

Methodik-Papier zur Datenerhebung im Handlungsfeld Temperatur: Temperaturkenntage

Grundlagen

Die Temperaturkenntage werden von der Lufttemperatur abgeleitet, welche die Leitgröße zur Beschreibung der anthropogenen Klimaveränderung ist. Sie liefern ein anschauliches Maß, ob es besonders warme oder kalte Perioden innerhalb eines Jahres oder Regionen in NRW mit einem überdurchschnittlichen Wärme- oder Kältereiz gibt.

Die Temperaturkenntage werden wie folgt definiert:

Eistag:	die Tageshöchsttemperatur bleibt unter 0 °C ($t_{max} < 0$ °C)
Frosttag:	die Tagestiefsttemperatur unterschreitet 0 °C ($t_{min} < 0$ °C)
Sommertag:	die Tageshöchsttemperatur erreicht oder überschreitet 25 °C ($t_{max} \geq 25$ °C)
Heißer Tag:	die Tageshöchsttemperatur erreicht oder überschreitet 30 °C ($t_{max} \geq 30$ °C)
Hitzewelle:	mindestens drei aufeinanderfolgende Heiße Tage
Tropennacht:	die Tiefsttemperatur in der Nacht (18 Uhr bis 6 Uhr; Koordinierte Weltzeit=UTC) sinkt nicht unter 20 °C ($t_{min} \geq 20$ °C)

Datenbasis und Kartenerstellung

Der DWD unterhält ein umfangreiches und langjähriges Stationsnetz, das mit unterschiedlichster Messtechnik und Sensorik Daten zu beispielsweise Temperatur, Niederschlag und Sonnenscheindauer erhebt. Die Daten werden nach international festgelegten Normen gewonnen und stehen meist seit 1951 zur Verfügung, für Temperatur und Niederschlag bereits ab 1881.

Die Flächenkarten zu den Beobachtungsdaten werden in monatlicher, jahreszeitlicher bzw. jährlicher Auflösung auf der Basis von Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) berechnet. Der DWD interpoliert die Stationsdaten unter Berücksichtigung der Geländetopographie auf ein Raster von 1 km × 1 km, sodass sich Flächenkarten für NRW ergeben. Die Flächenkarten der jährlichen Temperaturkenntage werden zu zeitlichen Mittelwerten für alle im Messzeitraum verfügbaren 30-Jahres-Perioden (Klimanormalperioden) aggregiert. Über einen Zeitschieber in der Kartenanwendung sind alle Karten in chronologischer Abfolge abrufbar.

Die Beobachtungsdaten der Kenntage Eistag, Frosttag, Sommertag, Heißer Tag und Tropennacht wurden durch den Deutschen Wetterdienst bereitgestellt. Der Parameter Hitzewellen wurde durch das LANUV berechnet. Basis der Auswertung der Hitzewellen stellt der HYRAS-Datensatz des DWD dar (Razafimaharo et al. 2020). Bei den HYRAS-Daten liegen die Lufttemperaturdaten (Mittel, Minimum und Maximum) als Tagesdaten im Zeitraum 1951-2020 in einer Auflösung von 5 km x 5 km vor, die durch Interpolation von Stationsdaten gewonnen werden. Mit Hilfe des HYRAS-Datensatzes konnten die Hitzewellen durch das LANUV berechnet werden. Die Ergebnisse liegen für die Klimanormalperioden 1951-1980, 1961-1990, 1971-2000 und 1981-2010 vor.

Während das Klima der Vergangenheit und Gegenwart durch meteorologische Daten und Beobachtungen gut beschrieben werden kann, müssen für Aussagen zu möglichen zukünftigen Klimaentwicklungen physikalische Rechenmodelle herangezogen werden. Die Ergebnisse dieser Simulationen werden als Klimaprojektionen bezeichnet. Der DWD greift dabei auf Klimaprojektionen aus den Projekten EURO-CORDEX und ReKliEs-DE zurück und verwendet das DWD Referenzensemble v2018 (Stand Juli 2018). Darüber hinaus wurde durch den DWD ein Downscaling der Klimaprojektionsdaten auf eine 5 km x 5 km Auflösung durchgeführt (vgl. DWD 2015). Wie bei den Beobachtungsdaten wurden die Klimaprojektionsdaten der Kenntage Eistag, Frosttag, Sommertag, Heißer Tag und Tropennacht durch den Deutschen Wetterdienst bereitgestellt. Die Berechnung der Hitzewellen erfolgte aus den vom Deutschen Wetterdienst zur Verfügung gestellten Daten der Einzelmodellläufe durch das LANUV.

Die Projektionen werden für drei Klimaszenarien berechnet, die von unterschiedlichen Treibhausgasemissionen/-konzentrationen bis zum Ende des Jahrhunderts ausgehen: RCP2.6, RCP4.5 und RCP8.5. Sie werden nach ihrem Strahlungsantrieb zum Ende des Jahrhunderts bezeichnet. Das

RCP-Szenario 2.6 stellt dabei einen Sonderfall dar, da es den maximalen Wert des Strahlungsantriebs bereits vor 2100 erreicht und danach rückläufige Werte aufweist. Es ist das ambitionierteste Szenario unter den RCP-Klimaszenarien. Es ist nur durch die Implementierung von globalen Klimaschutzmaßnahmen und Techniken zur CO_2-Speicherung zu verwirklichen. Der Verlauf des RCP2.6 spiegelt in etwa die Einhaltung des sogenannten „2-Grad-Ziels“ wider und wird auch als „Klimaschutz-Szenario“ bezeichnet. Das Szenario RCP8.5 ist hingegen als „weiter-wie-bisher“-Szenario zu sehen. Es geht bei einem steigenden Verbrauch fossiler Energieträger von weiterhin steigenden Treibhausgasemissionen aus.

Die verschiedenen Klimamodelle liefern unterschiedliche Ergebnisse, die alle grundsätzlich als gleich wahrscheinlich anzusehen sind. Um einen Korridor aufzuzeigen, in dem die zu erwartenden Klimaveränderungen in Nordrhein-Westfalen unter Annahme der verschiedenen Szenarien wahrscheinlich eintreten werden, wird jeweils das 15., das 50. und das 85. Perzentil der Klimaprojektionen dargestellt (vgl. **DWD 2015**).

Die Karten zu den Klimaprojektionen werden für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) und die ferne Zukunft (2071-2100) als Mittelwerte für die genannten Klimanormalperioden dargestellt. Auf der einen Seite gibt es die möglichen Zukunftsprojektionen als absolute Karten der Temperaturkenntage in Anzahl Tage pro Jahr. Zusätzlich existieren Karten für die identischen Zeitabschnitte, die nur das Änderungssignal der Anzahl der Kenntage gegenüber der Referenzperiode 1971 bis 2000 darstellen. Damit kann die aktuelle Klimanormalperiode 1991 bis 2020 direkt mit den möglichen zukünftigen Karten der jeweiligen Kenntage verglichen, oder nur die relative Änderung gegenüber der Referenzperiode 1971 bis 2000 dargestellt werden. Es gibt bei den Kenntagen allerdings eine Ausnahme: Die Karten für die Tropennächte liegen nur für die Zukunftsprojektionen und nur als Änderung gegenüber 1971-2000 vor.

Kartenbeschreibung - Beobachtungsdaten

Die Temperaturkenntage spiegeln ähnlich der Lufttemperatur den Einfluss der Geländehöhe wider. In den Mittelgebirgen Eifel und Weserbergland treten in der aktuellen Klimanormalperiode 1991-2020 um die 20 **Eistage** pro Jahr auf, die höchste Anzahl an Eistagen mit durchgängig über 20 Tagen treten im Sauer- und Siegerland auf. Das Bergische Land und das Westfälische Tiefland stellen einen Übergangsbereich mit etwa 15 Eistagen dar. In den Ebenen der Niederrheinischen Bucht, des Niederrheinischen Tieflands und der Westfälischen Bucht werden hingen durchschnittlich knapp unter 10 Eistage pro Jahr registriert. Flächendeckend ging in Nordrhein-Westfalen die Anzahl der Eistage zwischen 1951-1980 und 1991-2020 zurück (Abbildung 1).

Ein ähnliches Bild ergibt sich für die **Frosttage** in NRW. Während in der aktuellen Klimanormalperiode 1991-2020 im Sieger- und Sauerland die durchschnittliche Anzahl der Frosttage meist über 90 Tagen liegt, sind es in den weiteren Mittelgebirgen der Eifel, des Weserbergland sowie des Bergischen Lands um die 70 bis 85 Tage. In den weiteren Tieflandregionen werden hingegen noch etwa 50 bis 65 Frosttage erreicht. Auch die Frosttage sind seit 1951 flächendeckend rückläufig (Abbildung 2).

Demgegenüber wird die höchste Anzahl der **Sommertage** mit um die 25 bis knapp 40 Tagen in den Tieflagen der Niederrheinischen Bucht, des Niederrheinischen Tieflands, der Westfälischen Bucht sowie des Westfälischen Tieflands erreicht (Abbildung 3). Wiederum stellen Bergisches Land und Weserbergland einen Übergangsbereich dar, dort werden im Schnitt zwischen 20 und 30 Sommertagen pro Jahr registriert. Die geringste Anzahl an Sommertagen tritt im Bereich der Eifel und im Sieger- und Sauerland auf, sie reicht von knapp unter 20 bis 25 Sommertagen.

Die **Heißen Tage** zeigen von allen Kenntagen mit Werten zwischen 2 und 8 Tagen pro Jahr die geringste Häufigkeit in NRW. Somit sind auch die regionalen Unterschiede am wenigsten ausgeprägt (Abbildung 4). Prinzipiell lässt sich aber auch hier die Unterscheidung in die Tief- und Höhenlagen NRWs treffen.

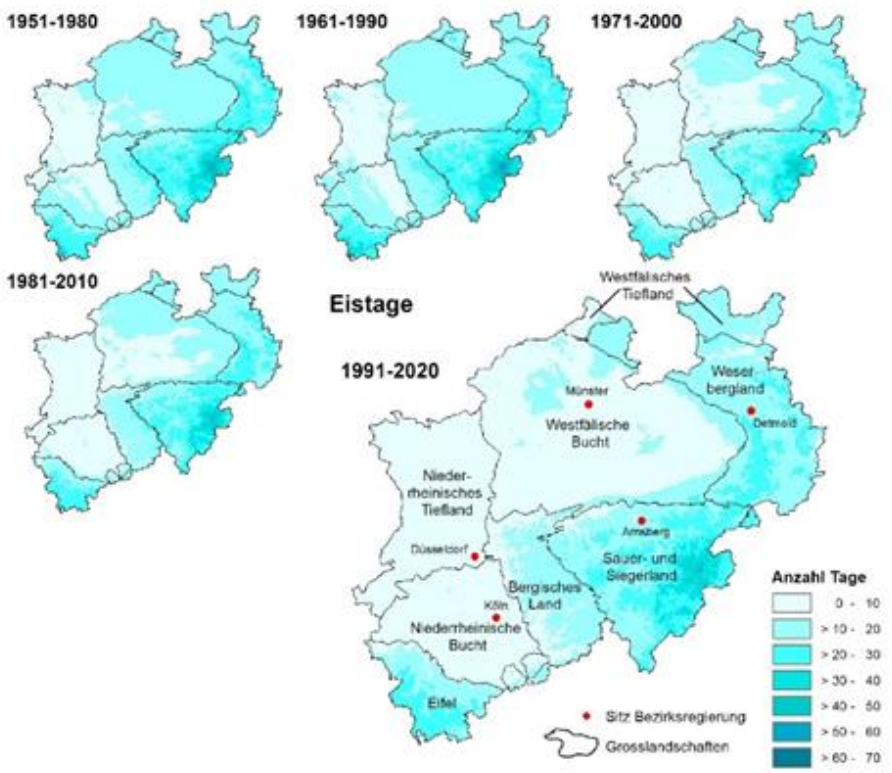

Abbildung 1: Mittlere jährliche Anzahl der Eistage in Nordrhein-Westfalen in allen Klimanormalperioden des Zeitraumes 1951-2020 (Datengrundlage: DWD)

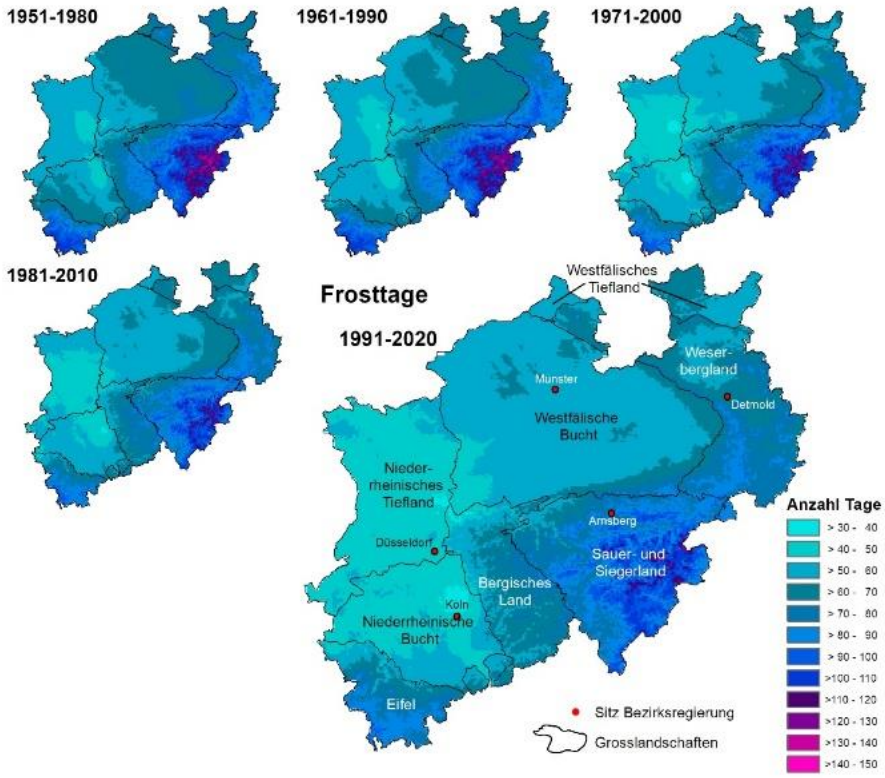

Abbildung 2: Mittlere jährliche Anzahl der Frosttage in Nordrhein-Westfalen in allen Klimanormalperioden des Zeitraumes 1951-2020 (Datengrundlage: DWD)

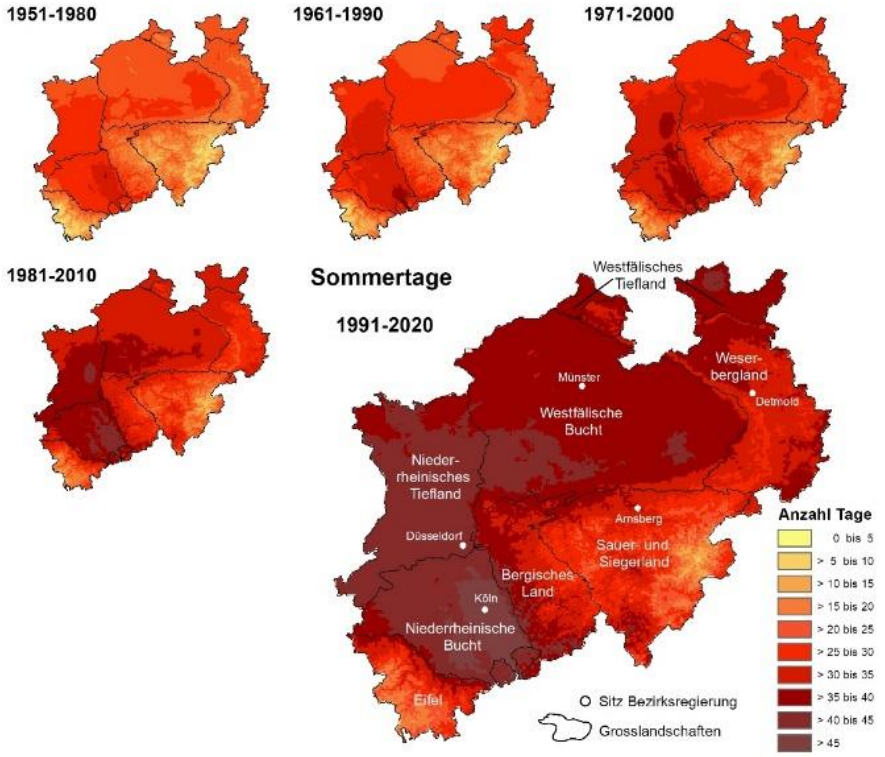

Abbildung 3: Mittlere jährliche Anzahl der Sommertage in Nordrhein-Westfalen in allen Klimanormalperioden des Zeitraumes 1951-2020 (Datengrundlage: DWD)

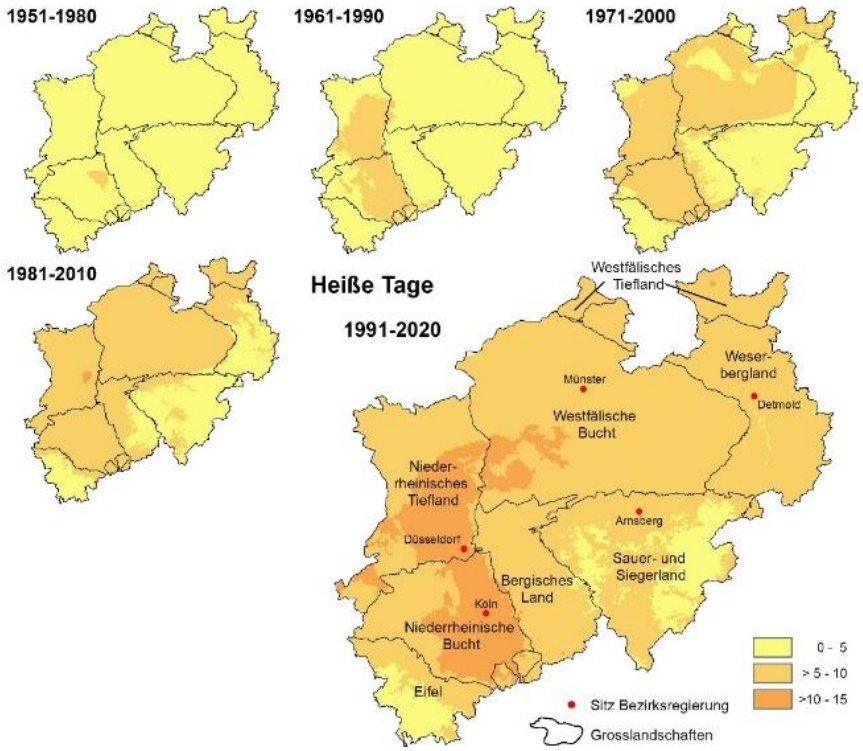

Abbildung 4: Mittlere jährliche Anzahl der Heißen Tage in Nordrhein-Westfalen in allen Klimanormalperioden des Zeitraumes 1951-2020 (Datengrundlage: DWD)

Die räumliche Verteilung der **Hitzewellen** entspricht ebenfalls der typischen Lufttemperaturverteilung. Somit kommen sie am häufigsten entlang des Rheins vor. Da im Beobachtungszeitraum kaum Hitzewellen auftraten, werden diese hier nicht bildlich dargestellt.

Zeitraum	Eistage	Frosttage	Sommer-tage	Heiße Tage	Hitze-wellen
1951 – 1980	73	17	23	4	0,1
1961 – 1990	70	17	25	4	0,0
1971 – 2000	65	14	28	5	0,1
1981 – 2010	65	14	32	6	0,2
1991 – 2020	62	12	36	8	0,3

Tabelle 1: Beobachtete mittlere Anzahl der Temperaturkenntage in den Klimanormalperioden zwischen 1951 und 2020 (Datengrundlage: DWD).

Im Vergleich der KNP 1991-2020 und 1961-1990 hat in ganz NRW ein Rückgang der mittleren jährlichen Anzahl der **Eistage** um 8 Tage, der **Frosttage** um 5 Tage stattgefunden. Dabei sind zwei Sprünge zu sehen: die KNP 1951-1980 und 1961-1990 sowie die KNP 1971-2000 und 1981-2010 weisen jeweils sehr ähnliche beziehungsweise gleiche Werte auf, die KNP 1991-2020 zeigt nochmal eine geringere Anzahl der kalten Kenntage (Tabelle 1).

Ungleich den kältebedingten Kenntagen haben die warmen Kenntage kontinuierlich seit der KNP 1951-1980 zugenommen (Tabelle 1). Zwischen den KNP 1961-1990 und 1991-2020 erfolgte eine Zunahme der **Sommertage** um 11 Tage, der **Heißen Tage** um 4 Tage. Die mittlere Anzahl der **Hitzewellen** stieg in diesem Zeitraum von etwa einer Hitzewelle alle zehn Jahre auf eine Hitzewelle alle drei Jahre an.

Kartenbeschreibung - Klimaprojektionen

Die zukünftige Entwicklung der Temperaturkenntage zeigt für ganz NRW ein einheitliches Bild: eine weitere Abnahme der kalten sowie eine weitere Zunahme der warmen Temperaturkenntage (Tabelle 2). Für die kältebedingten Eis- und Frosttage lässt sich eine leichte regionale Differenzierung sehen. In den Höhenlagen der Mittelgebirge wird ein etwas stärkerer Rückgang projiziert als in den Tieflagen (Abb. 5 und Abb. 6). Bei den hitzebedingten Kenntagen ist keine eindeutige regionale Differenzierung über NRW erkennbar, ein etwas stärkerer Anstieg dieser Kenntage könnte für die Niederrheinische Bucht erwartet werden (Abb. 7, Abb. 8, Abb. 9, Abb. 10).
Alle Klimaszenarien (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5) zeigen in der Mitte des Jahrhunderts einen ähnlichen Wertebereich für die Änderung der Kenntage (Tab. 2). In der fernen Zukunft ist eine größere Spreizung zwischen den Klimaszenarien bzw. der Zu- und Abnahme der Kenntage zu beobachten. Das RCP2.6-Szenario zeigt für die ferne Zukunft die geringsten Änderungen und ähnliche Werte, wie in der Mitte des Jahrhunderts.

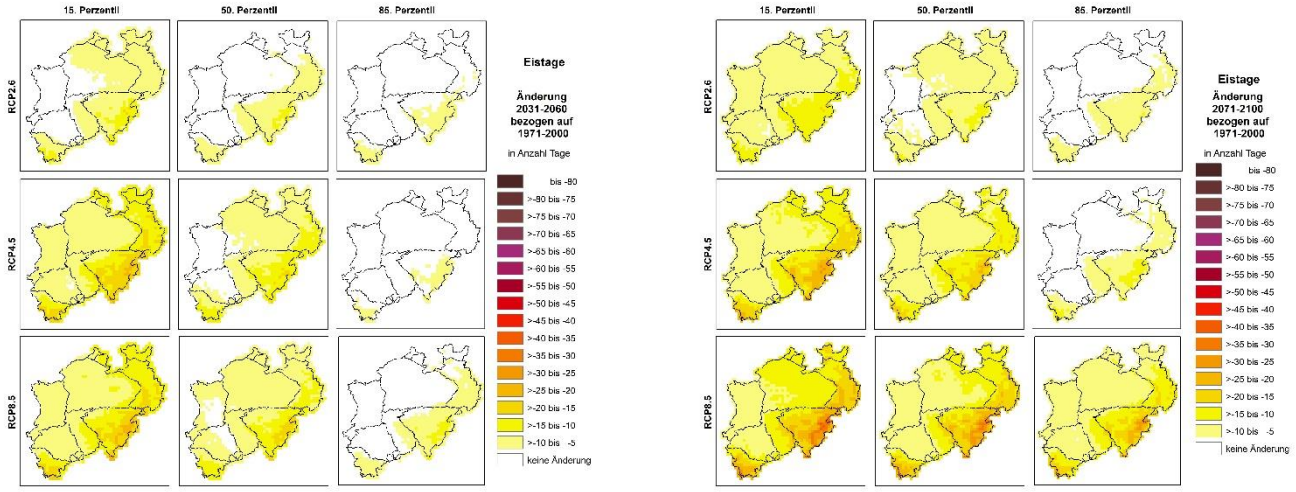

Abbildung 5: Projizierte Änderung der Eistage in Nordrhein-Westfalen für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060, links) und die ferne Zukunft (2071-2100, rechts) jeweils bezogen auf 1971-2000. Die Basis bildet das DWD-Referenzensemble v2018, zum Stand Juni 2018 der Szenarien RCP2.6, RCP4.5 und RCP8.5 (Datengrundlage: Brienen et al. 2020).

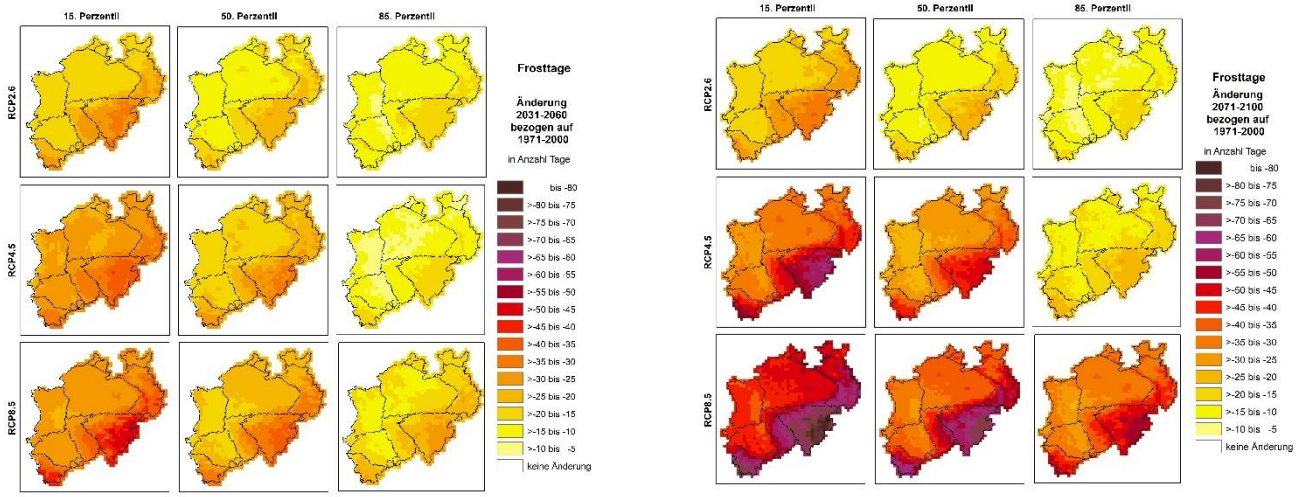

Abbildung 6: Projizierte Änderung der Frosttage in Nordrhein-Westfalen für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060, links) und die ferne Zukunft (2071-2100, rechts) jeweils bezogen auf 1971-2000. Die Basis bildet das DWD-Referenzensemble v2018, zum Stand Juni 2018 der Szenarien RCP2.6, RCP4.5 und RCP8.5 (Datengrundlage: Brienen et al. 2020).

Insgesamt wird für die Mitte des Jahrhunderts ein möglicher Rückgang der Eistage zwischen -3 bis -5 (85. Perzentil) und -6 bis -11 Tagen (15. Perzentil) projiziert. In der fernen Zukunft wird ein Rückgang der Eistage um -4 bis -9 Tage (85. Perzentil) bis zu -8 bis -13 Tage (15. Perzentil) erwartet (Tabelle 2). Für die Heißen Tage wird in der Mitte des Jahrhunderts eine Zunahme um einen bis 4 Tage (15. Perzentil) bis zu einem Anstieg um 6 bis 9 Tage (85. Perzentil) projiziert, der sich bis zum Ende des Jahrhunderts (2071-2100) auf 2 bis 11 Tage (15. Perzentil) bis hin zu zwischen 7 und 23 Tage (85. Perzentil) verstärkt. Die Anzahl der Hitzewellen liegt im Zeitraum 2031-2060 bei durchschnittlich einer Hitzewelle pro Jahr und

erhöht sich zum Ende des Jahrhunderts (2071-2100) auf vier Hitzewellen pro Jahr (je nach Klimaszenario und betrachtetem Perzentil).

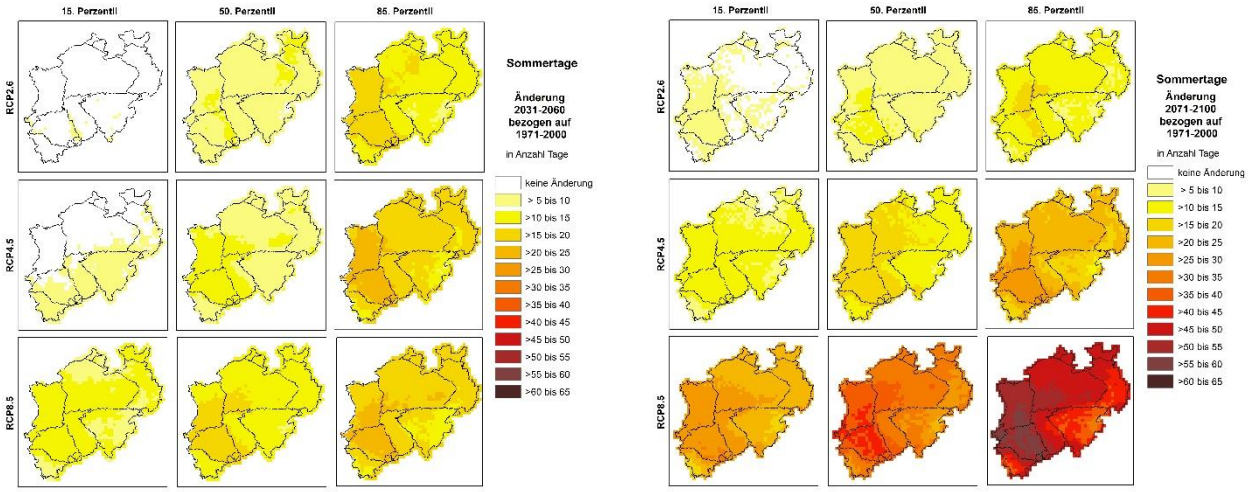

Abbildung 7: Projizierte Änderung der Sommertage in Nordrhein-Westfalen für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060, links) und die ferne Zukunft (2071-2100, rechts) jeweils bezogen auf 1971-2000. Die Basis bildet das DWD-Referenzensemble v2018, zum Stand Juni 2018 der Szenarien RCP2.6, RCP4.5 und RCP8.5 (Datengrundlage: Brienen et al. 2020).

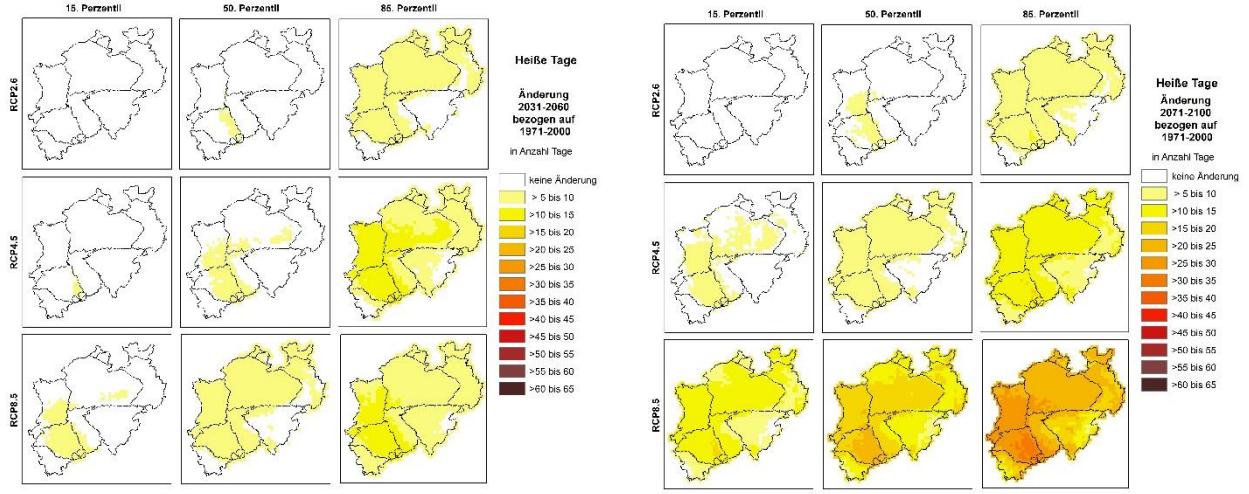

Abbildung 8: Projizierte Änderung der Heißen Tage in Nordrhein-Westfalen für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060, links) und die ferne Zukunft (2071-2100, rechts) jeweils bezogen auf 1971-2000. Die Basis bildet das DWD-Referenzensemble v2018, zum Stand Juni 2018 der Szenarien RCP2.6, RCP4.5 und RCP8.5 (Datengrundlage: Brienen et al. 2020).

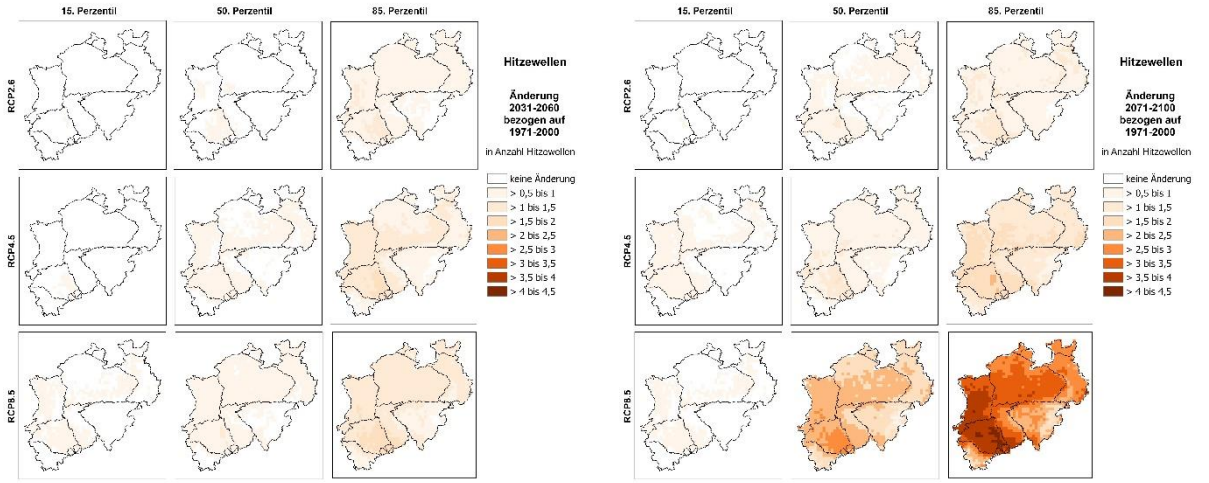

Abbildung 9: Projizierte Änderung der Hitzewellen in Nordrhein-Westfalen für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060, links) und die ferne Zukunft (2071-2100, rechts) jeweils bezogen auf 1971-2000. Die Basis bildet das DWD-Referenzensemble v2018, zum Stand Juni 2018 der Szenarien RCP2.6, RCP4.5 und RCP8.5 (Datengrundlage: Brienen et al. 2020).

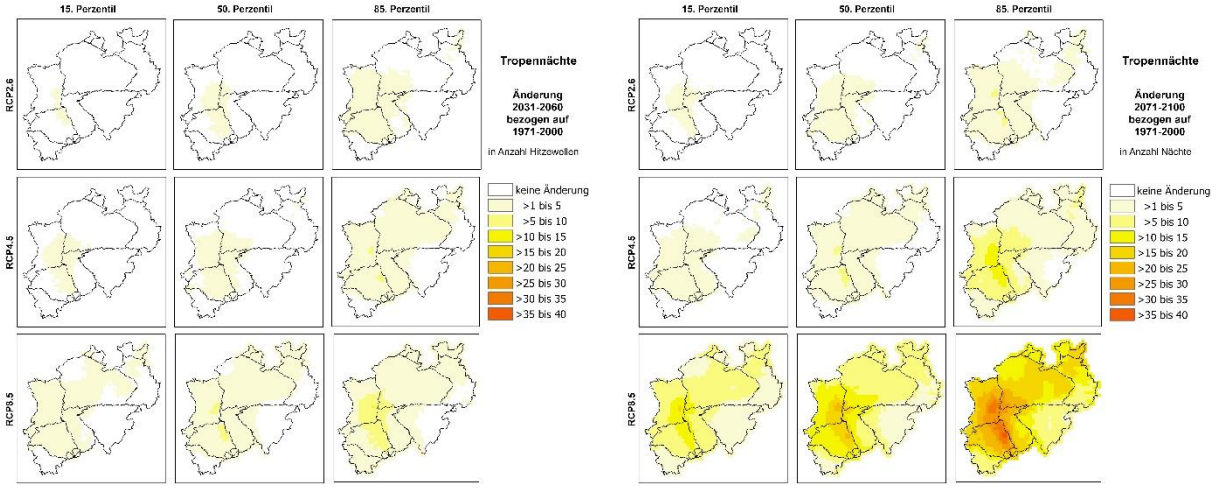

Abbildung 10: Projizierte Änderung der Tropennächte in Nordrhein-Westfalen für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060, links) und die ferne Zukunft (2071-2100, rechts) jeweils bezogen auf 1971-2000. Die Basis bildet das DWD-Referenzensemble v2018, zum Stand Juni 2018 der Szenarien RCP2.6, RCP4.5 und RCP8.5 (Datengrundlage: Brienen et al. 2020).

Tabelle 2: Projizierte mittlere Anzahl der Kenntage pro Jahr (Absolutwerte) als Mittel für NRW in der Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) und fernen Zukunft (2071-2100). Die Anzahl der Tropennächte ist als relative Abweichung gegenüber der Referenzperiode 1971-2000 angegeben. Die Basis bildet das DWD-Referenzensemble v2018, zum Stand Juni 2018 der Szenarien RCP2.6, RCP4.5 und RCP8.5 (Datengrundlage: Brienen et al. 2020).

Eistage	**Perzentil**	**RCP2.6**	**RCP4.5**	**RCP8.5**
2031-2060	15. Perzentil	8	4	4
	50. Perzentil	9	7	6
	85. Perzentil	11	12	9
2071-2100	15. Perzentil	6	3	1
	50. Perzentil	8	5	3
	85. Perzentil	10	10	5
Frosttage	**Perzentil**	**RCP2.6**	**RCP4.5**	**RCP8.5**
2031-2060	15. Perzentil	45	37	34
	50. Perzentil	49	44	41
	85. Perzentil	52	53	47
2071-2100	15. Perzentil	43	28	14
	50. Perzentil	51	34	23
	85. Perzentil	54	49	30
Sommertage	**Perzentil**	**RCP2.6**	**RCP4.5**	**RCP8.5**
2031-2060	15. Perzentil	32	33	39
	50. Perzentil	37	38	42
	85. Perzentil	42	46	46
2071-2100	15. Perzentil	34	40	54
	50. Perzentil	38	44	63
	85. Perzentil	41	51	77
Heiße Tage	**Perzentil**	**RCP2.6**	**RCP4.5**	**RCP8.5**
2031-2060	15. Perzentil	7	8	9
	50. Perzentil	8	10	11
	85. Perzentil	11	14	14
2071-2100	15. Perzentil	8	10	16
	50. Perzentil	9	12	22
	85. Perzentil	12	17	28
Hitzewellen	**Perzentil**	**RCP2.6**	**RCP4.5**	**RCP8.5**
2031-2060	15. Perzentil	0,6	0,7	0,9
	50. Perzentil	0,8	1,0	1,1
	85. Perzentil	1,2	1,5	1,7

	15. Perzentil	0,7	1,0	1,9
2071-2100	50. Perzentil	1,0	1,3	2,5
	85. Perzentil	1,7	1,9	3,5
Tropennächte	**Perzentil**	**RCP2.6**	**RCP4.5**	**RCP8.5**
	15. Perzentil	0	+1	+1
2031-2060	50. Perzentil	+1	+1	+2
	85. Perzentil	+1	+2	+3
	15. Perzentil	+1	+1	+6
2071-2100	50. Perzentil	+1	+2	+9
	85. Perzentil	+2	+5	+16

Für die Tropennächte liegen keine Karten zu den Beobachtungsdaten vor. Aus dem **Klimafolgen-Anpassungsmonitoring NRW** ist abzulesen, dass in den Klimanormalperioden zwischen 1951 und 2020 durchschnittlich weniger als eine Tropennacht pro Jahr im NRW-Mittel aufgetreten ist. Für die Mitte des Jahrhunderts wird nach der Delta-Change-Methode keine Änderung bis zu einem Anstieg von einer Tropennacht (15. Perzentil) beziehungsweise zwischen einer und drei Tropennächten (85. Perzentil) zusätzlich im Vergleich zum Referenzwert von 0,4 Tropennächten pro Jahr in der Referenzperiode 1971-2100 projiziert. Bis zum Ende des Jahrhunderts können – je nach Szenario und Perzentil – bis zu 16 Tropennächte pro Jahr in Nordrhein-Westfalen zusätzlich auftreten. Es ist darauf hinzuweisen, dass sich diese Werte auf ganz Nordrhein-Westfalen beziehen. Lokal werden in versiegelten Innenstädten und Ballungszentren schon heute sehr viel mehr Tropennächte pro Jahr gezählt.

Fazit

Zwischen den Zeiträumen 1881-1910 und 1991-2020 hat es in Nordrhein-Westfalen bereits einen Anstieg der warmen beziehungsweise einen Rückgang der kalten Temperaturkenntage gegeben. Diese Trends sind in allen Regionen Nordrhein-Westfalens nachgewiesen.

Literatur

Brienen, S.; Walter, A.; Brendel, C.; Fleischer, C.; Ganske, A.; Haller, M.; Helms, M.; Höpp, S.; Jensen, C.; Jochumsen, K.; Möller, J.; Krähenmann, S.; Nilson, E.; Rauthe, M.; Razafimaharo, C.; Rudolph, E.; Rybka, H.; Schade, N. & Stanley, K. (2020): **Klimawandelbedingte Änderungen in Atmosphäre und Hydrosphäre: Schlussbericht des Schwerpunktthemas Szenarienbildung (SP-101) im Themenfeld 1 des BMVI-Expertennetzwerks. 157 Seiten.**

DWD - Deutscher Wetterdienst (Hrsg.) (2015): Deutscher Klimaatlas: **Erläuterungen**.

DWD - Deutscher Wetterdienst (Hrsg.) (2020): **Datensätze auf Basis der RCP-Szenarien**.

Klimafolgen-Anpassungsmonitoring: **Handlungsfeld Temperatur.**

Krähenmann, S. (2019): **Statistisches Downscaling und BIAS-Adjustierung der EURO-CORDEX-Simulationen über dem HYRAS-Gebiet.**

LANUV (2022): Daten und Fakten zum Klimawandel in NRW und den Großlandschaften - aktualisierte Fact Sheets 2021. **Zum Download**.

LANUV (2021): Klimabericht NRW 2021: Klimawandel und seine Folgen - Ergebnisse aus dem Klimafolgen- und Anpassungsmonitoring. LANUV Fachbericht 120. Recklinghausen. **Download**.