

KrefeldKlima 2030 – Integriertes Klimaschutzkonzept für die Stadt Krefeld

– Endbericht –



STADT KREFELD
INNOVATIV – KREATIV – WELTOFFEN

vorgelegt der Stadt Krefeld
von WertSicht GmbH
Mensch • Organisation • Umwelt
INFRASTRUKTUR & UMWELT
Professor Böhm und Partner
am 04.02.2020

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und nukleare Sicherheit



NATIONALE
KLIMASCHUTZ
INITIATIVE

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Bearbeitungsteam

WertSicht GmbH
Mensch · Organisation · Umwelt

Dipl.-Ing. Andre Möller, M. Sc.

B. Eng. Maria Pantiou

Dipl.-Ing. Katja Hummert



INFRASTRUKTUR & UMWELT
Professor Böhm und Partner

Dipl.-Ing. Hans-Jürgen Gräff

M. Sc. Sandra Michali

M. Eng. Benjamin Malke

Dipl.-Geogr. Stefanie Weiner

M. Sc. Tobias Berger

TEIL E: ANPASSUNG AN DEN KLIMAWANDEL – GROBE RISIKOANALYSE

11 Vorgehen

Im Rahmen des Integrierten Klimaschutzkonzeptes wurde eine grobe Risikoanalyse mit folgenden Schritten für die Stadt Krefeld durchgeführt (vgl. Abbildung 51):

- 1) Zusammenstellen der Aussagen der regionalen Klimaprojektionen für Nordrhein-Westfalen
- 2) Überschlägige Prüfung klimasensibler Bereiche (Verletzlichkeiten der Bereiche) in der Stadt Krefeld: Zusammenstellen der bisherigen Erfahrungen und Auswirkungen vor Ort
- 3) Nicht abschließende Schlussfolgerungen zu den Klimawandel-bezogenen Betroffenen

Die Schlussfolgerungen beruhen auf der Auswertung vorhandener Gutachten und Studien (z.B. Hochwasserrisikomanagementplan, Stadtklimaanalyse), relevanter Projekte und Presseartikel, einer Onlinebefragung von Experten sowie insbesondere den Ergebnissen der Akteursbeteiligung (z.B. aus den zwei Akteursworkshops und dem öffentlichen Veranstaltungen „Dialog KrefeldKlima 2030“). Aufbauend auf der groben Risikoanalyse wurden zusammen mit den städtischen Akteuren über bereits laufende Aktivitäten hinaus einige konkrete Maßnahmen entwickelt (s. Kapitel 16) Die Erarbeitung einer Anpassungsstrategie mit umfassendem Handlungskatalog ist nicht Zielsetzung der überschlägigen Prüfung im Rahmen des integrierten Konzeptes.

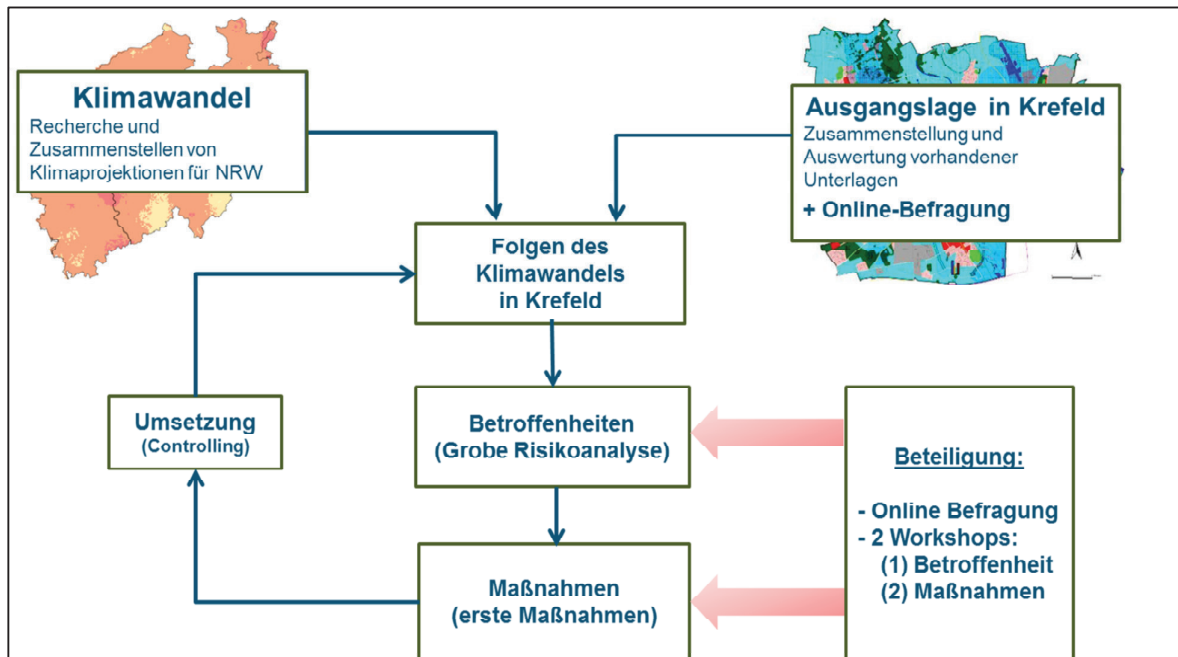


Abbildung 51: Vorgehen für die Erstellung einer groben Risikoanalyse

12 Klimawandel in Nordrhein-Westfalen und der Stadt Krefeld

12.1. Regionale Klimaprojektionen für Nordrhein-Westfalen

Die Klimaprojektionen für Nordrhein-Westfalen zeigen mögliche klimatische Veränderungen in der Zukunft auf. Diese Projektionen beziehen sich auf Szenarien, welche von verschiedenen Entwicklungen der weltweiten Wirtschaft und Gesellschaft und somit von unterschiedlichen Treibhausgasemissionen / -konzentrationen ausgehen. Durch die fortlaufende Weiterentwicklung und Präzisierung der Szenarien existiert inzwischen eine Reihe von Generationen. Das jüngste Set bilden die RCP-Szenarien, die im Nachgang der SRES-Szenarien entwickelt wurden.

Für Nordrhein-Westfalen liegen für die Szenarien „SRES-A1B“, „RCP 4.5“ und „RCP 8.5“ jeweils regionale Klimaprojektionen vor. Das SRES-Szenario geht beispielhaft von einem weltweiten Wirtschaftswachstum, einer zur Mitte des 21. Jahrhunderts kulminierenden und anschließend rückläufigen Weltbevölkerung, einer raschen Einführung neuer und effizienterer Technologien sowie der ausgewogenen Nutzung aller Energiequellen aus (LANUV 2014b).

Betrachtet man diese drei Szenarien vergleichend, dann steht RCP 8.5 für eine Entwicklung nach dem Motto „weiter-wie-bisher“ mit rund 1370 ppm CO₂-Äquivalenten im Jahr 2100 für eine starke Erhöhung der Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre. Das RCP 4.5 Szenario geht von einem „moderaten“ Rückgang der Emissionen aus; sie erreichen im Jahr 2100 ihren Peak bei 650 ppm CO₂-Äquivalenten. Im SRES-A1B-Szenario liegt die Treibhausgasemission im Jahr 2100 bei 850 ppm CO₂-Äquivalenten.

Die Abschätzung der weltweiten Entwicklung und der zukünftigen Treibhausgasemissionen / -konzentrationen ist mit einer Reihe von Unsicherheiten behaftet. Daher werden zur Ermittlung der Klimaprojektionen die Ergebnisse von möglichst vielen verschiedenen globalen und regionalen Klimamodellen verwendet. Ausgehend von dem gleichen Szenario werden sogenannte Ensemble von Modellen ausgewertet. Dabei werden die Veränderungen des zukünftigen Klimas ausgehend vom Referenzzeitraum 1971-2000 für zwei jeweils 30-jährige Zeiträume, bezeichnet als „nahe Zukunft“ (2021-2050) und „ferne Zukunft“ (2071-2100), simuliert.

Verschiedene Klimamodelle führen zu unterschiedlichen Resultaten, daher erfolgt eine statistische Auswertung aller Ergebnisse, um aufzeigen zu können, welche klimatischen Veränderungen in Nordrhein-Westfalen bei Annahme des SRES-Szenarios A1B wahrscheinlich eintreten werden. Dargestellt werden dafür jeweils das 15., 50. und 85. Perzentil der Klimaprojektionen. Das 50. Perzentil markiert die Stelle, an welcher jeweils die Hälfte der Modellberechnungen höhere bzw. niedrigere Änderungen anzeigen. Das 15. Perzentil gibt den Wert an, für den 15 % der Modellergebnisse niedrigere Änderungen

zeigen oder diesen Wert genau erreichen und das 85. Perzentil repräsentiert den Wert, für den nur noch 15 % der Simulationen höhere Änderungen anzeigen oder diesen Wert genau erreichen. Demnach werden 70 % aller Modellergebnisse im Bereich zwischen dem 15. und dem 85. Perzentil erfasst. Durch diese Methode kann eine gewisse Bandbreite verschiedener Modellergebnisse betrachtet werden, ohne dabei alle aufgetretenen Extremwerte miteinzubeziehen.

Aufgrund der bereits erwähnten Unsicherheiten geben die Zahlenwerte einen Überblick über die tendenziell zu erwartenden Klimaveränderungen. **Entscheidend ist die generelle Richtung der Veränderungen, d.h. der Trend, der sich aus den Ergebnissen der unterschiedlichen Modelle ablesen lässt.**

Das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) stellt die Ergebnisse der Klimamodellberechnungen im Klimaatlas Nordrhein-Westfalen (LANUV 2019) der Öffentlichkeit zur Verfügung. Um Angaben über die bereits eingetretenen Klimaänderungen zu machen und Aussagen über die zukünftigen erwarteten Klimaänderungen zu treffen, wurde NRW in acht klimatischen „Großlandschaften“ eingeteilt. Die Stadt Krefeld ist Teil der Großlandschaft „Niederrheinisches Tiefland“, das im Vergleich zum Landeschnitt tendenziell mildere Winter und heißere Sommer aufweist (LANUV 2019). Die folgenden Daten und Aussagen beruhen auf den dort zur Verfügung gestellten Ergebnissen.

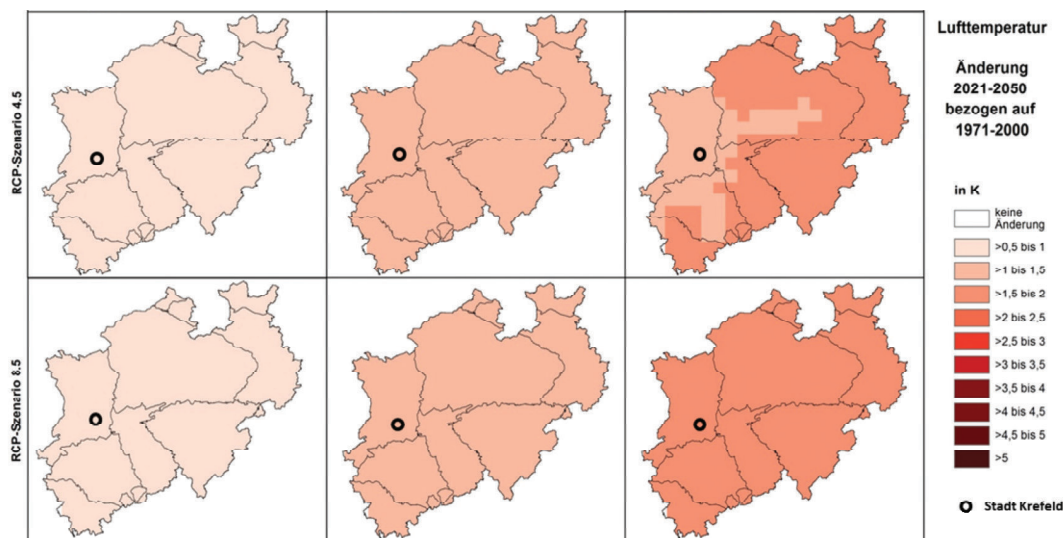


Abbildung 52: Veränderung der Lufttemperatur in 2021-2050 in Bezug auf 1971-2000, als Perzentile dargestellt
(LANUV 2019, Datengrundlage DWD)

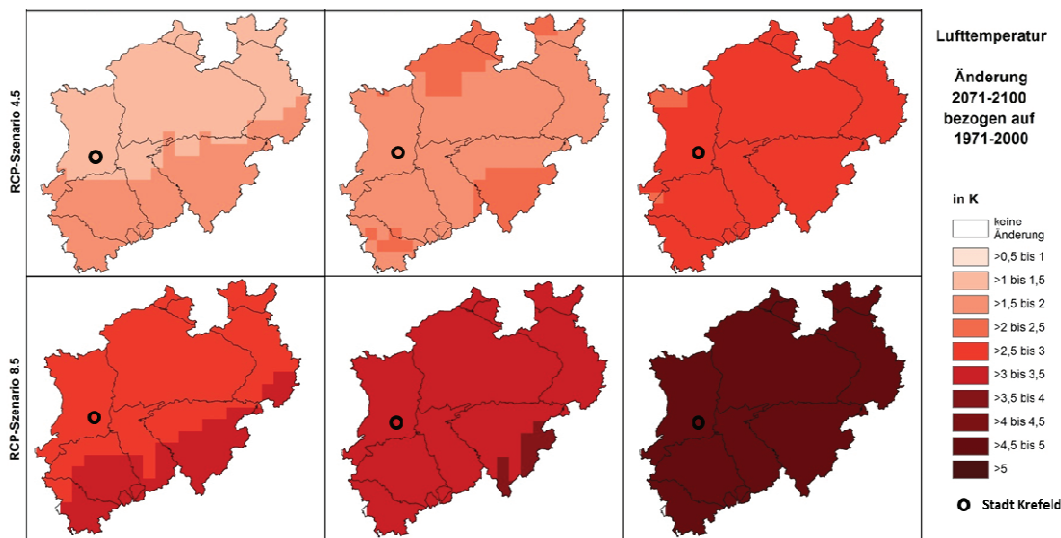


Abbildung 53: Veränderung der Lufttemperatur in 2071-2100 in Bezug auf 1971-2000, als Perzentile dargestellt (LANUV 2019, Datengrundlage DWD)

12.2. Temperaturänderungen

Auswertungen von Klimaaufzeichnungen seit 1881 zeigen, dass im Niederrheinischen Tiefland die mittlere Lufttemperatur im Zeitraum 1981-2010 in Bezug auf den Referenzzeitraum 1881-1910 bereits um **1,2 °C** angestiegen ist. Bereits eingetretene Klimaänderungen lassen sich zudem anschaulich an der Änderung sogenannter „klimatologischer Kenntage“ über die Zeit hinweg festmachen. Während die mittlere Anzahl an Eis- und Frosttagen seit den 50er Jahren zurückging, stieg die mittlere Anzahl an heißen Tagen und Sommertagen an (siehe Abbildung 54).

Mittlere Anzahl Eistage $T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$ pro Jahr			Mittlere Anzahl Frosttage $T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$ pro Jahr		
1951-1980	1981-2010	1951-2017	1951-1980	1981-2010	1951-2017
10	-2	↑ Max: 44 (1963) ↓ Mittel: 8 (1951-2017) ↓ Min: 0 (mehrfach)	55	-5	↑ Max: 91 (1963) ↓ Mittel: 51 (1951-2017) ↓ Min: 20 (1974, 2014)
Mittlere Anzahl Sommertage $T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$ pro Jahr			Mittlere Anzahl heiße Tage $T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$ pro Jahr		
1951-1980	1981-2010	1951-2017	1951-1980	1981-2010	1951-2017
27	+10	↑ Max: 60 (2006) ↓ Mittel: 33 (1951-2017) ↓ Min: 12 (1962)	5	+3	↑ Max: 19 (1976, 2006) ↓ Mittel: 7 (1951-2017) ↓ Min: 0 (1965)

Abbildung 54: Mittlere jährliche Anzahl der Temperaturkennstage im Zeitraum 1951-1980, Änderung im Zeitraum 1981-2010 bezogen auf 1951-1980 sowie Minimum, Mittel und Maximum des Gesamtzeitraumes 1951-2017 (LANUV 2018b)

Für die Beschreibung der zukünftigen Klimaänderungen in der Stadt Krefeld lassen sich detaillierte Klimaprojektionen zur mittleren Lufttemperatur und ihre saisonale Schwankungen heranziehen, die für das Niederrheinische Tiefland vorliegen (siehe Abbildung 55). Die mittlere Jahrestemperatur im Rheinischen Tiefland betrug zum Referenzzeitraum (1971-2000) 10,3 °C (LANUV 2018b). In der nahen Zukunft (2021-2050) ist für den Fall des moderaten Klimaszenario (RCP 4.5) ein Anstieg der mittleren Lufttemperatur um **0,8 bis 1,5 °C** zu erwarten. Das „weiter-wie-bisher“ Szenario (RCP 8.5) hat insbesondere einen signifikanten Anstieg in der fernen Zukunft (2071-2100) zum Resultat, bei dem sich die mittlere Lufttemperatur um **2,9 bis 4,3 °C** in Bezug auf den Referenzzeitraum erhöht. Die Spannweite ergibt sich dadurch, dass die Temperaturzunahme je nach betrachtetem Perzentil mehr oder weniger stark ausgeprägt ist.

Entscheidungsrelevant ist dabei der ansteigende Trend der mittleren Lufttemperatur, der in allen Projektionen deutlich zu erkennen ist.

Mittlere Lufttemperatur, Jahr			
1971-2000	Klimaszenario	2021-2050	2071-2100
10,3 °C	moderates (RCP4.5)	↑ Max: +1,5 K ↓ Mittel: +1,1 K ↓ Min: +0,8 K	↑ Max: +2,5 K ↓ Mittel: +2,0 K ↓ Min: +1,5 K
	„weiter-wie-bisher“ (RCP8.5)	↑ Max: +1,7 K ↓ Mittel: +1,2 K ↓ Min: +0,8 K	↑ Max: +4,3 K ↓ Mittel: +3,3 K ↓ Min: +2,9 K

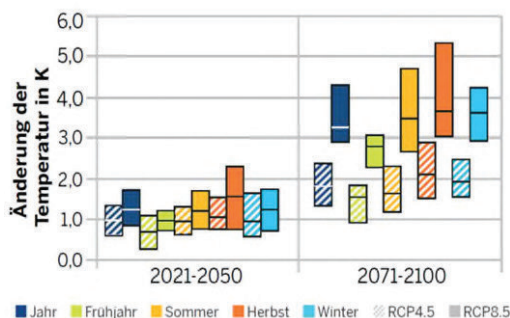


Abbildung 55: Mittlere jährliche beobachtete Lufttemperatur (Rheinisches Tiefland) im Zeitraum 1971-2000 sowie Änderungen 2071-2100 bezogen auf 1971-2000 für das moderate Klimaszenario (RCP 4.5) und das "weiter-wie-bisher- Szenario" (RCP 4.5) (links); saisonale Änderung der zukünftigen mittleren Lufttemperatur verschiedener Klimanormal-perioden bezogen auf 1971-2000 (rechts) (LANUV 2018b)

12.3. Niederschlagsänderungen

Auswertungen von Klimaaufzeichnungen seit 1881 zeigen, dass im Niederrheinischen Tiefland der mittlere Niederschlag im Zeitraum 1981-2010 in Bezug auf den Referenzzeitraum 1881-1910 bereits um 12 % (auf 791 mm) angestiegen ist. Zur Veranschaulichung der Klimaänderungen lassen sich auch hier wieder „klimatologische Kenntage“ heranziehen. So hat sich die Anzahl der Starkregenniederschlagstage seit den 50er Jahren leicht erhöht (LANUV 2018b).

Klimaprojektionen erlauben auch Aussagen über die zukünftige Änderung des mittleren Niederschlages im Rheinischen Tiefland (siehe Abbildung 56). Bei dem moderaten Klimaszenario (RCP 4.5) ist mit einer Zunahme des mittleren Niederschlages in der nahen

Zukunft (2021-2050) um bis zu 12 % und in der fernen Zukunft (2071-2100) um bis zu 15 % auszugehen. Während sich für die zukünftige Änderung Temperatur relativ sichere Aussagen erzielen lassen, sind Aussagen über die Änderung des Niederschlages in der Zukunft schwieriger zu treffen, was sich auch in der Bandbreite der Projektionen zu dem zukünftigen mittleren Niederschlag zwischen den Szenarien widerspiegelt.

Dennoch sind die Ergebnisse von Entscheidungsrelevanz, denn sie weisen auf eine erhöhte Klimavariabilität in der Zukunft hin.

Mittlere Niederschlagssumme, Jahr			
1971-2000	Klimaszenario	2021-2050	2071-2100
767 mm	moderates (RCP4.5)	↑ Max: +12 % ↓ Mittel: +4 % ↓ Min: -1 %	↑ Max: +15 % ↓ Mittel: +4 % ↓ Min: +2 %
	„weiter-wie-bisher“ (RCP8.5)	↑ Max: +7 % ↓ Mittel: +4 % ↓ Min: +1 %	↑ Max: +23 % ↓ Mittel: +9 % ↓ Min: +2 %

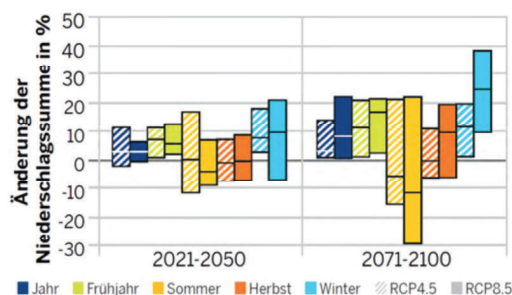


Abbildung 56: Mittlere jährliche beobachtete Niederschlagssumme (Rheinisches Tiefland) im Zeitraum 1971-2000 sowie Änderungen 2071-2100 bezogen auf 1971-2000 für das moderate Klimaszenario (RCP 4.5) und das "weiter-wie-bisher-Szenario" (RCP 8.5) (links); saisonale Änderung des zukünftigen mittleren Niederschlages verschiedener Klimanormalperioden bezogen auf 1971-2000 (rechts)]
(LANUV 2018b)

12.4. Extremwetterereignisse und schleichende Veränderungen

Zunehmende Starkregen- und Hochwasserereignisse, eine erhöhte Intensität von Sturmereignissen sowie Hitzewellen und anhaltende Trockenperioden gehören zu den Wetterextremen, die durch den Klimawandel in der Zukunft möglicherweise verstärkt werden.

Für das Niederrheinische Tiefland existieren Projektionen zu Spannbreiten, innerhalb derer Starkregenniederschlagstage in der Zukunft voraussichtlich auftreten werden (siehe Abbildung 57) (LANUV 2018b).

Den Projektionen ist gemeinsam, dass zukünftig mit einem vermehrten Auftreten von Starkregenereignissen zu rechnen ist.

Mittlere Anzahl Starkniederschlagstage >10 mm pro Jahr				Mittlere Anzahl Starkniederschlagstage >20 mm pro Jahr			
1971-2000	Klimaszenario	2021-2050	2071-2100	1971-2000	Klimaszenario	2021-2050	2071-2100
19	moderates (RCP4.5)	↑ Max: +4 Mittel: +2 ↓ Min: 0	↑ Max: +5 Mittel: +3 ↓ Min: +2	4	moderates (RCP4.5)	↑ Max: +1 Mittel: +1 ↓ Min: 0	↑ Max: +2 Mittel: +1 ↓ Min: 0
	„weiter-wie-bisher“ (RCP8.5)	↑ Max: +3 Mittel: +2 ↓ Min: +1	↑ Max: +9 Mittel: +5 ↓ Min: +2		„weiter-wie-bisher“ (RCP8.5)	↑ Max: +1 Mittel: +1 ↓ Min: 0	↑ Max: +3 Mittel: +2 ↓ Min: +1

Abbildung 57: Mittlere jährliche Anzahl der beobachteten Niederschlagskenntage (Rheinisches Tiefland) im Zeitraum 1971-2000 sowie Änderungen 2021-2050 (links) und 2071-2100 (rechts) bezogen auf 1971-2000 für das moderate Klimaszenario (RCP 4.5) und das "weiter-wie-bisher-Szenario" (RCP 8.5) (links) (LANUV 2018b)

Hitze

Für NRW existieren Projektionen zu Spannbreiten, innerhalb derer sich sogenannte „Temperaturkenntage“ in der Zukunft voraussichtlich verändern werden. Daten liegen u.a. zu den heißen Tagen (d.h. Tage mit maximaler Temperatur über 30 °C) vor (LANUV 2019).

Bei dem moderaten Klimaszenario (RCP 4.5) wird in der nahen Zukunft (2021-2050) die Anzahl an heißen Tagen in NRW um **4 Tage** (+ 1 Tag bis + 8 Tage) und in der fernen Zukunft (2071-2100) um **7 Tage** (+ 2 Tage bis 13 Tage) zunehmen. Bei dem „weiter-wie-bisher-Szenario“ (RCP 8.5) steigt die Anzahl an heißen Tagen ebenfalls um **4 Tage** (+1 Tag bis +8 Tage) an, während sie sich in der fernen Zukunft (2071-2100) auf **15 Tage** (+7 bis + 28 Tage) erhöht.

Den Projektionen ist gemeinsam, dass Hitzetage in Zukunft häufiger auftreten werden.

13 Zusammenstellung der bisherigen Erfahrungen und Auswirkungen vor Ort

In der Expertenumfrage waren die lokalen Akteure aufgefordert, ihre Erfahrungen zu klimabedingten Auswirkungen entlang einer unvollständigen Chronologie an Extremwetterereignisse zur Verfügung zu stellen. Die Ergebnisse sind im Folgenden zusammengestellt.

- 23.10.2018: Sturmereignis
Baum- und Astbruch ruft Schäden an Dächern, Oberleitungen und Schulgelände hervor; erhöhter Arbeitsaufwand nach dem Ereignis (z.B. Beseitigung von Kehricht)
- Sommer 2018: Hitze und Trockenheit
Diverse Schäden an der Vegetation; Stadtbäume erleiden Hitzestress; Feuchtbiotope fallen trocken; deutlicher Anstieg der Bewässerungsmengen (z.B. Gartenbau, Landwirtschaft); Überhitzung von Büroräumlichkeiten mindert die Konzentrations- und Leistungsfähigkeit der Arbeitnehmenden; erschwerte Bedingungen für die Arbeit im Freien; Bereitstellung von Kühlgeräten und Wasser erforderlich; Ausfall von Klimaanlage führt zu enormen Temperaturanstieg im Mediotheksgebäude; Niedrigwasserspiegel schränkt Schifffahrt ein und führt bei einer Reihe von Unternehmen zu Lieferengpässen
- Juni 2018: Unwetterserie
Überflutung mehrerer Verkehrsflächen; Wassereintritt in Gebäude (z.B. Keller); Schäden verursachen Kosten
- Mai 2018: Unwetterserie
Überflutung einiger Straßen; feuchte Kelle
- Januar 2018: Hochwasserereignis (Stadtteil Uerdingen)
Überflutung der „unteren Werft“; Unterstützung bei der Reinigung des Rheindeiches erforderlich; Einschränkung der Schifffahrt auf dem Rhein
- 18.01.2018: Sturmtief "Friederike" (orkanartige Sturmböen)
Massive Schäden an Bäumen, Grünflächen und Gebäuden; Einstellung des Fahrbetriebs des ÖPNVs infolge umgestürzter Bäume; Lkw auf Venloer Straße umgekippt; Statistiken verzeichnen in dieser Zeit ca. 400 Einsätze; vorgehaltene Ressourcen für den Umgang mit der Situation reichen kaum aus, was die Unterstützung durch andere Gebietskörperschaften erfordert; Schäden an der Stromversorgung
- Juni 2017: Sommerhoch
Feuchtbiotope fallen trocken; Absenkung des Grundwasserspiegels; Verringerung des Wasserspiegels führt zu Einschränkungen der Schifffahrt; vermehrte Beschwerden aufgrund Staubabwehungen von Anlagen und Baustellen; Temperaturen in Büros steigen stark an, was die Konzentrationsfähigkeit mindert und die Arbeitseffektivität verlangsamt; Park erleidet hitze- und trockenbedingt Dürreschäden, die Anzahl an Besucher verringert sich; Ausfall einer Klimaanlage eines Serverraums
- Sommer 2015: Sommerhoch „Annelie“
Dürrefolgen; Überhitzung von Büroräumen und Arbeitsplätzen; Verminderung der Leistungsfähigkeit der Arbeitnehmenden

- 29.02.2008: *Sturmtief „Emma“*
Oberleitungsschäden durch herabfallende Äste und umgestürzte Bäume
- 18.01.2007: *Sturmtief „Kyrill“*
Windbruch und Baumschäden; Erfordernis von Verkehrssicherungsmaßnahmen
- Sommer 2003: *Sommerhoch „Michaela“*
Einschränkung des Schifffahrtsbetriebs; Trockenfallen von Feuchtbiotopen; Erhöhung der erforderlichen Bewässerungsmengen in Landwirtschaft und Gartenbau; Anstieg der Innentemperatur in Büroräumen; aufgrund fehlenden Hitzeschutz können Mitarbeiter im geringeren Maß eingesetzt werden

14 Klimawandel-bezogene Betroffenheiten im Stadtgebiet

Im Laufe des Erarbeitungsprozesses erfolgte eine überschlägige Analyse aller potentiell klimasensiblen städtischen Strukturen und Systeme. Die Zusammenstellung der Betroffenheiten beruht auf der Auswertung vorhandener Gutachten und Studien, relevanter Projekte und Presseartikel, einer Onlinebefragung von Experten sowie insbesondere den Ergebnissen der Akteursbeteiligung.

14.1. Stadtgesellschaft

Angesichts der Klimaveränderungen ist ein Wandel von Verhaltensmustern in der Bevölkerung zu erwarten, der ggf. problematische Effekte zur Folge hat.

- Hitzeempfindliche Bevölkerungsgruppen, z.B. ältere Menschen oder Eltern mit Babys / Kleinkinder verbringen aufgrund der Sonneneinstrahlung weniger Zeit im Freien.
- Das häufigere Auftreten von warmen Sommerabenden kann das Ausgehverhalten von Menschen z.B. dahingehenden Verändern, dass sie sich vermehrt im Freien aufhalten, was wiederum Ruhstörungen oder vermehrtes Müllaufkommen bedeuten kann.

14.2. Öffentliche Gesundheit und empfindliche Gruppen

Die Gesundheit der Bevölkerung für vulnerable Bevölkerungsgruppen ist wesentlich durch ansteigende Hitzebelastungen betroffen.

- Hitze und Trockenheit
 - Die klimawandelbedingte Zunahme an Hitzeperioden und -wellen wirkt sich im gesamten Stadtgebiet in vielschichtiger Hinsicht belastend auf die Gesundheit der Menschen aus. Sogenannte „empfindliche Gruppen“, z.B. ältere Menschen, Säuglinge und Kleinkinder, alleinlebende Menschen, sind dabei besonders betroffen. Die Betroffenheit in Stadtgebieten mit ungünstiger und sehr ungünstiger thermischer Situation ist besonders hoch. Damit sind insbesondere die hochverdichteten und versiegelten Innenstadtgebiete gemeint, was laut Klimaanalyse den überwiegenden Teil des Stadtgebietes betrifft. Die Gesundheitsbeeinträchtigungen reichen von einem erhöhten Maß an Herz-Kreislaufkrankungen über Atemwegserkrankungen bis hin zu einem latent gesteigerten Aggressivitätsverhalten. Sie gehen mit einer allgemein höheren Krankheitsrate einher und können zu einem Anstieg von Sterbefällen führen. Die durch die demographische Entwicklung bedingte Zunahme an älteren Menschen verschärft zukünftig diesen Effekt
 - Eine stärkere Ausbreitung von Krankheitsüberträgern (z.B. Tigermücke) und allergisierende Stoffe sind zu erwarten.
 - Hygienestandards, z.B. bei dem Einhalten von Kühlketten (Catering, Kantinen, Schulessen, Pflegeheime etc.), werden nur unter erhöhtem Aufwand eingehalten werden können.

14.3. Soziale Infrastruktur

Durch den Klimawandel bedingte Temperaturzunahmen und die Erhöhung der Hitzetage, aber auch aufgrund von Sturm-, Starkregen- und Hochwasser, kommt es zu Störungen von Funktionsweisen wichtiger sozialen Infrastrukturen, wie z. B. Krankenhäuser, Kindertagesstätten oder Spiel-, Sport- und Freizeitflächen. Besonders plötzlich eintretende Extremwetterereignisse können einen Katastrophenfall auslösen und stellen neue Anforderungen an das Notfallmanagement von Einrichtungen sowie der Stadt im Allgemeinen.

- Hitze und Trockenheit
 - Während Hitze- und Trockenperioden erhöht sich der Versorgungsaufwand für sogenannte empfindliche Bevölkerungsgruppen (z.B. ältere Menschen, Kinder). Ein Anstieg der Patientenzahlen sowie eine höhere Auslastung der Krankenhäuser sind somit zu erwarten. Im Juni 2018 verzeichnete der Rettungsdienst aufgrund von hitzebedingter Einsätze eine deutlich erhöhte Frequenz an Fahrten (BN 2018).
 - Mit ansteigenden Temperaturen erhöht sich auch die gesundheitliche Belastung in Gemeinschafts- und Pflegeeinrichtungen. So ist es zum Beispiel erforderlich, dass etwaige Personen ausreichen Trinkwasser zu sich nehmen.
 - Mit der Zunahme an heißen Tagen steigt in der Bevölkerung auch die Nachfrage nach entsprechenden Erfrischungs- und Abkühlungsmöglichkeiten, wie zum Beispiel Schwimmbäder, sowie geeignete ausgestattete Sportanlage.
- Starkregen, Hochwasser und Sturm
 - Extremwetterereignisse können den Betrieb von Einrichtungen einschränken und Schäden verursachen. In der Vergangenheit kam es bereits zur Schließung einer Kindertagesstätte im Stadtgebiet aufgrund eines Sturmereignisses sowie zu Schäden an Schulgebäuden.

14.4. Verkehrswesen und Luftqualität

Im Zusammenhang mit der Anpassung an die Folgen des Klimawandels ergeben sich vor allem Herausforderungen für die Mobilität: Durch Schäden an der Verkehrsinfrastruktur werden Pendlerströme beeinträchtigt. Insbesondere für die Warenlogistik werden außerdem massive Einbußen erwartet (Niedrigwasser und steigende Preise für Schienen und Lkw Verkehr).

- Hitze und Trockenheit
 - Hitzebedingt nimmt das Auftreten von Asphaltbruch oder Aufwölbungen von insbesondere Betonfahrbahnen. Auch Gleisanlagen von Zügen oder Straßenbahnen können sich bei großer Hitze verformen, was ein gefahrloses Befahren nicht mehr möglich macht. Damit sind neue Anforderungen an Verkehrssicherungsmaßnahmen verbunden.
 - Niedrigwasser schränkt die Schifffahrt zum Teil massiv ein und führt gegebenenfalls zu einem erhöhten Verkehrsaufkommen auf alternativen Transportwegen.

- Starkregen, Hochwasser und Sturm
 - Starkregenereignisse können Verkehrsflächen überfluten und im Zuge dessen zu Verkehrseinschränkungen führen. Im Stadtgebiet kam es bereits zu überfluteten Unterführungen und Überstauereignissen.
 - Aufgrund Starkregen- und Hochwasserereignissen ist zu erwarten, dass Instandhaltungs- und Reinigungskosten der Verkehrsinfrastruktur ansteigen. Beispielsweise kam es in der Vergangenheit im Nachgang von Hochwasserereignissen zu Rückständen am Rheindeich, was die Kapazitäten der Straßenreinigung überstieg, die somit auf Unterstützung angewiesen war. Zum Teil ist ein großer Aufwand für die Bergung von Astbruch erforderlich.
 - Sturmereignisse treten oft in Kombination mit Starkregen auf und führen zu Windbruch, die Verkehrseinschränkungen bzw. -behinderungen nach sich ziehen können. Herabfallende Äste und umgefallene Bäume riefen im Stadtgebiet Schäden an Oberleitung hervor, sodass der Öffentliche Personennahverkehr teilweise eingestellt werden musste. Im Jahr 2018 kam es im Zuge von Friederike zu einer Zerstörung von 30 Bäumen im Straßenbereich und Einschränkungen des Straßenbahnbetriebes (BN 2018). Damit einher gehen neue Anforderungen an Verkehrssicherungsmaßnahmen

14.5. Wasserversorgung und Entwässerung

Steigende Temperaturen infolge des Klimawandels können den Wasserbedarf ansteigen lassen und das Grundwasserdargebot beeinträchtigen. Häufiger auftretende Extremwetterereignisse erhöhen zudem die Anforderungen an die Versorgungssicherheit von Wasserversorgungssystemen. Insbesondere der wahrscheinlich häufiger werdenden Wechsel von extremen Trockenphasen und Starkregenereignissen ist insbesondere das Kanalsystem anfällig für Schäden und Beeinträchtigungen (z.B. Geruchsbelästigungen).

- Starkregen, Hochwasser und Sturm
 - Hochwasser- und überflutungsinduzierter Eintrag von Schadstoffen in das Versorgungssystem kann die Wasserqualität beeinträchtigen und gesundheitliche Probleme verursachen.
 - Durch die Zunahme an Starkregenereignissen in Bezug auf Intensität und wird sich die Überflutungsgefahr in Zukunft erhöhen. Das öffentliche Kanalnetz kann aus technischer und wirtschaftlicher Sicht nicht darauf ausgelegt werden, die anfallenden Wassermengen aufzunehmen (Quelle: Leitfaden Starkregen, Bundesamt für Bauwesen). Zur Gefährdungsabschätzung wird eine Starkregengefahrenkarte erstellt, die sich für das Stadtgebiet Krefeld derzeit in Bearbeitung befindet.

14.6. Gebäude und Baumaterialien

Die Gebäude und Baumaterialien sind unterschiedlich. Die Hitzeentwicklung in Gebäude, aber auch der Wassereintritt mit ihren Folgeschäden ist dabei problematisch.

- Hitze und Trockenheit
 - Die klimawandelbedingte Zunahme von extremeren Witterungsverhältnissen führt zu Schäden im Baubestand (z.B. beschleunigte Ermüdungserscheinungen von Baumaterialien durch Hitze) und stellt neue Anforderungen an die zukünftige Bauweise von Gebäuden (z.B. Anpassung der Materialauswahl) (KLARO 2016).
 - Aufgrund des Anstiegs der Hitzebelastung erhöht sich die Temperatur in Gebäuden mit der Folge, dass die Aufenthaltsqualität deutlich herabgesetzt wird. Dies macht einen erhöhten Kühlungsbedarf erforderlich. In der Vergangenheit ereignete sich beispielsweise im Mediotheksgebäude mangels ausreichender Verschattungs- und Kühlmöglichkeiten ein hohes Temperaturniveau, unter dem Personal und Kundschaft während ihrer Anwesenheit litten.
- Starkregen, Hochwasser und Sturm
 - Ausgelöst durch Starkregenereignisse und einen hohen Grundwasserspiegel kam es in der Vergangenheit an verschiedenen Orten der Stadt zum Wassereintritt in die Gebäudehülle, was u.a. zu überfluteten Kellern führte. Dabei gilt generell: Ein hoher Versiegelungsgrad verringert die Versickerungskapazität des Bodens und verschärft das Überflutungsrisiko.
 - Etwa 19.000 Menschen leben in einem Gebiet, das gegenüber den Risiken und Folgen eines extremen Hochwasserereignisses hochsensibel ist und sich überwiegend im Stadtteil Uerdingen befindet (BR-D 2013).
 - Mit dem Klimawandel verbinden sich veränderte Niederschlagsmuster und Trockenperioden, was sich auf den Wasserhaushalt und das Grundwasserspiegelniveau auswirkt. Dies kann die gegenwärtige und zukünftige Problematik der „hohen“ Grundwasserstände im Dykgebiet mit den daran geknüpften Überflutungsrisiken sowohl verschärfen (Niederschlagszunahme, Starkregen) als auch entschärfen (Trockenheit) (KREFELD 2018).
 - Sturmereignisse führten in der Vergangenheit bereits mehrfach zu Schäden an Dacheindeckungen von Gebäuden und beeinträchtigten den Betrieb von Sporthallen und -plätzen. Schäden, die im Zuge von Extremwetterereignissen auftreten, sind zum Teil unvollständig von Versicherungen abgedeckt.

14.7. Industrie und Gewerbe, Einzelhandel

Industriebetriebe sind oftmals durch die Einschränkungen in der Wasserverfügbarkeit und Wassertemperatur durch Klimaänderungen betroffen. Auch Belastungen der Arbeitnehmer durch extreme Hitze wirken sich auf die Produktivität aus. Ein verändertes Konsumverhalten zwingt auch Gewerbe und Einzelhandel zur Anpassung an den Klimawandel.

- Hitze und Trockenheit

- Aufgrund der erhöhten Hitze kommt es zu erschwerten Arbeitsbedingungen und gesundheitlichen Belastungen, z.B. Absenkung der Konzentrationsfähigkeit. Damit verbunden sind höhere Krankheitsraten, Einschränkung der Arbeitsfähigkeit bis zur Arbeitsunfähigkeit. Insbesondere betroffen sind Mitarbeitende, welche sich im Freien aufhalten müssen. Während eines Hitzeereignisses wurden bereits in der Vergangenheit die Öffnungszeiten der Stadtverwaltungen angepasst.
- Infolge von langanhaltender Trockenheit kann der Rheinwasserspiegel auf ein Niveau absinken, bei dem die Schiffbarkeit verringert ist und Transporteinschränkungen entstehen. Ansässige Industrie, Gewerbe und Einzelhandel sind aufgrund potentiell eingeschränkter Versorgung mit produktionsrelevanten Gütern besonders betroffen. Im Jahr 2018 senkte der niedrige Rheinpegel die Beladepazität von Frachtschiffen auf ein Fünftel herab, was finanzielle Einbußen für Chempark-Unternehmen verursachte (RP 2019, WD 2019).
- Im Laufe von Hitzeereignissen kam es bereits in der Vergangenheit zum Ausfall von kritischen Systemen (wie z.B. von Serverräumen), da sich das hierfür notwendige Klima nicht aufrechterhalten ließe. Darüber hinaus erhöhen sich die Anforderungen an den Schutz bei der Lagerung und Produktion von Gefahrgütern.
- Starkregen, Hochwasser, Hagel und Sturm
 - Im Zuge von Sturm-, Starkregen- und Hochwasserereignissen kann es zu Einschränkungen von Arbeitsabläufen kommen. Beispielsweise waren einige Aufträge des vermessungstechnischen Dienstes aufgrund der Gefahrenlage nicht ausführbar.
 - Extremwetterereignisse können groß- und kleinskalige Schäden hervorrufen, wie zum Beispiel die Zerstörung einer Gärtnerei im Campus Fichtenhain mit späterer Insolvenz und Zwangsversteigerung aufgrund von Hagelschäden im Mai 2008.

14.8. Tourismus

Der Tourismussektor in Krefeld ist vor allem durch den klimawandelbedingten Anstieg der Hitzebelastung und anhaltenden Trockenperioden, aber auch Hochwasser betroffen:

- Andauernde Trockenheit kann zu einer derart massiven Absenkung des Rheinwasserspiegels führen, die die Einschränkung bzw. Einstellung der Flusskreuzfahrt zur Folge haben kann. Zudem ist bei Hochwasser der Rheinanleger nicht benutzbar.
- Die Zahl an Besucher von Sehenswürdigkeiten kann während Hitzeperioden zurückgehen. Dies betrifft sowohl Einrichtungen in Gebäuden, die nicht hitzesensibel gestaltet werden, aber auch freiliegende Ziele, wie beispielsweise der Krefelder Zoo, wenn nicht ausreichend Verschattungsmaßnahmen vorhanden sind. Darüber hinaus wirkt sich der Klimawandel insgesamt belastend auf den Zoo aus.

14.9. Forst- und Landwirtschaft

Forst- und landwirtschaftliche Flächen haben bei Betrachtung der Klimafolgen eine erhöhte Betroffenheit gegenüber Extremereignissen und schleichenden Veränderungen. Hieraus ergeben sich grundsätzlich nicht nur Schadenspotenziale und Einbußen sondern auch Chancen (z.B. längere Vegetationsperioden).

- Hitze- und Trockenperioden
 - Die Zunahme an Hitze- und Trockenperioden führt zu Pflanzen- und Baumsterben und macht zur Ertragssicherung Maßnahmen zur Bewässerung erforderlich. In diesen Zeiträumen erhöht sich für Akteure in der Land- und Forstwirtschaft der Bewässerungsaufwand und die hierfür aufzuwendenden finanziellen Mittel. Der Anstieg der Wasserentnahme wirkt sich auch auf die Verfügbarkeit von Wasserressourcen aus.
 - Aufgrund des Klimawandels ist auch mit einem Anstieg der Brandgefahr zu rechnen. Im Hitzesommer 2018 ereigneten sich auf mehreren landwirtschaftlichen Flächen Feldbrände. Zur Verringerung des Risikos verhängte die Stadt Krefeld im gesamten Waldgebiet des Forstamtbezirks Niederrhein in diesem Jahr zeitweilig ein Grill- und Waldbetretungsverbot (BN 2018).
- Starkregen, Hochwasser und Sturm
 - Künftig ist auch mit vermehrten Schäden und Einbußen auf land- und forstwirtschaftlichen Flächen zu rechnen. Häufigere Sturm- und Starkregenereignisse verursachen Windbruch, Bodenerosion, Unterspülungen sowie anhaltende Nässe. Im Nachgang vergangener extremer Wetterlagen traten in den Wäldern Krefelds bereits Schäden an Bäumen auf, sodass Fällungen eingeleitet wurden.

14.10. Wasserressourcen und –qualität

Der Klimawandel wirkt sich grundsätzlich verändernd auf den Wasserkreislauf aus. Die Betroffenheit der Wasserressourcen der Stadt Krefeld, insbesondere die Verfügbarkeit von Grundwasserbeständen, wird aktuell jedoch als gering eingestuft. Bereits jetzt auftretende Phänomene, wie z.B. die Austrocknung der Niepkuhlen, stehen u.a. mit Veränderungen im Wasserhaushalt in enger Verbindung und können durch den Klimawandel verstärkt werden (siehe Handlungsfeld Biodiversität und Ökosysteme).

- Hitze und Trockenheit
 - Durch höhere Entnahmeraten für Bewässerungszwecke ist eine stärkere Absenkung des Grundwasserstandes zu erwarten. Klimawandelbedingt häufiger auftretende Trockenperioden verstärken die Absenkung.

14.11. Grünflächen

Die städtischen Grünstrukturen der Stadt Krefeld sind aufgrund des klimawandelbedingten Anstiegs der Trocken- und Hitzeperioden, aber auch aufgrund von Sturmereignissen, betroffen und in ihren vielfältigen Funktionen herabgesetzt. Dies betrifft Erholung, Verschattung, Aufenthaltsqualität, aber auch die damit verbundenen diversen Kühlungseffekte.

- Hitze und Trockenheit
 - Hitzestress an Stadtbäumen und Grünstrukturen wird klimawandelbedingt zukünftig noch häufiger und verstärkt auftreten. Die Auswirkungen der Hitze und Trockenheit waren in den letzten Jahren bereits deutlich spürbar. Dürreartige klimatische Bedingungen erforderten eine Erhöhung der Bewässerungsmenge, insbesondere bei neuangelegten Pflanzungen. Mit den hitze- und trockenbedingten Dürreschäden im Krefelder Stadtpark ging auch die Zahl der Besucher zurück.
 - Die Bewässerung von Stadtgrün im Sommer 2018 wurde von dem dafür zuständigen KBK ausgeführt und die Sicherstellung organisiert. Aufgrund von Hitzestress waren regelmäßige Bewässerungsmaßnahmen erforderlich. Dabei leistete die Feuerwehr, die freiwilligen Feuerwehren, das THW Krefeld sowie private Anlieger wichtige Unterstützung.
 - Der Anstieg des Bewässerungsbedarfs während Hitze- und Trockenperioden und der damit verbundene erhöhte Arbeitsaufwand im Nachgang einer Dürreperiode (z.B. Neupflanzungen) führt langfristig zu einem Anstieg der Personal- und Sachkosten und damit zu einem finanziellen Mehraufwand für die Stadt Krefeld.
- Starkregen und Sturm
 - Durch Starkregen- und Sturm verursachter Windbruch dezimiert nicht nur den Anteil wertvoller Grünstrukturen in der Stadt, sondern stellt auch eine Gefahr für die Bevölkerung dar.

14.12. Biodiversität und Ökosysteme

Durch schleichende Veränderungen der Temperaturen und des Wasserhaushalts ändern sich auch die Artenzusammensetzung und Lebensräume. Für Krefeld sind folgende Auswirkungen identifiziert worden:

Hitze und Trockenheit

- Aufgrund des Klimawandels kann sich die Austrocknung der Niepkuhlen verstärken und sich dabei potentiell schädlich auf die dort lebende Flora und Fauna auswirken.
- Die Wahrscheinlichkeit einer Absenkung des Wasserspiegels von Gewässern ist aufgrund von häufiger auftretender Trockenperioden erhöht. Dazu beschleunigen die erhöhten Temperaturen das Umkippen von Gewässern. Die Trockenperiode im August 2018 erforderte eine Bewässerung bzw. Anhebung des Wasserstandes im Burggraben zum Schutz von dort ansässigen Lebewesen (BN 2018a).

15 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse und Schlussfolgerungen zu den Klimawandel-bezogenen Betroffenheiten in Krefeld zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 18: Zusammenfassende Schlussfolgerungen zu den Klimawandel-bezogenen Betroffenheiten in Krefeld

Handlungsfeld	Hitze und Trockenheit	Starkregen, Hochwasser, Sturm
Stadtgesellschaft	○	
Öffentliche Gesundheit / empfindliche Gruppen	●	○ / ●
Soziale Infrastruktur	○ / ●	○ / ●
Verkehrswesen und Luftqualität	○ / ●	○ / ●
Energieversorgung	○	○
Wasserversorgung	○	
Abwasserreinigung und -ableitung	○	○ / ●
Gebäude und Baumaterialien	●	●
Industrie, Gewerbe und Handwerk, Einzelhandel	○ / ●	○ / ●
Tourismus	○	
Forst- und Landwirtschaft	○	○
Grünflächen	●	○
Wasserressourcen und -qualität	●	○ / ●
Biodiversität / Ökosystem	○ / ●	

● hoch
○ mittel
leer: gering

Quellenverzeichnis

- AGEB 2013 Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB), Hrsg.: „Anwendungs-
bilanzen für die Endenergiesektoren in Deutschland in den
Jahren 2011 und 2012 mit Zeitreihen von 2008 bis 2012“, Berlin,
November 2013
- AGEB 2014 Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB), Hrsg.: „Auswer-
tungstabellen zur Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutsch-
land 1990 bis 2013“, Berlin, September 2014
- AGEB 2019 Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB), Hrsg.: „Auswer-
tungstabellen zur Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutsch-
land 1990 bis 2018“, Berlin, August 2019
- AWK 2016 Abfallwirtschaftskonzept der Stadt Krefeld – Fortschreibung 2015 /
2016
- BA 2018 Bundesagentur für Arbeit- SVB Stadtreport für Krefeld 2018
- BINE 2017 BINE Informationsdienst; Themeninfo II / 2017: Solare Prozess-
wärme; Bonn 2017
- BMU 2012 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
(BMU), Hrsg.: „Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau
der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung
der Entwicklung in Europa und global“, Berlin, 2012
- BMUB 2016 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
(BMUB) „Klimaschutzplan 2050 Klimaschutzpolitische
Grundsätze und Ziele der Bundesregierung“, 14.11.2016
- BMUB 2017 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
(BMUB) „Klimaschutzplan 2050“, Webseite des BMUB,
[http://www.bmub.bund.de/themen/klima-energie/klimaschutz-
/klima-klimaschutz-download/artikel/klimaschutzplan-
2050/?tx_ttnews%5BbackPid%5D=3915](http://www.bmub.bund.de/themen/klima-energie/klimaschutz-/klima-klimaschutz-download/artikel/klimaschutzplan-2050/?tx_ttnews%5BbackPid%5D=3915), aufgerufen im April 2017
- BMWi 2015 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Hrsg.: „Er-
neuerbare Energien in Zahlen – Nationale und internationale Ent-
wicklung im Jahr 2014“, Berlin, 2015
- BMWi 2019 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Hrsg.:
„Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in
Deutschland“, Berlin, Stand August 2019

- BN 2018 Fast 400 Einsätze für Krefelder Retter durch Sturm „Friederike“, <https://blaulicht-news-krefeld.de/fast-400-einsaetze-fuer-krefelder-retter-durch-sturm-friederike/>, 29.11.2019.
- BN 2019a Freiwillige Feuerwehr Hüls wässert Burggraben, Blaulicht-News Krefeld, <https://blaulicht-news-krefeld.de/freiwillige-feuerwehr-huels-waessert-burggraben/>, 04.08.2019.
- BN 2019a Waldbrandgefahr Stufe 4! – Waldbetretungsverbot in Krefeld, Blaulicht-News Krefeld, <https://blaulicht-news-krefeld.de/waldbrandgefahr-stufe-4-waldbetretungsverbot-in-krefeld/>, 27.09.2019.
- BNA 2019 Liste der Ladesäulen, Stand 09.06.2019
https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/HandelundVertrieb/Ladesaeulen_karte/Ladesaeulenkarte_node.html
- BR-D Hochwasserrisikokarte Rhein. Rheingraben-Nord, Kartenblatt 66 / 104, Bezirksregierung Düsseldorf.
- Bundesregierung 2015 Die Bundesregierung: Fortschrittsbericht zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel, Stand: 16.11.2015
- BWP 2013 Bundesverband Wärmepumpen (BWP): BWP-Branchenstudie 2013
- dena 2012 Deutsche Energie-Agentur (dena): „Stand-by“, Webseite der dena zum Thema Stand-By-Verluste, <http://www.thema-energie.de/strom/stand-by/stand-by.html>, aufgerufen im Oktober 2012
- dena 2017 Deutsche Energieagentur (dena): „Initiative Energieeffizienz“, Internetseite <http://www.initiative-energieeffizienz.de>, aufgerufen im April 2017
- DWD 2018 Deutscher Wetterdienst (DWD) 2018: Deutscher Klimaatlas https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas_node.html, aufgerufen im Januar 2018
- EA NRW 2010 EnergieAgentur Nordrhein-Westfalen (EA NRW): „Beleuchtung – Potenziale zur Energieeinsparung“, Broschüre der EA NRW, 2010, zu beziehen unter <http://www.energieagentur.nrw.de>
- EcoRegion 2019 Bilanzierungstool, region.ecospeed.ch, Bezugsjahr 2017

- Future Cities 2013 Lippeverband, Lead-Partner des INTERREG IVB-Projekts: Future Cities Anpassungskompass – Handbuch zur Entwicklung klimatauglicher Stadtregionen, 2013
- HSBA et al. 2017 HSBA Hamburg School of Business Administration et al.: Last-Mile-Logistics Hamburg – Innerstädtische Zustelllogistik; Hamburg, Mai 2017
- ifeu 2014 ifeu - Institut für Energie und Umweltforschung Heidelberg GmbH: „Empfehlungen zur Methodik der kommunalen Treibhausgasbilanzierung für den Energie- und Verkehrssektor in Deutschland“, Heidelberg, April 2014
- IÖW 2017 Institut für Ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) zusammen mit dem Deutschen Institut für Urbanistik (difu): „Online-Wertschöpfungsrechner für energetische Gebäudesanierung“, [Webseite](#), April 2017
- IT.NRW 2019a Information und Technik Nordrhein-Westfalen Pendleratlas NRW <https://www.pendleratlas.nrw.de/>
- IT.NRW 2019b Fortschreibung Wohngebäude- u. Wohnungsbestand GWZ 2011
- Kasang, D. 2011 Kasang, D.: Veränderung regionaler Niederschlagsextreme, in Lozan, J.L., H. Graßl, P. Hupfer, L. Menzel, C.-D. Schönwiese: Warnsignal Klima: Genug Wasser für alle? Wissenschaftliche Fakten, Hamburg, 351-357 (Neuaufgabe 2011).
- KBA 2019 Kraftfahrt-Bundesamt; Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Zulassungsbezirken (https://www.kba.de/DE/Statistik/statistik_node.html)
- KBK 2019 Steckbrief „Vollständige LED-Umrüstung der Straßenbeleuchtung“; interne Information vom 16.10.2019
- KLARO 2016 Klimarobust Planen und Bauen. Ein Leitfaden für Gebäude im Bestand, Handwerkskammer Frankfurt-Rhein-Main, 2016
- KREFELD 2018 Grundwasser im Dykgebiet. Erkenntnisse und Handlungsalternativen, Präsentation der AG Grundwasser Dykgebiet.
- Kropp, J. et al. 2009 Kropp, J. et al.: Klimawandel in Nordrhein-Westfalen - Regionale Abschätzung der Anfälligkeit ausgewählter Sektoren. Abschlussbericht des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung (PIK) für das Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (MUNLV). Potsdam. 2009.

- Landtag NRW 2013 Nordrhein-Westfalen, Landesregierung. "Gesetz zur Förderung des Klimaschutzes in Nordrhein-Westfalen." *Gesetzentwurf, Landtags-Drucksache* 15 (2013): 2953.
- LANUV 2010a Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) : Klima und Klimawandel in Nordrhein-Westfalen Daten und Hintergründe LANUV-Fachbericht 27. Recklinghausen. 2010.
- LANUV 2010b Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV): Extremwertstatistische Untersuchung von Starkniederschlägen in NRW (ExUS) - Veränderungen in Dauer, Intensität und Raum auf Basis beobachteter Ereignisse und Auswirkungen auf die Eintretenswahrscheinlichkeit, Abschlussbericht erstellt für das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV NRW) durch die Arbeitsgemeinschaft aqua_plan GmbH, hydrometeo GmbH & Co. KG und dr.papadakis GmbH. 2010.
- LANUV 2013a Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW; Teil 1: Windenergie; LANUV-Fachbericht 40; (Fassung 2013)
- LANUV 2013b Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW; Teil 2: Solarenergie; LANUV-Fachbericht 40
- LANUV 2014a Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW; Teil 3: Biomasse; LANUV-Fachbericht 40; 2014
- LANUV 2014b Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV): Regionale Klimamodellprojektionen für Nordrhein-Westfalen. 2014:
<http://www.lanuv.nrw.de/klima/klimawandel/klimaprojektionen/klimamodellprojektionen-fuer-nrw/>, Zugriff am 17.02.2017.
- LANUV 2015 Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW; Teil 4: Geothermie; LANUV-Fachbericht 40; 2015
- LANUV 2016
- LANUV 2018a Das landesweite Solarkataster Nordrhein-Westfalen: Ein Instrument zum Ausbau der Solarenergie; LANUV-Info 43
- LANUV 2018b Daten und Fakten zum Klimawandel. Rheinisches Tiefland, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, 2018.
- LANUV 2019 Klimaatlas NRW,
https://www.klimaatlas.nrw.de/Lufttemperatur_Projektionen-Artikel,
24.10.2019.
- LANUV 2019a Potenzialstudie Industrielle Abwärme; LANUV-Fachbericht 96; 2019

MID 2017	Mobilität in Deutschland 2017, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur 2018
MKULNV 2015a	Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen: „Die Klimaschutzpolitik des Landes NRW“, Düsseldorf, 2015.
MKULNV 2015b	Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen: „Klimaschutzplan NRW“, Düsseldorf, 2015.
Mobilität 2017	Stadt Krefeld, Modal-Split-Erhebung- Mobilitätsbefragung 2017 zum Werktäglichen Verkehrsverhalten der Bevölkerung in Krefeld
Morcillo 2011	Morcillo, M.; „CO ₂ -Bilanzierung im Klimabündnis“, Frankfurt a.M., November 2011
NVP 2013	Nahverkehrsplan https://www.krefeld.de/C1257CBD001F275F/files/nvp_stadt_krefeld_2013.pdf/\$file/nvp_stadt_krefeld_2013.pdf?OpenElement
ÖEA 2012	Österreichische Energieagentur - Austrian Energy Agency (ÖEA); „Topprodukte“, http://www.topprodukte.at/ ; aufgerufen im Oktober 2012
Öko-Institut 2014	Konventionelle und alternative Fahrzeugtechnologien bei Pkw und schweren Nutzfahrzeugen – Potenziale zur Minderung des Energieverbrauchs bis 2050; Working Paper 3 / 2014 Öko-Institut e.V., August 2014
Öko-Institut et al. 2012	RENEWBILITY II. Szenario für einen anspruchsvollen Klimaschutzbeitrag des Verkehrs. Zentrale Ergebnisse. Berlin / Darmstadt / Freiburg, 2012
Öko-Institut et al. 2014	RENEWBILITY II: Szenarien zum möglichen Beitrag des elektrischen Verkehrs zum langfristigen Klimaschutz“, Berlin, September 2014
Öko-Institut et al. 2016	RENEWBILITY III: OPTIONEN EINER DEKARBONISIERUNG DES VERKEHRSSSEKTORS, Berlin, November 2014
RP 2018	Bitte der Stadt: Bäume auf der Straße gießen, RP Online, https://rp-online.de/nrw/staedte/krefeld/stadt-krefeld-bittet-die-buerger-baeume-an-der-strasse-zu-giessen_aid-23816705 , 05.07.2019.

RP 2019	Currenta: Sorge wegen Niedrigwasser, RP Online, https://rp-online.de/nrw/staedte/krefeld/krefeld-currenta-sorgt-sich-wegen-niedrigwasser-im-rhein_aid-44044291 , 15.07.2019.
RP unklar	https://rp-online.de/nrw/staedte/krefeld/unwetter-in-krefeld-strassen-ueberflutet_bid-13239163#8
STA 2011	Statistisches Bundesamt: Zensus 2011
Stadt Krefeld 2019a	Beschluss des Rates der Stadt Krefeld vom 04.07.2019: Climate Emergency – Ausrufung des Klimanotfall (7355 / 19 E)
Stadt Krefeld 2019b	Beschluss des Rates der Stadt Krefeld vom 04.07.2019: Krefelder Fahrradoffensive-Ausbau des Radwegenetzes (Vorlage Nr. 6882 / 19)
Stadt Krefeld 2019c	Dein Radschloss – Fahrradboxen in Krefeld https://www.krefeld.de/de/inhalt/172-abschliessbare-fahradboxen-stehen-zur-verfuegung/ , 04.04.2019
STADTMOBIL	CarSharing Stadtmobil Rhein-Ruhr GmbH https://rhein-ruhr.stadtmobil.de/privatkunden/
SWK 2017	Herkunftsnachweis für EGK Entsorgungsgesellschaft Krefeld GmbH & Co. KG von GUT Zertifizierungsgesellschaft für Managementsysteme mbh, Berlin
SWK 2019	Leitungsgebundene Energie Verbrauchsdaten (Gas und Strom) der Stadt Krefeld, Stadtwerke Krefeld, 2019
SWK Fahrplan	Fahrplanauskunft Stadtwerke Krefeld https://www.swk.de/privatkunden/bus-bahn/fahrangebot/fahrplanauskunft.html
TUD 2015	TU Dresden, Zertifikat für spezifische CO ₂ Emissionen für Wärmeverbundsystem Krefeld, 2015
UBA 2010	Umweltbundesamt (UBA): „CO ₂ -Emissionsminderung im Verkehr in Deutschland: Mögliche Maßnahmen und ihre Minderungspotenziale“, http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3773.pdf
UBA 2013	Umweltbundesamt (UBA, Hrsg.): „Potenziale des Radverkehrs für den Klimaschutz“, Ahrens, Becker et al., Dessau-Roßlau, März 2013

- UBA 2016 Treibhausgasneutraler Güterverkehr ist nötig – und möglich. Presseinfo Nr. 24. Online abrufbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/treibhausgasneutraler-gueterverkehr-ist-noetig>
- UBA 2017 Umweltbundesamt (UBA): „Energiebedingte Emissionen“, <http://www.umweltbundesamt.de/daten/energiebereitstellung-verbrauch/energiebedingte-emissionen>, Mai 2017
- UBA 2019 Umweltbundesamt (UBA): „Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 - 2018“, April 2019
- VDI 2015 Verein Deutscher Ingenieure: VDI 3787 Blatt 1, Umweltmeteorologie: Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen, Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN-Normenausschuss KRdL; September 2015
- WD 2018 Wie sich die Trockenheit auswirkt, Westdeutsche Zeitung, 13.07.2019.
- WD 2019 Trotz Niedrigwasser Rekordjahr für Rheinhafen, Westdeutsche Zeitung, 15.01.19.

WertSicht GmbH

Mensch · Organisation · Umwelt

Aachen

Bendstraße 50-52

52066 Aachen

Telefon 0241 541200

Düsseldorf

Kaiser-Wilhelm-Ring 1

40545 Düsseldorf

Telefon 0211 598961-10

Köln

Oskar-Jäger-Str. 160

50825 Köln

Telefon 0221 99989092

E-Mail: info@wertsicht.de

Internet: www.wertsicht.de



INFRASTRUKTUR & UMWELT

Professor Böhm und Partner

Julius-Reiber-Straße 17

D-64293 Darmstadt

Telefon +49 (0) 61 51/81 30-0

Telefax +49 (0) 61 51/81 30-20

Niederlassung Potsdam

Gregor-Mendel-Straße 9

D-14469 Potsdam

Telefon +49 (0) 3 31/5 05 81-0

Telefax +49 (0) 3 31/5 05 81-20

E-Mail: mail@iu-info.de

Internet: www.iu-info.de