

Fachbeitrag Klima

für die Planungsregion Köln

Fachbeitrag Klima

für die Planungsregion Köln

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen
Recklinghausen 2018

IMPRESSUM

Herausgeber	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) Leibnizstraße 10, 45659 Recklinghausen Telefon 02361 305-0 Telefax 02361 305-3215 E-Mail: poststelle@lanuv.nrw.de
Bearbeitung	Stefanie Johann, Antje Kruse, Dr. Nicole Müller, Niklas Raffalski, Dr. Ingo Wolff (LANUV)
Fachliche Unterstützung	GEO-Net Umweltconsulting (Hannover), Planungsgruppe Umwelt (Hannover)
Bildnachweis	LANUV (Titel)
Informationsdienste	Informationen und Daten aus NRW zu Natur, Umwelt und Verbraucherschutz unter • www.lanuv.nrw.de Aktuelle Luftqualitätswerte zusätzlich im • WDR-Videotext
Bereitschaftsdienst	Nachrichtenbereitschaftszentrale des LANUV (24-Std.-Dienst) Telefon 0201 714488

Nachdruck – auch auszugsweise – ist nur unter Quellenangaben und Überlassung von Belegexemplaren nach vorheriger Zustimmung des Herausgebers gestattet. Die Verwendung für Werbezwecke ist grundsätzlich untersagt.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	6
1. Einführung	9
1.1. Rechtsgrundlagen.....	11
1.2. Das Plangebiet	12
2. Klimawandel in der Planungsregion Köln	15
2.1. Aktuelles Klima in der Planungsregion Köln und seine Entwicklung.....	18
2.1.1. Lufttemperatur	19
2.1.2. Kenntage Temperatur	22
2.1.3. Niederschlag.....	27
2.1.4. Kenntage Niederschlag	31
2.1.5. Zusammenfassung der bereits registrierten Klimaveränderungen	43
2.2. Projizierter Klimawandel in der Planungsregion Köln	44
2.2.1. RCP, SRES, Perzentile	44
2.2.2. Projizierte Klimaveränderung.....	46
2.2.3. Temperatur	47
2.2.4. Kenntage Temperatur	49
2.2.5. Niederschlag.....	52
2.2.6. Wetterextreme	56
2.2.7. Fazit projizierte Klimaänderungen.....	59
3. Klimaschutz in der Planungsregion Köln	61
3.1. Treibhausgasemissionen in der Region	61
3.2. Ausbau der Erneuerbaren Energien in der Region.....	65
3.2.1. Windenergie	68
3.2.2. Photovoltaik	72
3.2.3. Biomasse.....	77
3.2.4. Wasserkraft	82
3.2.5. Fazit	86
3.3. Weitere Handlungsfelder Klimaschutz	88
4. Klimaanpassung in der Planungsregion Köln	91
4.1. Hitzebelastung.....	91
4.1.1. Hitzebelastung und regionalplanerische Steuerungsmöglichkeiten.....	93
4.1.2. Methodik der Klimaanalyse NRW	101
4.1.3. Ergebnisse der Klimaanalyse für die Planungsregion Köln	113
4.1.4. Mögliche Umsetzungspfade und Handlungsempfehlungen.....	138
4.2. Weitere Handlungsfelder Klimaanpassung	144
Literatur	148
Gesetze, Verordnungen und Rechtsprechung.....	157
Anhang A 1: Daten Bestand und Potenziale Erneuerbarer Energien	159
Anhang A 2: Methodik zur Abgrenzung von Bereichen mit überörtlicher klimaökologischer Bedeutung	177

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Gemeinden und Kreise im Regierungsbezirk Köln.	14
Abbildung 2:	Verlauf rekonstruierter CO ₂ -Gehalte und globaler Temperaturschwankungen der letzten 420.000 Jahre.	16
Abbildung 3:	CO ₂ -Gehalte und Temperaturentwicklung seit Beginn der Wetteraufzeichnung.	17
Abbildung 4:	Topographie der Planungsregion Köln und naturräumliche Gliederung.	18
Abbildung 5:	Jährliche Durchschnittstemperaturen 1981 – 2010.	20
Abbildung 6:	Mittlere Anzahl an Heißen Tage pro Jahr im Zeitraum 1981 – 2010.	23
Abbildung 7:	Änderung der Anzahl an Heißen Tage pro Jahr im Vergleich der KNP 1981 – 2010 zu 1951 – 1980.	24
Abbildung 8:	Mittlere Anzahl an Eistagen pro Jahr im Zeitraum 1981 – 2010.	25
Abbildung 9:	Änderung der Anzahl an Eistagen pro Jahr im Vergleich der KNP 1981 – 2010 mit der KNP 1951 – 1980.	26
Abbildung 10:	Mittlerer jährlicher Niederschlag im Zeitraum 1981 – 2010.	29
Abbildung 11:	Änderungen der mittleren jährlichen Niederschlagssumme im Vergleich der KNP 1951 – 1980 zu 1981 – 2010.	31
Abbildung 12:	Lage der Messstationen Brakel und Petershagen.	33
Abbildung 13:	Mittlere Anzahl an Starkniederschlagstagen pro Jahr (> 10 mm/Tag) während der KNP 1981 – 2010.	35
Abbildung 14:	Mittlere Anzahl an Starkniederschlagstagen pro Jahr (> 20 mm/Tag) während der KNP 1981 – 2010.	36
Abbildung 15:	Mittlere Anzahl an Starkniederschlagstagen pro Jahr (> 30 mm/Tag) während der KNP 1981 – 2010.	37
Abbildung 16:	Änderung der mittleren Anzahl an Starkniederschlagstagen (> 10 mm/Tag) pro Jahr: KNP 1951 – 1980 zu 1981 – 2010.	38
Abbildung 17:	Änderung der mittleren Anzahl an Starkniederschlagstagen (> 20 mm/Tag) pro Jahr: KNP 1951 – 1980 zu 1981 – 2010.	39
Abbildung 18:	Änderung der mittleren Anzahl an Starkniederschlagstagen (> 30 mm/Tag) pro Jahr: KNP 1951 – 1980 zu 1981 – 2010.	40
Abbildung 19:	Mittlere Anzahl an Schneetagen pro Jahr während der KNP 1981 – 2010.	42
Abbildung 20:	Änderung der mittleren Anzahl von Schneetagen pro Jahr: KNP 1951 – 1980 zu 1981 – 2010.	43
Abbildung 21:	Klimawandel - Temperaturverteilung und Extreme.	60
Abbildung 22:	Windenergie - potenzieller Ertrag nach Gemeinden.	69
Abbildung 23:	Windenergie - potenziell nutzbare Fläche nach Gemeinden.	70
Abbildung 24:	Windenergie - Anzahl der Anlagen nach Gemeinden.	71
Abbildung 25:	Windenergie - Stromertrag nach Gemeinden.	72
Abbildung 26:	Photovoltaik - potenzieller Ertrag nach Gemeinden.	74
Abbildung 27:	Photovoltaik – installierte Leistung (Dach- und Freiflächen) nach Gemeinden.	76
Abbildung 28:	Freiflächen-PV – installierte Leistung nach Gemeinden.	76
Abbildung 29:	Biomasse - potenzieller Stromertrag nach Kreisen.	79
Abbildung 30:	Biomasse – potenziell nutzbare landwirtschaftliche Fläche nach Kreisen.	79
Abbildung 31:	Biomasse – potenziell nutzbare Waldfläche nach Kreisen.	80
Abbildung 32:	Biomasse - Stromertrag nach Gemeinden.	81
Abbildung 33:	Wasserkraft - potenzieller (ungenutzter) Ertrag nach Gemeinden.	83

Abbildung 34:	Wasserkraft - Anzahl potenzieller Anlagen (Neubau / Repowering) nach Gemeinden	84
Abbildung 35:	Wasserkraft - Ertrag nach Gemeinden	85
Abbildung 36:	Wasserkraft - Anzahl der Anlagen nach Gemeinden	86
Abbildung 37:	Klimaanalyse Nachtsituation	116
Abbildung 38:	Klimaanalyse Nachtsituation – Klimawandel-Vorsorgebereiche (Detailausschnitt)	117
Abbildung 39:	Klimaanalyse Nachtsituation – Detailausschnitt Köln	118
Abbildung 40:	Klimaanalyse Tagsituation	121
Abbildung 41:	Klimaanalyse Tagsituation – Klimawandel-Vorsorgebereiche (Detailausschnitt)	122
Abbildung 42:	Klimaanalyse Tagsituation – Detailausschnitt Köln.....	123
Abbildung 43:	Klimaanalyse Gesamtbetrachtung.....	128
Abbildung 44:	Klimaanalyse Gesamtbetrachtung – Klimawandel-Vorsorgebereiche (Detailausschnitt)	129
Abbildung 45:	Klimaanalyse Gesamtbetrachtung – Detailausschnitt Köln.....	130
Abbildung 46:	Klimaanalyse – Planungsempfehlungen Regionalplanung	134
Abbildung 47:	Klimaanalyse – Legende Planungsempfehlungen Regionalplanung	135

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Jährliche Durchschnittstemperaturen für die KNP 1971 – 2000 und 1981 – 2010.....	19
Tabelle 2:	Mittlere jährliche Temperaturen in den Großlandschaften	20
Tabelle 3:	Jährliche und saisonale Durchschnittstemperaturen 1981 – 2010 im Vergleich zu 1951 – 1980.....	21
Tabelle 4:	Jährliche Durchschnittstemperaturen 1981 – 2010 im Vergleich zu 1951 – 1980 in den Großlandschaften	21
Tabelle 5:	Vergleich der Temperaturkentage pro Jahr zwischen KNP 1951 – 1980 und KNP 1981 – 2010	27
Tabelle 6:	Mittlere jährliche und saisonale Niederschlagssummen 1971 – 2000 und 1981 – 2010	28
Tabelle 7:	Jährliche durchschnittliche Niederschlagssummen in den Großlandschaften	29
Tabelle 8:	Änderungen der saisonalen Niederschlagssummen im Vergleich der KNP 1951 – 1980 zu 1981 – 2010	30
Tabelle 9:	Änderungen der mittleren jährlichen Niederschlagssummen in den Großlandschaften	31
Tabelle 10:	Veränderungen der Trockenen Tage pro Jahr sowie saisonal für die Messstationen Monschau, Jülich, Köln-Bonn und Wermelskirchen	33
Tabelle 11:	Starkniederschlagstage pro Jahr, sortiert nach Klassen und Klimanormalperioden	41
Tabelle 12:	Projektionen im Bereich 2021 – 2050: Änderung der jährlichen Durchschnittstemperatur	48
Tabelle 13:	Projektionen im Bereich 2071 – 2100: Änderung der jährlichen Durchschnittstemperatur	48
Tabelle 14:	RCP4.5- und RCP8.5-Projektionen der Temperaturänderungen für die Großlandschaften.....	49
Tabelle 15:	SRES-A1B-Projektionen: Änderung der Anzahl an Heißen Tage pro Jahr.....	50
Tabelle 16:	SRES-A1B-Projektionen: Änderung der Anzahl an Sommertage pro Jahr.....	50
Tabelle 17:	SRES-A1B-Projektionen: Änderung der Anzahl an Eistagen pro Jahr.....	51
Tabelle 18:	SRES-A1B-Projektionen: Änderung der Anzahl an Frosttagen pro Jahr.....	52
Tabelle 19:	Projektionen im Bereich 2021 – 2050: Jährliche prozentuale Niederschlagsveränderungen	53
Tabelle 20:	Projektionen im Bereich 2071 – 2100: Jährliche prozentuale Niederschlagsveränderungen	54
Tabelle 21:	Projektionen der saisonalen Niederschlagsveränderungen	55
Tabelle 22:	RCP4.5- und RCP8.5- Projektionen der Niederschlagssummenänderungen für die Großlandschaften	56
Tabelle 23:	Projektionen für die nahe Zukunft (2021 – 2050): Änderung der Anzahl an Starkniederschlagstagen (>10 mm/Tag) pro Jahr	57
Tabelle 24:	Projektionen für die ferne Zukunft (2071 – 2100): Änderung der Anzahl an Starkniederschlagstagen (>10 mm/Tag) pro Jahr	57
Tabelle 25:	Projektionen für die nahe Zukunft (2021 – 2050): Änderung der Anzahl an Starkniederschlagstagen (>20 mm/Tag) pro Jahr	58

Tabelle 26:	Projektionen für die ferne Zukunft (2071 – 2100): Änderung der Anzahl an Starkniederschlagstagen (>20 mm/Tag) pro Jahr	59
Tabelle 27:	Treibhausgasemissionen in der Planungsregion Köln 2016	64
Tabelle 28:	Vergleich der THG-Emissionen 2016 in der Planungsregion Köln, in NRW und in Deutschland	65
Tabelle 29:	Ausbaustand der Erneuerbaren Energien im Regierungsbezirk Köln	66
Tabelle 30:	Potenziale zum Ausbau der Erneuerbaren Energien im Regierungsbezirk Köln	67
Tabelle 31:	Windenergie - Gemeinden mit der höchsten potenziell installierbaren Leistung	70
Tabelle 32:	Windenergie - Gemeinden mit der höchsten installierten Leistung	72
Tabelle 33:	Photovoltaik (Dach- und Freiflächen) - Gemeinden mit der höchsten potenziell installierbaren Leistung	74
Tabelle 34:	Freiflächen-Photovoltaik - Gemeinden mit der höchsten potenziell installierbaren Leistung	75
Tabelle 35:	Photovoltaik (Dach- und Freiflächen) - Gemeinden mit der höchsten installierten Leistung	77
Tabelle 36:	Freiflächen-Photovoltaik - Gemeinden mit der höchsten installierten Leistung	77
Tabelle 37:	Biomasse - potenzielle Erträge nach Kreisen	80
Tabelle 38:	Biomasse - Ertrag und installierte Leistung (nur Strom) nach Kreisen	82
Tabelle 39:	Wasserkraft - Ausbaupotenzial nach Gemeinden	84
Tabelle 40:	Wasserkraft - Gemeinden mit der höchsten installierten Leistung	86
Tabelle 41:	Bewertung des Kaltluftvolumenstroms	104
Tabelle 42:	Bewertung der nächtlichen Überwärmung im Siedlungsraum	105
Tabelle 43:	Bewertung der thermischen Belastung anhand der PET	105
Tabelle 44:	Klassenbasierte Gesamtbewertung der thermischen Situation in Siedlungsräumen	106
Tabelle 45:	Matrix zur Verknüpfung der Bewertung von Tag- und Nachtsituation bei Wohnflächen (links) sowie bei Gewerbeflächen (rechts)	107
Tabelle 46:	Klassenbasierte Gesamtbewertung der thermischen Ausgleichfunktion von Grün- und Freiflächen	108
Tabelle 47:	Matrix zur Verknüpfung der Bewertung von Tag- und Nachtsituation bei Grünflächen	108
Tabelle 48:	Klimaanalyse Nachtsituation - Anzahl der betroffenen Bevölkerung und der Siedlungsfläche in der Planungsregion Köln	115
Tabelle 49:	Klimaanalyse Nachtsituation - Anzahl der betroffenen Bevölkerung und der Siedlungsfläche mit starker thermischer Belastung nach Gemeinden	115
Tabelle 50:	Klimaanalyse Tagsituation - Anzahl der betroffenen Bevölkerung und der Siedlungsfläche in der Planungsregion Köln	119
Tabelle 51:	Klimaanalyse Tagsituation - Anzahl der betroffenen Bevölkerung und der Siedlungsfläche mit extremer thermischer Belastung nach Gemeinden	120
Tabelle 52:	Klimaanalyse Gesamtbetrachtung - Anzahl der betroffenen Bevölkerung und der Siedlungsfläche in der Planungsregion Köln	124
Tabelle 53:	Klimaanalyse Gesamtbetrachtung - Anzahl der betroffenen Bevölkerung und der Siedlungsfläche mit ungünstiger oder sehr ungünstiger thermischer Situation nach Gemeinden	125

Tabelle 54:	Klimawandel-Vorsorgebereiche - Anzahl der betroffenen Bevölkerung und der Siedlungsfläche mit in Zukunft voraussichtlich ungünstiger oder sehr ungünstiger thermischer Situation	125
Tabelle 55:	Klimawandel-Vorsorgebereiche - Anzahl der zusätzlich betroffenen Bevölkerung und der Siedlungsfläche mit in Zukunft voraussichtlich ungünstiger thermischer Situation nach Gemeinden	126
Tabelle 56:	Klimawandel-Vorsorgebereiche - Anzahl der zusätzlich betroffenen Bevölkerung und der Siedlungsfläche mit in Zukunft voraussichtlich sehr ungünstiger thermischer Situation nach Gemeinden	126
Tabelle 57:	Ungünstige und sehr ungünstige thermische Situation (Gesamtbetrachtung) - Vergleich der aktuell betroffenen und der zukünftig voraussichtlich betroffenen Bevölkerung	127
Tabelle 58:	Bereiche mit überörtlicher klimaökologischer Bedeutung - Vergleich Planungsregion Köln mit NRW	137

1. Einführung

Der globale anthropogene (also vom Menschen verursachte) Klimawandel ist eine der bedeutendsten gesamtgesellschaftlichen Herausforderungen unserer Zeit. Die bereits stattgefundenen und messbaren sowie die für die Zukunft von Klimamodellen projizierte Änderung der klimatischen Verhältnisse betrifft auch in Nordrhein-Westfalen die Grundlagen verschiedener Lebensbereiche. Der vom Menschen verursachte Klimawandel und damit verbunden die interdisziplinären Handlungsfelder Klimaschutz und Klimaanpassung haben Auswirkungen auf unsere Art zu wohnen und zu arbeiten, auf die Bereiche Mobilität, Energieversorgung oder Landwirtschaft sowie die Flora und Fauna.

Der Begriff Klima ist als Zusammenfassung von Wettererscheinungen definiert und gibt den mittleren Zustand der Atmosphäre an einem bestimmten Ort oder für ein Gebiet (Einfluss durch z. B. Höhenlage, Nähe zum Meer, Nähe zum Äquator) und einen bestimmten Zeitraum an. Das Klima wird dabei durch statistische Auswertung der meteorologischen Größen einer Mindestperiode von 30 Jahren beschrieben. Es wird in der Regel durch Mittelwerte und Jahressummen (beispielsweise bei Temperatur und Niederschlag), Häufigkeiten (zum Beispiel Sommer- und Frosttage) und Andauerzeiten (zum Beispiel Sonnenscheindauer) charakterisiert.

Der Begriff „Klima“ ist dabei klar vom Begriff „Wetter“ abzugrenzen: Das Wetter beschreibt den augenblicklichen physikalischen Zustand der unteren Atmosphäre (Troposphäre) zu einem bestimmten Zeitpunkt an einem bestimmten Ort. Von Wetter spricht man bei Zeiträumen von wenigen Stunden bis zu einigen Tagen.

Der Begriff Klimaschutz bezeichnet alle Maßnahmen die geeignet sind, die durch den Menschen verursachte stark erhöhte Konzentration von Treibhausgasen in der Erdatmosphäre zu reduzieren und so der globalen Erwärmung entgegenzuwirken. Die Anpassung an den Klimawandel hat das Ziel, auf bereits eingetretene oder nicht mehr zu verhindernde Veränderungen des Klimas zu reagieren und damit verbundene negative Auswirkungen auf natürliche oder menschliche Systeme abzumildern, aber auch gegebenenfalls neu entstehende Chancen zu nutzen.

Die Handlungsfelder Klimaschutz und Klimaanpassung betreffen die Interessen und Kompetenzen verschiedenster Akteure, Institutionen und Fachplanungen. Die Auswirkungen des Klimawandels treten lokal bzw. regional auf, und die dadurch erforderlichen planerischen oder physischen Anpassungsmaßnahmen sind konkret räumlich verortet. Der von Haus aus überfachlichen, verschiedene Interessen integrierenden Raumplanung kommt daher in beiden Handlungsfeldern eine zentrale Bedeutung zu. Dies gilt insbesondere für die räumliche Planung auf der kommunalen und regionalen, überörtlichen Ebene.

Die Raumplanung ist daher bereits heute ein unverzichtbares Instrument, um Maßnahmen zum Klimaschutz sowie zur Anpassung an den anthropogenen Klimawandel zu implementieren. Aber auch der mittel- bis langfristig ausgerichtete Zeithorizont von Stadt- und Regionalentwicklung sowie die damit verbundenen, oft für einen Zeitrahmen mehrerer Generationen manifestierten baulichen Veränderungen, erfordern die Berücksichtigung klimatischer Verän-

derungen, die sich zum Teil erst in der Zukunft auswirken werden. Hier kann insbesondere die unterschiedliche Sektoren koordinierende und gesamträumliche Zielvorstellungen formulierende Raumordnung, auch im Vergleich zur häufig eher kurzfristig und auf Legislaturperioden ausgerichteten Politik, der Herausforderung des Klimawandels begegnen (Klima-und-Raum.org 2018)

Damit die Planung die Belange von Klimaschutz und Klimaanpassung in Konzepten, Masterplänen oder formellen Festsetzungen berücksichtigen kann, benötigt sie entsprechende und möglichst räumlich konkrete Informationen, belastbare Datengrundlagen und klimafachliche Einschätzungen. Ziel des vom Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW (LANUV) vorgelegten Fachbeitrags Klima für den Regionalplan Köln ist es, diese Grundlagen für die planerischen Abwägungsprozesse flächendeckend für die Planungsregion bereitzustellen.

Von den verschiedenen möglichen Wirkfolgen des Klimawandels und den Klimaschutzmaßnahmen ist jedoch nur ein Teil unmittelbar raumordnerisch relevant. Manche Handlungsfelder entziehen sich den regionalplanerischen Steuerungsmöglichkeiten und betreffen eher die kommunale Planungsebene oder auch den Bereich privater Haushalte. Als Kriterien dienen hier unter anderem die Raumbedeutsamkeit, der Bedarf an überfachlicher Koordination sowie die regionale, also überörtliche Bedeutung. Dies wurde im Rahmen der Erstellung des Fachbeitrages Klima grundsätzlich berücksichtigt. In manchen Handlungsfeldern sind die Übergänge zwischen Regionalplanung, kommunaler Planung und privatem Bereich jedoch nicht immer klar voneinander zu trennen, so dass dieser Fachbeitrag im Sinne einer möglichst umfassenden Daten- und Informationsgrundlage teilweise auch Aspekte thematisiert, die nicht unmittelbar raumordnerisch adressiert werden können.

Der Fachbeitrag Klima gliedert sich dabei in drei zentrale Bausteine. In Kapitel 2 werden das Klima und der bereits stattgefunden sowie für die Zukunft projizierte anthropogene Klimawandel in der Planungsregion Köln beschrieben. Kapitel 3 befasst sich mit dem Handlungsfeld Klimaschutz in der Planungsregion Köln. Neben einer Auswertung der verfügbaren Daten zu den regionalen Treibhausgasemissionen wird hierbei schwerpunktmäßig insbesondere der Bereich der Energieversorgung und damit verbunden der Ausbau der Erneuerbaren Energien thematisiert. In Kapitel 4 werden Herausforderungen und Handlungsansätze zur Anpassung an den vom Menschen verursachten Klimawandel in der Planungsregion behandelt. Der Fokus liegt hierbei vor allem auf dem Aspekt der klimatischen bzw. thermischen Belastung der Bevölkerung durch Hitze. Hierzu werden umfassende Daten aus der vom LANUV erstmals erstellten landesweiten „Klimaanalyse NRW“ (LANUV 2018) für die Planungsregion Köln ausgewertet.

Nur am Rande behandelt wird dabei der in diesem Bereich ebenfalls zentrale Zusammenhang zwischen dem anthropogenen Klimawandel und der Wasserwirtschaft, der zum Beispiel Problemstellungen wie Sturzfluten in Folge von Starkniederschlägen, vorsorgenden Hochwasserschutz, Gewässermanagement und die Sicherung des (Trink-) Wasserdargebots umfasst. Für diese Aspekte wird ein eigenständiger Fachbeitrag „Wasser und Klimawandel“ vom LANUV erstellt, der von den entsprechenden Fachdezernaten der Bezirksregierung räumlich konkretisiert und auf die regionalen / lokalen Gegebenheiten hin angepasst werden

kann. Auch die Bereiche Forst- und Landwirtschaft werden nicht tiefer gehend thematisiert, da hierzu ebenfalls eigenständige sektorale Fachbeiträge erstellt werden. Gleiches gilt für den Bereich Natur- und Artenschutz. Hier liegt mit dem Fachbeitrag des Naturschutzes und der Landschaftspflege des LANUV eine Informationsgrundlage vor, die für die Planungsregion Köln ebenfalls einen Fokus auf den vom Menschen verursachten Klimawandel legt.

1.1 Rechtsgrundlagen

Fachbeiträge werden als Grundlage für die Aufstellung oder Fortschreibung von Regionalplänen zu verschiedenen Themenfeldern erarbeitet. Sie dienen als fachliche Informationsgrundlage für die übergeordnete, überörtliche und überfachliche Regionalplanung. Wesentliche Bausteine sind dabei die Darstellung von Daten, Informationen und Strukturen als fachliche Grundlage für die Abwägung der Regionalplanung, sowie fachlich-sektorale Bestandsaufnahmen und Bewertungen, Konfliktnalysen oder konkrete Handlungsempfehlungen zu möglichen Zielen und Grundsätzen.

Das Landesplanungsgesetz Nordrhein-Westfalen (LPIG NRW) formuliert dazu in § 12 (2): *„Vorliegende Fachbeiträge und Konzepte (z. B. Klimaschutzkonzepte) sind bei der Erarbeitung von Raumordnungsplänen zu berücksichtigen.“* Auch der im Februar 2017 in Kraft getretene Landesentwicklungsplan Nordrhein-Westfalen (LEP) legt in Grundsatz 4-3 fest, das vorliegende Klimaschutzkonzepte und den Klimaschutz betreffende Fachbeiträge von der Regionalplanung zu berücksichtigen sind.

Das Raumordnungsgesetz (ROG) hat dabei die Bedeutung der Belange des Klimawandels in den Grundsätzen der Raumordnung bundesweit festgeschrieben. So heißt es in § 2 Abs. 2 Nr. 6: *„Der Raum ist in seiner Bedeutung für die Funktionsfähigkeit [...] des Klimas einschließlich der jeweiligen Wechselwirkungen zu entwickeln, zu sichern oder, soweit erforderlich, möglich und angemessen, wiederherzustellen. [...] Den räumlichen Erfordernissen des Klimaschutzes ist Rechnung zu tragen, sowohl durch Maßnahmen, die dem Klimawandel entgegenwirken, als auch durch solche, die der Anpassung an den Klimawandel dienen. Dabei sind die räumlichen Voraussetzungen für den Ausbau der erneuerbaren Energien, für eine sparsame Energienutzung sowie für den Erhalt und die Entwicklung natürlicher Senken für klimaschädliche Stoffe und für die Einlagerung dieser Stoffe zu schaffen.“*

Das Landesplanungsgesetz NRW konkretisiert dies unter Bezugnahme auf das Klimaschutzgesetz NRW und den Klimaschutzplan NRW in § 12:

(3) In den Raumordnungsplänen sind die räumlichen Erfordernisse des Klimaschutzes und der Anpassung an den Klimawandel als Ziele und Grundsätze der Raumordnung festzulegen. Zur raumordnerischen Umsetzung des § 3 Klimaschutzgesetz Nordrhein-Westfalen sind die genannten Klimaschutzziele als raumbezogene Ziele und Grundsätze umzusetzen und/oder nachgeordneten Planungsebenen entsprechende räumliche Konkretisierungsaufträge zu erteilen.

(4) Die Raumordnungspläne müssen auch diejenigen Festlegungen des Klimaschutzplans NRW umsetzen, die gemäß § 6 Absatz 6 Klimaschutzgesetz NRW für verbindlich erklärt worden sind, soweit sie durch Ziele oder Grundsätze der Raumordnung gesichert werden können.

Das Klimaschutzgesetz NRW formuliert in § 3 konkrete Ziele zur Reduktion von Treibhausgasemissionen für Nordrhein-Westfalen (Verringerung der Emissionen bis 2020 um mindestens 25 % und bis zum Jahr 2050 um mindestens 80 % im Vergleich zu 1990) und nennt in § 4 (1) neben dem Klimaschutzplan insbesondere die Raumordnung als ein wesentliches Instrument, diese Ziele umzusetzen.

Der 2015 vom Landtag verabschiedete Klimaschutzplan NRW hat dabei das Ziel, die notwendigen Maßnahmen zur Erreichung der Klimaschutzziele zu konkretisieren. Zu den geforderten Maßnahmen im Handlungsfeld Landes- und Regionalplanung zählt die Erstellung eines Fachbeitrages „Klima“ (LR-KA13-M44) und eines Fachbeitrages „Wasser und Klimawandel“ (LR-KA13-M46) für die Regionalplanung. Mit dem hier vorliegenden Fachbeitrag wird also auch eine Maßnahme des Klimaschutzplans NRW umgesetzt.

Die bundes- und landesrechtlichen Forderungen zur Berücksichtigung der Belange des anthropogenen Klimawandels werden vom Landesentwicklungsplan NRW in den Grundsätzen 4-1 (Klimaschutz) und 4-2 (Klimaanpassung) aufgegriffen. Dort wird eine ressourcenschonende Raumentwicklung gefordert, die zur Energieeinsparung und zum Ausbau der Erneuerbaren Energien beitragen soll, um den Ausstoß von Treibhausgasen möglichst zu minimieren. Konkret angesprochen werden dabei u. a. Standorte zur Nutzung und Speicherung Erneuerbarer Energien, eine energiesparende Siedlungs- und Verkehrsentwicklung und die Sicherung von CO₂-Senken wie Mooren oder Grünland. Bei der Anpassung an den Klimawandel wird vom LEP konkret u. a. die Abmilderung von Hitzefolgen in Siedlungsbereichen durch die Erhaltung von Kaltluftbahnen sowie innerstädtischen Grünflächen, Wäldern und Wasserflächen gefordert.

1.1 Das Plangebiet

Das Plangebiet des Regionalplans Köln liegt im Südwesten von Nordrhein-Westfalen. Es umfasst das gesamte Gebiet der Bezirksregierung Köln mit etwa viereinhalb Millionen Einwohnern und einer Fläche von 7.364 Quadratkilometern (BEZIRKSREGIERUNG KÖLN 2018). Damit ist der Regierungsbezirk Köln der zweitgrößte in Nordrhein-Westfalen. Er grenzt im Norden an den Regierungsbezirk Düsseldorf, im Nordosten an den Regierungsbezirk Arnsberg, im Süden an Rheinland-Pfalz und im Westen an Belgien und die Niederlande.

Die Planungsregion Köln umfasst acht Kreise (Düren, Euskirchen, Heinsberg, Oberbergischer Kreis, Rhein-Bergischer Kreis, Rhein-Erft-Kreis, Rhein-Sieg-Kreis und die Städteregion Aachen) mit insgesamt 95 kreisangehörigen Gemeinden sowie vier kreisfreie Städten (Aachen, Bonn, Köln, Leverkusen) (**Abbildung 1**). Köln ist mit knapp 1,1 Millionen Einwohnern die größte Stadt des Landes. Weitere Großstädte in der Planungsregion sind Bonn (etwa 320.000 Einwohner), Aachen (250.000) und Leverkusen (160.000) (IT.NRW 2018,

Stand: 31.12.2015). Abseits der Siedlungsschwerpunkte an der südlichen Rheinschiene ist die Planungsregion auch geprägt von zahlreichen mittleren und kleineren Gemeinden. Die Siedlungsdichte in der Planungsregion liegt mit etwa 592 Einwohnern pro km² leicht über dem Landesdurchschnitt (517 Einwohnern pro km²).

Hinsichtlich der Großlandschaften umfasst die Planungsregion Köln die Eifel und die Niederrheinische Bucht sowie im Osten Teile des Bergischen Landes und im Norden Teile des Niederrheinischen Tieflandes. Westlich und östlich des Rheins ist die Region geprägt von den Mittelgebirgen des Rheinischen Schiefergebirges: Dem Bergischen Land und der Nordeifel. Die höchste Erhebung im Regierungsbezirk Köln ist der Weiße Stein nahe Hellenthal im Kreis Euskirchen mit 690 m ü. NHN [Meter über Normalhöhennull].

Der Rhein ist als längster Fluss sowie meistbefahrene Wasserstraße Deutschlands das prägende Gewässer in der Region. Weitere bedeutende Flüsse sind die Rur sowie die Erft und die Sieg. Die Wupper mündet nahe Leverkusen in den Rhein. Mit der Rurtalsperre, der Großen Dhüntalsperre oder der Urftalsperre liegen einige der größten Seen des Landes im Regierungsbezirk Köln.

Wirtschaftlich ist der Strukturwandel im Regierungsbezirk Köln bereits weit vorangeschritten, der Anteil des Dienstleistungsbereichs an der Bruttowertschöpfung lag im Jahr 2013 bei 76,9 % (IHK 2017). Die Wirtschaftsstruktur ist dabei im Planungsgebiet äußerst heterogen: So ist beispielsweise die Region zwischen Aachen, Mönchengladbach und Köln (auch landschaftlich) unter anderem geprägt vom Braunkohletagebau, während sich in der Stadt Bonn nach dem Regierungsumzug zahlreiche DAX-Unternehmen, Bundesbehörden und UN-Einrichtungen angesiedelt haben. In Köln haben insbesondere der Fahrzeugbau, der Maschinenbau, das Versicherungswesen und die Medien (unter anderem Film- und Fernsehproduktion) eine besondere wirtschaftliche Bedeutung. Leverkusen ist wirtschaftlich geprägt von Großkonzernen der chemischen Industrie. In den eher ländlich geprägten Bereichen der Eifel ist hingegen der Tourismus ein bedeutender Wirtschaftsfaktor. Insgesamt betrug das Bruttoinlandsprodukt (BIP) im Regierungsbezirk Köln im Jahr 2013 knapp 160 Milliarden Euro, was etwa einem Viertel des landesweiten BIP entsprach. (IHK 2017)

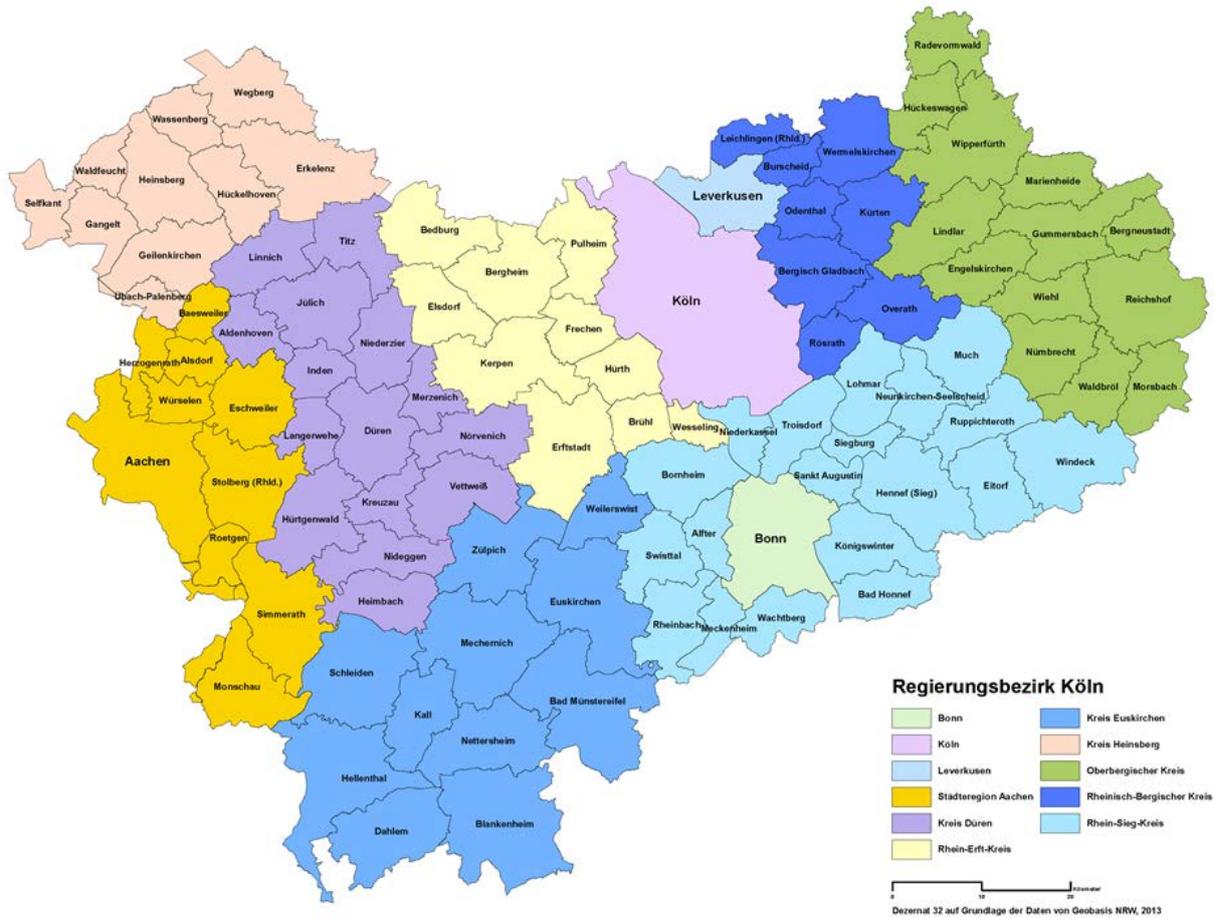


Abbildung 1: Gemeinden und Kreise im Regierungsbezirk Köln. ,
(Quelle: Bezirksregierung Köln 2018).

2. Klimawandel in der Planungsregion Köln

Der anthropogene Klimawandel fasst sämtliche vom Menschen verursachte Änderungen im globalen Klimasystem zusammen. Dazu gehören unter anderem Durchschnittstemperaturen, Niederschlagssummen, die Länge der Jahreszeiten, Wetterextreme oder Verschiebungen von ganzen Wettersystemen wie die z. B. die Verlagerung von Sturmbahnen. Im Folgenden wird eine kurze Einführung in die Ursachen des anthropogenen Klimawandels gegeben. Dies erscheint sinnvoll, um die Magnitude dieser vom Menschen verursachten Klimaänderung zu verdeutlichen und um die in den kommenden Unterkapiteln dargestellten Zahlen der bereits beobachteten und der für die Zukunft projizierten Klimaveränderungen in der Planungsregion Köln in einen größeren Zusammenhang zu setzen.

Seit der industriellen Revolution, und besonders verstärkt nach 1950, greift der Mensch durch die Verbrennung von fossilen Energieträgern wie Kohle, Öl oder Gas und intensiverer Landnutzung massiv in die Zusammensetzung der Atmosphäre ein. Durch die daraus resultierende anthropogene Anreicherung der Atmosphäre mit dem Treibhausgas Kohlendioxid (CO₂) steigen die globalen Temperaturen stark an. CO₂ ist dabei das Treibhausgas, welches mit Abstand in den größten Mengen vorkommt, vor Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O),

Vor der industriellen Revolution lag der damals noch weitgehend natürliche CO₂-Gehalt in der Atmosphäre bei ungefähr 280 parts per million (PPM), im Jahr 2010 lag er bei 400 ppm und 2017 erreichte der CO₂-Gehalt erstmals eine Höhe von 410 ppm. Dies ist ein Wert, welcher wahrscheinlich zuletzt vor 3,3 Millionen Jahren erreicht wurde (BOER et al. 2010; VAN DE WAL et al. 2011; ZHANG et al. 2013; STOCKER et al. 2013b). Dies bedeutet einen Anstieg von über 40 % in sehr kurzer Zeit, der mit seiner Schnelligkeit so auf der Erde mindestens seit 66 Mio. Jahren (ZEEBE et al. 2016) beispiellos ist. Während in den letzten 800.000 Jahren im Schnitt ungefähr 1.000 Jahre für den natürlichen Anstieg des Treibhausgases CO₂ um 35 ppm in der Atmosphäre nötig waren, emittierte zuletzt der Mensch die gleiche Menge an CO₂ in nur 17 Jahren (BEREITER et al. 2015; HENLEY UND ABRAM 2017).

Zahlreiche Analysen von Eisbohrkernen und Modellrechnungen belegen den direkten Zusammenhang zwischen CO₂-Gehalt und der durchschnittlichen globalen Temperatur (PARRININ et al. 2013; GEST et al. 2017; HANSEN et al. 1981). In der für geologische Zeiträume extrem kurzen Zeit seit der industriellen Revolution hat der Mensch nachhaltig dafür gesorgt, dass sämtliche natürlichen Ursachen von Klimaveränderungen, wie den natürlichen Wechsel zwischen Warm- und Eiszeiten der letzten 2,5 Millionen Jahre, von den Treibhausgasemissionen überlagert werden (GANOPOLSKI ET AL. 2016; HANSEN et al. 2017; STEFFEN et al. 2018). Klimaschwankungen der letzten 12.000 Jahre, die ein einer wesentlich geringeren Bandbreite stattgefunden haben (MARCOTT et al. 2013), sind erst recht nicht mit dem derzeit stattfindenden anthropogenen Klimawandel vergleichbar, wenn man die Ursache und vor allem die globalen Ausmaße der Erwärmung betrachtet (BJÖRCK 2011; STOCKER et al. 2013b). Fest steht, dass aufgrund der drastischen Zunahme des CO₂-Gehaltes der natürliche Treibhauseffekt wesentlich verstärkt wird und sich die globale Temperatur und die Meeresspiegelhöhe entsprechend anpassen werden. Zusätzlich werden sich selbst verstärkende Prozesse, wie die Erwärmung des Arktischen Ozeans durch den Rückgang des See-Eises oder der verstärkten Methanausgasung im Permafrost, diesen Effekt weiter antreiben.

In **Abbildung 2** wird der für über 400.000 Jahre annähernd synchrone natürliche Verlauf zwischen dem CO₂-Gehalt in der Atmosphäre und den globalen Temperaturabweichungen gegenüber der globalen Durchschnittstemperatur der international genutzten Klimanormalperiode 1961 – 1990 dargestellt. Deutlich sichtbar ist der regelmäßige Rhythmus von Kalt- und Warmzeiten, die primär durch natürliche Erdbahnparameterzyklen (Milanković - Zyklen) gesteuert werden. Im roten Oval oben rechts wird der anthropogene CO₂-Ausstoß veranschaulicht, der sehr stark aus dem natürlichen Rhythmus zwischen Warm- und Kaltzeiten heraussticht.

Abbildung 3 stellt im Anschluss den Anstieg der Temperatur und der CO₂-Konzentration von 1880 bis 2015 dar. Was in Abbildung 2 bei der Kohlendioxidkonzentration innerhalb des roten Ovals wie eine Wand aussieht (aufgrund der geringen zeitlichen Auflösung), stellt sich in Abbildung 3 auch bei hoher zeitlichen Auflösung als eine deutliche Steigung heraus, die seit den 1980er Jahren nochmal steiler wird. Die globale Erderwärmung nimmt gut sichtbar ebenfalls verstärkt seit den 1980er Jahren zu.

Dass die in **Abbildung 2** dargestellte Temperaturkurve keinen ähnlich steilen Anstieg wie bei der oberen CO₂-Konzentrationskurve anzeigt, liegt daran, dass sich das Klimasystem noch nicht auf die bereits erfolgte anthropogene CO₂-Anreicherung der Atmosphäre eingestellt hat. Alleine durch die enorme Wärmekapazität der Ozeane wird sich das durch den anthropogen verstärkten Treibhauseffekt gestörte Energiegleichgewicht auf der Erde erst nach vielen Jahrzehnten wieder im Gleichgewicht befinden - mit dann höheren Temperaturen in den Ozeanen und auf der Erdoberfläche, entsprechend dem erhöhten CO₂-Gehalt (HANSEN et al. 2017). Dies bedeutet, dass sich selbst bei einem plötzlichen Ende aller Kohlendioxid-Emissionen die Erde noch weiter erwärmen wird, insbesondere in Anbetracht der Verweildauer von CO₂ in der Atmosphäre von ca. 50 - 200 Jahren (IPCC 2007). Ohne zusätzliche Rückkopplungseffekte würden die Temperaturen noch zwischen 0,5 und 0,7 Kelvin [K] ansteigen (die Temperatureinheiten °Celsius und Kelvin haben identische Skalierungen, Temperaturänderungen werden in Kelvin angegeben) (HANSEN et al. 2017).

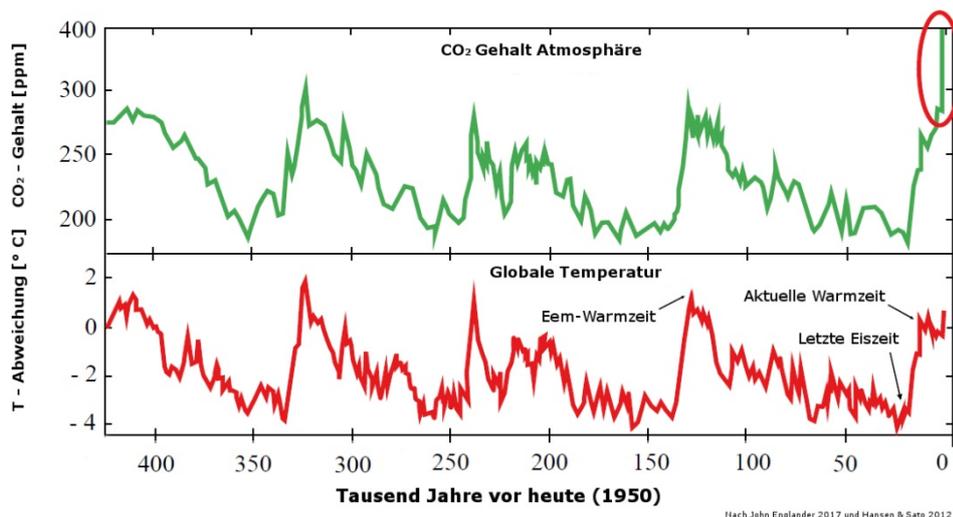


Abbildung 2: Verlauf rekonstruierter CO₂-Gehalte und globaler Temperaturschwankungen der letzten 420.000 Jahre. (Historische/aktuelle CO₂-Messungen im roten Oval, verändert nach Hansen & Sato, 2012, und Englander, 2017).

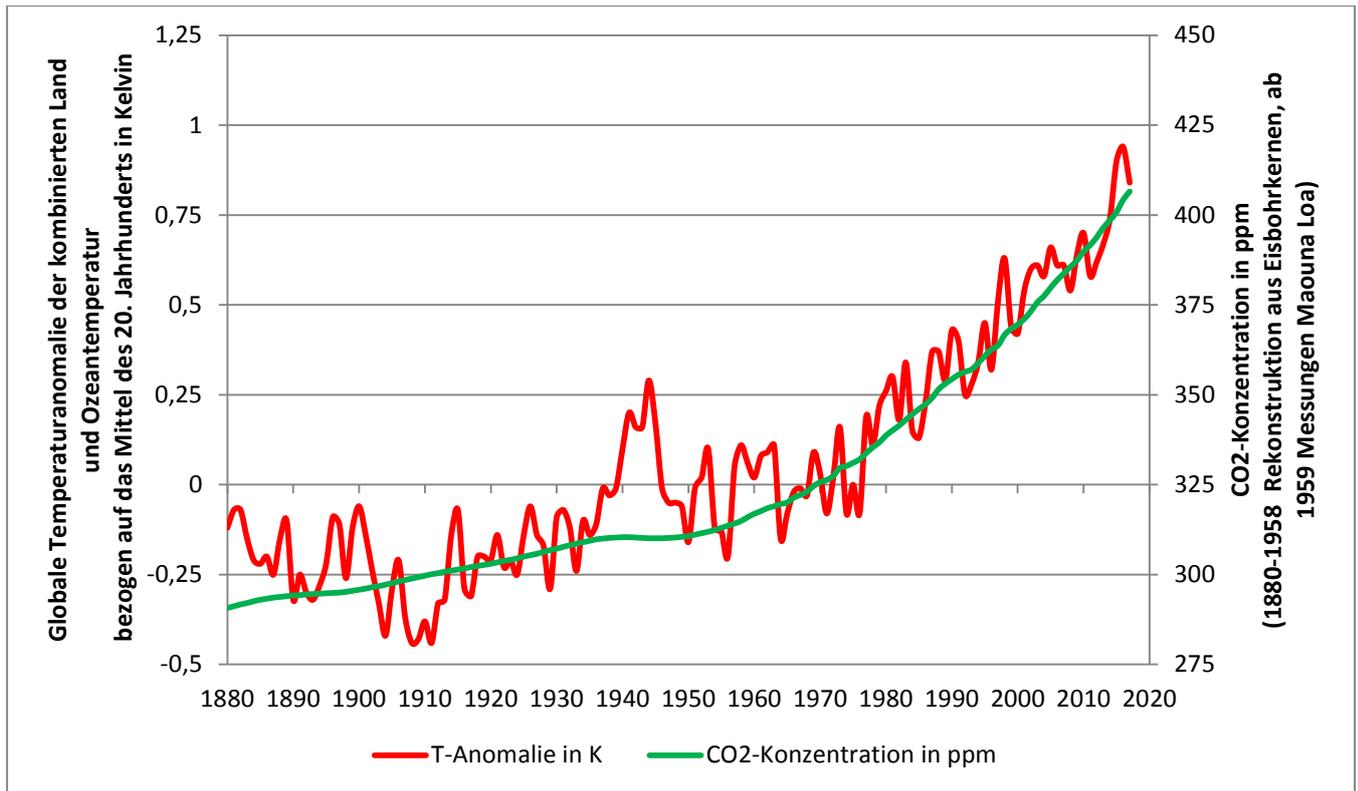


Abbildung 3: CO₂-Gehalte und Temperaturentwicklung seit Beginn der Wetteraufzeichnung. (Grafik: LANUV NRW; Daten: National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA 2018a, 2018b, 2018c; Etheridge et al. 1996).

Weltweit sind die mittleren globalen Temperaturen seit Beginn der Wetteraufzeichnungen im Vergleich der Klimanormalperioden 1881 – 1910 und 1981 - 2010 um rund 0,7 Kelvin (NASA GODDARD INSTITUTE FOR SPACE STUDIES 2018) gestiegen. In Nordrhein-Westfalen hat sich im Vergleich dazu die mittlere Temperatur um rund 1,2 Kelvin (LANUV 2016) erhöht. Eine Ursache dafür, dass sich NRW und Deutschland schneller erwärmt haben als im globalen Mittel, ist der Effekt der „arctic amplification“, durch den sich insbesondere die Nordhalbkugel durch den Rückgang des arktischen Meereises besonders schnell erwärmt (vgl. BEKRYAEV et al. 2010; SCREEN UND SIMMONDS 2010). Außerdem gab es in Nordrhein-Westfalen innerhalb des Zeitraumes 1881 - 2017 einen Anstieg der mittleren jährlichen Niederschlagsmenge um 13 %. Weitere Informationen stehen auch auf den Seiten des Klimafolgenmonitorings des LANUV NRW unter www.kfm.nrw.de zur Verfügung.

In den folgenden Kapiteln wird näher auf das Klima in der Planungsregion Köln eingegangen. In Kapitel 2.1 wird das aktuelle Klima und seine bisherige Entwicklung seit dem Beginn der Wetteraufzeichnung 1881 beschrieben. In Kapitel 2.2 werden die modellierten Klimaprojektionen, heruntergerechnet auf die Planungsregion Köln, dargestellt.

2.1 Aktuelles Klima in der Planungsregion Köln und seine Entwicklung

In diesem Kapitel werden das aktuelle Klima in der Planungsregion Köln sowie die Entwicklung des Klimas bezogen auf die Klimanormalperiode (KNP = Bezugszeiträume von 30 Jahren für die Erfassung des gemittelten Klimas) 1951 – 1980 beschrieben.

Die Planungsregion Köln gehört klimatisch zur warmgemäßigten und feuchttemperierten Klimazone nach der Klassifikation von Köppen und Geiger (RUBEL UND KOTTEK 2010), die ganz Deutschland und Mitteleuropa mit einschließt. Innerhalb der Planungsregion bestehen regionale Unterschiede hinsichtlich der Topographie (**Abbildung 4**), die sich auch auf das vorherrschende Klima auswirken. Das Becken der Niederrheinischen Bucht mitsamt nordwestlich angeschlossenen Niederrheinischem Tiefland dominiert den zentralen Mittelteil der Planungsregion Köln. Hier liegen mit den Tälern von Rhein und Rur auch die tiefsten Stellen mit ca. 40 und ca. 30 Metern ü. NHN. Im Osten des Regierungsbezirkes Köln erhebt sich das Bergische Land mit seinem Mittelgebirgscharakter, mit Höhenlagen von maximal 500 Meter ü. NHN. Die Eifel, gelegen im Südwesten der Planungsregion, erreicht mit fast 700 Meter ü. NHN die höchsten Lagen im Regierungsbezirk Köln. Die topographische Dreiteilung der Planungsregion wirkt sich, wie im Folgenden dargestellt, auch auf die mittleren jährlichen Niederschlagssummen, mittleren Temperaturen und zahlreichen anderen klimatischen Parametern aus.

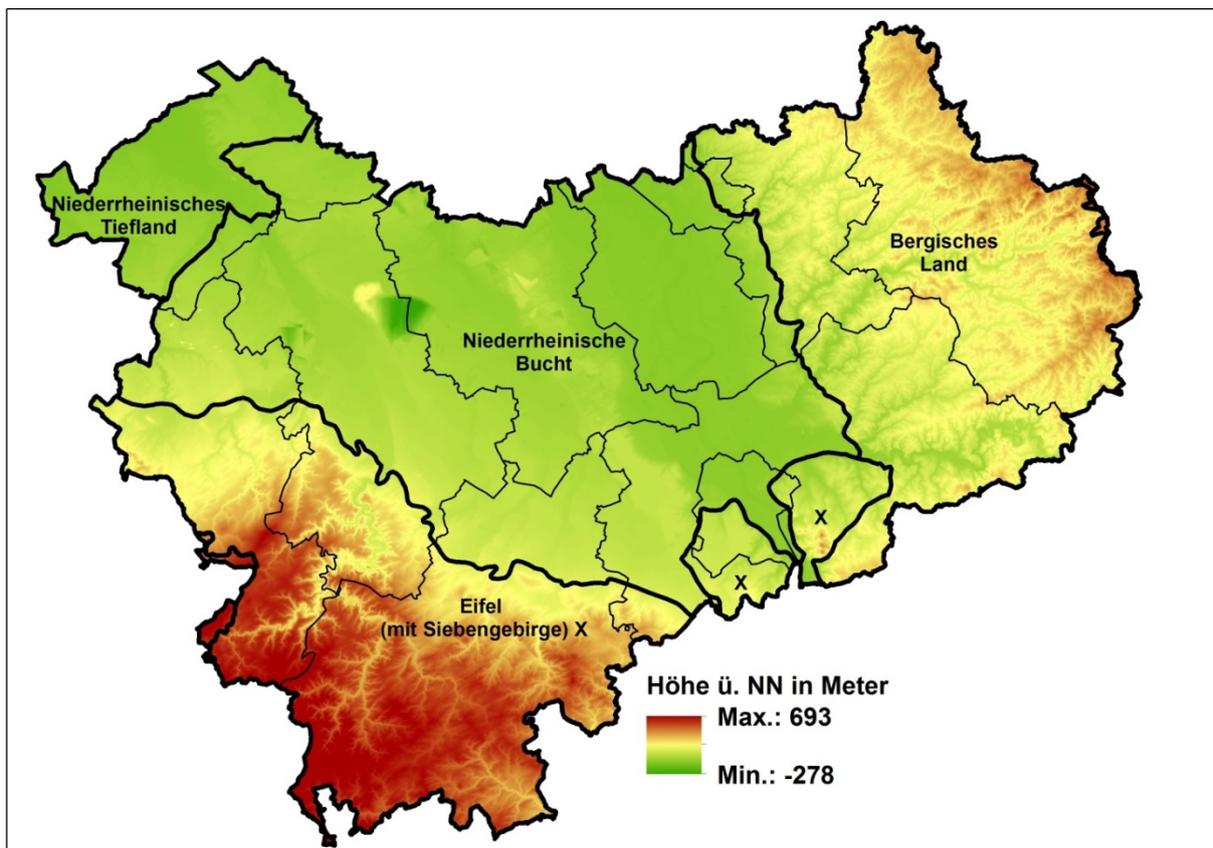


Abbildung 4: Topographie der Planungsregion Köln und naturräumliche Gliederung (Kartengrundlage: LAND NRW, 2017; Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)

In den folgenden Unterkapiteln wird näher auf die klimatischen Parameter Lufttemperatur (2.1.1) und die klimatischen Kenntage zur Lufttemperatur (2.1.2) eingegangen. Danach erfolgt die Darstellung des Parameters Niederschlag (2.1.3) sowie der dazugehörigen Kenntage und zuletzt die Vorstellung der Schneebedeckung (2.1.4). Dabei wird das aktuelle Klima der Klimanormalperiode (KNP) 1981 – 2010 eingehender auch in Bezug auf die der Topographie geschuldeten räumlichen Unterschiede beschrieben. Neben den klimatischen Kenngrößen der aktuellen Klimanormalperiode (1981 – 2010) werden auch die Werte der Klimanormalperiode 1971 – 2000 aufgeführt, da diese Klimanormalperiode als Referenz für die in Kapitel 2.2 dargestellten Zukunftsprojektionen verwendet wird. Darüber hinaus werden auch die bereits registrierten Veränderungen der unterschiedlichen Klimaparameter in der Planungsregion seit der Klimanormalperiode 1951 – 1980 dargestellt. Zum Schluss werden die beobachteten anthropogenen Klimaänderungen bewertet (2.1.5.).

Weitere Informationen zum beobachteten, rezenten anthropogenen Klimawandel und dessen Monitoring für ganz NRW sind dem aktuellen LANUV-Fachbericht 74 (LANUV 2016) sowie den Internetangeboten www.klimafolgenmonitoring.nrw.de und www.klimaatlas.nrw.de des LANUV NRW zu entnehmen.

2.1.1. Lufttemperatur

Die Lufttemperatur ist eine zentrale Größe zur Dokumentation des regionalen Klimas. Darüber hinaus ist sie auch ein wesentlicher Indikator des anthropogenen Klimawandels und wird durch den künstlich erheblich verstärkten Treibhauseffekt beeinflusst.

Die mittlere Jahrestemperatur für die gesamte Planungsregion Köln betrug für die Klimanormalperiode 1981 – 2010 9,7 °Celsius (°C), während die mittlere Jahrestemperatur in der KNP 1971 – 2000 noch bei rund 9,4 °C lag. Die mittleren Temperaturen für die Planungsregion und die Jahreszeiten innerhalb der KNP 1981 – 2010 sowie der KNP 1971 – 2000 sind in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. Tabelle 1** dargestellt.

Tabelle 1: Jährliche Durchschnittstemperaturen der KNP 1971 – 2000 und 1981 – 2010.
(Datenquelle: DWD)

	KNP 1971 - 2000	KNP 1981 - 2010
Frühjahr	8,8 °C	9,3 °C
Sommer	16,8 °C	17,2 °C
Herbst	9,6 °C	10,0 °C
Winter	2,5 °C	2,4 °C
Jahr	9,4 °C	9,7 °C

Die topographische Gliederung der Region spiegelt sich sehr deutlich in der räumlichen Verteilung der mittleren jährlichen Lufttemperatur wieder. **Abbildung 5** stellt anschaulich dar, wie sich die Höhenlage, aber auch der Ballungsraum Köln, auf die durchschnittliche Jahrestemperatur der KNP 1981 – 2010 auswirkt. In der zentralen Beckenlage entlang von Rhein und Rur (Niederrheinische Bucht und Niederrheinisches Tiefland) werden mittlere jährliche

Temperaturen von 10 bis 11 °C, im Ballungsraum Köln sogar 11 – 12 °C, erreicht, während aufgrund zunehmender Höhe im Bergischen Land und Eifel mittlere Temperaturen von 9 – 10 °C am Mittelgebirgsfuß und 8 – 9 °C in den mittleren Hochlagen vorkommen. In der Eifel erreichen die mittleren Temperaturen in den dort vorliegenden Hochlagen nur noch Werte zwischen 7 – 8 °C. In **Tabelle 2** werden ergänzend die mittleren jährlichen Temperaturen der vier Großlandschaften, über die sich der Regierungsbezirk erstreckt, gesondert für die beiden KNP dargestellt.

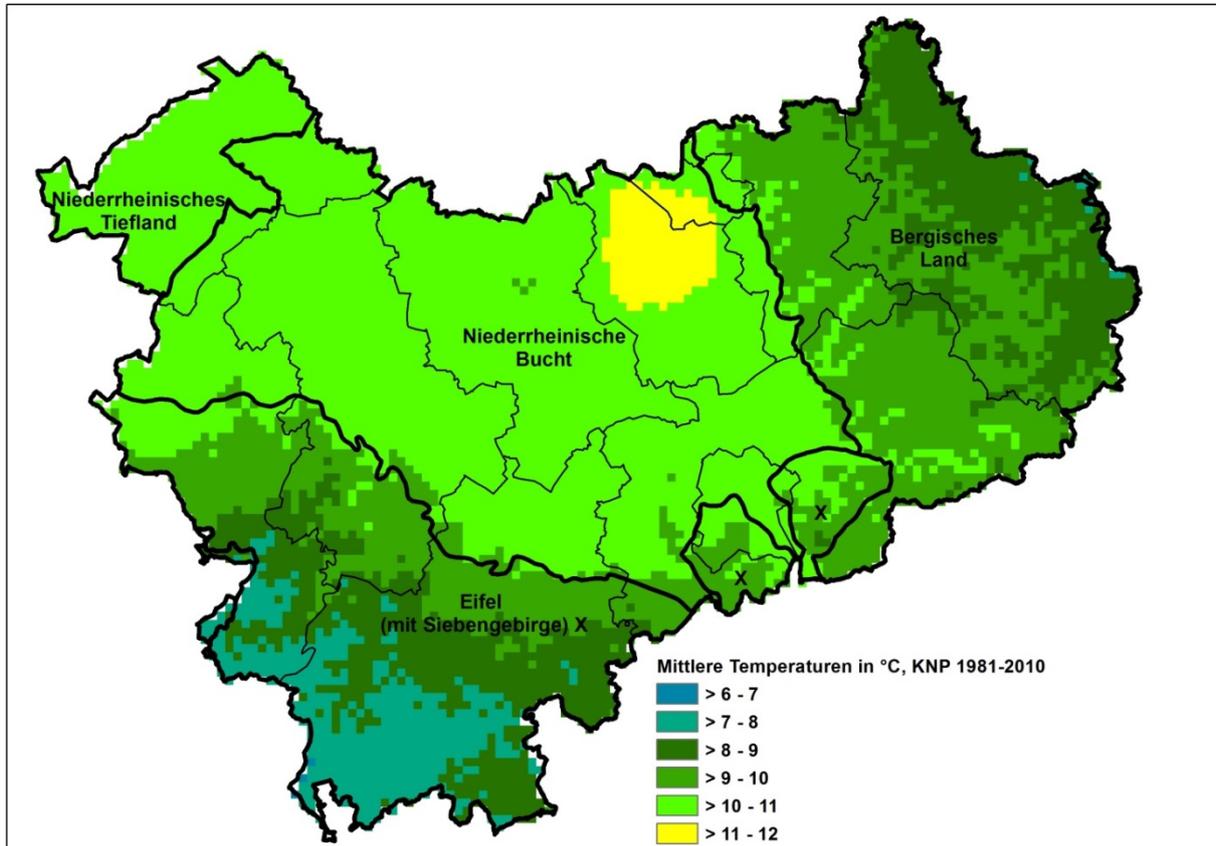


Abbildung 5: Jährliche Durchschnittstestemperaturen 1981 – 2010

Daten: DWD; Kartengrundlage: LAND NRW , 2017; Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)

Tabelle 2: Mittlere jährliche Temperaturen in den Großlandschaften BergischeLand,Eifel, Niederrheinische Bucht und NiederrheinischesTiefland für die KNP 1971 – 2000 und 1981 – 2010. (Datenquelle: DWD)

	KNP 1971 - 2000	KNP 1981 - 2010
Bergisches Land	9,2 °C	9,5 °C
Eifel	8,6 °C	8,9 °C
Niederrheinische Bucht	10,2 °C	10,6 °C
Niederrheinisches Tiefland	10,3 °C	10,6 °C

Anhand der für Nordrhein-Westfalen vorliegenden Rasterdaten der Lufttemperaturen des Deutschen Wetterdienstes (horizontale Auflösung ca. 1 x 1 km), die durch eine höhenge-
wichtete Interpolation aus den Stationsdaten generiert wurden, lassen sich im Vergleich der

Klimanormalperiode 1951 – 1980 und 1981 – 2010 für die Planungsregion Köln bereits deutliche Temperaturveränderungen ableiten: Während der KNP 1951 – 1980 lag in der Planungsregion Köln die mittlere Jahrestemperatur bei rund 8,9 °C, in der KNP 1981 – 2010 bei rund 9,7 °C. Dies entspricht einem auf die Fläche gemittelten Temperaturanstieg von rund 0,8 Kelvin (K). Eine Gegenüberstellung der mittleren jahreszeitlichen Temperaturen der Klimanormalperioden 1951 – 1980 und 1981 – 2010 innerhalb der Planungsregion zeigt **Tabelle 3**.

Tabelle 3: Jährliche und saisonale Durchschnittstemperaturen 1981 – 2010 im Vergleich zu 1951 – 1980. (Datenquelle: DWD).

	KNP 1951 - 1980	KNP 1981 - 2010	Differenz
Frühjahr	8,2 °C	9,3 °C	1,1 K
Sommer	16,2 °C	17,2 °C	1,0 K
Herbst	9,5 °C	10,0 °C	0,5 K
Winter	1,7 °C	2,4 °C	0,7 K
Jahr	8,9 °C	9,7 °C	0,8 K

Es wird deutlich, dass sich die Temperaturen in allen Jahreszeiten im Vergleich der beiden Klimanormalperioden erhöht haben. Dabei haben sich in der Planungsregion die mittleren Herbsttemperaturen mit 0,5 Kelvin am moderatesten erhöht, während die mittleren Frühlings- und Sommertemperaturen mit 1,1 bzw. 1,0 Kelvin am stärksten angestiegen sind.

Beim Vergleich der KNPs 1951 – 1981 und 1981 – 2010 gibt es nur wenig räumliche Unterschiede. Die Spanne der Temperaturdifferenz beträgt in der Fläche der Planungsregion 0,7 bis 0,9 K. Abweichungen darüber hinaus wurden in den Rasterdaten zwar festgestellt (siehe Abbildung 3 im LANUV Fachbericht 74, LANUV 2016), doch gibt es deutliche Hinweise darauf, dass diese Abweichungen Interpolationsfehler sind. Daher wurde an dieser Stelle auf eine räumliche Darstellung der Temperaturdifferenzen zwischen den beiden KNPs verzichtet. Der Vergleich der Klimanormalperioden 1951 – 1980 und 1981 – 2010 für die vier Großlandschaften, in denen sich der Regierungsbezirk Köln befindet, hingegen zeigt eine recht einheitliche Temperaturdifferenz von 0,7 K und 0,9 K, wie in **Tabelle 4** zu sehen ist.

Tabelle 4: Jährliche Durchschnittstemperaturen 1981 – 2010 im Vergleich zu 1951 – 1980 in den Großlandschaften Bergisches Land, Eifel, Niederrheinische Bucht und Niederrheinisches Tiefland. (Datenquelle: DWD).

	KNP 1951 - 1980	KNP 1981 - 2010	Differenz
Bergisches Land	8,8 °C	9,5 °C	0,7 K
Eifel	8,0 °C	8,9 °C	0,9 K
Niederrheinische Bucht	9,7 °C	10,6 °C	0,9 K
Niederrheinisches Tiefland	9,9 °C	10,6 °C	0,7 K

Um den mittleren Anstieg von rund 0,8 K in der Planungsregion zwischen den Klimanormalperioden 1951 – 1980 und 1981 – 2010 einzuordnen und in eine geologische Zeitperspektive zu setzen, ist ein Blick auf die Erwärmungsrate beim natürlichen Übergang von der letzten Eiszeit zur jetzigen Warmzeit (Holozän) vor ungefähr 11.700 Jahren hilfreich (WALKER et al. 2009). Zu der Zeit erwärmte sich das Klima global mit durchschnittlich 0,3 bis 0,8 K in

1.000 Jahren (STOCKER et al. 2013b). Die hier beschriebene Erwärmung von 0,8 K seit der KNP 1951 – 1980 innerhalb der Planungsregion (und ganz NRW) ist demnach mindestens um das zwanzigfache beschleunigt gegenüber dem globalen Temperaturübergang von der letzten Eiszeit in die jetzige Warmzeit. Auch der globale Temperaturanstieg im gleichen Zeitraum liegt mit rund 0,4 Kelvin (NASA GODDARD INSTITUTE FOR SPACE STUDIES 2018) beim mindestens zehnfachen des globalen Temperaturanstiegs während des Übergangs von der letzten Eiszeit in die aktuelle Warmzeit.

In der eiszeitlichen und früh-holozänen Klimageschichte Europas bzw. der Nordhalbkugel hat es zwar bereits ähnlich starke oder sogar stärkere Temperaturanstiege gegeben, allerdings waren diese immer gekoppelt an den Kollaps und Neustart der Atlantischen Thermohalinen Zirkulation (Golfstrom), den sogenannten Dansgaard-Oeschger-Ereignissen (vgl. HENRY et al. 2016; ZHANG et al. 2014). Solche Ereignisse kann es aber nur während Kaltzeiten bzw. beim Übergang in eine Warmzeit geben, wenn genügend kalte Süßwassermassen aus zerfallenden Eisschilden einer Eiszeit dafür zu Verfügung stehen. Im Gegensatz zu diesen Temperaturschwankungen findet der derzeitige anthropogene Klimawandel mit seinen starken Temperaturanstiegen bereits in einer Warmzeit statt, was naheliegender Weise am stark angestiegenen Strahlungsantrieb liegt und nicht an einer Reaktivierung des ohnehin aktiven Golfstroms.

Basierend auf zahlreichen unterschiedlichen Klimaarchiven wird die zurzeit stattfindende globale Erderwärmung eindeutig als anomal für die letzten 20.000 Jahre bezeichnet (BJÖRCK 2011). Im direkten Vergleich mit sehr hoch aufgelösten Temperaturrekonstruktionen, die über 1.000 Jahre und weiter zurückreichen, ist die bis heute verursachte globale Rate der Erwärmung mit hoher Wahrscheinlichkeit beispiellos (MARCOTT et al. 2013; MANN et al. 2008; SMITH et al. 2015)

2.1.2. **Kenntage Temperatur**

Temperaturkenntage dienen dazu, besonders warme oder kalte Tage innerhalb eines Jahres zu identifizieren. Somit geben sie einen Eindruck über die Wärmebelastung oder den Kältereiz in einem Jahr wieder. Darüber hinaus können sie auch dabei helfen, den Wandel der Jahreszeiten zu dokumentieren. Insgesamt werden in diesem Fachbeitrag vier verschiedene temperaturspezifische Kenntage für das Monitoring des Klimawandels herangezogen. Für die Beschreibung von warmen Tagen werden die Kenntage Heiße Tage und Sommertage verwendet. Heiße Tage sind Tage, an denen eine Temperatur von mindestens 30 °C erreicht wird. Sommertage liegen vor, wenn die Tagestemperaturen über 25 °C liegen. Für die Beschreibung von kalten Tagen werden die Kenntage Eistage und Frosttage verwendet. Eistage liegen vor, wenn die Temperatur an einem Tag 0 °C nicht überschreitet, Frosttage bei Tagestiefsttemperaturen von unter 0 °C. Die Anzahl aller Kenntage, die im Text genannt werden, verstehen sich als auf ganze Zahlen gerundete Werte. In Anlehnung an den Fachbericht 74 (LANUV 2016) werden hier die Kenntage Heiße Tage und Eistage für die Planungsregion genauer dargestellt, während Sommer- und Frosttage nur kurz angerissen werden.

Heiße Tage

In der Klimanormalperiode 1981 – 2010 gab es im räumlichen Mittel über die gesamte Planungsregion rund 6 Heiße Tage pro Jahr, ebenso wie in der vorangegangenen KNP 1971 – 2000. In **Abbildung 6** ist die räumliche Verteilung der mittleren Anzahl der Heißen Tage pro Jahr in der Planungsregion dargestellt. Dabei ist die topographische Gliederung der Planungsregion ebenfalls deutlich erkennbar. Die Hochlagen der Eifel im Südwesten der Planungsregion erreichten gerade einmal 0 – 2 Heiße Tage pro Jahr, während die übrigen Mittelgebirgsflächen der Eifel und des Bergischen Landes, je nach Höhenstufe, zwischen 2 – 4 und 4 – 6 Heiße Tage pro Jahr während der KNP 1981 – 2010 erlebten. Die tiefer gelegenen Gebiete des Niederrheinischen Tieflandes und der Niederrheinischen Bucht haben in der gleichen Zeit im Mittel flächendeckend 6 – 8 Heiße Tage pro Jahr erlebt, wobei in der Niederrheinischen Bucht, insbesondere am Rhein, auch verbreitet 8 – 10 Heiße Tage pro Jahr vorkamen.

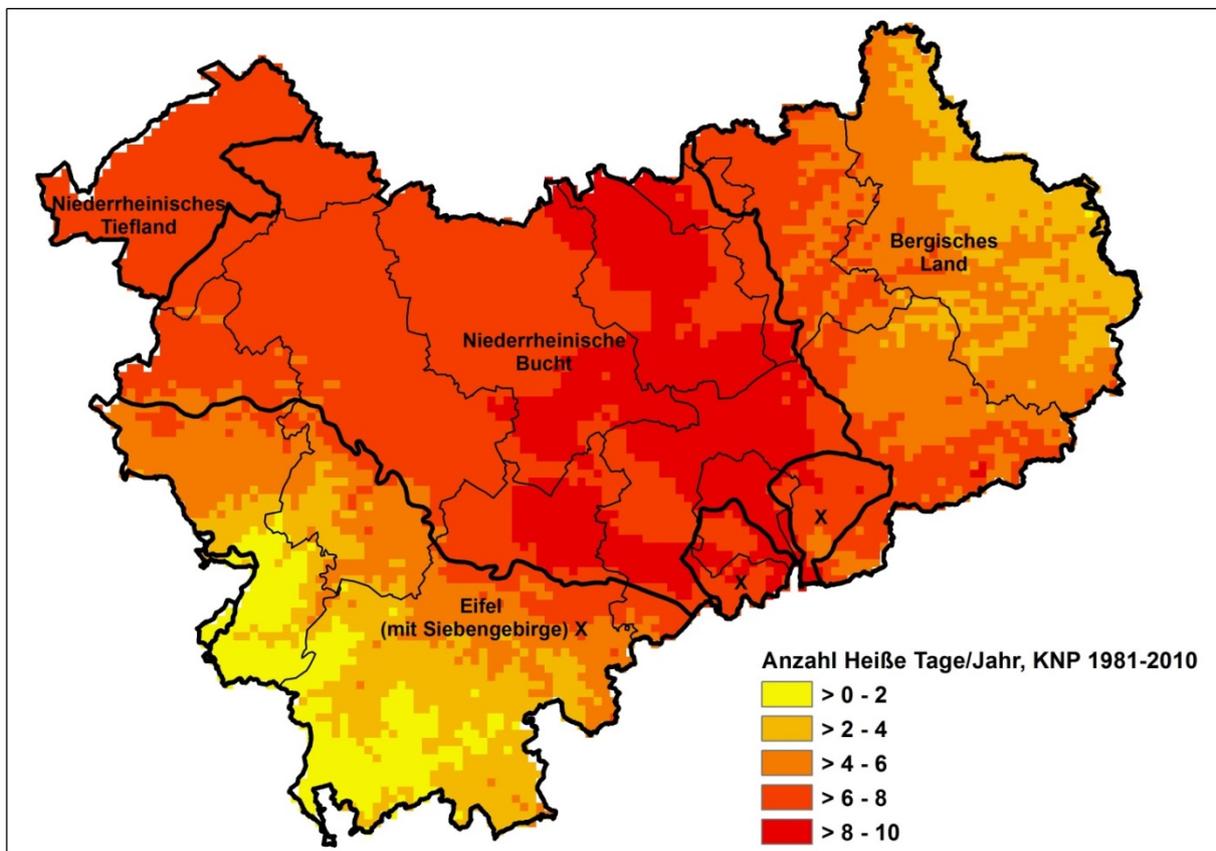


Abbildung 6: Mittlere Anzahl an Heißen Tage pro Jahr im Zeitraum 1981 – 2010 (Daten: DWD; Kartengrundlage: LAND NRW (2017) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)

In der Klimanormalperiode 1951 – 1980 gab es in der Planungsregion im Durchschnitt lediglich ca. 3 Heiße Tage im Jahr. Für die KNP 1981 – 2010 ist die Zahl der Heißen Tagen pro Jahr somit um 3 zusätzliche Tage im Vergleich zur vorangegangenen KNP angestiegen.

Abbildung 7 stellt die räumliche Verteilung der Zunahme der Heißen Tage pro Jahr dar. Während im Südwesten in großen Teilen der Eifel keine Zunahme der Heißen Tage pro Jahr

seit der KNP 1951 – 1980 festgestellt wurde, konnte im weitaus größten Flächenanteil der Planungsregion Köln eine Zunahme von 1 – 3 Heißen Tagen pro Jahr registriert werden. Im Osten der Niederrheinischen Bucht und in größeren Gebieten des Bergischen Landes wurde jedoch auch eine Zunahme der Heißen Tage von 3 bis 6 Tagen pro Jahr festgestellt.

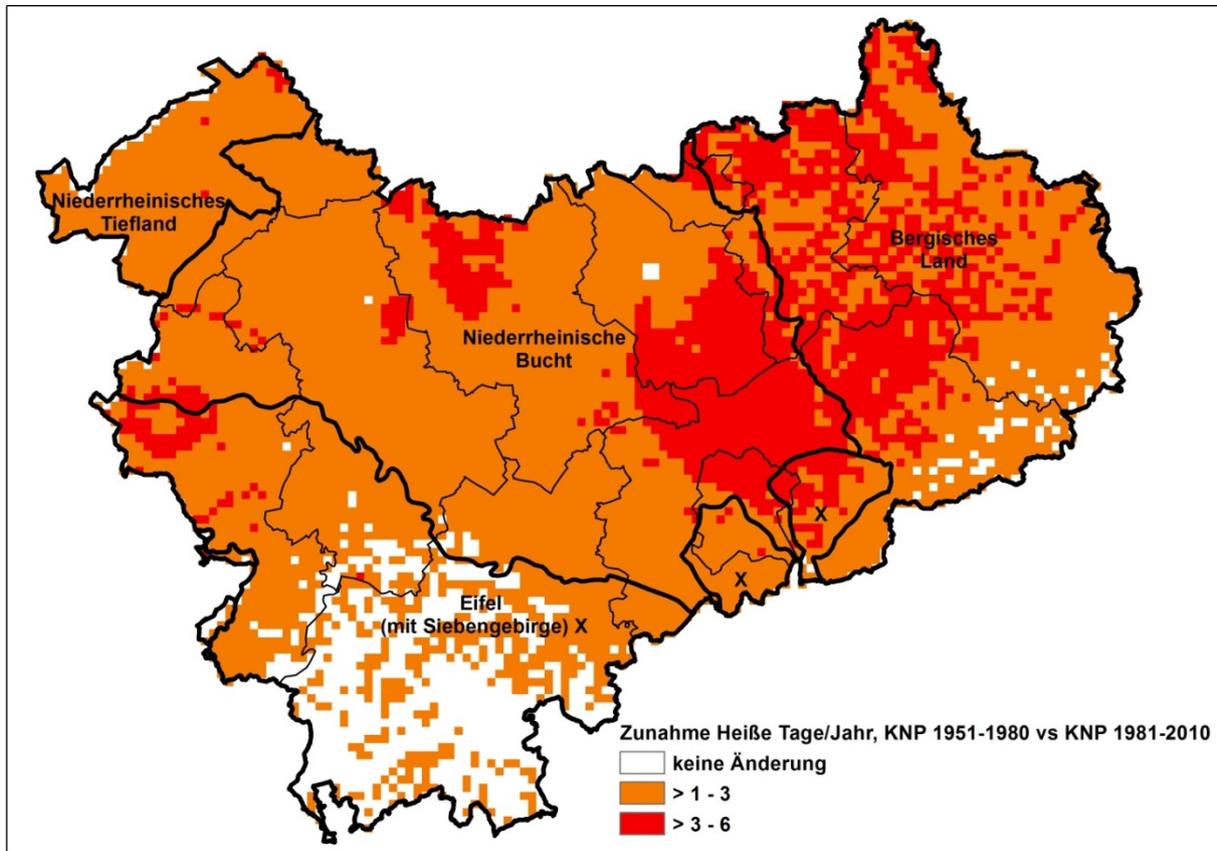


Abbildung 7: Änderung der Anzahl an Heißen Tage pro Jahr im Vergleich der KNP 1981 – 2010 zu 1951 – 1980 (Daten: DWD; Kartengrundlage: LAND NRW, 2017; Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)

Sommertage

In der Klimanormalperiode 1981 – 2010 gab es in der Planungsregion im Durchschnitt rund 34 Sommertage pro Jahr, während es in der KNP 1971 – 2000 im Mittel knapp 30 Sommertage pro Jahr waren. In der KNP 1951 – 1980 kamen durchschnittlich 24 Sommertage pro Jahr vor. Somit ergibt sich ein Anstieg der durchschnittlichen Sommertage pro Jahr von insgesamt 10 Tagen seit der KNP 1951 – 1980.

Eistage

In der Klimanormalperiode 1981 – 2010 gab es in der Planungsregion Köln im Mittel 13 Eistage pro Jahr, ebenso wie in der vorangegangene Klimanormalperiode 1971 – 2000. In **Abbildung 8** wird die räumliche Verteilung der mittleren Anzahl der Eistage pro Jahr während der KNP 1981 – 2010 präsentiert. Ähnlich wie bei der mittleren Jahrestemperatur und den Heißen Tagen machen sich die Höhenunterschiede deutlich bemerkbar. Während innerhalb der KNP 1981 – 2010 in den Beckenlagen im Durchschnitt 6 bis 10 Eistage pro Jahr auftraten, gab es in den Mittelgebirgslagen des Bergischen Landes und vor allem in denen der Eifel deutlich mehr Eistage. Ja nach Höhenlage betrug die Anzahl der Eistage in einem Großteil des Bergischen Landes 10 – 20 Tage pro Jahr, nur in vereinzelt Gebieten lagen dort die Werte höher. Aufgrund der höheren Lage der Eifel ist vor allem der Südwesten der Planungsregion durch die insgesamt höchste Anzahl von Eistagen pro Jahr gekennzeichnet. Hier werden Werte von jährlich 20 – 30 Eistagen erreicht, örtlich sogar bis zu 34 Eistage pro Jahr.

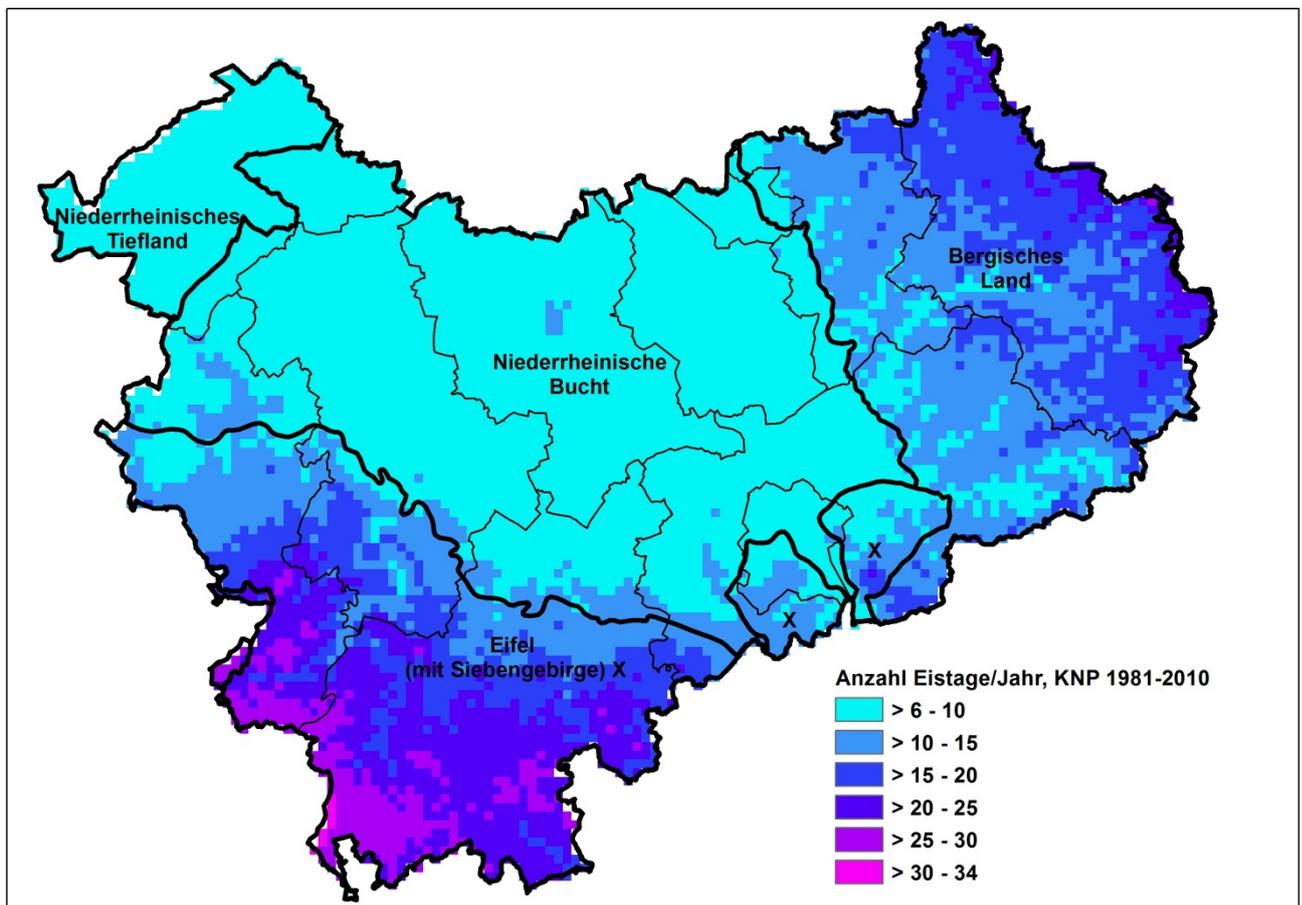


Abbildung 8: Mittlere Anzahl an Eistagen pro Jahr im Zeitraum 1981 – 2010
(Daten: DWD; Kartengrundlage: LAND NRW, 2017; Datenlizenz
Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)

Die durchschnittliche Anzahl an Eistagen pro Jahr während der Klimanormalperiode 1951 – 1980 betrug 15 Tage, dem gegenüber stehen 13 Eistage pro Jahr in der KNP 1981 – 2010. Somit gab es im Mittel einen leichten Rückgang um 2 Eistage für die gesamte Planungsregi-

on. In **Abbildung 9** ist die räumliche Verteilung der Abnahme an Eistagen pro Jahr im Vergleich der KNP 1951 – 1980 zur KNP 1981 – 2010 dargestellt. Während die überwiegende Mehrheit der Planungsregion Köln einen flächendeckenden Rückgang der Eistage um 2 bis 4 Tage weniger pro Jahr verzeichnet, halten sich die Rückgänge der Eistage im Niederrheinischen Tiefland in Grenzen. Dort liegen keine bis leichte Rückgänge (-2 Eistage pro Jahr) vor. Die größten Rückgänge bei den Eistagen (4 – 6 Eistage pro Jahr weniger) sind ganz im Westen in der Aachener Region, in der Eifel und im äußersten Osten des Bergischen Landes anzutreffen. Die starken Rückgänge der Eistage in der Aachener Region und in der Eifel sind jedoch mit Vorsicht zu interpretieren, da erstens die konzentrische Struktur dieser Werteklasse in der Eifel auf Interpolationsfehler im Raster schließen lässt, und es zweitens auch beim allgemeinen Temperaturanstieg (siehe Kapitel 2.1.1) Hinweise auf weitere Interpolationsfehler im Aachener Raum gibt.

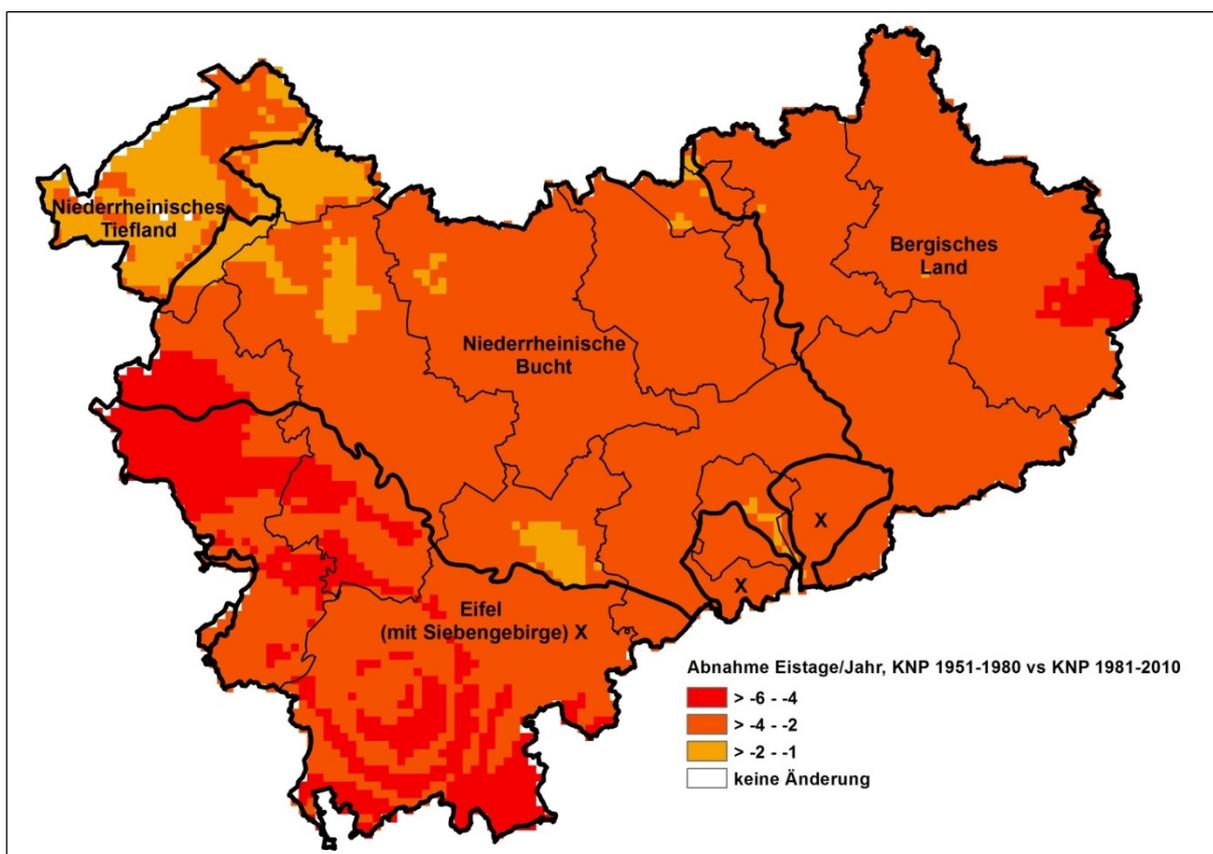


Abbildung 9: Änderung der Anzahl an Eistagen pro Jahr im Vergleich der KNP 1981 – 2010 mit der KNP 1951 – 1980
(Daten: DWD; Kartengrundlage: LAND NRW, 2017; Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)

Frosttage

Während den Klimanormalperioden 1981 – 2010 und 1971 – 2000 kamen in der Planungsregion Köln im Mittel 63 Frosttage pro Jahr vor. In der KNP 1951 – 1980 waren es im Schnitt noch 71 Frosttage pro Jahr. Damit hat sich die jährliche Anzahl der Frosttage im Vergleich zur KNP 1951 – 1980 im Schnitt um 8 Tage pro Jahr vermindert.

Fazit Temperaturkenntage

Beim Vergleich der Klimanormalperiode 1951 – 1980 mit der Klimanormalperiode 1981 – 2010 lassen sich deutliche Veränderungen bei den Temperaturkenntagen feststellen. Die Anzahl der Heißen Tage und der Sommertage haben insgesamt zugenommen, wohingegen die Eis- und Frosttage weniger geworden sind. In **Tabelle 5** werden die Veränderungen bei den Temperaturkenntagen nochmals zusammenfassend veranschaulicht.

Tabelle 5: Vergleich der Temperaturkenntage pro Jahr zwischen KNP 1951 – 1980 und KNP 1981 – 2010. (Datenquelle: DWD).

	KNP 1951 - 1980	KNP 1981 - 2010	Differenz
Heiße Tage	3	6	3
Sommertage	24	34	10
Eistage	15	13	-2
Frosttage	71	63	-8

2.1.3. Niederschlag

Der klimatische Parameter Niederschlag ist deutlich indirekter mit dem durch anthropogene Eingriffe verursachten Temperaturanstieg verknüpft. Zwar kann eine wärmere Atmosphäre mehr Wasserdampf aufnehmen, siehe hierzu die Beschreibungen zur Clausius–Clapeyron Gleichung in den Berichten des IPCCs (IPCC 2007, 2012, 2013), und sorgt somit für insgesamt mehr Niederschlag. Dennoch gibt es zahlreiche weitere Faktoren, welche die Menge, die Häufigkeit und räumliche Verteilung von Niederschlägen beeinflussen. Dadurch ist dieser Parameter insgesamt erheblich variabler als der Parameter Lufttemperatur.

Neben der dominierenden Windrichtung aus West bis Südwest spielt die Topographie der Planungsregion eine wichtige Rolle bei der absoluten Summe der Niederschläge. Im Allgemeinen steigt die mittlere jährliche Niederschlagsmenge mit der Höhenlage des Geländes. Dabei gibt es allerdings deutliche Unterschiede, je nachdem, wie die Höhenzüge in der Hauptwindrichtung stehen. Mittelgebirgshänge, die der Hauptwindrichtung zugewandt sind (Luv), zwingen feuchte Luftmassen zum Aufstieg und somit zur Abkühlung, wodurch sie abregnen. Daher haben Mittelgebirgshänge, die nach Westen und Südwesten gerichtet sind, höhere Niederschlagssummen als die windabgewandten Mittelgebirgshänge (Lee). Diese sind dementsprechend geprägt von trockeneren Luftmassen, die sich beim Absinken, nachdem sie auf der Luv-Seite zum Aufsteigen und Abregnen gezwungen wurden, schneller erwärmen als feuchtere Luftmassen. Dadurch gibt es an diesen windabgeneigten Mittelgebirgshängen weniger Niederschlag und mehr Sonnenstunden. Bei ausgeprägten Winden senkrecht zum topographischen Hindernis kann lokal sogar ein leichter Föhneffekt auftreten (DEUTSCHER WETTERDIENST - WETTERLEXIKON 2017)).

Der mittlere jährliche Niederschlag, in Millimetern pro Jahr (mm/a) gemessen, lag in der Planungsregion Köln während der KNP 1981 – 2010 bei rund 917 mm/a. Für die KNP 1971 – 2000 wurden rund 876 mm/a gemessen. In **Tabelle 6** werden die jahreszeitlichen Unter-

schiede in der Niederschlagssumme zwischen der aktuellen KNP 1981 – 2010 und der vorangegangenen KNP 1971 – 2000 dargestellt.

Tabelle 6: Mittlere jährliche und saisonale Niederschlagssummen 1971 – 2000 und 1981 – 2010. (Datenquelle: DWD).

	KNP 1971 - 2000	KNP 1981 - 2010
Frühjahr	203 mm	209 mm
Sommer	230 mm	240 mm
Herbst	220 mm	230 mm
Winter	223 mm	239 mm
Jahr	876 mm	917 mm

Abbildung 10 stellt die räumliche Verteilung der mittleren jährlichen Niederschlagssummen der KNP 1981 – 2010 in der Planungsregion dar. Da die Summe der mittleren Niederschläge in der Regel mit der Höhenlage steigt, zeichnet sich in hier grob eine ähnliche Raumstruktur wie bei der in **Abbildung 4** dargestellten Topographie ab, wo aber auch Luv- und Lee - Effekte eine besondere Rolle spielen. Insbesondere das Bergische Land, welches direkt im Luv liegt, erreicht mit durchschnittlich bis zu über 1.500 mm/a Spitzenwerte innerhalb der Planungsregion. Dagegen ist es in der höher gelegenen, sich jedoch bereits im Lee der benachbarten belgischen Ardennen befindende Eifel deutlich trockener. Dort wird nur im äußersten Westen mit > 1.300 mm/a ein annähernd ähnliches Niederschlagsniveau erreicht. Im Niederrheinischen Tiefland und in der Niederrheinischen Bucht werden im Großteil der Flächen mittlere Niederschlagssummen von 600 – 800 mm/a erreicht. In einem kleinen Gebiet, der Zülpicher Börde im Kreis Euskirchen, erreichen die Niederschläge nur Werte von unter 600 mm/a. Hier wirkt sich die Lee-Lage im Regenschatten der Ardennen bzw. Eifel besonders prägnant aus. In **Tabelle 7** werden die mittleren jährlichen Niederschlagssummen der KNP 1971 – 2000 und KNP 1981 - 2010 in den vier Großlandschaften Bergisches Land, Eifel, Niederrheinische Bucht und Niederrheinisches Tiefland der Vollständigkeit halber dargestellt.

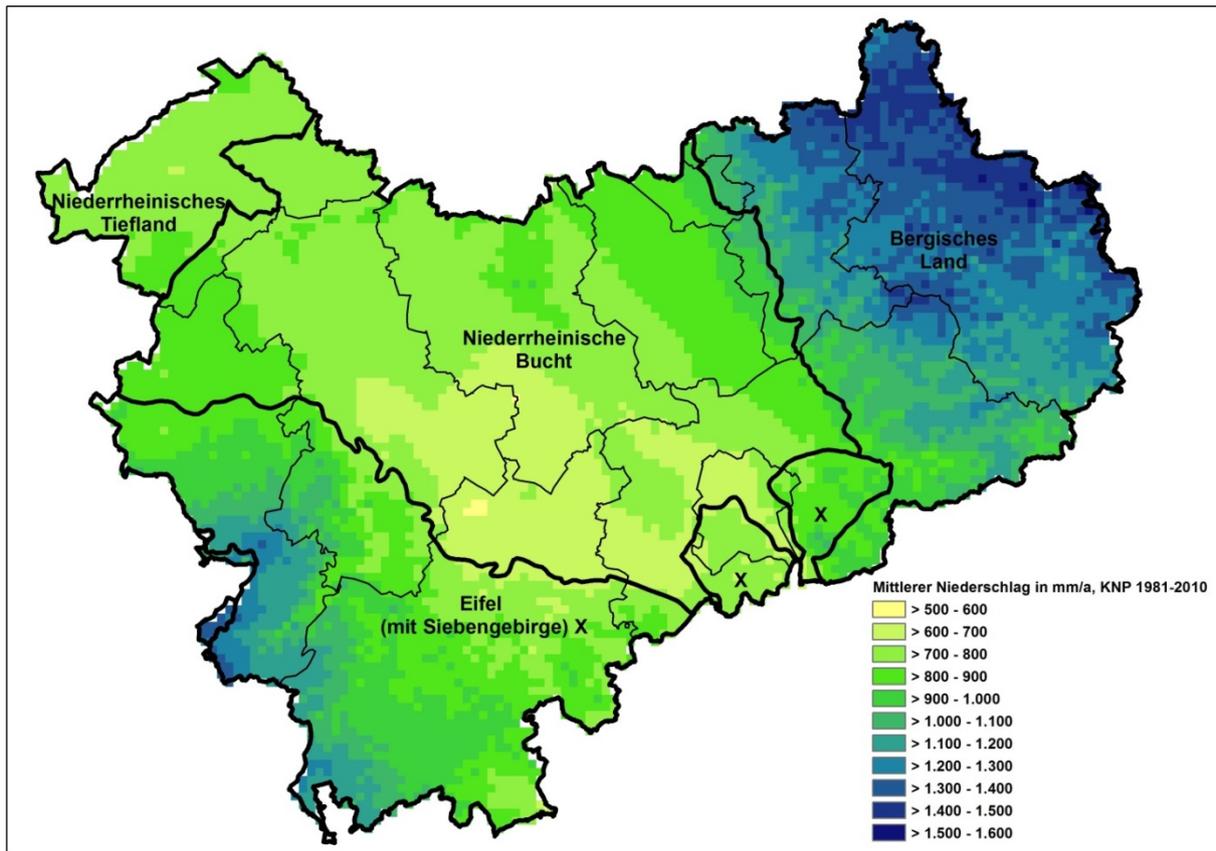


Abbildung 10: Mittlerer jährlicher Niederschlag im Zeitraum 1981 – 2010
 (Daten: DWD; Kartengrundlage: LAND NRW, 2017;
 Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)

Tabelle 7: Jährliche durchschnittliche Niederschlagssummen in den Großlandschaften Bergisches Land, Eifel, Niederrheinische Bucht und Niederrheinisches Tiefland während der KNP 1971 – 2000 und 1981 – 2010.

	KNP 1971 - 2000	KNP 1981 - 2010
Bergisches Land	1107 mm/a	1163 mm/a
Eifel	892 mm/a	899 mm/a
Niederrheinische Bucht	742 mm/a	757 mm/a
Niederrheinisches Tiefland	767 mm/a	791 mm/a

Im Vergleich der Klimanormalperiode 1951 – 1980 mit der KNP 1981 – 2010 hat sich in der Planungsregion die mittlere jährliche Niederschlagssumme mit einem Zuwachs von 55 mm um 6 % leicht erhöht. In der folgenden **Tabelle 8** werden die mittleren Niederschlagssummen der KNP 1951 – 1980 und der aktuellen KNP 1981 – 2010 im Jahreszeitenvergleich gegenübergestellt.

Tabelle 8: Änderungen der saisonalen Niederschlagssummen im Vergleich der KNP 1951 – 1980 zu 1981 – 2010. (Datengrundlage: DWD)

	KNP 1951 - 1980	KNP 1981 - 2010	Differenz
Frühjahr	188 mm	209 mm	+21 mm
Sommer	259 mm	239 mm	-20 mm
Herbst	203 mm	230 mm	+27 mm
Winter	210 mm	239 mm	+29 mm
Jahr	862 mm	917 mm	+55 mm

Anhand dieses tabellarischen Vergleichs wird deutlich, dass insbesondere im Herbst (+ 27 mm) und Winter (+29 mm) die größten Anstiege registriert wurden. Mit einem Zuwachs von 21 mm hat sich die Niederschlagsmenge im Frühjahr etwas weniger stark erhöht. Dem gegenüber hat sich die mittlere Niederschlagsmenge des Sommers sogar mit -20 mm leicht reduziert. Somit besteht das zuvor existierende Sommermaximum bei den Niederschlägen nicht mehr, die saisonalen Niederschlagssummen haben sich weiter angeglichen.

In **Abbildung 11** ist die räumliche Verteilung der Änderungen der mittleren jährlichen Niederschlagssummen im Vergleich der Klimanormalperiode 1951 – 1980 mit der KNP 1981 – 2010 dargestellt. Gut erkennbar sind die besonders hohen Steigerungen der mittleren Jahresniederschläge im Osten des Bergischen Landes, die lokal auch über 150 mm/a hinausgehen. Auch im Westen der Niederrheinischen Bucht und im Niederrheinischen Tiefland gibt es Steigerungen von über 90, teilweise von über 120 mm/a, ebenso im Süden der Eifel. Die überwiegende Fläche der Niederrheinischen Bucht, des Niederrheinischen Tieflands und auch der Eifel erlebten jedoch weitgehend moderate Steigerungen von 10 – 30 beziehungsweise 30 – 60 mm/a seit der KNP 1951 – 1980. Lokal stark begrenzt gibt es auch negative Unterschiede beim Vergleich der aktuellen Klimanormalperiode mit der KNP 1951 – 1980. Besonders in der Eifel gibt es kleinräumige Gebiete mit bis zu 30 mm/a weniger. Gerade das sehr kleinräumige Gebiet ganz im Westen der Eifel mit den höchsten negativen Niederschlagsveränderungen scheint jedoch auf einem Interpolationsfehler zu beruhen. Die begrenzte Fläche und der recht hohe Abweichungswert von bis zu – 51 mm/a erscheinen im Kontext der umgebenen Topographie unplausibel. Abschließend wird in **Tabelle 9** der Vergleich der mittleren jährlichen Niederschlagssummen zwischen beiden KNP für die Großlandschaften Bergisches Land, Eifel, Niederrheinische Bucht und Niederrheinisches Tiefland dargestellt.

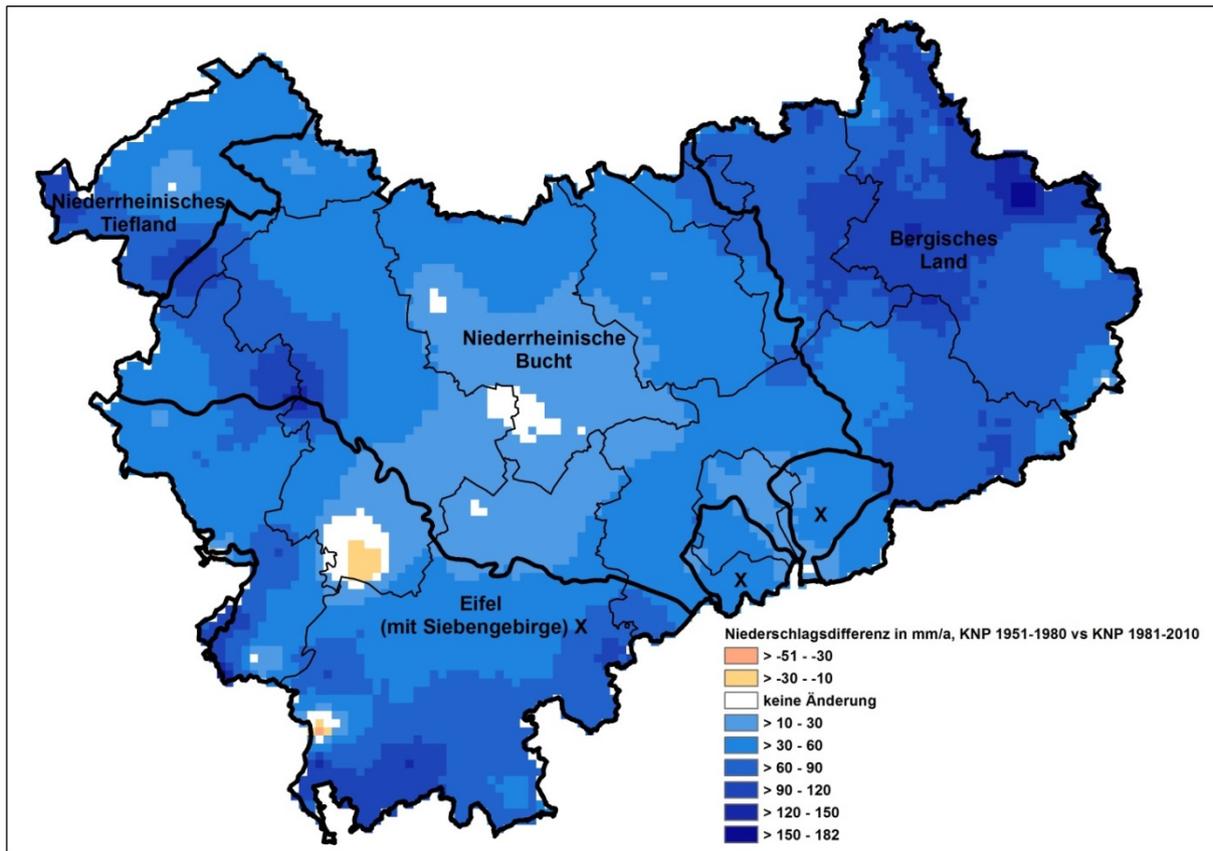


Abbildung 11: Änderungen der mittleren jährlichen Niederschlagssumme im Vergleich der KNP 1951 – 1980 zu 1981 – 2010. (Daten: DWD; Kartengrundlage: LAND NRW, 2017; Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)

Tabelle 9: Änderungen der mittleren jährlichen Niederschlagssummen in den Großlandschaften Bergisches Land, Eifel, Niederrheinische Bucht und Niederrheinisches Tiefland im Vergleich der KNP 1951 – 1980 zu 1981 – 2010.

	KNP 1951 - 1980	KNP 1981 - 2010	Differenz
Bergisches Land	1092 mm/a	1163 mm/a	+71 mm/a
Eifel	869 mm/a	899 mm/a	+30 mm/a
Niederrheinische Bucht	733 mm/a	757 mm/a	+24 mm/a
Niederrheinisches Tiefland	752 mm/a	791 mm/a	+39 mm/a

2.1.4. Kenntage Niederschlag

Ähnlich wie bei der Lufttemperatur gibt es für den Niederschlag Kenntage, die gewisse Unter- oder Überschreitungen von bestimmten Niederschlagssummen pro Tag kennzeichnen. Im Zusammenhang mit dem Parameter Niederschlag werden in diesem Fachbeitrag analog zum LANUV-Fachbericht 74 (LANUV 2016) die Kenntage Trockene Tage (max. 0,1 mm/Tag) und Starkniederschlagstage (jeweils in den Klassen > 10 mm/Tag, > 20 mm/Tag und > 30 mm/Tag) für die Planungsregion dargestellt. Mit Hilfe dieser Kenntage soll im Rahmen des Klimafolgenmonitorings in NRW (LANUV 2017) die wahrscheinlich zunehmende Variabilität der Niederschläge mit allen Extremen als indirekte Folge des anthropogenen Klimawandels

dokumentiert werden. Dabei muss beachtet werden, dass die Schwellenwerte der hier vorgestellten Starkniederschlagstage eher niedrig angesiedelt sind. Die raum-zeitliche Auflösung der für die Starkniederschlagstage herangezogenen Messstationen kann meistens nur großräumige Regenereignisse advektiven Ursprungs (typisch für Warmfronten bei Tiefdruckgebieten) erkennen. Gewitterzellen jedoch sind aufgrund ihrer begrenzten Ausdehnung und allgemeinen Kurzlebigkeit nur schwer zu registrieren, wenn sie nicht zufällig von einer Messstation erfasst werden, auch wenn sie mengenmäßig die Schwellen der Kenntage mit über 100 mm Niederschlag in wenigen Stunden deutlich überschreiten können. Durch die globale anthropogene Erderwärmung kann die Atmosphäre mehr Wasserdampf aufnehmen (ca. 7 % mehr Wasserdampf pro 1 °C Erwärmung) und somit potenziell mehr Niederschlag in wahrscheinlich extremerer Form ermöglichen (IPCC 2007, 2012, 2013). Auch hier werden die Kenntage im Text als auf ganze Zahlen gerundete Werte beschrieben.

Trockene Tage

Trockene Tage markieren einen Tag mit einer Niederschlagsmenge von maximal 0,1 mm (AQUA PLAN GMBH et al. 2010; LANUV 2010). Die mittlere Anzahl der Trockenen Tage pro Jahr ist eine Kenngröße für die allgemeine Trockenheit. Eine Folge von Trockenen Tagen über einen längeren Zeitraum hinweg kann sich auf die allgemeine Wasserverfügbarkeit für Pflanzen auswirken. Der Boden trocknet aus und der Grundwasserspiegel fällt. Dementsprechend können Pflanzen unter Trockenstress leiden. Im Gegensatz zu anderen Kenntagen, wie zum Beispiel bei den Kenntagen für bestimmte Lufttemperaturen in den vorangegangenen Unterkapiteln, oder den noch vorzustellenden Starkniederschlagstagen, liegen für Trockene Tage keine flächendeckenden Rasterdaten für die Planungsregion Köln vor. Stattdessen werden Datenreihen von den Stationen Monschau-Kalterherberg (Eifel), Jülich (Niederrheinische Bucht), Köln-Bonn (Niederrheinische Bucht) und Wermelskirchen (Bergisches Land) vorgestellt. Die Datenreihen decken jeweils die Klimanormalperiode 1951 – 1980 und Klimanormalperiode 1981 – 2010 ab.

Abbildung 12 veranschaulicht die Lage der Messstationen in der Planungsregion Köln. Die anschließende **Tabelle 10** zeigt für die vier Messstationen die Unterschiede zwischen KNP 1951 – 1980 und KNP 1981 – 2010 in Bezug auf die Trockenen Tage.

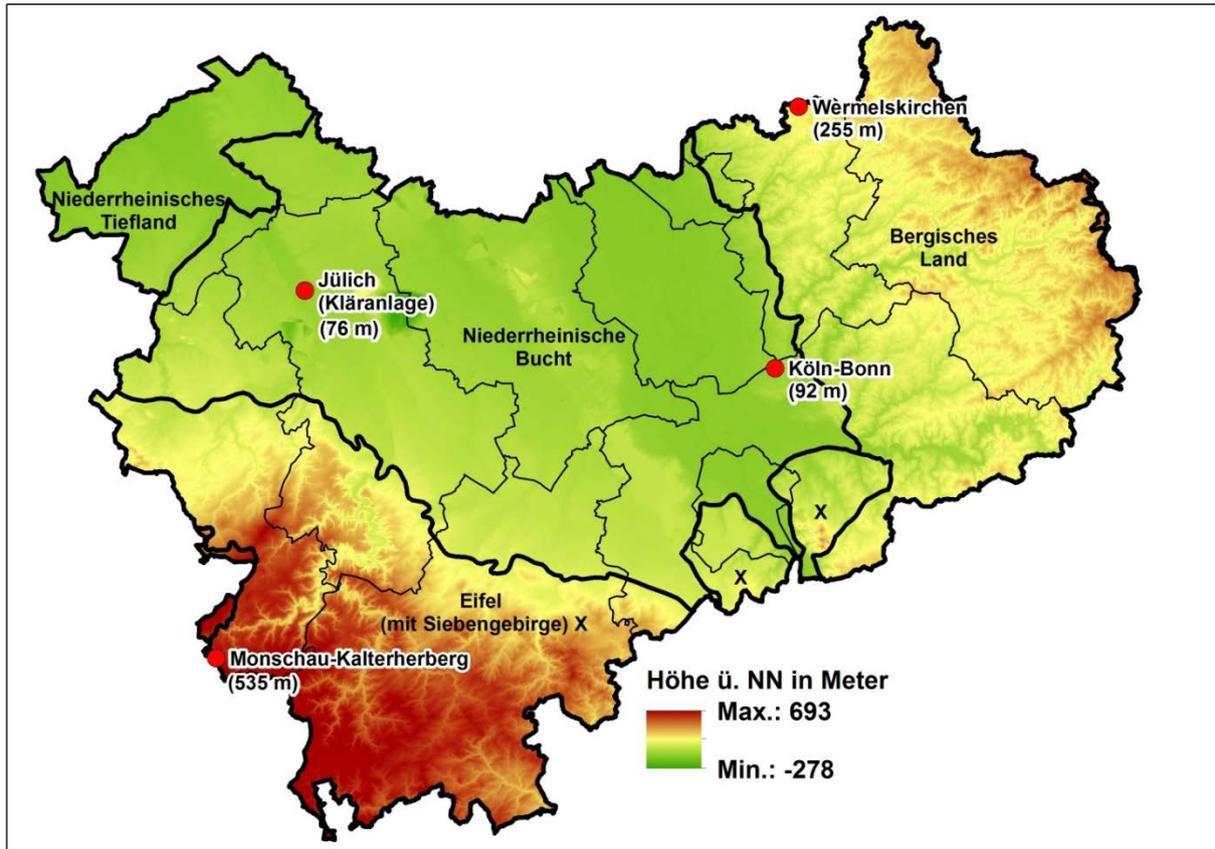


Abbildung 12: Lage der Messstationen Monschau-Kalterherberg, Jülich, Köln/Bonn und Wermelskirchen. (Daten: DWD; Kartengrundlage: LAND NRW, 2017; Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)

Tabelle 10: Veränderungen der Trockenen Tage pro Jahr sowie saisonal für die Messstationen Monschau-Kalterherberg, Jülich, Köln-Bonn und Wermelskirchen. (Datenquelle: DWD)

KNP	Jahr/ Jahres- zeit	Trockene Tage Monschau	Diff. KNPs	Trockene Tage Jülich	Diff. KNPs	Trockene Tage Köln-Bonn	Diff. KNPs	Trockene Tage Wermels- kirchen	Diff. KNPs
1851 bis 1980	Jahr	165		193		186		166	
	Frühjahr	42		49		48		44	
	Sommer	44		50		48		44	
	Herbst	43		51		49		43	
	Winter	35		43		42		35	
1981 bis 2910	Jahr	155	-10	187	-6	187	1	165	-1
	Frühjahr	41	-2	48	-1	49	1	43	-1
	Sommer	45	1	51	1	50	2	46	2
	Herbst	37	-6	47	-4	46	-2	39	-3
	Winter	32	-3	42	-2	42	0	36	0

Wie man **Tabelle 10** entnehmen kann, zeigt sich fast durchgängig die seit der KNP 1951 – 1980 zugenommene Jahresniederschlagsmenge auch bei der Anzahl der Trockenen Tage pro Jahr. Vor allem die Stationen Monschau und Jülich kommen auf 10 beziehungsweise 6 Trockene Tage pro Jahr weniger. Dem gegenüber wurde an der Station Köln – Bonn ein leichter Zuwachs von einem zusätzlichen Trockenen Tag pro Jahr festgestellt. An der Station Wermelskirchen wurde hingegen wieder ein leichter Rückgang von einem Trockenen Tag pro Jahr weniger festgestellt. Betrachtet man die saisonale Verteilung der Änderungen bei den Trockenen Tagen pro Jahr, so setzen sich die Sommermonate mit ihren positiven Werten, vor allem bei den ohnehin trockener gewordenen Stationen Köln/Bonn und Wermelskirchen, deutlich von den anderen Monaten ab. Diese Beobachtung passt zusammen mit dem in **Tabelle 8** dargestellten leichten Rückgang der Niederschlagssumme während der Sommermonate. Die Sommermonate werden demnach insgesamt trockener.

Starkniederschlagstage

Tage mit Starkniederschlag sind gekennzeichnet durch bestimmte Niederschlagsmengen, die lokal zu schnell ansteigenden Wasserständen und Überflutungen führen können. Auch für die Landwirtschaft spielen diese Kenntage eine Rolle, z.B. in Bezug auf die Erntesicherheit und Bodenerosion. Starkniederschlagstage werden in diesem Fachbeitrag, wie oben bereits erwähnt, in Tage mit > 10 mm, > 20 mm und > 30 mm Niederschlag pro Tag unterteilt. Die Häufigkeit der Starkniederschlagstage pro Jahr nimmt dabei ab, je höher die Niederschlagskategorie ist. An dieser Stelle sei nochmals darauf hingewiesen, dass die hier vorgestellten Starkniederschlagstage auf dem Messnetz der Wetterstationen des DWD beruhen, ebenso die interpolierten Rasterdaten, deren Auflösung nicht hoch genug ist, um extreme aber nur lokal und kurzfristig auftretende Sturzfluten registrieren zu können.

Auf die Fläche der Planungsregion Köln gemittelt gab es innerhalb der aktuellen KNP 1981 – 2010 rund 26 Starkniederschlagstage pro Jahr mit über 10 mm Niederschlag. In der gleichen KNP gab es fast 6 Starkniederschlagstage im Jahr mit über 20 mm Niederschlag pro Tag. Die mittlere Anzahl der Starkniederschlagstage mit mehr als 30 mm pro Tag lag bei knapp 2 Tagen pro Jahr. In der vorangegangenen KNP 1971 – 2000 wurden geringfügig weniger Starkniederschlagstage pro Jahr registriert als in der aktuellen KNP. So gab es 1971 – 2000 durchschnittlich 24 Starkniederschlagstage mit über 10 mm, 5 Starkniederschlagstage mit über 20 mm sowie einen Starkniederschlagstag mit über 30 mm pro Jahr.

In **Abbildung 13** wird die räumliche Verteilung der mittleren Anzahl von Starkniederschlagstagen pro Jahr > 10 mm in der KNP 1981 – 2010 dargestellt. Analog zu der mittleren jährlichen Niederschlagssumme wirken sich Höhenlage und Exposition auch deutlich bei der mittleren Anzahl von Starkniederschlagstagen > 10 mm/Tag pro Jahraus. Während in den tieferen Gebieten des Niederrheinischen Tieflandes und der Niederrheinischen Bucht 13 – 25 Starkniederschlagstage > 10 mm/Tag pro Jahr vorkamen, steigern sich die Häufigkeiten mit wachsender Höhe der Mittelgebirge. In der Eifel kamen auf einer insgesamt geringeren Fläche als im Bergischen Land, je nach Höhenlage, 25 – 35 Starkniederschlagstage > 10 mm pro Jahr in den mittleren Lagen vor, während in den höchsten Lagen ganz im Westen 35 – 45 Starkniederschlagstage > 10 mm pro Jahr registriert wurden. Die Luv-Lage des Bergischen Landes zeigt sich in den im Vergleich zur Eifel deutlich größeren Flächenanteilen in

den entsprechenden Starkniederschlagsklassen, sowie an der nochmals gesteigerten Häufigkeit von Starkniederschlagstagen > 10 mm ganz im Osten, die hier bei 45 – 54 Tagen pro Jahr liegt.

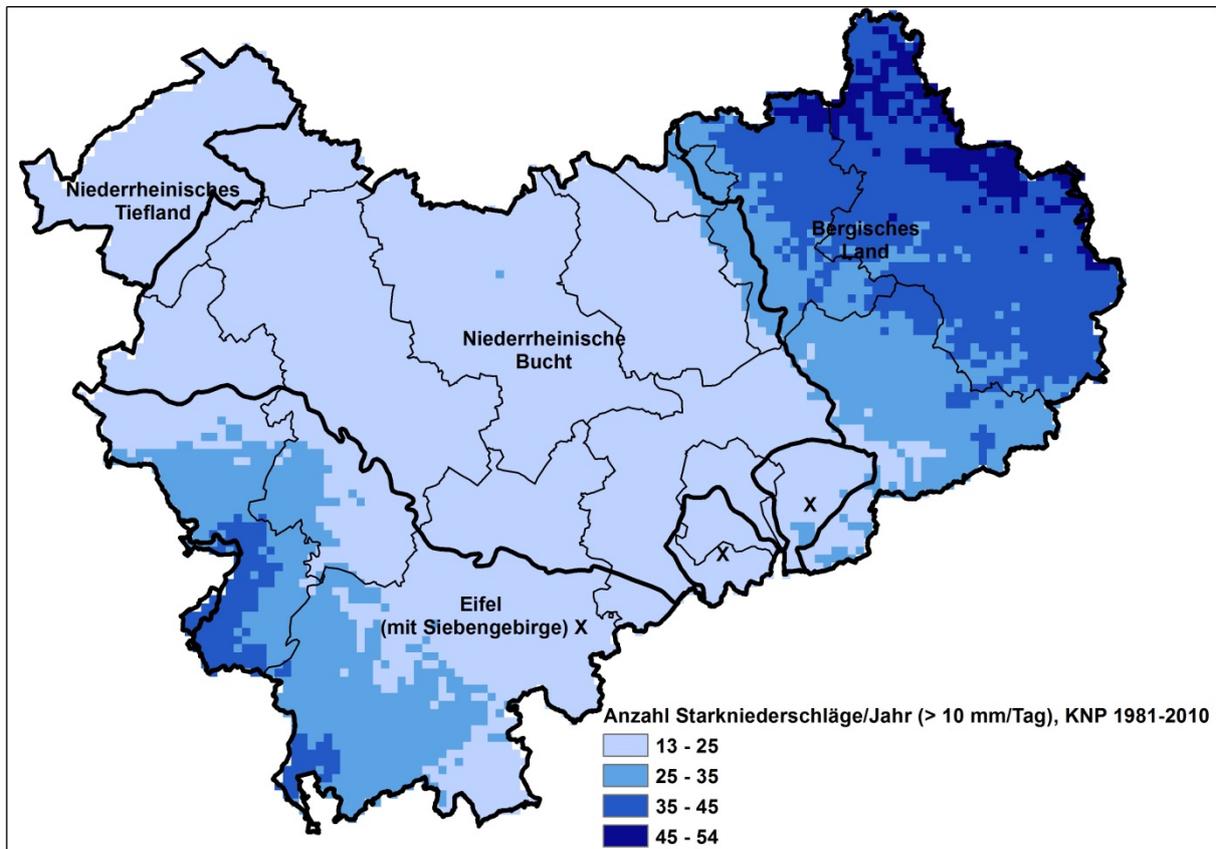


Abbildung 13: Mittlere Anzahl an Starkniederschlagstagen pro Jahr (> 10 mm/Tag) während der KNP 1981 – 2010 (Daten: DWD; Kartengrundlage: LAND NRW, 2017; Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)

Abbildung 14 stellt die räumliche Verteilung der gemittelten Anzahl von Starkniederschlagstagen pro Jahr > 20 mm während der KNP 1981 – 2010 dar. Auch hier äußert sich die dem Regen zugewandte Exposition des Bergischen Landes sehr deutlich. Während im überwiegenden Teil der Planungsregion im Mittel lediglich 3 – 8 Starkniederschlagstage > 20 mm pro Jahr vorkamen, gibt es im Bergischen Land auch nennenswerte Flächen mit durchschnittlich 8 – 12 beziehungsweise 12 – 16 Starkniederschlagstagen > 20 mm pro Jahr. Im Gegensatz dazu kamen nur in den westlichsten Hochlagen der Eifel gemittelte 8 – 12 Starkniederschlagstage mit über 20 mm pro Jahr vor.

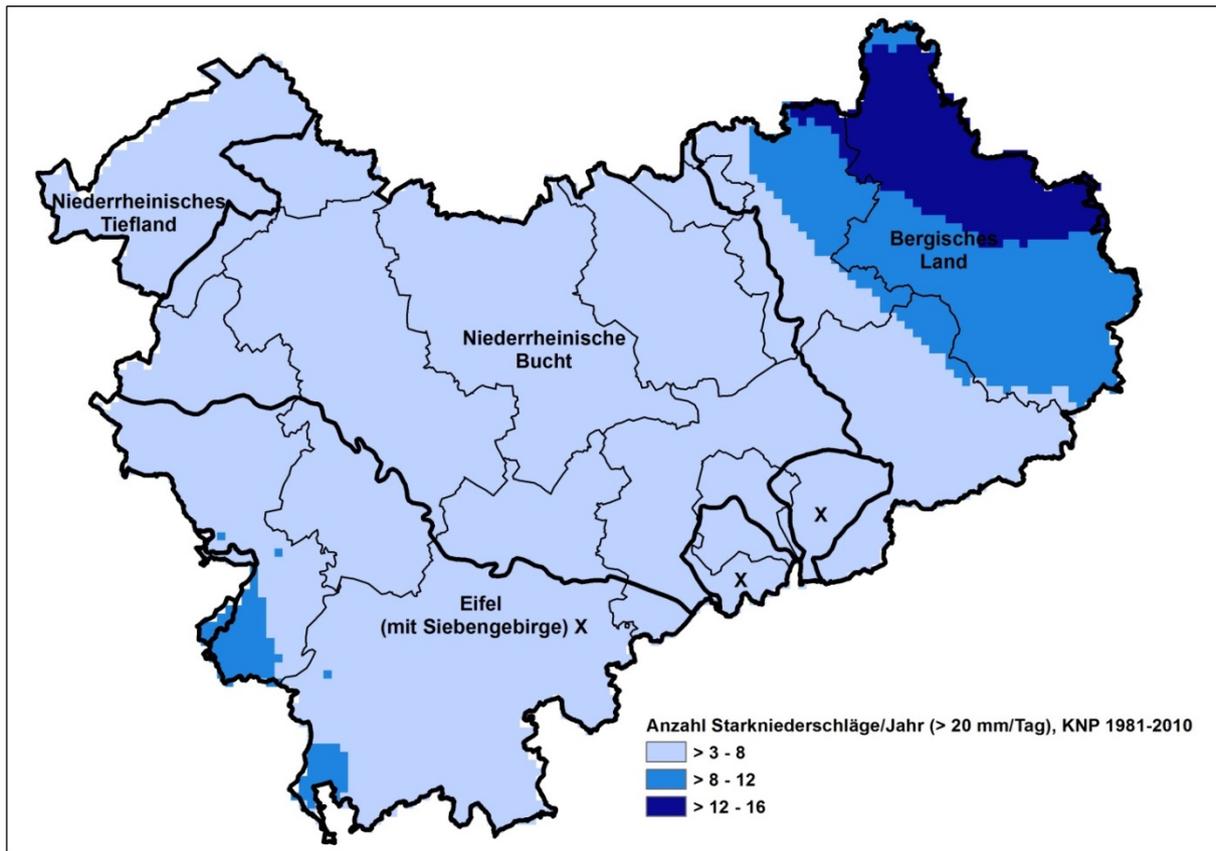


Abbildung 14: Mittlere Anzahl an Starkniederschlagstagen pro Jahr (> 20 mm/Tag) während der KNP 1981 – 2010 (Daten: DWD; Kartengrundlage: LAND NRW, 2017; Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)

Abbildung 15 zeigt die durchschnittliche Anzahl an Starkniederschlagstagen pro Jahr > 30 mm während der KNP 1981 – 2010. Im Gegensatz zu den vorangegangenen Starkniederschlagsklassen mit > 10 mm und > 20 mm wurden im Großteil der Planungsregion Köln keine Starkniederschlagstage dieser Magnitude registriert. In den westlichen Hochlagen der Eifel wurden lediglich 1 – 3 Starkniederschlagstage > 30 mm pro Jahr registriert, nur ganz lokal wurden bis zu 5 Starkniederschlagstage pro Jahr dieser Größenordnung erfasst. Dem gegenüber sind die Flächen mit 1 – 3 Starkniederschlagstagen und insbesondere 3 – 5 Starkniederschlagstagen >30 mm pro Jahr deutlich großflächiger im Bergischen Land vertreten. Hier werden erneut die orographischen Effekte (Luv- vs. Lee-Hang) deutlich sichtbar.

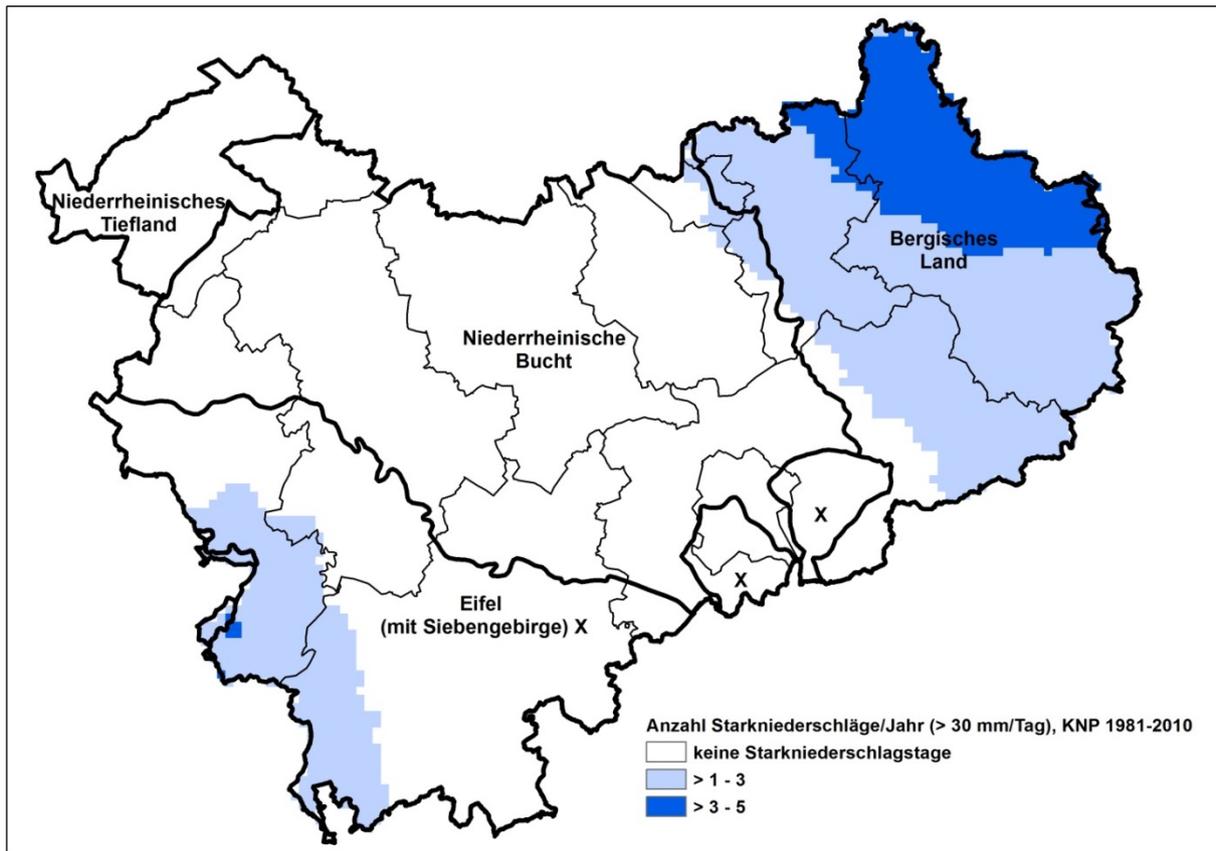


Abbildung 15: Mittlere Anzahl an Starkniederschlagstagen pro Jahr (> 30 mm/Tag) während der KNP 1981 – 2010 (Daten: DWD; Kartengrundlage: LAND NRW, 2017; Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)

Im Vergleich der Klimanormalperiode 1951 – 1980 mit dem Zeitraum 1981 – 2010 hat sich die Häufigkeit der auf die Planungsregion gemittelten Starkniederschlagstage leicht erhöht. Die jährlichen Starkniederschlagstage > 10 mm sind durchschnittlich um 2 Tage häufiger aufgetreten. Im gleichen Zeitraum stieg die Anzahl der Tage mit > 20 mm und > 30 mm Niederschlag um einen Tag pro Jahr an beziehungsweise zeigte keine Änderung. Die Betrachtung der räumlichen Verteilung der Veränderungen der Anzahl der Starkniederschlagstage in der Planungsregion offenbaren allerdings je nach Lage deutlich größere Abweichungen im Vergleich der beiden KNPs.

Abbildung 16 bis Abbildung 18 stellen die räumlich verteilten Änderungen der mittleren jährlichen Anzahl an Tagen mit Starkniederschlägen im Vergleich der KNP 1951 – 1980 und der KNP 1981 – 2010 dar.

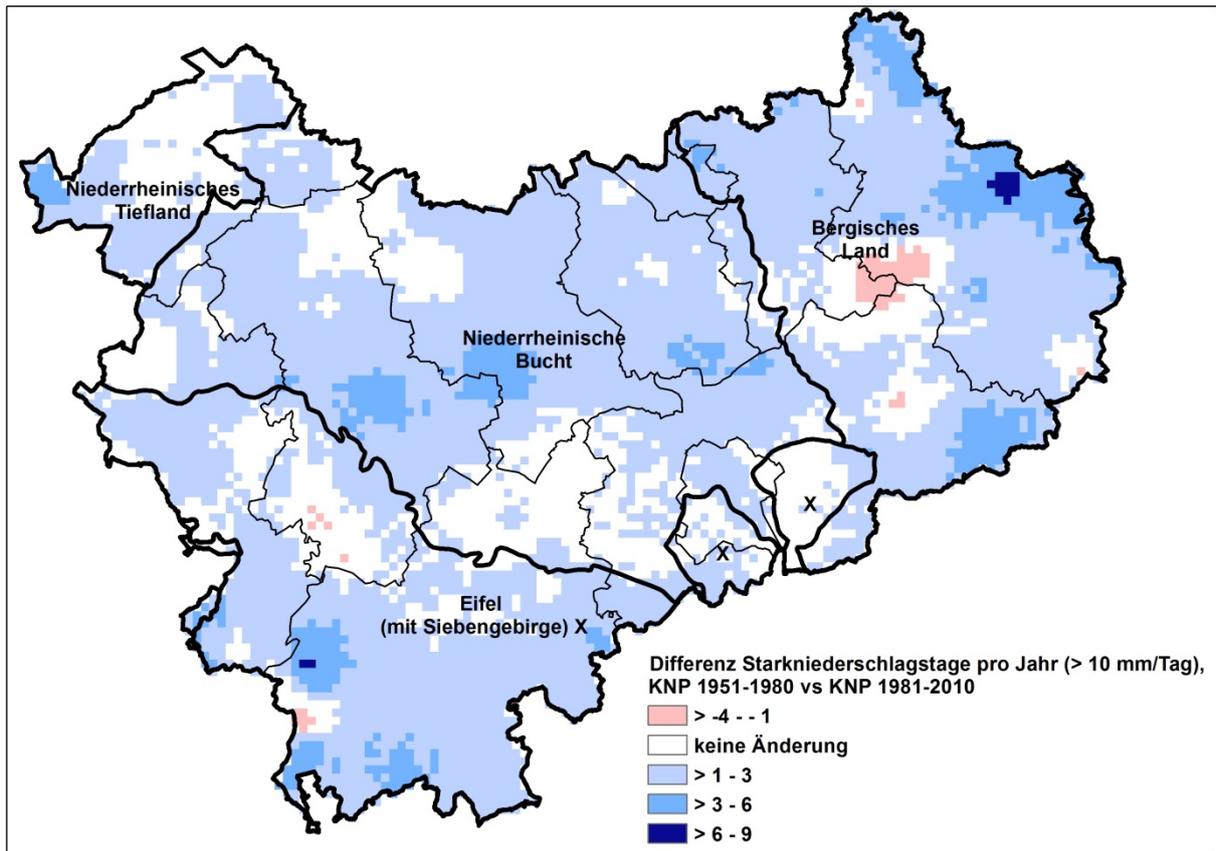


Abbildung 16: Änderung der mittleren Anzahl an Starkniederschlagstagen (> 10 mm/Tag) pro Jahr: KNP 1951 – 1980 zu 1981 – 2010 (Daten: DWD; Kartengrundlage: LAND NRW, 2017; Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)

In **Abbildung 16** sind die räumlichen Veränderungen bei der mittleren jährlichen Anzahl von Starkniederschlagstagen > 10 mm dargestellt. Der Großteil der gesamten Fläche der Planungsregion erlebte eine leichte Zunahme der Starkniederschlagstage > 10 mm/Tag um 1 – 3 Tage pro Jahr zusätzlich im Vergleich zwischen den beiden Klimanormalperioden. Gebiete, in denen es keine Änderungen gab, bilden die nächstgrößte Flächensumme. Flächen mit einer Zunahme der Starkniederschläge dieser Klasse um 3 – 6 Tage pro Jahr bilden die drittgrößte Flächensumme, gefolgt von leichten Rückgängen von bis zu 4 Tagen pro Jahr weniger. Die geringsten Flächenanteile liegen bei den Zunahmen um 6 – 9 Tage pro Jahr mit > 10 mm an Niederschlag. Die räumliche Verteilung der Starkniederschlagszunahmen > 10 mm erscheinen eher zufällig und nicht an die Topographie gebunden, auch wenn die Gebiete mit den absolut höchsten Zunahmen in den Hochlagen der Eifel und weiter verbreitet im Bergischen Land anzutreffen sind. Dem gegenüber sind die Gebiete mit Rückgängen bei den Starkniederschlagstagen in den mittleren bis höheren Lagen von Eifel und im größeren Umfang im Bergischen Land anzutreffen.

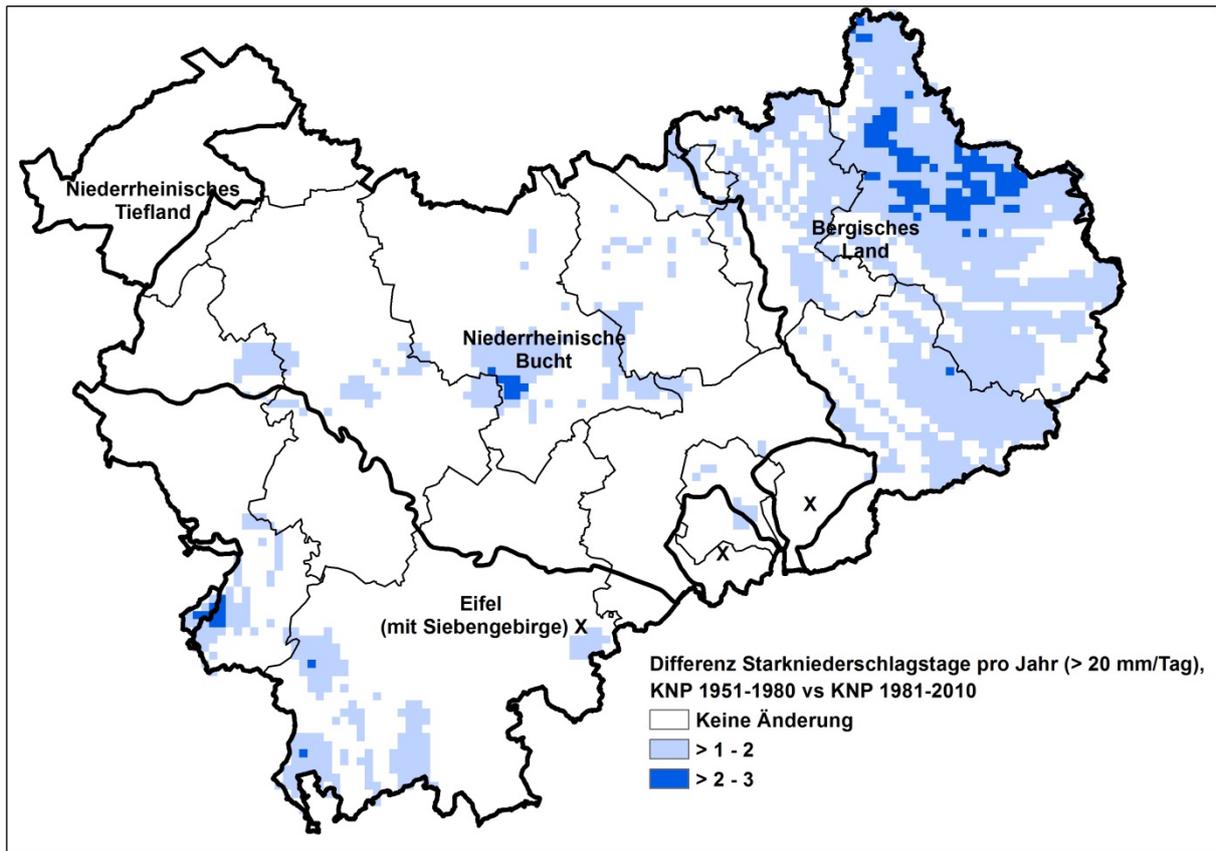


Abbildung 17: Änderung der mittleren Anzahl an Starkniederschlagstagen (> 20 mm/Tag) pro Jahr: KNP 1951 – 1980 zu 1981 – 2010 (Daten: DWD; Kartengrundlage: LAND NRW, 2017; Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)

Abbildung 17 stellt die Änderung der mittleren jährlichen Anzahl an Tagen mit > 20 mm Niederschlag pro Tag dar. Die mit Abstand größten Flächenanteile innerhalb der Planungsregion haben keine Änderung bei den Starkniederschlagstagen > 20 mm erfahren. Bereiche mit Zunahmen der Starkniederschlagstage > 20 mm um 1 – 2 Tage pro Jahr beim Vergleich der KNP sind am weitesten im Bergischen Land verbreitet, aber auch in der Niederrheinischen Bucht und in der Eifel gibt es begrenzte Gebiete mit solchen Zunahmen. Zunahmen von 2 – 3 Tagen pro Jahr gibt es mit Abstand am häufigsten im Bergischen Land, gefolgt von räumlich stark begrenzten Gebieten im Zentrum der Niederrheinischen Bucht und ganz im Westen der Eifel. Die deutlich höheren Zunahmen im Bergischen Land lassen darauf schließen, dass sich zumindest zum Teil auch bei den Anstiegen der Starkniederschlagstage > 20 mm eine mögliche Auswirkung des LUV-Effektes bemerkbar machen könnte.

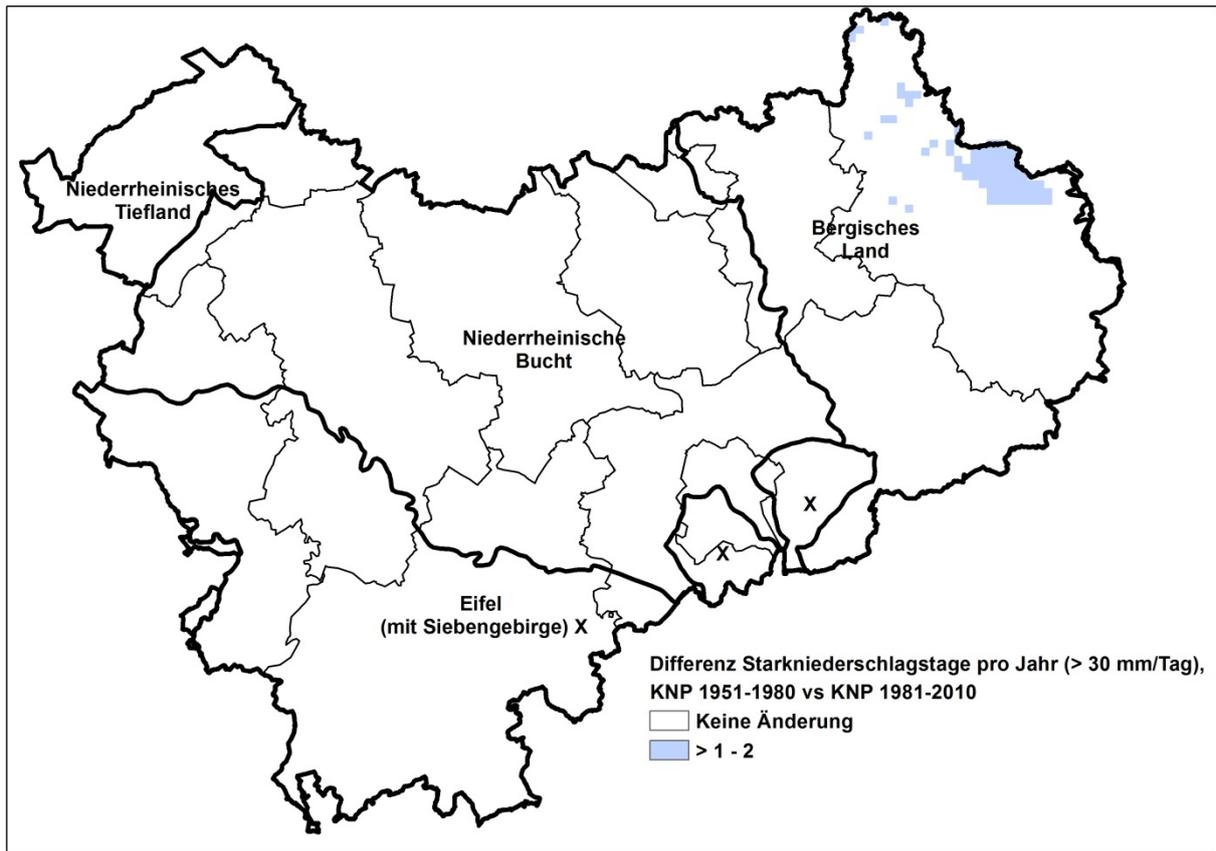


Abbildung 18: Änderung der mittleren Anzahl an Starkniederschlagstagen (> 30 mm/Tag) pro Jahr: KNP 1951 – 1980 zu 1981 – 2010 (Daten: DWD; Kartengrundlage: LAND NRW, 2017; Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)

Abbildung 18 zeigt abschließend die Veränderung der mittleren jährlichen Anzahl von Starkniederschlagstagen mit mindestens 30 mm pro Tag. Dabei zeigt sich, dass es lediglich ganz im Osten der Bergischen Landes eine Zunahme von 1 – 2 Tagen pro Jahr dieser Starkniederschlagsklasse gab. Hier könnte ebenfalls der Luv-Effekt beim Bergischen Land bei der Zunahme dieser Starkniederschlagsklasse verantwortlich sein.

Anhand der gezeigten Daten wird deutlich, dass die auf die Fläche der gesamten Planungsregion Köln bezogenen Mittelwerte zur Veränderungen der Starkniederschlagstage im Vergleich der KNP 1951 – 1980 mit 1981 – 2010 lokal deutlich variieren können. Bei der Starkniederschlagsklasse > 10 mm ist eine weit verbreitete Zunahme der Starkniederschlagstage zu erkennen. Dabei ist die Lage und flächige Ausdehnung der lokalen Maxima weniger klar an die Topographie und Exposition zur Hauptwindrichtung gekoppelt. Bei den Starkniederschlagsklassen > 20 mm und > 30 mm gibt es Hinweise auf eine stärkere Kopplung der lokalen Zunahmemaxima mit dem Luv-Effekt im Bergischen Land. Hier wären insgesamt weitergehende räumliche Analysen erforderlich. **Tabelle 11** stellt zum Abschluss nochmals die Unterschiede der jeweiligen Starkniederschlagstage zwischen der KNP 1951 – 1980 und der KNP 1981 – 2010 dar.

Tabelle 11: Starkniederschlagstage pro Jahr, sortiert nach Klassen und Klimanormalperioden.(Datenquelle: DWD).

KNP	> 10 mm/Tag	> 20 mm/Tag	> 30 mm/Tag
1981 - 2010	26	6	1
1951 - 1980	23	5	1
Differenz	2	1	0

Schneetage

Schneetage werden definiert als Tage mit einer geschlossenen Schneedecke von mindestens 10 cm Mächtigkeit. Damit steht ein geeignetes Maß zur Verfügung, um die Dauer der Schneebedeckung zu beschreiben. Das Auftreten von Schneetagen und die Schneehöhe hängen von der Temperatur und der Niederschlagsmenge ab. Die bereits stattgefundenen und noch zu erwartenden Temperaturerhöhungen als Folge des Klimawandels werden vermutlich zu Rückgängen der Anzahl der Schneetage führen.

Während der Klimanormalperiode 1981 – 2010 wurden, gemittelt auf die Fläche der gesamten Planungsregion, 24 Schneetage pro Jahr registriert. In der KNP 1971 – 2000 lag dieser Wert ebenfalls bei rund 24 Tagen pro Jahr. **Abbildung 19** zeigt die gemittelte Anzahl an Schneetagen pro Jahr (KNP 1981 – 2010). Dabei ist die Höhenlage und somit vor allem die jährliche Durchschnittstemperatur ein wesentlicher Einflußfaktor. Dies wird besonders beim Vergleich der Mittelgebirgslandschaften Eifel und Bergisches Land sichtbar, wo die Höhenlage (siehe Abbildung 4) ähnlich stark mit der Anzahl der Schneetage korrespondiert wie mit den Eistagen (Abbildung 9). Ein Vergleich zu den mittleren Niederschlagssummen (Abbildung 11) zeigt hingegen, dass trotz höherer Niederschläge im Bergischen Land dort deutlich weniger Schneetage pro Jahr vorkommen als in der Eifel.

In den milden Gebieten der Niederrheinischen Bucht und des Niederrheinischen Tieflands gibt es mit 9 – 10 Schneetagen pro Jahr die geringsten Werte. Im Bergischen Land steigert sich die Anzahl der Schneetage langsam Richtung Osten, wo an der Grenze zum Sauer und Siegerland zwischen 40 – 50 Schneetage pro Jahr vorzufinden sind. In der höher gelegenen Eifel steigert sich die Anzahl der Schneetage pro Jahr wesentlich schneller und erreicht ganz im Westen an der belgischen Grenze 50 – 60, lokal auch über 60 Schneetage pro Jahr.

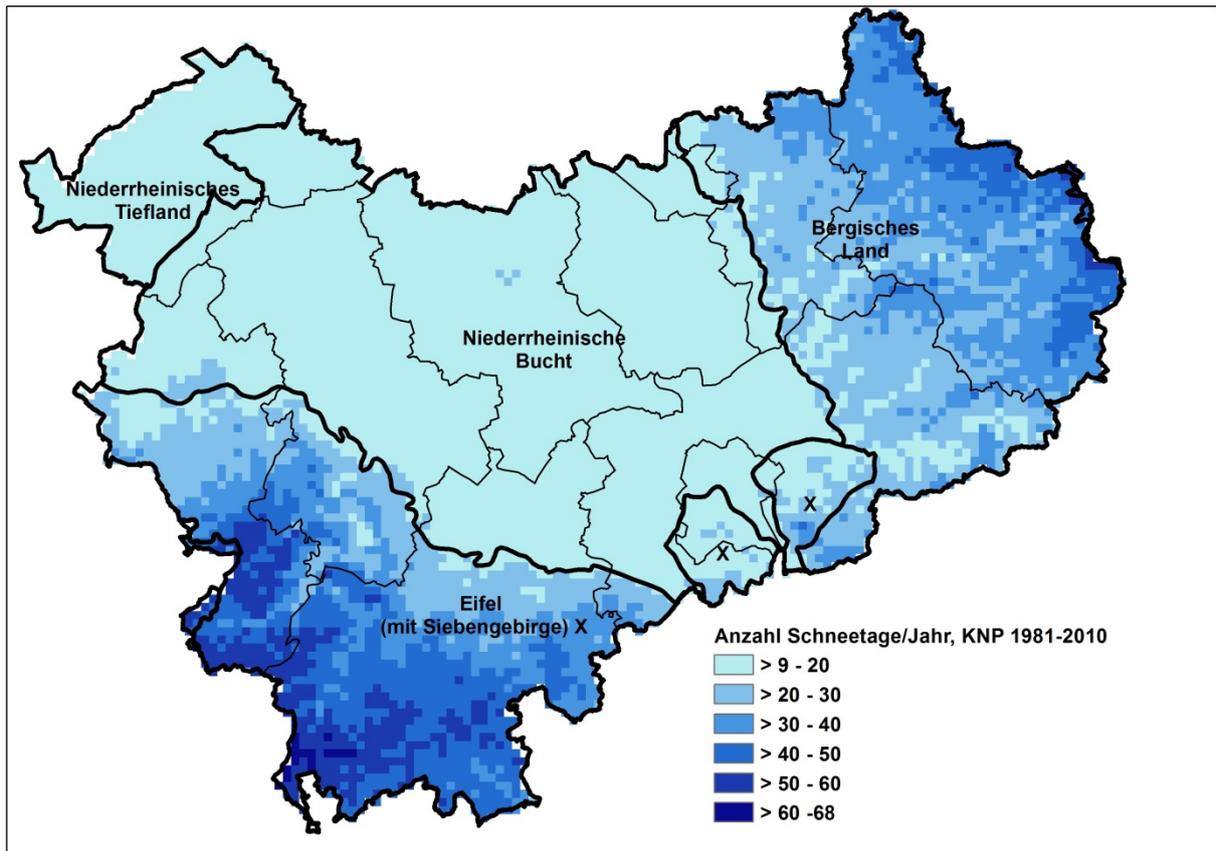


Abbildung 19: Mittlere Anzahl an Schneetagen pro Jahr während der KNP 1981 – 2010. (Daten: DWD; Kartengrundlage: LAND NRW, 2017; Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)

Während der Klimanormalperiode 1951 – 1980 gab es bezogen auf die Fläche der Planungsregion im Mittel rund 29 Schneetage pro Jahr. Im Vergleich zu diesem Zeitraum reduzierte sich die mittlere Anzahl der Schneetage pro Jahr in der aktuellen KNP um durchschnittlich gut 5 Schneetage auf die bereits oben genannten 24 Schneetage pro Jahr.

Abbildung 20 zeigt die räumliche Verteilung der Veränderungen bei den Schneetagen pro Jahr in der KNP 1981 – 2010 relativ zur KNP 1951 – 1980. Nur in ganz kleinen Gebieten innerhalb der Planungsregion gab es keine Änderung bzw. fiel der Rückgang bei der Anzahl der Schneetage pro Jahr mit bis zu -1 Tag sehr moderat aus. Der weitaus größte Flächenanteil der Planungsregion erlebte einen leichten Rückgang von 1 – 5 Schneetagen pro Jahr weniger im direkten Vergleich der betrachteten Klimanormalperioden. Rückgänge um 5 – 10 Schneetage pro Jahr wurden auch verbreitet im Bergischen Land und der Eifel registriert. Dort, wo auch die größte Anzahl mittlerer Schneetage pro Jahr vorkommt, also in den Hochlagen der Eifel, liegt auch der stärkste Rückgang um 10 – 15 Schneetage pro Jahr weniger vor.

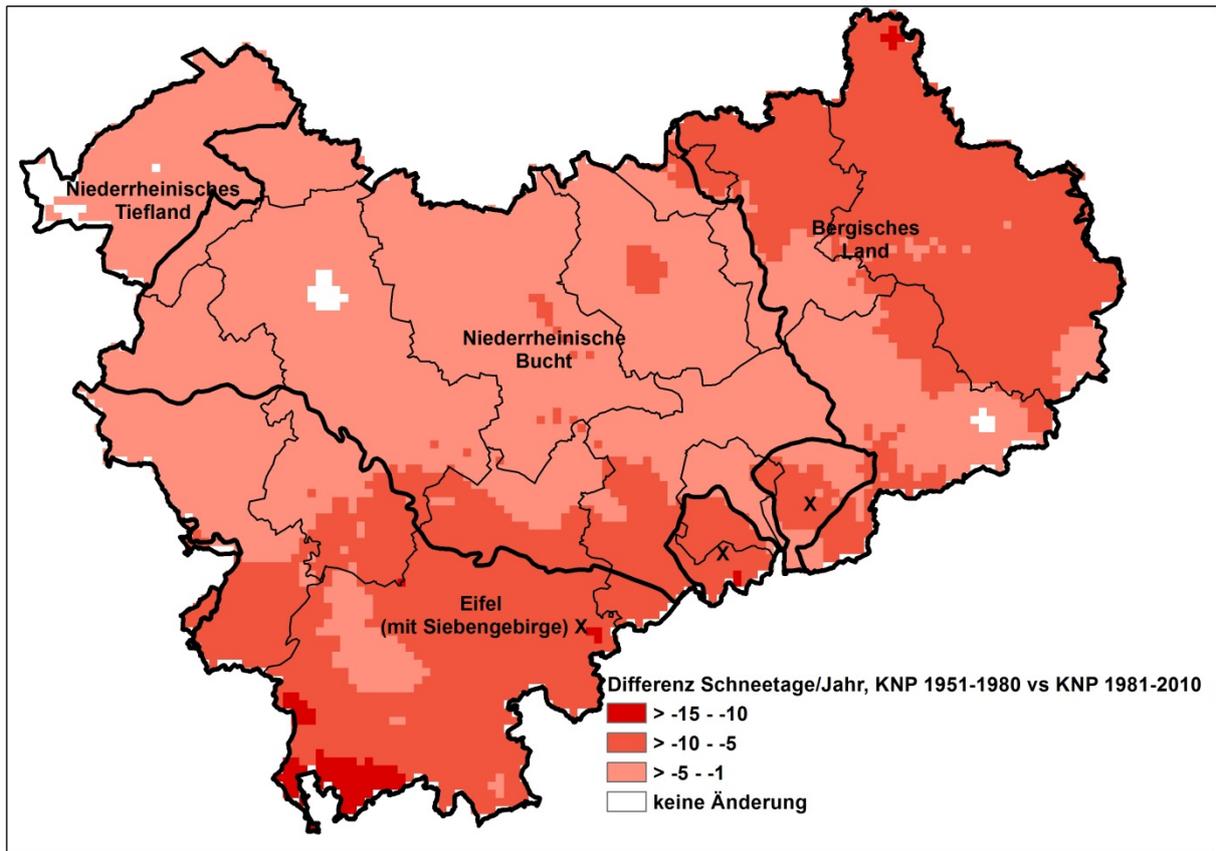


Abbildung 20: Änderung der mittleren Anzahl von Schneetagen pro Jahr: KNP 1951 – 1980 zu 1981 – 2010. (Daten: DWD; Kartengrundlage: LAND NRW, 2017; Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)

2.1.5. Zusammenfassung der bereits registrierten Klimaveränderungen

Die in diesem Kapitel beschriebenen Klimaänderungen in der Planungsregion Köln verdeutlichen einen insgesamt sehr starken und schnellen Temperaturanstieg von lokal bei bis zu 1 K im Vergleich der Klimanormalperiode 1951 – 1980 mit der KNP 1981 – 2010. Gleichzeitig sind die jährlichen Niederschlagsmengen leicht angestiegen, wobei die früher typischen Sommermaxima heute durch die vermehrte Angleichung der saisonalen Niederschlagssummen so nicht mehr existieren. Die klimatischen Kenntage zeigen recht eindeutig, dass die Planungsregion Köln wärmer und schneeärmer geworden ist. Über den Großteil der Fläche der Planungsregion Köln wurde eine Zunahme der Anzahl an Starkniederschlagtagen pro Jahr festgestellt, insbesondere für die Kategorie > 10 mm Niederschlag pro Tag.

Die Auswirkung der bereits jetzt schon eingetretenen anthropogenen Klimaveränderungen betrifft viele Bereiche. Von der Beeinträchtigung der Gesundheit durch extreme Hitzebelastung in den Ballungszentren über häufiger eintretende Extremniederschläge und Unwetter zu länger andauernden Trockenperioden und Grundwasserrückgängen gibt es zahlreiche Klimawandelfolgen, die in Kapitel 4.2 etwas eingehender beschrieben werden.

2.2 Projizierter Klimawandel in der Planungsregion Köln

Nachdem im Kapitel 2.1 das aktuelle Klima in der Planungsregion Köln und dessen Änderung im Vergleich der Klimanormalperiode 1951 – 1980 mit 1981 – 2010 beschrieben wurde, soll in Kapitel 2.2 nun auf die für die Zukunft projizierten Klimaveränderungen eingegangen werden. Zu Beginn werden in den Unterkapiteln 2.2.1 und 2.2.2 die Grundlagen für die Simulation zukünftiger Klimaänderungen und deren Auswertung erläutert. Unterkapitel 2.2.3 widmet sich den projizierten Veränderungen bei der Temperatur sowie bei den Temperaturkenn-tagen (2.2.4). Abschnitt 2.2.5 behandelt die projizierten Veränderungen beim Niederschlag, wobei zuerst auf die Niederschlagssummen eingegangen wird und anschließend auf die Starkniederschlagstage beziehungsweise Wetterextreme (2.2.6). Zuletzt wird in Unterkapitel 2.2.7 eine Zusammenfassung über die projizierten Klimaveränderungen gegeben.

2.2.1 RCP, SRES, Perzentile

Um die Veränderung des Klimas auch für zukünftige Zeiträume abschätzen zu können, werden hochkomplexe Klimamodelle verwendet. Diese Modelle arbeiten neben den festen physikalischen Rahmenbedingungen, z. B. CO₂- bzw. Treibhauskonzentration, Sonneneinstrahlung, Oberflächentemperatur u. v. m., auch mit Szenarien über die möglichen zukünftigen CO₂- und sonstigen Treibhausgasemissionen, die durch die Menschen verursacht werden. Je nach zugrunde liegendem Szenario über die zukünftigen Treibhausgaskonzentration wird der eng an diese Konzentration gekoppelte zusätzliche/anthropogene Treibhauseffekt mehr oder weniger stark ansteigen und entsprechend zum globalen Temperaturanstieg beitragen. Bevor im Folgenden auf die Projektionen zum zukünftigen Klimawandel in der Planungsregion Köln eingegangen wird, sollen die verwendeten Modellszenarien und deren Bandbreiten für die projizierten Klimakenngößen beschrieben werden.

Exkurs I: Projektionsszenarien bei der Modellierung zukünftiger Klimata

Für die Planungsregion Köln liegen Klimaprojektionen unterschiedlicher Modell-Simulationen basierend auf verschiedenen Szenarien vor, die hier kurz erläutert werden:

SRES-Szenarien:

Die Bezeichnung SRES geht auf einen Sonderbericht des Weltklimarats aus dem Jahr 2000, dem „Special Report on Emission Scenarios“ zurück, der die Szenarien detailliert beschreibt (IPCC 2000).

Basierend auf möglichen gesellschaftlichen Entwicklungen (Szenarien) hinsichtlich des Bevölkerungswachstums, des Umgangs mit fossilen und Erneuerbaren Energien und wirtschaftlichen Faktoren beschreiben die Klimaszenarien die zukünftige Entwicklung der Treibhausgasemissionen und -konzentrationen. Für die Modellierung zahlreicher Klimagrößen wurde hauptsächlich das sogenannte A1B-Emissionsszenario verwendet. Das Szenario A1B beinhaltet eine „ausgewogene“ Nutzung fossiler und nicht-fossiler Energieträger. Für die in diesem Kapitel dargestellten Projektionen der klimatologischen Kenn-tage in der Zukunft

wurde ebenfalls das Szenario A1B verwendet (nähere Informationen hierzu: (DEUTSCHER WETTERDIENST DWD 2018c)

RCP-Szenarien:

Die Bezeichnung RCP steht für Repräsentative Konzentrationspfade (englisch: Representative Concentration Pathways). Diese neuen Konzentrationsszenarien (MOSS ET AL. 2010) unterscheiden sich von den bisherigen SRES-Emissionsszenarien dadurch, dass sie von bestimmten Strahlungsantriebswerten im Jahr 2100 ausgehen und - quasi rückwärts - auf mögliche Treibhausgaskonzentrationen rückschließen. Dementsprechend werden sie auch nach den Strahlungsantriebswerten, die sie im Jahr 2100 erreichen, bezeichnet. Dabei werden vier RCP-Szenarien unterschieden: RCP2.6, RCP4.5, RCP6 und RCP8.5 (nähere Informationen hierzu: (DEUTSCHER WETTERDIENST DWD 2018b))

Das Szenario RCP2.6 sieht einen Gipfel der CO₂-Äquivalente (Summe aller Treibhausgase umgerechnet auf die Wirkung von CO₂) von bis zu 490 ppm vor 2100 (VAN VUUREN et al. 2011), um dann wieder zu sinken. Nur auf diese Weise kann das 2015 bei der COP21 in Paris vereinbarte Ziel (FRANCE DIPLOMATIE 2015; UNFCCC 2015), die Temperaturerhöhung auf deutlich unter 2 °C (am besten wären 1,5 °C) gegenüber dem Temperaturniveau der vorindustriellen Zeit (ca. 1850 – 1900) zu begrenzen, gerade noch erreicht werden. Deshalb wird dieses Szenario auch als „Klimaschutz-Szenario“ bezeichnet. Das RCP2.6-Szenario wird voraussichtlich erst Ende 2018 vom DWD als Rasterdatensatz verfügbar sein.

Das Szenario RCP4.5 ist ein Szenario mit einem „moderaten“, aber dennoch zu hohen (in Bezug auf das 2-Grad-Ziel) Anstieg der CO₂-Äquivalente von bis zu 650 ppm bis 2100 (VAN VUUREN et al. 2011). Dieses dennoch häufig als „moderat“ bezeichnete Szenario würde eine atmosphärische CO₂-Konzentration verursachen, die seit mindestens 27 Millionen Jahren nicht mehr existiert hat (STOCKER et al. 2013b; PAGANI et al. 2005; ZHANG et al. 2013).

Das Szenario RCP6.0 geht von einem dem SRES A1B ähnlichen Emissionsverlauf an CO₂-Äquivalenten aus, was in diesem Fall 850 ppm im Jahr 2100 bedeuten würde (VAN VUUREN et al. 2011).

Das Szenario RCP8.5 wird als „business as usual“ Szenario bezeichnet. Es könnte bei einem steigenden Verbrauch fossiler Energieträger und daraus resultierenden weiterhin steigenden Treibhausgasemissionen eintreten. Hier geht man von einer CO₂-Konzentration von über 1370 ppm im Jahr 2100 aus (VAN VUUREN et al. 2011). Das RCP8.5-Szenario stellt einen extremen Eingriff in die Atmosphäre dar, der das Potenzial hat, das Klima der Erde in einen Zustand zu verwandeln, den es so seit mindestens 52 Millionen Jahren nicht mehr gegeben hat (STOCKER et al. 2013b; ZHANG et al. 2013).

Für die Projektionen der zukünftigen mittleren Temperatur- und Niederschlagsänderungen in NRW und der Planungsregion Köln wurde mit dem RCP4.5- und dem RCP8.5-Szenario gearbeitet, deren Daten vom DWD bereitgestellt werden.

Exkurs II: Darstellung der Klimaprojektionen als Perzentil

Bei der Simulation der Klimaprojektionen wird pro Szenario und betrachtetem Projektionszeitraum jeweils ein ganzes Modellensemble (Verbund von verschiedenen globalen und regionalen Modellen mit dem gleichen Szenario) anstatt einzelner Modelle verwendet. Dies hat den Vorteil, dass die Projektionen der zukünftigen Klimaänderungen in einer wissenschaftlich belastbareren Bandbreite simuliert werden können. Sämtliche Klimaprojektionen innerhalb einer solchen Bandbreite sind bedingt durch die Methodik des Modellensembles gleich wahrscheinlich. Um aus der Anzahl der Einzelprojektionen innerhalb der Bandbreite eines Modellensembles dennoch klare Aussagen über die zu erwarteten Klimaveränderungen herleiten zu können, werden Perzentile verwendet.

Perzentile sind besondere Quantile („Hundertstelwerte“ / Prozenträge) und damit ein Lagemaß der Statistik. Sie geben die Lage bestimmter Werte in einer statistischen Verteilung (hier: die Bandbreite der simulierten Klimaprojektionen des Modellensembles mit gleichem Szenario und Projektionszeitraum) wieder. Auf die Auswertung und Darstellung der Klimaprojektionen übertragen bedeutet dies, dass zunächst die Ergebnisse aller Modelle für den jeweiligen Parameter der Größe nach geordnet werden. Für die Darstellung werden das 15 %-Perzentil (15. Perzentil), das 50 %-Perzentil (50. Perzentil) sowie das 85 %-Perzentil (85. Perzentil) betrachtet. Beim 15. Perzentil zeigen 15 % der Modelle geringere Ergebnisse bzw. Veränderungen an. Beim 85. Perzentil zeigen hingegen 15 % der Modelle größere Ergebnisse bzw. Veränderungen an. Das 50. Perzentil teilt die Modellergebnisse, so dass 50 % der Modelle geringere und 50 % größere Ergebnisse bzw. Veränderungen liefern (Median).

Die jeweiligen Perzentile werden dabei für jede Rasterzelle einzeln ermittelt, so dass beispielsweise bei der Darstellung des 50. Perzentils die Ergebnisse mehrerer Modelle einfließen, nämlich für jede Rasterzelle das Modell mit dem Wert, der den Median der ihrer Größe nach sortierten Modellergebnisse darstellt.

Durch die Auswertung der Ergebnisse für die ausgewählten Perzentile kann somit eine gewisse Spanne der möglichen klimatischen Entwicklung angegeben werden. Bei den dargestellten Perzentilen werden insgesamt 70 % der Modellergebnisse abgedeckt, wohingegen mögliche Extremwerte nicht dargestellt werden.

2.2.2 Projizierte Klimaveränderung

Für die Klimaparameter Temperatur und Niederschlag sowie Starkniederschlagstage liegen vom Deutschen Wetterdienst bereits regionalisierte Klimaprojektionen vor, die sich auf die RCP-Szenarien 4.5 und 8.5 beziehen. Diese Projektionen verfügen über eine räumliche Auflösung von ca. 12 x 12 km. Für die meisten klimatologischen Kennwerte des Parameters Lufttemperatur liegen Projektionen nur basierend auf dem älteren SRES-A1B-Szenario vor. Diese Daten besitzen eine Auflösung von ca. 22 x 22 km.

Sowohl die RCP4.5- und RCP8.5- Szenarien für Temperatur- und Niederschlagsänderungen als auch das SRES-A1B-Szenario für die Lufttemperaturkennwerte wurden jeweils für die Zeiträume nahe Zukunft (2021 – 2050) und ferne Zukunft (2071 – 2100) gerechnet. Bezugs-

Zeitraum der projizierten Änderungen ist jeweils die Referenz-Klimanormalperiode 1971 – 2000, deren klimatische Kenngrößen für die Planungsregion Köln bereits in Kapitel 2.1 beschrieben wurden.

Generell werden die projizierten Klimaveränderungen textlich beschrieben und mit Hilfe von Tabellen zusammenfassend für die gesamte Planungsregion dargestellt. Auf räumlich differenzierende Kartendarstellungen wurde bewusst verzichtet, da im Maßstab der Planungsregion die räumliche Auflösung der Projektionen, die räumliche Variabilität der Modellergebnisse / Klimaparameter und die modellimmanenten Unsicherheiten eine derart kleinräumige Darstellung nicht mit der notwendigen Belastbarkeit zulassen. Wo die Projektionen räumliche Unterschiede innerhalb der Planungsregion deutlicher aufzeigen, wird auf diese im Text verwiesen.

2.2.3 Temperatur

Da die Projektionen der zukünftigen Lufttemperaturveränderungen mit einer Rastergröße von ungefähr 12 x 12 km immer noch relativ grob aufgelöst sind, sind die Veränderungen der Lufttemperatur innerhalb der Fläche der Planungsregion Köln relativ gleichmäßig ausgeprägt. Räumliche Unterschiede liegen bei allen RCP-Projektionen im zehntel Kelvinbereich und damit im Bereich der Modellunsicherheiten. Nichts destotrotz werden der Vollständigkeit halber abschließend auch die projizierten Temperaturänderungen in den vier Großlandschaften, in denen sich die Planungsregion Köln befindet, tabellarisch präsentiert.

Beginnend mit den Temperaturabweichungen wird zunächst der Zeitraum der nahen Zukunft 2021 - 2050 für beide Szenarien vorgestellt, anschließend der Zeitraum der fernen Zukunft 2071 – 2100, beide aufsteigend nach Perzentilen. Nach dieser Reihenfolge werden auch die folgenden Klimaprojektionen dargestellt.

2021 – 2050: Nahe Zukunft

Im Szenario RCP4.5 steigen für die nahe Zukunft im Vergleich zur Referenzperiode die Temperaturen um 0,7 K bis 1,5 K im Flächenmittel an. Die projizierte Steigerung für die nahe Zukunft (2021 – 2050) entspricht im RCP4.5 Szenario mindestens der Zunahme der seit der KNP 1951 – 1981 festgestellten Erwärmung von 0,8 K in der Planungsregion. Die projizierten Temperaturveränderungen des RCP8.5-Szenarios liegen in einem vergleichbaren Bereich wie die Temperaturveränderungen des RCP4.5-Szenarios. Der im RCP8.5-Szenario projizierte Bereich der Temperaturanstiege liegt mit 0,9 K bis 1,7 K höher. In **Tabelle 12** werden die für das RCP4.5- und das RCP8.5-Szenario projizierten Temperaturveränderungen in der Planungsregion Köln zusammengefasst. Beide RCP-Szenarien liegen in ihrer relativen und absoluten Gesamtbandbreite relativ nah beieinander (Vergleich Relation kleinstes und größtes Perzentil).

Tabelle 12: Projektionen im Bereich 2021 – 2050:
Änderung der jährlichen Durchschnittstemperatur.
(Datenquelle: DWD).

Klimaszenario	Perzentil	Mittel
RCP4.5	15.	+0,7 K
	50.	+1,1 K
	85.	+1,5 K
RCP8.5	15.	+0,9 K
	50.	+1,2 K
	85.	+1,7 K

2071 – 2100: Ferne Zukunft

Für die ferne Zukunft wird innerhalb des RCP4.5-Szenarios für die Planungsregion ein mittlerer Temperaturanstieg im Bereich von 1,5 bis 2,6 K projiziert, während für das RCP8.5-Szenario deutlich stärkere Temperaturabweichungen projiziert werden. Hier liegen die Zunahmen in einem Bereich zwischen 3,0 K und 4,4 K gegenüber der Referenz-KNP (1971 – 2000). Mit dieser starken Temperaturzunahme in den Projektionen macht sich der gesteigerte Strahlungsantrieb des RCP8.5-Szenarios gegenüber dem RCP4.5-Szenario deutlich bemerkbar. In **Tabelle 13** sind die Projektionen der beiden Szenarien für die ferne Zukunft (2071 – 2100) in der Planungsregion Köln noch einmal zusammengefasst.

Tabelle 13: Projektionen im Bereich 2071 – 2100:
Änderung der jährlichen Durchschnittstemperatur
(Datenquelle: DWD).

Klimaszenario	Perzentil	Mittel
RCP4.5	15.	+1,5 K
	50.	+2,0 K
	85.	+2,6 K
RCP8.5	15.	+3,0 K
	50.	+3,4 K
	85.	+4,4 K

In **Tabelle 14** wird zum Abschluss der projizierten Temperaturveränderung in der Planungsregion ein Vergleich zwischen den vier Großlandschaften dargestellt, in welchen sich die Planungsregionen Köln befindet. Wie zu Beginn dieses Abschnittes erwähnt, lassen sich bei den Projektionen, wenn überhaupt, nur Unterschiede im zehntel Kelvinbereich erkennen. Im Prinzip sind die Projektionen sehr gleichförmig.

Tabelle 14: RCP4.5- und RCP8.5-Projektionen der Temperaturänderungen für die Großlandschaften Bergisches Land, Eifel, Niederrheinische Bucht sowie Niederrheinisches Tiefland, jeweils für die nahe Zukunft (2021 – 2050) und die ferne Zukunft (2071 – 2100).

Zeitraum	Klimaszenario	Perzentil	Bergisches Land	Eifel	Niederrheinische Bucht	Niederrheinisches Tiefland
2021 – 2050	RCP4.5	15.	+0,7 K	+0,8 K	+0,7 K	+0,8 K
		50.	+1,1 K	+1,1 K	+1,1 K	+1,1 K
		85.	+1,5 K	+1,5 K	+1,5 K	+1,5 K
	RCP8.5	15.	+0,9 K	+0,9 K	+0,9 K	+0,8 K
		50.	+1,3 K	+1,2 K	+1,3 K	+1,2 K
		85.	+1,7 K	+1,8 K	+1,7 K	+1,7 K
2071 – 2100	RCP4.5	15.	+1,5 K	+1,6 K	+1,5 K	+1,5 K
		50.	+2,0 K	+2,0 K	+2,0 K	+2,0 K
		85.	+2,6 K	+2,6 K	+2,5 K	+2,5 K
	RCP8.5	15.	+3,0 K	+3,1 K	+3,0 K	+2,9 K
		50.	+3,4 K	+3,4 K	+3,3 K	+3,3 K
		85.	+4,4 K	+4,5 K	+4,4 K	+4,3 K

2.2.4 Kenntage Temperatur

Entgegen den Projektionen für die Veränderungen des Parameters Lufttemperatur liegen die Kenntage für Temperaturen nur als SRES-A1B-Szenario vor. Wie bereits erläutert, ist hier die räumliche Auflösung auf ca. 22 x 22 km beschränkt. Dennoch zeigen die SRES-A1B-Projektionen aufschlussreiche Erkenntnisse über die zu erwartenden Veränderungen bei den Lufttemperaturkenntagen in der Planungsregion.

Zunächst werden die Projektionen für die Heißen Tage und Sommertage vorgestellt, anschließend die der Eistage und Frosttage. Da das A1B-Szenario ungefähr zwischen dem RCP4.5- und dem RCP8.5-Szenario liegt, ist hier ein Abgleich der Kenntage mit den beiden RCP-Projektionen zu den Lufttemperaturänderungen nur eingeschränkt möglich. Auch hier werden im Text sämtliche Kenntage zu ganzen Werten gerundet. Durch die erheblich geringere räumliche Auflösung und der insgesamt hohen Variabilität der Modellergebnisse sollte die Genauigkeit der nachfolgend vorgestellten Projektionen nicht überschätzt werden. Auch lassen sich bei den Kenntagen für Lufttemperatur keine räumlichen Unterschiede innerhalb der Planungsregion erkennen.

Heiße Tage

Für die nahe Zukunft (2021 – 2050) wird für die Planungsregion eine durchschnittliche Zunahme von 0 bis 8 Heißen Tage pro Jahr für die Planungsregion im Vergleich zur Referenz-

KNP (1971 – 2000) projiziert. Für die ferne Zukunft (2071 – 2100) liefern die regionalen SRES-A1B Modelle eine Bandbreite von rund 2 bis 24 Heißen Tagen pro Jahr zusätzlich gegenüber der Referenz-KNP. In **Tabelle 15** werden die SRES-A1B-Projektionen der Zunahme der Heißen Tage pro Jahr innerhalb des Planungsbereiches für beide Zukunftszeiträume zusammenfassend dargestellt. Dabei wird deutlich, dass vor allem die relative Bandbreite über die drei betrachteten Perzentile für beide Zukunftszeiträume recht groß ist.

Tabelle 15: SRES-A1B-Projektionen: Änderung der Anzahl an Heißen Tage pro Jahr (Datenquelle: DWD).

Zeitraum	Perzentil	Mittel
2021 - 2050	15.	+0,1
	50.	+1,7
	85.	+7,8
2071 - 2100	15.	+1,5
	50.	+11,0
	85.	+23,6

Sommertage

Die SRES-A1B-Projektionen der nahen Zukunft (2021 – 2050) für die Entwicklung der Sommertage liegen in einem Bereich von 1 bis hin zu 15 Sommertagen pro Jahr zusätzlich gegenüber der Referenz-KNP von 1971 – 2000. Für den Bereich der fernen Zukunft (2071 – 2100) wird eine auf die Fläche gemittelte Abweichung im Bereich von 8 bis 39 zusätzlichen Sommertagen pro Jahr für die Planungsregion projiziert. **Tabelle 16** stellt die Projektionsbandbreite des SRES-A1B-Szenarien zwischen den Perzentilen beider Zukunftsbereiche dar. Hier sind die relativen Unterschiede nicht ganz so groß wie bei den Heißen Tagen.

Tabelle 16: SRES-A1B-Projektionen: Änderung der Anzahl an Sommertage pro Jahr. (Datenquelle: DWD).

Zeitraum	Perzentil	Mittel
2021 - 2050	15.	+0,5
	50.	+6,1
	85.	+14,7
2071 - 2100	15.	+7,5
	50.	+25,3
	85.	+38,9

Eistage

Wie bereits zu Beginn dieses Kapitels bei der Erläuterung der Perzentile beschrieben, wird für die Auswertung der Ergebnisse, wie bei allen Parametern, eine Größensortierung der Modellprojektionen vorgenommen. Dies bedeutet für die negativen Änderungen der Kenntage, dass sich die Aussage der jeweiligen Perzentile umkehrt: die absolut kleinsten Werte stellen die größte Änderung dar. So stellt bei den hier diskutierten Eistagen das 15. Perzentil

nun den Bereich der Projektionsbandbreite dar, bei der die Änderungen gegenüber der Referenz-KNP, nun negativ abnehmend, am stärksten ausgeprägt sind. Dem entsprechend repräsentiert nun das 85. Perzentil den Bereich mit den geringsten Änderungen innerhalb der zahlreichen Modell-Läufe.

Das SRES-A1B-Szenario projiziert auf die Fläche gemittelt für die nahe Zukunft (2021 – 2050) einen Rückgang der jährlichen Eistage gegenüber der Referenz – KNP in einem Bereich von 3 bis 14 Eistagen pro Jahr. Bei nur 13 Eistagen pro Jahr während der Referenz-KNP kann hier im 15. Perzentil zumindest potentiell von einem fast vollständigen Verlust der Eistage ausgegangen werden. Für die ferne Zukunft (2071 – 2100) wird innerhalb der Planungsregion im Vergleich zur Referenz-KNP (1971 – 2000) ein gemittelter Rückgang von durchschnittlich 6 bis 19 Eistagen pro Jahr projiziert. Dass ein Wert von -19 Eistagen pro Jahr weniger entlang der oberen Grenze der Bandbreite überhaupt möglich ist, obwohl nur durchschnittlich 13 Schneetage pro Jahr vorkommen, liegt an der Arbeitsweise der verwendeten Modelle. Es kann passieren, dass der Beobachtungszeitraum und die entsprechenden Werte nicht genau getroffen werden. Daher werden die projizierten Veränderungen auch immer als Differenz und nicht in absoluten Werten dargestellt.

Tabelle 17 fasst sämtliche Projektionen für den Kenntag Eistage des A1B-Szenarios für beide Zukunftsbereiche abschließend zusammen. Im Vergleich zu den vorangegangenen Sommertagen ist hier die relative und absolute Bandbreite nochmals geringer.

Tabelle 17: SRES-A1B-Projektionen: Änderung der Anzahl an Eistagen pro Jahr. (Datenquelle: DWD).

Zeitraum	Perzentil	Mittel
2021 - 2050	15.	-14,2
	50.	-6,3
	85.	-3,3
2071 - 2100	15.	-18,8
	50.	-11,2
	85.	-5,6

Frosttage

Für die nahe Zukunft (2021 – 2050) wird bei den Frosttagen ein mittlerer Rückgang gegenüber der Referenzperiode (1971 – 2000) in einem Bereich von 11 bis 30 Tagen pro Jahr im Flächenmittel projiziert. Für die ferne Zukunft (2071 – 2100) projiziert das SRES-A1B-Szenario einen Rückgang im Bereich von 26 bis 50 Frosttagen pro Jahr im Flächenmittel der Planungsregion. **Tabelle 18** stellt die SRES-A1B-Projektionen der Frosttage pro Jahr zusammenfassend dar. Bei den Frosttagen ist im Vergleich zu den anderen Temperaturkenn-tagen die relative Bandbreite deutlich geringer als bei der absoluten Bandbreite.

Tabelle 18: SRES-A1B-Projektionen: Änderung der Anzahl an Frosttagen pro Jahr (Datenquelle: DWD).

Zeitraum	Perzentil	Mittel
2021 - 2050	15.	-29,8
	50.	-18,8
	85.	-11,2
2071 - 2100	15.	-50,3
	50.	-38,7
	85.	-26,0

2.2.5 Niederschlag

Die Zukunftsprojektionen der Änderungen bei den mittleren jährlichen Niederschlagssummen liegen für die Planungsregion als RCP4.5- und RCP8.5-Szenarien mit einer Auflösung von 12 x 12 km vor. Dabei werden die relativen Veränderungen zu der mittleren jährlichen Niederschlagssumme der Referenz-KNP in Prozent dargestellt. Eine jahreszeitliche Differenzierung der Zukunftsprojektionen zu den Niederschlägen wird im Unterkapitel 2.2.5.1 aufgezeigt. Entgegen den projizierten Veränderungen bei der zukünftigen mittleren Lufttemperatur sind die projizierten Veränderungen der mittleren Jahresniederschläge etwas variabler, sowohl räumlich als auch innerhalb der gesamten Breite der Perzentile. Analog zu Kapitel 2.2.3. wird auch hier zum Abschluss eine tabellarische Übersicht der projizierten Niederschlagsveränderungen für die vier Großlandschaften gegeben, in welchen sich die Planungsregion befindet.

2021 – 2050: Nahe Zukunft

Für die nahe Zukunft (2021 – 2050) des RCP4.5 Szenarios wird im Flächenmittel der Planungsregion insgesamt -1 % bis +11 % Niederschlagsveränderung gegenüber der Niederschlagssumme der Referenz-KNP (1971 – 2000) projiziert. Die gesamte Bandbreite der hier betrachteten Projektionen liegt bei 12 % und die relativen Unterschiede zwischen den Projektionen innerhalb der Perzentile sind deutlich höher als bei der Lufttemperatur. Die maximalen räumlichen Unterschiede bei den projizierten Niederschlagsveränderungen innerhalb der Planungsregion betragen bis zu rund 7 %. Die räumliche Verteilung der Ergebnisse innerhalb der Planungsregion Köln ist dabei sehr uneinheitlich, so dass hier keine belastbaren Aussagen für die Planungsregion gemacht werden können.

Für den gleichen Projektionszeitraum liefert das RCP8.5-Szenario für die Planungsregion einen Bereich von keiner Änderung bis zu +13 % an zusätzlicher jährlichen Niederschlagssumme im Vergleich zur Referenz-KNP (1971 – 2000). Im Vergleich zu den RCP4.5-Projektionen ist die gesamte Bandbreite der Projektionen mit knapp 13 % sehr ähnlich. Mit maximal etwa 8 % Unterschied bei den Niederschlagsveränderungen innerhalb der Planungsregion ist die räumliche Variabilität leicht größer als beim RCP4.5-Szenario. Klare und einheitliche räumliche Unterschiede lassen sich in den Projektionen nicht erkennen.

Tabelle 19 zeigt die Projektionsergebnisse für die Niederschlagsveränderungen für die nahe Zukunft (2021 – 2050) nochmals zusammenfassend. Hier sind die relativen Unterschiede innerhalb der dargestellten Bandbreiten eher hoch.

Tabelle 19: Projektionen im Bereich 2021 – 2050:
Jährliche prozentuale Niederschlagsveränderungen.
Datenquelle: DWD.

Klimaszenario	Perzentil	Mittel
RCP4.5	15.	-1 %
	50.	+4 %
	85.	+11 %
RCP8.5	15.	0 %
	50.	+4 %
	85.	+13 %

2071 – 2100: Ferne Zukunft

Für das RCP4.5-Szenario wird im Bereich der fernen Zukunft (2071 – 2100) eine Zunahme der gemittelten Jahresniederschläge in einem Bereich von rund +1 bis +15 % gegenüber der Referenz-KNP (1971 – 2000) projiziert. Die gesamte Bandbreite der Projektionen liegt demnach bei ca. 14 %. Räumliche Unterschiede betragen je nach Projektionsbereichsgrenze bis zu 6 % und sind ebenfalls nicht konsistent in ihrer räumlichen Verteilung.

Im gleichen Zeitbereich sind unter dem RCP8.5-Szenario die stärksten positiven Veränderungen bei den jährlichen Niederschlagssummen ersichtlich. Hier werden Zunahmen der jährlichen Niederschlagssummen im Bereich von rund -1 bis +23 % im Vergleich zu Referenz – KNP projiziert. Mit fast 24 % Unterschied ist die betrachtete Projektionsbandbreite des RCP8.5 Szenario für die ferne Zukunft (2071 – 2100) am größten. Mit einem räumlichen Unterschied von maximal rund 12 % innerhalb der Fläche der Planungsregion ist auch hier die Variabilität am stärksten ausgeprägt. Dennoch können keine verlässlichen Aussagen über mögliche räumliche Unterschiede im Regierungsbezirk gemacht werden.

In der folgenden **Tabelle 20** werden die Projektionen der fernen Zukunft für die Niederschlagssummen in der Planungsregion nochmals für beide RCP-Szenarien zusammengefasst. Sowohl die relative als auch die absolute Bandbreite beider RCP-Szenarien des Zeitraumes 2071 – 2100) ist spürbar größer als bei den Projektionen des Zeitraumes 2021 – 2050.

Tabelle 20: Projektionen im Bereich 2071 – 2100:
Jährliche prozentuale Niederschlags-
veränderungen. (Datenquelle: DWD).

Klimaszenario	Perzentil	Mittel
RCP4.5	15.	+1 %
	50.	+6 %
	85.	+15 %
RCP8.5	15.	-1 %
	50.	+8 %
	85.	+23 %

2.2.5.1 Niederschlag: Veränderungen im Jahresverlauf

Die saisonale Betrachtung der bereits stattgefundenen Veränderungen bei den Niederschlagsmengen im Vergleich der KNP 1951 – 1980 und 1981 – 2010, dargestellt in **Tabelle 8** zeigt eine Verlagerung der höchsten durchschnittlichen Niederschlagssummen vom Sommer in den Herbst und Winter bei einem gesamten Anstieg der mittleren Niederschlagssumme pro Jahr.

Bei den RCP-Szenarien 4.5 und 8.5 wird weiterhin eine generelle Zunahme der jährlichen Niederschlagssummen projiziert. Auf die Jahreszeiten bezogen werden jedoch vor allem für den Winter und, etwas weniger stark ausgeprägt, den Frühling überproportionale Steigerungen bei den Niederschlagssummen erwartet, während Herbst je nach Perzentil maximal nur leichte Steigerungen bei den Niederschlägen erfährt. Für den Sommer ist tendenziell eher mit weiteren Rückgängen der Niederschlagssummen zu rechnen.

Tabelle 21 veranschaulicht die projizierten Niederschlagssummen der einzelnen Jahreszeiten, Zukunftszeiträume und RCP-Szenarien für die Planungsregion Köln. Die Tabelle zeigt, dass im 15. Perzentil gerade in den Sommer- und Herbstmonaten sogar negative Veränderungen bei den projizierten Niederschlagsmengen auftreten. Zur besseren Orientierung wurden Niederschlagszunahmen blau und Niederschlagsabnahmen rot gekennzeichnet. Bei den saisonalen Niederschlagsprojektionen ist die relative und absolute Bandbreite unterschiedlich groß und teilweise größer als bei den Projektionen für die jährlichen Niederschlagsabweichungen. Auffällig sind hier besonders die negativen Abweichungen gegenüber der Referenz-KNP (1971 – 2000), die bei den jährlichen Niederschlagsprojektionen so nicht vorkommen.

Tabelle 21: Projektionen der saisonalen Niederschlagsveränderungen.
(Datenquelle: DWD).

Jahreszeit	RCP-Szenario	Perzentil	2021 - 2050	2071 - 2100
Winter	4,5	15.	+1 %	+1 %
		50.	+9 %	+13 %
		85.	+20 %	+24 %
	8,5	15.	-4 %	+6 %
		50.	+13 %	+25 %
		85.	+27 %	+39 %
Frühjahr	4,5	15.	+2 %	+2 %
		50.	+7 %	+11 %
		85.	+12 %	+19 %
	8,5	15.	+1 %	+3 %
		50.	+6 %	+14 %
		85.	+13 %	+22 %
Sommer	4,5	15.	-9 %	-14 %
		50.	0 %	-2 %
		85.	+16 %	+22 %
	8,5	15.	-7 %	-26 %
		50.	-2 %	-12 %
		85.	+8 %	+25 %
Herbst	4,5	15.	-6 %	-5 %
		50.	0 %	+2 %
		85.	+8 %	+11 %
	8,5	15.	-4 %	-8 %
		50.	+3 %	+8 %
		85.	+11 %	+21 %

Tabelle 22 stellt zum Abschluss der projizierten Veränderungen der mittleren jährlichen Niederschlagssummen der vier Großlandschaften dar, in denen sich die Planungsregion Köln befindet.

Tabelle 22: RCP4.5- und RCP8.5- Projektionen der Niederschlagssummenänderungen für die Großlandschaften Bergisches Land, Eifel, Niederrheinische Bucht sowie Niederrheinisches Tiefland, jeweils für die nahe Zukunft (2021 – 2050) und die ferne Zukunft (2071 – 2100)

Zeit- raum	Klima- szenario	Perzentil	Bergisches Land	Eifel	Niederrheinische Bucht	Niederrheinisches Tiefland
2021 - 2050	RCP4.5	15.	-1 %	-1 %	-1 %	-1 %
		50.	+6 %	+2 %	+3 %	+4 %
		85.	+12 %	+10 %	+12 %	+12 %
	RCP8.5	15.	0 %	-1 %	0 %	+1 %
		50.	+5 %	+3 %	+4 %	+4 %
		85.	+12 %	+13 %	+12 %	+7 %
2071 - 2100	RCP4.5	15.	+1 %	0 %	+1 %	+2 %
		50.	+6 %	+5 %	+6 %	+4 %
		85.	+16 %	+15 %	+14 %	+15 %
	RCP8.5	15.	+1 %	-4 %	0 %	+2 %
		50.	+9 %	+6 %	+7 %	+9 %
		85.	+23 %	+21 %	+24 %	+23 %

2.2.6 Wetterextreme

Unter dem Begriff Wetterextreme sollen an dieser Stelle Projektionen der zu erwartenden Starkniederschlagstage mit >10 mm/Tag und >20 mm/Tag an Niederschlagsintensität vorgestellt werden. Im Gegensatz zu den Kenntagen der Lufttemperatur liegen diese Projektionen auf Basis des Modellensembles des RCP4.5- und RCP8.5-Szenarios vor. Aufgrund der relativen Seltenheit der Starkniederschlagstage ist die gesamte absolute Bandbreite zwischen den betrachteten Perzentilen eher gering. Auch lassen sich keine belastbaren Aussagen über räumliche Unterschiede innerhalb der Planungsregion ableiten. Dies sollte bei der Betrachtung der nun folgenden Projektionen der Starkniederschlagstage beachtet werden. Analog zu den anderen Kenntagen werden im Text die nun beschriebenen Änderungswerte ebenfalls auf ganze Zahlen gerundet präsentiert.

Starkniederschlagstage >10 mm/Tag:

2021 – 2050: Nahe Zukunft

Bei den Tagen mit Starkniederschlägen von mehr als 10 mm wird für die nahe Zukunft (2021 – 2050) im RCP4.5-Szenario eine Zunahme im Bereich von keinem bis 4 Starkniederschlagstagen pro Jahr >10 mm im Vergleich zur Referenz-KNP (1971 – 2000) erwartet. Die Projektionen des RCP8.5-Szenarios für die Anzahl der Starkniederschlagstage pro Jahr >10 mm liegen recht nah bei den RCP4.5-Projektionen. So zeigt sich in den Projektionen eine

Zunahme dieser Starkniederschlagstage im Bereich von ebenfalls keinem bis 5 Tagen pro Jahr im Vergleich zur Referenz-KNP (1971 – 2000). In **Tabelle 23** werden die Projektionen für die nahe Zukunft (2021 – 2050) und für die jährliche Anzahl an Tagen >10 mm innerhalb der Planungsregion Köln zusammenfassend dargestellt. Während die absolute Bandbreite recht klein ist, ist die relative Bandbreite der dargestellten Projektionen schon wesentlich höher.

Tabelle 23: Projektionen für die nahe Zukunft (2021 – 2050):
Änderung der Anzahl an Starkniederschlagstagen
(>10 mm/Tag) pro Jahr. (Datenquelle: DWD)

Klimaszenario	Perzentil	Mittel
RCP4.5	15.	0
	50.	+2
	85.	+4
RCP8.5	15.	0
	50.	+2
	85.	+5

2071 – 2100: Ferne Zukunft

Im Bereich der fernen Zukunft 2071 – 2100 steigern sich im RCP4.5-Szenario die projizierten Zuwächse bei der Anzahl an Tagen mit Starkniederschlägen >10mm leicht gegenüber dem Zukunftszeitraum 2021 – 2050. So liegt hier der Bereich nun zwischen 1 und 6 zusätzlichen Starkniederschlagstagen im Vergleich zur Referenz-KNP (1971 – 2000). Bei den RCP8.5-Projektionen zeigt sich eine deutlich größere Zunahme der jährlichen Anzahl an Starkniederschlagstagen mit >10 mm. Unter diesem Szenario wird eine Zunahme der Starkniederschlagstage um einen Bereich von 2 bis 9 Tagen projiziert. In **Tabelle 24** werden die Projektionen der fernen Zukunft (2071 – 2100) zur jährlichen Anzahl der Tage mit Starkniederschlägen von >10 mm nochmals zusammengefasst. Hier hat sich die relative Bandbreite wieder verringert, während die absolute Bandbreite leicht gestiegen ist.

Tabelle 24: Projektionen für die ferne Zukunft (2071 – 2100):
Änderung der Anzahl an Starkniederschlagstagen
(>10 mm/Tag) pro Jahr. (Datenquelle: DWD)

Klimaszenario	Perzentil	Mittel
RCP4.5	15.	+1
	50.	+3
	85.	+6
RCP8.5	15.	+2
	50.	+5
	85.	+9

Starkniederschlagstage >20 mm/Tag:

2021 – 2050: Nahe Zukunft

Bei der jährlichen Anzahl an Tagen mit >20 mm Niederschlag wird innerhalb des RCP4.5-Szenarios im Bereich der nahen Zukunft (2021 – 2050) lediglich ein Zuwachs der der Starkniederschlagstage zwischen keinem und 1 zusätzlichen Tag pro Jahr projiziert. Die projizierte Zunahme der jährlichen Anzahl an Tagen mit Starkniederschlägen von >20 mm pro Tag für diesen Zeitbereich liegt im RCP8.5-Szenario zwischen ebenfalls keinem Anstieg und knapp 2 Tagen pro Jahr im Vergleich zur Referenz-KNP (1971 – 2000). **Tabelle 25** zeigt zusammenfassend die beiden Projektionen zur Entwicklung der jährlichen Anzahl an Tagen mit Starkniederschlägen von > 20 mm pro Jahr in der Planungsregion Köln. Hier ist die absolute Bandbreite am geringsten, genauso wie die die relative Bandbreite.

Tabelle 25: Projektionen für die nahe Zukunft (2021 – 2050): Änderung der Anzahl an Starkniederschlagstagen (>20 mm/Tag) pro Jahr. (Datenquelle: DWD)

Klimaszenario	Perzentil	Mittel
RCP4.5	15.	0
	50.	+1
	85.	+1
RCP8.5	15.	0
	50.	+1
	85.	+2

2071 – 2100: Ferne Zukunft

Für die ferne Zukunft (2071 – 2100) liegen die RCP4.5-Projektionen nur leicht über den geringen Zuwächsen, die für die nahe Zukunft (2021 – 2050) projiziert werden. Hier betragen die Zuwächse bei den Starkniederschlagstagen >20 mm zwischen keinem und rund 2 zusätzlichen Tagen pro Jahr gegenüber der Referenz-KNP. Innerhalb des RCP8.5-Szenarios wird erwartungsgemäß für diesen Zeitbereich die größte Zunahme bei der jährlichen Anzahl an Starkniederschlagstagen mit mehr als 20 mm projiziert. So werden hier Zuwächse im Bereich von einem bis knapp 4 zusätzlichen Tagen pro Jahr gegenüber der Referenz-KNP (1971 – 2000) erwartet. In **Tabelle 26** sind die Projektionen der fernen Zukunft (2071 – 2100) zur Veränderung der jährlichen Anzahl an Starkniederschlagstagen mit mehr als 20 mm Niederschlag nochmals zusammengefasst. Hier wird die absolute Bandbreite wieder etwas größer, ebenso die relativen Unterschiede zwischen den obersten und untersten Perzentilen beim RCP8.5-Szenario.

Tabelle 26: Projektionen für die ferne Zukunft (2071 – 2100):
 Änderung der Anzahl an Starkniederschlagstagen
 (>20 mm/Tag) pro Jahr. (Datenquelle: DWD)

Klimaszenario	Perzentil	Mittel
RCP4.5	15.	0
	50.	+1
	85.	+2
RCP8.5	15.	+1
	50.	+2
	85.	+4

2.2.7 Fazit projizierte Klimaänderungen

Aufgrund der räumlichen Auflösung von ungefähr 22 x 22 km beziehungsweise ca. 12 x 12 km können die hier vorgestellten Modellprojektionen für die Zukunft im Vergleich zu den real beobachteten Klimaveränderungen, die als Raster mit ca. 1 x 1 km Auflösung existieren, nur begrenzt Aussagen zu den lokalen Unterschieden innerhalb der Planungsregion machen. Dennoch liefern die Projektionen der zu erwartenden Klimaveränderungen wertvolle Informationen darüber, auf welche Änderungen der klimatischen Verhältnisse sich in Zukunft eingestellt werden muss.

Die in diesem Kapitel beschriebenen projizierten Änderungen des Klimas in der Planungsregion Köln verdeutlichen, dass unser Klima insgesamt und damit auch das Wetter nicht nur wärmer, sondern auch extremer wird. Dies gilt besonders, da sämtliche hier vorgestellten Projektionen der jeweiligen Klimaparameter Mittelwerte der Fläche des Regierungsbezirks Köln sind. Lokal können insbesondere bei den Kenntagen und dem Niederschlag deutlich höhere Abweichungen gegenüber der Referenzperiode 1971 – 2000 auftreten. Auch leichte Verschiebungen der klimatischen Mittelwerte können dabei zu extremen Ereignissen führen, die so in unseren Breiten früher wesentlich seltener waren. **Abbildung 21** verdeutlicht, wie sich Veränderungen von klimatischen Mittelwerten auf die Auftretenswahrscheinlichkeit von Extremwetterereignissen auswirken können.

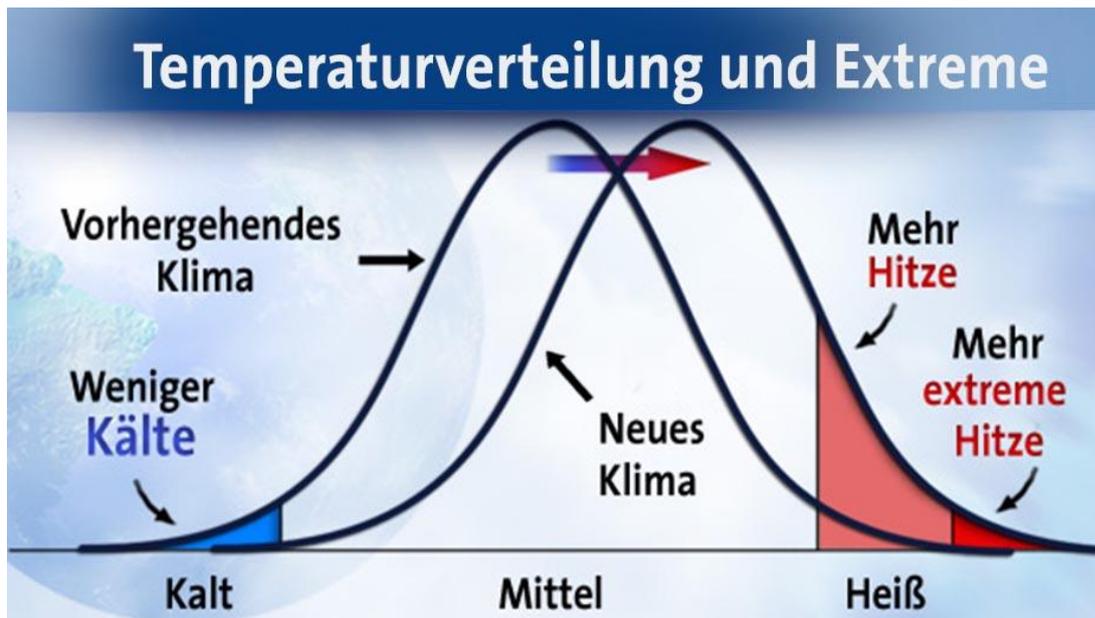


Abbildung 21: Klimawandel - Temperaturverteilung und Extreme (STAEGER 2016).

3. Klimaschutz in der Planungsregion Köln

Der Begriff Klimaschutz umfasst sämtliche Maßnahmen, die geeignet sind, den anthropogenen Klimawandel zu verhindern oder diesen zumindest abzuschwächen. Von zentraler Bedeutung ist dabei vor allem die Verringerung der Treibhausgasemissionen, insbesondere von Kohlenstoffdioxid (CO₂), die nach einhelliger Auffassung von Wissenschaft und Forschung verantwortlich für den globalen Klimawandel sind (Kapitel 2). Eine weitere Möglichkeit im Bereich Klimaschutz ist es, Kohlenstoffspeicher zu schaffen oder zu erhalten. Hierzu zählen zum Beispiel Wälder und der Boden.

In diesem Kapitel werden zunächst die Treibhausgasemissionen im Regierungsbezirk Köln quantifiziert und eingeordnet. Anschließend wird mit den Erneuerbaren Energien ein wesentlicher Baustein im Bereich Klimaschutz thematisiert: Da der Energiesektor durch den Einsatz fossiler Brennstoffe (vor allem Braun-, Steinkohle und Öl) für einen Großteil der CO₂-Emissionen verantwortlich ist, können durch den Umbau des Energieversorgungssystems und den damit verbundenen Ausbau der regenerativen Energien der Ausstoß großer Mengen an Treibhausgasen eingespart werden. Um die Energiewende auf der Ebene der Planungsregion Köln zu unterstützen, werden daher in Kapitel 3.2 der aktuelle Bestand und noch ungenutzte Potenziale regenerativer Energien dargestellt und ausgewertet. Grundlage hierfür ist die „Potenzialstudie Erneuerbare Energien“ des LANUV. Der Fokus liegt dabei auf dem Strombereich, da für den Wärmesektor (mit Ausnahme der regionalplanerisch kaum zu adressierenden oberflächennahen Geothermie) bislang keine vergleichbare Datengrundlage vorliegt. Um die Energiewende auch im Wärmesektor zu unterstützen, werden vom LANUV ebenfalls Studien beispielsweise zur Nutzung von warmen Grubenwasser oder industrieller Abwärme erarbeitet, deren Ergebnisse bei Erstellung des Fachbeitrags Klima für die Planungsregion Köln jedoch noch nicht vorlagen. Abschließend werden in Kapitel 3.3 weitere Bausteine im Bereich Klimaschutz und deren Relevanz für die Regionalplanung im Planungsraum Köln behandelt.

3.1 Treibhausgasemissionen in der Region

Im Folgenden werden die klimaschädlichen Treibhausgasemissionen im Planungsgebiet der Bezirksregierung Köln untersucht und in ein Verhältnis zu den Werten aus ganz Nordrhein-Westfalen und dem gesamten Bundesgebiet gesetzt. Nähere Informationen zu diesem Thema können auch dem Bericht „Treibhausgas-Emissionsinventar Nordrhein-Westfalen 2016 – LANUV-Fachbericht 87“ (LANUV 2017_c) entnommen werden, der auch die Grundlage für die folgenden Ausführungen ist.

Als Treibhausgase (THG) werden gasförmige Stoffe bezeichnet, die zum Treibhauseffekt beitragen, indem sie einen Teil der von der Erdoberfläche abgegebenen Infrarotstrahlung absorbieren. Die Energie dieser Strahlung verbleibt so teilweise in der Erdatmosphäre und wird nicht ans Weltall abgegeben. Unterschieden werden Treibhausgase natürlichen Ursprungs und solche, die vom Menschen verursacht sind.

Im Jahr 1997 wurden auf der Konferenz in Kyoto Ziele zum Klimaschutz auf globaler Ebene beschlossen (Kyoto Protokoll als Zusatzprotokoll zur Ausgestaltung der Klimarahmenkonvention, UNFCCC 1997). Das 2005 in Kraft getretene und 2012 ausgelaufene Abkommen schrieb verbindliche Zielwerte für den Ausstoß von Treibhausgasen fest. Mittlerweile wurde in Nachfolge im Jahr 2015 das Paris Abkommen (UNFCCC 2015) verabschiedet, welches zum Ziel hat, den Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur auf deutlich unter 2 (1,5) °C im Vergleich zu dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen. Deutschland und auch das Land Nordrhein-Westfalen bekennen sich zur Einhaltung der Pariser Klimaziele.

Damit steht Nordrhein Westfalen als bedeutender Industriestandort und bevölkerungsreichstes Bundesland vor einer großen Herausforderung. Im Jahr 2013 wurde vom Landtag das erste Klimaschutzgesetz in Deutschlands verabschiedet, womit die Wichtigkeit des Klimaschutzes und die Bedeutung des Standortes Nordrhein Westfalen untermauert wurden. In § 3 (1) des Klimaschutzgesetzes heißt es dazu, dass „ die Gesamtsumme der Treibhausgasemissionen in Nordrhein Westfalen [...] bis zum Jahr 2020 um mindestens 25 % und bis zum Jahr 2050 um mindestens 80 % im Vergleich zu den Gesamtemissionen des Jahres 1990 verringert werden [soll]“.

Um die Entwicklung der Emissionen zu dokumentieren, wurde in Nordrhein-Westfalen 2008 ein Treibhausgas-Emissionsinventar eingerichtet, welches sich an den Vorgaben des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) orientiert (IPCC 2006) und durch das LANUV NRW jährlich fortgeschrieben wird.

In diesem Inventar werden die jährlichen Emissionen der Treibhausgase Kohlenstoffdioxid (CO₂), Methan (CH₄), Distickstoffmonoxid (N₂O) (allgemein bekannt als Lachgas) sowie wasserstoffhaltige Fluorkohlenwasserstoffe (HFC), perfluorierte Kohlenwasserstoffe (PFC) und Schwefelhexafluorid (SF₆) bilanziert. Seit 2013 zählt auch Stickstofftrifluorid (NF₃) zu den zu bilanzierenden Stoffen. Dieser Stoff wird in der Elektronikindustrie (Herstellung von Flachbildschirmen, Solarindustrie) eingesetzt, spielt in Deutschland aber nur eine untergeordnete Rolle. Die jährlichen Emissionen der Treibhausgase werden dabei gegliedert nach den Sektoren Energie, Industrieprozesse, Landwirtschaft, Abfall und Sonstige (IPCC 2006).

CO₂ entsteht vor allem bei Verbrennungsvorgängen, während N₂O in größerem Umfang hauptsächlich bei Industrieprozessen und in der Landwirtschaft emittiert wird. CH₄ tritt insbesondere als flüchtige Emission aus Brennstoffen auf, z. B. im Steinkohlebergbau und der Öl- und Gaswirtschaft, außerdem in der Landwirtschaft und bei Abfalldeponien. Die Berechnungen für das Treibhausgas-Emissionsinventar orientieren sich an den Vorgaben der IPCC-Guidelines 2006 (IPCC 2006).

Datengrundlagen für die Inventarerstellung sind:

- die Emissionsberichte der emissionshandelspflichtigen Anlagen, die auf der Basis der Emissionshandels-Richtlinie erstellt werden (Richtlinie 2003/87/EG),
- die Emissionserklärungen nach der 11. Bundes-Immissionsschutzverordnung (11. BImSchV),

- Daten des Johann Heinrich von Thünen-Instituts, Braunschweig, zur Landwirtschaft und zur Landnutzungsänderung, die im Auftrag des UBA für das Nationale Inventar ermittelt und auch für NRW zur Verfügung gestellt werden,
- Berichte aus dem Pollutant Release and Transfer Register (PRTR), das Informationen zur Freisetzung von Schadstoffen von Industriebetrieben in Wasser, Luft und Boden sowie die Verbringung von Abfallmengen enthält,
- weitere Statistiken, wie Energiebilanzen und Produktionsstatistiken.

Weiterhin werden als Berechnungsgrundlage Daten (z. B. Emissionsfaktoren) verwendet, die das Umweltbundesamt (UBA) im Nationalen Inventarbericht (NIR) zum Deutschen Treibhausgasinventar im Rahmen der Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen veröffentlicht (UMWELTBUNDESAMT 2017).

Für die Emissionsberechnung werden den verschiedenen Stoffen dabei jeweils stoffspezifische Emissionsfaktoren zugeordnet. Dieser Faktor gibt das Verhältnis zwischen der Masse des freigesetzten Treibhausgases und eingesetzter Masse oder Energieinhalt eines Ausgangsstoffes (z. B. dem Energieträger Steinkohle) an. Durch die Multiplikation der Menge des eingesetzten Ausgangsstoffes mit dem entsprechenden stoff- und prozessspezifischen Emissionsfaktor wird die Menge des ausgestoßenen Treibhausgases berechnet. Die Emissionen der verschiedenen Treibhausgase werden anschließend anhand ihres Global Warming Potential (GWP) in CO₂-Äquivalente (Einheit CO_{2eq}) umgerechnet. So wird zur Berechnung der CO₂-Äquivalente beispielsweise für CH₄ der Faktor 25 und für N₂O der Faktor 298 verwendet. Das GWP ist ein Maß dafür, wie stark eine bestimmte Menge eines Treibhausgases im Vergleich zu Kohlendioxid zum Treibhauseffekt beiträgt, was den Vergleich unterschiedlicher Treibhausgase ermöglicht.

Für die Analyse der Treibhausgasemissionen in der Planungsregion Köln konnte jedoch nur teilweise auf die Daten des Treibhausgas-Emissionsinventars des LANUV zurückgegriffen werden, da dieses nur landesweit erstellt wird und Daten daher teilweise nicht regionalisiert vorliegen. Daher wurden weitere Daten des LANUV ergänzend hinzugezogen, die jedoch zum Teil nur für einzelne Bezugsjahre vorliegen und keine durchgehende Zeitreihe bilden.

Daher müssen für die regionalisierte Betrachtung der THG-Emissionen in der Planungsregion Köln kleinere Kompromisse in Kauf genommen werden: So enthalten die Daten im Gegensatz zu den ebenfalls angegebenen Vergleichswerten für ganz NRW und Deutschland keine Angaben zu den F-Gasen (z. B. HFC, PFC, SF₆, NF₃). Die Äquivalente setzen sich also nur aus CO₂, CH₄ und N₂O zusammen. Für die Sektoren Abfall, Produktanwendung/Sonstige und Flüchtige Emissionen aus Brennstoffen liegen keine Daten auf Regionsebene vor. Weiterhin werden die regionalisierten Daten nicht jährlich erhoben, und liegen zum Teil für einige Sektoren mit unterschiedlichem Stand vor. Auch liegen für den Regierungsbezirk Köln die Werte der eigentlich eigenständigen Sektoren Energiewirtschaft und Industrie nur gemeinsam vor, diese stammen aus den Emissionsberichten 2016 des Emissionshandels und den Emissionserklärungen nach der 11. BImSchV für 2016. Für die anderen Sektoren wurden die Emissionsdaten für 2012/2013 mit Hilfe der Daten des THG-Inventars und anderer statistischer Daten auf 2016 umgerechnet.

Dennoch lassen sich trotz dieser Probleme hinsichtlich der Datengrundlagen die THG-Emissionen der Planungsregion Köln solide einordnen. Die fehlenden Sektoren spielen, wie die landes- und bundesweiten Daten zeigen, quantitativ eine eher untergeordnete Rolle. Gleiches gilt für die F-Gase, die in NRW etwa 1 % der gesamten THG-Emission in CO₂-Äquivalenten ausmachen (LANUV 2017_B).

Tabelle 27 zeigt die Treibhausgasemissionen im Regierungsbezirk Köln für das Jahr 2016. Demnach lag der THG-Ausstoß hier bei 81,3 Mio. t CO₂-Äquivalenten (ohne die Sektoren Abfall, Produktanwendung/Sonstige und Flüchtige Emissionen aus Brennstoffen sowie F-Gase). Für knapp 98 % der Emissionen in CO₂-Äquivalenten ist demnach der Kohlenstoffdioxid-Ausstoß verantwortlich. Etwa 80 % der THG-Emissionen entstehen in der Planungsregion Köln in den Sektoren Energiewirtschaft und Industrie (ca. 64,2 Mio. t CO_{2eq}). Allein die beiden Großkraftwerke Niederaußem und Weißweiler (Braunkohle) emittierten 2016 43,6 Mio. t CO₂. Haushalte und Kleinverbrauch (7,4 Mio. t CO_{2eq}) sowie der Verkehrssektor (8,7 Mio. t CO_{2eq}) waren jeweils für etwa 9 - 10 % aller THG-Emissionen in der Region verantwortlich sind.

Tabelle 27: Treibhausgasemissionen in der Planungsregion Köln 2016

	CO ₂	CH ₄ (CO _{2eq})	N ₂ O (CO _{2eq})	Summe in CO _{2eq}
Energiewirtschaft/Industrie (in 1.000 t)	63.665	29	518	64.212
Verkehr (in 1.000 t)	8.559	13	132	8.704
Haushalte, Kleinverbrauch (in 1.000 t)	7.398	16	17	7.431
Landwirtschaft (1.000 t)	0	543	483	1.026
Summe (in 1.000 t)	79.622	601	1.150	81.373

In **Tabelle 28** werden die Werte in das Verhältnis zur Einwohnerzahl gesetzt und mit den THG-Emissionen von ganz Nordrhein-Westfalen und Deutschland verglichen. Für NRW und Deutschland werden zusätzlich noch die Gesamtemissionen inklusive der Sektoren Abfall, Produktanwendung/Sonstige und Flüchtige Emissionen aus Brennstoffen angegeben.

Im Ergebnis zeigt sich, dass die vergleichbaren THG-Emissionen in der Planungsregion Köln mit etwa 18,3 Tonnen CO_{2eq} pro Einwohner deutlich höher ausfallen als im bundesweiten Durchschnitt (10,7 Tonnen CO_{2eq}) und auch über den bereits überdurchschnittlich hohen Werten für ganz NRW liegen (15,5 t CO_{2eq} pro Einwohner). Hauptursache hierfür sind die THG-Emissionen im Sektor Energiewirtschaft und Industrie, die im Regierungsbezirk Köln knapp ein Drittel aller landesweiten Emissionen und etwa 12 % der deutschlandweiten THG-Emissionen in diesem Sektor ausmachen (bei etwa 5 % Anteil an der bundesweiten Bevölkerung).

Ein Grund für diese Werte liegt in der Wirtschaftsstruktur im Regierungsbezirk Köln, die unter anderem durch die Energiewirtschaft und die chemische Industrie geprägt ist. Insbesondere die Braunkohlekraftwerke Weisweiler, Niederaußem, Frechen/Wachtberg, Fortuna Nord und Köln Merkenich sind hier als Emittenten zu nennen. Dadurch liegen die THG-Emissionen pro Kopf im Sektor Energiewirtschaft und Industrie mit 14,5 t CO_{2eq} pro Einwohner deutlich über den Werten für ganz NRW (11,4 t CO_{2eq} pro Einwohner) und Deutschland (6,3 t CO_{2eq} pro

Einwohner). Dagegen fallen die THG-Emissionen pro Einwohner im Sektor Landwirtschaft in der Region geringer aus als im landes- oder bundesweiten Vergleich (0,2 t CO_{2eq} im Vergleich zu 0,4 bzw. 0,8 t CO_{2eq} pro Einwohner). In den Sektoren Haushalte und Kleinverbrauch sowie Verkehr sind die Werte sowohl im Vergleich zu NRW als auch bundesweit in etwa auf dem gleichen Niveau.

Die im Vergleich zum Landes- oder Bundesdurchschnitt überdurchschnittlich hohen THG-Emissionen pro Einwohner in der Planungsregion Köln zeigen die hohe Relevanz von Maßnahmen zur Reduktion des Treibhausgasausstoßes in der Region, wenn die oben aufgeführten globalen bundes- und landesweiten Ziele im Bereich Klimaschutz erreicht werden sollen. Hierzu sind die aufgeführten Daten auch für das Monitoring der THG-Emissionen auf regionaler Ebene von Bedeutung.

Tabelle 28: Vergleich der THG-Emissionen 2016 in der Planungsregion Köln, in NRW und in Deutschland

	Köln CO _{2eq} (in 1.000 t)	Köln CO _{2eq} / Kopf (in t)	NRW CO _{2eq} (in 1.000 t)	NRW CO _{2eq} / Kopf (in t)	Deutsch- land CO _{2eq} (in 1.000 t)	Deutsch- land CO _{2eq} / Kopf (in t)
Bevölkerung (Stand 31.12.2016; Quelle: IT.NRW / Destatis)	4.439.416		17.890.100		82.521.700	
Energiewirt- schaft/Industrie	64.212	14,5	204.818	11,4	516.067	6,3
Verkehr	8.704	2,0	34.632	1,9	166.815	2,0
Haushalte, Klein- verbrauch	7.431	1,7	30.268	1,7	136.565	1,7
Landwirtschaft	1.026	0,2	7.567	0,4	65.228	0,8
Summe	81.373	18,3	277.285	15,5	884.675	10,7
Gesamtemissio- nen (inkl. Flüchtige Emissionen aus Brennstoffen, Pro- duktanwen- dung/Sonstige, Abfall)	k.A.	k.A.	285.593	16,0	909.405	11,0

3.2 Ausbau der Erneuerbaren Energien in der Region

Der Landesentwicklungsplan NRW fordert in Grundsatz 10.1-1 eine nachhaltige Energieversorgung in Nordrhein-Westfalen. So soll in allen Teilen des Landes „den räumlichen Erfordernissen einer Energieversorgung Rechnung getragen werden, die sich am Vorrang und den Potenzialen der erneuerbaren Energien orientiert.“ Es wird gefordert, dass vorrangig Erneuerbare Energieträger eingesetzt und die räumlichen Voraussetzung für den Ausbau der erneuerbaren Energien, die Erhöhung der Energieeffizienz und eine sparsame Energienut-

zung geschaffen werden. Auch der neue Entwurf des LEP (Stand: 17. April 2018) hält an dieser Formulierung fest.

Die folgenden Ausführungen zum Ausbaustand und den Potenzialen der Erneuerbaren Energien beziehen sich größtenteils nur auf den Strombereich, da für den Wärmesektor (mit Ausnahme der regionalplanerisch nicht zu steuernden oberflächennahen Geothermie und der Biomasse) bislang ein vergleichbare Datengrundlage noch nicht vorliegt. Derzeit werden im LANUV weitere Potenzialstudien durchgeführt (z.B. zu warmen Grubenwasser und industrieller Abwärme), um auch im Wärmesektor eine umfassende Informationsgrundlage zu schaffen. Zudem werden die Potenzialstudien Windenergie und Solarenergie derzeit überarbeitet, die Ergebnisse lagen für diesen Fachbeitrag jedoch noch nicht vor. Daher wird bei der Darstellung der Potenziale auf die veröffentlichten Studien zurückgegriffen.

Wie in Kapitel 3.1 deutlich geworden ist, ist der Sektor der Energiewirtschaft / Industrie auch in der Planungsregion Köln der mit Abstand größte Verursacher von Treibhausgasemissionen. Insgesamt lag der Stromverbrauch im Regierungsbezirk Köln im Jahr 2014 bei etwa 37,7 TWh (LANUV 2018_B). Der Stromertrag aus Erneuerbaren Energien lag 2017 bei gut 3,5 TWh (**Tabelle 29**), so dass Strom aus regenerativen Quellen derzeit etwa 9,4 % des gesamten Stromverbrauchs in der Planungsregion ausmacht (die aktuellsten Daten zum Stromverbrauch auf Ebene der Regierungsbezirke stammen aus dem Jahr 2014, der jährliche Stromverbrauch liegt jedoch seit Jahren auf einem relativ konstanten Niveau, so dass an dieser Stelle auch Werte aus verschiedenen Jahren verglichen werden). Dadurch kann eine jährliche Einsparung der Treibhausgasemissionen von mehr als 1,5 Mio. Tonnen CO_{2eq} erzielt werden (Quellen: AGEE_Stat, LANUV 2018_B). Zum Vergleich: Die gesamten Emissionen in der Region lagen für das Jahr 2016 bei etwa 81 Mio. Tonnen CO_{2eq}, die Emissionen aus Energiewirtschaft und Industrie bei gut 64 Mio. Tonnen (Kapitel 3.1).

Tabelle 29 zeigt den Ausbaustand der Erneuerbaren Energien in der Planungsregion Köln zum 31.12.2017 im Stromsektor. In Bezug auf die installierte Leistung heben sich die Windenergie (1.150 MW) und die Photovoltaik (760 MW, davon 50 MW an Freiflächen-PV-Anlagen) deutlich von den weiteren erneuerbaren Energieträgern ab (Biomasse: 70 MW, Wasserkraft: 50 MW). In Bezug auf die Stromerzeugung liegt die Windenergie (2.340 GWh/a) deutlich vor der Photovoltaik (680 GWh/a), der Biomassennutzung (430 GWh/a,) und der Wasserkraft (90 GWh/a).

Tabelle 29: Ausbaustand der Erneuerbaren Energien im Regierungsbezirk Köln (Stand: 31.12.2017; Datenquellen: LANUV, AGEE-Stat, BNA, ÜNB, LEE, Werte gerundet)

	Anzahl Anlagen	installierte Leistung in MW	Stromerzeugung in GWh/a	Anteil am Stromverbrauch
Windenergie	628	1.150	2.340	6,2 %
Photovoltaik	50.945	760	680	1,8 %
<i>davon Freiflächen-PV</i>	37	50	40	0,1 %
Biomasse	147	70	430	1,1 %
Wasserkraft	61	50	90	0,2 %
Gesamt	51.781	2.030	3.540	9,4 %

In der Planungsregion Köln sind somit zum Stand Ende 2017 etwa 52.000 Anlagen zur regenerativen Stromerzeugung mit einer Gesamtleistung von gut 2.000 MW installiert. Dies entspricht ungefähr einem Fünftel aller Anlagen in Nordrhein-Westfalen (insgesamt ca. 258.000) und ebenso einem Fünftel der landesweit installierten Leistung (insgesamt ca. 11.400 MW). Mit einer Bruttostromerzeugung von etwa 3.500 GWh/a kommen etwa 16 % der in NRW erzeugten Erneuerbaren Energie (insgesamt ca. 21.300 GWh/a) aus der Planungsregion (LANUV 2018_B, Stand der Daten: 31.12.2017). Mit 9,4 % Anteil am Stromverbrauch liegt der Anteil der Erneuerbaren Energien in der Region Köln unterhalb des landesweiten Anteils von 14,0 %, sowie deutlich unterhalb des bundesweiten Wertes von ca. 36 % (Stand: 31.12.2017, Quelle: AGEE-Stat)

Tabelle 30 fasst die Potenziale für den Ausbau der Erneuerbaren Energien in der Planungsregion Köln zusammen. Hierbei handelt es um Gesamtpotenziale, bei denen der aktuelle Anlagenbestand nicht berücksichtigt wird. Für die Ermittlung des noch ungenutzten Potenzials muss daher jeweils das Gesamtpotenzial zum aktuellen Anlagenbestand betrachtet werden. Hierbei muss jedoch auch beachtet werden, dass bestehende Anlagen zum Teil auch auf Flächen stehen, die in der Studie nicht als Potenzialflächen erfasst wurden. Daher stimmt das Gesamtpotenzial abzüglich des derzeitigen Bestandes nicht exakt mit dem noch ungenutzten Potenzial überein.

In Bezug auf die installierbare Leistung weist die Photovoltaik das größte Gesamtpotenzial im Planungsraum auf (19.010 MW, davon 8.690 MW an Freiflächenanlagen), gefolgt von der Windenergie (7.590 MW) und der Wasserkraft. Für die Biomasse liegen zur installierbaren Leistung keine Potenziale vor. Betrachtet man jedoch den potenziellen Ertrag, so weist die Windenergie mit 19.070 GWh/a das größte Potenzial auf, gefolgt von der Photovoltaik (16.490 GWh/a), der Biomasse (6.550 GWh/a, davon 2.100 GWh/a Strom und 4.450 GWh/a Wärme) und der Wasserkraftnutzung (110 GWh/a).

Bei vollständiger Ausnutzung des vorhandenen Gesamtpotenzials für regenerative Energie könnte der derzeitige Stromverbrauch im Regierungsbezirk Köln demnach bilanziell annähernd abgedeckt werden.

Tabelle 30: Potenziale zum Ausbau der Erneuerbaren Energien im Regierungsbezirk Köln (Werte gerundet, Gesamtpotenzial ohne Berücksichtigung des derzeitigen Bestandes. Datenquelle: Website www.energieatlas.nrw.de)

	potenziell installierbare Leistung in MW	potenzieller Ertrag in GWh/a
Windenergie	7.600	19.100
Photovoltaik gesamt	19.000	16.500
Freiflächen-Photovoltaik	8.700	7.800
Wasserkraft	60	110
Biomasse	k.A.	Strom: 2.100 Wärme: 4.450

Zu beachten ist bei der Darstellung der Potenziale, dass diese sich in Einzelfällen überlagern können. So ist es beispielsweise möglich, dass eine Fläche sowohl in der Potenzialstudie Windenergie als auch in der Potenzialstudie Solarenergie als Potenzialfläche berücksichtigt wurde, z.B. für eine Freiflächen-PV-Anlage und einen Windpark. Insgesamt kommen solche Überschneidungen auf Grund der abweichenden Standortanforderungen und Restriktionen jedoch sehr selten vor und haben keine größeren Effekte auf die Höhe des Gesamtpotenzials der erneuerbaren Energien.

Weitere Informationen zum Ausbaustand der Erneuerbaren Energien in den Gemeinden und Kreisen der Planungsregion Köln können auf der Website des Energieatlas.NRW (www.energieatlasnrw.de) online abgerufen werden. In den folgenden Unterkapiteln wird näher auf die einzelnen erneuerbaren Energieträger und die räumliche Verteilung von Bestandsanlagen und Ausbaupotenzialen in der Region Köln eingegangen.

3.2.1 Windenergie

In der „Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW – Teil 1: Windenergie (LANUV 2012) wurden die Möglichkeiten zum Ausbau der Windenergie in Nordrhein-Westfalen untersucht. Derzeit wird vom LANUV eine neue Potenzialuntersuchung zur Windenergie in NRW durchgeführt, die Ergebnisse lagen für diesen Fachbeitrag jedoch noch nicht vor. Daher wird im Folgenden auf die veröffentlichte Studie zurückgegriffen.

Für diese Studie wurden alle relevanten und landesweit verfügbaren Grundlagendaten genutzt. Im Rahmen einer Flächenanalyse wurden dabei zunächst Ausschluss- und Einzelfallprüfungsbereiche identifiziert, die für die Windenergienutzung nicht oder nur im Einzelfall in Frage kommen. Darüber hinaus wurden Windfeldkarten in Höhen von 100 m, 125 m, 135 m und 150 m über Grund berechnet. In die Berechnungen ist auch eine umfangreiche schallopptimierte Betrachtung eingeflossen, um den Immissionsschutz (Lärmbelastung) zu berücksichtigen. Darauf aufbauend wurden mit Hilfe einer GIS-gestützten Analyse und basierend auf einem Standortanlagentyp einer 3 MW Windenergieanlage die Flächen- und Ertragspotenziale für ganz NRW sowie auf den Ebenen der Planungsregionen, der Kreise und der Gemeinden ermittelt. Die Berechnung des machbaren Potenzials erfolgte über einen Szenarien-Ansatz, wobei die Szenarien sich im Hinblick auf die Möglichkeit zur Inanspruchnahme des Waldes unterscheiden. Die im folgenden Abschnitt angeführten Potenziale beziehen sich auf das „NRW–Leitszenario“, welches die Nutzbarkeit der Nadelwald- und Kyrillflächen umfasst, andere Waldflächen jedoch nicht.

In der Studie wurde ein Gesamtpotenzial zur Windenergienutzung ermittelt, d.h. bereits bestehende Anlagen wurden nicht miteinbezogen. Für die Ermittlung des noch ungenutzten Potenzials muss daher jeweils das Gesamtpotenzial zum aktuellen Anlagenbestand betrachtet werden. Hierbei muss jedoch auch beachtet werden, dass bestehende Anlagen zum Teil auch auf Flächen stehen, die in der Studie nicht als Potenzialflächen gewertet wurden, so dass das Gesamtpotenzial abzüglich des derzeitigen Bestandes nicht exakt mit dem noch ungenutzten Potenzial übereinstimmt.

Die detaillierte Beschreibung der Methodik der Studie sowie die Ergebnisse für ganz Nordrhein-Westfalen können der Potenzialstudie Windenergie (LANUV 2012) entnommen werden.

Für den Regierungsbezirk Köln wurde dabei eine potenziell für die Windenergie nutzbare Fläche von ca. 30.600 ha (etwa 4 % der gesamten Fläche des Regierungsbezirks) identifiziert. Daraus ergibt sich ein Gesamtpotenzial zur Windenergienutzung von ca. 7.600 MW installierbarer Leistung, was eine mögliche Nettostromproduktion von etwa 19.100 GWh/a bedeutet (**Tabelle 30**). Diese Strommenge entspricht etwa dem jährlichen Verbrauch von 6,2 Mio. Privathaushalten (Verbrauch Musterhaushalt: 3.107 kWh/a).

Die größten Potenziale zur Windenergienutzung liegen dabei insbesondere im Westen und Süden der Planungsregion in den Kreisen Euskirchen, Düren, Heinsberg oder dem Rhein-Erft-Kreis (Abbildung 22 und Abbildung 23). Die Gemeinden, die bei der Windenergienutzung den größten potenziellen Nettostromertrag aufweisen, sind Hellenthal (1.030 GWh/a), Bebdurg (750 GWh/a) und Ertstadt (660 GWh/a) (**Tabelle 31**).

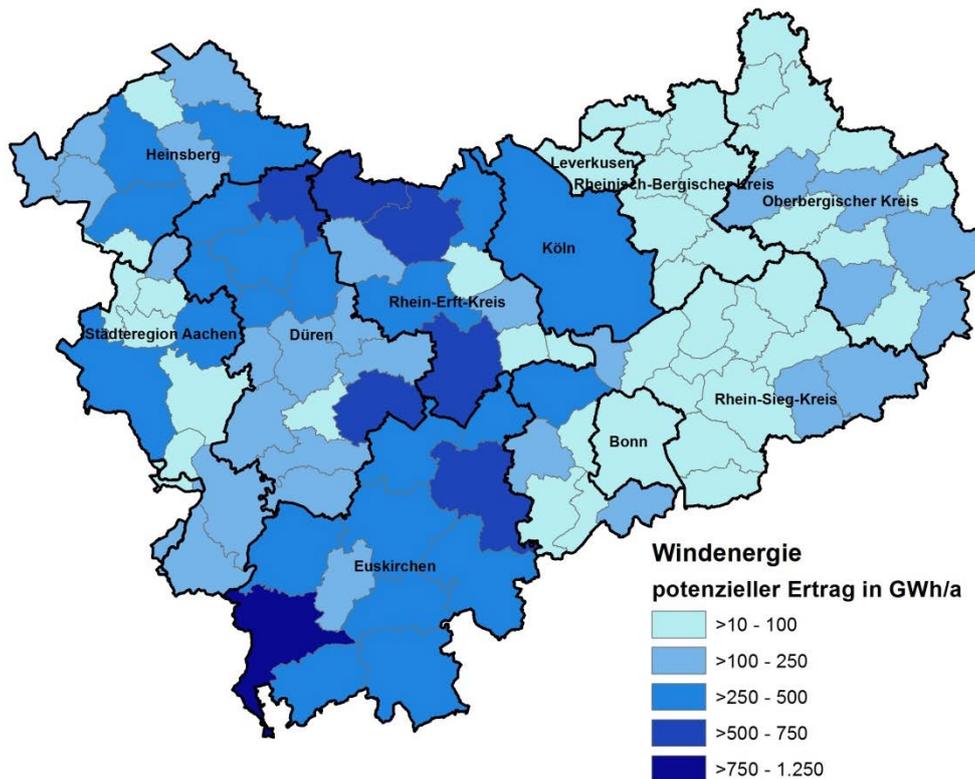


Abbildung 22: Windenergie - potenzieller Ertrag nach Gemeinden (LANUV 2012)

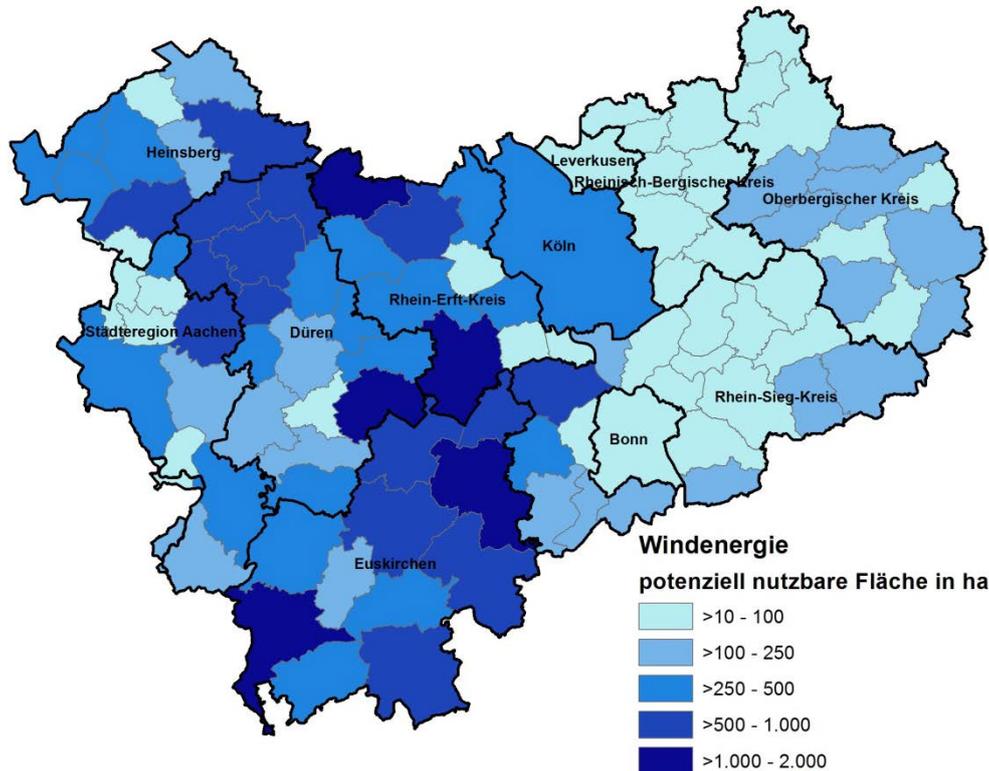


Abbildung 23: Windenergie - potenziell nutzbare Fläche nach Gemeinden (LANUV 2012)

Tabelle 31: Windenergie - Gemeinden mit der höchsten potenziell installierbaren Leistung (LANUV 2012)

Gemeinde	Potenziell installierbare Leistung in MW (gerundet)	Potenzieller Ertrag in GWh/a (gerundet)	Potenziell nutzbare Fläche in ha (gerundet)
Hellenthal	440	1.030	1.900
Bedburg	330	750	1.580
Erfstadt	270	660	1.200
Euskirchen	260	620	1.020
Vettweiß	250	610	1.150
Titz	200	520	960
Bergheim	210	510	940
Bad Münstereifel	200	500	700
Erkelenz	190	490	830
Zülpich	200	490	980

Teile dieses Gesamtpotenzials werden in der Planungsregion Köln bereits genutzt. So waren hier Ende 2017 insgesamt 628 Windenergieanlagen mit einer installierten Gesamtleistung von 1.150 MW in Betrieb. Die Windenergie ist somit in der gesamten Planungsregion für eine Nettostromproduktion von 2.340 GWh/a verantwortlich (**Tabelle 29**). Damit können derzeit über 750.000 Privathaushalte mit regenerativem Strom aus Windenergieanlagen versorgt werden.

Im bundes- oder landesweiten Vergleich ist die Bedeutung der Windenergie in der Region Köln eher unterdurchschnittlich. So liegt der Anteil der Windenergie am Stromverbrauch hier mit etwa 6,2 % leicht unter dem landesweiten Anteil von 7,0 % und deutlich unter dem bundesweiten Durchschnitt von 14,7 %.

Räumliche Schwerpunkte der Windenergienutzung liegen vor allem im Westen der Planungsregion, während in Köln, Bonn, Leverkusen, dem Rhein-Sieg-Kreis und dem Rheinisch-Bergischen-Kreis keine oder nur sehr wenige Windenergieanlagen stehen. (Abbildung 24). Bedburg ist dabei die Gemeinde, die im Regierungsbezirk Köln bei der Windenergie die höchste Nettostromproduktion aufweist (Abbildung 25). Die meisten Anlagen pro Gemeinde stehen ebenfalls in Bedburg (93 Anlagen), gefolgt von Schleiden (68 Anlagen), Linnich (62 Anlagen) und Aldenhoven (56 Anlagen) (**Tabelle 32**). In über 30 Gemeinden des Planungsraums stehen keine Windenergieanlagen.

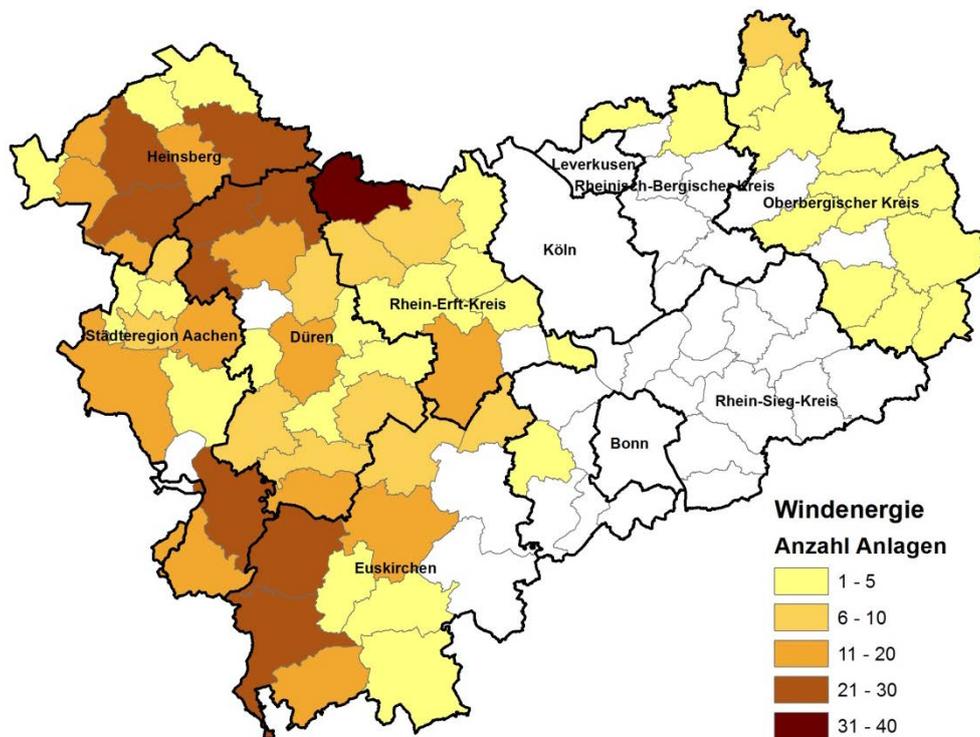


Abbildung 24: Windenergie - Anzahl der Anlagen nach Gemeinden
(Stand: 31.12.2016; Quellen: LANUV, BNA, ÜNB, LEE)

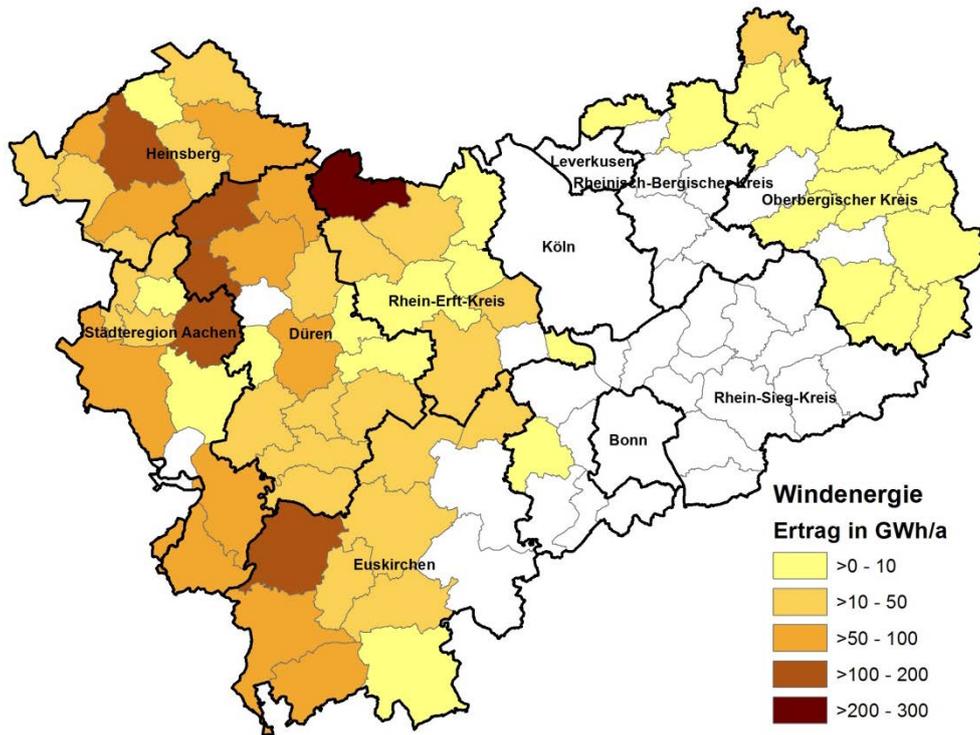


Abbildung 25: Windenergie - Stromertrag nach Gemeinden

(Stand: 31.12.2016; Quelle: LANUV)

Tabelle 32: Windenergie - Gemeinden mit der höchsten installierten Leistung

(Stand: 31.12.2017; Quelle: LANUV, BNA, ÜNB, LEE)

Gemeinde	Installierte Leistung in MW (gerundet)	Anzahl der Anlagen
Bedburg	93	34
Schleiden	68	25
Linnich	62	27
Aldenhoven	56	22
Simmerath	51	22
Titz	50	26
Heinsberg	44	21
Eschweiler	44	18
Waldfeucht	40	20
Düren	37	16

3.2.2 Photovoltaik

Die Möglichkeiten zum Ausbau der Solarenergie in Nordrhein-Westfalen wurden in der „Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW – Teil 2: Solarenergie“ (LANUV 2013) untersucht. Derzeit werden die Potenziale der Solarenergienutzung in NRW vom LANUV neu untersucht. Die Ergebnisse liegen voraussichtlich jedoch erst Ende 2018 vor und konnten daher für die-

sen Fachbeitrag noch nicht genutzt werden. Im Folgenden wird daher auf die veröffentlichte Studie zurückgegriffen.

Ziel dieser Studie war es, die Potenziale zur Nutzung der Solarenergie im Strom - und Wärmesektor in Nordrhein-Westfalen zu ermitteln. Die Bestimmung des Potenzials für Aufdachanlagen (Photovoltaik und Solarthermie) erfolgte dabei auf der Basis von 24 für die unterschiedlichen Regionen von NRW repräsentativen Modellgebieten. Diese Gebiete wurden so ausgewählt, dass die Siedlungsstrukturen Wohnen, Gewerbe- / Industriegebiete, Stadtzentrum / City und ländliche Gebiete mit ihren jeweiligen Besonderheiten berücksichtigt werden konnten. Für die Modellgebiete wurde jeweils eine detaillierte Strahlungssimulation auf der Grundlage hochaufgelöster Laserscandaten durchgeführt. Die hieraus abgeleiteten Kenngrößen zu Einstrahlung und zur Verschattung wurden im nächsten Schritt auf alle Gebäude des Landes hochgerechnet. Der Anteil der unterschiedlichen Siedlungsstrukturen und die lokalen Einstrahlungsverhältnisse der einzelnen Gemeinden wurden dabei berücksichtigt.

Für die Analyse potenzieller PV-Freiflächenstandorte wurden zunächst diejenigen Flächen aus dem digitalen ATKIS-Datenbestand selektiert, die grundsätzlich für die Ansiedlung eines Solarparks zur Produktion von förderungswürdigem Strom im Sinne des Erneuerbare - Energien - Gesetz (EEG) 2011 geeignet waren. Hierzu zählen beispielsweise der 110 Meter Randstreifen entlang von Autobahnen und Schienenwegen, Halden oder auch Parkplatzflächen. Von diesen Flächen wurden anschließend diejenigen Bereiche ausgeschlossen, die nicht als Solarpark in Frage kommen, wie beispielsweise Flächen die unter Naturschutz stehen, nach Norden ausgerichtet sind, in unmittelbarer Nähe zu Verschattungsobjekten wie z.B. Waldflächen oder Gebäuden liegen oder eine festgelegte Mindestgröße unterschreiten. Für die verbleibenden Flächen wurden unter Berücksichtigung der geographischen Lage die installierbare Modulfläche und der potenzielle Stromertrag bestimmt. Detaillierte Beschreibungen der Methodik der Studie sowie die landesweiten Ergebnisse können der Potenzialstudie Solarenergie (LANUV 2013) entnommen werden.

In der Studie wurde wie bei der Potenzialstudie Windenergie auch ein Gesamtpotenzial ermittelt, d.h. bereits bestehende Anlagen wurden nicht miteingerechnet. Für die Ermittlung des noch ungenutzten Potenzials muss daher jeweils das Gesamtpotenzial zum aktuellen Anlagenbestand betrachtet werden. Hierbei muss jedoch auch beachtet werden, dass bestehende Anlagen zum Teil auch auf Flächen stehen können, die in der Studie nicht als Potenzialflächen gewertet wurden, so dass das Gesamtpotenzial abzüglich des derzeitigen Bestandes nicht exakt mit dem noch ungenutzten Potenzial übereinstimmt.

Für den Regierungsbezirk Köln wurde in der Potenzialstudie Solarenergie eine potenziell installierbare Gesamtleistung von 19.000 MW bzw. ein potenzieller Ertrag von 16.500 GWh/a ermittelt (**Tabelle 30:** Potenziale zum Ausbau der Erneuerbaren Energien im Regierungsbezirk Köln). Jeweils knapp die Hälfte des Potenzials entfällt auf Freiflächenanlagen (8.700 MW, 7.800 GWh/a). Mit dem gesamten potenziellen Ertrag aus der Solarenergie könnten etwa 5,3 Mio. Privathaushalte mit Strom versorgt werden (Verbrauch Musterhaushalt: 3.107 kWh/a).

Die größten Potenziale zur Solarenergienutzung liegen in den großen Städten des Regierungsbezirkes (**Abbildung 26**). Den größten potenziellen Nettostromertrag (Dach- und Freiflächen) weisen Köln (2.430 GWh/a), Aachen (660 GWh/a) und Bonn (640 GWh/a) auf (**Tabelle 33**). Betrachtet man nur die Freiflächen, verfügt Köln mit etwa 910 GWh/a über den größten potenziellen Ertrag, gefolgt von Euskirchen (300 GWh/a) und Aachen (260 GWh/a) (**Tabelle 34**).

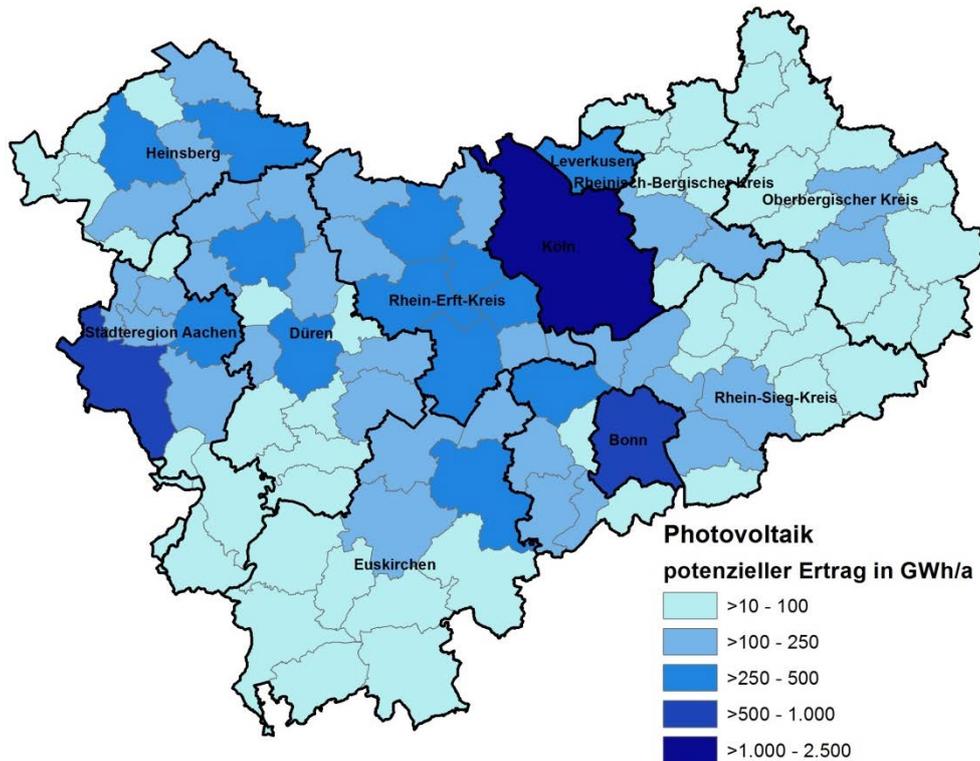


Abbildung 26: Photovoltaik - potenzieller Ertrag nach Gemeinden (LANUV 2013)

Tabelle 33: Photovoltaik (Dach- und Freiflächen) - Gemeinden mit der höchsten potenziell installierbaren Leistung (LANUV 2013)

Gemeinde	potenziell installierbare Leistung gesamt (Dach- und Freiflächen) in MW (gerundet)	potenzieller Ertrag gesamt (Dach- und Freiflächen) in GWh/a (gerundet)
Köln	2.840	2.430
Aachen	780	660
Bonn	750	640
Düren	530	460
Euskirchen	490	440
Leverkusen	460	390
Kerpen	440	400
Eschweiler	420	370
Bergheim	370	330
Erkelenz	360	320

Tabelle 34: Freiflächen-Photovoltaik - Gemeinden mit der höchsten potenziell installierbaren Leistung (LANUV 2013)

Gemeinde	potenziell installierbare Leistung (Freiflächen-PV) in MW (gerundet)	potenzieller Ertrag (Freiflächen-PV) in GWh/a (gerundet)	potenzielle Modulfläche (Freiflächen-PV) in km ²
Köln	1.020	910	5,7
Euskirchen	320	300	1,8
Aachen	300	260	1,7
Düren	280	260	1,6
Eschweiler	270	250	1,5
Kerpen	270	250	1,5
Bornheim	220	200	1,2
Bergheim	210	190	1,2
Erkelenz	210	190	1,2
Bonn	210	180	1,2

In der Planungsregion Köln waren Ende 2017 insgesamt etwa 51.000 Solarenergieanlagen mit einer installierten Gesamtleistung von 760 MW in Betrieb. Davon entfallen etwa 50 MW auf 37 Freiflächenanlagen. Somit ist die Solarenergienutzung in der Planungsregion insgesamt für eine Nettostromproduktion von etwa 680 GWh/a verantwortlich (**Tabelle 29**). Damit können derzeit rund 220.000 Privathaushalte mit regenerativem Strom aus PV-Anlagen versorgt werden. Dabei ist der Anteil der Photovoltaik am Stromverbrauch in der Region Köln mit 1,8 % deutlich geringer als im Bundesdurchschnitt (6,6 %, Quelle: AGEE-Stat & Bundesverband Solarwirtschaft), und ebenfalls niedriger als in ganz NRW (2,7 %)

Die Gemeinde mit der höchsten installierten Leistung bei der Photovoltaiknutzung (Dach- und Freiflächen) ist Köln (50 MW), gefolgt von Euskirchen, Mechernich und Heinsberg (je 23 MW; **Tabelle 35**). Betrachtet man nur die Freiflächenanlagen liegen in der Planungsregion die Gemeinden Herzogenrath (10 MW), Mechernich (5 MW) sowie Inden und Stolberg (je 4 MW) an der Spitze (**Tabelle 36**).

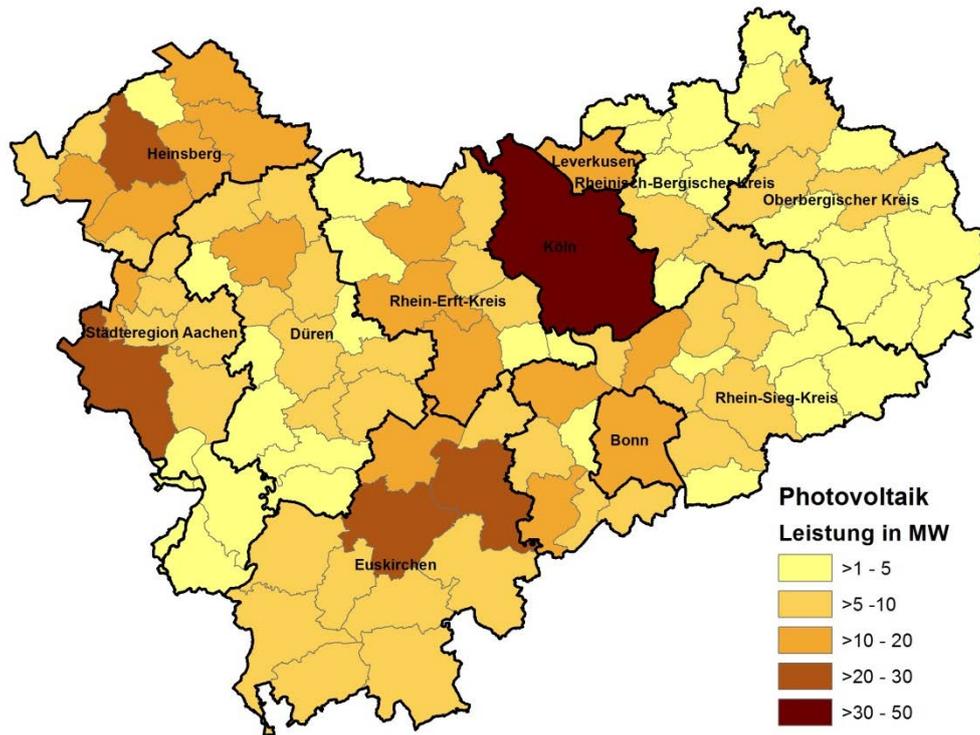


Abbildung 27: Photovoltaik – installierte Leistung (Dach- und Freiflächen) nach Gemeinden (Stand: 31.12.2016; Quelle: LANUV, BNA, ÜNB)

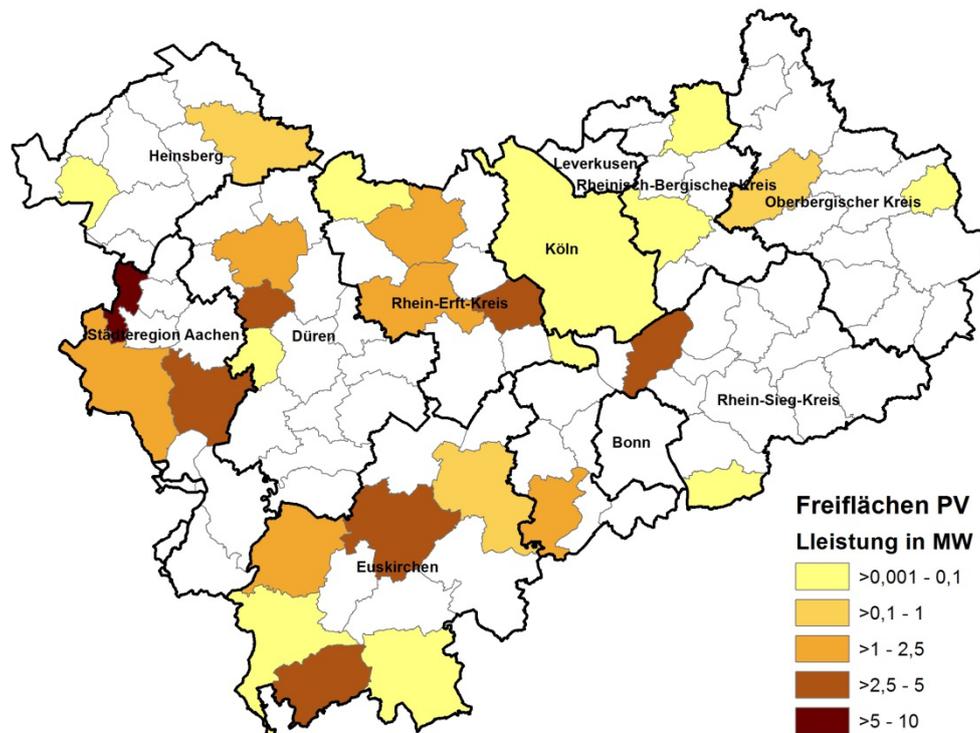


Abbildung 28: Freiflächen-PV – installierte Leistung nach Gemeinden (Stand: 31.12.2016; Quelle: LANUV, BNA, ÜNB)

Tabelle 35: Photovoltaik (Dach- und Freiflächen) - Gemeinden mit der höchsten installierten Leistung (Stand: 31.12.2017; Quelle: LANUV, BNA, ÜNB)

Gemeinde	installierte Leistung gesamt (Dach- und Freiflächen) in MW (gerundet)	Anzahl Anlagen gesamt (Dach- und Freiflächen)
Köln	50	2.787
Euskirchen	23	1.400
Heinsberg	23	1.240
Mechernich	23	1.083
Aachen	21	1.418
Herzogenrath	19	502
Erkelenz	18	1.026
Bonn	17	1.581
Kerpen	16	766
Troisdorf	16	813

Tabelle 36: Freiflächen-Photovoltaik - Gemeinden mit der höchsten installierten Leistung (Stand: 31.12.2017; Quelle: LANUV, BNA, ÜNB)

Gemeinde	installierte Leistung (Freiflächen-PV) in MW (gerundet)	Anzahl Anlagen (Freiflächen-PV)
Herzogenrath	10	1
Mechernich	5	2
Stolberg (Rhld.)	4	2
Inden	4	1
Troisdorf	3	1
Dahlem	3	2
Hürth	3	1
Aachen	2	1
Kerpen	2	1
Schleiden	2	3

3.2.3 Biomasse

Die „Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW – Teil 3: Biomasse“ (LANUV 2014) hatte das Ziel, zunächst die bestehenden Biomassekonversionsanlagen und die bisher realisierten Leistungen sowie Energieerträge auf den unterschiedlichen Verwaltungsebenen darzustellen. In einem zweiten Schritt wurden die Potenziale zur Nutzung der Bioenergie im Strom- und Wärmesektor für NRW identifiziert.

In Bezug auf die Vielzahl möglicher Konversionsarten der energetischen Nutzung von Biomasse wurden in der Studie die Hauptpfade „Biogas“ und „thermochemische Konversion“ (Verbrennung) berücksichtigt und die gebräuchlichen Konversionsarten erfasst und beschrieben. Dafür wurden in Deutschland betriebene Referenzanlagen als Verfahrensbeispiele herangezogen. Die ausgewiesenen Potenziale wurden unter Beachtung von Nutzungskonkurrenzen, Nachhaltigkeitsaspekten und weiteren Umwelt- und Naturschutzanforderungen ermittelt. Dabei wurde in der Studie das technische und das machbare Potenzial für die drei Sektoren Land-, Forst- und Abfallwirtschaft untersucht.

Das machbare Potenzial wird in der Studie als Spanne innerhalb von Szenarien ausgewiesen, die für die Bereiche Land - und Forstwirtschaft unterschiedlich stark die Aspekte der Nachhaltigkeit sowie des Umwelt - und Naturschutzes berücksichtigen. Für den Abfallbereich wurden den Szenarien Annahmen bspw. zur Bevölkerungsentwicklung, Umlenkung von Stoffströmen oder Effizienzsteigerungen zugrunde gelegt. Dem in der Studie beschriebenen „NRW-Leitszenario“, auf das sich die folgenden Ausführungen beziehen, liegen qualitative und Nachhaltigkeitskriterien zu Grunde.

Auf Grund der strukturellen Rahmenbedingungen bei der energetischen Nutzung von Biomasse wurden die Potenziale nicht auf Gemeindeebene ermittelt, sondern für die Kreise und kreisfreien Städte. Die ausführliche Darstellung der Methodik der Studie sowie die Ergebnisse für Nordrhein-Westfalen können der Potenzialstudie Biomasse (LANUV 2014) entnommen werden.

In der Studie wurde wie bei den Potenzialstudien Wind- und Solarenergie ein Gesamtpotenzial ermittelt. Für die Ermittlung des noch ungenutzten Potenzials muss daher jeweils das Gesamtpotenzial im Verhältnis zum aktuellen Anlagenbestand betrachtet werden – doch ist dies nur bis zu einem gewissen Grad möglich. Biomasse ist transportabel – d.h. die Nutzung des Potenzials findet – anders als bei Wind und Sonne – nicht dort statt, wo das Potenzial anfällt. Dabei kann der Transport über Kreisgrenzen und sogar über Landesgrenzen stattfinden. Darum empfiehlt es sich nicht, nur Potenzial und Bestand einzelner Kreise oder Gemeinden ins Verhältnis zu setzen, sondern dies vor allem auf der Ebene des gesamten Regierungsbezirkes zu betrachten.

Im Regierungsbezirk Köln besteht demnach bei der Biomassenutzung insgesamt ein Gesamterzeugungspotenzial von etwa 2.100 GWh/a im Strombereich. Das entspricht in etwa dem jährlichen Stromverbrauch von 675.000 Privathaushalten. Hinzu kommt noch ein Potenzial von ca. 4.450 GWh/a bei der Wärmeversorgung (**Tabelle 30**).

Die größten Potenziale im Planungsraum Köln zur energetischen Nutzung der Biomasse liegen im Kreis Düren (290 GWh/a), im Rhein-Erft-Kreis (280 GWh/a) sowie in Köln und im Rhein-Sieg-Kreis (je 270 GWh/a) (Abbildung 29 und **Tabelle 37**). Die Kreise Euskirchen, Düren und der Rhein-Sieg-Kreis verfügen über die größte potenziell nutzbare landwirtschaftliche Fläche für den Biomasseanbau (Abbildung 30). Bei der potenziell nutzbaren Waldfläche liegen die größten Potenziale im Kreis Euskirchen sowie im Oberbergischen Kreis und im Rhein-Sieg-Kreis (Abbildung 31).

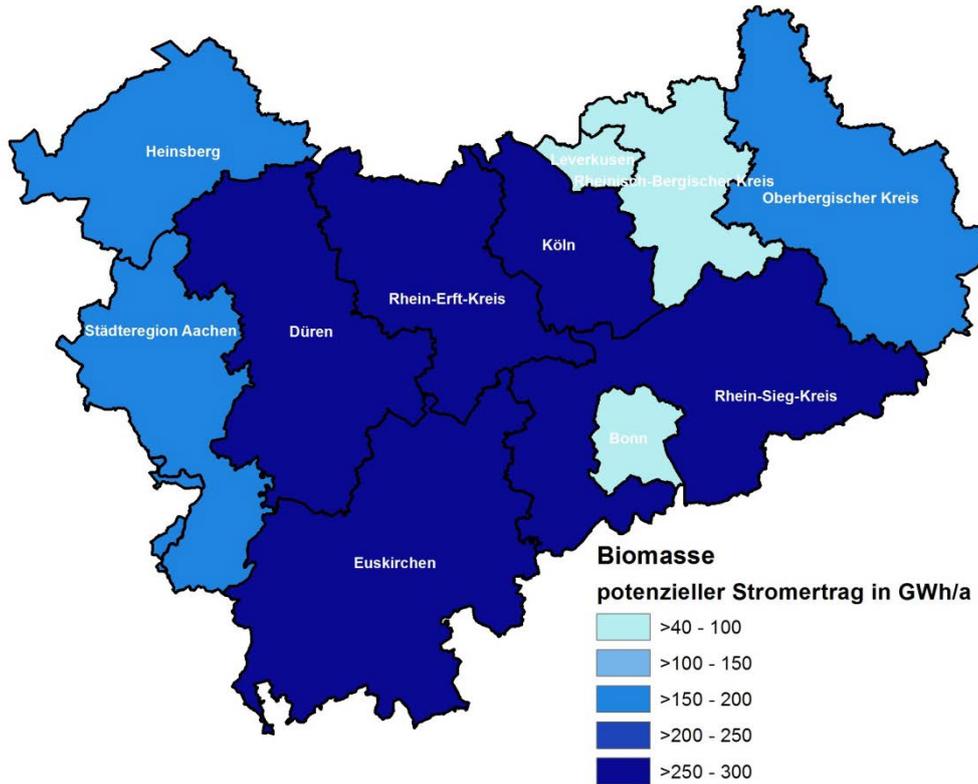


Abbildung 29: Biomasse - potenzieller Stromertrag nach Kreisen (LANUV 2014)

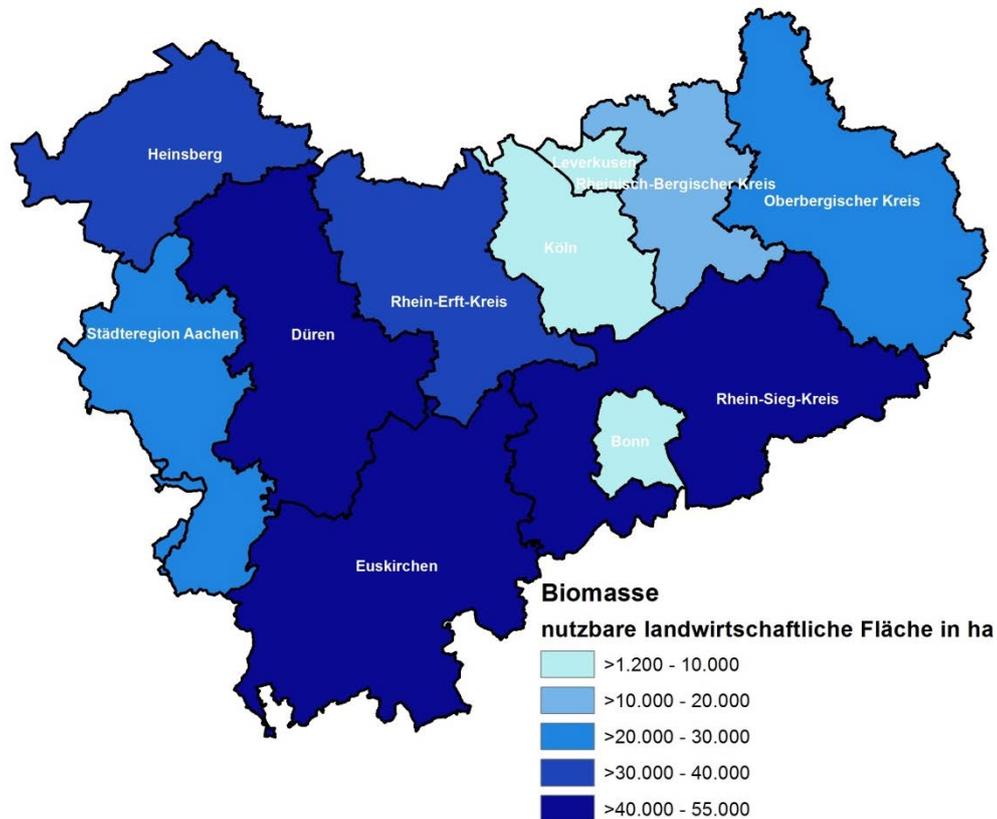


Abbildung 30: Biomasse – potenziell nutzbare landwirtschaftliche Fläche nach Kreisen (LANUV 2014)

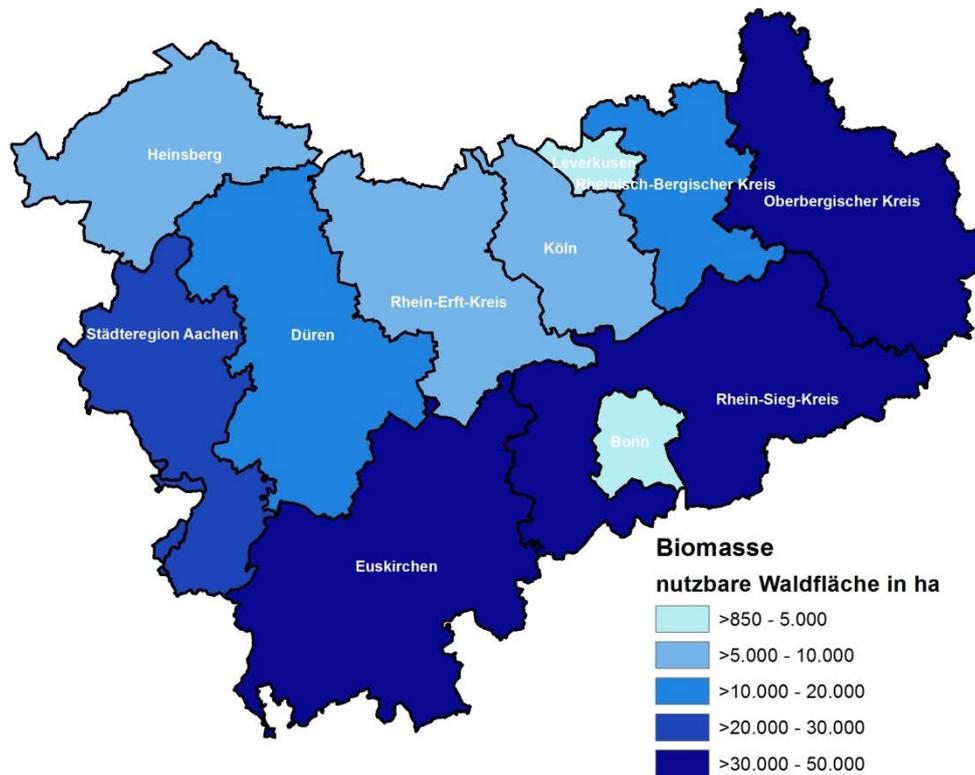


Abbildung 31: Biomasse – potenziell nutzbare Waldfläche nach Kreisen (LANUV 2014)

Tabelle 37: Biomasse - potenzielle Erträge nach Kreisen (LANUV 2014)

Kreis	potenzielle Stromerträge in GWh/a (gerundet)				potenzielle Wärmeerträge in GWh/a (gerundet)			
	Landwirtschaft	Forstwirtschaft	Abfall	Gesamt	Landwirtschaft	Forstwirtschaft	Abfall	Gesamt
Düren	80 - 440	3 - 4	40 - 60	290	420 - 610	60 - 80	100 - 120	600
Rhein-Erft-Kreis	30 - 320	1 - 2	80 - 100	280	280 - 450	20 - 40	160 - 200	330
Köln	10 - 90	2	190 - 220	270	70 - 110	30 - 40	410 - 460	580
Rhein-Sieg-Kreis	40 - 240	6 - 9	80 - 100	270	170 - 310	130 - 190	180 - 210	560
Euskirchen	50 - 400	8 - 11	30 - 40	250	240 - 500	160 - 220	70 - 90	540
Städteregion Aachen	40 - 150	4	80 - 100	200	110 - 190	80	180 - 200	430
Heinsberg	80 - 310	0 - 1	40	190	290 - 460	10 - 20	80 - 90	420
Oberbergischer Kreis	20 - 120	6 - 9	50 - 70	160	30 - 150	120 - 180	110 - 130	360
Rheinisch-Bergischer Kreis	10 - 50	4 - 6	30 - 40	80	20 - 60	70 - 120	60 - 70	200
Bonn	0 - 10	0 - 1	50 - 60	70	0 - 10	10	120 - 130	150
Leverkusen	0 - 10	0 - 1	30	40	0 - 20	0 - 10	60 - 70	90

Derzeit (Stand Ende 2017) ist in der Planungsregion Köln an 147 stromerzeugenden Biomasse-Anlagen (ohne Deponie- und Klärgas) eine Leistung von insgesamt ca. 70 MW installiert, womit ein Stromertrag von 430 GWh/a realisiert werden kann (**Tabelle 29**). Dies ist in etwa die Menge Strom, die 140.000 Privathaushalte im Jahr verbrauchen.

Bei der Betrachtung der regionalen Verteilung der Stromerzeugung erbringt der Kreis Heinsberg mit 90 GWh/a den größten Stromertrag aus der Nutzung von Biomasse (bei 24 Anlagen mit gut 15 MW installierter Leistung), gefolgt von der Städtereion Aachen (23 Anlagen, 14 MW, 80 GWh/a) und dem Kreis Düren (15 Anlagen, 10 MW, 60 GWh/a) (Tabelle). Die Gemeinden, die die höchste Stromproduktion aus Biomasseanlagen im Planungsraum Köln aufweisen, sind Hückelhoven, Aachen, Köln und Euskirchen (Abbildung 32).

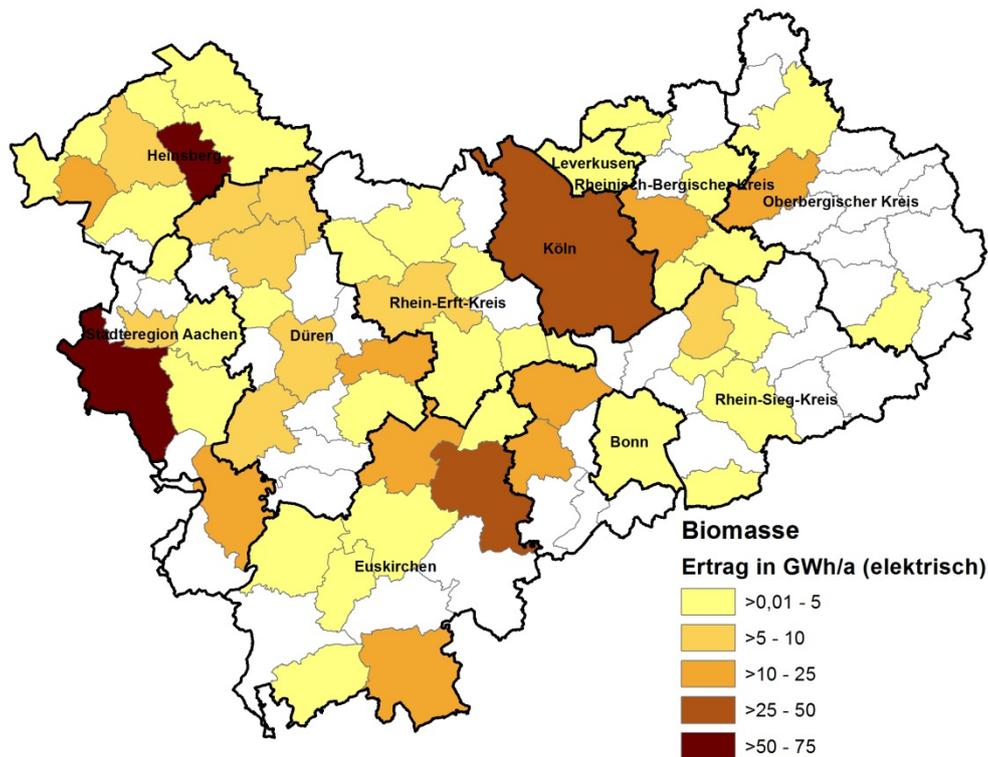


Abbildung 32: Biomasse - Stromertrag nach Gemeinden (Stand: 31.12.2016; Quelle: LANUV, BNA, ÜNB)

Tabelle 38: Biomasse - Ertrag und installierte Leistung (nur Strom) nach Kreisen
(Stand: 31.12.2017; Quelle: LANUV, BNA, ÜNB)

Kreis	Ertrag in GWh/a (gerundet)	installierte Leistung in MW (gerundet)	Anzahl Anlagen
Heinsberg	90	15	24
Städteregion Aachen	80	14	23
Düren	60	10	15
Euskirchen	60	10	21
Rhein-Sieg-Kreis	40	6	13
Köln	40	6	13
Rheinisch-Bergischer Kreis	30	5	20
Rhein-Erft-Kreis	20	3	8
Oberbergischer Kreis	10	2	5
Bonn	4	0,6	1
Leverkusen	1	0,2	4

3.2.4 Wasserkraft

Die Möglichkeiten zum Ausbau der Wasserkraft in Nordrhein-Westfalen wurden in der „Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW – Teil 5: Wasserkraft (LANUV 2017) abgeschätzt. Schwerpunktmäßig wurde in dieser Studie das Potenzial zur Wasserkraftnutzung an bestehenden Querbauwerken in NRW sowie das Repoweringpotenzial an bereits in Betrieb befindlichen Wasserkraftanlagen untersucht.

Potenzielle neue Standorte mussten dabei als Mindestanforderung an einem bereits bestehendem Querbauwerk liegen, eine Mindestabsturzhöhe von 0,8 m aufweisen und sich in einem Gewässerabschnitt mit einem Mittelabfluss von mindestens 1 m³/s befinden. Außerdem wurden für die Ermittlung des Potenzials die erforderlichen ökologischen Abflüsse für Fischaufstiegsanlagen und für Bypässe zum Fischabstieg berücksichtigt sowie an Ausleitungsstandorten für die Mindestwassermenge.

Im ersten Schritt wurden bisher ungenutzte technisch-theoretische Potenziale für Wasserkraftanlagen mit einer Mindestleistung von 10 kW ermittelt. Dieses Potenzial berücksichtigt noch keine weiteren ökologischen oder wirtschaftlichen Kriterien und wurde daher nicht näher hinsichtlich der Realisierbarkeit untersucht. Um sich den tatsächlich machbaren Potenzialen anzunähern, wurden die Potenziale weiter differenziert und dabei beispielsweise neue Standorte in Naturschutzgebieten, Nationalparks sowie in FFH - und Vogelschutzgebieten des Schutzgebietsnetzes NATURA 2000 ausgeschlossen. Es wurde darüber hinaus davon ausgegangen, dass der Bau neuer Wasserkraftanlagen mit relativ geringen Leistungen eher unwahrscheinlich ist und daher eine untere Leistungsgrenze von 50 kW angesetzt. Potenzielle Standorte an Querbauwerken, für die in den Umsetzungsfahrplänen zur Erreichung der Ziele der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie explizit ein Rückbau zur Herstellung eines guten ökologischen Zustands vorgesehen ist, wurden ebenfalls ausgeschlossen.

Um hinsichtlich nicht abschließend bewertbarer Kriterien und Rahmenbedingungen eine Spannweite des Wasserkraftpotenzials aufzuzeigen, wurde das Potenzial in zwei Szenarien

dargestellt. Die folgenden Zahlen zur Planungsregion Köln beziehen sich dabei auf das „maximale Szenario“.

Insgesamt ist bei der Wasserkraft schon ein großer Anteil des Gesamtpotenzials im Land ausgenutzt, insbesondere im Vergleich zur Wind- oder Solarenergie. Im Gegensatz zu den Potenzialstudien Windenergie, Solarenergie und Biomasse wurde für die Wasserkraftnutzung nicht nur ein Gesamtpotenzial ermittelt, sondern auch ein tatsächlich noch ungenutztes Potenzial, bezogen auf konkrete Standorte. Nähere Angaben zur Methodik der Potenzialermittlung können der Studie entnommen werden (LANUV 2017_B).

Für den Regierungsbezirk Köln wurde im Rahmen der Untersuchung ein noch ungenutztes Restpotenzial an 28 Standorten identifiziert. Diese weisen insgesamt eine noch ungenutzte potenziell installierbare Leistung von etwa 5 MW auf, was einen Stromertrag von ca. 17 GWh/a ermöglichen würde (LANUV 2017_B).

Das noch ungenutzte Wasserkraftpotenzial in der Planungsregion Köln verteilt sich auf 18 Gemeinden (Abbildung 33 und Abbildung 34). Radvormwald an der Wupper ist dabei die Gemeinde, in der die größten Potenziale ermittelt wurden (2 Standorte mit 1,2 MW installierbarer Leistung und 1,9 GWh/a potenzieller Stromertrag), gefolgt von Heinsberg (Rur, 2 Standorte, 0,5 MW, 2,4 GWh/a), Düren (Rur, 4 Standorte, 0,5 MW, 2,4 GWh/a) und Linnich (Rur, 1 Standort, 0,5 MW, 2,4 GWh/a) (Tabelle).

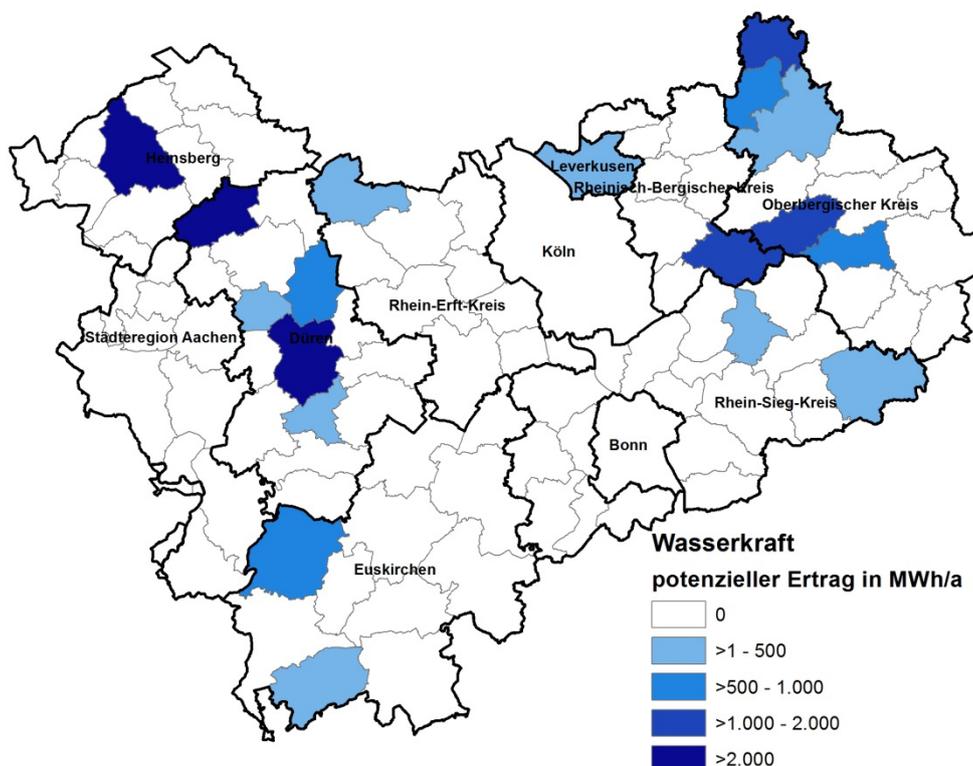


Abbildung 33: Wasserkraft - potenzieller (ungenutzter) Ertrag nach Gemeinden (LANUV 2017)

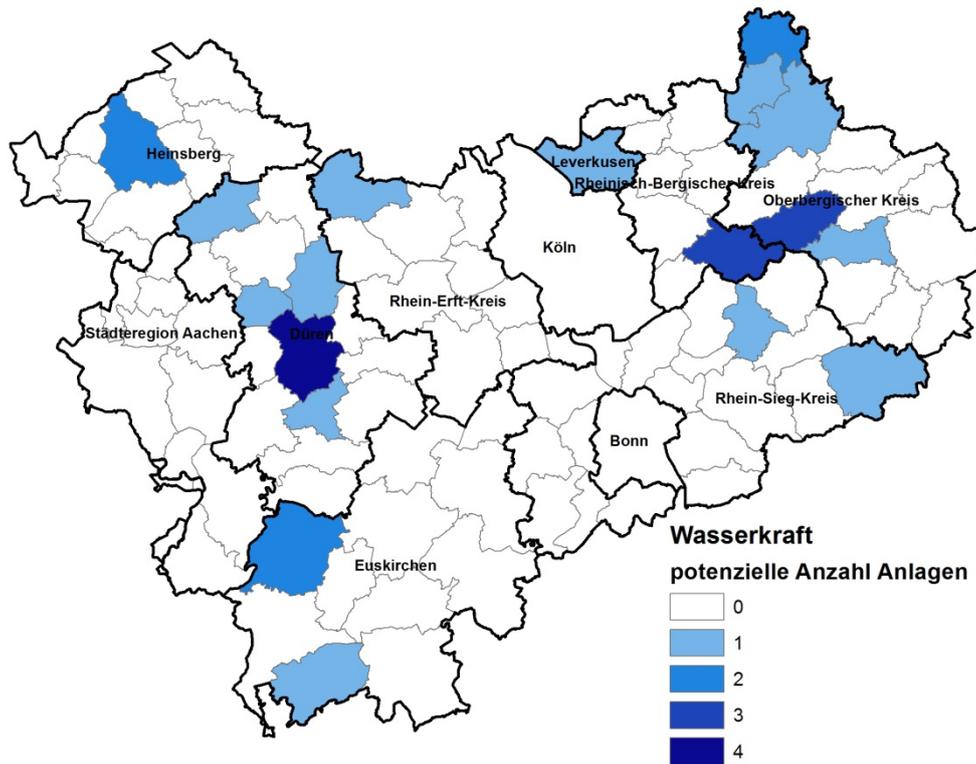


Abbildung 34: Wasserkraft - Anzahl potenzieller Anlagen (Neubau / Repowering) nach Gemeinden (LANUV 2017)

Tabelle 39: Wasserkraft - Ausbaupotenzial nach Gemeinden (LANUV 2017)

Gemeinde	potenziell installierbare Leistung in kW (gerundet)	potenzieller Ertrag in MWh/a (gerundet)	Anzahl potenzieller Anlagen (Neubau, Repowering)
Radevormwald	1.240	1.920	2
Heinsberg	530	2.470	2
Düren	470	2.390	4
Linnich	460	2.400	1
Engelskirchen	400	1.520	3
Overath	330	1.320	3
Hückeswagen	180	750	1
Wiehl	160	610	1
Schleiden	150	610	2
Niederzier	120	590	1

Die noch ungenutzten Potenziale sind jedoch im Verhältnis zum bereits bestehenden Ausbaustand der Wasserkraftnutzung vergleichsweise gering, insbesondere im Vergleich zu anderen regenerativen Energieträgern. An 61 in Betrieb befindlichen Anlagen im Planungsgebiet Köln ist derzeit eine Leistung von etwa 50 MW installiert, was einen Stromertrag von ca. 90 GWh/a bedeutet (Stand: 31.12.2017, **Tabelle 29**). Das entspricht etwa dem jährlichen Stromverbrauch von knapp 30.000 Privathaushalten.

Die mit deutlichem Abstand höchste installierte Leistung bzw. den höchsten Stromertrag in der Planungsregion Köln weist die an der Rur- und Urfttalsperre gelegene Gemeinde Heim- bach auf (Abbildung 35 und Abbildung 36). An drei Standorten ist hier eine Leistung von et- wa 25,3 MW installiert. In Engelskirchen sind an der Agger insgesamt 6 Wasserkraftanlagen mit etwa 4,1 MW installierter Leistung in Betrieb, gefolgt von Hellenthal (3 MW Leistung an einem Standort) und Gummersbach (2,7 MW, 3 Standorte) (**Tabelle 40**).

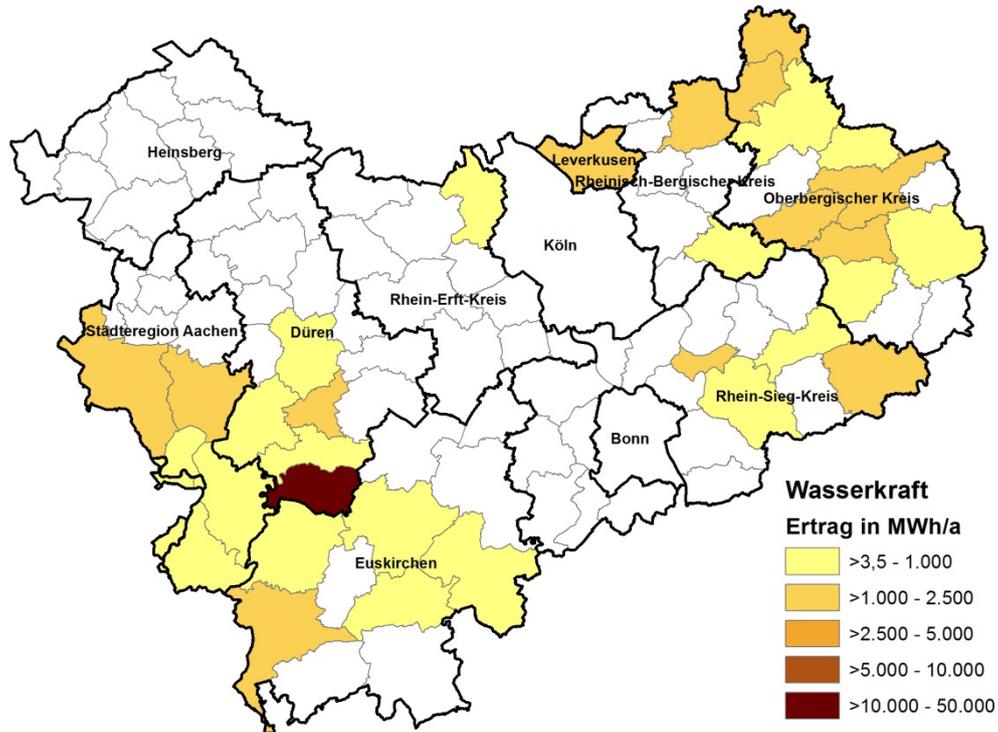


Abbildung 35: Wasserkraft - Ertrag nach Gemeinden
(Stand: 31.12.2017; Quelle: LANUV, BNA, ÜNB)

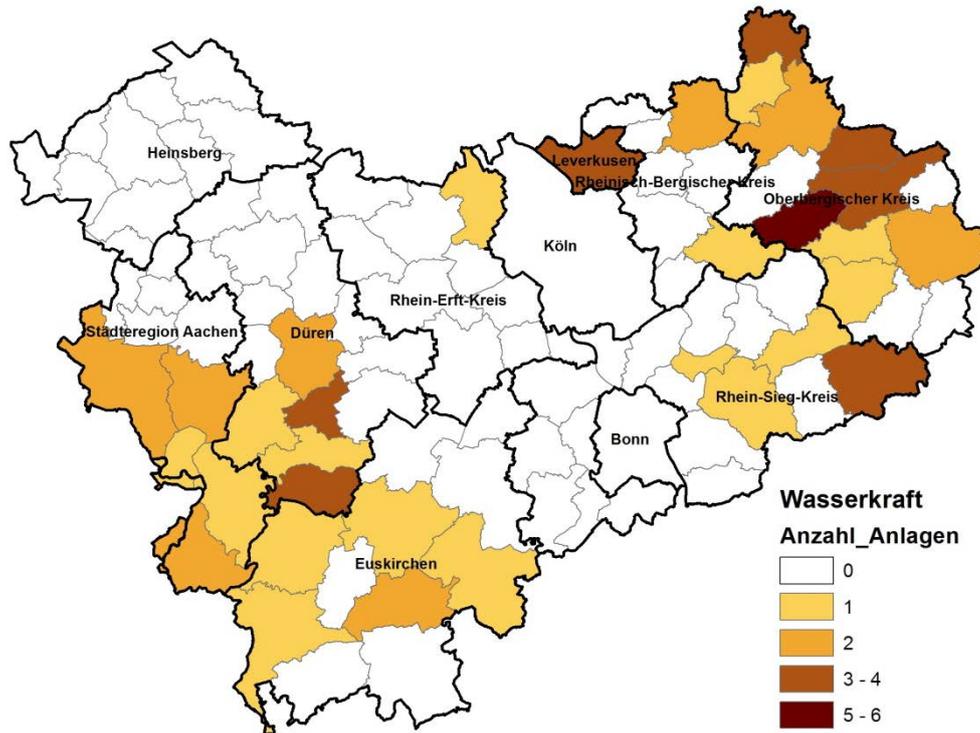


Abbildung 36: Wasserkraft - Anzahl der Anlagen nach Gemeinden
(Stand: 01.03.2017; Quelle: LANUV, BNA, ÜNB)

Tabelle 40: Wasserkraft - Gemeinden mit der höchsten installierten Leistung (Stand: 01.03.2017; Quelle: LANUV, BNA, ÜNB)

Gemeinde	installierte Leistung in kW (gerundet)	Ertrag in MWh/a (gerundet)	Anzahl Anlagen
Heimbach	25.280	46.500	3
Engelskirchen	4.060	7.800	6
Hellenthal	3.000	2.600	1
Gummersbach	2.740	2.790	3
Radevormwald	1.820	8.220	3
Windeck	1.540	4.000	3
Kreuzau	960	4.610	4
Wiehl	720	2.230	1
Monschau	570	1.000	2
Leverkusen	540	1.870	4

3.2.5 Fazit

Zusammenfassend ist bei der Betrachtung der verschiedenen Erneuerbaren Energieträger deutlich geworden, dass die mit Abstand größten Potenziale für Klimaschutz beim Umbau der Energieversorgung in der Planungsregion Köln, ähnlich wie in Gesamt-NRW oder bundesweit, im Ausbau der Windenergie und der Photovoltaikenergie liegen.

Typisch ist dabei auch das Muster der räumlichen Verteilung der Potenziale. Während in den dichter besiedelten Gemeinden auf Grund der großen Anzahl an Dachflächen allgemein das größte Potenzial zur Photovoltaiknutzung besteht (Köln, Aachen, Bonn), ist in eher ländlich geprägten Teilen der Planungsregion (und insbesondere im westlichen Teil des Regierungsbezirkes) das größte Potenzial zum Ausbau der Windenergie vorhanden.

Wesentliche Steuerungsmöglichkeiten der Regionalplanung hinsichtlich des Ausbaus der Erneuerbaren Energien liegen vor allem in der Formulierung von textlichen Zielen und Grundsätzen, insbesondere bei der Windenergie aber auch in der zeichnerischen Darstellung von Vorrang- oder Vorbehaltsgebieten. Zentrale Kriterien sind hierbei die Raumbedeutsamkeit und die überörtliche Bedeutung (nähere Ausführungen hierzu in Kapitel 4.1.1).

Dies ist beispielsweise für dach- und fassadengebundene Photovoltaikanlagen oder kleinere Wasserkraftanlagen nicht gegeben. Bei Windenergieanlagen, Freiflächen-Photovoltaikanlagen oder größeren Wasserkraftanlagen wird hingegen in der Regel von einer regionalplanerischen Steuerungsfähigkeit ausgegangen (BMVBS 2011). Bei der Biomassenutzung wird die Errichtung von privilegierten Einzelanlagen in der Regel nicht als raumbedeutsam angesehen, bei mehreren Anlagen in engem zeitlichem und räumlichem Zusammenhang können nach Meinung einiger Autoren aufgrund ihrer kumulativen Wirkungen oder auch im Zusammenwirken mit dem Biomasseanbau eine Einstufung als raumbedeutsam vorliegen. Bei nicht privilegierten Anlagen kann die immissionsschutzrechtliche Genehmigungsbefähigung gem. Anhang zur 4. BImSchV zur Einstufung als raumbedeutsames Vorhaben herangezogen werden. (BMVBS 2011).

Für die Windenergienutzung ist im Rahmen der Regionalplanung eine räumlich konkrete Steuerung durch die Ausweisung von zeichnerischen Vorrang- und Vorbehaltsgebieten möglich. Weitere Festsetzungen können z.B. Regelungen zum Repowering oder Ausnahmeregelungen für Kleinwindkraftanlagen in Ausschlussgebieten betreffen. Zu Freiflächen-Photovoltaikanlagen können beispielsweise Ziele oder Grundsätze zu ihrer Steuerung auf bestimmten Flächen (versiegelte Flächen, Konversionsflächen, Halden) formuliert werden.

3.3 Weitere Handlungsfelder Klimaschutz

Im Folgenden soll auf weitere Handlungsfelder im Bereich Klimaschutz eingegangen werden. Da hier jedoch die verfügbare Datengrundlage nicht aussagekräftig genug oder die Steuerungsmöglichkeiten der Regionalplanung insgesamt eingeschränkt sind, werden diese nur grob skizziert.

Mobilität

Das Handlungsfeld Mobilität weist ein erhebliches Potenzial zur Reduktion von treibhausgasen in der Planungsregion Köln auf. Etwa 10 % der THG-Gesamtemissionen in der Planungsregion Köln entstammen aus dem Verkehrssektor (**Tabelle 27**). Zur Verringerung verkehrsbedingter CO₂-Emissionen sind insbesondere günstige Siedlungs- und Verkehrsstrukturen geeignet. Dies betrifft vor allem die Möglichkeit zur Verkehrsverlagerung (Bewältigung von Wegstrecken mit Verkehrsmitteln des Umweltverbundes wie Fuß- und Radverkehr, ÖPNV), der Verkehrsvermeidung (Beeinflussung des Bedarfs nach Verkehr und Verkürzung der Wegstrecken), der Verkehrsoptimierung (bessere Auslastung bestehender Kapazitäten) und Minderung der spezifischen Emissionen der Fahrzeuge (z.B. Förderung der Elektromobilität und der dafür benötigten Infrastruktur). (Umweltbundesamt 2012)

Regionalplanerische Steuerungsmöglichkeiten zur Reduzierung verkehrsbedingter Treibhausgasemissionen bestehen vor allem im Rahmen der Siedlungsentwicklung, z.B. hinsichtlich des Leitbildes „Region der kurzen Wege“ (Zentrenorientierte Entwicklungskonzepte, Ausrichtung der Siedlungsentwicklung an den Trassen des schienengebundenen Personalverkehrs) oder bei der Festsetzung von Zielen zur Begrenzung der Siedlungsentwicklung und zur Nachverdichtung sowie durch grundsätzliche Formulierungen zur Förderung der Elektromobilität. (Umweltbundesamt 2012)

Landwirtschaft

Die Landwirtschaft ist einerseits deutlich von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen, weshalb auch in diesem Bereich Anpassungsmaßnahmen von großer Bedeutung sind (Kapitel 4.2), andererseits trägt die Landwirtschaft durch Treibhausgasemissionen auch zum Klimawandel bei. Etwa 1,3 % der Treibhausgasemissionen in der Planungsregion Köln stammen aus der Landwirtschaft (**Tabelle 27**).

Die von der Landwirtschaft verursachten Treibhausgasemissionen bestehen zum einen Teil aus Lachgas und Methan, die bei natürlichen Prozessen im Boden, bei der Verdauung in der Tierhaltung oder der Lagerung von Mist und Gülle entstehen. Diese Gase sind deutlich klimawirksamer als Kohlendioxid. Bei der Umwandlung von Grünland in Ackerland sowie der landwirtschaftliche Nutzung entwässerter Moorböden wird aber auch Kohlenstoffdioxid freigesetzt. Zudem wird in der Landwirtschaft Energie verbraucht, z.B. für Beleuchtungs-, Lüftungs- und Fütterungssysteme. (BMEL 2016)

Die durch die Landwirtschaft verursachten Treibhausgasemissionen lassen sich nicht vollständig vermeiden. Eine Reduzierung und damit ein wichtiger Beitrag zum Klimaschutz kann

jedoch z.B. durch eine effizientere Düngung, die Nutzung von Mist und Gülle in Biogasanlagen oder eine verbesserte Fütterung, Tiergesundheit und Tierleistung erreicht werden. (BMEL 2016)

Wärmeversorgung, Energieeffizienz

Die Wärmeversorgung von Gebäuden benötigt etwa ein Drittel des gesamten Endenergieverbrauchs in Deutschland, private Haushalte sind für etwa 9 % der Treibhausgasemissionen in der Planungsregion Köln verantwortlich (Kapitel 3.1). Daher besteht im Handlungsfeld Wärmeversorgung ein erhebliches Potenzial zur Einsparung von Treibhausgasemissionen. Neben dem Einsatz von Erneuerbaren Energien (z.B. Biomasse, Geothermie, Solarthermie) sind energieeffiziente Siedlungsstrukturen (z.B. passive Solarenergienutzung) oder wärmetechnische Gebäudesanierungen zentrale Instrumente in diesem Bereich. (Umweltbundesamt 2012)

Im Regionalplan können durch die Formulierung von Grundsätzen Vorgaben zu einer regenerativen Wärmeversorgung, Energieeffizienten Siedlungsstrukturen, aber auch zu Maßnahmen zum sparsamen Gebrauch von Energie oder zur Energieeffizienz (z.B. Kraft-Wärme-Kopplung, Nah- und Fernwärmeversorgung) gemacht werden, die von der nachfolgenden Ebene der kommunalen Planung zu berücksichtigen und zu konkretisieren sind. (Umweltbundesamt 2012)

Energiespeicher

Eine überwiegend auf Erneuerbaren Energien beruhende Stromversorgung erfordert auf Grund der Volatilität von Wind- und Solarenergie eine erhebliche Flexibilisierung des gesamten Systems. Neben dem Ausbau der Netze oder einem Last-Management können Energiespeicher diese Flexibilität bereitstellen. Hierzu zählen beispielsweise thermische Wärmespeicher (Power-to-Heat), Batteriespeicher oder Kavernenspeicher (Power-to-Gas).

Eine bewährte und ausgereifte Technologie zur Speicherung von elektrischer Energie in großem Maßstab sind Pumpspeicherkraftwerke. Die Potenziale von Pumpspeicherkraftwerken hat das LANUV in der Potenzialstudie Pumpspeicherkraftwerke NRW (2016) untersucht und dabei auch Potenziale an Vorzugsstandorten in der Planungsregion Köln identifiziert. Die Daten zu den dabei bewerteten Standorten liegen der Bezirksregierung Köln vor und können, ähnlich wie im Regionalplan Arnsberg, planerisch gesichert werden.

Kohlenstoffsinken

Die in der Atmosphäre vorkommenden Kohlenstoffverbindungen können in andere Medien überführt und dort möglichst lange gespeichert werden (Kohlenstoffsinken). Natürliche Kohlenstoffsinken sind vor allem Moore, sonstige Feuchtgebiete und Wald-Systeme, die in ihrer Vegetation und im Boden große Mengen Kohlenstoff speichern können. Diese Ökosysteme sind daher auch aus Gründen des Klimaschutzes besonderer Bedeutung und sollten planerisch geschützt und entwickelt werden. Geeignete Instrumente hierfür sind die Ziel- und Grundsatzformulierungen und die Ausweisung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten für Na-

turschutz und Landschaftspflege, Waldschutz oder Waldmehrung oder Sanierungsgebiete mit dem Schwerpunkt der Moorentwicklung. (Umweltbundesamt 2012)

4. Klimaanpassung in der Planungsregion Köln

Die Folgen des anthropogenen Klimawandels sind in Nordrhein-Westfalen bereits heute messbar und haben Auswirkungen auf verschiedenste Lebensbereiche. Es ist daher ein wichtiges Ziel, sich frühzeitig an die globalen Klimaänderungen anzupassen, um Schäden für die Natur und die Gesellschaft zu verhindern bzw. so gering wie möglich zu halten. In vielen Handlungsfeldern sind dabei langfristige Planungen notwendig, um zukünftigen Risiken rechtzeitig begegnen zu können.

In diesem Kapitel werden Maßnahmen zur Anpassung an den vom Menschen verursachten Klimawandel in der Planungsregion Köln beschrieben. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der thermischen Belastung der Bevölkerung (Kapitel 4.1). Abschließend werden weitere Klimafolgen und damit verbundene Anpassungsmaßnahmen für die Bereiche Landwirtschaft, Wald und Forstwirtschaft, Natur- und Artenschutz sowie Wasserwirtschaft in der Planungsregion Köln umrissen (Kapitel 4.2)

4.1 Hitzebelastung

Nordrhein-Westfalen ist mit knapp 18 Millionen Einwohnern das bevölkerungsreichste und am dichtesten besiedelte Bundesland Deutschlands. Über acht Millionen Menschen leben in Städten mit mehr als 100.000 Einwohnern. Im Regierungsbezirk Köln zählen hierzu die Großstädte Köln (ca. 1,1 Millionen Einwohner), Bonn (ca. 320.000 Einwohner), Aachen (250.000 Einwohner), Leverkusen (160.000 Einwohner) und Bergisch Gladbach (ca. 111.000 Einwohner). Aber auch kreisangehörige Städte wie Düren (ca. 90.200), Troisdorf (ca. 74.400), Kerpen (65.500) oder Bergheim (60.400) (Quelle: IT.NRW, Stand: 31.12.2015) weisen zum Teil stark verdichtete urbane Siedlungsstrukturen auf.

Vor allem in dicht bebauten innerstädtischen Siedlungsräumen großer Städte und Ballungsräume können sich bei sommerlichen Hochdruckwetterlagen so genannte „Wärmeinseln“ bilden. Durch einen verringerten Luftaustausch, Wärmespeicherung von Gebäuden und Straßen sowie die Freisetzung von Wärme durch Industrie und Verkehr können hier Temperaturunterschiede zum Umland von bis zu 10 K auftreten. Gerade im dicht besiedelten Bundesland NRW ist es daher wichtig, einer übermäßigen Hitzebelastung der Bevölkerung entgegen zu wirken.

Besonders hohe Temperaturen können sich negativ auf das Wohlbefinden oder die Gesundheit von Menschen auswirken. Die thermische Belastung (Hitze, aber auch Kälte) wird dabei im Wesentlichen durch meteorologische Größen wie Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit und Sonnenstrahlung beeinflusst. Wird die Wärmeregulation des menschlichen Körpers verstärkt beansprucht, führt dies dazu, dass die Umgebung als belastend empfunden wird. Neben weiteren Faktoren wie der UV-Strahlung oder Luftschadstoffen ist die thermische Situation entscheidend für das Bioklima, also den Einfluss der Atmosphäre auf den menschlichen Organismus (Deutscher Wetterdienst DWD 2018a).

Durch Hitzebelastung kann insbesondere die Gesundheit sensibler Bevölkerungsgruppen beeinträchtigt werden und sich die Lebensqualität erheblich vermindern. Menschen mit Vorerkrankungen oder einer geringeren Fitness, ältere Menschen oder Kleinkinder haben häufig Probleme mit erhöhten Hitzebelastungen. Mögliche Folgen sind Kreislaufprobleme, Herzrhythmusstörungen, Kopfschmerzen oder Erschöpfung.

Der Belastungssituation in den Nachtstunden kommt dabei eine besondere Bedeutung zu. Einerseits ist der städtische Wärmeinseleffekt in der Nacht am stärksten ausgeprägt, vor allem bei nur geringer Bewölkung und Windstille. Andererseits wirken sich ungünstige klimatische Bedingungen besonders negativ auf den Schlaf und die nächtliche Erholung aus. Auch sind Menschen in der Nacht an ihren Wohnstandort gebunden und können kaum in günstigere Bereiche ausweichen.

Positiv beeinflusst wird das lokale Klima durch Grün- bzw. Freiflächen, die für überwärmte Bereiche als Ausgleichsflächen fungieren können. Wiesen, Parkareale, Kleingärten und Friedhofsanlagen, Ackerflächen oder auch Waldflächen kühlen sich in der Nacht z. T. deutlich stärker ab als bebaute Bereiche. Insbesondere über diesen Freiflächen bilden sich nachts Schichten kühlerer Luft. Sofern die Bebauung und die Geländestrukturen dies ermöglichen, kann diese Kaltluft bestehende Wärmebelastungen in den Siedlungsbereichen verringern. Als Kaltluftleitbahnen werden dabei Freiflächen bezeichnet, die den lokalen Luftaustausch fördern, indem sie den Transport kühlerer Luftmassen von Ausgleichsflächen in überwärmte städtische Bereiche ermöglichen.

Der bereits messbare Anstieg der Temperaturen in Nordrhein-Westfalen in den letzten Jahrzehnten sowie die zu erwartenden Folgen des voranschreitenden Klimawandels mit einem zu erwartenden Anstieg der mittleren Jahrestemperatur in NRW um rund 2 bis über 4 K bis zum Jahr 2100 (Kapitel 2) verdeutlichen die stetig zunehmende Bedeutung der thermischen bzw. bioklimatischen Belastungen der Bevölkerung. Dabei ist zu erwarten, dass auf Grund des Klimawandels beispielsweise Hitzeperioden zukünftig häufiger auftreten, länger andauern und durch höhere Temperaturen gekennzeichnet sein können.

Um Wärmeinseleffekten in Städten planerisch zu begegnen, gibt es verschiedene Handlungsansätze, wie zum Beispiel die Sicherung und den Ausbau von Grün- und Wasserflächen oder sonstigen unversiegelten Flächen sowie Bepflanzungen von Gebäuden und Dachflächen. Diese Ansätze obliegen in der Regel der kommunalen Stadt- und Freiraumplanung. Aber auch der Ebene der regionalen Planung gibt es Steuerungsmöglichkeiten, wenn die hierfür erforderlichen Voraussetzungen (z. B. überörtliche Bedeutung) vorliegen.

Das im Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) definierte Schutzgut Klima/Luft stellt im Rahmen der Abwägungsprozesse bei der räumlichen Planung einen wichtigen Belang auf den verschiedenen Planungsebenen dar. Belange, welche den Schutz und Erhalt vorhandener (makro- bis mikroklimatischer) Funktionen sowie ggf. der Sanierung bestehender klimatischer oder lufthygienischer Belastungen repräsentieren, sind auch auf Ebene der Regionalplanung zu berücksichtigen.

Grundsätzlich relevante Aspekte sind in diesem Zusammenhang gleichermaßen bioklimatische Prozesse wie auch landschaftsökologische Standortfunktionen, die dem Erhalt der Biodiversität dienen, oder die Häufigkeit und Lokalisation klimatischer Extremereignisse. Die sachgerechte Berücksichtigung klimatischer Fragestellungen im Rahmen der Abwägung zwischen den im Raum konkurrierenden Nutzungsansprüchen und Belangen ist dabei – auch vor dem Hintergrund der erforderlichen Anpassung an die Folgen des anthropogenen Klimawandels – unter der Prämisse der u. a. in § 1 Abs. 2 ROG verankerten nachhaltigen Raumentwicklung als dringend erforderlich anzusehen.

Als Entscheidungs- und Abwägungsgrundlage für Maßnahmen und Handlungsoptionen auf den verschiedenen Planungsebenen hat das LANUV mit der „Klimaanalyse NRW“ eine räumlich hochauflösende Datenbasis zur Beurteilung der klimaökologischen Situation in Nordrhein-Westfalen erstellt. Die Ergebnisse dieser Studie werden im Folgenden als wesentliche Datengrundlage zur Beschreibung der klimaökologischen Prozesse in der Planungsregion Köln und der darauf aufbauenden Empfehlungen herangezogen.

Im Folgenden werden zunächst die grundsätzlichen regionalplanerischen Steuerungsmöglichkeiten im Bereich thermischer Belastung thematisiert (4.1.1), bevor auf die zentralen Aspekte der Methodik der Klimaanalyse NRW eingegangen wird (4.1.2). Anschließend werden die Ergebnisse und damit das klimaökologischen Prozessgeschehen in der Planungsregion Köln dargestellt (4.1.4). Abschließend werden Handlungsempfehlungen und mögliche Umsetzungspfade aus Sicht des LANUV beschrieben (4.1.4).

Dabei sollen Wege aufgezeigt werden, wie eine stärkere und den bereits gegenwärtig sowie zukünftig zu erwartenden Problemstellungen und Anforderungen gerecht werdende Berücksichtigung bioklimatischer Belange im Zuge der Regionalplanung erreicht werden kann. Dies erfolgt unter besonderer Berücksichtigung des Anforderungsrahmens an raumordnerische Festlegungen sowie des hierbei zur Verfügung stehenden Instrumentariums. Die folgenden Ausführungen sollen demzufolge den verschiedenen Planungsträgern und Akteuren als fachliche Hilfestellung im Umgang mit klimatischen Fragestellungen dienen.

4.1.1. Hitzebelastung und regionalplanerische Steuerungsmöglichkeiten

Klimatische Aspekte im Allgemeinen und bioklimatische Belange im Speziellen (z. B. Hitzebelastung) sind auf Ebene der Regionalplanung bis heute nur in wenigen Fällen Auslöser durchsetzungskräftiger regionalplanerischer Festlegungen. Als mögliche Ursachen kommen hier eine unter den bisherigen klimatischen Rahmenbedingungen noch als gering eingeschätzte planerische Relevanz dieser Belange, aber insbesondere auch die zumeist fehlende Datengrundlage für die adäquate Berücksichtigung solcher Fragestellungen in der Regionalplanung in Frage. Beide Aspekte haben in der Vergangenheit dazu geführt, dass sich das Klima repräsentierende Belange und Raumansprüche nicht gegenüber den zahlreichen und oftmals weitaus besser untersuchten konkurrierenden Belangen wie z. B. Landwirtschaft, Gewerbe und Siedlungsentwicklung durchsetzen konnten. Eine weitere Herausforderung stellt die Unterscheidung und Abgrenzung zwischen überörtlichen, d.h. in den Aufgabenbe-

reich der Raumordnung fallenden, und eher lokalen Funktionen und Wirkungsgefügen dar, welche im Zuständigkeitsbereich der kommunalen Planung liegen.

Gleichwohl lässt sich schon aus § 1 Abs. 2 Raumordnungsgesetz (ROG) der deutliche Handlungsauftrag an die Regionalplanung ableiten, wenn von der allgemeinen Leitvorstellung einer nachhaltigen Raumentwicklung gesprochen wird, welche soziale, wirtschaftliche und ökologische Raumansprüche miteinander in Einklang bringt und gleichzeitig gesamtträumlich gleichwertige Lebensverhältnisse schafft und sichert. Aufgrund der Tatsache, dass das Klima sowohl für menschliches Wirtschaften als auch für das Zusammenleben sowie die ökologische Vielfalt und Funktionsfähigkeit der Landschaft eine zentrale Grundlage darstellt, muss hieraus auch ohne die spezielle Berücksichtigung des Klimas in § 2 Abs. 1 Nr. 6 bereits die Verpflichtung zur Berücksichtigung klimatischer Belange im Zuge der regionalplanerischen Abwägung gefolgert werden.

Zudem stellt gerade die Region in ihrer räumlichen Dimension eine wichtige Handlungsebene zur Sicherung und Entwicklung klimatischer Funktionen dar, weil zahlreiche Wirkfolgen der veränderlichen klimatischen Parameter zwar einerseits kleinräumig identifiziert werden können, dabei jedoch stets in einem Wirkungs-Zusammenhang mit dem umgebenden, größeren Raum stehen. Die aktuelle Bundesregierung misst der Raumordnung daher auch aufgrund ihrer Querschnittsorientierung eine besondere Bedeutung zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels bei (BMVI 2017).

Die vom Bund getroffenen Vorgaben werden auf Landesebene durch das Landesplanungsgesetz Nordrhein-Westfalen konkretisiert. So erlässt das LPIG-NRW in § 12 Abs. 3 folgende allgemeine Vorschrift für Raumordnungspläne in Nordrhein-Westfalen:

„In den Raumordnungsplänen sind die räumlichen Erfordernisse des Klimaschutzes und der Anpassung an den Klimawandel als Ziele und Grundsätze der Raumordnung festzulegen. Zur raumordnerischen Umsetzung des § 3 Klimaschutzgesetz Nordrhein-Westfalen sind die genannten Klimaschutzziele als raumbezogene Ziele und Grundsätze umzusetzen und/oder nachgeordneten Planungsebenen entsprechende räumliche Konkretisierungsaufträge zu erteilen.“

Der hier erwähnte § 3 des Klimaschutzgesetzes (i.d.F.v. 29.01.2013) ist wiederum für die in dieser Studie betrachtete bioklimatische Situation in Absatz 3 relevant, in dem es heißt, dass *„die negativen Auswirkungen des Klimawandels durch die Erarbeitung und Umsetzung von sektorspezifischen und auf die jeweilige Region abgestimmten Anpassungsmaßnahmen zu begrenzen sind“*. Diese Vorgaben haben sich bereits in den geltenden Landesentwicklungsplan (LEP) NRW vom 08.02.2017 niedergeschlagen. So enthält Abschnitt 4 des LEP die Grundsätze 4-1 bis 4-3, welche allesamt die Berücksichtigung des Schutzguts Klima im Zuge der Raumordnung und -entwicklung adressieren.

Zwar haben all die aufgeführten Regelungen insbesondere den Umgang mit den Folgen des anthropogenen Klimawandels durch die Regionalplanung im Blick, gleichwohl muss in diesem Zusammenhang die Analyse des Status-Quo und die Sicherung der bereits heute bestehenden und raumwirksamen Strukturen ein erster, unabdingbarer Schritt bei der Umset-

zung dieser Anforderungen darstellen. Somit ist eine stärkere Berücksichtigung klimatischer Fragestellungen in Landesraumordnungsprogrammen und Regionalplänen insbesondere auch mit Blick auf die zu erwartenden Auswirkungen des vom Menschen verursachten Klimawandels künftig unverzichtbar. Auch kommt der Regionalplanung dabei im Rahmen der regionalen Klimaanpassung im Zuge der Erarbeitung eines sog. „Klimawandelgerechten Regionalplans“ (BMVI 2017) höchste Priorität zu. Vorrangige Ziele einer klimagerechten Regionalplanung müssen hierbei sein:

- die Sicherung vorhandener klimatischer Leistungen des Landschaftshaushalts („Verschlechterungsverbot“),
- die Minderung/Milderung der Folgen des Klimawandels („coping“) sowie
- der Aufbau von Klimaschutzkapazitäten.

Zentrale Handlungsansätze und Instrumente für eine Umsetzung dieser Ziele sind:

- der Schutz klimawirksamer Freiräume,
- die klimagerechte räumliche Steuerung von Siedlungsflächen sowie
- die klimagerechte räumliche Steuerung von Infrastrukturen.

Vor diesem Hintergrund und in Ermangelung einer klimaspezifischen Fachplanung werden in Kapitel 4.1.4 maßstabsspezifische Empfehlungen und nach Möglichkeit direkt regionalplanerisch verwertbare fachliche Handlungsempfehlungen für die Planung erarbeitet. Ein Ziel ist dabei die planerische In-Wert-Setzung der Roh-/Fachdaten der landesweiten Klimaanalyse des LANUV. Für die Ableitung möglichst konkreter fachlicher Empfehlungen für die Fortschreibung des Regionalplans Köln ist dabei die Prüfung des regionalen Raumbezugs bzw. der Überörtlichkeit notwendig.

In diesem Zusammenhang ist zu betonen, dass selbstverständlich auch die zahlreichen kleinräumigen Klimafunktionen für den Erhalt/die Schaffung gesamträumlich gleichwertiger und nicht belastender Lebensverhältnisse unverzichtbar sind. Die landesweite Klimaanalyse ist geeignet, auch für lokale Fragestellungen erste Hinweise zu liefern. Diese können jedoch nicht auf der Planungsebene der Regionalplanung angesprochen werden. Vielmehr obliegt ihre Identifizierung und planerische Sicherung der kommunalen Planung. Gegebenenfalls können dabei für die Kommunalplanung gegenüber der landesweiten Klimaanalyse maßstäblich höher aufgelöste räumliche Untersuchungen notwendig werden.

Kompetenzrahmen der Raumordnung

Die räumlichen Erfordernisse des Klimas als Adressat bzw. Begründungshorizont raumordnerischer Festlegungen grundsätzlich zu berücksichtigen, hat der Gesetzgeber mit der Neufassung des § 2 Abs. 2 Nr. 6 ROG ausdrücklich legitimiert und zum unstrittigen Kompetenztitel der Raumordnung erhoben.

Das Raumordnungsgesetz – im Zusammenwirken mit den jeweiligen Landesgesetzen – sieht zur Wahrnehmung und Umsetzung der raumordnerischen Aufgaben und Kompetenzen mit Zielen und Grundsätzen zwei sich im Hinblick auf ihre Steuerungs- und Bindungswirkung

voneinander unterscheidende Instrumente vor. So weisen Ziele der Raumordnung auf Grund der sog. Beachtungspflicht nach § 4 Abs. 1 ROG eine hohe Steuerungswirksamkeit auf, wohingegen Grundsätze von nachgeordneten Planungsebenen lediglich im Zuge der eigenen Abwägung *mit besonderem Gewicht* berücksichtigt werden sollen (Berücksichtigungspflicht). Grundsätze können demnach jederzeit begründet weggewogen werden, sofern die konkurrierende Nutzung als gewichtiger bewertet wird. Dies führt in der Planungs-Realität häufig dazu, dass planerische Grundsätze kaum praktische Wirkungen erzielen (BMVI 2017).

Die unterschiedlichen Rechtsfolgen und Bindungswirkungen dieser zentralen raumordnerischen Instrumente bedingen wiederum einen differenzierten Anforderungskatalog an deren Festlegung. So sind an Ziel-Festlegungen grundsätzlich erhöhte rechtliche Anforderungen an Qualität und Detaillierungsgrad der Datengrundlage, räumliche und sachliche Bestimmtheit sowie Abwägung zu stellen (u. a. ZGB 2012). Im Allgemeinen gilt hierbei, dass je höher die Verbindlichkeit bzw. Steuerungswirkung einer getroffenen Festlegung und je stärker damit der Eingriff in die Planungshoheit der Kommune bzw. private Eigentumsrechte sind, desto umfassender sind diese auch abzuwägen sowie sachlich und fachlich zu begründen ist. Diese Abwägung muss überdies im Hinblick auf die bereits auf Maßstabsebene der Raumordnung erkennbaren Belange und Raumansprüche abschließend sein (vgl. § 7 Abs. 2 ROG). Im Rahmen dieser Abwägung hat die Raumordnung jedoch einen gewissen Abwägungsspielraum.

Diesem Abwägungsspielraum kommt im Hinblick auf potenzielle Zielfestlegungen klimabezogener Belange in Kombination mit dem in § 1 Abs. 1 Satz 2 Nr. 2 ROG implementierten Vorsorgeprinzip eine maßgebende Bedeutung zu. Demzufolge ist die Raumordnung dazu gehalten, „*Vorsorge für einzelne Nutzungen und Funktionen des Raums zu treffen*“. Festlegungen, die bereits die Effekte des Klimawandels in ihren Begründungs- und Zielhorizont einbeziehen, sind naturgemäß von einer Prognoseunsicherheit gekennzeichnet. Dies steht – zumindest in Bezug auf Ziel-Festlegungen – zunächst im Widerspruch zur gesetzlich geforderten Bestimmtheit und dem weitreichenden Eingriff derartiger Festlegungen in grundgesetzrelevante Sachverhalte (beispielsweise die kommunale Planungshoheit nach Art. 28 GG).

Der Vorsorgegrundsatz ermöglicht jedoch bis zu einem gewissen Grad aufgrund des Fehlens klimabezogener Fachgesetze oder fachplanerischer (sicherer) Bedarfsfeststellungen den Einbezug von Klima-Projektionen in die raumordnerische Planung. So können Raumbedarfe und sonstige räumlichen Erfordernisse von Klima, Klimaschutz und Klimaanpassung auch unter Ungewissheit frühzeitig und damit rechtzeitig berücksichtigt werden, bevor zwischenzeitlich neu aufgenommene oder erweiterte Raumnutzungen eine spätere Berücksichtigung klimatischer Erfordernisse unter Gewissheit bereits unmöglich gemacht oder wesentlich erschwert haben. Erforderlich erscheint dieses vordringlich im Falle von Flächen oder Funktionen, die standortspezifisch und von einer bereits bestehenden Flächen-Knappheit gekennzeichnet sind (BMVI 2017).

Auch unter Bezug auf den Vorsorgegrundsatz sollte jedoch keinesfalls nur auf einzelne Modell-Rechnungen von Klima-Projektionen abgestellt werden, da deren Eintrittswahrscheinlichkeit mit modellbedingten Unsicherheiten verbunden ist und die rechtliche Le-

gitimation von Planungs-Entscheidungen allein auf dieser Grundlage somit als fragwürdig anzusehen wären. Alternativ sollte auf sogenannte Ensemble-Simulationen zurückgegriffen werden, um allgemeine Trends für die relevanten Klimasignale bzw. Klimaparameter herauszuarbeiten und als Begründung der Festlegungen heranzuziehen. Bei diesem Verfahren werden mehrere Modellrechnungen betrachtet, um durch die Mittelung über mehrere Modelle Unsicherheiten besser einschätzen und daraus Ergebnisse ableiten zu können (2.2.1). Ensemble-Simulationen können die Entwicklung des Klimas innerhalb einer gewissen Spannbreite in der Regel zuverlässiger beschreiben als einzelne Modellläufe.

In einem ersten Schritt zur stärkeren Berücksichtigung der Belange von Klima, Klimaschutz und Klimaanpassung im Rahmen der Regionalplanung bietet sich zudem der sogenannte „No-Regret-Ansatz“ an. Hierbei werden die Festlegungen auf Grundlage von Status-Quo-Analysen getroffen, deren Begründungsrahmen durch in Klima-Projektionen erkennbare und mit vergleichsweise hoher Eintrittswahrscheinlichkeit absehbare Trends ergänzt und gestärkt wird. Somit werden in diesem Ansatz zunächst Festlegungen getroffen, die bereits unter heutigen klimatischen Bedingungen sinnvoll sind (Sicherung und ggf. Weiterentwicklung von bestehenden Funktionen), deren planerische Bedeutung im Zuge des anthropogenen Klimawandels aller Voraussicht nach jedoch noch deutlich zunehmen wird.

Anforderungen an raumordnerische Festlegungen

Aus den eingangs dargestellten Kompetenzen der Raumordnung ergeben sich, auch verfassungsrechtlich und wie im ROG mit den Begriffen „Überörtlichkeit“ und „Überfachlichkeit“ weiter konkretisiert, verschiedene Anforderungen an raumordnerische Festlegungen. Diese sind damit auch bei der Aufnahme klimabezogener Festlegungen in den Regionalplan Köln zu beachten. Den genannten Kompetenzen der Raumordnung stehen somit auch (weitgehend) klar definierte Grenzen gegenüber, die im Folgenden mit Fokus auf klimabezogene Festlegungen betrachtet werden.

Die gemeindliche Planungshoheit (Art. 28 Abs. 2 Satz 1 GG) steht dabei der Bindung der gemeindlichen Bauleitplanung an Ziele der Raumordnung nicht prinzipiell entgegen, denn die kommunale Selbstverwaltung wird verfassungsrechtlich nur im Rahmen der Gesetze gewährleistet (ständige Rechtsprechung, u. a. BVerwG, Beschluss vom 09.04.2014 – 4 BN 3/14 –, juris). Materiellrechtlich sind solchen Eingriffen jedoch Grenzen gesetzt. Schränkt die Landes- oder Regionalplanung die Planungshoheit einzelner Gemeinden ein, so müssen überörtliche Interessen von höherem Gewicht den Eingriff rechtfertigen. Der Eingriff in die Planungshoheit muss gerade angesichts der Bedeutung der kommunalen Selbstverwaltung verhältnismäßig sein (BVerwG, a.a.O.). Im Folgenden wird diskutiert, in wie weit überörtliche Interessen bei der Sicherung von klimaökologisch bedeutsamen Räumen, Funktionen oder Belastungen anzunehmen und ausreichend begründbar sind.

Überörtlichkeit

Das ROG verlangt grundsätzlich eine Überörtlichkeit der von der Raumordnung erfassten Nutzungen, Funktionen, etc. Somit dürfen in Regionalplänen ausschließlich sogenannte raumbedeutsame Festlegungen im Sinne von § 3 Abs. 1 Nr. 6 ROG getroffen werden. Die überörtlichen Belange besitzen in diesem Fall grundsätzlich ein höheres Gewicht als die

kommunalen oder privaten Belange. Gegenstand raumordnerischer und damit überörtlicher Festlegungen kann somit nicht sein, was in den Regelungsbereich des BauGB fällt.

Die damit auch für klimabezogene Festlegungen zu fordernde Raumbedeutsamkeit regionalplanerischer Festlegungen definiert sich nach § 3 Abs. 6 ROG zunächst grundlegend dadurch, dass ein physischer Raum in Anspruch genommen bzw. die räumliche Entwicklung oder Funktion eines Gebiets durch die adressierten Klimafunktionen oder -wirkungen beeinflusst wird. Eine überörtliche Bedeutung liegt demnach vor, wenn mit der Festlegung entweder raumbeeinflussende Auswirkungen verbunden sind, die über das betroffene Gemeindegebiet hinausgehen, oder aber wenn Raumfunktionen wegen bestehender Lagegunst bzw. aufgrund spezieller Standortbedingungen gesichert oder entwickelt werden. Die Raumbedeutsamkeit lässt sich also räumlich oder funktional nachweisen.

Geht eine Festlegung beispielsweise räumlich über das Hoheitsgebiet einer Gemeinde hinaus, so ist die Festlegung bereits in diesem Sinne überörtlich und raumbedeutsam. Ein klassisches Beispiel hierfür sind Kaltluft-Leitbahnen, die einem Belastungsraum innerhalb einer Stadt oder Gemeinde zugeordnet sind und für den sie eine wichtige Ausgleichsfunktion wahrnehmen, deren Einzugsgebiet oder Transportstrecke jedoch (mehrheitlich) außerhalb der Gemeindegrenzen gelegen sind und somit den kommunal zu regelnden Planungsraum überschreiten.

Für die raumordnerische Sicherung oder Entwicklung verschiedener anderer bioklimatisch relevanter Funktionen ist aber der funktionale Rechtfertigungshintergrund von entscheidender Bedeutung. Auf diese Weise lassen sich letztlich auch raumordnerische Festlegungen begründen, welche nur Teilgebiete einer oder mehrerer Gemeinden betreffen und nicht über einzelne Gemeindegrenzen hinausgehen. Dies gilt immer dann, wenn bestimmte Auswirkungen oder Belastungen von einer Festlegung adressiert werden, deren Vermeidung oder Bewältigung eine überörtliche und überfachliche Betrachtung erfordern. Dies kann bezogen auf den bioklimatischen Aspekt insbesondere größere urbane Agglomerationen betreffen, welche einer besonderen bioklimatischen Belastungssituation ausgesetzt sind, die nicht bereits durch bestehende überörtliche Ausgleichsfunktionen gemildert wird. Bestehen gleichzeitig keine vernünftigen Zweifel daran bestehen, dass der Belastungssituation nicht durch Maßnahmen innerhalb des Gemeindegebiets hinreichend entgegengewirkt werden kann, lässt sich hieraus eine Raumbedeutsamkeit (der Belastung) ableiten.

In einem derartigen Fall begründet schon die (zwar lokale) Betroffenheit die Notwendigkeit eines überörtlichen Handelns, welches sich den Möglichkeiten der kommunalen Planung entzieht und somit das Eingreifen der Regionalplanung legitimiert. Zum Beispiel lässt sich auf diese Weise eine raumordnerische Sicherung von bioklimatisch besonders günstigen Flächen rechtfertigen, auch wenn diese nicht innerhalb derselben Gemeinde gelegen sind, die von der Festlegung betroffene Gemeinde gar keine relevante Belastung aufweist und auch die Festlegung selbst (räumlich) keinerlei Gemeindegrenzen überschreitet. Sollten diese Flächen jedoch für eine bedeutende Anzahl von Betroffenen eines benachbarten Belastungsraumes gut erreichbar sein und als Erholungsraum von den Hitzebelastungen genutzt werden, ließe sich hiermit die Raumbedeutsamkeit begründen. Diesbezüglich besteht eine enge Verwandtschaft zu den gängigen regionalplanerischen Festlegungen in den sachlichen

Teilabschnitten Erholung und Naturschutz (z. B. Schutz regional oder gar überregional bedeutender oder seltener Landschaften oder Arten).

Ähnliches mag selbst dann gelten, wenn die von der Raumordnung getroffenen Festlegungen zur Sanierung der Belastung (zum Teil) die kommunalen Grenzen des betroffenen Belastungsraumes gar nicht überschreiten. In diesem Fall muss nachvollziehbar dargelegt werden können, dass die bestehende Belastungssituation erst mit Blick auf die gesetzliche Forderung nach einer Gewährleistung flächendeckend vergleichbarer Lebensverhältnisse überhaupt als signifikant ungünstiger und prekär erkennbar wird.

Ein Beispiel für ein derartig zu begründendes raumordnerisches Eingreifen in die kommunale Planungsebene stellt beispielsweise die Ziel-Festlegung Z 4.1.4.1 des Entwurfs des „Regionalplans Leipzig Westsachsen 2017“ zu „Gebieten zur Erhöhung des Anteils an klimatischen Komfortinseln im Rahmen der Bauleitplanung“ dar. Die rechtliche Durchsetzbarkeit derartiger Festlegungen wird gleichwohl in der Fachwissenschaft derzeit noch unterschiedlich beurteilt. So konstatieren u. a. die Autoren des MORO-Modellvorhabens „KlimREG – Klimawandelgerechter Regionalplan“ in einem Diskussionspapier (KNIELING, KRETSCHMANN, REITZIG, ZIMMERMANN 2015) in Bezug zur o.g. Zielsetzung, dass diese hinsichtlich der Abgrenzung der raumordnerischen Kompetenzen gegenüber der kommunalen Bauleitplanung rechtlich noch zu überprüfen sei. In der als Ergebnis des Modellvorhabens im Juni 2017 veröffentlichten „Handlungshilfe Klimawandelgerechter Regionalplan“ (herausgegeben vom BMVI) werden die Autoren diesbezüglich noch deutlicher, wenn sie die Auffassung vertreten, dass die Festlegung von Gebieten zur Neuanlage von Grünflächen oder Wald auf Brach- oder Siedlungsflächen, sofern deren klimatische Wirkungen räumlich-funktional auf die unmittelbare Umgebung begrenzt sind, alleinige Aufgabe der kommunalen Planung seien.

Dies zeigt, dass trotz der scheinbar klaren Abgrenzung zwischen der überörtlichen und der örtlichen Planungsebene Grenz- und Konfliktfälle bestehen, welche an den Schnittstellen und Überschneidungsbereichen des mehrstufigen deutschen Planungssystems zu Tage treten. Diese Kompetenzkonflikte werden gegenwärtig in der theoretischen Fachwissenschaft wie auch in der Planungspraxis noch unterschiedlich interpretiert und behandelt. Unstrittig ist allein, dass raumordnerische Festlegungen, die in den genannten Grenz- und Überschneidungsbereich der verschiedenen Planungsebenen fallen, eine besonders umfassende und stichhaltige Überprüfung und Begründung des Kriteriums der Überörtlichkeit von Seiten der Regionalplanung voraussetzen. Darüber hinaus erscheint eine intensive Beteiligung und Abstimmung mit den betroffenen kommunalen Planungsträgern unabdingbar.

Überfachlichkeit

Die Forderung nach einer Überfachlichkeit raumordnerischer Festlegungen grenzt die Kompetenzen der Raumordnung rechtlich gegenüber den Kompetenzen der verschiedenen Fachplanungen ab. Diese überfachliche Dimension der Raumordnung setzt eine abwägende Abstimmung der unterschiedlichen fachlichen Ansprüche an den Raum voraus. Gleichzeitig setzt auch das Kriterium der Überfachlichkeit der Raumordnung weitere Kompetenzgrenzen. So sind Festlegungen zu unterlassen, welche den jeweiligen Fachplanungen keinen weiteren Konkretisierungs- und Ausgestaltungsspielraum mehr gewähren.

Dass klimabezogene Festlegungen im Allgemeinen einen überfachlichen Charakter aufweisen, ist weitestgehend unstrittig. So betreffen klimatische Fragestellungen zweifelsohne u. a. die Fachbereiche von Siedlungs- und Wirtschaftsentwicklung (Wohn- und Arbeitsqualität, Standort-Attraktivität etc.) wie auch den Erholungssektor sowie Natur- und Artenschutz (Sonderstandorte, Lebensraumsansprüche, Standortfaktor der Biodiversität).

Konflikte bzw. Problemfelder ergeben sich bezüglich der Überfachlichkeit vielmehr aus der Tatsache, dass der Regionalplanung im Hinblick auf die Berücksichtigung klimabezogener Belange die Aufgabe zukommt, die durch das Fehlen einer „Klima-Fachplanung“ entstehende Lücke im System der konkurrierenden Fachplanungen auszufüllen. Dies beinhaltet neben der Beantwortung der Frage, welche Ansprüche und Ziele aus den spezifischen klimatischen Anforderungen im Planungsraum abzuleiten sind ebenso das Problem der Abgrenzung dieser Ansprüche und Ziele gegenüber den verschiedenen Fachplanungen, welche ebenfalls in die Lücke der fehlenden „Klima-Fachplanung“ stoßen.

Diesem Konfliktpotenzial sollte bei der Planung klimabezogener raumordnerischer Festlegungen daher durch einen frühzeitigen und intensiven Beteiligungs- und Abstimmungsprozess mit den unterschiedlichen Fachplanungen entgegen gewirkt werden. Von herausgehobener Bedeutung ist in diesem Zusammenhang das Zusammenspiel der Regionalplanung mit der Landschaftsplanung.

Weitere Anforderungen (Bestimmtheit und Datengrundlagen)

Sowohl raumordnerische Ziel- als auch Grundsatz-Festlegungen dürfen im Regelfall nur Rahmenvorgaben beinhalten, welche den nachfolgenden örtlichen Planungsebenen und ggf. Fachplanungen einen weiteren Konkretisierungs- bzw. Ausgestaltungsspielraum belassen (vgl. u. a. BVerwG, Urt.v.18.09.2003, Az. 4 CN 20/02). Zu beachten ist, dass an dieser Stelle keineswegs ein Abwägungsspielraum für die nachfolgenden Ebenen gemeint ist, welcher für Ziele der Raumordnung (anders als für Grundsätze) ausdrücklich nicht besteht. Vielmehr geht es um die konkrete, materielle und räumliche Ausgestaltungs- und Umsetzungsform der raumordnerischen Festlegungen sowie die Berücksichtigung von im Betrachtungsmaßstab der Raumordnung noch nicht hinreichend erkennbaren Belangen.

Gleichwohl dürfen die raumordnerischen Festlegungen gebiets- und parzellenscharf sein – wengleich die Raumordnung im Allgemeinen als nicht parzellenscharf gilt –, da das nach Artikel 28 Abs. 2 GG zugesicherte gemeindliche Selbstverwaltungsrecht unter dem Vorbehalt des geltenden Gesetzesrahmens steht und das Raumordnungsgesetz im Allgemeinen und die §§ 1 und 4 ROG im Speziellen an dieser Stelle die Raumordnung zu derartigen Eingriffen in die kommunale Selbstverwaltung legitimieren.

Zwingend zu beachten ist hierbei allerdings in jedem Einzelfall der Grundsatz der Verhältnismäßigkeit. Dieser besagt, dass eine Maßnahme geeignet, erforderlich und angemessen sein muss. Der Eingriff in die gemeindliche Planungshoheit muss diesen Anforderungen genügen. Dies bezieht sich z. B. auf das Verhältnis von Nutzen, Dringlichkeit und räumlicher Bestimmtheit einer Festlegung zu dem quantitativ-flächenmäßigen (z. B. Anteil betroffener Gemeindefläche) und qualitativen (z. B. Detailgrad der Festlegung, Ausschlussgrad anderer

Nutzungen) Umfang der kommunalen Einschränkung. Was in diesem Sinne als angemessen oder aber unangemessen anzusehen ist, entzieht sich naturgemäß einer allgemeingültigen Definition und ist im Zuge einer Einzelfallentscheidung zu beurteilen.

Hinsichtlich der Anforderungen an die fachliche Bestimmtheit und damit auch an Qualität und Aussagekraft der für einzelne raumordnerische Festlegungen heranzuziehenden Datengrundlagen und Fachgutachten ist zwischen Ziel- und Grundsatzfestlegungen zu differenzieren. Insbesondere Zielfestlegungen sind auf Basis von konkreten, empirisch oder für den betroffenen Raum modellhaft-theoretisch ableitbaren Daten zu treffen. Die Daten müssen dem Konkretisierungs- und Bestimmtheitsgrad der Festlegungen angemessen und entsprechend raumspezifisch sein. Mehr oder weniger politisch, allgemein begründete Festlegungen ohne unmittelbaren Raumbezug erfüllen diese Anforderungen nicht (BAUMGART & TERFRÜCHTE 2013).

Die Bewertung der regionalplanerisch zur Verwendung kommenden Daten muss sich ferner an fachlichen Standards und dem allgemeinen Stand der Wissenschaft orientieren, um willkürliche, fachlich unbegründete Festlegungen auszuschließen. In der Planungspraxis werden derartige Grundlagendaten der Regionalplanung von den jeweiligen Fachplanungen oder der kommunalen Planung zur Verfügung gestellt. Beispiele stellen der Fachbeitrag Landwirtschaft oder auch der Fachbeitrag des Naturschutzes und des Landschaftspflege dar.

Ein Fachbeitrag Klima, wie er in NRW für den Regionalplan Köln nun vorliegt, wurde durch das LANUV 2018 erstmals für die Fortschreibung des Regionalplans Detmold erstellt. Somit liegt hiermit nun zum ein den Anforderungen an Festlegungen der Raumordnung genügender, einheitlicher Grundlagendatensatz zum stärkeren Einbezug klimatischer Belange in die raumordnerische Planung vor. Sowohl Auflösung als auch fachliche Eignung und Qualität der hier ermittelten Daten entsprechen den fachwissenschaftlich geltenden Standards, sodass den genannten raumordnerischen Anforderungen durch die im Folgenden dargestellten Daten entsprochen wird.

4.1.2. Methodik der Klimaanalyse NRW

In diesem Abschnitt werden die wesentlichen Aspekte der Methodik beschrieben, die im Rahmen der Klimaanalyse NRW angewandt wurde. Die detaillierte und umfassende Beschreibung des methodischen Vorgehens der Untersuchung kann dem LANUV-Fachbericht „Klimaanalyse NRW“ (LANUV 2018) entnommen werden, der auf der Webseite des LANUV heruntergeladen werden kann.

4.1.2.1 Grundlagen

Als Grundlage für die Analyse und Bewertung der siedlungsklimatischen Zusammenhänge in der Planungsregion Köln dienen die modellierten meteorologischen Parameter der Klimaanalyse NRW. Für die gesamte Landesfläche Nordrhein-Westfalens wurde im Rahmen dieser Untersuchung eine Modellierung der klimatischen Situation durchgeführt, um die komplexen

klimatischen Prozesse und Zusammenhänge zu untersuchen. Das verwendete mesoskalige Modell FITNAH simuliert dabei die Entwicklung verschiedener klimatischer Parameter wie beispielsweise Wind oder Temperatur über einen Tagesgang und in einem Raster von 100 m x 100 m. Für jede meteorologische Variable wird in der Modellierung eine physikalisch fundierte mathematische Berechnungsvorschrift aufgestellt. Das Modell basiert, wie Wettervorhersage- und Klimamodelle auch, auf einem Satz sehr ähnlicher Bilanz- und Erhaltungsgleichungen. Das Grundgerüst besteht aus den Gleichungen für die Impulserhaltung (Navier-Stokes Bewegungsgleichung), der Massenerhaltung (Kontinuitätsgleichung) und der Energieerhaltung (1. Hauptsatz der Thermodynamik). Die Grundlagen dieses Modells sowie eine detaillierte Beschreibung von FITNAH ist der entsprechenden Fachliteratur zu entnehmen (z. B. GROß 1993).

Im Rahmen der Modellierung wird für alle Flächen im Land dieselbe Ausgangssituation als Startbedingung angenommen. Diese stellt eine für NRW typische sommerliche Strahlungswetterlage dar, die für die Hitzebelastung relevant ist: Eine Lufttemperatur von 20 °C um 21 Uhr, ein wolkenloser Himmel und keine überregionalen Windströmungen. Aus den Ergebnissen der Modellierung werden die klimaökologischen Funktionen aller Flächen im Land abgeleitet und sowohl für die Nachtsituation (4 Uhr) als auch für den Tag (15 Uhr) ausgewertet.

Methodischer Ausgangspunkt für die Analyse der klimaökologischen Funktionen ist dabei die Gliederung der Landesfläche in drei Raumkategorien:

- Siedlungsraum, beurteilt hinsichtlich der thermischen Belastung (Wirkräume)
- Freiraum (unbebaute und vegetationsgeprägte Flächen), beurteilt hinsichtlich ihrer thermischen Ausgleichsfunktion (Ausgleichsräume)
- Luftaustauschprozesse, welche allein thermisch („Flurwindssystem“) oder thermisch-orographisch angetrieben (Kaltluftabfluss, „Berg-Talwindssystem“) sein können und teils erhebliche Entfernungen überbrückend Wirk- und Ausgleichsräumen miteinander verbinden (Kaltluftleitbahnen¹).

Aus dieser Untergliederung in Wirk- und Ausgleichsräume sowie verbindende Strukturen ergibt sich ein komplexes Bild vom klimaökologischen Prozesssystem der Luftaustauschströmungen, welches kartographisch in Form der Klimaanalysekarten abgebildet ist. Anschließend werden in einem weiteren Schritt die Empfindlichkeiten dieser Funktionen bzw. Räume gegenüber strukturellen Veränderungen bewertet. Die damit verbundene Umsetzung in raumspezifische klimaökologische Qualitätsziele mündet in Handlungsempfehlungen. Durch konkrete Zuordnung planungsrelevanter Aussagen zu den wichtigen, das klimaökologische Prozessgeschehen steuernden Strukturelementen wie z. B. Kaltluftentstehungsflächen können Flächen benannt werden, die in ihrem Bestand gesichert und vor negativen Einflüssen geschützt werden sollen. Andererseits werden Belastungsräume mit einem Mangel an Durchlüftung identifiziert, welche dementsprechend sanierungsbedürftig sind.

¹ Aufgrund des landesweiten Betrachtungsmaßstabs der Klimaanalyse NRW sowie der Fokussierung des Fachbeitrages Klima auf die Regionalplanung wurden lediglich überörtlich bedeutsame Leitbahnen ermittelt und separat dargestellt. Das zugrundeliegende Strömungsfeld wurde indes landesweit berechnet und steht als Geodatensatz zur Verfügung, welcher z. B. auch von Kommunen genutzt werden kann.

Dieses Vorgehen unterscheidet sich damit von der alleinigen Betrachtung auf der Basis von Klimatopen (Bereiche mit vergleichbaren mikroklimatischen Verhältnissen). Bei der im Rahmen der Klimaanalyse NRW angewandten Methodik sind deutlich mehr Informationen und Daten zur lokalen klimaökologischen Situation eingeflossen. Es handelt sich also um eine detailliertere Betrachtung der örtlichen Situation. Die im Rahmen der vorliegenden Untersuchung eingesetzte Methode bietet beispielsweise den Vorteil, dass das Luftaustauschgeschehen und die Verhältnisse der bodennahen Atmosphäre gegenüber der Bestimmung von Klimatopen noch deutlich umfassender abgebildet werden. Über die Inhalte der VDI Richtlinie 3787 Blatt 1 „Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen“ (VDI 2015) hinausgehend wird dabei zusätzlich zur Nachtsituation auch die Situation am Tage modelliert und eine zusammenfassende Gesamtbetrachtung beider Zeiträume vorgenommen.

Somit liegt eine räumlich hochauflösende Information und Bewertung der klimaökologischen Gegebenheiten sowohl für die Nacht- und die Tag-Situation vor. Diese bilden die zentrale klimafachliche Datengrundlage zu Beurteilung klimaökologischer Funktionen in Planungsprozessen auf regionaler Ebene und können auch für die kommunale Ebene Hinweise liefern.

Basierend auf den Ergebnissen der modellgestützten Klimaanalyse erfolgen mit dem Ziel der planerischen Inwertsetzung und Aufbereitung der Ergebnisse die Ableitung planungsrelevanter Aussagen sowie eine Auseinandersetzung mit den Möglichkeiten einer Integration der Analyseergebnisse in raumplanerische Instrumente. Als zentrales Produkt dieser regionalplanungsbezogenen Auswertung, welche durch die Träger der Regionalplanung in Ermangelung einer zugeordneten Fachplanungsbehörde in aller Regel nicht selbst geleistet werden kann, wird basierend auf den Ergebnissen der Klimaanalyse NRW eine zusätzliche Karte dargestellt, deren Inhalte bereits an die Anforderungen und Bedürfnisse der Regionalplanung angepasst sind und die sich unterstützend an den Planungsträger richtet (**Abbildung 46**, Karte *Planungsempfehlungen Regionalplanung*).

Darüber hinaus können die Klimaanalysekarten (Tag, Nacht, Gesamtbetrachtung) auch für die kommunale Planungsebene und als Basis für ggf. weiterführende, detailliertere Untersuchungen dienen. Die Ergebnisse der Untersuchung werden der Bezirksregierung Köln vollständig übergeben. Dies schließt digitale Geodaten ein.

4.1.2.2 Klimaanalyse Nachtsituation

Für die Analyse der Nachtsituation werden meteorologische Parameter wie Temperaturfeld, Kaltluftvolumenstrom und autochthones Strömungsfeld modelliert und in ihrer flächenhaften Ausprägung dargestellt. Der Zeitpunkt 4 Uhr morgens wird hierfür herangezogen, da er dem Auftreten des Temperaturminimums im Tagesgang entspricht und die Kaltluftströmung in etwa ihr Maximum erreicht.

Grün- und Freifläche (Ausgleichsflächen)

Da Grün- und Freiflächen klimaökologische Ausgleichsräume darstellen und über Flurwinde die Wärmebelastung in den Siedlungsflächen verringern können, ist in der Nachtsituation für die Grünflächen ihr Kaltluftproduktionspotenzial entscheidend. Die Grünflächen werden nach ihrer Kaltluftlieferung anhand des mittleren Kaltluftvolumenstroms in Kubikmeter pro Sekunde (m^3/s) gegliedert; er drückt den Zustrom von Kaltluft aus der benachbarten Rasterzelle aus. Zur Bewertung wurde in Ermangelung von absoluten Schwellen- oder Grenzwerten bzw. aufgrund des fehlenden direkten Wirkzusammenhangs zur Physiologie des menschlichen Organismus eine z-Transformation (VDI 2008) durchgeführt. Somit ergibt sich eine Bewertung, die auf den Gebietsmittelwert von NRW zurückgeht und positive Abweichungen entsprechend gut (überdurchschnittliche Kaltluftproduktion) und negative entsprechend als schlechter (unterdurchschnittlich) bewertet. Die entsprechenden Klassengrenzen sind in nachfolgender **Tabelle 41** dargestellt:

Tabelle 41: Bewertung des Kaltluftvolumenstroms

z-Wert	Kaltluftvolumenstrom	Qualitative Bewertung
>1	>2700 m^3/s	sehr hoch
>0 bis 1	>1500 bis 2700 m^3/s	hoch
>-1 bis 0	>300 bis 1500 m^3/s	mittel
≤ -1	$\leq 300 \text{ m}^3/\text{s}$	gering

Das Kaltluftströmungsfeld, das sich während einer sommerlichen, austauscharmen Strahlungswetternacht ausbildet, wird in der Klimaanalysekarte durch Pfeile dargestellt. Die momentane Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit wird über die Pfeilrichtung und Pfeilgröße in Form von Vektoren abgebildet, wobei die Pfeile für eine übersichtlichere Darstellung nicht im 100 m-Raster, sondern als Mittelpunkt für jede Grünfläche vorliegen, sofern die Fläche mindestens einen „mittleren Kaltluftvolumenstrom“ aufweist und größer als 2 ha ist.

Siedlungsraum (Wirkraum)

Ein erholsamer Schlaf ist nur bei günstigen thermischen Bedingungen möglich, womit der Belastungssituation in den Nachtstunden eine besondere Bedeutung zukommt. Da die klimatischen Verhältnisse der Wohnungen in der Nacht im Wesentlichen nur durch den Luftaustausch mit dem Außenbereich modifiziert werden können, ist die Temperatur der Außenluft der entscheidende Faktor bei der Bewertung der thermophysiologicalen Belastung der Bewohner. Entsprechend spiegelt die Beurteilung des Bioklimas weniger die thermische Beanspruchung des Menschen im Freien wider, als vielmehr die positive Beeinflussbarkeit des nächtlichen Innenraumklimas. Für die Siedlungsräume ist die mögliche Überwärmung und somit die Bildung einer urbanen Wärmeinsel (UHI, engl.: urban heat island) der entscheidende Faktor, weshalb die Untergliederung der Siedlungsflächen anhand der nächtlichen Lufttemperatur vorgenommen wird (**Tabelle 42**).

Die Bewertung der nächtlichen Schlaftemperatur erfolgt zum einen unter der Annahme, dass eine für den Menschen optimale Schlafumgebungstemperatur zwischen 16 und 18 °C liegt

(UMWELTBUNDESAMT 2015) und folgt zum anderen der Definition einer Tropennacht, in der die Lufttemperatur (außen) nicht unter 20 °C absinkt und als besonders belastend für den menschlichen Organismus gilt (u. a. UMWELTBUNDESAMT 2015).

Tabelle 42: Bewertung der nächtlichen Überwärmung im Siedlungsraum

Lufttemperatur	Qualitative Bewertung
>17,0 °C	keine UHI vorhanden
>17,0 bis 18,5 °C	schwache UHI
>18,5 bis 20,0 °C	mäßige UHI
>20,0 °C	starke UHI (Tropennacht)

4.1.2.3 Klimaanalyse Tagsituation

Die Klimaanalysekarte für die Tagsituation trifft Aussagen über die thermische Belastung der Menschen zum Zeitpunkt 15 Uhr. Dies entspricht in etwa dem Zeitpunkt des Auftretens des Temperaturmaximums im Tagesgang. Zur Bewertung eignet sich sowohl für den Siedlungsraum als auch für die Grünflächen der human-bioklimatische Index PET am besten, der verschiedene Einflussgrößen auf das thermische Empfinden zusammenfassend bewertet. Die physiologisch äquivalente Temperatur (englisch: Physiological Equivalent Temperature, PET) ist ein Maß zur Beschreibung des thermischen Empfindens bei wechselnden Umgebungsbedingungen. Eine thermische Belastung kann sowohl durch Kälte als auch durch Hitze verursacht werden. Neben der Temperatur berücksichtigt der PET-Wert auch weitere Einflüsse wie die Luftfeuchtigkeit oder die Sonnenstrahlung.

Für die PET existiert in der VDI-Richtlinie 3787, Blatt 9 eine absolute Bewertungsskala, die das thermische Empfinden und die physiologischen Belastungsstufen quantifizieren (z. B. Starke Wärmebelastung ab PET 35 °C; VDI 2004). Ein PET-Wert zwischen 18 °C und 23 °C beschreibt ein Temperaturempfinden, das als behaglich bezeichnet wird. Die Bewertung der thermischen Belastung im Untersuchungsgebiet für die Tagsituation orientiert sich daher an dieser Skala (**Tabelle 43**).

Tabelle 43: Bewertung der thermischen Belastung anhand der PET

PET	Qualitative Bewertung („Wärmebelastung“)
≤29 °C	schwach
>29 bis 35 °C	mäßig
>35 bis 41 °C	stark
>41 °C	extrem

4.1.2.4 Gesamtbetrachtung

Das Ziel der Klimaanalyse ist es, eine klimatische Gesamtbetrachtung für das Untersuchungsgebiet zu treffen, auf deren Basis planungsrelevante Aussagen abgeleitet werden können. Dies wird für die Nacht- und Tagsituation mit der in den vorangegangenen Abschnitten dargestellten Methodik zur Erstellung der Klimaanalysekarten geleistet. Um aus diesen

Einzelbetrachtungen eine thermische Gesamtbewertung abzuleiten, greift die Klimaanalysekarte *Gesamtbetrachtung* das nächtliche Kaltluftprozessgeschehen auf und geht zusätzlich auf die Wärmebelastung am Tage ein. Da insbesondere für Risikogruppen auch die Hitzebelastung am Tag eine wichtige Rolle spielt, wird diese zusammen mit der mangelnden nächtlichen Erholung in der Gesamtbetrachtung berücksichtigt.

Die Gesamtbetrachtung zielt darauf ab, eine integrierte Bewertung der in den Klimaanalysekarten zur Tag- und zur Nachtsituation dargestellten Sachverhalte im Hinblick auf planungsrelevante Belange vorzunehmen. So lassen sich Schutz- und Entwicklungsmaßnahmen zur Verbesserung des Klimas ableiten sowie Räume identifizieren, für welche vor dem Hintergrund zukünftig steigender Temperaturen Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel zu priorisieren sind. Zusätzlich zur qualitativen Gesamtbewertung werden auf Basis dieser Einteilung auch informelle Planungshinweise erstellt. Diese geben Auskunft über die Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderungen, aus denen sich klimatisch begründete Anforderungen und Maßnahmen im Rahmen der räumlichen Planung ableiten lassen, beispielsweise zum Flächenerhalt oder zur Weiterentwicklung von Flächen.

Die Bewertung des Siedlungs- und Freiraums erfolgt in Anlehnung an die VDI-Richtlinien 3785, Blatt 1 bzw. 3787, Blatt 1 (VDI 2008; VDI 2015). Zusätzlich zu der vorgeschlagenen 4-stufigen Klassifizierung der Belastung in Siedlungsflächen bzw. zur Funktionalität von Grünflächen wird jeweils eine weitere Klasse eingeführt, um Differenzierungen im Stadtgebiet besser abbilden zu können und besonders belastete bzw. bedeutende Gebiete zu erfassen (*Höchste bioklimatische Belastung* bzw. *Ausgleichsfunktion*).

Siedlungsraum (Wirkungsraum)

Der Siedlungsraum stellt in der anthropozentrischen Perspektive der Klimaanalyse den primären Wirkungsraum des stadtklimatischen Prozessgeschehens dar. Zur Beurteilung der Gesamtsituation in den Siedlungsräumen werden die Einzelergebnisse der Tag- und Nachtsituation aggregiert. Dies erfolgt über eine matrixenbasierte Verknüpfung der Bewertungsklassen zu einem Gesamtergebnis. Die Klassifizierung der Gesamtsituation lässt sich dabei nach **Tabelle 44** beschreiben:

Tabelle 44: Klassenbasierte Gesamtbewertung der thermischen Situation in Siedlungsräumen

Klasse	Belastungsstufe
1	sehr günstige thermische Situation
2	günstige thermische Situation
3	weniger günstige thermische Situation
4	ungünstige thermische Situation
5	sehr ungünstige thermische Situation

Dabei werden für Wohn- und Gewerbeflächen separate Matrizen zur Verknüpfung genutzt. Bei Wohnflächen ist ein erholsamer Schlaf für die menschliche Gesundheit als besonders relevant anzusehen. Im Vergleich zur thermischen Belastung am Tage ist die Anpassungskapazität der Bevölkerung an Hitzestress in der Nacht grundsätzlich niedriger einzustufen. Daher geht die nächtliche Überwärmung stärker gewichtet in die Berechnung ein

(**Tabelle 45** links). Demgegenüber wird in der Berechnung der Gesamtsituation für Gewerbeflächen die Tagsituation stärker gewichtet (**Tabelle 45** rechts). Gewerbeflächen werden vorwiegend tagsüber genutzt, sodass hier die thermische Belastung am Tage die entscheidende Rolle spielt (Arbeit im Freien, Arbeitswege, Innenraumklima, etc.).

Tabelle 45: Matrix zur Verknüpfung der Bewertung von Tag- und Nachtsituation bei Wohnflächen (links) sowie bei Gewerbeflächen (rechts).

Wohnflächen		nächtliche Überwärmung				Gewerbeflächen		nächtliche Überwärmung			
		1	2	3	4			1	2	3	4
thermische Belastung tagsüber	1	1	2	3	3	thermische Belastung tagsüber	1	1	1	2	
	2	1	2	3	4		2	2	2	3	
	3	2	3	4	5		3	3	3	4	
	4	3	3	4	5		4	4	4	5	

Grün- und Freiflächen (Ausgleichsräume)

Im Gegensatz zu den Einzelbetrachtungen der Klimaanalysekarten für die Tag- und die Nachtsituation stehen in der Gesamtbetrachtung die stadtklimatische Bedeutung von Grünflächen sowie die Ableitung deren Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderungen im Mittelpunkt. Zur Bewertung der klimaökologischen Charakteristika im Hinblick auf planungsrelevante Belange bedarf es einer Analyse der vorhandenen Wirkungsraum-Ausgleichraum-Systeme im Untersuchungsgebiet. Kaltluft, die während einer Strahlungsnacht innerhalb der Grünflächen entsteht, kann nur dann von planerischer Relevanz sein, wenn den Flächen ein entsprechender Siedlungsraum zugeordnet ist, der von ihren Ausgleichsleistungen profitieren kann. Für die Bewertung der bioklimatischen Bedeutung von Grünflächen wird ein teilautomatisiertes Verfahren angewendet, welches im Fachbericht der Klimaanalyse NRW im Detail beschrieben wird (LANUV 2018).

Die Grünflächen werden für die Tag- und Nacht-Situation getrennt bewertet und in vier Stufen von *geringe* bis *sehr hohe bioklimatische Bedeutung* eingeteilt. Analog zu den Siedlungsräumen wird für die Gesamtbetrachtung eine fünfte Stufe zur besseren Differenzierung der Grünflächen eingeführt. Die Bewertung der Gesamtsituation erfolgt nach demselben Schlüssel wie bei den Siedlungsräumen, d. h. die Bedeutung in der Nacht wird stärker gewichtet als am Tag (**Tabelle 47**). Die Klassifizierung der Gesamtsituation lässt sich dabei nach **Tabelle 46** beschreiben:

Tabelle 46: Klassenbasierte Gesamtbewertung der thermischen Ausgleichfunktion von Grün- und Freiflächen

Klasse	Bedeutung
1	geringe thermische Ausgleichfunktion
2	mittlere thermische Ausgleichfunktion
3	hohe thermische Ausgleichfunktion
4	sehr hohe thermische Ausgleichfunktion
5	höchste thermische Ausgleichfunktion

Die Bewertung der Grünflächen ist – wie die gesamte Studie – anthropozentrisch ausgerichtet, d. h. Flächen, die für den derzeitigen Siedlungsraum keine Funktion erfüllen bzw. keinen Ausgleichsraum darstellen, werden entsprechend gering bewertet. Im Falle zusätzlicher Bebauung im Bereich dieser Flächen kann sich deren Funktion jedoch ändern und muss dann ggf. neu bewertet werden.

Tabelle 47: Matrix zur Verknüpfung der Bewertung von Tag- und Nachtsituation bei Grünflächen

Grünflächen		nächtliche Überwärmung			
		1	2	3	4
thermische Belastung tagsüber	1	1	2	3	3
	2	1	2	3	4
	3	2	3	4	5
	4	3	3	4	5

Für die Bewertung von Grünflächen in der Nacht steht der Kaltluftaustausch im Fokus der Betrachtungen. So hängt die Bedeutung der Grünflächen vor allem von ihrer Entfernung zu belasteten Siedlungsräumen (ohne Gewerbe) ab. Grünflächen im Umfeld belasteter Wohnflächen kommt grundsätzlich eine hohe Bedeutung zu. Zusätzlich zu ihrem Kaltluftliefervermögen wirken sie ausgleichend auf das thermische Sonderklima in ihrem meist dicht bebauten Umfeld. Je stärker die Wohnfläche belastet ist, desto wichtiger sind Grünflächen als Ausgleichsflächen, sodass die Entfernung zu diesen Wohnflächen entsprechend differenziert wird.

4.1.2.5 Klimawandel-Vorsorgebereiche

Die bisherigen methodischen Beschreibungen zur Klimaanalyse NRW mit den Klimaanalysekarten *Nachtsituation*, *Tagsituation* und *Gesamtbetrachtung* beziehen sich auf die Bewertung der thermischen Verhältnisse in der Ist-Situation. Darüber hinaus werden in den Karten auch Klimawandel-Vorsorgebereiche dargestellt, die veranschaulichen sollen, welche Auswirkungen durch den fortschreitenden Klimawandel hinsichtlich der bioklimatischen Belastung der Bevölkerung in NRW zu erwarten sind. Somit kann die Bedeutung von Planungs-

aussagen für diese Flächen gesteigert bzw. die Information in die Priorisierung zur Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen mit einbezogen werden (VDI 2015).

Die Ausweisung der Klimawandel-Vorsorgebereiche erfolgt analog zur Klimaanalyse zum einen getrennt für die Tag- und Nachtsituation, zum anderen als Gesamtbewertung. Der Fokus für die Ausweisung der Klimawandel-Vorsorgebereiche liegt dabei auf den thermisch belasteten Siedlungsgebieten, für die im Sommer eine Verschlechterung der bioklimatischen Situation durch den Klimawandel erwartet wird. Da die Grünflächen auch im fortschreitenden Klimawandel ihre Funktion als Ausgleichsflächen weitestgehend beibehalten, wurden für Grün- und Freiflächen keine Vorsorgebereiche definiert.

Grundlage für die Darstellung ist die aus den regionalisierten Klimaprojektionen für NRW abgeleitete Erwartung, dass die durchschnittliche Jahres- sowie Sommertemperatur in NRW bis zum Jahr 2050 um etwa 1 K ansteigen wird (für die Planungsregion Köln liegen die Werte zwischen +0,7 K und +1,7 K, siehe Kapitel 2.2.3). Konkret werden mit den Vorsorgebereichen jene Siedlungsbereiche dargestellt, die nach einer pauschalen Beaufschlagung auf die in der Klimaanalyse ermittelte Nacht- bzw. Tagsituation bezüglich der Belastung neu in die jeweils höchste Belastungsklasse einzuordnen wären. Der pauschale Aufschlag wird für die Nachtsituation auf 1 °C Lufttemperatur festgelegt. Der Aufschlag für die bei der Beschreibung der Belastung am Tage verwendeten PET-Werte wird auf 1,5 °C festgelegt, was in etwa einer Zunahme der Lufttemperatur von 1 °C entspricht.

In der zusammenfassenden Gesamtbetrachtung, die anders als die Klimaanalysekarten fünf anstatt vier Belastungsklassen umfasst, werden nicht nur die Flächen als Vorsorgebereiche dargestellt, die durch einen Temperaturaufschlag neu in die höchste Belastungsklasse (Klasse 5) aufsteigen, sondern auch die Flächen, die neu in der zweithöchsten Belastungsklasse (Klasse 4) einzuordnen sind. Für die Ableitung der Klimawandel Vorsorgebereiche in der Gesamtbetrachtung wird entsprechend der Bewertungsmethodik für die thermische Belastung das matrixbasierte Bewertungsschema (Tabelle 45: Matrix zur Verknüpfung der Bewertung von Tag- und Nachtsituation bei Wohnflächen (links) sowie bei Gewerbeflächen (rechts).) angewendet. Als Basis dienen jedoch die „beaufschlagten“ Klassen der Klimaanalyse von Tag- und Nachtsituation.

4.1.2.6 Berechnung der Anzahl der betroffenen Bevölkerung

Im Rahmen der Klimaanalyse wurde auch untersucht, wie viele Menschen in NRW von den jeweils ermittelten klimatischen Belastungen in den Siedlungsräumen betroffen sind. Auf Grund fehlender detaillierterer Daten zur Bevölkerung und ihrer räumlichen Verteilung auf Landesebene wurde die Anzahl der Betroffenen mit Hilfe gemeindespezifischer Bevölkerungsdichten näherungsweise abgeschätzt.

Die Bevölkerungsdichte wurde ermittelt, in dem die Anzahl der Einwohner einer Gemeinde (Datenquelle: IT NRW, Stand 31.12.2015) ins Verhältnis zur jeweiligen Siedlungsfläche gesetzt wurde. Zur Siedlungsfläche zählen dabei sowohl Wohn- als auch Gewerbe und Industrieflächen. Anschließend wurden zur Auswertung der jeweiligen Betroffenzahlen in den

einzelnen Belastungsklassen für jede Gemeinde die Flächengröße der jeweiligen Klasse mit der gemeindespezifischen Bevölkerungsdichte je Hektar Siedlungsfläche multipliziert.

Dieser Ansatz liefert Orientierungswerte, da er von einer auf der gesamten Siedlungsfläche einer Gemeinde einheitlichen Bevölkerungsdichte bzw. einer gleichmäßigen Einwohnerverteilung ausgeht, ist er jedoch mit Ungenauigkeiten verbunden. Diese erscheinen jedoch vor dem Hintergrund der landesweiten Betrachtung der Klimaanalyse bzw. des regionalen Fokus des Fachbeitrages Klima unvermeidbar und müssen im Einzelfall vor Ort auf Ebene von Stadtbezirken, Quartieren oder Straßenzügen konkretisiert werden.

4.1.2.7 Abgrenzung von Bereichen mit überörtlicher Bedeutung

Zur Ableitung von Handlungsempfehlungen für die Regionalplanung wird über die bisherigen Ausführungen hinaus untersucht, welche Bereiche klimaökologische Funktionen oder Funktionsstörungen aufweisen, die eine überörtliche und damit regionale Bedeutung haben (zum Kriterium der überörtlichen Bedeutung siehe Kapitel 4.1.1 *Anforderungen an raumordnerische Festlegungen*). Dieser Punkt ist relevant für die Frage, ob eine regionalplanerische Steuerung in Bezug auf die entsprechenden Bereiche und ihre klimaökologischen Funktionen geboten ist, oder ob die Zuständigkeit eher bei der kommunalen Planung zu sehen ist.

Die Abgrenzung und räumliche Konkretisierung von Bereichen mit überörtlicher klimaökologischer Bedeutung erfolgt dabei aus der Perspektive der landesweiten Betrachtung der Klimaanalyse NRW. Grundlage hierfür sind die landesweit verfügbaren Ergebnisse und Daten der Studie sowie die Verwendung einheitlicher Kriterien und Parameter. Die so identifizierten Bereiche mit regional bedeutsamen klimaökologischen Funktionen bzw. Funktionsstörungen in der Planungsregion Köln sind daher durch die landesweite Perspektive der Untersuchung und dem damit verbundenen Maßstab und Detaillierungsgrad mit einem gewissen Abstraktionsgrad verbunden. Sie sind als Hinweise und klimafachliche Hilfestellung für die regionale Planung zu verstehen. Im Einzelfall ist die Frage, ob eine überörtliche klimaökologische Bedeutung vorliegt, vor Ort genauer zu untersuchen.

Eine ausführliche Beschreibung der Ableitung und Begründung der überörtlichen Bedeutung von Funktionen, Belastungen und Prozessräumen kann Anhang A2 entnommen werden. Im Folgenden werden die wesentlichen Aspekte beschrieben. Unterschieden wird bei der Abgrenzung der Überörtlichkeit zwischen

- überörtlich bedeutsamen Bereichen mit nächtlicher Überwärmung,
- Ortslagen mit überörtlich bedeutender Überhitzung am Tag,
- Kaltluft-Leitbahnen mit überörtlicher Bedeutung samt der ihnen zuzuordnenden Kaltluft-Einzugsgebiete und
- bioklimatischen Gunsträumen mit überörtlicher Bedeutung am Tag.

Als Voraussetzung für Bereiche, welche im regionalen Maßstab als bedeutsam anzusehen sind, die also ein regionalplanerisches Eingreifen rechtfertigen und erfordern, wird dabei in der Regel die Kombination einer erheblichen klimaökologischen Bedeutung (Belastung oder Ausgleichsfunktion) sowie einer im landesweiten Maßstab großen Betroffenenzahl angese-

hen. Die entsprechenden Betroffenenzahlen werden näherungsweise ermittelt durch die Verschneidung der jeweiligen Flächen mit der gemeindespezifischen Bevölkerungsdichte (4.1.2.6).

Die Betroffenenzahl erlaubt Rückschlüsse auf eine mögliche Überörtlichkeit von klimaökologischen Funktionen, da anzunehmen ist, dass je größer die Betroffenenzahl ist, es gleichermaßen schwieriger und unwahrscheinlicher wird, dass den entsprechenden Belastungen hinreichend entgegenwirkende Maßnahmen von der betroffenen Kommune allein ergriffen und durchgeführt werden können. Darüber hinaus werden die als regional bedeutsam eingestuft Bereiche zum Teil auch nochmals hinsichtlich ihrer klimaökologischen Bedeutung bzw. Priorität bewertet.

Überörtlich bedeutsamen Bereichen mit nächtlicher Überwärmung

Als Gemeinden mit einer nächtlichen Überwärmung von überörtlicher Bedeutung werden die Kommunen eingestuft, die im NRW-weiten Vergleich die größten Betroffenenzahlen in der höchsten Belastungskategorie („starke Überwärmung“) aufweisen. Maßgebend für die Belastungssituation sind demnach Bereiche mit einer frühmorgendlichen (4 Uhr) Temperatur von mehr als 20 °C in der zugrundeliegenden Modellrechnung der Klimaanalyse NRW.

Zur Einordnung der Betroffenenzahlen wird das NRW-weite 85 %-Quantil herangezogen. Das bedeutet, dass eine überörtliche Bedeutung der Belastung in der Nacht für die Gemeinden angenommen wird, die zu den 15 % der Städte in NRW mit der größten Zahl von Betroffenen in der höchsten Belastungskategorie zählen. Bei 185 Gemeinden in NRW, die in der Nacht Bereiche mit einer starken Überwärmung aufweisen, ergibt sich demnach eine überörtliche Bedeutung dieser Belastung für die 28 Kommunen mit den meisten Betroffenen. Im Ergebnis sind dies alle Städte mit mehr als 8.000 Betroffenen in der höchsten Belastungsklasse.

Die Gemeinden mit einer nächtlichen Belastungssituation von regionaler Bedeutung werden anschließend hinsichtlich ihrer Priorität bzw. des Handlungsbedarfes bewertet. Ein sehr hoher Handlungsbedarf ergibt sich demnach z. B. für die Gemeinden, die zum 95 %-Quantil zählen (5 % der Städte mit den meisten Betroffenen).

Ortslagen mit überörtlich bedeutender Überhitzung am Tag

Zu den Gemeinden mit überörtlich bedeutender Überhitzung am Tag werden alle diejenigen Kommunen gezählt, in denen mindestens 70.000 Einwohner nach der zugrundeliegenden Methodik einer starken bis extremen Hitzebelastung um 15:00 ausgesetzt sind (PET) >35 °C). Dies entspricht dem NRW-weiten 90 %-Quantil, also den 10 % aller Gemeinden mit den meisten Betroffenen. Alle 396 Gemeinden NRWs weisen am Tag Bereiche mit einer starken oder extremen Hitzebelastung auf (höchste und zweithöchste Belastungsklasse). Das 90 %-Quantil in Bezug auf die Anzahl der Betroffenen umfasst somit landesweit insgesamt 40 Kommunen.

Kaltluft-Leitbahnen mit überörtlicher Bedeutung samt der ihnen zuzuordnenden Einzugsgebiete

Als ein geeigneter Indikator für die überörtliche Funktionalität und Bedeutung von Kaltluft-Leitbahnen wird ebenfalls die Größe der betroffenen (bzw. in diesem Fall profitierenden) Bevölkerungsgruppe herangezogen. Einerseits belegt eine im landesweiten Vergleich möglichst große Betroffenzahl die besondere Bedeutung der Ausgleichsfunktion, andererseits lässt sich aus einer großen Betroffenzahl auch auf die Größe des Liefergebiets (räumliche Ausdehnung des Einwirkbereichs) und damit indirekt auch auf die Ausdehnung und Intensität der Leitbahn rückschließen. Als Kaltluft-Leitbahn mit überörtlicher Bedeutung werden alle Leitbahnen definiert, die in der Modellierung der Klimaanalyse NRW mindestens 1.000 Betroffene mit Kaltluft versorgen.

Die anschließende Priorisierung erfolgt auf Basis des berechneten linienbezogenen Abflussvolumens der jeweiligen Leitbahn. Mit einer sehr hohen Priorität werden Leitbahnen mit einem Kaltluftzufluss von mehr als 1,3 Mio m³ pro Sekunde in einem Kernbereich von 1.000 Metern bewertet. Leitbahnen mit mehr als 400.000 m³/s werden als *hohe Priorität* und mit mehr als 40.000 m³/s als *mittlere Priorität* eingestuft. Insbesondere Kaltluftleitbahnen mit sehr hoher oder hoher Priorität sind nach Einschätzung des LANUV dabei für Zielfestlegungen geeignet, Leitbahnen mit mittlerer Priorität eher für Grundsatzfestlegungen.

Die Einzugsgebiete der regional bedeutsamen Kaltluftleitbahnen werden unter Verwendung des in der Klimaanalyse NRW modellierten Strömungsfeldes abgegrenzt und anschließend unter Berücksichtigung des Abflussvolumens und der Anzahl der profitierenden Einwohner hinsichtlich ihrer Bedeutung bewertet.

Bioklimatischen Gunsträumen mit überörtlicher Bedeutung am Tag

Regional bedeutsame bioklimatische Gunsträume sind definiert als zusammenhängende Freiflächenkomplexe mit maximal schwacher nachmittäglicher Wärmebelastung (PET <28 °C). Als Gunsträume mit sehr hoher Priorität und Aufenthaltsqualität am Tage werden Freiflächen mit einer Mindestgröße von 2 km² und guter Erreichbarkeit (bis maximal 10 km Entfernung zu einem Hauptbelastungsraum) eingestuft. Eine hohe Priorität als Gunstraum für Nah- und Feierabend-Erholung wird für Flächen angenommen, die eine Mindestgröße von 3 ha und eine Maximalentfernung von 400 m zu Hauptbelastungsräumen aufweisen.

Grundsätzlich handelt es sich bei dem beschriebenen Verfahren zur Abgrenzung der überörtlichen klimaökologischen Bedeutung und den gewählten Schwellenwerten um gutachterliche und in Facharbeitsgruppen abgestimmte Parameter. Diese wurden im Rahmen eines iterativen Kalibrierungsprozesses hinsichtlich ihrer Plausibilität überprüft, es existieren für die Wahl dieser Werte jedoch keine rechtlichen oder anderweitig festgelegten Grenzwerte.

Grundprämisse ist hierbei, dass je mehr Einwohner von Belastungen betroffen sind, desto mehr Ausgleichsflächen zur Belastungsminderung erforderlich sein müssen, sodass die Be-

lastungen in der Grundtendenz nicht mehr von den betroffenen Kommunen allein zu bewältigen sind und somit ein überörtlicher, regionaler Handlungsbedarf besteht. Gleichzeitig nimmt mit der Anzahl der Betroffenen auch die Dringlichkeit von Maßnahmen kontinuierlich zu.

Die unterschiedliche Wahl des Quantils für die Tag- und die Nachtsituation ist auf die Tatsache zurückzuführen, dass beide Situationen hinsichtlich ihrer belastenden Wirkungen nicht direkt miteinander vergleichbar sind. So reagiert die menschliche Physiologie grundsätzlich sensibler auf zu hoch empfundene Nachttemperaturen, da hier die Erholung durch den Schlaf erheblich eingeschränkt wird, als auf zu hohe Tagestemperaturen. Darüber hinaus können sich die Betroffenen am Tage der Belastung durch das Aufsuchen kühlerer Orte abseits des eigentlichen Wohnortes entziehen, wohingegen sie in der Nacht an ihre Schlafstätten gebunden sind. Dies begründet gerade in Bezug auf die Bewertung regionaler Handlungsbedarfe einen strikteren Schwellenwert, sowohl in der absoluten Zahl der Betroffenen – denn auch insgesamt sind am Tage deutlich mehr Menschen von den höchsten physiologischen Belastungsstufen betroffen als in der Nacht – als auch in Bezug auf die Häufigkeitsverteilung.

Trotz des hier beschriebenen differenzierten Ansatzes zur Bewertung der überörtlichen klimaökologischen Bedeutung ist zu betonen, dass die als regional bedeutsam bewerteten Teilräume zunächst einmal fachgutachterliche Empfehlungen des LANUV darstellen. Diese auf den Ergebnissen der landesweiten Klimaanalyse beruhenden Einschätzungen sollen der Regionalplanung Hinweise auf einen etwaig bestehenden Handlungs- und Steuerungsbedarf geben. Die im Betrachtungsmaßstab der Landesebene erarbeiteten Ergebnisse müssen auf den konkreter werdenden Planungsebenen überprüft und gegebenenfalls modifiziert werden.

Darüber hinaus ist darauf hinzuweisen, dass auch zahlreiche Bereiche, die nicht als überörtlich bedeutsam eingestuft wurden, über besonders hohe Belastungen oder Ausgleichspotenziale verfügen können. Deren klimaökologische Bedeutung ist nicht zwangsläufig geringer ausgeprägt oder von einer geringeren Priorität gekennzeichnet als die der überörtlich bedeutsamen Bereiche. Es wird jedoch nach der hier beschriebenen Methodik angenommen, dass in diesen Fällen die kommunale Planung und nicht die Regionalplanung zuständig ist.

4.1.3. Ergebnisse der Klimaanalyse für die Planungsregion Köln

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Klimaanalyse für die Planungsregion Köln beschrieben. Exemplarisch werden dabei die Aussagen der jeweiligen Arbeitsschritte kartographisch dargestellt. Neben Karten für die gesamte Planungsregion werden, mit dem Ziel einer besseren Lesbarkeit, die Klimawandel-Vorsorgebereiche ebenso separat abgebildet wie exemplarische Karten mit den Ergebnissen für Köln in einem größeren Maßstab, der die Details der Klimaanalyse und ihrer Parameter besser erkennen lassen. Der Bezirksregierung Köln werden alle Karten zusätzlich auch digital in einer hochauflösenden Qualität sowie als editierbare Projektdateien für die Bearbeitung in Geoinformationssystemen übergeben.

Darüber hinaus wird für alle Kategorien die Anzahl der jeweils betroffenen Bevölkerung und der jeweiligen Flächengröße im Siedlungsraum sowie im Freiraum angegeben.

4.1.3.1 Klimaanalyse Nachtsituation

Die Ergebnisse der Klimaanalyse für die Nachtsituation (Methodik siehe Kapitel 4.1.2.2) in der Planungsregion Köln geben Aufschluss über den Kaltluftvolumenstrom um 4 Uhr morgens und damit die thermische Ausgleichsfunktion des Freiraums, die damit verbundenen Einwirkbereiche der Kaltluft in den Siedlungsraum sowie dessen thermische Belastung (nächtliche Überwärmung) (siehe beispielhaft Detailausschnitt Köln, Abbildung 39)

Dabei wird deutlich, dass in der Planungsregion die nächtliche Überwärmung vor allem in den größeren Städten entlang der Rheinschiene wie Köln, Bonn oder Leverkusen besonders ausgeprägt ist (Abbildung 37). Auch angrenzende kleinere Gemeinden wie Frechen, Hürth oder Troisdorf verfügen über relevante Anteile von Siedlungsflächen mit starker nächtlicher Überwärmung. Aachen hingegen profitiert von größeren nächtlichen Kaltluftvolumenströmen sowie zahlreichen Kaltluftschneisen und weist trotz der Kessellage fast keine Siedlungsbereiche mit starker nächtlicher Überwärmung auf. In den eher ländlich geprägten Bereichen der Planungsregion Köln abseits der Rheinschiene liegt nur selten eine größere Belastung vor (z.B. in Heinsberg oder Erkelenz). Im Freiraum sind insbesondere in der Zülpicher und der Jülicher Börde sowie im Bergischen Land besonders hohe Kaltluftabflüsse zu verzeichnen.

Bei Betrachtung des Siedlungsraums (Wohn-, Gewerbe- und Industrieflächen) in der Nachtsituation wird deutlich, dass für etwa 40 % der Bevölkerung (ca. 1,8 Mio. Menschen) und sogar etwa 52 % der Siedlungsfläche bei der angenommenen sommerlichen Wetterlage keine nächtliche Überwärmung besteht (Temperatur unter 17 °C). Etwa ein Viertel der Bevölkerung ist von einer schwachen Belastung betroffen (ca. 1,1 Mio. Menschen, 25,4 %), 27 % sind in der Nacht einer mäßigen nächtlichen Überwärmung ausgesetzt (1,2 Mio. Betroffene). Auf 4,3 % der gesamten Siedlungsfläche (56 km²) ist die nächtliche Überwärmung und damit die Belastung als stark einzuschätzen (>20 °C Lufttemperatur), wovon mehr als 300.000 Menschen betroffen sind (etwa 7 % der Gesamtbevölkerung, Tabelle 48).

Die Gemeinde mit der größten Anzahl an Menschen, die von starker Belastung in der Nacht betroffen sind, ist mit weitem Abstand Köln (ca. 216.300 Menschen), gefolgt von Bonn (ca. 28.300 und Leverkusen (ca. 18.000) (Tabelle 49).

Tabelle 48: Klimaanalyse Nachtsituation - Anzahl der betroffenen Bevölkerung und der Siedlungsfläche in der Planungsregion Köln (Werte Bevölkerung gerundet)

Nächtliche Überwärmung	Anzahl betroffene Bevölkerung (Anteil Gesamtbevölkerung)	betroffene Siedlungsfläche in km ² (Anteil gesamte Siedlungsfläche)
keine (≤17 °C)	1.791.000 (40,5 %)	678,6 (52,2 %)
schwach (>17 bis 18,5 °C)	1.123.700 (25,4 %)	308,2 (23,7 %)
mäßig (>18,5 bis 20 °C)	1.198.000 (27,1 %)	257,4 (19,8 %)
stark (>20 °C)	309.900 (7,0 %)	56,0 (4,3 %)

Tabelle 49: Klimaanalyse Nachtsituation - Anzahl der betroffenen Bevölkerung und der Siedlungsfläche mit starker thermischer Belastung nach Gemeinden (Werte Bevölkerung gerundet)

Gemeinde	Anzahl betroffene Bevölkerung (Anteil Gesamtbevölkerung)	betroffene Siedlungsfläche in km ² (Anteil gesamte Siedlungsfläche)
Köln	216.300 (20,4 %)	33 (20,4 %)
Bonn	28.300 (8,9 %)	5 (8,9 %)
Leverkusen	18.000 (11,0 %)	4 (11,0 %)
Frechen	7.500 (14,4 %)	2 (14,4 %)
Troisdorf	7.400 (9,9 %)	2 (9,9 %)
Bergisch Gladbach	6.000 (5,4 %)	2 (5,4 %)
Hürth	3.100 (5,3 %)	1 (5,3 %)
Erkelenz	2.500 (5,7 %)	1 (5,7 %)
Hennef (Sieg)	2.100 (4,4 %)	1 (4,4 %)
Pulheim	2.000 (3,6 %)	1 (3,6 %)

Abbildung 38 zeigt beispielhaft für den Bereich Köln und das südliche Umland, wie sich Situation durch den Klimawandel etwa bis zur Mitte des Jahrhunderts entwickeln könnte. Dabei wird einerseits der Status quo dargestellt, und andererseits die heutige Situation der starken nächtlichen Überwärmung um die Klimawandel-Vorsorgebereiche erweitert (siehe Kapitel 4.1.2.5), also jene Siedlungsbereiche, die bei einem pauschalen Temperaturaufschlag von 1 K zusätzlich der höchsten nächtlichen Belastungsklasse zuzuordnen wären (starke nächtliche Überwärmung, >20 °C). Insbesondere in den schon heute überproportional belasteten dichter besiedelten Bereichen wird sich die Problematik der thermischen Belastung in der Nacht zukünftig weiter verschärfen.

Im Freiraum ist in der Planungsregion Köln nachts ein Großteil der Flächen von einem mittleren Kaltluftvolumenstrom (zwischen 300 und 1.500 m³/s) geprägt (ca. 15.500 km² bzw. etwa 56 % aller Flächen im Freiraum). Ein hoher Kaltluftvolumenstrom (zwischen 1.500 und 2.700 m³/s) wurde für 28 % aller Flächen im Freiraum berechnet (ca 7.700 km²). Einen sehr hohen nächtlichen Kaltluftvolumenstrom von mehr als 2.700 m³/s weisen gut 3.700 km² und damit etwa 13 % aller Flächen des Freiraums in der Region auf. Nur gut 3 % aller Freiraumflächen verfügen lediglich über einen geringen Kaltluftvolumenstrom von weniger als 300 m³/s (940 km²).

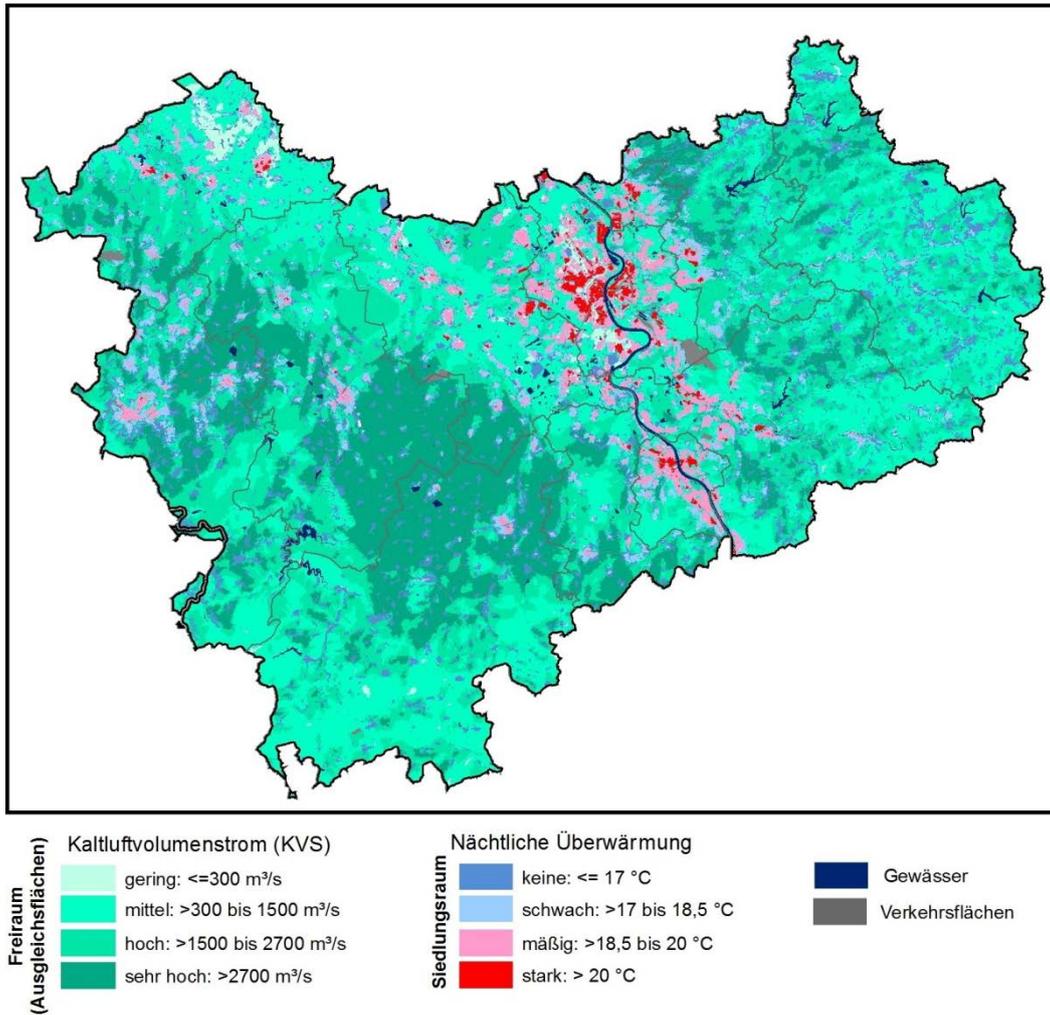
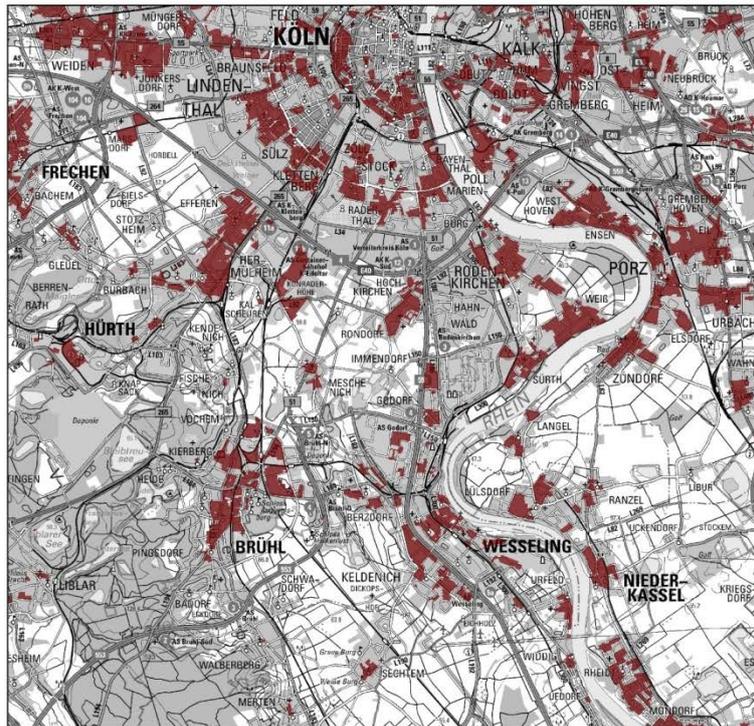
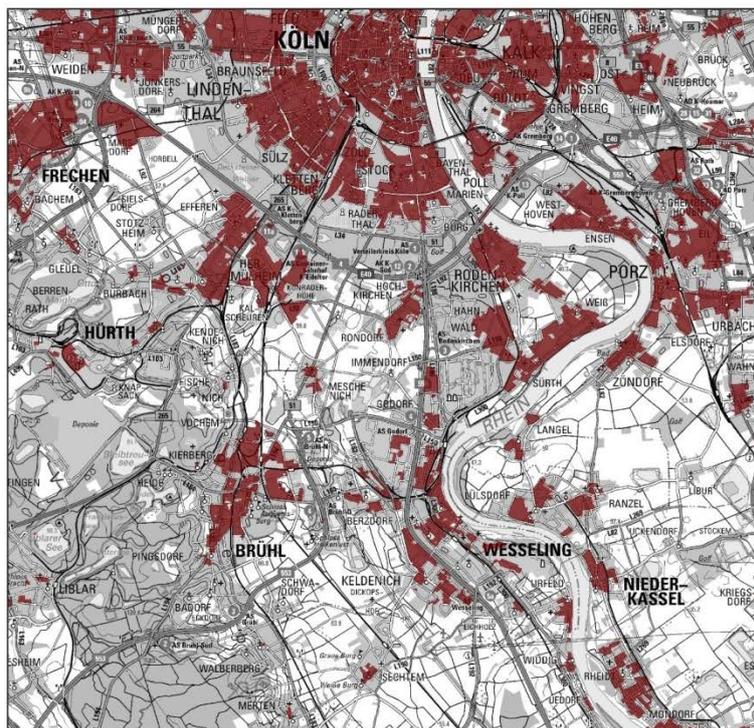


Abbildung 37: Klimaanalyse Nachtsituation (Kartengrundlage: LAND NRW, 2017; Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)



Starke Überwärmung: Aktuelle Situation (Nacht)

■ Siedlungsbereiche mit starker nächtlicher Überwärmung (>20 °C)



Starke Überwärmung: Zukünftige Situation* (Nacht)

■ Siedlungsbereiche mit starker nächtlicher Überwärmung (>20 °C)

* bis etwa 2050, bei der Annahme eines Temperaturanstieges von +1 K

Abbildung 38: Klimaanalyse Nachtsituation – Klimawandel-Vorsorgebereiche (Detailausschnitt)

(Kartengrundlage: LAND NRW, 2017; Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)

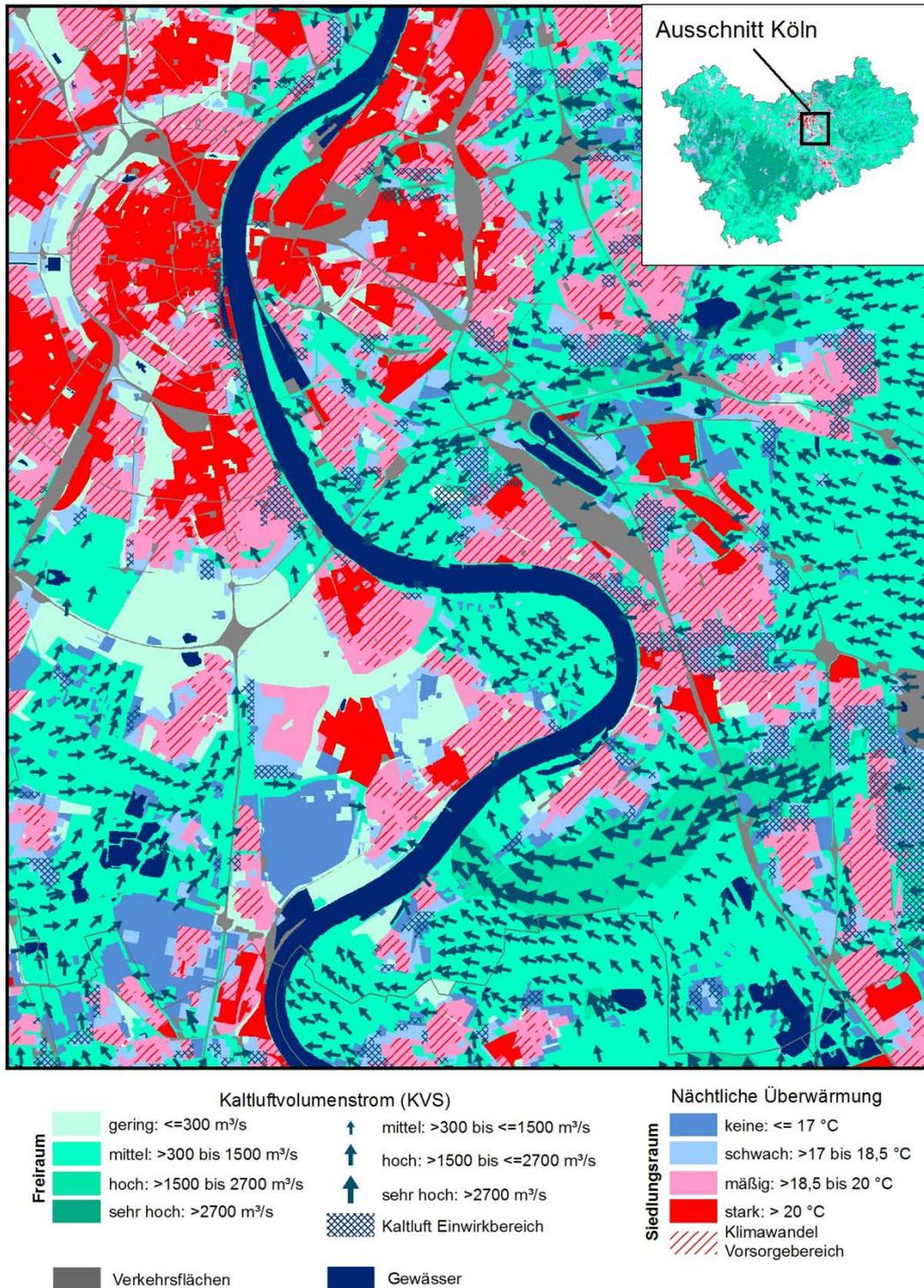


Abbildung 39: Klimaanalyse Nachtsituation – Detailausschnitt Köln
 (Kartengrundlage: LAND NRW, 2017; Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)

4.1.3.2 Klimaanalyse Tagsituation

Für die Tagsituation (15 Uhr) liefert die Klimaanalyse sowohl für den Freiraum als auch für den Siedlungsraum Ergebnisse zur thermischen Belastung (siehe Kapitel 4.1.2.3), die im Gegensatz zur Nachtsituation in der physiologisch äquivalenten Temperatur (PET) angegeben wird und somit weitere meteorologische Parameter wie die Sonneneinstrahlung bzw. Verschattung berücksichtigt (siehe beispielhaft Detailausschnitt Köln, Abbildung 42).

Die kartographische Darstellung der Ergebnisse der Klimaanalyse zeigt deutlich, dass weite Teile des Siedlungsraums in der Planungsregion Köln am Tage von einer starken thermischen Belastung (zwischen 35 und 41 °C PET) geprägt sind (Abbildung 40). Die starke Belastung ist dabei im Gegensatz zu der Nachtsituation nicht auf Bereiche in den größeren Städten konzentriert, sondern tritt auch in eher dünner besiedelten, ländlich geprägten Teilräumen der Region auf. Im Freiraum zeigt sich eine geringe thermische Belastung insbesondere in waldreichen Gebieten der Eifel, dem Bergischen Land und im Kreis Düren. Während viele landwirtschaftlich genutzte Freiräume eine hohe thermische Belastung aufweisen, ist in Waldbereichen am Tage durch eine hohe Verschattung die physiologisch äquivalente Temperatur deutlich geringer.

Im Siedlungsraum ist mit etwa 3,6 Mio. Menschen ein Großteil der Bevölkerung (knapp 81 % der Gesamtbevölkerung) von einer hohen thermischen Belastung betroffen. Mehr als drei Viertel der gesamten Siedlungsfläche der Region (ca. 1.000 km²) ist dieser Belastungsklasse zuzuordnen (Tabelle 50). Hinzu kommen etwa 200.000 Menschen (knapp 5 % der Gesamtbevölkerung), die bei sommerlichen Strahlungswetterlagen am Tage sogar einer extremen thermischen Belastung von mehr als 41 °C PET ausgesetzt sind (5,5 % der Siedlungsfläche, ca. 71,2 km²). Eine nur mäßige oder schwache thermische Belastung am Tage ist für etwa 17,5 % aller Siedlungsflächen zu konstatieren, wovon etwa 637.000 Menschen betroffen sind.

Tabelle 50: Klimaanalyse Tagsituation - Anzahl der betroffenen Bevölkerung und der Siedlungsfläche in der Planungsregion Köln (Werte Bevölkerung gerundet)

thermische Belastung	Anzahl betroffene Bevölkerung (Anteil Gesamtbevölkerung)	betroffene Siedlungsfläche in km ² (Anteil gesamte Siedlungsfläche)
schwach (≤29 °C PET)	72.500 (1,6 %)	28,4 (2,2 %)
mäßig (>29 bis 35 °C PET)	564.600 (12,8 %)	200,5 (15,4 %)
stark (>35 bis 41 °C PET)	3.578.200 (80,9 %)	1000,1 (76,9 %)
extrem (>41 °C PET)	207.500 (4,7 %)	71,2 (5,5 %)

Mit Köln weist die bevölkerungsreichste Stadt der Planungsregion auch die größte Anzahl von Menschen auf, die von extremer thermischer Belastung am Tage betroffen sind (ca. 23.700 Menschen), gefolgt von Aachen (ca. 8.800) und Erkelenz (8.300) (Tabelle 51). Kleinere Gemeinden wie Nörvenich (44,1 %) oder Titz (36,4 %) weisen hingegen die höchsten Anteile aller Einwohner in dieser höchsten Belastungsklasse auf.

Tabelle 51: Klimaanalyse Tagsituation - Anzahl der betroffenen Bevölkerung und der Siedlungsfläche mit extremer thermischer Belastung nach Gemeinden
(Werte Bevölkerung gerundet)

Gemeinde	Anzahl betroffene Bevölkerung (Anteil Gesamtbevölkerung)	betroffene Siedlungsfläche in km ² (Anteil gesamte Siedlungsfläche)
Köln	23.700 (2,2 %)	3,6 (2,2 %)
Aachen	8.800 (3,6 %)	1,7 (3,6 %)
Erkelenz	8.300 (19,3 %)	3,6 (19,3 %)
Heinsberg	6.700 (16,2 %)	3,1 (16,2 %)
Leverkusen	6.500 (4,0 %)	1,4 (4,0 %)
Baesweiler	6.100 (22,7 %)	1,6 (22,7 %)
Elsdorf	5.700 (26,9 %)	2,0 (26,9 %)
Bergheim	5.600 (9,3 %)	1,7 (9,3 %)
Kerpen	5.500 (8,5 %)	1,7 (8,5 %)
Erfstadt	5.200 (10,4 %)	1,8 (10,4 %)

Abbildung 41 zeigt beispielhaft für die Tagsituation für einen Ausschnitt der Planungsregion die Gegenüberstellung der heutigen Situation mit dem Zustand, wie er bis etwa zur Mitte dieses Jahrhunderts zu erwarten ist (zusätzliche Darstellung der Klimawandel-Vorsorgebereiche). Dabei ist ersichtlich, dass eine zukünftige Zunahme der thermischen Belastung durch den Klimawandel für die Tagsituation nicht auf die größeren Städte der Planungsregion beschränkt wäre. Die bis zur Mitte dieses Jahrhunderts voraussichtlich zusätzlich als extrem belastet zu bewertenden Bereiche sind relativ dispers im Planungsraum verteilt und liegen häufig am Siedlungsrand.

Im Freiraum weisen am Tage jeweils etwa ein Drittel aller Flächen in der Planungsregion eine starke (ca. 8.800 km², 32 %) oder extreme thermische Belastung auf (ca. 9.800 km², 35 %). Als lediglich schwach ist die thermische Belastung für 27 % aller Flächen (7.500 km²) im Freiraum einzuschätzen. Dies trifft vor allem auf Waldbereiche zu.

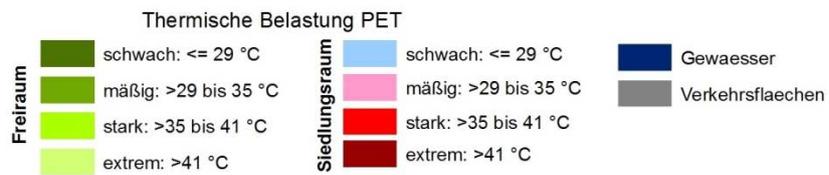
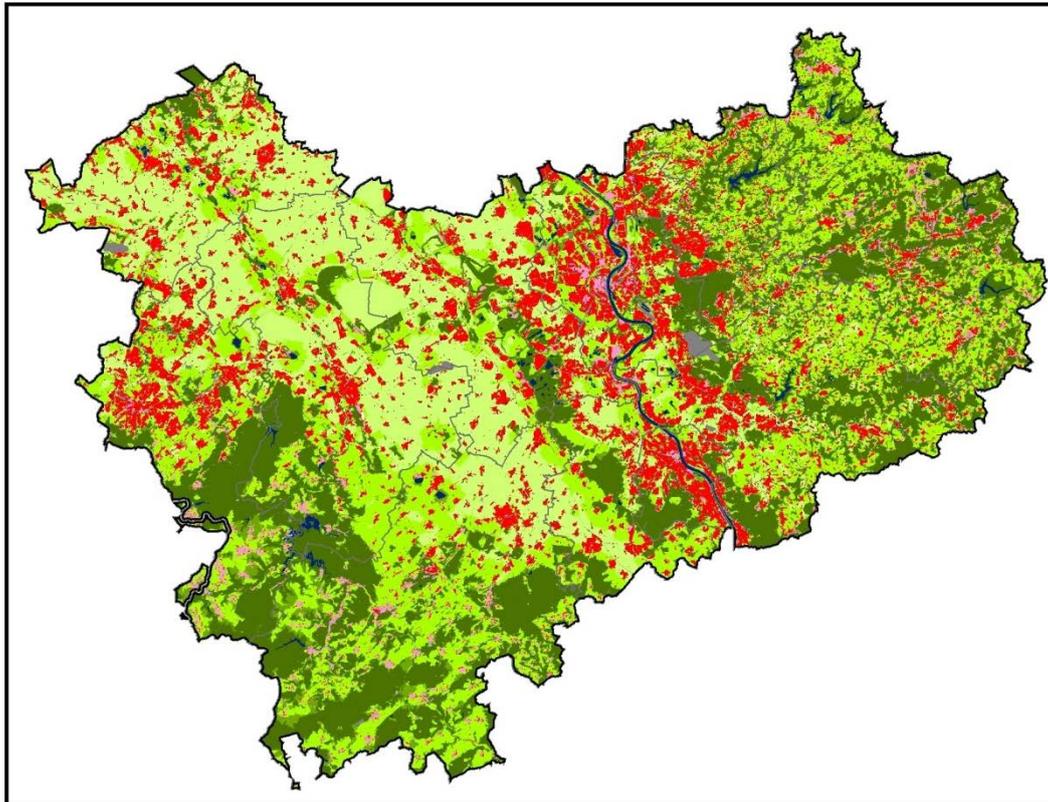
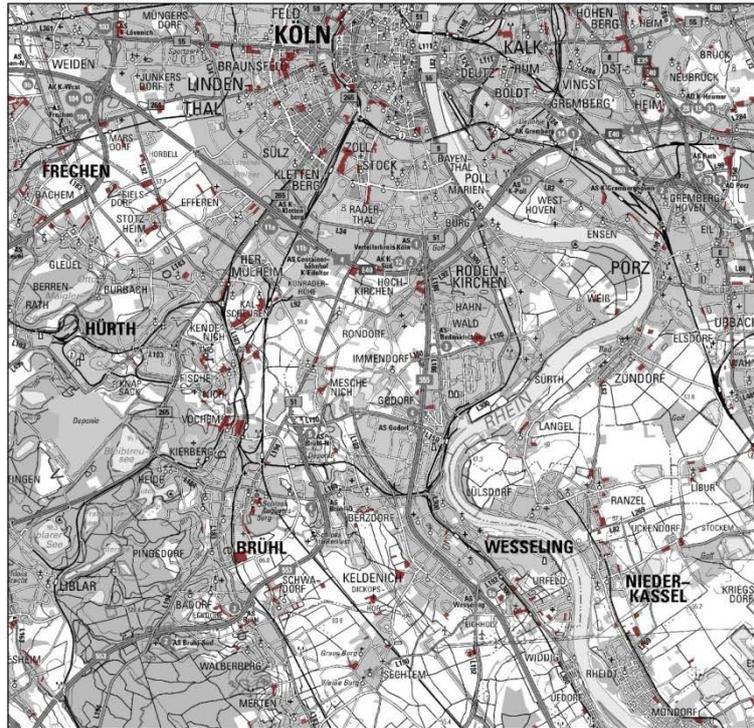
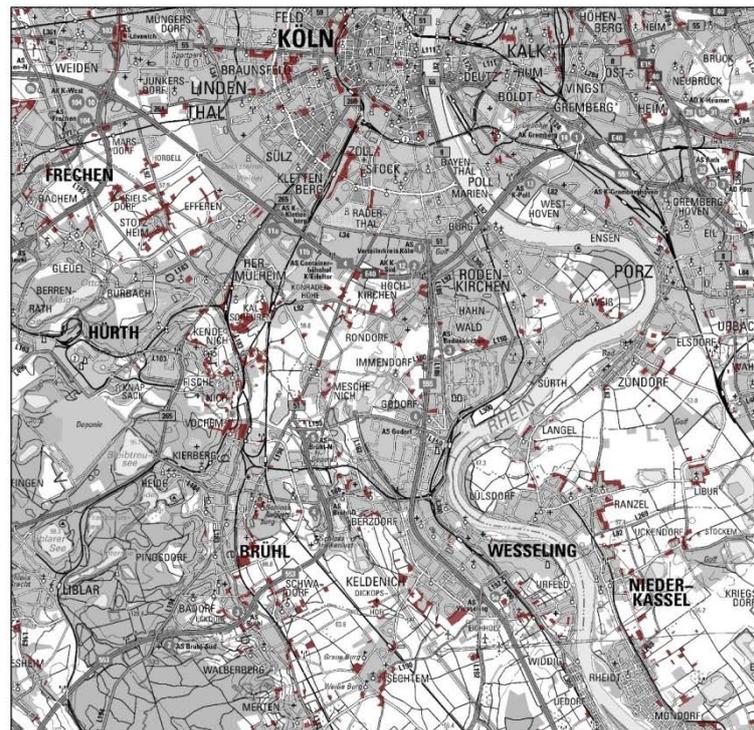


Abbildung 40: Klimaanalyse Tagsituation
(Kartengrundlage: LAND NRW; 2017; Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)



Extreme thermische Belastung: Aktuelle Situation (Tag)

■ Siedlungsbereiche mit extremer thermischer Belastung am Tag (>41°C PET)



Extreme thermische Belastung: Zukünftige Situation* (Tag)

■ Siedlungsbereiche mit extremer thermischer Belastung am Tag (>41°C PET)

* bis etwa 2050, bei der Annahme eines Temperaturanstieges von +1 K.

Abbildung 41: Klimaanalyse Tagsituation – Klimawandel-Vorsorgebereiche (Detailausschnitt)

(Kartengrundlage: LAND NRW, 2017; Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)

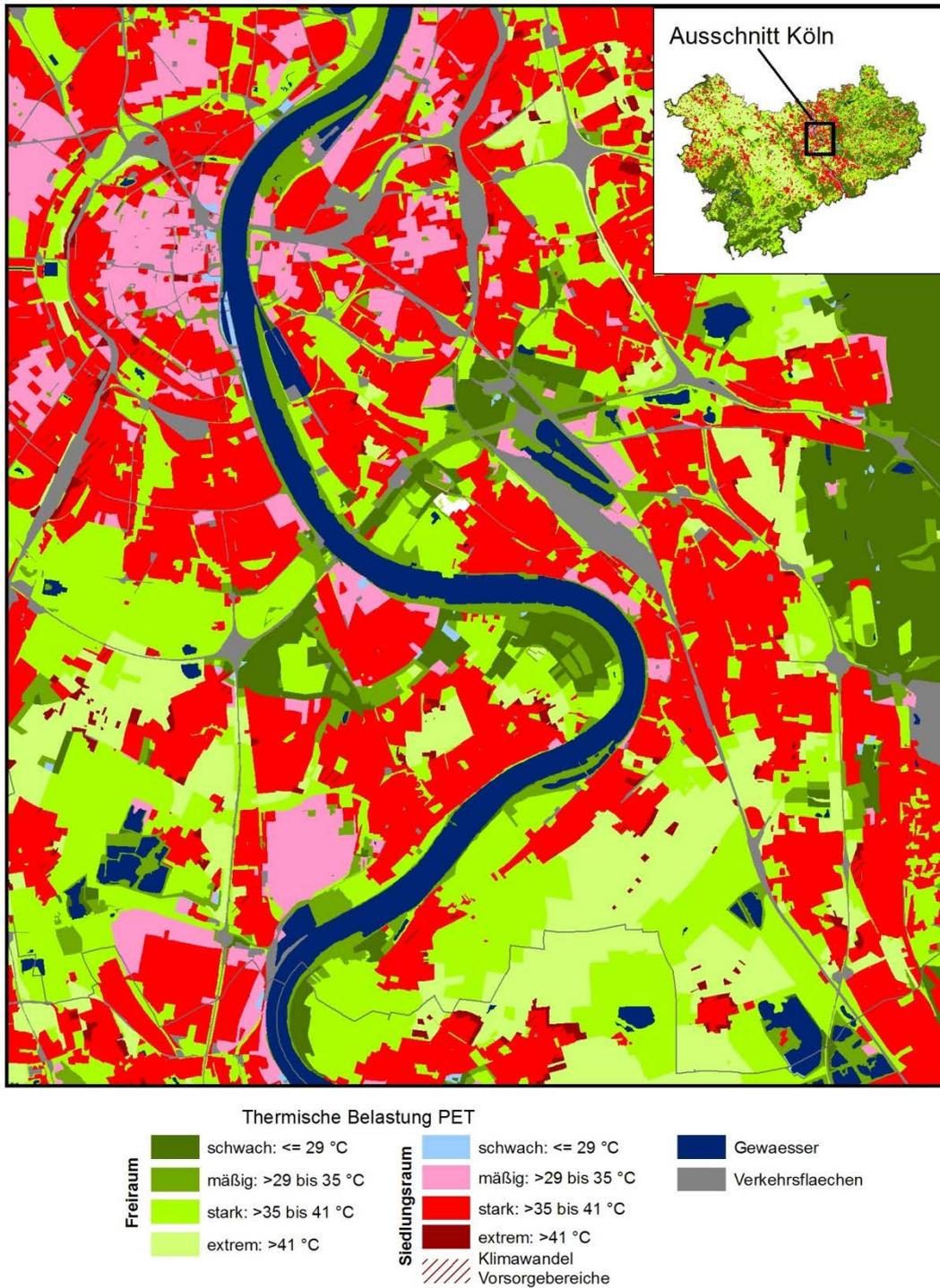


Abbildung 42: Klimaanalyse Tagsituation – Detailausschnitt Köln
 (Kartengrundlage: LAND NRW (2017) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)

4.1.3.3 Zusammenfassende Gesamtbetrachtung

Die zusammenfassende Gesamtbetrachtung der Klimaanalyse für die Planungsregion Köln, in die sowohl die Tag- als auch die Nachtsituation einfließen (gewichtetes Bewertungsverfahren, siehe Kapitel 4.1.2.4), umfasst eine zusätzliche fünfte Klasse und bewertet die thermische Situation für den Siedlungsraum und für die Bereiche des Freiraums deren thermische Ausgleichsfunktion (siehe beispielhaft Detailausschnitt Köln, Abbildung 45: Klimaanalyse Gesamtbetrachtung – Detailausschnitt). Die größten thermischen Belastungen konzentrieren sich sowohl in ihrer flächigen Ausdehnung als auch in ihrer Intensität in der Gesamtbetrachtung vermehrt auf die größeren Städte entlang der Rheinschiene (Abbildung 43). Aber auch in mittleren und kleineren Städten ist die thermische Situation häufig als ungünstig zu bewerten. Dies zeigt sich vor allem im Nordwesten der Planungsregion im Kreis Heinsberg oder im Rhein-Erft-Kreis. Im Bergischen Land und in der Eifel ist die thermische Situation weitaus günstiger zu bewerten. Eine sehr hohe thermische Ausgleichsfunktion kommt vor allem den Freiräumen am Rand größerer Siedlungsbereiche zu.

Eine sehr ungünstige thermische Situation liegt in der Planungsregion auf einer Fläche von etwa 9 km² vor (0,7 % der gesamten Siedlungsfläche), wovon jedoch mehr als 50.000 Menschen betroffen sind. Für Siedlungsflächen im Umfang von etwa 270 km² (20,7 % der gesamten Siedlungsfläche) und damit für knapp 1,3 Mio. Menschen ist die thermische Situation als ungünstig zu bewerten (Tabelle 52). Gut ein Drittel aller Menschen in der Region ist von einer weniger günstigen thermischen Situation betroffen (ca. 1,6 Mio. Menschen, 35 % aller Siedlungsflächen). Für ein Drittel der Bevölkerung wird die thermische Situation auf Grundlage der Modellergebnisse der Klimaanalyse NRW als günstig oder sehr günstig eingeschätzt.

Tabelle 52: Klimaanalyse Gesamtbetrachtung - Anzahl der betroffenen Bevölkerung und der Siedlungsfläche in der Planungsregion Köln (Werte Bevölkerung gerundet)

Thermische Situation	Anzahl betroffene Bevölkerung (Anteil Gesamtbevölkerung)	betroffene Siedlungsfläche in km ² (Anteil gesamte Siedlungsfläche)
sehr günstig	264.100 (6,0 %)	132,2 (10,2 %)
günstig	1.206.600 (27,3 %)	436,1 (33,6 %)
weniger günstig	1.621.600 (36,7 %)	454,3 (34,9 %)
ungünstig	1.276.200 (28,9 %)	268,5 (20,7 %)
sehr ungünstig	54.100 (1,2 %)	9,0 (0,7 %)

Auch in der Gesamtbetrachtung ist Köln mit weitem Abstand die Stadt mit der größten Anzahl von Menschen, die bei sommerlichen Strahlungswetterlagen einer hohen thermischen Belastung ausgesetzt sind (ungünstige oder sehr ungünstige Situation). Hiervon sind mehr als 60 % der Bevölkerung der Stadt betroffen (über 650.000 Menschen). Auch in Bonn liegt dieser Anteil mit 53 % besonders hoch (insgesamt knapp 170.000 Betroffene). Leverkusen weist etwa 75.000 Einwohner in Siedlungsbereichen auf, deren thermische Situation als ungünstig oder sehr ungünstig zu bezeichnen ist, gefolgt von Troisdorf (knapp 40.000) und Bergisch Gladbach (34.300) (Tabelle 53).

Tabelle 53: Klimaanalyse Gesamtbetrachtung - Anzahl der betroffenen Bevölkerung und der Siedlungsfläche mit ungünstiger oder sehr ungünstiger thermischer Situation nach Gemeinden (Werte Bevölkerung gerundet)

Gemeinde	Anzahl betroffene Bevölkerung (Anteil Gesamtbevölkerung)	betroffene Siedlungsfläche in km ² (Anteil gesamte Siedlungsfläche)
Köln	653.500 (61,6 %)	99,2 (61,6 %)
Bonn	168.900 (53,0 %)	30,9 (53,0 %)
Leverkusen	74.600 (45,6 %)	16,3 (45,6 %)
Troisdorf	39.500 (53,0 %)	10,4 (53,0 %)
Bergisch Gladbach	34.300 (30,8 %)	8,9 (30,8 %)
Pulheim	25.700 (47,5 %)	6,9 (47,5 %)
Frechen	22.800 (43,9 %)	6,1 (43,9 %)
Sankt Augustin	22.600 (40,5 %)	5,8 (40,5 %)
Bergheim	21.200 (35,1 %)	6,6 (35,1 %)
Niederkassel	18.900 (50,3 %)	4,6 (50,3 %)

Die Anzahl der Menschen in der Planungsregion Köln, die von einer ungünstigen oder sehr ungünstigen thermischen Situation betroffen sind, wird bis zur Mitte des Jahrhunderts durch den Klimawandel voraussichtlich deutlich ansteigen. So sind unter der pauschalen Annahme eines Temperaturanstieges von 1 K 25 % aller Siedlungsflächen zusätzlich den beiden höchsten Belastungsklassen zuzuordnen (Tabelle 54). Hierdurch würde die Anzahl der betroffenen Menschen um mehr als 800.000 ansteigen (etwa 18 % aller Einwohner im Regierungsbezirk Köln).

Tabelle 54: Klimawandel-Vorsorgebereiche - Anzahl der betroffenen Bevölkerung und der Siedlungsfläche mit in Zukunft voraussichtlich ungünstiger oder sehr ungünstiger thermischer Situation (Werte Bevölkerung gerundet)

Thermische Situation	Anzahl betroffene Bevölkerung (Anteil Gesamtbevölkerung)	betroffene Siedlungsfläche in km ² (Anteil gesamte Siedlungsfläche)
ungünstig	810.000 (18,3 %)	211,9 (16,3 %)
sehr ungünstig	591.500 (13,4 %)	117,3 (9,0 %)

Besonders betroffen von den Auswirkungen des Klimawandels sind die größeren Städte in der Region (Tabelle 55 und Tabelle 56). In Köln würde sich unter den genannten Bedingungen die Anzahl der betroffenen Bevölkerung um etwa 178.000 (ungünstige thermische Situation) erhöhen. Außerdem wären in der größten Stadt des Landes dann über 300.000 Menschen zusätzlich einer sehr ungünstigen thermischen Situation ausgesetzt, was die Relevanz der Thematik insbesondere für die Stadt Köln unterstreicht. Aber auch in Leverkusen, Aachen und vor allem Bonn ist zukünftig vermutlich eine große Anzahl von Menschen zusätzlich von einer ungünstigen oder sehr ungünstigen thermischen Situation betroffen.

Tabelle 55: Klimawandel-Vorsorgebereiche - Anzahl der zusätzlich betroffenen Bevölkerung und der Siedlungsfläche mit in Zukunft voraussichtlich ungünstiger thermischer Situation nach Gemeinden (Werte Bevölkerung gerundet)

Gemeinde	Anzahl betroffene Bevölkerung (Anteil Gesamtbevölkerung)	betroffene Siedlungsfläche in km ² (Anteil gesamte Siedlungsfläche)
Köln	178.200 (16,8 %)	27,0 (16,8 %)
Bonn	80.000 (25,1 %)	14,6 (25,1 %)
Aachen	55.200 (22,5 %)	10,8 (22,5 %)
Leverkusen	36.600 (22,4 %)	8,0 (22,4 %)
Bergisch Gladbach	34.700 (31,2 %)	9,1 (31,2 %)
Düren	19.800 (22,0 %)	5,8 (22,0 %)
Sankt Augustin	17.900 (32,2 %)	4,6 (32,2 %)
Kerpen	16.500 (25,2 %)	5,1 (25,2 %)
Herzogenrath	14.700 (31,6 %)	3,7 (31,6 %)
Bergheim	14.700 (24,4 %)	4,6 (24,4 %)

Tabelle 56: Klimawandel-Vorsorgebereiche - Anzahl der zusätzlich betroffenen Bevölkerung und der Siedlungsfläche mit in Zukunft voraussichtlich sehr ungünstiger thermischer Situation nach Gemeinden (Werte Bevölkerung gerundet)

Gemeinde	Anzahl betroffene Bevölkerung (Anteil Gesamtbevölkerung)	betroffene Siedlungsfläche in km ² (Anteil gesamte Siedlungsfläche)
Köln	311.500 (29,4 %)	47,3 (29,4 %)
Bonn	89.200 (28,0 %)	16,3 (28,0 %)
Leverkusen	30.900 (18,9 %)	6,7 (18,9 %)
Troisdorf	19.200 (25,8 %)	5,1 (25,8 %)
Pulheim	16.000 (29,5 %)	4,3 (29,5 %)
Niederkassel	11.400 (40,4 %)	2,8 (40,4 %)
Sankt Augustin	10.200 (18,2 %)	2,6 (18,2 %)
Frechen	9.500 (18,2 %)	2,5 (18,2 %)
Bergisch Gladbach	8.500 (7,6 %)	2,2 (7,6 %)
Bergheim	8.300 (13,8 %)	2,6 (13,8 %)

Im Vergleich zur aktuellen Situation wird sich die Anzahl der Menschen, die von einer ungünstigen oder sogar sehr ungünstigen thermischen Situation betroffen sind, zukünftig deutlich erhöhen (Tabelle 57). So sind heute hiervon insgesamt etwa 1,3 Mio. Menschen im Regierungsbezirk Köln betroffen (ca. 30 % der Gesamtbevölkerung), bei einer angenommenen Temperaturzunahme von +1 K ist bis zur Mitte des Jahrhunderts aber davon auszugehen, dass sich diese Zahl auf mehr als 2,1 Mio. Betroffene (knapp die Hälfte der Gesamtbevölkerung) erhöhen wird. Dabei ist insbesondere bei der höchsten Belastungsklasse (sehr ungünstige thermische Situation) mit stark wachsenden Betroffenzahlen zu rechnen (von heute knapp 55.000 auf dann etwa 645.000 Menschen).

Tabelle 57: Ungünstige und sehr ungünstige thermische Situation (Gesamtbetrachtung) - Vergleich der aktuell betroffenen und der zukünftig* voraussichtlich betroffenen Bevölkerung (*bis etwa 2050, bei der Annahme eines Temperaturanstieges von +1 K; Werte Bevölkerung gerundet)

Thermische Situation	Aktuelle Situation Anzahl betroffene Bevölkerung (Anteil Gesamtbevölkerung)	Zukünftige Situation Anzahl betroffene Bevölkerung (Anteil Gesamtbevölkerung)
ungünstig	1.276.200 (28,9 %)	1.494.700 (34,0 %)
sehr ungünstig	54.100 (1,2 %)	645.600 (14,8 %)
Summe	1.330.300 (30,1 %)	2.140.300 (48,8 %)

Auch die kartographische Darstellung der Vorsorgebereiche am Beispiel der Stadt Köln mit dem südlichen Umland zeigt, dass die Siedlungsfläche, die bis zur Mitte dieses Jahrhunderts voraussichtlich zusätzlich von einer ungünstigen oder sogar sehr ungünstigen Situation betroffen sein wird, deutlich anwachsen wird (**Abbildung 44**). Dies gilt insbesondere für die sehr ungünstige Situation. Die Vorsorgebereiche konzentrieren sich dabei räumlich verstärkt auf die größeren Städte der Region. Es ist davon auszugehen, dass insbesondere in urbanen Bereichen die thermische Belastung der Bevölkerung zukünftig eine deutlich größer werdende Herausforderung darstellen wird.

Die „höchste thermische Ausgleichsfunktion“ ist im Freiraum nur etwa 2,5 % aller Flächen zuzuweisen (ca. 700 km²). Hierzu zählen insbesondere vegetationsgeprägte Freiflächen am Rande größerer Städte. Auch eine sehr hohe Ausgleichsfunktion weisen nur gut 4 % der Flächen im Freiraum auf (ca. 1.100 km²). Mehr als ein Viertel aller Flächen im Freiraum (28 %) verfügt noch über eine hohe thermische Ausgleichsfunktion (ca. 8.000 km²). Während etwa 12 % der Flächen im Freiraum eine mittlere Bedeutung aufweisen, ist die Ausgleichsfunktion von der Mehrzahl aller Freiraumbereiche als gering zu bewerten (53 %, ca. 14.800 km²). Eine mögliche Ursache für eine geringe thermische Ausgleichsfunktion kann auch darin liegen, dass die Flächen zwar einen nennenswerten Kaltluftabfluss aufweisen, von diesem jedoch keine belasteten Siedlungsbereiche profitieren. Durch die Ausweisung neuer Siedlungsflächen kann sich daher auch die Bewertung von Freiflächen ändern. Freiflächen, denen bisher aufgrund ihrer derzeitigen Lage zu Siedlungsräumen keine Ausgleichsfunktion zugemessen wird, müssen für die planerische Bewertung hinzugenommen werden, wenn zukünftig von deren Ausgleichsfunktion neue Siedlungsbereiche profitieren können.

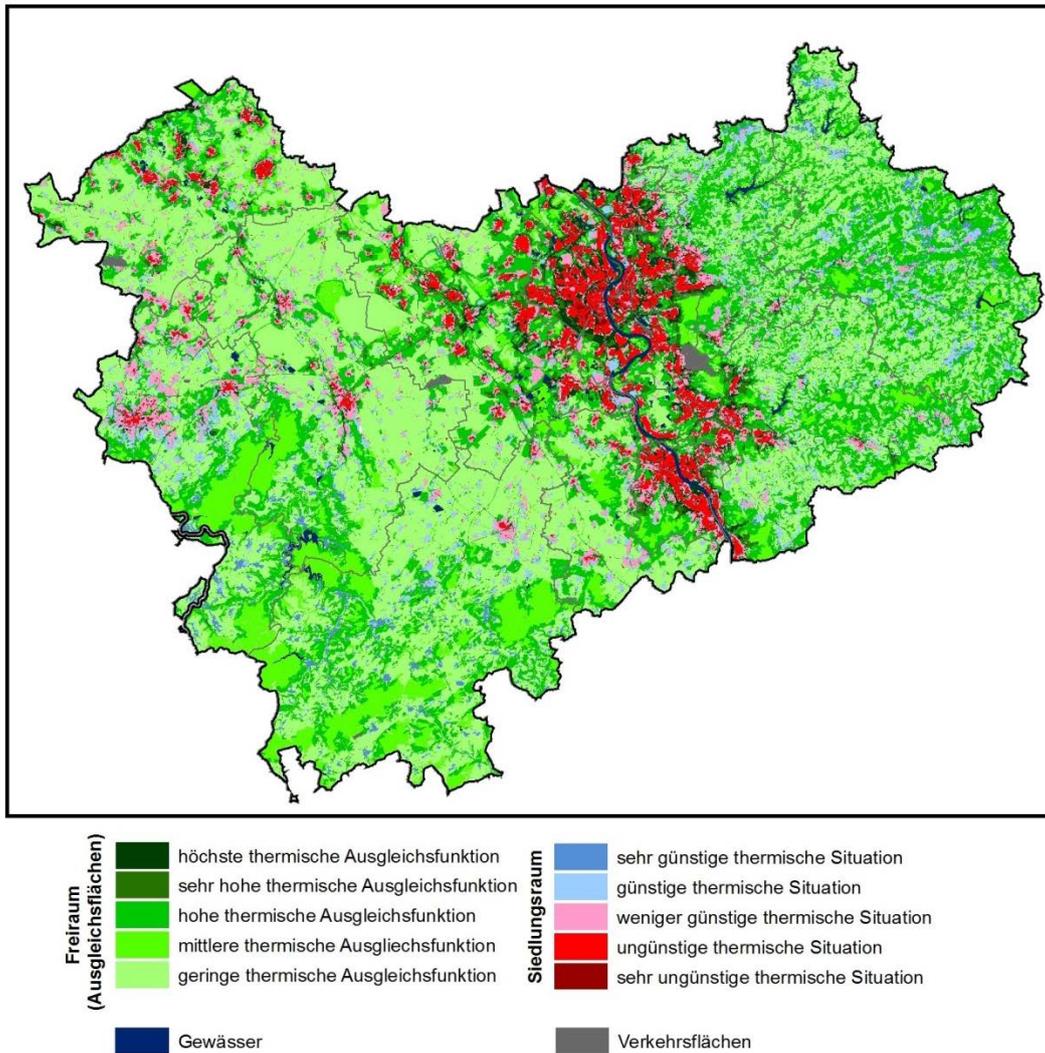
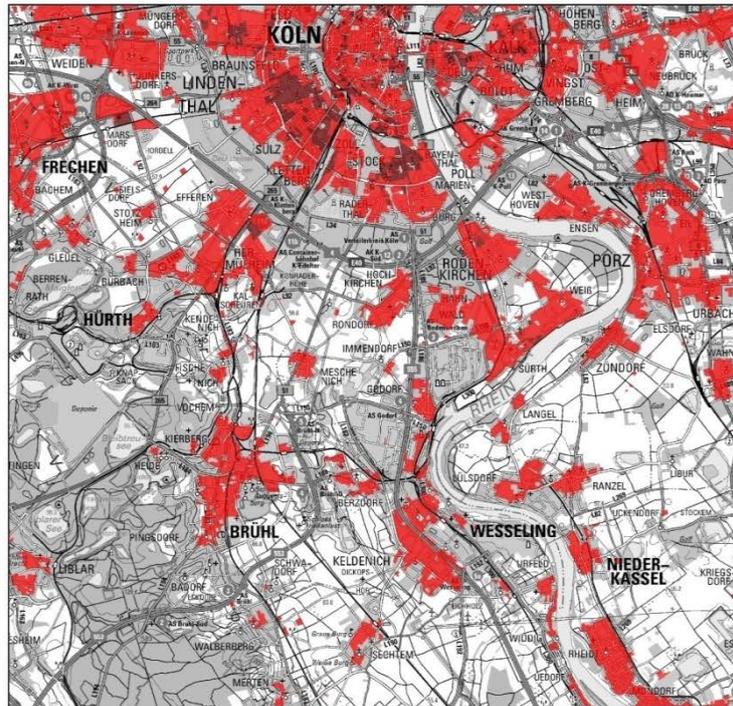
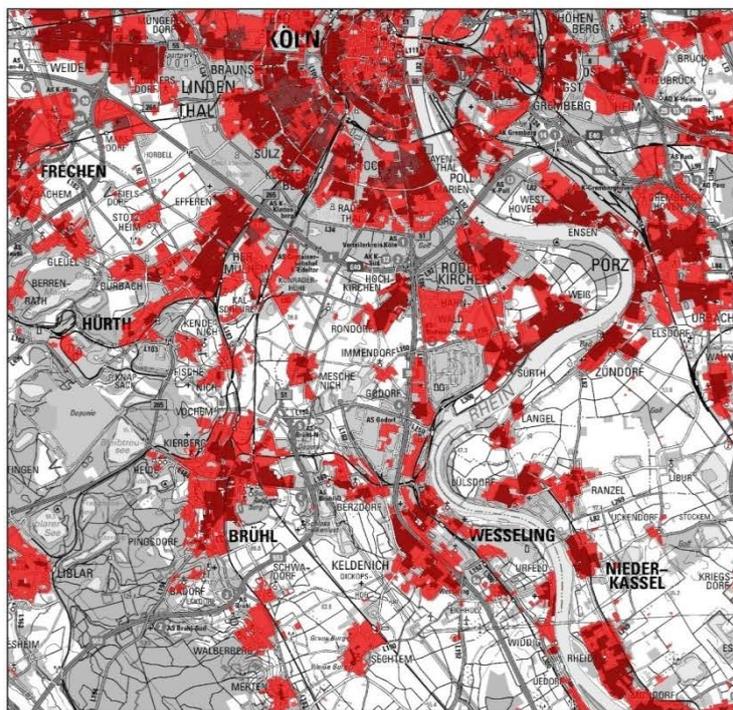


Abbildung 43: Klimaanalyse Gesamtbetrachtung (Kartengrundlage: LAND NRW, 2017; Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)



Gesamtbetrachtung: Aktuelle Situation

- Siedlungsbereiche mit ungünstiger thermischer Situation
- Siedlungsbereiche mit sehr ungünstiger thermischer Situation



Gesamtbetrachtung: Zukünftige Situation*

- Siedlungsbereiche mit ungünstiger thermischer Situation
- Siedlungsbereiche mit sehr ungünstiger thermischer Situation

* bis etwa 2050, bei der Annahme eines Temperaturanstieges von +1 K

Abbildung 44: Klimaanalyse Gesamtbetrachtung – Klimawandel-Vorsorgebereiche (Detailausschnitt)

(Kartengrundlage: LAND NRW, 2017; Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)

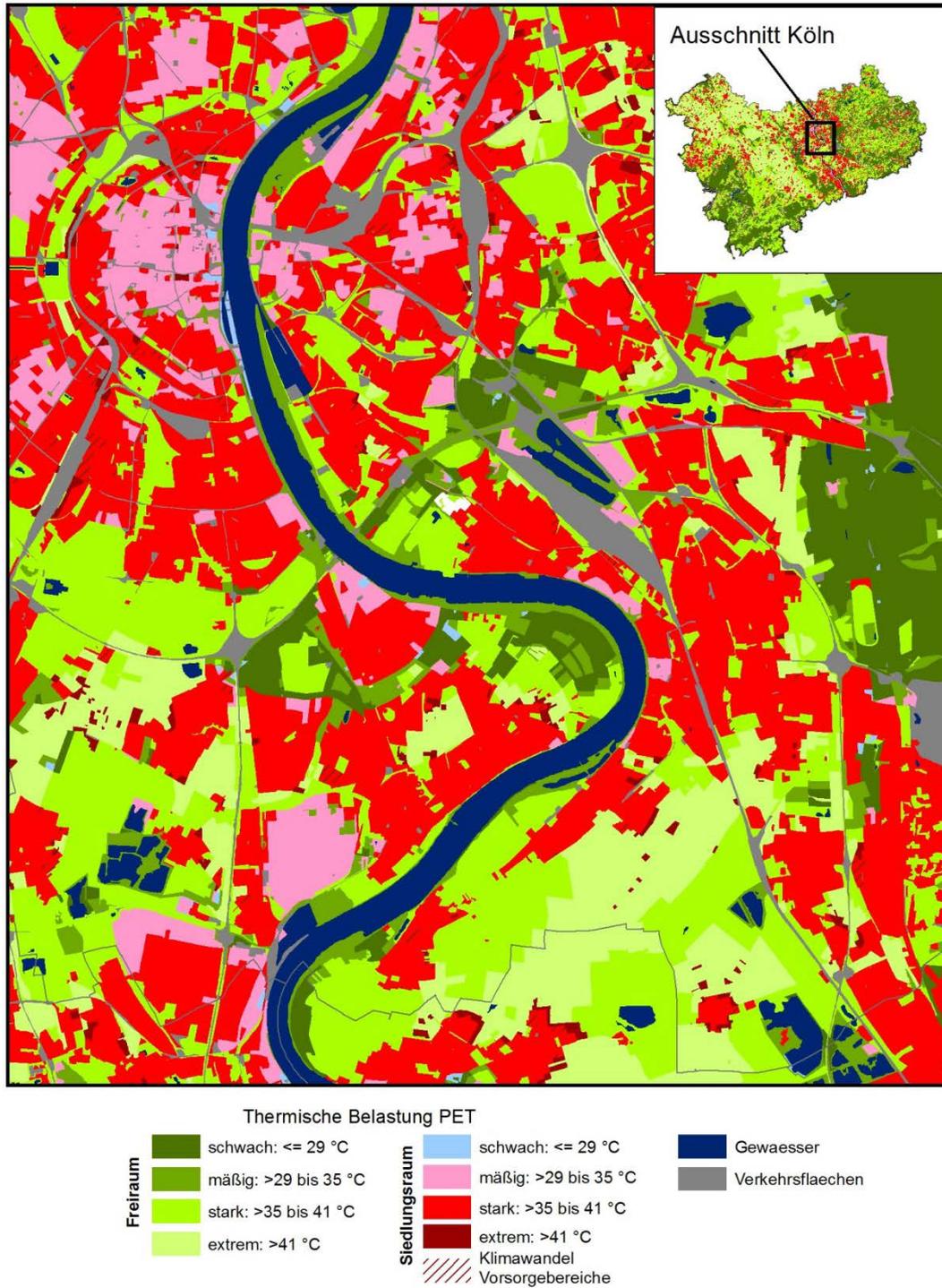


Abbildung 45: Klimaanalyse Gesamtbetrachtung – Detailausschnitt Köln
 (Kartengrundlage: LAND NRW, 2017; Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)

Planungshinweise

Für die verschiedenen Kategorien der zusammenfassenden Gesamtbetrachtung werden im Rahmen der Klimaanalyse grundsätzliche Planungsempfehlungen formuliert. Diese beschreiben unter anderem die Empfindlichkeit der Räume und Funktionen gegenüber Nut-

zungsintensivierungen und richten sich als klimafachliche Hinweise sowohl an die regionale als auch an die kommunale Planung.

Freiraum

Höchste bioklimatische Bedeutung

Für die gegenwärtige Siedlungsstruktur besonders wichtige klimaökologische Ausgleichsräume mit einer sehr hohen Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Bauliche Eingriffe sollten gänzlich vermieden bzw. sofern bereits planungsrechtlich vorbereitet, unter Berücksichtigung der grundsätzlichen Klimafunktionen erfolgen. Eine gute Durchströmbarkeit der angrenzenden Bebauung sollte angestrebt und zur Optimierung der Ökosystemdienstleistung sollte eine Vernetzung mit benachbarten Grün-/Freiflächen erreicht werden (Grünverbindungen).

Sehr hohe bioklimatische Bedeutung

Für die gegenwärtige Siedlungsstruktur wichtige klimaökologische Ausgleichsräume mit einer sehr hohen Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Bauliche Eingriffe sollten unter Berücksichtigung der grundsätzlichen Klimafunktionen erfolgen und eine gute Durchströmbarkeit der angrenzenden Bebauung angestrebt werden.

Hohe bioklimatische Bedeutung

Für die gegenwärtige Siedlungsstruktur wichtige klimaökologische Ausgleichsräume mit einer hohen Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Bauliche Eingriffe sollten unter Berücksichtigung der grundsätzlichen Klimafunktionen erfolgen und eine gute Durchströmbarkeit der angrenzenden Bebauung angestrebt werden

Mittlere bioklimatische Bedeutung

Für die gegenwärtige Siedlungsstruktur ergänzende klimaökologische Ausgleichsräume mit einer mittleren Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Die angrenzende Bebauung profitiert von den bereit gestellten Klimafunktionen, ist in aller Regel aber nicht auf sie angewiesen. Bauliche Eingriffe sollten unter Berücksichtigung der grundsätzlichen Klimafunktionen erfolgen. Im Falle einer Bebauung auf den Flächen selbst bzw. in ihrer näheren Umgebung sollte die Bewertung neu vorgenommen werden.

Geringe bioklimatische Bedeutung

Diese Flächen stellen für die gegenwärtige Siedlungsstruktur keine relevanten Klimafunktionen bereit und weisen eine geringe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung auf. Bauliche Eingriffe sollten unter Berücksichtigung der grundsätzlichen Klimafunktionen erfolgen. Im Falle einer Bebauung auf den Flächen selbst bzw. in ihrer näheren Umgebung sollte die Bewertung neu vorgenommen werden.

Siedlungsraum

Sehr günstige bioklimatische Situation

Mittlere Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Keine Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation notwendig. Eingriffe sollten nicht zu einer Verschlechterung

auf der Fläche selbst bzw. angrenzenden Flächen führen ("Entkopplung"). Der Vegetationsanteil sollte erhalten werden.

Günstige bioklimatische Situation

Mittlere Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Keine Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation notwendig. Eingriffe sollten nicht zu einer Verschlechterung auf der Fläche selbst bzw. angrenzenden Flächen führen ("Entkopplung") und die Baukörperstellung sollte beachtet werden. Der Vegetationsanteil sollte erhalten werden.

Weniger günstige bioklimatische Situation

Mittlere bis hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation werden empfohlen. Nachverdichtungen sollten nicht zu einer Verschlechterung auf der Fläche selbst bzw. angrenzenden Flächen führen ("Entkopplung") und die Baukörperstellung sollte beachtet sowie möglichst eine Erhöhung des Vegetationsanteils angestrebt werden

Ungünstige bioklimatische Situation

Hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind notwendig. Nachverdichtungen sollten nicht zu einer Verschlechterung auf der Fläche selbst bzw. angrenzenden Flächen führen ("Entkopplung") und eine Verbesserung der Durchlüftung sowie eine Erhöhung des Vegetationsanteils sollte angestrebt werden.

Sehr ungünstige bioklimatische Situation

Sehr hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsintensivierung. Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Situation sind notwendig und prioritär. Sie sollten sich sowohl auf die Tag- als auch auf die Nachtsituation auswirken. Es sollte keine weitere Verdichtung (insb. zu Lasten von Grün- und Freiflächen) erfolgen, stattdessen der Erhalt der Freiflächen und eine Verbesserung der Durchlüftung sowie eine Erhöhung des Vegetationsanteils bzw. Entsiegelungsmaßnahmen angestrebt werden.

4.1.3.4 Klimaökologische Prozesse mit überörtlicher Bedeutung

Die Ergebnisse der Klimaanalyse für die Planungsregion Köln werden in einem zusätzlichen Arbeitsschritt für die Ebene der Regionalplanung ausgewertet. Im Fokus steht dabei die Frage, welchen klimaökologischen Funktionen oder Belastungen eine überörtliche Bedeutung zugeschrieben werden kann, um Hinweise auf die Möglichkeit bzw. das Erfordernis einer regionalplanerischen Steuerung zu geben. Das Verfahren, das zur Ableitung einer überörtlichen klimaökologischen Bedeutung angewendet wird, ist detailliert in Kapitel 4.1.2.7 sowie in Anhang A2 beschrieben. Die identifizierten regional bedeutsamen Bereiche werden hinsichtlich ihrer Priorität bzw. des Handlungsbedarfs weiter klassifiziert. Die wesentlichen Ergebnisse dieser Untersuchung sind für die Planungsregion Köln in der Karte „Planungsempfehlungen Regionalplanung“ dargestellt (**Abbildung 46**).

Die Priorität bzw. der Handlungsbedarf von Siedlungsbereichen mit einer im überörtlichen Maßstab bedeutenden nächtlichen Überwärmung wird unterschieden in „vorhanden“ (mehr als 8.000 Betroffene), „hoch“ (mehr als 12.200 Betroffene) und „sehr hoch“ (mehr als 30.000 Betroffene).

Die Kernbereiche von Kaltluft-Leitbahnen mit einer überörtlichen Bedeutung werden in Bezug auf das berechnete linienbezogene Abflussvolumen der jeweiligen Leitbahn klassifiziert in „sehr hohe Priorität“ (Zufluss $>1,3$ Mio. $m^2/km*s$; 66 %-Quantil), „hohe Priorität“ (Zufluss >400.000 $m^2/km*s$; 33 %-Quantil) und „mittlere Priorität“ (Zufluss >40.000 $m^2/km*s$; 0 %-Quantil). Insbesondere Kernbereiche von Kaltluft-Leitbahnen mit einer sehr hohen oder hohen Priorität sind aus klimaökologischer Sicht auch für regionalplanerische Zielfestlegungen geeignet.

Auch die Einzugsgebiete von Kaltluft-Leitbahnen mit überörtlicher Bedeutung werden hinsichtlich der Kaltluftvolumenproduktion und der davon profitierenden Bevölkerung priorisiert. Die Sicherung von Einzugsbereichen mit einer sehr hohen (Gesamtabfluss $>2,2$ Mio. m^3/s ; Betroffenzahl >20.500) oder hohen Priorität (Gesamtabfluss $>0,5$ Mio. m^3/s ; Betroffenzahl >7.500) ist aus Sicht des LANUV vordringlich und eignet sich aus klimafachlicher Sicht für regionalplanerische Zielfestlegungen. Für die Sicherung von Kaltluft-Einzugsgebieten mit mittlerer oder hoher Priorität erscheinen aus Sicht des LANUV Grundsatzfestlegungen zweckmäßig.

Bioklimatische Gunsträume von überörtlicher Bedeutung am Tage weisen eine Mindestgröße von 2 km^2 und eine gute Erreichbarkeit auf (bis 10 km Entfernung zu Hauptbelastungsräumen), Gunsträume mit einer hohen Priorität für die Nah- bzw. Feierabend-Erholung sind mindestens 3 Hektar groß und liegen in einer Entfernung von höchstens 400 m zu Hauptbelastungsräumen. Für beide Kategorien erscheinen auch Zielfestlegungen denkbar.

Die Abgrenzung einer überörtlichen bzw. regionalen Bedeutsamkeit von Räumen bzw. ihren klimaökologischen Funktionen und Belastungen erfolgt dabei auf Basis der landesweiten Ergebnisse der Klimaanalyse NRW und sollte maßstabsbedingt auf den konkreter werden Planungsebenen überprüft und gegebenenfalls modifiziert werden. Wichtig ist dabei, dass auch Bereiche und Funktionen, für die keine überörtliche Bedeutung ermittelt wurde, über besonders hohe Belastungen oder Ausgleichspotenziale verfügen können. Die klimaökologische Bedeutung muss dabei nicht geringer ausgeprägt sein, es wird jedoch zunächst angenommen, dass in diesen Fällen für die Berücksichtigung der klimatischen Belange insbesondere die kommunale Ebene zuständig ist.

Die kartografische Darstellung der im Folgenden auch textlich beschriebenen Karte wird der Bezirksregierung Köln auch als hochauflösende pdf-Datei sowie als shape-Datei übergeben, was das Einlesen in Geoinformationssysteme und eine Betrachtung der einzelnen Ebenen und Informationen ermöglicht.

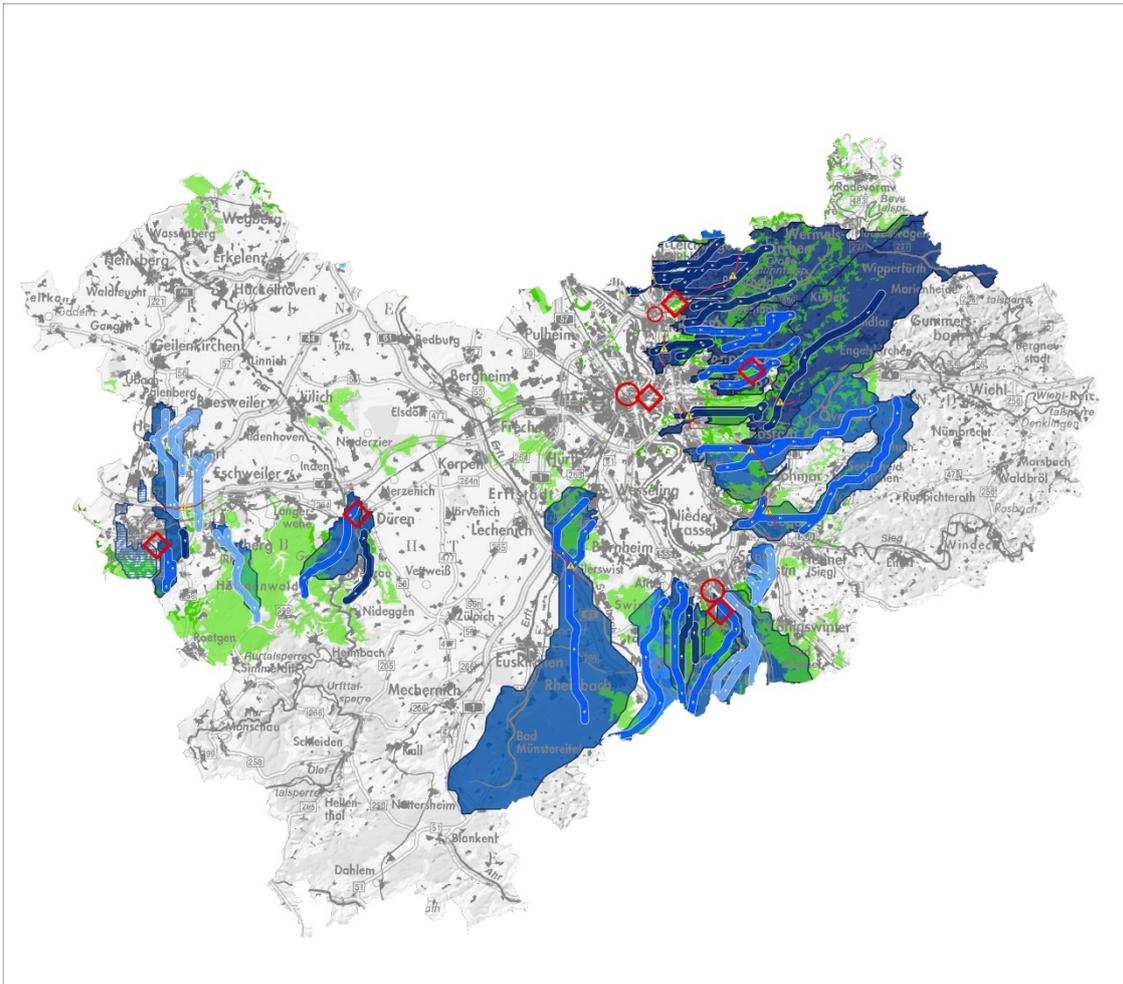


Abbildung 46: Klimaanalyse – Planungsempfehlungen Regionalplanung
(Kartengrundlage: LAND NRW, 2017; Datenlizenz Deutschland -
Namensnennung - Version 2.0)

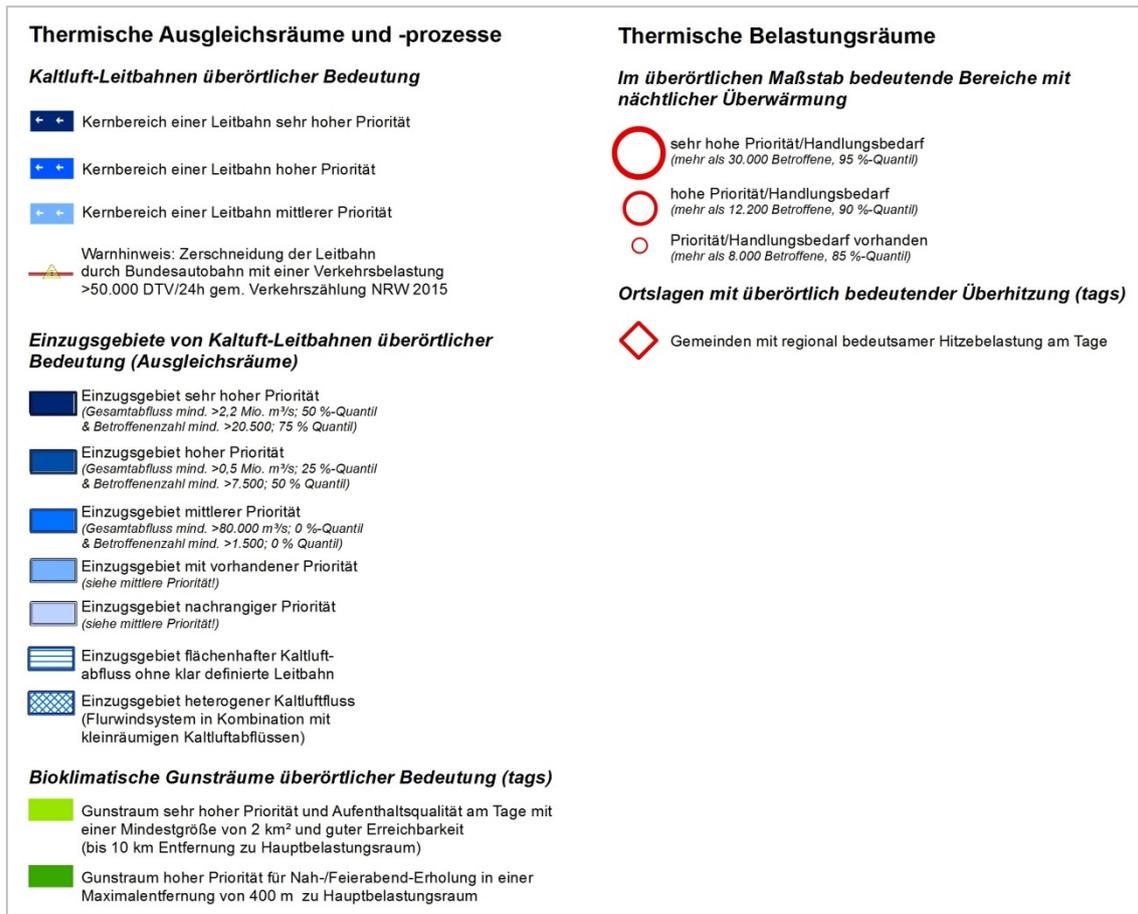


Abbildung 47: Klimaanalyse – Legende Planungsempfehlungen Regionalplanung

Bioklimatische Belastungsräume

In der Planungsregion Köln befinden sich die wesentlichen bioklimatischen Belastungsräume von überörtlicher Bedeutung in den größeren Städten. Eine regional bedeutsame thermische Belastung von Siedlungsbereichen am Tage (starke bzw. extreme Hitzebelastung) sowie eine entsprechend im landesweiten Vergleich hohe Anzahl an Betroffenen wurde in den Gemeinden Köln, Bonn, Aachen, Leverkusen, Düren und Bergisch Gladbach identifiziert.

Zu den im überörtlichen Maßstab bedeutenden Siedlungsräumen mit nächtlicher Überwärmung zählen nach dem beschriebenen Ansatz in der Planungsregion die Städte Köln, Bonn und Leverkusen. Köln und Bonn wird dabei der eine sehr hohe Priorität bzw. ein sehr hoher Handlungsbedarf zugeschrieben.

Bioklimatische Ausgleichsräume

Zu den auf der Ebene der Regionalplanung relevanten bioklimatischen Ausgleichsräumen zählen sowohl die in der Klimaanalyse untersuchten Kaltluft-Leitbahnen von überörtlicher Bedeutung samt ihrer Einzugsgebiete („Kaltluftentstehungsgebiete“), als auch bioklimatische Gunsträume mit überörtlicher Bedeutung am Tage.

Kaltluftleitbahnen von überörtlicher Bedeutung mit sehr hoher Priorität bestehen in der Planungsregion vor allem nord-östlich der Stadt Köln, wo neben den östlichen Randlagen der Stadt insbesondere Bergisch Gladbach und Leverkusen von Kaltluftleitbahnen profitieren, die über ein weites zusammenhängendes Einzugsgebiet im Bergischen Land verfügen. Auch die Städte Aachen, Düren und Bonn liegen im Einflussbereich von Kaltluftleitbahnen mit einer z.T. sehr hohen Priorität. Leitbahnen mit hoher Priorität und größeren Einzugsgebieten im Bergischen Land versorgen beispielsweise die Gemeinden Rösrath, Lohmar, Troisdorf und Siegburg mit kühlerer Luft. Zwischen Bonn und Euskirchen im Bereich der Ville befindet sich zudem ein großes Einzugsgebiet einer Kaltluftleitbahn von hoher Priorität die sich bis nach Brühl erstreckt. Darüber hinaus bestehen noch mehrere kleinere Kaltluftleitbahnen von hoher oder mittlerer Priorität, die relevante Ausgleichswirkungen für Belastungsräume in den Gemeinden Bonn, Düren, Aachen, Königswinter oder Sankt Augustin aufweisen.

Bioklimatischen Gunsträume überörtlicher Bedeutung sind in vielen Teilen der Planungsregion Köln anzufinden. Den größten zusammenhängenden Gunstraum mit sehr hoher Priorität bildet der von Wald geprägte Bereich zwischen Düren, Aachen und Roetgen. Auch im Bergischen Land, östlich von Jülich, westlich von Köln und im Großraum Bonn befinden sich mehrere größere bioklimatische Gunsträume mit einer sehr hohen Priorität. Die bioklimatischen Gunsträume mit hoher Priorität sind dagegen deutlich kleinräumiger und vor allem innerhalb der Siedlungsbereiche der größeren Städte wie Köln oder Bonn verortet.

Übersicht und landesweiter Vergleich

Um die Ergebnisse der Ableitung von Bereichen und Funktionen mit einer überörtlichen klimaökologischen Bedeutung für die Planungsregion Köln hinsichtlich ihrer möglichen räumlichen Konsequenzen einzuordnen, werden diese abschließend hinsichtlich verschiedener statistischer Kenngrößen zusammenfassend in tabellarischer Form dargestellt und mit den Ergebnisse für ganz NRW verglichen (Tabelle 58).

Der Anteil der Menschen, die in Siedlungsbereichen mit im überörtlichen Maßstab bedeuten Hitzebelastungen leben, liegt in der Planungsregion Köln sowohl für die Tag- als auch die Nachtsituation etwas unterhalb des Wertes für ganz NRW. Im Regierungsbezirk Köln leben etwa 40 % der Bevölkerung in Städten, denen eine überörtliche Bedeutung in Bezug auf die Hitzebelastung am Tage zugeschrieben wird, während dies in ganz NRW etwa 45 % sind. In Bezug auf die Einzugsgebiete von Kaltluft-Leitbahnen mit überörtlicher Bedeutung liegt der Flächenanteil in der Planungsregion Köln mit knapp 22 % der gesamten Landesfläche fast doppelt so hoch wie landesweiten Vergleich.

Tabelle 58: Bereiche mit überörtlicher klimaökologischer Bedeutung - Vergleich Planungsregion Köln mit NRW

Belastungsräume						
	Planungsregion Köln			NRW		
	Anzahl	Einwohner	Anteil	Anzahl	Einwohner	Anteil
im überörtlichen Maßstab bedeutende Bereiche mit nächtlicher Überwärmung	3	262.700	5,9 %	28	1.133.761	6,3 %
Ortslagen mit überörtlich bedeutender Überhitzung (tags)	6	1.750.200	39,6 %	40	8.126.688	45,7 %
Ausgleichsräume/-funktionen						
Kaltluft-Leitbahnen überörtlicher Bedeutung	Planungsregion Köln			NRW		
	Anzahl	Länge	Anteil	Anzahl	Länge	Anteil
sehr hohe Priorität	13	138,2 km	29,7 %	33	411,7 km	34,4 %
hohe Priorität	11	233,4 km	50,2 %	30	498,1 km	41,6 %
vorhandene Priorität	7	93,5 km	20,1 %	29	287,6 km	24,0 %
Summe	31	465,1 km	100 %	92	1.197,4 km	100 %
Einzugsgebiete von Kaltluft-Leitbahnen überörtlicher Bedeutung	Anzahl	Fläche	Flächenanteil	Anzahl	Fläche	Flächenanteil
sehr hohe Priorität	4	609 km ²	8,3 %	9	2.294 km ²	6,7 %
hohe Priorität	9	884 km ²	12,0 %	12	1.125 km ²	3,3 %
mittlere Priorität	3	98 km ²	1,3 %	11	476 km ²	1,4 %
vorhandene Priorität	2	21 km ²	0,3 %	10	107 km ²	0,3 %
nachrangige Priorität	1	0 km ²	0,0 %	12	62 km ²	0,2 %
Summe	19	1.612 km²	21,9 %	54	4.066 km ²	11,9 %
Einzugsgebiete flächenhafter Kaltluftabfluss ohne klar definierte Leitbahn	2	24 km ²	0,3 %	13	131 km ²	0,4 %
Einzugsgebiete heterogener Kaltluftfluss (u. a. Flurwindssysteme)	1	2 km ²	0,0 %	12	68 km ²	0,2 %
Bioklimatische Gunsträume überörtlicher Bedeutung (tags)						
	Planungsregion Köln			NRW		
		Fläche	Flächenanteil		Fläche	Flächenanteil
sehr hohe Priorität		623 km ²	8,5 %		1.703 km ²	5,0 %
hohe Priorität		119 km ²	1,6 %		525 km ²	1,5 %
Summe		742 km²	10,1 %		2.228 km ²	6,5 %

4.1.4. Mögliche Umsetzungspfade und Handlungsempfehlungen

In diesem Kapitel werden zunächst grundsätzlich denkbare Anwendungsmöglichkeiten und Umsetzungspfade der zuvor beschriebenen Ergebnisse der Untersuchung der klimaökologischen Funktionen in der Planungsregion Köln diskutiert. Anschließend werden Vorschläge für konkrete regionalplanerische Festsetzungen formuliert.

4.1.4.1 Diskussionen möglicher Umsetzungspfade

Die in diesem Fachbeitrag dargestellten Ergebnisse der Klimaaanalyse NRW können für den Regionalplan Köln als Grundlage und Hilfestellung bei der stärkeren Berücksichtigung klimatischer Belange im Rahmen ihrer Aufgabe der Ordnung, Sicherung und Entwicklung des Raumes dienen. In diesem Zusammenhang werden im Folgenden grundsätzliche Einsatzmöglichkeiten und Umsetzungspfade beschrieben.

- Berücksichtigung als Abwägungsgrundlage in Raumordnungsverfahren und im Zuge der Erarbeitung raumordnerischer Stellungnahmen/Einwendungen,
- Berücksichtigung als Abwägungsgrundlage bei der räumlichen Steuerung von mit den klimatischen Belangen konkurrierenden Raumnutzungen,
- Erweiterung des Begründungshorizonts und damit Schärfung bestehender (multifunktionaler) Ziele und Grundsätze bzw. Planzeichen sowie inhaltliche und ggf. flächenmäßige Weiterentwicklung multifunktionaler Planzeichen,
- Entwicklung und Einführung innovativer monofunktionaler Ziel- und Grundsatzfestlegungen sowie ggf. Planzeichen.

Weitergehende allgemeine Hilfestellungen insbesondere zum Planungsprozess sowie zu innovativen Festlegungen können dem vom BMVI (2017) herausgegebenen „Methodenhandbuch regionale Klimafolgenbewertung“ entnommen werden.

Berücksichtigung als Abwägungsgrundlage in Raumordnungsverfahren und im Zuge der Erarbeitung raumordnerischer Stellungnahmen

Die erarbeiteten Empfehlungen für die Regionalplanung stellen eine hilfreiche und bereits nach raumordnerischen Anforderungen sowie hinsichtlich der Maßstabebene entsprechend aufbereitete, fachliche Datengrundlage dar, welche die bereits im Rahmen der Regionalplanung zu berücksichtigenden klimatischen Funktionen und raumbedeutsamen Belange abbildet. Die nach fachlichen Kriterien begründeten und überdies raumspezifisch abgeleiteten Inhalte der Karte „Planungsempfehlungen Regionalplanung“ (**Abbildung 46**) sollten demnach im Zuge von Raumordnungsverfahren zu raumbedeutsamen Plänen oder Projekten sowie von raumordnerischen Stellungnahmen mit den Inhalten dieser Vorhaben überlagert und abgeglichen werden. Dies erlaubt eine unkomplizierte und dennoch fachlich qualifizierte Berücksichtigung der klimatischen Fragestellung in derartigen Verfahren, wodurch gleichermaßen eine Stärkung klimatischer Belange auf Ebene der Regionalplanung erwartet wird.

Berücksichtigung als Abwägungsgrundlage bei der räumlichen Steuerung von mit klimatischen Belangen konkurrierenden Raumnutzungen

Die Inhalte der Karte „Planungsempfehlungen Regionalplanung“ eignen sich neben der Berücksichtigung in Raumordnungsverfahren insbesondere auch für eine angemessene Berücksichtigung im Zuge eigener Planungen wie etwa bei der Fortschreibung des Regionalplans. In erster Linie sollen die erarbeiteten Planungsempfehlungen in diesem Zusammenhang dazu dienen, die Verortung und konkrete Abgrenzung bestehender Planzeichen mit dem Ziel einer „klimaoptimierten“ Planung zu überprüfen und ggf. zu beeinflussen.

Die konkrete Berücksichtigung der durch die fachlichen Planungsempfehlungen in der Karte abgebildeten klimatischen Belange kann dabei entweder bereits in Form eines Bausteins des gesamträumlichen Planungskonzepts sowie der Alternativenentwicklung erfolgen, oder aber im Zuge der nach § 9 ROG durchzuführenden Umweltprüfung. Durch eine stärkere direkte Berücksichtigung klimatischer Belange bei der Standortsteuerung von Siedlungsflächen sollten z. B. bei der Festlegung von Siedlungszuwachsf lächen als regionalplanerische Vorranggebiete entsprechende Flächen mit einer hohen Klimarelevanz oder mit Bedeutung für die siedlungsnaher Erholung (Kaltluftleitbahnen inklusive ihrer Einzugsgebiete und bioklimatische Gunsträume mit überörtlicher Bedeutung) gesichert oder von entgegenstehenden Festlegungen freigehalten werden.

Überdies können die fach- und raumspezifischen Planungsempfehlungen der Klimaanalyse NRW im Zuge der Umweltprüfung als umfassende Datengrundlage dienen und ermöglichen damit eine gegenüber dem heutigen Standard erheblich detailliertere Erfassung und Bewertung der durch den Plan im Allgemeinen bzw. die geprüfte Festlegung im Speziellen zu erwartenden erheblichen Auswirkungen auf das Schutzgut Klima. Auf diese Weise kann eine flächenspezifische Rückkopplung zwischen Umweltprüfung und Planinhalten hinsichtlich klimatischer Fragestellungen gewährleistet werden, mit der Folge, dass nunmehr bereits frühzeitig wirkungsvolle Vermeidungsmaßnahmen entwickelt oder gar eine Modifikation der geplanten Festlegungs-Kulisse mit dem Ziel der „Klimaoptimierung“ möglich wird.

Dies eröffnet infolge der positiv-allokativen Standortplanung bei der Siedlungs- und Gewerbeflächenentwicklung insbesondere für die Steuerung und Ordnung der zukünftigen Siedlungsentwicklung die Möglichkeit, klimaökologische Fragestellungen und Anforderungen auf Grundlage der vorliegenden Planungsempfehlungen für die Regionalplanung weitaus umfassender als bisher zu berücksichtigen. Das Ziel muss hierbei sein, die Siedlungs- und Gewerbeflächenentwicklung auf klimatisch unkritische oder zumindest weniger problematische Teilflächen zu lenken und zu konzentrieren.

Erweiterung des Begründungshorizonts und damit Schärfung bestehender (multifunktionaler) Ziele und Grundsätze bzw. Planzeichen sowie inhaltliche und ggf. flächenmäßige Weiterentwicklung multifunktionaler Planzeichen

Zur Reduktion bioklimatischer Belastungen sollte der Regionalplan Köln nach Auffassung des LANUV neben den beschriebenen indirekten Berücksichtigungsformen klimatische Funktionen auch mit Hilfe multi- oder monofunktionaler Festlegungen gezielt und direkt schützen und entwickeln. Insbesondere können klimatische Belange im Zusammenhang mit bestehenden multifunktionalen Festlegungen und Planzeichen gezielt adressiert werden. Auf diese Weise können mit den klimaspezifischen Inhalten die bestehenden Festlegungen geschärft, weitergehend begründet und ihrer Durchsetzungsfähigkeit auch flächenscharf erheblich gestärkt werden.

Gleichwohl mag die Einbindung der klimatischen Belange in zahlreichen Fällen auch dazu führen, dass die bestehenden Festlegungen insbesondere hinsichtlich ihrer flächenspezifischen Nachvollziehbarkeit und Begründbarkeit zu überprüfen und zu überarbeiten sind. Für raumordnerische Zielfestlegungen erscheint dieser Anpassungsbedarf jedoch angesichts des in den letzten Jahren kontinuierlich gewachsenen und von der Rechtsprechung weiterentwickelten Anforderungsrahmens oftmals auch unbenommen einer stärkeren Berücksichtigung klimatischer Belange im Zuge der Fortschreibung oder Neuaufstellung von Raumordnungsplänen gegeben.

Hierfür sind in NRW als geeignete, bereits bestehende multifunktionale Festlegungen zualterererst die „Regionalen Grünzüge“ zu nennen, welche unterschiedliche Raumfunktionen schützen sollen und Freiräume vor einer baulichen Inanspruchnahme bewahren. Mit den Regionalen Grünzügen werden in der Praxis teilweise bereits ganz konkret klimatische Raumfunktionen adressiert. Die dabei beispielsweise angesprochenen „klimaökologisch wirksamen Bereiche“ wurden bisher jedoch nicht weitergehend definiert und räumlich spezifiziert. So können sie sich offensichtlich in Ermangelung „harter“, fachwissenschaftlich belastbarer und flächenspezifischer Daten nicht spürbar auf die Flächenkulisse der Festlegung auswirken und ferner auch nicht für die Begründung einzelner Festlegungsflächen als starker, durchsetzungsfähiger Belang herangezogen werden.

Ähnliches mag für die bestehenden erholungsbezogenen Planzeichen gelten, für die eine mitunter bestehende Klimagunst in Verbindung mit nahe gelegenen bioklimatischen Belastungsräumen einen zusätzlichen, neu hinzukommenden Begründungsfaktor darstellt. Auf Basis der nun vorliegenden Daten und Empfehlungen wird daher ein erhebliches Überarbeitungs- und Optimierungspotenzial für derartige multifunktionale Festlegungen im Regionalplan Köln gesehen.

Entwicklung und Einführung innovativer monofunktionaler Ziel- und Grundsatzfestlegungen sowie ggf. Planzeichen.

Ein besonders weitgehender und innovativer Umsetzungsansatz zur regionalplanerischen Berücksichtigung klimaökologischer Aspekte besteht in der Möglichkeit der Einführung zusätzlicher monofunktionaler, d.h. allein mit klimatischen Funktionen zu begründender Planzeichen. So könnten monofunktionale Raumordnungsgebiete Flächen sowohl für Kaltluftentstehung und -transport sichern. Denkbar wäre z. B. die Einführung eines Planzeichens „Vorranggebiet Kaltluftaustausch“ als Ziel der Raumordnung. Hierbei wäre allerdings im Einzelfall kritisch zu prüfen, ob die zugrundeliegende landesweite Modellrechnung derart weitgehende Eingriffe in die nachfolgenden Planungsebenen und ggf. private Belange rechtfertigen kann, und ob der kommunalen Planung noch ein hinreichender Ausgestaltungsspielraum verbleibt.

Da die Einführung derartiger Planzeichen somit teilweise noch juristischem Klärungsbedarf bzw. Unwägbarkeiten unterliegt und ferner erst von der Landesplanung Nordrhein-Westfalens vorzugeben wäre, erscheint für eine möglichst zügige, rechtssichere und damit wirkungsvolle Umsetzung klimaökologischer Belange im Zuge der Fortschreibung des Regionalplans Köln die Neu-Einführung monofunktionaler Planzeichen aus Sicht des LANUV derzeit nicht als das Mittel der Wahl.

Nichtsdestotrotz bestehen alternative Möglichkeiten der monofunktionalen Berücksichtigung klimatischer Fragestellungen im Regionalplan Köln. Hervorzuheben ist in diesem Zusammenhang die Option, auf Basis der Inhalte der Karte „Planungsempfehlungen Regionalplanung“ durchsetzungsstarke textliche Zielformulierungen mit klimabezogenen Inhalten zu formulieren, welche mit Hilfe von fachspezifischen thematischen Beikarten räumlich konkretisiert und gefasst werden. Von Vorteil ist bei diesem Vorgehen, dass keine zusätzlichen Planzeichen im Sinne von raumordnerischen Vorranggebieten eingeführt werden müssen und infolge der vornehmlich textlichen Ziel-Formulierung die Möglichkeit besteht, der kommunalen Planung einen hinreichend weiten Ausgestaltungsspielraum bei der Umsetzung der von der Regionalplanung festgelegten Ziele einzuräumen.

Im Zusammenspiel von textlicher Festlegung und ergänzender räumlicher Darstellung der verschiedenen Flächenkategorien verbleibt auf diese Weise einerseits der kommunalen Planung ein angemessener Ausgestaltungsspielraum bei der Bewertung und Auslegung. Auf der anderen Seite wird durch die verbindliche Zielfestlegung in Kombination mit der räumlichen Konkretisierung innerhalb der benannten Raumkategorien eine sachgerechte Prüfung zwingend erforderlich. Dies umfasst ggf. den Einsatz von vertiefenden, maßstabsgerechten Fachgutachten zu den voraussichtlichen Auswirkungen eines Vorhabens auf die bestehenden Klima-Funktionen oder Nachweise, dass das Vorhaben eben nicht gegen die Ziele der Raumordnung verstößt.

4.1.4.2 Empfehlungen für regionalplanerische Festlegungen

Das Ziel der Regionalplanung sollte es sein, bei allen Planungen und Maßnahmen die Funktionsfähigkeit des Freiraumes als klimatischer und lufthygienischer Ausgleichsraum zu schützen und insbesondere Flächen mit überörtlich bedeutenden klimaökologischen Funktionen als Regenerations- und Ausgleichsräume zu erhalten. Konkret sind Flächen, die der Belüftung (Kaltluft-Leitbahnen) und Kaltluftproduktion dienen und klimatische Entlastungspotentiale für die Siedlungsräume darstellen, zu erhalten. In Siedlungsbereichen, die von besonderen Hitzebelastungen betroffen sind, sind diese nach Möglichkeit weiterzuentwickeln. Insbesondere sind Maßnahmen, die den Luftaustausch zwischen Ausgleichsräumen und Siedlungsbereichen einschränken, zu vermeiden.

Gemäß § 12 Abs. 3 LPIG NRW sind in den Raumordnungsplänen die räumlichen Erfordernisse unter anderem zur Anpassung an den Klimawandel als Ziele und Grundsätze der Raumordnung festzulegen und den nachgeordneten Planungsebenen zur Umsetzung des § 3 KlimaschutzG NRW räumliche Konkretisierungsaufträge zu erteilen. Die Erkenntnisse der Klimaanalyse NRW sowie des Fachbeitrages Klima des LANUV dienen dabei als Datengrundlage für solche Festlegungen. Dazu sollten die für die Planungsregion Köln festgestellten Belastungsräume sowie die Ausgleichsräume und die damit verbundenen Funktionen in die textlichen und/oder zeichnerischen Festlegungen einbezogen werden. Kaltluftleitbahnen mit sehr hoher oder hoher Priorität sind dabei beispielsweise nach Einschätzung des LANUV auch für Zielfestlegungen geeignet.

Darüber hinaus sollten zur Vermeidung von Nutzungskonflikten an die im Regionalplan als GIB oder ASB ausgewiesenen Flächen weitere Anforderungen an die bauleitplanerische Umsetzung auf kommunaler Ebene gestellt werden, welche neben den Hinweisen des Fachbeitrages Klima auch die Ergebnisse und Empfehlungen der Klimaanalyse NRW aufgreifen. Dies betrifft vor allem die dort enthaltenen Hinweise zu thermisch belasteten Siedlungsräumen, Freiraumbereichen mit Ausgleichsfunktionen, Kaltluftabflüssen und zu bioklimatischen Gunsträumen. Damit soll gewährleistet werden, dass nicht nur die Bereiche, denen in diesem Fachbeitrag eine überörtliche klimaökologischer Bedeutung zugemessen wird, adressiert werden.

Vor diesem Hintergrund lassen sich aus klimaökologischer Perspektive folgende Vorschläge für mögliche regionalplanerische Festsetzungen formulieren, die sich an bisherigen Zielen und Grundsätzen der Regionalplanung im Regierungsbezirk Köln sowie an bestehenden regionalplanerischen Festsetzungen aus anderen Bundesländern orientieren:

(Beikarte) Bereiche mit überörtlicher klimaökologischer Bedeutung sind auf Grundlage des Fachbeitrages Klima in der thematischen Beikarte X dargestellt als „Kaltluft-Leitbahnen überörtlicher Bedeutung“, „Einzugsgebiete von Kaltluft-Leitbahnen mit überörtlicher Bedeutung (Ausgleichsräume)“ und „Bioklimatische Gunsträume überörtlicher Bedeutung (tags)“. Gebiete mit hoher und sehr hoher Vulnerabilität gegenüber Hitzebelastungen sind als „Im überörtlichen Maßstab bedeutende Bereiche mit nächtlicher Überwärmung“ und „Ortslagen mit überörtlich bedeutender Überhitzung (tags)“ dargestellt.

(Grundsatz) In Bereichen mit überörtlicher klimaökologischer Bedeutung (siehe thematische Beikarte X) ist auf eine Verbesserung und Sicherung der klimaökologischen Funktionen hinzuwirken. In Siedlungsbereichen mit einer hohen oder sehr hohen Vulnerabilität gegenüber Hitzebelastungen ist auf den Abbau von bestehenden Belastungen hinzuwirken.

(Ziel) Die Kernbereiche von Kaltluft-Leitbahnen mit hoher und sehr hoher Priorität sowie überörtlich bedeutsame Einzugsgebiete von Kaltluftleitbahnen mit einer hohen oder sehr hohen Priorität (siehe thematische Beikarte X) sind zu sichern und von Nutzungen freizuhalten, die die klimaökologischen Funktionen dieser Bereiche beeinträchtigen.

(Grundsatz) In Kernbereichen von Kaltluft-Leitbahnen mit mittlerer Priorität sowie in überörtlich bedeutsamen Einzugsgebieten von Kaltluftleitbahnen mit einer mittleren oder vorhandenen Priorität (siehe thematische Beikarte X) sind die klimaökologischen Funktionen dieser Bereiche in planerischen Abwägungsprozessen zu berücksichtigen.

(Ziel) Im Rahmen der Bauleitplanung sind die räumlichen Voraussetzungen für den Erhalt und die Schaffung klimaökologisch bedeutsamer Freiräume sowie den Luftaustausch zu schaffen. Dazu soll der Übergang der siedlungsklimatisch bedeutsamen Bereiche in das Siedlungsgefüge so berücksichtigt werden, dass ihr Wirkungsbereich möglichst weiträumige Teile der Siedlung erfasst.

(Grundsatz) Die Einstellung klimatischer Belange in die Abwägungsvorgänge der räumlichen Planung hat sich an der Bewertung der Räume hinsichtlich ihrer klimaökologischen Bedeutung im Rahmen des Fachbeitrages Klima und der Studie „Klimaanalyse NRW“ (LANUV 2018) zu orientieren.

(Ziel) Damit eine geordnete siedlungsstrukturelle Entwicklung gewährleistet wird, sollen die Gemeinden eine aktive Grundstückspolitik betreiben und an geeigneten Standorten baureife Grundstücke auf den Markt bringen. Um das zur Belebung des Grundstücksmarktes gut geeignete Instrument des Flächentausches besser einsetzen zu können, sind die Reserveflächenüberhänge der FNP abzubauen. Vorrangig sollten solche Flächen zurückgeplant werden, die sich aufgrund ihrer ökologischen Wertigkeit oder ihrer besonderen lufthygienischen und klimaökologischen Funktion am ehesten dazu eignen, dem Freiraum wieder zugeordnet zu werden.

(Ziel) Allgemeine Siedlungsbereiche (ASB) beinhalten die Flächen für Wohnen und wohnverträgliches Gewerbe, für Wohnfolgeeinrichtungen und öffentliche und private Dienstleistungen. Auch siedlungszugehörige Grün-, Sport-, Freizeit- und Erholungsflächen sind Bestandteil des ASB. Den Erfordernissen zur Anpassung an den Klimawandel wird bei der bauleitplanerischen Umsetzung von ASB ab einer Größe von X durch Untergliederung in ein gestuftes städtisches Freiflächensystem und wenn möglich einer Vernetzung mit den „Regionalen Grünzügen“ Rechnung getragen. Die Belange des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) sind bei der Umsetzung von ASB zu beachten.

(Ziel) Die dargestellten „Regionalen Grünzüge“ in den am stärksten verdichteten Bereichen des Planungsgebietes sind als wesentliche Bestandteile des regionalen Freiflächensystems

zu erhalten und zu entwickeln. (...) Diese „Regionalen Grünzüge“ sind die gliedernden landschaftlichen Elemente, die einer bandartigen Verdichtung der Siedlungsentwicklung entgegenwirken. Sie übernehmen für die Siedlungsbereiche bedeutsame Freiraumfunktionen, insbesondere (...) positive lufthygienische und klimaökologische Funktionen. Die fachliche Grundlage für die Bewertung der klimaökologischen Funktionen von Freiflächen stellen die Kaltluft-Leitbahnen überörtlicher Bedeutung samt der dazugehörigen Einzugsgebiete und die Bioklimatischen Gunsträume mit überörtlicher Bedeutung dar (siehe thematische Beikarte X). In den Regionalen Grünzügen sind Planungen und Maßnahmen, die die jeweiligen Funktionen beeinträchtigen, unzulässig.

4.2 Weitere Handlungsfelder Klimaanpassung

Im Folgenden sollen weitere Handlungsfelder im Bereich Klimaanpassung dargestellt werden, die für den Regionalplan Köln relevant sind. Da zu diesen Aspekten jedoch eigenständige, sektorale Fachbeiträge für die Regionalplanung im Regierungsbezirk Köln erstellt werden (z.B. Landwirtschaft, Natur- und Artenschutz, Forstwirtschaft, Wasserwirtschaft), und hier auch nicht immer direkte regionalplanerische Steuerungsmöglichkeiten gegeben sind, werden an dieser Stelle nur einige wesentliche Aspekte angesprochen, um ein umfassenderes Bild der Herausforderung bei der Anpassung an den anthropogenen Klimawandel in der Planungsregion Köln zu skizzieren. Für detaillierte Ausführungen wird auf die jeweiligen sektoralen Fachbeiträge verwiesen.

Wasserwirtschaft

Die in Kapitel 2 beschriebenen anthropogenen Klimaänderungen in der Planungsregion Köln werden sich, auch wenn sie weniger dramatisch ausfallen werden als in anderen Teilen dieser Erde, spürbar auf den natürlichen Wasserhaushalt auswirken. Es ist damit zu rechnen, dass dies alle relevanten Handlungsbereiche der Wasserwirtschaft beeinflussen wird.

Zu erwarten sind etwa häufiger auftretende Starkniederschläge, was entsprechend häufiger zu Überlastungen der Kanalsysteme und Sturzfluten in Siedlungsbereichen führen kann, verbunden mit erheblichen Beschädigungen an Gebäuden und öffentlicher Infrastruktur. Auch die Kapazitäten von Abwasserbehandlungsanlagen oder vorgehaltener Regenwasserspeicherbecken können bei länger anhaltenden oder besonders starken Niederschlägen zukünftig häufiger für eine begrenzte Zeitspanne überschritten werden. Häufig bereits eingeleitete Maßnahmen zur Entlastung der Abwasseranlagen, zum Beispiel die Versickerung, Rückhaltung oder Nutzung von Niederschlagswasser sowie die Flächenentsiegelung in Ballungsräumen, sollte in Zukunft auch in der Planungsregion Köln ergänzt werden durch möglichst flexiblere Steuerungsmöglichkeiten der vorhandenen Infrastruktur. Auch die Erstellung von lokalen / regionalen Risikoanalyse- und Sturzflutgefährdungskarten ist zu prüfen und gegebenenfalls zu unterstützen. Vermehrt auftretende Starkregenereignisse können darüber hinaus in den Mittelgebirgslagen der Planungsregion Köln häufigere Abschwemmungen bewirken, bei denen abbaubare Bodenbestandteile, Nährstoffe oder Krankheitserreger in die Oberflächengewässer eingetragen werden. (MKULNV 2011_A).

Auch wenn Nordrhein-Westfalen ein wasserreiches Land ist, können länger andauernde und stärker ausgeprägte Hitzeperioden insbesondere in der fernen Zukunft in Einzelfällen die Wasserversorgung im Sommer beeinträchtigen. Außerdem wird davon ausgegangen, dass saisonale Abflussänderungen in Oberflächengewässern (z.B. Abflusszunahme im Winter, Abflussabnahme im Sommer) in Zukunft Auswirkungen auf den Hochwasserschutz und die Gewässerbewirtschaftung haben können. Potenzielle Anpassungsmaßnahmen im Bereich des Hochwasserrisikomanagements, die insbesondere durch den Rhein auch für die Planungsregion Köln relevant sein können, reichen von der naturnahen Gestaltung von Gewässern und Auen, dem natürlichen Rückhalt in Gewässern oder ausgewiesenen Retentionsräumen über planerische Vorsorgemaßnahmen (Erstellung von Risikokarten, Hochwasserschutzpläne) bis hin zum technischen Hochwasserschutz. So sollte in Gefährdungsbereichen die Notwendigkeit geprüft werden, Hochwasserschutzdeiche und Rückhaltebecken zu errichten oder neu zu errichten. (MKULNV 2011_A).

Natur-und Artenschutz

Die Lebensgrundlagen von Tieren und Pflanzen in der Planungsregion Köln werden unter anderem auch durch den Wandel der klimatischen Verhältnisse beeinflusst. Dabei gibt es sowohl Arten, die durch Temperatur- und Niederschlagsveränderungen vermutlich negativ beeinflusst werden, als auch solche, die von den Änderungen profitieren könnten. Grundzüge der verschiedenen Herausforderungen für den Natur-und Artenschutz bei der Anpassung an den Klimawandel skizziert die Veröffentlichung „Natur im Wandel. Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt in Nordrhein-Westfalen“ des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (MKULNV 2010).

Dort wird - was sinngemäß auf die Planungsregion Köln übertragen werden kann - ausgeführt, dass „grundsätzlich Handlungsbedarf für alle Lebensräume und Arten besteht, die vom Klimawandel negativ beeinflusst werden. Ihre hohe Anzahl erschwert jedoch eine realistische, umsetzbare Maßnahmenplanung. Daher sollten spezielle Anpassungsmaßnahmen in erster Linie für solche Arten ergriffen werden, für die in Nordrhein-Westfalen derzeit ein besonderer Handlungsbedarf besteht.“

Dies trifft auf Tierarten zu, die nach der FFH-Richtlinie oder der Vogelschutzrichtlinie geschützt sind, für deren Erhalt Nordrhein-Westfalen eine besondere Verantwortung trägt, etwa weil sie weltweit gefährdet sind oder nur hier vorkommen, die zu den Zielarten des Naturschutzes in Nordrhein-Westfalen gehören, oder die in der Roten Liste NRW mindestens als „gefährdet“ eingestuft sind (Gefährdungskategorien 1, 2, 3 oder R [...]). Bei den Pflanzenarten ergibt sich ein besonderer Handlungsbedarf für alle vom Klimawandel negativ beeinflussten Arten, die bereits landesweit gefährdet sind (Rote-Liste-Kategorien 1, 2, 3, R) [...] - darunter vor allem solche der Moore und Feuchtgebiete. Bei allen 18 Lebensräumen, die durch den Klimawandel bedroht sind, besteht [ebenfalls] ein besonderer Handlungsbedarf. Die Empfindlichkeitsanalyse lässt vor allem für Moore, Feucht- und Nassgrünland sowie für Erlenbruchwälder stark negative Auswirkungen des Klimawandels erwarten.“

Über diese Grundzüge hinausgehende, konkrete Hinweise und planerische Anforderungen zum Themenkomplex Anpassung an den Klimawandel sowie dessen Folgen mit Bezug zu Natur-, Artenschutz und Landschaftspflege für den Regierungsbezirk Köln werden im Fachbeitrag des Naturschutzes und der Landschaftspflege des LANUV nach § 8 LNatSchG NRW dargestellt. Dieser wird durch Abteilung 2 „Naturschutz, Landschaftspflege, Jagdkunde, Fischereiökologie“ des LANUV für den in Aufstellung befindlichen Regionalplan Köln erstellt.

Landwirtschaft

Die skizzierten Änderungen des Klimas sorgen zukünftig auch in der Planungsregion Köln für eine Veränderung der landwirtschaftlichen Standorteignungen und Anbaumethoden (z. B. Sorten oder Saattermine). Durch den Rückgang der Frost- und Eistage wird sich die Vegetationsperiode weiter verlängern, so dass landwirtschaftliche Betriebe tendenziell produktiver werden könnten, z. B. im intensiven Gemüseanbau. Die insgesamt höheren Temperaturen führen zu einer schnelleren Pflanzenentwicklung, daneben bringen ansteigende CO₂-Konzentrationen in der Atmosphäre auch einen geringfügigen zusätzlichen „Düngeeffekt“ mit sich. Damit könnten sich die Anbauoptionen in bisherigen Grenzlagen des Ackerbaus in den Mittelgebirgsregionen erweitern.

Auf der anderen Seite kann sich der für die Zukunft projizierte Rückgang der sommerlichen Niederschläge negativ auswirken (MKULNV 2011_B). Darüber hinaus bestehen für die Landwirtschaft durch den Klimawandel weitere mögliche Risiken: Die milder werdenden Winter werden Schädlingen und Krankheiten (z.B. Pilzkrankungen) insgesamt bessere Überlebenschancen ermöglichen und die Ausbreitung neuer Arten beschleunigen. Durch die zunehmenden Sommertage und heißen Tage sowie durch die gleichzeitige Verlagerung der Niederschlagsmaxima vom Sommer in den Winter und Frühling werden Nutzpflanzen mehr Trockenstress erleben. Wetterextreme wie Starkniederschläge können weiter zunehmen. Hierzu zählen nicht nur die projizierten Niederschläge, die mit eher großräumigen Wetterlagen zusammenhängen, sondern wahrscheinlich auch sehr lokale und extreme Starkregen- und Hagelereignisse, die erhebliche Schäden verursachen können. Die zunehmenden heißen Tage sowie Sommertage können bei der Nutztierhaltung zur Fleisch- und Milchproduktion negative Folgen für die Tiergesundheit bedeuten, besonders dann, wenn die Klimatisierung der Ställe an Ihre Grenzen gelangt.

Die Steuerungsmöglichkeiten der Regionalplanung sind im Bereich Landwirtschaft gering, insbesondere was die konkrete Bewirtschaftungsform und die Nutzpflanzen auf den landwirtschaftlichen Flächen angeht. Das Ziel der Regionalplanung sollte dennoch sein, die Voraussetzungen zur Sicherung und Anpassung der Leistungsfähigkeit von Agrarstandorten im Planungsraum Köln auch vor dem Hintergrund des Klimawandels zu schützen. Mögliche planerische Ansätze wären die Ausweisung von Flächen mit besonders ertragreichen Böden, die sich als besonders robust gegenüber Klimaänderungen erweisen, als für die Landwirtschaft sehr gut geeignete Flächen. Flächen, die besonders von vermehrt auftretender Bodenerosion gefährdet sind, erfordern dabei nachhaltig gestaltete acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen, um durch vorsorgenden Bodenschutz zu einer Verringerung der Erosionsgefährdung beizutragen.

Waldökologie, Forstwirtschaft

In der Planungsregion Köln gibt es vor allem in der Eifel und dem Bergischen Land größere Waldgebiete, auch die Niederrheinische Bucht verfügt mit dem Kottenforst und der Ville über bedeutende Waldflächen. Betrachtet man die gesamte Waldfläche der die Planungsregion abdeckenden Regionalforstämter Nationalpark Eifel, Hocheifel-Zülpicher Börde, Rureifel-Jülicher Börde, Rhein-Sieg-Erft und Bergisches Land, so liegt der gesamte Waldflächenanteil bei knapp 30 % (THÜNEN-INSTITUT 2014; das Regionalforstamt Bergisches Land geht dabei über die Grenzen der Planungsregion Köln hinaus). Je nach Regionalforstamt ist die häufigste Baumart die Fichte (Rureifel-Jülicher Börde 43 %; Rhein-Sieg-Erft 23 %), gefolgt von den Baumarten Eiche (Rhein-Sieg-Erft 22 %; Nationalpark Eifel 16 %) und Buche (Bergisches Land 15 %; Rureifel-Jülicher Börde 9 %) (LANDESBETRIEB WALD UND HOLZ NRW 2018).

Anpassungsmaßnahmen im Bereich Waldökologie und Forstwirtschaft müssen auf die zu erwartenden Temperatur- und Niederschlagsveränderungen reagieren (z. B. vermehrter Wärme- und Trockenstress), aber auch eine erhöhte Waldbrandgefahr, vermehrte Schäden durch Stürme (Windbruch/-wurf) und indirekte Effekte wie erhöhte Belastung durch Schadinsekten und veränderte Baumartenwahl berücksichtigen. Insbesondere ist auf Grund der Auswirkungen des anthropogenen Klimawandels die Stabilität und die Anpassungsfähigkeit der Wälder zu erhöhen, z. B. durch naturnahe sowie arten- und strukturreiche Mischbestände (MKULNV 2015).

Während Eichen- und Buchenbestände meistens als anpassungsfähig gegenüber dem anthropogenen Klimawandel gelten, sind die als Nutzholz angepflanzten Fichtenbestände deutlich weniger angepasst gegenüber sommerlichen Trockenphasen. Die bisherige Baumartenpalette sollte daher vor dem Hintergrund des Klimawandels um standortgerechte Baumarten aus anderen biogeografischen Regionen erweitert werden, die bereits an die zu erwartenden Standort(klima)änderungen angepasst sind. Dies ist besonders wichtig, da auch die Buche deutliche Schadsymptome aufweist, die durch die warm-trockene Witterung mit verursacht sind (AFZ-DERWALD 2014). Geeignete Baumarten könnten z.B. die Edelkastanie oder die Küstentanne sein.

Konkrete regionalplanerisch relevante Maßnahmen wären in diesem Zusammenhang beispielsweise die Anpassung von Zielsetzungen, Strategien und Konzepten an ein dynamischeres Leitbild klimaplastischer Wälder, z. B. durch Ausweisung von Schwerpunktbereichen für den Waldumbau. Weitere zu prüfende Anpassungsmaßnahmen wären der Ausbau von und die Weiterentwicklung des Waldschutzmonitorings, der Ausbau von waldbaulichen Versuchs- und Demonstrationsflächen, Weiterentwicklung von Schutzgebietskonzepten für Waldnaturschutz im Klimawandel, Empfehlungen zur Anpassung von Waldbeständen und die Optimierung von Infrastruktur und Logistik zur Schadensbewältigung in Folge von Extremwetterereignissen (MKULNV 2015).

Literatur

- AQUA PLAN GMBH; HYDRO & METEO GMBH & CO KG; DR. PAPADAKIS GMBH (2010): Extremwertstatistische Untersuchung von Starkniederschlägen in NRW (ExUS). Veränderung 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). Unter Mitarbeit von aqua plan GmbH, hydro & meteo GmbH & Co KG und dr. papadakis GmbH. Hg. v. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV). Recklinghausen.
- AFZ-DerWald 2014: Buchenschäden auf exponierten Standorten (15/2014).
- BEKRYAEV, ROMAN V.; POLYAKOV, IGOR V.; ALEXEEV, VLADIMIR A. (2010): Role of Polar Amplification in Long-Term Surface Air Temperature Variations and Modern Arctic Warming. In: J. Climate 23 (14), S. 3888–3906. DOI: 10.1175/2010JCLI3297.1.
- BEZIRKSREGIERUNG KÖLN 2018:
https://www.bezreg-koeln.nrw.de/brk_internet/regierungsbezirk/index.html
- BAUMGART & TERFRÜCHTE (Hrsg.) (2013): Zukunft der Regionalplanung in Nord rhein-Westfalen. In: Arbeitsberichte der Akademie für Raumforschung und Landesplanung (ARL), Nr. 6, Hannover.
- BEREITER, BERNHARD; EGGLESTON, SARAH; SCHMITT, JOCHEN; NEHRBASS-AHLES, CHRISTOPH; STOCKER, THOMAS F.; FISCHER, HUBERTUS et al. (2015): Revision of the EPICA Dome C - CO₂ record from 800 to 600 kyr before present. In: Geophys. Res. Lett. 42 (2), S. 542–549. DOI: 10.1002/2014GL061957.
- BJÖRCK, S., (2011): Current global warming appears anomalous in relation to the climate of the last 20000 years. Clim. Res. 48, 5-11.
- BOER, B. DE; VAN DE WAL, R.S.W.; BINTANJA, R.; LOURENS, L. J.; TUENTER, E. (2010): Cenozoic global ice-volume and temperature simulations with 1-D ice-sheet models forced by benthic $\delta^{18}\text{O}$ records. In: Annals of Glaciology 51 (55), S. 23–33. DOI: 10.3189/172756410791392736.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT [BMEL] 2016: Klimaschutz und Klimawandel. https://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Nachhaltige-Landnutzung/Klimawandel/_Texte/LandwirtschaftUndKlimaschutz.html;jsessionid=8E4B9F49AE2A0DF225FC33CC38153BFC.1_cid358?nn=310028 (zuletzt aufgerufen am 28.08.2018)
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG [BMVBS] (2011): Erneuerbare Energien: Zukunftsaufgabe der Regionalplanung. Berlin.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG [BMVBS] (2013,): Wie kann Regionalplanung zur Anpassung an den Klimawandel beitragen? Bonn.

- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG [BMVBS] (2013₂) (Hrsg.): Methodenhandbuch zur regionalen Klimafolgenbewertung in der räumlichen Planung – Systematisierung der Grundlagen regionalplanerischer Klimafolgenbewertung. Bonn.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR (BMVI) (2017) (Hrsg.): Handlungshilfe Klimawandelgerechter Regionalplan – Ergebnisse des Forschungsprojektes KlimREG für die Praxis. In: MORO Praxis Heft 6/2017, Bonn.
- CORDEX-PROJEKT: EURO-CORDEX – Coordinated Downscaling Experiment – European Domain: <http://www.euro-cordex.net/index.php.en> (zuletzt aufgerufen am 07.07.2017).
- DOWSETT, H.J., ROBINSON, M.M., HAYWOOD, A.M., HILL, D.J., DOLAN, A.M., STOLL, D.K., CHAN, W.-L., ABE-OUCHI, A., CHANDLER, M.A., ROSENBLOOM, N.A., OTTOBLIESNER, B.L., BRAGG, F.J., LUNT, D.J., FOLEY, K.M., RIESSELMAN, C.R. (2012): Assessing confidence in Pliocene sea surface temperatures to evaluate predictive models. *Nature Climate Change* 2, 365 EP.
- DWD (2017) - Climate Data Center: http://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/cdc/cdc_node.html (zuletzt aufgerufen am 07.07.2017).
- DWD - WETTERLEXIKON (2017): Wetter und Klima - Deutscher Wetterdienst - Glossar - F - Föhn. DWD. <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?lv2=100784&lv3=100882> (zuletzt geprüft am 18.08.2017).
- DWD₁: <http://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimawandel/klimaszenarien/sres-szenarien.html?nn=344918> (zuletzt geprüft am 06.12.2017).
- DWD₂: http://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimawandel/klimaszenarien/rcp-szenarien_node.html (zuletzt geprüft am 06.12.2017).
- DWD₃: https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/ku_beratung/gesundheit/bioklima/bioklima_node.html (zuletzt geprüft am 20.02.2018).
- ENERGIEATLAS NRW: <http://www.energieatlasnrw.de/site/>
- ENGLANDER, JOHN (2017): <http://www.johnenglander.net/sea-level-rise-blog/single-image-proves-human-caused-global-warming/>
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY: www.eea.europa.eu (zuletzt aufgerufen am 07.07.2017).
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA) (2003): Corine Land Cover 2000, Corine-Datensatz zu Geländehöhe und Nutzungsstruktur, Copenhagen, Dänemark.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA) (2012): Fast Track Service Precursor (FTSP) on Land Monitoring. Degree of soil sealing.
- GANOPOLSKI, A., WINKELMANN, R., SCHELLNHUBER, H.J. (2016): Critical insolation-CO₂ relation for diagnosing past and future glacial inception. *Nature* 529, 200-203.
- GEO-NET (2013): Klimaökologische Analysen Für das Gebiet des Regionalverbandes Ruhr: Kaltlufthaushalt und Durchlüftung. Im Auftrag des Regionalverbandes Ruhr, Kronprinzenstraße 35, 45128 Essen. GEO-NET Umweltconsulting GmbH, Hannover.

- GEO-NET (2014): Konzept zur automatisierten Ableitung von Klimatopen in Nordrhein-Westfalen. Hannover, 05. Mai 2014, 20 Seiten.
- GEST, LÉA; PARRENIN, FRÉDÉRIC; CHOWDHRY BEEMAN, JAI; RAYNAUD, DOMINIQUE; FUDGE, TYLER J.; BUIZERT, CHRISTO; BROOK, EDWARD J. (2017): Leads and lags between Antarctic temperature and carbon dioxide during the last deglaciation. In: *Clim. Past Discuss.*, S. 1–16. DOI: 10.5194/cp-2017-71.
- GROSS (1989): Numerical simulation of the nocturnal flow systems in the Freiburg area for different topographies. *Beitr. Phys. Atmosph.*, H 62, S. 57-72.
- GROSS (1993): Numerical Simulation of canopy flows. Springer Verlag Heidelberg.
- GROSS (2002): The exploration of boundary layer phenomena using a nonhydrostatic mesoscale model. *Meteor. Z.schr.* Vol. 11 Nr. 5., S. 701-710.
- HANSEN, J.; JOHNSON, D.; LACIS, A.; LEBEDEFF, S.; LEE, P.; RIND, D.; RUSSELL, G. (1981): Climate impact of increasing atmospheric carbon dioxide. In: *Science* (New York, N.Y.) 213 (4511), S. 957–966. DOI: 10.1126/science.213.4511.957.
- HANSEN, J., SATO, M., KHARECHA, P., SCHUCKMANN, K. VON, BEERLING, D.J., CAO, J., MARCOTT, S., MASSON-DELMOTTE, V., PRATHER, M.J., ROHLING, E.J., SHAKUN, J., SMITH, P., LACIS, A., RUSSELL, G., RUEDY, R. (2017): Young people's burden. Requirement of negative CO₂ emissions. *Earth Syst. Dynam.* 8, 577-616.
- HENLEY, BEN; ABRAM, NERILIE (2017): The three-minute story of 800,000 years of climate change with a sting in the tail. <https://theconversation.com/the-three-minute-story-of-800-000-years-of-climate-change-with-a-sting-in-the-tail-73368> (zuletzt geprüft am 08.08.2017).
- HENRY, L. G.; MCMANUS, J. F.; CURRY, W. B.; ROBERTS, N. L.; PIOTROWSKI, A. M.; KEIGWIN, L. D. (2016): North Atlantic ocean circulation and abrupt climate change during the last glaciation. In: *Science* 353 (6298), S. 470. DOI: 10.1126/science.aaf5529.
- HERGERT (1991): Klimatische und lufthygienische Situation am Kronsberg und die Beeinträchtigung der klimaökologischen Ausgleichswirkung durch Bebauung. Diplomarbeit der der Abt. Physische Geographie und Landschaftsökologie am Geogr. Inst. der Univers. Hannover. 190 S.
- HÖPPE (1999): The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *International Journal of Biometeorology* Volume 43, S. 71-75
- HÖPPE & MAYER (1987): Planungsrelevante Bewertung der thermischen Komponente des Stadtklimas. *Landschaft und Stadt* 19 (1): S. 22-29.
- IHK 2017: Fachbeitrag der Wirtschaft zum Regionalplan im Regierungsbezirk Köln. Hrsg.: IHK Aachen, IHK Bonn/Rhein-Sieg, IHK Köln.

- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) (Hg.) (2000): Emissions Scenarios. Special Report on Special Report in Emissions Scenarios. Unter Mitarbeit von Nebojsa Nakicenovic and Rob Swart. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom.
Online verfügbar unter
https://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/emission/emissions_scenarios.pdf.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) (Hg.) (2001): Climate Change 2001: The Scientific Basis. Im Internet abrufbar unter
https://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg1/pdf/WG1_TAR-FRONT.PDF (zuletzt aufgerufen am 07.07.2017).
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) (2006): IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, 2006.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) (Hg.) (2007): Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Unter Mitarbeit von Pachauri, R.K and Reisinger, A. Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) (Hg.) (2013): Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Unter Mitarbeit von Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IT.NRW 2018: Bevölkerung der Gemeinden NRWs - 2. Halbjahr 2015. Fortschreibung des Bevölkerungsstandes auf Basis des Zensus vom 09. Mai 2011.
- KLIMA UND RAUM: <http://www.klima-und-raum.org/klimaanpassung>
- KLIMREG – Webtool für einen Klimawandelgerechten Regionalplan: <http://www.klimreg.de> (zuletzt aufgerufen am 07.07.2017).
- KNIELING, KRETSCHMANN, REITZIG, ZIMMERMANN (2015): Diskussionspapier – Regionalplanerische Festlegungen: Möglichkeiten und Grenzen zum Umgang mit den Folgen des Klimawandels. Im Rahmen des BMVI/BBSR-Modellvorhabens der Raumordnung „KlimREG – Klimawandelgerechter Regionalplan“, Hamburg/Berlin.
- KUTTLER (2011): Klimawandel im urbanen Bereich. Teil 2, Maßnahmen. Environmental Sciences Europe 2011: 23:21.
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN [LANUV] (2018): Klimaanalyse Nordrhein-Westfalen. LANUV-Fachbericht 86. Recklinghausen.
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN [LANUV] (2018_B): Energieatlas.NRW. <http://www.energieatlas.nrw.de/site> (zuletzt geprüft am 27.08.2018)

- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN [LANUV] (2017): Auswirkungen des Klimawandels in Nordrhein-Westfalen. Klimafolgenmonitoring 2016. LANUV-Info 38. Unter Mitarbeit von Christina Seidenstücker und Claudia Brinkmann. Hg. v. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV). Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV). Recklinghausen.
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN [LANUV] (2017_B): Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW, Teil 5 - Wasserkraft, LANUV-Fachbericht 40; Herausgeber: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz. Recklinghausen.
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN [LANUV] (2017_C): Treibhausgas-Emissionsinventar Nordrhein-Westfalen 2016; LANUV-Fachbericht 87. Recklinghausen.
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN [LANUV] (2016): Klimawandel und Klimafolgen in Nordrhein-Westfalen. Ergebnisse aus den Monitoringprogrammen 2016. LANUV-Fachbericht 74. Recklinghausen.
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN [LANUV], (2016_B): ATKIS-Basis-DLM und Biotoptypenkartierung. GIS-Datensätze. Recklinghausen.
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN [LANUV] (2015): Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW, Teil 4 - Geothermie, LANUV-Fachbericht 40; Herausgeber: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz. Recklinghausen.
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN [LANUV] (2014): Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW, Teil 3 - Biomasse, LANUV-Fachbericht 40; Herausgeber: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz. Recklinghausen.
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN [LANUV] (2013): Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW, Teil 2 - Solarenergie, LANUV-Fachbericht 40; Herausgeber: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz. Recklinghausen.
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN [LANUV] (2012): Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW, Teil 1 - Windenergie, LANUV-Fachbericht 40; Herausgeber: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz. Recklinghausen.
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN [LANUV] (2010): Klima und Klimawandel in Nordrhein-Westfalen - Daten und Hintergründe. LANUV - Fachbericht 27. Hg. v. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV). Recklinghausen (LANUV-Fachberichte, 27).

- LANDESDATENBANK NRW: <https://www.landesdatenbank.nrw.de/ldb NRW/online/logon> (zuletzt aufgerufen am 07.07.2017).
- MANN, MICHAEL E.; ZHANG, ZHIHUA; HUGHES, MALCOLM K.; BRADLEY, RAYMOND S.; MILLER, SONYA K.; RUTHERFORD, SCOTT; NI, FENBIAO (2008): Proxy-based reconstructions of hemispheric and global surface temperature variations over the past two millennia. In: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 105 (36), S. 13252–13257. DOI: 10.1073/pnas.0805721105.
- MARCOTT, SHAUN A.; SHAKUN, JEREMY D.; CLARK, PETER U.; MIX, ALAN C. (2013): A reconstruction of regional and global temperature for the past 11,300 years. In: Science (New York, N.Y.) 339 (6124), S. 1198–1201. DOI: 10.1126/science.1228026.
- MINISTERIUM FÜR BAUEN, WOHNEN, STADTENTWICKLUNG UND VERKEHR DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN (MBWSV) (2016): Automatische Straßenverkehrszählungen in Nordrhein-Westfalen 2015. Düsseldorf.
- MINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT, NATUR UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN (MKULNV) (2016): Umweltbericht Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf.
- MINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT, NATUR- UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN [MKULNV] (2015): Wald und Waldmanagement im Klimawandel. Anpassungsstrategie für Nordrhein-Westfalen.
- MINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT, NATUR- UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN [MKULNV] (2012): Wald im Klimawandel. Auswirkungen des Klimawandels auf Wälder und Forstwirtschaft in Nordrhein-Westfalen.
- MINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT, NATUR- UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN [MKULNV] (2011_A): Klimawandel und Wasserwirtschaft. Maßnahmen und Handlungskonzepte in der Wasserwirtschaft zur Anpassung an den Klimawandel.
- MINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT, NATUR- UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN [MKULNV] (2011_B): Klimawandel und Landwirtschaft Auswirkungen der globalen Erwärmung auf die Entwicklung der Pflanzenproduktion in Nordrhein-Westfalen.
- MINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT, NATUR- UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN [MKULNV] (2010): Natur im Wandel. Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt in Nordrhein-Westfalen.
- MOSIMANN, TRUTE, FREY (1999): Schutzgut Klima/Luft in der Landschaftsplanung. Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen, Heft 4/99, S. 202-275.
- MOSS, RICHARD H.; EDMONDS, JAE A.; HIBBARD, KATHY A.; MANNING, MARTIN R.; ROSE, STEVEN K.; VAN VUUREN, DETLEF P. et al. (2010): The next generation of scenarios for climate change research and assessment. In: Nature 463 (7282), S. 747–756. DOI: 10.1038/nature08823.

NASA GODDARD INSTITUTE FOR SPACE STUDIES (2017): Data.GISS: GISS Surface Temperature Analysis: Analysis Graphs and Plots.

<https://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs/> (zuletzt geprüft am 08.08.2017).

NOAA₁: http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/#mlo_full

NOAA₂: ftp://aftp.cmdl.noaa.gov/products/trends/co2/co2_annmean_mlo.txt

NOAA₃: <http://www.ncdc.noaa.gov/cag/time-series/global>

PAGANI, M., ZACHOS, J.C., FREEMAN, K.H., TIPPLE, B., BOHATY, S., 2005. Marked decline in atmospheric carbon dioxide concentrations during the Paleogene. *Science* (New York, N.Y.) 309, 600-603.

PARRENIN, F.; MASSON-DELMOTTE, V.; KÖHLER, P.; RAYNAUD, D.; PAILLARD, D.; SCHWANDER, J. et al. (2013): Synchronous change of atmospheric CO₂ and Antarctic temperature during the last deglacial warming. In: *Science* (New York, N.Y.) 339 (6123), S. 1060–1063. DOI: 10.1126/science.1226368.

REGIONALDATENBANK DEUTSCHLAND:

<https://www.regionalstatistik.de/genesis/online/logon> (zuletzt aufgerufen am 07.07.2017).

REGIONALER PLANUNGSVERBAND LEIPZIG-WESTSACHSEN (2015): Regionalplan Leipzig-West Sachsen 2017 – Rohentwurf im Zuge der Gesamtfortschreibung. Im Internet abrufbar unter <http://rpv-westsachsen.de/der-regionalplan/gesamtfortschreibung-regionalplan-west-sachsen-2008/> (letztmaliger Zugriff am 07. 07. 2017)

RÖCKLE & RICHTER (1995): Ermittlung des Strömungs- und Konzentrationsfeldes im Nahfeld typischer Gebäudekonfigurationen - Modellrechnungen. PEF-Bericht 136, Forschungszentrum Karlsruhe.

RODI (1980): Turbulence models and their application in hydraulics. IAHR Section on Fundamentals of Division II: Experimental and mathematical fluid dynamics, Delft.

RUBEL, FRANZ; KOTTEK, MARKUS (2010): Observed and projected climate shifts 1901-2100 depicted by world maps of the Köppen-Geiger climate classification. In: *metz* 19 (2), S. 135–141. DOI: 10.1127/0941-2948/2010/0430.

SCHÄDLER et al. (1996): Vergleich und Bewertung derzeit verfügbarer mikroskaliger Strömungs- und Ausbreitungsmodelle. PEF Bericht 138, Forschungszentrum Karlsruhe.

SCREEN, JAMES A.; SIMMONDS, IAN (2010): The central role of diminishing sea ice in recent Arctic temperature amplification. In: *Nature* 464 (7293), S. 1334–1337. DOI: 10.1038/nature09051.

SMITH, STEVEN J.; EDMONDS, JAMES; HARTIN, CORINNE A.; MUNDRA, ANUPRIYA; CALVIN, KATHERINE (2015): Near-term acceleration in the rate of temperature change. In: *Nature Climate Change* 5 (4), S. 333–336. DOI: 10.1038/nclimate2552.

STAATSKANZLEI DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN (2016): Landesentwicklungsplan Nordrhein-Westfalen (LEP NRW), Düsseldorf.

- STAEGGER, TIM (2016): Temperaturverteilung und Extreme. Hg. v. tagesschau.de. tages-schau.de. <https://wetter.tagesschau.de/wetterthema/2016/12/02/statistik-und-wetter.html> (zuletzt geprüft am 15.09.2017).
- STEFFEN, WILL; ROCKSTRÖM, JOHAN; RICHARDSON, KATHERINE; LENTON, TIMOTHY M.; FOLKE, CARL; LIVERMAN, DIANA et al. (2018): Trajectories of the Earth System in the Anthropocene. In: Proceedings of the National Academy of Sciences. DOI: 10.1073/pnas.1810141115.
- STOCKER; F, T.; QIN, D.; PLATTNER, G.-K; TIGNOR, M.; ALLEN, S. K. et al. (Hg.) (2013): Chapter 5: Information from Paleoclimate Archives. Unter Mitarbeit von Masson-Delmotte, V, M. Schulz, A. Abe-Ouchi, J. Beer, A. Ganopolski et al. Intergovernmental Panel on Climate Change. 14 Bände. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.: Cambridge University Press (Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 5). Online verfügbar unter http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter05_FINAL.pdf.
- STOCKER, T.F., D. QIN, G.-K. PLATTNER, M. TIGNOR, S.K. ALLEN, J. BOSCHUNG, A. NAUELS, Y. XIA, V. BEX AND P.M. MIDGLEY (Hg.) (2013_B): Chapter 12: Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility. Unter Mitarbeit von Collins, M., R. Knutti, J. Arblaster, J.-L. Dufresne, T. Fichefet, P. Friedlingstein, X. Gao, W.J. Gutowski, T. Johns, G. Krinner, M. Shongwe, C. Tebaldi, A.J. Weaver and M. Wehner. Intergovernmental Panel on Climate Change. 14 Bände. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.: Cambridge University Press (Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change). Online verfügbar unter http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter12_FINAL.pdf.
- UMWELTBUNDESAMT (UBA) (2017): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2017, Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2015 <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/berichterstattung-unter-der-klimarahmenkonvention-2>
- UMWELTBUNDESAMT (UBA) (2015): Heizen, Raumtemperatur – gewusst wie. Im Internet abrufbar: <http://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/heizen-bauen/heizen-raumtemperatur> (letztmaliger Zugriff am 12. 06. 2017)
- UMWELTBUNDESAMT (UBA) (2012): Klimaschutz in der räumlichen Planung. Gestaltungsmöglichkeiten der Raumordnung und Bauleitplanung.
- UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC) (1997): Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen: Das Protokoll von Kyoto zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen.
- UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC) (2015): Adoption of the Paris Agreement, Conference of the Parties, Twenty-first session, Paris, 30 November to 11 December 2015 <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09.pdf>

- ULRICH (1987): Simulationen von thermisch induzierten Winden und Überströmungssituationen. *Wiss. Mitt. Meteor. Inst. Univ. München* Nr. 57.
- U.S. GEOLOGICAL SURVEY (USGS) 2004: Geländedatensatz der SRTM-Befliegung. USGS/EROS Data Center, Attn.: Research. Sioux Falls, SD
- VAN DE WAL, R. S. W.; BOER, B. DE; LOURENS, L. J.; KÖHLER, P.; BINTANJA, R. (2011): Reconstruction of a continuous high-resolution CO₂ record over the past 20 million years. In: *Clim. Past* 7 (4), S. 1459–1469. DOI: 10.5194/cp-7-1459-2011.
- VAN VUUREN, D.P., EDMONDS, J., KAINUMA, M., RIAHI, K., THOMSON, A., HIBBARD, K., HURTT, G.C., KRAM, T., KREY, V., LAMARQUE, J.-F., MASUI, T., MEINSHAUSEN, M., NAKICENOVIC, N., SMITH, S.J., ROSE, S.K. (2011): The representative concentration pathways. An overview. *Climatic Change* 109, 5-31.
- VDI (2004): VDI-Richtlinie 3787 Blatt 9. Umweltmeteorologie. Berücksichtigung von Klima und Lufthygiene.
- VDI Verein Deutscher Ingenieure (2008): Richtlinie VDI 3785, Blatt1, Methodik und Ergebnisdarstellung von Untersuchungen zum planungsrelevanten Stadtklima, Düsseldorf.
- VDI Verein Deutscher Ingenieure (2008_B): VDI-Richtlinie 3787 Blatt 2. Umweltmeteorologie. Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung. Teil I: Klima.
- VDI Verein Deutscher Ingenieure (2015): Richtlinie VDI 3787 Blatt 1. Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen. Düsseldorf
- WALKER, M., JOHNSEN, S., RASMUSSEN, S.O., POPP, T., STEFFENSEN, J.-P., GIBBARD, P., HOEK, W., LOWE, J., ANDREWS, J., BJÖRCK, S., Cwynar, L.C., HUGHEN, K., KERSHAW, P., KROMER, B., LITT, T., LOWE, D.J., NAKAGAWA, T., NEWNHAM, R., SCHWANDER, J. (2009): Formal definition and dating of the GSSP (Global Stratotype Section and Point) for the base of the Holocene using the Greenland NGRIP ice core, and selected auxiliary records. *J. Quaternary Sci.* 24, 3-17.
- ZEEBE, RICHARD E.; RIDGWELL, ANDY; ZACHOS, JAMES C. (2016): Anthropogenic carbon release rate unprecedented during the past 66 million years. In: *Nature Geosci* 9 (4), S. 325–329. DOI: 10.1038/ngeo2681.
- ZHANG, YI GE; PAGANI, MARK; LIU, ZHONGHUI; BOHATY, STEVEN M.; DECONTO, ROBERT (2013): A 40-million-year history of atmospheric CO₂. In: *Philosophical transactions. Series A, Mathematical, physical, and engineering sciences* 371 (2001), S. 20130096. DOI: 10.1098/rsta.2013.0096.
- ZHANG, XU; LOHMANN, GERRIT; KNORR, GREGOR; PURCELL, CONOR (2014): Abrupt glacial climate shifts controlled by ice sheet changes. In: *Nature* 512, 290 EP -. DOI: 10.1038/nature13592.
- ZWECKVERBAND GROßRAUM BRAUNSCHWEIG (ZGB) (2012): Ausnahmen von Zielen der Raumordnung - § 6 Abs. 1 ROG rechtssicher und praxisorientiert anwenden! In: *Schriftenreihe zur Regionalentwicklung – Heft 3*, Braunschweig.

Gesetze, Verordnungen und Rechtsprechung

Grundgesetz für die Bundesrepublik Deutschland vom 23. Mai 1949 (BGBl. S. 1), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 23.12.2014 (BGBl. I S. 2438).

Klimaschutzgesetz Nordrhein-Westfalen vom 29.01.2013.

Landesplanungsgesetz Nordrhein-Westfalen (LPIG-NRW) vom 03.05.2005.

Raumordnungsgesetz (ROG) vom 22. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2986).

Urteil des BVerwG vom 18.09.2003, Az. 4 CN 20/02.

Hinweise bezüglich Klimaprojektionsdaten in NRW und Würdigung an die CORDEX-Teammitglieder für die Erarbeitung und Bereitstellung der Selbigen:

Für die Auswertung der Klimaprojektionsdaten für NRW wurden Ergebnisse des CORDEX-Projekts verwendet. Die Daten wurden vom Deutschen Wetterdienst (DWD) für das Land NRW aufbereitet. Die verwendeten Daten haben den Stand vom Juni 2016. Nach den Veröffentlichungsbedingungen zur Benutzung der CORDEX-Modelle erklären die Autoren des LANUV NRW folgende Würdigung in englischer Sprache an die CORDEX-Teammitglieder:

“We acknowledge the World Climate Research Programme's Working Group on Regional Climate, and the Working Group on Coupled Modelling, former coordinating body of CORDEX and responsible panel for CMIP5. We also thank the climate modelling groups (listed in Table 36 of this report) for producing and making available their model output. We also acknowledge the Earth System Grid Federation infrastructure an international effort led by the U.S. Department of Energy's Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison, the European Network for Earth System Modelling and other partners in the Global Organisation for Earth System Science Portals (GO-ESSP).” Für die Auswertung des DWDs wurden folgende zu diesem Datenstand verfügbare Modellläufe verwendet:

institute_id	RCM name	Resolution	driving_model_id	driving_experiment	driving_ensemble_member
CLMcom	CCLM4-8-17	0.11 deg	MPI-ESM-LR	historical,rcp45,rcp85	r1i1p1
CLMcom	CCLM4-8-17	0.11 deg	HadGEM2-ES	historical,rcp45,rcp85	r1i1p1
CLMcom	CCLM4-8-17	0.11 deg	CNRM-CM5	historical,rcp45,rcp85	r1i1p1
CLMcom	CCLM4-8-17	0.11 deg	EC-EARTH	historical,rcp45,rcp85	r12i1p1
CNRM	ALADIN53	0.11 deg	CNRM-CM5	historical,rcp45,rcp85	r1i1p1
DMI	HIRHAM5	0.11 deg	EC-EARTH	historical,rcp45,rcp85	r3i1p1
IPSL- INERIS*	WRF331F	0.11 deg	IPSL-CM5A-MR	historical,rcp45,rcp85	r1i1p1
KNMI	RACMO22E	0.11 deg	EC-EARTH	historical,rcp45,rcp85	r1i1p1
SMHI	RCA4	0.11 deg	CNRM-CM5	historical,rcp45,rcp85	r1i1p1
SMHI	RCA4	0.11 deg	EC-EARTH	historical,rcp45,rcp85	r12i1p1

institute_id	RCM name	Resolution	driving_ mo- del_id	driving_ experiment	driving_ en- semble_ member
SMHI	RCA4	0.11 deg	HadGEM2-ES	historical,rcp45,rcp85	r1i1p1
SMHI	RCA4	0.11 deg	IPSL-CM5A- MR	historical,rcp45,rcp85	r1i1p1
SMHI	RCA4	0.11 deg	MPI-ESM-LR	historical,rcp45,rcp85	r1i1p1

* Für den Niederschlag wurde die Auswertung des WRF331F für den Zeitraum 2041-2050 vom IPSL-INERIS zurückgezogen, davon betroffen ist die Auswertung für den Zeitraum 2021-2050 für NRW für den Parameter Niederschlag, weshalb dieses Modell für diesen Zeitraum nicht mit berücksichtigt wurde

Weitere Informationen zum CORDEX-Projekt sind unter <http://www.euro-cordex.net/index.php.en> abrufbar.

Anhang A 1: Daten Bestand und Potenziale Erneuerbarer Energien

Tabelle A 1: Gesamtpotenzial Windenergie nach Gemeinden (LANUV 2012)

Gemeinde	potenziell nutzbare Fläche in ha	potenziell installierbare Leistung in MW	potenzieller Ertrag in GWh/a
Aachen	495	144	398
Aldenhoven	703	159	399
Alfter	20	12	30
Alsdorf	31	15	43
Bad Honnef	106	30	78
Bad Münstereifel	696	204	500
Baesweiler	253	57	160
Bedburg	1581	327	745
Bergheim	941	207	511
Bergisch Gladbach	≤ 30	≤ 6	≤ 18
Bergneustadt	80	24	60
Blankenheim	543	153	422
Bonn	27	9	22
Bornheim	548	126	308
Brühl	60	21	53
Burscheid	≤ 30	≤ 6	≤ 18
Dahlem	434	135	373
Düren	209	66	174
Eitorf	103	54	132
Elsdorf	262	66	165
Engelskirchen	108	33	82
Erfstadt	1196	267	664
Erkelenz	829	192	494
Eschweiler	732	159	409
Euskirchen	1024	264	616
Frechen	79	30	79
Gangelt	335	75	184
Geilenkirchen	535	138	361
Gummersbach	160	54	139
Heimbach	330	81	213
Heinsberg	470	114	284
Hellenthal	1904	435	1033
Hennef (Sieg)	30	18	43
Herzogenrath	≤ 30	≤ 6	≤ 18
Hückelhoven	130	42	106
Hückeswagen	41	12	31
Hürtgenwald	180	54	131
Hürth	254	54	138
Inden	907	189	431
Jülich	623	147	391
Kall	161	45	124
Kerpen	470	111	287

Gemeinde	potenziell nutzbare Fläche in ha	potenziell installierbare Leistung in MW	potenzieller Ertrag in GWh/a
Köln	424	123	304
Königswinter	55	21	52
Kreuzau	100	33	84
Kürten	18	9	23
Langerwehe	371	72	156
Leichlingen (Rhld.)	≤ 30	≤ 6	≤ 18
Leverkusen	74	27	68
Lindlar	198	69	169
Linnich	781	162	432
Lohmar	≤ 30	≤ 6	≤ 18
Marienheide	110	36	89
Mechernich	641	171	447
Meckenheim	157	39	99
Merzenich	373	78	205
Monschau	168	66	189
Morsbach	106	45	113
Much	76	36	87
Nettersheim	306	105	290
Neunkirchen-Seelscheid	≤ 30	≤ 6	≤ 18
Nideggen	244	60	153
Niederkassel	225	51	124
Niederzier	406	99	252
Nörvenich	382	72	183
Nümbrecht	124	51	126
Odenthal	14	12	28
Overath	≤ 30	≤ 6	≤ 18
Pulheim	422	108	265
Radevormwald	13	9	23
Reichshof	116	54	134
Rheinbach	144	33	82
Roetgen	52	15	40
Rösrath	≤ 30	≤ 6	≤ 18
Ruppichterath	94	39	95
Sankt Augustin	≤ 30	≤ 6	≤ 18
Schleiden	385	102	269
Selkant	315	90	224
Siegburg	≤ 30	≤ 6	≤ 18
Simmerath	284	72	200
Stolberg (Rhld.)	156	36	92
Swisttal	365	90	228
Titz	962	201	518
Troisdorf	≤ 30	≤ 6	≤ 18
Übach-Palenberg	≤ 30	≤ 6	≤ 18
Vettweiß	1146	252	614
Wachtberg	228	66	165
Waldbröl	49	30	73
Waldfeucht	354	75	179

Gemeinde	potenziell nutzbare Fläche in ha	potenziell installierbare Leistung in MW	potenzieller Ertrag in GWh/a
Wassenberg	46	21	52
Wegberg	195	54	133
Weilerswist	616	129	323
Wermelskirchen	≤ 30	≤ 6	≤ 18
Wesseling	35	9	23
Wiehl	35	21	52
Windeck	207	75	181
Wipperfürth	78	39	99
Würselen	64	12	34
Zülpich	983	201	488

Tabelle A 2: Bestand Windenergie nach Gemeinden (Stand: 31.12.2017)

Gemeinde	installierte Leistung in MW	Ertrag in GWh/a	Anzahl Anlagen
Aachen	32,1	65,8	17
Aldenhoven	55,9	133,2	22
Alsdorf	4,6	9,2	2
Baesweiler	8,8	13,9	10
Bedburg	93,5	228,8	34
Bergheim	20,7	43,5	9
Bergneustadt	0,5	0,8	1
Blankenheim	4,9	8,7	5
Dahlem	35,9	95,1	15
Düren	36,9	75,6	16
Elsdorf	13,1	24,8	6
Engelskirchen	0,0	0,0	1
Erfstadt	16,8	27,0	15
Erkelenz	33,9	51,3	27
Eschweiler	44,2	109,9	18
Frechen	0,1	0,1	1
Gangelt	26,3	42,1	19
Geilenkirchen	33,3	64,2	23
Gummersbach	4,0	6,4	2
Heimbach	13,7	21,8	11
Heinsberg	44,5	118,8	21
Hellenthal	26,0	50,5	26
Herzogenrath	6,6	14,5	3
Hückelhoven	20,2	35,4	12
Hückeswagen	4,1	6,0	2
Hürtgenwald	11,3	19,3	7
Hürth	13,6	31,0	5
Jülich	25,1	51,9	16
Kall	10,0	20,3	5
Kerpen	4,6	6,5	4
Kreuzau	6,8	10,6	4
Langerwehe	4,0	4,7	4
Leichlingen (Rhld.)	0,2	0,1	1
Linnich	62,1	145,5	27
Marienheide	1,1	1,8	2
Mechernich	17,6	35,5	13
Merzenich	4,5	5,4	3
Monschau	26,6	51,1	15
Morsbach	2,4	4,1	3
Nettersheim	7,5	11,3	4
Nideggen	14,6	29,0	7
Niederzier	20,7	37,3	9
Nörvenich	5,4	7,0	5
Nümbrecht	0,6	1,0	1
Pulheim	5,6	7,4	3
Radevormwald	11,5	18,5	7

Gemeinde	installierte Leistung in MW	Ertrag in GWh/a	Anzahl Anlagen
Reichshof	1,2	1,9	2
Schleiden	67,8	175,3	25
Selfkant	12,0	21,2	5
Simmerath	50,5	99,9	22
Stolberg (Rhld.)	6,1	8,9	3
Swisttal	3,2	3,0	4
Titz	50,0	95,3	26
Übach-Palenberg	13,5	24,8	11
Vettweiß	8,9	12,1	8
Waldbröl	0,6	1,0	1
Waldfeucht	39,8	53,1	20
Wassenberg	0,1	0,1	1
Wegberg	7,5	12,9	5
Weilerswist	8,0	12,9	10
Wermelskirchen	0,0	0,0	1
Wesseling	3,0	4,8	2
Wipperfürth	2,4	3,9	3
Würselen	15,8	29,9	9
Zülpich	19,3	34,5	7

Tabelle A 3: Gesamtpotenzial Photovoltaik nach Gemeinden (LANUV 2013)

Gemeinde	potenziell installierbare Leistung gesamt (Dach- und Freiflächen) in	potenzieller Ertrag gesamt (Dach- und Freiflächen) in	potenzielle Modulfläche (Freiflächen-PV) in km ²	potenziell installierbare Leistung (Freiflächen-)	potenzieller Ertrag (Freiflächen-PV) in GWh/a
Aachen	776,89	664,9	1,67	299,85	263
Aldenhoven	144,07	130,1	0,6	107,74	99,4
Alfter	110,24	96,3	0,29	52,87	47,9
Alsdorf	162,69	141,9	0,35	63,09	57,2
Bad Honnef	97,81	83,9	0,22	39,55	35,3
Bad Münstereifel	95,01	82,0	0,19	34,32	30,9
Baesweiler	73,02	62,8	0,11	19,43	17,3
Bedburg	233,04	209,7	0,92	165,41	152,1
Bergheim	373,92	333,6	1,17	210,27	193,8
Bergisch Gladbach	281,03	232,6	0,3	53,51	45,2
Bergneustadt	62,95	51,7	0,08	15,01	12,6
Blankenheim	53,68	45,7	0,08	15,1	13,2
Bonn	751,69	636,9	1,16	208,64	184,2
Bornheim	349,27	312,3	1,24	222,48	204,9
Brühl	213,09	189,4	0,66	119,6	109,9
Burscheid	81,21	68,7	0,19	34,2	30
Dahlem	48,76	42,8	0,16	29,34	26,7
Düren	525,43	462,4	1,57	283,22	257,1
Eitorf	84,84	71,5	0,17	29,98	26,3
Elsdorf	130,12	115,6	0,39	69,6	64,1
Engelskirchen	84,44	70,5	0,18	31,56	27,1
Erfstadt	324,81	290,8	1,08	195,22	180,3
Erkelenz	356,87	317,5	1,16	208,73	191,2
Eschweiler	417,88	371,0	1,5	269,13	245
Euskirchen	493,04	440,6	1,8	323,1	296,5
Frechen	308,09	274,3	0,93	167,36	153,6
Gangelt	58,21	50,3	0,1	18,63	16,7
Geilenkirchen	212,64	189,8	0,69	123,32	113,8
Gummersbach	180,77	149,0	0,31	55,42	46,7
Heimbach	20,98	17,7	0,04	6,31	5,5
Heinsberg	286,13	251,7	0,72	129,79	118,7
Hellenthal	53,92	45,6	0,09	16,87	14,8
Hennef (Sieg)	171,22	143,8	0,26	47,35	41,3
Herzogenrath	131,78	113,4	0,22	38,74	34,6
Hückelhoven	245,82	218,8	0,78	141,15	129,7
Hückeswagen	57,82	47,5	0,07	12,04	10,2
Hürtgenwald	50,99	43,7	0,12	22,4	19,9
Hürth	319,48	283,5	0,97	173,76	159,2
Inden	58,50	51,7	0,19	34,51	31,3
Jülich	307,32	275,5	1,08	194,81	179,6
Kall	79,93	68,8	0,2	35,11	31,3
Kerpen	441,06	396,2	1,49	267,31	247,3
Köln	2837,42	2427,6	5,68	1022,51	905,8
Königswinter	195,81	169,2	0,5	89,22	80,7

Gemeinde	potenziell installierbare Leistung gesamt (Dach- und Freiflächen) in	potenzieller Ertrag gesamt (Dach- und Freiflächen) in	potenzielle Modulfläche (Freiflächen-PV) in km ²	potenziell installierbare Leistung (Freiflächen-)	potenzieller Ertrag (Freiflächen-PV) in GWh/a
Kreuzau	70,36	59,9	0,11	19,86	17,5
Kürten	60,98	49,9	0,06	10,5	8,8
Langerwehe	119,03	106,2	0,47	84,75	77,5
Leichlingen (Rhld.)	91,14	76,3	0,15	27,71	24,1
Leverkusen	463,97	390,9	0,85	152,49	132,5
Lindlar	89,14	73,4	0,12	21,01	17,6
Linnich	114,05	101,6	0,36	64,72	59,6
Lohmar	102,96	85,8	0,15	26,35	22,7
Marienheide	56,15	46,4	0,11	19,58	16,6
Mechernich	222,06	195,7	0,73	131,6	119,7
Meckenheim	116,71	100,7	0,25	44,95	40,3
Merzenich	60,88	54,0	0,18	32,27	29,6
Monschau	62,52	51,9	0,09	16,06	13,7
Morsbach	48,33	40,1	0,07	12,07	10,3
Much	61,24	50,6	0,08	15,26	13
Nettersheim	61,35	53,7	0,18	31,85	28,9
Neunkirchen-Seelscheid	65,82	54,2	0,07	12,55	10,4
Nideggen	45,72	38,6	0,09	16	14
Niederkassel	119,64	102,3	0,24	43,48	38,8
Niederzier	160,70	144,1	0,64	114,91	105,1
Nörvenich	112,83	101,6	0,43	78,16	72,3
Nümbrecht	66,44	54,9	0,1	17,5	14,8
Odenthal	39,84	32,6	0,04	6,48	5,4
Overath	128,13	107,9	0,29	52,69	45,9
Pulheim	268,45	236,0	0,75	135,6	123,9
Radevormwald	83,40	68,5	0,1	18,21	15,3
Reichshof	107,02	89,7	0,24	44	38
Rheinbach	195,34	173,5	0,68	122,04	111,7
Roetgen	30,09	25,1	0,04	7,04	6
Rösrath	115,40	98,1	0,31	56,02	49,2
Ruppichteroth	39,71	32,9	0,05	8,88	7,5
Sankt Augustin	193,14	164,8	0,44	78,35	69,6
Schleiden	81,90	69,6	0,17	30,95	27,4
Selfkant	45,96	39,1	0,05	9,36	8,2
Siegburg	104,32	86,8	0,11	20,4	17,4
Simmerath	72,33	60,2	0,1	18,06	15,4
Stolberg (Rhld.)	226,73	194,5	0,48	86,03	76,7
Swisttal	159,07	142,3	0,6	107,88	99,3
Titz	158,97	144,3	0,7	125,7	116
Troisdorf	275,76	234,3	0,53	95,67	83,9
Übach-Palenberg	105,17	92,4	0,25	45,85	41,8
Vettweiß	123,71	111,9	0,53	95,58	88,1
Wachtberg	64,79	54,4	0,08	14,83	12,9
Waldbröl	79,01	65,6	0,12	21,02	17,8
Waldfeucht	45,67	39,0	0,06	11,34	10
Wassenberg	69,74	60,0	0,12	21,91	19,6

Gemeinde	potenziell installierbare Leistung gesamt (Dach- und Freiflächen) in	potenzieller Ertrag gesamt (Dach- und Freiflächen) in	potenzielle Modulfläche (Freiflächen-PV) in km ²	potenziell installierbare Leistung (Freiflächen-)	potenzieller Ertrag (Freiflächen-PV) in GWh/a
Wegberg	176,83	153,8	0,44	79,33	71,5
Weilerswist	234,76	214,4	1,02	184,2	171,4
Wermelskirchen	117,69	97,1	0,15	27,15	22,9
Wesseling	183,63	159,6	0,46	83,15	74,4
Wiehl	129,00	107,9	0,26	47,37	40,8
Windeck	98,33	82,7	0,21	37,4	32,6
Wipperfürth	91,84	75,2	0,1	17,82	15
Würselen	242,49	215,6	0,83	148,81	136,1
Zülpich	207,03	185,6	0,75	135,64	125,3

Tabelle A 4: Bestand Photovoltaik nach Gemeinden (Stand: 31.12.2017)

Gemeinde	Installierte Leistung in MW	Ertrag in GWh/a	Anzahl Anlagen
Aachen	21,4	19,0	1.418
Aldenhoven	4,1	3,6	238
Alfter	2,6	2,3	315
Alsdorf	6,1	5,4	438
Bad Honnef	3,2	2,8	249
Bad Münstereifel	6,0	5,3	561
Baesweiler	5,6	5,0	366
Bedburg	4,7	4,2	375
Bergheim	10,4	9,2	677
Bergisch Gladbach	9,5	8,4	960
Bergneustadt	2,2	1,9	222
Blankenheim	7,1	6,3	369
Bonn	16,6	14,7	1.581
Bornheim	11,0	9,8	734
Brühl	3,3	2,9	292
Burscheid	2,1	1,9	185
Dahlem	6,0	5,3	180
Düren	9,8	8,7	634
Eitorf	3,6	3,2	318
Elsdorf	4,8	4,3	359
Engelskirchen	3,6	3,2	322
Erfstadt	12,6	11,2	1.038
Erkelenz	17,5	15,6	1.026
Eschweiler	7,1	6,3	469
Euskirchen	23,2	20,6	1.400
Frechen	7,3	6,5	376
Gangelt	10,9	9,7	620
Geilenkirchen	15,2	13,5	907
Gummersbach	5,7	5,0	457
Heimbach	2,3	2,0	175
Heinsberg	23,0	20,5	1.240
Hellenthal	5,5	4,9	399
Hennef	0,6	0,6	65
Hennef (Sieg)	9,7	8,6	786
Herzogenrath	18,5	16,4	502
Hückelhoven	10,5	9,3	673
Hückeswagen	3,8	3,3	246
Hürtgenwald	4,5	4,0	350
Hürth	9,5	8,5	420
Inden	5,1	4,5	134
Jülich	10,5	9,3	555
Kall	8,2	7,3	418
Kerpen	15,8	14,0	766
Köln	49,6	44,1	2.787
Königswinter	5,8	5,2	590

Gemeinde	Installierte Leistung in MW	Ertrag in GWh/a	Anzahl Anlagen
Kreuzau	5,1	4,5	447
Kürten	4,7	4,1	438
Langerwehe	3,5	3,1	354
Leichlingen	0,2	0,1	26
Leichlingen (Rhld.)	3,1	2,8	279
Leverkusen	12,1	10,8	952
Lindlar	7,4	6,6	461
Linnich	6,4	5,7	346
Lohmar	5,6	5,0	573
Marienheide	2,6	2,3	221
Mechernich	22,5	20,0	1.083
Meckenheim	6,3	5,6	423
Merzenich	1,8	1,6	152
Monschau	3,8	3,4	331
Morsbach	2,3	2,1	169
Much	4,4	3,9	359
Nettersheim	5,9	5,3	409
Neunkirchen-Seelscheid	5,4	4,8	530
Nideggen	4,9	4,3	433
Niederkassel	5,3	4,7	614
Niederzier	6,7	6,0	321
Nörvenich	5,2	4,6	305
Nümbrecht	4,1	3,6	374
Odenthal	2,1	1,9	258
Overath	5,1	4,5	430
Preußisch Oldendorf	0,0	0,0	1
Pulheim	9,6	8,6	660
Radevormwald	3,9	3,4	238
Reichshof	4,4	3,9	314
Rheinbach	10,7	9,5	572
Roetgen	2,0	1,8	216
Rösrath	3,4	3,0	380
Ruppichterath	3,1	2,7	260
Sankt Augustin	6,5	5,8	536
Schleiden	9,7	8,6	545
Selfkant	6,6	5,9	346
Siegburg	3,9	3,5	302
Simmerath	4,3	3,8	396
Stolberg	0,3	0,3	51
Stolberg (Rhld.)	8,5	7,6	480
Swisttal	8,1	7,2	564
Titz	5,5	4,9	248
Troisdorf	15,6	13,8	813
Übach-Palenberg	6,6	5,8	346
Vettweiß	7,9	7,0	471
Wachtberg	5,6	5,0	341
Waldbröl	2,7	2,4	230

Gemeinde	Installierte Leistung in MW	Ertrag in GWh/a	Anzahl Anlagen
Waldfeucht	6,0	5,3	354
Wassenberg	4,8	4,3	417
Wegberg	10,7	9,5	697
Weilerswist	7,6	6,8	473
Wermelskirchen	4,9	4,4	387
Wesseling	4,0	3,5	304
Wiehl	3,9	3,4	392
Windeck	4,6	4,1	427
Wipperfürth	8,3	7,3	537
Würselen	5,2	4,6	351
Zülpich	11,7	10,4	816

Tabelle A 5: Gesamtpotenzial Biomasse nach Kreisen (LANUV 2014)

Keis	potenzielle Stromerträge in GWh/a	potenzielle Wärmeerträge in GWh/a
Bonn	67,61	145,12
Düren	292,99	598,26
Euskirchen	254,73	535,57
Heinsberg	185,64	421,45
Köln	272,62	584,48
Leverkusen	43,60	87,98
Oberbergischer Kreis	160,19	357,44
Rhein-Erft-Kreis	277,11	525,00
Rheinisch-Bergischer Kreis	81,58	200,13
Rhein-Sieg-Kreis	270,27	558,39
Städteregion Aachen	195,35	433,93

Tabelle A 6: Bestand Biomasse nach Kreisen (Stand: 31.12.2017)

Kreis	installierte Leistung in MW	Ertrag in GWh/a (elektrisch)	Anzahl Anlagen
Bonn	0,6	3,6	1
Düren	10,2	60,7	15
Euskirchen	10,1	60,4	21
Heinsberg	14,9	89,4	24
Köln	6,0	35,7	13
Leverkusen	0,2	1,3	4
Oberbergischer Kreis	2,1	12,5	5
Rhein-Erft-Kreis	2,7	15,9	8
Rheinisch-Bergischer Kreis	5,2	31,4	20
Rhein-Sieg-Kreis	6,2	36,8	13
Städteregion Aachen	13,6	81,1	23

Tabelle A 7: Bestand Biomasse nach Gemeinden (Stand: 31.12.2017)

Gemeinde	installierte Leistung in MW	Ertrag in GWh/a (elektrisch)	Anzahl Anlagen
Aachen	9,9	59,2	14
Bad Honnef	0,0	0,0	1
Baesweiler	0,5	3,0	1
Bergheim	0,0	0,0	1
Bergisch Gladbach	3,6	21,3	9
Blankenheim	1,9	11,2	4
Bonn	0,6	3,6	1
Bornheim	2,2	13,3	3
Brühl	0,2	1,4	1
Burscheid	0,3	1,6	2
Dahlem	0,1	0,8	2
Düren	1,2	7,2	2
Elsdorf	0,3	1,8	1
Erfstadt	0,1	0,4	1
Erkelenz	0,5	3,0	3
Eschweiler	0,0	0,0	1
Euskirchen	5,0	30,0	6
Frechen	0,4	2,4	2
Gangelt	2,5	14,7	6
Geilenkirchen	0,5	3,0	1
Heinsberg	1,5	8,8	7
Hennef (Sieg)	0,2	0,9	2
Hückelhoven	8,4	50,2	2
Hürtgenwald	1,1	6,6	3
Inden	0,0	0,0	1
Jülich	1,4	8,4	1
Kall	0,6	3,4	2
Kerpen	1,3	7,7	1
Köln	6,0	35,7	13
Kürten	0,3	1,9	4
Leichlingen (Rhld.)	0,3	2,1	2
Leverkusen	0,2	1,3	4
Lindlar	1,8	11,0	2
Linnich	1,3	7,6	3
Lohmar	1,3	7,7	3
Mechernich	0,3	1,9	2
Neunkirchen-Seelscheid	0,4	2,4	2
Nörvenich	3,1	18,7	2
Overath	0,8	4,5	2
Rösrath	0,0	0,1	1
Schleiden	0,1	0,8	1
Selfkant	0,2	1,3	2
Siegburg	0,2	0,9	1
Simmerath	1,8	10,9	4
Stolberg (Rhld.)	0,2	1,4	1

Gemeinde	installierte Leistung in MW	Ertrag in GWh/a (elektrisch)	Anzahl Anlagen
Swisttal	1,9	11,6	1
Titz	1,3	7,5	1
Vettweiß	0,8	4,8	2
Waldbröl	0,0	0,1	1
Waldfeucht	0,3	1,7	1
Wassenberg	0,8	4,7	1
Wegberg	0,3	2,0	1
Weilerswist	0,0	0,1	1
Wesseling	0,4	2,2	1
Wipperfürth	0,2	1,3	2
Würselen	1,1	6,6	2
Zülpich	2,0	12,0	3

Tabelle A 8: Ungenutzte Potenziale Wasserkraft nach Gemeinden (LANUV 2017)

Gemeinde	Anzahl potenzieller Anlagen (Neubau, Repowering)	potenziell installierbare Leistung in kW	potenzieller Ertrag in MWh/a
Aachen	0	0	0
Aldenhoven	0	0	0
Alfter	0	0	0
Alsdorf	0	0	0
Bad Honnef	0	0	0
Bad Münstereifel	0	0	0
Baesweiler	0	0	0
Bedburg	1	54	276
Bergheim	0	0	0
Bergisch Gladbach	0	0	0
Bergneustadt	0	0	0
Blankenheim	0	0	0
Bonn	0	0	0
Bornheim	0	0	0
Brühl	0	0	0
Burscheid	0	0	0
Dahlem	1	91	345
Düren	4	466	2.384
Eitorf	0	0	0
Elsdorf	0	0	0
Engelskirchen	3	400	1.518
Erfstadt	0	0	0
Erkelenz	0	0	0
Eschweiler	0	0	0
Euskirchen	0	0	0
Frechen	0	0	0
Gangelt	0	0	0
Geilenkirchen	0	0	0
Gummersbach	0	0	0
Heimbach	0	0	0
Heinsberg	2	530	2.465
Hellenthal	0	0	0
Hennef (Sieg)	0	0	0
Herzogenrath	0	0	0
Hückelhoven	0	0	0
Hückeswagen	1	182	746
Hürtgenwald	0	0	0
Hürth	0	0	0
Inden	1	50	206
Jülich	0	0	0
Kall	0	0	0
Kerpen	0	0	0
Köln	0	0	0
Königswinter	0	0	0

Gemeinde	Anzahl potenzieller Anlagen (Neubau, Repowering)	potenziell installierbare Leistung in kW	potenzieller Ertrag in MWh/a
Kreuzau	1	57	336
Kürten	0	0	0
Langerwehe	0	0	0
Leichlingen (Rhld.)	0	0	0
Leverkusen	1	68	408
Lindlar	0	0	0
Linnich	1	461	2.401
Lohmar	0	0	0
Marienheide	0	0	0
Mechernich	0	0	0
Meckenheim	0	0	0
Merzenich	0	0	0
Monschau	0	0	0
Morsbach	0	0	0
Much	0	0	0
Nettersheim	0	0	0
Neunkirchen-Seelscheid	1	52	209
Nideggen	0	0	0
Niederkassel	0	0	0
Niederzier	1	115	586
Nörvenich	0	0	0
Nümbrecht	0	0	0
Odenthal	0	0	0
Overath	3	332	1.315
Pulheim	0	0	0
Radevormwald	2	1.240	1.916
Reichshof	0	0	0
Rheinbach	0	0	0
Roetgen	0	0	0
Rösrath	0	0	0
Ruppichterath	0	0	0
Sankt Augustin	0	0	0
Schleiden	2	149	609
Selfkant	0	0	0
Siegburg	0	0	0
Simmerath	0	0	0
Stolberg (Rhld.)	0	0	0
Swisttal	0	0	0
Titz	0	0	0
Troisdorf	0	0	0
Übach-Palenberg	0	0	0
Vettweiß	0	0	0
Wachtberg	0	0	0
Waldbröl	0	0	0
Waldfeucht	0	0	0
Wassenberg	0	0	0

Gemeinde	Anzahl potenzieller Anlagen (Neubau, Repowering)	potenziell installierbare Leistung in kW	potenzieller Ertrag in MWh/a
Wegberg	0	0	0
Weilerswist	0	0	0
Wermelskirchen	0	0	0
Wesseling	0	0	0
Wiehl	1	160	607
Windeck	1	74	282
Wipperfürth	1	70	285
Würselen	0	0	0
Zülpich	0	0	0

Tabelle A 9: Bestand Wasserkraft nach Gemeinden (Stand: 01.03.2017)

Gemeinde	installierte Leistung in kW	Ertrag in MWh/a	Anzahl Anlagen
Aachen	248	1.110	2
Bad Münstereifel	15	16	1
Düren	80	267	2
Engelskirchen	4.060	7.795	6
Gummersbach	2.737	2.786	3
Heimbach	25.275	46.500	3
Hellenthal	3.000	2.600	1
Hennef (Sieg)	4	7	1
Hückeswagen	440	2.000	1
Hürtgenwald	67	10	1
Kreuzau	956	4.608	4
Leverkusen	535	1.872	4
Marienneide	70	347	3
Mechernich	3	4	1
Monschau	570	1.000	2
Nettersheim	7,4	12	2
Nideggen	7,5	4	1
Nümbrecht	55	145	1
Overath	160	677	1
Pulheim	42	202	1
Radevormwald	1.822	8.219	3
Reichshof	380	232	2
Roetgen	100	700	1
Ruppichterath	37	178	1
Schleiden	90	34	1
Siegburg	425	1.480	1
Simmerath	280	1.000	1
Stolberg (Rhd.)	377	2.130	2
Wermelskirchen	295	1.312	2
Wiehl	720	2.228	1
Windeck	1.537	3.995	3
Wipperfürth	153	452	2

Anhang A 2: Methodik zur Abgrenzung von Bereichen mit überörtlicher klimaökologischer Bedeutung

Im Folgenden wird detailliert die Methodik beschrieben, die angewandt wurde, um die Ergebnisse der Studie „Klimaanalyse NRW“ hinsichtlich einer für die Regionalplanung relevanten überörtlichen Bedeutung abzugrenzen. Die Ableitung und Begründung der Überörtlichkeit von im Rahmen der Klimaanalyse ermittelten Funktionen, Belastungen und Prozessräumen erfolgt entsprechend der nachfolgend schematisch skizzierten Vorgehensweise. Diese berücksichtigt die Anforderungen und Bedürfnisse der Regionalplanung und wurde in Anlehnung an die im „Methodenhandbuch regionale Klimafolgenbewertung“ (BMVBS 2013) beschriebene Methodik des „Referenzverfahrens“ entwickelt. Das Referenzverfahren basiert wie auch die im Rahmen dieser Studie zu entwickelnden klima-fachlichen Planungsempfehlungen auf dem gegenwärtigen Zustand des Klimas, hat flächen-/bereichsscharfe Aussagen zum Ziel und adressiert die formale Planung.

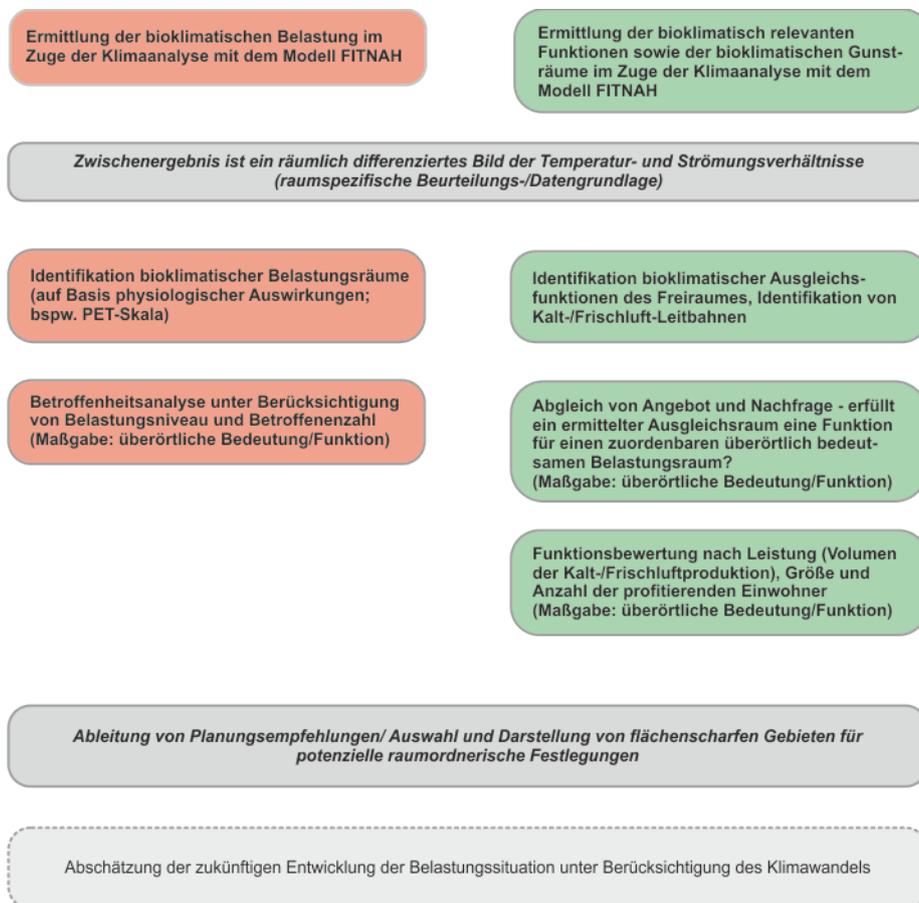


Abbildung A 1: Schematische Darstellung der übergeordneten Arbeitsschritte zur Ableitung von klimabezogenen Planungsempfehlungen für die Regionalplanung in Anlehnung an das „Referenzverfahren“ gem. dem „Methodenhandbuch regionale Klimafolgenbewertung“ (Hrsg. BMVBS 2013)

Die verschiedenen, durch fachliche Planungsempfehlungen zu adressierenden klimatischen Aspekte und damit auch die Inhalte der Karte „Planungsempfehlungen Regionalplanung“ folgen wie dargestellt der anthropozentrischen Grundausrichtung der Studie. Empfehlungen zu thermischen Belastungs- bzw. Wirkräumen und planerischen Umsetzungsmöglichkeiten werden dabei getroffen durch Abgrenzung von:

- im überörtlichen Maßstab bedeutenden Bereichen mit nächtlicher Überwärmung, und
- Ortslagen mit überörtlich bedeutender Überhitzung (tags)

sowie bioklimatischen Ausgleichsräumen und –funktionen durch Abgrenzung von

- Kaltluft-Leitbahnen überörtlicher Bedeutung (inkl. Kernbereiche),
- Einzugsgebieten von Kaltluft-Leitbahnen überörtlicher Bedeutung (Ausgleichsräume) und
- Bioklimatischen Gunsträumen überörtlicher Bedeutung (tags).

Darüber hinaus sind den verschiedenen Inhalten der Karte „Planungsempfehlungen Regionalplanung“ dort wo zweckmäßig und fachlich sinnvoll bereits weitergehende Hinweise für eine Zuordnung zu den verschiedenen regionalplanerischen Instrumenten (Grundsatz/Ziel; textliche/zeichnerische Festlegung) beige gestellt.

Die detaillierte Vorgehensweise im Zuge der Ableitung der aufgeführten Inhalte und fachlichen Planungsempfehlungen, die zur Herleitung der geforderten Überörtlichkeit herangezogenen Indikatoren sowie eine Begründung der jeweiligen Überörtlichkeit werden nachfolgend in einem jeweils eigenen Unterkapitel erläutert.

A 2.1 Regional bedeutsame Belastungsräume (nachts)

Ausgangspunkt für die Abgrenzung von im regionalen Bewertungsmaßstab bei Strahlungswetterlagen einer erheblichen nächtlichen Überwärmung ausgesetzten Belastungsräumen ist der Ergebnis-Datensatz der FITNAH-Modellierung der Klimaanalyse NRW für den Zeitpunkt 04:00 Uhr morgens. Als Voraussetzung für eine Belastungssituation, welche im regionalen Maßstab bedeutsam ist, also ein regionalplanerisches Eingreifen rechtfertigt und erfordert, wird die Kombination aus einer bestehenden erheblichen, realen (physiologischen) Belastungssituation sowie einer im regionalen Maßstab großen Betroffenenzahl angesehen. Die Betroffenenzahl erlaubt Rückschlüsse auf eine mögliche Überörtlichkeit der mittels der ersten Voraussetzung festgestellten Belastungsschwerpunkte, da anzunehmen ist, dass je größer die Betroffenenzahl ist, es gleichermaßen schwieriger und unwahrscheinlicher wird, dass den entsprechenden Belastungen hinreichend entgegenwirkende Maßnahmen von der betroffenen Kommune allein ergriffen und durchgeführt werden können.

Vor diesem Hintergrund werden in einem ersten Schritt all jene Siedlungsflächen ermittelt, für die das Modell in der Klimaanalyse NRW eine nächtliche Minimaltemperatur von mehr als 20 °C berechnet hat und welche somit der höchsten Belastungsstufe zuzuordnen sind (starke thermische Belastung/Urbane Wärmeinsel). Der resultierende Datensatz beinhaltet somit nur noch Siedlungsflächen, welche die erste der beiden oben genannten Voraussetzungen erfüllen.

Anschließend werden mittels einer Verschneidung der hoch belasteten Siedlungsflächen mit gemeinde-spezifisch berechneten Einwohnerdichten die flächenspezifischen Betroffenenzahlen abgeschätzt und statistisch ausgewertet. Die gemeinde-spezifische Einwohnerdichte wurde dabei als Zahl der Einwohner je Hektar Siedlungsfläche (Wohn-, Gewerbe- und Industrieflächen) auf Grundlage der amtlichen Einwohnerstatistiken nach Gemeinden ermittelt (Quelle: IT.NRW; Stand: 31.12.2015).

Eine regionale Bedeutsamkeit von nächtlichen Belastungsräumen wird auf dieser Grundlage für alle Siedlungsbereiche angenommen, deren Betroffenenzahlen das NRW-weite 85 %-Quantil („Top 15 %“) aller als stark belastet ermittelter Flächen überschreiten. In absoluten Zahlen bedeutet dies im Ergebnis, dass für alle Belastungsräume mit mehr als 8.000 Betroffenen (Wert gerundet) eine regionale Bedeutung angenommen wird.

Da auch innerhalb dieser Gruppe der regional bedeutsamen Belastungsräume noch eine erhebliche Spannweite der Betroffenenzahlen zu beobachten ist, werden die regional bedeutsamen Belastungsräume in einem abschließenden Bewertungsschritt einer zusätzlichen Klassifizierung unterzogen. Aus dieser lassen sich Rückschlüsse auf die Dringlichkeit des regionalplanerischen Handelns ziehen sowie Aussagen darüber treffen, ob die vorhandene Belastungssituation möglicherweise Ziel-Festlegungen oder aber eher lediglich Grundsatz-Festlegungen zu begründen vermag. Die Klassifizierung wurde der o. g. statistischen Methodik folgend wiederum auf Basis von Quantilen vorgenommen (Tabelle A 10).

Tabelle A 10: Klassifizierung regional bedeutsamer nächtlicher Belastungsräume

Bewertungsklasse	Quantil	Betroffenheit (gerundete Betroffenenzahl)	Regionalplanerisches Bewertung
sehr hohe Priorität/ sehr hoher Handlungsbedarf	95 %	>30.000	für Zielfestlegungen geeignet, Berücksichtigung bei Siedlungsentwicklung zwingend
hohe Priorität/ hoher Handlungsbedarf	90 %	>12.200 und <30.000	für Zielfestlegungen (ggf. multifunktional) geeignet, Berücksichtigung bei Siedlungsentwicklung zwingend
Priorität vorhanden/ Handlungsbedarf vorhanden	85 %	>8.000 und <12.200	für Grundsatzfestlegungen geeignet, multifunktionale Ziel-Festlegungen denkbar

A 2.2 Regional bedeutsame Belastungsräume (tags)

Neben der nächtlichen Belastungssituation infolge einer Beeinträchtigung des Schlafs kann auch die physiologische Belastung durch eine Überhitzung am Tage eine überörtliche Bedeutung entwickeln und damit ein Eingreifen der Raumordnung rechtfertigen und erfordern. Insbesondere können ausgehend von den besonders Hitze belasteten Siedlungsflächen am Tage nahe gelegene, gut erreichbare Freiflächen mit einer weitaus günstigeren thermischen Situation (oftmals Wälder) ermittelt und ggf. einer (zusätzlichen) raumordnerischen Sicherung zugeführt werden.

Ausgangspunkt der Bewertung ist der Ergebnis-Datensatz der PET aus der FITNAH-Modellierung der Klimaanalyse NRW für den Zeitpunkt 15 Uhr. Als Voraussetzung für das Vorliegen von im regionalen Maßstab bedeutsamen Hitze-Belastungsräumen wird wiederum die Kombination aus einer bestehenden erheblichen Belastungssituation sowie einer im landesweiten Maßstab großen Betroffenzahl angesehen. Eine große Betroffenzahl lässt hier insbesondere einen hohen Bedarf an entsprechenden, klimaökologisch günstigeren Rückzugs- und Erholungsräumen erwarten, welche gesichert oder ggf. entwickelt werden müssen.

In einem ersten Schritt werden dabei für das Vorliegen einer erheblichen Belastung abweichend dem Vorgehen hinsichtlich der nächtlichen Belastungsräume alle Siedlungsflächen Nordrhein-Westfalens der Belastungsklassen 3 und 4 (starke oder extreme thermische Belastung, mind. 35 °C PET) ausgewählt. Von einer Beschränkung der Auswahl allein auf die höchste Belastungsklasse – analog zur Nachtsituation – wurde dabei aus verschiedenen Gründen abgesehen, u. a. da bereits eine starke Hitzebelastung (insbesondere auch vor dem Hintergrund der zunehmenden Überalterung der Bevölkerung) im Konflikt mit dem Ziel steht, Gesundheit und Wohlbefinden der Bevölkerung zu sichern.

Im Anschluss an die Auswahl der in relevantem Ausmaß von nachmittäglichen Hitzebelastungen betroffenen Siedlungsflächen erfolgt erneut ein Abgleich mit der abgeschätzten flächenspezifischen Anzahl der von diesen Belastungen betroffenen Einwohner. Im Zuge der statistischen Auswertung der sich ergebenden Häufigkeitsverteilung werden nachfolgend alle Belastungsräume, die eine Betroffenzahl von mehr als 70.000 (90 %-Quantil) aufweisen, als regional bedeutsam eingestuft. Hintergrund für dieses Vorgehen ist, dass für eine derart große, räumlich konzentrierte und den erheblichen Hitze-Belastungen ausgesetzte Bevölkerungsgruppe zweifelsohne unterstellt werden kann, dass die Milderung oder gar Vermeidung der Belastungen nicht von der jeweils betroffenen Kommune allein erreicht werden kann. Daraus folgt, dass eine überörtliche Auseinandersetzung mit der gegebenen Problematik notwendig ist und hinreichend begründet werden kann, ohne den Kompetenzbereich der Regionalplanung zu überschreiten. Raumordnerische Festlegungen, die einem derartigen Zweck dienen und den abgegrenzten Belastungsräumen regionaler Bedeutung zugeordnet sind, erfüllen also in jedem Fall die Voraussetzung der Überörtlichkeit.

A 2.3 Regional bedeutsame Kaltluft-Leitbahnen und assoziierte Einzugsgebiete

Die Abgrenzung und Darstellung von regional bedeutsamen Kaltluft-Leitbahnen samt der ihnen zugeordneten und für die jeweilige Leistungsfähigkeit zwingend erforderlichen Einzugsgebiete stellt im landesweiten Betrachtungsmaßstab und unter der Maßgabe der Überörtlichkeit eine große Herausforderung dar. Demzufolge weist die hier zum Einsatz kommende Vorgehensweise eine größere Komplexität auf, als z. B. die schlichte Eingrenzung bedeutsamer Belastungsräume nach statistischen oder gutachterlichen Kriterien.

Grundsätzlich sind die landesweit vorkommenden Kaltluft-Leitbahnen sowie das jeweils transportierte Volumen bereits in den Modell-Ergebnissen der Klimaanalyse NRW als Ras-

terdatensatz des Strömungsfeldes mit Richtung und Geschwindigkeit enthalten. Diese Daten liegen jedoch in einem – aus Sicht der Maßstabsebene der Regionalplanung – hochauflösenden 100 m-Raster vor und müssen somit für die Ableitung von Leitbahnen jedweder Art im Rahmen einer Nachbarschaftsanalyse miteinander verknüpft werden. Überdies müssen Leitbahnen, die zwar nach dem naturwissenschaftlichen Prozessgeschehen zweifelsfrei vorhanden sind, aber keinerlei bioklimatische Funktionen aufweisen, von solchen unterschieden werden, die einer menschlichen Siedlung (Wirkraum) zugeordnet sind und diese mit Kaltluft versorgen. Erst für die verbleibenden Leitbahnen ist die Überörtlichkeit mittels geeigneter Bewertungskriterien untersuch- und darstellbar.

Für die sich ergebenden regional bedeutsamen Leitbahnen sind abschließend die zugehörigen – gleichermaßen regional bedeutsamen – Einzugsgebiete als Kaltluftproduktionsräume (Ausgleichsräume) zu ermitteln. Eine direkt automatisierte, rechnerische Ermittlung der landesweit vorhandenen Leitbahnen und eine nachfolgende Auswahl nach verschiedenen Kriterien in Bezug auf ihre regionale Bedeutsamkeit ist indes vor dem Hintergrund der Datenmenge von mehr als 8 Mio. Rasterzellen und der verfügbaren GIS-Methoden als nicht realisierbar einzuschätzen. Eine Alternative zu dieser direkten Vorgehensweise stellt jedoch die einfache Umkehrung der erforderlichen Ableitungsschritte dar. In diesem Fall wird die Beurteilung der Überörtlichkeit allen weiteren Auswertungsschritten vorangestellt. Ein Vorteil dieser Vorgehensweise liegt – neben der landesweiten Umsetzbarkeit - auch darin, dass auf diese Weise von vornherein ausschließlich Leitbahnen einer weiteren Betrachtung unterzogen werden, die eine klimaökologische Funktionalität aufweisen, die einem Belastungsraum (Wirkraum) zugeordnet werden kann.

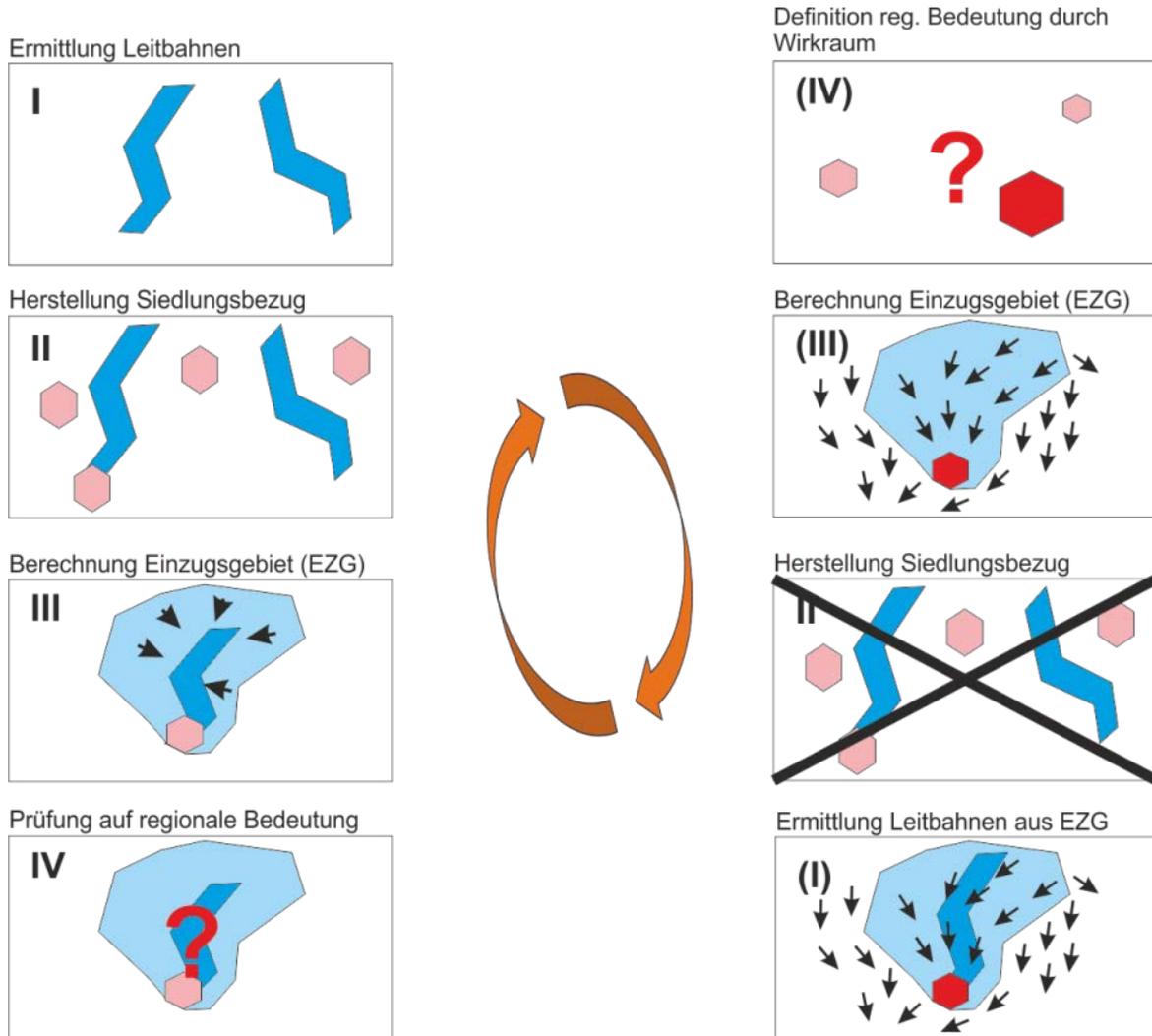


Abbildung A 2: Direkter und indirekter (inverser) Workflow zur Abgrenzung regional bedeutsamer Kaltluft-Leitbahnen und ihrer Einzugsgebiete

Festlegung der überörtlichen Bedeutung anhand von Betroffenzahlen

Die überörtliche Funktionalität und Bedeutung einer Kaltluft-Leitbahn lässt sich zum einen räumlich beschreiben und ist naturgemäß dann gegeben, wenn die Leitbahn (als Voraussetzung ihrer Wirksamkeit) kommunale Grenzen überschreitet. Zum anderen lässt sie sich – durch die topologische Auswertung sowohl von Kaltluftvolumen, Strömungsgeschwindigkeit und Strömungsrichtung als auch der Bevölkerungsverteilung - auch funktional belegen. Als ein geeigneter Indikator für sowohl räumliche Dimensionierung als auch funktionale Bedeutung der jeweils vorliegenden Leitbahn ist auch an dieser Stelle die Größe der Bevölkerungsgruppe, deren Wohngebiete direkt und in nachweisbarem Umfang von der Kaltluftversorgung durch die Leitbahn profitieren, anzusehen.

Einerseits belegt eine im landesweiten Vergleich möglichst große Betroffenzahl die besondere Bedeutung der Ausgleichsfunktion, andererseits lässt sich aus einer großen Betroffenzahl auch auf die Größe des Liefergebiets (räumliche Ausdehnung des Einwirkbereichs) und damit indirekt auch auf die Ausdehnung und Intensität der Leitbahn rückschlie-

ßen. Da der Kaltluftstrom durch den Siedlungskörper auf Grund zunehmender Oberflächenrauigkeit und Turbulenz gebremst wird, ist ein großer Einwirkbereich im Allgemeinen, und damit in Abhängigkeit von der jeweiligen Bevölkerungsdichte auch eine große Betroffenenzahl, auch mit einer ausgedehnten und vergleichsweise starken Ausgleichsströmung verbunden.

Ausgehend von der beschriebenen Indikatorfunktion der Einwohnerzahlen in den bereits im Zuge der Klimaanalyse ermittelten Einwirkbereichen von Kaltluftflüssen und der Häufigkeitsverteilung der für landesweit alle Einwirkbereiche spezifisch abgeschätzten Betroffenenzahlen wurde für das Vorliegen einer regionalen Bedeutung gutachterlich ein Mindestwert von 1.000 Einwohnern festgelegt, die in direkter Weise von einer Kaltluft-Leitbahn profitieren müssen. Diese spezifischen Wirkräume, die sich direkt aus dem berechneten Strömungsfeld ableiten, werden durch Verschneidung der Einwirkbereiche erneut mit den gemeinde-spezifischen Einwohnerdichten ermittelt und anschließend alle Einwirkbereiche mit 1.000 Einwohnern und mehr ausgewählt. Die so als regional bedeutsam bewerteten Einwirkbereiche umfassen in Summe in NRW rund 317 km² Siedlungsflächen mit einer geschätzten Gesamt-Einwohnerzahl von ca. 480.000 Menschen, was einem Anteil von 15 % des von FIT-NAH berechneten Gesamt-Einwirkbereichs der Kaltluftzuflüssen in NRW entspricht. In Bezug auf die gesamte Siedlungsfläche in NRW werden demnach ca. 5,5 % dieser Flächen als regional bedeutsame Einwirkbereiche von Kaltluftzuflüssen bewertet, wobei knapp 3 % der Bevölkerung des Bundeslandes innerhalb dieser Wirkräume beheimatet sind.

Modellierung der Kaltluftleitbahnen und Einzugsgebiete

Die als regional bedeutsam eingestufteten Einwirkbereiche werden nun als Ausflusspunkt (Mündung) eines Abflussgeschehens definiert und einer Einzugsgebietsmodellierung nach hydrologischem Vorbild unter Verwendung des modellierten Strömungsfeldes als Fließrichtungs-Information unterzogen. Auf diese Weise ergibt sich zunächst die Rohkulisse der als regional bedeutsam zu bewertenden Kaltluft-Einzugs- und Entstehungsgebiete. Für alle innerhalb dieser Einzugsgebiete gelegenen Rasterzellen gilt, dass die von ihnen produzierte Kaltluft entsprechend der Modell-Ergebnisse mindestens einem zugeordneten (regional bedeutsamen) Einwirkbereich (>1.000 Betroffene) zuströmt. Aus der Größe des pro Rasterzelle transportierten Kaltluftvolumens, der Strömungsrichtung und der Strömungsgeschwindigkeit aller innerhalb der ermittelten Einzugsgebiete gelegenen Rasterzellen sowie jeweils zu definierender Start- und Endpunkte können nun für jedes einzelne Einzugsgebiet die entsprechenden linienhaften Leitbahnen als Strömungsschwerpunkte abgeleitet werden. Somit ist eine Kaltluft-Leitbahn im Sinne der vorliegenden Analyse wie folgt charakterisiert:

- Konvergierende Strömungsrichtung
- Im Mittel überdurchschnittliche Strömungsgeschwindigkeit
- Im Mittel überdurchschnittliches Abflussvolumen

Sowohl der Start- als auch der Endpunkt sind dabei jeweils durch den zugeordneten Einwirkbereich der Leitbahn (Endpunkt) sowie die „Quellgebiete“ (Startpunkt) an den Außengrenzen der Einzugsgebiete vorgegeben. Zu beachten ist, dass es lediglich einen Endpunkt, aber durchaus mehrere Startpunkte und somit auch mitunter mehr als eine Leitbahn pro Ein-

zugsgebiet geben kann. Die in NRW vorhandenen, als regional bedeutsam einzustufenden Kaltluft-Leitbahnen werden ausgehend von den ermittelten Einzugsgebieten automatisiert mit Hilfe einer GIS-basierten Kostenpfad-Analyse erzeugt. Die oben genannten Charakteristika der Leitbahnen lassen sich aus dem aus der Modellierung vorliegenden rasterbasierten Strömungsfeld herleiten und werden für die GIS-Analyse in „Kostenfaktoren“ – die letzten Endes einem spezifischen Fließwiderstand entsprechen – umgewandelt und gleichwertig (d. h. ohne Wichtungsfaktoren) zu rasterzellen-spezifischen „Gesamtkosten“ aufsummiert. Somit erhält jede einzelne Rasterzelle einen spezifischen „Kostenwert“ bzw. Fließwiderstand, wobei geringe Kosten auch einen geringen Fließwiderstand und hohe Kosten einen hohen Fließwiderstand abbilden. Die „Kostenwerte“ werden darüber hinaus noch mit einem Korrekturfaktor multipliziert, um zu vermeiden, dass im Zuge der Kosten-Kumulation geradlinige, direkte Verbindungen zwischen Start- und Endpunkt Verläufen bevorzugt werden.

Mit Hilfe des GIS werden in der Folge unter Angabe der Start- und Endpunkte durch Addition aller, den auf dem jeweiligen Pfad zwischen Start- und Endpunkt durchflossenen Rasterzellen zugewiesenen Fließwiderständen die „Gesamtkosten“ berechnet, auf deren Grundlage nachfolgend der „kostengünstigste“ Pfad als „regional bedeutsame Kaltluft-Leitbahn“ errechnet wird. Die einzelnen Arbeits- und Zwischenschritte sowie die jeweiligen Zwischenergebnisse sind nachfolgend zum besseren Verständnis der gewählten Vorgehensweise exemplarisch für ein zufällig ausgewähltes Gebiet grafisch dargestellt (Abbildung A 3).

Die rechnerisch im GIS erzeugten Leitbahnen wurden im Anschluss einer fachgutachterlichen Plausibilitätsprüfung unterzogen, in deren Rahmen sich überlagernde oder aufeinander aufbauende Leitbahnen und Einzugsgebiete sinnvoll zusammengefasst werden. Auch wird eine zu vermutende Beeinträchtigung der Leitbahnen durch querende linienhafte Infrastrukturen geprüft. Sofern hierbei die Zerschneidung einer regional bedeutsamen Kaltluft-Leitbahn durch eine stark befahrene Autobahn (>50.000 DTV/24h) festzustellen ist, wird die betroffene Leitbahn in der Karte „Planungsempfehlungen Regionalplanung“ u. a. aus Gründen der Lufthygiene mit einem entsprechenden Hinweis gekennzeichnet.

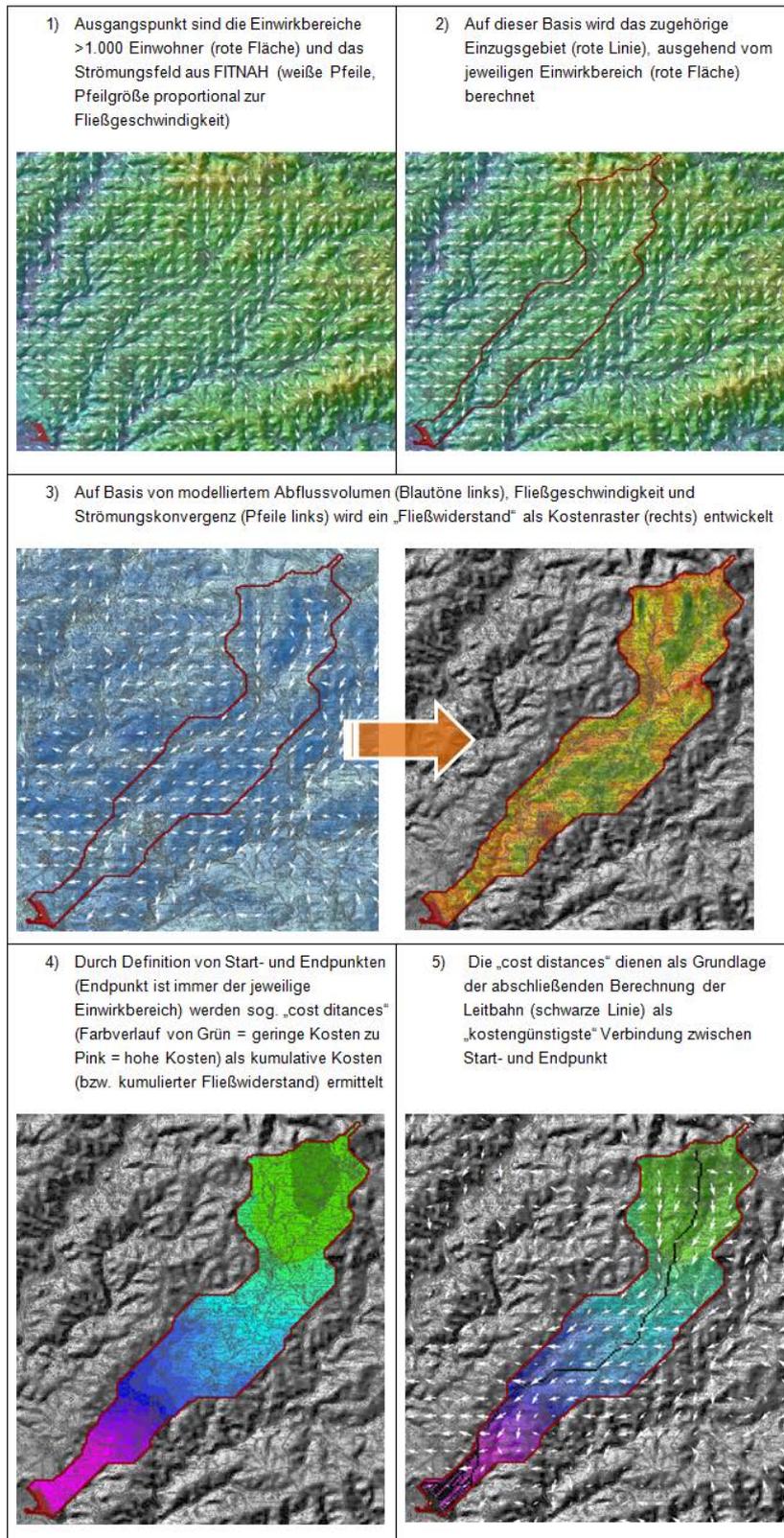


Abbildung A 3: Exemplarischer Ablauf der Ermittlung regional bedeutsamer Kaltluft- Leitbahnen und der zugehörigen Einzugsgebiete

Klassifizierung der Kaltluftleitbahnen und Einzugsgebiete

Sowohl die ermittelten regional bedeutsamen Einzugsgebiete als auch die jeweiligen Kaltluft-Leitbahnen weisen obgleich der Gemeinsamkeit einer überörtlichen Funktion und Bedeutung eine erhebliche Spannweite hinsichtlich Größe, Kaltluftproduktion/-abfluss und Anzahl der von den Funktionen profitierenden Einwohner auf. Aus diesem Grund werden beide Funktionen in einem zusätzlichen Auswertungsschritt einer weiteren Klassifizierung unterzogen. Diese ermöglicht Hinweise auf jeweils bestehende Dringlichkeit des regionalplanerischen Handelns sowie Empfehlungen dazu, ob die vorhandenen Funktionen möglicherweise Ziel-Festlegungen oder lediglich Grundsatz-Festlegungen zu begründen vermögen.

Die Klassifizierung wurde der bereits in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen statistischen Auswertungs-Methodik folgend wiederum auf Basis der landesweiten Häufigkeitsverteilungen mittels verschiedener Quantile vorgenommen. Tabelle A 11 zeigt die resultierende Klassifizierung für die als regional bedeutsam bewerteten Kaltluft-Leitbahnen. In Zusammenhang mit den ermittelten Leitbahnen ist zu beachten, dass alle abgegrenzten und als regional bedeutsam eingestuften Kaltluft-Leitbahnen grundsätzlich in ihrem Kernbereich (Korridor von 1.000 m Breite) eine besonders hohe Sensibilität gegenüber Strömungshindernissen aufweisen, sodass dieser Bereich unabhängig von der weiter differenzierenden Bewertung eine besondere planerische Priorität zur Sicherung der bestehenden bioklimatischen Funktion aufweist.

Tabelle A 11: Klassifizierung regional bedeutsamer Kaltluft-Leitbahnen
(Kernbereiche von 1.000 m Breite) nach Leistungsfähigkeit

Bewertungsklasse	Quantil	Leistungsfähigkeit (gerundetes linienbezogenes Abflussvolumen)	Regionalplanerisches Bewertung
sehr hohe Priorität	66 %	>1,3 Mio. m ³ /km*s	für Zielfestlegungen geeignet, Berücksichtigung bei Siedlungsentwicklung zwingend
hohe Priorität	33 %	>400.000 m ³ /km*s und <1,3 Mio. m ³ /km*s	für Zielfestlegungen geeignet, Berücksichtigung bei Siedlungsentwicklung zwingend
mittlere Priorität	0 %	>40.000 m ³ /km*s und <400.000 m ³ /km*s	für Grundsatzfestlegungen geeignet

Die Klassifizierung der regional bedeutsamen Einzugs- bzw. Kaltluft-Entstehungsgebiete erfolgt anders als bei den Leitbahnen auf Grundlage von zwei Bewertungskriterien: dem jeweils produzierten Gesamtvolumen an Kaltluft sowie der innerhalb des Gebiets beheimateten Einwohnerzahl, denen die verschiedenen, der ermittelten Leitbahn zufließenden Kaltluftabflüsse zugutekommen. Die nachfolgenden Tabellen beschreiben zunächst die Teilergebnisse der beiden Bewertungskriterien.

Tabelle A 12: Klassifizierung regional bedeutsamer Kaltluft-Entstehungsgebiete (Einzugsgebiete der Leitbahnen) nach Kaltluft-Produktivität

Bewertungsklasse	Quantil	Leistungsfähigkeit (gerundetes linienbezogenes Abflussvolumen)
sehr hohe Produktivität	90 %	>25 Mio. m ³ /s
hohe Produktivität	75 %	>7 Mio. m ³ /s und <25 Mio. m ³ /s
mittlere Produktivität	50 %	>2,2 Mio. m ³ /s und <7 Mio. m ³ /s
mäßige Produktivität	25 %	>500.000 m ³ /s und <2,2 Mio. m ³ /s
geringe Produktivität	0 %	<500.000 m ³ /s

Tabelle A 13: Klassifizierung regional bedeutsamer Kaltluft-Entstehungsgebiete (Einzugsgebiete der Leitbahnen) nach Anzahl profitierender Einwohnern

Bewertungsklasse	Quantil	Einwohner (geschätzte Einwohnerzahl im gesamten Einzugsgebiet)
sehr hohe Bedeutung	90 %	>50.000 Einwohner
hohe Bedeutung	75 %	>20.000 Einwohner und <50.000 Einwohner
mittlere Bedeutung	50 %	>7.500 Einwohner und <20.000 Einwohner
mäßige Bedeutung	25 %	>5.000 Einwohner und <7.500 Einwohner
geringe Bedeutung	0 %	<5.000 Einwohner

Die dargestellten Teil-Ergebnisse werden nun mit Hilfe einer Bewertungsmatrix zu einem Gesamtergebnis miteinander verknüpft. Aufgrund der anthropozentrischen Ausrichtung der Klimaaanalyse und dem Ziel, mit den hier erarbeiteten Hinweisen und fachlichen Planungsempfehlungen insbesondere darauf hinzuwirken, dass durch raumordnerische Festlegungen eine Verbesserung der bioklimatischen Situation für eine möglichst große Anzahl der Bewohner des Landes NRW erreicht werden kann, wird im Zuge dieser Verknüpfung das Kriterium „Anzahl der Einwohner im Einzugsgebiet“ gegenüber der erzeugten Kaltluft-Gesamtmenge geringfügig stärker gewichtet. Nachfolgend sind die verwendete Bewertungsmatrix sowie die resultierenden Bewertungsklassen zur Übersicht dargestellt.

Tabelle A 14: Matrix zur Verknüpfung der Teil-Bewertungen von regional bedeutsamen Kaltluft- Entstehungsgebieten (Einzugsgebieten)

EZG		Einwohner				
		1	2	3	4	5
Volumenstrom	1	1	2	2	3	3
	2	1	2	3	4	4
	3	2	2	3	4	5
	4	2	3	3	5	5
	5	3	4	4	5	5

Tabelle A 15: Zusammengeführte Klassifizierung regional bedeutsamer Kaltluft- Entstehungsgebiete (Einzugsgebiete)

Bewertungsklasse	mögliche Klassenkombinationen (P=Kaltluftproduktion, E=Einwohnerzahl im Gebiet)	Regionalplanerisches Bewertung
sehr hohe Priorität	P4E4, P4E5, P5E4, P5E5, P3E5	Regionalplanerische Sicherung von Teilflächen hoher Kaltluftproduktivität (Grünland, Ackerland, Brachen) vordringlich; Zielfestlegung (ggf. teilträumlich) denkbar
hohe Priorität	P5E2, P5E3, P3E4, P2E4, P2E5	Regionalplanerische Sicherung von Teilflächen hoher Kaltluftproduktivität (Grünland, Ackerland, Brachen) vordringlich; Zielfestlegung (ggf. teilträumlich) denkbar
mittlere Priorität	P5E1, P4E2, P4E3, P3E3, P2E3, P1E4, P1E5	Regionalplanerische Sicherung von Teilflächen hoher Kaltluftproduktivität zweckmäßig; Grundsatzcharakter
vorhandene Priorität	P4E1, P3E1, P3E2, P2E2, P1E2, P1E3	Regionalplanerische Sicherung von Teilflächen hoher Kaltluftproduktivität zweckmäßig; Grundsatzcharakter
nachrangige Priorität	P2E1, P1E1	-/-

Sonderfälle – Regional bedeutsame Einzugsgebiete ohne klassische Leitbahn

Ein kleinerer Anteil der aus den Modell-Ergebnissen ableitbaren regional bedeutsamen Einwirkbereiche (>1.000 Betroffene) weist keine klassische Leitbahn-Struktur auf und wird teils nicht allein von orographisch bedingten oder verstärkten Kaltluftabflüssen geprägt. Es handelt sich einerseits um flächenhafte Kaltluftabflüsse, die sich entlang von weitgehend gera-

den, einheitlich strukturierten (homogene Landnutzung) und gleichmäßigen Hangsystemen entwickeln. Andererseits sind dies komplexere, von lokalen Kaltluftabflüssen oder strukturbedingten Ausgleichsströmungen („Flurwindssystem“) gespeiste Kaltluftsysteme, die insbesondere in weniger reliefiertem Gelände zutage treten und von Bedeutung sind.

Die letztgenannten heterogenen Systeme sind insbesondere im landesweiten Betrachtungsmaßstab schwer einzugrenzen und zeichnen sich durch ein scheinbar chaotisches autochthones Strömungsgeschehen aus. Die meist fehlende Anbindung an großräumigere, orographisch induzierte Kaltluftabflüsse mit großen Abflussvolumina führt dazu, dass die Windgeschwindigkeiten und Einzugsgebiete dieser Strömungssysteme deutlich kleiner sind, sodass in der Folge oft auch der zugeordnete Einwirkbereich der Strömungen kleiner und damit auch die Betroffenenzahl geringer ist. Somit sind derartige heterogene Kaltluftflüsse mit regionaler Bedeutung, also einer auch im regionalen Maßstab bedeutenden Betroffenenzahl und Ausdehnung, äußerst selten.

Obgleich also derartige Flurwind geprägten Ausgleichsströmungen („Flurwindssysteme“) auf der hier im Fokus stehenden Planungsebene der Regionalplanung nur vereinzelt von Bedeutung sind, besitzen sie vor allem für wärmebelastete Siedlungskörper im Flachland eine äußerst hohe lokale Relevanz und sind von der kommunalen Planung (u. a. auf Grundlage des im Zuge dieser Studie hochauflösend berechneten Strömungsfeldes) entsprechend zu erfassen und zu sichern.

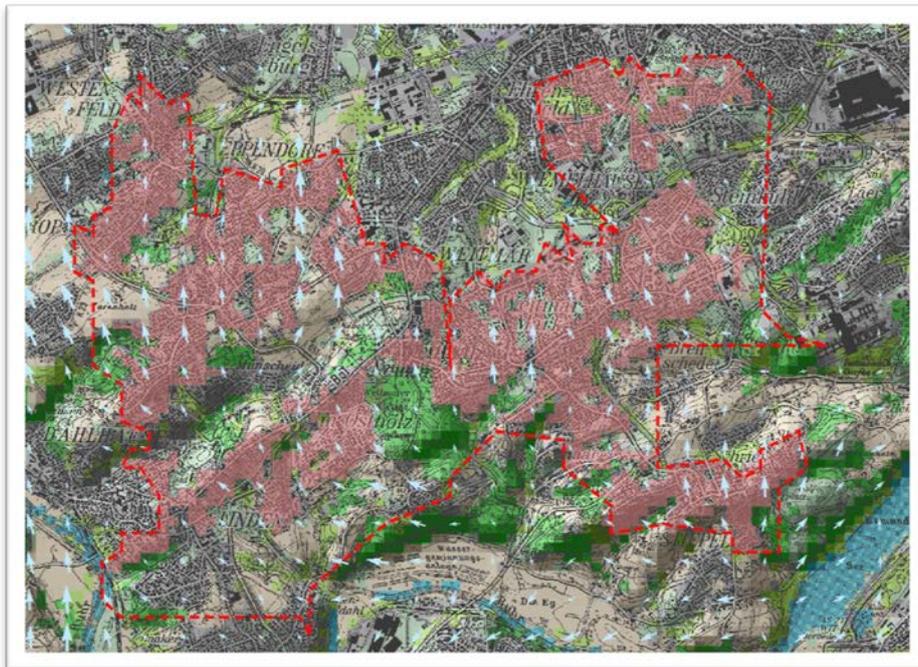


Abbildung A 4: Beispiel eines heterogenen, Flurwind beeinflussten Strömungssystems mit Einzugsgebiet regionale Bedeutung

Sowohl die flächenhaften Kaltluftabflüsse als auch die heterogenen Kaltluftsysteme sind in der Karte „Planungsempfehlungen Regionalplanung– sofern sie eine regionale Bedeutung (Einwirkbereich mit >1.000 Betroffenen) aufweisen – als eigenständige Einzugsgebietskategorien dargestellt.

A 2.4 Regional bedeutsame Ausgleichsräume mit hoher Aufenthaltsqualität am Tage

Die regionale Bedeutsamkeit bioklimatischer Gunsträume für ein Ausweichen der Bevölkerung vor starken oder extremen Hitzebelastungen am Tage sowie zur Erholung von bestehenden Hitzebelastungen lässt sich aus der Anzahl der von derartigen Belastungen betroffenen Einwohner, der bioklimatischen Aufenthaltsqualität der Ausgleichsräume sowie nicht zuletzt auch der Erreichbarkeit dieser Gunsträume ableiten. Eine hohe Betroffenenzahl begründet in diesem Zusammenhang einen hohen Nutzungsdruck auf vorhandene, thermisch günstige Freiflächen im Umfeld der jeweiligen Belastungsräume und somit auch eine überörtliche Bedeutung, da die verfügbaren Gunsträume zu einem großen Teil nicht innerhalb des kommunalen Planungsraumes der betroffenen Gemeinden liegen. Somit kann der Belastungssituation durch lokale Maßnahmen und Pläne allein nicht hinreichend entgegen gewirkt werden. Vor diesem Hintergrund werden die nach klimaökologischen Kriterien auszuwählenden Gunsträume anschließend in Abhängigkeit von ihrer Entfernung zu überörtlich relevanten Belastungsräumen als regional bedeutsam oder nicht eingestuft und in der Karte „Planungsempfehlungen Regionalplanung“ dargestellt.

In einem ersten Arbeitsschritt werden alle bioklimatisch besonders günstigen Grünflächen mit einer im Modell berechneten PET von weniger als 28 °C am Nachmittag (15 Uhr), d. h. Flächen mit maximal geringen Hitzebelastungen am Tage, aus dem landesweiten Datensatz ausgewählt. Auf diese Weise ergeben sich zunächst ca. 25 % der landesweit vorhandenen Freiflächen als potenziell regional bedeutsame bioklimatische Gunsträume, die mit einem Anteil von über 96 % klar von Wald- und Gehölzflächen dominiert werden.

Anschließend werden alle ermittelten und direkt aneinander angrenzenden Teilflächen und lediglich durch querende Wege, Straßen oder Leitungsschneisen voneinander getrennte sowie auch weniger als 200 m voneinander entfernte, aber funktional zusammenwirkende Teilflächen zusammen gefasst. Im nächsten Schritt werden die Gunsträume ermittelt, die eine Gesamtfläche von 2 km² und mehr aufweisen. Hintergrund dieser Mindestgröße ist die Tatsache, dass regional bedeutsame bioklimatische Gunsträume dazu geeignet sein müssen, einer möglichst großen Zahl Erholungssuchender Raum zu geben, ohne dabei überlastet zu werden. Zuletzt werden dann über eine räumliche Abfrage aus den verbliebenen, ausreichend großen Freiflächen mit geringer oder gar keiner Wärmebelastung am Tage jene Flächen ermittelt, die maximal 10 km von mindestens einem der zuvor bereits ermittelten Belastungsräume regionaler Bedeutung entfernt liegen und somit als bioklimatische Gunsträume regionaler Bedeutung anzusehen sind.

Die zur Anwendung gebrachte Maximalentfernung von 10 km zwischen Belastungs- und Ausgleichsraum lässt sich aus der Vorgabe einer möglichst kurzfristigen (Reisezeit <1 h) Erreichbarkeit auch ohne Einsatz von PKW oder Krafträdern ableiten. Damit verbunden ist eine gleichzeitig unterstellte, klimafreundliche Fahrradnutzung mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 10 bis 15 km/h, die auch für Familien mit Kindern und ältere Menschen problemlos zu erreichen ist (vgl. u. a. Schwierigkeitsstufen-Einteilung von Radtouren des ADFC). Die verbleibenden Flächen stellen demzufolge bioklimatisch günstige, ausreichend

große und für eine große Zahl von starken bis extremen Hitzebelastungen Betroffener gut zu erreichende Rückzugs- und Erholungsräume dar.

Diese großen, jedoch in der Regel mit einer gezielten Anreise verbundenen Flächen werden ferner ergänzt durch im absoluten Nahbereich der Hauptbelastungsräume gelegene bioklimatische Ausgleichsflächen, welche in kürzester Zeit auch fußläufig zur Nah- und Feierabenderholung aufgesucht werden können. Dieser in der Fachplanung auch als „siedlungsnaher Freiraum“ oder „Wohnumfeld“ bezeichnete, unmittelbar an Wohnsiedlungen angrenzende Korridor erstreckt sich auf eine Zone, die fußläufig in 5 bis maximal 10 Minuten erreichbar ist. Unter Annahme einer Durchschnittsgeschwindigkeit zu Fuß von 4 km/h und einer Gehzeit von 6 Minuten ergibt sich hieraus der gewählte Radius von 400 m um die jeweilige Siedlung. Für alle innerhalb dieses Korridors gelegene Freiflächen (ausgehend von den Hauptbelastungsräumen regionaler Bedeutung am Tage) mit einer nachmittäglichen PET <28 °C wird aufgrund ihrer hervorragenden Erreichbarkeit die Mindestgröße von 2 km² auf lediglich 3 ha erheblich verringert, da der Gesamtheit dieser Flächen in Verbindung mit dem jeweils assoziierten als regional bedeutsam bewerteten Hauptbelastungsraum eine außerordentlich hohe und überörtlich relevante klimatische Bedeutung zukommt.

Die im Ergebnis der beschriebenen Herleitungsschritte in der Karte „Planungsempfehlungen Regionalplanung“ dargestellten bioklimatischen Gunsträume regionaler Bedeutung sollten von der Regionalplanung, z. B. durch multifunktionale Begründung von erholungsbezogenen Planzeichen, als Rückzugsräume für die Bevölkerung von in besonderem Maße Hitzebelastungen ausgesetzten Siedlungsräumen gesichert und entwickelt werden.

5 Literaturverzeichnis

aqua plan GmbH; hydro & meteo GmbH & Co KG; dr. papadakis GmbH (2010): Extremwert-statistische Untersuchung von Starkniederschlägen in NRW (ExUS). Veränderung 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). Unter Mitarbeit von aqua plan GmbH, hydro & meteo GmbH & Co KG und dr. papadakis GmbH. Hg. v. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV). Recklinghausen.

Bekryaev, Roman V.; Polyakov, Igor V.; Alexeev, Vladimir A. (2010): Role of Polar Amplification in Long-Term Surface Air Temperature Variations and Modern Arctic Warming. In: *J. Climate* 23 (14), S. 3888–3906. DOI: 10.1175/2010JCLI3297.1.

Bereiter, Bernhard; Eggleston, Sarah; Schmitt, Jochen; Nehrbass-Ahles, Christoph; Stocker, Thomas F.; Fischer, Hubertus et al. (2015): Revision of the EPICA Dome C - CO₂ record from 800 to 600 kyr before present. In: *Geophys. Res. Lett.* 42 (2), S. 542–549. DOI: 10.1002/2014GL061957.

Bezirksregierung Köln (2018): Regierungsbezirk Köln. Hg. v. Bezirksregierung Köln. Online verfügbar unter https://www.bezreg-koeln.nrw.de/brk_internet/regierungsbezirk/index.html, zuletzt geprüft am 20.07.2018.

Björck, S. (2011): Current global warming appears anomalous in relation to the climate of the last 20000 years. In: *Clim. Res.* 48 (1), S. 5–11. DOI: 10.3354/cr00873.

Boer, B. de; van de Wal, R.S.W.; Bintanja, R.; Lourens, L. J.; Tuenter, E. (2010): Cenozoic global ice-volume and temperature simulations with 1-D ice-sheet models forced by benthic $\delta^{18}\text{O}$ records. In: *Annals of Glaciology* 51 (55), S. 23–33. DOI: 10.3189/172756410791392736.

Deutscher Wetterdienst - Wetterlexikon (2017): Wetter und Klima - Deutscher Wetterdienst - Glossar - F - Föhn. DWD. Online verfügbar unter <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?lv2=100784&lv3=100882>, zuletzt geprüft am 18.08.2017.

Deutscher Wetterdienst DWD (2018a): Bioklima. Hg. v. Deutscher Wetterdienst DWD. Deutscher Wetterdienst DWD. Online verfügbar unter https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/ku_beratung/gesundheit/bioklima/bioklima_node.html, zuletzt geprüft am 20.07.2018.

Deutscher Wetterdienst DWD (2018b): RCP-Szenarien. Hg. v. Deutscher Wetterdienst DWD. Deutscher Wetterdienst DWD. Online verfügbar unter https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimawandel/klimaszenarien/rcp-szenarien_node.html, zuletzt geprüft am 20.07.2018.

Deutscher Wetterdienst DWD (2018c): SRES-Szenarien. Hg. v. Deutscher Wetterdienst DWD. Deutscher Wetterdienst DWD. Online verfügbar unter https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimawandel/klimaszenarien/sres-szenarien_node.html, zuletzt geprüft am 20.07.2018.

Etheridge, D. M.; Steele, L. P.; Langenfelds, R. L.; Francey, R. J.; Barnola, J.-M.; Morgan, V. I. (1996): Natural and anthropogenic changes in atmospheric CO₂ over the last 1000 years from air in Antarctic ice and firn. In: *Journal of Geophysical Research* (101), S. 4115–4128.

France Diplomatie (2015): 2015 Paris Climate Conference (COP21). Hg. v. French Ministry for Europe and Foreign Affairs. Online verfügbar unter <http://www.diplomatie.gouv.fr/en/french-foreign-policy/climate/2015-paris-climate-conference-cop21/>, zuletzt geprüft am 04.09.2017.

Ganopolski, A.; Winkelmann, R.; Schellnhuber, H. J. (2016): Critical insolation-CO₂ relation for diagnosing past and future glacial inception. In: *Nature* 529 (7585), S. 200–203. DOI: 10.1038/nature16494.

Gest, Léa; Parrenin, Frédéric; Chowdhry Beeman, Jai; Raynaud, Dominique; Fudge, Tyler J.; Buizert, Christo; Brook, Edward J. (2017): Leads and lags between Antarctic temperature and carbon dioxide during the last deglaciation. In: *Clim. Past Discuss.*, S. 1–16. DOI: 10.5194/cp-2017-71.

Hansen, J.; Johnson, D.; Lacis, A.; Lebedeff, S.; Lee, P.; Rind, D.; Russell, G. (1981): Climate impact of increasing atmospheric carbon dioxide. In: *Science (New York, N.Y.)* 213 (4511), S. 957–966. DOI: 10.1126/science.213.4511.957.

Hansen, James; Sato, Makiko; Kharecha, Pushker; Schuckmann, Karina von; Beerling, David J.; Cao, Junji et al. (2017): Young people's burden. Requirement of negative CO₂ emissions. In: *Earth Syst. Dynam.* 8 (3), S. 577–616. DOI: 10.5194/esd-8-577-2017.

Henley, Ben; Abram, Nerilie (2017): The three-minute story of 800,000 years of climate change with a sting in the tail. Online verfügbar unter <https://theconversation.com/the-three-minute-story-of-800-000-years-of-climate-change-with-a-sting-in-the-tail-73368>, zuletzt geprüft am 08.08.2017.

Henry, L. G.; McManus, J. F.; Curry, W. B.; Roberts, N. L.; Piotrowski, A. M.; Keigwin, L. D. (2016): North Atlantic ocean circulation and abrupt climate change during the last glaciation. In: *Science* 353 (6298), S. 470. DOI: 10.1126/science.aaf5529.

IPCC (Hg.) (2000): Emissions Scenarios. Special Report on Special Report in Emissions Scenarios. Unter Mitarbeit von Nebojsa Nakicenovic and Rob Swart. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom. Online verfügbar unter https://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/emission/emissions_scenarios.pdf.

IPCC (Hg.) (2007): Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Unter Mitarbeit von Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller. IPCC. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.: Cambridge University Press. Online verfügbar unter http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/contents.html, zuletzt geprüft am 13.10.2017.

IPCC (2012): Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change []. Unter Mitarbeit von Field, C. B., V. Barros, T. F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken et al. Hg. v. Field, C. B., V. Barros, T. F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, et al.

IPCC. Cambridge, UK,. Online verfügbar unter http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srex/SREX_Full_Report.pdf.

IPCC (Hg.) (2013): Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Unter Mitarbeit von Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Klima-und-Raum.org (2018): Klima und Raum. Plattform Klimawandel und Raumentwicklung. Hg. v. Akademie für Raumforschung und Landesplanung. Akademie für Raumforschung und Landesplanung. Online verfügbar unter <http://www.klima-und-raum.org/klimaanpassung>, zuletzt geprüft am 20.07.2018.

Landesbetrieb Wald und Holz NRW (2018): Regionalforstämter. Landesbetrieb Wald und Holz NRW. Online verfügbar unter <https://www.wald-und-holz.nrw.de/?id=82>, zuletzt geprüft am 20.07.2018.

LANUV (2010): Klima und Klimawandel in Nordrhein-Westfalen - Daten und Hintergründe. LANUV -Fachbericht 27. Hg. v. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV). Recklinghausen (LANUV-Fachberichte, 27).

LANUV (2016): Klimawandel und Klimafolgen in Nordrhein-Westfalen. Ergebnisse aus den Monitoringprogrammen 2016. LANUV-Fachbericht 74. Unter Mitarbeit von Philippa Breyer, Joachim Gehrman, Ellen Grothues, Andrea Hädicke, Silke Höke, Heinrich König et al. Hg. v. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV). Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV). Recklinghausen (LANUV-Fachberichte, 74). Online verfügbar unter https://www.lanuv.nrw.de/uploads/tx_commercedownloads/fabe74_01.pdf.

LANUV (2017): Auswirkungen des Klimawandels in Nordrhein-Westfalen. Klimafolgenmonitoring 2016. LANUV-Info 38. Unter Mitarbeit von Christina Seidenstücker und Claudia Brinkmann. Hg. v. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV). Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV). Recklinghausen.

Mann, Michael E.; Zhang, Zhihua; Hughes, Malcolm K.; Bradley, Raymond S.; Miller, Sonya K.; Rutherford, Scott; Ni, Fenbiao (2008): Proxy-based reconstructions of hemispheric and global surface temperature variations over the past two millennia. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105 (36), S. 13252–13257. DOI: 10.1073/pnas.0805721105.

Marcott, Shaun A.; Shakun, Jeremy D.; Clark, Peter U.; Mix, Alan C. (2013): A reconstruction of regional and global temperature for the past 11,300 years. In: *Science (New York, N.Y.)* 339 (6124), S. 1198–1201. DOI: 10.1126/science.1228026.

Moss, Richard H.; Edmonds, Jae A.; Hibbard, Kathy A.; Manning, Martin R.; Rose, Steven K.; van Vuuren, Detlef P. et al. (2010): The next generation of scenarios for climate change research and assessment. In: *Nature* 463 (7282), S. 747–756. DOI: 10.1038/nature08823.

NASA Goddard Institute for Space Studies (2018): Data.GISS: GISS Surface Temperature Analysis: Analysis Graphs and Plots. Online verfügbar unter

<https://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs/>, zuletzt aktualisiert am 01.08.2017, zuletzt geprüft am 17.07.2018.

NOAA (2018a): Climate at a Glance. Hg. v. National Oceanic & Atmospheric Administration. Online verfügbar unter <https://www.ncdc.noaa.gov/cag/global/time-series>, zuletzt geprüft am 20.07.2018.

NOAA (2018b): NOAA ESRL DATA. Hg. v. National Oceanic & Atmospheric Administration. Online verfügbar unter ftp://aftp.cmdl.noaa.gov/products/trends/co2/co2_annmean_mlo.txt, zuletzt geprüft am <https://www.ncdc.noaa.gov/cag/global/time-series>.

NOAA (2018c): Recent Monthly Average Mauna Loa CO₂. National Oceanic & Atmospheric Administration.

Pagani, Mark; Zachos, James C.; Freeman, Katherine H.; Tipple, Brett; Bohaty, Stephen (2005): Marked decline in atmospheric carbon dioxide concentrations during the Paleogene. In: *Science (New York, N.Y.)* 309 (5734), S. 600–603. DOI: 10.1126/science.1110063.

Parrenin, F.; Masson-Delmotte, V.; Köhler, P.; Raynaud, D.; Paillard, D.; Schwander, J. et al. (2013): Synchronous change of atmospheric CO₂ and Antarctic temperature during the last deglacial warming. In: *Science (New York, N.Y.)* 339 (6123), S. 1060–1063. DOI: 10.1126/science.1226368.

Rubel, Franz; Kottek, Markus (2010): Observed and projected climate shifts 1901-2100 depicted by world maps of the Köppen-Geiger climate classification. In: *metz* 19 (2), S. 135–141. DOI: 10.1127/0941-2948/2010/0430.

Screen, James A.; Simmonds, Ian (2010): The central role of diminishing sea ice in recent Arctic temperature amplification. In: *Nature* 464 (7293), S. 1334–1337. DOI: 10.1038/nature09051.

Smith, Steven J.; Edmonds, James; Hartin, Corinne A.; Mundra, Anupriya; Calvin, Katherine (2015): Near-term acceleration in the rate of temperature change. In: *Nature Climate Change* 5 (4), S. 333–336. DOI: 10.1038/nclimate2552.

Staeger, Tim (2016): Temperaturverteilung und Extreme. Hg. v. tagesschau.de. tagesschau.de. Online verfügbar unter <https://wetter.tagesschau.de/wetterthema/2016/12/02/statistik-und-wetter.html>, zuletzt aktualisiert am 15.09.2017, zuletzt geprüft am 15.09.2017.

Steffen, Will; Rockström, Johan; Richardson, Katherine; Lenton, Timothy M.; Folke, Carl; Liverman, Diana et al. (2018): Trajectories of the Earth System in the Anthropocene. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences*. DOI: 10.1073/pnas.1810141115.

Stocker, F, T.; Qin, D.; Plattner, G.-K; Tignor, M.; Allen, S. K. et al. (Hg.) (2013a): Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Chapter 12: Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility. Unter Mitarbeit von Collins, M., R. Knutti, J. Arblaster, J.-L. Dufresne, T. Fichet, P. Friedlingstein, X. Gao, W.J. Guttowski, T. Johns, G. Krinner, M. Shongwe, C. Tebaldi, A.J. Weaver and M. Wehner. Intergovernmental Panel on Climate Change. 14 Bände. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.: Cambridge University Press (Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovern-

mental Panel on Climate Change). Online verfügbar unter http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter12_FINAL.pdf.

Stocker, F. T.; Qin, D.; Plattner, G.-K; Tignor, M.; Allen, S. K. et al. (Hg.) (2013b): Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Chapter 5: Information from Paleoclimate Archives. Unter Mitarbeit von Masson-Delmotte, V, M. Schulz, A. Abe-Ouchi, J. Beer, A. Ganopolski et al. Intergovernmental Panel on Climate Change. 14 Bände. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.: Cambridge University Press (Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change). Online verfügbar unter http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter05_FINAL.pdf.

Thünen-Institut, Bundeswaldinventur (BWI) (2014): Landeswaldinventur Nordrhein-Westfalen (2012-2014). Thünen-Institut. Online verfügbar unter [https://bwi.info/start.aspx?Text=Landeswaldinventur%20NW%20\(2012-2014\)&prRolle=public&prInv=LWINW2014&prKapitel=0](https://bwi.info/start.aspx?Text=Landeswaldinventur%20NW%20(2012-2014)&prRolle=public&prInv=LWINW2014&prKapitel=0), zuletzt geprüft am 20.07.2018.

UNFCCC (2015): ADOPTION OF THE PARIS AGREEMENT - Paris Agreement text English. Online verfügbar unter http://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf, zuletzt geprüft am 29.01.2018.

van de Wal, R. S. W.; Boer, B. de; Lourens, L. J.; Köhler, P.; Bintanja, R. (2011): Reconstruction of a continuous high-resolution CO₂ record over the past 20 million years. In: *Clim. Past* 7 (4), S. 1459–1469. DOI: 10.5194/cp-7-1459-2011.

van Vuuren, Detlef P.; Edmonds, Jae; Kainuma, Mikiko; Riahi, Keywan; Thomson, Allison; Hibbard, Kathy et al. (2011): The representative concentration pathways. An overview. In: *Climatic Change* 109 (1-2), S. 5–31. DOI: 10.1007/s10584-011-0148-z.

Walker, Mike; Johnsen, Sigfus; Rasmussen, Sune Olander; Popp, Trevor; Steffensen, Jørgen-Peder; Gibbard, Phil et al. (2009): Formal definition and dating of the GSSP (Global Stratotype Section and Point) for the base of the Holocene using the Greenland NGRIP ice core, and selected auxiliary records. In: *J. Quaternary Sci.* 24 (1), S. 3–17. DOI: 10.1002/jqs.1227.

Zeebe, Richard E.; Ridgwell, Andy; Zachos, James C. (2016): Anthropogenic carbon release rate unprecedented during the past 66 million years. In: *Nature Geosci* 9 (4), S. 325–329. DOI: 10.1038/ngeo2681.

Zhang, Xu; Lohmann, Gerrit; Knorr, Gregor; Purcell, Conor (2014): Abrupt glacial climate shifts controlled by ice sheet changes. In: *Nature* 512, 290 EP -. DOI: 10.1038/nature13592.

Zhang, Yi Ge; Pagani, Mark; Liu, Zhonghui; Bohaty, Steven M.; Deconto, Robert (2013): A 40-million-year history of atmospheric CO₂. In: *Philosophical transactions. Series A, Mathematical, physical, and engineering sciences* 371 (2013), S. 20130096. DOI: 10.1098/rsta.2013.0096.

Landesamt für Natur, Umwelt und
Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen

Leibnizstraße 10
45659 Recklinghausen
Telefon 02361 305-0
poststelle@lanuv.nrw.de

www.lanuv.nrw.de