmittelwerten

¹⁰ WMO, State of the Climate in Europe 2021, 2022

¹¹ C3S, Climate Key Indicators: Temperature, 2023

¹² C3S, How close are we to reaching a global warming of 1.5°C?, 2023

und den Gebietsmittelwerten, die durch 34 verfügbare EURO-CORDEX⁶- und ReKliEs-De-Modelle⁷ simuliert werden, wächst von +0,2 °C im Jahrzehnt 1971-1980 auf +0,5 °C im Jahrzehnt 2011-2020 an (Abbildung 2). Zum Ausgleich der anwachsenden Lufttemperaturdifferenz wäre eine rollierende Korrektur des modellierten Lufttemperaturniveaus notwendig. Ohne diese Korrektur wird der über die Klimamodelle abgebildete klimawandelbedingte Lufttemperaturanstieg in Baden-Württemberg zunehmend unterschätzt.

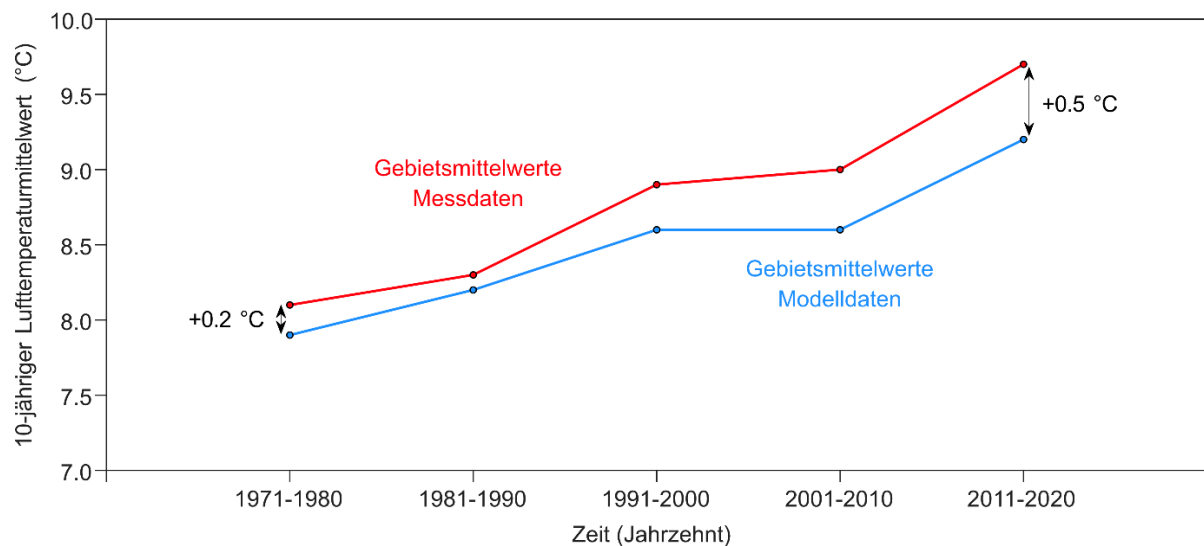


Abbildung 2: Vergleich zwischen 10-jährigen Gebietsmittelwerten der Lufttemperatur, die auf der Grundlage von Messdaten des Deutschen Wetterdienstes und 34 regionalen Klimamodellen im Zeitraum 1971-2020 für Baden-Württemberg berechnet wurden.

Der Klima-Sachverständigenrat möchte mit dieser Analyse eindringlich darauf hinweisen, dass die der Fortschreibung der Strategie zur Anpassung an den Klimawandel für Baden-Württemberg zugrunde liegenden Klimamodelle die regionale Entwicklung des Lufttemperaturanstiegs in Baden-Württemberg massiv unterschätzen. Dies führt in der Konsequenz auch zu einer Unterschätzung der Auswirkungen des Klimawandels und damit möglicherweise zu Maßnahmen mit zu geringer Intensität oder zum Nichtergreifen von Maßnahmen.

c) Niederschlag als Leitgröße zur Quantifizierung des regionalen Klimawandels

Zur Untersuchung der rezenten klimawandelbedingten Veränderung des Gebietsniederschlags in Baden-Württemberg wendet der Klima-Sachverständigenrat eine zur Untersuchung des klimawandelbedingten Lufttemperaturanstiegs ähnliche Vorgehensweise an. Die Abbildung 3 veranschaulicht neben den jährlichen Niederschlagssummen, die die DWD-Gebietsmittelwerte 1881-2022 repräsentieren, vier Trendgeraden für die Zeiträume 1881-2022, 1921-2022, 1951-2022 und 1981-2022.

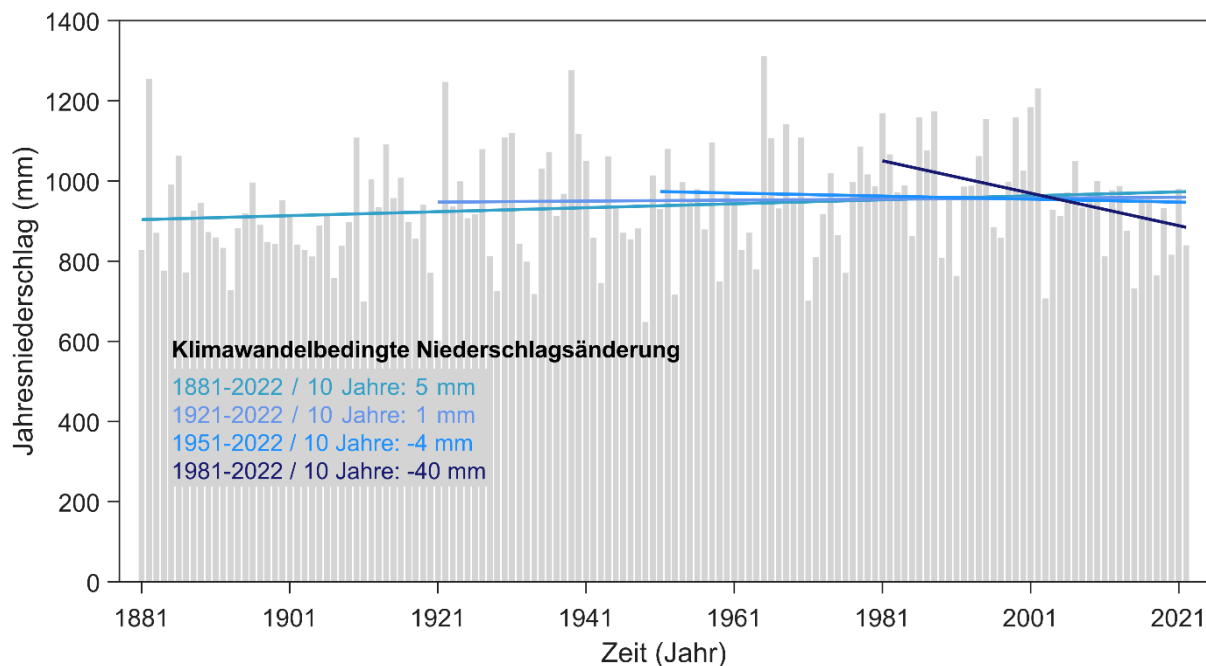


Abbildung 3: Jahressummen des Niederschlags 1881-2022 in Baden-Württemberg. Die in unterschiedlichen Blautönen eingefärbten Geraden kennzeichnen die klimawandelbedingte Änderung der jährlichen Niederschlagssumme in den Zeiträumen 1881-2022, 1921-2022, 1951-2022 und 1981-2022.

Die unterschiedlichen Längen der Trendgeraden führen zu unterschiedlichen mittleren klimawandelbedingten Veränderungen der jährlichen Niederschlagssummen in Baden-Württemberg. Im Gegensatz zum klimawandelbedingten Lufttemperaturanstieg ändert sich nicht nur der Betrag der klimawandelbedingten Niederschlagsentwicklung, sondern auch die Richtung. Über den gesamten Untersuchungszeitraum 1881-2022 steigt die Trendgerade signifikant (= überzufällig) an (Mann-Kendall-Test, Signifikanzniveau $\alpha = 0.05$). Die mittlere 10-jährige Zunahme der jährlichen Niederschlagssummen beträgt 5 mm. Für den Zeitraum 1921-2022 weist die Trendgerade ebenfalls eine positive, aber nicht signifikante Steigung auf. Damit verbunden ist eine mittlere 10-jährige Zunahme des jährlichen Niederschlags von 1 mm. Von 1951 bis 2022 weist die Trendgerade eine negative, nicht signifikante Steigung auf, die einem mittleren dekadischen Rückgang des jährlichen Niederschlags von 4 mm entspricht. Seit 1981 nimmt die jährliche Niederschlagssumme im Mittel signifikant alle zehn Jahre um 40 mm ab. Der gesamte Rückgang der jährlichen Niederschlagssumme entspricht 168 mm, was einer Reduktion um rund 17 % gegenüber der mittleren 30-jährigen jährlichen Niederschlagssumme in der Klimanormalperiode 1961-1990 gleichkommt.

Betrachtet man den Gebietsniederschlag in Baden-Württemberg über unterschiedlich lange Zeiträume, kommt man zu unterschiedlichen Interpretationen des Klimawandeleinflusses auf seine langfristige Entwicklung. Je länger der Betrachtungszeitraum, desto eher deutet sich eine Zunahme der Jahresniederschläge an. Beim kürzesten dargestellten Zeitraum deutet sich dagegen eine massive Abnahme der Jahresniederschlagssummen in den vergangenen vier Jahrzehnten an. Insbesondere seit dem Jahr 2003 ist ein sprunghafter Rückgang der Jahresniederschlagssummen zu erkennen, der sich bis 2022 fortsetzt.

Im Gegensatz zur klimawandelbedingten Lufttemperaturentwicklung, die 1881-2022 eine gleichbleibende Richtung aufweist, ändert sich die Richtung der klimawandelbedingten Niederschlagsentwicklung hin zur Gegenwart. Die Richtungsänderung, die seit 1981 über eine Trendgerade abgebildet wird, ist ein wichtiger Ausdruck für die Entwicklung des Wasserdargebots aus der Atmosphäre und der Wasserverfügbarkeit am und im Boden. Sollte sich diese Entwicklung fortsetzen, so ist im weiteren Verlauf des 21. Jahrhunderts in Baden-Württemberg auf Jahresbasis mit deutlich weniger Wasser zu rechnen als im 20. Jahrhundert.

Dass der langfristige Rückgang der jährlichen Gebietsniederschlagssummen von der Vergangenheit hin zur Gegenwart auffällig ist, lässt sich mit den Ergebnissen, die in Abbildung 4 zur Veränderung der Steigung von Trendgeraden mit einer Länge von 142 Jahren (1881-2022) bis 30 Jahren (1993-2022) zu sehen sind, veranschaulichen (blaue, gepunktete Linie). Die Trendgeradenlängen, bei denen die Steigung der Geraden signifikant ist, sind mit einem grünen Punkt gekennzeichnet. Die Langfristigkeit der Steigungswertänderungen wird mit einer Exponentialfunktion zweiten Grades angenähert (rote, gestrichelte Linie). Mit Hilfe des Bestimmtheitsmaßes (R^2) wird die Varianzerklärung durch diese Ausgleichskurven quantifiziert.

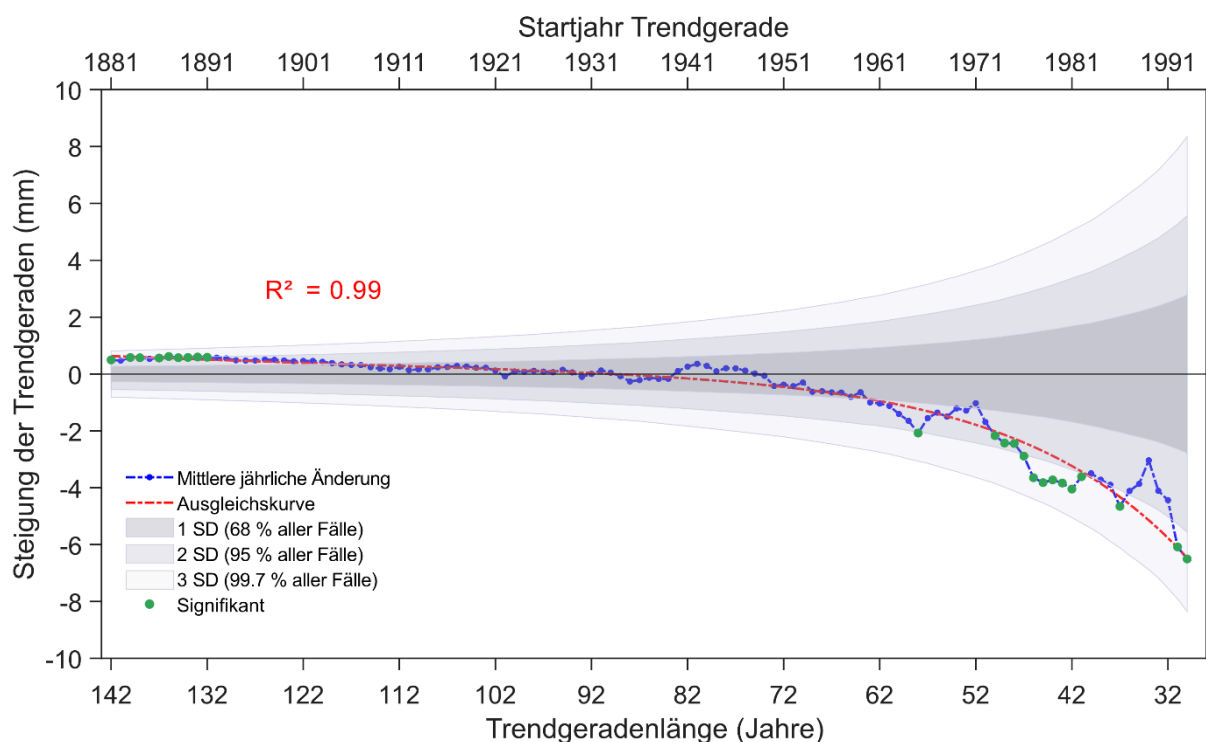


Abbildung 4: Steigung von Trendgeraden (blaue, gepunktete Linie) mit Längen von 142 bis 30 Jahren im Zeitraum 1881-2022 in Baden-Württemberg. Trendgeradenlängen, mit denen eine signifikante Steigung verbunden ist, sind mit einem grünen Punkt gekennzeichnet. Die Langfristigkeit der Trendgeradensteigung wird mit einer Ausgleichskurve angenähert, die auf der Grundlage einer Exponentialfunktion zweiten Grades berechnet wurde. Die grauen Flächen geben die Streubreite der Trendgeradensteigungswerte als einfache (1 SD, in beide Richtungen von der Nulllinie aus), zweifache (2 SD) und dreifache (3 SD) Standardabweichung für die untersuchten Trendgeradenlängen an.

Für die statistische Einordnung der Trendgeradensteigungswerte im Untersuchungszeitraum wurde zunächst eine logistische Verteilungsfunktion an die jährlichen Niederschlagssummen 1881-2022 angepasst. Die Anpassungsgüte wurde mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test für zwei

Stichproben überprüft (Signifikanzniveau $\alpha = 0.05$). Nach der Anpassung der logistischen Verteilungsfunktion wurde eine Monte-Carlo-Simulation der Niederschlagswerte im Untersuchungszeitraum mit 10.000 Wiederholungen durchgeführt, um Aussagen über die Streubreite der Steigungswerte in Abhängigkeit der Trendgeradenlänge treffen zu können. Dafür wurden für jede Wiederholung die Steigungswerte für alle 113 untersuchten Trendgeradenlängen berechnet. Über die aus der Monte-Carlo-Simulation für alle Trendgeradenlängen jeweils resultierenden 10.000 Steigungswerte wurde die Streubreite mit der ein- bis dreifachen Standardabweichung (SD) charakterisiert. Da die simulierten Steigungswerte für alle Trendgeradenlängen normalverteilt (Kolmogorov-Smirnov-Test, Signifikanzniveau $\alpha = 0.05$) waren, befinden sich rund 68 % der Steigungswerte im Intervall von der Breite von zwei Standardabweichungen (ein Intervall nach oben und unten, 1 SD) um die Nulllinie. Rund 95 % aller Steigungswerte befinden sich im Intervall von der Breite von vier Standardabweichungen (zwei Intervalle nach oben und unten, 2 SD) um die Nulllinie. Bei der Verwendung der dreifachen Standardabweichung befinden sich 99,7 % aller Steigungswerte im Intervall von der Breite von sechs Standardabweichungen (drei Intervalle nach oben und unten, 3 SD) um die Nulllinie.

Die Streubreite der Steigungswerte steigt mit kürzer werdenden Trendgeraden steil an. Die größten Streubreiten werden für die kürzesten Trendgeraden mit einer Länge von 30 Jahren berechnet. Auffällig ist, dass die Steigungswerte in den ersten 24 Jahren bis zur einer Trendgeradenlänge von 119 Jahren, die mit dem Startjahr 1904 verbunden ist, die höchsten positiven Werte aufweist. Die Werte liegen alle weit entfernt von der Nulllinie im 2 SD- und 3 SD-Bereich und sind vielfach signifikant. Danach verringern sich die Steigungswerte mit kürzer werdender Trendgeradenlänge bis zur Nulllinie. Die Nulllinie wird durch die Ausgleichskurve, die mit einer Varianzerklärung von 99 % sehr gut an die Steigungswerte angepasst werden konnte, bei einer Trendgeradenlänge von 89 Jahren, die mit dem Startjahr 1934 verbunden ist, geschnitten. Für alle kürzeren Trendgeradenlängen sind die Ausgleichskurvenwerte negativ. Ab einer Trendgeradenlänge von 63 Jahren, die mit dem Startjahr 1960 verbunden ist, haben sich die Steigungswerte, die durch die Ausgleichskurve beschrieben werden, um mindestens 1 SD von der Nulllinie entfernt und sind damit deutlich negativer als in den Jahrzehnten zuvor. Alle folgenden Trendgeradenlängen führen zu negativen Steigungswerten entlang der Ausgleichskurve, die sich in Richtung Gegenwart immer weiter von der Nulllinie entfernen und im 2 SD- und 3 SD-Bereich liegen.

Bei einer Trendgeradenlänge von 58 Jahren, die mit dem Startjahr 1965 verbunden ist, wird erstmals ein signifikanter langfristiger Rückgang der Jahresniederschlagssummen identifiziert. Ab einer Trendgeradenlänge von 52 Jahren, die mit dem Startjahr 1971 verbunden ist, sind die Steigungswerte vielfach signifikant negativ. Trotz eines kurzen, mehrjährigen Anstiegs der Steigungswerte bei Trendgeradenlängen von 36 bis 34 Jahren, treten die negativsten Steigungswerte bei den kürzesten Trendgeradenlängen auf.

Im Gegensatz zur Lufttemperatur ändert sich bei der langfristigen Niederschlagsentwicklung im Untersuchungszeitraum das Vorzeichen von Trendgeraden, die zur Abschätzung des Klimawandeleinflusses herangezogen werden. Die nicht signifikante Vorzeichenänderung tritt im Jahr 1934 bei einer Trendgeradenlänge von 89 Jahren ein. Seitdem ist die langfristige

Niederschlagsentwicklung in Baden-Württemberg, wenn auch nicht durchgängig statistisch signifikant, rückläufig. Die stärksten Niederschlagsrückgänge sind seit rund 40 Jahren zu verzeichnen.

Da neben der langfristigen Entwicklung der jährlichen Niederschlagssummen auch die langfristige Entwicklung der Verteilung der Niederschläge innerhalb eines Jahres eine enorme Bedeutung für die Verfügbarkeit von Wasser hat, sind in der Abbildung 5 die jahreszeitlichen Niederschlagssummen 1881-2022 im Winter (Dezember, Januar, Februar), Frühling (März, April, Mai), Sommer (Juni, Juli, August) und Herbst (September, Oktober, November) veranschaulicht.

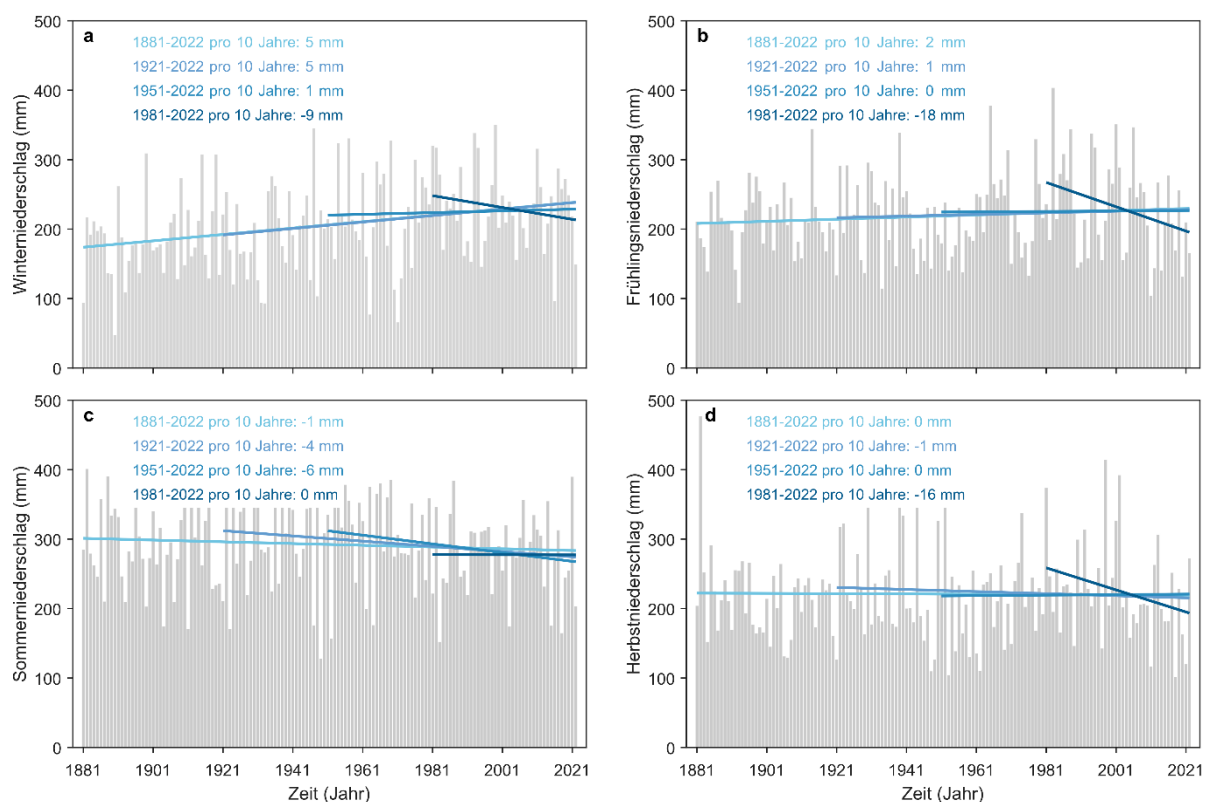


Abbildung 5: Jahreszeitliche Summen des Niederschlags 1881-2022 in Baden-Württemberg. Die in unterschiedlichen Blautönen eingefärbten Geraden kennzeichnen die klimawandelbedingte Änderung der Niederschlagssumme im Winter, Frühling, Sommer und Herbst in den Zeiträumen 1881-2022, 1921-2022, 1951-2022 und 1981-2022.

In den Jahreszeiten verläuft die langfristige Niederschlagsentwicklung unterschiedlich, was sich durch die mittleren 10-jährigen Änderungsraten der jahreszeitlichen Niederschlagssummen offenbart. Signifikante Änderungen der Niederschlagsentwicklungen entlang der dargestellten Trendgeraden können im Winter nur für die Zeiträume 1881-2022 und 1921-2022 festgestellt werden. In den beiden kürzeren Zeiträumen 1951-2022 und 1981-2022 sind die veranschaulichten Veränderungen nicht signifikant. Im Frühling treten keine signifikanten Veränderungen der Niederschlagsmenge auf, obwohl die über 1981-2022 eingezeichnete Trendgerade eine deutliche Abnahme der Niederschlagssummen anzeigt. Im Sommer nimmt die Niederschlagsmenge im Zeitraum 1951-2022 signifikant ab. In den anderen analysierten Zeiträumen sind die über die Trendgeraden veranschaulichten Niederschlagsveränderungen nicht signifikant. Im Herbst treten keine signifikanten Niederschlagsveränderungen in den vier durch die Trendgeraden

gekennzeichneten Zeiträume auf, obwohl auch hier die über 1981-2022 eingezeichnete Trendgerade eine deutliche Abnahme der Niederschlagssummen anzeigt.

Dass, in Analogie zu den jährlichen Gebietsniederschlagssummen, auch der langfristige Rückgang der jahreszeitlichen Gebietsniederschlagssummen in Richtung Gegenwart auffällig ist, lässt sich mit den Ergebnissen, die in der Abbildung 6 zur Veränderung der Steigung von Trendgeraden mit einer Länge von 142 bis 30 Jahren dargestellt sind, veranschaulichen (blaue, gepunktete Linie). Die Trendgeradenlängen, bei denen die Steigung der Geraden signifikant ist, sind mit einem grünen Punkt gekennzeichnet. Die Langfristigkeit der Steigungswertänderungen werden im Winter, Frühling und Herbst mit einer Exponentialfunktion zweiten Grades angenähert (rote, gestrichelte Linie). Im Sommer wird die Langfristigkeit der Steigungswertänderungen durch eine Sinussummenfunktion vierter Ordnung angenähert, weil die Steigungswerte, nicht wie in den drei anderen Jahreszeiten, langfristig kontinuierlich abnehmen, sondern in den 1970er und 1980er Jahren wieder ansteigen. Mit Hilfe von R^2 wird die Varianzklärung durch diese Ausgleichskurven quantifiziert.

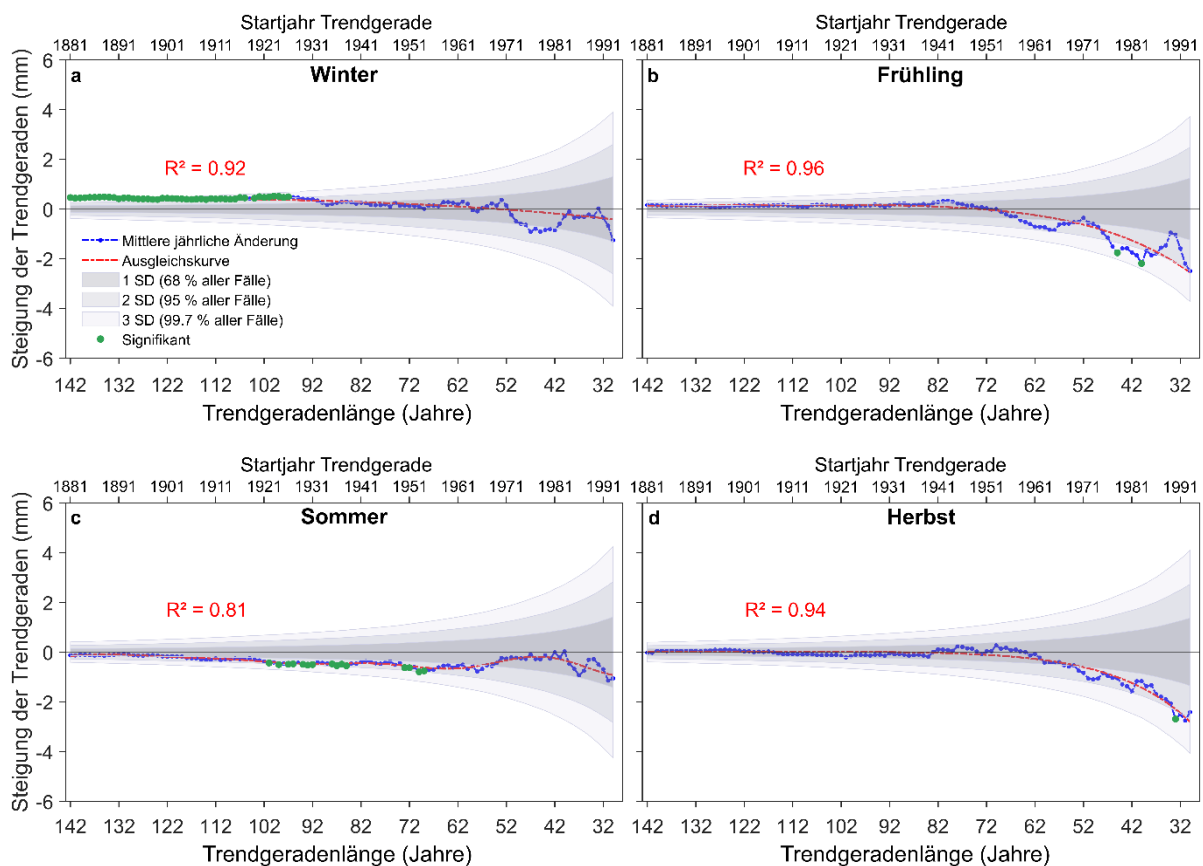


Abbildung 6: Steigung von Trendgeraden (blaue, gepunktete Linie) mit Längen von 142 bis 30 Jahren 1881-2022 in Baden-Württemberg. Trendgeradenlängen, mit denen eine signifikante Geradensteigung verbunden ist, sind mit einem grünen Punkt gekennzeichnet. Die Langfristigkeit der Änderung der Trendgeradensteigung wird mit einer Ausgleichskurve angenähert, die auf der Grundlage einer Exponentialfunktion zweiten Grades (Ausnahme Sommer: Sinussummenfunktion 4. Grades) berechnet wurde. Die grauen Flächen geben die Streubreite der Trendgeradensteigungswerte als einfache (1 SD, in beide Richtungen von der Nulllinie aus), zweifache (2 SD) und dreifache (3 SD) Standardabweichung für die untersuchten Trendgeradenlängen an.

In allen Jahreszeiten gibt es eine Tendenz zum Rückgang der Steigungswerte über den untersuchten Trendgeradenlängenbereich. Im Winter, Frühling und Herbst ändern die Steigungswerte im Untersuchungszeitraum langfristig ihr Vorzeichen. In den ersten Jahrzehnten des Untersuchungszeitraums sind die Steigungswerte noch durchweg positiv. In den letzten Jahrzehnten des Untersuchungszeitraums sind die Vorzeichen dann alle samt negativ. Auch wenn der Rückgang im Frühling und Herbst nur sehr selten signifikant ist, so ist er über den gesamten untersuchten Trendgeradenlängenbereich kontinuierlich, was durch die hohe Varianzerklärung der einfachen Ausgleichskurven dokumentiert wird.

Im Herbst schneiden die Steigungswerte bereits zu dem Beginn der 1940er Jahre die Nulllinie und werden langfristig und kontinuierlich negativer. Im Frühling wird die Nulllinie Anfang der 1950er Jahre geschnitten, und ab dieser Zeit werden die Steigungswerte langfristig und kontinuierlich negativer. Mit dem Beginn der 1970er Jahre erreicht die Abnahme der Steigungswerte in beiden Jahreszeiten den 2 SD-Bereich, womit ein sehr großer Abstand zur Nulllinie verbunden ist. Bei den kürzesten Trendgeradenlängen, die in den 1990er Jahren erreicht werden, kommen die negativen Steigungswerte sogar an den 3 SD-Bereich heran.

Im Winter kann eine signifikante Zunahme der jahreszeitlichen Niederschlagssummen unterstellt werden, wenn man für die Quantifizierung der langfristigen Änderungen Trendgeradenlängen bis zu 97 Jahren zugrunde legt. Trendgeradenlänge von 142 bis 97 Jahren Länge sind mit den Jahren 1881 bis 1926 verbunden. Bei der Verwendung von kürzeren Trendgeraden, die zu späteren Zeitpunkten beginnen, sind die positiven Änderungsraten nicht mehr signifikant. Zu Beginn der 1970er Jahre schneidet die Ausgleichsgerade die Nulllinie. Danach werden die Steigungswerte entlang der Ausgleichskurve bis zum Jahr 2022 durchgängig negativer, wenn auch nicht signifikant negativer.

Im Sommer sind die Steigungswerte mit Ausnahme bei einer Trendgeradenlänge von 40 Jahren, die im Jahr 1983 erreicht wird, negativ. Vielfach signifikant ist die Abnahme der sommerlichen Niederschläge in den 1920er bis 1950er Jahren. Danach nehmen die sommerlichen Niederschläge zwar immer noch ab, aber die Abnahme erfolgt nicht kontinuierlich bis zur kürzesten Trendgeradenlänge. In den 1970er und 1980er reduzieren sich die mittleren Abnahmeraten mehrfach, um dann bei den kürzesten Trendgeradenlängen Mitte der 1980er und Anfang der 1990er Jahre wieder größer zu werden.

d) Methodische Aspekte

Aus Sicht des Klima-Sachverständigenrats wäre es wünschenswert, anstelle der Special Report on Emissions (SRE) Szenarien und RCP-Szenarien die aktuellen SSP-Szenarien für die Weiterentwicklung der Klimaleitplanken und der sich daraus ergebenden Klimawandelanpassungsstrategie zu verwenden. Derzeit erscheint auf globaler Skala eine Entwicklung gemäß der RCP 8.5/SSP 5-8.5-Szenarien als nicht wahrscheinlich. Als plausiblere Klimaszenarien gelten RCP 4.5/SSP 2-4.5 und RCP 6.0/SSP 4-6.0, in denen eine Lufttemperaturerhöhung von rund 2,5

bis 3,5 °C im Jahr 2100 unterstellt wird, die aus der Fortschreibung aktueller Klimapolitik resultiert (Hausfather und Peters¹³, UNEP¹⁴, Climate Action Tracker¹⁵).

Im Fortschreibungstext der Klimaanpassungsstrategie wird das RCP 4.5-Szenario zwar einleitend im Baustein „Aufbau der Anpassungsstrategie“ und im Kapitel „1.1 Zusammenfassung der zukünftigen Klimaentwicklung auf der Basis der Klimaleitplanken 2.0“ erwähnt, im Kapitel „2. Charakteristika und Betroffenheit verschiedener Handlungsfelder“ allerdings nur im Handlungsfeld „2.8 Wald und Forstwirtschaft“ explizit aufgegriffen und thematisiert. Es ist dem Klima-Sachverständigenrat auf der Grundlage des Fortschreibungstextes nicht ersichtlich, warum nicht in allen Handlungsfeldern eine klare, zweigleisige Abschätzung möglicher Klimawirkungen gemäß den Szenarien RCP 4.5 und RCP 8.5 und den daraus resultierenden Maßnahmen beschrieben ist. Durch eine mehrgleisige Abschätzung würde der über die Projektionszeiträume ansteigenden Unsicherheit der Klimamodellierung, nicht nur innerhalb der Szenarien, sondern auch zwischen den Szenarien, Rechnung getragen werden.

Im Zusammenhang mit der Entwicklung des zukünftigen Niederschlagsgeschehens in Baden-Württemberg werden in Kapitel „1.1 Zusammenfassung der zukünftigen Klimaentwicklung auf der Basis der Klimaleitplanken 2.0“ bisher nur 99. Perzentilwerte des Niederschlags beziffert und tabellarisch zusammengefasst. In den die Handlungsfelder beschreibenden Texten werden im Zusammenhang mit der Niederschlagsentwicklung keine oder andere Perzentilwerte erwähnt, wodurch nicht immer eindeutig klar ist, von welcher Niederschlagsentwicklung gesprochen wird. Nicht klar auszumachen ist, ob in allen Handlungsfeldern die gleiche Datengrundlage zur Ableitung von Maßnahmen verwendet wird.

Da die regionalen Klimamodelle, die den Klimaleitplanken 2.0 zugrunde liegen, den klimawandelbedingten Lufttemperaturanstieg in den vergangenen Jahrzehnten unterschätzen, empfiehlt der Klima-Sachverständigenrat, den über die verwendeten Klimamodelle für Baden-Württemberg unterstellten, zukünftigen klimawandelbedingten Lufttemperaturanstieg zu überprüfen. Im Zuge der Klimamodellüberprüfung hält es der Klima-Sachverständigenrat für geboten, die Abbildung des rezenten Niederschlagsgeschehens in den regionalen Klimamodellen durch die reale Niederschlagsentwicklung zu validieren, wie es im Handlungsfeld „2.9 Wasser“ bereits angedeutet wird.

Darüber hinaus schlägt der Klima-Sachverständigenrat vor, eine grundlegende Digitalisierung der Datensammlung und –aufbereitung zu Wasserständen zu prüfen. Pegelstände lassen sich mittels Sensorik auslesen und über 0G-Netze transportiert in Plattformlösungen aufbereiten. Diese etablierte Technik wird v. a. von Kommunen bereits für unterschiedliche Anwendungen genutzt. Ein solches Vorgehen lässt einerseits Szenariobetrachtungen für die Niederschlagsentwicklung mit deutlich verbesserter Datengrundlage zu, andererseits dienen die plattformbasiert verfügbaren Daten Entscheidungsträgern im Land zur Umsetzung jeglicher Maßnahmen, von der Prävention

¹³ Hausfather, Emissions - the 'business as usual' story is misleading, 2020

¹⁴ UNEP, Emissions Gap Report 2022, 2022

¹⁵ Climate Action Tracker, Warming Projections Global Update: November 2022, 2022

bis zur akuten Notfallintervention im Fall starker Niederschläge und schnell steigender Pegelstände oder starker Trockenheit und extrem niedriger Pegelstände.

Da es derzeit so erscheint, als würde die klimawandelgetriebene Lufttemperatur- und Niederschlagsentwicklung in Baden-Württemberg schneller und ungünstiger ablaufen als bisher erwartet, ist eine rasche, konsequente und umfassende Umsetzung von Klimawandelanpassungsmaßnahmen unabdingbar für die Erhaltung von Baden-Württemberg als lebenswertem Land und starkem Wirtschaftsstandort.

IV. Teil 2: Charakteristika und Betroffenheit verschiedener Handlungsfelder

Im zweiten Berichtsabschnitt der Fortschreibung der Strategie zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels in Baden-Württemberg wird auf die Besonderheiten der einzelnen Handlungsfelder und deren jeweilige Betroffenheit durch den Klimawandel eingegangen. Der Klima-Sachverständigenrat weist darauf hin, dass er an dieser Stelle nicht zu allen Handlungsfeldern umfänglich und fundiert Stellung nehmen kann. Hierzu fehlt bei manchen Themen schlicht das wissenschaftliche Fachwissen und die erforderliche Expertise.

Mit seiner Stellungnahme möchte der Klima-Sachverständigenrat einige grundlegende Aspekte ansprechen und damit insbesondere eine systemorientierte und sektorübergreifende Perspektive in den Vordergrund stellen, denn auch im Bereich der Klimaanpassung bedarf es einer aktiven und systemisch orientierten, sektorübergreifenden Transformationskultur.

Trotz vieler guter Ansatzpunkte fehlt aus Sicht des Klima-Sachverständigenrats im zweiten Berichtsabschnitt eine am Gesamtsystem und damit am Zusammenspiel von Klima, Wirtschaft und Gesellschaft orientierte Herangehensweise. Zwar erscheinen die einzelnen Handlungsfelder für sich genommen und als jeweils in sich geschlossene Systeme gut adressiert und fundiert beleuchtet; Verknüpfungen, pro- oder kontraaktive Kräfte zwischen den Handlungsfeldern, werden jedoch ausgeblendet. Wechselwirkungen zwischen den Handlungsfeldern werden nur sporadisch und in Einzelfällen skizziert. Dies verwundert gerade vor dem Hintergrund, dass im ersten Berichtsabschnitt über die Erstellung der Mindmaps zu den vier Schwerpunkten „Hitze (Schwerpunkt urbane Räume)“, „Trockenheit und Niedrigwasser (Schwerpunkt ländlicher Raum)“, „Starkregen, Hochwasser und andere Extremereignisse“ und „Wandel von Arten und Lebensräumen“ eine gute Basis für die Abbildung systemübergreifender Wirkungen erarbeitet wurde.

a) **Systemischer Blick auf die Zusammenhänge**

Um dem Anspruch einer systemischen Betrachtungsweise gerecht zu werden, wäre es aus Sicht des Klima-Sachverständigenrates sinnvoll gewesen, in der Phase der Erstellung der Mindmaps zu den vier Schwerpunkten generell die Auswahl der Handlungsfelder und ihre Charakteristika zu reflektieren. Ist die in der bisherigen Strategie angelegte Auswahl und Strukturierung der

Handlungsfelder ausreichend, um die Vielzahl an „Betroffenheiten und Verletzlichkeiten“ zu erfassen? Denn neben den bereits genannten Aspekten sollten, trotz der guten Aufbereitung der Hintergründe in den einzelnen Handlungsfeldern, insbesondere die sozialen Aspekte und die gesellschaftlichen Auswirkungen umfassender berücksichtigt werden. Die sozialen Folgen von Krisensituationen für den beruflichen und privaten Alltag der Menschen, das Zusammenleben, die Sicherheit von Kindern und älteren und behinderten Menschen etc. werden kaum und nicht hinreichend betrachtet. Diese dürfen aber im Sinne einer nachhaltigen Zukunftsgestaltung gerade bei Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel nicht außer Acht gelassen werden. Neben der Darstellung von technischen Möglichkeiten müssen auch soziale Anpassungsstrategien beleuchtet werden. Dabei ist oftmals die Unterscheidung zwischen Klimaschutz und Klimaanpassung nicht trennscharf; soziale und organisatorische Anpassungsstrategien im Umgang mit gesellschaftlich relevanten Infrastrukturen¹⁶ wie etwa der Umgang mit „zwischenzeitlich“ funktionsuntüchtiger Verkehrs- und Logistikinfrastruktur können aber genauso relevant und wirksam sein wie technische Maßnahmen.

Systemische Einordnung verlangt neben der Berücksichtigung der unterschiedlichen Perspektiven (technisch, ökonomisch, sozial) auch die Einbeziehung wechselseitiger Beeinflussung. Als Beispiel sei an dieser Stelle der Bereich „Trockenheit und Niedrigwasser (Schwerpunkt ländlicher Raum)“ genannt. In der Mindmap wird hier der Tourismus als betroffener Bereich identifiziert, jedoch nur mit der Verknüpfung „Gewässerzustand“, „Wassernutzung“ und „Erholung/Naturästhetik“. Die in der Mindmap dargestellten Zusammenhänge bilden somit nur die erwarteten negativen Auswirkungen von „Trockenheit und Niedrigwasser“ auf den Tourismus im Sinne von fehlender Nutzbarkeit von Badegewässern und geringerem Erholungswert durch Landschaften im Trockenstress ab. Dass aber gerade der Tourismus auch zu einem erhöhten Wasserbedarf führt und dadurch die Knappheitssituation durch den Tourismus selbst explizit verschärft werden kann, wird nicht thematisiert. Hier sind für die Zukunft soziale Verteilungskonflikte zu erwarten, etwa zwischen Anwohner:innen, Tourismus- und ortsansässigen Unternehmen und den Gemeinden. Die temporäre Anwesenheit einer wesentlich größeren Anzahl an Menschen in einer Region durch Tourismuszuläufe und die Notwendigkeit, deren täglichen Wasserbedarf zu bedienen, lässt die Wassernachfrage signifikant steigen. Dies kollidiert mit anderen bei Trockenheit ebenfalls steigenden Wasserbedarfen, beispielsweise zur Bewässerung in der Landwirtschaft. Touristische Komfortanforderungen wie Swimmingpools oder SPA-Landschaften kommen noch hinzu. Für derartige, bislang nicht thematisierten, Konflikte sind Lösungen zu entwickeln, bevor Engpass- bzw. Konfliktsituationen um verfügbare Wasserressourcen eintreten. Der Klima-Sachverständigenrat empfiehlt für die nächste Fortschreibung eine explizite Darstellung von Wechselwirkungen zwischen den Handlungsfeldern unter Berücksichtigung der systemischen Perspektive, um eine möglichst ganzheitliche Erfassung der Herausforderungen, Problemstellungen und Konfliktsituationen zu gewährleisten. Daneben empfiehlt er auch in die Strategie

¹⁶ Staab, Anpassung. Leitmotiv der nächsten Gesellschaft, 2022

aufzunehmen, wie mit den angesprochenen Verteilungskonflikten und möglichen weiteren Konfliktsituationen umgegangen werden kann, bzw. wie diese in Zukunft moderiert werden können.

Ein weiteres Beispiel für die fehlende Adressierung systemischer Zusammenhänge kann der mögliche Einfluss von Starkregenereignissen und Trockenperioden auf den Durchfluss in Kanalnetzen darstellen. Insbesondere wenn aus Klimaschutzgründen zukünftig stärker auf Abwasser als Wärmequelle für die Beheizung/Kühlung von Gebäuden gesetzt werden soll, wie im „Abwärmekonzept Baden-Württemberg“ angestrebt, ist zu klären, ob solche Extremwetterereignisse die Nutzungspotentiale von Abwasserwärme (Durchflussmengen, Temperatur) beeinflussen und falls ja, wie damit umgegangen werden soll.

Insgesamt entsteht der Eindruck, dass im vorliegenden Dokument durchaus auf systemische Zusammenhänge, auf das Zusammenwirken verschiedener Faktoren und die Bedeutung des Zusammenspiels von Strategien hingewiesen wird, eine konsequente Systemsicht und ein Verständnis für die Komplexität der Zusammenhänge textlich jedoch noch nicht erreicht wird. Wechselwirkungen und Querverbindungen sollten daher besser herausgearbeitet und das Zusammenspiel von Klima, Wirtschaft und Gesellschaft methodisch bedacht und im Text sichtbar werden.

b) Handlungsfeld Wirtschaft und Energiewirtschaft

Im Handlungsfeld „Wirtschaft und Energiewirtschaft“ macht sich besonders die fehlende Quantifizierung einzelner Wirkungen bemerkbar. So heißt es: „Der Klimawandel wirkt sich auf den Energiebedarf aus. Steigende Temperaturen können den Bedarf an Wärmeenergie reduzieren [...], wobei gleichzeitig ein steigender Bedarf für die Gebäudekühlung zu erwarten ist [...]“. Dies beschreibt die Situation zwar richtig, gibt jedoch keinerlei Anhaltspunkte dahingehend, was das für die Energiewirtschaft tatsächlich bedeutet, so dass die folgenden Fragen offenbleiben: Wird der durch geringere Heizlasten eingesparte Bedarf höher sein als der Energiebedarf für Kühlung? Wie wird der für die Kühlung entstehende Energiebedarf gedeckt? Welche Verschiebung zwischen Energieträgern findet dadurch statt (z. B. von Erdgas zu Strom) und ist die Energiewirtschaft darauf eingestellt? Welche Maßnahmen sind zu ergreifen, um einer erhöhten Nachfrage nach Klimaanpassungsprodukten und Technologien zu begegnen? Beispielsweise sollte hier der Frage nachgegangen werden, ob Bauvorschriften Technologien vorschreiben sollten, die Hitzeanfälligkeit reduzieren oder passive Kühlung unterstützen, um Kälteproduktion und somit Mehrverbrauch zu vermeiden.

Hier wäre auch eine inhaltliche Verknüpfung der Bestrebungen der Klimawandelanpassung mit den Zielsetzungen des aktuell in Erstellung befindlichen „Energiekonzept Baden-Württemberg“ wichtig, um die richtigen Weichen für Klimaschutz und Klimawandelanpassung gleichermaßen zu stellen. Nach Einschätzung des Klima-Sachverständigenrats bedeutet ein steigender Kühlungsbedarf voraussichtlich einen steigenden Strombedarf, der dann über zusätzliche erneuerbare Stromerzeugung bereitgestellt werden müsste. Ob es eine positive Korrelation zwischen der Sonneneinstrahlung und dem Kühlungsbedarf gibt, d. h. der Strombedarf für Kühlung besonders hoch ist, wenn gerade viel Strom aus Photovoltaik erzeugt wird und sich daraus positive

Effekte für das Stromnetz ergeben, weil Leistungsspitzen besser genutzt werden können, wäre vertieft zu analysieren. Denn potenziell steigt bei einer zunehmenden Zahl an Tropennächten gerade bei vulnerablen Gruppen der Kühlungsbedarf auch nachts. An anderer Stelle im Handlungsfelds „Wirtschaft und Energiewirtschaft“ wird darauf hingewiesen, dass die Industrie schon heute einen vermehrten Kühlungsbedarf aufweist. Auch hier werden Konsequenzen für das Energiesystem nicht adressiert, sondern es wird lediglich das Thema Wasserbedarf für Kühlwasser angesprochen. Darüber hinaus wird auf die großen „Chancen für innovative Produkte zur Anpassung an den Klimawandel, z. B. im Bereich der Gebäudekühlung“ für Baden-Württembergs Wirtschaft hingewiesen, allerdings ohne dies fachlich einzuordnen. Welche Wirtschaftszweige profitieren? Sind diese darauf vorbereitet? Bedarf es einer entsprechenden Flankierung? Der Klima-Sachverständigenrat begrüßt grundsätzlich eine ausgewogene Darstellung von Chancen und Risiken, hält es aber für problematisch, wenn eine derart einseitige Betonung der Chancen erfolgt, ohne diese nachvollziehbar darzustellen.

Die unzureichende Verknüpfung zum Klimaschutz in Verbindung mit der fehlenden Quantifizierung zeigt sich gerade beim Thema Kühlwasser für Kraftwerke. Sowohl Kernkraftwerke als auch Kohlekraftwerke haben einen hohen Kühlwasserbedarf. Bei Kernkraftwerken liegt er bei ca. 3 Liter Wasser pro erzeugter Kilowattstunde Strom. Somit lag der Wasserbedarf zu Kühlzwecken allein für die Kernkraftwerke in Baden-Württemberg im Jahr 2000 bei einer Stromproduktion von 39,2 TWh bei 118 Millionen m³ Wasser, im Jahr 2010 bei 31,7 TWh Stromproduktion bei 95 Millionen m³ Wasser und im Jahr 2020 bei 11,1 TWh Stromproduktion noch bei 33,3 Millionen m³ Wasser. Die Stromerzeugung aus Kernenergie wurde zum 15.04.2023 endgültig beendet. Um die gesetzlich verankerten Klimaschutzziele bis 2030 zu erreichen, muss auch die Nutzung von Kohlekraftwerken zur Stromerzeugung in Baden-Württemberg spätestens 2030 beendet werden. Die Kühlwasserbedarfe dieser Kraftwerke bestehen somit nicht mehr bzw. fallen absehbar weg.

Zur Sicherstellung des Erreichens der Klimaschutzziele muss – wie in der Strategie korrekt erwähnt – grüner Wasserstoff als chemischer Energieträger etabliert werden und Erdgas in der Stromerzeugung und der Industrie sowie Mineralöl im Schwerlastverkehr ersetzen. Es ist richtig, dass Teile des benötigten Wasserstoffs auch in Baden-Württemberg erzeugt werden müssen und hierfür Wasser benötigt wird – ca. 9 Liter Wasser pro Kilogramm Wasserstoff. Aber selbst wenn der gesamte, für 2040 in der Studie Sektorziele 2030¹⁷, ausgewiesene Wasserstoffbedarf in Höhe von 0,92 Millionen t pro Jahr in Baden-Württemberg produziert würde, würden hierfür 8,3 Millionen m³ Wasser benötigt – im Vergleich zum weggefallenen Kühlwasserbedarf der Kernkraftwerke eine überschaubare Größenordnung. Ohne eine derartige Quantifizierung und Einordnung, die in Abstimmung mit dem aktuell in der Erarbeitung befindlichen „Energiekonzept Baden-Württemberg“ erfolgen sollte, können aus den Analyseergebnissen keine handlungsleitenden Schlussfolgerungen gezogen werden.

¹⁷ Kelm et al., Sektorziele 2030 und klimaneutrales Baden-Württemberg 2040, 2022

Ein weiterer Aspekt im Handlungsfeld „Wirtschaft und Energiewirtschaft“, der aktuell nicht adressiert ist, und eine wichtige Schnittstelle zum „Energiekonzept Baden-Württemberg“ darstellt, ist die Frage, ob der Klimawandel Einfluss auf die Erzeugungsmuster der Stromerzeugung aus Windenergie und der Photovoltaik haben wird. Falls dies der Fall ist – und hierfür gibt es ernstzunehmende Hinweise (Jung und Schindler – Fokus Windenergie)¹⁸ – muss dies für die strategische Planung des Energiesystems berücksichtigt werden. Der Klima-Sachverständigenrat empfiehlt dringend, auf Basis entsprechender Untersuchungen, ein resilientes und an den Klimawandel angepasstes Zielbild für ein Energiesystem der Zukunft zu entwickeln.

Der Bericht fokussiert richtigerweise auf die wachsende Bedeutung der kritischen Infrastrukturen, es fehlen hier aber Hinweise darauf was zu tun ist, um die Energiewirtschaft und Energieversorgung mit Blick auf den Klimawandel krisensicherer aufzustellen. Müssen z. B. erneuerbare Energien mit mehr Redundanz (also mehr Leistung) ausgebaut werden? Welche Maßnahmen sind zu ergreifen, wenn Infrastrukturkomponenten durch den Klimawandel in Mitleidenschaft gezogen werden und ausfallen? Welche Vorsorgemaßnahmen sind notwendig um eine klimawandelresiliente und sichere Versorgung (Strom, Wärme, Wasserstoff etc.) jederzeit zu gewährleisten?

c) Handlungsfeld Querschnittsthema Bevölkerungsschutz

Die oben angeführte fehlende Quantifizierung des Wasserbedarfs betrifft nicht nur die Ausführungen im Handlungsfeld „Wirtschaft und Energiewirtschaft“, sondern auch weitere Handlungsfelder wie den „Bevölkerungsschutz“. In diesem Kapitel wird auf die Gefahren durch hitze- und trockenheitsbedingte Energieversorgungsengpässe hingewiesen, die sich aus fehlendem Kühlwasser für thermische Kraftwerke und mangelnder Schiffbarkeit der Binnengewässer und daraus resultierende Engpasssituationen bei der Versorgung mit Mineralölprodukten für Mobilitäts-, Wärme- und Kälteanwendungen ergeben. Bei erfolgreicher Umsetzung der Klimaschutzmaßnahmen wird spätestens 2030 kein Kühlwasser für Kohlekraftwerke mehr erforderlich sein (siehe oben). Die Elektrifizierung im Verkehr durch batterieelektrische und Brennstoffzellenfahrzeuge und in der Wärmebereitstellung durch Wärmepumpen wird die Abhängigkeit von Mineralölprodukten kontinuierlich reduzieren, so dass die zitierten Gefährdungssituationen aus dem Jahr 2018 so voraussichtlich nicht mehr eintreten dürften.

Gerade in dem als Querschnittsthema angelegten Handlungsfeld „Bevölkerungsschutz“ sollte die Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen als „vorbeugender Bevölkerungsschutz“ aktiver mitgedacht werden. Hier zeigt sich einmal mehr, dass Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsmaßnahmen zusammen gedacht, zusammen entwickelt und zusammen umgesetzt werden müssen. Je erfolgreicher der Klimaschutz, desto einfacher wird voraussichtlich die Klimawandelanpassung.

¹⁸ Jung und Schindler, Development of onshore wind turbine fleet counteracts climate change-induced reduction in global capacity factor, 2022

Im übergreifenden Handlungsfeld „Bevölkerungsschutz“ wird zudem besonders deutlich, dass das komplexe Zusammenwirken zwischen den Handlungsfeldern noch nicht ausreichend berücksichtigt wird. Hier fällt die Formulierung „Grundsätzlich wird der Bevölkerungsschutz erst dann aktiv, wenn eine Gefahrenlage eingetreten ist.“ auf. Der spezifischen Charakterisierung des Handlungsfelds wird somit eine Formulierung vorangestellt, die darauf verweist, dass Bevölkerungsschutz dann beginnt, wenn eine Gefahrenlage eingetreten ist. Es wird zwar darauf verwiesen, dass die Definition von Bevölkerungsschutz in Baden-Württemberg weiter gefasst wird; das Handlungsfeld wird aber nicht konsequent unter Gesichtspunkten einer Strategie an die Anpassung möglicher Wirkungen aufgrund des Klimawandels weiterentwickelt. Die zu erwartenden Auswirkungen des Klimawandels werden in allen Handlungsfeldern erhöhte Anforderungen an den Bevölkerungsschutz stellen. Entsprechend müssen Notfallpläne für mögliche Extremereignisse entwickelt, Personal- und Ressourcenplanungsmaßnahmen an klimawandelbedingt höhere Bedarfe bei Extremereignissen angepasst und Schulungs- und Bewusstmachungsmaßnahmen durchgeführt werden. Der Vollständigkeit halber sollte dies im Handlungsfeld „Bevölkerungsschutz“ Erwähnung finden. Aus Sicht des Klima-Sachverständigenrates wäre es generell sinnvoll, Bevölkerungsschutz mit Blick auf die Klimawandelanpassung unter einer neuen normativen Prämisse zu betrachten und als „vorsorgenden Bevölkerungsschutz“ zu fassen. Der Klimawandel lässt erwarten, dass künftig sehr viel häufiger mit mehrstufigen Krisen, also krisenhaften Ereignissen, die häufig auftreten, länger andauern sowie sich aufgrund des komplexen Zusammenspiels zahlreicher Faktoren in ihrer Intensität schnell „aufschaukeln“ können, zu rechnen ist. Dieser Art von Krisen kann in der Regel nur durch konsequente Vorsorge entgegengewirkt werden.

d) Handlungsfeld Wasser

In der Analyse des Handlungsfelds „Wasser“ wird auf wesentlich mehr Facetten der Thematik eingegangen als nur auf Energiewirtschaft und Bevölkerungsschutz. Auffällig ist an dieser Stelle, dass im Widerspruch zu den Ausführungen in Abschnitt 1 der Strategie, das auf Modellbasis von steigenden Winterniederschlägen in Baden-Württemberg ausgeht, von einem beobachteten Niederschlagsrückgang in den Wintermonaten gesprochen wird. Aus Sicht des Klima-Sachverständigenrats müssten hieraus entsprechende Konsequenzen auch für die Anpassungsmaßnahmen gezogen werden. Wenn bereits ein deutlicher Niederschlagsrückgang zu verzeichnen ist, die Modelle aber steigende Niederschläge simulieren, sind die Modellrechnungen zu hinterfragen (siehe Analyse in Kapitel III). Das Ergreifen von Anpassungsmaßnahmen an steigende Winterniederschläge wäre bestenfalls überflüssig, im schlechtesten Fall sogar kontraproduktiv für die langfristige Wasserverfügbarkeit in Baden-Württemberg, wenn diese nicht nur nicht eintreten, sondern sogar Niederschlagsrückgänge zu verzeichnen sind.

Auch wenn das Handlungsfeld „Wasser“ ausführlich analysiert und mit Maßnahmen bespielt wird, fehlen doch einige Aspekte. So fehlt das Thema Regenwassermanagement zumindest im Sinne einer eigenständigen vertieften Betrachtung mit Fokus auf die Regenwassernutzung in diesem Handlungsfeld. Aus Sicht des Klima-Sachverständigenrats wäre dies aber ein wichtiges Thema,

wenn sich Baden-Württemberg insgesamt auf sinkende Niederschlagsmengen einstellen muss, welche zudem künftig in der Regel nur bei wenigen großen Starkregenereignissen fallen.

e) Handlungsfeld Tourismus

Im Dokument zur Fortschreibung der Klimawandelstrategie wird das Handlungsfeld „Tourismus“ vorrangig als Wirtschaftssektor charakterisiert und nicht als gesellschaftliches Versorgungsfeld für Freizeit und Erholung thematisiert. Die in den Blick genommenen Handlungsstrategien und Maßnahmenblätter im Maßnahmenkatalog beziehen sich weitgehend auf die Möglichkeiten einer saisonalen Ausweitung touristischer Angebote und weniger auf klimawandelbedingte Bedrohungen und Risiken mit Blick auf Freizeit und Erholungsaktivitäten in Baden-Württemberg. Handlungsoptionen und vorsorgende adaptive Strategien können aus Sicht des Klima-Sachverständigenrats aus dem Blick geraten, wenn man das Handlungsfeld vorwiegend in seiner Bedeutung als Wirtschaftssegment betrachtet. Denn neben den Funktionen, die der Tourismus für Reisende hat, werden insbesondere auch für die Bewohner:innen Baden-Württembergs essentielle Erholungsaktivitäten mit rekreativen und gesundheitlichen Wirkungen gefährdet, indem etwa Außenbetätigungen durch Erwärmung oder durch erhöhte Risiken beim Auftreten von Extremwetterereignissen erschwert werden.

Auch die Ausbreitung endemischer Arten, auf die im Handlungsfeld „Gesundheit“ explizit Bezug genommen wird, kann Auswirkungen auf das Handlungsfeld „Tourismus“ haben. Eine Ausbreitung z. B. der Tigermücke in Südbaden, könnte künftig durchaus ein relevanter Faktor für das Handlungsfeld „Tourismus“ sowie die Bereiche Freizeit und Erholung werden, denn mit steigenden Gesundheitsrisiken, könnte die Attraktivität von Baden-Württemberg als Tourismus-Standort sinken.

f) Handlungsfeld Verkehr und Infrastrukturen

Wie die gewählten Charakteristika und die Kennzeichen eines Handlungsfeldes, dessen Ausführung bestimmen, bzw. einschränken, zeigt sich besonders deutlich auch am neuen, in der aktuellen Fortschreibung der Klimaanpassungsstrategie eingeführten, Handlungsfeld „Infrastruktur und Verkehr“. Adressiert werden in diesem Handlungsfeld weitgehend klimabedingte Wirkungen auf die errichtete Verkehrsinfrastruktur und erforderliche Anpassungsmaßnahmen. Klimaveränderungsbedingte Wirkungen auf das Mobilitätssystem als sozio-technisches System und dafür erforderliche Anpassungsmaßnahmen werden nicht in den Blick genommen. Als Beispiel: Bei länger andauernden Hitzeereignissen kann es aus verschiedenen Gründen, wie z. B. dem Ausfall der Klimaanlagen in Fahrzeugen im Bahnverkehr, zu einer Einschränkung des öffentlichen Nah- und Fernverkehrs kommen. Wenn öffentliche Verkehrssysteme nicht ausreichend klimatisiert sind und ein flüssiger und möglichst störungsfreier Betrieb in Hitzeperioden und bei schweren Wetterereignissen wie Stürmen und starken Regenfällen nicht gewährleistet werden kann, kann das vorliegende Landeskonzept Mobilität und Klima (LMK) schnell an

Glaubwürdigkeit einbüßen¹⁹. Das heißt, nicht nur die Verkehrsinfrastruktur, sondern auch das Mobilitätssystem an sich, bzw. die unterschiedlichen sozio-technischen Systeme der einzelnen Verkehrsträger, sollten im Mittelpunkt des Handlungsfeldes stehen. Die Entwicklung eines resilienten an den Klimawandel angepassten öffentlichen Nahverkehrs ist entscheidend für dessen Zuverlässigkeit und Attraktivität.

Aus dem Blickwinkel der Gefährdung von Verkehrsinfrastruktur durch die Auswirkungen des Klimawandels vermisst der Klima-Sachverständigenrat das Thema Böschungsbrände oder allgemein Vegetationsbrände. Während das Thema Waldbrandgefahr im Themenfeld „Wald und Forstwirtschaft“ und im Querschnittsthema „Bevölkerungsschutz“ zumindest gestreift wird, ist dies für Vegetationsbrände an Böschungen entlang der Verkehrsinfrastruktur nicht der Fall. Da diese Gefahrensituation nach Wahrnehmung des Klima-Sachverständigenrats in den vergangenen Jahren bereits vermehrt aufgetreten ist, sie führt z. B. zu Einschränkungen und Ausfällen im Bahnverkehr, sollte sie aufgegriffen, thematisiert und entsprechende Maßnahmen zum Umgang mit dem Risiko und der Gefährdung sollten ergriffen werden.

g) Handlungsfeld Stadt- und Raumplanung

Im Handlungsfeld „Stadt- und Raumplanung“ werden Beispiele zur Gestaltung des öffentlichen Raums, besonders der Beschattung von Aufenthaltsräumen im öffentlichen Raum betont. Vulnerabilitäten werden aber weitgehend aus Sicht der Stadt- und Siedlungsplanung thematisiert. Obwohl die Betroffenheit mobiler Personen – d. h., wenn sich Personen bei großer Hitze und bei Wetterereignissen im Stadtraum fortbewegen müssen - mit am größten sind, wird dieser Blick kaum im Handlungsfeld berücksichtigt. Bei Außentemperaturen über 30 °C und starker Sonneneinstrahlung können Temperaturen in Fahrzeugen, im Individualverkehr ebenso wie in Fahrzeugen des öffentlichen Verkehrs, schnell über 40 °C klettern, und damit in einen Lufttemperaturbereich, der zu gravierenden Gesundheitsgefährdungen führt.

V. Teil 3: Maßnahmenkatalog

Der Entwurf zur Fortschreibung der Strategie zur Anpassung an den Klimawandel in Baden-Württemberg enthält im dritten Abschnitt „Was können wir tun? Maßnahmenkatalog mit Steckbriefen“ ein umfangreiches Maßnahmenpaket, gegliedert nach den vier primären Klimawirkungen (gemäß Abschnitt 1 der Strategie). Der Klima-Sachverständigenrat möchte an dieser Stelle erneut die gewählte Methodik der ressortübergreifenden Workshops zur Erarbeitung der Maßnahmen ebenso wie deren Darstellung in gleichförmig strukturierten Steckbriefen positiv hervorheben. Dies ist ein sehr gelungenes Beispiel ressortübergreifender Zusammenarbeit und sollte beispielgebend für weitere Prozesse wie die Fortschreibung des KMRs für wirkungsvolle Maßnahmen im Klimaschutz genutzt werden.

¹⁹ VM, Eckpunkte der Landesregierung zum Landeskonzept Mobilität und Klima (LMK), 2022

Die einheitlich gestalteten Maßnahmenblätter geben einen guten Überblick über die bisherigen Maßnahmen, auch wenn sie nicht alle, für eine umfassende Bewertung der Angemessenheit der Maßnahmen und ihrer potenziellen Wirksamkeit mit Blick auf Schutz und Vorsorge vor den zu erwartenden Gefährdungslagen erforderlichen Informationen enthalten. Vor diesem Hintergrund möchte der Klima-Sachverständigenrat nicht auf Einzelmaßnahmen eingehen, sondern lediglich einige wenige Punkte hervorheben.

Zunächst möchte der Klima-Sachverständigenrat zu bedenken geben, dass bei den vorgeschlagenen Maßnahmen in der Anpassungsstrategie – analog zu den Maßnahmen im KMR – eine klare Priorisierung fehlt. Eine solche könnte anhand der folgenden drei Fragen vorgenommen werden:

- Was kosten einzelne Anpassungsmaßnahmen?
- Welche Maßnahmen erzielen große Wirkung?
- Welche Klimaanpassungsmaßnahmen generieren gesellschaftlichen Mehrwert, insbesondere in Kombination mit Klimaschutzmaßnahmen?

Auch wenn separate Prioritätenlisten für diese drei Punkte sich nicht unbedingt decken, würden derartige Überlegungen für die Entscheidungsfindung hinsichtlich der Dringlichkeit einen wichtigen ersten Schritt darstellen. Eine solche Vorgehensweise setzt bestimmte Dinge voraus. Hierzu zählt u. a. eine maßnahmenbezogene Kostenabschätzung. Dem Klima-Sachverständigenrat ist bewusst, dass eine Kostenabschätzung oftmals kein ganz einfaches Vorhaben ist. Dennoch sind Kostenabschätzungen unverzichtbar, wenn mit begrenzten finanziellen Ressourcen größtmögliche Wirkung für Klimaschutz und/oder Klimawandelanpassung erzielt werden muss. Gerade unter dem Gesichtspunkt, Kosten für Klimawandelanpassung und Kosten für Klimaschutzmaßnahmen systematisch vergleichen zu können, sind Kostenabschätzungen zwingend erforderlich. Ohne diesen Vergleich besteht die Gefahr, dass auf Anpassung gesetzt wird, die sich mittelfristig (bei zu großer Erwärmung) als wesentlich teurer herausstellen könnte, als wenn von Beginn an stringente Klimaschutzmaßnahmen eingeführt und umgesetzt werden. In einem ersten Schritt sollte zumindest eine Einordnung in erforderliche Kosten ‚hoch‘, ‚mittel‘ oder ‚gering‘ erfolgen. Zudem sollten die Maßnahmen konsequent mit konkreten, überprüfbaren Zwischenzielen versehen werden, um die Umsetzung der Maßnahmen stringent überwachen und nachvollziehbar darstellen zu können, selbst wenn im Umsetzungszeitraum der Maßnahme Änderungen erforderlich sein sollten, um auf die Anforderungen des Klimawandels zu reagieren.

Positiv hervorheben möchte der Klima-Sachverständigenrat all jene Ansätze in der Strategie, die die Verflechtung von Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft anerkennen und auf die Notwendigkeit reagieren, in allen Bereichen gemeinsam auf eine nachhaltige Zukunft hinzuarbeiten. Hierzu gehören zum Beispiel die an vielen Stellen in der vorliegenden Anpassungsstrategie dargelegten Bemühungen, den regionalen Biotopverbund zu stärken. Durch die Ausweitung und Stärkung des Netzes von Schutzgebieten und natürlichen Lebensräumen kann das Land Baden-Württemberg dazu beitragen, die biologische Vielfalt zu erhalten, Ökosystemleistungen zu bewahren und wichtige Funktionen der Kohlenstoffspeicherung und -bindung zu erfüllen. Gerade in Regionen mit

intensiver Landnutzung wie in Baden-Württemberg, in denen kaum noch ungenutzte und naturbehaltene Flächen vorhanden sind, stellt dies ein gutes Maßnahmenbündel dar, um die Resilienz migrationsfähiger Arten hinsichtlich der Anpassung an den menschengemachten Klimawandel zu unterstützen. Ebenso beinhalten die Maßnahmen potenzielle Synergien mit Plänen auf europäischer Politikebene. Im Rahmen des „Green Deal“ soll durch Einrichtung neuer Korridore grüner Infrastruktur zwischen bereits existierenden Natura2000-Gebieten ein kohärentes trans-europäisches Naturnetz geschaffen werden.

Ebenso positiv herauszustellen ist die Anerkennung der fundamentalen Wichtigkeit der vielfältigen Ökosystemleistungen, die intakte Ökosysteme und insbesondere naturbelassene Landschaften der Gesellschaft zur Verfügung stellen. Hier seien insbesondere Maßnahmen erwähnt, die nicht nur auf die Stärkung bereitstellender und weitgehend monetarisierter (z. B. Holz, Nahrungsmittel), sondern auch regulierender und unterstützender Leistungen (z. B. Wasserhaushalt, Luftreinigung, Bodenbildung, Nährstoffkreisläufe) abzielen. Diese werden vom fortschreitenden Klimawandel sowie durch starke menschliche Landnutzung und Störung von Ökosystemen zunehmend gefährdet, sind aber essentielle Grundlage für eine zukünftige lebenswerte natürliche Umwelt. Durch die Priorisierung von Ökosystemleistungen in der Anpassungsstrategie verfolgt Baden-Württemberg somit einen proaktiven Ansatz zur Abschwächung der Auswirkungen des Klimawandels auf die natürlichen und sozioökonomischen Systeme der Region.

Bei einzelnen Maßnahmen sieht der Klima-Sachverständigenrat aber auch die Gefahr einer Fehlanpassung. Diese wird speziell bei der Pflanzung von hitze- und trockenresistenten Straßenbäumen, wie auch bei Entscheidungen bezüglich des Straßenbegleitgrüns oder der Artenzusammensetzung von Wäldern gesehen. Die Anpassung an Hitze und Trockenheit hinsichtlich der Artenzusammensetzung ist zweifellos ein notwendiger Schritt, der auch Synergien mit dem Klimaschutz durch einen Mehrwert für die Kohlenstoffsinkenleistung von Wäldern bietet. In allen Fällen sollte jedoch auch auf die Emissionen sogenannter biogener flüchtiger Kohlenwasserstoffe (BVOC) geachtet werden, da diese je nach Baumart stark variieren. BVOCs reagieren stark in der Atmosphäre und können in Regionen mit hohen NO_x-Emissionen (z. B. aus Verbrennungsmotoren im Verkehr) zur Bildung von troposphärischem Ozon führen, das als Treibhausgas wirkt und giftig für Mensch, Tier und Pflanzen ist. Dieser Effekt ist für die BVOC-Gruppe der Isoprene besonders ausgeprägt. Sie können außerdem zur Bildung von Aerosolpartikeln führen, die in Feinstaubbelastung resultieren und regional Auswirkungen auf die Wolkenbildung und Strahlungsabsorption haben, deren Einfluss auf das regionale Klima noch nicht vollständig wissenschaftlich verstanden wurde.

Die vielfältigen Anforderungen an heimische Wälder sollten sowohl im Hinblick auf die Minderung des Klimawandels als auch auf die Anpassung an diesen kritisch reflektiert werden. Wälder sollen in verschiedenen Sektoren einen wesentlichen Beitrag zur Treibhausgasreduktion ebenso wie zur Klimawandelanpassung leisten und eine Vielzahl von Ökosystemleistungen erbringen. Zu nennen wären beispielsweise die Kohlenstoffsinkenfunktion, Erosions- und Hochwasserschutz, Naturschutz und Erholung, sowie Holzgewinnung für Substitution im Bauwesen, Rohstoffe für die Bioökonomie und Bioenergie. Zwischen diesen Zielen können potenziell große Synergien

bestehen: So sind artenreiche Wälder tendenziell weniger anfällig für die negativen Auswirkungen des Klimawandels und aus diesem Grund stabilere Kohlenstoffsinken. Zudem tragen sie eher zum Erosions- und Hochwasserschutz bei als Monokulturen. Es gibt jedoch auch Zielkonflikte, die nicht oder nur schwer aufgelöst werden können: z. B. zwischen dem Wald als verstärktem Holzlieferant für verschiedene Verwendungszwecke und dem Schutz der Natur und Artenvielfalt, dem Schutz vor Erosion oder Hochwasser sowie dem Wald als Kohlenstoffsinke. Den aktuell teilweise unvereinbaren gleichzeitigen Anforderungen diverser Sektoren, Handlungsfelder und Interessengruppen sollte entsprechend nicht nur in der vorliegenden Anpassungsstrategie, sondern auch in der Überarbeitung der „Waldstrategie Baden-Württemberg“, Rechnung getragen werden.

Generell möchte der Klima-Sachverständigenrat anmerken, dass auch die Entwicklung und Darstellung der Maßnahmen einer stark sektoralen Logik folgt und die Wechselwirkungen von Maßnahmen nicht hinreichend mit bedenkt. Es steht zu befürchten, dass dieses Nichtbeachten des systemischen Charakters in der Klimaanpassungsstrategie mittel- und langfristig zu massiven Folgeproblemen führen kann, weil sich Maßnahmen in ihren Wirkungen gegenseitig abschwächen oder sogar aufheben können (z. B. wenn Maßnahmen der Stadt- und Raumentwicklung Maßnahmen der Verkehrspolitik zuwiderlaufen). Wie bereits in der Stellungnahme zum Klimaschutzgesetz (KlimaG) empfiehlt der Klima-Sachverständigenrat hier die Intensivierung der Sektor- bzw. Ressort-übergreifenden Analyse und Maßnahmenumsetzung.

Zukunftsfähige Ansätze wie etwa die vorausschauende Entwicklung von Strategien zur Aufrechterhaltung von Arbeits- und Verwaltungsprozessen bei technischen Systemausfällen und Ausfällen von Infrastruktur (z. B. durch die gezielte Digitalisierung von Arbeits- und Verwaltungsvorgängen etc.) werden noch nicht in allen Handlungsfeldern ausreichend aufgegriffen. Dabei stellt der Ausfall von Informationssystemen eine zusätzliche Herausforderung im Fall von plötzlich auftretenden Gefährdungslagen dar. Gesicherte Informations- und Kommunikationsleistungen sollten stärker berücksichtigt werden, städteplanerische Konzepte, die Schutz- und Vorsorgefunktionen integrieren können, wie Superblocks²⁰ oder das Konzept der 15-Minuten-Stadt als Elemente einer langfristig ausgelegten Klimapolitik lassen sich passgenau als Maßnahmen integrieren, tauchen aber aktuell im Maßnahmenkatalog nicht auf, weil sie nicht kompatibel zur Sektorlogik sind.

VI. Schlussbemerkungen

Der Klima-Sachverständigenrat unterstützt mit seiner Stellungnahme die Fortschreibung der Strategie zur Anpassung an den Klimawandel in Baden-Württemberg. Die Fortschreibung der Strategie enthält einen sehr gründlichen Analyseteil und eine Darstellung gut strukturierter Maßnahmen, die die wesentlichen Herausforderungen der identifizierten zu erwartenden

²⁰ Eggimann, The potential of implementing superblocks for multi-functional street use in cities, 2022

Auswirkungen des Klimawandels adressieren. Daher befürwortet der Klima-Sachverständigenrat ausdrücklich eine konsequente Umsetzung der formulierten Maßnahmen.

Der Klima-Sachverständigenrat möchte aber mit seiner Analyse zu den durch die Klimamodelle suggerierten Wirkungen des Klimawandels gegenüber den offenbar messbar bereits eingetretenen Änderungen Denkanstöße und Handlungsimpulse setzen. Wenn der reale Klimawandel die prognostizierten Wirkungen der Modelle bereits überholt hat, kann das nur bedeuten, dass sowohl beim Klimaschutz als auch bei der Klimawandelanpassung die Maßnahmen nicht ausreichen. So geht der Klima-Sachverständigenrat aufgrund seiner Analyseergebnisse davon aus, dass die formulierten Anpassungsmaßnahmen nicht ausreichend sein werden, um den bereits eingetretenen Klimawandelauswirkungen adäquat zu begegnen. Entsprechend schlechter fällt die Bewertung für die noch zu erwartenden Auswirkungen aus.

Der Klima-Sachverständigenrat merkt in diesem Zusammenhang an, dass dem KLIMASCHUTZ gegenüber der Anpassung an die unintendierten Folgen des Klimawandels generell Priorität eingeräumt werden muss. Denn er ist die einzige Möglichkeit, den Klimawandel noch beherrschbar zu halten.

Anpassungsmaßnahmen haben den Vorteil, dass mit ihnen sichtbare und kommunizierbare Ergebnisse und zum Teil auch Erfolge erzielt werden können. Eine genauere Betrachtung der Klimapolitik in Baden-Württemberg zeigt jedoch, dass die klimapolitischen Ziele des Bundes wie des Landes Baden-Württemberg nur erreicht werden können, wenn umgehend initiative, effektive und auch langfristig wirksame Maßnahmen ergriffen werden. Vor diesem Hintergrund fordert der Klima-Sachverständigenrat die klare Priorisierung des Klimaschutzes vor der Klimawandelanpassung. Andernfalls würde man massive negative Folgen für Wirtschaft und Gesellschaft in Kauf nehmen.

Gerade weil es von entscheidender Bedeutung ist, die Widerstandsfähigkeit natürlicher, sozialer und ökonomischer Systeme durch Anpassungsstrategien an den menschengemachten Klimawandel zu erhöhen, ist es wichtig, die Grenzen der Anpassung zu erkennen und mitzudenken. Um die Herausforderungen des Klimawandels zu bewältigen und den Nutzen von Anpassungsmaßnahmen sicherzustellen, müssen zugleich und mit umso höherer Priorität über eine drastische Reduktion der Treibhausgasemissionen auch die Ursachen des Klimawandels angegangen werden. Es wird auch in Baden-Württemberg nicht möglich sein, sich ohne drastische Systemveränderungen an Lufttemperaturerhöhungen weit oberhalb des Rahmens des Pariser Klimaabkommens anzupassen.

VII. Literaturverzeichnis

1. Riahi, K., van Vuuren, D.P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'Neill, B.C., Fujimori, S. et al., 2017: The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environmental Change* 42, 153-168. Verfügbar online: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009> (Zugriff am 27.01.2023)
2. Stern, N.; 2016: Why are we waiting? The logic, urgency, and promise of tackling climate change. First paperback edition. Cambridge, Massachusetts and London, MIT Press
3. DWD-CDC (Climate Data Center des Deutschen Wetterdienstes), 2023: Jährliche Gebietsmittel der Lufttemperatur (Jahresmittel) in °C (2 m Höhe). Verfügbar online: https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/regional_averages_DE (Zugriff am 27.01.2023)
4. IPCC, 2014: Klimaänderung 2014: Synthesebericht. Beitrag der Arbeitsgruppen I, II und III zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC)., Verfügbar online: https://www.de-ipcc.de/media/content/IPCC-AR5_SYR_barrierefrei.pdf (Zugriff am 27.01.2023)
5. LUBW (Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg), 2021: Klimazukunft Baden-Württemberg - Was uns ohne effektiven Klimaschutz erwartet - Klimaleitplanken 2.0. Verfügbar online: <https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/10200> (Zugriff am 27.01.2023)
6. EURO-CORDEX, 2023: EURO-CORDEX - Coordinated Downscaling Experiment - European Domain. Verfügbar online: <https://www.euro-cordex.net/> (Zugriff am 27.01.2023)
7. ReKliEs-De, 2020: Regionale Klimaprojektionen Ensemble für Deutschland (ReKliEs-De). Verfügbar online: <https://reklies.hlnug.de/home> (Zugriff am 27.01.2023)
8. Meinshausen, M. et al., 2020: The shared socio-economic pathway (SSP) greenhouse gas concentrations and their extensions to 2500. *Geoscientific Model Development*, 13(8), 3571-3605. Verfügbar online: <https://doi.org/10.5194/gmd-13-3571-2020> (Zugriff am 26.04.2023)
9. Schmidt, M., Schindler, D., Arneth, A., Kesselring, S., Löbbe, S., Pehnt, M., Hack, A., Jung, C., Laimer, T., Liebhart, L., Ortner, S., Seibt, K., 2023: Klimawandelbedingter Lufttemperaturanstieg in Baden-Württemberg seit 1881. Kurzpapier des Klima-Sachverständigenrats Baden-Württemberg. Verfügbar online: https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/4_Klima/Klimaschutz/Klima-Sachverstaendigenrat/230316-Kurzpapier-Lufttemperaturanstieg-KlimasachverstaendigenratBW-barrierefrei.pdf (Zugriff am 27.01.2023)
10. WMO (World Meteorological Organization), 2022: State of the Climate in Europe 2021. Verfügbar online: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=11378 (Zugriff am 27.01.2023)
11. C3S (Copernicus Climate Change Service), 2023a: Climate Key Indicators: Temperature. Verfügbar online: <https://climate.copernicus.eu/climate-indicators/temperature> (Zugriff am 27.01.2023)

12. C3S (Copernicus Climate Change Service), 2023b: How close are we to reaching a global warming of 1.5°C? Verfügbar online: <https://climate.copernicus.eu/> (Zugriff am 27.01.2023)
13. Hausfather, Z., Peters, G.P., 2020: Emissions - the 'business as usual' story is misleading. Nature 577, 618-620. Verfügbar online: <https://www.nature.com/articles/d41586-020-00177-3> (Zugriff am 25.04.2023)
14. UNEP (UN Environment Programme), 2022: Emissions Gap Report 2022. Verfügbar online: <https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2022> (Zugriff am 26.04.2023)
15. Climate Action Tracker, 2022: Warming Projections Global Update: November 2022. Verfügbar online: https://climateactiontracker.org/documents/1094/CAT_2022-11-10_GlobalUpdate_COP27.pdf (Zugriff am 26.04.2023)
16. Staab, P., 2022: Anpassung. Leitmotiv der nächsten Gesellschaft, Suhrkamp Verlag
17. Kelm, T., Bergk, F., Bickel, P., Bürger, V., Fehrenbach, H., Fleiter, T., Hennenberg, K., Jachmann, H., Liebhart, L., Manz, P., Mellwig, P., Neuwirth, M., Sandrock, M., Stange, H., Wiegmann, K., 2022: Sektorziele 2030 und klimaneutrales Baden-Württemberg 2040. Teilbericht Sektorziele 2030. Verfügbar online: https://www.zsw-bw.de/fileadmin/user_upload/PDFs/Pressemitteilungen/2022/220624_Teilbericht_Sektorziele_BW.pdf (Zugriff am 24.03.2023)
18. Jung, C., Schindler, D., 2022: Development of onshore wind turbine fleet counteracts climate change-induced reduction in global capacity factor. Nature Energy 7, 608-619. Verfügbar online: <https://doi.org/10.1038/s41560-022-01056-z> (Zugriff am 27.04.2023)
19. Ministerium für Verkehr (Baden-Württemberg), 2022: Eckpunkte der Landesregierung zum Landeskonzept Mobilität und Klima (LMK). Verfügbar online: https://vm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/Dateien/PDF/221111_Eckpunktepapier_Landeskonzept_Mobilit%C3%A4t_und_Klima_barrierefrei_01.pdf (Zugriff am 28.04.2023)
20. Eggimann, Sven (2022): The potential of implementing superblocs for multi-functional street use in cities. Nature Sustainability 5, 406-414. Verfügbar online: <https://www.nature.com/articles/s41893-022-00855-2.pdf> (Zugriff am 28.04.2023)