



# EMER

**DIE AUSWIRKUNGEN DES  
KLIMAWANDELS IN NRW**

## IMPRESSUM

### **Herausgeber**

Institut für Raumplanung (IRPUD)  
Technische Universität Dortmund  
August-Schmidt-Straße 10, 44227 Dortmund

### **Autoren**

Alina Tholen; Jörg Peter Schmitt; Till D'Aubert; Juliane Wright; Sophie Holtkötter

### **Stand**

November 2022

Der Bericht ist im Rahmen des Forschungsprojektes Evolving Regions entstanden. Das Projekt wird durch das EU-Umweltprogramm LIFE gefördert und kofinanziert durch das MULNV NRW.

# INHALTSVERZEICHNIS

Abbildungsverzeichnis.....	ii
1 Einführung .....	1
2 Grundlagen .....	3
Meteorologische Begriffe .....	3
Begriffe zu Klimawirkung und Vulnerabilität .....	5
3 NRW im Kontext des globalen Klimawandels.....	8
Klimawandel global und in Deutschland .....	8
Klimawandel in NRW.....	9
Exposition und Sensitivität in NRW.....	10
4 Faktenblätter NRW.....	12
HITZE.....	13
DÜRRE .....	17
STARKREGEN .....	21
HOCHWASSER.....	25
5 Relevante Berichte und Literatur.....	29
Globale und europaweite Studien .....	29
Deutschlandweite Studien .....	30
NRW Studien.....	31
Leitfäden und Handreichungen.....	32
Informations- und Austauschformate .....	33
6 Fazit.....	34
Literaturverzeichnis.....	iii
Verzeichnis - Relevante Berichte und Literatur .....	x

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Jährliche anthropogene CO <sub>2</sub> -Emissionen der RCP-Szenarien .....	4
Abbildung 2: Klimawirkung und Vulnerabilität .....	5
Abbildung 3: Der Ansatz der Parallelen Modellierung .....	7
Abbildung 4: Temperaturkentage heiß NRW .....	14
Abbildung 5: Dürreentwicklung in Deutschland .....	18
Abbildung 6: Extremniederschlagsereignisse NRW .....	21

# 1 EINFÜHRUNG

Der Klimawandel und seine bereits heute zum Teil problematischen Auswirkungen sind in der Wissenschaft unumstritten. Dieser Bericht stellt den aktuellen Forschungsstand zu den gegenwärtigen klimatischen Gegebenheiten, den zukünftig zu erwartenden Veränderungen sowie deren Auswirkungen auf den Raum und die Gesellschaft in Nordrhein-Westfalen (NRW) vor. Der Bericht untergliedert sich dazu in drei übergeordnete Kapitel: Grundlagen (Kapitel 2), eine klimatische Einordnung von NRW in den globalen Kontext (Kapitel 3) und Faktenblätter für NRW (Kapitel 4), die die zentralen Erkenntnisse, ausgehend von den jeweiligen klimatischen Einflüssen zusammenfassen. Zudem befindet sich am Ende des Berichtes (Kapitel 5) eine Zusammenstellung thematisch relevanter Literatur, in welcher sich vertiefende Informationen zum Klima- und Klimaanpassung finden lassen.

NRW ist mit einer Fläche von ca. 34.000 km<sup>2</sup> und fast 18 Millionen Einwohner\*innen das bevölkerungsreichste sowie am dichtesten besiedelte Bundesland (517 Einwohner\*innen pro km<sup>2</sup>) Deutschlands. Acht von 18 Millionen, also knapp die Hälfte der Menschen leben in verdichteten Städten mit mehr als 100.000 Einwohner\*innen, insbesondere in den urbanen Ballungsräumen der Rhein-Ruhr-Region (LANUV 2018). Mehr als die Hälfte der Einwohner\*innen von NRW leben demnach in weniger urbanen bis ländlichen Regionen. Diese stehen im Fokus des Forschungsvorhabens von Evolving Regions.

Der Bericht erfüllt eine Lotsenfunktion für den Leser/ die Leserin, um einen schnellen Überblick über den Klimawandel in NRW und seine Folgen zu erlangen. Er bietet im Rahmen des Forschungsprojektes Evolving Regions eine kompakte Informations- und Datengrundlage – insbesondere für die beteiligten kommunalen Akteur\*innen – und stellt eine Hilfestellung für die Klimaanpassung in NRW, insbesondere im ländlichen Raum dar. Die möglichen Anwendungsoptionen für die Akteur\*innen sind:

- 1) Kompaktes Wissen aneignen und einen Überblick über die Thematik bekommen
- 2) Auf verwiesene Literatur zurückgreifen und Wissen vertiefen
- 3) Das Wissen auf den eigenen Planungsraum anwenden

Der Bericht umfasst die Ergebnisse aus Action 1 „Compilation of existing regional and national data and climate scenario reports“ (1.1, 1.2, 1.3) und stellt das Deliverable 10 „Vulnerability Assessment Compilation Report“ dar.

## DAS PROJEKT EVOLVING REGIONS

In dem Projekt Evolving Regions liegt der Fokus auf der Anpassung an die Folgen des Klimawandels auf regionaler Ebene. Durch die Veränderungen des Klimas und die daraus resultierende Zunahme von extremen Wetterereignissen entstehen neue Herausforderungen. Um diese zu bewältigen, müssen auch die Akteur\*innen abseits der urbanen Zentren für das Thema sensibilisiert und dazu befähigt werden, den Herausforderungen entsprechend zu handeln. Dafür entwickelt die Sozialforschungsstelle der TU Dortmund als Verbundkoordination in Zusammenarbeit mit weiteren Partnerinstitutionen ein Konzept, das in sieben Partnerregionen in NRW und einer Partnerregion in den Niederlanden angewendet und erprobt wird. Anhand der dadurch gewonnenen Erkenntnisse soll eine Standardvorlage für regionale Klimaanpassungsstrategien in NRW und Europa entwickelt werden.

## **Ziele**

1. Die Verbesserung der Widerstandsfähigkeit der teilnehmenden Regionen gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels.
2. Die Integration des Themas Klimaanpassung in die kommunalen und regionalen Planungsprozesse.
3. Die Unterstützung der regionalen Akteur\*innen beim Erlangen von Kompetenzen sowie der Entwicklung eines Beratermarktes für Klimaanpassung.

## **Projektidee**

Durch das Projekt Evolving Regions soll die Widerstandsfähigkeit sowie die Anpassung an den Klimawandel in den beteiligten Regionen erhöht werden. Dafür durchlaufen die Regionen einen 19-monatigen Prozess, in dem regionsspezifisch die Auswirkungen des veränderten Klimas analysiert werden. Darüber hinaus erfolgt eine fachliche Beratung zur Konkretisierung der Planungen zur Klimaanpassung sowie zu Möglichkeiten der Finanzierung von Maßnahmen.

## **Zielgruppe**

Es werden planende, steuernde und handelnde Akteur\*innen angesprochen. Diese sollen mithilfe der Methode des Integrierten Roadmappings auf der Basis einer bestimmten Abfolge von Prozessschritten dazu befähigt werden, für ihre Region Strategien und Ziele sowie Maßnahmen zur Klimaanpassung zu erarbeiten.

## 2 GRUNDLAGEN

Im Rahmen des Grundlagenkapitels werden die für den Klimawandel und seinen Einfluss auf den Raum wichtigen Definitionen und Zusammenhänge erläutert. Die folgenden Definitionen beruhen zum größten Teil auf dem Bericht "Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel" des Umweltbundesamtes (UBA 2015) und werden durch meteorologische Begriffe ergänzt. Ziel ist es, begriffliche Grundlagen zu schaffen und erste Zusammenhänge aufzuzeigen.

### METEOROLOGISCHE BEGRIFFE

Im Folgenden finden sich zunächst Definitionen zu den meteorologischen Begriffen, die der Schaffung eines Grundverständnisses bzgl. der Themen Klima und Klimawandel dienen.

#### **Klima**

Klima stellt die langfristige Betrachtung der atmosphärischen Bedingungen, wie z.B. Temperatur, Wetter und weitere Indikatoren (s. Klimatische Einflüsse) in einem bestimmten Gebiet dar. Als Zeitspanne für Untersuchungen des Klimas werden mindestens 30 Jahre empfohlen (UBA 2022a).

#### **Klimanormalperiode**

Die 30-jährigen Bezugszeiträume der Klimabeobachtung werden als Normalperiode bezeichnet. Die aktuelle Normalperiode umfasst dabei den Zeitraum von 1991 bis 2020. Als Referenzzeitspanne, anhand derer Abweichungen der Temperaturen und Wetterphänomene vom Normalwert ohne Klimawandel bestimmt werden, wird die üblicherweise die Periode von 1961 bis 1990 genutzt. Dies liegt darin begründet, dass die anthropogene Klimabeeinflussung zu diesem Zeitpunkt noch relativ gering war, die Messgenauigkeit hoch und der Datenumfang bereits sehr umfangreich ist (DWD 2021).

#### **Klima - Beobachtungsdaten**

Klimadaten sind auf Messungen und Beobachtungen in der Vergangenheit beruhende Daten, die zur Beschreibung gegenwärtiger und vergangener Ausprägungen des Klimas herangezogen werden. Sie werden von Wetterstationen aufgezeichnet (viele dieser Daten sind ab dem Jahr 1952 verfügbar). Aufgrund der unterschiedlichen Dichte an Messstationen sowie unterschiedlichen Zeitreihen sind diese jedoch häufig nicht einheitlich (DWD 2022a).

#### **Klima - Projektionsdaten**

Neben dem Wissen über vergangene und gegenwärtige Ausprägungen des Klimas ist es wichtig, auch mögliche zukünftige Veränderungen des Klimas abzuschätzen und resultierende Risiken und Chancen bewerten zu können. Nur so können geeignete Anpassungsmaßnahmen geplant und entwickelt werden. Diese Projektionsdaten werden dabei nicht gemessen, sondern mithilfe von Klimamodellierungen auf Basis bestimmter Annahmen berechnet (DWD 2022b). Aus diesem Grund sind sie immer mit einer gewissen Unsicherheit behaftet. Projektionsdaten beziehen sich häufig auf die nahe Zukunft (2021 - 2050) und die ferne Zukunft (2071-2100). Daraus ergibt sich, im Zusammenspiel mit den Beobachtungsdaten, eine Unterscheidung nach drei Zeiträumen: „die Ausprägung des heutigen Klimas ( $t_0$ ) [...], des Klimas in der nahen ( $t_1$ ) und fernen Zukunft ( $t_2$ )“ (UBA 2015: 37).

## Klimaszenarien

Die Ergebnisse von Klimamodellierungen sind abhängig von Klimaszenarien. Sie basieren auf zahlreichen Annahmen über weltweite Entwicklungen wie beispielsweise der Bevölkerungsentwicklung, wirtschaftlichen Aktivitäten, Lebensstilen, technologischen Veränderungen, dem Ressourcenverbrauch oder der Klimapolitik. Anhand dieser Annahmen werden schließlich Aussagen darüber getroffen, wie sich der Ausstoß von Treibhausgasen und daraus resultierend die Konzentration dieser in der Atmosphäre entwickeln wird (UBA 2022b). An dieser Stelle besteht eine Verknüpfung zum Klimaschutz, da dieser die zukünftige klimatische Situation mitbestimmt, die auf den Raum trifft und woran dieser dementsprechend angepasst werden muss. Weltweite Klimaprojektionen werden in regelmäßigen Abständen vom Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) herausgegeben. Die „Representative Concentration Pathways“ (RCP) aus dem fünften Sachstandsbericht basieren auf der angenommenen Treibhausgas Konzentration in der Atmosphäre, der zukünftigen Landnutzung und dem damit verbundenen Strahlungsantrieb (IPCC 2014). Sie umfassen insgesamt vier unterschiedliche Szenarien, vom RCP 2.6 (sog. Klimaschutz-Szenario) bis hin zum RCP 8.5 (sog. „Weiter wie bisher“-Szenario) (s. Abbildung 1).

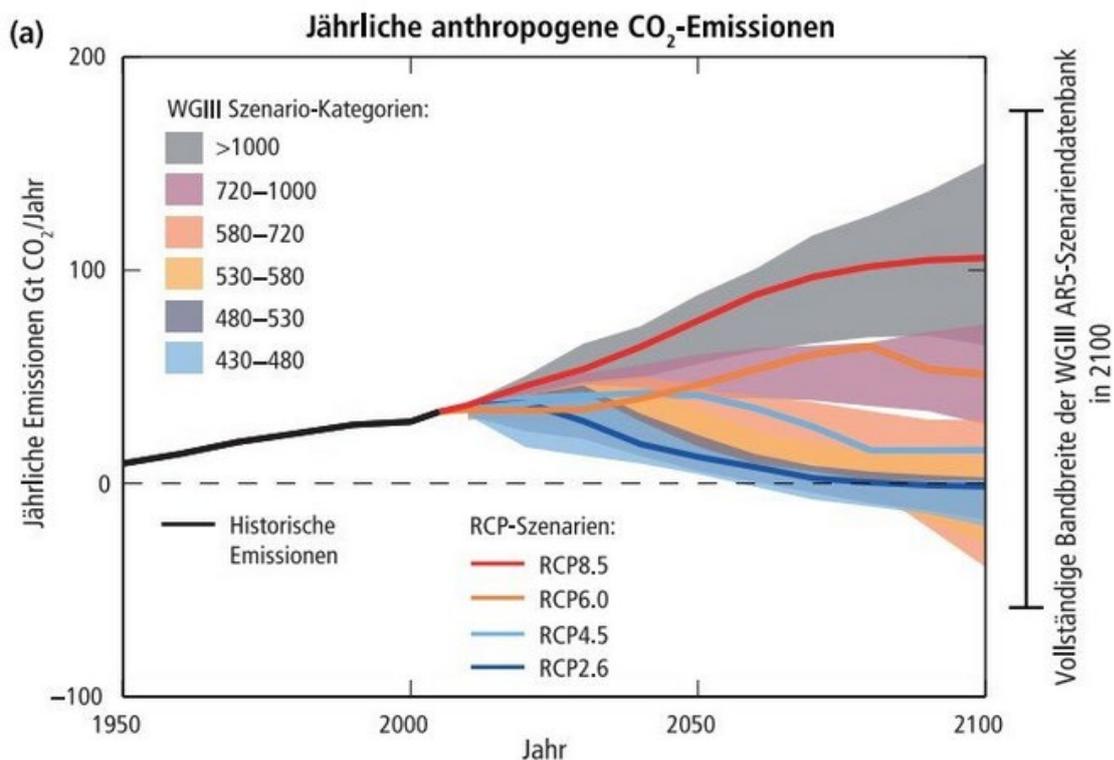


Abbildung 1: Jährliche anthropogene CO<sub>2</sub>-Emissionen der unterschiedlichen RCP-Szenarien (IPCC 2014)

Für den sechsten Bericht des Intergovernmental Panel on Climate Change wurden die RCP-Szenarien des fünften Sachstandsberichts um neue Indikatoren, den sogenannten Shared Socioeconomic Pathways (SSPs), die mögliche zukünftige sozioökonomische Entwicklungen beschreiben, erweitert (IPCC 2022). Aufgrund der hohen Aktualität der neuen Szenarien ist in der Praxis bisher noch die Verwendung der RCP-Szenarien üblich.

## Klimamodelle – Ensembles

Da die Modellierungen zukünftiger klimatischer Veränderungen mit Unsicherheiten behaftet sind und stark von den Modellen, Eingangsdaten und getroffenen Annahmen abhängig sind,

wird i.d.R. mit Ensembles gearbeitet. Ein Ensemble besteht aus den Ergebnissen unterschiedlicher Klimamodellierungen und dient dem Zweck, eine Bandbreite möglicher Entwicklungen aufzuzeigen (LfU Bayern 2018).

### Klimamodelle – Perzentile

Da unterschiedliche Klimamodellierungen unterschiedliche Ergebnisse erzielen, werden diese in einem Datensatz vom niedrigsten bis zum höchsten Wert geordnet. Anschließend wird der Datensatz in 100 gleich große Teile zerlegt. Das x% Perzentil stellt den Schwellenwert innerhalb dieses geordneten Datensatzes dar, bei dem x% aller Werte kleiner oder gleich dieses Schwellenwertes sind. Im Bereich von Klimaprojektionen sind das 15., das 50. und das 85. Perzentil gängige Schwellenwerte (DWD 2016a).

## BEGRIFFE ZU KLIMAWIRKUNG UND VULNERABILITÄT

Aufbauend auf das Wissen zu den meteorologischen Begriffen werden in diesem Kapitel Definitionen zu den Begrifflichkeiten der Klimawirkung und Vulnerabilität gegeben.

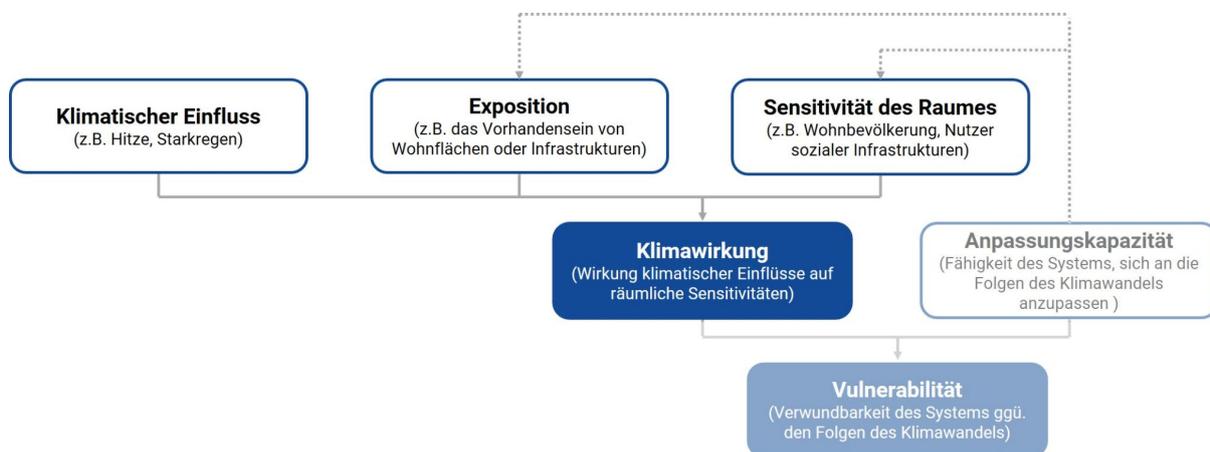


Abbildung 2: Klimawirkung und Vulnerabilität (Quelle: eigene Darstellung nach UBA 2015)

### Wirkungsketten

Wirkungsketten beschreiben eine „Ursache-Wirkungs-Beziehung“ (UBA 2015: 40) und stellen somit „das Grundgerüst für die Vulnerabilitätsanalyse dar“ (ebd.). Sie zeigen zum einen, wie sich die klimatischen Einflüsse gegenseitig beeinflussen und zum anderen, wie sie auf den Raum und somit auf unterschiedliche Handlungsfelder wirken. Dabei ist es wichtig, die klimatischen von den nicht-klimatischen Faktoren zu unterscheiden (ebd.).

### Klimatischer Einfluss

Als klimatischer Einfluss werden alle für eine Klimawirkung relevanten Klimagrößen beschrieben (ebd.: 37). Dazu zählen die Veränderung der Lufttemperatur und Niederschläge, die Veränderung von klimatischen Kenntagen und meteorologischen Extremen, wie beispielsweise Heiße Tage oder niederschlagsfreie Tage sowie die Veränderung von Hochwasser (ebd.: 65).

### Räumliches Vorkommen/ Exposition

Die Exposition beschreibt das Vorhandensein von Menschen, Lebensgrundlagen, oder Ökosystemen in von klimatischen Einflüssen betroffenen Gegenden (Adelphi 2021: 19).

### **Räumliche Sensitivität**

Die Sensitivität beschreibt, in welchem Ausmaß ein bestehendes, nicht-klimatisches System auf einen definierten klimatischen Einfluss reagiert (UBA 2015: 37). Dabei sind die „sozioökonomischen, räumlichen, politischen und kulturellen Faktoren“ (ebd.: 37) von Bedeutung. Eine Abgrenzung zu den zum Teil natürlichen oder anthropogenen Gegebenheiten, wie der Beschaffenheit von Böden oder einem hohen Versiegelungsgrad, auf die der klimatische Einfluss zunächst trifft und dadurch die Intensität des Auftretens mitbestimmen, ist dabei nicht immer eindeutig. Grundlage zur Ermittlung der Sensitivität bilden die 16 Handlungsfelder gegenüber dem Klimawandel der Deutschen Anpassungsstrategie (DAS). Sie werden in dem Aktionsplan Anpassung III in die sieben Cluster Wasser, Infrastrukturen, Land, Gesundheit, Wirtschaft, Raumplanung und Bevölkerungsschutz und „In allen Handlungsfeldern übergreifend wirksame Maßnahmen“ (UBA 2020) gegliedert.

### **Klimawirkung**

Eine Klimawirkung setzt sich aus dem klimatischen Einfluss, der Exposition sowie der Sensitivität zusammen (s. Abbildung 2) und beschreibt somit die Wirkung klimatischer Einflüsse auf das System. Dabei kann sich eine Klimawirkung auf unterschiedliche Zeiträume beziehen und somit auch einen Veränderungsprozess zwischen Zeiträumen aufzeigen. Der Zeitpunkt  $t_0$  beschreibt die Wirkung des gegenwärtigen Klimas auf das gegenwärtige System. Die Zeiträume  $t_1$  und  $t_2$  beschreiben eine nahe bzw. ferne Klimawirkung in Bezug auf die zukünftigen klimatischen Auswirkungen auf das zukünftige System (UBA 2015: 38).

### **Anpassungskapazität**

Die Anpassungskapazität beschreibt die Fähigkeit des Systems, sich an die Folgen des Klimawandels anzupassen und damit verbundene Schäden zu reduzieren. Dabei bezieht sich die Anpassungskapazität „immer auf die Zukunft beziehungsweise die Möglichkeit, zusätzliche Maßnahmen zu ergreifen. Es handelt sich also um mögliche Vermeidungs-, Minderungs- oder Schutzmaßnahmen, die über das bereits Bestehende hinausgehen“ (UBA 2015: 38).

### **Vulnerabilität**

Wird über die Klimawirkung hinaus zusätzlich die Anpassungskapazität des Raumes und der Menschen betrachtet, wird von Vulnerabilität bzw. Verwundbarkeit gesprochen. Die Vulnerabilität ist also abhängig vom klimatischen Einfluss, der Exposition und Sensitivität sowie der Anpassungskapazität des Systems (s. Abbildung 2).

### **Parallele Modellierung**

Die Methode der parallelen Modellierung verfolgt das Ziel, sowohl die gegenwärtige als auch die zukünftige klimatische sowie sozioökonomische Situation zu betrachten. Neben der heutigen Ausprägung der klimatischen Einflüsse und der Sensitivitäten werden auch die möglichen zukünftigen Ausprägungen mit einem definierten zeitlichen Betrachtungshorizont modelliert (s. Abbildung 3). Die demografischen und sozioökonomischen Veränderungen werden dabei parallel zu den Veränderungen des Klimas betrachtet, um die zukünftigen Auswirkungen des Klimawandels auf eine zukünftige Gesellschaft modellieren zu können. (Greiving et. al 2018).

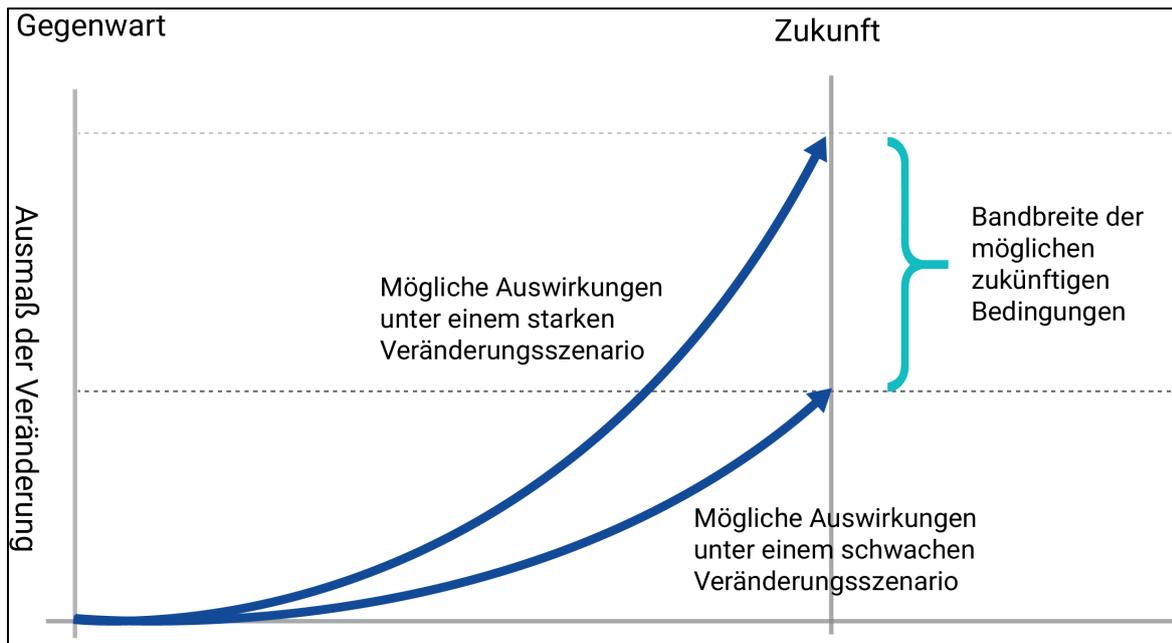


Abbildung 3: Der Ansatz der Parallelen Modellierung (Quelle: eigene Darstellung nach Greiving et al. 2018)

### 3 NRW IM KONTEXT DES GLOBALEN KLIMAWANDELS

Ziel dieses Kapitels ist die klimatische Einordnung von NRW in einen globalen Kontext. Dafür wird zunächst der globale Kontext des Klimawandels erläutert, um schließlich auf NRW-relevante klimatische Veränderungen einzugehen.

#### KLIMAWANDEL GLOBAL UND IN DEUTSCHLAND

Die Erwärmung des Klimasystems ist in der Wissenschaft unumstritten. Die globale Temperatur stieg in der Vergangenheit und steigt auch zukünftig weiter an. Die Periode von 1983 bis 2012 war die wärmste 30-Jahres-Periode der letzten 1400 Jahre und die Periode von 2012 bis 2043 wird diese voraussichtlich massiv übertreffen. Die Atmosphäre und der Ozean haben sich erwärmt, die Schnee- und Eismengen haben abgenommen und der Meeresspiegel ist gestiegen (IPCC 2021: 8). Für das 21. Jahrhundert wird je nach Emissionsszenario mit einer globalen Erderwärmung zwischen 1,0 und 5,7 °C gerechnet (ebd.: 12).

Voraussichtlich werden global in den meisten Gebieten verstärkt heiße Tage (Anzahl der Tage > 30°C) zu beobachten sein. Es ist zudem sehr wahrscheinlich, dass Hitzewellen öfter auftreten und länger andauern werden (ebd.: 11). Gleichzeitig werden weniger kalte Temperaturextreme auftreten und die Anzahl an Frost- (Minimum < 0°C) und Schneetagen wird abnehmen (ebd.: 53). Neben der Lufttemperatur nimmt auch die globale mittlere Oberflächentemperatur zu. Dabei wird der Anstieg der globalen mittleren Oberflächentemperatur für den Zeitraum 2021-2040 voraussichtlich im Bereich von 1,2 - 1,9 °C liegen (ebd.: 12). Aufgrund der Erderwärmung und der damit verbundenen Schmelze von gefrorenen Wassermassen ist es außerdem sehr wahrscheinlich, dass eine signifikante Zunahme künftiger Meeresspiegelextreme bis zum Jahr 2100 eintreten wird (ebd.: 8).

Ein Temperaturanstieg führt zur Veränderung des Niederschlagsregimes, da warme Luft vermehrt Wasser aufnehmen kann. Die Anzahl der Landgebiete, in denen die Häufigkeit von Niederschlagsereignissen gestiegen ist, ist dabei im Vergleich zu denen mit sinkender Anzahl höher. Dementsprechend wird die globale Erwärmung voraussichtlich zu einer höheren Niederschlagsintensität führen, gleichzeitig aber auch längere Trockenperioden mit sich bringen. Bezüglich der Entstehung von Trockenperioden und Dürren besteht bisher jedoch eine geringe Aussagekraft der beobachteten globalen Trends. Dies ist auf fehlende direkte Beobachtungen, die Abhängigkeit abzuleitender Trends, die diversen Definitionen von Dürre sowie auf geographisch unterschiedliche Dürretrends zurückzuführen (IPCC 2014: 54).

Des Weiteren nimmt die Häufigkeit und Intensität von Starkniederschlagsereignissen (IPCC 2014: 53) als auch von Stürmen zu (EEA 2016: 77). Bezüglich Hochwasser besteht nur eine geringe Sicherheit, dass der anthropogene Klimawandel die Häufigkeit und das Ausmaß von Hochwassern auf globaler Ebene beeinflusst. Die Belastbarkeit der Belege ist insbesondere durch fehlende langfristige Aufzeichnungen aus nicht bewirtschafteten Wassereinzugsgebieten begrenzt (ebd.: 53). Dennoch implizieren die jüngsten Nachweise zunehmende Trends extremer Niederschläge und Abflüsse in einigen Einzugsgebieten mit einem erhöhten Überschwemmungsrisiko (ebd.: 53).

Diese globalen Entwicklungen gelten zu großen Teilen auch für Europa und sind somit auch auf Deutschland und NRW übertragbar. Für eine differenzierte Betrachtung der Unterschiede in Europa, geben der EPSON und EEA Bericht detaillierte Informationen (s. Kapitel 5).

In Deutschland sind seit Beginn der regelmäßigen Aufzeichnungen im Jahr 1881 die fünf wärmsten Jahre nach der letzten Jahrtausendwende aufgetreten (DWD 2022c). Das Jahresmittel der Lufttemperatur ist dabei bis 2021 statistisch gesichert um 1,6°C angestiegen. Deutschland erwärmte sich dementsprechend mehr als die Erde im Durchschnitt (ebd.), was sich einerseits durch die Lage an Land, andererseits jedoch auch durch den sogenannten Effekt der "arctic amplification" begründet, durch den sich die Nordhalbkugel durch Rückgang des arktischen Meereises besonders schnell erwärmt (LANUV 2021a: 41). Dabei stieg die Temperatur im Westen des Landes etwas mehr an als im Osten (ebd.).

Von 1881 bis 2014 nahmen die Niederschläge im Vergleich zum langjährigen Mittel von 1961 bis 1990 um 10,2 % zu (Brasseur et al. 2017: 21). Dabei haben in vielen Regionen die winterlichen Niederschläge zugenommen, während bei den sommerlichen eine geringfügige, oft nicht signifikante Abnahme zu verzeichnen ist. Durch eine hohe natürliche Niederschlagsvariabilität ist die Signifikanz zukünftiger Trends eher gering (ebd.: 58). Auch bei der Anzahl der Tage mit Starkniederschlägen ist in den letzten Jahrzehnten in weiten Teilen Deutschlands eine Zunahme zu verzeichnen (ebd.: 59). Dabei konnten Veränderungen der Häufigkeit und Intensität von Starkniederschlägen dokumentiert werden, die regional und saisonal stark variieren (ebd.: 60).

Bezüglich Hochwasser konnte von 1951 bis 2002 an ca. 30 % der untersuchten Pegel ein Anstieg des Wasserspiegels beobachtet werden (ebd.: 99). Dabei kann zwischen den jeweiligen Flusseinzugsgebieten unterschieden werden: Während der ansteigende Trend in den Einzugsgebieten von Donau und Rhein durchaus erkennbar ist, ist er dies an der Weser und der Elbe weniger (ebd.). Weitere Informationen zum Klima(wandel) und seinen Auswirkungen können den deutschlandweiten Studien entnommen werden (s. Kapitel 5).

## KLIMAWANDEL IN NRW

Auch in NRW sind anhand meteorologischer Daten sowie Beobachtungen in Natur und Umwelt Veränderungen des Klimas und die daraus resultierenden Folgen bereits zu erkennen (LANUV 2021a: 40). NRW-spezifische Klimadaten werden zu diesem Zweck aus Daten des DWD gemäß international festgelegten Normen gewonnen und stehen dementsprechend seit Beginn der Messungen zur Verfügung (ebd.: 20-21).

NRW ist gekennzeichnet durch eine abwechslungsreiche Topographie, wodurch unterschiedliche Ausprägungen des Klimas vorzufinden sind. Das LANUV unterteilt das Bundesland in acht klimatische Großlandschaften, die sich nicht an administrativen Grenzen orientieren: Westfälisches Tiefland, Westfälische Bucht, Weserbergland, Sauer- und Siegerland, Bergisches Land, Niederrheinisches Tiefland, Niederrheinische Bucht und Eifel (LANUV 2021b). Für diese Großlandschaften werden vom LANUV klimatische Datenblätter zur Verfügung gestellt, welche die klimatischen Parameter der Regionen beschreiben (s. Kapitel 5). Da die allgemeine klimatische Entwicklung auf den Datenblättern des LANUV bereits ausführlich erläutert wird, folgt eine komprimierte Darstellung der klimatischen Beobachtungsdaten und Projektionen:

- die Sommer werden heißer und trockener,
- die Winter werden nasser und milder
- Starkregeneignisse nehmen zu

Im Vergleich zur Klimanormalperiode von 1881 bis 1910 konnte bis zur aktuellen Klimaperiode von 1991 bis 2020 ein Anstieg der Jahresdurchschnittstemperatur um 1,6 K auf 10,0 °C aufgezeichnet werden (LANUV 2021a: 38-41). Weiterhin haben klimatische Kenntage wie Heiße

Tage, Sommertage und Tropennächte in der Vergangenheit zugenommen. Bezüglich der zukünftigen klimatischen Veränderung projizieren alle Szenarien einen weiteren Anstieg der mittleren Temperatur und der entsprechenden klimatischen Kenntage (ebd.: 50-54). Somit ist vermehrt mit **Hitze und Hitzewellen** zu rechnen (s. Kapitel 4).

Bezüglich der mittleren Jahresniederschlagssumme reicht „die Spanne über alle Klimaszenarien hinweg von einer leichten Abnahme bis zu einer Zunahme des Niederschlags“ (LANUV 2019: 3). In der Vergangenheit konnte ein Anstieg der jährlichen mittleren Niederschlagssumme um +110 mm beobachtet werden, wobei der Maximalwert 1966 mit 1138 mm gemessen wurde. Dabei unterscheidet sich die Entwicklung in den einzelnen Jahreszeiten sehr. Während in den Wintermonaten eine Zunahme vorliegt, kann insbesondere in den Sommermonaten ein Rückgang verzeichnet werden (LANUV 2021a: 54-62). Die Abnahme von Niederschlag im Sommer bei gleichzeitiger Zunahme der Lufttemperatur und der dazugehörigen temperaturbezogenen Kenntage, führt zu Wassermangel und Trockenheit. Somit ist mit einer weiteren Zunahme von **Trockenperioden und Dürren** zu rechnen (s. Kapitel 4).

Die veränderten klimatischen Bedingungen können zusätzlich zu häufiger und intensiver auftretenden konvektiven Wetterereignissen, wie Sturm, Hagel und Starkregen führen. Dementsprechend kann von einer Zunahme von **Starkregenereignissen** ausgegangen werden (s. Kapitel 4). Auf Grund der Abnahme von Frost- und Eistagen, sinkenden Schneemengen und der Zunahme von Niederschlag, steigt die Gefahr für Hochwasser potentiell weiter an. Durch den Temperaturanstieg nimmt jedoch auch die Verdunstungsrate zu, wodurch diesem Trend entgegengewirkt wird. Somit kann in Zukunft zwar mit einer Zunahme von **Hochwasser** gerechnet werden, jedoch ist dieser Trend nicht signifikant (s. Kapitel 4). Neben Flusshochwasser kann es durch das veränderte Niederschlagsregime und höhere Verdunstungsraten jedoch auch zu Flussniedrigwasser kommen.

## EXPOSITION UND SENSITIVITÄT IN NRW

Um die Auswirkungen des Klimawandels auf den Raum und den Menschen zu bestimmen, müssen neben den räumlichen Klimafolgen betroffene Bereiche und Räume identifiziert und damit einhergehend Klimawirkungen diskutiert werden. Zur Identifikation dieser Bereiche und Räume ist einerseits Wissen über die Exposition, also das reine Vorhandensein gewisser Landnutzungen (z.B. Wohnbebauung, landwirtschaftliche Flächen) und Infrastrukturen (z.B. soziale Einrichtungen, Straßen und Schienen), andererseits über die Sensitivität erforderlich. Darunter fallen beispielsweise die Bebauungsdichte, die Anzahl an Nutzer\*innen sozialer Einrichtungen oder soziodemographische Gegebenheiten wie Bevölkerungszahlen oder der Anteil vulnerabler Bevölkerungsgruppen. Die Exposition ist dabei mehr als Voraussetzung zur Ermittlung einer Klimawirkung zu verstehen, während die Sensitivität die Ausprägung innerhalb dieser Exposition beschreibt. Da Landnutzungen und Infrastrukturen überall bestehen, unterscheiden sich die Gegebenheiten des Raumes somit vor allem in ihrer Sensitivität, auf die im Folgenden der Fokus gelegt wird.

In der Vulnerabilitätsstudie des Umweltbundesamtes wurden die Handlungsfelder der Deutschen Anpassungsstrategie bezogen auf ihre Klimawirkungen für jedes Bundesland untersucht und ausführliche Wirkungsketten für diese erstellt. Für NRW existieren ebenfalls zahlreiche Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsstudien, die sich mit den spezifischen Klimawirkungen auseinandersetzen (UBA 2015: 160; LANUV 2019; LANUV 2021a: 13). In diesen Berichten wurden insbesondere die Handlungsfelder Boden, Biologische Vielfalt, Energiewirtschaft, Landwirtschaft, Tourismus, Wald- und Forstwirtschaft sowie Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft behandelt (UBA 2015: 162 ff). Das Datenblatt des Landesamtes für Natur, Umwelt und

Verbraucherschutz NRW (LANUV) verweist auf die Handlungsfelder Menschliche Gesundheit, Wald und Forstwirtschaft, Wasser sowie Landwirtschaft (LANUV 2019: 5).

Die Bedeutung der jeweiligen Handlungsfelder ist dabei unter anderem abhängig von den Gegebenheiten des Raumes. In Bezug auf das Handlungsfeld „menschliche Gesundheit“ beispielsweise kann aufgrund der hohen Bebauungs- und Bevölkerungsdichte in NRW, insbesondere in den städtischen Gebieten, von einer sehr hohen Sensitivität gesprochen werden, weil zum einen viele Menschen betroffen sind und zum anderen der hohe Versiegelungsgrad klimatische Phänomene verstärken kann. Auch der demographische Wandel und der damit zusammenhängende Trend hin zu einer älteren Bevölkerung spielt im Bereich Gesundheit eine zentrale Rolle, da ältere Menschen z.B. in Bezug auf Hitze als besonders gefährdet gelten. Während im Jahr 2008 19% der Bevölkerung über 65 Jahre alt war, trifft dies im Jahr 2020 auf 21,3% und 2040 auf 27,0% der Bevölkerung zu (IT.NRW 2022). Diese Zunahme des Anteils der älteren Bevölkerung betrifft, im Gegensatz zur Bevölkerungsdichte, verstärkt den ländlichen Raum (BBSR 2009: 8).

Eine Verschärfung der Sensitivität, wie beispielsweise eine alternde Bevölkerung oder das Bauen in gefährdeten Bereichen spielt bei der Bewertung der Klimawirkung oftmals eine größere Rolle als die sich verändernden klimatischen Bedingungen. Dies betont den Stellenwert dieser Aspekte bei der Ermittlung von Klimawirkungen. Regionale Merkmale sind somit sowohl in Bezug auf das Klima als auch ihre sozioökonomische Struktur divers und unterscheiden sich in ihrer räumlich konkreten Entwicklung. Die zukünftige Betrachtung der Exposition und Sensitivität ist dabei ebenfalls mit Unsicherheiten verbunden. Der Ansatz der parallelen Modellierung (s. Kapitel 2) ermöglicht es sowohl für den klimatischen Einfluss als auch für die Sensitivität einen möglichen Entwicklungskorridor abzubilden. Somit wird der soziodemografischen Entwicklung einer Region ein ebenso großer Stellenwert zugesprochen wie der klimatischen.

## 4 FAKTENBLÄTTER NRW

Aufbauend auf dem Kapitel „NRW im Kontext des globalen Klimawandels“ beziehen sich die folgenden Faktenblätter auf die vier (raumrelevanten) klimatischen Einflüsse:

- **Hitze** – Hitze(wellen) wird/werden in Zukunft deutlich häufiger und intensiver auftreten
- **Dürre** - Trocken- und Dürreperioden werden in Zukunft häufiger und spürbarer auftreten
- **Starkregen** - Starkregenereignisse werden in Zukunft wahrscheinlich häufiger und intensiver auftreten
- **Hochwasser** - Eine Zunahme von Hochwasserereignissen ist nicht signifikant nachweisbar

Die Faktenblätter kombinieren plakative Aussagen mit ausgewählten, wissenschaftlichen Erkenntnissen und enthalten Informationen zu den folgenden Aspekten:

- Die **Definition** beschreibt das Extremwetterereignis und beinhaltet für den klimatischen Einfluss wichtige Begriffe und Zusammenhänge.
- Die **vergangene Ausprägung** trifft Aussagen über die Entwicklung des klimatischen Einflusses in den vergangenen Jahren. Dazu werden Beobachtungsdaten genutzt, die hinsichtlich eines zeitlichen Trends ausgewertet wurden.
- Die **zukünftige Ausprägung** beschreibt die erwartete zukünftige Entwicklung des klimatischen Einflusses durch den Klimawandel. Dazu werden Ergebnisse von Klimamodellierungen herangezogen, die im Rahmen von Ensembles einen möglichen Szenariokorridor aufzeigen.
- Die **Sensitivität des Raumes** umfasst die Handlungsfelder, welche insbesondere vom klimatischen Einfluss in NRW betroffen sind. Aus dem Grund, dass Wirkungsketten stark verwoben und sehr komplex sind, werden zur Vereinfachung nur die besonders betroffenen und relevanten Handlungsfelder dargestellt.
- Die **planerische Relevanz** nennt die Bedeutung des klimatischen Einflusses für die räumliche Planung und geht dabei auf die unterschiedlichen Planungsebenen ein. Dabei wird deutlich, auf welchen Planungsebenen Maßnahmen ergriffen werden können.
- Die **Datenverfügbarkeit** beinhaltet eine Auflistung zentraler Klimadaten in NRW, die für eine räumliche Analyse von Bedeutung sind. Dabei wird ihre räumliche Auflösung und Zugänglichkeit thematisiert.
- Die **Extremwetterereignisse** enthalten Informationen zum Zeitpunkt sowie zur Ausprägung eines vergangenen Ereignisses und dienen insbesondere zur Sensibilisierung.

# HITZE



„Hitze(wellen) wird/werden in Zukunft deutlich häufiger und intensiver auftreten“

## DEFINITION

Als Hitze werden durch **“hohe Temperaturen, unbehinderte Einstrahlung, schwachen Wind und zum Teil durch feuchte Luft (Schwüle)” hervorgerufene Wetterbedingungen** zusammengefasst, die von Menschen als besonders starke Wärme empfunden werden (DWD 2022d). Es gibt unterschiedliche klimatische Parameter, die den klimatischen Einfluss Hitze beschreiben:

### Lufttemperatur in 2m Höhe (LANUV 2018)

- PET, physiologisch äquivalente Temperatur um 15 Uhr
- T04, Nachttemperatur um 4 Uhr nachts

### Kenntage (DWD 2020a)

- Anzahl der heißen Tage > 30°C
- Anzahl der Sommertage > 25°C
- Anzahl der Tropennächte > 20°C

### Hitzewelle (DWD 2020a)

- mehrtägige, in der Regel länger als 3 Tage andauernde Periode mit einer ungewöhnlich hohen thermischen Belastung, wie beispielsweise das 98. Perzentil

### Wärmeinsel (LANUV 2017: 25)

- ein mikroklimatisches Phänomen, welches insbesondere in Ballungsgebieten mit einer hohen Dichte und einem hohen Versiegelungsgrad entsteht

## VERGANGENE UND GEGENWÄRTIGE AUSPRÄGUNG

In der Vergangenheit wurde ein **signifikanter Anstieg** des klimatischen Einflusses **Hitze** in NRW verzeichnet:

- Signifikanter Anstieg der Lufttemperatur in der Vergangenheit (LANUV 2021a:20)
- Signifikanter Anstieg von heißen Tagen, Sommertagen und Tropennächten
  - Heiße Tage: Während 1891 - 1920 im Mittel 3,4 Heiße Tage auftraten, waren es im Zeitraum 1990 - 2019 bereits 7,5. 2018 traten insgesamt 18 Heiße Tage auf, nur 1911 und 1947 konnten mehr Heiße Tage registriert werden (s. Abbildung 4)
  - Sommertage: 1891 - 1920 traten im Mittel 23,7 Sommertage auf, 1990 - 2019 waren es bereits 35,3. 2018 traten in NRW 76 Sommertage auf (ebd.)
  - Tropennächte: Während 1951 - 1980 im Mittel 0,2 Tropennächte auftraten, waren es 1990-2019 bereits 0,6 (LANUV 2022a.). Tropennächte treten aktuell noch

sehr selten auf, wodurch die Aussagen noch wenig belastbar sind (Hübener et al. 2017: 32f.).

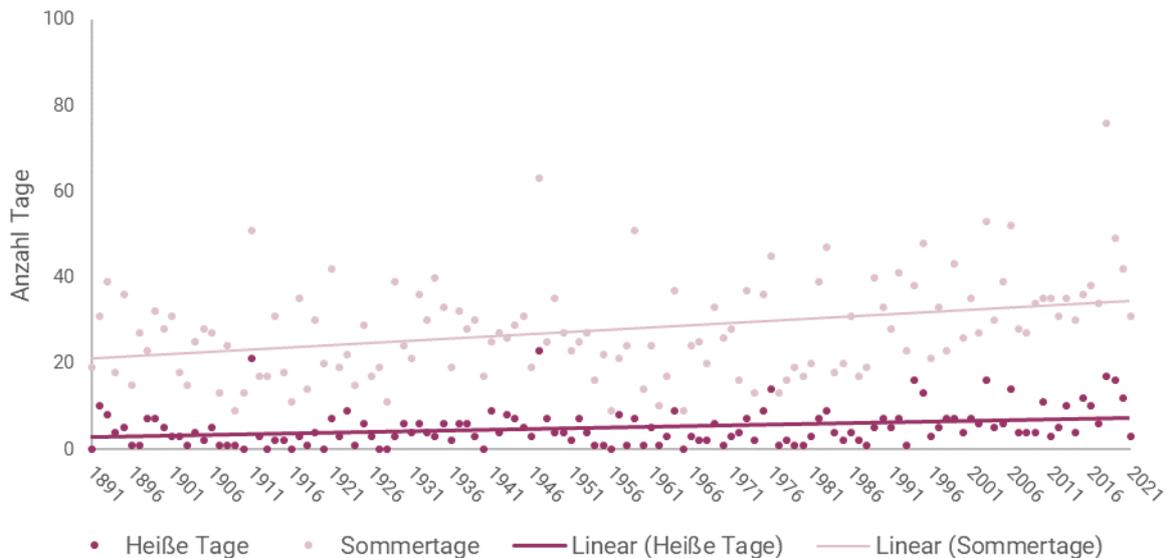


Abbildung 4: Temperaturkentage heiß NRW (Eigene Darstellung nach LANUV 2022a)

## ZUKÜNFTIGE AUSPRÄGUNG

Klimamodellierungen zeigen für NRW eine **zukünftige Verstärkung** des klimatischen Einflusses **Hitze**, die Ausprägung ist jedoch abhängig von den Emissionsszenarien und den gewählten Zeiträumen:

- Anstieg der bodennahen Lufttemperatur gegenüber der Referenzperiode 1991 bis 2000 mit einer Bandbreite von 0,7 °C - 4,6 °C (LANUV 2021a)
- Anstieg der Anzahl an Heißen Tagen, Sommertagen und Tropennächte gegenüber der Referenzperiode 1971 bis 2000
  - Zunahme Heiße Tage um 2 - 23 Tage (ebd.)
  - Zunahme Sommertage um 4 - 49 Tage (ebd.)
  - Zunahme der Tropennächte um 0,5 Nächten im Jahr verglichen mit der Referenzperiode (LANUV 2022a)
- Hitzewellen werden in Zukunft häufiger auftreten sowie länger und intensiver verlaufen (Brasseur et al. 2017: 32)

## KLIMAWIRKUNG

Die folgende Darstellung der betroffenen Themenfelder stellte eine priorisierte Vorauswahl in Anlehnung an die DAS Handlungsfelder und die UBA Wirkungsketten dar:

- **Menschliche Gesundheit:** Hitze führt zu gesundheitlichen Beschwerden von Hitzestress und Kreislaufproblemen bis zu einem Hitzekollaps/Hitzeschlag. Besonders betroffen sind Alte, chronisch Kranke, Personen mit einer geringeren Fitness und Kinder (LANUV 2019: 8)
- **Bauwesen + Verkehr und Verkehrsinfrastruktur:** Hitze stellt eine Belastung für die bauliche Umwelt dar, wodurch mehr Schäden an Straßen und Gebäuden entstehen (LfU Baden-Württemberg 2020)

- **Landwirtschaft:** Hitze stellt eine Belastung für die Viehzucht dar, da Tiere ebenfalls unter Hitzestress leiden können (UBA 2016)

**Weitere Betroffenenheiten:** Biologische Vielfalt, Boden, Energiewirtschaft, Forstwirtschaft, Industrie und Gewerbe, Tourismus, Verkehr und Verkehrsinfrastruktur

## PLANERISCHE RELEVANZ

### Die planerische Relevanz ist hoch!

- Der planerische Umgang mit Hitze findet grundsätzlich auf lokaler Ebene statt, jedoch haben planerische Entscheidungen auch einen Einfluss auf die Hitzeentwicklung in anderen Kommunen. Die Kaltluftproduktion und der Kaltlufttransport (Kaltluftentstehungsgebiete und Ventilation) sind dabei von regionaler Bedeutung. Die Klimaanalyse NRW wird dieser interkommunalen Perspektive gerecht
- Das Auftreten von Hitze ist abhängig vom Versiegelungsgrad, der Durchlüftungssituation und der Vegetation, wodurch planerisch gut reagiert werden kann. Das Klimasignal Hitze wird in NRW durch eine hohe Dichte und einen hohen Versiegelungsgrad verstärkt, wodurch viele Menschen von diesem Klimasignal in NRW, insbesondere in Städte, jedoch auch im Umland betroffen sind (LANUV 2017: 24)

## DATENVERFÜGBARKEIT

### LANUV - Klimaanalyse NRW 2018

- Bezug: frei verfügbar über Klimaatlas NRW; Format: Geodaten / Shape-Files
- Daten beziehen sich räumlich auf Geobasisdaten (i.d.R. Baublöcke und ähnliche räumliche Größen)
- Inhalte: PET-Werte (physiologisch äquivalente Temperatur) für 15:00 Uhr und nächtliche Temperaturen für 4:00 Uhr anhand eines modellierten "typischen Sommertags"; Kaltluftentstehungsgebiete und Kaltluftschneisen; generalisierte Klimatopkartierung
- Die PET-Werte für 15:00 und die nächtlichen Temperaturen eignen sich gut, um die derzeitigen und zukünftigen Auswirkungen von Sommertagen oder Heißen Tagen auf den konkreten Raum zu beurteilen

### LANUV / DWD - Kenntage Hitze

- Bezug: für Deutschland Open Data des DWD, beziehbar über Climate Data Center, für NRW aufbereitete Beobachtungsdaten über Anfrage beim LANUV, Projektionsdaten werden nur für Forschungsprojekte o.ä. weitergegeben
- Rastergröße: 1 km für Beobachtungsdaten; 5 km für Projektionsdaten
- Es werden die absolute Anzahl an Sommertagen und Heißen Tagen dargestellt
- Zeitspannen der Beobachtungsdaten (1971-2000 und 1981-2010)
- Zeitspannen der Projektionsdaten (2021-2050 und 2071-2100) - die Projektionsdaten stellen die absolute Veränderung der Kenntage zur Zeitspanne 1971-2000 dar - Projektionsdaten für unterschiedliche Emissionsszenarien und Perzentile
- Die Daten eignen sich zur Darstellung der derzeitigen und zukünftigen Ausprägung des Klimasignals

## VERGANGENE EXTREMEREIGNISSE IN NRW

### „Sommer 2022: Einer der vier wärmsten seit Messbeginn“ (dpa 2022)

- Kenntage im Sommer in NRW:
  - Das Flächenmittel liegt bei 17,7 heißen Tagen in 2022, womit der bisherige Höchstwert aus 2018 (17,5 Tage) übertroffen wurde (RP online 2022)

### 2020: „Heißer August in Deutschland - auch Tropennächte in NRW“ (Giustolisi 2020)

- Höchsttemperatur: Weilerswist, Kreis Euskirchen 37,4°C am 31.07.20
- Nachttemperatur: 21.08.2020: NRW-Durchschnitt 21,5°C, Gevelsberg mit 25,1°C
- Hitzewelle vom 07.-20.08 (LANUV 2020a)
  - Kölner Innenstadt: im Schnitt war jede zweite Nacht eine Tropennacht
- Kenntage im Sommer 2020 Köln (ebd.):
  - Tropennächte: 27
  - Heiße Tage: 17
  - Sommertage: 43
- Kenntage im Sommer 2020 Warstein (ebd.):
  - Tropennächte: 8
  - Heiße Tage: 5
  - Sommertage: 24

### 2019: „Auch in Nordrhein-Westfalen neue Hitzerekorde mit bis zu 40°C“ (Land NRW 2019)

- Höchsttemperatur: 41,2°C in Tönisvorst, Kreis Viersen am 25.07.2019 (LANUV 2020a)
- Heiße Tage: 17, Sommertage: 49 (ebd.)
- Hitzewelle: 24 - 26.07 (wetteronline 2019)

### 2018: „Hitzewelle in NRW: Zahl der Sommertage auf Rekordkurs“ (WA 2018)

- Höchsttemperatur: 38,7°C in Sankt Augustin am 07.08.2018 (WDR 2018)
- Heiße Tage: 20,4, Sommertage: 76 (LANUV 2020b)
- Hitzewelle: (Tmax > 35 °C) 24.07.2018 - 09.08.2018 (Mühr et al. 2018:)

### 2003: „Der Jahrhundertssommer - Hitzewellen über NRW“ (WDR 2020a)

- Höchsttemperatur: 40,1°C in Euskirchen am 12.08.2003 (WDR 2020a)
- Heiße Tage: 16; Sommertage: 51 (LANUV 2020a)

## VERWEISE

 **Faktenblatt Dürre:** Durch die hohen Temperaturen und einer damit einhergehenden hohen Verdunstungsrate wird die Entstehung von Trockenheit und Dürre begünstigt.

 **Faktenblatt Starkregen:** Hitze begünstigt die Entstehung konvektiver Wetterereignisse und somit auch von Starkregenereignissen

# DÜRRE



„Trocken- und Dürreperioden werden in Zukunft häufiger und spürbarer auftreten“

## DEFINITION

Dürre beschreibt einen **Mangel an Wasser**, der durch eine Abnahme des Niederschlages und/oder einer höheren Verdunstung durch steigende Temperaturen entsteht (DWD 2020a)

- Abgrenzung von Dürre zu Trockenheit: nicht immer trennscharf, jedoch beschreibt Trockenheit grundsätzlich eine Vorstufe einer Dürre (UFZ 2020)
- Es gibt unterschiedliche Bezeichnungen einer Dürre, die sich nach der Dauer, Intensität und somit Auswirkung der Dürre unterscheiden (weitere Informationen: DWD Wetterlexikon)
- Dürre sollte insbesondere durch den Standardized Precipitation Index (SPI) beschrieben werden, da die Verdunstungsmengen oft nicht temperatur-, sondern wasserbasiert sind
- Landwirtschaftliche Dürre wird anhand des Bodenfeuchte-Index SMI gemessen (weitere Informationen: UFZ 2020)
- Die Erkenntnisse zum Thema Dürre und der Umgang mit diesem Thema sind bislang deutlich weniger wissenschaftlich fundiert als andere Klimasignale. Die Relevanz von Dürre und zugehöriger Forschungen nehmen in den letzten Jahren allerdings deutlich zu

## VERGANGENE UND GEGENWÄRTIGE AUSPRÄGUNG

Der globale Temperaturanstieg und das veränderte Niederschlagsregime mit weniger Wasser im Sommer führte in den letzten Jahren zu einer **Verstärkung von Dürre** in Deutschland und auch NRW:

- Dokumentation der deutschlandweiten Dürreentwicklung durch den UFZ Dürremonitor seit 2014: Eine Verstärkung von Dürre ist deutschlandweit zu erkennen, NRW ist im Vergleich zu anderen Bundesländern bisher weniger stark betroffen (UFZ 2020)
- In NRW fällt zurzeit zu wenig Niederschlag. Dies führt zu trockenen Böden und niedrigen Grundwasserständen (LANUV 2020b)
- „In 2018 wurde lediglich ein Jahresniederschlag von nur knapp 620 Millimeter gemessen, ein Niederschlagsdefizit von 230 Millimetern im Verhältnis zum langjährigen Mittel der Periode 1961 bis 1990, das über das Jahr 2019 unverändert bestehen blieb. Dem außergewöhnlich regenreichen Februar 2020 folgte direkt eine lange niederschlagsarme Zeit bis in den Juni, so dass sich die Situation derzeit weiterhin verschärft.“ (ebd.)
- Auftrittswahrscheinlichkeit von milder Dürre alle drei bis vier Jahre mit einem geringfügig eingeschränkten Pflanzenwachstum sowie einem erhöhten Waldbrandrisiko bis zu einer exzeptionellen Dürre, die seltener als 43 Jahre auftritt und zu großflächigen Ernteausfällen, einer hohen Feuergefahr und einer Erschöpfung der Wasservorräte führt (LWF 2011: 19f.).

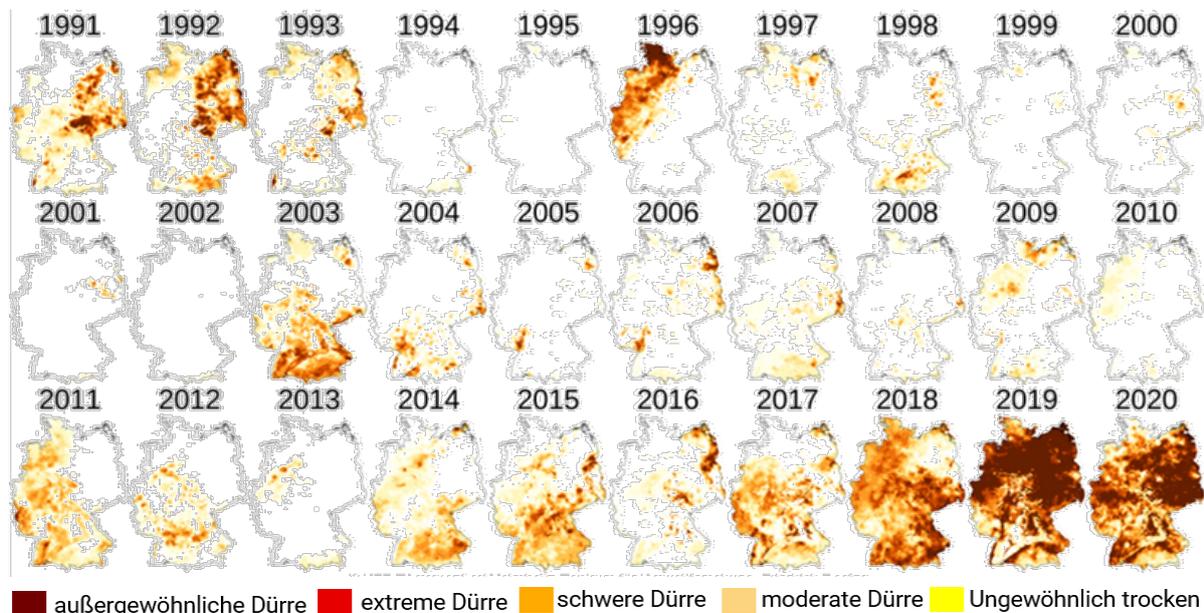


Abbildung 5: Dürreentwicklung in Deutschland (Helmholtz-Zentrum 2022)

## ZUKÜNFTIGE AUSPRÄGUNG

Die Analyse der **zukünftigen Dürreentwicklung** stellt sich durch die verschiedenen Definitionen von Dürre und das Fehlen langfristiger Beobachtungsdaten als **komplex** dar (Field et al. 2014: 1275–1276; BBK 2018)

- Die globale Erderwärmung wird das Problem der agrarischen Dürre verschärfen; Dürren werden länger dauern und mehr Menschen betreffen (Thober et al. 2018: 7)
- "Bei einer globalen Erwärmung von 3°C steigt die Anzahl an Dürren bundesweit um über 50 %" (ebd.)
- Für die kommenden Jahre werden auch für NRW **weitere Dürreperioden** erwartet (LANUV 2021: 88f.)

## KLIMAWIRKUNG

Die folgende Darstellung der betroffenen Themenfelder stellte eine priorisierte Vorauswahl in Anlehnung an die DAS Handlungsfelder und die UBA Wirkungsketten dar:

- **Boden:** Die Beschaffenheit des Bodens ist ein grundlegender Faktor, der einen Wassermangel verstärken kann. Standorte mit sandigen Böden sind stärker betroffen als Standorte mit Böden, die Wasser gut speichern können (Thober et al. 2018: 9)
- **Landwirtschaft:** Reduziert die Pflanzenproduktivität und stellt somit eine Betroffenheit der landwirtschaftlichen Erträge dar (ebd.)
- **Forstwirtschaft:** Austrocknen, Absterben der Bäume und erhöhtes Waldbrandrisiko
- **Finanz- und Versicherungswirtschaft:** Zwischen 1990 -2013 lag der jährliche Schadensaufwand bei 511 Mio €, 54% der Ernteschäden sind auf Trockenheit zurückzuführen (GDV o.J.)
- **Bauwesen:** Die Bewässerung von öffentlichen und privaten Grün- und Freiflächen sowie die Planung einzelner Bauvorhaben sind betroffen
- **Wasserhaushalt:** Die Nutzungskonflikte von Wasserdargebot und Wassernachfrage müssen betrachtet werden

**Weitere Betroffenheiten:** Biologische Vielfalt, Energiewirtschaft, Hochwasser- und Küstenschutz, Industrie und Gewerbe, Menschliche Gesundheit, Verkehr und Verkehrsinfrastruktur, Wasser

## PLANERISCHE RELEVANZ

### Die planerische Relevanz ist hoch!

- Auf der Ebene der Regionalplanung ist sowohl die Trinkwasser- und Wasserwirtschaft als auch die Land- und Forstwirtschaft als Fachplanungen betroffen
- Auf der Ebene der Landkreise spielt Dürre für die Landschaftsplanung eine bedeutende Rolle und sollte dort Beachtung finden
- Auf der Ebene der kommunalen Planung ist Dürre bei der Gestaltung und Unterhaltung öffentlicher Grünflächen und auch bei der Planung von Flächen und einzelner Objekte zu berücksichtigen
- Die Flächennutzung, Flächenversiegelung und die Auswahl von Pflanzen haben u.a. einen Einfluss auf die Anpassungskapazität des Raumes auf Dürre

## DATENVERFÜGBARKEIT

### Dürreempfindlichkeit der forstlichen Standorte

- Bezug: frei verfügbar über den Geologischen Dienst NRW; Geodaten
- Auswertung anhand Gesamtwasserhaushaltsstufen der Forstlichen Standortkarte im Maßstab 1:50.000, die auf folgenden Datensätzen basiert:
  - Bodenkarte 1:50.000
  - Klimadaten des DWD für den Zeitraum 1981-2010: Monatswerte für Niederschlag und klimatischer Wasserbilanz sowie Tagesmitteltemperaturen, Dauer der forstlichen Vegetationsperiode (Anzahl Tage  $>10\text{ }^{\circ}\text{C}$ )
  - Relieffanalysen auf Basis des digitalen Höhenmodells (DGM10)
- Klimaprojektionen für den Zeitraum 2071 bis 2100 für die Szenarien RCP 4.5 und RCP 8.5

### Dürreempfindlichkeit der landwirtschaftlichen Nutzungen

- Bezug: frei verfügbar über den Geologischen Dienst NRW; Geodaten
- Auswertung anhand Standortwasserhaushaltsstufen der landwirtschaftlichen Standortkarte, die auf folgenden Datensätzen basiert
  - Bodenkarte 1:50.000
  - Klimadaten des DWD für den Zeitraum 1981-2010: Monatswerte für Niederschlag und klimatischer Wasserbilanz sowie Dauer der landwirtschaftlichen Vegetationsperiode (Anzahl Tage  $> 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ )
  - Relieffanalysen auf Basis des digitalen Höhenmodells (DGM10)
- Szenarien für Ackerland und Grünland

## VERGANGENE EREIGNISSE IN NRW

### 2022: „Wasserknappheit: "NRW trocknet aus"“ (WDR 2022)

- Die oberen Bodenschichten sind staubtrocken
- Die Stände an fast drei Viertel der Grundwassermessstellen sind niedrig bis sehr niedrig
- An 21 Prozent der Stellen war so wenig Wasser wie nie zuvor in einem August seit Beginn der Aufzeichnungen registriert worden. (ebd.)

### 2018-2021: „Extremste Dürre seit 250 Jahren: Hitze-Sommer 2018 bis 2021 waren historisch“ (Rakovec et. al. 2022)

- Bodenfeuchte nahm so schnell und drastisch ab wie kaum jemals zuvor
- Verdorrte Wiesen und Äcker, ausgetrocknete Bäche, abgestorbene Wälder und zurückgefahren Kraftwerke sorgten für substantielle Auswirkungen auf Natur und Wirtschaft
- 36 % Europas waren betroffen, auch NRW litt stark unter den Folgen (ebd.)

### 2020: Aufgrund eines anhaltenden Niederschlagsdefizites und hohen Temperaturen lag eine Dürre vor (LANUV 2020b)

- zunehmende Bodentrockenheit
- Wassermangel im durchwurzelten Boden führte zu wenig Wasser für das Pflanzenwachstum
- Auswirkungen auf die Landwirtschaft mit Ernteaufällen und die Forstwirtschaft mit Baumschäden. (ebd.)

### 2003: „Der Sommer war nicht nur extrem heiß, sondern auch extrem trocken“ (wetteronline 2013)

- Getreide verdorrte auf den Feldern, Bäume warfen ihr Laub ab, kleinere Flüsse und sogar einige Stauseen trockneten komplett aus (ebd.)

## VERWEISE



**Faktenblatt Starkregen:** Dürren können ein Starkregenereignis verstärken, da ein trockener Boden Wasser nicht schnell aufnehmen kann. Bei starken Winden knicken ausgetrocknete Bäume außerdem schneller um.

# STARKREGEN



„Starkregenereignisse werden in Zukunft wahrscheinlich häufiger und intensiver auftreten“

## DEFINITION

Starkregen beschreibt ein Wetterereignis mit **Niederschlagssummen**, die im Verhältnis zu ihrer Dauer eine **hohe Intensität** aufweisen (DWD 2020a)

- Unterscheidung zwischen kurzen und kaum vorhersehbaren Starkregenereignissen (z.B. 60 Minuten) mit großen Schäden auf der einen Seite und langanhaltenden Starkregen (z.B. 24 Stunden) mit vergleichsweise geringen Schäden und einer besseren räumlichen Vorhersehbarkeit (z.B. Mittelgebirge) auf der anderen Seite (Becker 2019)
- Eine entscheidende Größe stellt der Starkregenabfluss dar, welcher hauptsächlich durch die regionale und lokale topographische Situation und anderer nicht-klimatischer Faktoren wie der Versiegelung bestimmt ist

## VERGANGENE UND GEGENWÄRTIGE AUSPRÄGUNG

Der Anstieg von Starkregenereignissen in NRW ist signifikant (LANUV 2022b):

- Die Auswertung zeigt für NRW seit 1961 einen **signifikanten Anstieg von Starkregenereignissen** der Dauerstufe von 60 Minuten (s. Abbildung 6)

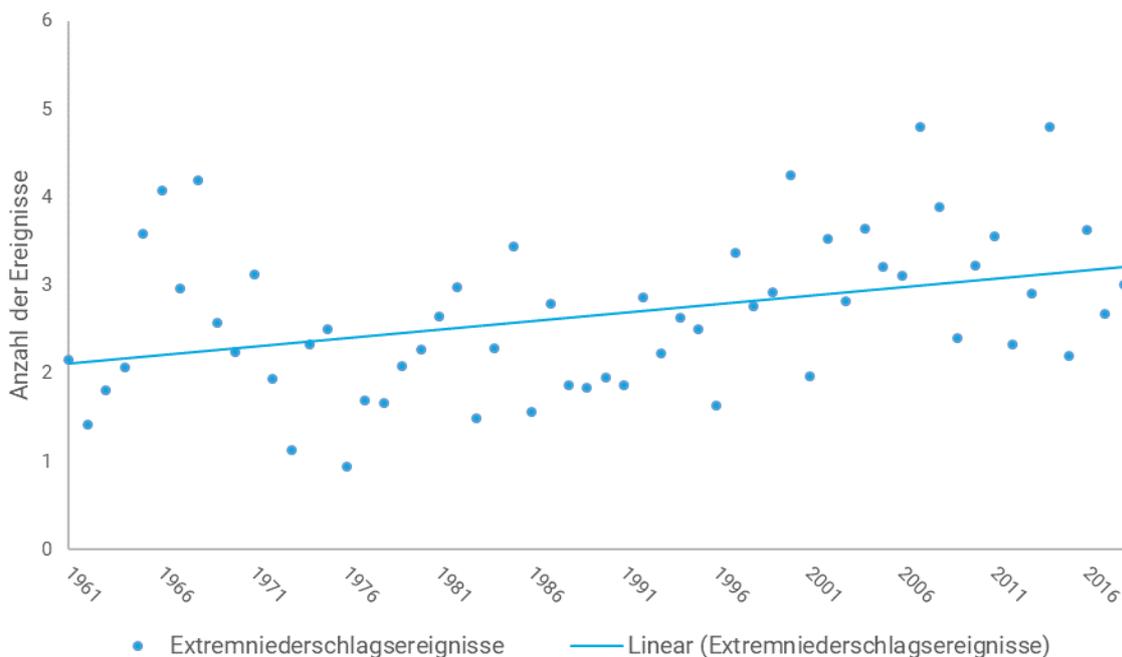


Abbildung 6: Extremniederschlagsereignisse NRW (Eigene Darstellung nach LANUV 2022b)

## ZUKÜNFTIGE AUSPRÄGUNG

Eine Prognose der räumlichen Verteilung und Intensität von Niederschlägen ist mit den jetzigen regionalen Klimamodellen nicht genau möglich, jedoch ist mit einer Zunahme zu rechnen:

- Aufgrund der steigenden Lufttemperatur und der steigenden Anzahl an Sommertagen und heißen Tagen steigt das **Potential für höhere Niederschlagsmengen** und somit auch Starkregen (DWD 2016b)
- "Analysen der seit 15 Jahren flächendeckend vorliegenden Radardaten deuten regional auf **eine Zunahme von Starkniederschlägen kurzer Dauer** hin. Jedoch sind diese Ergebnisse aufgrund der geringen Länge der Zeitreihen aus klimatologischer Sicht nicht aussagekräftig und können durch kurz- und mittelfristige Variationen bedingt sein" (DWD 2016b)
- Die extremen Starkniederschläge in NRW nehmen statistisch signifikant zu, es wird davon ausgegangen, dass sich dieser **Trend fortsetzt** (LANUV 2021: 70f.). Allerdings ist für die Zahl der Starkregentage (mehr als 70 mm pro Tag) kein eindeutiger Trend ablesbar; je nach Modell variieren die Werte für die nahe als auch ferne Zukunft: von leicht abnehmend (-10 %) bis deutlich steigend (+40 %) (LANUV 2021: 67f.).

## KLIMAWIRKUNG

Die folgende Darstellung der betroffenen Themenfelder stellte eine priorisierte Vorauswahl in Anlehnung an die DAS Handlungsfelder und die UBA Wirkungsketten dar:

- **Bauwesen / Verkehr- und Verkehrsinfrastruktur:** Betroffen sind insbesondere die bauliche Struktur und Substanz und wichtige Infrastruktureinrichtungen (technisch, verkehrlich und sozial). Dabei sind Kaskadeneffekte, also die nachfolgenden Auswirkungen, von großer Bedeutung, da sich die Funktionsfähigkeit von Infrastrukturen häufig gegenseitig bedingt
- **Land- und Forstwirtschaft:** Starkregen kann zu Erosion auf land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen führen und stellt somit eine Betroffenheit dieser Flächen dar, jedoch können diese Flächen auch als Rückhalteräume für große Wassermengen dienen
- **Hochwasserschutz:** Starkregen oder langanhaltender Regen können zu Hochwasser führen

**Weitere Betroffenheit:** Biologische Vielfalt, Boden, Energiewirtschaft, Finanz- und Versicherungswirtschaft, Industrie und Gewerbe, Verkehr und Verkehrsinfrastruktur, Menschliche Gesundheit

## PLANERISCHE RELEVANZ

**Die planerische Relevanz ist hoch!**

- Der Umgang mit Starkregen ist Bestandteil der kommunalen Daseinsvorsorge und findet somit auf kommunaler Ebene statt
- Da konvektive Starkregenereignisse "*immer und überall*" auftreten können, muss der Raum auch überall auf ein solches Extremereignis und dementsprechend einen möglichst kontrollierten Starkregenabfluss vorbereitet werden

- Die Planung kann keinen direkten Einfluss auf den Starkregen nehmen, jedoch kann der Starkregenabfluss beeinflusst und somit die Schäden minimiert werden

## DATENVERFÜGBARKEIT

### DWD-KOSTRA-Daten

- Bezug: frei verfügbar; Format: Geodaten / Shape-Files
- Gleichförmige Rasterzellen mit einer Rastergröße von ca. 8 km
- Modellerte Niederschlagshöhen für Starkregenereignisse verschiedener Dauerstufen (5min bis 72h) und verschiedener statistischer Wahrscheinlichkeiten des Auftretens (1a bis 100a)
- Zur Abbildung der derzeitigen Ausprägung von Starkregenereignissen wird in der Praxis i.d.R. die Dauerstufe 60 Minuten eines 100-jährlichen Ereignisses verwendet
- Zur Abbildung der zukünftigen Ausprägung des Klimasignals gibt es in der Praxis kein einheitliches Vorgehen (ohne Aufschlag bis hin zu 100%igen Klimawandel-Aufschlag)

### Starkregenhinweiskarte NRW

- Bezug: frei verfügbar als WMS-Server über das BKG, Geodaten auf Anfrage
- Rastergröße: 1m
- hydrodynamisch modellierte Fließgeschwindigkeiten und Überflutungsszenarien für zwei Szenarien (100-jährlich und 90 mm/h)

## VERGANGENE EREIGNISSE IN NRW

### 2020: „Heftige Unwetter im August“ (WDR 2020b)

- Wadersloh, Kreis Warendorf: 86,5 l/qm (WDR 2020b)
- Warburg, Kreis Höxter: 53 l/qm innerhalb einer Stunde (WDR 2020b)
- Dortmund: bis zu 40 l/qm (Bender 2020)

### 2017: „Heftigster Regen in Köln seit mehr als 70 Jahren“ (Kölner Stadt-Anzeiger 2017)

- Regenmassen überfluten Keller, Straßen und U-Bahn
- Köln Stammheim: 95 l/qm innerhalb von 24h
  - Üblich sind 80 l/qm in einem Monat
- Junkersdorf: 120 l/qm (ebd.)

### 2016: „Katastrophenfall im Kreis Wesel, Land unter in Xanten“ (Hahn 2016)

- Juni: Innerhalb weniger Stunden hat das Unwetter weite Teile des nördlichen Niederrheins unter Wasser gesetzt
- Xanten: 111 l/qm innerhalb weniger Stunden, historische Altstadt steht unter Wasser
- Hamminkeln: Issel erreichte Pegelstand von 2 m (normal: 0,5 m), Damm drohte zu brechen (ebd.)

### 2014: „292 Liter Regen an einem Tag - Die Sintflut von Münster“ (wetteronline 2014)

- Münster, August: innerhalb weniger Stunden Regenmengen von insgesamt über 290 l/qm – davon 220 l/qm innerhalb von 1,5 Stunden (ebd.)

- Zwei Menschen starben, die Stadt Münster geht von Schäden bis zu 20 Millionen Euro allein an Gebäuden und städtischer Infrastruktur aus (WDR 2014)

**2008: „Extremes Unwetter über Teilen der Stadt Dortmund“** (UWZ 2008)

- Dortmund, Juli: innerhalb von 4 Stunden Regenmengen von rund 203 l/qm, davon 119 l/qm innerhalb einer Stunde (Wagner und Laps 2008)

## VERWEISE



**Faktenblatt Hochwasser:** Starkregen oder lang anhaltender Regen kann zu Hochwasser führen

# HOCHWASSER



„Eine Zunahme von Hochwasserereignissen ist nicht signifikant nachweisbar (LANUV 2021: 96f.)“

## DEFINITION

Hochwasser beschreibt eine **zeitlich begrenzte Überschwemmung von Land**, welches normalerweise nicht mit Wasser bedeckt ist. Dies geschieht vor allem durch oberirdische Gewässer oder durch eindringendes Meerwasser in Küstengebieten (§ 72 WHG)

- Entstehung von Hochwasser insbesondere durch großflächigen **ergiebigen Niederschlag**, der **Vorfeuchte** im Boden und dem **Schneespeicher** (Thober et al. 2018: 13)
- Die Abflussmenge stellt eine statistische Größe des Wasserhaushalts von Fließgewässern dar. Häufig wird in diesem Zusammenhang der mittlere Abfluss (MQ) betrachtet
- Zur Einordnung von Hochwasserabflüssen wurden im Laufe der Jahrzehnte Kennwerte ermittelt, die die **Hochwasserwahrscheinlichkeiten** (Wiederkehrintervalle) beschreiben. Dazu gehören:
  - **HQ<sub>häufig</sub>**: ein Hochwasser mit hoher Wahrscheinlichkeit, welches statistisch einmal in 10 oder 20 Jahren auftritt
  - **HQ<sub>100</sub>**: ein Hochwasser mit mittlerer Wahrscheinlichkeit, welches statistisch alle 100 Jahre auftritt
  - **HQ<sub>extrem</sub>**: ein Hochwasser mit niedriger Wahrscheinlichkeit, welches statistisch deutlich seltener als alle 100 Jahre auftritt (MULNV 2022)
- Das gegenteilige Ereignis von Flusshochwasser ist Flussniedrigwasser: beschreibt Abflüsse, die deutlich unter dem mittleren Abflussniveau liegen und durch Niederschlagsmangel und einer hohen Verdunstung im Sommer entstehen (KLIWA 2020b)
- **Überschwemmungen** stellen eine mögliche Folge von Hochwasser dar

## VERGANGENE UND GEGENWÄRTIGE AUSPRÄGUNG

In NRW ist eine Zunahme von Hochwasser-Ereignissen **nicht signifikant nachweisbar**:

- Bei den mittleren Hochwasserabflüssen und auch extremen Hochwasserabflüssen ist eine signifikante Veränderung durch den Klimawandel in Deutschland und somit auch NRW zum jetzigen Zeitpunkt nicht eindeutig nachweisbar (LANUV 2021a: 103f.)
- Es gibt Anzeichen, dass die Hochwasserpegel, vor allem am Rhein, zurückgehen. Dies wird mit greifendem Hochwasserschutz und Retentionsflächen in Verbindung gebracht (ebd.: 101).
- Nachgewiesene Veränderungen bei den mittleren Abflüssen betreffen nur einen Rückgang der sommerlichen Wasservolumina, für den Winter konnte kein signifikanter Trend festgestellt werden (ebd.: 97)

## ZUKÜNFTIGE AUSPRÄGUNG

Die aktuell verfügbaren **Datenanalysen** von Hochwasser-Zeitreihen sowie prozessbasierten Modellierungen haben aufgrund begrenzter Datenverfügbarkeit sowie der vernachlässigten Komplexität meist **nur eingeschränkte Aussagekraft**:

- Nur rund die Hälfte aller Modellsimulationen zeigen statistisch verlässliche Änderungen (Thober et al. 2018: 14)
- Sollte die Erderwärmung im Rahmen des RCP-Szenarios 2.6 unter 1,5 °C bleiben, erwartet das UBA einen Anstieg der Hochwasserabflüsse von ca. 10 %. Für die Szenarien bis zum RCP 8,5 wird von einem Anstieg von ca. 25% ausgegangen (UBA 2021: 205).
- Das Modell LISFLOOD modelliert Ensembles für die zukünftige Entwicklung von Hochwasser anhand der drei Parametern Niederschlag, Verdunstungsrate und Temperatur. Aus den Ergebnissen lässt sich schließen, dass für **die nahe Zukunft** ein **HQ100 durch die Ausprägung eines HQextrem** abgebildet werden kann (Burek et al. 2013: 5)

## KLIMAWIRKUNG

Die folgende Darstellung der betroffenen Themenfelder stellte eine priorisierte Vorauswahl in Anlehnung an die DAS Handlungsfelder und die UBA Wirkungsketten dar:

- **Wasser, Hochwasserschutz:** Die Betroffenheit dieser Handlungsfelder ergibt sich aus dem Ereignis an sich
- **Bauwesen / Verkehr- und Verkehrsinfrastruktur:** Betroffen ist insbesondere die bauliche Struktur und Substanz, die in Überschwemmungsgebieten oder gefährdeten / deichgeschützten Bereichen liegt
- **Menschliche Gesundheit:** Die menschliche Gesundheit ist insbesondere bei starken Ereignissen betroffen
- **Finanz- und Versicherungswirtschaft:** Gehört in Deutschland zu den Naturkatastrophen mit den höchsten wirtschaftlichen Schäden, bei verhältnismäßig geringer räumlicher und zeitlicher Ausdehnung der Ereignisse (Thober et al. 2018: 13)

**Weitere Betroffenheiten:** Boden, Fischerei, Verkehr und Verkehrsinfrastruktur, Industrie und Gewerbe, Land- und Forstwirtschaft, Tourismus

## PLANERISCHE RELEVANZ

**Die planerische Relevanz ist hoch!**

- Die Schutzmaßnahmen gegen Überschwemmungen durch Hochwasser finden zwar auf örtlicher Ebene statt, müssen jedoch hinsichtlich ihrer Auswirkung regional und bei großen Flusseinzugsgebieten auch über nationale Grenzen hinaus betrachtet werden
- Grund dafür ist die Ober- und Unterliegerproblematik, da sowohl Schutzmaßnahmen als auch städtebauliche Entwicklungen eine Überschwemmung an flussabwärts liegenden Orten schwächen oder verstärken können
- Da die umliegende Topografie einen zentralen Faktor für das Schadensausmaß darstellt, können gefährdete Räume gut identifiziert und mit Hilfe der Planung baulich angepasst bzw. geschützt werden

- Viele Schutzeinrichtungen sind auf ein heutiges HQ100 ausgerichtet, gegen stärker ausgeprägte Ereignisse sind viele gefährdete Bereiche häufig nicht ausreichend geschützt

## DATENVERFÜGBARKEIT

### Hochwassergefahrenkarten NRW - MULNV

- Bezug: frei verfügbar; Format: geografische Rasterdaten
- Rastergröße: 2m
- Überflutungshöhen und Fließgeschwindigkeiten verschiedener bemessener Hochwasserereignisse
- Überflutungsbereiche und gefährdete Bereiche (deichgeschützte Bereiche)
- Zur Abbildung der derzeitigen Ausprägung werden i.d.R. die Daten des HQ100 verwendet
- Aufgrund der starken Unsicherheiten bzgl. der zukünftigen Ausprägung von Hochwasserereignissen sollte ein "Worst-Case-Szenario", also die Daten des HQextrem verwendet werden

## VERGANGENE EREIGNISSE IN NRW

### 2021: „Flutkatastrophe 2021 – Die Gewalt des Wassers“ (Martens 2022)

Tief Bernd hat im Juli für heftige Unwetter mit Starkregen und anschließendem Hochwasser gesorgt - große Teile von Rheinland-Pfalz und NRW betroffen.

- Altenahr (Rheinland-Pfalz): Wasserstand von rund 10 m (LfU Rheinland-Pfalz 2022)
- Normalpegel liegt deutlich unter einem Meter (Goebel 2022)
- Höchststand in den vergangenen zwei Jahrzehnten wurde mit 3,71 m gemessen (ebd.)
- Kreis Euskirchen, Erft-Einzugsgebiet: Überflutungen größtenteils deutlich über dem Szenario eines Extrem-Hochwassers (HQextrem) (Erftverband 2021: 9)
- Gesamtschaden in Höhe von rund 15 Milliarden Euro (Franke 2022)
- 135 Todesopfer in Rheinland-Pfalz, 49 Todesopfer in NRW (Kölnische Rundschau 2022)

### 2018: Rheinhochwasser im Januar

- Düsseldorf Wasserstand von 8 - 8,5 Metern im Januar (RPOonline 2018)
  - Normalpegel liegt bei rund 2,57 m (WSV 2022a)
- Köln: Höchststand von 8,78 Meter (8. Januar) (Kölnische Rundschau 2018)
  - Normalpegel liegt bei rund 2,97 m (WSV 2022b)

**1995: Rheinhochwasser im Januar/Februar**

- Pegelstand von 10,64 m in Köln (normal: 3,84 m) (BfG 1996)
- Gesamtschaden im deutschen Rheineinzugsgebiet: 550 Mio. DM, davon alleine in der Stadt Köln rund 65 Mio. DM (Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft 1999)
- 5 Todesopfer (ebd.)

**1993: Rheinhochwasser im Dezember**

- Pegelstand Bonn: 10,13 m (Wetteronline 1993)
- Pegelstand Köln: 10,63 m (WDR 2013)
- Gesamtschäden: rund 1 Milliarde DM (Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft 1999)
- Mehrere Todesopfer (ebd.)

 **VERWEISE**

**Faktenblatt Starkregen:** Hochwasser kann durch langanhaltenden und räumlich weit verbreitet auftretenden Starkregen verursacht werden.

## 5 RELEVANTE BERICHTE UND LITERATUR

Im Folgenden wird eine Übersicht über die zentrale Literatur aufgeführt und verlinkt. Zum einen findet eine Vorstellung von relevanten Berichten und Studien, differenziert nach räumlichen Ebenen, statt, zum anderen werden weitere interessante Leitfäden und Plattformen genannt. Ziel dieser Zusammenfassung ist es, Anknüpfungspunkte für weitere Leseoptionen zu bieten, um Wissen zu vertiefen. Neben der nachfolgend aufgelisteten Literatur gibt es eine Vielzahl an weiteren Forschungsprojekten und damit einhergehende Veröffentlichungen, auf die an dieser Stelle jedoch nicht weiter hingewiesen wird. Auf alle Veröffentlichungen wird zudem in einem separaten Verzeichnis am Ende des Berichtes verwiesen.

### Globale und europaweite Studien

#### *Assessment Report by the IPCC, 2014 & 2022*

Der fünfte Sachstandsbericht des IPCC von 2013-2014 trägt mit globaler Perspektive auf den Klimawandel den aktuellen Stand der Klimaforschung zusammen und nimmt somit eine wichtige Rolle in Bezug auf eine spätere Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Regionen ein. Der Bericht unterscheidet zwischen Wissen aus Beobachtungsdaten und Klimaprojektionen. Bezüglich der Klimaprojektionen werden im Vergleich zu dem vierten IPCC Sachstandsberichts von 2007 die im Rahmen des neuen IPCC Berichts entwickelten RCP-Szenarien als Grundlage für die Klimaprojektionen gewählt (s. Kapitel 2). Für das 2. Quartal 2022 wird der 6. IPCC-Bericht erwartet, welcher sich zum Stand der Aufstellung dieses Berichts noch in der finalen Überarbeitung befindet. Erste Teilberichte, welche die Entwicklungen des 5. IPCC-Berichts weiter ausführen, sind bereits veröffentlicht (IPCC 2021; IPCC 2022).

#### *ESPON Climate project, insbesondere das Update von 2014*

Der Bericht enthält Profile zu den einzelnen Regionen innerhalb der EU28 bezüglich der Auswirkungen des Klimas auf den Raum und die Vulnerabilität. Dabei besteht ein starker räumlicher Bezug durch die Betrachtung unterschiedlicher Regionen. Die klimatische Grundlage ist das veraltete Emissionsszenario A1B, wodurch keine klimatische Variabilität aufgezeigt werden kann.

#### *EEA report. Climate change, impacts and vulnerability in Europe, 2016*

Der EEA Bericht stellt eine europaweite indikatorbasierte Bewertung des vergangenen und prognostizierten Klimawandels sowie dessen Auswirkungen auf Ökosysteme und die Gesellschaft dar. Dabei behandelt er insbesondere die Anpassungsfähigkeit und Vulnerabilität des Raumes. Es findet eine Unterscheidung zwischen den Auswirkungen auf die Umwelt (ab Seite 107) und die Gesellschaft (ab Seite 189) statt. Die Auswirkungen des Klimawandels auf bestimmte Sektoren werden umfassend dargestellt, besonders betroffene Regionen werden jedoch nur grob identifiziert. Deutschland wird beispielsweise in ca. 12 Rasterzellen aufgeteilt.

## DEUTSCHLANDWEITE STUDIEN

*Klimawandel in Deutschland. Entwicklungen, Folgen, Risiken und Perspektiven, Climate Service Center (Guy P. Brasseur, Daniela Jacob, Susanne Schuck-Zöller), 2017*

Dieser Bericht hat einen zusammenfassenden Charakter und soll somit auch als Entscheidungsgrundlage für Fragestellungen bezüglich des Umgangs mit dem Klimawandel dienen. Der aktuelle Forschungsstand wird strukturiert und in verständlicher Sprache sowie durch Grafiken und Tabellen anschaulich visualisiert. Der Bericht liefert eine prägnante Zusammenfassung des klimatischen Zustandes und der Entwicklung in Deutschland, wobei der Fokus auf der Beschreibung der Auswirkungen des Klimawandels auf unterschiedlichen Themenbereichen und gesellschaftlichen Sektoren liegt.

*Material des Deutschen Wetterdienstes (DWD)*

Der Aufgabenbereich des DWD basiert „auf einem gesetzlichen Informations- und Forschungsauftrag“ (DWD 2020b). Dabei stellt der DWD eine Vielzahl an meteorologischen und klimatologischen Dienstleistungen zur Verfügung, welche regelmäßig aktualisiert und/oder erweitert werden.

- *Der nationale Klimareport von 2022 fasst das bekannte Wissen über das vergangene, gegenwärtige und zukünftige Klima in Deutschland kurz zusammen und gibt somit einen fundierten Überblick über den Klimawandel.*
- *Das DWD Wetterlexikon ist ein Online-Lexikon, welches die wichtigsten meteorologischen Begriffe enthält.*
- *Das Climate Data Center stellt einen freien Zugang zu Klimadaten des DWD dar.*

*Dokumente zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel*

Die 2008 von der Bundesregierung beschlossene Deutsche Anpassungsstrategie (DAS) zielt darauf ab, Folgen des Klimawandels zu identifizieren, „die Verwundbarkeit natürlicher, sozialer und wirtschaftlicher Systeme gegenüber Klimafolgen zu mindern und gleichzeitig die Anpassungsfähigkeit dieser Systeme sowie die Ausnutzung möglicher Chancen zu erhöhen“ (BMUV 2020: 4). Aufgrund der dynamischen Veränderungen von Klima und Gesellschaft unterliegt die DAS einer kontinuierlichen Weiterentwicklung. Bestandteile der Strategie sind Klimawirkungs- und Risikoanalysen, Aktionspläne sowie Fortschritts- und Monitoringberichte.

- *Der Bericht *Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel (Umweltbundesamt, 2015)* beinhaltet eine quantitative, bundesweite, integrierte Bewertung auf NUTS3-Ebene für alle 16 Handlungsfelder der deutschen Anpassungsstrategie. Der Fokus liegt auf der Verschneidung der klimatischen Einflüsse mit der Sensitivität und der Anpassungsfähigkeit des Raumes, um so die Vulnerabilität zu bestimmen. Sowohl sektorale als auch sektorenübergreifende und räumliche Schwerpunkte der Klimawirkungen in Deutschland sowie Dokumentationen der Methodik werden in diesem Bericht umfassend dargestellt.*
- *Die *Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021: Wie verwundbar ist Deutschland gegenüber dem Klimawandel?* (Adelphi, im Auftrag des UBA, 2021) ist die Fortschreibung des 2015 veröffentlichten Berichts *Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel* und stellt die wissenschaftliche Grundlage zur Weiterentwicklung der deutschen Anpassungsstrategie dar. Sie besteht aus insgesamt sechs Teilberichten und fasst aktuelle*

Handlungserfordernisse zusammen. Basierend auf den Ergebnissen können Maßnahmen entwickelt werden (Adelphi 2021). Eine Fortschreibung findet alle 6 Jahre statt, die nächste Klimawirkungs- und Risikoanalyse ist für 2027 vorgesehen.

- Die *Monitoringberichte zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (UBA, 2015 und 2019)* geben einen Überblick über beobachtete Folgen des Klimawandels sowie bereits eingeleitete Anpassungsmaßnahmen in Deutschland. Darin werden anhand von gemessenen Daten bereits feststellbare Veränderungen aufgrund des Klimawandels dargelegt. Eine Aktualisierung soll alle vier Jahre erfolgen.
- Die *Aktionspläne Anpassung (APA)* beinhalten die laufenden sowie geplanten Maßnahmen des Bundes zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels. Nach 2011 und 2015 wurde 2020 der dritte Aktionsplan Anpassung (APA III), gemeinsam mit dem zweiten Fortschrittsbericht zur Deutschen Anpassungsstrategie, veröffentlicht. In diesem befinden sich über 180 Maßnahmen aus sämtlichen Bundesressorts, welche bis 2040 zur Minimierung der Folgen des Klimawandels umgesetzt werden sollen.

## NRW STUDIEN

*Material des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV)*

Das LANUV ist eine technisch-wissenschaftliche Fachbehörde des Landes NRW für den Natur-, Umwelt- und Verbraucherschutz. Sie dient als zentrale Informations- und Koordinationsstelle für Klimaschutz und Klimawandel und bereitet Wissen und Daten für die weitere Nutzung in NRW auf.

- Die *ExUS-Studie, Extremwertstatistische Untersuchungen von Starkniederschlägen in NRW* von 2010 untersucht Starkniederschläge in NRW in Bezug auf mögliche Veränderungen in Dauer, Intensität und Raum auf der Grundlage beobachteter Ereignisse von 1950-2018. Ziel der Studie ist es herauszufinden, ob statistisch signifikante Veränderungen im Niederschlagsverhalten vorliegen. Diese werden differenziert nach Dauerstufe und Eintrittswahrscheinlichkeit bewertet. Aufgrund des komplexen Verfahrens ist eine Aktualisierung der Studie alle 10 Jahre geplant. Bisher (Stand November 2022) ist der aktualisierte Bericht jedoch noch nicht öffentlich zugänglich.
- Die *LANUV-Info 38, Auswirkungen des Klimawandels in Nordrhein-Westfalen – Klimafolgenmonitoring* von 2017 beschreibt die Effekte des Klimawandels auf die Natur und Umwelt, um Risiken frühzeitig entgegenwirken zu können. Die Veränderungen in den unterschiedlichen Kategorien wie Klima, Boden, Gesundheit, Wasser und Landwirtschaft werden anhand verschiedener Indikatoren, basierend auf Beobachtungsprogrammen des LANUV und Daten des DWD, kompakt zusammengefasst.
- Die *Datenblätter für die acht Großlandschaften NRWs* von 2021 stellen Kurzinformationen zum bereits erfolgten Klimawandel, den Klimafolgen und der möglichen zukünftigen Klimaentwicklung für die Großlandschaften sowie Gesamt-NRW dar.
- Der *Fachbericht 120, Klimawandel und Klimafolgen in Nordrhein-Westfalen - Ergebnisse aus dem Klimafolgen- und Anpassungsmonitoring* von 2021 liefert einen Überblick über das aktuelle Klima und seine zukünftige Entwicklung, insbesondere bezüglich Temperatur und Niederschlag sowie deren Auswirkungen auf NRW. Der Bericht enthält Zeitreihen, Trends sowie viele Daten und Visualisierungen.

*Material des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz (MULNV) NRW*

Das „Ministerium plant und bereitet Landesgesetze vor, die vom Landesparlament – dem Landtag NRW – behandelt und beschlossen werden“ (MULNV 2020) und erstellt Berichte zu umweltrelevanten Themen.

- Der Bericht *Klimawandel und Wasserwirtschaft* von 2011 enthält klimatische Prognosen, Maßnahmen und Handlungskonzepte bezüglich der Wasserwirtschaft zur Anpassung an den Klimawandel.
- Der *Umweltbericht NRW* von 2016 liefert Informationen bezüglich des Umweltzustandes NRWs in unterschiedlichen Bereichen. Dazu gehören Umwelt und Gesundheit, Abfall, Boden und Wasser, sowie Natur und ländliche Räume. Auf den Seiten 20-35 sind zudem zukünftige Projektionen und Zeitreihen zu Temperatur und Niederschlag in NRW zu finden.
- Der *Umweltzustandsbericht NRW* von 2020 beschreibt mithilfe zahlreicher Abbildungen und Indikatoren Entwicklungen und Trends zu Themen wie „Klima, Energie und Effizienz“ oder „Umwelt und Gesundheit“. Insbesondere auf den Seiten 13 bis 19 lassen sich Informationen zum Thema Klima und Klimaanpassung entnehmen.

*Impact Klimaanpassung als Vorstudie zur zukünftigen praktischen Anwendung im Dialog mit Institutionen und als Handlungshilfe für regionale Akteure, PROGNOS, 2018*

Der Bericht bereitet Wirkungszusammenhänge von Anpassungsmaßnahmen auf und gibt Hilfestellungen, „um die kommunale und regionale Ebene im Aufbau von Resilienz in Bezug auf den Klimawandel zu unterstützen“ (PROGNOS 2018: 1). Der Bericht enthält fünf Fallstudien in den Kreisen Wesel, Steinfurt und Soest. Außerdem stellt er eine Übersicht über Studien und Forschungsprojekten auf unterschiedlichen räumlichen Ebenen zur Verfügung.

## LEITFÄDEN UND HANDREICHUNGEN

*Leitfaden für Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalysen – Empfehlungen der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassung an den Klimawandel der Bundesregierung, UBA, 2017*

Der Leitfaden enthält Empfehlungen zur Konzeption, kollaborativen Durchführung und Nutzung von Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalysen der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassung an den Klimawandel der Bundesregierung.

*Anpassung an die Folgen des Klimawandels – Anforderungen und Leitlinien zur Anpassungsplanung für kommunale Verwaltungen und Gemeinden, ISO 14092, 2020*

Das Dokument gibt eine Handlungsanweisung an Gemeinden zur Entwicklung eines Anpassungsplanes. Außerdem zeigt es Systeme und Akteure auf, auf die bei der Anpassung zurückgegriffen werden sollte (DIN 2020:7).

*Anpassung an den Klimawandel – Vulnerabilität, Auswirkungen und Risikobewertung, ISO 14091, 2021*

Die DIN-Norm ISO 12091 stellt eine Leitlinie für die Bewertung der mit den möglichen Auswirkungen des Klimawandels verbundenen Risiken vor und gibt eine Anleitung zur Einschätzung gegenwärtiger und zukünftiger Risiken. Sie beschreibt, „wie Vulnerabilität zu verstehen und wie

eine fundierte Risikobewertung im Kontext des Klimawandels zu entwickeln und umzusetzen ist“ (DIN 2021).

#### *Handreichung zur Umsetzung der ISO 14091, UBA, 2022*

Das UBA hat die DIN ISO Norm aufgearbeitet und in einer leicht verständlichen Broschüre zusammengefasst. Anhand dieser wird das Aufstellen einer Klimarisikoanalyse auf kommunaler Ebene erläutert.

#### *Arbeitshilfe kommunales Starkregenrisikomanagement - Hochwasserrisikomanagementplanung in NRW, MULNV, 2018*

Die Arbeitshilfe unterstützt Kommunen bei der Aufstellung eines kommunalen Konzepts zum Starkregenrisikomanagement. Ziel ist es, ein landesweit einheitliches Vorgehen zum Umgang mit Starkregen (von der Überflutungsanalyse bis zum Handlungskonzept) zu implementieren und somit eine Basis für die Fördermittelakquise zu schaffen.

## INFORMATIONEN- UND AUSTAUSCHFORMATE

### *ClimatAdapt*

Die EU, bzw. EEA betreibt das Portal ClimateAdapt, welches zahlreiche Informationen bereitstellt. Kommunen haben die Möglichkeit, Klimaanpassungsmaßnahmen zu teilen und können von einer Vielzahl europaweit erprobter Anpassungsmaßnahmen profitieren.

### *Zentrum Klimaanpassung*

Das Zentrum Klimaanpassung unterstützt Kommunen durch Umsetzungsberatung, Förderberatung, allgemeine Fortbildung und Vernetzungsaufbau. Außerdem stellt es eine übersichtliche Zusammenfassung der in Deutschland verfügbaren sowie geltenden Klimaanpassungsunterstützungen bereit und enthält ebenfalls eine Zusammenstellung wichtiger Studien, Berichte, Portale und Tools zum Thema Klimaanpassung.

### *Klimaatlas NRW*

Der Klimaatlas NRW vom LANUV bündelt sämtliche Informationen zu den Themen Klima, Klimawandel und Klimaanpassung für NRW. Es unterteilt sich in drei übergeordnete Kategorien:

- Im Bereich Klima NRW befinden sich Klimakarten zum Einstieg für alle Interessierten. Dort kann man sich durch Eingabe einer Adresse über das Klima vor Ort informieren.
- Im Bereich Klima NRW.Plus sind alle umfangreichen Daten und Downloads des LANUV enthalten. Abrufbar sind Karten zu sämtlichen klimatischen Einflüssen wie zum Beispiel zu „Temperatur“ oder „Niederschlag“ sowie zu Klimawirkungen zu Handlungsfeldern wie „Menschliche Gesundheit“, „Landwirtschaft“ oder „Planung und Bau“. Zudem lassen sich die gewünschten Daten für eine beliebig gewählte Raumeinheit herunterladen
- Im Bereich Klima NRW Indikatoren wird das Klimafolgen- und Anpassungsmonitoring in NRW vorgestellt. Es zeigt einerseits die Klimaentwicklung selbst, andererseits auch Indikatoren, die die Reaktionen der Natur oder Maßnahmen der Gesellschaft auf beobachtete Wirkungen des Klimawandels aufzeigen

## 6 FAZIT

Die gegenwärtige als auch zukünftige Ausprägung des Klimas als auch die sozioökonomischen Strukturen sind divers und müssen auch innerhalb von NRW als solches betrachtet werden. Der vorliegende Bericht zeigt diese Diversität und Komplexität klimatischer Veränderungen und den daraus resultierenden Auswirkungen auf den Raum. Dabei übernimmt der Bericht eine Lotsenfunktion für Akteure und Akteurinnen in der Planung.

Die Zusammenfassung des Klimawandels in NRW und seinen Auswirkungen auf den Raum bildet eine übersichtliche Informationssammlung für Aktivitäten im Rahmen des Forschungsprojekts Evolving Regions und soll auch darüber hinaus Anwendung finden. Eine Abgrenzung von Begriffen und ein Verständnis der Zusammenhänge stellt dabei eine wichtige Grundlage dar. Die Einordnung von NRW in einen globalen Kontext schärft den Blick für den globalen Klimawandel und seiner Bedeutung für NRW. Die Faktenblätter zu den Themen Hitze, Dürre, Starkregen und Flusshochwasser stellen eine kompakte Wissensgrundlage für die weitere Auseinandersetzung mit klimatischen Einflüssen in der Planung dar und schaffen eine Verbindung zu den Klimawirkungsanalysen und Roadmap Prozessen für die beteiligten Kreise im Rahmen des Forschungsprojekts Evolving Regions. Darüber hinaus bietet die Strukturierung der umfangreichen und zahlreichen Literatur die Möglichkeit bei gewünschten Themen weiter in die Tiefe zu gehen.

## LITERATURVERZEICHNIS

- Adelphi 2021: Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021: Wie verwundbar ist Deutschland gegenüber dem Klimawandel? UBA. Abgerufen von: <https://www.adelphi.de/de/projekt/klimawirkungs-und-risikoanalyse-2021-wie-verwundbar-ist-deutschland-gegen%C3%BCber-dem> (Zugegriffen am 03.08.2022)
- BBK 2018: Risikoanalyse Dürre. Drucksache des Deutschen Bundestags 19/952. Abgerufen von [https://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Risikomanagement/Risikoanalyse\\_2018\\_Duerre.pdf;jsessionid=161F230F0859F782B39EE5503DC71A09.live352?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Risikomanagement/Risikoanalyse_2018_Duerre.pdf;jsessionid=161F230F0859F782B39EE5503DC71A09.live352?__blob=publicationFile&v=3) (zugegriffen am 17.08.2022)
- BBSR (Hg.) 2009: Ländliche Räume im demografischen Wandel. BBSR-Online-Publikation, Nr. 34. Abgerufen von <https://downloads.eo-bamberg.de/9/883/1/39776177391270917991.pdf#page=4> (zugegriffen am 19.05.2020)
- Becker, Dr. Andreas 2019: Starkregen in Deutschland Trifft es einzelne Regionen besonders? Worauf müssen wir uns im Zuge des Klimawandels einstellen? Vortrag am 25. November 2019. Berlin
- Bender, Lisa 2020: Unwetter in Dortmund sorgen für Überflutungen und Chaos: Feuerwehr mit dramatischer Rettung. Abgerufen von <https://www.ruhr24.de/dortmund/dortmund-huckarde-unwetter-gewitter-unter-wasser-chaos-feuerwehr-bilder-regen-ueberflutung-13860547.html> (zugegriffen am 16.11.2020)
- BfG 1996: Das Januarhochwasser 1995 im Rheingebiet. BfG-Mitteilung Nr. 10. Koblenz
- BMUV 2020: Zweiter Fortschrittsbericht zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Abgerufen von [https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Klimaschutz/klimawandel\\_das\\_2\\_fortschrittsbericht\\_bf.pdf](https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimawandel_das_2_fortschrittsbericht_bf.pdf) (zugegriffen am 02.11.2022)
- Brasseur, Guy P.; Jacob, Daniela; Schuck-Zöller, Susanne 2017: Klimawandel in Deutschland. Entwicklungen, Folgen, Risiken und Perspektiven. Springer.
- Burek, Peter; Van der Knijff, Johan, de Roo, Ad 2013: LISFLOOD. Distributed Water Balance and Flood Simulation Model. Abgerufen von [https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC78917/lisflood\\_2013\\_online.pdf](https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC78917/lisflood_2013_online.pdf) (zugegriffen am 22.05.2020)
- DPA 2022: NRW. Heißer Herbstbeginn bringt Hitzetage-Rekord. Abgerufen von <https://weather.com/de-DE/wetter/deutschland/news/2022-09-10-nrw-heisser-herbstbeginn-bringt-hitzetage-rekord> (zugegriffen am 17.09.2022)
- DWD 2016a: Dokumentation. Perzentile. Abgerufen von [https://www.dwd.de/DE/fachnutzer/landwirtschaft/dokumentationen/allgemein/perzentile\\_erlaeuterung.pdf;jsessionid=EE4BB76C6E235A5B38526FDD215B089C.live21072?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.dwd.de/DE/fachnutzer/landwirtschaft/dokumentationen/allgemein/perzentile_erlaeuterung.pdf;jsessionid=EE4BB76C6E235A5B38526FDD215B089C.live21072?__blob=publicationFile&v=4) (zugegriffen am 25.03.2020)
- DWD 2016b: Starkniederschläge in Deutschland. Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main, Deutschland, 4 Seiten. Abgerufen von [https://www.dwd.de/DE/leistungen/nationaler-klimareport/download\\_einleger\\_report\\_2016.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.dwd.de/DE/leistungen/nationaler-klimareport/download_einleger_report_2016.pdf?__blob=publicationFile&v=4) (zugegriffen am 27.05.2020)

DWD 2020a: Das Wetterlexikon des DWD erläutert die wichtigsten meteorologischen Begriffe und wird ständig ausgebaut. Abgerufen von <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?nn=103346&lv2=10007> (zugegriffen am 31.03.2020)

DWD 2020b: Aufgaben des DWD. Abgerufen von [https://www.dwd.de/DE/derdwd/aufgaben/aufgaben\\_node.html](https://www.dwd.de/DE/derdwd/aufgaben/aufgaben_node.html) (zugegriffen am 10.07.2020)

DWD 2021: Nutzung klimatischer Referenzperioden ab 2021. Abgerufen von [https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/verschiedenes/20210119\\_neue\\_referenzperiode.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/verschiedenes/20210119_neue_referenzperiode.pdf?__blob=publicationFile&v=1) (zugegriffen am 10.08.2022)

DWD 2022a: Klimawandel. Ein Überblick. Abgerufen von [https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimawandel/klimawandel\\_node.html](https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimawandel/klimawandel_node.html) (zugegriffen am 10.08.2022)

DWD 2022b: Klimaprojektionen. Abgerufen von [https://www.dwd.de/DE/forschung/klima\\_umwelt/klimaprojektionen/klimaprojektionen\\_node.html;jsessionid=7FE1DA9EAD075BAFE61A7F5D7B1C9FCA.live11044](https://www.dwd.de/DE/forschung/klima_umwelt/klimaprojektionen/klimaprojektionen_node.html;jsessionid=7FE1DA9EAD075BAFE61A7F5D7B1C9FCA.live11044) (zugegriffen am 02.11.2022)

DWD 2022c: Die Klimaentwicklung in Deutschland. Abgerufen von: [https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimawandel/ueberblick/ueberblick\\_node.html](https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimawandel/ueberblick/ueberblick_node.html) (zugegriffen am 10.08.2022)

DWD 2022d: Hitze. Abgerufen von: [https://www.dwd.de/DE/leistungen/unwetter-klima/hitze/hitze\\_node.html](https://www.dwd.de/DE/leistungen/unwetter-klima/hitze/hitze_node.html) (zugegriffen am 24.08.2020)

EEA 2016: Climate change, impacts and vulnerability in Europa 2016. An indicator-based report. Abgerufen von <https://www.eea.europa.eu/publications/climate-change-impacts-and-vulnerability-2016> (zugegriffen am 28.05.2020)

Erftverband 2021: Hochwasser an der Erft und ihren Nebengewässern 14. Bis 16.07.2021. Abgerufen von [https://www.erftverband.de/wp-content/uploads/2021/08/20210820\\_ev\\_auswertung\\_hw\\_20210714.pdf](https://www.erftverband.de/wp-content/uploads/2021/08/20210820_ev_auswertung_hw_20210714.pdf) (zugegriffen am 10.08.2022)

Field, Christopher B.; Barros, Vicente R.; Dokken, David (Hg.) 2014: Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability Working Group II contribution to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York NY: Cambridge University Press

Franke, Victor 2022: Bilanz des Schreckens an der Ahr. Abgerufen von: [https://ga.de/region/ahr-und-rhein/flutschaeden-bilanz-des-schreckens-an-der-ahr\\_aid-64945969](https://ga.de/region/ahr-und-rhein/flutschaeden-bilanz-des-schreckens-an-der-ahr_aid-64945969) (zugegriffen am 08.09.2022)

GDV o.J.: Ernteschäden durch Extremwetter. Schadenaufwand durch verschiedene Wetterextreme 1990 – 2013 in Deutschland. Abgerufen von <https://www.gdv.de/resource/blob/21616/b5c5dee573d32bc27224b002b22fb39b/-639359943-data.pdf> (zugegriffen am 22.05.2020)

Giustolosi, Daniele 2020: Tropennächte in NRW: So belastend ist die Hitze in der Nacht für die Gesundheit. Abgerufen von <https://www.ruhr24.de/service/hitze-nrw-2020-wetter-deutschland-tropennaechte-2020-dwd-definition-gesundheit-umweltbundesamt-13855401.html> (zugegriffen am 16.11.2020)

Greiving, Stefan; Arens, Sophie; Becker, Dennis; Fleischhauer, Mark 2018: Improving the Assessment of Potential and Actual Impacts of Climate Change and Extreme Events Through a

Parallel Modeling of Climatic and Societal Changes at Different Scales. Journal of Extreme Events. Vol. 04, No. 04

Helmholtz-Zentrum, UFZ 2020: Dürremonitor Deutschland. Abgerufen von <https://www.ufz.de/index.php?de=37937> (zugegriffen am 27.05.2020)

Hübener, Heike; Spekat, Arne; Bülow, Katharina; Früh, Barbara; Keuler, Klaus; Menz, Christoph; Radtke, Kai; Ramthun, Hans; Rathmann, Torsten; Steger, Christian; Toussaint, Frank; Warrach-Sagi, Kirsten 2017: ReKliEs-De Nutzerhandbuch. Abgerufen von <http://reklies.hlnug.de/fileadmin/tmpl/reklies/dokumente/ReKliEs-De-Nutzerhandbuch.pdf> (zugegriffen am 27.05.2020)

Hahn 2016: Katastrophenfall im Kreis Wesel, Land unter in Xanten. Abgerufen von: <https://www.welt.de/regionales/nrw/article155896217/Katastrophenfall-im-Kreis-Wesel-Land-unter-in-Xanten.html> (zugegriffen am: 16.11.2020)

IPCC 2014: Fifth Assessment Report. Abgerufen von <https://www.ipcc.ch/> (zugegriffen am 28.05.2020)

IPCC 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S.

IPCC 2022: Sixth Assessment Report: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Abgerufen von <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/> (zugegriffen am 03.08.2022)

IT NRW 2022: Bevölkerungsentwicklung nach Altersgruppen am 1. Januar. Abgerufen von <https://www.it.nrw/statistik/eckdaten/bevoelkerungsentwicklung-nach-altersgruppen-am-1-januar-971> (zugegriffen am 03.08.2022.)

KLIWA 2020b: Niedrigwasser. Abgerufen von <https://www.kliwa.de/hydrologie-niedrigwasser.htm> (zugegriffen am 22.05.2020)

Kölner Stadt-Anzeiger 2017: Das Rekord-Unwetter in Zahlen. Heftigster Regen in Köln seit mehr als 70 Jahre. Abgerufen von <https://www.ksta.de/koeln/das-rekord-unwetter-in-zahlen-heftigster-regen-in-koeln-seit-mehr-als-70-jahren-28004854?cb=1660116515357&> (zugegriffen am 16.11.2020)

Kölnische Rundschau 2018: Hochwasser 2018 in Köln. Abgerufen von <https://www.rundschau-online.de/region/koeln/bilder-hochwasser-2018-in-koeln-29454174?originalReferer=https://www.google.com/> (zugegriffen am 16.11.2020)

Kölnische Rundschau 2022: Die große Flut. Eine Chronologie der Ereignisse. Abgerufen von: <https://www.rundschau-online.de/region/mindestens-180-tote-die-grosse-flut-eine-chronologie-der-ereignisse-142109> (zugegriffen am 02.11.2022)

Land NRW 2019: Hitzerekord in Nordrhein-Westfalen. Abgerufen von <https://www.land.nrw/de/pressemitteilung/erwarteter-hitzerekord-nordrhein-westfalen> (zugegriffen am 16.11.2020)

LANUV 2017: Auswirkungen des Klimawandels in Nordrhein-Westfalen. Klimafolgenmonitoring 2016, LANUV-Info 38. Recklinghausen

LANUV 2018: Klimaanalyse Nordrhein-Westfalen: LANUV-Fachbericht 86. Recklinghausen

LANUV 2019: Daten und Fakten zum Klimawandel. Abgerufen von [https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/klima/uploads/LANUV\\_Klima\\_Datenblatt\\_01\\_NRW\\_WEB\\_StandSep19.pdf](https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/klima/uploads/LANUV_Klima_Datenblatt_01_NRW_WEB_StandSep19.pdf) (zugegriffen am 28.05.2020)

LANUV 2020a: Aktuelle Einordnung der Witterung in NRW. Abgerufen von <https://www.klimaatlas.nrw.de/Witterungsverlauf> (zugegriffen am 16.11.2020)

LANUV 2020b: Dürre in NRW: Niederschlagsdefizite der vergangenen Jahre haben erhebliche Folgen. Abgerufen von <https://www.lanuv.nrw.de/landesamt/veroeffentlichungen/pressemitteilungen/details/2386-duerre-in-nrw-niederschlagsdefizite-der-vergangenen-jahre-haben-erhebliche-folgen-lanuv-praesentiert-neue-informationsangebote-zur-trockenheit-in-nordrhein-westfalen> (zugegriffen am 20.10.2020)

LANUV 2021a: Klimawandel und Klimafolgen in Nordrhein-Westfalen. Ergebnisse aus den Klimafolgen- und Anpassungsmonitoring. LANUV-Fachbericht 120. Recklinghausen. Abgerufen von: [https://www.klimafolgenmonitoring.nrw.de/fileadmin/downloads/Dokumente/Screen\\_Klimabericht\\_2021\\_211208.pdf](https://www.klimafolgenmonitoring.nrw.de/fileadmin/downloads/Dokumente/Screen_Klimabericht_2021_211208.pdf) (zugegriffen am 03.08.2022)

LANUV 2021b: Klimawandel in den Großlandschaften NRWs. Datenblätter. Abgerufen von <https://www.lanuv.nrw.de/klima/klimawandel-in-nrw/klimawandel-in-den-grosslandschaften-datenblaetter> (zugegriffen am 27.05.2022)

LANUV 2022a: Temperaturkenntage warm. Abgerufen von: <https://www.klimaatlas.nrw.de/klima-nrw-monitoring/klimaentwicklung/lufttemperatur/temperaturkenntage-warm-sommertage-heisse-tage> (zugegriffen am 15.11.2022)

LANUV 2022b: Niederschlagsextreme. Abgerufen von: <https://www.klimaatlas.nrw.de/klima-nrw-monitoring/klimaentwicklung/niederschlag/niederschlagsextreme> (zugegriffen am 23.08.2022)

LfU Bayern 2018: Zukünftige Klimaentwicklung - ein Ensemble von Möglichkeiten. Abgerufen von [https://www.lfu.bayern.de/wasser/klima\\_wandel/klimaentwicklung/index.htm](https://www.lfu.bayern.de/wasser/klima_wandel/klimaentwicklung/index.htm) (zugegriffen am 29.05.2020)

LfU Baden-Württemberg 2020: Startseite. Abgerufen von <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/startseite> (zugegriffen am 27.05.2020)

LfU Rheinland-Pfalz 2022: Übersicht des Pegels Altenahr. Abgerufen von <https://www.hochwasser-rlp.de/karte/einzelpegel/flussgebiet/rhein/teilgebiet/mittelrhein/pegel/ALTENAHR> (zugegriffen am 07.08.2022)

LWF 2011: Forschungsverbund FORKAST Ökosystem im Wandel. 18. Jahrgang. Abgerufen von <https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/service/dateien/forkast-oekosysteme-im-klimawandel-a85.pdf> (zugegriffen am 22.05.2020)

Martens, René 2022: Flutkatastrophe 2021. Die Gewalt des Wassers. Abgerufen von [https://www.zeit.de/kultur/film/2022-07/flutkatastrophe-2021-ahrtal-tv-dokumentation-vox-arte?utm\\_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F](https://www.zeit.de/kultur/film/2022-07/flutkatastrophe-2021-ahrtal-tv-dokumentation-vox-arte?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F) (zugegriffen am 10.07.2022)

Mühr, Bernhard; Kubisch, Susanne; Marx, Andreas; Stötzer, Johanna; Wisotzky, Christina; Lat, Christian; Siegmann, Fabian; Glattfelder, Maren; Mohr, Susanne; Kunz, Michael 2018: CEDIM Forensic Disaster Analysis Group (FDA). Dürre & Hitzewelle Sommer 2018 (Deutschland). Ab-

gerufen von [https://www.cedim.kit.edu/download/FDA\\_Duerre\\_Hitzewelle\\_Deutschland\\_report1\\_final.pdf](https://www.cedim.kit.edu/download/FDA_Duerre_Hitzewelle_Deutschland_report1_final.pdf) (zugegriffen am 16.11.2020)

MULNV 2020: Aufbau und Aufgaben. Abgerufen von <https://www.umwelt.nrw.de/ueberuns/aufbau-und-aufgaben> (zugegriffen am 10.07.2020)

MULNV 2022: Hochwassergefahrenkarten und Hochwasserrisikokarten. Abgerufen von <https://www.flussgebiete.nrw.de/hochwassergefahrenkarten-und-hochwasserrisikokarten-203> (zugegriffen a 02.11.2022)

Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft 1999: Naturkatastrophen in Deutschland. Schädenerfahrungen und Schadenpotentiale.

PROGNOS 2018: Impact Klimaanpassung. Abgerufen von [https://www.google.com/url?q=https://evolvingregions.com/wp-content/uploads/2020/07/20180904\\_Studie\\_Impact-Klimaanpassung.pdf&sa=D&source=docs&ust=1661270280695222&usg=AOvVaw0nR5K11TH7G0IP5977wZY8](https://www.google.com/url?q=https://evolvingregions.com/wp-content/uploads/2020/07/20180904_Studie_Impact-Klimaanpassung.pdf&sa=D&source=docs&ust=1661270280695222&usg=AOvVaw0nR5K11TH7G0IP5977wZY8) (zugegriffen am 20.08.2022)

Rakovec, Oldrich; Samaniego, Luis; Hari, Vittal; Markonis, Yannis; Moravec, Vojtěch; Thober, Stephan; Hanel, Martin; Kumar, Rohini 2022: The 2018-2020 Multi-Year Drought Sets a New Benchmark in Europe. Earth's Future

RP online 2018: So hoch steht der Rhein in Düsseldorf. Abgerufen von [https://rp-online.de/nrw/staedte/duesseldorf/hochwasser-2018-so-hoch-steht-der-rhein-in-duesseldorf-am-7-januar\\_bid-17629975#1](https://rp-online.de/nrw/staedte/duesseldorf/hochwasser-2018-so-hoch-steht-der-rhein-in-duesseldorf-am-7-januar_bid-17629975#1) (zugegriffen am 16.11.2020)

RP online 2022: Mehrs als 30 Grad. Heißer Herbstbeginn wird wohl für Hitzetage-Rekord in NRW sorgen. Abgerufen von [https://rp-online.de/nrw/panorama/wetter-nrw-herbstbeginn-sorgt-fuer-rekord-bei-hitzetagen\\_aid-76563247](https://rp-online.de/nrw/panorama/wetter-nrw-herbstbeginn-sorgt-fuer-rekord-bei-hitzetagen_aid-76563247) (zugegriffen am 15.11.2022)

Thober, Stephan; Marx, Andreas; Boeing, Friedrich 2018: Auswirkungen der globalen Erwärmung auf hydrologische und agrarische Dürren und Hochwasser in Deutschland: Ergebnisse aus dem Projekt HOKLIM: Hochaufgelöste Klimaindikatoren bei einer Erderwärmung von 1.5 Grad. Leipzig: Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH

UBA 2015: Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel. Abgerufen von <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/vulnerabilitaet-deutschlands-gegenueber-dem> (zugegriffen am 28.05.2020)

UBA 2016: Klimawirkungsketten. Abgerufen von [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/380/dokumente/klimawirkungsketten\\_umweltbundesamt\\_2016.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/380/dokumente/klimawirkungsketten_umweltbundesamt_2016.pdf) (zugegriffen am 27.05.2020)

UBA 2020: Zweiter Fortschrittsbericht zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel inkl. Aktionsplan Anpassung III. Abgerufen von <https://www.umweltbundesamt.de/zweiter-fortschrittsbericht-zur-deutschen> (zugegriffen am 26.07.2022)

UBA 2021: Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland: Teilbericht 3. Abgerufen von [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/kwra2021\\_teilbericht\\_3\\_cluster\\_wasser\\_bf\\_211027\\_0.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/kwra2021_teilbericht_3_cluster_wasser_bf_211027_0.pdf) (Zugegriffen am 10.08.2022)

UBA 2022a: Klima. Abgerufen von <https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/was-ist-eigentlich-klima> (zugegriffen am 23.08.2022)

UBA 2022b: Klimamodelle und Szenarien. Abgerufen von <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/folgen-des-klimawandels/klimamodelle-szenarien#was-sind-treibhausgasszenarien-und-wofur-werden-sie-genutzt> (zugegriffen am 02.11.2022)

Unwetterzentrale (UWZ) 2008: Extremes Unwetter über Teilen der Stadt Dortmund. Abgerufen von <http://www.unwetterzentrale.de/uwz/393.html> (zugegriffen am 10.08.2022)

WA 2018: Hitzewelle in NRW: Zahl der Sommertage auf Rekordkurs. Abgerufen von <https://www.wa.de/nordrhein-westfalen/hitzewelle-nrw-zahl-sommertage-rekordkurs-10138839.html> (zugegriffen am 16.11.2020)

Wagner, Andreas; Laps, Stefan 2008: Extremes Unwetter über Teilen der Stadt Dortmund (26.07.2008). Abgerufen von <http://www.unwetterzentrale.de/uwz/393.html> (zugegriffen am 16.11.2020)

Wasserhaushaltsgesetz (WHG) in der Fassung vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 4. Dezember 2018 (BGBl. I S. 2254)

WDR 2013: Hochwasserchronik für Köln. Fast alle Jahre wieder. Abgerufen von <https://www1.wdr.de/archiv/rheinpegel-104.html> (zugegriffen am 16.11.2020)

WDR 2014: Versicherung zieht Unwetter-Bilanz. Abgerufen von <https://www1.wdr.de/nachrichten/westfalen-lippe/versicherungen-unwetter-bilanz-100.html> (zugegriffen am 16.11.2020)

WDR 2018: Neuer Hitzerekord für diesen Sommer in NRW. Abgerufen von <https://www1.wdr.de/nachrichten/hitze-bilanz-nrw-100.html> (zugegriffen am 16.11.2020)

WDR 2020a: Der Jahrhundertsommer. Hitzewelle über NRW. Abgerufen von <https://www1.wdr.de/fernsehen/heimatflimmern/sendungen/jahrhundertsommer-nrw-100.html> (zugegriffen am 16.11.2020)

WDR 2020b. Heftige Unwetter in NRW. Abgerufen von <https://www1.wdr.de/nachrichten/gewitter-unwetter-nrw-100.html> (zugegriffen am 16.11.2020)

WDR 2021. Chronik der Hochwasserkatastrophe im Ahrtal. Abgerufen von <https://reportage.wdr.de/chronik-ahrtal-hochwasser-katastrophe> (zugegriffen am 09.08.2022)

WDR 2022: Wasserknappheit. NRW trocknet aus. Abgerufen von <https://www1.wdr.de/nachrichten/wasserknappheit-nrw-oliver-krischer-100.html> (zugegriffen am 02.11.2022)

Wetteronline 1993: Weihnachtshochwasser am Rhein. Evakuierungen und Sachschäden. Abgerufen von <https://www.wetteronline.de/extremwetter/weihnachtshochwasser-am-rhein-evakuierungen-und-sachschaeden-1993-12-24-wh> (zugegriffen am 16.11.2020)

wetteronline 2013: Unwetter im Rückblick. Abgerufen von <https://www.wetteronline.de/extremwetter/vor-zehn-jahren-40-grad-heiss-rueckblick-hitzesommer-2003-2013-08-09-ex> (zugegriffen am 16.11.2020)

Wetteronline 2014: Die Sintflut von Münster. 292 Liter Regen an einem Tag. Abgerufen von <https://www.wetteronline.de/extremwetter/die-sintflut-von-muenster-292-liter-regen-an-einem-abend-2014-07-29-um> (zugegriffen am 08.09.2022)

wetteronline 2019: Wetterrückblick. Abgerufen von <https://www.wetteronline.de/wetterueckblick/rueckblick-juli-2019-rekordhitze-und-trockenheit-2019-07-31-jr> (zugegriffen am 16.11.2020)

WSV 2022a: Wasserstände und Vorhersagen an schifffahrtsrelevanten Pegeln. Pegel Düsseldorf. Abgerufen von <https://www.elwis.de/DE/dynamisch/gewaesserkunde/wasserstaende/index.php?target=2&pegelId=8f7e5f92-1153-4f93-acba-ca48670c8ca9> (zugegriffen am 08.09.2022)

WSV 2022b: Wasserstände und Vorhersagen an schifffahrtsrelevanten Pegeln. Pegel Köln. Abgerufen von: <https://www.elwis.de/DE/dynamisch/gewaesserkunde/wasserstaende/index.php?target=2&pegelId=a6ee8177-107b-47dd-bcfd-30960ccc6e9c> (zugegriffen am 08.09.2022)

## VERZEICHNIS - RELEVANTE BERICHTE UND LITERATUR

Adelphi 2021: Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021: Wie verwundbar ist Deutschland gegenüber dem Klimawandel? UBA. Abgerufen von: <https://www.adelphi.de/de/projekt/klimawirkungs-und-risikoanalyse-2021-wie-verwundbar-ist-deutschland-gegen%C3%BCber-dem> (Zugegriffen am 03.08.2022)

Brasseur, Guy P.; Jacob, Daniela; Schuck-Zöller, Susanne 2017: Klimawandel in Deutschland. Entwicklungen, Folgen, Risiken und Perspektiven. Springer.

DIN 2020: ISO 14092 Anpassung an die Folgen des Klimawandels – Anforderungen und Leitlinien zur Anpassungsplanung für kommunale Verwaltungen und Gemeinden

DIN 2021: ISO 14091 Anpassung an den Klimawandel – Vulnerabilität, Auswirkungen und Risikobewertung

DWD 2020: Das Wetterlexikon des DWD erläutert die wichtigsten meteorologischen Begriffe und wird ständig ausgebaut. Abgerufen von <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?nn=103346&lv2=10007> (zugegriffen am 31.03.2020)

DWD 2020: Daten des Climate Data Center. Abgerufen von [https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/cdc/cdc\\_node.html](https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/cdc/cdc_node.html) (zugegriffen am 27.05.2020)

DWD 2022: Nationale Klimareport. Klima – gestern, heute und in der Zukunft. Abgerufen von [https://www.dwd.de/DE/leistungen/nationalerklimareport/download\\_report.pdf;jsessionid=CA66ACC0489E0C03369A83406B2AA2F9.live21062?\\_\\_blob=publicationFile&v=15](https://www.dwd.de/DE/leistungen/nationalerklimareport/download_report.pdf;jsessionid=CA66ACC0489E0C03369A83406B2AA2F9.live21062?__blob=publicationFile&v=15) (zugegriffen am 02.11.2022)

EEA 2016: Climate change, impacts and vulnerability in Europa 2016. An indicator-based report. Abgerufen von <https://www.eea.europa.eu/publications/climate-change-impacts-and-vulnerability-2016> (zugegriffen am 28.05.2020)

ESPON 2013: ESPON Climate. Climate change and Territorial Effects on Regions and Local economies. Abgerufen von <https://www.espon.eu/sites/default/files/attachments/Final%20Report%20Main%20Report.pdf> (zugegriffen am 28.05.202)

IPCC 2014: Fifth Assessment Report. Abgerufen von <https://www.ipcc.ch/> (zugegriffen am 28.05.2020)

IPCC 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S.

IPCC 2022: Sixth Assessment Report: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Abgerufen von <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/> (zugegriffen am 03.08.2022)

IPCC 2022: Sixth Assessment Report: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Abgerufen von <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/> (zugegriffen am 03.08.2022)

LANUV 2010: Extremwertstatistische Untersuchung von Starkniederschlägen in NRW (ExUS) - Veränderung in Dauer, Intensität und Raum auf Basis beobachteter Ergebnisse und Auswirkungen auf die Eintretenswahrscheinlichkeit. Abschlussbericht. Recklinghausen. Abgerufen von [https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/klima/pdf/ExUS\\_Bericht\\_1a.pdf](https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/klima/pdf/ExUS_Bericht_1a.pdf) (zugegriffen am 27.05.2020)

LANUV 2017: Auswirkungen des Klimawandels in Nordrhein-Westfalen. Klimafolgenmonitoring 2016, LANUV-Info 38. Recklinghausen

LANUV 2021: Klimawandel in den Großlandschaften NRWs. Datenblätter. Abgerufen von <https://www.lanuv.nrw.de/klima/klimawandel-in-nrw/klimawandel-in-den-grosslandschaften-datenblaetter> (zugegriffen am 27.05.2022)

LANUV 2021: Klimawandel und Klimafolgen in Nordrhein-Westfalen. Ergebnisse aus den Klimafolgen- und Anpassungsmonitoring. LANUV-Fachbericht 120. Recklinghausen. Abgerufen von: [https://www.klimafolgenmonitoring.nrw.de/fileadmin/downloads/Dokumente/Screen\\_Klimabericht\\_2021\\_211208.pdf](https://www.klimafolgenmonitoring.nrw.de/fileadmin/downloads/Dokumente/Screen_Klimabericht_2021_211208.pdf) (zugegriffen am 03.08.2022)

MULNV 2011: Klimawandel und Wasserwirtschaft. Maßnahmen und Handlungskonzepte in der Wasserwirtschaft zur Anpassung an den Klimawandel. Abgerufen von [https://www.umwelt.nrw.de/fileadmin/redaktion/PDFs/klima/broschuere\\_klima\\_und\\_wasser.pdf](https://www.umwelt.nrw.de/fileadmin/redaktion/PDFs/klima/broschuere_klima_und_wasser.pdf) (zugegriffen am 27.05.2022)

MULNV 2016 Umweltbericht Nordrhein-Westfalen 2016. Abgerufen von [https://www.umwelt.nrw.de/fileadmin/redaktion/PDFs/umwelt/umweltbericht/umweltbericht\\_nrw\\_2016.pdf](https://www.umwelt.nrw.de/fileadmin/redaktion/PDFs/umwelt/umweltbericht/umweltbericht_nrw_2016.pdf) (zugegriffen am 15.06.2020)

MULNV 2018: Arbeitshilfe kommunales Starkregenrisikomanagement. Hochwasserrisikomanagementplanung in NRW. Abgerufen von [https://www.flussgebiete.nrw.de/system/files/atoms/files/arbeitshilfe\\_kommunales\\_starkregenrisikomanagement\\_2018.pdf](https://www.flussgebiete.nrw.de/system/files/atoms/files/arbeitshilfe_kommunales_starkregenrisikomanagement_2018.pdf) (zugegriffen am 16.11.2020)

MULNV 2021: Umweltzustandsbericht NRW 2020. Abgerufen von [https://www.umwelt.nrw.de/fileadmin/redaktion/Broschueren/umweltzustandsbericht\\_nrw\\_2020.pdf](https://www.umwelt.nrw.de/fileadmin/redaktion/Broschueren/umweltzustandsbericht_nrw_2020.pdf) (zugegriffen am 02.11.2022)

PROGNOS 2018: Impact Klimaanpassung. Abgerufen von [https://www.google.com/url?q=https://evolvingregions.com/wp-content/uploads/2020/07/20180904\\_Studie\\_Impact-Klimaanpassung.pdf&sa=D&source=docs&ust=1661270280695222&usg=AOvVaw0nR5K11TH7G0IP5977wZY8](https://www.google.com/url?q=https://evolvingregions.com/wp-content/uploads/2020/07/20180904_Studie_Impact-Klimaanpassung.pdf&sa=D&source=docs&ust=1661270280695222&usg=AOvVaw0nR5K11TH7G0IP5977wZY8) (zugegriffen am 20.08.2022)

UBA 2015: Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel. Abgerufen von <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/vulnerabilitaet-deutschlands-gegenueber-dem> (zugegriffen am 28.05.2020)

UBA 2017: Leitfaden für Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalysen. Abgerufen von <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/leitfaden-fur-klimawirkungs> (zugegriffen am 20.08.2022)

UBA 2019: Aktionsplan Anpassung der Deutschen Anpassungsstrategie. Abgerufen von <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/anpassung-auf-bundesebene/aktionsplan-anpassung#aktionsplan-anpassung-der-deutschen-anpassungsstrategie> (zugegriffen am 15.06.2020)

UBA 2020: Zweiter Fortschrittsbericht zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel inkl. Aktionsplan Anpassung III. Abgerufen von <https://www.umweltbundesamt.de/zweiter-fortschrittsbericht-zur-deutschen>

UBA 2022: Klimarisikoanalysen auf kommunaler Ebene. Handlungsempfehlungen zur Umsetzung der ISO 14091. Abgerufen von [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/2022\\_uba-fachbroschuere\\_kra\\_auf\\_kommunalerEbene.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/2022_uba-fachbroschuere_kra_auf_kommunalerEbene.pdf) (Zugegriffen am 02.11.2022)