Rottenburg
Stadt am Neckar

Stadtplanungsamt

Anhang I
Klima und Klimawandel in Rottenburg ausführlicher Bericht

Integriertes Klimaanpassungskonzept Rottenburg am Neckar 2026

Impressum

Herausgeber:
Stadtverwaltung Rottenburg
Marktplatz 18
72108 Rottenburg am Neckar

Gefördert vom:
Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Bundesministerium
für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz
und nukleare Sicherheit

Auftragnehmer:
HHP.raumentwicklung
Lena Riedl
raumplaner I landschaftsarchitekten
Gartenstr. 88
72108 Rottenburg am Neckar

In Kooperation mit:
GEO-NET Umweltconsulting GmbH
Große Pfahlstraße 5a
30161 Hannover

Gendererklärung:
Im vorliegenden Dokument wird auf die gleichzeitige Verwendung der Sprachformen männlich, weiblich und divers (m/w/d) verzichtet. Sämtliche Formulierungen gelten gleichermaßen für alle Geschlechter. Dies soll jedoch in keinem Fall eine geschlechterbezogene Diskriminierung oder eine Nichtachtung des Gleichheitsgrundsatzes zum Ausdruck bringen. Die Wahl der jeweiligen Bezeichnung dient keinem anderen Zweck als einer Vereinfachung der Lesbarkeit.

Inhaltsverzeichnis

Impressum 2
Inhaltsverzeichnis 3
Abkürzungsverzeichnis 3
Anhang I 4
Klima und Klimawandel in Rottenburg (ausführlicher Bericht) 4
1. Datengrundlage und Methodik 4
2. Das vergangene und gegenwärtige Klima in Rottenburg 8
3. Zukünftige Klimaveränderungen in Rottenburg 13
4. Sonstige Abbildungen 18
Abbildungsverzeichnis 22
Tabellenverzeichnis 23
Quellenverzeichnis 24

Abkürzungsverzeichnis

DWD	Deutscher Wetterdienst
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
KLAK	Klimaanpassungskonzept
KLIWA	Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft
LUBW	Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg
LfU	Landesamt für Umwelt
RCP	Representative Concentration Pathways
SSP	Shared Socioeconomic Pathways
UBA	Umwelt Bundesamt
WMO	World Meteorological Organisation

Anhang I

Klima und Klimawandel in Rottenburg (ausführlicher Bericht)

1. Datengrundlage und Methodik

Das Klima ist definiert als die Zusammenfassung aller Wettererscheinungen über einen längeren Zeitraum, der im Allgemeinen 30 Jahre beträgt. Es gibt den mittleren Zustand der Atmosphäre an einem Ort oder Gebiet im Jahresverlauf wieder und zeigt langfristige Veränderungen auf (DWD 2025).

Beobachteter Klimawandel

Die Beschreibung des gegenwärtigen Klimas in Rottenburg am Neckar basiert auf interpolierten Stationsdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD; Kaspar et al. 2013). Die Daten sind rasterbasiert und liegen auf einem regelmäßigen Gitter für ganz Deutschland vor Die Daten weisen eine räumliche Auflösung von 1 x 1 km und eine zeitliche Auflösung von monatlichen bzw. jährlichen Mittelwerten auf. Teilweise reichen die Beobachtungsdaten bis in das Jahr 1881 zurück (Jahresmitteltemperatur und Niederschlagssumme). Minimum- bzw. Maximumtemperaturen sind seit 1901 verfügbar und Daten zu meteorologischen Kenntagen seit 1951.

Anhand der Stadtgrenze Rottenburgs wurden die entsprechenden Gitterzellen aus dem regelmäßigen 1 x 1 km-Gitter extrahiert, räumlich aggregiert und zu repräsentativen Zeitreihen zusammengestellt. Diese jährlichen Zeitreihen wurden direkt ausgewertet. Zudem wurden daraus Mittelwerte über 30-jährige Perioden gebildet, um Aussagen zur langfristigen klimatischen Entwicklung treffen zu können. Für Parameter, die nicht vom DWD als Raster bereit gestellt werden (z. B. Tropennächte), wurden Daten von einzelnen Messstationen in der Nähe von Rottenburg ausgewertet.

Die aus Stationsdaten erzeugten Gitterdaten weisen gewisse Unsicherheiten auf, die aus einer über die Zeit veränderten Stationsdichte und der Lage der für die Interpolation verwendeten Stationen resultieren können. Ferner hat sich die Messtechnik im betrachteten Zeithorizont weiterentwickelt, sodass bei älteren Zeitreihen höhere Messungenauigkeiten zu erwarten sind als bei Zeitreihen jüngeren Datums. Für die vorliegenden Auswertungen ist die Genauigkeit der Daten als vollkommen ausreichend anzusehen.

Erwarteter Klimawandel

Die Analyse zukünftiger klimatischer Änderungen stützt sich auf Daten numerischer, regionaler Klimamodelle der *EURO-CORDEX*-Initiative. *EURO-CORDEX* ist der europäische Zweig der *CORDEX*-Initiative, die regionale Projektionen des Klimawandels für alle terrestrischen Gebiete der Erde im Rahmen des Zeitplanes des fünften *IPCC Assessment Reports* (*AR5*) und darüber hinaus erstellt (Giorgi et al. 2009). Im Projekt ReKliEs-De wurden insgesamt 28 regionale Klimaprojektionen berechnet, 12 davon mit dynamischen regionalen Klimamodellen (RCMs) für ganz Europa, die restlichen 16 mit statistischen regionalen Klimamodellen (ESDs) nur für Deutschland und die nach Deutschland entwässernden Flusseinzugsgebiete (Hübener et al. 2017). Alle Regionalmodelldaten sind für die wissenschaftliche und kommerzielle Nutzung frei verfügbar. Durch den DWD wurde aus diesem übergeordneten Prozess ein für Deutschland repräsentatives Referenzensemble ausgewiesen (DWD 2018). Dabei wurden diese Daten einer Bias-Adjustierung unterzogen und mittels geostatistischer Methoden die räumliche Auflösung von ca. 12,5 km auf 5 km erhöht.

Mit numerischen Klimamodellen kann das zukünftige Klima unter der Annahme verschiedener Emissionsszenarien simuliert und analysiert werden. Wie alle Modelle sind auch Klimamodelle Abbilder der Wirklichkeit und somit nicht „perfekt“. Die Ergebnisse von Klimamodellen beinhalten daher einen gewissen Anteil an Modellunsicherheit, der aus der Struktur des

Modells, den verwendeten Techniken zur Modellierung der Atmosphärenphysik und der Parametrisierung bestimmter Prozesse resultiert. Aus diesem Grund ist es vorteilhaft, nicht nur die Simulationsergebnisse eines Modells, sondern mehrerer Modelle zu verwenden, ein sogenanntes Modellensemble.

Diesem Ansatz folgend, wurde für die Analyse der zukünftigen klimatischen Entwicklung von Rottenburg ein Modellensemble bestehend aus 10 Mitgliedern verwendet, d.h. Kombinationen aus globalen und regionalen Klimamodellen. Das Modellensemble basiert auf einem zunächst für den bayrischen Raum durchgeführten Audits des oben beschriebenen regionalisierten DWD-Referenzensembles (LfU 2020). Das Audit wurde im Rahmen der Kooperation KLIWA „Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft“ und des Bund-Länder-Fachgesprächs auch für das bundesweite Gebiet angewendet und durch die Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW) für Baden-Württemberg ausgewertet (LUBW 2021). Die 10 Mitglieder des Modellensemble wurden jeweils mit unterschiedlichen Klimaszenarien angetrieben werden, sodass sich für Rottenburg 16 Modellläufe ergeben (10 x mit dem *RCP*-Szenario 8.5, 6 x mit dem *RCP* 4.5; für eine Erläuterung zu den *RCP*-Szenarien siehe unten).

Die Mitglieder des Ensembles werden als gleichberechtigt angesehen und die Unterschiede in den Ergebnissen als Modellvariabilität betrachtet. Alle nachfolgenden Auswertungen wurden in enger Anlehnung an die Leitlinien zur Interpretation von Klimamodelldaten des Bund-Länder-Fachgesprächs „Interpretation regionaler Klimamodelldaten“ durchgeführt (Linke et al. 2024).

Für die Auswertung wurden bis zum Jahr 2100 projizierte Daten mit einer zeitlichen Auflösung von einem Tag und einer räumlichen Auflösung von 5 km verwendet. Die Auswahl der entsprechenden Daten aus dem Gitter der Modellsimulationen, das Deutschland flächendeckend überspannt, erfolgte durch die Identifikation und Auswahl passender Gitterpunkte entsprechend der Grenzen Rottenburgs (Abbildung 1: Räumliche Ausdehnung der für die Auswertung verwendeten Modell-Gitterzellen (Hintergrundkarte: OpenStreetMap). Die an diesen Gitterpunkten vorliegenden Zeitreihen der betrachteten meteorologischen Variablen wurden für jeden Zeitschritt (= ein Tag) räumlich aggregiert, um auf diese Weise einheitliche, repräsentative Zeitreihen zu erhalten. Dies führt beispielsweise dazu, dass Starkregenereignisse, welche oftmals kleinräumig und zeitlich kurz auftreten, von Regionalklimamodellen potenziell nicht erfasst und folglich sogar unterschätzt werden (DWD, 2020).

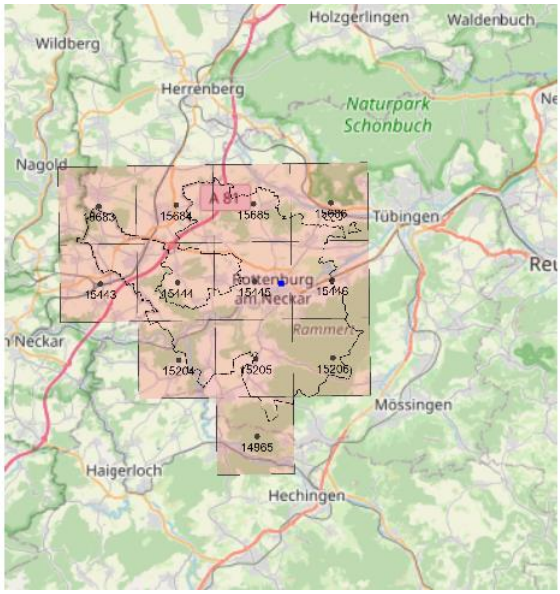

Abbildung 1: Räumliche Ausdehnung der für die Auswertung verwendeten Modell-Gitterzellen (Hintergrundkarte: OpenStreetMap)

Hauptverantwortlich für den Anstieg der globalen Mitteltemperaturen sind anthropogen bedingte CO_2-Emissionen. Da heute noch nicht absehbar ist, wie sich die CO_2-Emissionen zukünftig entwickeln, werden diese in Klimamodellen in Form von Szenarien mit unterschiedlicher CO_2-Entwicklung über die Zeit berücksichtigt, die bis zum Ende des Jahrhunderts einen bestimmten Strahlungsantrieb hervorrufen. Für Europa stehen aktuell drei verschiedene Klimaszenarien zur Verfügung: *RCP* 2.6, 4.5 und 8.5 (*RCP* = *Representative Concentration Pathways*). Im Jahr 2022 veröffentlichten sechsten *IPCC*-Bericht wurden die *RCP*-Szenarien von *SSP*-Szenarien abgelöst, die soziökonomische Entwicklungspfade aufzeigen (*SSP* = *Shared Socioeconomic Pathways*; DKRZ 2023). Aktuell ist die Wissenschaft dabei, die *SSP*-Szenarien in die globalen und regionalen Klimamodelle zu integrieren (bspw. laufen im Projekt *CMIP*6 erste Modellrechnungen mit den neuen Szenarien[1]), sie sind jedoch noch nicht in den *EURO-CORDEX*-Daten und dem DWD-Referenzensemble enthalten. Die Zahl in der Bezeichnung der *RCP*-Szenarien benennt den mittleren Strahlungsantrieb in W/m², der in ihrem projizierten Verlauf zum Ende des 21. Jahrhunderts erreicht wird (Moss et al. 2010; (*Abbildung 2*):

- Das *RCP*-Szenario 2.6 beschreibt einen Anstieg des anthropogenen Strahlungsantriebes bis zum Jahr 2040 auf ca. 3 W/m². Bis zum Ende des Jahrhunderts sinkt dieser langsam, aber stetig auf 2,6 W/m² ab. Die Zunahme der globalen Mitteltemperatur würde in diesem Szenario das 2 °C-Ziel nicht überschreiten, sodass *RCP* 2.6 als „Klimaschutzszenario“ bezeichnet wird.
- Das *RCP*-Szenario 4.5 zeigt einen steilen Anstieg des anthropogenen Strahlungsantriebes bis etwa zur Mitte des 21. Jahrhunderts, der danach bis ca. 2075 nur noch geringfügig steigt und in der Folge stagniert.
- Das *RCP*-Szenario 8.5 weist den stärksten Anstieg des Strahlungsantriebes auf, der sich bis zum Ende des Jahrhunderts nicht abschwächt und eine Zunahme der globalen Mitteltemperatur um ca. 4 °C gegenüber dem Zeitraum 1985-2005 bewirken würde.

Im „Klimaatlas Baden-Württemberg“ wurden nur die *RCP*-Szenarien 4.5 und 8.5 ausgewertet. Dieses Vorgehen wurde im vorliegenden Bericht für Rottenburg übernommen (LUBW 2025).

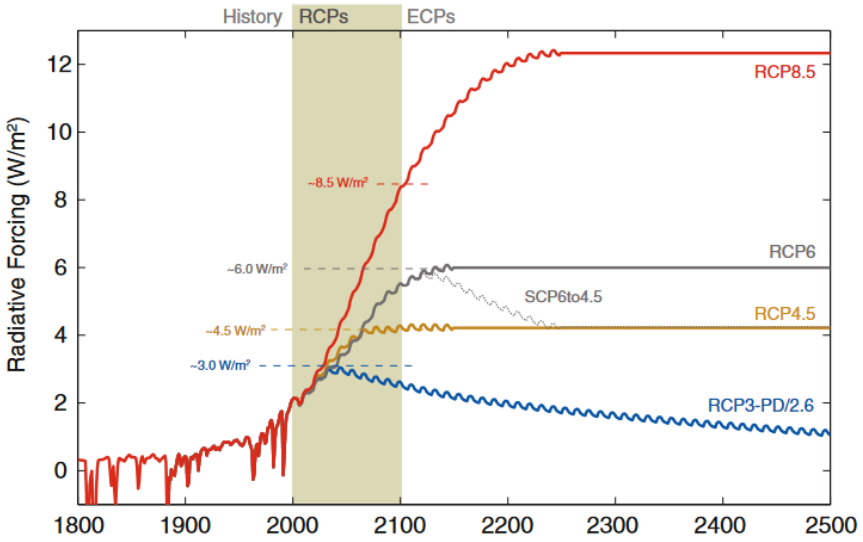

Abbildung 2: Strahlungsantrieb der verschiedenen Representative Concentration Pathways (RCP[2]) und ihre Entwicklung bis 2100 (Quelle: Eigene Darstellung nach Meinshausen et al. 2011)

[1] *CMIP*6 (*Coupled Model Intercomparison* Project *6*) ist ein internationales Klimamodellvergleichsprojekt des Weltklimaforschungsprogramms (*World Climate Research Programme*)

[2] *RCPs = Representative Concentration Pathways* (repräsentativer Konzentrationspfad); *ECP = Extended Concentration Pathways*, sind ergänzende Szenarien bis 2300.

Die weltweiten CO_2-Emissionen verzeichnen seit den 1950er-Jahren einen permanenten Anstieg. In den letzten Dekaden befanden wir uns, nach den Ergebnissen des *Global Carbon* Projektes, mit den globalen CO_2-Emissionen auf dem „Pfad“ des *RCP*-Szenarios 8.5 (Boden et al. 2017, Peters et al. 2013). Selbst ein abrupter weltweiter Rückgang des CO_2-Ausstoßes würde, aufgrund der Trägheit des Klimasystems, in Kürze keine signifikante Änderung herbeiführen. Für die Einschätzung der Klimarisiken in den nächsten Jahrzehnten wird das *RCP* 8.5 als geeignetes Szenario angesehen (Schwalm et al. 2020). Aus diesem Grund und im Sinne des Vorsorgegedankens werden im vorliegenden Bericht vornehmlich Grafiken zu Klimaänderungen des *RCP*-Szenarios 8.5 platziert. Im Anhang sind die entsprechenden Grafiken für das *RCP* 4.5 zu finden.

Eine etablierte Methode zur Beschreibung von klimatischen Änderungen ist die Verwendung von meteorologischen Kenntagen. Dies sind z.B. die Anzahl von Sommertagen oder Tropennächten innerhalb eines zu benennenden Zeitraumes (oftmals jährlich). Die Bestimmung dieser Kenntage kann entweder anhand von Schwellenwerten wie bspw. $T_{max} \geq 25$ °C für Sommertage (schwellenwertbasiert) oder anhand von statistischen Maßen wie bspw. dem 95. Perzentil der statistischen Verteilung erfolgen (perzentilbasiert; vgl. Hübener et al. 2017). Für die Betrachtung des zukünftigen Klimawandels in Rottenburg wurden schwellenwertbasierte Kenntage verwendet.

Die verwendeten Daten wurden im Zuge der Regionalisierung des DWD-Referenzensembles einer Bias-Adjustierung unterzogen. Trotzdem kann ein gewisses Maß an Unsicherheiten in den Daten enthalten sein. Es wird davon ausgegangen, dass der Wertebereich der Unsicherheiten für den Referenzzeitraum in etwa genauso groß ist wie für die Zukunftszeiträume. Bei einer ausschließlichen Betrachtung der Unterschiede zwischen Zukunft und Referenz haben diese Unsicherheiten, also deren Differenz, daher keinen Einfluss und man erhält eine robustere Aussage.

Für die Beschreibung des erwarteten Klimawandels werden klimatische Beobachtungen einer sogenannten Referenzperiode benötigt. Diese sollte einen Zeitraum umfassen, in dem die klimatischen Auswirkungen der globalen Erwärmung noch nicht so stark in Erscheinung getreten sind. Die *World Meteorological Organisation* (*WMO*) empfiehlt die Verwendung der sogenannten Klimanormalperiode von 1961-1990. Da jedoch bei einigen der verwendeten regionalen Klimamodelle der Zeitraum des Referenzlaufs erst 1971 beginnt, wurde hier der Zeitraum von 1971-2000 als Referenzperiode festgelegt. Dieser ist im Verhältnis zu den betrachteten Zukunftszeiträumen noch ausreichend wenig vom Klimawandel beeinflusst, sodass eine vergleichende Betrachtung die wesentlichen klimatischen Veränderungen aufzeigt. Die Referenzperiode 1971-2000 wird auch in der aktuellen bundesweiten Klimawirkungs- und Risikoanalyse verwendet (UBA 2021). In Bezug auf die Klimawandelfolgen betrachtet die Klimawirkungs- und Risikoanalyse zwei Zukunftsperioden in der Mitte (2031-2060) und zu Ende des Jahrhunderts (2071-2100), die hier übernommen wurden.

Von den einzelnen Mittelwerten der jeweiligen Zukunftsperioden wurden die zugehörigen Mittelwerte der Referenzperiode subtrahiert und somit die langjährigen mittleren Änderungen für jede Variable berechnet. Die statistische Signifikanz der Änderungen wurde nach einem vom Bund-Länder-Fachgespräch zur „Interpretation von Modelldaten“ vorgeschlagenen statistischen Testschema ermittelt (vgl. Linke et al. 2024). Das Signifikanzniveau wurde einheitlich auf 95 % festgelegt. Dabei ist zu beachten, dass die Referenzläufe mit den Beobachtungsdaten des gleichen Zeitraumes nur in ihren klimatisch relevanten, statistischen Eigenschaften übereinstimmen. Sie sind auf kleineren Skalen (Jahre, Monate, Tage) nicht exakt miteinander vergleichbar. Die nachfolgenden Ausführungen enthalten Grafiken in Form sogenannter Box-Whisker Plots. Diese haben den Vorteil, dass die Kennwerte statistischer Verteilungen schnell erfassbar und vergleichbar sind.

2. Das vergangene und gegenwärtige Klima in Rottenburg

Temperaturzunahme und Hitze

Bezogen auf die letzten 30 Jahre (1991-2020) ist Rottenburg durch eine langjährige Mitteltemperatur von 9,5 °C und eine mittlere Niederschlagssumme von 767 mm/Jahr gekennzeichnet (*Abbildung 3*). Damit weist Rottenburg im Mittel moderat höhere Temperaturen und moderat geringere Niederschläge als im deutschlandweiten Durchschnitt auf (9,3 °C bzw. 790 m/Jahr; UBA 2022a, 2022b).

In den letzten 30 Jahren (1991-2020) hat in Rottenburg, dem nationalen und globalen Trend folgend, bereits eine deutliche Erwärmung stattgefunden (*Tabelle 1*). So ist die Jahresmitteltemperatur im Vergleich zur Referenzperiode 1971-2000 um 0,9 °C und seit Beginn der meteorologischen Aufzeichnungen um 1,3 °C gestiegen (bezogen auf die Periode 1881-1910). Zudem sind die fünf wärmsten Jahre seit 1881 allesamt in der letzten Dekade aufgetreten (*Abbildung 4*).

Noch stärker als die „schleichende“ Änderung der Jahresmitteltemperatur wirken sich Hitzeperioden auf das Wohlbefinden und die Gesundheit der Bevölkerung aus. Die Anzahl an Sommertagen (T_{max} ≥ 25 °C) und insbesondere Heißen Tagen (T_{max} ≥ 30 °C) kann als Indiz für die Häufigkeit belastender Phasen verstanden werden. In Rottenburg zeigt sich jeweils ein Anstieg dieser Kenntage: Im Vergleich der Periode 1991 – 2020 zur Referenzperiode 1971-2000 ist die mittlere Anzahl an Sommertagen von 38 auf 49 und an Heißen Tagen von 6 auf 11 pro Jahr gestiegen (*Tabelle 1*, *Abbildung 5*).

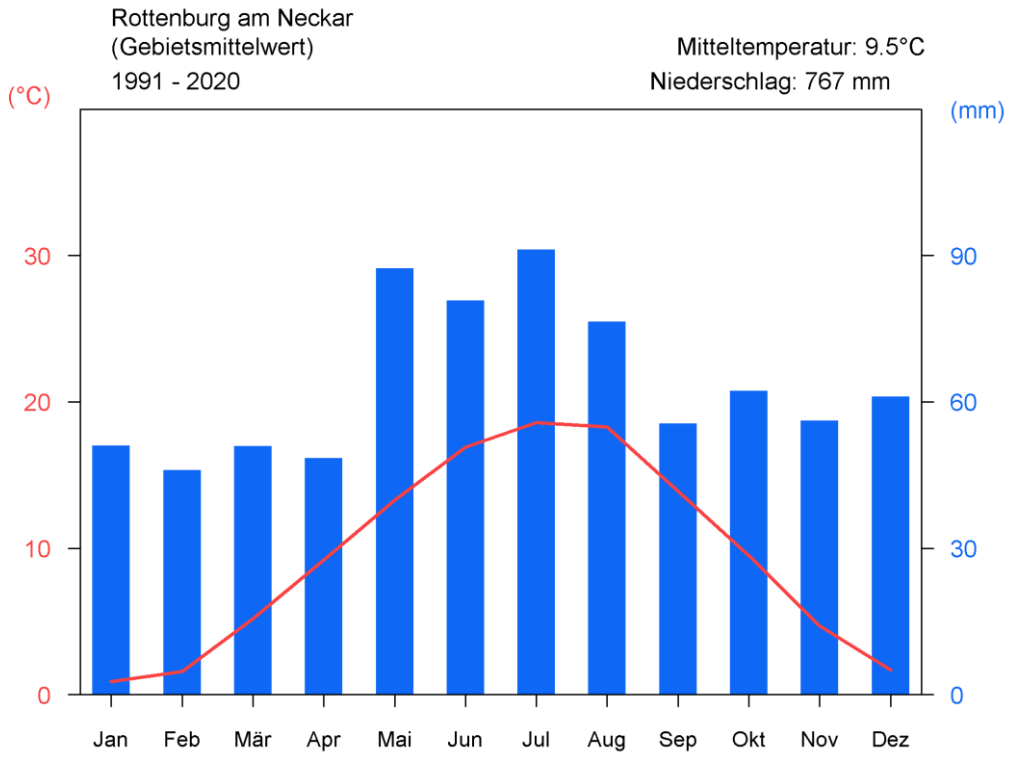

Abbildung 3: Klimadiagramm der Stadt Rottenburg für den Zeitraum 1971-2000, basierend auf den Rasterdatenprodukten des Deutschen Wetterdienstes (nach DWD, 2024)

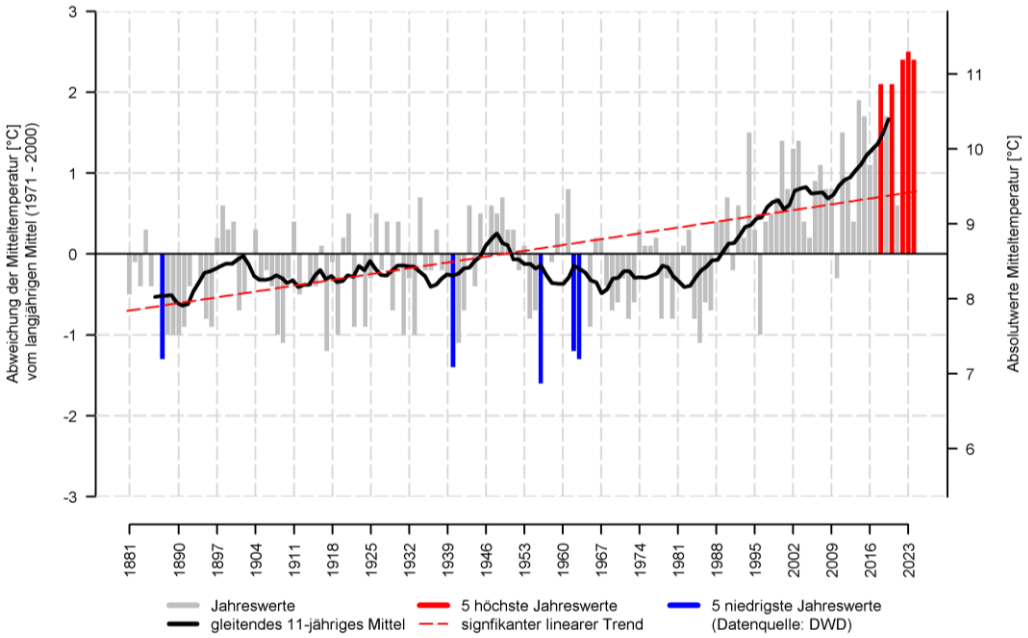

Abbildung 4: Jahresmitteltemperatur in Rottenburg im Zeitraum 1881 bis 2024 (eigene Berechnung nach DWD 2024)

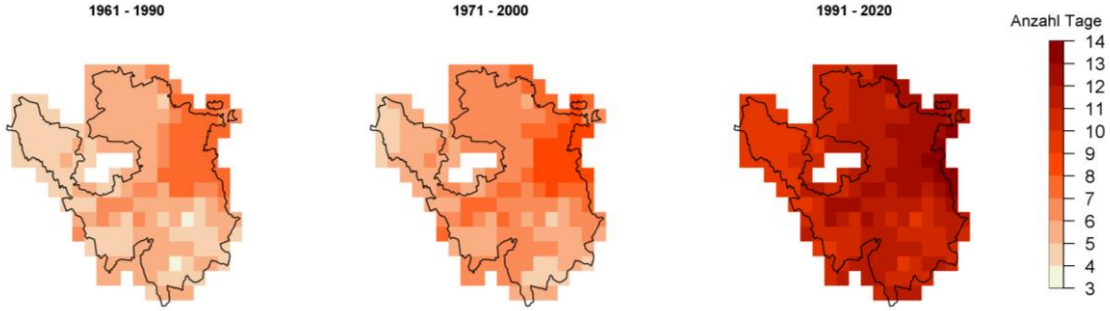

Abbildung 5: Räumliche Darstellung der Anzahl Heißer Tage pro Jahr (T_{max} ≥ 30 °C) in verschiedenen Perioden in Rottenburg (eigene Berechnung nach DWD 2024)

Tabelle 1: Langjährige mittlere Entwicklung der Temperaturen, des Niederschlags sowie von meteorologischen Kenntagen in Rottenburg in der Vergangenheit (eigene Berechnung nach DWD 2024).

	1961-1990	1971-2000	1991-2020
Mittelwert der Lufttemperatur [°C]	8,3	8,6	9,5
Sommertage (T_{max} ≥ 25 °C) [n/Jahr]	35	38	49
Heiße Tage (T_{max} ≥ 30 °C) [n/Jahr]	6	6	11
Tropennächte (T_{min} ≥ 20 °C) [n/Jahr]	keine Angabe	< 1	< 1
Frosttage (T_{min} < 0°C) [n/Jahr]	102	98	88
Eistage (T_{max} < 0°C) [n/Jahr]	22	19	16
Jahresniederschlag [mm/Jahr]	802	784	767
Tage mit Niederschlag > 10 mm [n/Jahr]	22	22	22
Tage mit Niederschlag > 20 mm [n/Jahr]	5	5	6
Tage mit Niederschlag > 30 mm [n/Jahr]	2	2	2

Niederschlagsverschiebung und Trockenheit

In Bezug auf den Jahresniederschlag wechselten sich seit Beginn der systematischen Messungen Ende des 19. Jahrhunderts immer wieder trockenere und feuchtere Phasen ab, ohne einen signifikanten statistischen Trend erkennen zu lassen. Die Periode 1991-2020 wirkt in den Daten wie eine trockenere Phase, es ist jedoch noch unklar, ob damit ein statistisch signifikanter Trend verbunden ist.

Ein mögliches Maß für Trockenheit ist der Trockenheitsindex nach de Martonne, der sich aus dem Jahresniederschlag und der Jahresmitteltemperatur ergibt (Gavrilov et al. 2019). Der Trockenheitsindex unterliegt in Rottenburg gewissen Schwankungen, zeigt aber über die letzten Dekaden gesehen einen signifikant abnehmenden Trend, der in der beschriebenen trockeneren Phase begründet zu scheint (Abbildung 7).

Die Bodenfeuchte, für die der Trockenheitsindex ein, jedoch nicht der einzige Faktor ist, weist in Rottenburg über die letzten 30 Jahre gesehen einen abnehmenden Trend auf (*Abbildung 7*). In der Einheit % nFK (nutzbare Feldkapazität) bedeutet ein Wert < 30, dass Pflanzen unter Wasserstress stehen, während sie bei Werten > 50 % nFK optimal mit Wasser versorgt sind (MWVLW RLP 2023). Erwartungsgemäß fällt die Bodenfeuchte im Sommer (orange Balken in *Abbildung 8*) deutlich geringer aus als in den anderen Jahreszeiten (graue Balken). Dauerhafter Wasserstress wurde im Mittel über das gesamte Stadtgebiet noch nicht festgestellt. Es ist jedoch davon auszugehen, dass es in einzelnen Jahren mindestens lokal Bereiche gab (abhängig von der Bodenart, etc.), in denen Pflanzen zeitweise unter Wasserstress standen.

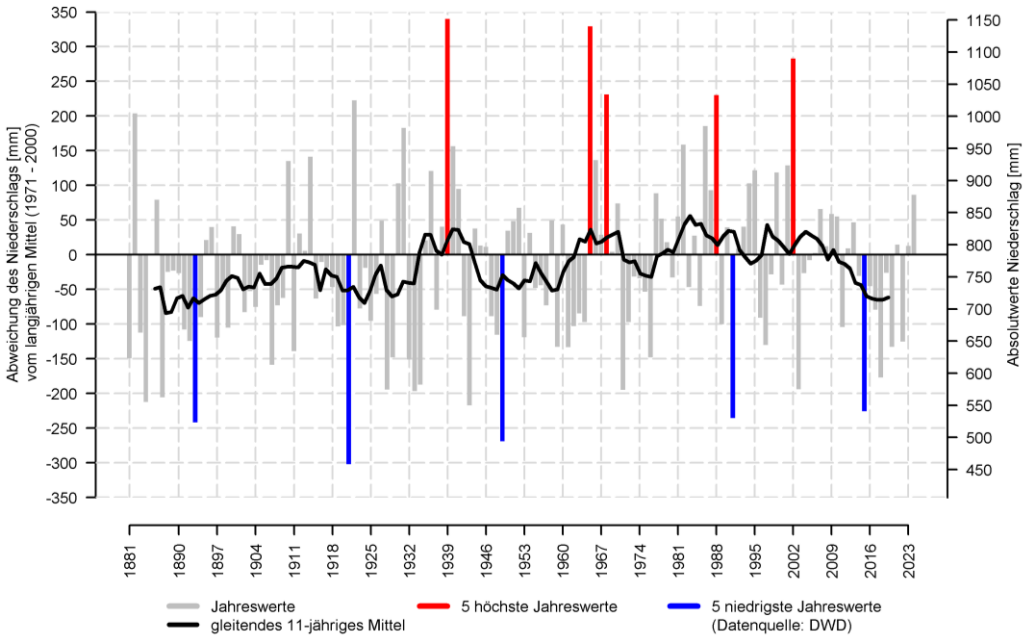

Abbildung 6: Jahresniederschlagssummen in Rottenburg im Zeitraum 1881 bis 2024 (eigene Berechnung nach DWD 2024)

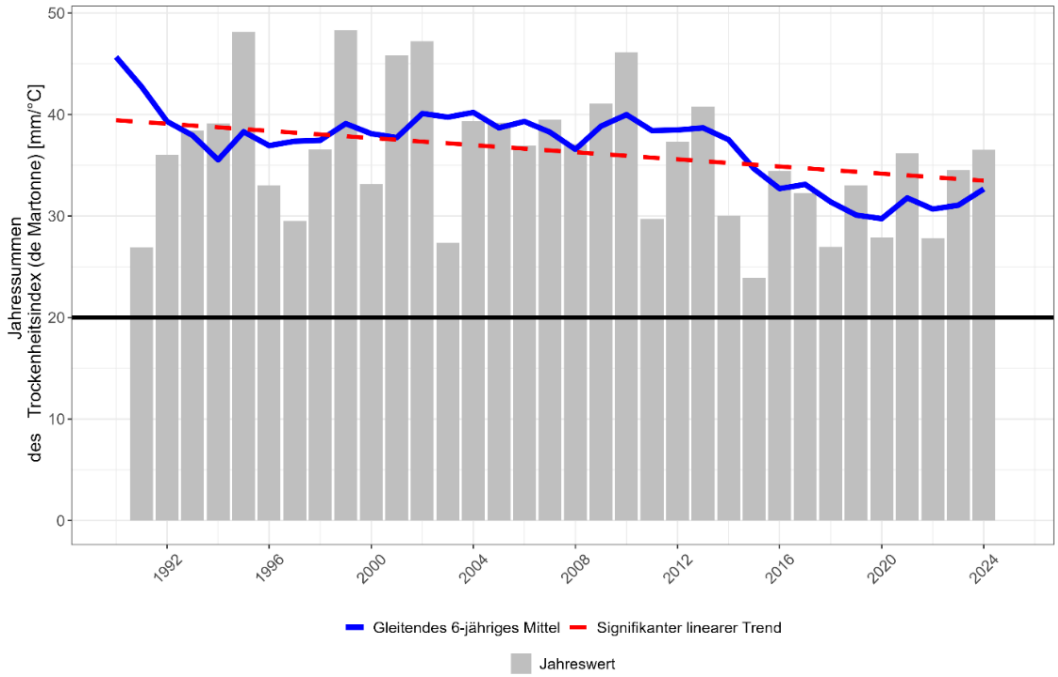

Abbildung 7: Trockenheitsindex nach de Martonne in Rottenburg im Zeitraum 1970 bis 2024 (eigene Berechnung nach DWD 2024)

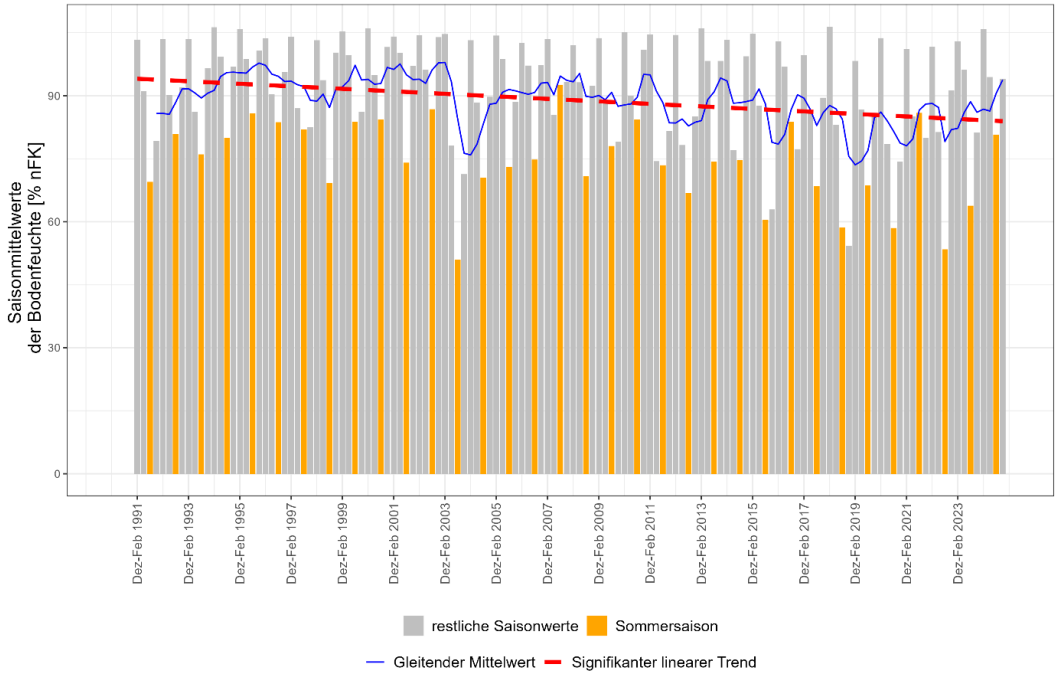

Abbildung 8: Saisonmittelwerte der Bodenfeuchte (in % nFK) in Rottenburg im Zeitraum 1991 bis 2024 (eigene Berechnung nach DWD 2024)

Starkregen

Als Starkregen werden Regenereignisse bezeichnet, die eine hohe Intensität, d.h. eine im Verhältnis zu ihrer Dauer große Niederschlagssumme aufweisen. Gemäß DWA[3] handelt es sich dabei um Regenereignisse, die in einzelnen Dauerstufen Regenhöhen mit Wiederkehrzeiten Tn ≥ 1 Jahr aufweisen (DWA 2016). Der DWD warnt vor Starkregen in drei Stufen, wenn folgende Schwellenwerte voraussichtlich überschritten werden: Regenmenge ≥ 15 mm/1 h bzw. ≥ 20 mm/6 h (Markante Wetterwarnung), Regenmenge > 25 mm/1 h bzw. > 35 mm/6 h (Unwetterwarnung) und Regenmenge > 40 mm/1 h bzw. > 60 mm/6 h (Warnung vor extremem Unwetter; DWD 2025). Da die Auswertung der *EURO-CORDEX*-Daten nicht für

[3] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall

einzelne Stunden, sondern nur für einzelne Tage durchgeführt werden kann, werden in diesem Bericht zur Beschreibung von Starkregenereignissen Tage mit einem Niederschlag > 10 mm, > 20 mm und > 30 mm/d (hier als Starkregen bezeichnet) verwendet.

In Rottenburg deutet sich in der Vergangenheit eine moderat zunehmende Häufigkeit von Starkregenereignissen an (Abbildung 9), die aufgrund ihrer Seltenheit jedoch statistisch nicht abschließend belegt werden kann, d.h. es können bisher keine signifikanten Zunahmen von Starkregen (im Mittel ca. 2 x pro Jahr) bzw. Ereignisse mit erhöhten Niederschlagsmengen festgestellt werden (Tabelle 1, Abbildung 9).

Dabei ist zu berücksichtigen, dass Starkregenereignisse oftmals kleinräumig auftreten und somit von den, obgleich relativ hoch aufgelösten, Regionalklimamodellen potenziell nicht erfasst und folglich unterschätzt werden können (DWD 2020).

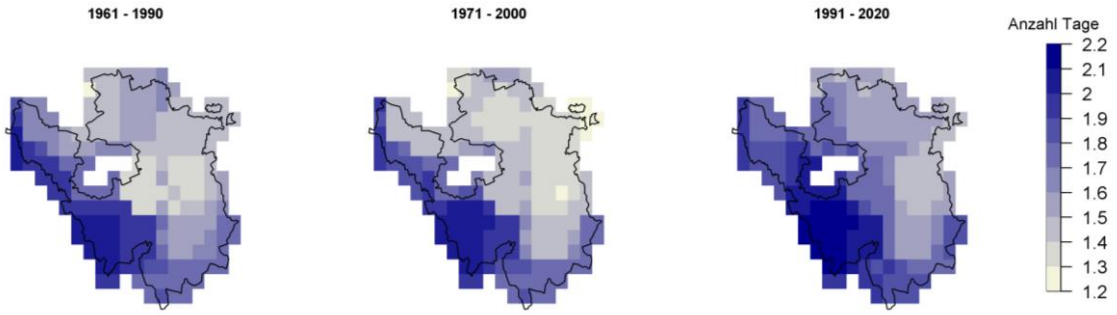

Abbildung 9: Räumliche Darstellung der Anzahl an Starkregenereignissen pro Jahr (> 30 mm pro Tag) in verschiedenen Perioden in Rottenburg (eigene Berechnung nach DWD 2024)

Sturm

Ein Sturm wird als „Wind von großer Heftigkeit, […] der erhebliche Schäden und Zerstörungen anrichten kann“ definiert (DWD 2025). Je nach Windgeschwindigkeit wird zwischen einem Sturm (Beaufort 9), schweren Sturm (Bft 10) und orkanartigen Sturm (Bft 11) unterschieden. In der Vergangenheit gab es in Rottenburg im Mittel 4,0 Stürme pro Jahr. Schwere Stürme kamen regelmäßig, aber deutlich seltener vor (1,4 pro Jahr; Tabelle 2). Orkanartige Stürme bzw. Orkane als Ereignisse mit noch höheren Windgeschwindigkeiten traten unregelmäßig auf (im Mittel 0,3 bzw. 0,1 pro Jahr).

Tabelle 2: Sturmereignisse und Orkane in der Periode 1971-2000 an der Rottenburg nahe gelegenen DWD-Station Stuttgart-Echterdingen (eigene Berechnung nach DWD 2024).

Ereignisse pro Jahr in der Periode 1971-2000		Mittelwert	Minimum – Maximum
Sturm	(Beaufort 9: 75 bis 88 km/h)	4	0 - 7
Schwerer Sturm	(Beaufort 10: 89 bis 102 km/h)	1,4	0 - 6
Orkanartiger Sturm	(Beaufort 11: 103 bis 117 km/h)	0,3	0 - 3
Orkan	(Beaufort 12: > 117 km/h)	0,1	0 - 2

3. Zukünftige Klimaveränderungen in Rottenburg

Temperaturzunahme und Hitze

Beide *RCP*-Szenarien zeigen eine Zunahme der Jahresmitteltemperaturen in Rottenburg in den nächsten Dekaden. Im *RCP*-Szenario 8.5 fällt die Zunahme stärker aus, bis zum Ende des Jahrhunderts wird im Median eine um 3,7 °C erhöhte Jahresmitteltemperatur projiziert. Der Temperaturanstieg ist in allen Jahreszeiten erkennbar (*Abbildung 10*, Abbildung 11).

Der projizierte Temperaturanstieg steht in direktem Zusammenhang mit der Entwicklung meteorologischer Kenntage, die für die Lebensqualität und Gesundheit der Bevölkerung noch relevanter sind als der allmähliche Temperaturanstieg. Die Anzahl an Sommertagen und Heißen Tagen nimmt zukünftig deutlich zu (Tabelle 3). So ist beispielsweise im *RCP*-Szenario 8.5 zum Ende des Jahrhunderts hin im Median mit 38 Heißen Tagen pro Jahr zu rechnen, während diese in der Referenzperiode (1971-2000) im Durchschnitt 6 mal jährlich auftraten.

Tropennächte sind derzeit in Rottenburg die Ausnahme und bleiben dies durchschnittlich auch bis zur Mitte des Jahrhunderts (im Median nimmt die jährliche Anzahl der Tropennächte in den *RCP*-Szenarien 4.5 bzw. 8.5 um 0,1 bzw. 0,3 Nächte zu). Bis Ende des Jahrhunderts ist die Entwicklung stärker vom jeweiligen Szenario abhängig. Während die Häufigkeit von Tropennächten im *RCP* 4.5 auf einem geringen Niveau verbleibt, projiziert das *RCP* 8.5 eine deutliche Zunahme. Demnach wären zum Ende des Jahrhunderts im Median 4 - 5 Tropennächte pro Jahr in Rottenburg möglich. Zusätzlich muss berücksichtigt werden, dass die Klimamodelle den Wärmeinseleffekt nicht erfassen, d.h. in (inner)städtischen Bereichen (bereits heute) eine höhere Anzahl an Tropennächten anzunehmen ist.

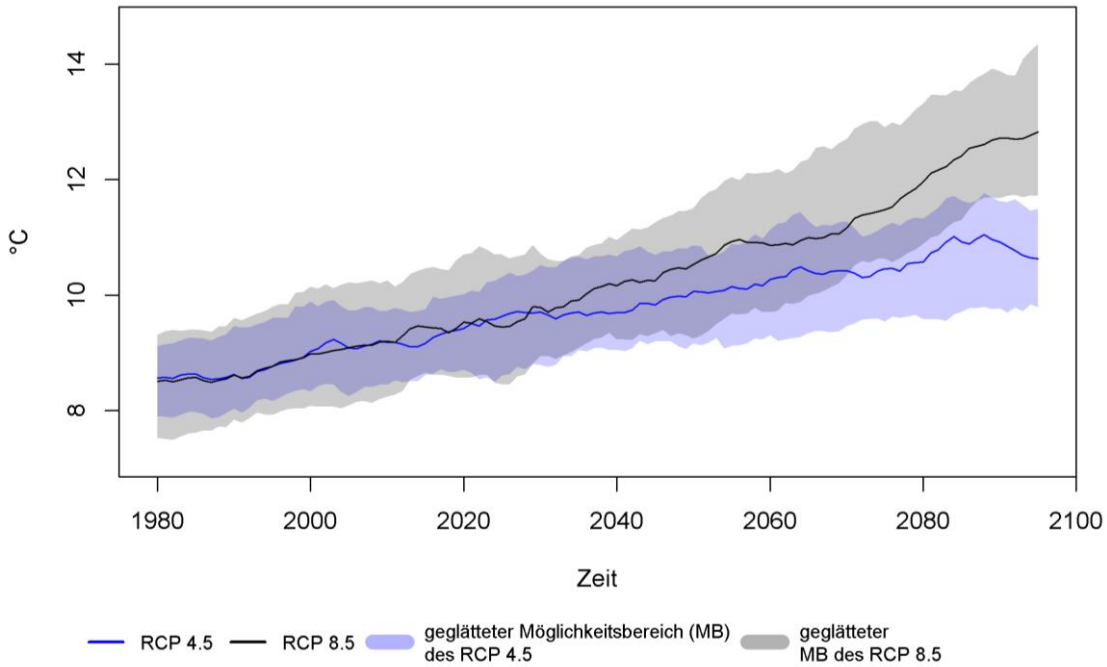

Abbildung 10: Projizierte Änderung der Jahresmitteltemperaturen für die RCP-Szenarien 4.5 und 8.5 in Rottenburg bis Ende des Jahrhunderts (der Möglichkeitsbereich spiegelt die Minima und Maxima der Modellläufe wider)

Tabelle 3: Änderung der Jahresmitteltemperatur, Anzahl meteorologischer Kenntage sowie Länge von Hitzeperioden in den beiden Zukunftsperioden in Rottenburg (Minimum, Median und Maximum des Änderungssignals alle Modelläufe).

Variable	Szenario	Änderungen zur Referenzperiode 1971-2000					
		2031-2060			2071-2100		
		Min.	Median	Max.	Min.	Median	Max.
Jahresmitteltemperatur [°C]	*RCP* 4.5	0,9	1,2	1,6	1,5	2,0	2,3
	RCP 8.5	1,2	1,8	2,2	2,9	3,7	4,5
Sommertage (T_{max} ≥ 25 °C) [n/Jahr]	*RCP* 4.5	14,1	19,9	30,1	21,5	27,1	32,1
	RCP 8.5	20,8	25,1	38,4	38,5	49,3	65,7
Heiße Tage (T_{max} ≥ 30 °C) [n/Jahr]	*RCP* 4.5	8,8	10,9	16,6	9,3	15,3	21,9
	RCP 8.5	10,4	12,7	20	23,4	32,2	41,2
Tropennächte (T_{min} ≥ 20 °C) [n/Jahr]	*RCP* 4.5	-0,1	0,1	0,2	-0,1	0,6	1,3
	RCP 8.5	0	0,3	1,5	1,1	4,4	11,7
Länge von Hitzeperioden (aufeinanderfolgende Heiße Tage) [n]	*RCP* 4.5	1,3	2,3	3,9	2,1	4,3	5,8
	RCP 8.5	1,2	2,8	5,1	4,8	6,6	10,4
Frosttage (T_{min} < 0 °C) [n/Jahr]	*RCP* 4.5	0,7	-2,9	-13,4	-3,7	-20,4	-32,2
	RCP 8.5	-4,5	-16,6	-28,8	-31,9	-44,5	-57
Eistage (T_{max} < 0 °C) [n/Jahr]	*RCP* 4.5	1,8	-4,4	-5,6	-3,2	-7,0	-8,2
	RCP 8.5	0,7	-7,1	-9,3	-6,9	-10,3	-13,3

Die Zunahme Heißer Tage – bis Mitte des Jahrhunderts ist im *RCP*-Szenario 8.5 eine Zunahme von heute im Mittel 6 auf ca. 19 Heiße Tage pro Jahr möglich – lässt auf eine künftig steigende Häufigkeit von Hitzeperioden schließen, wobei es für Hitzeperioden keine eindeutige Definition gibt. Es handelt sich dabei um einen Zeitraum mit länger anhaltenden ungewöhnlich hohen Temperaturen. Hier werden aufeinanderfolgende Heiße Tage als Hitzeperiode verstanden. Unter dieser Annahme zeigt sich, dass Hitzeperioden in Rottenburg zukünftig länger andauern. Je nach Szenario erhöht sich die Länge von Hitzeperioden bis Ende des Jahrhunderts im Median um 4,3 Tage (*RCP* 4.5) bzw. 6,6 Tage (*RCP* 8.5; Tabelle 3).
Frost- und Eistage treten in Rottenburg zukünftig seltener auf und sorgen für mildere Winter, die eine verlängerte Vegetationsperiode nach sich ziehen (ohne Abbildung).

Niederschlagsverschiebung und Trockenheit

In Bezug auf den Jahresniederschlag sind in Rottenburg in beiden Szenarien zunehmende Werte zu verzeichnen. Dabei zeigen die verschiedenen Modelläufe eine große Bandbreite – so gibt es einzelne Modellläufe, die eine Abnahme und andere, die eine deutliche Zunahme des Jahresniederschlags projizieren – die verdeutlicht, dass hinsichtlich der zukünftigen Entwicklung des Niederschlags noch Unsicherheiten bestehen (Abbildung 11, Tabelle 4). Trotz der Unsicherheiten ist als fachliche Einschätzung zukünftig von im Mittel konstanten bis moderat steigenden Jahresniederschlägen für Rottenburg auszugehen.

Neben den Niederschlagssummen ist der Zeitpunkt, wann es (wieviel) regnet u.a. für die Vegetation und den Bodenwasserhaushalt entscheidend. Bei einer saisonalen Betrachtung zeigen sich Unterschiede in der zukünftigen Entwicklung des Niederschlags in Rottenburg. Im Winter sowie Frühling ist im *RCP*-Szenario 8.5 mit einer Zunahme der Niederschlagssummen zu rechnen. Bis Mitte des Jahrhunderts zeigen sich für den Sommer und Herbst keine eindeutigen Trends (im Median sehr geringe Änderungen bei hohen Spannbreiten der

Modelle). Langfristig werden für den Herbst tendenziell konstante und für den Sommer tendenziell abnehmende Niederschlagssummen projiziert (Abbildung 12). Im *RCP*-Szenario 4.5 deuten sich über das gesamte Jahr zunehmende Werte an, wobei der Trend für den Winter und Frühling eindeutiger scheint als für den Sommer und Herbst.

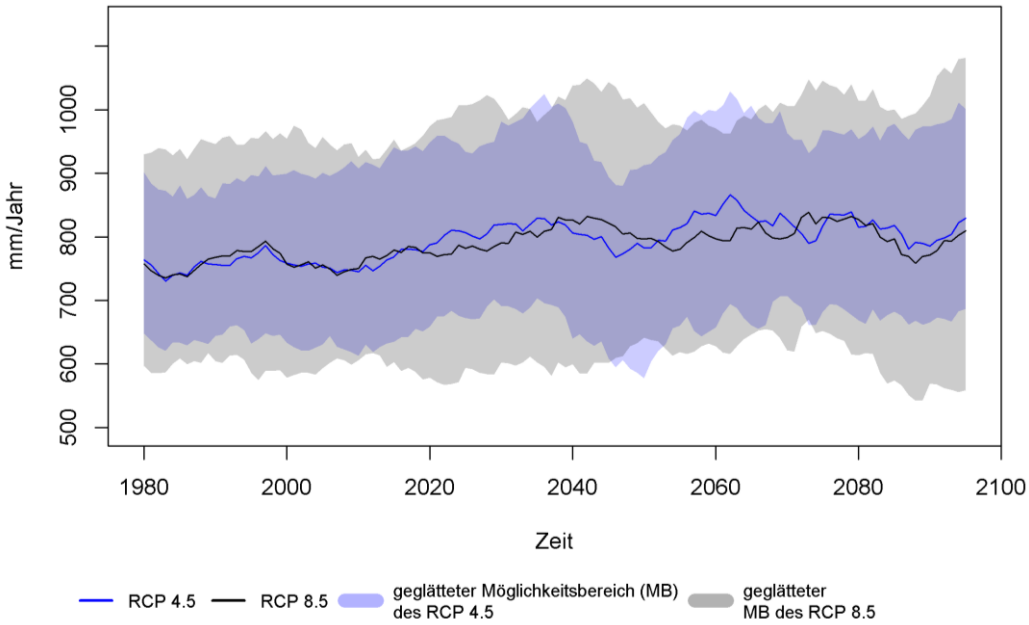

Abbildung 11: Projizierte Änderung des Jahresniederschlags für die RCP-Szenarien 4.5 und 8.5 in Rottenburg bis Ende des Jahrhunderts (der Möglichkeitsbereich spiegelt die Minima und Maxima der Modellläufe wider)

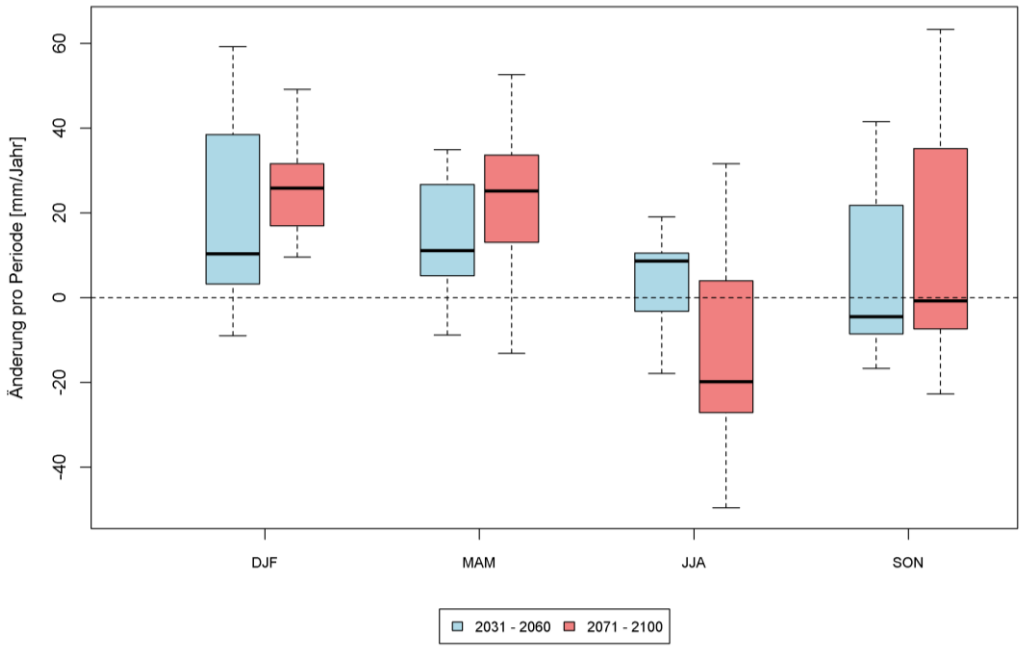

Abbildung 12: Änderung der mittleren saisonalen Niederschlagssummen im Vergleich zur Referenzperiode 1971-2000 in Rottenburg (RCP 8.5)

Tabelle 4: Änderung der mittleren Niederschläge, der klimatischen Wasserbilanz und der Anzahl an Trockentagen in Rottenburg (Minimum, Median und Maximum des Änderungssignals alle Modelläufe).

Variable	Szenario	Änderungen zur Referenzperiode 1971-2000					
		2031-2060			2071-2100		
		Min.	Median	Max.	Min.	Median	Max.
Jahresniederschlag [mm/Jahr]	*RCP* 4.5	-2,8	48,6	108,6	40,1	61,2	73,4
	RCP 8.5	-43,5	51,6	76,8	-25,3	37,0	142,4
Klimatische Wasserbilanz (Niederschlag – pot. Verdunstung) [mm/Jahr]	*RCP* 4.5	-38,4	3,3	109,8	16,8	23,4	39,8
	RCP 8.5	-85,8	14,7	55,7	-77,4	11,0	65,2

Begriffe wie Trockenheit oder Dürre sind nicht eindeutig definiert und die Bewertung dieser Ereignisse hängt oftmals von der jeweiligen fachlichen oder individuellen Sichtweise ab. Im allgemeinen Verständnis sind Trockenheit und Dürre durch einen Mangel an Wasser oder Feuchtigkeit gekennzeichnet, der aus einem Niederschlagsdefizit resultiert und über einen längeren Zeitraum zu Wasserknappheit führen kann. Ein Indikator für Trockenheit kann die klimatische Wasserbilanz als Differenz von Niederschlag zu potenzieller Verdunstung sein. Im Jahresmittel ist für Rottenburg eine konstante bis moderat zunehmende klimatische Wasserbilanz zu erkennen, wobei die bezüglich des Niederschlags genannten Unsicherheiten zu beachten sind und es wiederum eine große Spannbreite zwischen den Modellläufen gibt (Tabelle 4). Die saisonale Änderungen der klimatischen Wasserbilanz folgen den Trends der Niederschlagsverschiebung. Insb. langfristig ist in Rottenburg mit trockeneren Sommern und feuchteren Winter sowie Frühlingen zu rechnen.

Die abnehmende klimatische Wasserbilanz im Sommer lässt häufigere bzw. längere anhaltende Trockenperioden vermuten, jedoch sind die in den Modellen projizierten Änderungen zu gering, um valide Aussagen treffen zu können (vgl. exemplarisch die Häufigkeit längerer Trockenperioden in Abbildung 13).

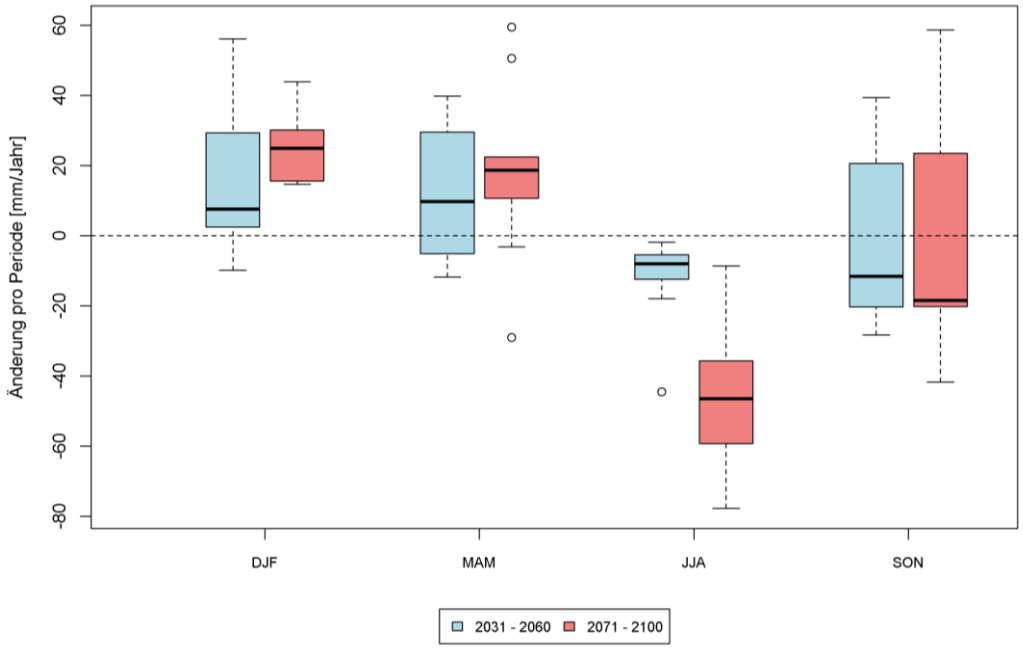

Abbildung 13: Änderung der mittleren saisonalen klimatischen Wasserbilanz im Vergleich zur Referenzperiode 1971-2000 in Rottenburg (RCP 8.5)

Starkregen

Infolge des Klimawandels ist grundsätzlich eine wärmere Atmosphäre zu erwarten, die mehr Wasserdampf aufnehmen kann, sodass auch mehr Wasser für Niederschlagsereignisse zur Verfügung steht (vgl. ZAMG 2020). Dieser allgemein zu erwartende Prozess ist auch in den regionalen Klimamodellen für Rottenburg zu erkennen. Für die betrachteten Starkregenereignisse (> 10, > 20 sowie > 30 mm pro Tag) projizieren die Modelle steigende Häufigkeiten in beiden *RCP*-Szenarien und für beide Zukunftsperioden (Tabelle 5). So ist bis Ende des Jahrhunderts mit ca. 7 bzw. 1 – 1,5 zusätzlichen Tagen mit einem Niederschlag > 10 mm bzw. > 30 mm zu rechnen. Auch das Potential eines höheren mittleren maximalen Tagesniederschlags lässt darauf schließen, dass die Niederschlagsintensität zunimmt.

Tabelle 5: Änderung der Auftrittshäufigkeit von Starkregenereignissen sowie des maximalen Tagesniederschlags in Rottenburg (Minimum, Median und Maximum des Änderungssignals alle Modelläufe).

Variable	Szenario	Änderungen zur Referenzperiode 1971-2000					
		2031-2060			2071-2100		
		Min.	Median	Max.	Min.	Median	Max.
Tagesniederschlag > 10 mm/d [n/Jahr]	*RCP* 4.5	3,8	6,7	9,9	5,5	7,2	8,9
	RCP 8.5	3,5	6,3	8,1	3,9	6,9	11,4
Tagesniederschlag > 20 mm/d [n/Jahr]	*RCP* 4.5	0,7	2,6	3,7	2	2,5	4,3
	RCP 8.5	1,1	2,5	3,2	2,4	3,4	5,5
Tagesniederschlag > 30 mm/d [n/Jahr]	*RCP* 4.5	0,5	1,3	1,6	0,7	1,2	1,9
	RCP 8.5	0,5	1,1	1,9	1,1	1,6	2,1
Maximaler Tagesniederschlag [mm/d]	*RCP* 4.5	1,8	5,9	8,7	2	3,9	12,5
	RCP 8.5	1,3	7	23,6	3,2	10,8	19

Sturm

In keinem der betrachteten Klimaszenarien sind signifikante Zunahmen oder Abnahmen der Auftrittshäufigkeit von Stürmen bis zum Jahr 2100 in Rottenburg auszumachen (ohne Abbildung).

Genau wie Starkregen gehören Stürme zu den seltenen Ereignissen, sodass sie nur bedingt statistisch auswertbar sind. Hinzu kommt, dass die regionalen Klimamodelle teilweise nicht in der Lage sind, Böen korrekt zu reproduzieren und daher Sturmereignisse oftmals nur unzureichend abbilden. Es ist jedoch anzunehmen, dass sich in einer wärmeren Atmosphäre aufgrund von mehr verfügbarer latenter Wärme, die beim Phasenübergang von Wasserdampf zu Flüssigwasser frei wird, potenziell stärkere Stürme ausbilden können (Pinto et al. 2009, Fink et al. 2012, Pinto und Ryers 2017). Dies hätte eine Zunahme der Sturmaktivität über Westeuropa zur Folge, wobei noch nicht eindeutig geklärt werden konnte, ob die Häufigkeit der Sturmereignisse zunehmen oder ob bei gleichbleibender Häufigkeit die Intensität steigen würde, also die Stärke der auftretenden Windgeschwindigkeiten (Pinto et al. 2009, Donat et al. 2010, McDonald 2011, Pinto und Ryers 2017).

4. Sonstige Abbildungen

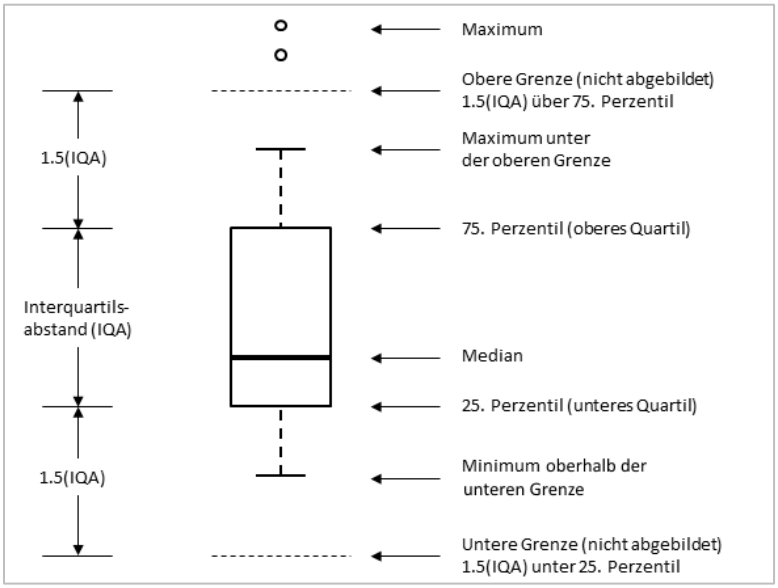

Abbildung A 1: Konventionen und Bedeutung der grafischen Darstellung eines Box-Whisker Plots

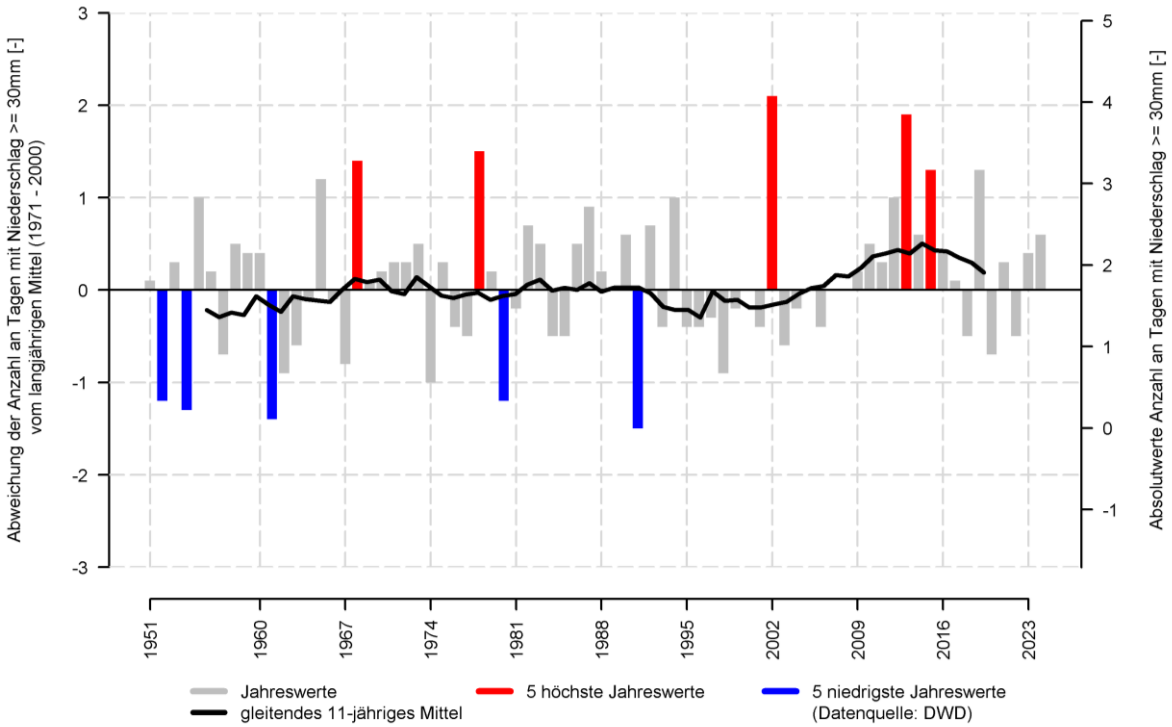

Abbildung A 2: Anzahl Starkregenereignisse pro Jahr (> 30 mm/Tag) in Rottenburg im Zeitraum 1881 bis 2023 (eigene Berechnung nach DWD 2024)

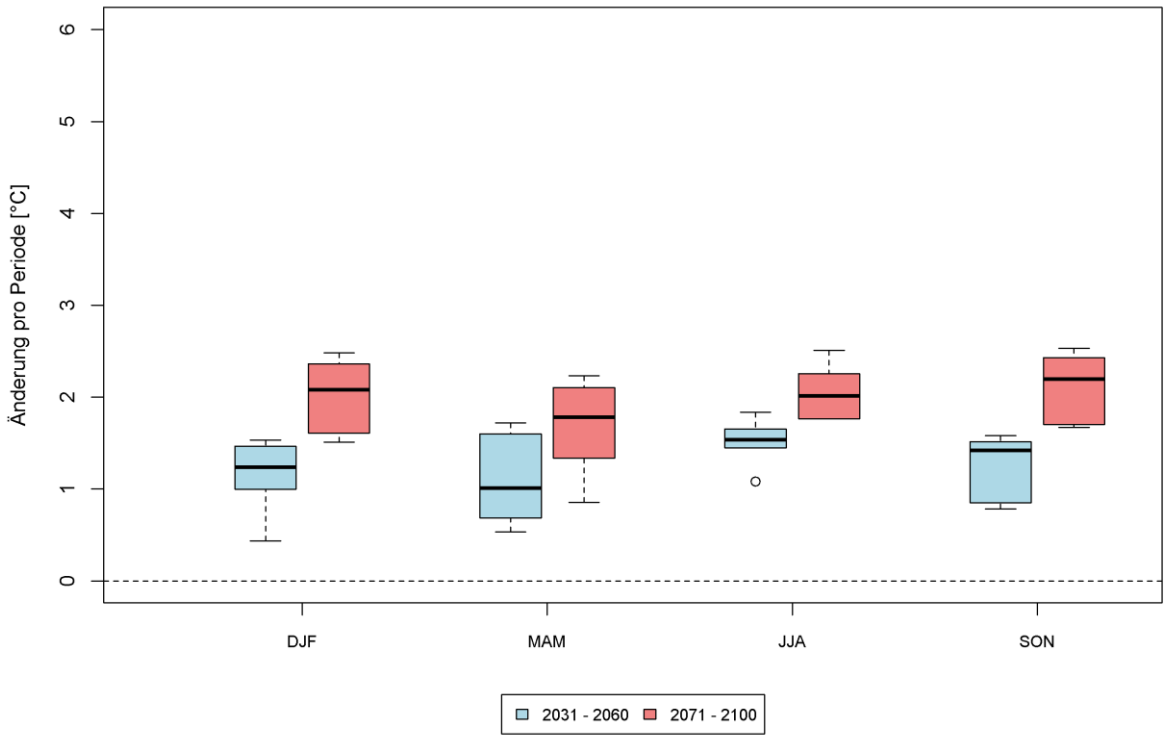

Abbildung A 3: Änderung der saisonalen Mitteltemperaturen in den beiden Zukunftsperioden im Vergleich zur Referenzperiode 1971-2000 in Rottenburg (RCP 4.5)

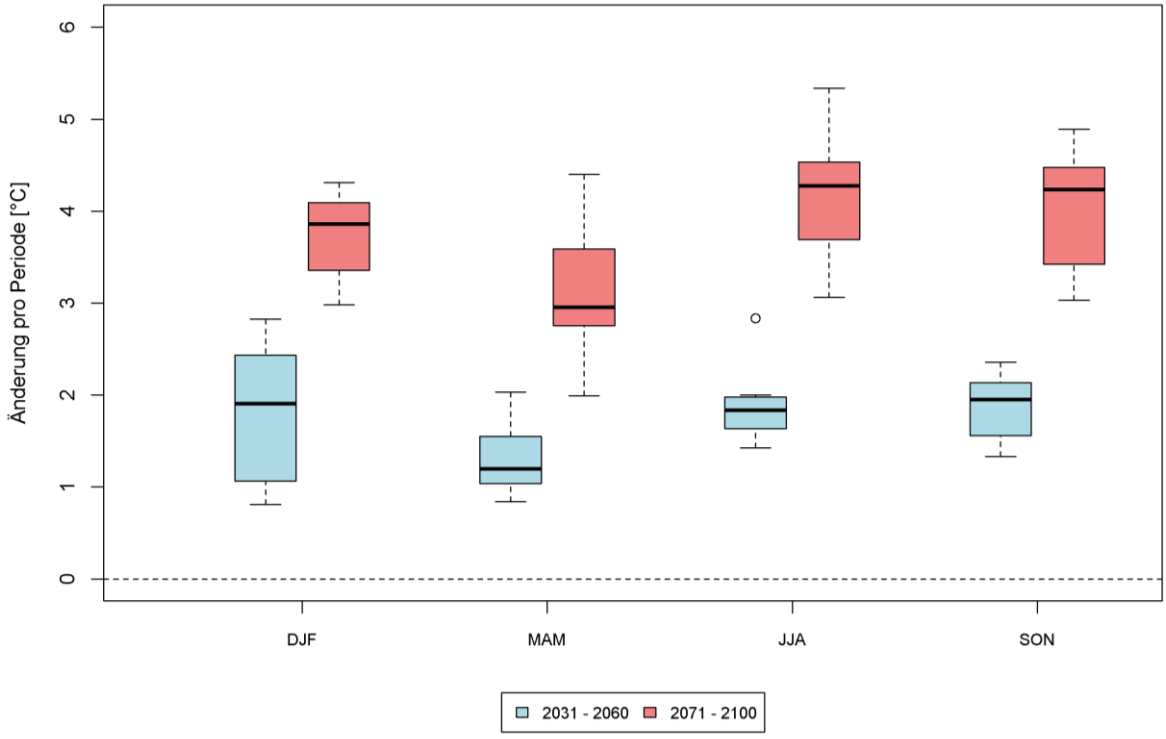

Abbildung A 4: Änderung der saisonalen Mitteltemperaturen in den beiden Zukunftsperioden im Vergleich zur Referenzperiode 1971-2000 in Rottenburg (RCP 8.5)

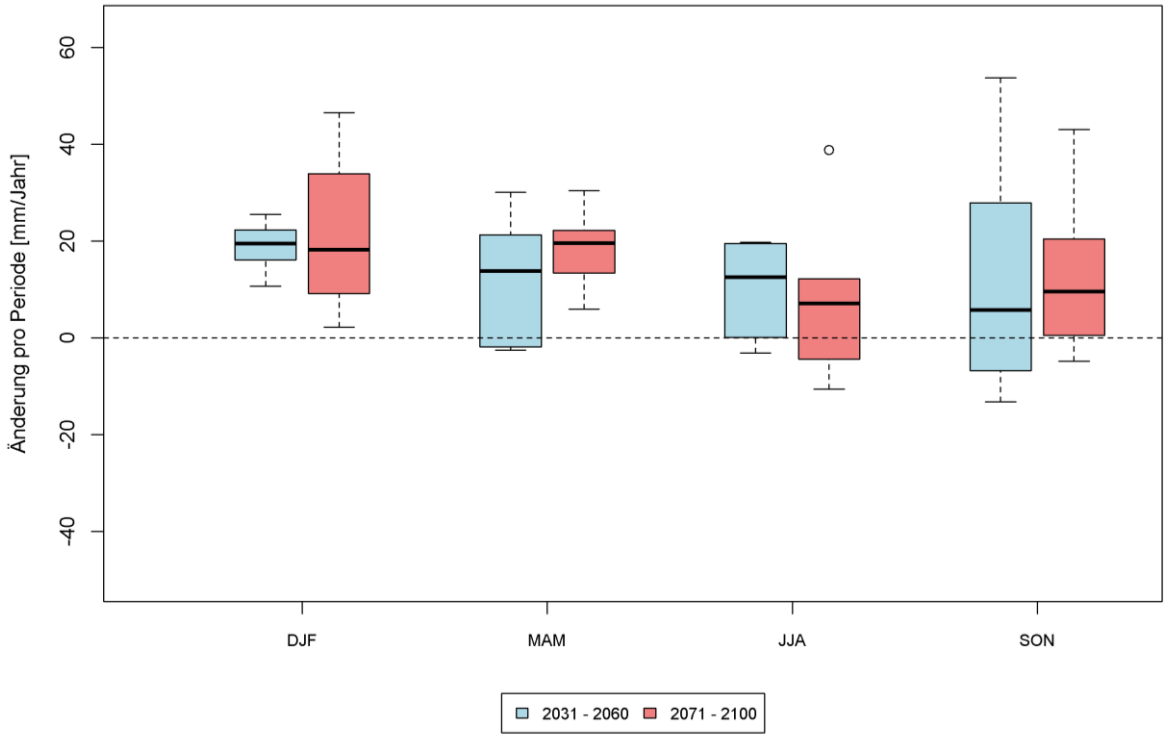

Abbildung A 5: Änderung der mittleren saisonalen Niederschlagssummen im Vergleich zur Referenzperiode 1971-2000 in Rottenburg (RCP 4.5)

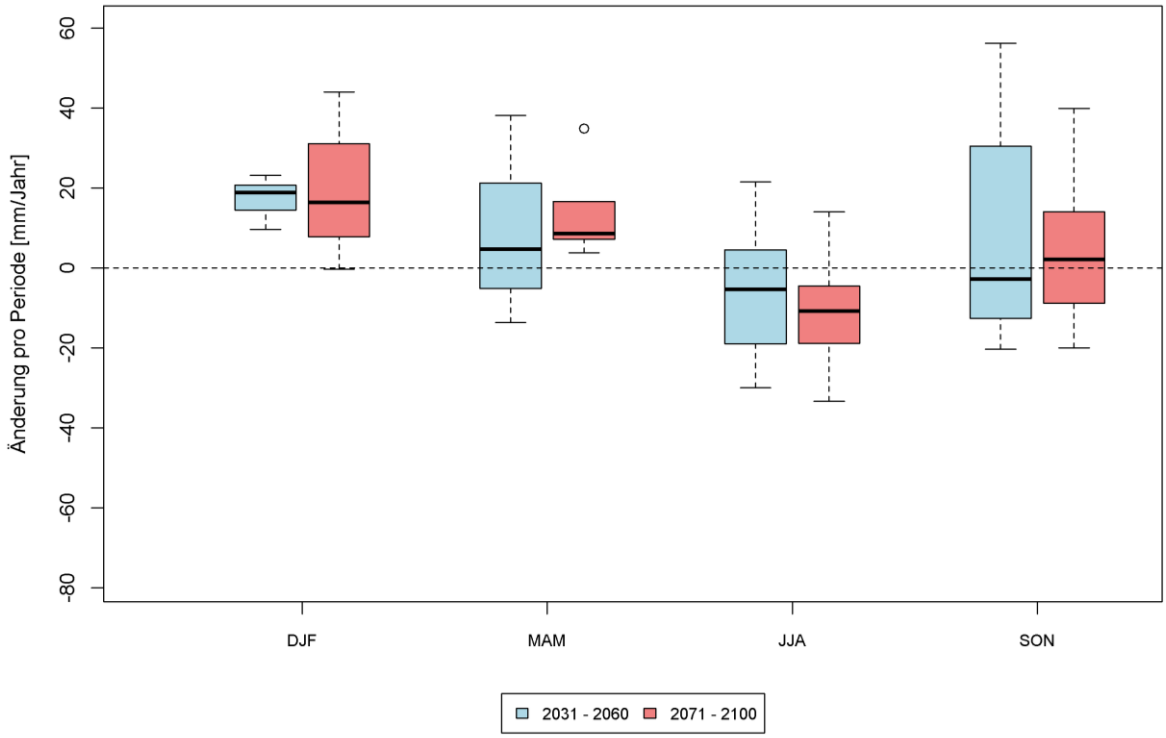

Abbildung A 6: Änderung der mittleren klimatischen Wasserbilanz im Vergleich zur Referenzperiode 1971-2000 in Rottenburg (RCP 4.5)

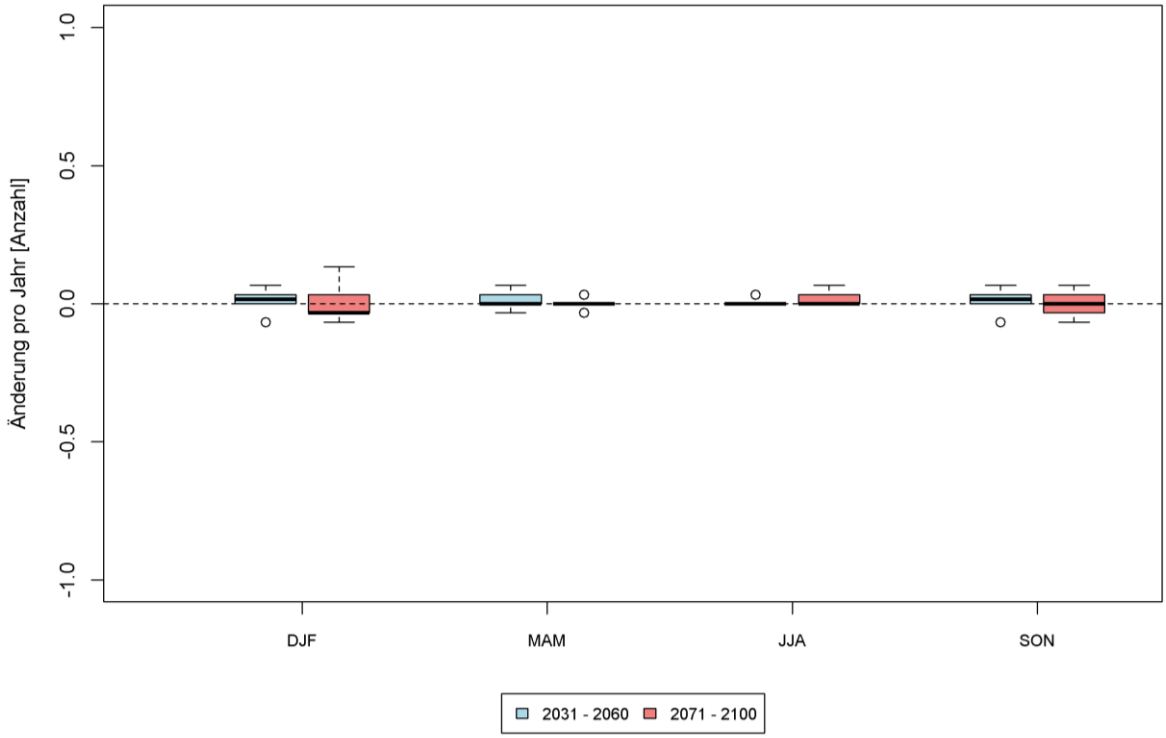

Abbildung A 7: Änderung der mittleren saisonalen Anzahl langanhaltender Trockenperioden im Vergleich zur Referenzperiode 1971-2000 in Rottenburg (22-28 aufeinanderfolgende Tage mit einem Niederschlag < 0,1 mm/d, RCP 4.5)

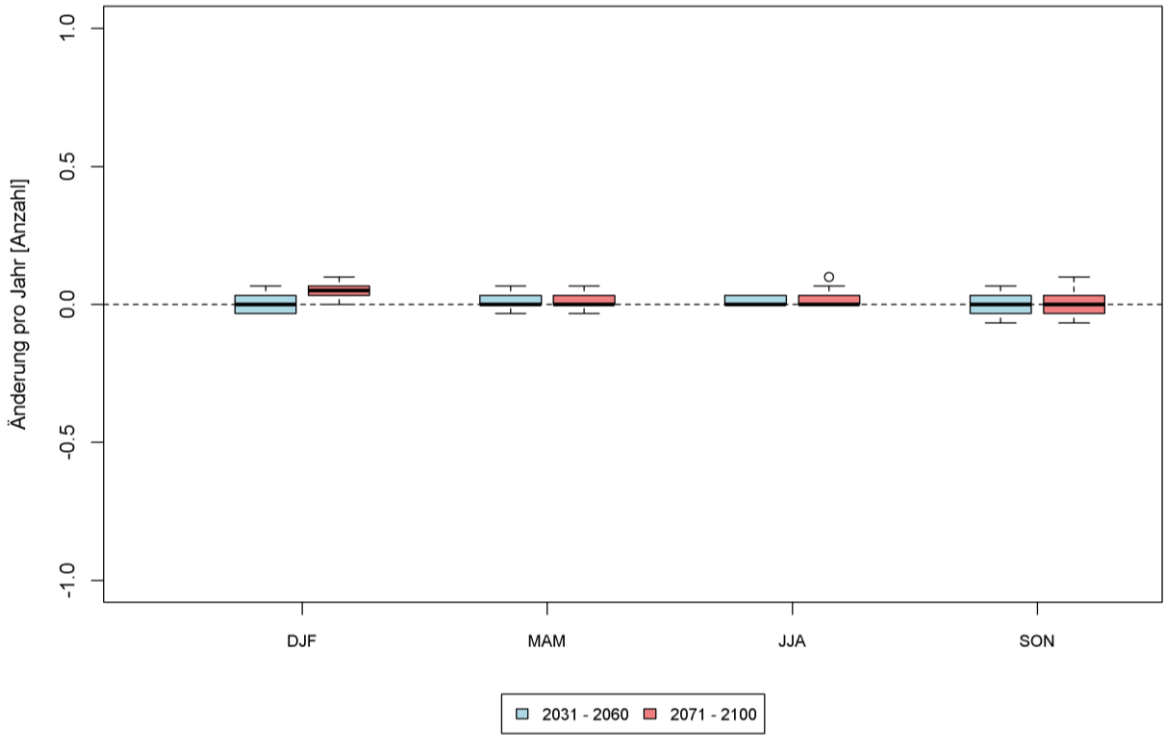

Abbildung A 8: Änderung der mittleren saisonalen Anzahl langanhaltender Trockenperioden im Vergleich zur Referenzperiode 1971-2000 in Rottenburg (22-28 aufeinanderfolgende Tage mit einem Niederschlag < 0,1 mm/d, RCP 8.5)

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Räumliche Ausdehnung der für die Auswertung verwendeten Modell-Gitterzellen (Hintergrundkarte: OpenStreetMap) 5

Abbildung 2: Strahlungsantrieb der verschiedenen Representative Concentration Pathways (RCP) und ihre Entwicklung bis 2100 (Quelle: Eigene Darstellung nach Meinshausen et al. 2011) 6

Abbildung 3: Klimadiagramm der Stadt Rottenburg für den Zeitraum 1971-2000, basierend auf den Rasterdatenprodukten des Deutschen Wetterdienstes (nach DWD, 2024) 8

Abbildung 4: Jahresmitteltemperatur in Rottenburg im Zeitraum 1881 bis 2024 (eigene Berechnung nach DWD 2024) 9

Abbildung 5: Räumliche Darstellung der Anzahl Heißer Tage pro Jahr (T_{max} ≥ 30 °C) in verschiedenen Perioden in Rottenburg (eigene Berechnung nach DWD 2024) 9

Abbildung 6: Jahresniederschlagssummen in Rottenburg im Zeitraum 1881 bis 2024 (eigene Berechnung nach DWD 2024) *10*

Abbildung 7: Trockenheitsindex nach de Martonne in Rottenburg im Zeitraum 1970 bis 2024 (eigene Berechnung nach DWD 2024) 11

Abbildung 8: Saisonmittelwerte der Bodenfeuchte (in % nFK) in Rottenburg im Zeitraum 1991 bis 2024 (eigene Berechnung nach DWD 2024) 11

Abbildung 9: Räumliche Darstellung der Anzahl an Starkregenereignissen pro Jahr (> 30 mm pro Tag) in verschiedenen Perioden in Rottenburg (eigene Berechnung nach DWD 2024) 12

Abbildung 10: Projizierte Änderung der Jahresmitteltemperaturen für die RCP-Szenarien 4.5 und 8.5 in Rottenburg bis Ende des Jahrhunderts (der Möglichkeitsbereich spiegelt die Minima und Maxima der Modellläufe wider) 13

Abbildung 11: Projizierte Änderung des Jahresniederschlags für die RCP-Szenarien 4.5 und 8.5 in Rottenburg bis Ende des Jahrhunderts (der Möglichkeitsbereich spiegelt die Minima und Maxima der Modellläufe wider) 15

Abbildung 12: Änderung der mittleren saisonalen Niederschlagssummen im Vergleich zur Referenzperiode 1971-2000 in Rottenburg (RCP 8.5) 15

Abbildung 13: Änderung der mittleren saisonalen klimatischen Wasserbilanz im Vergleich zur Referenzperiode 1971-2000 in Rottenburg (RCP 8.5) 16

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Langjährige mittlere Entwicklung der Temperaturen, des Niederschlags sowie von meteorologischen Kenntagen in Rottenburg in der Vergangenheit (eigene Berechnung nach DWD 2024). 9

Tabelle 2: Sturmereignisse und Orkane in der Periode 1971-2000 an der Rottenburg nahe gelegenen DWD-Station Stuttgart-Echterdingen (eigene Berechnung nach DWD 2024)......12

Tabelle 3: Änderung der Jahresmitteltemperatur, Anzahl meteorologischer Kenntage sowie Länge von Hitzeperioden in den beiden Zukunftsperioden in Rottenburg (Minimum, Median und Maximum des Änderungssignals alle Modelläufe)......14

Tabelle 4: Änderung der mittleren Niederschläge, der klimatischen Wasserbilanz und der Anzahl an Trockentagen in Rottenburg (Minimum, Median und Maximum des Änderungssignals alle Modelläufe)......16

Tabelle 5: Änderung der Auftrittshäufigkeit von Starkregenereignissen sowie des maximalen Tagesniederschlags in Rottenburg (Minimum, Median und Maximum des Änderungssignals alle Modelläufe). *17*

Quellenverzeichnis

Boden T. A., Marland G., Andres R.J. (2017): Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO_2 Emissions. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A.

DKRZ – Deutsches Klimarechenzentrum (2023): Die SSP-Szenarien. Online: https://www.dkrz.de/de/kommunikation/klimasimulationen/cmip6-de/die-ssp-szenarien.

Donat M. G., Leckebusch G. C., Pinto J. G., Ulbrich U. (2010): European storminess and associated circulation weather types: future changes deduced from a multi-model ensemble of GCM simulations. Climate Research 42:27–43. DOI: 10.3354/cr00853.

DWA – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (2016): Merkblatt DWA-M 119: Risikomanagement in der kommunalen Überflutungsvorsorge für Entwässerungssysteme bei Starkregen.

DWD – Deutscher Wetterdienst (2018): Datensätze auf der Basis der *RCP*-Szenarien. Online: https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaforschung/klimaprojektionen/fuer_deutschland/fuer_dtld_rcp-datensatz_node.html.

DWD – Deutscher Wetterdienst (2020): Nationaler Klimareport, Klima – gestern, heute und in der Zukunft.

DWD – Deutscher Wetterdienst (2024): Climate Data Center (CDC). Beobachtungs- und Rasterdaten. Online: https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC.

DWD – Deutscher Wetterdienst (2025): Wetterlexikon (Homepage). Online: www.dwd.de/lexikon.

Fink A. H., Pohle S., Pinto J. G., Knippertz P. (2012): Diagnosing the influence of diabatic processes on the explosive deepening of extratropical cyclones. Geophysical Research Letters 39. DOI: 10.1029/2012GL051025.

Gavrilov, M. B., An, W., Xu, C., Radaković, M. G., Hao, Q., Yang, F., Guo, Z., Perić, Z., Gavrilov, G., Markovic, S. B. (2019): Independent Aridity and Drought Pieces of Evidence Based on Meteorological Data and Tree Ring Data in Southeast Banat, Vojvodina, Serbia. Atmosphere 10(10), 586. DOI: 10.3390/atmos10100586.

Giorgi F., Jones C., Asrar G. R. (2009): Addressing climate information needs at the regional level: the CORDEX framework, WMO Bulletin, 58(3):175-183. Online: https://cordex.org/wp-content/uploads/2018/03/cordex_giorgi_wmo.pdf.

Hübener, H., Spekat, A., Bülow, K., Früh, B., Keuler, K., Menz, C., Radtke, K., Ramthun, H., Rathmann, T., Steger, C., Toussaint, F., Warrach-Sagi, K. (2017): ReKliEs-De. Nutzerhandbuch. Regionale Klimaprojektionen Ensemble für Deutschland. DOI: 10.2312/WDCC/ReKliEsDe_Nutzerhandbuch.

Kaspar F., Müller-Westermeier G., Penda E., Mächel H., Zimmermann K., Kaiser-Weiss A., Deutschländer T. (2013): Monitoring of climate change in Germany – data, products and services of Germany`s National Climate Data Centre. Adv. Sci. Res., 10: 99–106. DOI: 10.5194/asr-10-99-2013.

LfU – Bayrisches Landesamt für Umwelt (2020): Das Bayerische Klimaprojektionsensemble – Audit und Ensemblebildung.

Linke C. et al. (2024): Leitlinien zur Interpretation regionaler Klimamodelldaten. Erstellt durch das Bund-Länder-Fachgespräch „Interpretation regionaler Klimamodelldaten“, Potsdam. Online: https://mik.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/Leitlinien-Klimamodelldaten.pdf.

LUBW – Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (2021): Klimazukunft Baden-Württemberg - Was uns ohne effektiven Klimaschutz erwartet!. Klimaleitplanken 2.0.

LUBW – Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (2025): Der Klimaatlas Baden-Württemberg. Online: https://www.klimaatlas-bw.de/klimaatlasbw.

McDonald R. E. (2011): Understanding the impact of climate change on Northern hemisphere extra-tropical cyclones. Climate Dynamics 37:1399–1425. DOI: 10.1007/s00382-010-0916-x.

Meinshausen, M., Smith, J. C., Calvin, K., Daniel, J. S., Kainuma, M. L. T., Lamarque, J. F., Matsumoto, K., Montzka, S. A., Raper, S. C. B., Riahi, K., Thomson, A., Velders, G. J. M., van Vuuren, D. P. P. (2011): The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300. Climatic Change, 109:213–241. DOI: 10.1007/s10584-011-0156-z.

Moss R. H., Edmonds J. A., Hibbard K. A., Manning M. R., Rose S. K., van Vuuren D. P., Carter T. R., Emori S., Kainuma M., Kram T., Meehl G. A., Mitchell J. F. B., Nakicenovic N., Riahi K., Smith S. J.,

Stouffer R .J., Thomson A. M., Weyant J. P., Wilbanks T. J. (2010): The next generation of scenarios for climate change research and assessment. Nature 463:747–756. DOI: 10.1038/nature08823.

MWVLW RLP - Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau Rheinland-Pfalz (2023): Wetterdaten Rheinland-Pfalz. Bodenfeuchte Hilfe. Online: https://www.wetter.rlp.de/Internet/global/themen.nsf/b81d6f06b181d7e7c1256e920051ac19/6449e62b480fcb10c1257d5f0034e7b5?OpenDocument

Peters G. P., Andrew R. M., Boden T., Canadell J. G., Ciais P., Le Quéré C., Marland G., Raupach M. R., Wilson C. (2012): The challenge to keep global warming below 2 °C. Nature Clim. Change 3:4–6. DOI: 10.1038/nclimate1783.

Pinto J. G., Ryers M. (2017): Winde und Zyklonen. In: Brasseur G., Jacob D., Schuck-Zöller S. (Hrsg.) (2017): Klimawandel in Deutschland.

Pinto J. G., Zacharias S., Fink A. H., Leckebusch G. C., Ulbrich U. (2009): Factors contributing to the development of extreme North Atlantic cyclones and their relationship with the NAO. Climate Dynamics 32:711–737. DOI: 10.1007/s00382-008-0396-4.

Rauthe M., Malitz G., Gratzki A., Becker A. (2014): Starkregen. In: Becker P., Hüttl R. F. (Hrsg.): Forschungsfeld Naturgefahren. Potsdam und Offenbach, S. 112.

Schwalm, C., Glendon, S., Duffy, P. (2020): RCP8.5 tracks cumulative CO_2 emissions. Proceedings of the National Academy of Sciences 117(33):19656-19657. DOI: 10.1073/pnas.2007117117.

UBA – Umweltbundesamt (2021): Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland. Kurzfassung. Online: https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/KWRA-Zusammenfassung.

UBA – Umweltbundesamt (2022a): Trends der Lufttemperatur. Online: https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/trends-der-lufttemperatur#steigende-durchschnittstemperaturen-weltweit.

UBA – Umweltbundesamt (2022b): Trends der Niederschlagshöhe. Online: https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/trends-der-niederschlagshoehe.

ZAMG – Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (2020): Starkniederschlag. Online: https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimavergangenheit/neoklima/starkniederschlag.