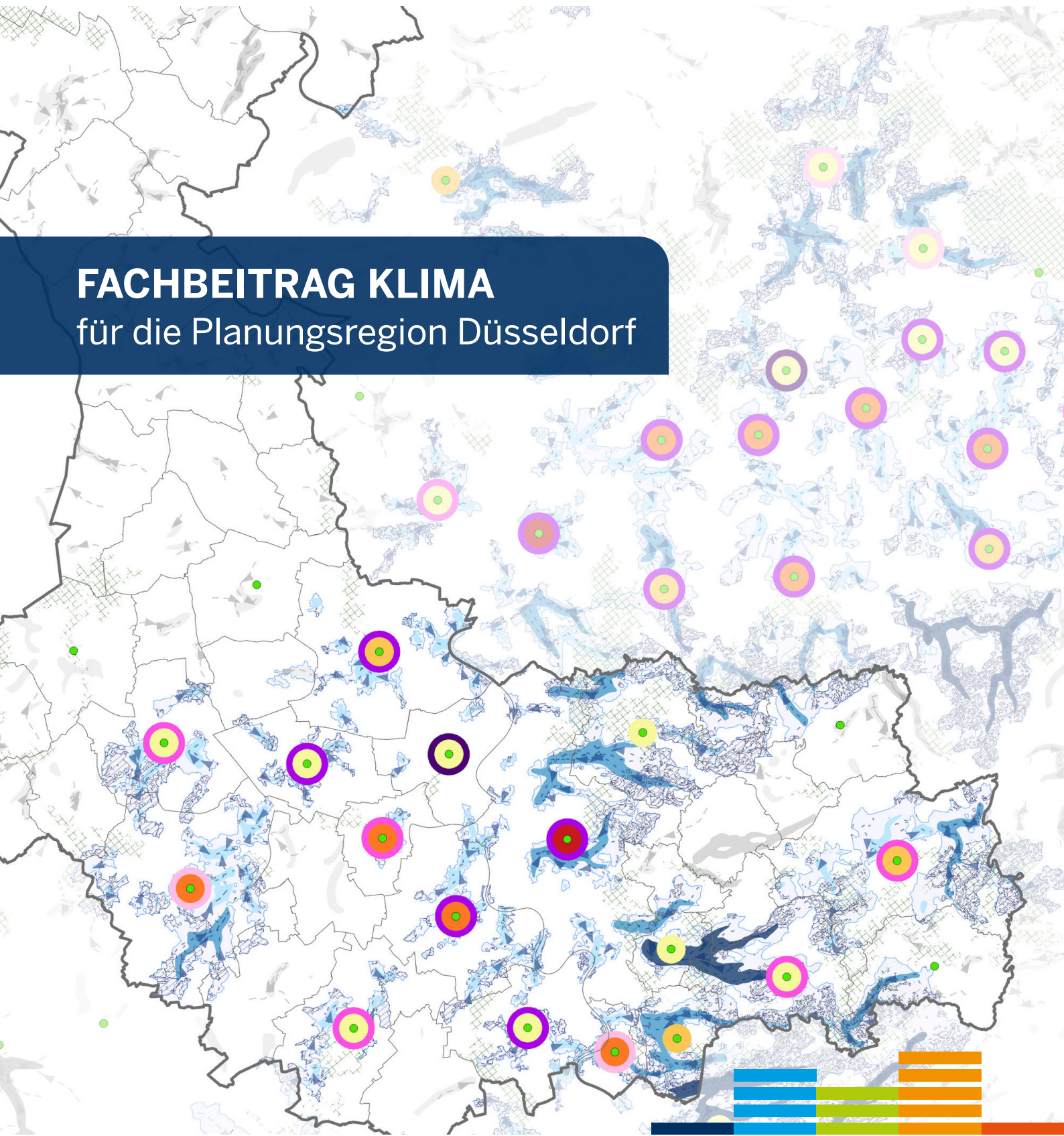




FACHBEITRAG KLIMA

für die Planungsregion Düsseldorf



Inhaltsverzeichnis

1	Einführung.....	5
1.1	Rechtsgrundlagen.....	7
1.2	Das Plangebiet	10
2	Klimawandel im Planungsraum Düsseldorf	12
2.1	Aktuelles Klima und bisherige Entwicklung in der Planungsregion Düsseldorf.....	17
2.1.1	Lufttemperatur	19
2.1.2	Kenntage Temperatur.....	22
2.1.3	Niederschlagssumme	29
2.1.4	Kenntage Niederschlag	33
2.1.5	Wasserhaushalt.....	44
2.1.6	Vegetationszeit und Waldbrandgefahr	57
2.1.7	Fazit bisherige Klimaveränderungen.....	66
2.2	Mögliche zukünftige Entwicklung in der Planungsregion Düsseldorf – Klimaprojektionen	67
2.2.1	RCP-Szenarien und Perzentile	67
2.2.2	Projizierte Klimaveränderung.....	71
2.2.3	Lufttemperatur	71
2.2.4	Lufttemperatur: Jahresverlauf	72
2.2.5	Kenntage Temperatur.....	74
2.2.6	Niederschlagssumme	80
2.2.7	Niederschlagssumme: Jahresverlauf.....	82
2.2.8	Kenntage Niederschlag	84
2.2.9	Wasserhaushalt.....	87
2.2.10	Vegetationszeiten und Waldbrandgefahr	93
2.2.11	Fazit Klimaprojektionen	96
3	Klimaschutz in der Planungsregion Düsseldorf	97
3.1	Treibhausgasemissionen und Klimaschutzziele.....	98
3.1.1	Treibhausgasemissionen in der Planungsregion Düsseldorf.....	98
3.1.2	Ziele zur Reduktion von Treibhausgasemissionen.....	102
3.2	Ausbau der erneuerbaren Energien in der Planungsregion Düsseldorf.....	103
3.2.1	Ausbaustand der erneuerbaren Energien	104
3.2.2	Ausbaupotenzial der erneuerbaren Energien – Strom	108
3.2.3	Ausbaupotenzial der erneuerbaren Energien – Wärme	114
3.2.4	Fazit	118
3.3	Weitere Handlungsfelder Klimaschutz	119

4	Klimaanpassung in der Planungsregion Düsseldorf.....	122
4.1	Hitzebelastung und Kaltlufthaushalt.....	122
4.2	Klimaanalyse NRW.....	124
4.2.1	Methodik der Klimaanalyse NRW	125
4.2.2	Identifikation regional bedeutsamer Klimafunktionen	129
4.2.3	Ergebnisse der Klimaanalyse NRW für die Planungsregion Düsseldorf.....	135
4.3	Regional bedeutsame Klimafunktionen in der Planungsregion Düsseldorf.....	146
4.4	Weitere Handlungsfelder Klimaanpassung	153
5	Klima-fachliche Evaluierung des Regionalplans Düsseldorf.....	158
5.1	Regionalplanerische Steuerungsmöglichkeiten zum Klimaschutz und zur Anpassung an den Klimawandel.....	158
5.1.1	Klimaschutz	159
5.1.2	Klimaanpassung	161
5.2	Bestehende Festlegungen zum Klimaschutz und zur Klimaanpassung im Regionalplan Düsseldorf.....	167
5.3	Fazit: Klima-fachliche Empfehlungen zur Weiterentwicklung des Regionalplans Düsseldorf	177
5.3.1	Klimaschutz	177
5.3.2	Klimaanpassung	179
	Abbildungsverzeichnis	182
	Tabellenverzeichnis	185
	Literaturverzeichnis	189
	Gesetze und Verordnungen	189
	Kapitel 1	190
	Kapitel 2	191
	Kapitel 3	197
	Kapitel 4	199
	Kapitel 5	200

1 Einführung

Der vom Menschen verursachte globale Klimawandel stellt eine der größten gesellschaftlichen Herausforderungen unserer Zeit dar. Sowohl die bereits nachweisbaren Veränderungen des Klimas als auch die mithilfe von Klimamodellen projizierten zukünftigen Entwicklungen wirken sich in Nordrhein-Westfalen auf zentrale Lebensbereiche aus. Betroffen sind dabei unter anderem das Wohnen und Arbeiten, die Wirtschaft, die Mobilität, Energieversorgung und Landwirtschaft sowie die heimische Flora und Fauna. Mit dem Klimawandel gehen die interdisziplinären Handlungsfelder Klimaschutz und Klimaanpassung einher, die auch für die regionale Planung eine große Bedeutung aufweisen.

Im Jahr 2015 verabschiedeten 195 Staaten das Pariser Klimaschutzabkommen, das 2016 in Kraft trat und völkerrechtlich verbindliche Klimaziele festlegt. Deutschland und zahlreiche weitere Länder verpflichteten sich darin, die globale Erderwärmung gegenüber dem vorindustriellen Niveau (1850–1900) auf deutlich unter 2 °C, möglichst auf 1,5 °C, zu begrenzen. Um dieses Ziel zu erreichen, muss spätestens in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts ein Gleichgewicht zwischen dem Ausstoß und der natürlichen Aufnahme von Treibhausgasen, etwa durch Wälder oder Moore, erreicht werden (Treibhausgasneutralität). Voraussetzung dafür ist ein schneller und konsequenter Umbau der globalen Wirtschaft, insbesondere durch eine deutliche Reduzierung des Kohlenstoffausstoßes (Dekarbonisierung). Weitere Zielsetzungen des Abkommens umfassen eine verbesserte Anpassung an die Folgen des Klimawandels sowie die stärkere Ausrichtung globaler Finanzströme auf den Klimaschutz (UBA 2024).

Der Begriff Klima beschreibt den durchschnittlichen Zustand der Atmosphäre an einem bestimmten Ort oder in einem abgegrenzten Gebiet über einen festgelegten Zeitraum. Grundlage hierfür ist die statistische Auswertung verschiedener meteorologischer Kenngrößen über einen Zeitraum von mindestens 30 Jahren (sogenannte Klimanormalperiode (KNP)). Das Klima wird üblicherweise anhand von Mittelwerten (wie Jahresdurchschnittstemperatur) und Jahressummen (wie Niederschlagsmenge), Häufigkeiten bestimmter Ereignisse (wie Tropennächte) sowie zeitliche Dauern (Sonnenscheindauer) charakterisiert. Maßgeblich beeinflusst wird das lokale Klima unter anderem durch die Höhenlage, die Entfernung zum Meer oder die geographische Lage in Bezug auf den Äquator. Vom Klima ist das Wetter zu unterscheiden: Dieses beschreibt den physikalischen Zustand der unteren Atmosphäre zu einem bestimmten Zeitpunkt und an einem konkreten Ort und bezieht sich auf Zeiträume von wenigen Stunden bis zu einigen Tagen.

Unter Klimaschutz werden sämtliche Maßnahmen verstanden, die darauf abzielen, die vom Menschen verursachte erhöhte Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre zu verringern und damit der globalen Erwärmung entgegenzuwirken. Die Klimaanpassung hingegen verfolgt das Ziel, auf bereits eingetretene oder unvermeidbare klimatische Veränderungen zu reagieren. Dabei sollen negative Auswirkungen auf natürliche und menschliche Systeme begrenzt sowie mögliche neue Chancen erkannt und genutzt werden.

Sowohl Klimaschutz als auch Klimaanpassung betreffen eine Vielzahl von Akteuren, Institutionen und Fachplanungen. Da die Folgen des Klimawandels auch auf lokaler und regionaler Ebene wirksam werden, sind entsprechende Anpassungsmaßnahmen räumlich konkret umzusetzen. Vor diesem Hintergrund kommt der räumlichen Gesamtplanung, die unterschiedliche Fachinteressen zusammenführt, in beiden Handlungsfeldern eine Schlüsselrolle zu. Dies gilt für die Stadtplanung ebenso wie für die Regionalplanung.

Die Raumplanung ist somit ein zentrales Instrument zur Umsetzung von Maßnahmen des Klimaschutzes und der Anpassung an den anthropogenen Klimawandel. Der mittel- bis langfristige Planungshorizont der Stadt- und Regionalplanung sowie die oft über Generationen wirkenden baulichen Strukturen machen es erforderlich, zukünftige klimatische Veränderungen frühzeitig mitzudenken. Insbesondere die Regionalplanung, die sektorübergreifend agiert und gesamträumliche Zielvorstellungen entwickelt, kann – auch im Vergleich zu häufig kurzfristig ausgerichteten politischen Entscheidungsprozessen – einen wesentlichen Beitrag zur Bewältigung der Klimaherausforderungen leisten.

Damit räumliche Planung in ihren formellen und informellen Instrumenten die Belange von Klimaschutz und Klimaanpassung angemessen berücksichtigen kann, bedarf es fundierter, möglichst räumlich differenzierter Informationen, belastbarer Datengrundlagen sowie klimafachlicher Bewertungen. Das Fachzentrum Klima im Landesamt für Natur, Umwelt und Klima Nordrhein-Westfalen (LANUK) arbeitet laufend an der Aktualisierung und Verbesserung der Datengrundlage für den Klimaschutz sowie die Klimaanpassung in Nordrhein-Westfalen. In diesem Fachbeitrag Klima für die Planungsregion Düsseldorf sind die aktuellen Erkenntnisse auf den Planungsraum zugeschnitten und ausgewertet worden, um sie für planerische Abwägungsprozesse zur Verfügung zu stellen.

Nicht alle Auswirkungen des Klimawandels oder Maßnahmen des Klimaschutzes sind jedoch unmittelbar für die Raumordnung relevant. Einige Handlungsfelder entziehen sich einer regionalplanerischen Steuerung und fallen eher in den Zuständigkeitsbereich der kommunalen Bauleitplanung oder privater Haushalte. Maßgebliche Kriterien für die raumordnerische Relevanz sind unter anderem die Raumbedeutsamkeit, der Bedarf an überfachlicher Koordination sowie die regionale, also überörtliche Bedeutung. Diese Aspekte wurden bei der Erstellung des Fachbeitrags grundsätzlich berücksichtigt. Da die Abgrenzungen zwischen regionaler Planung, kommunaler Ebene und privatem Handeln nicht immer eindeutig sind, greift der Fachbeitrag im Sinne einer umfassenden Informationsbasis teilweise auch Themen auf, die nicht direkt raumordnerisch gesteuert werden können.

Fachbeiträge werden für unterschiedliche Themenbereiche als Grundlage zur Erarbeitung oder Weiterentwicklung von Regionalplänen erstellt. Sie stellen eine fachliche Informationsbasis für die übergeordnete, überörtliche und fachübergreifende Regionalplanung dar. Zentrale Bestandteile sind in der Regel die Aufbereitung und Darstellung relevanter Daten, Informationen und Strukturen als Entscheidungsgrundlage für Abwägungsprozesse der regionalen Planung. Darüber hinaus umfassen Fachbeiträge fachlich-sektorale Bestandsanalysen und Bewertungen, Konfliktuntersuchungen sowie konkrete Empfehlungen für mögliche Ziele und Grundsätze (MUNV 2024).

Anders als bei den bisher vom LANUK erstellten Fachbeiträgen Klima wurde der Fachbeitrag für die Planungsregion Düsseldorf nicht für einen in Neuauflage befindlichen Regionalplan erstellt, sondern auf Wunsch der Regionalplanungsbehörde für den bestehenden, rechtskräftigen Regionalplan Düsseldorf. Der Fachbeitrag setzt sich daher auch mit den aktuellen Festlegungen auseinander und gibt Handlungsempfehlungen für eine mögliche Weiterentwicklung aus klimafachlicher Sicht.

Der Fachbeitrag konzentriert sich dabei vor allem auf die Zuständigkeit und die vorliegenden Daten und Informationen im Fachzentrum Klima des LANUK NRW. Daher werden einige ebenfalls relevante Handlungsfelder des Klimawandels nur skizziert und nicht vertiefend untersucht.

Dazu zählen insbesondere wasserwirtschaftliche Fragestellungen wie Starkregenereignisse und daraus resultierende Sturzfluten, vorsorgender Hochwasserschutz, Gewässermanagement sowie die Sicherstellung der Trinkwasserversorgung. Auch die Bereiche Forst- und Landwirtschaft sowie Natur- und Artenschutz werden nicht vertieft behandelt, da hierfür jeweils separate sektorale Fachbeiträge erstellt werden. Für den Natur- und Artenschutz bildet insbesondere der Fachbeitrag des LANUK zu Naturschutz und Landschaftspflege eine wichtige Informationsgrundlage.

Der Fachbeitrag Klima ist in vier zentrale Kapitel gegliedert. **Kapitel 2** beschreibt das Klima der Region sowie die bereits eingetretenen und zukünftig zu erwartenden klimatischen Veränderungen. In **Kapitel 3** steht das Handlungsfeld Klimaschutz im Planungsraum Düsseldorf im Mittelpunkt, unter anderem anhand der Analyse regionaler Treibhausgasemissionen sowie von Kenndaten zur Energieversorgung und zum Ausbau erneuerbarer Energien. **Kapitel 4** widmet sich den Herausforderungen und Handlungsoptionen bei der Klimaanpassung, wobei insbesondere die thermische Belastung der Bevölkerung betrachtet wird. Grundlage hierfür sind umfangreiche Auswertungen der landesweiten Klimaanalyse NRW 2026 des LANUK. Im abschließenden **Kapitel 5** werden die Festlegungen im aktuell rechtskräftigen Regionalplan Düsseldorf im Hinblick auf Klimaschutz und Klimaanpassung analysiert und klima-fachliche Empfehlungen zur Weiterentwicklung formuliert.

1.1 Rechtsgrundlagen

Nach Raumordnungsgesetz (ROG) sind Raumordnungspläne (Landesentwicklungsplan, Regionalpläne und Braunkohlepläne) aufzustellen, um die Teilräume der Länder zu entwickeln, zu ordnen und zu sichern. Die Regionalpläne zur überörtlichen und fachübergreifenden Planung von Teilräumen der Länder sind aus dem Raumordnungsplan für das Landesgebiet zu entwickeln und konkretisieren die Inhalte (Ziele und Grundsätze) aus der übergeordneten Planungsebene. Gleichzeitig soll die Planung des Gesamtgebietes die Gegebenheiten und Erfordernisse der Teilräume berücksichtigen, so dass bei Aufstellung oder Änderung des übergeordneten Plans die Pläne der untergeordneten Ebene mit einzubeziehen sind (Gegensstromprinzip gemäß § 1 Abs. 3 ROG). Die Regionalplanung stellt somit ein Bindeglied zwischen Landesplanung und kommunaler Planung dar. Aufgabe der Regionalplanung ist es, die unterschiedlichen Nutzungsansprüche an den Raum zu koordinieren, im Planungsmaßstab 1:50.000 raumbedeutsame Nutzungsarten gegen- und untereinander abzuwägen und die räumliche Entwicklung mit entsprechenden Festlegungen zu steuern.

Zur Berücksichtigung des Themenfeldes Klimawandel wird in den Grundsätzen der Raumordnung in § 2 Abs. 2 Nr. 6 ROG gefordert: *„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“*. Durch diesen Grundsatz der Raumordnung ist Klimaschutz und Klimaanpassung bei allen folgenden Planungsebenen zu berücksichtigen und zu konkretisieren.

Im Landesplanungsgesetz Nordrhein-Westfalen (LPIG NRW) wird dies in § 12 weiter konkretisiert: *„(2) Vorliegende Fachbeiträge und Konzepte, beispielsweise Klimaschutz- und Klimaanpassungskonzepte, sind bei der Aufstellung von Raumordnungsplänen zu berücksichtigen. (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 Gesetzes zur Neufassung des Klimaschutzgesetzes Nordrhein-Westfalen vom 8. Juli 2021 in der jeweils geltenden Fassung und des Klimaanpassungsgesetzes Nordrhein-Westfalen vom 8. Juli 2021 in der jeweils geltenden Fassung sind die genannten Klimaschutzziele und Klimaanpassungsziele als Ziele und/ oder Grundsätze der Raumordnung umzusetzen und nachgeordneten Planungsebenen entsprechende räumliche Konkretisierungsaufträge zu erteilen“.*

Für die Bereiche Klimaschutz und Klimaanpassung, und damit auch für die Inhalte dieses Fachbeitrags, sind vor allem die Grundsätze in Kapitel 4 des Landesentwicklungsplans NRW (LEP NRW) „Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel“ von Bedeutung. Die Grundsätze zum Klimaschutz und zur Klimaanpassung beziehen sich u. a. auf maßgebliche Bundes- und Landesgesetze und konkretisieren so den gesetzlichen Auftrag für die Raumordnung des Landes und die nachfolgenden Planungsebenen.

Grundsatz 4.1 LEP gibt eine ressourcenschonende Raumentwicklung vor, die zur Energieeinsparung sowie zum Ausbau der erneuerbaren Energien beiträgt, um den Ausstoß von Treibhausgasen möglichst zu minimieren. Konkret angesprochen werden dabei unter anderem Standorte zur Nutzung und Speicherung erneuerbarer Energien, eine energiesparende Siedlungs- und Verkehrsentwicklung sowie die Sicherung von CO₂-Senken wie Mooren oder Grünland. Im Hinblick auf die Anpassung an den Klimawandel sollen unter anderem die Folgen von Hochwasser mit geeigneten Vorsorgemaßnahmen reduziert und Hitzefolgen in Siedlungsbereichen gemildert werden, etwa durch den Erhalt von Kaltluftbahnen sowie innerstädtischen Grünflächen, Wäldern und Wasserflächen (Grundsatz 4.2 LEP). Vorliegende Klimaschutzkonzepte und den Klimaschutz betreffende Fachbeiträge sind in der Regionalplanung zu berücksichtigen (Grundsatz 4.3 LEP). Viele weitere Festlegungen im LEP haben einen direkten oder indirekten Bezug zum Themenbereich des Klimawandels, beispielsweise Vorgaben zur Siedlungsraumentwicklung.

Die Transformation der Energieversorgung war Anlass für das 2. Änderungsverfahren des LEP, wodurch auch ein Anpassungsbedarf bei den Regionalplänen ausgelöst wurde. Eine grundlegende Weiterentwicklung des Kapitel 10.2 des LEP („Standorte für die Nutzung erneuerbarer Energien“) wurde durch geänderte Bundesgesetze, insbesondere das Windenergieflächenbedarfsgesetz (WindBG), notwendig. Eine wesentliche Neuerung waren dabei verbindliche, flächenmäßige Zielvorgaben für die sechs Planungsregionen in NRW zur Festlegung von Vorranggebieten für die Nutzung der Windenergie (Windenergiebereiche). Kapitel 10.2 des LEP trifft zudem Aussagen zum Ausbau von Freiflächen-Solarenergie im Freiraum. Im aktuell noch nicht abgeschlossenen 3. Änderungsverfahren des LEP sind neue Steuerungsmechanismen für den Ausbau der Freiflächen-Solarenergie vorgesehen. Es sind darüber hinaus im Zuge der 3. Änderung weitere Anpassungen im LEP mit Bezug zum Themenbereich Klima zu erwarten, beispielsweise ein 5-ha-Grundsatz für die Neuversiegelung (Stand: Januar 2026).

Nordrhein-Westfalen hat 2013 als erstes Bundesland ein Klimaschutzgesetz erlassen (Klimaschutzgesetz NRW). Das Gesetz enthält CO₂-Minderungsziele, Maßnahmen zur Steigerung

der Energieeffizienz und zur Reduzierung des Energieverbrauchs sowie zum Ausbau erneuerbarer Energien. Es verankert Klimaschutzziele in der Raumordnung und bildet die Grundlage für eine nachhaltige Energiepolitik in Nordrhein-Westfalen. NRW hat im Jahr 2021 das Landes-Klimaschutzgesetz novelliert. Kern ist dabei die Verpflichtung, 2045 treibhausgasneutral zu wirtschaften. Auf dem Weg dahin sollen die Treibhausgasemissionen bis 2030 im Vergleich zum Jahr 1990 um 65 Prozent und bis 2040 um 88 Prozent sinken (§ 3). Ergänzend zum Gesetz veröffentlichte das Land NRW Klimaschutzpakete, in denen Klimaschutzmaßnahmen der Landesregierung enthalten sind (MWIKE 2026).

Im Jahr 2019 hat auch der Bund erstmals ein Klimaschutzgesetz (Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG)) verabschiedet. Das Gesetz beinhaltet das Ziel, Treibhausgasemissionen in Deutschland bis zum Zieljahr 2030 um mindestens 55 Prozent im Vergleich zum Jahr 1990 zu verringern. Nach dem Beschluss des Bundesverfassungsgerichts vom 29. April 2021 musste die Bundesregierung das Klimaschutzgesetz überarbeiten, woraufhin die Klimaschutzvorgaben verschärft wurden und das Ziel der Treibhausgasneutralität bereits 2045 erreicht werden soll. Bis 2030 sollen die Emissionen um 65 Prozent gegenüber 1990 sinken. Diese Fassung des Gesetzes legte u. a. jährliche Minderungsziele durch die Vorgabe von Jahresemissionsmengen für die Sektoren Energiewirtschaft, Industrie, Verkehr, Gebäude, Landwirtschaft, sowie Abfallwirtschaft und Sonstiges fest. Mit der Novellierung des Bundes-Klimaschutzgesetzes im Jahr 2024 wurde der Ansatz zur Emissionsbewertung erneut grundlegend geändert. Anstelle der bis dahin sektorspezifischen, rückblickenden Betrachtung der Emissionen bildet nun eine vorausschauende, sektor- und jahresübergreifende Gesamtbewertung der erwarteten Jahresemissionsmengen für den Zeitraum von 2021 bis 2030 die Grundlage für erforderliche Nachsteuerungsmaßnahmen (BMV 2025).

Nordrhein-Westfalen hat im Jahr 2021 ebenfalls als erstes Bundesland ein Klimaanpassungsgesetz (KlAnG NRW) erlassen. Das Gesetz dient u. a. der Festlegung von Klimaanpassungszielen, als rechtliche Grundlage für die Erarbeitung einer Klimaanpassungsstrategie sowie der Umsetzung, Überprüfung, Berichterstattung über und Fortschreibung von Klimaanpassungsmaßnahmen. Ziel des Gesetzes ist es, die negativen Auswirkungen des Klimawandels zu begrenzen, insbesondere drohende Schäden zu verringern und die Klimaresilienz zu steigern. Um diesen Zweck zu erfüllen, soll das LANUK nach § 10 KlAnG NRW Fachbeiträge zu Klimawandel und Klimaanpassung für die Regionalplanung erstellen.

Seit dem Jahr 2023 gibt es auch ein Klimaanpassungsgesetz auf Bundesebene (KAnG). Es setzt erstmals einen nationalen Rechtsrahmen für Klimaanpassung in Bund, Ländern und Kommunen, verpflichtet den Bund zu einer vorsorgenden Klimaanpassungsstrategie mit messbaren Zielen und fordert Länder sowie Kommunen zur Erarbeitung eigener Anpassungskonzepte auf (DAS 2024). Die Deutsche Anpassungsstrategie (DAS) orientiert sich an den vorgegebenen Cluster-Struktur des KAnG und sieht für die Raumplanung zwei Ziele vor (S3 / S4): Die Entwicklung und Einführung eines Klimaanpassungs-Monitorings für Raumordnungspläne sowie die Verbesserung der Berücksichtigung der künftigen Auswirkung des Klimawandels bei Aufstellung und Fortschreibung von Raumordnungsplänen. Mit dem Klimafolgen- und Anpassungsmonitoring NRW und den Fachbeiträgen Klima für die Regionalplanung stellt das LANUK im Auftrag der Landesregierung wesentliche Grundlagen zur Erfüllung der bundesweiten Ziele zur Verfügung.

1.2 Das Plangebiet

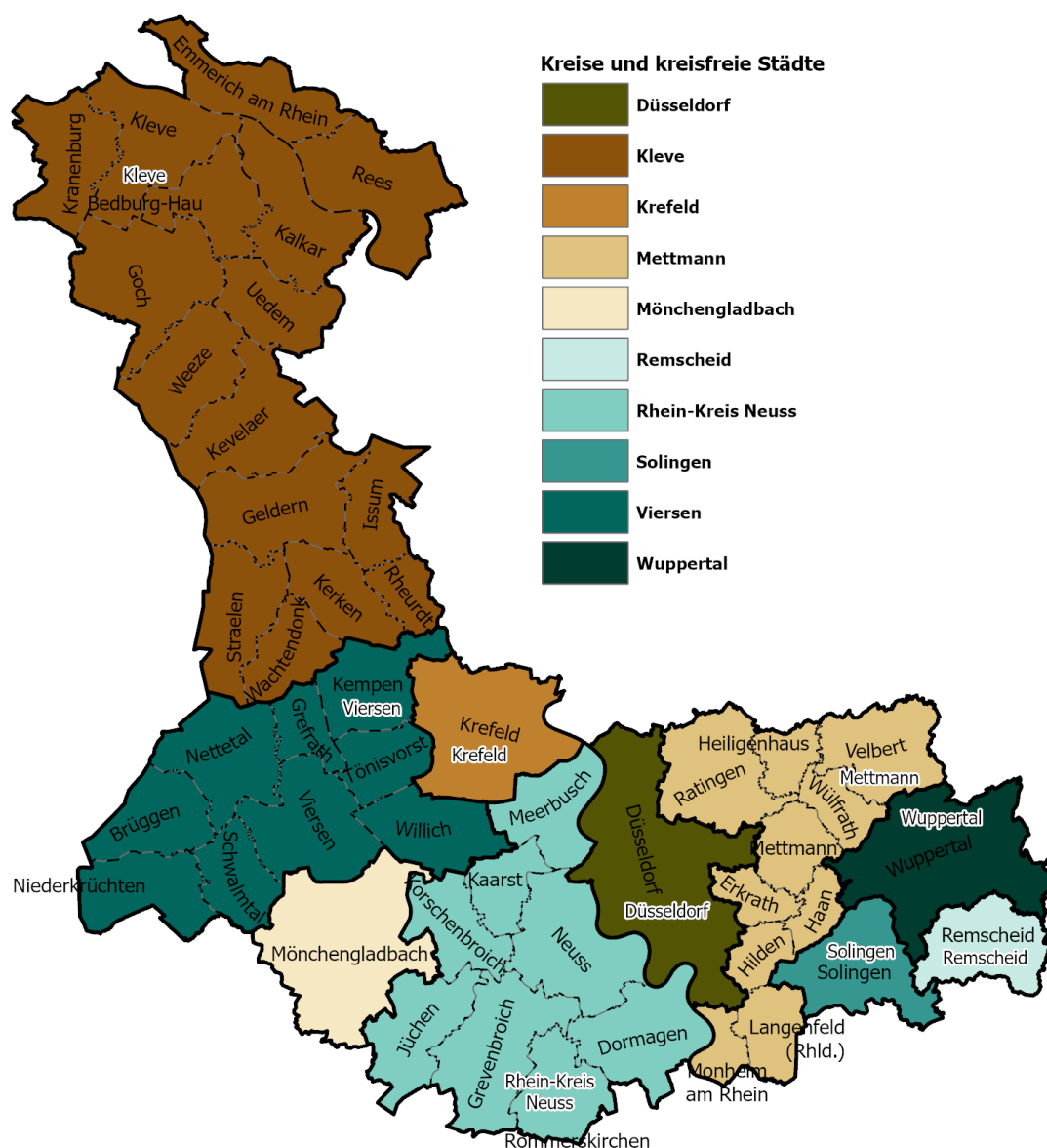
Das Plangebiet des Regionalplans Düsseldorf, für den dieser Fachbeitrag Klima erarbeitet wurde, liegt im Westen Nordrhein-Westfalens. Zum Planungsraum gehören die Kreise Kleve, Mettmann, Rhein-Kreis Neuss, Viersen sowie die kreisfreien Städte Düsseldorf, Krefeld, Mönchengladbach, Remscheid, Solingen und Wuppertal (Tabelle 1).

Tabelle 1: Einwohneranzahl und Fläche der Kreise und kreisfreien Städte in der Planungsregion Düsseldorf

Verwaltungseinheit	Einwohner	Fläche in km ²	Einwohner / km ²
Nordrhein-Westfalen	18.011.826	34.096	528
Planungsregion Düsseldorf	3.319.744	3.638	913
Düsseldorf	618.717	217	2.846
Kleve (Kreis)	321.504	1.233	261
Krefeld	231.116	138	1.678
Mettmann (Kreis)	490.452	407	1.205
Mönchengladbach	266.840	170	1.565
Remscheid	113.533	75	1.524
Rhein-Kreis Neuss	456.712	576	792
Solingen	165.193	90	1.846
Viersen (Kreis)	297.777	563	529
Wuppertal	357.900	168	2.127

Quelle: IT.NRW 2025, Stand 30. Juni 2025.

Das Plangebiet grenzt im Osten an den Regionalverband Ruhr, im Süden an die Planungsregion Köln, im Westen und Norden an die Niederlande und im Norden an die Planungsregion Münster. Der Planungsraum umfasst die Fläche des Regierungsbezirks Düsseldorf ohne die Gemeinden des Kreises Wesel und die kreisfreien Städte Duisburg, Essen, Mülheim an der Ruhr und Oberhausen (Abbildung 1). Die Einwohnerdichte in der Planungsregion Düsseldorf liegt deutlich über dem NRW-Durchschnitt (Tabelle 1). Den größten Flächenanteil an der Planungsregion hat der Kreis Kleve, in dem vergleichsweise wenig Einwohner pro km² leben.



(Kartengrundlage: LAND NRW (2025) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)

Abbildung 1: Gemeinden und Kreise in der Planungsregion Düsseldorf

2 Klimawandel im Planungsraum Düsseldorf

Der Begriff anthropogener Klimawandel bezeichnet die vom Menschen verursachten Änderungen im globalen Klimasystem. Die Folgen dieser Änderung sind vielschichtig, gravierend und unter Umständen unumkehrbar. Dazu gehören unter anderem Veränderungen der Durchschnittstemperaturen oder Niederschlagssummen, der Länge der Jahreszeiten, vermehrte Wetterextreme oder Veränderungen von ganzen Wettersystemen durch die Abschwächung des Polarfront-Jetstreams. Im Folgenden wird eine kurze Einführung in die Ursachen des Klimawandels gegeben, 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 im Planungsraum Düsseldorf 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 einer intensivierten Landnutzung massiv in die Zusammensetzung der Atmosphäre ein. Durch die daraus resultierende Anreicherung der Atmosphäre mit Treibhausgasen (insbesondere Kohlenstoffdioxid (CO_2), aber auch Methan (CH_4) und Lachgas (N_2O)) steigen die globalen Temperaturen stark an. CO_2 ist dabei das Treibhausgas, welches in den mit Abstand größten Mengen vorkommt, vor Methan (CH_4) und Lachgas (N_2O).

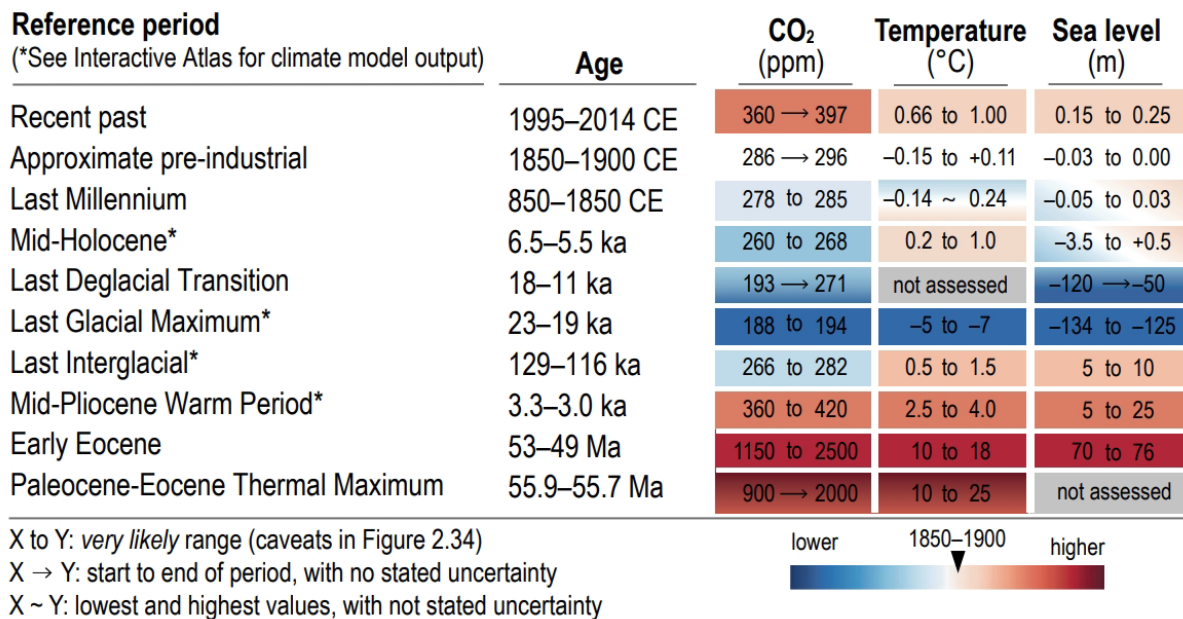
Vor der industriellen Revolution lag der damals noch weitgehend natürliche CO_2 -Gehalt in der Atmosphäre bei ungefähr 280-290 parts per million (ppm) (IPCC 2021_B). Bis zum Jahr 2010 stieg er auf 400 ppm, 2019 erreichte der CO_2 -Gehalt eine Höhe von 414 ppm. Im Jahr 2025 lag der globale CO_2 -Gehalt bereits bei über 425 ppm (NOAA 2025_B). Dies ist ein Wert, welcher wahrscheinlich zuletzt vor 3,3 Millionen Jahren erreicht wurde (WMO 2018) und bedeutet einen Anstieg von über 51 % in sehr kurzer Zeit, der mit seiner Geschwindigkeit so auf der Erde mindestens seit 66 Mio. Jahren beispiellos ist (Zeebe et al. 2016). Während in den letzten 800.000 Jahren im Schnitt ungefähr 1.000 Jahre für den natürlichen Anstieg des Treibhausgases CO_2 um 35 ppm in der Atmosphäre nötig waren, verursachte der Mensch einen solchen Anstieg in nur 17 Jahren (BEREITER ET AL. 2015; HENLEY UND ABRAM 2017). Die Geschwindigkeit und die Magnitude der aktuellen Klimaänderungen legen es aus geowissenschaftlicher Sicht nahe, in Bezug auf den Klimawandel den Begriff Erderhitzung zu verwenden.

Zahlreiche Analysen von Eisbohrkernen und Modellrechnungen belegen den direkten Zusammenhang zwischen CO_2 -Gehalt und der durchschnittlichen globalen Temperatur (PARRENIN 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 stetigen Wechsel zwischen Warm- und Eiszeiten der letzten 2,5 Millionen Jahre, von den angestiegenen Treibhausgasemissionen überlagert werden (GANOPOLSKI ET AL. 2016; HANSEN ET AL. 2017; STEFFEN ET AL. 2018). Auch die natürlichen Klimaschwankungen der letzten 12.000 Jahre, die in einer wesentlich geringeren Bandbreite stattgefunden haben (MARCOTT ET AL. 2013), sind bezüglich der Ursachen und der Ausmaße der Erwärmung nicht mit dem derzeit stattfindenden anthropogenen Klimawandel vergleichbar (BJÖRCK 2011; STOCKER ET AL. 2013_B).

Attributionsstudien zeigen, dass man ab dem Jahr 2012 global für jeden einzelnen Tag ein Klimaänderungssignal nachweisen kann, welches auf die anthropogenen Treibhausgasemissionen zurückzuführen ist (SIPPEL ET AL. 2020). Aufgrund der beispiellosen Zunahme des CO_2 -

Gehaltes sowie anderer Treibhausgase, wird der natürliche Treibhauseffekt wesentlich verstärkt, die globale Temperatur und die Meeresspiegelhöhe passen sich entsprechend an. Zusätzlich werden sich selbst verstärkende Prozesse, wie die Erwärmung des Arktischen Ozeans durch den Rückgang des See-Eises oder die verstärkte Austrocknung tropischer Regenwälder und allgemein häufigere Waldbrände, diesen Effekt weiter antreiben. Der vom Weltklimarat (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)) veröffentlichte Sonderbericht über die Unterschiede zwischen einer globalen Erwärmung von 1,5 Grad Celsius gegenüber einer Erwärmung von 2 Grad Celsius (IPCC 2018) stellt eine eindringliche Warnung vor den dramatischen Folgen des Klimawandels dar. Bereits eine Erwärmung von 2 Grad Celsius gegenüber vorindustrieller Zeit (1850-1900) bedeutet, dass in zahlreichen Gebieten der Welt und in vielen Bereichen sehr negative bis disruptive Veränderungen für Mensch und Umwelt auftreten werden. In den Sonderberichten des IPCC zum Klimawandel auf dem Land (Climate Change and Land, IPCC 2019_A) und zum Klimawandel in den Ozeanen und der Kryosphäre (The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate, IPCC 2019_B) werden diese Aussagen nochmals verdeutlicht. Im sechsten Sachstandsberichtszyklus (AR6) des IPCC (IPCC 2021_A, 2021_B, 2022_A, 2022_B, 2023) wurde zuletzt das Wissen auf globaler Ebene zur Erderwärmung zusammengetragen.

In Abbildung 2 werden für unterschiedliche Referenzzeiträume die CO₂-Gehalte, die globale Oberflächentemperaturen relativ zur vorindustrieller Zeit 1850-1900 und die jeweiligen globalen Meeresspiegel relativ zum Stand 1900 dargestellt (IPCC 2021_B). Diese Übersicht aus der technischen Zusammenfassung des sechsten Sachstandsbericht des Weltklimarates liefert einen direkten Vergleich der aktuellen Situation mit verschiedenen paläoklimatischen Rekonstruktionen. Wenn man die aktuellen CO₂-Gehalte mit den rekonstruierten CO₂-gehalten aus den Klimaarchiven vergleicht, so bietet die sogenannte mittel-pliozäne Wärmeperiode 3,3 - 3,0 Mio. Jahre vor unserer Zeit am ehesten vergleichbare Bedingungen. Sollte es der globalen Gemeinschaft nicht gelingen, den aktuellen CO₂-Gehalt von ca. 425 ppm zu stabilisieren und in den kommenden Jahrzehnten wieder deutlich zu reduzieren, wird es global zwischen 2,5 - 4,0 Grad Celsius wärmer werden und der Meeresspiegel sich langfristig einem Bereich von 5 - 25 Meter über dem Niveau im Jahr 1900 einpendeln. Nach der Einschätzung der unabhängigen Denkfabrik Climate Action Tracker und des United Nations Environment Programme liegt unter den aktuellen in Kraft stehenden Klimaschutzzielen aller Länder auf der Welt die Wahrscheinlichkeit bei 66%, dass zum Ende des Jahrhunderts die Temperatur ca. 2,6 bis 2,8 Grad Celsius wärmer (Median) sein wird als 1850-1900 (United Nations Environment Programme 2025; Climate Action Tracker 2025).



Quelle: IPCC2021b

Abbildung 2: Übersicht CO₂-Gehalte, Temperaturen und Meerspiegelniveaus von verschiedenen geologischen und historischen Zeiträumen

In Abbildung 3 wird die Magnitude der bereits stattgefundenen Erderwärmung anhand von Temperatur- und CO₂-Kurven eingeordnet, die den Zeitraum 60 Millionen Jahre vor Heute (1950) bis zum Jahr 2300 abdecken. Die X-Achse macht einen Skalensprung von einer Millionen Jahre vor Heute auf 800.000 Jahre vor Heute und dann wieder ab dem Jahr 0 n. Chr. bis zum Jahr 2300. Die Unterteilung der X-Achse in die entsprechenden Zeiträume und Skalen ist der Verfügbarkeit der vorhandenen Klimaarchive, Beobachtungsdaten sowie neuen Klimaprojektionen aus dem sechsten Sachstandbericht des Weltklimarates (IPCC 2021_B) bedingt. Ausgehend vom markierten Stand 2020 kann sehr gut verglichen werden, wie hoch die CO₂-Gehalte in der Vergangenheit waren, und welche Temperaturen zu der Zeit geherrscht haben. An der oberen CO₂-Kurve wird ersichtlich, dass die Werte bereits im Bereich der sogenannten mittel-pliozänen Wärmeperiode liegen. Der entsprechende Anstieg der Temperaturen wird, wenn nicht die notwendigen Gegenmaßnahmen ergriffen werden, dem Anstieg der CO₂-Gehalte folgen.

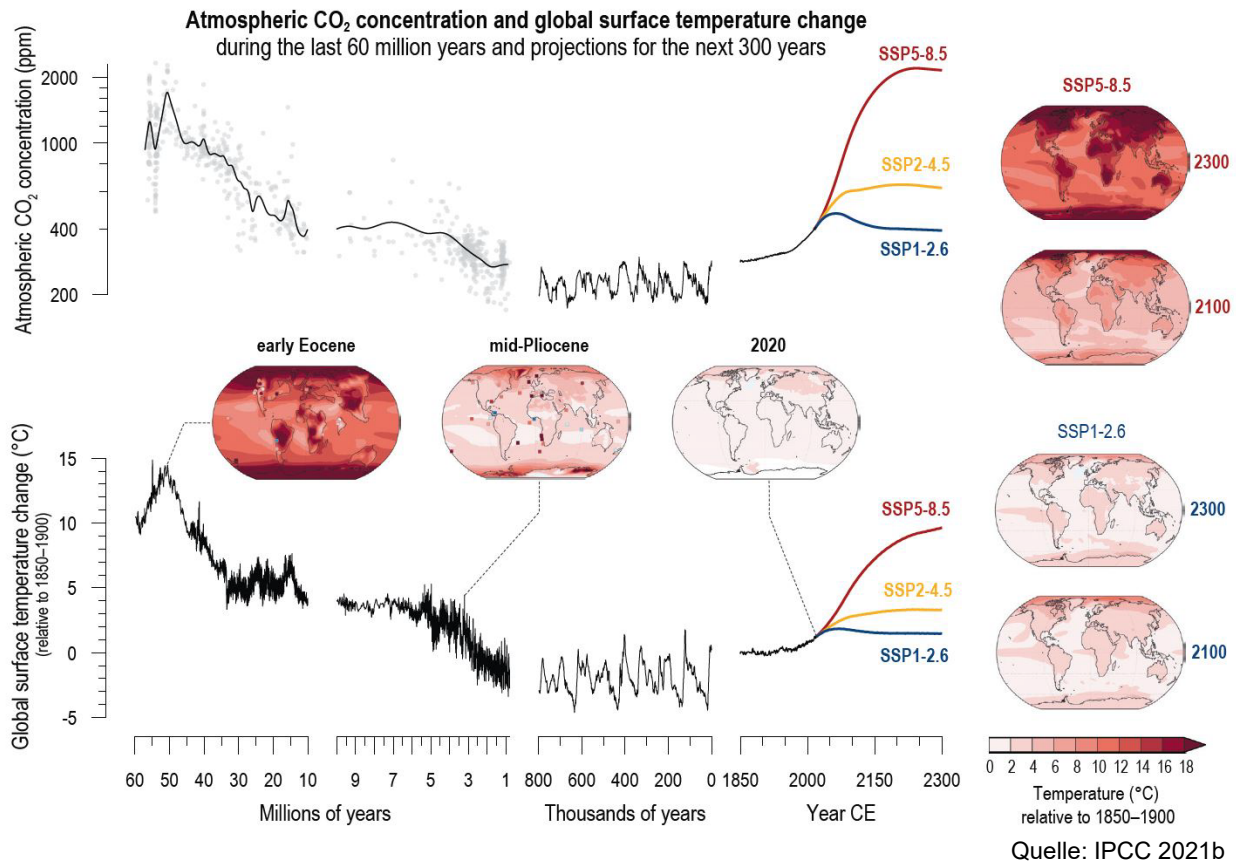
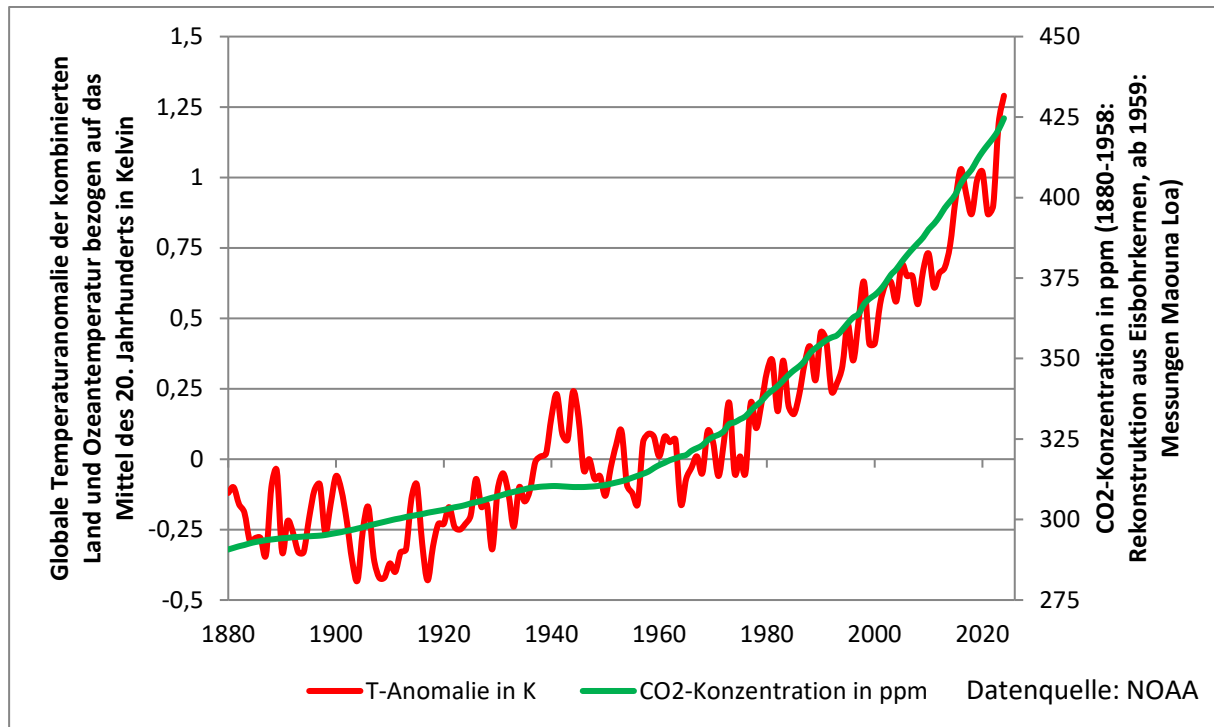


Abbildung 3: Rekonstruierte, beobachtete und projizierte Temperatur- und CO₂-Gehalte im Zeitraum 60 Mio. Jahre vor heute bis ca. 2300

Die Zukunftsprojektionen auf der rechten Seite der Abbildung zeigen die drei Szenarien SSP5-8.5, SSP2-4.5 und SSP1-2.6 bis zum Jahr 2300. Während das SSP5-8.5-Szenario am ehesten einem sehr fossilen Pfad („weiter-wie-bisher ohne Klimaschutz“) mit einem Temperatur-Anstieg von über 4 Grad Celsius im Jahr 2100 sowie bis auf 10 Grad Celsius (gegenüber 1850-1900) entspricht, führt das Szenario SSP2-4.5 zu einem Anstieg auf etwas unter 3 Grad Celsius um 2100, die im Jahr 2300 nur unwesentlich ansteigen wird. Dieses Temperaturniveau liegt immer noch deutlich über dem im Pariser Klimaschutzabkommen von 2015 vereinbarten Ziel, die globalen Temperaturen höchstens bis 2 Grad Celsius, vorzugsweise nur bis 1,5 Grad Celsius, gegenüber vorindustrieller Zeit ansteigen zu lassen. Die 2 Grad Grenze wird durch das Szenario SSP1-2.6 repräsentiert. Selbst hier liegen die Werte von CO₂-Gehalt und Temperatur der mittel-pleozänen Warmzeit nahe. Auch der natürliche Rhythmus zwischen Eiszeiten und Warmzeiten, so wie sie im Zeitraum 800.000 Jahre vor heute bis zur aktuellen vorindustriellen Warmzeit durch Erdbahnparameter gesteuert wurden, ist bis auf weiteres unterbrochen (STEFFEN ET AL. 2018). Wie bereits festgestellt ist die Weltgemeinschaft aktuell auf einem Pfad, der einer Erwärmung von 2,8 Grad Celsius im Jahr 2100 entspricht, was deutlich mehr ist, als beim SSP2-4.5-Szenario projiziert wird.

Abbildung 4 erlaubt es, die globale historische CO₂- und Temperaturentwicklung ab 1880 näher zu betrachten (NOAA 2025_A, 2025_B). Ab den 1980er Jahren steigt sowohl die grüne CO₂-Kurve als auch die rote Temperaturkurve beschleunigt an. Während in diesem Diagramm die CO₂-Kurve recht glatt immer steiler nach oben geht, und nur leichte, kaum wahrnehmbare Dellen zu erkennen sind (Finanzkrise 2008, Coronapandemie 2021), ist der Temperaturanstieg durch die natürliche Variabilität deutlich unruhiger im Anstieg. Sehr deutlich ist aber erkennbar, dass die Temperaturkurve der CO₂-Kurve folgt. Besonders deutliche Temperatursprünge erfolgten zuletzt zwischen 2013-2018 und ab 2022.



Grafik: LANUV NRW. Daten: National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA 2019, 2018_A, 2018_B; ETHERIDGE ET AL. 1996; NOAA 2025_A, 2025_B)

Abbildung 4: CO₂-Gehalte und Temperaturentwicklung seit Beginn der Wetteraufzeichnung bis 2025

Neben CO₂ steigt auch CH₄ (Methan) durch menschliche Aktivitäten in der Atmosphäre stark an. CH₄ lag vor der industriellen Revolution bei einem mittleren Gehalt von ca. 729 parts per billion (ppb) (IPCC 2021_B), 2019 lag der globale CH₄-Gehalt bei ca. 1.866 ppb, 2025 stieg der Gehalt auf ca. 1.935 ppb an (NOAA 2025_B). Der CH₄-Gehalt ist somit um über 165 % angestiegen. CH₄ wirkt über den Zeitraum von 100 Jahren 28-mal so stark bei der Aufheizung der Atmosphäre wie CO₂ (IPCC 2021_A).

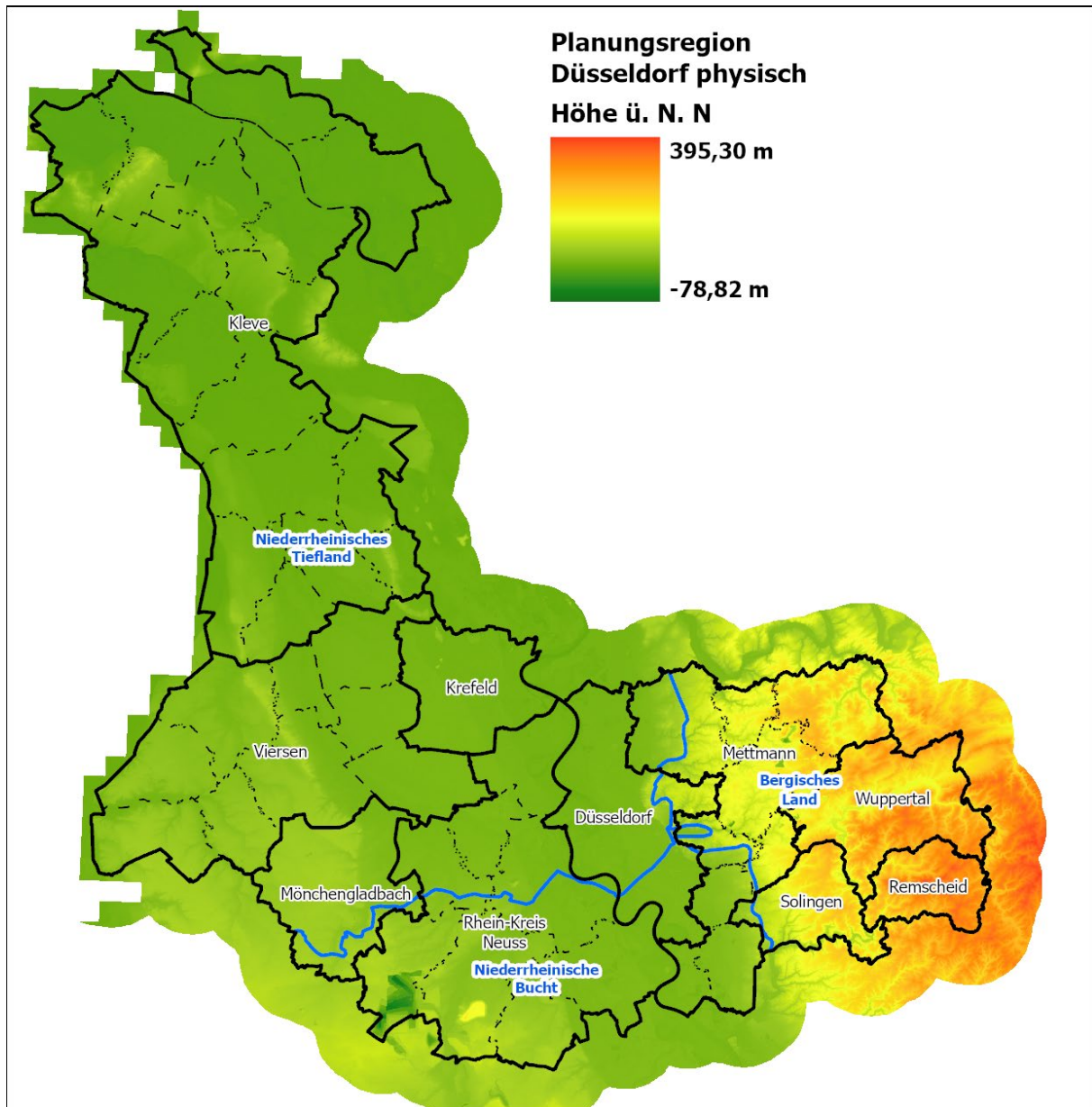
Weltweit sind die mittleren globalen Temperaturen seit Beginn der Wetteraufzeichnungen (im Vergleich der vorindustriellen Zeit 1850-1900 mit 2001-2020) um rund 1 Kelvin gestiegen (IPCC 2021_A). In Nordrhein-Westfalen hat sich die mittlere Temperatur im Vergleich (1881-1910 zu 1991-2020) bereits um 1,6 Kelvin erhöht (Datenquelle: DWD). Vergleicht man die Anfangs- und Endwerte der linearen Trendgeraden, so liegt der Temperaturanstieg (1880-2024) globale bei knapp 1,2 Kelvin (NOAA 2025_A) sowie bei 1,9 Kelvin für NRW (1881-2024). Eine Ursache dafür, dass sich NRW und Deutschland schneller erwärmt haben als im globalen Mittel, ist erstens die Lage an Land und zweitens der Effekt der sogenannten „arctic

amplification“, wobei sich die Nordhalbkugel durch den Rückgang des arktischen Meereises besonders schnell erwärmt (siehe zum Beispiel DAI ET AL. 2019; COHEN ET AL. 2020; PITHAN UND MAURITSEN 2014; BEKRYAEV ET AL. 2010; SCREEN UND SIMMONDS 2010). Zudem gab es in Nordrhein-Westfalen innerhalb des Zeitraumes 1881-2024 einen Anstieg der mittleren jährlichen Niederschlagsmenge von 11 %. Weitere Informationen hierzu stehen auch auf den Seiten des Klimafolgen- und Anpassungsmonitorings des LANUK NRW unter <https://www.klimaatlas.nrw.de/klima-nrw-monitoring> zur Verfügung.

In den beiden folgenden Abschnitten wird das Klima im Planungsraum Düsseldorf näher beschrieben. In Kapitel 2.1 wird zunächst das aktuelle Klima und seine bisherige Entwicklung dargestellt. Mit dem Abschluss der Klimanormalperiode (KNP) 1991-2020 können diese Daten nun beispielsweise mit der vorherigen KNP 1961-1990 verglichen werden. Kapitel 2.2 zeigt die Ergebnisse der modellierten Projektionen für die zukünftige Entwicklung des Klimas im Planungsraum Düsseldorf.

2.1 Aktuelles Klima und bisherige Entwicklung in der Planungsregion Düsseldorf

Die Planungsregion Düsseldorf gehört klimatisch zur warmgemäßigten und feuchttemperierten Klimazone nach der Klassifikation von Köppen und Geiger (Rubel und Kottke 2010), die ganz Deutschland und Mitteleuropa mit einschließt. In der Planungsregion Düsseldorf gehört der größte Flächenanteil der naturräumlichen Großlandschaft des Niederrheinischen Tieflands an (Abbildung 5). Von der Nordspitze der Planungsregion bis südlich von Mönchengladbach und Neuss gibt es nur kleinere Erhebungen nicht höher als 100 Meter über dem Meeresspiegel, die dennoch durchaus landschaftsprägend sind. Hier wäre zuerst der Endmoränenzug der vorletzten Eiszeit, der Saale Eiszeit (SKUPIN UND ZANDSTRA 2010), der sich von Nijmegen (NL) aus über Kleve bis nördlich von Krefeld (Tönisberg) erstreckt, zu nennen. Weiter südlich im Westen des Planungsraums verläuft der Viersener Höhenzug von Straelen bis nach Mönchengladbach, der tektonischen Ursprungs ist. Abgesehen von diesen Höhenzügen überwiegen hier flache, agrarisch geprägte Landschaften. Südlich davon schließt sich noch ein kleiner Teil der Niederrheinischen Bucht an, die neben intensiver Landwirtschaft auch vom Braunkohle Tagebau deutlich geprägt ist. Im Südosten der Planungsregion Düsseldorf liegt ein Teil des Plangebietes in der Großlandschaft Bergisches Land. Im Gegensatz zu den beiden anderen Großlandschaftsteilen ist hier das Gelände aufgrund der Ausläufer des Rheinischen Schiefergebirges stärker strukturiert mit Höhen von bis zu 400 Meter über Meereshöhe. Die Höhenunterschiede wirken sich auf verschiedene klimatische Parameter wie die Lufttemperatur und den Niederschlag aus.



Kartengrundlage: LAND NRW (2025) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0

Abbildung 5: Topographie und Großlandschaften (blaue Linien) des Planungsraums Düsseldorf

In den folgenden Unterkapiteln wird näher auf die aktuellen und beobachteten klimatischen Daten eingegangen. Hierzu gehört zuerst der Parameter Lufttemperatur (2.1.1) sowie die klimatischen Kenntage zur Lufttemperatur (2.1.2). Danach erfolgt die Darstellung des Parameters Niederschlag (2.1.3) sowie der dazugehörigen Kenntage und zuletzt der Schneebedeckung (2.1.4). Danach werden die Parameter zum Wasserhaushalt (2.1.5) sowie Vegetationszeiten und Waldbrandgefahr (2.1.6) vorgestellt. Dabei werden die klimatischen Kenngrößen der aktuellen KNP 1991-2020 mit der KNP 1961-1990 verglichen. In Tabellen werden zudem die Werte der KNP 1971-2000 aufgeführt, da diese Klimanormalperiode die ursprüngliche Referenz für die in Kapitel 2.2 dargestellten Zukunftsprojektionen darstellt. Ergänzt werden die Tabellen mit den Werten der ersten verfügbaren KNP 1881-1910 beziehungsweise 1951-1980. Abschließend werden die beobachteten Klimaänderungen bewertet (2.1.7).

Weitere Informationen zum beobachteten Klimawandel und dessen Monitoring für ganz NRW sind im Klimaatlas NRW (www.klimaatlas.nrw.de) verfügbar und werden dort laufend aktualisiert. Weitere Informationen zu Klimaentwicklung und Klimaprojektionen in Nordrhein-Westfalen können dem LANUV Fachbericht 157 entnommen werden (LANUV 2024).

2.1.1 Lufttemperatur

Die Lufttemperatur ist eine zentrale Größe zur Beschreibung des regionalen Klimas und seiner Veränderungen. Sie ist ein wesentlicher Indikator des Klimawandels und wird durch den anthropogen erheblich verstärkten Treibhauseffekt stark beeinflusst.

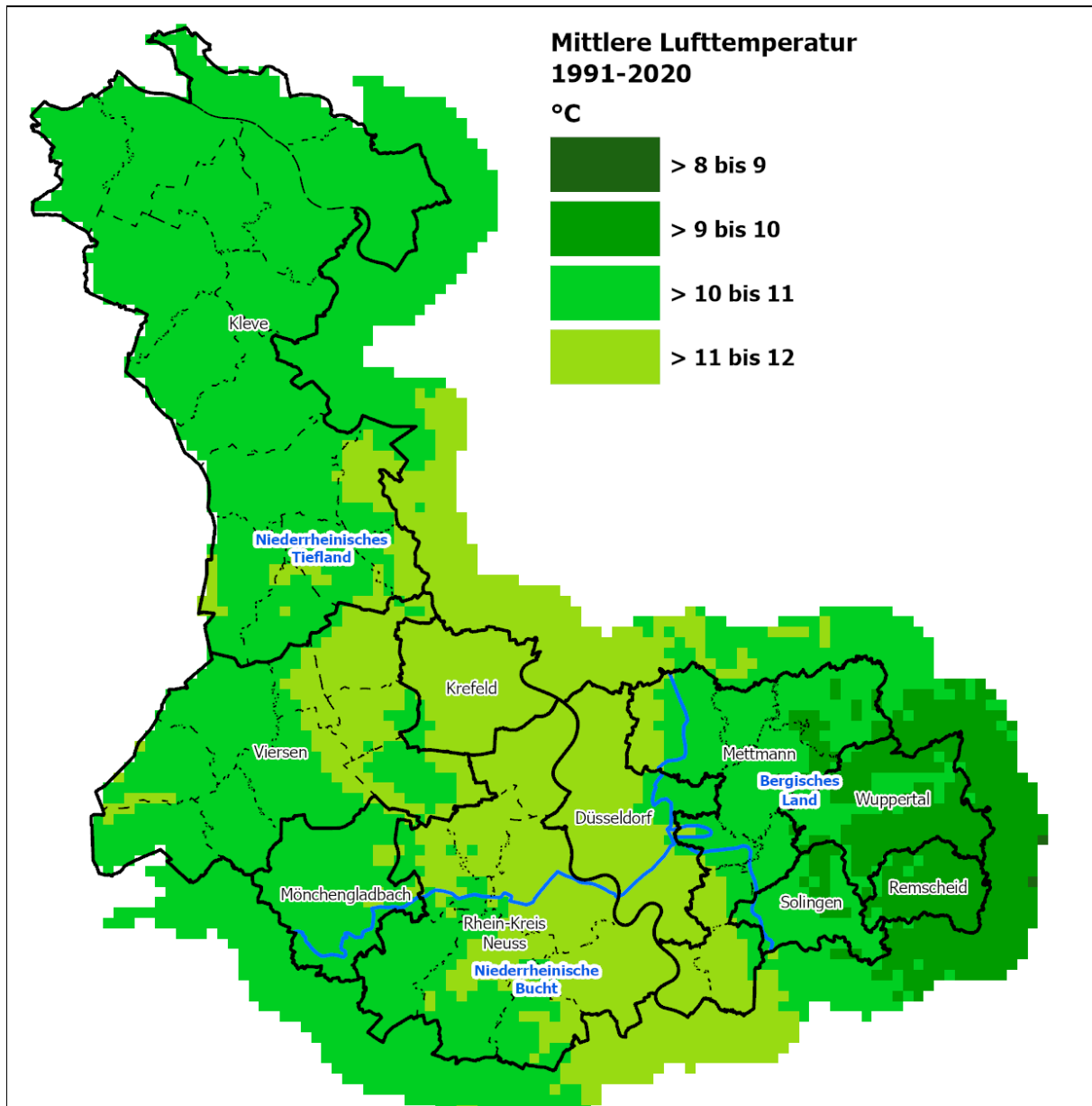
Die mittlere Jahrestemperatur im Planungsraum Düsseldorf beträgt für die aktuelle KNP 1991-2020 10,8 °C und liegt damit über dem Mittelwert von NRW (10,0 °C). Die landesweit niedrigere Temperatur resultiert aus dem Einfluss der Mittelgebirge, die bis auf den kleinen Flächenanteil des ohnehin vergleichsweise niedrigen Bergischen Landes in der Planungsregion fehlen. Eine Übersicht der mittleren jährlichen und saisonalen Lufttemperaturen im Plangebiet in den verschiedenen KNP ist in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Mittlere jährliche und saisonale Temperaturen in verschiedenen Klimanormalperioden in °C im Planungsraum Düsseldorf

	1881-1910 (°C)	1961-1990 (°C)	1971-2000 (°C)	1991-2020 (°C)
Frühjahr	8,6	9,2	9,6	10,4
Sommer	16,8	17,1	17,5	18,2
Herbst	9,6	10,4	10,3	10,9
Winter	1,8	2,7	3,2	3,6
Jahr	9,2	9,9	10,2	10,8

Daten: DWD

Die topographische Gliederung der Region spiegelt sich in der räumlichen Ausprägung der mittleren jährlichen Lufttemperatur wider. Abbildung 6 verdeutlicht, wie sich die Höhenlage auf die durchschnittliche Jahrestemperatur auswirkt. Der größte Flächenanteil des Plangebietes liegt auf einer durchschnittlichen Höhe von etwa 20 bis 100 m über Normalhöhennull. Dort liegt die mittlere Temperatur der KNP 1991-2020 zwischen 10 °C und 12 °C. Höhergelegene Gebiete im Bergischen Land weisen eine mittlere Temperatur von 9 °C bis 10 °C auf.



Daten: DWD; Kartengrundlage: LAND NRW (2025) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0. In blauer Linie sind die Großlandschaften dargestellt.

Abbildung 6: Mittlere Jahrestemperatur 1991-2020 im Planungsraum Düsseldorf

Die für Nordrhein-Westfalen vorliegenden Rasterdaten der Lufttemperaturen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) zeigen im Vergleich der Klimanormalperioden 1961-1990 und 1991-2020 für die Planungsregion Düsseldorf bereits deutliche Temperaturveränderungen: Während der KNP 1961-1990 lag im Plangebiet die mittlere Jahrestemperatur bei 9,9 °C, in der aktuellen KNP 1991-2020 liegt der Wert bei 10,8 °C (Tabelle 3). Dies entspricht einem auf die Fläche gemittelten Temperaturanstieg von rund +0,9 Kelvin (K). Dieser Wert liegt auf ähnlichem Niveau wie der mittlere Temperaturanstieg in gesamt NRW von +1,0 Kelvin.

Tabelle 3: Änderung der mittleren jährlichen und saisonalen Temperaturen 1991-2020 bezogen auf 1961-1990 im Planungsraum Düsseldorf.

	1961-1990 (°C)	1991-2020 (°C)	Differenz (K)
Frühjahr	9,2	10,4	+1,2
Sommer	17,1	18,2	+1,1
Herbst	10,4	10,9	+0,5
Winter	2,7	3,6	+0,9
Jahr	9,9	10,8	+0,9

Daten: DWD

Es wird deutlich, dass sich die Temperaturen in allen Jahreszeiten im Vergleich der beiden Klimanormalperioden erhöht haben. Dabei haben sich im Planungsraum Düsseldorf die mittleren Herbsttemperaturen mit +0,5 Kelvin am moderatesten erhöht, während die mittleren Frühlings- und Sommertemperaturen mit jeweils etwa +1,2 bzw. +1,1 Kelvin am stärksten angestiegen sind. Damit entwickeln sich die Temperaturen der Jahreszeiten im Planungsraum Düsseldorf analog zur landesweiten Temperaturerhöhung: Insgesamt ist der Temperaturanstieg auch dort im Herbst am geringsten und im Frühling und Sommer am höchsten.

Beim Vergleich der KNP 1961-1990 und KNP 1991-2020 gibt es nur wenig räumliche Unterschiede in der Temperaturzunahme. Die Spanne der Temperaturzunahme zwischen diesen beiden Zeiträumen beträgt in der Fläche der Planungsregion Düsseldorf zwischen +0,7 und +1,1 K. Aussagekräftige Muster in dieser Verteilung der Werte zeigen sich nicht, weshalb auf eine räumliche Darstellung der Temperaturdifferenzen zwischen den beiden KNP verzichtet wird.

Um den mittleren Anstieg von rund +0,9 Kelvin im Flächenmittel der Planungsregion Düsseldorf zwischen den KNP 1961-1990 und 1991-2020 einzuordnen und in eine geologische Zeitperspektive zu setzen, ist ein Blick auf die Erwärmungsrate beim natürlichen Übergang von der letzten Eiszeit, die im globalen Mittel „nur“ ca. 4 Kelvin kälter war als die Temperaturen im Zeitraum 1850-1900 (ANNAN UND HARGREAVES 2013), zur jetzigen Warmzeit (Holozän) vor ungefähr 11.700 Jahren hilfreich (WALKER ET AL. 2009). Bei diesem Übergang erwärmte sich das Klima global mit durchschnittlich +0,3 bis +0,8 Kelvin in 1.000 Jahren (IPCC 2013_A). Die hier gemessene Erwärmung von +0,9 Kelvin zwischen der KNP 1961-1990 und der aktuellen KNP 1991-2020 verläuft demnach mindestens um das dreißigfache schneller als am Ende der letzten Eiszeit. Die linearen Trends weisen dabei noch steilere Steigungsraten auf. Auch wenn der Temperaturanstieg in NRW mit den globalen Erhitzungsraten (Land und Ozeane) seit der letzten Eiszeit nicht direkt vergleichbar ist und lokale Effekte sowie der Breitengrad hier ebenfalls eine Rolle spielen, zeigt dieser Vergleich anschaulich die außergewöhnlich schnelle Erwärmung seit der Mitte des letzten Jahrhunderts.

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 als Teilsystem), den sogenannten Dansgaard-Oeschger-Ereignissen (HENRY ET AL. 2016; ZHANG ET AL. 2014)), die so nur innerhalb von Eiszeiten eintreten. Neue

Erkenntnisse lassen jedoch einen Vergleich dieser Art der abrupten und lokalen Erwärmungsereignisse während der Eiszeiten mit den aktuell stattfindenden Erwärmungsraten in der Arktis zu (JANSEN ET AL. 2020).

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. Darüber hinaus können sie auch dabei helfen, den Wandel der Jahreszeiten zu dokumentieren. Insgesamt werden in diesem Fachbeitrag fünf verschiedene temperaturspezifische Kenntage sowie die Häufigkeit von Hitzewellen für die Beschreibung des Klimawandels in der Region herangezogen.

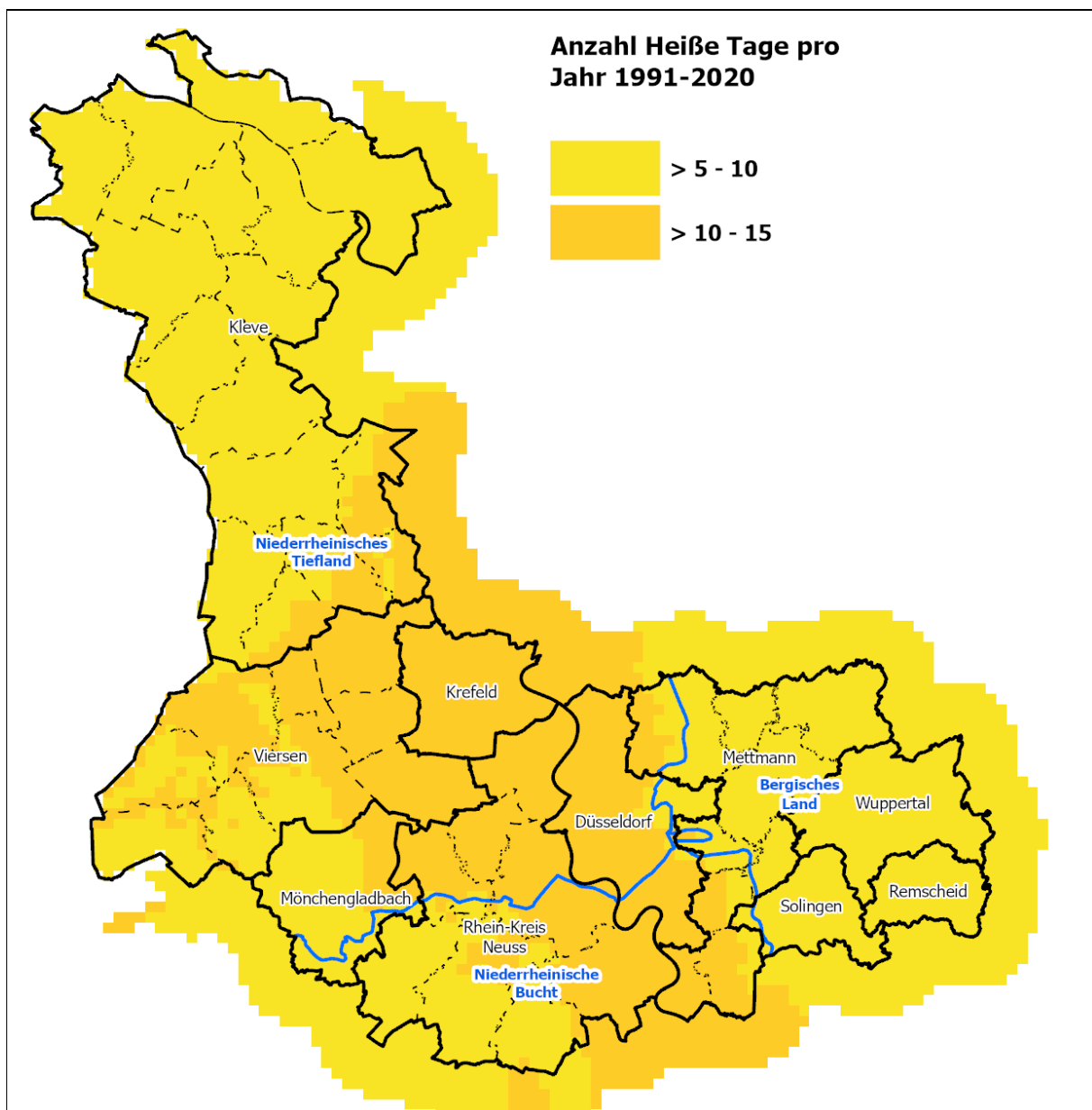
Heiße Tage:	mindestens 30 °C (Max $\geq$ 30 °C)
Hitzewellen:	Perioden mit mindestens 3 heißen Tagen in Folge
Tropennächte:	fallen nachts nicht unter 20 °C (18 Uhr bis 06 Uhr UTC)
Sommertage:	mindestens 25 °C (Max $\geq$ 25 °C)
Frosttage:	geht unter 0 °C (Min $<$ 0 °C)
Eistage:	bleibt unter 0 °C (Max $<$ 0 °C)

Für die Beschreibung von warmen Tagen werden die Kenntage Heiße Tage, Tropennächte und Sommertage verwendet. Heiße Tage sind Tage, an denen eine Temperatur von mindestens 30 °C erreicht wird. Tropennächte sind Nächte, in denen die Temperaturen in der Nacht (18:00-06:00 Uhr) nicht unter 20 °C sinken. Sommertage liegen vor, wenn die Tageshöchsttemperaturen 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 durchgängig unter 0 °C bleibt, Frosttage bei Tagestiefsttemperaturen von unter 0 °C. Die Anzahl aller Kenntage, die im Text genannt werden, verstehen sich als auf ganze Zahlen gerundete Werte, abgesehen bei den Hitzewellen und Tropennächten, die hierfür noch zu selten auftreten. Aufgrund der Aufrundung auf ganze Zahlen (Heiße Tage, Sommertage, Frosttage, und Eistage) können in den Wertetabellen Abweichungen zwischen Mittelwerten der KNP und den Differenzen vorkommen.

Heiße Tage

Für die aktuelle KNP 1991-2020 wurden im räumlichen Mittel innerhalb der Planungsregion Düsseldorf 10 Heiße Tage pro Jahr ermittelt (NRW: 8) (Tabelle 4). In Abbildung 7 ist die räumliche Verteilung der mittleren Anzahl der Heißen Tage pro Jahr im Planungsraum dargestellt. Aufgrund des geringen Reliefs in der Planungsregion sind nur die Klassen > 5-10 Heiße Tage pro Jahr und > 10-15 Heiße Tage pro Jahr vertreten. Entlang der Achse Duisburg/Krefeld/Düsseldorf/Köln und Umgebung sind > 10-15 Heiße Tage pro Jahr aktuell üblich, während im übrigen Planungsraum Düsseldorf > 5-10 Heiße Tage pro Jahr den aktuellen Mittelwert repräsentieren.

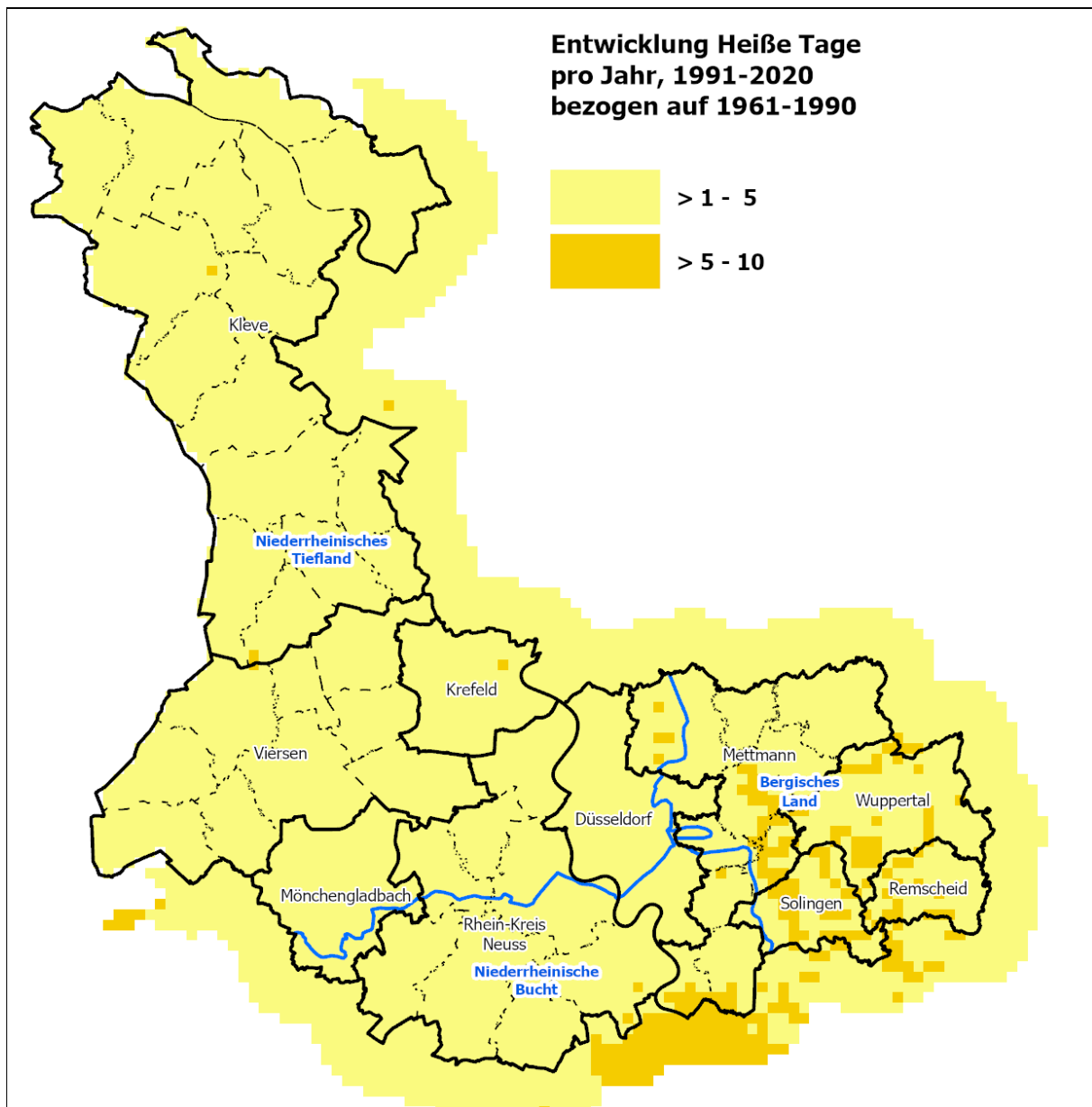


Daten: DWD; Kartengrundlage: LAND NRW (2025) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0

Abbildung 7: Mittlere Anzahl an Heißen Tage pro Jahr 1991-2020 im Planungsraum Düsseldorf

In der KNP 1961-1990 gab es im Planungsraum Düsseldorf im Durchschnitt lediglich 5 heiße Tage im Jahr (NRW: 4) (Tabelle 5). Für die KNP 1991-2020 ist die Zahl der heißen Tage pro Jahr somit um +5 zusätzliche Tage im Vergleich zur KNP 1961-1990 angestiegen.

Abbildung 8 stellt die räumliche Verteilung der Zunahme der heißen Tage pro Jahr zwischen den KNP 1991-2020 und 1961-1990 dar. Die Zunahme liegt im Planungsraum Düsseldorf zwischen 3 und 6 Tagen.



Daten: DWD; Kartengrundlage: LAND NRW (2025) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0

Abbildung 8: Änderung der mittleren Anzahl an heißen Tagen pro Jahr 1991-2020 bezogen auf 1961-1990 im Planungsraum Düsseldorf

Hitzewellen

Innerhalb der aktuellen KNP 1991-2020 wird für das Gebiet der Planungsregion Düsseldorf im Mittel eine Hitzewelle pro Jahr registriert (Tabelle 4 und Tabelle 5). Im Landesmittel liegt der Durchschnittswert bei 0,8 Hitzewellen pro Jahr. 1961-1990 kamen in der Planungsregion nur 0,3 Hitzewellen pro Jahr bzw. ungefähr eine Hitzewelle alle drei Jahre vor (NRW: ebenfalls 0,3). Somit hat sich der Mittelwert um 0,7 Hitzewellen pro Jahr erhöht (NRW: + 0,5).

Tropennächte

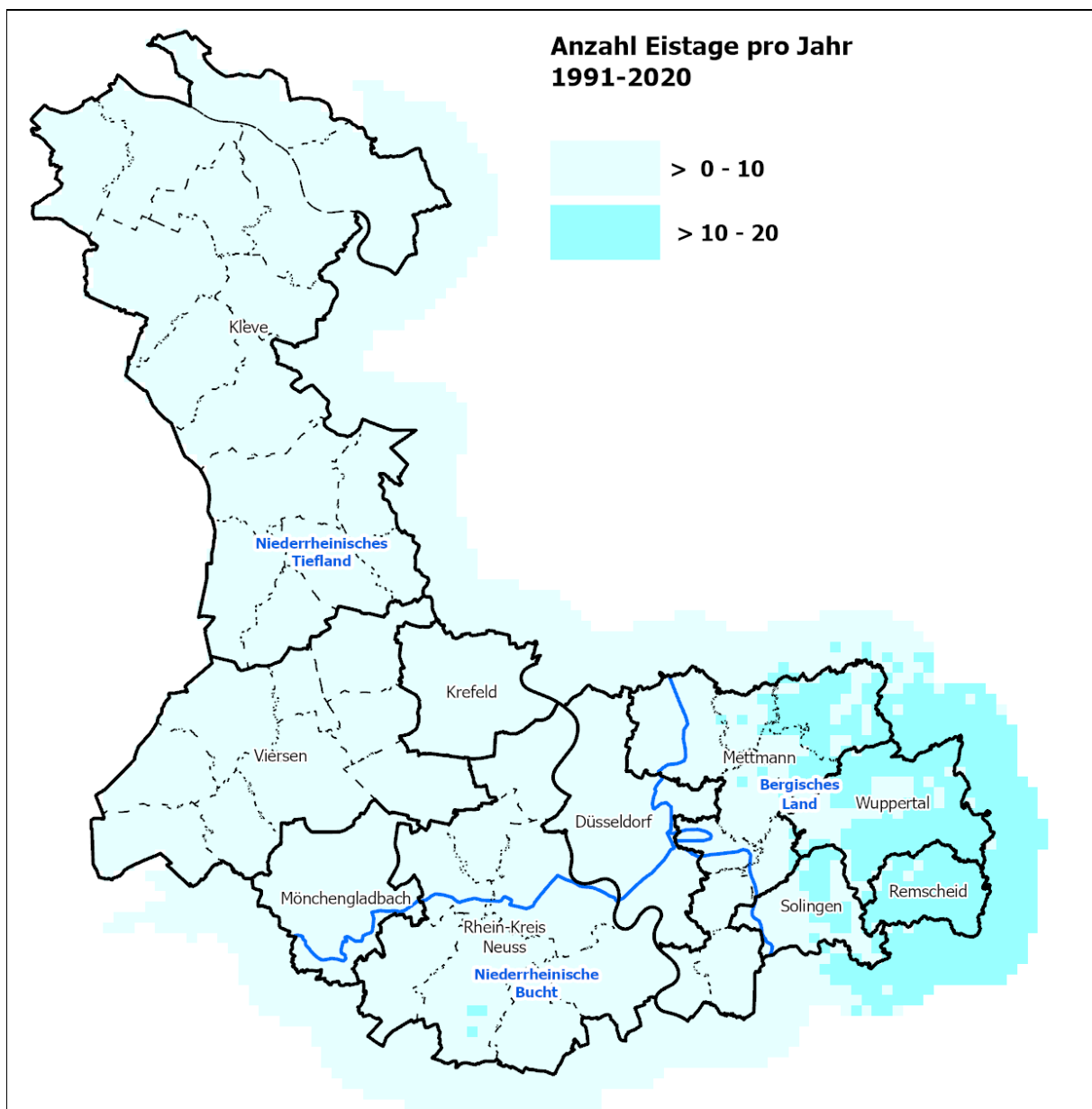
Während der aktuellen KNP 1991-2020 werden im Mittel 1,1 Tropennächte im Jahr für die Fläche der Planungsregion Düsseldorf registriert (NRW: 0,7) (Tabelle 4 und Tabelle 5). 1961-1990 lag der Mittelwert noch bei 0,4 Tropennächten pro Jahr (NRW: 0,2). Demnach hat sich der Mittelwert um 0,7 Tropennächte pro Jahr erhöht (NRW: +0,5).

Sommertage

In der aktuellen KNP 1991-2020 ist für das Planungsgebiet Düsseldorf ein räumlicher Mittelwert von rund 41 Sommertagen pro Jahr ermittelt worden (NRW: 36), während es in der KNP 1961-1990 im Mittel rund 29 Sommertage pro Jahr waren (NRW: 25) (Tabelle 4 und Tabelle 5). Somit ergibt sich ein Anstieg der durchschnittlichen Anzahl an Sommertage pro Jahr von +12 Tagen (NRW: +11) seit dem Zeitraum 1961-1990.

Eistage

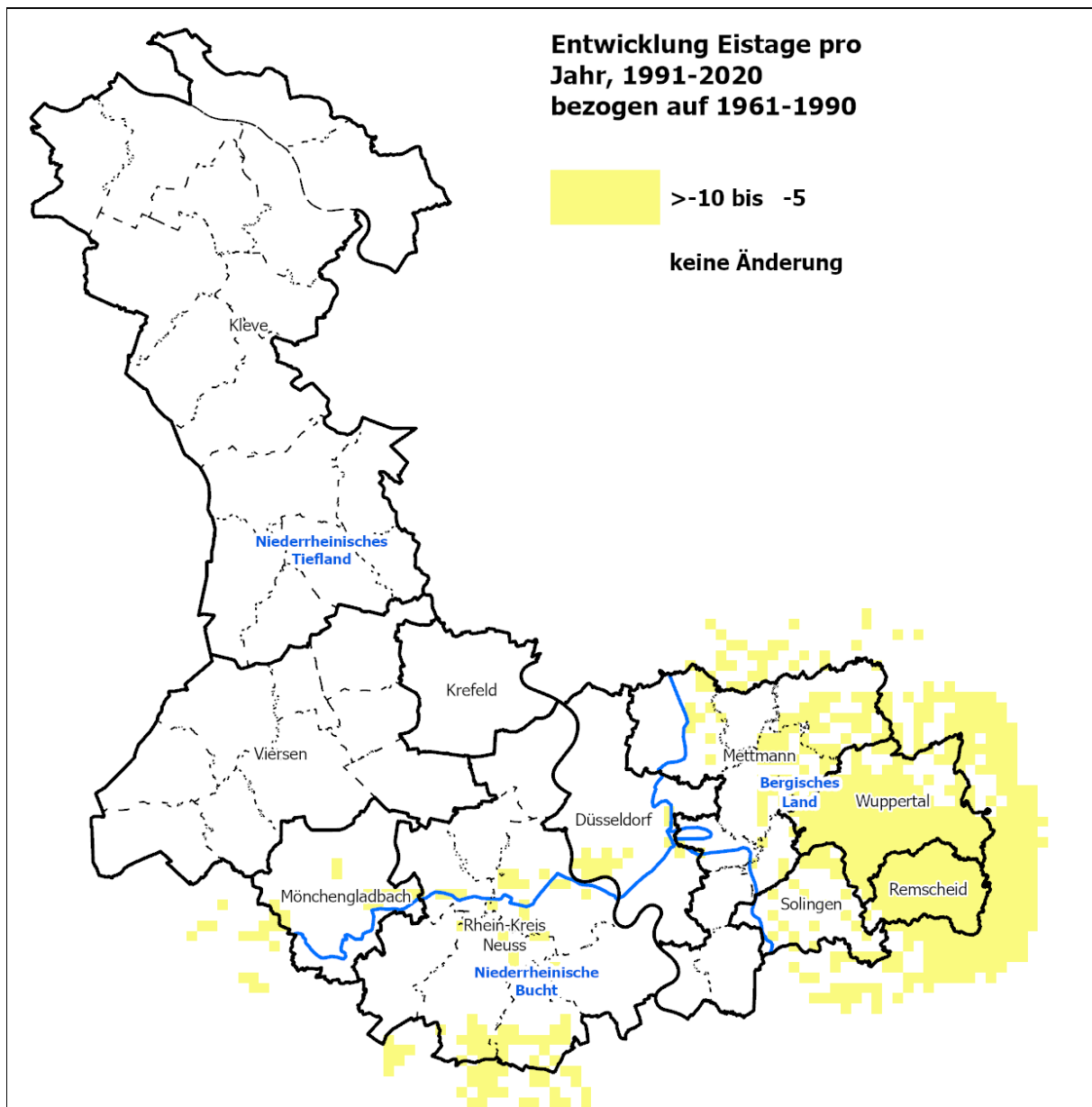
In der aktuellen KNP 1991-2020 ergibt sich für die Planungsregion Düsseldorf ein Mittelwert von rund 7 Eistagen pro Jahr (NRW: 12) (Tabelle 4 und Tabelle 5). In der Klimanormalperiode 1961-1990 waren es rund 10 Eistage pro Jahr (NRW: 17) im Durchschnitt. Somit gab es im Mittel einen Rückgang um ca. 3 Eistage für den Planungsraum. In Abbildung 9 wird die räumliche Verteilung der mittleren Anzahl der Eistage pro Jahr während der KNP 1991-2020 präsentiert. Ähnlich wie bei der mittleren Jahrestemperatur machen sich die Höhenunterschiede deutlich bemerkbar. Während in den niedrig gelegenen Regionen im Niederrheinischen Tiefland und der Niederrheinischen Bucht bis zu 10 Eistage pro Jahr auftreten, sind es in den höheren Lagen des Bergischen Landes zwischen 10 und 20 Eistage pro Jahr.



Daten: DWD; Kartengrundlage: LAND NRW (2025) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0

Abbildung 9: Mittlere Anzahl an Eistagen pro Jahr 1991-2020 im Planungsraum Düsseldorf

In Abbildung 10 ist die räumliche Verteilung der Abnahme an Eistagen pro Jahr in der KNP 1991-2020 bezogen auf den Zeitraum 1961-1990 dargestellt. Während das überwiegend in den Tieflagen befindliche Gebiet der Planungsregion Düsseldorf einen flächendeckenden Rückgang der Eistage um unter 5 Tage pro Jahr („keine Änderung“ in der Legende) verzeichnet, geht der Rückgang im etwas kühleren Bergischen Land auch in die Klasse mit bis zu 10 Tagen pro Jahr. Generell kann bei den Rückgängen von kalten Temperaturkenntagen festgestellt werden, dass die Rückgänge größer sind, wenn auch die absolute Anzahl der Kenntage höher ist.



Daten: DWD; Kartengrundlage: LAND NRW (2025) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0

Abbildung 10: Änderung der mittleren Anzahl an Eistagen pro Jahr 1991-2020 bezogen auf 1961-1990 im Planungsraum Düsseldorf

Frosttage

Für die KNP 1991-2020 und 1961-1990 werden im Planungsgebiet Düsseldorf im Mittel rund 48 (NRW: 62) beziehungsweise 55 Frosttage pro Jahr ermittelt (NRW: 70) (Tabelle 4 und Tabelle 5). Damit hat sich die Anzahl der jährlichen Frosttage im Vergleich der beiden KNP im Schnitt um rund 7 Tage (NRW: 8) pro Jahr vermindert.

Fazit Temperaturkenntage

Bei der vergleichenden Übersicht der Klimanormalperioden 1961-1990 und 1991-2020 in Tabelle 4 und Tabelle 5 lassen sich deutlich Veränderungen bei der Anzahl an Temperaturkenntagen feststellen. Die Anzahl der Heißen Tage und der Sommertage hat insgesamt zugenommen. Auch die Häufigkeiten von Hitzewellen und Tropennächten haben sich deutlich erhöht. Hier muss betont werden, dass die Flächenmittel für den Planungsraum deutlich geringer ausfallen als lokal in den vom urbanen Wärmeinseleffekt betroffenen Siedlungszentren, wo gerade die Anzahl der Tropennächte um ein Vielfaches höher sein kann, als im Umland. Der Vergleich der KFAM-Indikatoren „1.4 Temperaturkenntage warm“ und „9.2 Tropennächte in Innenstädten“ demonstriert das deutlich. Während die warmen Lufttemperatur-Kenntage in Folge der Erderwärmung zwangsläufig zugenommen haben, ist die Anzahl an Eis- und Frosttagen pro Jahr entsprechend geringer geworden.

Tabelle 4: Anzahl der Temperaturkenntage pro Jahr in verschiedenen Klimanormalperioden im Planungsraum Düsseldorf

	1951-1980	1961-1990	1971-2000	1991-2020
Heiße Tage	4	5	6	10
Hitzewellen	0,4	0,3	0,7	1,0
Tropennächte	0,4	0,4	0,7	1,1
Sommertage	26	29	32	41
Eistage	10	10	9	7
Frosttage	57	55	50	48

Daten: DWD

Tabelle 5: Änderung der Anzahl der Temperaturkenntage pro Jahr 1991-2020 bezogen auf 1961-1990 im Planungsraum Düsseldorf

	1961-1990	1991-2020	Differenz
Heiße Tage	5	10	+5
Hitzewellen	0,3	1,0	+0,7
Tropennächte	0,4	1,1	+0,7
Sommertage	29	41	+12
Eistage	10	7	-3
Frosttage	55	48	-7

Daten: DWD

2.1.3 Niederschlagssumme

Der klimatische Parameter der Niederschlagssumme ist deutlich indirekter mit der durch anthropogene Eingriffe verursachten Erderwärmung verknüpft. Zwar kann eine wärmere Atmosphäre auch mehr Wasserdampf aufnehmen, siehe hierzu die Beschreibungen zur Clausius–Clapeyron Gleichung in den Berichten des IPCCs (IPCC 2007, 2012, 2013_B), und sorgt somit tendenziell für insgesamt mehr Niederschlag. Dies bedeutet aber nicht, dass Niederschlag gleichmäßig mehr wird. Es gibt es zahlreiche weitere Faktoren, welche die Menge, die Häufigkeit und räumliche Verteilung von Niederschlägen beeinflussen. Insbesondere ist der Einfluss des schwindenden Meereises in der Arktis dafür verantwortlich, dass der Polarfront-Jetstream instabiler und welliger wird, wodurch sich besonders trockene oder nasse Witterungsabschnitte festsetzen können. Dadurch ist dieser Parameter insgesamt erheblich variabler als der Parameter Lufttemperatur und wird vor allem hinsichtlich der Verteilung der Niederschläge in Zeit und Raum extremer.

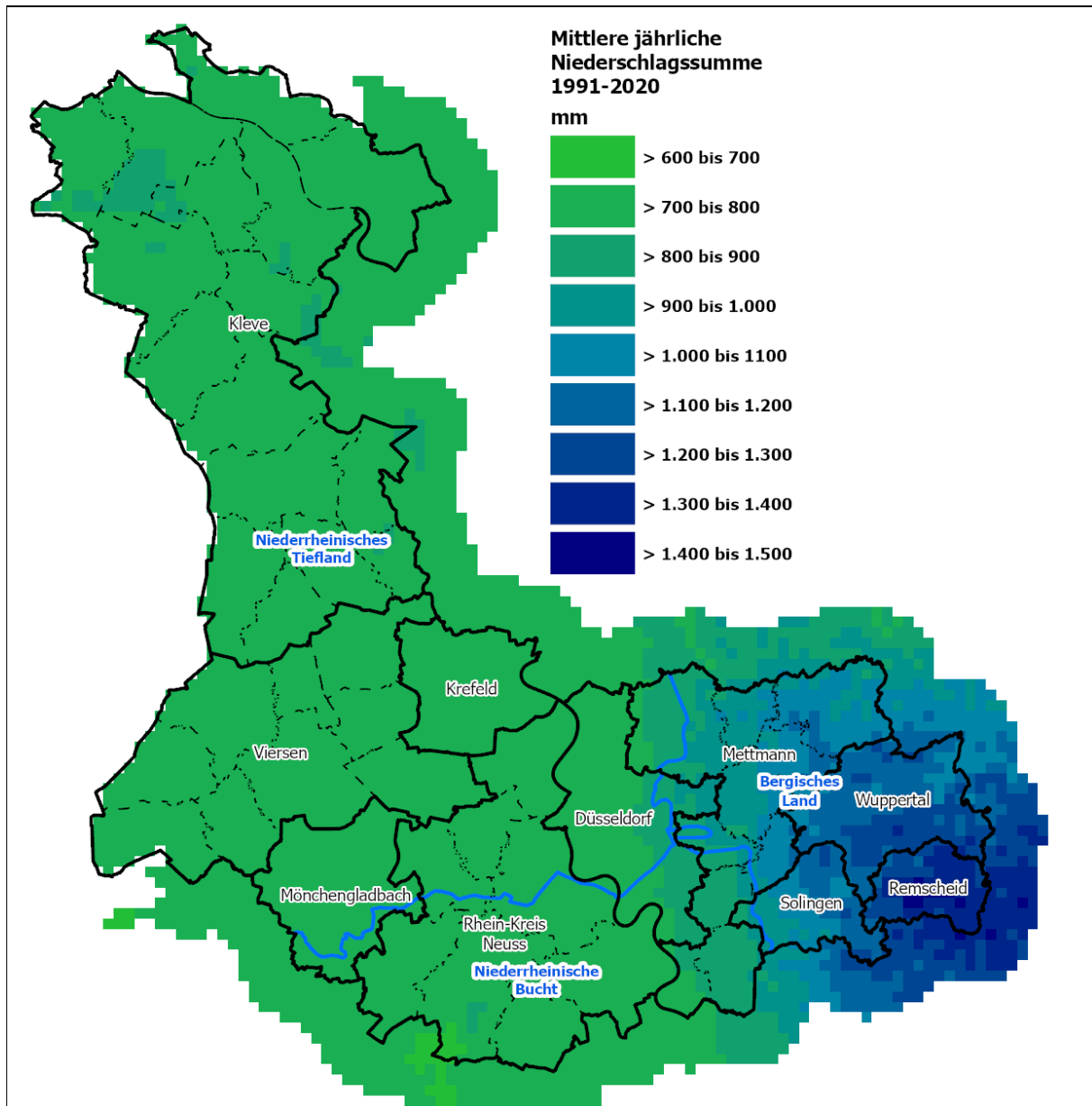
Die mittlere jährliche Niederschlagssumme wird in Millimetern (Wassersäule) pro Jahr (mm/a) gemessen. Sie liegt im Planungsgebiet Düsseldorf für die aktuelle KNP 1991-2020 bei 816 mm/a. Dieser Wert liegt unter dem Mittelwert von Nordrhein-Westfalen, welcher im gleichen Zeitraum bei 870 mm/a liegt. In Tabelle 6 werden die jahreszeitlichen Unterschiede in der Niederschlagssumme für verschiedene Klimanormalperioden dargestellt.

Tabelle 6: Mittlere jährliche und saisonale Niederschlagssumme in verschiedenen Klimanormalperioden im Planungsraum Düsseldorf

	1881-1910 (mm)	1961-1990 (mm)	1971-2000 (mm)	1991-2020 (mm)
Frühjahr	158	192	187	165
Sommer	235	228	217	228
Herbst	189	196	207	207
Winter	171	202	203	217
Jahr	755	818	815	816

Daten: DWD

Abbildung 11 zeigt die räumliche Verteilung der mittleren jährlichen Niederschlagssummen der KNP 1991-2020 im Planungsraum. Da die Summe der mittleren Niederschläge in der Regel mit der Höhenlage steigt, zeichnet sich hier grob eine Raumstruktur analog zur Topographie in der Region ab. Insbesondere die höheren Lagen im Bergischen Land erreichen mit durchschnittlich über 1.200 mm/a die höchsten Niederschlagsmengen. Im übrigen Gebiet liegen die Niederschlagsmengen überwiegend zwischen 700 und 800 mm/a. Am meisten Niederschlag mit > 1.400 mm/a fällt in Remscheid, während am Südrand des Rhein-Kreis Neuss bei Grevenbroich nur < 700 mm/a anfallen.



Daten: DWD; Kartengrundlage: LAND NRW (2025) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0

Abbildung 11: Mittlerer jährlicher Niederschlag 1991-2020 im Planungsraum Düsseldorf

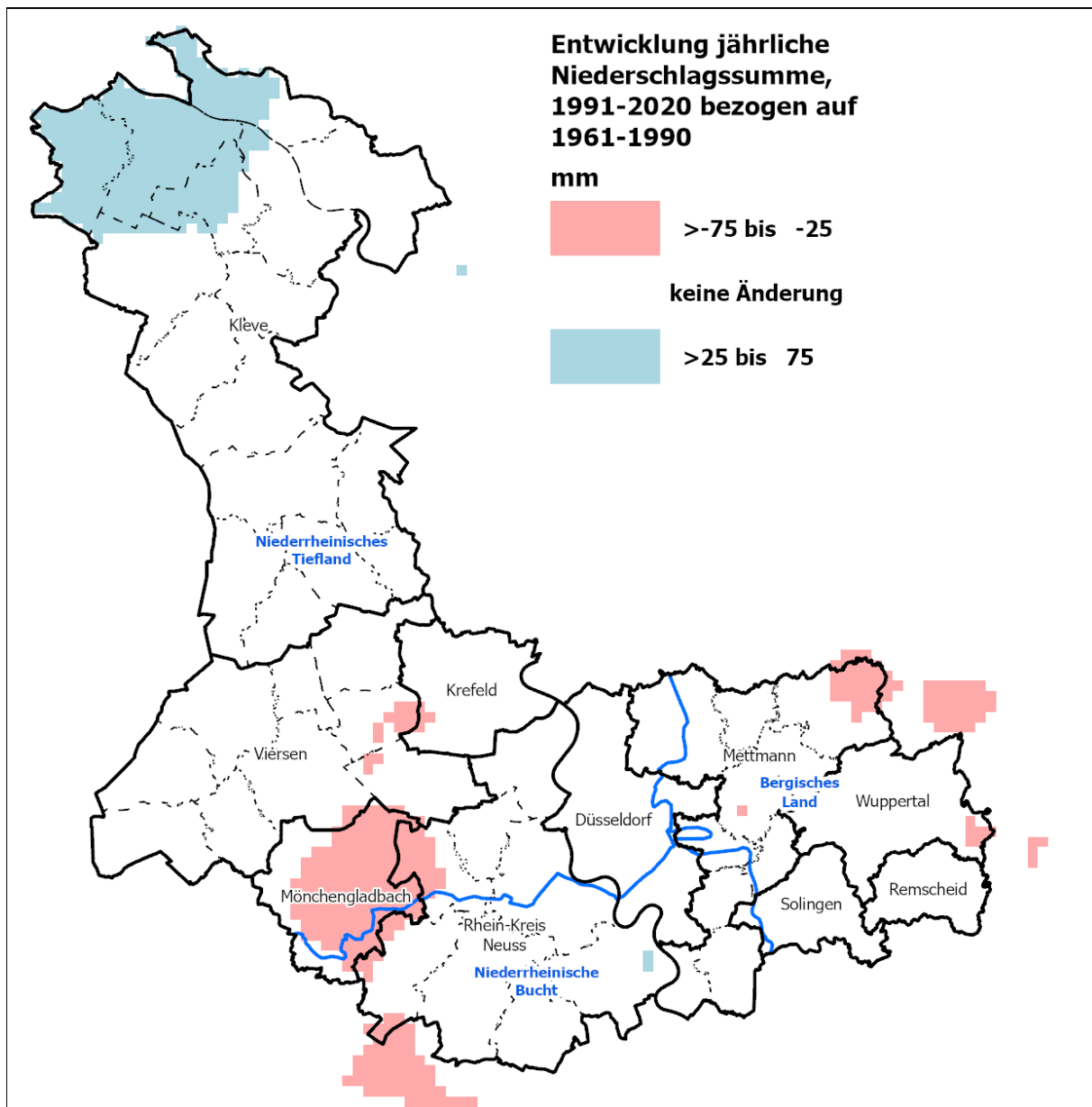
Die mittlere jährliche Niederschlagssumme im Plangebiet Düsseldorf hat sich in der KNP 1991-2020 mit 816 mm/a (NRW: 875) im Vergleich zum Zeitraum 1961-1990 mit 818 mm/a (NRW: 870) praktisch nicht verändert. In der folgenden Tabelle 7 werden die mittleren jährlichen und saisonalen Niederschlagssummen der KNP 1961-1990 und 1991-2020 im Vergleich gegenübergestellt. Dabei wird deutlich, dass insbesondere im Herbst (+11 mm) und im Winter (+15 mm) Anstiege registriert wurden. Dem gegenüber hat sich die mittlere Niederschlagsmenge des Frühlings um 27 mm reduziert. Während zu Anfang des 20. Jahrhunderts das Niederschlagsmaximum noch deutlich im Sommer lag (Tabelle 6), haben sich die Niederschlagsmengen des Sommers, des Herbstes und des Winters einander angeglichen. Der Frühling bleibt daneben deutlich trockener. Dieses Bild zeigt sich ebenso für die Gesamtfläche Nordrhein-Westfalens.

Tabelle 7: Änderungen des jährlichen und saisonalen Niederschlags 1991-2020 bezogen auf 1961-1990 im Planungsraum Düsseldorf

	1961-1990 (mm)	1991-2020 (mm)	Differenz (mm)
Frühjahr	192	165	-27
Sommer	228	228	+0
Herbst	196	207	+11
Winter	202	217	+15
Jahr	818	816	-2

Daten: DWD

In Abbildung 12 ist die räumliche Verteilung der Änderungen der mittleren jährlichen Niederschlagssummen in der KNP 1991-2020 bezogen auf den Zeitraum 1961-1990 dargestellt. Der überwiegende Teil der Planungsregion Düsseldorf verzeichnet keine nennenswerte Änderung der mittleren jährlichen Niederschlagssumme, hier liegen die Veränderungen innerhalb von 25 mm Zu- oder Abnahme im Vergleich der beiden Klimanormalperioden. Zunahmen von mehr als 25 mm gegenüber 1961-1990 traten im Norden der Planungsregion Düsseldorf (Bereich Kleve und Umgebung) auf. Eine Abnahme jenseits von 25 mm konnte im Süden der Planungsregion (Bereich Mönchengladbach) festgestellt werden.



Daten: DWD; Kartengrundlage: LAND NRW (2025) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0

Abbildung 12: Änderungen des mittleren jährlichen Niederschlags 1991-2020 bezogen auf 1961-1990 im Planungsraum Düsseldorf

2.1.4 Kenntage Niederschlag

Ähnlich wie bei der Lufttemperatur gibt es für den Niederschlag Kenntage, die durch bestimmte Unter- oder Überschreitungen von Niederschlagssummen pro Tag definiert sind. In diesem Fachbeitrag werden die Kenntage Trockene Tage (max. 1 mm/Tag) und Niederschlagstage (jeweils in den Klassen > 10 mm pro Tag, > 20 mm pro Tag und > 30 mm pro Tag) für die Planungsregion Düsseldorf ausgewertet. Niederschlagstage > 10 mm sind beispielsweise definiert als Tage, an denen die Niederschlagssumme an einem Tag 10 Liter pro Quadratmeter (l/m^2) überschreitet. Ergänzend werden auch die Schneedeckentage betrachtet. Diese sind definiert als Tage mit einer geschlossenen Schneedecke von > 1 cm.

Es ist wichtig zu beachten, dass die Schwellenwerte der hier vorgestellten Niederschlagstage von > 10 mm, > 20 mm und > 30 mm pro Tag vergleichsweise niedrig angesetzt sind. Die raum-zeitliche Auflösung der für die Niederschlagstage herangezogenen Messstationen kann in der Regel nur großräumige Regenereignisse advektiven Ursprungs erkennen, die typisch sind für Warmfronten bei Tiefdruckgebieten. Konvektive Schauer und Gewitterzellen jedoch sind aufgrund ihrer begrenzten Ausdehnung und allgemeinen Kurzlebigkeit nur schwer zu registrieren, wenn sie nicht zufällig von einer Messstation erfasst werden. Extreme Starkniederschlagsereignisse, die mit einem großen Schadenspotenzial für die Infrastruktur sowie der Gefahr für Leib und Leben einhergehen, können die Schwellen der hier betrachteten Kenntage z. T. um ein Vielfaches übersteigen, und mit über 100 mm Niederschlag in wenigen Stunden einhergehen. Beispiele hierfür aus den vergangenen Jahren sind die Flutkatastrophe im Ahrtal 2021 mit fast 50 Todesopfern allein in NRW (bis zu 160 l/m^2 in 24 Stunden) oder Starkregenereignisse in Münster 2014 (bis zu 300 l/m^2 in 7 Stunden) und Dortmund 2008 (bis zu 200 l/m^2 in 5 Stunden). Die hier beschriebenen Niederschlagstage sind also als klimatologische Kenntage zur Beschreibung des Niederschlags relevant, zudem ermöglichen sie auch Vergleiche mit den Klimaprojektionen für die Zukunft (Kapitel 2.2.8). Es lassen sich daraus jedoch keine Aussagen zur Entwicklung der Häufigkeit und Intensität extremer Starkniederschlagsereignisse ableiten.

Durch die globale Erderwärmung kann die Atmosphäre mehr Wasserdampf aufnehmen (ca. 7 % mehr Wasserdampf pro 1 Kelvin Erwärmung) und somit potenziell mehr Niederschlag in wahrscheinlich extremerer Form ermöglichen (STOCKER ET AL. 2013_A; IPCC 2007, 2012, 2013_B). Infolge der sich ebenfalls aus der globalen Erderwärmung ergebenden Abschwächung des Jetstreams kann es häufiger dazu kommen, dass Tiefdruckgebiete mit ihren Niederschlägen nur noch sehr langsam weiterziehen oder an Ort und Stelle verbleiben. Auf der anderen Seite können sich auch stationäre Hochdruckgebiete etablieren, die dann für längere Trockenperioden sorgen. Im Klimafolgen- und Anpassungsmonitoring, welches das LANUK für NRW betreibt, zeigt sich, dass die mittlere jährliche Anzahl der Starkregenereignisse der Dauerstufe 60 Minuten signifikant zugenommen hat. Dabei wurden 157 Ereignisse in NRW im Zeitraum 1961-2018 ausgewertet. Die mittlere Stärke eines Starkregenereignisses liegt im genannten Zeitraum bei 15 mm für die Dauerstufe 60 Minuten. Die Auswertungen wurden im Rahmen des Untersuchungsvorhabens „Extremwertstatistische Untersuchung von Starkregen in Nordrhein-Westfalen (ExUS 2020)“ vorgenommen (LANUV 2023).

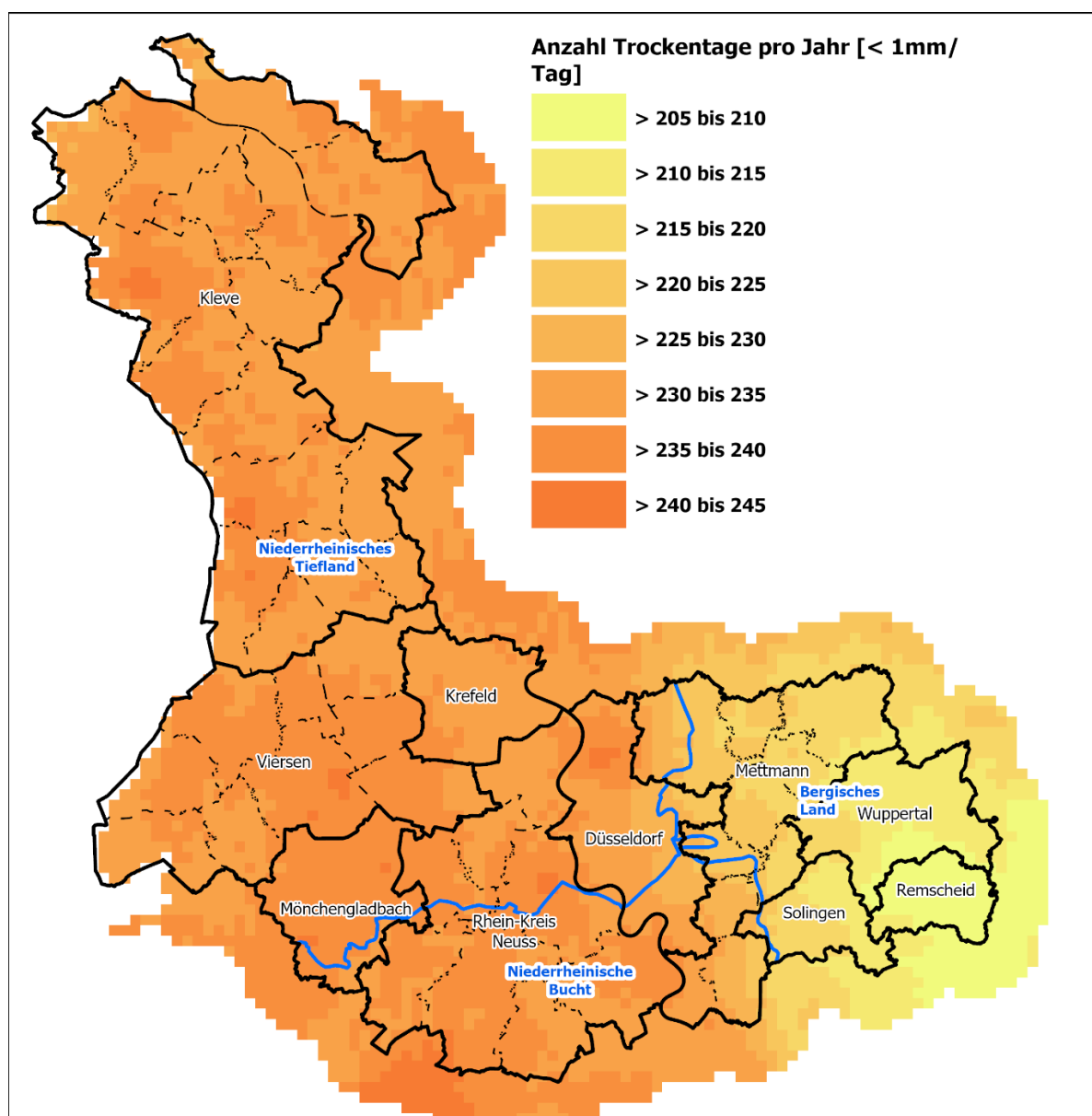
Im Folgenden wird zunächst der Parameter Trockene Tage mit max. 1mm/Tag für die Planungsregion Düsseldorf beschrieben, gefolgt von den Niederschlagstagen > 10mm/Tag, > 20 mm/Tag und > 30 mm/Tag. Zum Schluss werden die Schneedeckentage mit einer Schneedecke > 1 cm beschrieben.

Trockene Tage

Trockene Tage markieren einen Tag mit einer Niederschlagsmenge von maximal 1 mm (HÜBENER ET AL. 2017). Die mittlere Anzahl der Trockenen Tage pro Jahr ist eine Kenngröße für die allgemeine Trockenheit. Trockene Tagen über einen längeren Zeitraum hinweg wirken sich u. a. auf die allgemeine Wasserverfügbarkeit für Pflanzen aus, was zu Trockenstress führt, da der Boden austrocknet und der Grundwasserspiegel fällt. Mittlerweile liegen flächendeckend Rasterdaten zur mittleren Anzahl der Trockentage pro Jahr im Klimaatlas NRW vor, die aus den tagesgenauen Niederschlagsrastern des Deutschen Wetterdienstes berechnet werden (DWD 2025_B). Mit diesem Datensatz wird für die Planungsregion eine nähere Betrachtung möglich. In den bereits erschienenen Fachbeiträgen Klima für die Planungsregionen Münster, Köln und dem Teilplangebiet MK-OE-SI (LANUV 2018, 2019, 2021), wurden stationsbasierte Einzelbetrachtungen der Tage mit < 0,1 mm Niederschlag dargestellt. Die neuen Daten ermöglichen eine deutlich konkretere Beschreibung für die Fläche.

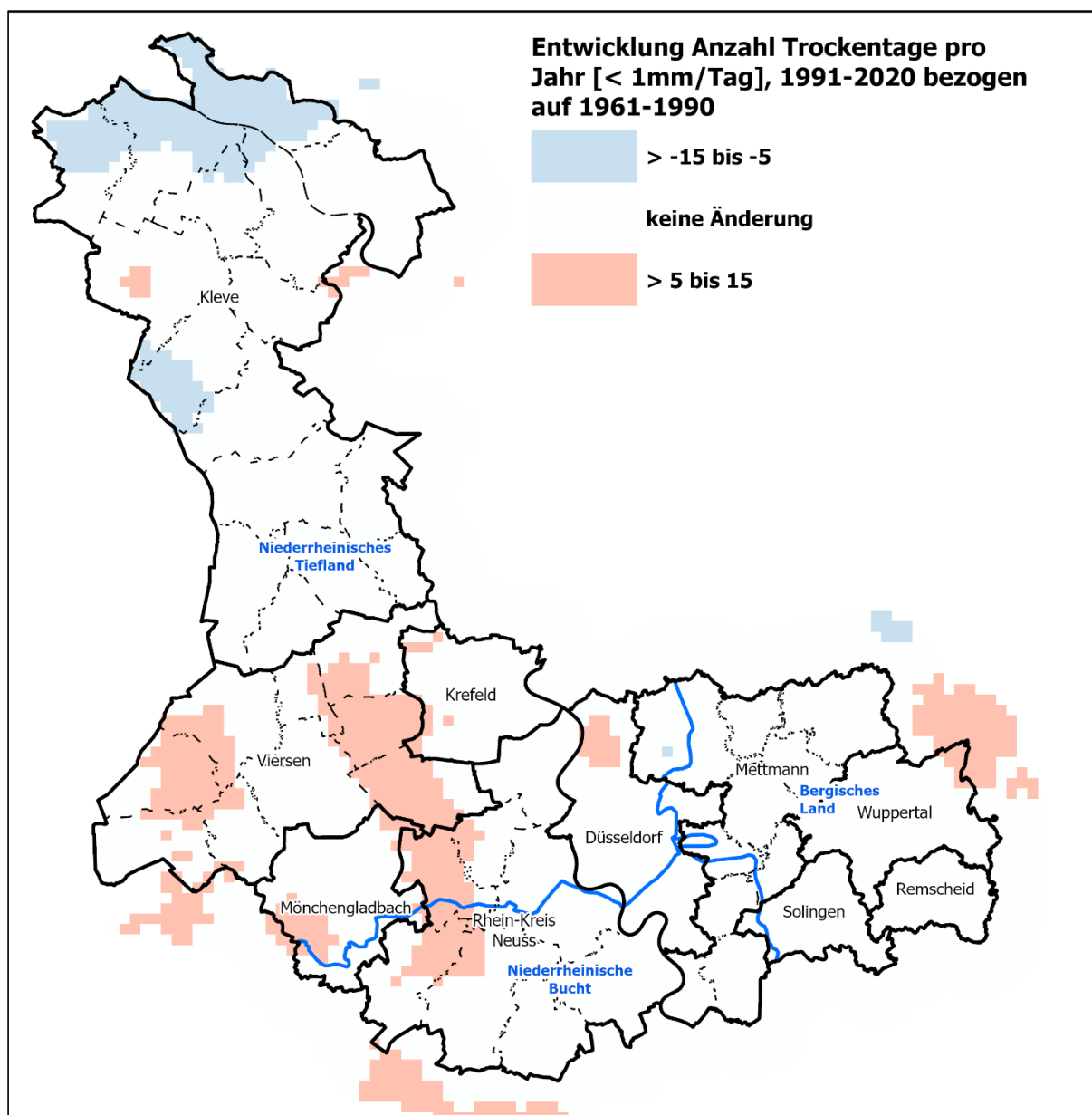
Abbildung 13 stellt für die KNP 1991-2020 die mittlere Anzahl an Trockentagen pro Jahr dar. Die Anzahl pro Jahr liegt in der Planungsregion bei rund 231 Trockentagen pro Jahr (NRW: 228). Ähnlich wie in Abbildung 11 (mittlere jährliche Niederschlagssumme) ist zu erkennen, dass der Bereich im Bergischen Land I deutlich weniger Trockentage aufweist als die Gebiete, die im Tiefland liegen. Insgesamt liegt die Spanne der Trockentage in der Planungsregion zwischen ca. 205 Trockentagen rund um Remscheid und bis zu 243 Trockentagen pro Jahr an verschiedenen Punkten im Niederrheinischen Tiefland.

Abbildung 14 stellt den Unterschied der Anzahl der Trockentage zur vorangegangenen KNP 1961-1990 dar. In der KNP 1961-1990 lag das Flächenmittel bei 230 Trockentagen pro Jahr (NRW: 226), die Anzahl der Trockentag pro Jahr hat sich also in der aktuellen KNP um einen Tag erhöht. Ähnlich wie bei der Entwicklung der mittleren jährlichen Niederschlagssumme (Abbildung 12) zeigt sich im Norden eine leichte Abnahme der Trockentage (analog zu einer positiven Abweichung der Niederschlagssumme) und eine leichte Zunahme der Anzahl der Trockentage im Süden. Insgesamt überwiegen jedoch in der Fläche auch hier die Bereiche ohne Änderung. Tabelle 8 und Tabelle 9 stellen die unterschiedlichen Mittelwerte der Trockentage nach KNP gegliedert dar.



Daten: DWD; Kartengrundlage: LAND NRW (2025) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0

Abbildung 13: Anzahl der Trockentage pro Jahr mit $< 1\text{ mm}$ Niederschlag pro Tag im Zeitraum 1991-2020



Daten: DWD; Kartengrundlage: LAND NRW (2025) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0

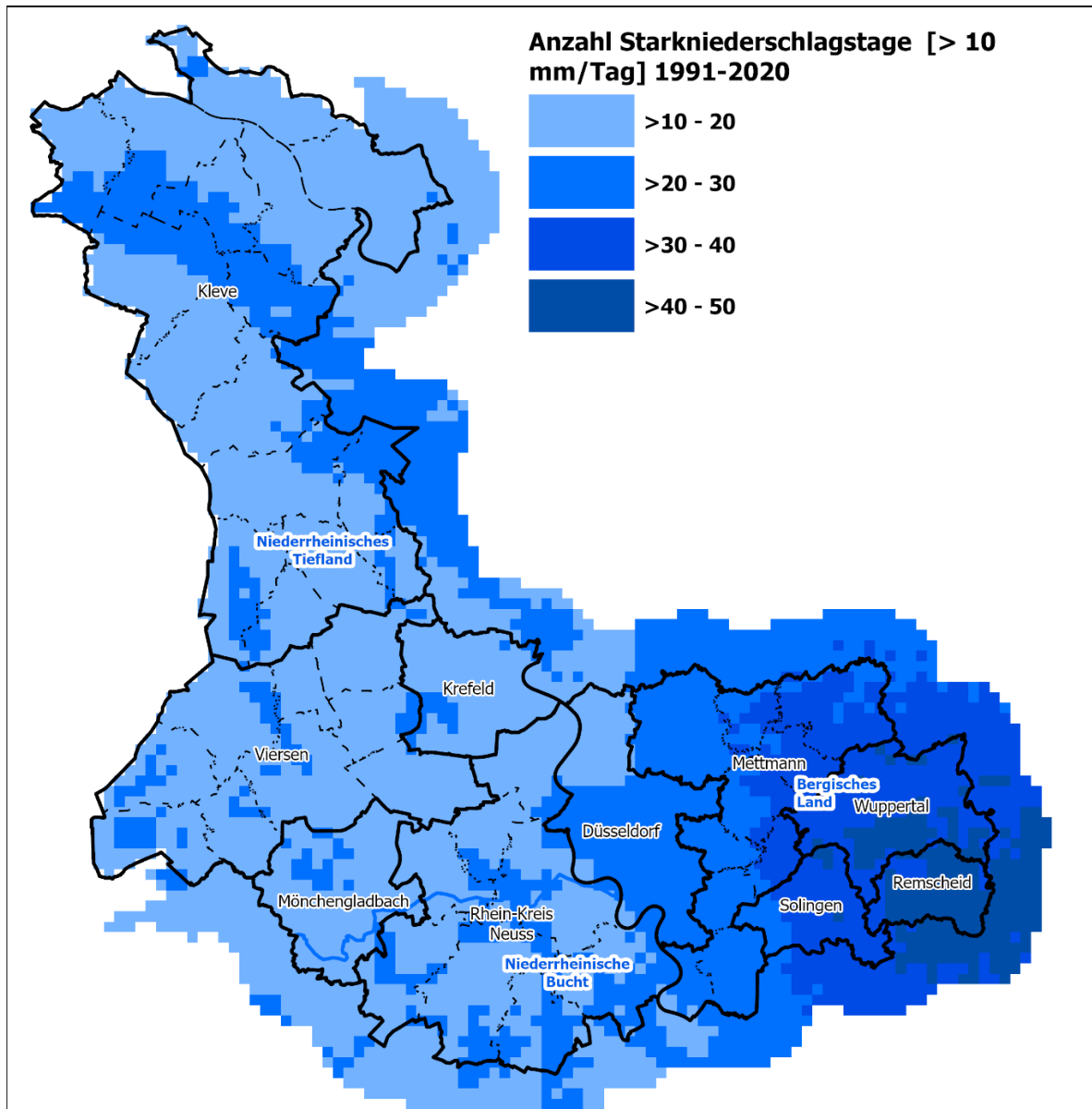
Abbildung 14: Entwicklung Trockene Tage pro Jahr mit $< 1\text{mm}$ Niederschlag pro Tag 1991-2020 in Bezug auf 1961-1990

Niederschlagstage

Niederschlagstage sind gekennzeichnet durch bestimmte Niederschlagsmengen, die lokal beispielsweise zu ansteigenden Wasserständen und Überflutungen führen können. Dies gilt insbesondere, wenn diese Tage in kurzer Folge beziehungsweise zeitlich zusammenhängend auftreten. Auch für die Landwirtschaft spielen diese Kenntage eine Rolle, z. B. in Bezug auf die Erntesicherheit und die Bodenerosion. Niederschlagstage werden in diesem Fachbeitrag für Tage mit > 10 mm, > 20 mm und > 30 mm Niederschlag pro Tag ausgewertet. Die Häufigkeit dieser Tage pro Jahr nimmt ab, je höher die entsprechende Niederschlagskategorie ist. Die hier ausgewerteten Niederschlagstage beruhen auf dem Messnetz der Wetterstationen des DWD. Gleiches gilt für die interpolierten Rasterdaten, deren Auflösung jedoch nicht hoch genug ist, um extreme aber nur lokal und kurzfristig auftretende, Konvektivniederschläge registrieren zu können, die potentiell mit Sturzfluten und einem erheblichen Schadenspotenzial einher gehen können.

Auf die Fläche der Planungsregion Düsseldorf gemittelt ergeben sich innerhalb der aktuellen KNP 1991-2020 pro Jahr rund 21 Niederschlagstage mit > 10 mm Niederschlag (NRW: 24). In der gleichen KNP sind pro Jahr rund 5 Tage mit > 20 mm Niederschlag zu verzeichnen (NRW: 5), sowie ein Tag > 30 mm Niederschlag pro Jahr (NRW: 1). Analog zur absoluten Niederschlagssumme liegt die Anzahl der Niederschlagstage pro Jahr in der Planungsregion Düsseldorf generell etwas niedriger als im Flächenmittel von Nordrhein-Westfalen. Eine Übersicht der Niederschlagstage nach KNP zeigen Tabelle 8 und Tabelle 9.

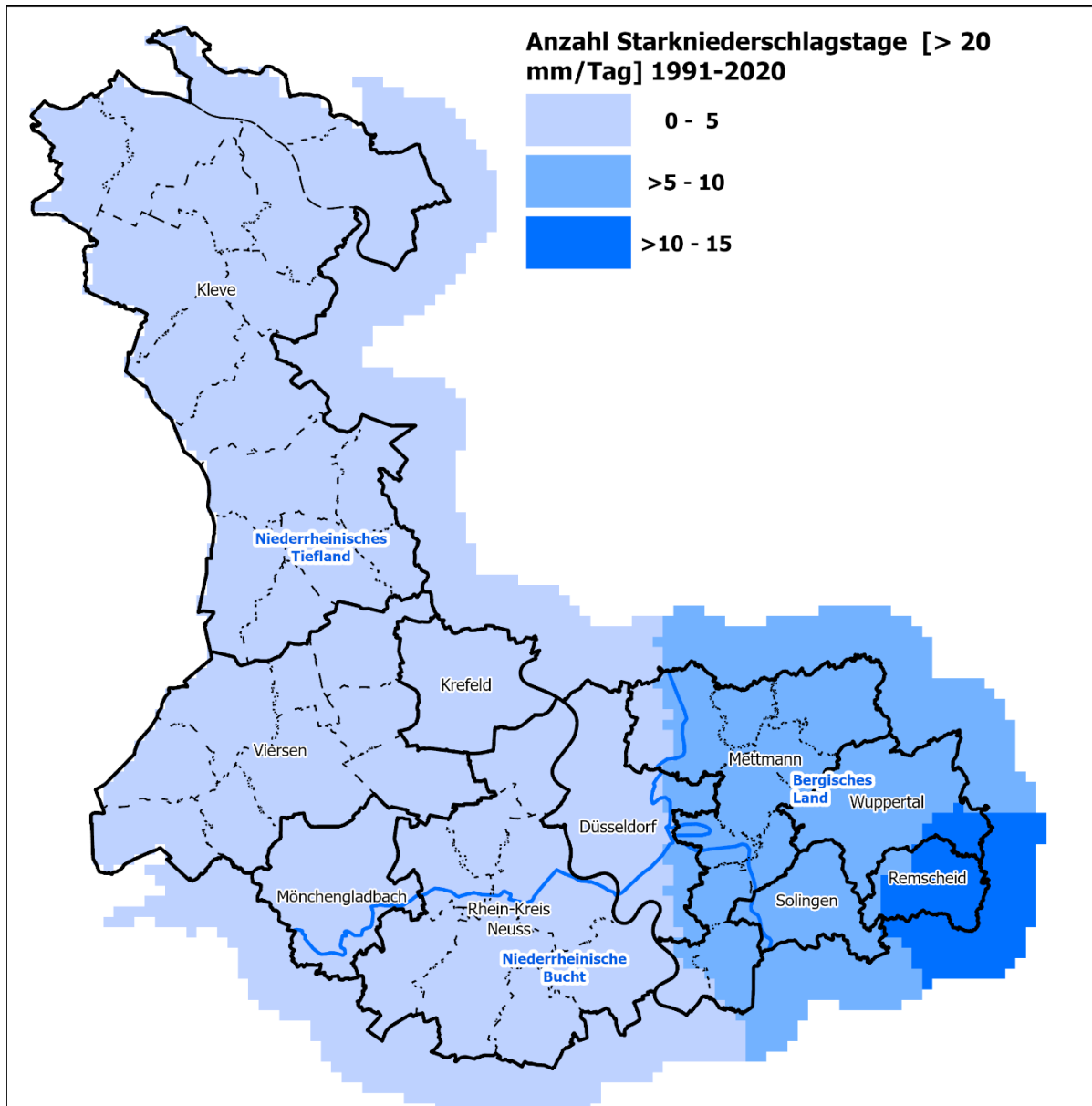
In Abbildung 15 wird die räumliche Verteilung der mittleren Anzahl von Niederschlagstagen pro Jahr > 10 mm in der KNP 1991-2020 dargestellt. Analog zu der mittleren jährlichen Niederschlagssumme (Abbildung 11) zeigen sich ähnliche räumliche Muster, mit einem Maximum im Bereich des Bergischen Landes. Im Westen der Planungsregion kommen im Mittel hauptsächlich 10 - 20 Tage pro Jahr mit > 10 mm Niederschlag vor, in einzelnen Bereichen auch 20 - 30 Tage pro Jahr. Von Düsseldorf nach Süd-Osten ins Bergische Land hinein steigert sich die Anzahl der Tage mit > 10 mm Niederschlag auf bis zu 40 - 50 Tage pro Jahr. Insgesamt liegt in der Planungsregion Düsseldorf die Spannbreite der Tage mit > 10 mm Niederschlag zwischen 18 im südwestlichsten Bereich der Planungsregion bis zu 48 Tagen pro Jahr im Südosten der Planungsregion.



Daten: DWD; Kartengrundlage: LAND NRW (2025) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0

Abbildung 15: Mittlere Anzahl an Niederschlagstagen (> 10 mm/Tag) pro Jahr 1991-2020 im Planungsraum Düsseldorf

Abbildung 16 stellt die räumliche Verteilung der gemittelten Anzahl von Niederschlagstagen pro Jahr mit > 20 mm während der aktuellen KNP 1991-2020 dar. Ähnlich wie bei den bereits beschriebenen Niederschlagsparametern zeigt sich ein deutlicher Gradient von den trockeneren Gebieten der Niederrheinischen Bucht und des Niederrheinischen Tieflandes im Westen und Süden der Region, hin zum Bergischen Land im südöstlichen Teilbereich des Planungsraumes. Während der gesamte nördliche und westliche Teil der Planungsregion vom Kreis Kleve bis zum Rhein-Kreis Neuss samt dem überwiegenden Teil von Düsseldorf in der Klimanormalperiode 1991-2020 auf 0 - 5 Tage pro Jahr mit > 20 mm Niederschlag kommt, liegen der Kreis Mettmann und die kreisfreien Städte Wuppertal und Solingen im Bereich von > 5 - 10 Tagen pro Jahr mit > 20 mm Niederschlag. In der Stadt Remscheid zeigen die Werte > 10 - 15 Tage pro Jahr mit > 20 mm Niederschlag.



Daten: DWD; Kartengrundlage: LAND NRW (2025) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0

Abbildung 16: Mittlere Anzahl an Niederschlagstagen (> 20 mm/Tag) pro Jahr 1991-2020

Die räumliche Verteilung der Niederschlagstage > 30 mm pro Jahr für die KNP 1991-2020 wird hier nicht als Karte dargestellt. Mit einem Flächenmittel von 1,3 Tagen pro Jahr liegt fast das gesamte Planungsgebiet im Bereich von 0 - 3 Tagen pro Jahr. Nur im Bereich von Remscheid treten mehr als 3 Tage pro Jahr mit > 30 mm Niederschlag auf.

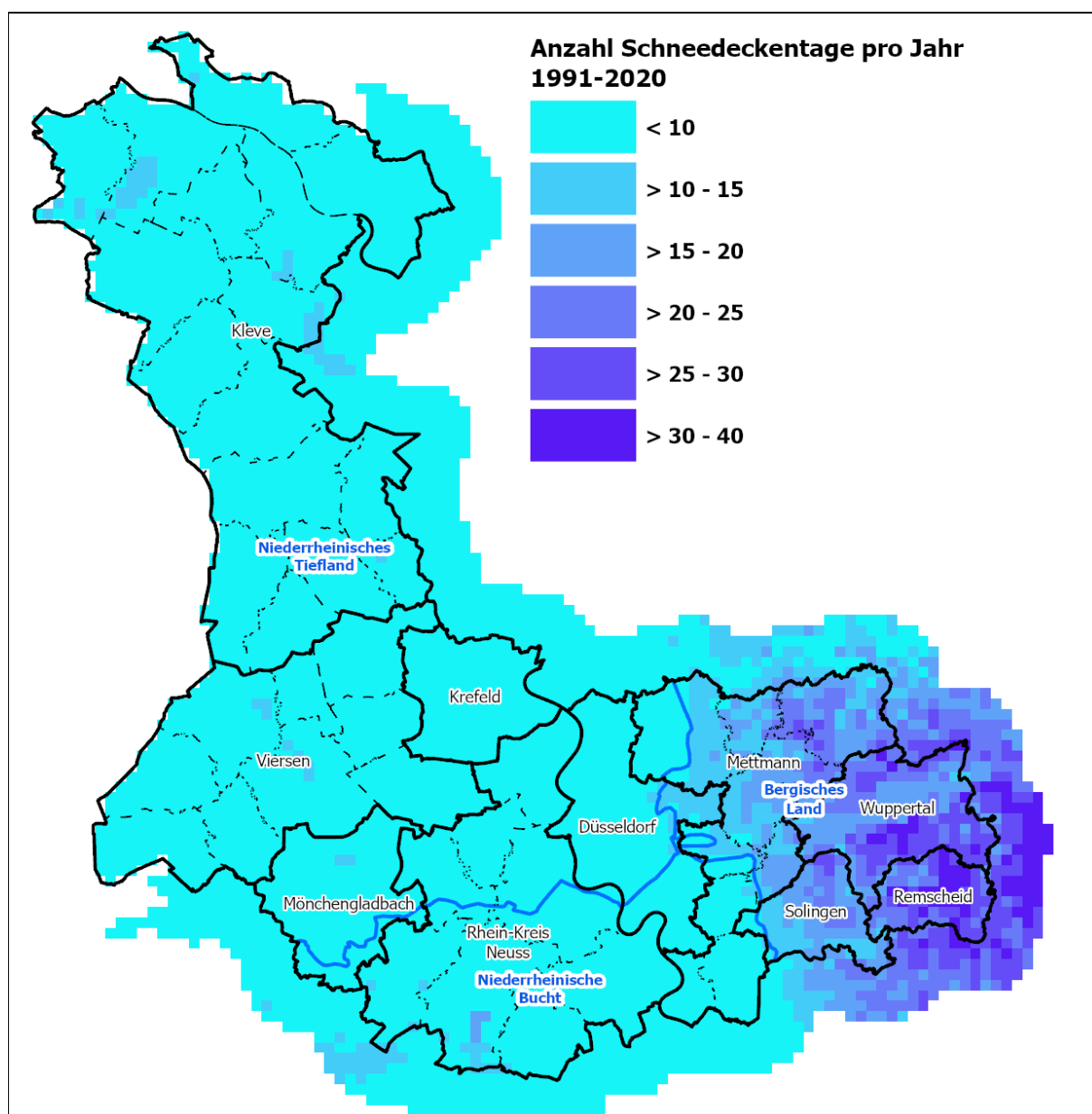
Im Vergleich mit der Klimanormalperiode 1961-1990 hat sich im Flächenmittel die Häufigkeit der Niederschlagstage in der aktuellen Klimanormalperiode 1991-2020 kaum verändert (Tabelle 8). Die jährliche Anzahl der Niederschlagstage > 10 mm ist im Mittel gleichgeblieben (NRW: keine Veränderung). Im gleichen Zeitraum ist die Anzahl der Tage mit > 20 mm und > 30 mm ebenfalls unverändert geblieben, genauso wie in NRW.

Schneedeckentage

Schneedeckentage werden definiert als Tage mit einer geschlossenen Schneedecke von mindestens 1 cm Mächtigkeit. Das Auftreten von Schneedeckentagen und die Schneehöhe hängen von der Temperatur und der Niederschlagsmenge ab. In der KNP 1961-1990 lag dieser Wert bei rund 19 Tagen pro Jahr (NRW: 32).

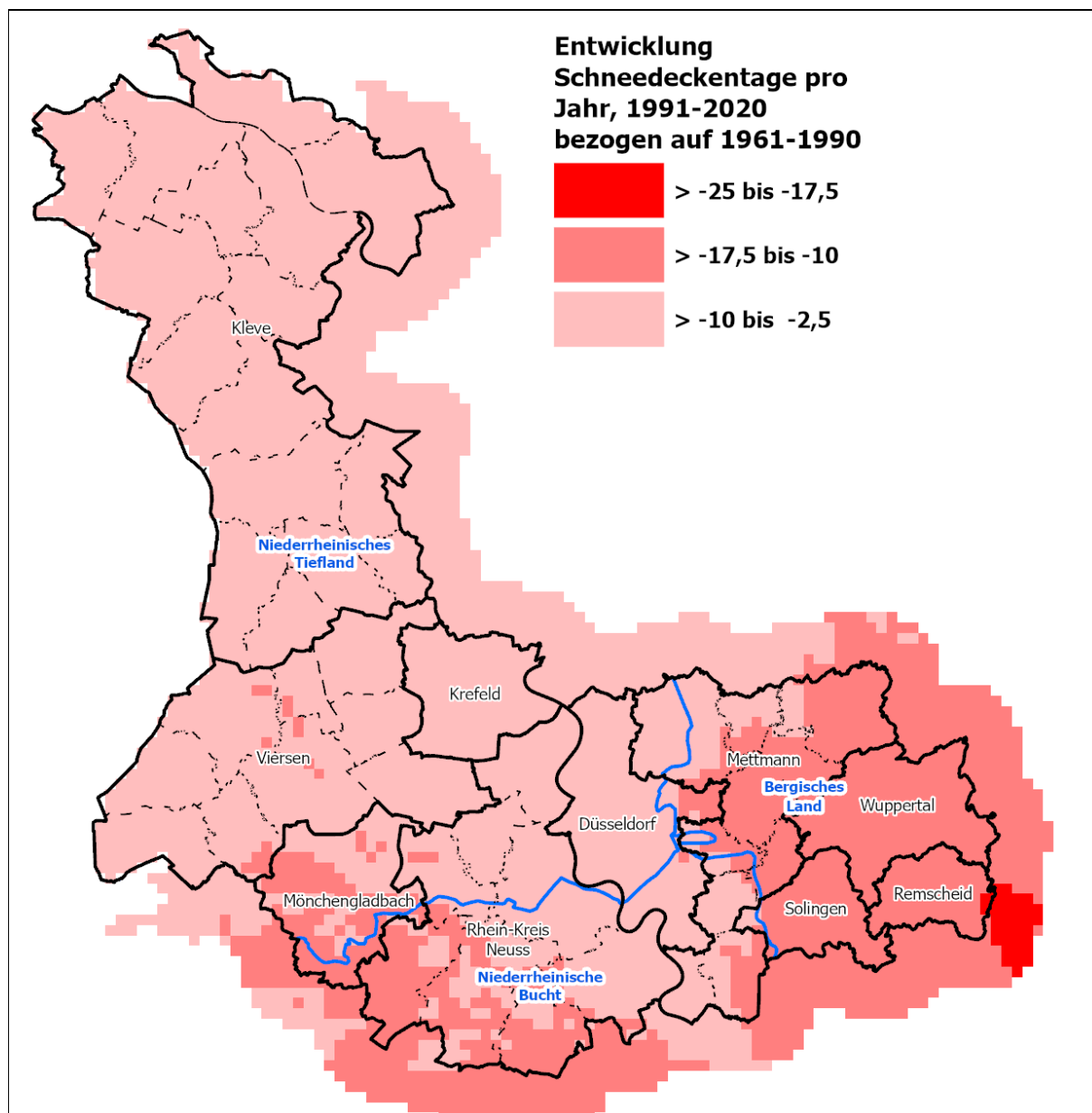
Abbildung 17 zeigt die gemittelte Anzahl an Schneedeckentagen pro Jahr während der aktuellen KNP 1991-2020. Gemittelt auf die Fläche des gesamten Planungsgebietes Düsseldorf wurden rund 9 Schneedeckentage pro Jahr registriert (NRW: 19). Dabei ist die Höhenlage und somit vor allem die jährliche Durchschnittstemperatur und Niederschlagsmenge ein wesentlicher Einflussfaktor. Im Bergischen Land liegt die Anzahl der Schneedeckentage überwiegend zwischen 15 und 25 pro Jahr, vereinzelt werden dort auch über 30 Schneedeckentage erreicht. In den flachen Lagen der Planungsregion gibt es im Mittel der aktuellen KNP überwiegend weniger als 10 Schneedeckentage im Jahr.

Abbildung 18 zeigt die räumliche Verteilung der Veränderungen bei den Schneedeckentagen pro Jahr in der KNP 1991-2020 bezogen auf den Zeitraum 1961-1990. Mit Rückgängen von 10 bis 17,5 Schneedeckentagen pro Jahr sind vor allem das Bergische Land und der Süden des Planungsraumes (Niederrheinische Bucht) betroffen. In Bereichen, wo tendenziell mehr Schneedeckentage vorkommen, ist der Rückgang auch höher. Der übrige Teil der Planungsregion Düsseldorf weist Rückgänge von 2,5 bis 10 Schneedeckentagen pro Jahr auf. Tabelle 8 und Tabelle 9 stellen die Entwicklung der Schneedeckentage nach KNP übersichtlich dar.



Daten: DWD; Kartengrundlage: LAND NRW (2025) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0

Abbildung 17: Mittlere Anzahl an Schneedeckentagen pro Jahr 1991-2020 im Planungsraum Düsseldorf



Daten: DWD; Kartengrundlage: LAND NRW (2025) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0

Abbildung 18: Änderung der mittleren Anzahl an Schneedeckentagen pro Jahr 1991-2020 bezogen auf 1961-1990 im Planungsraum Düsseldorf

Fazit Kenntage Niederschlag

Es kann festgestellt werden, dass bei allen betrachteten Niederschlagstagen lediglich leichte Schwankungen bei den Flächenmitteln zu verzeichnen sind. Tabelle 8 zeigt die Flächenmittelwerte der vergangenen Klimanormalperioden sowie die aktuelle Referenzperiode 1991-2020. Nur bei den Schneedeckentagen, bei der auch der starke Lufttemperaturanstieg direkten Einfluss ausübt, ist eine kontinuierliche Verringerung feststellbar.

Der Vergleich der Klimanormalperiode 1961-1990 zur aktuellen Klimanormalperiode 1991-2020 wird in Tabelle 9 präsentiert. Bei den Niederschlagstagen gibt es de facto keine Veränderungen im Vergleich der beiden Klimanormalperioden, die Anzahl der Trockenen Tagen ist 1991-2020 im Flächenmittel um einen Tag pro Jahr gestiegen. Der Rückgang der Schneedeckentage pro Jahr ist auf die erhöhte Lufttemperatur zurückzuführen.

Tabelle 8: Übersicht Niederschlagskenntage für die Planungsregion Düsseldorf

	1951-1980	1961-1990	1971-2000	1991-2020
Trockene Tage	232	230	231	231
Niederschlagstage > 10 mm	21	22	21	22
Niederschlagstage > 20 mm	4	5	4	5
Niederschlagstage > 30 mm	0,5	1,1	0,5	1,3
Schneedeckentage	17	19	13	9

Daten: DWD

Tabelle 9: Unterschiede Niederschlagskenntage Planungsregion Düsseldorf 1991-2020 gegenüber 1961-1990

	1961-1990	1991-2020	Differenz
Trockene Tage	230	231	+1
Niederschlagstage > 10 mm	22	22	0
Niederschlagstage > 20 mm	5	5	0
Niederschlagstage > 30 mm	1,1	1,3	+0,2
Schneedeckentage	19	9	-10

Daten: DWD

2.1.5 Wasserhaushalt

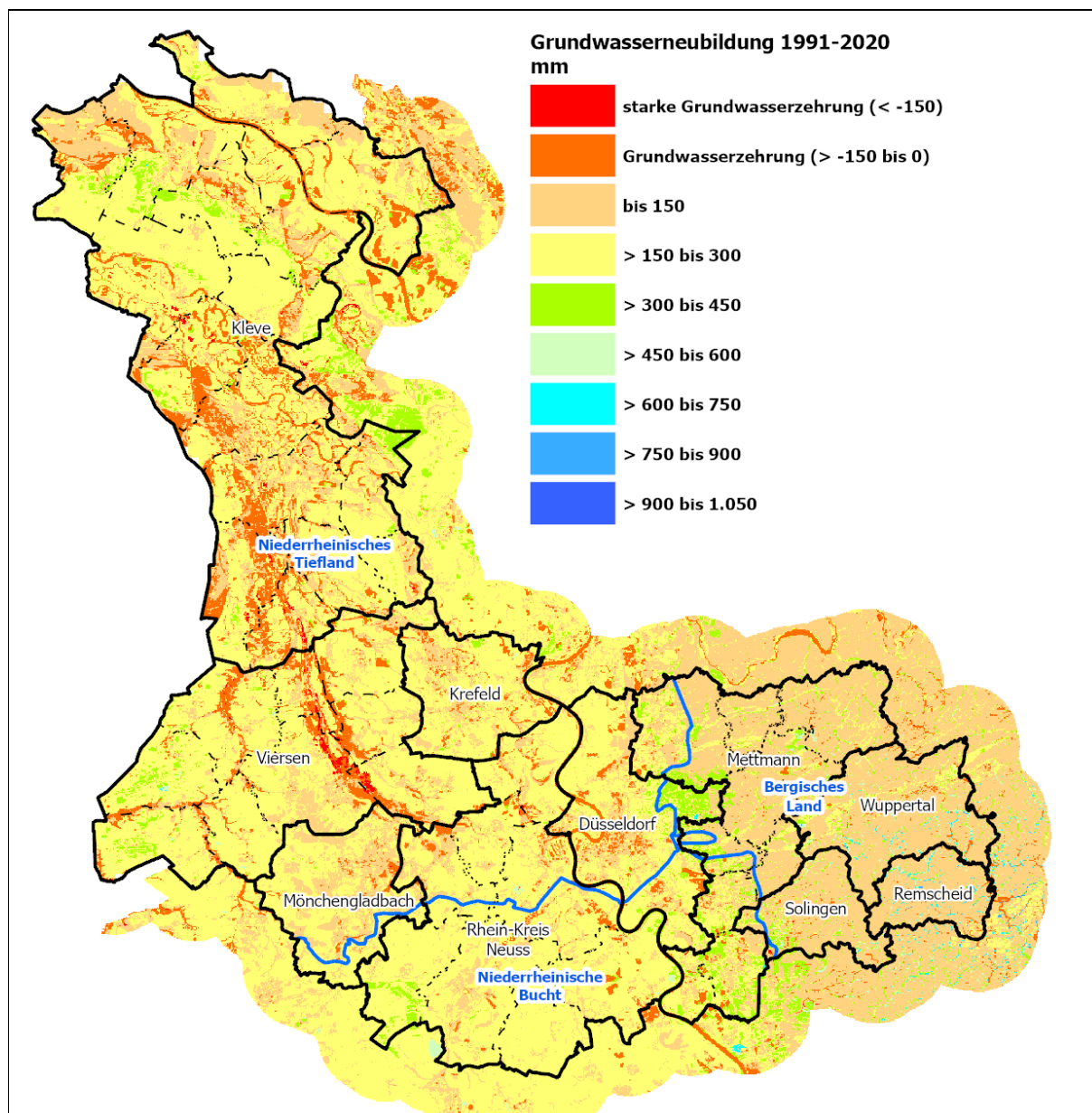
In Folge der Dürrejahre 2018-2021 rückte das Thema Wasserhaushalt verstärkt in den Fokus. Im Klimaatlas NRW stehen im Handlungsfeld Wasserhaushalt die Parameter Grundwasserneubildung, Netto-Gesamtabfluss und tatsächliche Evapotranspiration zur Verfügung. Ergänzt werden diese Parameter durch Daten zur klimatischen Wasserbilanz, die vom DWD bezogen werden. Alle Parameter liegen analog zur Niederschlagssumme in der Einheit Millimeter vor. Durch die Betrachtung der Parameter zum Wasserhaushalt wird eine Kombination des drastischen Temperaturanstieges in NRW mit der Niederschlagsentwicklung ermöglicht. Gerade in der überwiegend warmen und eher trockenen Planungsregion Düsseldorf, mit zahlreichen bewässerten landwirtschaftlichen Flächen, industriellen Großverbrauchern in der chemischen Industrie oder den durch den Braunkohletagebau notwendigen Wasserhaltungsmaßnahmen, sind die Parameter des Wasserhaushaltes von hoher Relevanz.

Grundwasserneubildung

Mit Grundwasserneubildung wird der Teil des Wassers im Wasserkreislauf bezeichnet, der als infiltrierendes Sickerwasser den Grundwasserleiter speist. Die Grundwasserneubildung ist somit der Anteil des Niederschlags, der weder verdunstet noch abfließt, sondern bis ins Grundwasser versickert. Beeinflusst wird die Grundwasserneubildung durch den Untergrund, die Nutzung der Landoberfläche und natürlich durch die mittlere Niederschlagsmenge sowie mittlere Lufttemperatur.

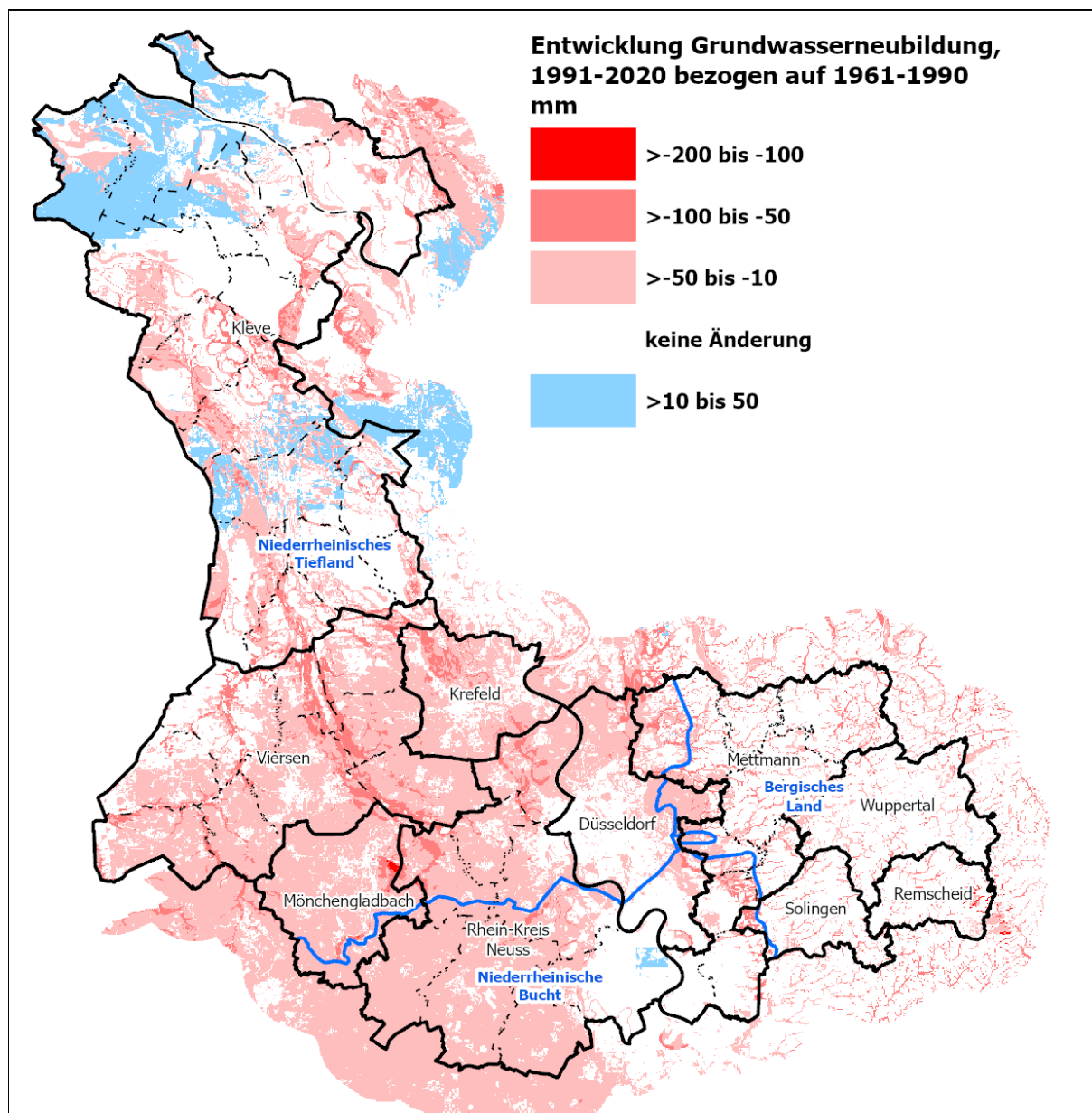
In der KNP 1991-2020 lag der Flächenmittelwert der jährlichen Grundwasserneubildung in der Planungsregion Düsseldorf bei 162 mm (Tabelle 10) und damit über dem Landesdurchschnitt (NRW: 123 mm). Aufgrund der vergleichsweise hohen Auflösung von 100 x 100 Metern zeigt die Karte in Abbildung 19 ein detailliertes Bild der räumlichen Verteilung der Grundwasserneubildung. Während der Großteil des Niederrheinischen Tieflandes und der Niederrheinischen Bucht auf eine mittlere jährliche Grundwasserneubildung von > 150 - 300 mm kommt, gibt es aufgrund der Bodenbeschaffenheit auch zahlreiche Flächen mit einer Grundwasserneubildung von weniger als 150 mm. Dort, wo die Böden Anschluss an das Grundwasser haben und sogar kapillarer Grundwasseraufstieg erfolgt, findet eine Grundwasserzehrung statt. Dies ist meistens in den Bruchlandschaften der Bach- und Flussniederungen wie an der Niers (orange-roter Streifen durch Kreise Viersen und Kleve) der Fall. In dem Teil der Planungsregion Düsseldorf, der zum Bergischen Land gehört, bleibt die Grundwasserneubildung außerhalb der Täler unterhalb von 150 mm. Dies hängt mit dem Festgestein des Rheinischen Schiefergebirges zusammen. Dort, wo es die Untergrundbedingungen und die klimatischen Verhältnisse es zulassen, steigt die Grundwasserneubildung lokal auf > 300 - 450 mm.

Abbildung 20 zeigt den Unterschied bei der Grundwasserneubildung im Vergleich der Klimanormalperioden 1991-2020 und 1961-2020. In der KNP 1961-1990 lag die auf die Fläche der Planungsregion gemittelte jährliche Grundwasserneubildung bei 175 mm, was einem Rückgang von 13 mm in der aktuellen Klimanormalperiode entspricht. In Abbildung 20 wird deutlich, dass im überwiegenden Teil des Planungsraums, insbesondere im Südwesten, die Grundwasserneubildung zurückgegangen ist. Demgegenüber existieren insbesondere im Norden des Kreises Kleve Flächenanteile, in denen sich eine Zunahme der Grundwasserneubildung zeigt. Tabelle 10 stellt die Entwicklung der Mittelwerte über ausgewählte KNP dar.



Daten: Forschungszentrum Jülich; Kartengrundlage: LAND NRW (2025) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0

Abbildung 19: Grundwasserneubildung pro Jahr 1991-2020 im Planungsraum Düsseldorf



Daten: Forschungszentrum Jülich; Kartengrundlage: LAND NRW (2025) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0

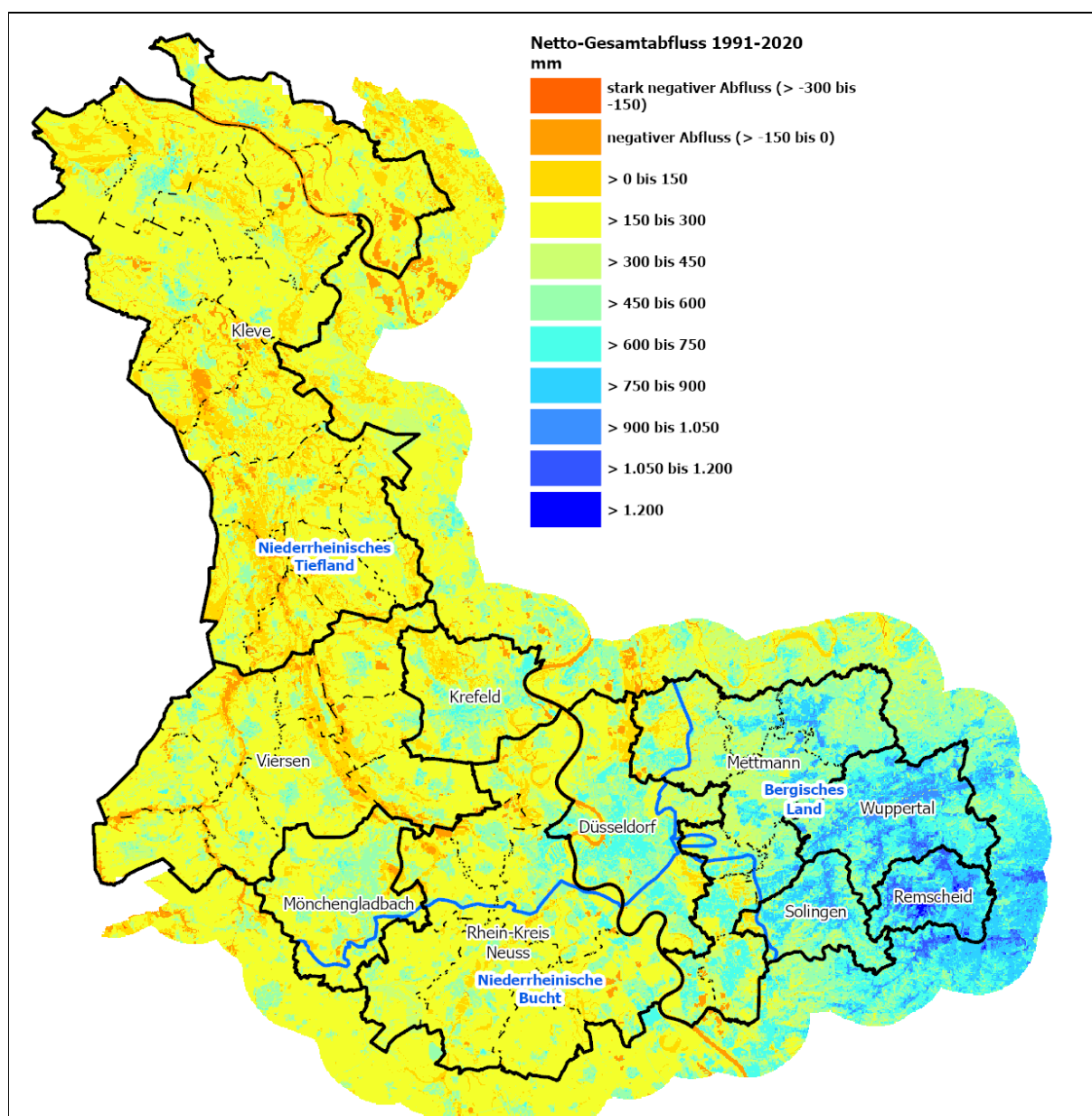
Abbildung 20: Änderung der mittleren Grundwasserneubildung pro Jahr 1991-2020 bezogen auf 1961-1990 im Planungsraum Düsseldorf

Netto-Gesamtabfluss

Der Netto-Gesamtabfluss fasst alle ober- und unterirdischen (z. B. Hangwasser) Abflusskomponenten zusammen. Der Gesamtabfluss wird maßgeblich durch den Niederschlag beeinflusst und wird ebenfalls in mm angegeben.

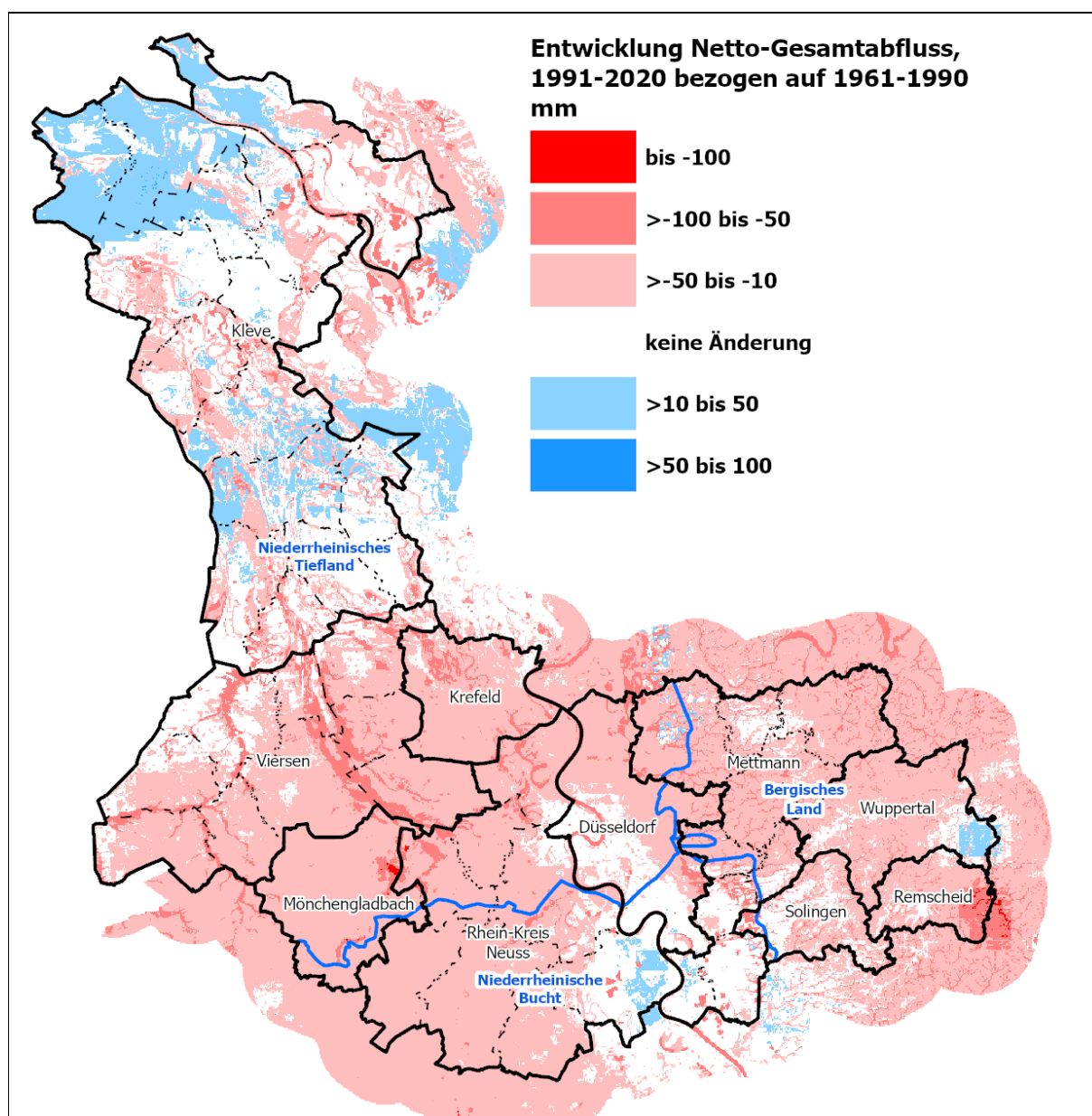
In der aktuellen Klimanormalperiode 1991-2020 liegt das Flächenmittel des mittleren jährlichen Gesamtabflusses in der Planungsregion bei 325 mm (Tabelle 10) und ist damit geringer als der Landesdurchschnitt (NRW: 364 mm). Abbildung 21 zeigt die Karte des mittleren jährlichen Netto-Gesamtabflusses 1991-2020. Dort zeigt sich generell ein ähnliches räumliches Muster wie bei den Niederschlagsparametern. Ein Unterschied ergibt sich insbesondere zwischen dem Bergischen Land und Bereichen im Flachland. Während in Wuppertal, Solingen und besonders in Remscheid der mittlere jährliche Netto-Gesamtabfluss bei > 600 mm und mehr liegt, kommen die übrigen Gebiete auf höchstens 300 mm in der Fläche. Davon ausgenommen sind die versiegelten Siedlungsgebiete, die mit einem zwangsläufig höheren Netto-Gesamtabfluss auffallen, weil der Niederschlag nicht in den Boden infiltrieren kann.

In Abbildung 22 wird für den Netto-Gesamtabfluss die Differenz zwischen der aktuellen Klimanormalperiode 1991-2020 und der vorangegangenen Klimanormalperiode 1961-1990 dargestellt. Im Flächenmittel 1961-1990 lag der mittlere jährliche Netto-Gesamtabfluss bei 342 mm (NRW: 384), der Unterschied zur KNP 1991-2020 (325 mm) beträgt demnach 17 mm. Auf der Karte in Abbildung 22 ist vor allem im südlichen Teil der Planungsregion eine fast durchgängige Verringerung des Netto-Gesamtabflusses zu erkennen, mit Ausnahme einiger Bereiche im südöstlichen Teil des Rhein-Kreis Neuss (Dormagen) und im Osten von Wuppertal. Im Kreis Kleve hingegen zeigt sich eine leicht positive Veränderung des Netto-Gesamtabflusses im Vergleich zu 1961-1990. Die Entwicklung des Parameters über ausgewählte KNP kann Tabelle 10 entnommen werden.



Daten: Forschungszentrum Jülich; Kartengrundlage: LAND NRW (2025) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0

Abbildung 21: Netto-Gesamtabfluss pro Jahr 1991-2020 im Planungsraum Düsseldorf



Daten: Forschungszentrum Jülich; Kartengrundlage: LAND NRW (2020) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0

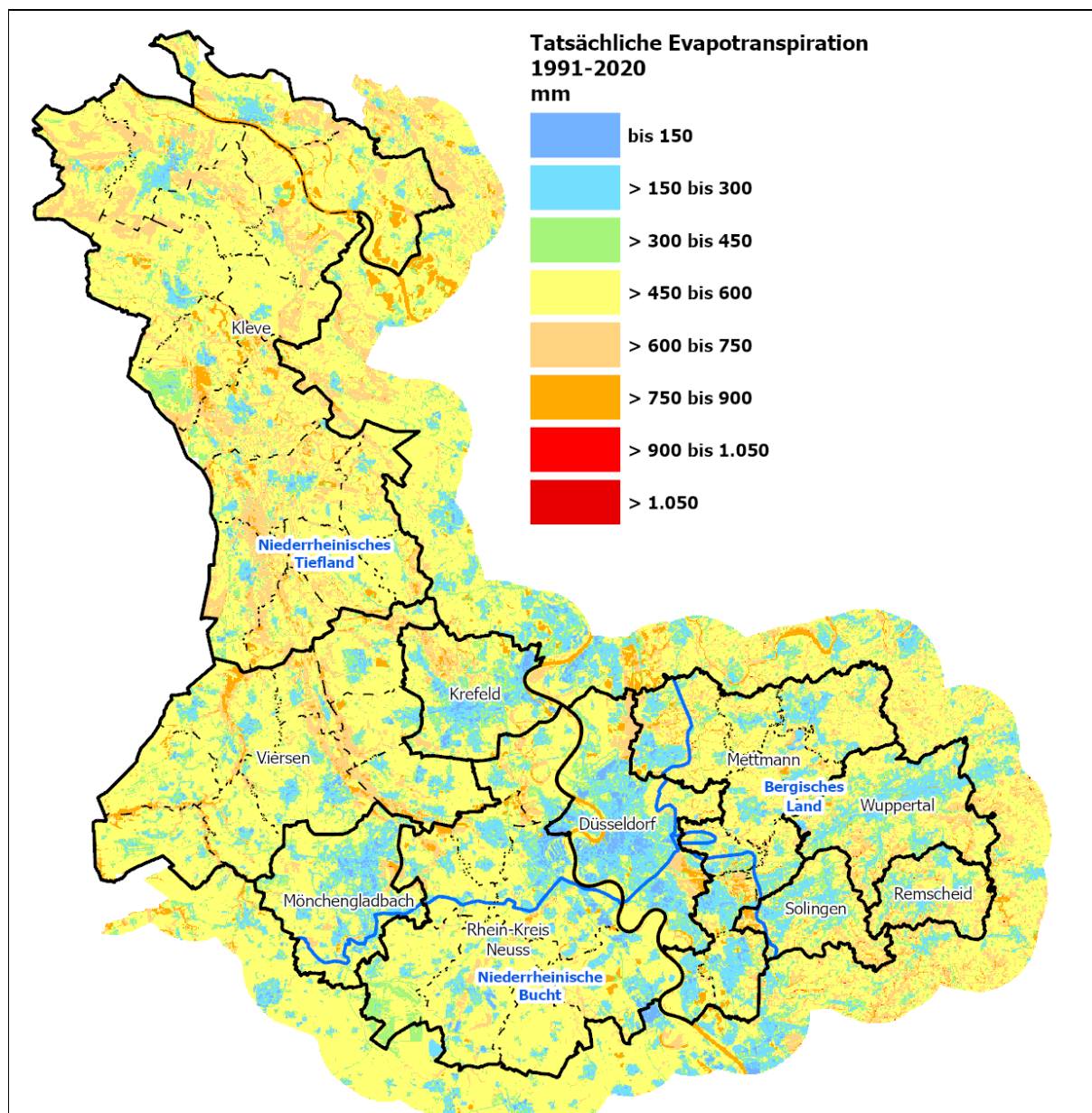
Abbildung 22: Änderung des Netto-Gesamtabflusses pro Jahr 1991-2020 bezogen auf 1961-1990 im Planungsraum Düsseldorf

Tatsächliche Evapotranspiration

Die Evaporation ist die Verdunstung von Wasser, z. B. auf Wasseroberflächen oder versiegelten Flächen. Transpiration hingegen ist die Wasserabgabe über Porenöffnungen, z. B. von Pflanzen. Betrachtet man beide Verdunstungsarten gemeinsam, so spricht man von Evapotranspiration. Während bei der potenziellen Evapotranspiration der Wert modelliert wird, der bei unbegrenzter Wasserverfügbarkeit möglich wäre, ist die tatsächliche Evapotranspiration an das Niederschlagsdargebot gebunden und wird entsprechend limitiert. Wie bei den anderen Wasserhaushaltsparametern auch wird die tatsächliche Evapotranspiration in Millimetern angegeben.

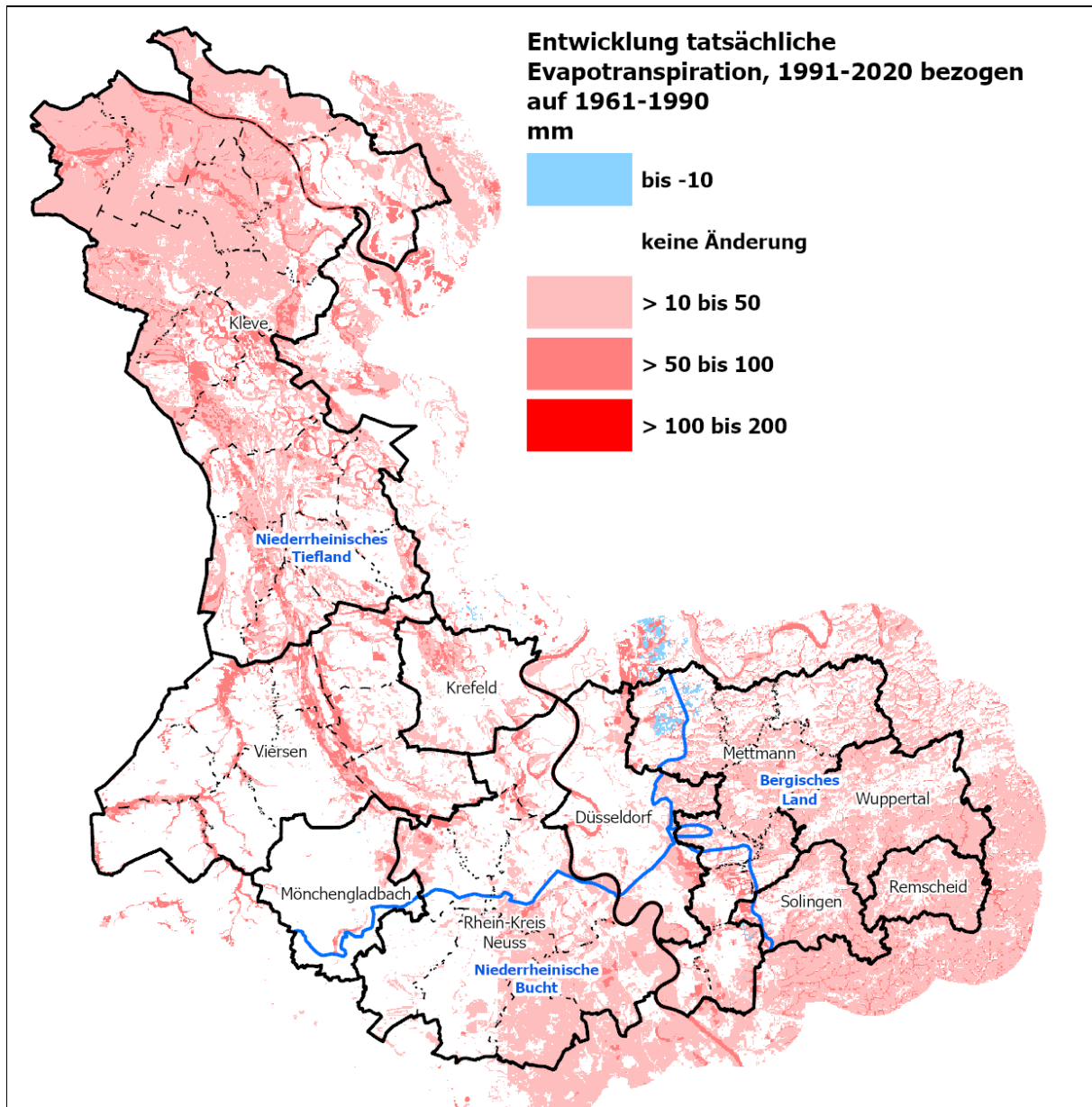
In der aktuellen KNP 1991-2020 liegt der mittlere jährliche Wert der tatsächlichen Evapotranspiration bei 492 mm (Tabelle 10) und damit unter dem Landesdurchschnitt (NRW: 508 mm). Abbildung 23 zeigt die tatsächliche Evapotranspiration der aktuellen KNP. Während die versiegelten Siedlungsbereiche nur auf einen mittleren jährlichen Wert von bis zu 300 mm kommen, sind Höchstwerte mit > 750-900 mm an offenen Gewässern und zum Teil in Niederungen mit Grundwasseranschluss anzutreffen, wie an der Niers im Kreis Viersen und im Kreis Kleve. Der Großteil der Fläche der Planungsregion Düsseldorf liegt bei der mittleren jährlichen tatsächlichen Evapotranspiration im Bereich > 450-600 mm.

Abbildung 24 zeigt die Veränderung der mittleren jährlichen tatsächlichen Evapotranspiration im Vergleich der aktuellen Klimanormalperiode 1991-2020 mit der vorangegangenen KNP 1961-1990. 1961-1990 lag der Wert im Planungsraum Düsseldorf bei 477 mm (NRW: 491), womit sich die Evapotranspiration um 15 mm erhöht hat. In Abbildung 24 ist erkennbar, dass die tatsächliche Evapotranspiration in größeren Bereichen im Norden und im Südosten der Planungsregion leicht um 10-50 mm zugenommen hat. Im Kreis Viersen, in Mönchengladbach, im westlichen Rhein-Kreis Neuss und in Düsseldorf gibt es in der Fläche kaum Veränderungen. Tabelle 10 zeigt anhand ausgewählter KNP, wie sich die Mittelwerte im Laufe der Zeit verändert haben.



Daten: Forschungszentrum Jülich; Kartengrundlage: LAND NRW (2025) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0

Abbildung 23: Tatsächliche Evapotranspiration pro Jahr 1991-2020 im Planungsraum Düsseldorf



Daten: Forschungszentrum Jülich; Kartengrundlage: LAND NRW (2025) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0

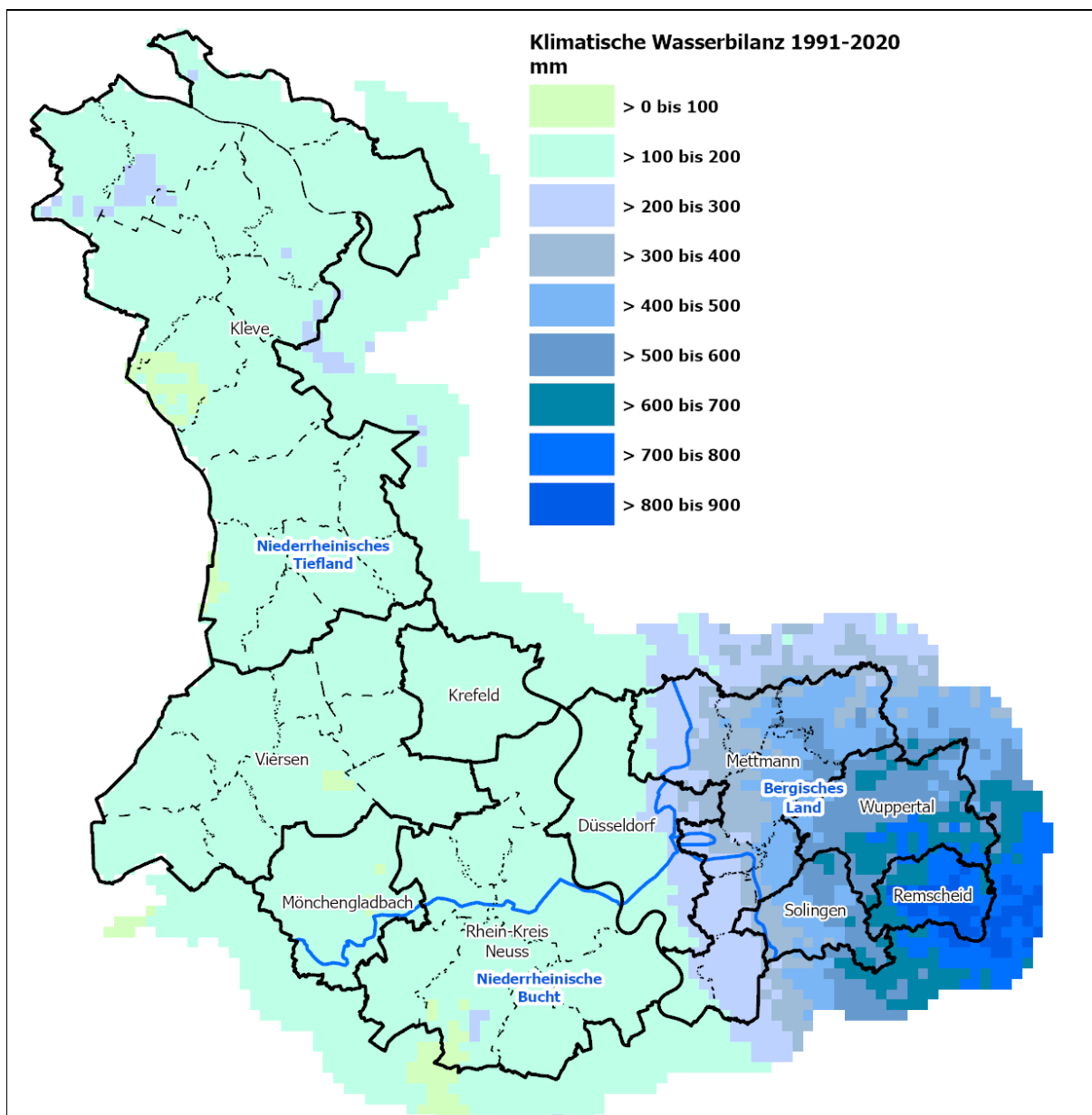
Abbildung 24: Änderung der Tatsächlichen Evapotranspiration pro Jahr 1991-2020 bezogen auf 1961-1990 im Planungsraum Düsseldorf

Klimatische Wasserbilanz

Unter der klimatischen Wasserbilanz, ebenfalls in Millimetern angegeben, wird die Differenz zwischen der mittleren Niederschlagssumme und der mittleren potenziellen Evapotranspiration verstanden. Für die Berechnung der potenziellen Evapotranspiration wird vom Deutschen Wetterdienst die Graslandreferenzverdunstung verwendet. Die klimatische Wasserbilanz stellt auf anschauliche Weise dar, wieviel von der mittleren Niederschlagssumme eines definierten Zeitintervalls je Klimanormalperiode nach der Verdunstung verbleibt. Ist die klimatische Wasserbilanz positiv, sprechen Klimatologen von humiden Verhältnissen. Ist sie negativ, liegen aride Verhältnisse vor.

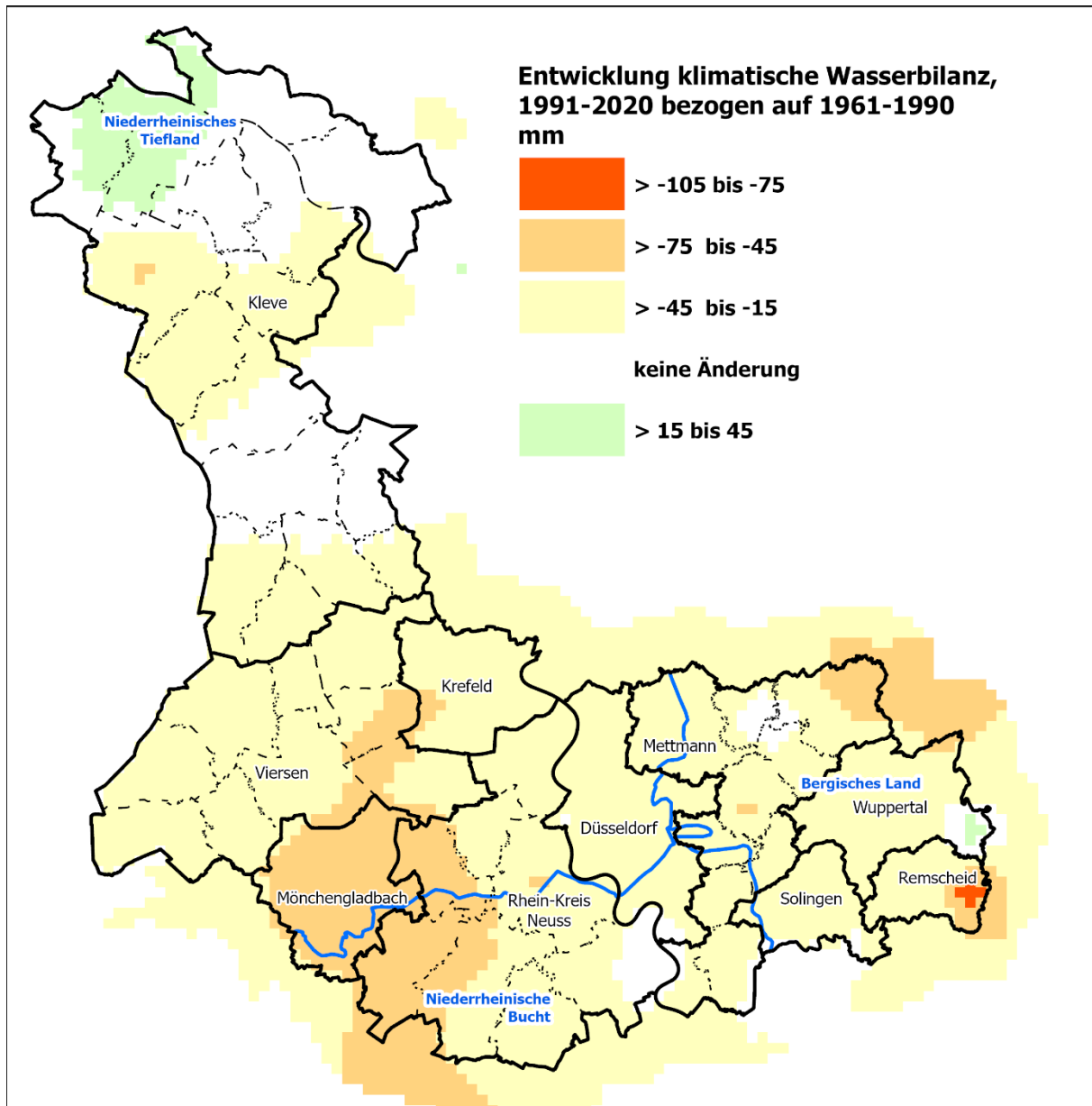
In der KNP 1991-2020 liegt die mittlere jährliche klimatische Wasserbilanz bei 210 mm (Tabelle 11) und damit unter dem Landesdurchschnitt (NRW: 289 mm). Abbildung 25 zeigt die räumliche Verteilung der mittleren klimatischen Wasserbilanz in der Planungsregion Düsseldorf. Wie auch schon bei den anderen niederschlagsabhängigen Parametern gibt es hier deutliche Unterschiede zwischen dem eher tiefer gelegenen und trockenen Teil der Planungsregion im Westen und dem höher gelegenen süd-östlichen Teil. Während die westlichen und südlichen Teile der Planungsregion, die zum Niederrheinischen Tiefland bzw. Niederrheinischen Bucht gehören, in weiten Teilen eine mittlere jährliche klimatische Wasserbilanz von > 100 bis 200 mm aufweisen, steigen die Werte östlich von Düsseldorf im Bergischen Land in einem recht steilen Gradienten an. In Remscheid erreicht die mittlere jährliche klimatische Wasserbilanz > 800 bis 900 mm und somit die höchsten Werte in der Planungsregion.

Abbildung 26 stellt für die Planungsregion Düsseldorf die Entwicklung der mittleren jährlichen klimatischen Wasserbilanz 1991-2020 gegenüber der KNP 1961-1990 dar. Im Flächenmittel lag 1961-1990 die mittlere jährliche klimatische Wasserbilanz bei 236 mm (NRW: 316). Im Vergleich zum Mittelwert von 210 mm in der Klimanormalperiode 1991-2020 zeigt sich ein Rückgang von 26 mm im Flächenmittel. Während im nördlichen Kreis Kleve in einem kleinen Gebiet die mittlere jährliche klimatische Wasserbilanz um > 15 – 45 mm angestiegen ist, zeigen sich ansonsten keine Änderungen oder Rückgänge der Werte im Kreis Kleve. Südlich davon liegt der Rückgang annähernd flächendeckend bei > -45 bis -15 mm. Im Bereich um Mönchengladbach und dem westlichen Teil des Rhein-Kreis Neuss ging die mittlere jährliche klimatische Wasserbilanz um > -75 bis -45 mm zurück. Dies gilt auch für lokal begrenzte Gebiete im äußersten Osten der Planungsregion. Tabelle 11 zeigt die Entwicklung der mittleren jährlichen und saisonalen klimatischen Wasserbilanz für ausgewählte Klimanormalperioden.



Daten: DWD; Kartengrundlage: LAND NRW (2025) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0

Abbildung 25: Klimatische Wasserbilanz pro Jahr 1991-2020 im Planungsraum Düsseldorf



Daten: DWD; Kartengrundlage: LAND NRW (2025) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0

Abbildung 26: Änderung der Klimatischen Wasserbilanz pro Jahr 1991-2020 bezogen auf 1961-1990 im Planungsraum Düsseldorf

Fazit Wasserhaushalt

In Tabelle 10 werden abschließend für die Parameter der Wasserwirtschaft aus den mGROWA-Daten des Forschungszentrums Jülich die Mittelwerte der ersten verfügbaren KNP 1961-1990, der originären Referenzperiode für die Zukunftsprojektionen 1971-2000 sowie der aktuellen KNP 1991-2020 dargestellt.

Die aktuelle KNP 1991-2020 liefert bei den ersten drei Wasserhaushaltsparametern Grundwasserneubildung, Netto-Gesamtabfluss und tatsächliche Evapotranspiration die jeweils niedrigsten Werte, bzw. bei der tatsächlichen Evapotranspiration den höchsten Wert. Hier berechnete das Forschungszentrum Jülich mit dem Wasserhaushaltsmodell mGROWA schon recht

trockene Werte, die auch im Vergleich zu den später vorgestellten Zukunfts-Projektionen (Kapitel 2.2.9) erst in einer ungünstigen trockenen Bandbreite der Projektionsergebnisse erreicht werden.

Tabelle 11 stellt die jährliche und saisonale mittlere klimatische Wasserbilanz für die KNP 1961-1990, 1971-2000 und 1991-2020 dar. Bei der mittleren jährlichen klimatischen Wasserbilanz liegt der Wert von 1991-2020 ebenfalls deutlich unter dem Niveau der ersten verfügbaren Klimanormalperiode 1961-1990. Für das Frühjahr treten in der KNP 1991-2020 erstmalig ebenfalls negative, also aride Werte auf. Hier zeigen sich deutlich die Folgen der höheren Temperaturen bei kaum veränderten Niederschlagssummen. Die höheren Temperaturen sorgen für entsprechende Verdunstungsraten und auch für einen früheren Beginn der Vegetationszeiten. Im Herbst und im Winter hingegen ist die klimatische Wasserbilanz im Vergleich zu 1961-1990 angestiegen. Dies liegt vor allem an den insgesamt milderen Temperaturen und wärmeren Ozeanen, die der Atmosphäre mehr Wasserdampf zur Verfügung stellen können als früher.

Tabelle 10: Übersicht der mGROWA- Kennzahlen im Wasserhaushalt pro Jahr im Planungsraum Düsseldorf, in mm

	1961-1990	1971-1980	1991-2020	Differenz 1991-2020 zu 1961-1990
Grundwasserneubildung	175	172	162	-13
Netto-Gesamtabfluss	342	338	325	-17
Tatsächliche Evapotranspiration	477	475	492	15

Daten: Forschungszentrum Jülich

Tabelle 11: Übersicht Klimatische Wasserbilanz, jährlich und saisonal, in der Planungsregion Düsseldorf, in mm

Klimatische Wasserbilanz	1961-1990	1971-1980	1991-2020	Differenz 1991-2020 zu 1961-1990
Frühjahr	18	8	-20	-38
Sommer	-32	-49	-46	-14
Herbst	91	105	105	+14
Winter	157	159	173	+16
Jahr	236	222	210	-26

Daten: DWD

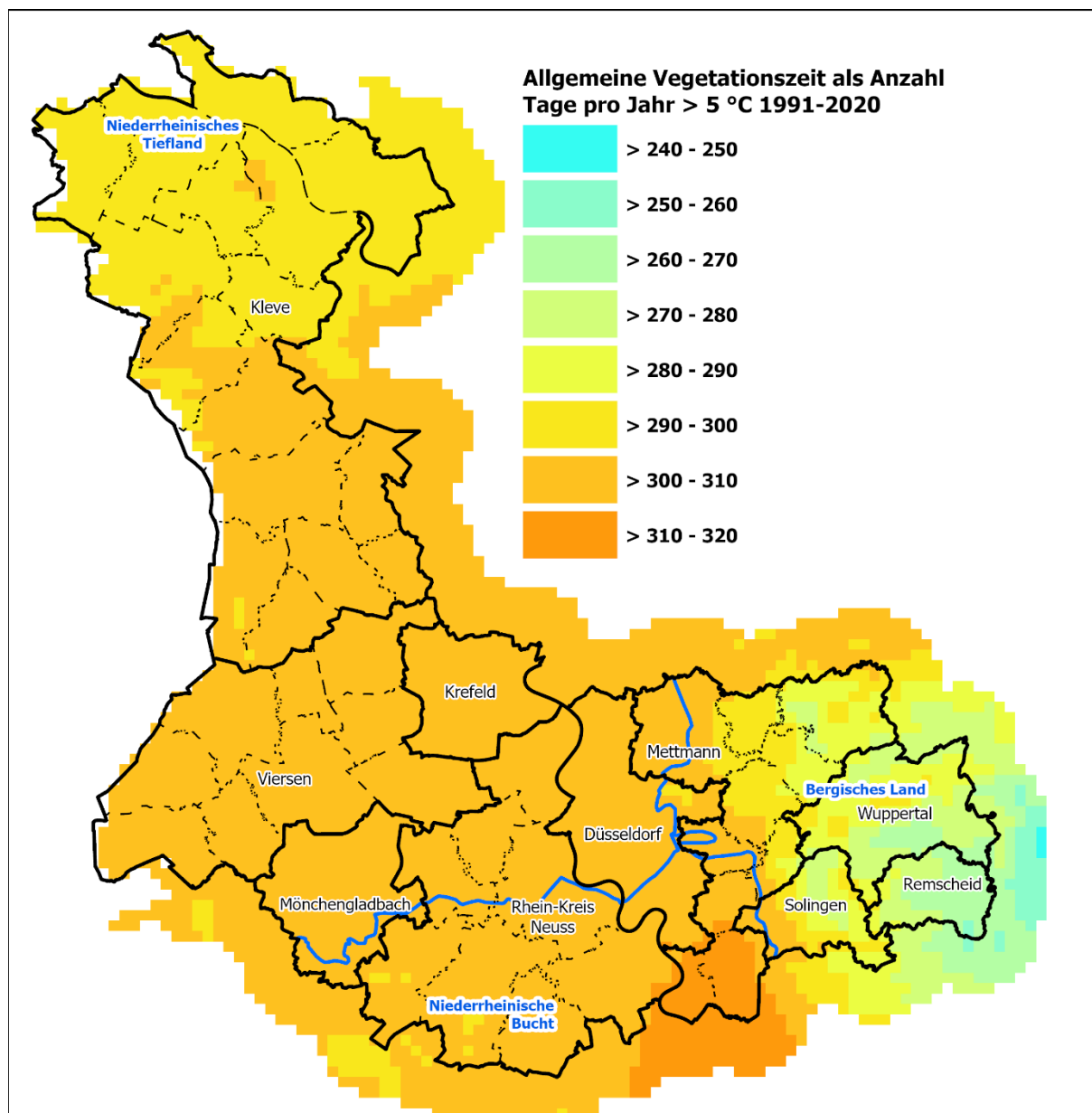
2.1.6 Vegetationszeit und Waldbrandgefahr

Allgemeine Vegetationszeit

Die tatsächliche allgemeine Vegetationszeit wird nach Hübener et al. 2017 definiert als die Periode zwischen dem ersten Tag im Jahr vor dem 01. Juni mit sechs aufeinanderfolgenden Tagen mit Temperaturen $> 5^{\circ}\text{C}$ und dem letzten Tag von sechs aufeinanderfolgenden Tagen mit Temperaturen $< 5^{\circ}\text{C}$ nach dem 01. Juni. Mit Hilfe dieser Definition können basierend auf dem Tagestemperatur-Raster des HYRAS-Datensatzes vom Deutschen Wetterdienst (DWD 2025_A) für jede beobachtete Klimanormalperiode die jeweilige Länge der tatsächlichen Vegetationszeit samt tatsächlichen Start- und Enddaten berechnet werden.

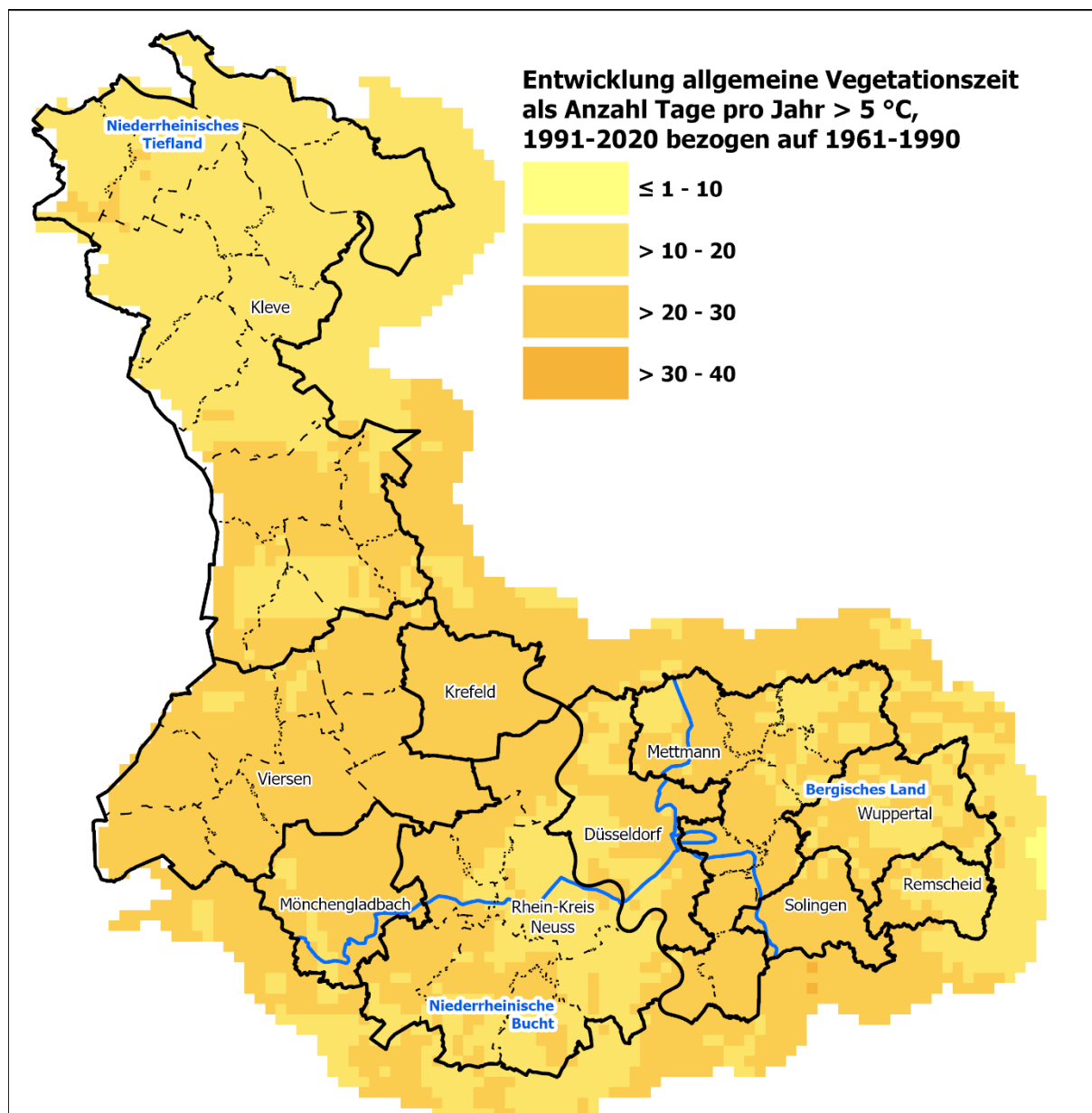
Abbildung 27 zeigt die tatsächliche allgemeinen Vegetationszeit 1991-2020 für die Planungsregion Düsseldorf. Im Flächenmittel liegt der Wert für diesen Zeitraum bei rund 300 Tagen (Tabelle 12) und damit über dem Landesdurchschnitt (NRW: 280 Tage). Dieser Wert ist eher hoch und spiegelt das vergleichsweise hohe Temperaturniveau in der Planungsregion wider. Insgesamt ist die Klasse > 300 bis 310 Tage in der Fläche am weitesten verbreitet. Sie erstreckt sich von der Mitte des Kreises Kleve bis ganz nach Süden und bis östlich von Düsseldorf. Die nördliche Hälfte des Kreises Kleve sowie am Rand des Bergischen Landes kommen > 290 bis 300 Tage an tatsächlicher allgemeiner Vegetationszeit vor. Je höher die Lage im Bergischen Land, desto kürzer werden dort zwangsläufig die tatsächlichen Vegetationszeiten. Hier geht die Zeitspanne auf bis zu > 250 bis 260 Tage zurück.

Abbildung 28 stellt in der Karte den Unterschied der KNP 1991-2020 zur KNP 1961-2020 dar. Hier wird sichtbar, welche Auswirkungen der Temperaturanstieg von fast einem Grad auf die tatsächliche allgemeine Vegetationszeit hat. Verglichen mit dem rund 300 im Flächenmittel 1991-2020 kommt die Klimanormalperiode 1961-1990 auf rund 280 Tage (NRW: 262). Somit ist die tatsächliche allgemeine Vegetationszeit in der Planungsregion im Flächenmittel um 20 Tage pro Jahr länger geworden. In der Karte zeigt sich, dass die Klassen > 10 bis 20 Tage pro Jahr und > 20 bis 30 Tage pro Jahr an Zunahme der tatsächlichen allgemeinen Vegetationszeit dominieren. Tabelle 12 stellt die Veränderung der tatsächlichen allgemeinen Vegetationszeit über ausgewählte KNP abschließend dar.



Daten: DWD; Kartengrundlage: LAND NRW (2025) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0

Abbildung 27: Tatsächliche allgemeine Vegetationszeit, Anzahl Tage pro Jahr 1991-2020 im Planungsraum Düsseldorf



Daten: DWD; Kartengrundlage: LAND NRW (2025) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0

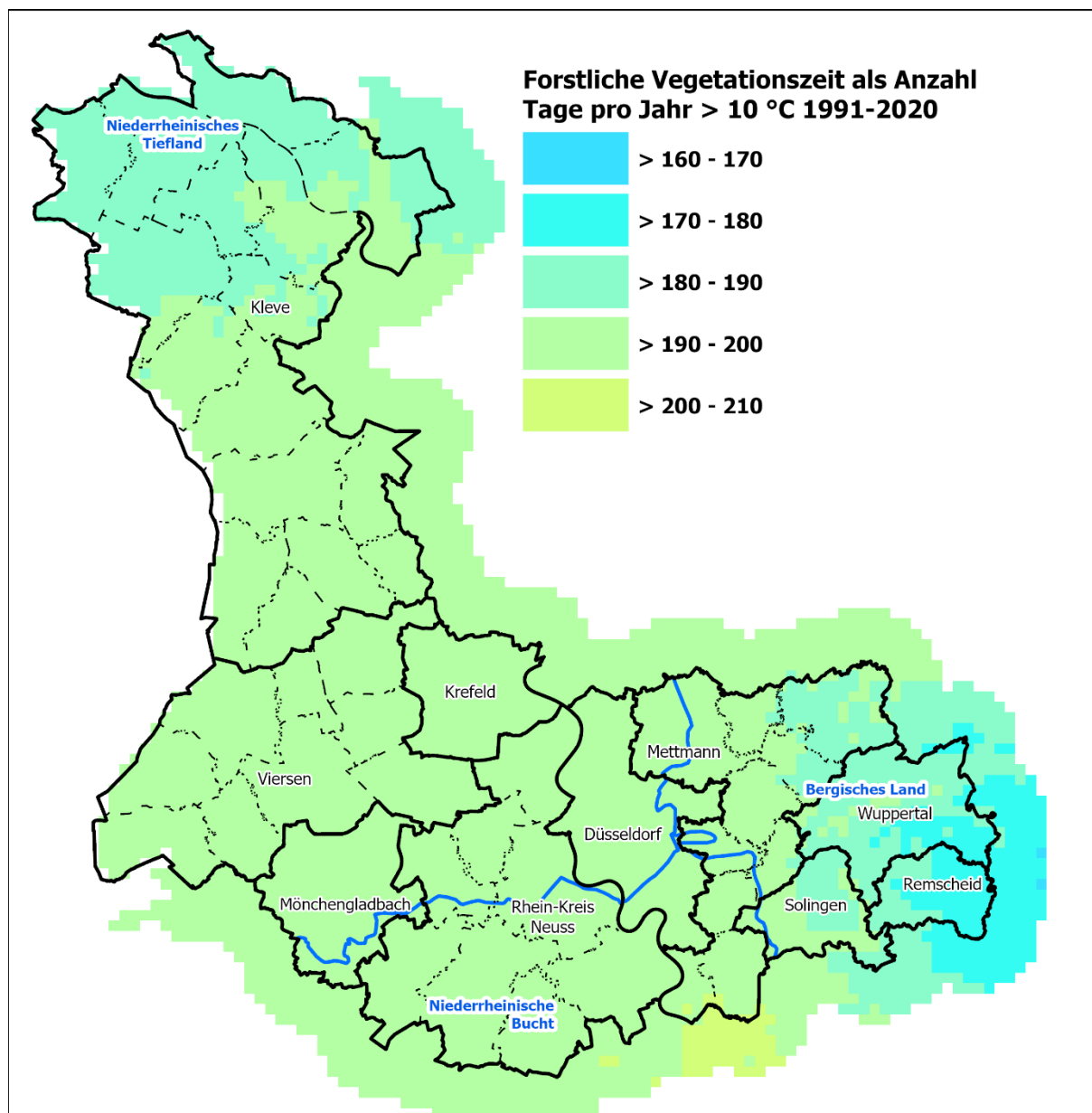
Abbildung 28: Änderung der tatsächlichen allgemeinen Vegetationszeit, Anzahl Tage pro Jahr 1991-2020 bezogen auf 1961-1990 im Planungsraum Düsseldorf

Forstliche Vegetationszeit

Die tatsächliche forstliche Vegetationszeit wird ähnlich definiert wie die tatsächliche allgemeine Vegetationszeit. Hier ist der Unterschied, dass die Temperaturgrenze bei 10 °C liegt und nicht bei 5 °C.

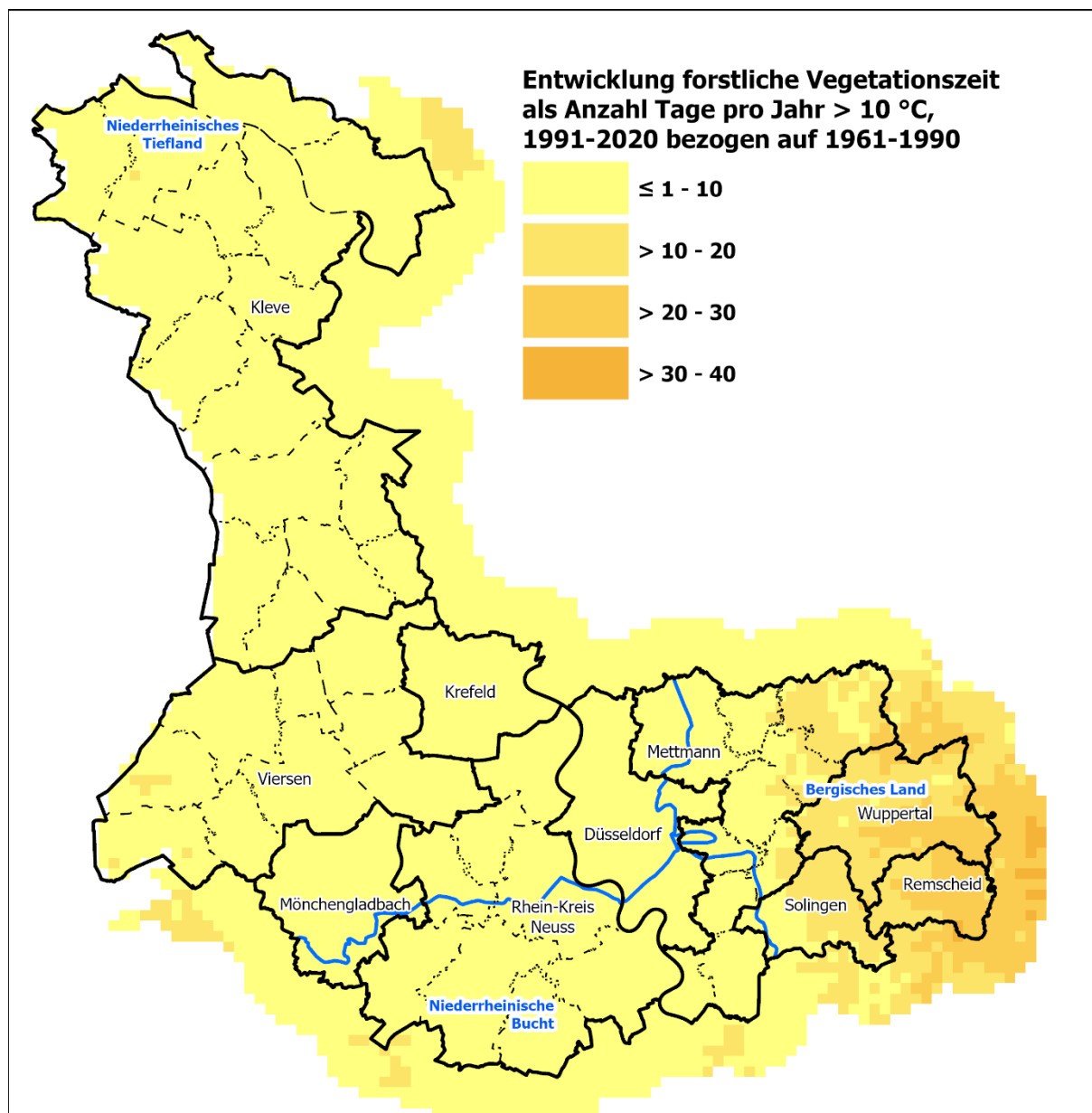
Abbildung 29 zeigt die mittlere tatsächliche forstliche Vegetationszeit in Tagen pro Jahr für die aktuelle KNP 1991-2020 im Plangebiet Düsseldorf. Der flächengemittelte Wert für das Plangebiet liegt bei rund 193 Tagen pro Jahr (Tabelle 12) und damit über dem Landesdurchschnitt (NRW: 180 Tage). Im Planungsraum tritt die Klasse von > 190 bis 200 Tagen Vegetationszeitlänge im größten Teil des Gebietes auf. Lediglich im Norden vom Kreis Kleve und im Bergischen Land liegt die tatsächliche forstliche Vegetationszeit bei > 180 bis 190 Tagen pro Jahr. Ganz im Osten, in den Hochlagen des Bergischen Landes bei Wuppertal und Remscheid, kommt die tatsächliche forstliche Vegetationszeit auf > 170 bis 180 Tage pro Jahr.

Abbildung 30 zeigt die Änderung der tatsächlichen forstlichen Vegetationszeit der KNP 1991-2020 gegenüber der KNP 1961-1990. In der KNP 1961-1990 lag die tatsächliche forstliche Vegetationszeit im Flächenmittel der Planungsregion Düsseldorf bei 186 Tagen pro Jahr (NRW: 167). Daraus ergibt sich eine mittlere Verlängerung um rund 7 Tage. Die Karte zeigt, dass innerhalb der Planungsregion mit Ausnahme der höhergelegenen Teile des Bergischen Landes die Zunahme der tatsächlichen forstlichen Vegetationszeit im Bereich > 1 bis 10 Tage im Jahr liegt. Nur im östlichsten Teil der Planungsregion, in den östlichen Teilen des Kreises Mettmann, Wuppertal und Remscheid, kommen die Klassen > 10 bis 20 Tage pro Jahr und vereinzelt auch höher vor. Die Entwicklung der tatsächlichen forstlichen Vegetationszeit über ausgewählte KNP ist in Tabelle 12 übersichtlich dargestellt.



Daten: DWD; Kartengrundlage: LAND NRW (2025) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0

Abbildung 29: Tatsächliche forstliche Vegetationszeit, Anzahl Tage pro Jahr 1991-2020 im Planungsraum Düsseldorf



Daten: DWD; Kartengrundlage: LAND NRW (2025) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0

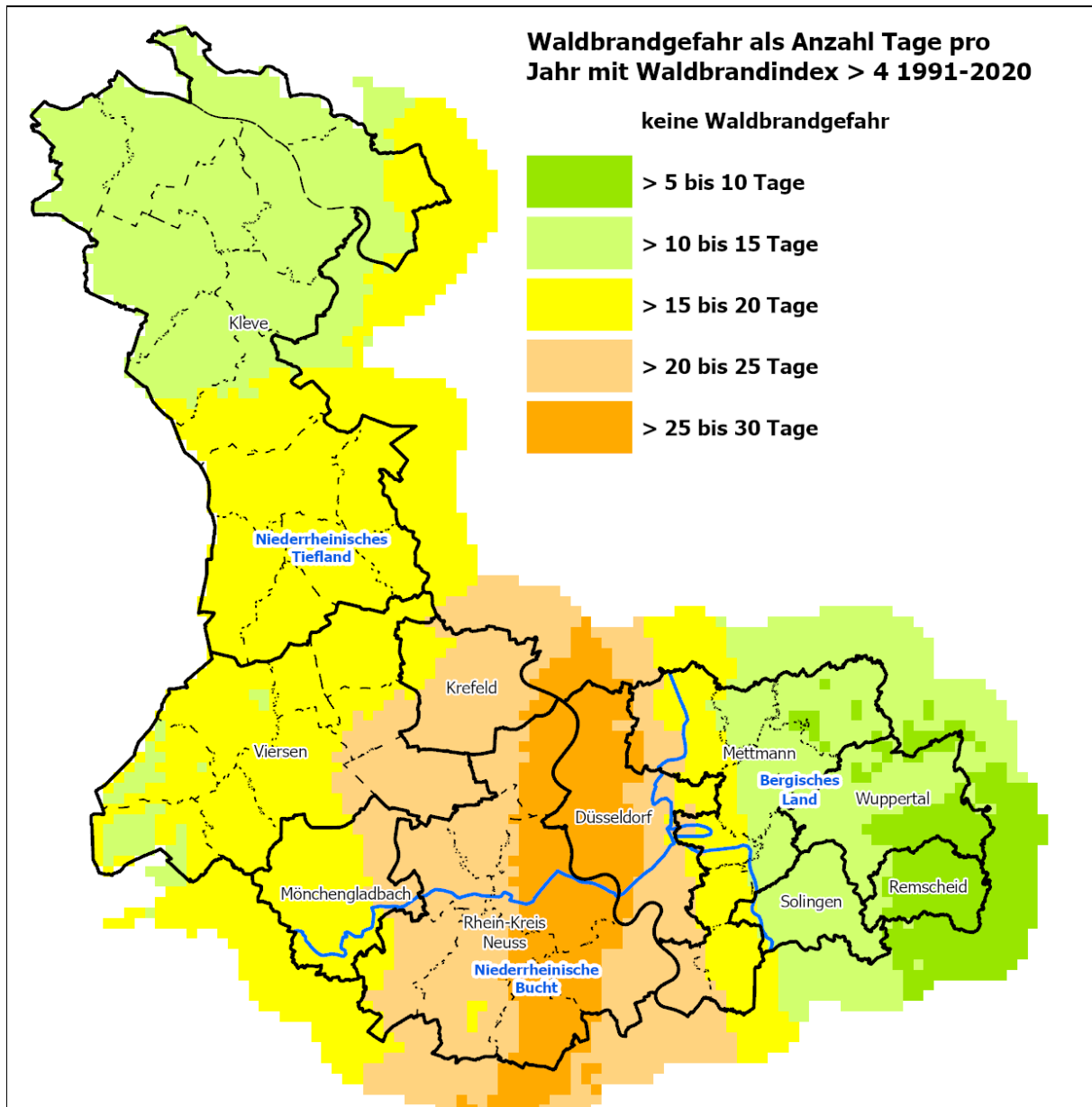
Abbildung 30: Änderung der tatsächlichen forstlichen Vegetationszeit, Anzahl Tage pro Jahr 1991-2020 bezogen auf 1961-1990 im Planungsraum Düsseldorf

Waldbrandgefahr

Die Waldbrandgefahr ist ein Parameter, der vom DWD zur Verfügung gestellt wird, und der an den Kanadischen Fire Weather Index angelehnt ist. Hohe Waldbrandgefahr besteht allgemein an Tagen, an denen der vom DWD verwendete fünf-stufige Waldbrandindex höher als 4 ist.

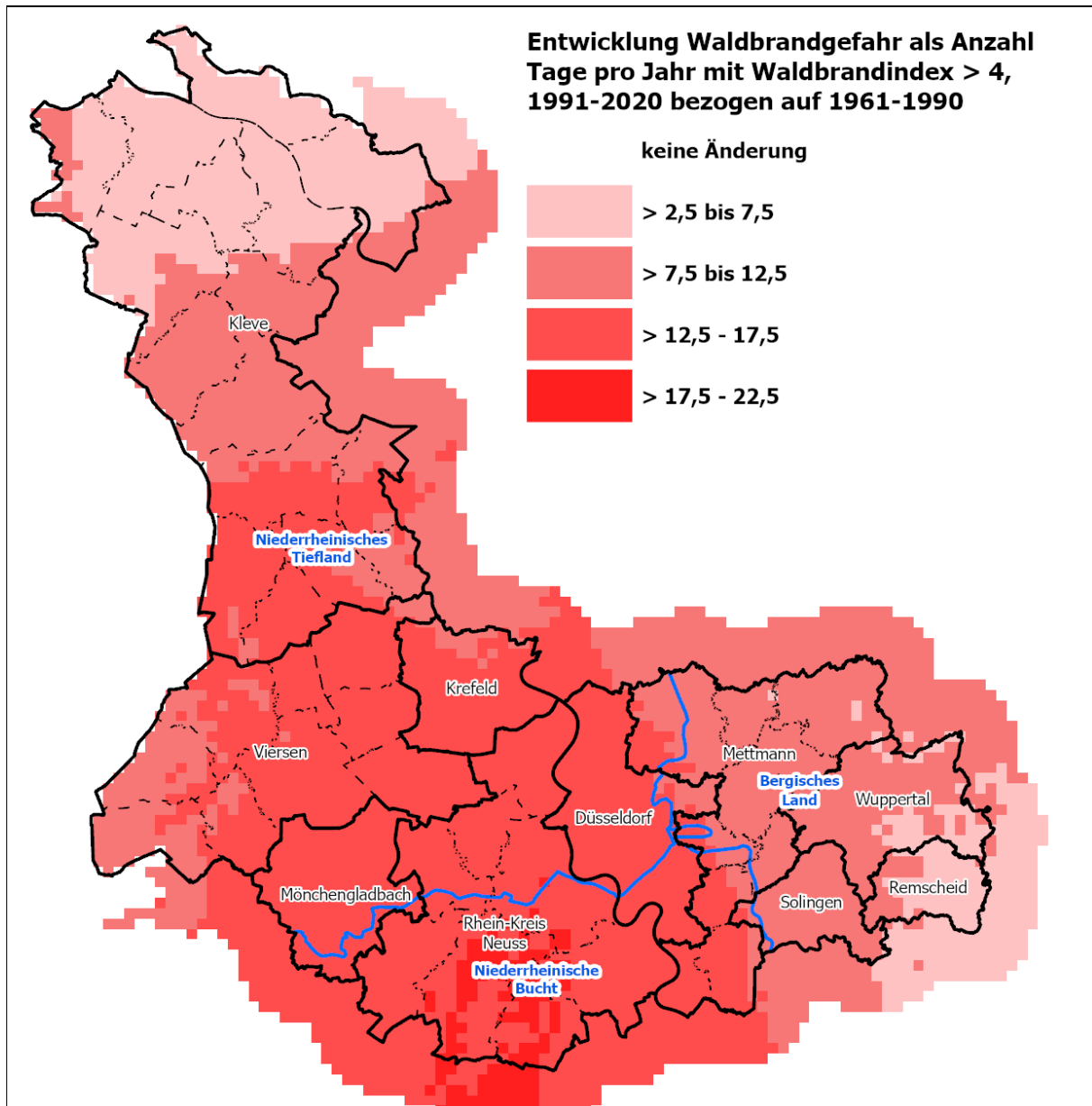
Abbildung 31 stellt die Karte der mittleren jährliche Anzahl an Tagen pro Jahr mit einem Waldbrandindex > 4 in der aktuellen KNP 1991-2020 dar. Im Gebiet der Planungsregion Düsseldorf liegt die mittlere Anzahl bei rund 17 Tagen im Jahr und damit leicht über dem Landesdurchschnitt (NRW: 15 Tage). Im Zentrum des südlichen Plangebietes, im überwiegenden Teil von Düsseldorf und Teilen des Rhein-Kreis Neuss liegt die mittlere jährliche Anzahl an Tagen mit einem Waldbrandindex > 4 bei über 25 bis 30 Tagen. Dies sind die höchsten Werte für ganz NRW. In den übrigen Gebieten von Düsseldorf und dem Rhein-Kreis Neuss sowie in den westlich angrenzenden Kreisen und kreisfreien Städten treten Werte von > 20 bis 25 Tage auf. Der südliche Kreis Kleve, der größte Teil des Kreises Viersen und Mönchengladbach kommen auf > 15 bis 20 Tage mit einem Waldbrandindex über 4. Im nördlichen Kreis Kleve und im Bergischen Land liegt die Anzahl der Tage mit hoher Waldbrandgefahr bei > 10 bis 15 Tage pro Jahr. Am östlichen Rand des Bergischen Landes (Remscheid, Teile Wuppertals) kommen lokal Flächen mit > 5 bis 10 Tagen pro Jahr vor. Hier spiegeln sich die regionalen Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse wider. Während vor allem im Bergischen Land weniger Tage mit hohem Waldbrandindex vorkommen, steigen die Werte westlich von Düsseldorf und im Rhein-Kreis Neuss, wo es mit am wärmsten und am trockensten ist.

Abbildung 32 zeigt für das Planungsgebiet die Veränderung bei den Tagen pro Jahr mit einem Waldbrandindex > 4 in der KNP 1991-2020 gegenüber der vorangegangenen KNP 1961-1990. In der KNP 1961-1990 betrug die Anzahl der Tage mit einem hohen Waldbrandindex > 4 im Flächenmittel noch 6 Tage pro Jahr (NRW: 5). Verglichen mit den rund 17 Tagen pro Jahr in der aktuellen Klimanormalperiode beträgt die mittlere Zunahme demnach 11 Tage pro Jahr. Insbesondere im Süden des Rhein-Kreis Neuss liegt der Anstieg teilweise bei $> 17,5$ bis 22,5 Tage pro Jahr. Am weitesten verbreitet ist ein Anstieg von $> 12,5$ bis 17,5 Tagen pro Jahr. Tabelle 12 stellt die Entwicklung der Waldbrandgefahr über ausgewählte KNP übersichtlich dar.



Daten: DWD; Kartengrundlage: LAND NRW (2025) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0

Abbildung 31: Waldbrandgefahr, Anzahl Tage pro Jahr 1991-2020 mit Waldbrandindex > 4 im Planungsraum Düsseldorf



Daten: DWD; Kartengrundlage: LAND NRW (2025) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0

Abbildung 32: Änderung der Waldbrandgefahr, Anzahl Tage pro Jahr 1991-2020 mit Waldbrandindex > 4 bezogen auf 1961-1990 im Planungsraum Düsseldorf

Fazit Vegetationszeiten und Waldbrandgefahr

Angetrieben durch den deutlichen Anstieg der Lufttemperatur im Vergleich der Klimanormalperioden 1961-1990 und 1991-2020 hat sich vor allem die mittlere tatsächliche allgemeine Vegetationszeit und die Anzahl der Tage pro Jahr mit einem Waldbrandgefahrenindex > 4 sehr deutlich verlängert beziehungsweise erhöht. Im Vergleich zum Anstieg der tatsächlichen allgemeinen Vegetationszeit von 21 Tagen fällt der Anstieg bei der tatsächlichen forstlichen Vegetationszeit um 7 Tage pro Jahr etwas geringer aus. Dies liegt einerseits an der Definition dieses Wertes, andererseits auch daran, dass besonders der Winter milder geworden ist und damit auch die niedrigere 5 °C-Grenze deutlich häufiger und konsistenter überschritten wird. Tabelle 12 fasst die Mittelwerte der letzten drei vorgestellten Parameter im Flächenmittel der Planungsregion Düsseldorf noch einmal übersichtlich zusammen.

Tabelle 12: Änderung der tatsächlichen Vegetationszeiten und Waldbrandgefahr, in mittlere Anzahl an Tagen pro Jahr Klimanormalperiode 1991-2020 bezogen auf 1961-1990 im Planungsraum Düsseldorf

	1961-1990	1971-2000	1991-2020	Differenz
Tatsächliche allgemeine Vegetationszeit	280	288	300	+20
Tatsächliche forstliche Vegetationszeit	186	186	193	+7
Waldbrandgefahr	6	8	17	+11

(Daten: DWD)

2.1.7 Fazit bisherige Klimaveränderungen

Die in diesem Kapitel beschriebenen Klimaänderungen verdeutlichen den insgesamt sehr starken und schnellen Temperaturanstieg in der Planungsregion Düsseldorf, der im Vergleich der aktuellen Klimanormalperiode 1991-2020 mit dem Zeitraum 1961-1990 im Flächenmittel +0,9 Kelvin und lokal bis zu +1,1 Kelvin beträgt. Dieser Temperaturanstieg zwischen zwei direkt aufeinanderfolgenden Klimanormalperioden ist extrem und dem beschleunigten anthropogenen Klimawandel zuzuschreiben. Die jährlichen Niederschlagsmengen sind annähernd konstant geblieben, bei allerdings signifikanten Veränderungen der saisonalen Niederschlagssummen: Rückgang der Niederschlagssummen im Sommer, mehr Niederschlag vor allem im Winter und im Herbst.

Die klimatischen Kenntage zeigen, dass der Planungsraum wärmer und schneeärmer geworden ist. Bei lokal bis zu 15 zusätzlichen Sommertagen und bis zu 6 heißen Tagen mehr im Jahr werden die Auswirkungen des starken Temperaturanstiegs besonders in den dichtbesiedelten Siedlungsräumen deutlich spürbar. Die Anzahl der trockenen Tage ist um einen Tag im Jahr angestiegen. Die Zunahme der Lufttemperatur hat zur deutlichen Verlängerung der allgemeinen Vegetationszeit und der forstlichen Vegetationszeit geführt. In Kombination mit relativ konstanten Niederschlagssummen haben sich bei den Parametern zum Wasserhaushalt und bei der Waldbrandgefahr insgesamt trockenere Verhältnisse etabliert.

Aussagen zur Entwicklung der Häufigkeit und Intensität von extremen Starniederschlagsereignissen können an Hand der flächendeckend für NRW zur Verfügung stehenden Parameter, die in diesem Kapitel ausgewertet wurden, nicht getroffen werden. Durch die globale

Erderwärmung kann die Atmosphäre grundsätzlich mehr Wasserdampf aufnehmen, was potenziell mehr extreme Starkniederschläge ermöglicht. Daten aus dem Projekt ExUS im Klimafolgen- und Anpassungsmonitoring des LANUK zeigen, dass die durchschnittliche Anzahl an Starkregenereignissen pro Jahr im Zeitraum 1961-2018 in NRW signifikant zugenommen hat.

Basierend auf den dem LANUK zur Verfügung stehenden Klimaprojektionen, die in diesem Fachbeitrag für die Planungsregion aufbereitet wurden, liefert das folgende Kapitel 2.2 einen Überblick über die für die Zukunft zu erwartende Entwicklung bei den beschriebenen Parametern.

2.2 Mögliche zukünftige Entwicklung in der Planungsregion Düsseldorf – Klimaprojektionen

In Kapitel 2.2 werden die für die Zukunft projizierten Klimaveränderungen im Planungsraum Düsseldorf beschrieben. Die Ergebnisse der Projektionen beziehen sich originär auf die Referenz-Klimanormalperiode 1971-2000, deren Werte ebenfalls in Kapitel 2.1 dargestellt wurden. Allerdings werden die Projektionen als absolute Werte dargestellt, um eine direkte Vergleichbarkeit mit der aktuellen KNP 1991-2020 zu ermöglichen. Zunächst werden in den Abschnitten 2.2.1 und 2.2.2 wesentliche Grundlagen der Simulation zukünftiger Klimaänderungen und deren Auswertung erläutert. Unterkapitel 2.2.3 und 2.2.4 widmen sich den projizierten Veränderungen bei der Lufttemperatur, gefolgt von den Temperaturkerntagen (2.2.5). Die Abschnitte 2.2.6 bis 2.2.8 behandeln die projizierten Veränderungen des Niederschlags, wobei zuerst auf die Niederschlagssummen eingegangen wird und anschließend auf Niederschlagstage. Danach erfolgt die Beschreibung der Klimaprojektionen für die Parameter der Wasserwirtschaft (2.2.9) und der Vegetationszeiten bzw. zur Waldbrandgefahr (2.2.10). Abschließend wird in Unterkapitel 2.2.11 eine Zusammenfassung der projizierten Klimaveränderungen gegeben.

2.2.1 RCP-Szenarien und Perzentile

Um die Veränderung des Klimas auch für zukünftige Zeiträume abschätzen zu können, werden komplexe Klimamodelle verwendet. Diese Modelle arbeiten neben den festen physikalischen Rahmenbedingungen, z. B. aktuelle CO₂- bzw. Treibhausgaskonzentration, Sonneneinstrahlung, Oberflächentemperatur u. v. m., auch mit Szenarien über die möglichen zukünftigen Treibhausgasemissionen, die durch die Menschen verursacht werden. Je nach zugrundeliegendem Szenario über die zukünftige 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 Düsseldorf eingegangen wird, werden die verwendeten Modellszenarien und deren Bandbreiten für die projizierten Klimakenngrößen beschrieben und eingeordnet.

Exkurs I: Projektionsszenarien bei der Modellierung möglicher zukünftiger Klimata

Für Nordrhein-Westfalen und somit auch für den Planungsraum liegen Klimaprojektionen unterschiedlicher Modell-Simulationen basierend auf den sogenannten RCP-Szenarien vor. Die Bezeichnung RCP steht für Representative Concentration Pathways (repräsentative Konzentrations-

RCP: Representative Concentration Pathway

RCP2.6 „Klimaschutz-Szenario“

RCP4.5 „moderates Szenario“

RCP8.5 „business as usual“

pfade). Die Szenarien gehen von bestimmten Strahlungsantriebswerten im Jahr 2100 aus und schließen - quasi rückwärts - auf mögliche Treibhausgaskonzentrationen (MOSS ET AL. 2010). Dementsprechend werden sie auch nach den Strahlungsantriebswerten, die sie im Jahr 2100 erreichen, bezeichnet. Dabei werden vier RCP-Szenarien unterschieden: RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 und RCP8.5. Die Zahlen hinter „RCP“ stehen für den durch die gestiegene Treibhausgaskonzentration verstärkten Strahlungsantrieb des natürlichen Treibhauseffektes. RCP2.6 steht zum Beispiel für 2,6 Watt pro Quadratmeter mehr Strahlungsantrieb gegenüber der vorindustriellen Zeit 1850-1900 (LANUV 2024).

Das optimistische Szenario RCP2.6 geht davon aus, dass ein Maximum der globalen Treibhausgaskonzentration von ca. 490 ppm schon vor 2100 erreicht werden kann, um dann wieder zu fallen (van Vuuren et al. 2011). Anschließend sieht dieses Szenario eine aggressive Emissionsminderung vor. Nur auf diese Weise könnte das 2015 in Paris vereinbarte Ziel, die Temperaturerhöhung auf deutlich unter 2 °C gegenüber dem Temperaturniveau der vorindustriellen Zeit zu begrenzen, noch erreicht werden (FRANCE DIPLOMATIE 2015, UNFCCC 2015). Deshalb wird dieses Szenario auch als „Klimaschutz-Szenario“ bezeichnet.

Das Szenario RCP4.5 ist ein Szenario mit einem „moderaten“, aber in Bezug auf das 2-Grad-Ziel dennoch zu hohen Anstieg der Treibhauskonzentration auf bis zu 650 ppm im Jahr 2100 (VAN VUUREN ET AL. 2011). Dieses Szenario würde eine atmosphärische CO₂-Konzentration verursachen, die seit mindestens 27 Millionen Jahren nicht mehr vorgelegen hat (Pagani et al. 2005; Zhang et al. 2013; IPCC 2013a).

Das Szenario RCP6.0 geht von einem dem alten A1B-Szenario ähnlichen Verlauf an Treibhausgaskonzentration aus, was in diesem Fall etwa 850 ppm im Jahr 2100 bedeuten würde (VAN VUUREN ET AL. 2011). Landesweite Klimaprojektionen zu diesem Szenario liegen dem LANUK nicht vor.

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 ca. 1.370 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 vergleichsweise kurzer Zeit in einen Zustand zu verwandeln, den es so seit mindestens 52 Millionen Jahren nicht mehr gegeben hat (ZHANG ET AL. 2013; IPCC 2013A).

Abbildung 3 zeigt bereits eindrücklich die möglichen globalen Temperaturen und Treibhausgaskonzentrationen anhand der neuesten Generation der Klimaprojektionen. Hier zeigen die letzten Ziffern ebenfalls die veränderten Strahlungswerte auf der Oberfläche an, wodurch eine Vergleichbarkeit zu den RCP-Szenarien gegeben ist.

Für die Projektionen des zukünftigen Klimas in NRW und dem Planungsraum Düsseldorf wurden in diesem Fachbeitrag die Szenarien RCP2.6, RCP4.5 und RCP8.5 ausgewertet, deren Daten vom Deutschen Wetterdienst bereitgestellt werden.

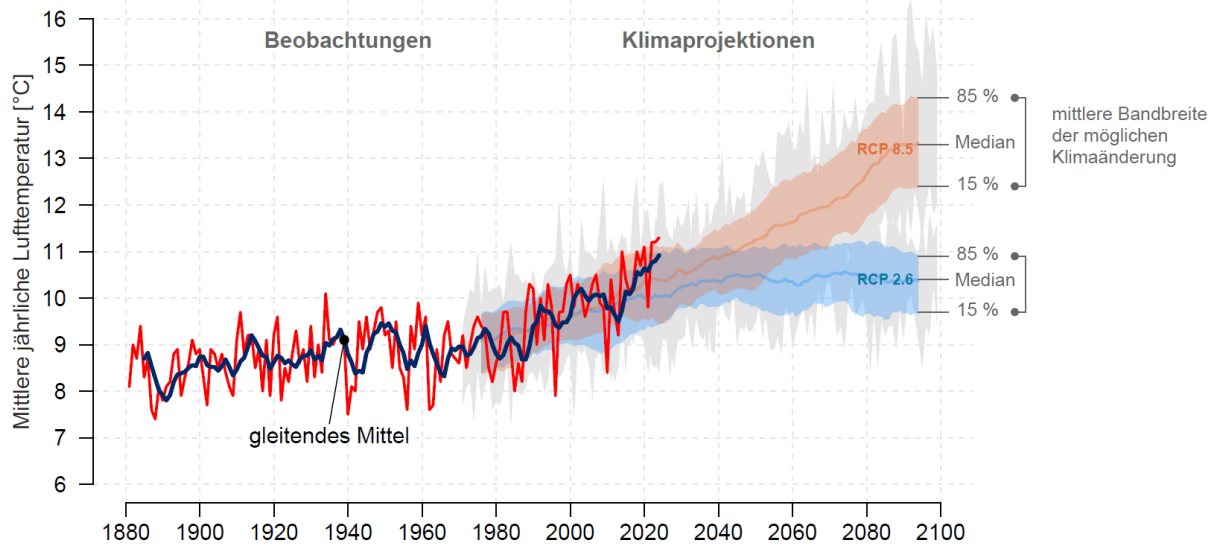
Exkurs II: Darstellung der Klimaprojektionen als Perzentil

Bei der Projektion von zukünftigen Klimaveränderungen wird anstatt einzelner Modelle in der Regel ein Verbund von mehreren, verschiedenen globalen und regionalen Klimamodellen (Modellensembles) verwendet. Dies hat den Vorteil, dass die Projektionen der zukünftigen Klimaänderungen in einer belastbareren Bandbreite simuliert und aufgezeigt werden können. Sämtliche Klimaprojektionen der einzelnen Modelle innerhalb eines solchen Ensembles sind dabei grundsätzlich gleich wahrscheinlich. Um aus der Anzahl der Einzelprojektionen innerhalb der Bandbreite eines Modellensembles dennoch Aussagen über die zu erwarteten Klimaveränderungen ableiten 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 wieder (hier: die Bandbreite der verschiedenen Modellergebnisse). Auf die Auswertung und Darstellung der Klimaprojektionen übertragen bedeutet dies, dass zunächst die Ergebnisse aller Klimamodelle für den jeweiligen Parameter der Größe nach geordnet werden. Für die Darstellung der Ergebnisse werden dann das 15 %-Perzentil (15. Perzentil), das 50 %-Perzentil (50. Perzentil) sowie das 85 %-Perzentil (85. Perzentil) betrachtet. Beim Wert des 15. Perzentil zeigen 15 % der Modelle geringere Ergebnisse bzw. Veränderungen an. Beim Wert des 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. Die Bandbreite zwischen dem 15. Perzentil und dem 85. Perzentil deckt demnach insgesamt 70 % der verschiedenen Modellergebnisse ab, wohingegen mögliche Extremwerte nicht dargestellt werden.

In Abbildung 33 werden die Bandbreiten (15. bis 85. Perzentil) der Szenarien RCP2.6 und RCP8.5 für die Zukunft und im Vergleich zu den beobachteten Temperaturen beispielhaft dargestellt. Dabei wird deutlich, dass die Temperaturentwicklung der letzten zehn Jahre deutlich im oberen Bereich der projizierten Bandbreiten beider Szenarien liegt (dunkelblaue Linie). Die RCP-Daten werden als absolute Zeitreihenwerte dargestellt, um eine direkte Vergleichbarkeit mit den beobachteten Temperaturmittelwerten zu ermöglichen. Alle Daten stammen vom DWD, die Beobachtungsdaten sind auf 5 – jährige gleitende Mittel geglättet, die Projektionswerte auf 10 – jährige gleitende Mittel. Abbildung 34 zeigt die Projektionen für die Niederschlagssummen. Hier ist jedoch ein eher geringer Anstieg bei beiden RCP-Szenarien zu erkennen. Die Trockenjahre 2018-2022 liegen deutlich am unteren, trockenen Rand der Projektionsbandbreiten, das Rekordjahr 2023 mit fast 1.200 mm Niederschlag bildet das andere Extrem ab.



Daten: DWD

Abbildung 33: Beobachtete Lufttemperaturen und Projektionen für das RCP2.6- und RCP8.5- Szenario in NRW

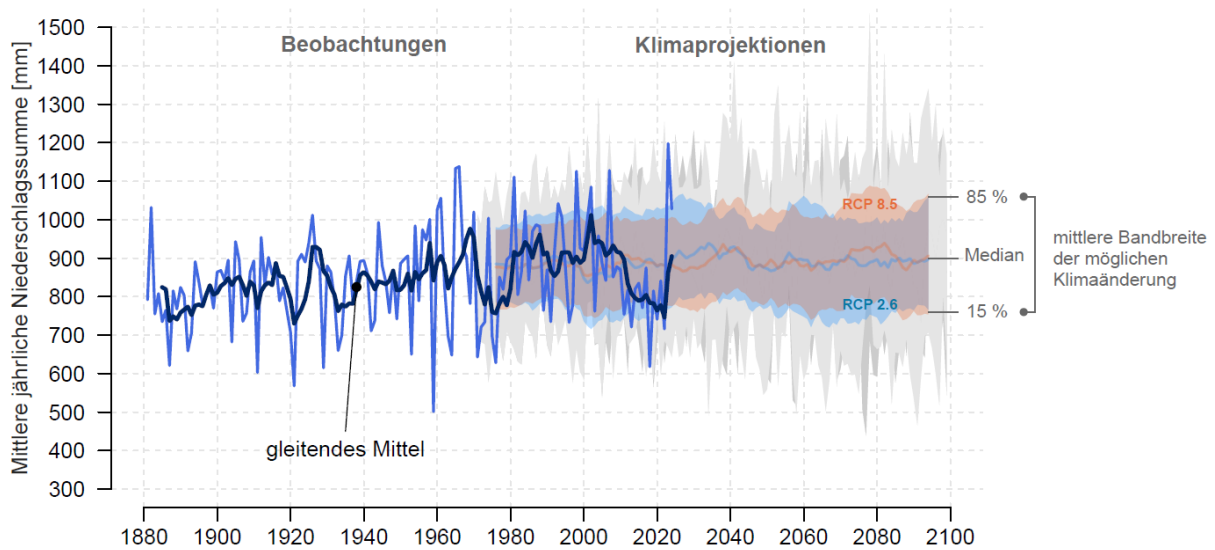


Abbildung 34: Beobachtete Niederschlagssummen und Projektionen für das RCP2.6- und RCP8.5-Szenario in NRW

2.2.2 Projizierte Klimaveränderung

Für zahlreiche Klimaparameter liegen vom Deutschen Wetterdienst regionalisierte Klimaprojektionen für die RCP-Szenarien 2.6, 4.5 und 8.5 vor. Die Projektionen verfügen dabei über eine räumliche Auflösung von ca. 5 km x 5 km Rastergröße (DWD 2019). Die aktuellen Auswertungen der Klimaprojektionen für Nordrhein-Westfalen beruhen auf Auswertungen der Projekte „EURO-CORDEX“ und „REKLIES-DE“ zum Stand Juni 2018 durch den DWD. Für die Szenarien RCP2.6 und RCP4.5 wurde ein Modellensemble aus zehn globalen und regionalen Klimamodellkombinationen ausgewertet, für das Szenario RCP8.5 bestand das Modellensemble aus 20 Modellläufen. Die Ergebnisse der Klimamodelle werden als Absolutwerte für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) und die ferne Zukunft (2071-2100) dargestellt, jeweils für die drei Szenarien RCP2.6, RCP4.5 und RCP8.5, und dabei jeweils für das 15., 50. und 85. Perzentil. Dies erlaubt eine Einordnung der potenziell zu erwartenden Szenarien im Vergleich zu den aktuell vorhandenen Parametern.

Auch wenn sich die räumliche Auflösung der Projektionsdaten im Vergleich zu früheren Datensätzen mittlerweile verbessert hat, und somit auch die Topographie besser abgebildet werden kann (KRÄHENMANN 2019), sollte den Projektionsdaten dennoch nicht eine ähnliche räumliche Differenziertheit und Genauigkeit wie Beobachtungsdaten zugemessen werden. Um möglichst valide, räumlich differenzierte Aussagen zu zukünftigen Klimaentwicklungen in einem Gebiet machen zu können, sollten mindestens 3 x 3 Rasterzellen bzw. Pixel (5 km x 5 km) den gleichen Änderungswert aufweisen (LINKE 2015).

Die projizierten Klimaveränderungen für den Planungsraum Düsseldorf werden im Folgenden mit Hilfe von Tabellen zusammenfassend für das gesamte Plangebiet dargestellt und zudem textlich beschrieben. Auf eine kartographische Darstellung wird an dieser Stelle verzichtet, entsprechende Karten stehen bei Bedarf im Klimaatlas NRW zur Verfügung.

2.2.3 Lufttemperatur

Zunächst werden die regionalisierten Ergebnisse der Klimamodelle für den Parameter Lufttemperatur für die drei RCP-Szenarien dargestellt. Dabei werden als erstes die Projektionen für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) betrachtet, anschließend für den Zeitraum der fernen Zukunft (2071-2100).

2031-2060: Mitte des Jahrhunderts

Im Szenario RCP2.6 steigen in der Mitte des Jahrhunderts die durchschnittlichen Temperaturen im Vergleich zur aktuellen-Klimanormalperiode 1991-2020 (10,8 °C) räumlich gemittelt auf einen Temperaturbereich von 10,9 °C bis 11,6 °C an (Tabelle 13). Im Szenario RCP4.5 steigen die Temperaturen auf 10,9 °C bis 12,0 °C im Flächenmittel an. Die projizierten Temperaturveränderungen des RCP8.5-Szenarios liegen bei einem möglichen Temperaturniveau von 11,5 °C bis 12,2 °C. Insgesamt ist damit mit einem Temperaturniveau zwischen 10,9 bis 12,2 °C bis zur Mitte des Jahrhunderts zu rechnen, je nachdem wie stark die Treibhausgasemissionen reduziert werden können. Die aktuelle mittlere Jahreslufttemperatur von 10,8 °C (1991-2020) liegt bereits im unteren Bereich der projizierten Spanne. Eine mittlere Lufttemperatur von 12,2 °C würde bedeuten, dass die bisher heißesten Jahre seit Beginn der Temperatureaufzeichnung im Planungsraum (2020, 2022, 2023 und 2024) mit ihrem Mittelwert von

12 °C zur Normalität werden. Durch die Schwankungen zwischen den Jahren muss sich auf Temperaturniveaus eingestellt werden, die heute noch außerhalb der Erfahrungen für Deutschland, NRW und die Planungsregion Düsseldorf liegen.

2071-2100: Ferne Zukunft

Für die ferne Zukunft wird innerhalb des RCP2.6-Szenarios für den Planungsraum Düsseldorf ein mittleres Lufttemperaturniveau im Bereich von rund 10,9 °C bis 11,7 °C projiziert. Somit hat sich beim sogenannten Klimaschuttszenario die Temperatursteigerung für die ferne Zukunft weitgehend stabilisiert. Beim RCP4.5-Szenario liegt die projizierte mittlere Lufttemperatur bei rund 11,5 °C bis 12,8 °C, während für das RCP8.5-Szenario deutlich höhere mögliche Temperaturmittelwerte für die Planungsregion Düsseldorf projiziert werden. Hier können die Mittelwerte 12,9 °C bis 14,5 °C erreichen. Mit dieser starken Temperaturzunahme macht sich der gesteigerte Strahlungsantrieb des RCP8.5-Szenarios gegenüber dem RCP4.5-Szenario und vor allem gegenüber dem RCP2.6-Szenario deutlich bemerkbar. Insgesamt werden somit für die ferne Zukunft mögliche Temperaturniveaus zwischen 10,9 °C und 14,5 °C projiziert (KNP 1991-2020: 10,8 °C). Damit könnte die Planungsregion Düsseldorf bis zum Ende des Jahrhunderts möglicherweise Werte erreichen, die mit den heutigen Temperaturen von Regionen wie der Provence oder der Toskana vergleichbar sind (DWD 2020).

Tabelle 13: Absolutwerte der mittleren Jahrestemperatur im Planungsraum Düsseldorf - Projektionen für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) und ferne Zukunft (2071-2100) im Vergleich zur aktuellen KNP (1991-2020)

Planungsregion Düsseldorf Jahresmittelwerte Lufttemperatur in °C							
1991-2020		2031-2060			2071-2100		
Beobachtung	Perzentil	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
10,8	15	10,9	10,9	11,5	10,9	11,5	12,9
	50	11,2	11,5	11,9	11,2	12,1	13,7
	85	11,6	12,0	12,2	11,7	12,8	14,5

Daten: DWD

2.2.4 Lufttemperatur: Jahresverlauf

In Kapitel 2.1.1 wurde festgestellt, dass sich im Planungsraum im Vergleich der Klimanormalperiode 1961-1990 mit der aktuellen KNP 1991-2020 die mittleren Herbsttemperaturen am geringsten erhöht haben, während die mittleren Frühlings- und Sommertemperaturen jeweils am stärksten angestiegen sind (Tabelle 3). Auch bei Vergleichen mit früheren KNP scheint die Erwärmung im Herbst bislang langsamer stattzufinden.

Bei der Auswertung der Projektionen der möglichen saisonalen Temperaturanstiege, jeweils für alle RCP-Szenarien und beide Zukunftszeiträume, werden für den Herbst die stärksten Temperaturanstiege projiziert. Die moderatsten Anstiege werden nach den vorliegenden

Projektionen im Frühling erwartet. Tabelle 14 stellt die saisonalen Temperaturprojektionen für beide Zukunftszeiträume und die RCP-Szenarien dar.

2031-2060: Mitte des Jahrhunderts

Für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) wird für den Frühling über alle RCP-Szenarien hinweg ein Temperaturbereich von 10,0 °C bis 11,3 °C projiziert. In der aktuellen KNP 1991-2020 liegt der Wert bei 10,4 °C.

Das mögliche projizierte Temperaturniveau für den Sommer liegt in der nahen Zukunft in einem Bereich von 18,0 °C bis 19,7 °C (KNP 1991-2020: 18,2 °C). Die außergewöhnlichen heißen Sommer 2018 (20,1 °C) oder 2003 (20,3 °C) waren im Vergleich nur leicht wärmer als die projizierten Durchschnittswerte für die Mitte des Jahrhunderts.

Für den Herbst werden mögliche mittlere Temperaturen im Bereich von 11,2 °C bis 12,8 °C in der Planungsregion projiziert (KNP 1991-2020: 10,9 °C). Bisher gab es erst vier Mal Herbsttemperaturen, die 12,5 °C erreicht oder übertroffen haben (alle Jahre nach 2006).

Für den Winter werden ähnlich starke Temperaturanstiege projiziert wie für den Herbst. Verglichen mit dem Wintermittelwert von 3,6 °C 1991-2020 zeigen die möglichen Mitteltemperaturen für die Mitte des Jahrhunderts zwischen 4,0 °C bis 5,6 °C einen deutlichen Anstieg.

2071-2100: Ferne Zukunft

Für die ferne Zukunft liegen die Temperaturniveaus der Klimaprojektionen in den einzelnen Jahreszeiten deutlich höher. Eine Ausnahme bildet hier das RCP2.6-Szenario, welches davon ausgeht, dass die Treibhausgaskonzentration nach der Mitte des Jahrhunderts wieder absinkt.

Beim Frühling liegt der mögliche Temperaturbereich bei 10,1 °C bis 12,7 °C, wenn man alle Szenarien und Perzentile betrachtet. Die Temperaturen im RCP2.6-Szenario stabilisieren sich 2071-2100 ungefähr auf dem aktuellen Niveau von 10,4 °C.

Bei den mittleren Sommertemperaturen kommen die Projektionen in der fernen Zukunft auf eine Bandbreite von 18,4 °C bis 22,1 °C. In der aktuellen Klimanormalperiode 1991-2020 liegt der Wert bei 18,2 °C.

Beim Herbst werden im Vergleich zum aktuellen Temperaturniveau von 10,9 °C Temperaturmittelwerte im Bereich von 10,9 °C bis zu 15,8 °C projiziert. Während der untere Wert (15. Perzentil, RCP2.6) schon erreicht ist, liegt das extreme Ende der Bandbreite schon fast auf einem Temperaturniveau, das zum Beispiel in der KNP 1901-1930 noch im Sommer vorherrschte (16,0 °C).

Auch die projizierten Wintertemperaturen in der fernen Zukunft sind zum Teil erheblich wärmer als der aktuelle Mittelwert von 3,6 °C. Mit einem Bereich von 4,1 °C bis 7,5 °C liegen mögliche Temperaturniveaus vor, die vor allem beim RCP8.5-Szenario selbst in den wärmsten Wintern bisher nicht vorgekommen sind.

Tabelle 14: Absolutwerte der mittleren saisonalen Temperatur im Planungsraum Düsseldorf - Projektionen für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) und ferne Zukunft (2071-2100) im Vergleich zur aktuellen KNP (1991-2020)

Planungsregion Düsseldorf saisonale Mittelwerte Lufttemperatur in °C								
Jahreszeit	Beobachtung		2031-2060			2071-2100		
	1991-2020	Perzentil	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
Frühjahr	10,4	15	10,0	10,1	10,6	10,1	10,5	11,7
		50	10,4	10,7	10,8	10,5	11,2	12,5
		85	10,8	11,1	11,3	10,7	11,6	12,7
Sommer	18,2	15	18,0	18,3	18,9	18,4	18,8	20,4
		50	18,6	18,8	19,2	18,6	19,5	21,1
		85	18,9	19,2	19,7	19,1	19,9	22,1
Herbst	10,9	15	11,2	11,2	11,8	10,9	12,0	13,3
		50	11,7	11,7	12,3	11,6	12,6	14,3
		85	12,2	12,3	12,8	12,2	13,6	15,8
Winter	3,6	15	4,1	4,0	4,2	4,1	4,7	6,1
		50	4,3	4,5	5,0	4,3	5,2	6,6
		85	4,5	5,2	5,6	4,6	5,7	7,5

Daten: DWD

Insgesamt zeigen die projizierten Temperaturbandbreiten für die Jahresmittelwerte und für die Jahreszeiten sehr eindrücklich den zukünftig weiter voranschreitenden Anstieg der Lufttemperatur in der Planungsregion Düsseldorf. Zudem verdeutlicht die Bandbreite der Ergebnisse für die verschiedenen Szenarien den Einfluss des Menschen auf das Ausmaß dieses Anstiegs, und damit die Bedeutung von wirksamen globalen Klimaschutzmaßnahmen.

2.2.5 Kenntage Temperatur

Für diesen Fachbeitrag wurden zu den Temperaturkenntagen Daten des DWD für die RCP2.6-, RCP4.5- und RCP8.5-Szenarien in der Auflösung von 5 km x 5 km regionalisiert und für das Plangebiet ausgewertet. Zunächst werden die Projektionen für die Heißen Tage, Hitzewellen, Tropennächte und Sommertage vorgestellt, anschließend die der Eistage und Frosttage. Auch hier erfolgt die Darstellung als absolute Mittelwerte mit dem Vergleich zur aktuellen Klimanormalperiode 1991-2020.

Heiße Tage

2031-2060: Mitte des Jahrhunderts

Im RCP2.6-Szenario wird für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) im Planungsraum Düsseldorf eine durchschnittliche Anzahl von rund 8 bis 14 Heißen Tagen (Temperaturmaximum > 30 °C) pro Jahr projiziert (Tabelle 15). Innerhalb des RCP4.5-Szenarios liegt die Anzahl der Heißen Tage im Flächenmittel bei rund 10 bis 18 Tagen pro Jahr. Beim RCP8.5-Szenario liegt die die Anzahl bei rund 12 bis 17 Heißen Tagen pro Jahr in einem ähnlichen Bereich. Angesichts der bereits in der aktuellen Klimanormalperiode 1991-2020 erfassten 10 Heiße Tage pro Jahr im Planungsraum kann auch hier festgestellt werden, dass die 15. Perzentil-Mittelwerte zum Teil schon bereits heute eingeholt wurden. Andererseits sind 18 Heiße Tage pro Jahr, wie im RCP4.5 als maximaler Mittelwert projiziert, noch deutlich vom aktuellen Mittelwert entfernt. Im Planungsraum Düsseldorf gab es in der KNP 1971-2000 im Mittel 6 Heiße Tage pro Jahr (Tabelle 4), diese haben bis zur KNP 1991-2020 bereits um 4 Tage zugenommen. Im extremsten Fall wird eine Zunahme um weitere 7 Tage auf durchschnittlich 18 Heiße Tage zur Mitte des Jahrhunderts projiziert, was bislang nur in sehr heißen Jahren als Ausreißer registriert wurde.

2071-2100: Ferne Zukunft

Für die ferne Zukunft (2071-2100) liefert das RCP2.6-Szenario aufgrund seiner angenommenen Reduktion der Treibhausgasemissionen eine geringfügig höhere Anzahl von rund 9 bis 14 Heißen Tagen pro Jahr. Das RCP4.5-Szenario zeigt für den Planungsraum Düsseldorf Mittelwerte von rund 12 bis 20 Heißen Tagen pro Jahr. Besonders deutlich ist die Steigerung des Strahlungsantriebes im RCP8.5-Szenario, wo die Bandbreite mit rund 19 bis 33 Heißen Tagen pro Jahr am extremsten ist. In der fernen Zukunft liegt die mögliche Anzahl an Heißen Tagen insgesamt also in einem Bereich von rund 9 bis 33 Tagen pro Jahr. Diese Spanne ist sehr groß, und würde im oberen Bereich klimatische Zustände von derzeit kaum vorstellbaren Ausmaßen herbeiführen, was vor allem für das RCP8.5-Szenario gilt. Es gilt dabei zu Bedenken, dass in den verdichteten und stark versiegelten Ballungsräumen am Rhein deutlich wärmere Bedingungen herrschen als im Flächenmittel, und es entsprechend mehr Heiße Tage vor Ort gibt bzw. geben wird.

Tabelle 15: Absolutwerte der Anzahl Heiße Tage im Planungsraum Düsseldorf - Projektionen für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) und ferne Zukunft (2071-2100) im Vergleich zur aktuellen KNP (1991-2020)

Planungsregion Düsseldorf Mittelwerte Heiße Tage in Anzahl Tage/Jahr							
1991-2020		2031-2060			2071-2100		
Beobachtung	Perzentil	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
10	15	8	10	12	9	12	19
	50	10	12	14	12	14	25
	85	14	18	17	14	20	33

Daten: DWD

Hitzewellen

2031-2060: Mitte des Jahrhunderts

Bei den Hitzewellen, definiert als Zeitspanne mit mindestens drei heißen Tagen in Folge, wird für die Planungsregion Düsseldorf im RCP2.6-Szenario für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) eine mögliche Bandbreite von rund 0,9 bis 1,6 Hitzewellen pro Jahr projiziert (Tabelle 16). Angesichts des bereits in der aktuellen Klimanormalperiode 1991-2020 auftretenden Mittelwertes von einer Hitzewelle pro Jahr wird deutlich, dass das 15. Perzentil bereits übertroffen wurde. Beim RCP4.5-Szenario liegt die Bandbreite für 2031-2060 bei rund 1,0 bis 1,9 Hitzewellen pro Jahr. Auch hier liegt das 15. Perzentil am aktuellen Mittelwert, während am oberen Bereich der Bandbreite bereits fast eine Verdopplung vorliegt. Das RCP8.5-Szenario liegt bei einer Bandbreite von rund 1,2 bis 2,0 Hitzewellen pro Jahr zur Mitte des Jahrhunderts. Bereits die mögliche Verdopplung der aktuellen Anzahl an Hitzewellen pro Jahr stellt eine sehr deutliche Steigerung dar, insbesondere auch im Vergleich zur bereits eingetretenen Entwicklung im Beobachtungszeitraum ab 1951 (Tabelle 4).

2071-2100: Ferne Zukunft

Für die ferne Zukunft (2071-2100) wirkt sich der gesteigerte Strahlungsantrieb, mit Ausnahme des RCP2.6-Szenarios, ebenfalls deutlich aus. Das RCP-2.6-Szenario kommt in der fernen Zukunft auf eine projizierte Bandbreite von rund 0,9 bis 1,6 Hitzewellen pro Jahr. Beim RCP4.5-Szenario wird eine Bandbreite von rund 1,3 bis 2,2 Hitzewellen pro Jahr projiziert. Beim RCP8.5-Szenario liegt die projizierte Bandbreite bei rund 2,4 bis 4,2 Hitzewellen pro Jahr. Dies würde eine drastische Steigerung zur aktuellen Klimanormalperiode bedeuten. Angesichts der großen Spanne von rund 0,9 bis 4,2 Hitzewellen pro Jahr zeigt sich, wie stark sich wirksame globale Klimaschutzmaßnahmen in der Zukunft auswirken können.

Tabelle 16: Absolutwerte Anzahl Hitzewellen pro Jahr im Planungsraum Düsseldorf – Projektionen für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2070) und ferne Zukunft (2071-2100) im Vergleich zur aktuellen KNP (1991-2020).

Planungsregion Düsseldorf Mittelwerte Anzahl Hitzewellen/Jahr							
1991-2020		2031-2060			2071-2100		
Beobachtung	Perzentil	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
1,0	15	0,9	1,0	1,2	0,9	1,3	2,4
	50	1,1	1,3	1,4	1,3	1,6	2,9
	85	1,6	1,9	2,0	1,6	2,2	4,2

Daten: DWD

Tropennächte

2031-2060: Mitte des Jahrhunderts

Angesichts der projizierten Zunahme der Lufttemperatur steigert sich voraussichtlich nicht nur die Anzahl der Heißen Tage und Hitzewellen, sondern auch die Anzahl der als besonders belastend eingestuften Tropennächte, bei denen die Temperatur auch nachts nicht unter 20 °C sinkt. Für die Mitte des Jahrhunderts steigt beim RCP2.6-Szenario die Anzahl der Tropennächte auf einen Flächenmittel von rund 1,2 Tropennächten bis zu 3,0 Tropennächten pro Jahr (Tabelle 17). Für das RCP4.5-Szenario liefern die Modelle eine Bandbreite von rund 1,8 bis 3,5 Tropennächten pro Jahr in der Planungsregion (KNP 1991-2020: 1,1 Tropennächte). Das RCP8.5-Szenario zeigt nochmals deutlich höhere Werte in einer Bandbreite von rund 2,8 bis 6,2 Tropennächten pro Jahr. Ein Anstieg auf im Flächenmittel bis zu 6 Tropennächte pro Jahr bedeutet entsprechend nochmals höhere Werte in den überwärmten Innenstadtlagen im Plangebiet.

2071-2100: Ferne Zukunft

Betrachtet man die Ergebnisse der Projektionen der Tropennächte im Zeitraum 2071-2100, so werden hier die Unterschiede deutlich größer, weil die angenommenen Treibhausgaskonzentrationen zum Teil deutlich ansteigen und länger auf den Strahlungsantrieb wirken. Für das RCP2.6-Szenario ergibt sich eine nur leicht angestiegene Bandbreite von rund 1,8 bis 3,6 Tropennächten pro Jahr, ähnlich wie zur Mitte des Jahrhunderts. Dem gegenüber liefert das RCP4.5-Szenario bereits eine Bandbreite von rund 2,6 bis 8,5 Tropennächten pro Jahr. Beim RCP8.5-Szenario werden für die Planungsregion zwischen rund 9,7 bis 23,5 Tropennächte pro Jahr projiziert. Hier zeigt sich das volle Potenzial der möglichen drastischen Erwärmung der Atmosphäre. Auch dieser Wert verdeutlicht anschaulich die Bedeutung wirksamer Klimaschutzmaßnahmen. Tropennächte kommen in urbanen Ballungsräumen wesentlich häufiger vor als im Flächenmittel. Bereits heute fordern Hitzewellen und Tropennächte die meisten Todesopfer im Vergleich zu anderen Wetterereignissen (DER HEIDEN 2025). Dies unterstreicht auch für die Planungsregion Düsseldorf die Bedeutung von Maßnahmen zur Klimaanpassung.

Tabelle 17: Absolutwerte Anzahl Tropennächte pro Jahr im Planungsraum Düsseldorf - Projektionen für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2070) und ferne Zukunft (2071-2100) im Vergleich zur aktuellen KNP (1991-2020)

Planungsregion Düsseldorf Mittelwerte Anzahl Tropennächte/Jahr							
1991-2020		2031-2060			2071-2100		
Beobachtung	Perzentil	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
1,1	15	1,2	1,8	2,8	1,8	2,6	9,7
	50	1,7	2,3	3,8	2,3	3,8	14,5
	85	3,0	3,5	6,2	3,6	8,5	23,5

Daten: DWD

Sommertage

2031-2060: Mitte des Jahrhunderts

Die Ergebnisse der Klimamodelle für das RCP2.6-Szenario zeigen bei der Entwicklung der Sommertage (Temperaturmaximum > 25 °C) für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) im Planungsraum eine Bandbreite von rund 36 bis 48 Tagen pro Jahr (Tabelle 18). In der aktuellen KNP 1991-2020 wurde mit rund 41 Sommertagen pro Jahr bereits der Medianwert des RCP2.6-Szenarios erreicht. Beim RCP4.5-Szenario liegt die projizierte Bandbreite bei rund 37 bis 53 Sommertagen pro Jahr. Für das RCP8.5-Szenario wird ein Bereich von rund 44 bis 52 Sommertagen pro Jahr im Flächenmittel projiziert. Somit zeigen sich für die Mitte des Jahrhunderts bei den Sommertagen keine allzu großen Unterschiede zwischen den Szenarien.

2071-2100: Ferne Zukunft

Für die ferne Zukunft (2071-2100) werden die Unterschiede zwischen den Szenarien deutlicher. So wird für das RCP2.6-Szenario eine auf die Fläche gemittelte Anzahl der Sommertage pro Jahr im Bereich von rund 38 bis 47 Tagen projiziert. Beim RCP4.5-Szenario liegt die Bandbreite bereits zwischen rund 44 bis 57 Sommertagen pro Jahr. Im RCP8.5-Szenario liegt die Bandbreite der mittleren Anzahl an Sommertage pro Jahr bei rund 60 bis 86 Tagen.

Tabelle 18: Absolutwerte der Anzahl Sommertage im Planungsraum Düsseldorf - Projektionen für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) und ferne Zukunft (2071-2100) im Vergleich zur aktuellen KNP (1991-2020)

Planungsraum Düsseldorf Mittelwerte Sommertage in Anzahl Tage/Jahr							
1991-2020		2031-2060			2071-2100		
Beobachtung	Perzentil	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
41	15	36	37	44	38	44	60
	50	41	44	48	42	50	71
	85	48	53	52	47	57	86

Daten: DWD

Eistage

2031-2060: Mitte des Jahrhunderts

Für das RCP2.6-Szenario wird für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) eine Bandbreite der jährlichen Eistage (Temperaturmaximum $< 0^{\circ}\text{C}$) von rund 4 bis 6 Eistagen pro Jahr projiziert (Tabelle 19). Das RCP4.5-Szenario liefert für die Fläche des Planungsraum Düsseldorf eine mittlere Bandbreite der Eistage von rund 2 bis 7 Eistagen pro Jahr. Beim Szenario RCP8.5 liegt der Bereich zwischen rund 2 und 5 Eistagen pro Jahr. In der aktuellen KNP 1991-2020 kommen in der Planungsregion noch rund 7 Eistage pro Jahr vor. Wie bei den bisherigen Parametern liegen die Projektionen der Eistage für die Mitte des Jahrhunderts relativ nah beieinander, insgesamt in einer Bandbreite von rund 2 bis 7 Eistagen pro Jahr.

2071-2100: Ferne Zukunft

Für die ferne Zukunft (2071-2100) wird innerhalb des Planungsraums für das RCP2.6-Szenario eine Bandbreite von rund 3 bis 6 Eistagen pro Jahr projiziert. Im Flächenmittel des RCP4.5-Szenarios betragen die projizierten Werte zwischen rund 2 bis 6 Eistagen pro Jahr. Für das RCP8.5-Szenario liefern die Projektionen eine Bandbreite von rund 0 bis rund 3 Eistagen pro Jahr. Insgesamt geht also zum Ende des Jahrhunderts die Bandbreite der Eistage auf Werte zwischen 0 bis 6 Eistage pro Jahr zurück. Somit werden Winter ohne Eistage deutlich häufiger vorkommen oder sogar die Regel sein. Dies hätte für die Landwirtschaft sowie die Flora und Fauna in der Planungsregion weitreichende Folgen.

Tabelle 19: Absolutwerte der Anzahl Eistage im Planungsraum Düsseldorf - Projektionen für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) und ferne Zukunft (2071-2100) im Vergleich zur aktuellen KNP (1991-2020)

Planungsregion Düsseldorf Mittelwerte Eistage in Anzahl Tage/Jahr							
1991-2020		2031-2060			2071-2100		
Beobachtung	Perzentil	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
7	15	4	2	2	3	2	0
	50	5	4	3	4	3	1
	85	6	7	5	6	6	3

Daten: DWD

Frosttage

2031-2060: Mitte des Jahrhunderts

Für die Anzahl an Frosttagen in der Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) werden für das Szenario RCP2.6 mittlere Werte in einem Bereich von rund 32 bis 38 Tagen pro Jahr im Flächenmittel projiziert (Tabelle 20). Für das RCP4.5-Szenario liefern die Projektionen im Flächenmittel eine Bandbreite von rund 24 bis 40 Frosttagen pro Jahr, und für das RCP8.5-Szenario beläuft sich der Wertebereich auf rund 23 bis 35 Frosttage pro Jahr. Betrachtet man die gesamte für die Mitte des Jahrhunderts projizierte Spanne, so liegt der Bereich bei rund 23 bis 40 Frosttagen pro Jahr. Die im Flächenmittel 1991-2020 registrierten 48 Frosttage pro Jahr liegen noch deutlich oberhalb des 85. Perzentils der Projektionen.

2071-2100: Ferne Zukunft

Für die ferne Zukunft (2071-2100) und das RCP2.6-Szenario werden Mittelwerte für die Planungsregion im Bereich von rund 31 bis 40 Frosttagen pro Jahr projiziert. Für das RCP4.5-Szenario verringern sich die Mittelwerte auf eine Bandbreite von rund 19 bis 36 Frosttagen pro Jahr. Für das RCP8.5-Szenario zeigt sich anhand des deutlich verstärkten Strahlungsantriebes eine nochmals geringere Anzahl an Frosttagen in einer Bandbreite von rund 8 bis 20 Tage pro Jahr (1991-2020: 48 Tage pro Jahr). Dieser deutliche Rückgang der Frosttage würde sich sehr stark auf die Natur und die Landwirtschaft in der Planungsregion auswirken.

Tabelle 20: Absolutwerte der Anzahl Frosttage im Planungsraum Düsseldorf - Projektionen für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) und ferne Zukunft (2071-2100) im Vergleich zur aktuellen KNP (1991-2020)

Planungsregion Düsseldorf Mittelwerte Frosttage in Anzahl Tage/Jahr							
1991-2020		2031-2060			2071-2100		
Beobachtung	Perzentil	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
48	15	32	24	23	31	19	8
	50	36	32	30	38	25	16
	85	38	40	35	40	36	20

Daten: DWD

2.2.6 Niederschlagssumme

Die Klimaprojektionen der mittleren jährlichen Niederschlagssummen liegen für das Planungsgebiet Düsseldorf ebenfalls für die Szenarien RCP2.6, RCP4.5 und RCP8.5 vor. Bei der Beschreibung der Werte werden ebenfalls die absoluten Mittelwerte dargestellt. Die jahreszeitliche Differenzierung der Projektionsergebnisse zu den Niederschlägen wird analog zu den saisonalen Lufttemperaturen ebenfalls beschrieben. Entgegen den projizierten zukünftigen Lufttemperaturen und den Temperaturkenntagen sind die projizierten mittleren Jahresniederschläge variabler und weniger eindeutig, sowohl räumlich als auch innerhalb der gesamten Breite der Perzentile.

2031-2060: Mitte des Jahrhunderts

Für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) und das RCP2.6-Szenario wird im Flächenmittel des Planungsraums eine Niederschlagssumme zwischen rund 821 und 861 mm pro Jahr projiziert (Tabelle 21). Für das RCP4.5-Szenario liegen die projizierten mittleren jährlichen Niederschlagssummen in einer Bandbreite zwischen rund 823 und 877 mm. Beim RCP8.5-Szenario liegt die Bandbreite ebenfalls zwischen rund 823 und 877 mm pro Jahr im Flächenmittel. Insgesamt liegen hier die drei RCP-Szenarien für die Mitte des Jahrhunderts relativ nah beieinander. Der Mittelwert der aktuellen KNP 1991-2020 liegt bei rund 816 mm pro Jahr. Mit einer gesamten Bandbreite von rund 821 bis 877 mm pro Jahr wird voraussichtlich etwas mehr Niederschlag im Plangebiet fallen, als es in der aktuellen Klimanormalperiode der Fall ist. Dabei wird die Variabilität zwischen Trockenphasen und starken, zum Teil extremen Niederschlägen mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit zunehmen, und die Verdunstung ansteigen.

2071-2100: Ferne Zukunft

Für das RCP2.6-Szenario wird im Bereich der fernen Zukunft (2071-2100) für die gemittelten Jahresniederschläge eine Bandbreite von rund 818 bis 857 mm projiziert. Für das RCP4.5-Szenario ergibt sich eine Bandbreite von rund 826 bis 875 mm im Jahr im Flächenmittel der Planungsregion Düsseldorf. Für das RCP8.5-Szenario ist die Bandbreite am größten. Hier schwanken die Mittelwerte der jährlichen Niederschlagssummen im Bereich von rund 818 bis 899 mm pro Jahr (KNP 1991-2020: 816 mm). Die gesamte Bandbreite der projizierten jährlichen Niederschlagssumme im Zeitraum 2071-2100 liegt in der Planungsregion Düsseldorf zwischen rund 818 und 899 mm pro Jahr. Der obere Mittelwert der gesamten Bandbreite liegt mit 899 mm nochmals deutlich über dem Mittelwert von 857 mm in der bisher nassesten KNP 1981-2010. Angesichts der dann möglichen Temperaturniveaus 2071-2100 werden Niederschlagsereignisse wahrscheinlich noch extremer ausfallen.

Tabelle 21: Absolutwerte jährliche Niederschlagssumme im Planungsraum Düsseldorf - Projektionen für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) und ferne Zukunft (2071-2100) im Vergleich zur aktuellen KNP (1991-2020)

Planungsregion Düsseldorf Mittelwerte jährliche Niederschlagssummen in mm							
1991-2020		2031-2060			2071-2100		
Beobachtung	Perzentil	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
816	15	821	823	823	818	826	818
	50	830	832	832	829	833	833
	85	861	877	877	857	875	899

Daten: DWD

2.2.7 Niederschlagssumme: Jahresverlauf

2031-2060: Mitte des Jahrhunderts

Für die Mitte des Jahrhunderts 2031-2061 zeigen die projizierten Mittelwerte für den Frühling durchweg höhere Niederschlagssummen, als es aktuell in der Klimanormalperiode 1991-2020 mit 165 mm der Fall ist (Tabelle 22). Für das RCP2.6-Szenario liegt die Bandbreite der Niederschlagssumme im Frühling bei 193 bis 214 mm, während das Szenario RCP4.5 auf eine Bandbreite von 196 bis 210 mm kommt. Eine Bandbreite von 192 bis 211 mm zeigen die Projektionen für das RCP8.5-Szenario. Insgesamt liegen die projizierten Niederschlagssummen für den Frühling nicht nur sehr deutlich über den aktuellen Mittelwert, sondern für alle drei Szenarien auch in einem recht ähnlichen Bereich.

Die projizierten Sommerniederschläge sind im Vergleich zur aktuellen Klimanormalperiode mit 228 mm in der Tendenz eher trockener. Hier liegt der aktuelle Mittelwert am oberen beziehungsweise niederschlagsreichen Rand der Bandbreiten. Beim RCP2.6-Szenario liegen die Niederschlagssummen in einem Bereich von 198 bis 229 mm, beim RCP4.5-Szenario zwischen 198 bis 230 mm und beim RCP8.5-Szenario in einem Bereich zwischen 196 bis 229 mm. Ähnlich wie bei den Projektionen für den Niederschlag im Frühjahr liegen die Bandbreiten für den Sommerniederschlag ebenfalls in allen drei Szenarien sehr eng beieinander.

Die Projektionen für den Herbstniederschlag liefern beim RCP2.6-Szenario Mittelwerte in einer Bandbreite zwischen 201 bis 216 mm, beim RCP4.5-Szenario liegt die Bandbreite in einem Bereich zwischen 199 und 227 mm, während sie beim RCP8.5-Szenario zwischen 199 und 221 mm liegt. Der Mittelwert der aktuellen Klimanormalperiode von 207 mm Niederschlag im Herbst liegt hier eher im Bereich der Medianwerte der Projektionen. Für den Herbst sind die Unterschiede zwischen den drei RCP-Szenarien etwas größer.

Die projizierten Winterniederschläge liegen beim RCP2.6-Szenario in einem Bereich von 207 bis 224 mm, während die Mittelwerte des RCP4.5-Szenarios eine Bandbreite zwischen 210 und 227 mm aufweisen. Beim Szenario RCP8.5 liegt die projizierte Bandbreite zwischen 208 und 239 mm. Der aktuelle Mittelwert von 217 mm liegt in der Mitte der drei für die Zukunft projizierten Bandbreiten. Die Ergebnisse der Szenarien RCP2.6 und RCP4.5 liegen dabei recht nah beieinander, wohingegen beim RCP8.5-Szenario der obere und niederschlagsreiche Rand der Bandbreite für den Winter mit 239 mm deutlich niederschlagsreicher ist.

2071-2100: Ferne Zukunft

Die Projektionen der saisonalen Niederschläge für den Zeitraum 2071-2100 zeigen abgesehen vom RCP2.6-Szenario eine tendenziell größere Bandbreite (Tabelle 22). Dies ist besonders beim RCP8.5-Szenario der Fall. Für den Frühling liefern die Projektionen des RCP2.6-Szenarios eine Bandbreite von 188 bis 211 mm. Beim RCP4.5-Szenario liegt die Bandbreite mit 201 bis 220 mm insgesamt etwas höher, während das RCP8.5-Szenario die weiteste Bandbreite von 189 bis 221 mm liefert. Auch in der fernen Zukunft wird der aktuelle Frühjahrs-Mittelwert von 165 mm deutlich überschritten.

Bei den Projektionen für die Sommerniederschläge liefert das RCP2.6-Szenario Mittelwerte im Bereich von 199 bis 232 mm und das RCP4.5-Szenario Mittelwerte zwischen 195 bis 232 mm, also eine fast identische Bandbreite. Das RCP8.5-Szenario zeigt mit Mittelwerten zwischen 183 und 219 mm eine insgesamt trockenere Bandbreite. Hier wird auch der aktuelle Sommer-Mittelwert von 228 mm unterschritten. In Kombination mit entsprechend hohen Temperaturen

und hohen Verdunstungsraten muss hier von starkem Trockenstress in den Sommermonaten ausgegangen werden.

Für die Niederschlagssumme im Herbst liefert das RCP2.6-Szenario Mittelwerte im Bereich zwischen 201 und 217 mm, fast identisch zu den Mittelwerten im Zeitraum 2031-2060. Das RCP4.5-Szenario liefert eine Bandbreite von 203 bis 220 mm, während das RCP8.5-Szenario auf eine im Vergleich zu 2031-2060 weiter auseinandergehende Bandbreite von 197 bis 232 mm kommt. Der aktuelle Mittelwert (207 mm) liegt leicht unterhalb der Herbst-Medianwerte der RCP-Szenarien für den Zeitraum 2071-2100.

Bei den Winter-Niederschlägen wird beim RCP2.6-Szenario eine Bandbreite von 204 bis 222 mm projiziert, was leicht trockener ist als in der Mitte des Jahrhunderts. Mit einer Bandbreite von 210 bis 233 mm liegt die projizierte Bandbreite des RCP4.5-Szenarios ebenfalls auf dem Niveau der Projektionen für 2031-2060. Das RCP8.5-Szenario liefert bei den Winterniederschlägen für das Ende des Jahrhunderts die höchsten Mittelwerte in einem Bereich von 217 bis 254 mm. Diese Mittelwerte übertreffen alle anderen saisonalen Niederschlagsprojektionen. Der aktuelle Winter-Mittelwert von 217 mm liegt im Vergleich zum RCP2.6-Szenario oberhalb des Medianwerts und entspricht dem 15. Perzentil des RCP8.5-Szenarios. Innerhalb der projizierten saisonalen Niederschläge sind die Unterschiede beim Winterniederschlag am ausgeprägtesten.

Tabelle 22: Absolute saisonale projizierte Niederschlagsentwicklung im Planungsraum Düsseldorf für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) und ferne Zukunft (2071-2100) im Vergleich zur aktuellen KNP (1991-2020)

Planungsregion Düsseldorf saisonale Niederschlagssummen in mm								
Jahreszeit	Beobachtung		2031-2060			2071-2100		
	1991-2020	Perzentil	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
Frühjahr	165	15	193	196	192	188	201	189
		50	203	201	201	197	208	205
		85	214	210	211	211	220	221
Sommer	228	15	198	198	196	199	195	183
		50	215	216	218	213	211	206
		85	229	230	229	232	232	219
Herbst	207	15	201	199	199	201	203	197
		50	209	211	210	208	211	215
		85	216	227	221	217	220	232
Winter	217	15	207	210	208	204	210	217
		50	213	217	219	212	220	228
		85	224	227	239	222	233	254

Daten: DWD

2.2.8 Kenntage Niederschlag

In diesem Abschnitt werden die Projektionen der zu erwartenden Niederschlagstage mit > 10 mm und > 20 mm Niederschlag pro Tag dargestellt. Zudem werden die seit 2024 verfügbaren Projektionen zu den Trockentage mit < 1 mm Niederschlag pro Tag präsentiert.

Niederschlagstage > 10 mm pro Tag

2031-2060: Mitte des Jahrhunderts

Bei den Tagen mit Niederschlägen von mehr als 10 mm wird für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) für alle drei Szenarien eine fast identische Bandbreite von rund 21 bzw. 22 bis 24 Tagen pro Jahr projiziert (Tabelle 23). Im Vergleich mit dem aktuellen Mittelwert (von 22 Tagen pro Jahr 1991-2020) kann tendenziell von einem leichten Anstieg der Anzahl dieser Kenntage für die Mitte des Jahrhunderts ausgegangen werden.

2071-2100: Ferne Zukunft

Im Bereich der fernen Zukunft (2071-2100) liegt die Bandbreite an Niederschlagstagen mit > 10 mm pro Jahr für das RCP2.6-Szenario bei rund 20 bis 24 Tagen pro Jahr, für das RCP4.5-Szenario zwischen rund 22 und 25 Tagen pro Jahr und für das RCP8.5-Szenario zwischen rund 22 und 26 Tagen pro Jahr. Hier wird ähnlich wie für die Mitte des Jahrhunderts mehrheitlich eine leichte Zunahme der jährlichen Anzahl an Niederschlagstagen mit > 10 mm projiziert.

Tabelle 23: Absolute projizierte Anzahl Niederschlagstage mit > 10 mm pro Jahr im Planungsraum-Düsseldorf für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) und ferne Zukunft (2071-2100) im Vergleich zur aktuellen KNP (1991-2020)

Planungsregion Düsseldorf Mittelwerte Tage > 10 mm in Anzahl Tage/Jahr							
1991-2020		2031-2060			2071-2100		
Beobachtung	Perzentil	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
22	15	21	21	22	20	22	22
	50	22	23	23	22	23	24
	85	24	24	24	24	25	26

Daten: DWD

Niederschlagstage > 20 mm/Tag

2031-2060: Mitte des Jahrhunderts

Bei den seltener pro Jahr auftretenden Niederschlagstagen mit > 20 mm ergeben die Projektionen für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) ebenfalls nah beieinander liegende Mittelwerte der drei RCP-Szenarien (Tabelle 24). Die Bandbreite der Szenarien RCP2.6 und RCP4.5 liegen jeweils zwischen rund 4 und 5 Tagen pro Jahr. Das RCP8.5-Szenario kommt beim 85. Perzentil auf 6 Tage pro Jahr mit > 20 mm Niederschlag. Im Vergleich zum aktuellen Mittelwert (1991-2020) von 5 Tagen pro Jahr kann bei diesen Projektionen tendenziell von keiner Änderung in der Mitte des Jahrhunderts ausgegangen werden.

2071-2100: Ferne Zukunft

In der fernen Zukunft (2071-2100) liegen die Bandbreiten für die Szenarien RCP2.6 und RCP4.5 in einem Bereich von rund 4 bis 5 beziehungsweise 6 Tagen pro Jahr, was gegenüber dem aktuellen Mittelwert von 5 Tagen pro Jahr (1991-2020) keine größere Änderung bedeutet. Lediglich beim RCP8.5-Szenario liegt mit einer Bandbreite von rund 5 bis 7 Tagen pro Jahr eine Steigerung der Anzahl an Tagen mit > 20 mm Niederschlag vor.

Tabelle 24: Absolute projizierte Anzahl Niederschlagstage > 20 mm pro Jahr im Planungsraum-Düsseldorf für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) und ferne Zukunft (2071-2100) im Vergleich zur aktuellen KNP (1991-2020)

Planungsregion Düsseldorf Mittelwerte Tage > 20 mm in Anzahl Tage/Jahr							
1991-2020		2031-2060			2071-2100		
Beobachtung	Perzentil	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
5	15	4	4	4	4	4	5
	50	4	5	5	4	5	6
	85	5	5	6	5	6	7

Daten: DWD

Trockentage < 1 mm/Tag

2031-2060: Mitte des Jahrhunderts

Bei der projizierten Anzahl der Trockentage pro Jahr im Zeitraum 2031-2060 (Tabelle 25) werden beim RCP2.6-Szenario zwischen rund 214 bis 226 Tagen pro Jahr mit < 1 mm Niederschlag pro Tag berechnet. Beim Szenario RCP4.5 liegen die projizierten Mittelwerte zwischen rund 212 und 222 Tagen pro Jahr, während beim RCP8.5-Szenario die Mittelwerte eine Bandbreite von rund 215 bis 231 Tagen pro Jahr aufweisen. Im Vergleich mit dem aktuellen Mittelwert (1991-2020) von 231 Tagen pro Jahr sind die projizierten Mittelwerte in der Mitte des Jahrhunderts deutlich geringer. Demnach werden mehr Tage mit Niederschlag projiziert, als es heute der Fall ist. Über eine etwaige Verteilung der Trockentage auf die Jahreszeiten können die Projektionen jedoch keine Auskunft geben.

2071-2100: Ferne Zukunft

Im Zeitraum 2071-2100 liegen die Projektionen der Trockentage mit < 1 mm Niederschlag am Tag beim Szenario RCP2.6 in einem Bereich zwischen rund 215 bis 228 Tagen pro Jahr. Beim Szenario RCP4.5 liegen die Mittelwerte im Bereich von 214 bis 222 Tagen pro Jahr. Lediglich das Szenario RCP8.5 liefert mit Mittelwerten von rund 216 bis 240 Tagen pro Jahr am oberen Rand der Bandbreite mehr Trockentage als in der aktuellen KNP 1991-2020 (231 Tage pro Jahr). Hier zeigt sich eine deutliche Spreizung der Bandbreite.

Tabelle 25: Absolute projizierte Anzahl Trockentage < 1 mm pro Jahr im Planungsraum-Düsseldorf für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) und ferne Zukunft (2071-2100) im Vergleich zur aktuellen KNP (1991-2020).

Planungsregion Düsseldorf Mittelwerte Tage < 1 mm in Anzahl Tage/Jahr							
1991-2020		2031-2060			2071-2100		
Beobachtung	Perzentil	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
231	15	214	212	215	215	214	216
	50	217	216	219	221	219	223
	85	226	222	231	228	222	240

Daten: DWD

2.2.9 Wasserhaushalt

In diesem Abschnitt zum Wasserhaushalt werden die Projektionen für die zukünftige Entwicklung der Parameter Grundwasserneubildung, Netto-Gesamtabfluss, tatsächliche Evapotranspiration und klimatische Wasserbilanz für die Planungsregion Düsseldorf vorgestellt.

Grundwasserneubildung

2031-2060: Mitte des Jahrhunderts

Bei der Grundwasserneubildung in der Planungsregion Düsseldorf werden für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) beim RCP2.6-Szenario Mittelwerte von 169 bis 203 mm projiziert (Tabelle 26). Beim Szenario RCP4.5 liegt die Bandbreite zwischen 168 und 210 mm, während sie beim RCP8.5-Szenario zwischen 171 bis 204 mm beträgt. Die aktuelle KNP 1991-2020 liegt mit einer Grundwasserneubildung von nur 162 mm unter den Mittelwerten aller drei Szenarien für die Mitte des Jahrhunderts. Über die drei Szenarien hinweg werden demnach höhere Grundwasserneubildungswerte projiziert, als sie aktuell vorliegen. Dies kann vor allem durch mögliche projizierte Zunahmen der Niederschlagssummen im Winterhalbjahr erklärt werden.

2071-2100: Ferne Zukunft

Für die ferne Zukunft (2071-2100) ergeben die Projektionen der Grundwasserneubildung für das RCP2.6-Szenario Mittelwerte im Bereich von 166 bis 193 mm. Das Szenario RCP4.5 liefert eine etwas größere Bandbreite von 169 bis 217 mm, wohingegen beim Szenario RCP8.5 der Wertebereich noch weiter auseinander geht und Mittelwerte zwischen 158 und 232 mm projiziert werden. Beim RCP8.5-Szenario unterschreitet der trockene untere Rand der Bandbreite den sehr trockenen aktuellen (1991-2020) Mittelwert von 162 mm. Auf der anderen Seite ist der obere, feuchtere Rand der Bandbreite mit 232 mm höher als bei den anderen Szenarien für die ferne Zukunft. Ursache hierfür sind vor allem mehr Niederschläge im Herbst und im Winter.

Tabelle 26: Absolutwerte Grundwasserneubildung im Planungsraum Düsseldorf - Projektionen für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) und ferne Zukunft (2071-2100) im Vergleich zur aktuellen KNP (1991-2020)

Planungsraum Düsseldorf Mittelwerte Grundwasserneubildung in mm							
1991-2020		2031-2060			2071-2100		
Beobachtung	Perzentil	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
162	15	169	168	171	166	169	158
	50	182	187	188	180	187	191
	85	203	210	204	193	217	232

Daten: Forschungszentrum Jülich und DWD

Netto-Gesamtabfluss

2031-2060: Mitte des Jahrhunderts

Für den Netto-Gesamtabfluss liefern die Klimaprojektionen im Zeitraum 2031-2060 innerhalb des Szenarios RCP2.6 Mittelwerte zwischen 335 und 386 mm (Tabelle 27). Beim Szenario RCP4.5 liefern die Projektionen Mittelwerte zwischen ebenfalls 335 und 396 mm. Beim Szenario 8.5 ergeben die Modellläufe Mittelwerte zwischen 337 und 388 mm. Ähnlich wie schon bei der Grundwasserneubildung liegt auch hier der Wert der aktuellen KNP mit 325 mm unterhalb der Mittelwerte der Szenarien.

2071-2100: Ferne Zukunft

Für den Zeitraum der fernen Zukunft (2071-2100) werden für die Planungsregion Düsseldorf beim Netto-Gesamtabfluss größere Unterschiede zwischen den drei Szenarien RCP2.6, RCP4.5 und RCP8.5 projiziert, als für die Mitte des Jahrhunderts. So liefert das RCP2.6-Szenario Mittelwerte im Bereich zwischen 329 und 368 mm, während das RCP4.5-Szenario auf eine Bandbreite von 335 bis 412 mm kommt. Wie auch bei der Grundwasserneubildung und den Niederschlagssummen ist die Bandbreite des Netto-Gesamtabfluss bei den Projektionen des RCP8.5-Szenario am Ende des Jahrhunderts am größten. Mit 321 bis 434 mm wird der trockene aktuelle Mittelwert von 325 mm (1991-2020) hier beim unteren Rand der Bandbreite unterschritten, während der obere Rand der Bandbreite im Vergleich zu den anderen Szenarien einen deutlich höheren Mittelwert aufweist.

Tabelle 27: Absolutwerte Netto-Gesamtabfluss im Planungsraum Düsseldorf - Projektionen für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) und ferne Zukunft (2071-2100) im Vergleich zur aktuellen KNP (1991-2020)

Planungsregion Düsseldorf Mittelwerte Netto-Gesamtabfluss in mm							
1991-2020		2031-2060			2071-2100		
Beobachtung	Perzentil	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
325	15	335	335	337	329	335	321
	50	354	362	365	348	364	370
	85	386	396	388	368	412	434

Daten: Forschungszentrum Jülich und DWD

Tatsächliche Evapotranspiration

2031-2060: Mitte des Jahrhunderts

Die Klimaprojektionen der tatsächlichen Evapotranspiration für den Zeitraum in der Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) liegen wie bei den anderen Parametern auch relativ nah beieinander (Tabelle 28). Beim RCP2.6-Szenario ergeben die Projektionen für die tatsächliche Evapotranspiration im Zeitraum 2031-2060 Mittelwerte zwischen 469 bis 498 mm. Beim RCP4.5-Szenario liegt die projizierte Bandbreite im Bereich von 465 bis 496 mm, während beim RCP8.5-Szenario Mittelwerte zwischen 468 bis 502 mm projiziert werden. Im Vergleich mit den Bandbreiten der drei Szenarien für die Mitte des Jahrhunderts liegt der aktuelle Mittelwert der KNP 1991-2020 von 492 mm leicht unterhalb der Werte des 85. Perzentils.

2071-2100: Ferne Zukunft

In der fernen Zukunft (2071-2100) liefert das RCP2.6-Szenario bei der tatsächlichen Evapotranspiration Mittelwerte im Bereich von 473 bis 502 mm. Das Szenario RCP4.5 liefert eine Bandbreite zwischen 472 bis 507 mm und das RCP8.5-Szenario eine Bandbreite zwischen 469 und 510 mm. Im Vergleich zu den Projektionen für die Mitte des Jahrhunderts liegen für die ferne Zukunft insgesamt höhere Mittelwerte vor, die größte Bandbreite besteht beim RCP8.5-Szenario. Dies hängt mit den potenziell deutlich höheren Temperaturen sowie höheren mittleren Niederschlagssummen zusammen.

Tabelle 28: Absolutwerte tatsächliche Evapotranspiration im Planungsraum Düsseldorf - Projektionen für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) und ferne Zukunft (2071-2100) im Vergleich zur aktuellen KNP (1991-2020)

Planungsregion Düsseldorf Mittelwerte Tatsächliche Evapotranspiration in mm							
1991-2020		2031-2060			2071-2100		
Beobachtung	Perzentil	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
492	15	469	465	468	473	472	469
	50	486	483	483	483	486	492
	85	498	496	502	502	507	510

Daten: Forschungszentrum Jülich und DWD

Klimatische Wasserbilanz

2031-2060: Mitte des Jahrhunderts

Bei der jährlichen klimatischen Wasserbilanz liefern die Projektionen für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) beim RCP2.6-Szenario eine Bandbreite von 162 bis 269 mm (Tabelle 29). Das RCP4.5-Szenario zeigt Mittelwerte zwischen 170 und 269 mm und beim RCP8.5-Szenario liegen die Werte in einen Bereich von 179 bis 254 mm. Verglichen mit dem aktuellen Mittelwert (1991-2020) von 210 mm zeigen die Projektionen für die Mitte des Jahrhunderts tendenziell eher Werte mit einer höheren klimatischen Wasserbilanz.

2071-2100: Ferne Zukunft

In der fernen Zukunft (2071-2100) weisen die Projektionen der klimatischen Wasserbilanz beim Szenario RCP2.6 eine Bandbreite von 156 bis 264 mm auf. Das Szenario RCP4.5 liefert Mittelwerte im Bereich zwischen 179 und 276 mm. Das RCP8.5-Szenario zeigt für die ferne Zukunft eine sehr weite Bandbreite zwischen 103 und 249 mm. Gerade bei diesem Szenario zeigen die Mittelwerte für das 15. und auch für das 50. Perzentil (103 und 173 mm), dass hier im Vergleich zum aktuellen Mittelwert (1990-2020) von 210 mm noch mit erheblich trockeneren Bedingungen gerechnet werden muss, sollte dieses extreme Szenario eintreten.

Tabelle 29: Absolutwerte klimatische Wasserbilanz im Planungsraum Düsseldorf - Projektionen für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) und ferne Zukunft (2071-2100) im Vergleich zur aktuellen KNP (1991-2020)

Planungsregion Düsseldorf Mittelwerte klimatische Wasserbilanz in mm							
1991-2020		2031-2060			2071-2100		
Beobachtung	Perzentil	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
210	15	162	170	179	156	179	103
	50	230	233	221	215	215	173
	85	269	269	254	264	276	249

Daten: DWD

Klimatische Wasserbilanz: Jahresverlauf

2031-2060: Mitte des Jahrhunderts

Bei den saisonalen Klimaprojektionen der klimatischen Wasserbilanz für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) liegen die Mittelwerte des Frühlings beim RCP2.6-Szenario in einem Bereich zwischen rund 6 bis 33 mm (Tabelle 30). Für das RCP4.5-Szenario werden Mittelwerte in einer Bandbreite zwischen rund 6 bis 26 mm projiziert, beim RCP8.5-Szenario liegt die Bandbreite bei rund 4 bis 26 mm. Dem gegenüber liegt der Frühjahrsmittelwert der aktuellen KNP 1991-2020 mit -20 mm deutlich unterhalb der trocknen Mittelwerte des 15. Perzentils aller Szenarien. Dies könnte an den außergewöhnlichen Trockenjahren ab 2010 und der deutlich früher beginnenden Vegetationszeit (allgemein und forstlich) liegen, die so nicht von den Modellen für den Zeitraum 2031-2060 abgebildet werden konnte.

Die projizierten Sommermittelwerte für diesen Zeitraum liegen beim RCP2.6-Szenario im Bereich zwischen rund -112 bis -32 mm. Für das RCP4.5-Szenario liefern die eine Bandbreite zwischen -113 und -40 mm, während das RCP8.5-Szenario Werte zwischen rund -98 und -51 zeigt. Verglichen mit dem aktuellen Sommermittelwert von -46 mm wird deutlich, dass hier bereits für die Mitte des Jahrhunderts nochmals deutlich negativere Wasserbilanzen möglich werden.

Für den Herbst liefert das RCP2.6-Szenario Mittelwerte in einer Bandbreite von rund 81 bis 107 mm, das RCP4.5-Szenario kommt auf eine Bandbreite von rund 76 bis 125 mm. Mit einer Bandbreite von rund 79 bis 109 mm liegt das Szenario RCP8.5 in einem ähnlichen Bereich wie das Szenario RCP2.6. Mit 104 mm liegt der aktuelle (1991-2020) Herbstmittelwert eher am oberen, feuchteren Rand der projizierten Bandbreiten.

Die Projektionen der klimatischen Wasserbilanz im Winter liegen im Zeitraum 2031-2060 beim RCP2.6-Szenario in einem Bereich von rund 156 bis 182 mm. Für das RCP4.5-Szenario liegt der projizierte Wertebereich zwischen rund 161 bis 182 mm, während beim RCP8.5-Szenario die Bandbreite bei 157 bis 196 mm liegt. Der aktuelle Mittelwert von 173 mm liegt hier im Bereich des Medians der Bandbreiten, so dass für die Zukunft keine großen Änderungen projiziert werden.

2071-2100: Ferne Zukunft

Für die ferne Zukunft (2071-2100) liefern die Projektionen der klimatischen Wasserbilanz beim RCP2.6-Szenario für den Frühling Mittelwert in einer Bandbreite von rund -2 bis 30 mm (Tabelle 30). Das Szenario RCP4.5 zeigt eine Bandbreite zwischen rund 11 bis 36 mm. Das RCP8.5-Szenario liefert für die Wasserbilanz im Frühling Mittelwerte im Bereich von -14 bis 27 mm.

Für die klimatische Wasserbilanz des Sommers in der fernen Zukunft (2071-2100) liefern die Projektionen beim RCP2.6-Szenario Mittelwerte im Bereich von rund -96 bis -39 mm. Das RCP4.5-Szenario liefert mit einer Bandbreite von rund -115 bis -47 mm nochmals geringere Werte für die Wasserbilanz. Die Bandbreite im RCP8.5-Szenario liegt in einem sehr trocknen Bereich von rund -154 bis -88 mm. Eine derart negative klimatische Wasserbilanz bedeutete extremen Trockenstress in den Sommermonaten. Der aktuelle Sommermittelwert von -46 mm liegt im Vergleich dazu am oberen, also weniger trockenen Bereich der Projektionen für die ferne Zukunft.

Für den Herbst werden beim Szenario RCP2.6 Mittelwerte in einem Bereich von 80 bis 114 mm projiziert. Das RCP4.5-Szenario liefert Mittelwerte von 76 bis 112 mm und das RCP8.5-Szenario Werte zwischen 63 und 117 mm. Verglichen mit dem aktuellen Mittelwert der herbstlichen klimatischen Wasserbilanz von 104 mm zeigt sich, dass die Szenarien für die ferne Zukunft sowohl deutlich niedrigere Wasserbilanzen als auch etwas höhere Wasserbilanzen projizieren.

Für den Winter wird beim RCP2.6-Szenario eine Bandbreite von 146 bis 177 mm bei der klimatischen Wasserbilanz projiziert. Beim RCP4.5-Szenario liegen die projizierten Mittelwerte im Bereich von rund 162 bis 189 mm, während des RCP8.5 auf eine Bandbreite von 165 bis 210 mm kommt. Der Vergleich mit dem aktuellen Wert (1991-2020) von 173 mm im Winter zeigt, dass das RCP2.6-Szenario eher geringere Wasserbilanzen projiziert, beim RCP4.5-Szenario höhere als auch niedrigere Wasserbilanzen möglich erscheinen und beim RCP8.5-Szenario überwiegend höhere Werte projiziert werden, als es aktuell der Fall ist.

Tabelle 30: Absolutwerte saisonale klimatische Wasserbilanz im Planungsraum Düsseldorf - Projektionen für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) und ferne Zukunft (2071-2100) im Vergleich zur aktuellen KNP (1991-2020)

Planungsregion Düsseldorf saisonale klimatische Wasserbilanz in mm								
Jahreszeit	Beobachtung		2031-2060			2071-2100		
	1991-2020	Perzentil	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
Frühjahr	-20	15	6	6	4	-2	11	-14
		50	22	18	15	15	23	14
		85	33	26	26	30	36	27
Sommer	-46	15	-112	-113	-98	-96	-115	-154
		50	-68	-70	-72	-75	-83	-114
		85	-32	-40	-51	-39	-47	-88
Herbst	104	15	81	76	79	80	76	63
		50	97	97	95	97	94	88
		85	107	125	109	114	112	117
Winter	173	15	156	161	157	146	162	165
		50	165	174	175	165	178	188
		85	182	182	196	177	189	210

Daten: DWD

2.2.10 Vegetationszeiten und Waldbrandgefahr

Tatsächliche allgemeine Vegetationszeit

2031-2060: Mitte des Jahrhunderts

Hinsichtlich der tatsächlichen allgemeinen Vegetationszeit liefern die Projektionen für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) beim Szenario RCP2.6 Mittelwerte zwischen rund 294 bis 301 Tagen pro Jahr (Tabelle 31). Das Szenario RCP4.5 zeigt eine Bandbreite zwischen rund 295 bis 307 Tagen. Die Mittelwerte des RCP8.5-Szenarios liegen zwischen rund 302 bis 314 Tagen pro Jahr. Der aktuelle (1991-2020) Mittelwert der tatsächlichen allgemeinen Vegetationszeit liegt im Vergleich dazu bei rund 300 Tagen pro Jahr.

2071-2100: Ferne Zukunft

Die Projektionen der tatsächlichen allgemeinen Vegetationszeit für die ferne Zukunft (2071-2100) zeigen sehr deutliche Unterschiede zwischen den drei RCP-Szenarien, die bereits bei den anderen Lufttemperatur-abhängigen Parametern beschrieben wurden. Das Szenario RCP2.6 projiziert eine Bandbreite zwischen rund 293 bis 300 Tagen pro Jahr (1991-2020: 300 Tage pro Jahr). Beim Szenario RCP4.5 liegen die Mittelwerte zwischen 304 bis rund 317 Tagen pro Jahr. Das RCP8.5-Szenario in der fernen Zukunft liefert mit einer Bandbreite von rund 328 bis 337 Tagen pro Jahr nochmals deutlich höhere Mittelwerte für die tatsächliche allgemeine Vegetationszeit.

Tabelle 31: Absolutwerte tatsächliche allgemeine Vegetationszeit im Planungsraum Düsseldorf - Projektionen für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) und ferne Zukunft (2071-2100) im Vergleich zur aktuellen KNP (1991-2020)

Planungsraum Düsseldorf Mittelwerte Länge Vegetationszeit (Anzahl 5 °C-Tage/Jahr)							
1991-2020		2031-2060			2071-2100		
Beobachtung	Perzentil	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
300	15	294	295	302	293	304	328
	50	298	299	307	297	311	331
	85	301	307	314	300	317	337

Daten: DWD

Forstliche Vegetationszeit

2031-2060: Mitte des Jahrhunderts

Bei der tatsächlichen forstlichen Vegetationszeit liefern die Projektionen für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) beim Szenario RCP2.6 Mittelwerte zwischen rund 201 bis 206 Tagen im Jahr, womit diese Bandbreite eher eng ausfällt (Tabelle 32). Beim Szenario RCP4.5 liegen die projizierten Mittelwerte mit rund 195 bis 207 Tagen etwas weiter auseinander. Beim Szenario RCP8.5 kommen die Modellläufe auf Werte zwischen rund 205 bis 219 Tage pro Jahr. Der aktuelle Mittelwert 1991-2020 liegt mit rund 193 Tagen noch unterhalb der projizierten Mittelwerte des 15. Perzentils.

2071-2100: Ferne Zukunft

Für die ferne Zukunft (2071-2100) liegen die projizierten Mittelwerte der tatsächlichen forstlichen Vegetationszeit beim Szenario RCP2.6 bei rund 202 bis 210 Tagen im Jahr. Das Szenario RCP4.5 liefert Mittelwerte im Bereich zwischen rund 207 bis 221 Tagen pro Jahr, das RCP8.5 -Szenario zeigt mit einer Bandbreite zwischen rund 234 bis 253 Tagen pro Jahr eine erheblich verlängerte forstliche Vegetationszeit.

Tabelle 32: Absolutwerte Forstliche Vegetationszeit im Planungsraum Düsseldorf - Projektionen für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) und ferne Zukunft (2071-2100) im Vergleich zur aktuellen KNP (1991-2020)

Planungsraum Düsseldorf Mittelwerte Forstliche Vegetationszeit (Anzahl 10 °C-Tage/Jahr)							
1991-2020		2031-2060			2071-2100		
Beobachtung	Perzentil	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
193	15	201	195	205	202	207	234
	50	203	201	213	206	216	243
	85	206	207	219	210	221	253

Daten: DWD

Waldbrandgefahr

2031-2060: Mitte des Jahrhunderts

Die Anzahl der Tage mit einem Waldbrandindex > 4 liegt in den Projektionen für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) überwiegend unter dem aktuellen Mittelwert (1991-2020) von 17 Tagen im Jahr (Tabelle 33). Beim Szenario RCP2.6 liegen die projizierten Mittelwerte im Bereich von rund 3 bis 18 Tagen im Jahr. Für das Szenario RCP4.5 werden Mittelwerte zwischen rund 6 bis 17 Tagen pro Jahr projiziert. Das RCP8.5-Szenario liefert eine Bandbreite zwischen rund 9 und 16 Tagen pro Jahr. Verglichen mit den in der Planungsregion bereits aktuell festgestellten 17 Tagen pro Jahr mit einem Waldbrandindex > 4 sind die nur die oberen Bandbreitenränder aller drei Szenarien auf ähnlichem Niveau. Die Medianwerte und besonders die Mittelwerte des 15. Perzentils sind zum Teil deutlich kleiner als der aktuelle Mittelwert.

2071-2100: Ferne Zukunft

Für die ferne Zukunft (2071-2100) liegen die Projektionen der Szenarien RCP2.6 und RCP4.5 fast auf gleichem Niveau wie für den Zeitraum 2031-2060. Beim RCP2.6-Szenario liefern die Modelle Mittelwerte zwischen rund 6 bis 16 Tagen pro Jahr, während beim RCP4.5-Szenario die Bandbreite zwischen rund 8 bis 18 Tagen liegt. Der aktuelle Mittelwert (1991-2020) von 17 Tagen im Jahr liegt auch hier im Bereich des oberen 85. Perzentils beider Szenarien. Beim RCP8.5-Szenario erweitert sich die projizierte Bandbreite auf ein insgesamt höheres Niveau. Mit Mittelwerten zwischen rund 11 bis 30 Tagen pro Jahr mit einem Waldbrandindex > 4 wird der aktuelle Mittelwert deutlich überschritten.

Tabelle 33: Absolutwerte Waldbrandgefahr im Planungsraum Düsseldorf - Projektionen für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) und ferne Zukunft (2071-2100) im Vergleich zur aktuellen KNP (1991-2020)

Planungsraum Düsseldorf Waldbrandgefahr (Anzahl Tage/Jahr mit Waldbrandindex 4 + 5)							
1991-2020		2031-2060			2071-2100		
Beobachtung	Perzentil	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
17	15	3	6	9	6	8	11
	50	10	11	12	12	13	17
	85	18	17	16	16	18	30

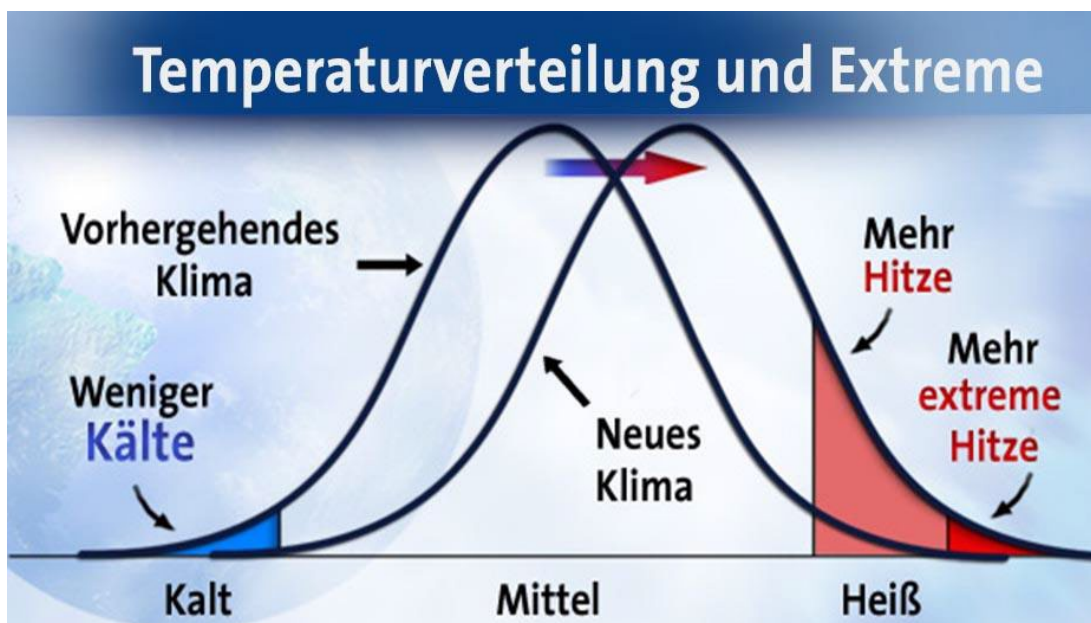
Daten: DWD

2.2.11 Fazit Klimaprojektionen

Bei den Parametern zur Lufttemperatur sind die zu erwartenden Klimaänderungen klar und eindeutig: Je stärker konzentriert und je länger die in den RCP-Szenarien angenommenen Treibhausgasgehalte auf den Strahlungsantrieb in der Atmosphäre einwirken können, desto drastischer fallen die zukünftigen Mittelwerte im Vergleich aus. Während beim RCP2.6-Szenario der Temperaturanstieg bis zum Ende dieses Jahrhunderts im Mittel auf unter 1 K begrenzt werden kann, zeigt das RCP8.5-Szenario einen Anstieg der Temperaturen in der Planungsregion Düsseldorf von bis zu 3,7 K. Entsprechende Entwicklungen zeigen auch die Projektionen zu den lufttemperaturabhängigen Kenntagen oder zu den Vegetationszeiten.

Die Projektionen zur zukünftigen Niederschlagsentwicklung sowie die damit verbundenen Parameter sind dagegen weniger eindeutig. Hier zeigen die Projektionen, dass die jährlichen Niederschlagssummen tendenziell leichtzunehmen werden, saisonal kann es aber zu größeren Veränderungen kommen. So werden Sommerniederschläge in Zukunft voraussichtlich geringer ausfallen, während die Herbst- und Winterniederschläge voraussichtlich zunehmen werden.

Bereits die bislang schon beobachteten Klimaveränderungen haben in der Planungsregion Düsseldorf weitreichende Folgen. Die in diesem Kapitel beschriebenen Projektionen für die Zukunft verdeutlichen, dass weitere und zum Teil drastische klimatische Veränderungen eintreten können. Insbesondere extreme sommerliche Hitzebelastungen stellen eine zentrale Herausforderung bei der Anpassung an die Folgen des Klimawandels in der Planungsregion Düsseldorf dar (Abbildung 35).



Quelle: (Staeger 2016)

Abbildung 35: Klimawandel - Temperaturverteilung und Extreme

3 Klimaschutz in der Planungsregion Düsseldorf

Der Begriff Klimaschutz umfasst alle Maßnahmen, die darauf abzielen, den vom Menschen verursachten Klimawandel zu verhindern oder abzumildern. Von zentraler Bedeutung ist dabei vor allem die Reduktion von Treibhausgasemissionen, insbesondere von Kohlenstoffdioxid (CO₂), welche nach einhelliger Auffassung von Wissenschaft und Forschung verantwortlich für den globalen Klimawandel sind (Kapitel 2). Neben der Reduzierung der Treibhausgasemissionen sind auch die Schaffung und der Erhalt von Kohlenstoffspeichern wesentliche Bestandteile effektiver Klimaschutzmaßnahmen. Durch die Ausrichtung der Regionalplanung an den Erfordernissen des Klimaschutzes kann ein wesentlicher Beitrag zur Erreichung der Klimaschutzziele geleistet werden.

Dieses Kapitel quantifiziert zunächst die Treibhausgasemissionen in der Planungsregion Düsseldorf und stellt die relevanten Klimaschutzziele dar (Kapitel 3.1). Anschließend wird der Ausbau der erneuerbaren Energien als zentraler Baustein des Klimaschutzes thematisiert (Kapitel 3.2). Zudem werden weitere Handlungsfelder für den Klimaschutz beschrieben (Kapitel 3.3). Dazu gehören unter anderem der Schutz und die Renaturierung von Kohlenstoffsinken wie Mooren und Wäldern.

Die Transformation der Energieversorgungssysteme ist essenziell, um die Klimaschutzziele zu erreichen. Da der Energiesektor durch den Einsatz fossiler Brennstoffe wie Kohle, Öl und Gas einen erheblichen Anteil der CO₂-Emissionen in der Planungsregion Düsseldorf ausmacht, besteht hier ein großes Potenzial zur Einsparung von Treibhausgasemissionen. Für die Planungsregion Düsseldorf werden daher in Kapitel 3.2 der Ausbaustand der erneuerbaren Energien sowie die bestehenden Potenziale analysiert. Grundlagen dafür sind unter anderem das Monitoring der Energiedaten, das Windenergiemonitoring des LANUK sowie die „Potenzialstudie Erneuerbare Energien“, mit der das LANUK seit dem Jahr 2012 in mehreren Einzelstudien die Möglichkeiten zur Nutzung von Windenergie, Solarenergie, Biomasse, Geothermie sowie Wasserkraft im Land Nordrhein-Westfalen untersucht hat. Zudem wurden weitere Studien, wie beispielsweise die Potenzialstudie zur zukünftigen Wärmeversorgung in Nordrhein-Westfalen berücksichtigt. Die wesentlichen Informationen aus den Einzelstudien sowie die Ergebnisse aus dem Monitoring der Energiewende können detailliert, auch für einzelne Gemeinden, dem Energieatlas NRW (www.energieatlas.nrw.de) entnommen werden.

Ebenfalls im Energieatlas NRW integriert ist das Wärmekataster des LANUK, welches ein wichtiges Werkzeug zur Planung einer nachhaltigen Wärmeversorgung darstellt. Mit der Potenzialstudie zur zukünftigen Wärmeversorgung in NRW (kurz: Wärmestudie NRW) hat das LANUK eine umfassende Studie zur Wärmewende in Nordrhein-Westfalen erarbeitet (LANUK 2024_A). Im Rahmen dieser Studie wurden das Wärmebedarfsmodell überarbeitet, lokale Potenziale für erneuerbare Wärmeherzeugung ermittelt und Szenarien für eine klimaneutrale Wärmeversorgung in NRW beleuchtet. Ergänzend dazu sind weitere Studien, etwa zur Nutzung von warmem Grubenwasser aus stillgelegten Bergwerken als Energiequelle, veröffentlicht worden.

3.1 Treibhausgasemissionen und Klimaschutzziele

In diesem Abschnitt werden Grundlagen zu Treibhausgasen und dem Monitoring der Emissionen erläutert, sowie die Höhe der Treibhausgasemissionen in der Planungsregion Düsseldorf dargestellt und in das Verhältnis zu den landes- und bundesweiten Werten gesetzt. Grundlage hierfür ist das Treibhausgas-Emissionsinventar Nordrhein-Westfalen 2023 (LANUV 2023_A). Anschließend werden in Abschnitt 3.1.2 die verschiedenen Klimaschutzziele dokumentiert und deren Anforderungen und Auswirkungen aufgezeigt.

3.1.1 Treibhausgasemissionen in der Planungsregion Düsseldorf

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 an das Weltall abgegeben. Unterschieden werden Treibhausgase natürlichen Ursprungs und solche, die vom Menschen verursacht werden.

Um die Entwicklung der Emissionen zu dokumentieren, wurde in Nordrhein-Westfalen 2008 das Treibhausgas-Emissionsinventar eingerichtet, welches sich an den Vorgaben des Intergovernmental Panel on Climate Change orientiert und durch das LANUK 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 vorgenannten Stoffe HFC, PCF, SF₆ und NF₃ werden unter dem Begriff F-Gase subsummiert. Die jährlichen Emissionen der Treibhausgase werden dabei gegliedert nach den Sektoren Energiewirtschaft, Industrie, Verkehr, Haushalte / Kleinverbraucher, flüchtige Emissionen aus Brennstoffen, Produktanwendungen / Sonstige, Landwirtschaft und Abfall. Die Berechnungen für das Treibhausgas-Emissionsinventar orientieren sich an den Vorgaben der IPCC-Guidelines 2006 (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 Braunkohletagebau und in der Öl- und Gaswirtschaft, außerdem in der Landwirtschaft und bei Abfalldeponien.

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 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,
- LANUK-eigene Emissionskataster wie die Verkehrskataster und das Heizungs- und Kleinf Feuerungsanlagenkataster, und
- 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 hat (UBA 2020).

Für die Emissionsberechnung werden den verschiedenen Stoffen dabei größtenteils 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 Potentials (GWP) in CO₂-Äquivalente (Einheit CO₂eq) umgerechnet. So wird zur Berechnung der CO₂-Äquivalente beispielsweise für CH₄ der Faktor 28 und für N₂O der Faktor 265 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 Planungsregion Düsseldorf sind die Daten aus dem nordrhein-westfälischen Treibhausgasinventar regionalisiert worden. Es handelt sich hierbei um eine Quellenbilanz, so dass die Emissionen an der Emissionsquelle allokiert werden (z. B. Kohlekraftwerk), nicht aber beim Verursacher (Strombezieher). In der Planungsregion Düsseldorf sind im Jahr 2023 insgesamt rund 35,9 Mio. t CO₂-Äquivalente ausgestoßen worden (Tabelle 34). Im Vergleich zum Vorjahr (2022) mit rund 44,6 Mio. t CO₂-Äquivalenten ist der CO₂-Ausstoß in der Planungsregion damit insgesamt um ca. 19 % zurückgegangen. Für rund 95 % der Treibhausgas-Emissionen ist der Kohlenstoffdioxid-Ausstoß verantwortlich. Im Vergleich dazu sind Methan (CH₄), Distickstoffmonoxid (N₂O) und F-Gase nur geringfügig vertreten. Die Treibhausgas-Emissionen aus Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) können für die Planungsregion nur in Summe als CO₂-Äquivalente ausgegeben werden, eine Differenzierung hinsichtlich der verschiedenen Treibhausgase ist hier nicht möglich. Zudem erschwert die Berücksichtigung der Emissionen aus LULUCF den Vergleich mit den Gesamtemissionen vergangener Jahre, weshalb in diesem Kapitel die Summer der THG-Emissionen ohne LULUCF genannt wird.

Tabelle 34: Treibhausgasemissionen in der Planungsregion Düsseldorf 2023

Treibhausgasemissionen Planungsregion Düsseldorf 2023 (in 1.000 t)					
Sektor	CO₂	CH₄	N₂O	F-Gase	Summe
Energiewirtschaft (1A1)	18.956	13	149	-	19.118
Industrie (1A2/2A-2C)	5.254	6	29	18	5.307
Verkehr (1A3)	5.489	8	52	-	5.549
Haushalte, Kleinverbrauch (1A4-5)	4.338	13	8	-	4.358
Flüchtige Emissionen aus Brennstoffen (1B)	0	86	-	-	86
Produktanwendung/Sonstige (2D-H)	73	1	8	431	513
Landwirtschaft (3)	34	588	265	-	887
Landnutzung, -änderung und Forstwirtschaft (LULUCF) (4)	NA	NA	NA	NA	199
Abfall (5)	-	54	52	-	106
Summe (ohne LULUCF)	34.144	770	563	449	35.925
Summe (mit LULUCF)	NA	NA	NA	NA	36.124

NA: Treibhausgase des LULUCF-Sektors können auf regionaler Ebene nur in Summe als CO₂-Äquivalente ausgegeben werden. Quelle: THG-Emissionsinventar (LANUK)

In Nordrhein-Westfalen wurden in 2023 insgesamt 187,9 Mio. t CO₂-Äquivalente emittiert (ohne LULUCF). Dies bedeutet eine Emissionsminderung von 14,0 % gegenüber dem Vorjahr 2022. Bezogen auf die Bevölkerung ergibt sich damit landesweit ein Pro-Kopf-Ausstoß von 10,4 t CO₂eq (Tabelle 35). In der Planungsregion Düsseldorf sind im Jahr 2023 CO₂-Emissionen in Höhe von insgesamt rund 35,9 Mio. t CO₂-Äquivalenten ausgestoßen worden. Der Wert für die THG-Emissionen pro Kopf in der Planungsregion Düsseldorf (10,8 t) entspricht in etwa dem Landesdurchschnitt Nordrhein-Westfalens und liegt damit deutlich über dem Bundesdurchschnitt (8,1 t/Kopf). Die sektorale Aufschlüsselung zeigt dabei deutliche Unterschiede im Emissionsprofil.

Der größte Teil der THG-Emissionen (ca. 53 %) entsteht in der Planungsregion Düsseldorf im Sektor Energiewirtschaft (ca. 19,1 Mio. t CO₂eq). Die Sektoren Industrie (ca. 5,3 Mio. t CO₂eq), Verkehr (5,5 Mio. t CO₂eq) sowie der Sektor Haushalte und Kleinverbrauch (4,4 Mio. t CO₂eq) waren zu etwa gleichen Teilen für insgesamt ca. 42 % aller THG-Emissionen in der Region verantwortlich. Weitere Sektoren (Landwirtschaft, Produkthanwendungen/ Sonstige, Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF), Abfall und flüchtige Emissionen aus Brennstoff) verursachen nur zu deutlich untergeordneten Anteilen Treibhausgas-Emissionen.

Tabelle 35: Vergleich der Treibhausgas-Emissionen 2023 in der Planungsregion Düsseldorf, in Nordrhein-Westfalen und in Deutschland.

Sektor	Planungsregion Düsseldorf 2023		Nordrhein- Westfalen 2023		Deutschland 2023	
	CO ₂ eq [1.000 t]	CO ₂ eq/ Kopf [t]	CO ₂ eq [1.000 t]	CO ₂ eq/ Kopf [t]	CO ₂ eq [1.000 t]	CO ₂ eq/ Kopf [t]
Bevölkerung	3.317.700		18.017.520		83.456.045	
Energiewirtschaft (1A1)	19.118	5,76	72.092	4,00	198.062	2,37
Industrie (1A2/2A-2C)	5.307	1,60	51.114	2,84	141.598	1,70
Verkehr (1A3)	5.549	1,67	31.587	1,75	146.079	1,75
Haushalte, Kleinverbrauch (1A4-5)	4.358	1,31	22.317	1,24	111.101	1,33
Flüchtige Emissionen aus Brennstoffen (1B)	86	0,03	660	0,04	3.572	0,04
Produktanwendung/ Sonstige (2D-H)	513	0,15	2.630	0,15	11.326	0,14
Landwirtschaft (3)	887	0,27	6.735	0,37	54.792	0,66
Landnutzung, -änderung und Forstwirtschaft (LULUCF) (4)	199	0,06	4.351	0,24	68.653	0,82
Abfall (5)	106	0,03	748	0,04	5.490	0,07
Summe (ohne LULUCF)	35.925	10,83	187.883	10,43	672.020	8,05
Summe (mit LULUCF)	36.124	10,89	192.234	10,67	740.673	8,88

Quelle: Regionalisierung THG-Emissionsinventar (LANUK), National Inventory Report (UBA)

Besonders auffällig ist der sehr hohe Anteil der Energiewirtschaft, der in der Planungsregion Düsseldorf mit ca. 19 Mio. t CO₂eq. über die Hälfte der Gesamtemissionen ausmacht. Damit unterscheidet sich die Region deutlich vom NRW- und Bundesdurchschnitt, der bundesweite Anteil des Energiesektors am Gesamtausstoß beträgt ca. 29 %. Der überdurchschnittliche und höhere Pro-Kopf-Ausstoß in der Planungsregion Düsseldorf ist somit in erster Linie auf den Energiesektor zurückzuführen. Verantwortlich hierfür ist unter anderem die Konzentration großer fossiler Kraftwerke mit überregionaler Versorgungsfunktion, die die Emissionen der Region deutlich über den Landes- und Bundesdurchschnitt heben. Weiterhin sind auch die Industrie und der Verkehrssektor bedeutende Emissionsquellen. Die Landwirtschaft und Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) spielen eine eher untergeordnete Rolle in der Planungsregion Düsseldorf, während im landes- und bundesweiten Durchschnitt der Anteil in diesen Sektoren deutlich höher liegt.

Die im Vergleich zum Bundesdurchschnitt deutlich höheren THG-Emissionen pro Einwohner in der Planungsregion Düsseldorf machen deutlich, dass dem Klimaschutz hier eine wichtige Bedeutung beigemessen werden sollte. Vor allem der hohe Anteil der Energiewirtschaft am Gesamtausstoß zeigt, dass der beschleunigte Ausbau erneuerbarer Energien und die Transformation der Energieerzeugung hier zentrale Hebel zur Reduktion von Emissionen darstellen.

3.1.2 Ziele zur Reduktion von Treibhausgasemissionen

Sowohl auf internationaler, nationaler, als auch auf Landesebene sind Ziele zur Reduktion von Treibhausgasemissionen beschlossen worden. Bereits 1997 sind mit dem Kyoto Protokoll, welches 2005 in Kraft getreten und 2012 ausgelaufen ist, verbindliche Zielwerte für den Ausstoß von Treibhausgasen zum Klimaschutz auf globaler Ebene festgelegt worden. Mit dem völkerrechtlich bindenden Pariser Klimaschutzabkommen von 2015 haben sich nahezu alle Staaten verpflichtet, die globale Erwärmung deutlich unter 2 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen und Anstrengungen zu unternehmen, diese möglichst auf 1,5 °C zu begrenzen.

Die Europäische Union hat dieses Ziel im Rahmen des Europäischen Grünen Deals (2019) aufgegriffen und sich mit dem Europäischen Klimagesetz zur Klimaneutralität bis 2050 verpflichtet. Bis 2030 sollen die Treibhausgasemissionen gegenüber dem Jahr 1990 um mindestens 55 % reduziert werden. Auf nationaler Ebene setzt das Klimaschutzgesetz der Bundesregierung eigene Klimaschutzziele fest, die über die vorgenannten Ziele der Europäischen Union hinausgehen. Ziel ist es die Treibhausgasemissionen bis 2030 um mindestens 65 % gegenüber 1990 zu senken, bis 2040 um 88 % und bis spätestens 2045 Treibhausgasneutralität zu erreichen (§ 3 KSG). Nordrhein-Westfalen, als größtes Bundesland und bedeutender Industriestandort, hat diese Zielsetzung durch das im Jahr 2021 novellierte Klimaschutzgesetz NRW übernommen.

Die Begrenzung der globalen Erwärmung auf einen Wert von unter 2 °C, entsprechend dem Pariser Klimaabkommen, erlaubt nur noch die globale Emission einer begrenzten Menge an Treibhausgasen. Der Weltklimarat (IPCC) hat hierzu in einem Sondergutachten den Stand der Wissenschaft zusammengefasst und für Kohlenstoffdioxid (CO₂) dargestellt, wie hoch die verbleibenden globalen Emissionsbudgets ausfallen. Um mit einer Wahrscheinlichkeit von 67 % die globale Erwärmung auf 2 °C begrenzen zu können, verbleiben demnach weltweit ab Anfang 2020 noch 1.150 Gigatonnen CO₂-Emissionen (bei 1,5 Grad noch 400 GtCO₂ und bei 1,7 Grad noch 700 GtCO₂) (IPCC 2021). Legt man den Anteil an der Weltbevölkerung zu Grunde (Pro-Kopf-Ansatz), verfügt Deutschland ab Beginn des Jahres 2022 noch über ein Restbudget von 6,1 Gigatonnen CO₂-Emissionen (SRU 2022). Die deutschen Klimaziele des Klimaschutzgesetzes entsprechen in etwa dem CO₂-Budget ab 2022 für die Begrenzung der Erderwärmung auf 1,75 Grad (mit einer Wahrscheinlichkeit von 67%) (UBA 2024).

Demnach sind zur Reduktion der Treibhausgasemissionen in Deutschland und um eine Treibhausgas-Neutralität bis zu dem Zeitpunkt zu erreichen, bei dem das verbleibende deutsche Emissionsbudget ausgeschöpft ist, größtmögliche Klimaschutzanstrengungen notwendig. Eine erhebliche jährliche Minderung der Treibhausgasemissionen ist erforderlich. Dies gilt sowohl auf nationaler Ebene, ebenso wie für Nordrhein-Westfalen und die Planungsregion Düsseldorf, die im Vergleich zu Gesamtdeutschland höhere Pro-Kopf CO₂-Emissionen aufweist.

Für die Planungsregion Düsseldorf ergeben sich dadurch besondere Herausforderungen zur Reduktion der Emissionen, insbesondere im Bereich der Energiewirtschaft (Strom und Wärme), sowie der Industrie und des Verkehrs. Der beschleunigte Ausbau der erneuerbaren Energien und die Transformation der Energiewirtschaft sind zentrale Elemente zur Erreichung der Klimaschutzziele und eine Reduktion der Treibhausgas-Emissionen.

3.2 Ausbau der erneuerbaren Energien in der Planungsregion Düsseldorf

Die Landesregierung hat in der Energie- und Wärmestrategie Nordrhein-Westfalen ambitionierte Ziele zum Ausbau der erneuerbaren Energien formuliert (MWIKE 2024_A). Im Bereich der Photovoltaik ist ein Ausbau auf mindestens 21 Gigawatt (GW) installierte Leistung bis Ende 2030 vorgesehen, bei weiteren Verbesserungen der Rahmenbedingungen auf bis zu 27 GW. Für das Jahr 2045 wird eine installierte Leistung von 50 bis 65 GW angestrebt, der Schwerpunkt des Ausbaus der Photovoltaik soll dabei auf Gebäuden und versiegelten Flächen liegen. Bei der Windenergie soll die installierte Leistung bis zum Jahr 2030 einen Korridor von mindestens 13 bis 15 GW gesteigert werden. Bis zum Jahr 2045 wird ein langfristiger Zubau auf mindestens 18 GW bis zu 23 GW angestrebt.

Zum Ausbau der erneuerbaren Energien werden im Landesentwicklungsplan Nordrhein-Westfalen Ziele und Grundsätze festgelegt, welche für die Planungsregion im Regionalplan Düsseldorf konkretisiert werden. Der LEP NRW legt fest, dass in allen Teilen des Landes den räumlichen Erfordernissen einer nachhaltigen Energieversorgung Rechnung getragen werden soll, um eine ausreichende, sichere, klima- und umweltverträgliche, ressourcenschonende sowie kostengünstige und effiziente Energieversorgung zu erreichen. Hierzu dient auch der Ausbau von Energienetzen und Speichern (Grundsatz 10.1-1). Es sollen die räumlichen Voraussetzungen für den Ausbau der erneuerbaren Energien geschaffen (Grundsatz 10.1-2) und geeignete Standorte zur Erzeugung und Speicherung von Energie in Regional- und Bauleitplänen festgelegt werden (Grundsatz 10.1-3). Weiterhin sind Potenziale der kombinierten Strom- und Wärmeerzeugung (Kraft-Wärme-Kopplung) und der Nutzung der Abwärme zum Zweck einer möglichst effizienten Energienutzung zu nutzen (Ziel 10.1-4).

Demnach ist es für den Ausbau der erneuerbaren Energien erforderlich, Flächen für die Errichtung von Anlagen zur Energieerzeugung und -speicherung sowie für den Transport der Energie planerisch zu sichern. In NRW werden die Flächen zur Nutzung der Windenergie (Windenergiebereiche) durch die Regionalplanung festgelegt. Weitere Festlegungen des Regionalplans Düsseldorf zur Energieversorgung betreffen die Bereiche der Freiflächen-Solarenergie, der Biomasse, der Wasserkraft, der Geothermie sowie Festlegungen zu Kraftwerkstandorten (Kapitel 5.2).

Als klima-fachliche Daten- und Informationsgrundlage für regionalplanerische Festlegungen und den erforderlichen weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien werden im Folgenden der aktuelle Ausbaustand sowie weitere Ausbaupotenziale der Erneuerbaren in der Planungsregion Düsseldorf dargestellt.

3.2.1 Ausbaustand der erneuerbaren Energien

Zum Ausbaustand der erneuerbaren Energien hält das LANUK eine kontinuierlich aktualisierte Datenbasis vor, welche sich aus unterschiedlichen Quellen, insbesondere dem Marktstammdatenregister (MaStR) der Bundesnetzagentur (BNetzA), speist und im Energieatlas für das Land Nordrhein-Westfalen aufbereitet und dargestellt wird. Der Ausbaustand wird nachfolgend beschrieben, indem der aktuelle Stromverbrauch sowie die installierte Leistung und der jährliche Stromertrag aus regenerativen Energiequellen dargestellt und in Relation gesetzt werden.

In der Planungsregion Düsseldorf ist der Sektor der Energiewirtschaft der größte Verursacher der CO₂-Emissionen und für mehr als die Hälfte der gesamten THG-Emissionen verantwortlich (Tabelle 34). Der Stromverbrauch im Planungsraum liegt im Jahr 2024 insgesamt bei rund 22.785 Gigawattstunden pro Jahr (GWh/a) und macht etwa 18,4 % des Verbrauches im gesamten Land Nordrhein-Westfalen (123.664 GWh/a) aus (Tabelle 36). Da exakte, real ermittelte Verbrauchsdaten für die verschiedenen Verwaltungseinheiten des Landes in der Regel nicht vorliegen, wird der Gesamt-Stromverbrauch für NRW (Quelle: IT.NRW) auf alle Einwohner des Landes umgelegt, daraus errechnet sich ein Pro-Kopf-Stromverbrauch. Anschließend wird dieser Wert mit der Einwohnerzahl der betreffenden Verwaltungseinheit multipliziert. Der jährliche Stromverbrauch ist dabei in den letzten Jahren in etwa auf einem konstanten Niveau geblieben.

Tabelle 36: Stromverbrauch in der Planungsregion Düsseldorf (2024)

	Einwohner	GWh/a
NRW	18.034.454	123.664
Planungsregion Düsseldorf	3.322.813	22.785
Düsseldorf	618.685	4.242
Kreis Mettmann	490.910	3.366
Rhein-Kreis Neuss	457.077	3.134
Wuppertal	358.193	2.456
Kreis Kleve	322.018	2.208
Kreis Viersen	297.857	2.042
Mönchengladbach	267.213	1.832
Krefeld	231.406	1.587
Solingen	165.626	1.136
Remscheid	113.828	781

Quelle: Energieatlas NRW

Die Stadt Düsseldorf (4.242 GWh/a), der Kreis Mettmann (3.366 GWh/a) sowie der Rhein-Kreis Neuss (3.134 GWh/a) haben in der Planungsregion den höchsten Stromverbrauch. Der Stromverbrauch korreliert mit der Einwohnerzahl der einzelnen Kreise und kreisfreien Städte im Planungsraum, so dass die einwohnerstärksten Bereiche auch den höchsten Stromverbrauch aufweisen.

Der Stromertrag aus erneuerbaren Energien (EE-Ertrag) liegt im Jahr 2024 in der Planungsregion Düsseldorf bei rund 3.939 GWh/a und macht in etwa 11 % des Stromertrags aus regenerativen Quellen im gesamten Land NRW (36.423 GWh/a) aus. Die installierte Leistung aller Anlagen der erneuerbaren Energien (EE-Leistung) beträgt in der Planungsregion rund 2.536 Megawatt (MW), im Land Nordrhein-Westfalen sind es insgesamt 21.686 MW (Tabelle 37). Der Strom, welcher aus erneuerbaren Energien in Nordrhein-Westfalen generiert wird, deckt demnach etwa 29,5 % des Stromverbrauches des Landes (EE-Anteil). Für den Planungsraum liegt der Anteil des Stromertrags aus erneuerbaren Energiequellen derzeit bei 17,3 % des gesamten Stromverbrauchs.

Tabelle 37: Stromertrag, Leistung und Anteil am Stromverbrauch von erneuerbaren Energien in NRW und der Planungsregion Düsseldorf (2024)

	EE-Leistung (MW)	EE-Ertrag (GWh/a)	EE-Anteil (%)
Nordrhein-Westfalen	21.686	36.423	29,5
Planungsregion Düsseldorf	2.536	3.939	17,3

Quelle: Energieatlas NRW

Der jährliche Ertrag von Anlagen zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen (Solarenergie, Windenergie, Biomasse, Wasserkraft, Gruben-, Deponie- und Klärgas) sowie der Anteil des Stromverbrauchs, welcher aus erneuerbaren Energien derzeit gedeckt werden kann, wird für die Gemeinden in der Planungsregion Düsseldorf in den folgenden beiden Abbildungen dargestellt. Der mit Abstand größte Stromertrag wird in der Stadt Düsseldorf erzielt (451 GWh/a), was ganz überwiegend auf Dachflächen-PV zurückzuführen ist (Abbildung 36). Damit werden jedoch nur 11 % des jährlichen Bruttostromverbrauchs in der Landeshauptstadt gedeckt. In den weniger dicht besiedelten und eher ländlich geprägten Teilen der Planungsregion, insbesondere im Kreis Kleve, kann durch erneuerbare Energien ein sehr viel größerer Teil des Strombedarfs gedeckt werden. In den Gemeinden Straelen, Uedem, Weeze, Issum, Kerken und Rheurdt liegt der jährliche Stromertrag aus erneuerbaren Energien zum Teil deutlich über dem jährlichen Bruttostromverbrauch (Abbildung 37).

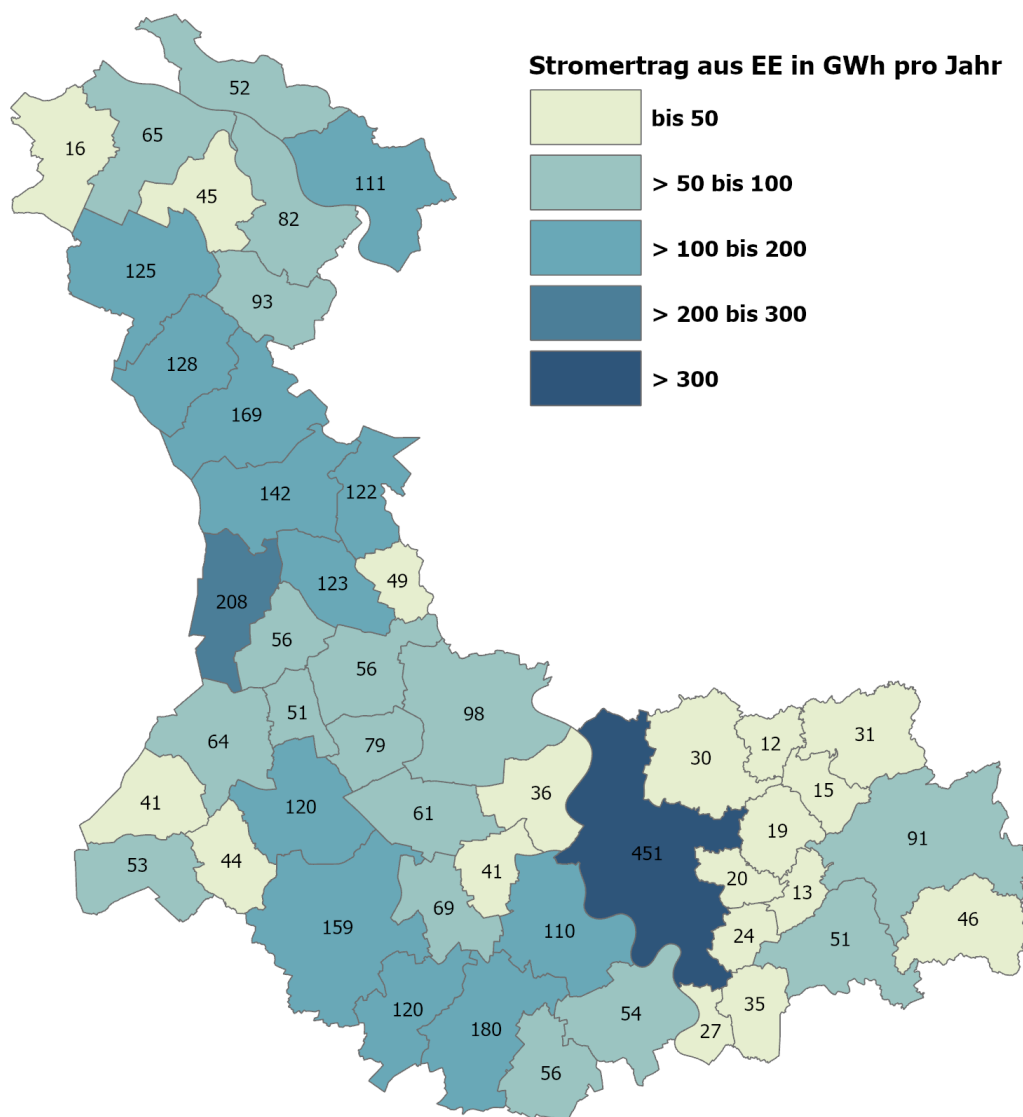


Abbildung 36: Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in der Planungsregion Düsseldorf nach Gemeinden

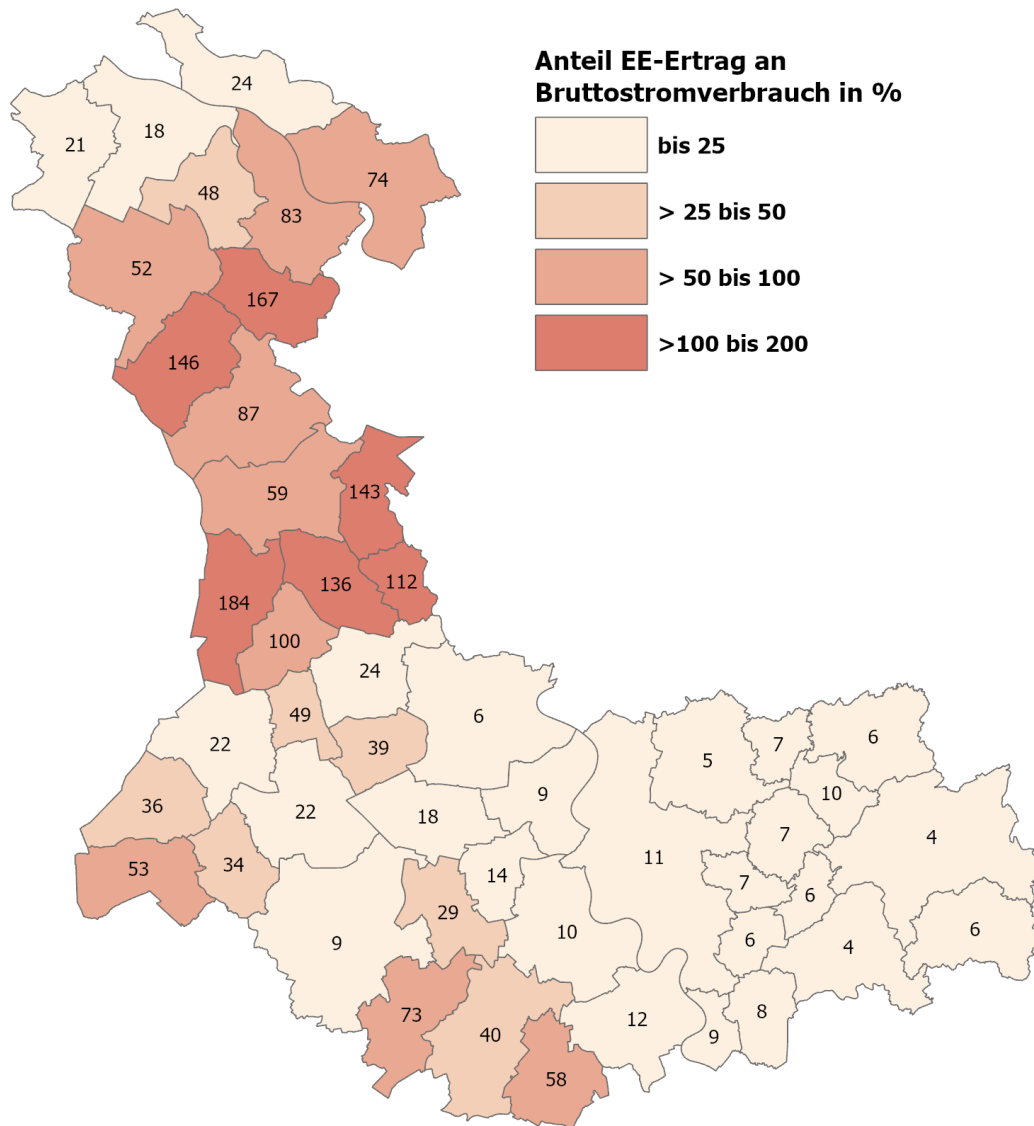


Abbildung 37: Anteil der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien am Stromverbrauch in der Planungsregion Düsseldorf nach Gemeinden

Der Ausbaustand der erneuerbaren Energien nach Energieträgern wird für die Planungsregion Düsseldorf in Tabelle 38 dargestellt (Stand: Ende 2024). Dabei wird deutlich, dass die Solar- und Windenergie sich von den anderen regenerativen Energieträgern hinsichtlich der installierten Leistung (MW) und des Stromertrages (GWh/a) deutlich abheben. Die Photovoltaik liefert mit rund 1.630 Megawatt die höchste installierte Leistung in der Planungsregion. Im Vergleich dazu kommt die Windenergie mit rund 709 MW nur auf knapp die Hälfte. Weitere erneuerbare Energieträger liegen deutlich darunter (Biomasse: 158 MW, Wasserkraft: 3 MW, Deponiegas: 4 MW, Klärgas: 33 MW). Hinsichtlich des Stromertrages liegen die Solarenergie (1.470 GWh/a) und die Windenergie (1.425 GWh/a) in der Planungsregion Düsseldorf in etwa gleich auf, gefolgt von der Biomassennutzung (935 GWh/a). Der Anteil der Freiflächen-Photovoltaik an der gesamten Solarenergienutzung im Planungsraum Düsseldorf ist mit etwa 3 % des Stromertrages bislang nur sehr gering. Andere erneuerbare Energiequellen wie die Wasserkraft oder Klär- und Deponiegas spielen im Planungsraum bislang nur eine untergeordnete Rolle.

Tabelle 38: Ausbaustand der stromerzeugenden erneuerbaren Energien nach Energieträger in NRW und in der Planungsregion Düsseldorf (2024)

	Anzahl Anlagen		installierte Leistung (MW)		Stromerzeugung (GWh/a)		Anteil am Bruttostromverbrauch (%)	
	NRW	Düsseldorf	NRW	Düsseldorf	NRW	Düsseldorf	NRW	Düsseldorf
Windenergie	3.817	351	7.810	709	16.999	1.425	13,7	6,3
Photovoltaik	872.301	124.255	12.179	1.630	10.985	1.470	8,9	6,5
<i>davon FFPV</i>	<i>1.209</i>	<i>110</i>	<i>763</i>	<i>54</i>	<i>688</i>	<i>49</i>	<i>0,6</i>	<i>0,2</i>
Wasserkraft	470	21	217	3	590	10	0,5	0,0
Biomasse	1.424	174	1.183	158	7.001	935	5,7	4,1
Deponiegas	45	5	33	4	103	7	0,1	0,0
Klärgas	277	34	152	33	435	91	0,4	0,4
Gesamt	878.371	124.840	21.686	2.536	36.423	3.939	29,5	17,3

Quelle: Energieatlas NRW

In der Planungsregion Düsseldorf sind mit Stand Ende 2024 insgesamt 124.840 Anlagen zur regenerativen Stromerzeugung in Betrieb, dabei handelt es sich überwiegend um Dachflächen-PV-Anlagen (ca. 99 % aller Anlagen). Insgesamt ist in der Planungsregion eine Leistung von 2.536 Megawatt aus erneuerbaren Energien installiert. Dies entspricht knapp 14,2 % aller Anlagen in Nordrhein-Westfalen (878.371 Anlagen) und etwa 11,7 % der landesweit installierten Leistung (21.686 MW). Mit einer Stromerzeugung von etwa 3.939 Gigawattstunden pro Jahr konnten etwa 17,3 % des Stromverbrauchs in der Planungsregion aus erneuerbaren Energien gedeckt werden. Der in NRW generierte Stromertrag aus regenerativen Quellen (36.423 GWh/a) macht bereits 29,5 % des Stromverbrauches des gesamten Landes aus.

3.2.2 Ausbaupotenzial der erneuerbaren Energien – Strom

Das vom LANUK in verschiedenen Studien analysierte Potenzial für den Ausbau der erneuerbaren Energien zur Stromerzeugung in der Planungsregion Düsseldorf wird in Tabelle 39 getrennt nach Energieträgern dargestellt. Es handelt sich dabei um die ermittelten Gesamtpotenziale, wobei die methodischen Ansätze der jeweils zu Grunde liegenden Studien zu berücksichtigen sind.

Tabelle 39: Ausbaupotenzial der erneuerbaren Energien in der Planungsregion Düsseldorf (Strom)

	Flächen- potenziale (ha)	installierbare Leistung (MW)	möglicher Stromertrag (GWh/a)	Quelle
Windenergie	5.535	2.392	6.086	Flächenanalyse Wind- energie (LANUV 2023 _B)
Solarenergie (nur Dachflächen-PV)	6.527	14.210	11.613	Solarkataster (LANUK, Aktualisiert 2025)
Wasserkraft	-	-	1,7	Potenzialstudie Wasser- kraft (LANUV 2017)
Bioenergie (Forst-, Land- und Abfallwirtschaft)	-	-	1.235	Potenzialstudie Bioener- gie (LANUV 2014)

Solarenergie

Das größte Ausbaupotenzial bei der Stromerzeugung in der Planungsregion Düsseldorf besteht im Bereich der Solarenergie. Bei der Photovoltaik-Nutzung auf Dachflächen zeigt sich im Planungsraum eine potenziell installierbare Leistung von 14.210 MW und ein potenzieller Stromertrag von 11.613 GWh/a.

Der Bund hat in § 4 EEG für die Solarenergienutzung insgesamt deutschlandweit ein Ausbauziel von 215 GW installierter Leistung bis 2030 vorgegeben, von dem die Freiflächen-Photovoltaik (FF-PV) bundesweit bis zur Hälfte dieses Zubaus ausmachen soll. NRW plant, die PV-Leistung auf mindestens 21 GW zu steigern, mit einer möglichen Erweiterung auf bis zu 27 Gigawatt (MWIKE 2024_A). Nach wie vor ist in Nordrhein-Westfalen jedoch der ganz überwiegende Teil der PV-Leistung auf Dachflächen installiert (NRW: 94 %, Planungsregion Düsseldorf: 97 %; Tabelle 38). Um die Ausbauziele des Bundes und des Landes zu erreichen, ist daher ein Zubau von Freiflächen-PV-Anlagen auch in der Planungsregion Düsseldorf erforderlich. Hierfür bestehen in der Planungsregion große Potenziale.

FF-PV-Anlagen können raumbedeutsam und darstellungsrelevant für die Regionalplanung sein. Entscheidend für die Raumbedeutsamkeit einer Anlage sind sowohl die Rauminanspruchnahme als auch die Raumbeeinflussung. Anlagen größer als 10 Hektar gelten normalerweise als raumbedeutsam, Anlagen unter 2 Hektar werden in der Regel als nicht raumbedeutsam eingestuft. Für Anlagen zwischen 2 und 10 Hektar ist eine individuelle Prüfung erforderlich. Der Landesentwicklungsplan NRW enthält maßgebliche raumordnungsrechtliche Vorgaben, zudem sind für die Abschätzung von Ausbaupotenzialen Regelungen des Baugesetzbuches (BauGB) sowie in Bezug auf die Wirtschaftlichkeit das EEG relevant.

In § 37 Abs. 1 Nr. 2 EEG werden die Freiflächen aufgelistet, für die Gebote bei den Ausschreibungen der Bundesnetzagentur für Solaranlagen des ersten Segments abgegeben werden können, also für „jede Freiflächenanlage und jede Solaranlage auf, an oder in einer baulichen Anlage, die weder Gebäude noch Lärmschutzwand ist“ (EEG § 3 Abs. 41a). Dies sind z. B. Flächen auf Halden und Deponien, Konversionsflächen und 500 m-Randstreifen entlang von Autobahnen und Schienenwegen. Zudem sind in § 37 Abs. 1 Nr. 3 EEG die Flächen aufgelistet, für die Gebote bei den Ausschreibungen für Solaranlagen des ersten Segments als

besondere Solaranlagen abgegeben werden können. Hierbei handelt es sich v.a. um Agri-PV-Anlagen oder PV auf Überdachungen von Parkplätzen.

Der LEP enthält Vorgaben und Hinweise zu raumbedeutsamen FF-PV Anlagen in den Zielen 10.2-14 und 10.2-15 sowie in den Grundsätzen 10.2-16 - 10.2-18. Demnach sind Planungen für raumbedeutsame Freiflächen-Solarenergieanlagen im Freiraum grundsätzlich möglich, wenn dies mit den jeweiligen Schutz- und Nutzfunktion im Regionalplan vereinbar ist. Ausnahme hiervon sind regionalplanerisch festgelegte Waldbereiche und Bereiche zum Schutz der Natur (BSN). Zudem wird auf das überragende öffentliche Interesse am Ausbau der erneuerbaren Energien hingewiesen (Ziel 10.2-14). Ziel 10.2-15 legt fest, dass Planungen für raumbedeutsame Freiflächen-Solarenergieanlagen auf hochwertigen Ackerböden nur für Agri-PV-Anlagen erfolgen darf. Der Grundsatz 10.2-17 definiert besonders geeignete Standorte für raumbedeutsame Freiflächen-Solarenergie im Freiraum und nennt hier geeignete Brachflächen, Halden und Deponien, Flächen in landwirtschaftlich benachteiligten Gebieten, künstliche und erheblich veränderte Oberflächengewässer oder Windenergiebereiche. Zudem sollen vorzugsweise Flächen bis zu einer Entfernung von 500 Metern von Bundesfernstraßen, Landesstraßen und überregionalen Schienenwegen des Personen- und Güterverkehrs genutzt werden, vorrangig entlang von Bundesfernstraßen und überregionalen Schienenwegen. Entlang von anderen Straßen und Schienenwegen sowie angrenzend an den Siedlungsraum sollen vorzugsweise nur Flächen bis zu einer Entfernung von 200 Metern genutzt werden. Die Grundsätze 10.2-16 und 10.2-18 enthalten Vorgaben zu raumbedeutsamen FF-PV-Anlagen in landwirtschaftlichen Kernräumen sowie im Siedlungsraum.

Im BauGB sind in § 35 Abs. 1 Nr. 8 b) Flächen definiert, auf denen FF-PV-Anlagen im Außenbereich planungsrechtlich privilegiert sind. Dies sind Flächen längs von Autobahnen oder Schienenwegen des übergeordneten Netzes in einer Entfernung zu diesen von bis zu 200 Metern. Innerhalb der privilegierten Flächen sind Anträge zur Baugenehmigung ausreichend und eine weitere Bauleitplanung seitens der Kommune nicht erforderlich. Eine Genehmigung kann nur versagt werden, wenn öffentliche Belange entgegenstehen oder die Erschließung nicht gesichert ist. Weiterhin privilegiert sind nach § 35 Abs. 1 Nr. 9 BauGB Solaranlagen, die nicht größer als 25.000 m² sind und in räumlich-funktionalem Zusammenhang zu je einem land- oder forstwirtschaftlichen Betrieb oder einem Betrieb der gartenbaulichen Erzeugung stehen. Bei diesen Anlagen handelt es sich um besondere Solaranlagen nach § 48 Abs. 1 Nr. 5 a), b) oder c) EEG (Agri-PV). Darüber hinaus können auch weitere Flächen, auf denen keine privilegierte Zulässigkeit gilt, für die Errichtung von Solarenergieanlagen genutzt werden, wenn die Kommune entsprechende Bauleitpläne aufstellt.

Das LANUK hat landesweit die Möglichkeiten zum Ausbau der Freiflächen-Solarenergie untersucht (LANUK 2025A). Dabei wurden unterschiedliche Flächenkulissen betrachtet und technische, wirtschaftliche sowie planungsrechtliche Aspekte berücksichtigt. Die Ergebnisse und die verschiedenen Flächenkulissen sind im Solarkataster des Energieatlas NRW dargestellt. Dort sind auch Dokumentationen zum methodischen Vorgehen zu finden. Die Analysen verdeutlichen das große grundsätzlich vorhandene Flächenpotenzial für FF-PV-Anlagen in der Planungsregion Düsseldorf (Tabelle 40).

Die Karte der „Suchflächen für Freiflächen-PV“ umfasst alle Freiflächen, die aus landesweiter Sicht aufgrund ihrer aktuellen Nutzung für den Zubau von FF-PV in Betracht kommen, und die zudem auch technisch für die Solarnutzung geeignet sind (Kriterien u. a.: nicht mehr als 20 % Verschattung, Flächengröße mindestens 50 m², spezifischer Stromertrag von mindestens 450

kWh/kWp installierbarer Leistung). Zum Kriterienkatalog der ausgeschlossenen Negativflächen zählen z. B. Wohnflächen, Verkehrsflächen und Schutzgebiete (LANUK 2024B). Die Suchflächen haben in der Planungsregion Düsseldorf insgesamt einen Umfang von 147.671 ha (41 % der Gesamtfläche). Der Datensatz wird als Grundlage für alle weiteren Flächenkultissen verwendet.

Die „Suchflächen für Freiflächen-PV“ wurden in einem weiteren Schritt hinsichtlich der Festlegungen des LEP untersucht. Die gesamte grundsätzlich nutzbare Flächenkulisse nach den Vorgaben von Ziel 10.2-14 des LEP beträgt in der Planungsregion Düsseldorf 139.267 ha, was 38 % der gesamten Fläche der Region und 94 % der Suchflächen entspricht. Die nach Grundsatz 10.2-17 des LEP vorzugsweise zu nutzenden Flächen umfassen im Planungsraum 101.280 ha (28 %). Die Flächenkulisse für Agri-PV-Anlagen auf hochwertigen Ackerböden nach Ziel 10.2-15 des LEP beträgt 83.320 ha (23 %). Die Festlegungen des LEP erstrecken sich nicht auf privilegierte Flächen nach BauGB, aufgrund der Größe raumbedeutsamer FF-PV-Anlagen wurde jedoch darauf verzichtet, diese Flächen zu entfernen.

Die Bereiche, die zur Förderkulisse des EEG nach § 37 Abs. 1 Nr. 2 zählen, machen in Summe 33.151 ha aus (9 % der Planungsregion). Das Flächenpotenzial für besondere Solaranlagen nach § 37 Abs. 1 Nr. 3 (z. B. Agri-PV-Anlagen) beträgt 133.906 ha. Dabei ist zu beachten, dass die beiden Flächenkultissen nach EEG sich auch überschneiden können. Die privilegierten Bereiche nach BauGB § 35 Abs. 1 Nr. 8 b entsprechen etwa 3 % der Fläche der Planungsregion Düsseldorf (9.649 ha).

Tabelle 40: Flächenpotenziale für Freiflächen-Solarenergie in der Planungsregion Düsseldorf

Flächenkulisse FF-PV-Potenziale	Flächengröße (Anteil an Gesamtfläche der Planungsregion)
Suchflächen für FF-PV (Solarkataster NRW, LANUK)	147.671 ha (41 %)
LEP: Grundsätzlich möglich (Ziel 10.2-14)	139.267 ha (38 %)
LEP: Vorzugsweise zu nutzende Flächen (Grundsatz 10.2-17)	101.280 ha (28 %)
LEP: Agri-PV (Ziel 10.2-15)	83.320 ha (23 %)
Förderkulisse EEG (§ 37 Abs. 1 Nr. 2)	33.151 ha (9 %)
Förderkulisse EEG: Besondere Solaranlagen (§ 37 Abs. 1 Nr. 3)	133.906 ha (37 %)
Privilegierte Infrastrukturbereiche nach BauGB (§ 35 Abs. 1 Nr. 8 b)	9.649 ha (3 %)

Die Planungsregion Düsseldorf bietet also ein großes Flächen-Potenzial für den Ausbau der Freiflächen-Photovoltaik. Eine Quantifizierung von Leistungs- oder Ertragspotenzialen in der Planungsregion erscheint aufgrund des Umfangs der grundsätzlich geeigneten Flächen jedoch nicht sachgerecht.

Windenergie

Das LANUK hat 2023 in der Flächenanalyse Windenergie (LANUV 2023_B) landesweit das Flächenpotenzial zur Windenergienutzung analysiert. Das Flächenpotenzial für die Planungsregion Düsseldorf beträgt demnach 5.535 ha. Auf Basis der Flächenanalyse ist eine Modellierung für die Potenzialflächen erfolgt, welche die mögliche Ausnutzung simuliert und Leistungs- und Ertragspotenziale berechnet. Das so ermittelte Ausbaupotenzial im Bereich der Windenergie in der Planungsregion Düsseldorf liegt bei einer installierbaren Leistung von 2.392 Megawatt und einem potenziellen jährlichen Stromertrag von 6.086 Gigawattstunden (LANUV 2024). Die Ergebnisse der Flächenanalyse und der Potenzialmodellierung werden im Energieatlas des LANUK NRW in der Planungskarte Wind dargestellt.

Mit dem Windenergieflächenbedarfsgesetz, das am 1. Februar 2023 in Kraft getreten ist, hat der Bund den Ländern verbindliche Flächenziele (sogenannte Flächenbeitragswerte) vorgegeben, die für den Ausbau der Windenergie ausgewiesen werden müssen. Dies soll dazu beitragen, die Klimaschutzziele im Bereich der Stromversorgung zu erreichen und die Energieversorgungssicherheit zu erhalten. Der vorgegebene Flächenbeitragswert für Nordrhein-Westfalen beträgt 1,1 % der Landesfläche (entspricht 37.524 ha) bis zum Ende des Jahres 2027 und 1,8 % der Landesfläche (entspricht 61.402 ha) bis zum Ende des Jahres 2032.

In Nordrhein-Westfalen sind die Vorgaben des WindBG durch die zweite Änderung des LEP NRW umgesetzt. Ziel 10.2-2 des LEP NRW legt für die Planungsregionen fest, in welchem Umfang Windenergiebereiche (WEB) als Vorranggebiete für die Windenergienutzung festzulegen sind. Für die Planungsregion Düsseldorf beträgt das regionale Flächenziel nach Ziel 10.2-2 LEP NRW mindestens 4.151 ha. Am 10. Juli 2025 hat der Regionalrat Düsseldorf den Feststellungsbeschluss zur 18. Regionalplanänderung gefasst und damit Windenergiebereiche im erforderlichen Umfang festgelegt. Mit Bekanntmachung im Gesetzes- und Verordnungsblatt NRW am 18. Juli 2025 sind die Vorgaben aus dem LEP NRW im RPD erfüllt und die Flächenbeitragswerte gemäß § 3 Abs. 2 WindBG erreicht. Die planerischen Voraussetzungen für den weiteren Ausbau der Windenergie in der Planungsregion Düsseldorf sind somit geschaffen worden.

Windatlas NRW

Für einen möglichst effizienten und wirtschaftlichen Ausbau der Windenergienutzung ist die Höhe möglicher Stromerträge an den jeweiligen Standorten relevant. Ein zentraler Faktor dabei ist die Windhöffigkeit, also das durchschnittliche Windaufkommen an einem Standort als Grundlage für die Nutzung der Windenergie. Dieser Aspekt hat auch Einfluss darauf, wie viel Fläche letztlich für die Windenergienutzung insgesamt benötigt wird, und auf die Höhe der Stromgestehungskosten.

Um vor diesem Hintergrund Flächen oder Standorte hinsichtlich ihrer Eignung für die Windenergienutzung bewerten zu können, hat das LANUK im Jahr 2025 den Windatlas NRW veröffentlicht, der umfangreiche Daten zu den Windbedingungen in Nordrhein-Westfalen enthält (LANUK 2025_B). Der Windatlas NRW basiert auf einer landesweiten Modellierung der Windverhältnisse, bei der verschiedene Parameter ermittelt wurden, die Einfluss auf die Möglichkeiten zur Nutzung der Windenergie haben: Neben der mittleren jährlichen Windgeschwindigkeit sind dies die gekappte mittlere Windleistungsdichte, die Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit, die Turbulenzintensität sowie der Standortertrag und die Standortgüte für drei

Windenergieanlagen-Typen. Die Ergebnisse wurden flächendeckend für ganz NRW in einer räumlichen Auflösung von 30 m x 30 m ermittelt und für unterschiedliche Höhenschichten ausgewertet.

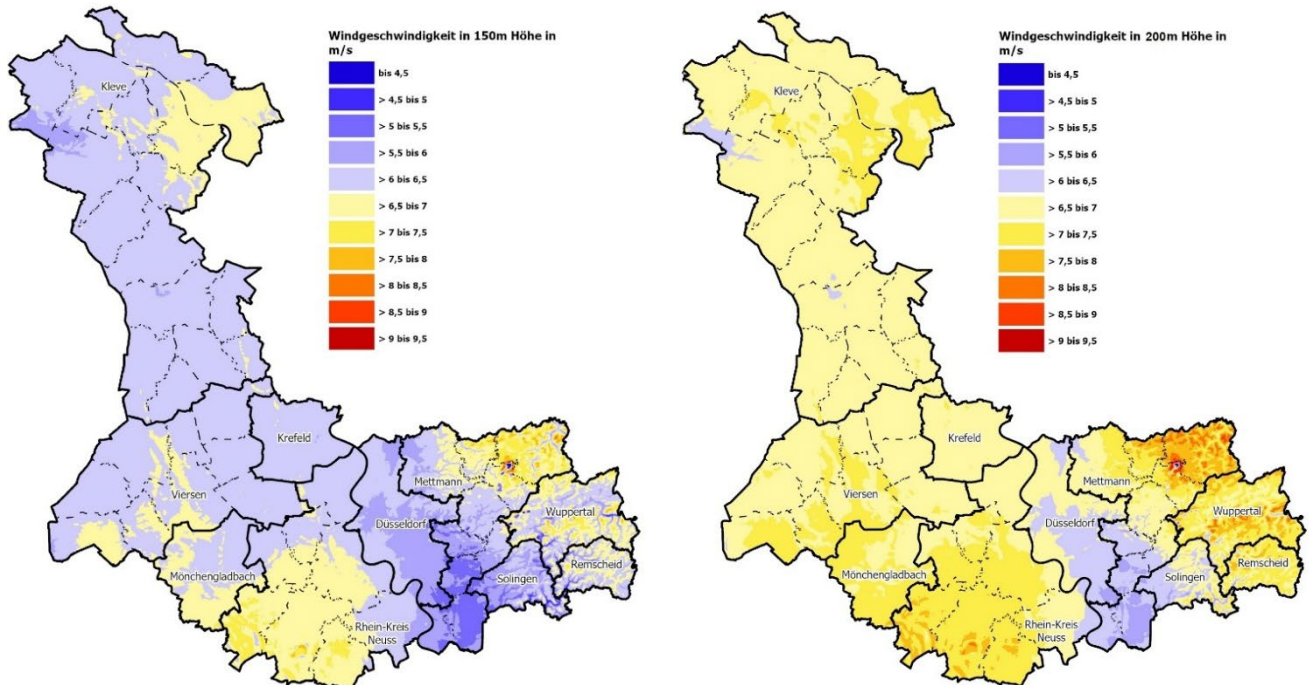


Abbildung 38: Windatlas NRW – Mittlere Windgeschwindigkeit in der Planungsregion Düsseldorf in 150 m und in 200 m über Grund

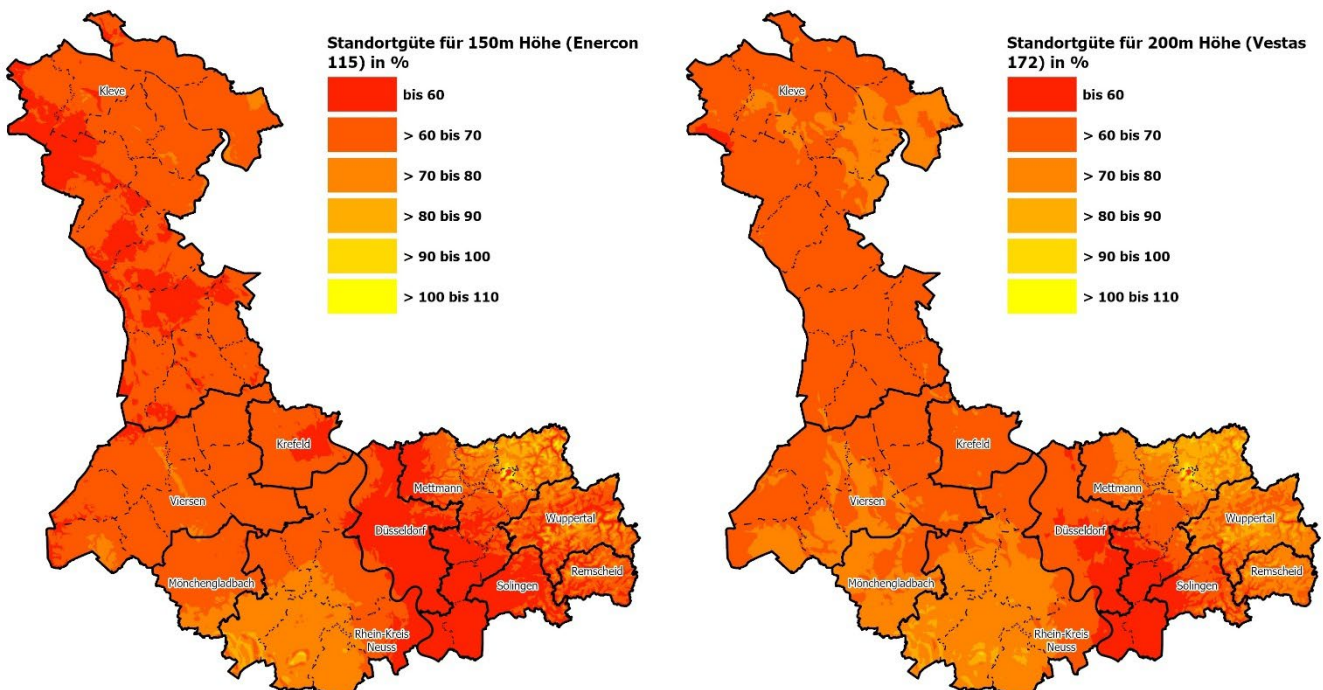


Abbildung 39: Windatlas NRW – Standortgüte in der Planungsregion Düsseldorf in 150 m (Enercon 115) und in 200 m (Vestas 172) über Grund

Für die Planungsregion Düsseldorf, die orographisch in großen Teilen wenig bewegt ist, zeigen die Ergebnisse des Windatlas NRW im Landesvergleich tendenziell durchschnittliche Werte. Die mittlere Windgeschwindigkeit liegt in großen Teilen des Planungsraum zwischen 5,5 m/s und 7 m/s in 150 m Höhe und zwischen 6,5 m/s und 7,5 m/s in 200 m Höhe (Abbildung 38). Entlang des Rheins (insbesondere östlich davon) ist das Windangebot am geringsten, die höchsten Werte ergeben sich für Bereiche im Bergischen Land (z. B. Velbert, Langenberg, Wuppertal, Heiligenhaus). In weiten Bereichen der Planungsregion werden Standortgüten nach EEG 2023 zwischen 60 % und 80 % erreicht, im Bergischen Land vereinzelt bis zu 100 % (Abbildung 39). Die Standortgüte fällt in der Planungsregion Düsseldorf für größere Höhen (und damit für größere Windenergieanlagen) vergleichsweise günstiger aus als für geringere Höhen.

Der Windatlas mit sämtlichen Ergebnissen der Modellierung ist im Energieatlas NRW in der Planungskarte Wind veröffentlicht.

Wasserkraft, Bioenergie

Das 2017 in der Potenzialstudie Wasserkraft ermittelte Ausbaupotenzial in der Planungsregion Düsseldorf zur Stromerzeugung im Bereich der Wasserkraftnutzung beträgt 1,7 GWh/a (LANUV 2017). Die Studie ist hinsichtlich der möglichen Potenziale an Talsperren 2026 aktualisiert worden. Im Ergebnis ist dabei für die Planungsregion Düsseldorf jedoch kein weiteres Potenzial ermittelt worden. Das Ausbaupotenzial für die Bioenergie aus Forst-, Land- und Abfallwirtschaft, welches das LANUK 2014 in einer Studie untersucht hat, beträgt in der Planungsregion Düsseldorf 1.235 GWh/a (LANUV 2014). Eine Aktualisierung der Studie ist derzeit in Erarbeitung.

3.2.3 Ausbaupotenzial der erneuerbaren Energien – Wärme

Die Wärmeversorgung von Gebäuden benötigt etwa ein Drittel des gesamten Endenergieverbrauchs in Deutschland, private Haushalte sind für etwa 12 % der Treibhausgasemissionen in der Planungsregion Düsseldorf verantwortlich (Kapitel 3.1). Daher spielt der Wärmesektor eine entscheidende Rolle für das Erreichen der Klimaschutzziele.

Das Wärmeplanungsgesetz (WPG) des Bundes bildet den rechtlichen Rahmen, auf dessen Grundlage im Dezember 2024 auch das Landeswärmeplanungsgesetz in Nordrhein-Westfalen (LWPG NRW) verabschiedet wurde. Ziel ist es, bis 2045 die Wärmeversorgung vollständig durch erneuerbare Energien oder unvermeidbare Abwärme sicherzustellen. Gemäß § 4 Abs. 2 WPG i. V. m. § 2 Abs. 2 LWPG NRW ist damit für alle Gemeinden die Pflicht zur kommunalen Wärmeplanung eingeführt worden. Je nach Größe der Gemeinde müssen die Wärmepläne bis Mitte 2026 bzw. 2028 aufgestellt, alle fünf Jahre überprüft und bei Bedarf überarbeitet werden. Inhalt der Wärmeplanung ist es, den Wärmeverbrauch und -bedarf, die vorhandenen Potenziale zur Wärmeerzeugung und mögliche Wärmeversorgungsarten aus erneuerbaren Energien darzustellen. Dazu ist auch die Gliederung in Gebiete mit zentraler und dezentraler Wärmeversorgung sowie in Prüfgebiete vorgesehen. Abschließend wird eine Umsetzungsstrategie entwickelt. Alle im Folgenden beschriebenen Informationen können im Wärmekataster des Energieatlas NRW eingesehen werden.

In der Planungsregion Düsseldorf liegt der Wärmebedarf für Raumwärme, Warmwasser und Prozesswärme derzeit bei jährlich 53 TWh, wovon rund 60 % auf Raumwärme und Warmwasser sowie 40 % auf Prozesswärme (Industrie und Gewerbe) entfallen. Der voraussichtliche Wärmebedarf wird, je nach Szenario, im Jahr 2045 etwa 38.383 GWh bis 43.022 GWh betragen, so dass insbesondere im Gebäudebereich eine Reduktion des Wärmebedarfs erwartet wird (LANUK 2024_A).

Der Raumwärmebedarf wird aktuell vor allem durch fossile Energieträger gedeckt. In der Planungsregion Düsseldorf stellt Gas mit einem Anteil von 71 % den dominierenden Energieträger für die Raumwärmebereitstellung der Wohngebäude dar, gefolgt von Öl mit 15 % und Fernwärme mit 5 %. Der Anteil erneuerbarer Wärme liegt aktuell ebenfalls bei lediglich 5 % (Zensus 2022).

Ein wesentlicher Baustein zur Erreichung der Klimaneutralität im Wärmesektor ist die Nutzung bislang unerschlossener Wärmequellen. Die Einbindung dieser in bestehende und neu zu errichtende Wärmenetze ist hier von zentraler Bedeutung. Im Rahmen der Potenzialstudie zur zukünftigen Wärmeversorgung in Nordrhein-Westfalen ist das Ausbaupotenzial zur Wärmeerzeugung durch verschiedene Erneuerbare und Umwelt-Wärmequellen ermittelt worden. Das Ausbaupotenzial in der Planungsregion Düsseldorf wird in Tabelle 41 dargestellt.

Tabelle 41: Ausbaupotenzial der erneuerbaren Energien zur Wärmeerzeugung in der Planungsregion Düsseldorf

	potenzieller Wärmeertrag (GWh/a)	potenzieller Wärmeertrag 2045 (GWh/a)
Solarthermie (verschiedene Kollektortypen)	126.888 bis 244.220	-
Tiefe und mitteltiefe Geothermie (hydrothermale Geothermie)	3.742 + 2.445 = 6.187	
Oberflächennahe und mitteltiefe Geothermie (Sonden)	20.717 + 1.789 = 22.506	14.847 bis 16.999 + 660 bis 1.111 = 15.507 bis 18.110
Gewässer (Flüsse, Kanäle, Seen)	1.964	-
Sonstige Biomasse	1.143	1.145
Industrielle Abwärme	4.508	3.543 - 3.731
Abwasser (Kläranlagen, Kanäle)	2.014	-
Direkt einleitende Betriebe (Δt 6K)	1.984	-
Müllverbrennung (Summe aus Hausmüll, Sperrmüll und Altholz)	1.266	1.174
Abwärme Rechenzentren (Luftgekühlt, Wassergekühlt)	212 bis 293	582 bis 806
Klärgas / Klärschlamm	206	214
Elektrolyseure	-	1.000
Grubenwasserhaltung	-	-

A

Quelle: LANUK 2024

Das höchste Ausbaupotenzial zur Wärmeerzeugung besteht im Bereich der **Solarthermie** mit einem theoretisch erzielbaren Wärmeertrag von jährlich 126.888 GWh bis 244.220 GWh, je nach Kollektorart und erzielbarer Temperatur. Die Flächen, die zur Nutzung durch Anlagen der Solarthermie geeignet wären, konkurrieren jedoch mit der Nutzung durch Photovoltaik-Anlagen und weiteren Nutzungen, so dass es sich um ein rein technisch mögliches bzw. rechnerisches Potenzial handelt. Aufgrund des saisonalen Wärmeangebots im Sommer und verminderter Strahlung im Winter, wenn Wärme benötigt wird, kann dieses Potenzial aller Voraussicht nach nicht so umgesetzt werden könnte. Die Solarthermie auf Freiflächen wird daher zur Wärmeerzeugung in der Planungsregion Düsseldorf voraussichtlich keine entscheidende Rolle spielen.

Weiterhin bietet die **Geothermie** (oberflächennah, mitteltief und tief) in der Planungsregion Düsseldorf ein hohes Ausbaupotenzial von rund 28.693 GWh/a potenziellem Wärmeertrag. Dabei macht die oberflächennahe Geothermie mit rund 20.717 GWh/a den größten Teil aus, gefolgt von der hydrothermalen Nutzung der tiefen (3.742 GWh/a) und der mitteltiefen Geothermie (2.445 GWh/a). Zusätzlich kann bei Einzellösungen die mitteltiefe Geothermie bis 1.000 m auch per Sonde genutzt werden (1.789 GWh/a). Die oberflächennahe Geothermie ist bereits heute etabliert und eine gute Möglichkeit, Einfamilien- und Mehrfamilienhäuser mittels Wärmepumpe und Erdwärmesonde zu versorgen. Im Vergleich zur mitteltiefen (von 400 m bis 1.500 m) und tiefen (ab 1.500 m) Geothermie bietet die oberflächennahe Geothermie ein geringes Fündigkeits- und Investitionsrisiko.

Durch die Nutzung von **Oberflächengewässern**, insbesondere durch den Rhein, kann ein potenzieller Wärmeertrag von 1.964 GWh jährlich erzielt werden. Die potenzielle Wärmeleistung beträgt allein aus Flusswasser rund 347 MW, durch Seen könnten Potenziale von rund 505 GWh/a in der Planungsregion Düsseldorf generiert werden. Die Nutzung von Gewässern als Wärmequelle setzt eine sorgfältige ökologische Bewertung voraus, da Eingriffe in den Wärmehaushalt sensibler Ökosysteme zu vermeiden sind (LAWA 2025).

Weiterhin bietet die Nutzung von **Biomasse** zur Wärmeerzeugung ein weiteres EE-Potenzial in der Planungsregion Düsseldorf von jährlich 2.614 GWh/a Wärme. Das Biomassepotenzial ergibt sich überwiegend aus den Müllverbrennungsanlagen (Hausmüll, Sperrmüll Altholz), der energetischen Verwertung von Klärgas und Klärschlamm und der sonstigen Biomasse, z. B. Reststoffe wie Wirtschaftsdünger, Erntenebenprodukte, Straßenbegleitgrün und Bioabfall. Biomasseanlagen eignen sich nicht nur für die Bereitstellung von Prozessdampf und Wärme, sondern als KWK-Anlage auch für die Erzeugung von Strom, so dass diese eine doppelte Rolle im zukünftigen Energiesystem darstellen können.

Weitere Wärmequellen ergeben sich aus der Nutzung von industrieller Abwärme (4.508 GWh/a), Abwasser aus Kläranlagen und Kanälen (2.014 GWh/a) und durch direkteinleitende Betriebe (1.984 GWh/a).

Aufgrund der voranschreitenden Digitalisierung stellen auch Rechenzentren mit ihrer kontinuierlichen Abwärmeproduktion eine wachsende und vielversprechende Wärmequelle für die Zukunft dar. In der Planungsregion Düsseldorf liegt hier die potenzielle Abwärmeleistung bei rund 24 bis 33 MW Wärmeleistung, was einem potenziellen jährlichen Wärmeertrag von 212 bis 293 GWh entspricht. Voraussetzung für die Integration der Abwärme in das Energiesystem ist eine frühzeitige Berücksichtigung bei der Standortplanung der Rechenzentren auf regionaler

und lokaler Ebene, um vorhandene und zu errichtende Infrastrukturen (Netzanschluss Strom und Wärme) und den Vorhabenstandort aufeinander abzustimmen.

Im Rahmen der Potenzialstudie zur zukünftigen Wärmeversorgung in NRW wurde in drei verschiedenen Szenarien die jeweils wirtschaftlichste Heizungsoption für jedes Gebäude ermittelt. In der Planungsregion Düsseldorf beträgt der Raumwärme- und Warmwasserbedarf inklusive Prozesswärme des Bereichs Gewerbe, Handel und Dienstleistung im Jahr 2045 bei der heute zu beobachtenden Gebäudesanierung (Szenario moderat) gut 25 TWh pro Jahr. Es zeigt sich, dass etwa die Hälfte bis zwei Drittel der Gebäude künftig mit Luftwärmepumpen, rund 20 bis 40 Prozent über Wärmenetze, 10 bis 15 Prozent mittels oberflächennaher Geothermie und 3 bis 6 Prozent mit Biomasse versorgt werden könnten. Gase spielen im Zieljahr 2045 der Studie in keinem der Szenarien eine Rolle für die Raumwärmebereitstellung (0,0 bis 0,1 Prozent).

Für die Wärmenetze (rund 5 TWh/a bis 10 TWh/a Erzeugung) übernimmt in allen Szenarien die Abwärme (insbesondere Industrie, aber auch Rechenzentren und Elektrolyseure) mit einem Viertel bis einem Drittel eine entscheidende Rolle als Wärmequelle. Die Müllverbrennungsanlagen stellen mit einem weiteren Viertel in zwei der Szenarien ebenfalls eine entscheidende Quelle dar, gefolgt von der Nutzung von Flusswasser (15 bis 19 Prozent) und Abwasser (10 bis 12 Prozent) mittels Wärmepumpe. Die Quellen Biomasse, Geothermie, Freiflächen-solarthermie, Klärgas-/schlamm, Luftwärmepumpe und Wasserstoff-KWK übernehmen zusammen 11 % bis 13 %, im Szenario mit besonders starkem Fernwärmezubau bis zu 25 % der Erzeugung. Lokal kann die Bedeutung auch dieser Wärmequellen dennoch sehr relevant sein.

In allen Szenarien zeigt sich für NRW, abhängig von der jeweils betrachteten Bedarfsreduktion bis 2045, ein deutlich erhöhter Bedarf an Strom für die Wärmeerzeugung zwischen rund 25 TWh und 33 TWh pro Jahr. Bei einem Anteil der Planungsregion Düsseldorf von knapp 20 % am gesamten Raumwärmebedarf von NRW ist davon auszugehen, dass neben einem massiven Ausbau der Wärmenetze auch die Stromnetze ausgebaut und verstärkt werden müssen, insbesondere auf Verteilnetzebene. Je ineffizienter strombasierte Heizungen arbeiten, desto stärker wird das Netz zu Stoßzeiten und bei Kälteeinbrüchen belastet. Infrarot- oder Nachtspeicherheizung benötigen eine Kilowattstunde Strom, um eine Kilowattstunde Wärme bereitzustellen, Wärmepumpen nutzen Umweltwärme und stellen so pro Kilowattstunde Strom je nach Gebäudezustand zumeist deutlich über 3 kWh bis über 5 kWh Wärme bereit.

Im Sektor Wärmeversorgung besteht demnach insgesamt ein erhebliches Potenzial zur Einsparung von Treibhausgasemissionen. Neben dem Einsatz von erneuerbaren Energien sind auch energieeffiziente Siedlungsstrukturen (z. B. passive Solarenergienutzung) oder wärmetechnische Gebäudesanierungen zentrale Instrumente in diesem Bereich.

3.2.4 Fazit

Die in diesem Kapitel dargestellten Daten und Zahlen zum Ausbau der erneuerbaren Energien in der Planungsregion Düsseldorf zeigen auf, dass die Nutzung klimafreundlicher Energiequellen den Verbrauch in der Planungsregion Düsseldorf aktuell, trotz bereits erzielter Fortschritte, nicht ausreichend deckt und ein weiterer Ausbau erforderlich ist. Auf der anderen Seite bestehen weiterhin große Potenziale zum Ausbau der erneuerbaren Energien in der Planungsregion.

Solar- und Windenergie sind derzeit verantwortlich für einen Großteil der Stromerzeugung aus regenerativen Energieträgern, gefolgt von der Biomassennutzung. Andere erneuerbare Energiequellen (Freiflächen-Photovoltaik, Wasserkraft sowie Klär- und Deponiegas) tragen bislang nur untergeordnet zum Stromertrag in der Planungsregion bei. Der Anteil des Stromverbrauchs, der in der Planungsregion Düsseldorf durch Quellen aus erneuerbaren Energien gedeckt wird, liegt derzeit bei rund 17 % (NRW: 29,5 %). Das größte Ausbaupotenzial zur Stromerzeugung durch erneuerbare Energien besteht in der Planungsregion im Bereich der Solarenergie (sowohl Dachflächen-PV als auch Freiflächen-PV) und der Windenergie.

Bei der Windenergie sind mit der 18. Änderung des Regionalplans Düsseldorf und der Festlegung von Windenergiebereichen die planungsrechtlichen Voraussetzungen zum weiteren Ausbau geschaffen worden. Darüber hinaus bestehende Flächenpotenziale können von Kommunen durch die zusätzliche Ausweisung von Flächen im Rahmen der Bauleitplanung genutzt werden (kommunale Positivplanung).

Der Raumwärmebedarf der Wohngebäude in der Planungsregion Düsseldorf wird derzeit größtenteils durch fossile Energieträger gedeckt. Der Anteil an erneuerbarer Wärme und Fernwärme liegt jeweils bei lediglich rund 5 Prozent. Potenziale für eine dezentrale, klimafreundliche Versorgung bestehen hier insbesondere im Bereich der Luft- und Geothermie-Wärmepumpen. Weiteres Ausbaupotenzial besteht bei den Wärmenetzen und der damit verbundenen zentralen Versorgung der Gebäude. Dadurch wird die Nutzung weiterer Wärmequellen, wie beispielsweise Abwärme von Industrie, Rechenzentren und künftig Elektrolyseuren, Abwasser, Müllverbrennung und Oberflächengewässern erst möglich.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Transformation der Energieversorgungssysteme eine vielschichtige und überfachliche Aufgabe ist. Die Regionalplanung spielt dabei eine wichtige Rolle bei der Umsetzung von erforderlichen Maßnahmen, u. a. beim Ausbau der erneuerbaren Energien. Für das Gelingen der Energiewende sind dabei grundsätzlich verschiedene Aspekte von besonderer Bedeutung:

- Erforderlich ist weiterhin ein deutlicher und kontinuierlicher Ausbau klimafreundlicher Energieerzeugungskapazitäten sowie von Energiespeichern und -versorgungsleitungen.
- Die Transformation der Energieversorgungssysteme sollte mit dem Ziel verfolgt werden, eine möglichst große energetische Effizienz bzw. Flächen-Effizienz zu erreichen. Das bedeutet z. B. für die Steuerung und Umsetzung des Ausbaus der erneuerbaren Energien, dass möglichst viel klimafreundliche Energieerzeugung bei möglichst geringer Flächeninanspruchnahme erreicht wird.
- Die Transformation der Energieversorgungssysteme sollte außerdem mit dem Ziel verfolgt werden, eine möglichst große finanzielle bzw. volkswirtschaftliche Effizienz zu erreichen. Dies betrifft insbesondere das Ziel, möglichst geringe Stromgestehungskosten

zu erreichen. Ansatzpunkte für die Regionalplanung ergeben sich hier beispielsweise bei der Planung von Flächen für erneuerbare Energien und der Berücksichtigung bestehender Netzkapazitäten (und damit verbunden möglichst geringen Netzausbaukosten).

- Gesellschaftliche Akzeptanz ist elementar für das Gelingen der Energiewende. Die Reduzierung von Konflikten und Kosten sowie die Berücksichtigung weiterer Raumnutzungsansprüche ist vor diesem Hintergrund eine bedeutende Herausforderung auf Ebene der regionalen Planung.

Manche der aufgeführten Aspekte, wie zum Beispiel die Berücksichtigung von möglichen Konflikten mit anderen Raumnutzungsansprüchen, sind grundlegender Bestandteil im Rahmen regionaler Planungsprozesse. Andere Gesichtspunkte, z. B. die Auswirkungen auf die Kosten der Energiewende, sollten aus klima-fachlicher Sicht aber ebenfalls verstärkt Berücksichtigung finden, beispielsweise im Zuge der Festlegung von Bereichen für Anlagen zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien.

3.3 Weitere Handlungsfelder Klimaschutz

Neben dem Ausbau der erneuerbaren Energien bestehen zahlreiche weitere Handlungsfelder beim Klimaschutz, die Anknüpfungspunkte zur regionalen Planung aufweisen. Da hier die verfügbaren Datengrundlagen oder Zuständigkeiten im LANUK sowie die Steuerungsmöglichkeiten auf der Ebene der Regionalplanung teilweise nur eingeschränkt vorliegen, werden diese für den Klimaschutz ebenfalls bedeutsamen Themenbereiche an dieser Stelle nur knapp skizziert.

Netze, Speicher

Der Ausbau klimafreundlicher Energieerzeugungskapazitäten und die voranschreitende Elektrifizierung in den Sektoren Mobilität und Wärmeversorgung machen auch zukünftig einen weiteren Ausbau der Energienetze erforderlich. Auch wenn hier maßgebliche Zuständigkeiten im Rahmen der Fachplanung bei den Netzbetreibern oder der Bundesnetzagentur liegen, ist die Berücksichtigung der Erfordernisse des Netzausbaus auch in Zukunft eine wichtige Aufgabe der Regionalplanung. Dies gilt z. B. im Rahmen von Raumverträglichkeitsprüfungen, Planfeststellungs- bzw. Genehmigungsverfahren und der Abstimmung der Trassenkorridorplanung mit anderen raumbedeutsamen Planungen (z. B. Siedlungsflächen, Windenergiebereiche).

In der Energie- und Wärmestrategie geht die Landesregierung davon aus, dass in NRW bis zum Jahr 2040 zwölf weitere Konverter für HGÜ-Leitungen (HGÜ = Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung) und Offshore-Netzanbindungen zu genehmigen sind. Der Flächenbedarf einzelner Anlagen liegt im Schnitt bei etwa 10 Hektar, die Standorte der Konverter müssen in räumlicher Nähe zu vorhandenen Umspannwerken des Übertragungsnetzes liegen (MWIKE 2024_A).

Mit dem weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien gewinnen zudem Energiespeicher für die Energie- und Wärmewende zunehmend an Bedeutung. Dies gilt sowohl für Stromspeicher als auch für Gas-, Wasserstoff- oder Wärmespeicher. Speicher weisen Verzahnungen mit den Ausbauerfordernissen und weiteren Handlungsfeldern der Energiewende auf, was auch bei der Standortplanung, z. B. von Großbatteriespeichern, zu berücksichtigen ist. Zu erwarten sind

große Speicherausbaubedarfe bereits Anfang bis Mitte des kommenden Jahrzehnts. Eine Beschleunigung des Infrastrukturausbaus ist daher erforderlich, Beschleunigungspotenziale sollen auch im Rahmen der Planung genutzt werden (MWIKE 2024_B).

Die Potenziale von Pumpspeicherkraftwerken hat das LANUK in der Potenzialstudie Pumpspeicherkraftwerke NRW 2016 untersucht. Für die Planungsregion Düsseldorf wurden jedoch keine Potenziale identifiziert.

Kohlenstoffsinken

Neben der Reduktion der Emissionen ist auch die Bindung von Treibhausgasen ein bedeutendes Handlungsfeld des Klimaschutzes. Die in der Atmosphäre vorkommenden Kohlenstoffverbindungen können in andere Medien überführt und dort (möglichst lange) gespeichert werden. Natürliche Kohlenstoffsinken sind vor allem Moore und sonstige Feuchtgebiete sowie Wälder, die in ihrer Vegetation und im Boden große Mengen Kohlenstoff speichern können.

Durch die nachhaltige, zirkuläre Nutzung von Holz kann die Senkenfunktion des Waldes deutlich erweitert werden. Im Rahmen des nachhaltigen Waldumbaus können bestehende Wälder sukzessiv an den Klimawandel angepasst und dadurch langfristig als Kohlenstoffspeicher erhalten werden. Ebenso können Maßnahmen zum Erhalt und zur Wiederherstellung von Mooren und Grünland, Feuchtgebieten und sonstigen kohlenstoffreichen Böden ergriffen werden. Die Wiedervernässung von Mooren ist dabei eine zentrale Maßnahme. Weiterhin kann durch eine extensive Landnutzung bzw. landwirtschaftliche Bewirtschaftung grundsätzlich mehr Kohlenstoff dauerhaft in Böden gespeichert werden. Extensive Landnutzungen, wie z. B. Dauergrünland, sollten daher geschützt werden (UBA 2024B).

Ökosysteme wie Moore und Wälder sind daher auch aus Gründen des Klimaschutzes von besonderer Bedeutung und sollten planerisch gesichert und entwickelt werden. Geeignete Instrumente hierfür sind Ziel- und Grundsatzformulierungen sowie die Ausweisung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten für Naturschutz und Landschaftspflege, Waldschutz oder Waldmehrung oder Sanierungsgebiete mit dem Schwerpunkt der Moorentwicklung (UBA 2012).

Über diese Grundzüge hinausgehende, konkrete Hinweise und planerische Anforderungen zum Themenkomplex Klimaschutz mit Bezug zu Natur- und Artenschutz sowie Landschaftspflege für den Planungsraum Düsseldorf werden im Fachbeitrag des Naturschutzes und der Landschaftspflege des LANUK nach § 8 Landesnaturschutzgesetz (LNatSchG NRW) dargestellt. Dieser wird durch Abteilung 2 des LANUK für in Aufstellung befindliche Regionalpläne erstellt.

Mobilität

Im Handlungsfeld Mobilität besteht auch in der Planungsregion Düsseldorf ein erhebliches Potenzial zur Reduktion von Treibhausgasemissionen: Etwa 15 % der gesamten THG-Emissionen im Planungsraum stammen aus dem Verkehrssektor (Tabelle 34). Der Ausbau der E-Mobilität einschließlich der benötigten Ladeinfrastruktur spielt eine zentrale Rolle bei der Reduktion der THG-Emissionen im Verkehrssektor, führt aber auch zu einem steigenden Bedarf klimafreundlicher Stromerzeugung.

Regionalplanerische Steuerungsmöglichkeiten zur Reduzierung verkehrsbedingter Treibhausgasemissionen bestehen im Rahmen der Siedlungsflächenentwicklung, z. B. durch die Umsetzung des Leitbildes „Region der kurzen Wege“ (zentrenorientierte Entwicklungskonzepte, Ausrichtung der Siedlungsentwicklung an den Trassen des schienenengebundenen Personalverkehrs) oder durch die Festlegung von Zielen und Grundsätzen zur Begrenzung der Siedlungsentwicklung oder zur Nachverdichtung (UBA 2012). Dies betrifft insbesondere Maßnahmen zur Verkehrsverlagerung (Bewältigung von Wegstrecken mit Verkehrsmitteln des Umweltverbundes wie Fuß- und Radverkehr, ÖPNV) und der Verkehrsvermeidung (Beeinflussung des Bedarfs nach Verkehr und Verkürzung der Wegstrecken) (UBA 2012).

Auch Maßnahmen zur Luftreinhaltung können einen Beitrag zum Klimaschutz leisten, z. B. durch Geschwindigkeitsbegrenzungen oder die Errichtung von Umweltzonen. Luftreinhaltepläne werden gemäß § 47 Bundesimmissionsschutzgesetz von den Städten und Gemeinden bei Bedarf aufgestellt und beinhalten Maßnahmen zur Verminderung von Luftverunreinigungen.

Landwirtschaft

Die Landwirtschaft, die in Teilen der Region traditionell eine große Bedeutung hat, ist einerseits deutlich von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen, weshalb in diesem Bereich auch Anpassungsmaßnahmen von großer Bedeutung sind (Kapitel 4.4), andererseits trägt die Landwirtschaft durch Treibhausgasemissionen auch zum Klimawandel bei. Etwa 2,5 % der Treibhausgasemissionen im Planungsraum stammen aus diesem Sektor (Tabelle 34).

Zu den im Sektor Landwirtschaft verursachten Treibhausgasemissionen gehören 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 landwirtschaftlichen Nutzung entwässerter Moorböden wird Kohlenstoffdioxid freigesetzt. Zudem wird in der Landwirtschaft natürlich auch Energie verbraucht, z. B. für Beleuchtungs-, Lüftungs- und Fütterungssysteme (BMEL 2025).

Die in der Landwirtschaft anfallenden Treibhausgasemissionen lassen sich nicht vollständig vermeiden. Eine Reduzierung kann jedoch z. B. durch eine effiziente Düngung, die Nutzung von Mist und Gülle in Biogasanlagen oder eine verbesserte Fütterung, Tiergesundheit und Tierleistung erreicht werden.

4 Klimaanpassung in der Planungsregion Düsseldorf

Die Veränderungen des Klimas in der Planungsregion Düsseldorf sind bereits deutlich messbar (Kapitel 2). Zukünftig ist im Planungsraum insbesondere mit weiterhin steigenden Temperaturen und sommerlicher Hitzebelastung zu rechnen. Es ist zudem davon auszugehen, dass aufgrund der Veränderung der saisonalen Niederschläge, vermehrter Extremwetterereignisse sowie stationärer Wetterlagen sowohl Überflutungen als auch Dürreperioden häufiger auftreten werden. Daher ist es unabhängig von Maßnahmen zum Klimaschutz dringend geboten, sich an die bereits eingetretenen und nicht mehr vermeidbaren zukünftigen Klimaveränderungen anzupassen, um Schäden für die Gesellschaft und die Natur zu verhindern bzw. so gering wie möglich zu halten. In vielen Handlungsfeldern sind dabei langfristige Strategien und überörtliche Planungsansätze erforderlich, um zukünftigen Risiken rechtzeitig begegnen zu können.

In diesem Kapitel werden die Folgen des Klimawandels und insbesondere Maßnahmen zur Anpassung an diese in der Planungsregion Düsseldorf beschrieben. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der thermischen Belastung der Bevölkerung und dem Kaltlufthaushalt. Hierzu werden in Kapitel 4.1 zunächst fachliche Grundlagen und Hintergründe beschrieben. Landesweite Daten, Bewertungen und Hinweise in diesem Bereich liefert die im Jahr 2026 vom LANUK veröffentlichte Klimaanalyse NRW (Kapitel 4.2). Im Rahmen der Klimaanalyse wurden auch regional bedeutsame Klimafunktionen identifiziert, um Informationen zu besonders bedeutsamen und überörtlich wirksamen klima-ökologischen Strukturen für die regionale Planung aufzubereiten (Kapitel 4.3). Abschließend werden die Folgen des Klimawandels und erforderliche Anpassungsmaßnahmen für weitere zentrale Handlungsfelder wie die Wasserwirtschaft, Naturschutz und Landschaftspflege oder die Landwirtschaft zusammengefasst (Kapitel 4.4).

4.1 Hitzebelastung und Kaltlufthaushalt

Nordrhein-Westfalen ist mit mehr als 18 Millionen Einwohnern das bevölkerungsreichste und am dichtesten besiedelte Flächen-Bundesland Deutschlands. Über acht Millionen Menschen leben hier in Städten mit mehr als 100.000 Einwohnern. In der Planungsregion Düsseldorf zählen hierzu die Landeshauptstadt Düsseldorf (618.685 Einwohner) sowie die Städte Wuppertal (358.193), Mönchengladbach (267.213), Krefeld (231.406), Solingen (165.626) Neuss (154.317) und Remscheid (113.828) (Quelle: IT.NRW, Stand der Daten: 31.12.2024). Darüber hinaus weisen weitere Städte im vergleichsweise dicht besiedelten Planungsraum urbane Siedlungsstrukturen auf.

Die lokalen klimatischen Verhältnisse sind in besonderem Maße abhängig von den jeweiligen Gelände- und Siedlungsstrukturen sowie der Flächennutzung. Daher kann es kleinräumig zu durchaus großen Unterschieden bei den klimatischen Verhältnissen kommen. Diese Unterschiede treten insbesondere während sommerlicher Hitzeperioden auf: Über vegetationsgeprägten Freiflächen sorgt Verschattung und Verdunstung von Wasser durch Pflanzen dafür, dass sich die Luft tagsüber nicht so stark aufheizt und nachts schneller wieder abkühlt. In dicht bebauten und stark versiegelten Siedlungszentren sind die Temperaturen hingegen deutlich höher. Aufgrund des verringerten Luftaustausches, der Wärmespeicherung von Gebäuden und Straßen oder der Freisetzung von Wärme durch Industrie und Verkehr, bildet sich hier insbesondere nachts ein deutlicher Temperaturunterschied zum Umland von bis zu 10 Grad

aus, was als Wärmeinseleffekt bezeichnet wird. Gerade in dicht besiedelten Bereichen wie der Planungsregion Düsseldorf ist es daher zur Anpassung an den Klimawandel wichtig, Maßnahmen zur Vorsorge gegen eine übermäßige Hitzebelastung der Bevölkerung zu ergreifen.

Besonders hohe Temperaturen sind eine Belastung für die Gesundheit und das Wohlbefinden. Gerade ältere oder vorerkrankte Menschen sowie Kleinkinder leiden häufig unter diesen Bedingungen. 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 (DWD 2018). Durch Hitzebelastung kann die Gesundheit beeinträchtigt werden und sich die Lebensqualität erheblich vermindern. Mögliche Folgen sind Kreislaufprobleme, Herzrhythmusstörungen 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 klimatisch günstigere Bereiche ausweichen.

Positiv beeinflusst wird das lokale Klima durch Grün- bzw. Freiflächen, die für überwärmte Siedlungsbereiche eine Ausgleichsfunktion haben 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 dann Schichten kühlerer Luft. Sofern die Bebauung und die Geländestrukturen es ermöglichen, kann diese Kaltluft bestehende Hitzebelastungen im Siedlungsraum verringern. Als Kaltluftleitbahnen werden dabei Freiflächen bezeichnet, die den lokalen Luftaustausch fördern, indem sie den Abfluss kühlerer Luftmassen in überwärmte städtische Bereiche ermöglichen.

Durch den voranschreitenden Klimawandel ist zu erwarten, dass Hitzeperioden in Nordrhein-Westfalen zukünftig häufiger auftreten, länger andauern und auch mit höheren Maximaltemperaturen einhergehen werden. Die Berücksichtigung der thermischen Situation sowie der Auswirkungen von Bau- und Planungsmaßnahmen auf diese gewinnt damit zukünftig an Bedeutung. Erforderlich sind in diesem Zusammenhang räumlich möglichst konkrete klimafachliche Untersuchungen und Hinweise zur Anpassung an die veränderten klimatischen Bedingungen.

Zur Vorsorge gegen Hitzebelastungen bestehen verschiedene Handlungsansätze, wie zum Beispiel die Sicherung und Entwicklung von Grün- und Wasserflächen oder Bepflanzungen von Gebäuden und Dachflächen. Diese Ansätze obliegen häufig der kommunalen Stadt- und Freiraumplanung. Aber auch auf der Ebene der regionalen Planung bestehen Steuerungserfordernisse und -möglichkeiten.

Die im Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) aufgeführten Schutzgüter Luft und Klima stellen im Rahmen der Abwägungsprozesse bei der räumlichen Planung einen wichtigen Belang dar. Neben fachrechtlichen Vorgaben (u. a. Klimaanpassungsgesetze des Bundes und des Landes NRW) bestehen auch klare raumordnungsrechtliche Vorgaben zur

Berücksichtigung klima-ökologischer Belange in der Regionalplanung. In den in § 2 ROG aufgeführten Grundsätzen der Raumordnung ist u. a. formuliert, dass der Raum in seiner Bedeutung für die Funktionsfähigkeit des Klimas zu entwickeln, zu sichern und ggf. wiederherzustellen ist. Den räumlichen Erfordernissen des Klimaschutzes ist Rechnung zu tragen, u. a. durch Maßnahmen, die der Anpassung an den Klimawandel dienen. Nach § 12 Landesplanungsgesetz NRW sind in den Raumordnungsplänen die räumlichen Erfordernisse der Anpassung an den Klimawandel als Ziele und Grundsätze der Raumordnung festzulegen. Im LEP legt Grundsatz 4-2 fest, dass bei der Entwicklung des Raumes vorsorgend die zu erwartenden Klimaänderungen und deren Auswirkungen berücksichtigt werden sollen. Hierzu soll u. a. die Milderung von Hitzefolgen in Siedlungsbereichen durch Erhaltung von Kaltluftbahnen sowie innerstädtischen Grünflächen, Wäldern und Wasserflächen beitragen. Die sachgerechte Berücksichtigung klima-ökologischer Erfordernisse ist daher im Rahmen der Regionalplanung als dringend erforderlich anzusehen.

4.2 Klimaanalyse NRW

In einer Klimaanalyse werden lokalklimatische Strukturen und Zusammenhänge untersucht, bewertet, in Kartenform dargestellt und so für die Planung nutzbar gemacht. Dadurch können sowohl Siedlungsbereiche mit besonders großen Hitzebelastungen als auch potenzielle Ausgleichsflächen im Freiraum identifiziert und beurteilt werden. Dies ermöglicht eine fundierte Beurteilung klima-ökologischer Zusammenhänge und ist somit eine wichtige Grundlage für die Steuerung und Entwicklung des Siedlungsraums und des Freiraums in der Stadt- und Regionalplanung.

Die landesweite Klimaanalyse NRW 2026 des LANUK wurde in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 3787, Blatt 1 (VDI 2015) durchgeführt. Sie stellt sowohl eine Aktualisierung als auch eine grundlegende Weiterentwicklung der vom LANUK im Jahr 2018 veröffentlichten Klimaanalyse dar. Im Rahmen der Untersuchung wurde die räumliche Ausprägung des Luftaustausches sowie der thermisch belasteten Gebiete betrachtet und die Ausgleichs- und Wirkräume zueinander in Beziehung gesetzt. Aus den Ergebnissen werden Empfehlungen für die Planung zur Verbesserung oder zum Erhalt der Situation abgeleitet.

Die Klimaanalyse NRW 2026 umfasst folgende Kartenwerke:

- die **Klimatopkarte**, bei der Flächen landesweit nach ihren klima-ökologischen Gegebenheiten bewertet werden,
- **Klimaanalysekarten** zur Darstellung der thermischen Belastungen am Tag und in der Nacht sowie von Kaltluftentstehung und Kaltluftströmungen in der Nachtsituation,
- die **Planungshinweiskarte** als Zusammenführung der Analyseergebnisse mit Handlungshinweisen für Kommunen,
- die **Karte regional bedeutsamer Klimafunktionen**, bei der u. a. überörtlich bedeutsame Kaltluftsysteme und thermisch besonders belastete Gemeinden dargestellt sind, sowie
- Karten zur **Betroffenheit** besonders vulnerabler Bevölkerungsgruppen.

Alle Ergebnisse und Karten der Klimaanalyse NRW 2026 stehen Stadtverwaltungen, Fach- und Planungsbehörden, aber auch allen Bürgerinnen und Bürgern im Klimaatlas NRW zur Verfügung.

4.2.1 Methodik der Klimaanalyse NRW

Die Identifikation regional bedeutsamer Klimafunktionen baut auf den verschiedenen Arbeitsschritten und Produkten der landesweiten Klimaanalyse NRW 2026 auf. Daher wird im Folgenden zunächst das Vorgehen bei diesen grundlegenden Arbeitsschritten skizziert, sofern dies für die Ableitung regional bedeutsamer Klimafunktionen relevant ist. Die Methodik der Modellierung und die Erstellung der verschiedenen Karten der Klimaanalyse NRW ist jeweils in separaten Methodik-Papieren, die im Klimaatlas NRW veröffentlicht sind, ausführlich dokumentiert.

Modellierung

Die Modellrechnungen für die Klimaanalyse NRW 2026 wurden mit dem etablierten mesoskaligen Stadtklimamodell FITNAH-3D durchgeführt. Die Grundgleichungen von FITNAH-3D sind in der Literatur beschrieben (GROSS 1989, GROSS 1992). FITNAH-3D erfüllt die in der VDI-Richtlinie 3787, Bl.7 (2024) definierten Standards für mesoskalige Windfeldmodelle im Zusammenhang mit dynamisch und thermisch bedingten Strömungsfeldern.

Für die meteorologischen Randbedingungen wurden folgende Annahmen getroffen:

- Bedeckungsgrad: 0/8
- kein überlagernder geostrophischer Wind
- relative Feuchte der Luftmasse: 50 %
- Simulationstag: 21.Juni

Dies bildet die Grundlage, um für Strahlungswetterlagen (autochthone Wetterlagen) typische Verhältnisse abzubilden. Während solcher Strahlungswetterlagen spielt neben der Geländestruktur die Flächennutzung eine maßgebliche Rolle für die thermische Belastung und mögliche ausgleichende Kaltluftsysteme. Modelliert wurde ein Tagesgang mit Start um 21:00 Uhr bis um 14:00 Uhr des Folgetages.

Szenarien

In der Klimaanalyse NRW 2026 wurden zwei Szenarien betrachtet: Zum einen ein „typische Sommertag“, zum anderen ein „extreme Sommertag“. Zur Ableitung der beiden Szenarien wurden die Daten der Messstation Düsseldorf (Flughafen) des Deutschen Wetterdienstes verwendet, u. a. da dort alle erforderlichen Parameter zur Ableitung von Strahlungswetterlagen vorliegen. Für den „typischen Sommertag“ wurde der Mittelwert aller autochthonen Nächte an der Messstation im Zeitraum 1993 – 2022 betrachtet. Dieser ergab für 21 Uhr (Startzeitpunkt der Modellierung) einen Wert von 20,4 °C. Für den „extremen Sommertag“ wurde der gemessene Wert für das 95. Perzentil aller autochthoner Nächte herausgegriffen, hier liegt der Temperaturwert bei 24,6 °C. Die Werte wurden hinsichtlich der Höhe korrigiert, da die Initialisierung des Modells am Nullpunkt erfolgt. Die Station Düsseldorf Flughafen liegt auf 37 m Höhe. Somit sind die Startwerte des Modells um 21 Uhr für den „typischen Sommertag“ 20,6 °C und für den „extremen Sommertag“ 24,8 °C.

Klimaanalysekarte Nacht

Die Klimaanalysekarte Nacht basiert maßgeblich auf den Modelausgabegrößen der landesweiten Klimasimulation. Für beide Szenarien wird der Zeitpunkt 4 Uhr betrachtet. Dabei wird für die Nachtsituation eine Unterscheidung zwischen Wirkraum und Ausgleichsraum vorgenommen: Der Wirkraum wird durch die nächtliche Lufttemperatur abgebildet, da nachts keine Sonneneinstrahlung vorliegt, welche den größten Einflussfaktor auf die thermische Belastung am Tag darstellt. Für den Ausgleichsraum beinhaltet die Karte Daten zur Kaltluftvolumenstromdichte, zur Kaltluftproduktionsrate sowie zum Kaltluftprozessgeschehen. Sowohl die nächtlichen Lufttemperaturen im Wirkraum als auch die Kaltluftprozesse im Freiraum aus der Klimaanalysekarte Nacht stellen eine Grundlage für die Ableitung regional bedeutsamer Klimafunktionen dar (Wärmebelastung in der Nacht, regionale Kaltluftsysteme und Kaltluftentstehungsgebiete, Kapitel 4.2.2).

Für die Ausgleichsfunktion von Grünflächen im Freiraum ist das Kaltluftproduktionspotenzial entscheidend. Bei Kaltluft handelt es sich allgemein um eine Luftmasse, die im Vergleich zu ihrer Umgebung bzw. zur Obergrenze der entsprechenden Bodeninversion eine geringere Temperatur aufweist, und die sich als Ergebnis des nächtlichen Abkühlungsprozesses der bodennahen Atmosphäre ergibt. Die Abkühlung der bodennahen Luft ist umso stärker, je geringer die Wärmekapazität des Untergrundes ist, und über Wiesen, Acker- und Brachflächen am höchsten. Zu den aus der Simulation mit dem Modell FITNAH-3D abgeleiteten Ausgabegrößen zum Kaltlufthaushalt zählt der Kaltluftvolumenstrom bzw. die Kaltluftvolumenstromdichte und die Kaltluftproduktionsrate.

Bei der Kaltluftproduktionsrate (Einheit: $\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$) handelt es sich um das Luftvolumen (in m^3), das sich pro Flächeneinheit (in m^2) und pro Zeiteinheit (in h) um einen bestimmten Faktor abkühlt. Die Kaltluftproduktionsrate ist abhängig von der Landnutzung sowie dem Relief. Dabei gilt, dass im ebenen Gelände weniger Kaltluft produziert wird als an Hängen. In der Literatur sind Werte zwischen 10 und 42 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$ für Freilandflächen (z. B. Grünland, Ackerflächen) sowie zwischen 2 und 25 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$ für Wälder veröffentlicht (z. B. GROSS (1987), LOHMEYER & SCHÄDLER (1998), SIEVERS (2005)). In verdichteten urbanen Bereichen wird sehr wenig Kaltluft produziert. Die Kaltluftproduktionsrate beinhaltet noch keine Information zur Fließdynamik der Kaltluft.

Diese Lücke schließt der Kaltluftvolumenstrom (Einheit: m^3/s), der das Produkt der Fließgeschwindigkeit der Kaltluft, ihrer vertikalen Ausdehnung (Schichthöhe) und der horizontalen Ausdehnung des durchflossenen Querschnitts (Durchflussbreite) darstellt. Der Kaltluftvolumenstrom beschreibt somit diejenige Menge an Kaltluft, die in jeder Sekunde durch den Querschnitt beispielsweise eines Hanges oder einer Kaltluftleitbahn fließt. Gemäß VDI 3787, BI.5 (2003; Entwurf 2024) ist er maßgeblich für die Beurteilung von planerischen Auswirkungen auf die Kaltluftprozesse. Der in der Klimaanalyse NRW 2026 modellierte Kaltluftvolumenstrom bezieht sich auf einen 1 m breiten Querschnitt und repräsentiert damit eine Kaltluftvolumenstromdichte (Einheit: $\text{m}^3/(\text{m}\cdot\text{s})$).

Klimaanalysekarte Tag

Die Klimaanalysekarte Tag basiert maßgeblich auf den Modelausgabegrößen der landesweiten Klimasimulation mit dem Modell FINAH-3D. Für die Tagsituation wird sowohl für den Ausgleichsraum als auch für den Wirkraum die thermische Belastung anhand des Parameters physiologisch-äquivalente Temperatur (PET, englisch: Physiological Equivalent Temperature) dargestellt. Die PET ist ein thermischer Index, bei dem die thermische Belastung anhand verschiedener Parameter berechnet wird, die auf das thermische Wohlbefinden einwirkenden, z. B. Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit, Strahlung und Feuchte. Die PET wird auf Basis verschiedener Ausgabegrößen aus dem Modell FITNAH-3D für den Zeitpunkt 14 Uhr berechnet und anhand der VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 klassifiziert. Tabelle 42 zeigt die Bewertungsklassen der PET.

Tabelle 42: Bewertungsklassen der PET nach VDI 3787, Blatt 2 (VDI 2022)

PET in °C	Thermisches Empfinden	Physiologische Belastungsstufe
≤ 4 °C	sehr kalt	extremer Kältestress
> 4-8 °C	kalt	starker Kältestress
> 8-13 °C	kühl	moderater Kältestress
> 13-18 °C	leicht kühl	leichter Kältestress
> 18-23 °C	komfortabel (neutral)	kein thermischer Stress
> 23-29 °C	leicht warm	leichte Wärmebelastung
> 29-35 °C	warm	moderate Wärmebelastung
> 35-41 °C	heiß	starke Wärmebelastung / Hitzestress
> 41 °C	sehr heiß	extrem starke Wärmebelastung / Hitzestress

Die thermische Belastung am Tag ist sowohl für Wirkraum als auch für den Ausgleichsraum eine Grundlage für die Ableitung der regional bedeutsamen Klimafunktionen (regional bedeutsame Wärmebelastung und regional bedeutsame Ausgleichsräume am Tag, Kapitel 4.2.2).

Planungshinweiskarte

Während die Klimaanalysekarten Tag und Nacht maßgeblich auf den Modelausgabegrößen der landesweiten Klimasimulation basieren, umfasst die Planungshinweiskarte auch gutachterliche Bewertungen und Empfehlungen, die sich vor allem an die kommunale Planung richten. Nach der VDI Richtlinie 3787, Blatt 1 handelt es sich bei einer Planungshinweiskarte um eine „informelle Hinweiskarte, die eine integrierende Bewertung der in der Klimaanalysekarte dargestellten Sachverhalte im Hinblick auf planungsrelevante Belange enthält“ (VDI 2015). Kerngegenstand der Planungshinweiskarte ist die klima-ökologische Bewertung von Flächen im Hinblick auf die menschliche Gesundheit bzw. auf gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse. Grundlage für die Planungshinweiskarte sind die Ergebnisse der landesweiten Klimamodellierung bzw. der Klimaanalysekarten für die Nachtsituation. Analog zur Klimaanalysekarte Nacht wird in der Planungshinweiskarte eine Unterscheidung in Wirk- und Ausgleichsraum vorgenommen.

In der Planungshinweiskarte der Klimaaanalyse NRW wird der Wirkraum in sechs Kategorien, sogenannte „Handlungsprioritäten“, unterteilt. Die Kategorisierung basiert auf der kombinierten Bewertung der nächtlichen Überwärmung für die beiden Szenarien „typischer Sommertag“ und „extremer Sommertag“. Dazu wird auf die Gesamtdaten des Wirkraums eine z-Transformation zur statistischen Normalisierung angewandt, anschließend werden die Werte in fünf Bewertungsklassen von sehr günstig bis sehr ungünstig eingeteilt. Mithilfe der in Tabelle 43 dargestellten Matrix werden die so gebildeten Klassen in die kombinierte Bewertung der beiden Szenarien und die Ableitung der sechs Handlungsprioritäten im Wirkraum überführt.

Tabelle 43: Verknüpfung der z-transformierten Bewertung der nächtlichen Überwärmung zur Kategorisierung des Wirkraumes in der Planungshinweiskarte

		Bioklimatische Situation Nacht - extremer Sommertag				
		1 sehr günstig	2 günstig	3 mittel	4 ungünstig	5 sehr ungünstig
Bioklimatische Situation Nacht - typischer Sommertag	1 sehr günstig	HP 6	HP 6	HP 5	HP 4	
	2 günstig			HP 5	HP 3	HP 2
	3 mittel				HP 3	HP 2
	4 ungünstig					HP 1
	5 sehr ungünstig					HP 1

Zusätzlich zur Kategorisierung werden auch textliche Planungshinweise gegeben. Diese sind als Empfehlungen für die entsprechenden Gebiete zu verstehen. Sie stammen im Wesentlichen aus der VDI-Richtlinie 3787, Blatt 1 (VDI 2015), wurden jedoch leicht durch Kürzungen und Umformulierungen angepasst. Die Hinweise für Bereiche mit der Handlungspriorität 1 und 2 („dringender Handlungsbedarf“) lauten:

„Diese Gebiete sind unter stadtklimatischen Gesichtspunkten sanierungsbedürftig. Als Aufwertungs- und Sanierungsmaßnahmen kommen insbesondere die Erhöhung des Vegetationsanteils durch die Schaffung neuer Grünflächen, das Anpflanzen Schatten fördernder Straßenbäume oder Dach- und Fassadenbegrünungen, die Schaffung von Wasserelementen oder -flächen, die Verringerung des Versiegelungsgrads und die Erhöhung der Albedo infrage. Zudem wird eine Schaffung oder Erweiterung von möglichst begrünten Durchlüftungsbahnen dringend empfohlen. Dies kann auch mit dem Rückbau besonders nachteilig wirkender Bauwerke verbunden sein. Bei allen Planungen innerhalb dieser Flächenausweisungen sind klimatische Gutachten notwendig.“

Die Bewertung des Wirkraums in der Planungshinweiskarte stellt eine Grundlage für die Identifikation regionaler Klimafunktionen dar (Wärmebelastung in der Nacht, Kapitel 4.2.2).

Bevölkerungsstatistiken (Zensus 2022)

Im Rahmen der Klimaanalyse NRW 2026 wurden an verschiedenen Stellen klimatische Funktionen mit Bevölkerungsdaten räumlich verknüpft, u. a. bei der Ableitung regional bedeutsamer Klimafunktionen. So wurde beispielsweise zur Abgrenzung von Gemeinden mit regional bedeutsamer Wärmebelastung in der Nacht für alle Flächen im Wirkraum der Planungshinweiskarte die Anzahl der Menschen ermittelt, die in Bereichen mit „dringendem Handlungsbedarf“ wohnen.

Die Grundlage hierfür sind Bevölkerungsdaten aus dem Zensus 2022 in einem räumlich vergleichsweise hoch aufgelösten 100 m × 100 m-Raster. Die Rasterdaten des Zensus wurden im Geoinformationssystem (GIS) mit den Ergebnissen der Klimamodellierung verschnitten und so z. B. für jedes Polygon im Wirkraum die Anzahl der dort lebenden Personen ermittelt. Dabei wurden die Werte aus den Raster-Zellen der Zensus-Daten je nach Flächenabdeckung des Polygons anteilig berechnet und mit der Gesamteinwohnerzahl dieser Zelle multipliziert. Somit konnte jedem Polygon ein realistischer Bevölkerungswert zugeordnet werden. Im Ergebnis wurde so z. B. die Personenanzahl in den einzelnen Handlungsprioritäts-Klassen der Planungshinweiskarte ermittelt und dann anschließend für einzelne Gemeinden oder ganz NRW aufsummiert.

Zur Berechnung des Anteils der betroffenen Bevölkerung an der Gesamtbevölkerung einer Gemeinde wurden als Grundlage für die Gesamteinwohnerzahlen der Gemeinden ebenfalls die Regionaltabellen des Zensus 2022 verwendet. Auch wenn mittlerweile aktuellere Daten aus den Jahren 2023 – 2025 vorliegen, wurde aus Gründen der Konsistenz mit den verwendeten Rasterdaten die Bevölkerungszahl zum Stichtag 15. Mai 2022 genutzt.

4.2.2 Identifikation regional bedeutsamer Klimafunktionen

Kennzeichnend für die Regionalplanung ist, dass sie überörtlich bzw. regional bedeutsame Festlegungen trifft. Auch klima-ökologische Prozesse und Zusammenhänge können in ihrer räumlichen und funktionalen Ausprägung eine regionale Bedeutsamkeit aufweisen. Die Berücksichtigung besonders bedeutsamer Klimafunktionen (bzw. -funktionsstörungen) kann somit über den Bereich der kommunalen Ebene hinausgehen und eine regionalplanerische Steuerung erforderlich machen. Ein Beispiel hierfür sind Kaltluftleitbahnen, die eine große Bedeutung für die Belüftung von Siedlungsbereichen einer Gemeinde haben, deren Entstehungsgebiete oder Transportstrecken jedoch außerhalb der betroffenen Gemeinde liegen.

Ziel der Karte regional bedeutsamer Klimafunktionen ist es, überörtliche Klimafunktionen zu identifizieren und sie gegenüber lokal wirksamen Strukturen abzugrenzen. Dabei ist die große Menge an Detailinformationen aus der Modellierung und den Karten der Klimaanalyse NRW zu komprimieren, um funktional und / oder räumlich besonders bedeutsame Strukturen zu identifizieren und die Informationen für die Ebene der regionalen Planung nutzbar zu machen.

Zur Unterscheidung von lokalen und regional bedeutsamen Klimafunktionen existieren bislang keine verbindlichen Kriterien oder Grenzwerte. Der Ansatz zur Identifizierung von regionalen klima-ökologischen Strukturen und die dafür entwickelten Kriterien basieren daher vor allem auf gutachterlichen Bewertungen sowie dem Abstimmungsprozess mit Fachexpertinnen und -experten in der projektbegleitenden Arbeitsgruppe zur Klimaanalyse NRW 2026.

Die Karte regional bedeutsamer Klimafunktionen umfasst folgende Inhalte:

- Gemeinden mit regional bedeutsamer Wärmebelastung in der Nacht
- Gemeinden mit regional bedeutsamer Wärmebelastung am Tag
- Kaltluftversorgung von Gemeinden mit regional bedeutsamer Wärmebelastung in der Nacht
- Regionale Kaltluftsysteme mit den dazugehörigen Einzugsgebieten und Kaltluftentstehungsgebieten
- Regional bedeutsame Ausgleichsräume am Tag

Im Folgenden wird die Methodik zur Bestimmung der regional bedeutsamen Klimafunktionen im Rahmen der Klimaanalyse NRW 2026 beschrieben.

Gemeinden mit regional bedeutsamer Wärmebelastung in der Nacht

Für die Abgrenzung von Gemeinden mit einer regional bedeutsamen Wärmebelastung in der Nacht muss einerseits eine besonders hohe thermische Belastung im Gemeindegebiet vorliegen, zum anderen wird die Anzahl der hiervon betroffenen Personen in der jeweiligen Gemeinde als Kriterium berücksichtigt.

Eine besonders hohe thermische Belastung liegt dann vor, wenn Siedlungsflächen einer Gemeinde in der Planungshinweiskarte dem „dringenden Handlungsbedarf“ (HP1 + HP2) zugeordnet sind. Eine hohe Betroffenheit der Bevölkerung besteht, wenn besonders viele Menschen in diesen Bereichen mit „dringendem Handlungsbedarf“ wohnen. Als Grenzwert wird eine Anzahl von mindestens 25.000 Personen in einer Gemeinde angesetzt. Ermittelt wurde die Anzahl der betroffenen Menschen durch eine Verschneidung der Siedlungsflächen im „dringenden Handlungsbedarf“ mit den Bevölkerungsdaten des Zensus 2022 (Kapitel 4.2.1, Abschnitt Bevölkerungsstatistiken).

Tabelle 44: Regional bedeutsame Wärmebelastung in der Nacht - Bewertung der regionalplanerischen Handlungspriorität

		Anteil der Personen im „dringenden Handlungsbedarf“ an der Gesamtbevölkerung der Gemeinde				
		< 50%	50% - 60%	60% - 70%	70% - 80%	80% - 90%
Anzahl der Personen in der Gemeinde, die in Bereichen mit „dringendem Handlungsbedarf“ lebt	> 25T bis 30T					
	> 30T bis 50T					
	> 50T bis 75T					
	> 75T bis 100T					
	> 100T bis 250T					
	> 250T bis 500T					
	> 500T					

(rot = höchste Priorität, orange = sehr hohe Priorität, dunkelgelb = hohe Priorität, hellgelb = moderate Priorität)

Die Gemeinden mit regional bedeutsamer Wärmebelastung in der Nacht werden zudem hinsichtlich der regionalplanerischen Handlungspriorität bewertet. Dabei wird neben der absoluten Anzahl der betroffenen Personen auch deren Anteil an der Gesamtbevölkerung der Gemeinde berücksichtigt. Die so ermittelte Betroffenheit der Bevölkerung in den Gemeinden ermöglicht eine Differenzierung der regionalplanerischen Handlungspriorität in die vier Klassen „höchste Priorität“, „sehr hohe Priorität“, „hohe Priorität“ und „moderate Priorität“. In Tabelle 44 ist die hierfür genutzte Bewertungsmatrix dargestellt.

Gemeinden mit regional bedeutsamer Wärmebelastung am Tag

Wie bei der Nachtsituation erfolgt auch die Abgrenzung von Gemeinden mit einer regional bedeutsamen Wärmebelastung am Tag über eine besonders hohe thermische Belastung sowie eine hohe Betroffenheit der Bevölkerung in der jeweiligen Gemeinde.

Grundlage für die Bewertung der thermischen Belastung ist die Klimaanalysekarte Tag. Betrachtet werden alle Siedlungsflächen einer Gemeinde, die am „typischen Sommertag“ mindestens eine „starke Wärmebelastung“ zeigen ($PET > 35\text{ °C}$) und zudem am „extremen Sommertag“ eine „extrem starke Wärmebelastung“ ($PET > 41\text{ °C}$) aufweisen. Eine hohe Betroffenheit der Bevölkerung liegt in einer Gemeinde dann vor, wenn mindestens 25.000 Menschen in diesen Bereichen wohnen. Für die Ermittlung der betroffenen Personen in den Gemeinden wurden die entsprechenden Siedlungsflächen aus der Klimaanalyse Tag mit den Bevölkerungsdaten des Zensus 2022 verschnitten (Kapitel 4.2.1, Abschnitt Bevölkerungsstatistiken).

Regionale Kaltluftsysteme

Für die Identifizierung regionaler Kaltluftsysteme wurden nächtliche Kaltluftprozesse mit Hilfe von Trajektorien modelliert. Eine Trajektorie ist hier definiert als Bahnkurve eines sich bewegendes „Luftpartikels“ oder „Luftpaketes“. Die Trajektorie verbindet alle von diesem Luftpaket in einem gewissen Zeitraum überströmten Orte. Durch die Berechnung sogenannter Vorwärtstrajektorien lässt sich – ausgehend von ihrem Ursprungsort – das Ziel einzelner Luftpakete bestimmen.

Die analysierten Vorwärtstrajektorien geben an, wohin sich ein Luftpaket bewegt. Sie zeichnen den Weg der sich im Laufe der Nacht dynamisch verändernden Horizontalströmung in 20 m über Grund nach, weshalb Gebäude nur einen geringen Einfluss auf die Modellierung der Trajektorien haben. Die Bewegung der einzelnen Luftpakete wurde zwischen Sonnenuntergang (ca. 22 Uhr) und Sonnenaufgang (ca. 5 Uhr) für sieben Stunden verfolgt und als Track aufgezeichnet. Die Startpunkte der Trajektorien wurden innerhalb des Ausgleichsraumes im Abstand von 600 m gesetzt und bis Sonnenaufgang in dem modellierten Windfeld mit einer räumlichen Auflösung von 25 m x 25 m nachverfolgt. Das Windfeld ergibt sich aus der Modellierung des Kaltluftprozessgeschehens in der Nacht und ist daher größtenteils abhängig von der Orographie und der Flächennutzung bzw. den sich daraus ergebenden Temperaturunterschieden. Im Ergebnis wurden linienhafte Zugbahnen der Trajektorien mit einer spezifischen Länge identifiziert und damit regionale Kaltluftsysteme abgegrenzt. Die einzelnen Arbeitsschritte hierzu werden in Abbildung 40 dargestellt und im Folgenden näher beschrieben.

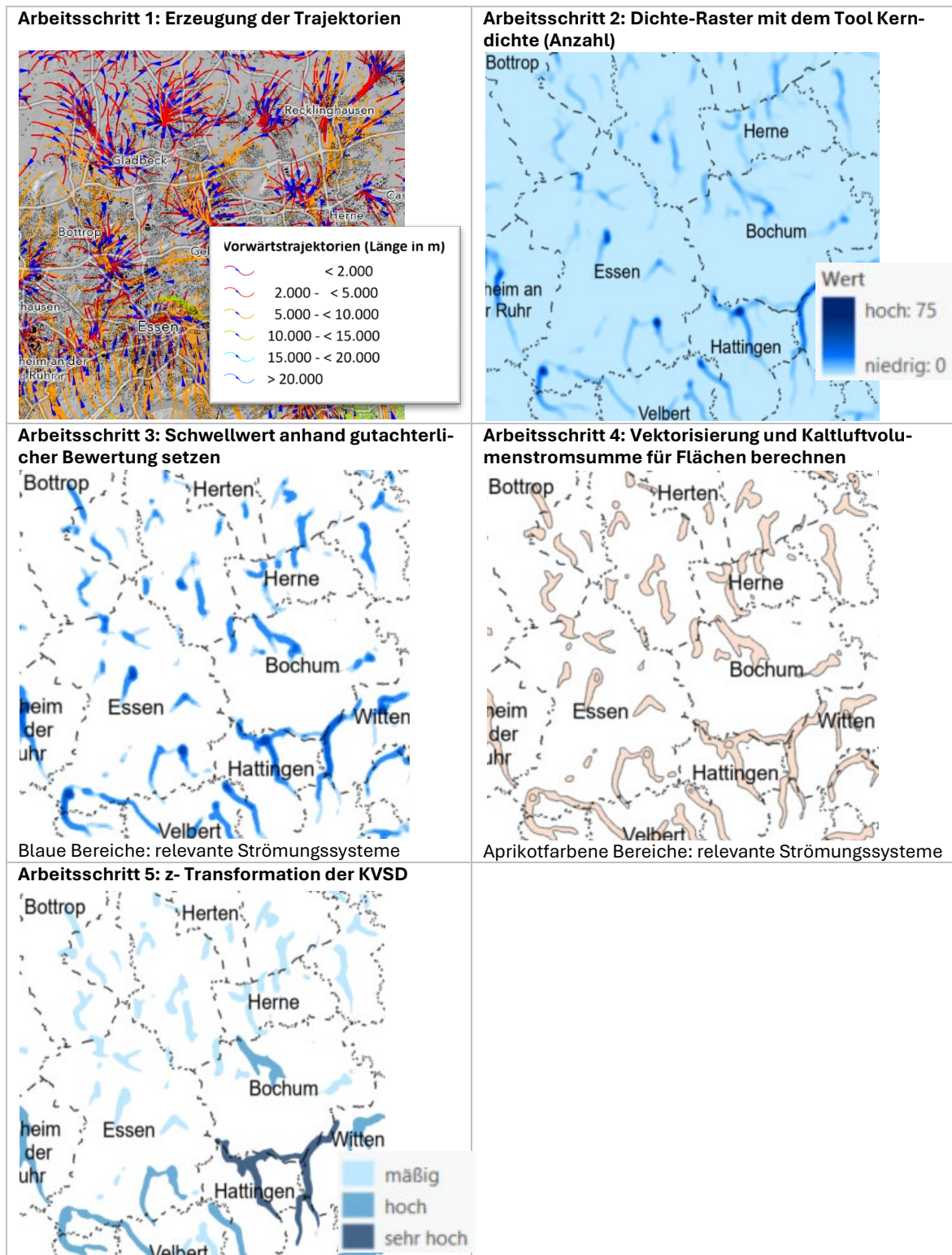


Abbildung 40: Arbeitsschritte für die Ableitung regionaler Kaltluftsysteme

Im ersten Arbeitsschritt wurden linienhafte Trajektorien aus den verfolgten Luftpaketen, die als Punktdaten vorlagen, erzeugt. Anschließend wurden die Trajektorien über geostatistische Analysen zur Verdichtung von Linienstrukturen sowie gutachterlich ermittelte Schwellenwerte zu regionalen Kaltluftsystemen zusammengefasst (Arbeitsschritte 2 und 3).

Hierzu wurde zunächst das Tool Kerndichte (Anzahl) genutzt, welches ein Dichteraster aus den Trajektorien erstellt. Dabei wurde für jede Linie eine „Dichteglocke“ (planare Kernel-Oberfläche) erzeugt, die bis zum Suchradius (500 m) ausläuft, also den Wert 0 annimmt. Als Ergebnis wird eine Summe aller Linien-Kernel am Pixel berechnet, die die Dichte pro Rasterzelle (25 m x 25 m) wiedergibt. Die Einheit ist hierbei die Linienlänge je Flächeneinheit. Als Schwellenwert, mit dem die Flächen der regionalen Kaltluftsysteme abgeleitet wurden, wurde 1,75 m Linie je Fläche in m² festgelegt.

Die regionalen Kaltluftsysteme sind Bereiche, wo besonders viel Luft ungehindert strömen kann. Ob sich daraus auch eine effektive Kühlwirkung ergibt, ist abhängig davon, ob auf den Grünflächen im Einzugsbereich der Kaltluftsysteme auch Kaltluftproduktion in relevantem Umfang stattfindet. Die tatsächliche Ausgleichsfunktion der regionalen Kaltluftsysteme ist also immer auch im Zusammenhang mit der Kaltluftproduktion zu bewerten. Die Kaltluftsysteme wurden daher mit der Summe des Kaltluftvolumenstroms aus der FITNAH-3D-Modellierung verknüpft (Arbeitsschritt 4). Der Kaltluftvolumenstrom gibt die Menge der gesamten Kaltluft im Strömungssystem wieder. Mit Hilfe einer z-Transformation der Kaltluftvolumenstromdichte wurden in Arbeitsschritt 5 die Kaltluftsysteme in „Flurwindssysteme“ (mäßiger Kaltluftvolumenstrom: bis 119.041 m³/s) und „regionale Strömungssysteme“ mit hohem (> 119.041 m³/s bis 562.764 m³/s) oder sehr hohem Kaltluftvolumenstrom (> 562.764 m³/s) differenziert (Tabelle 45). Bei der Interpretation ist zu berücksichtigen, dass große zusammenhängende Kaltluftsysteme tendenziell auch einen größeren Kaltluftvolumenstrom aufweisen können. Die funktionale Bedeutung der Kaltluftsysteme sollte daher nicht allein an Hand der Höhe des Kaltluftvolumenstroms bewertet werden.

Tabelle 45: Klassifizierung regionaler Kaltluftsysteme an Hand des Kaltluftvolumenstroms

Klassifizierung	Kaltluftvolumenstrom
mäßiger Kaltluftvolumenstrom (Flurwindssysteme)	bis 119.041 m ³ /s
hoher Kaltluftvolumenstrom (regionale Strömungssysteme)	> 119.041 m ³ /s - 562.764 m ³ /s
sehr hoher Kaltluftvolumenstrom (regionale Strömungssysteme)	> 562.764 m ³ /s

Regionale Strömungssysteme sind vor allem orographisch bedingt und befördern ein hohes Kaltluftvolumen. Sie sind in der Regel weiträumig strukturiert und überschreiten aufgrund ihrer Länge häufig kommunale Grenzen. **Flurwindssysteme** hingegen sind vor allem in flacheren Gebieten in NRW zu finden, wo es keinen orographisch bedingten Kaltluftabfluss gibt. Sie entstehen aufgrund des nächtlichen Temperaturunterschiedes zwischen kühlerem, vegetationsgeprägtem Umland und dem wärmeren Siedlungsraum. Flurwindssysteme befördern weniger Kaltluft und sind in der Regel aufgrund ihrer Länge bzw. räumlichen Ausdehnung eher auf lokaler Ebene von Bedeutung. Dennoch können sie für die Wirkräume der jeweiligen Gemeinden sehr bedeutsam sein, zum Teil überschreiten sie auch kommunale Grenzen. Ob diese Bereiche auf Ebene der regionalen Planung relevant sind, ist daher im Einzelfall und gegebenenfalls durch klimatische Detailanalysen näher zu prüfen.

Die regionalen Kaltluftsysteme, die auf Gemeinden mit regional bedeutsamer Wärmebelastung in der Nacht ausgerichtet sind, werden in der Karte in Blautönen dargestellt. Alle anderen

Kaltluftsysteme, die nicht mit einer regional bedeutsamen Wärmebelastung verknüpft sind, werden in der Karte in Grautönen dargestellt. Auch Strömungssysteme, die nicht auf Gemeinden mit regional bedeutsamer Wärmebelastung in der Nacht ausgerichtet sind, können im Einzelfall eine regionale Bedeutung aufweisen. Gegebenenfalls trägt gerade die Ausgleichsfunktion dieser Strömungssysteme mit dazu bei, dass in angrenzenden Siedlungsbereichen keine regional bedeutsame Wärmebelastung entsteht. Dies lässt sich aus den Daten der landesweiten Klimaanalyse NRW jedoch nicht ableiten und ist daher im Einzelfall, gegebenenfalls durch klimatische Detailanalysen, näher zu prüfen.

In der Karte regional bedeutsamer Klimafunktionen (Abbildung 47) werden für die regionalen Kaltluftsysteme **linienhafte Trajektorien** dargestellt, die die Fließrichtung der Kaltluft anzeigen. Die Trajektorien basieren auf dem Datensatz zur Ableitung der regionalen Kaltluftsysteme und wurden für kartographische Darstellungszwecke ausgedünnt. Sie stehen nicht für einen abgrenzbaren zentralen Bereich oder Schwerpunkte der Kaltluftsysteme.

Ein weiterer Bestandteil der Karte sind die **Einzugsgebiete der regionalen Strömungssysteme**, die über eine Strömungssimulation nach King (1973) auf Basis des Digitalen Geländemodells (DGM) abgegrenzt wurden. Die Einzugsgebiete werden für alle regionalen Kaltluftsysteme ausgewiesen, die Gemeinden mit einer regional bedeutsamen Wärmebelastung in der Nacht erreichen. Zu den Einzugsgebieten der Kaltluftsysteme können sowohl Kaltluftentstehungsgebiete und Leitbahnen als auch innerhalb der regionalen Kaltluftsysteme liegende Siedlungsbereiche gehören.

Außerdem werden in der Karte **Kaltluftentstehungsgebiete** dargestellt, wenn diese innerhalb der Einzugsgebiete der regionalen Kaltluftsysteme liegen und zudem eine landesweit überdurchschnittliche Kaltluftproduktion aufweisen (Klimaanalysekarte Nacht, Kaltluftproduktionsrate $> 26,3 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$). Diese Kaltluftentstehungsgebiete sind für die Produktion und den Transport von Kaltluft und damit für die Ausgleichsfunktion der regionalen Kaltluftsysteme von großer Bedeutung. Kaltluft entsteht grundsätzlich über allen vegetationsgeprägten Freiflächen. Die Luft ist dabei umso kühler, je größer diese Flächen sind, und je höher sie im Relief liegen. Die Kaltluft kann sich dabei auf ihrem Weg zum Siedlungsraum erwärmen. Es ist nicht möglich, Kaltluftentstehung und Kaltluftabfluss exakt voneinander abzugrenzen, da sich diese Prozesse überlagern.

Da die regionalen Kaltluftsysteme an Hand von Trajektorien abgegrenzt wurden, deren Verlauf in einer Höhe von 20 m über Grund modelliert wurde, haben Gebäude und Siedlungsstrukturen hier nur einen begrenzten Einfluss. Die regionalen Kaltluftsysteme überlagern, insbesondere in den Bereichen, in denen die Trajektorien enden, häufig auch städtische Siedlungsbereiche. Sie kennzeichnen somit die nächtlichen klima-ökologischen Austauschprozesse und die räumlichen Zusammenhänge zwischen Ausgleichs- und Wirkraum aus einer überörtlichen, regionalen Perspektive.

Kaltluftversorgung von Gemeinden mit regional bedeutsamer Wärmebelastung in der Nacht

Die Karte regional bedeutsamer Klimafunktionen enthält Informationen über die Kaltluftversorgung der Bevölkerung in den Gemeinden mit regional bedeutsamer Wärmebelastung in der Nacht. Dies ermöglicht weitere Rückschlüsse auf das Ausmaß der thermischen Belastung: Wenn nur wenige Menschen in einer Gemeinde von nächtlicher Kaltluft aus regionalen

Kaltluftsystemen erreicht werden, und zudem eine hohe nächtliche Wärmebelastung vorliegt, ist dies ein Hinweis auf das Erfordernis planerischer Maßnahmen.

Dargestellt sind Gemeinden, bei denen weniger als 40 % der Bevölkerung mit Kaltluft versorgt werden. Hierzu wurden die Bevölkerungsdaten des Zensus 2022 mit den Flächen der regionalen Kaltluftsysteme verschnitten. Die Darstellung erfolgt in der Karte über einen lila-farbenen Umring und abgestuft in vier Klassen (0 - 10 %, > 10 % - 20 %, > 20 % - 30 %, > 30 % - 40 %).

Regional bedeutsame Ausgleichsräume am Tag

In der Karte der regional bedeutsamen Klimafunktionen sind größere zusammenhängende Grünflächen im Freiraum dargestellt, die vergleichsweise günstige thermische Bedingungen am Tag aufweisen. Als Kriterien wurden hier zum einen die Erreichbarkeit und die Größe der Flächen angesetzt, zum anderen eine möglichst geringe Wärmebelastung am Tag.

Die regional bedeutsamen Ausgleichsräume am Tag sind im Verbund mindestens 2 km² groß. Flächen, die maximal 25 m voneinander entfernt liegen, wurden zusammengefasst. Die Ausgleichsräume liegen maximal 10 km entfernt von Gemeinden mit einer regional bedeutsamen Wärmebelastung am Tag und weisen in der Klimaanalysekarte Tag sowohl für den „typischen Sommertag“ als auch den „extremen Sommertag“ höchstens eine „moderate Wärmebelastung“ (PET < 35 °C) auf.

4.2.3 Ergebnisse der Klimaanalyse NRW für die Planungsregion Düsseldorf

In diesem Abschnitt werden zentrale Ergebnisse der Klimaanalysekarten für die Nacht und den Tag sowie der Planungshinweiskarte aus der Klimaanalyse NRW 2026 für die Planungsregion Düsseldorf dargestellt. Der Fokus liegt dabei auf den Karteninhalten und Informationen, die auch für die Ableitung der regional bedeutsamen Klimafunktionen (Kapitel 4.3) relevant sind.

Klimaanalysekarte Nacht

Abbildung 41 und Abbildung 42 zeigen die nächtliche Überwärmung der Siedlungsflächen (Wirkraum) für den typischen und den extremen Sommertag. Am typischen Sommertag liegen für etwa 42 % der Flächen im Wirkraum der Planungsregion niedrige oder sehr niedrige nächtliche Temperaturen vor. Ein Großteil der Flächen weist keine oder nur eine schwache bis mäßige Überwärmung auf (Tabelle 46). Vereinzelte Bereiche im Zentrum von Düsseldorf zeigen auch an einem typischen Sommertag eine starke nächtliche Überwärmung. Für den extremen Sommertag ergibt sich für etwa die Hälfte der Siedlungsflächen eine schwache oder mäßige Überwärmung (ca. 46 %). Etwa ein Drittel der Flächen zeigt eine starke nächtliche Überwärmung, zudem weisen größere Teile des Wirkraums eine sehr starke Überwärmung auf (ca. 16 %). Für etwas mehr als 3 % der Siedlungsflächen im Planungsraum ergibt sich in der Modellierung eine extreme nächtliche Überwärmung von mehr als 23 °C um 4:00 morgens.

Tabelle 46: Flächenanteile der nächtlichen Überwärmung im Wirkraum in der Karte Klimaaanalyse Nacht: Planungsregion Düsseldorf

Lufttemperatur in °C	Nächtliche Überwärmung	typischer Sommertag		extremer Sommertag	
		Fläche in km ²	Flächen- anteil in %	Fläche in km ²	Flächen- anteil in %
≤ 14 °C	sehr niedrige nächtliche Lufttemperaturen	133,6	14,0	0	0,0
> 14-15.5 °C	niedrige nächtliche Luft- temperaturen	264,8	27,7	0	0,0
> 15.5-17 °C	keine nächtliche Überwär- mung	316,7	33,2	6,7	0,7
> 17-18.5°C	schwache nächtliche Überwärmung	182,1	19,1	213,2	22,3
> 18.5-20 °C	mäßige nächtliche Über- wärmung	57,8	6,1	229,6	24,0
> 20-21.5 °C	starke nächtliche Über- wärmung	0,2	0,0	324,8	34,0
> 21.5-23 °C	sehr starke nächtliche Überwärmung	0,02	0,0	149,5	15,6
> 23-24.5 °C	extreme nächtliche Über- wärmung	0	0,0	31,3	3,3
Gesamtfläche Wirkraum		955,1	100,0	955,1	100,0

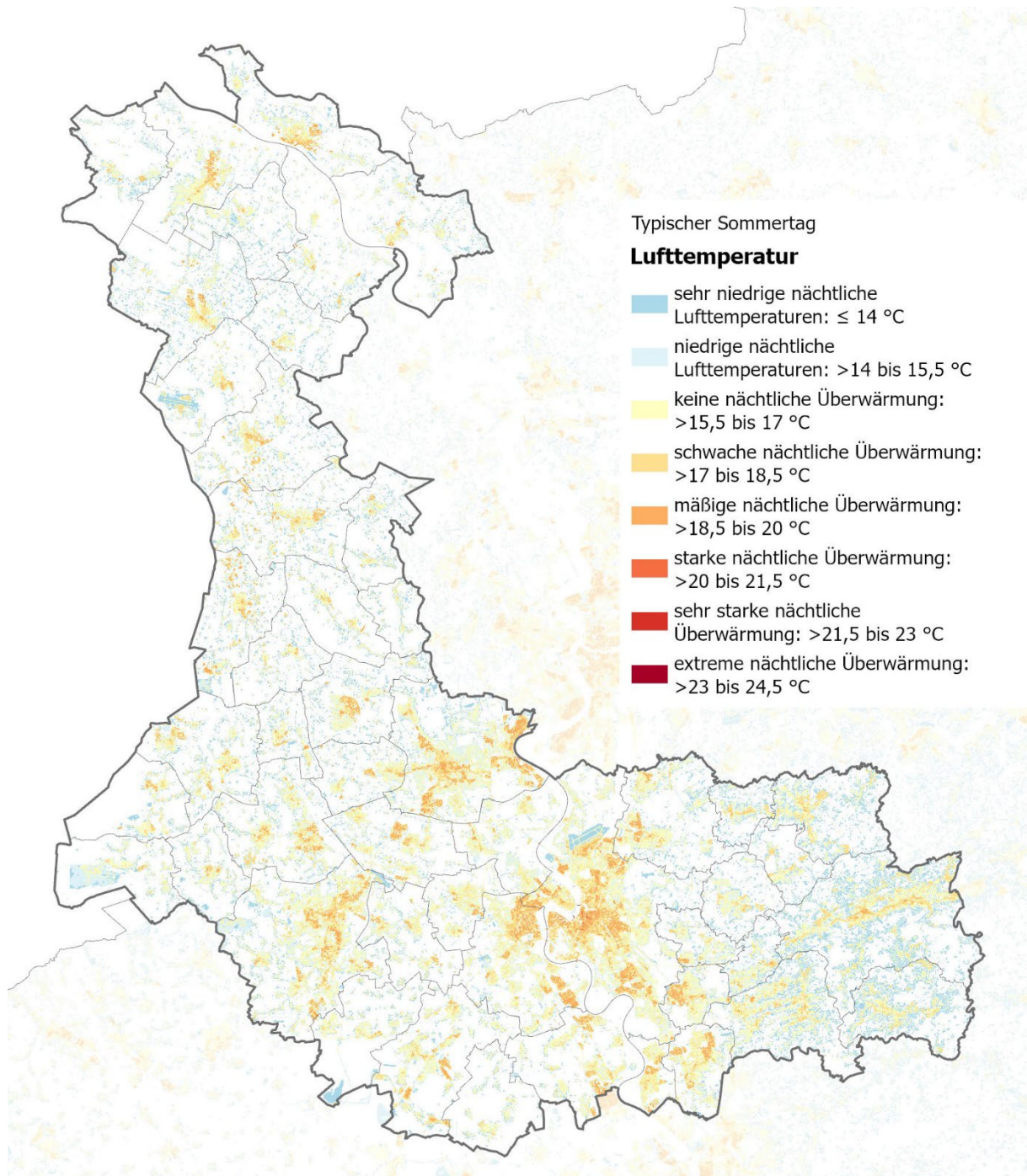


Abbildung 41: Klimaanalysekarte Nacht – typischer Sommertag: Lufttemperatur im Siedlungsraum

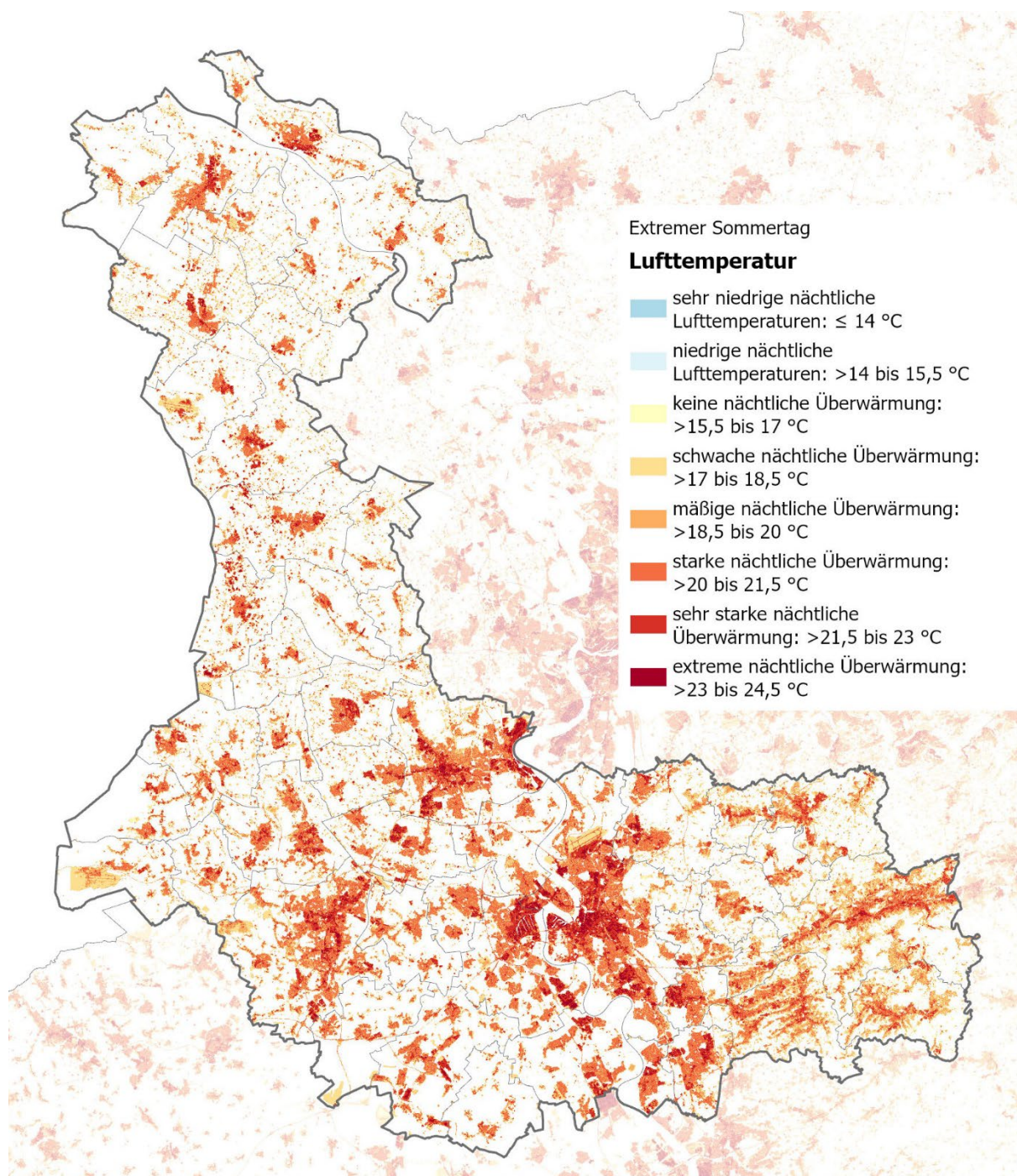


Abbildung 42: Klimaanalysemappe Nacht – typischer Sommertag: Lufttemperatur im Siedlungsraum

Nächtliche Kaltluftprozesse im Freiraum (Ausgleichsraum) in der Planungsregion Düsseldorf sind in Abbildung 43 an Hand der Kaltluftvolumenstromdichte für den typischen Sommertag dargestellt. Große zusammenhängende Bereiche mit einer hohen Kaltluftvolumenstromdichte befinden sich vor allem im Bergischen Land, insbesondere im nördlichen Teil des Kreises Mettmann. Zudem weisen auch Bereiche im Süden des Rhein-Kreis Neuss (Jüchen, Grevenbroich, Rommerskirchen), im Norden des Kreises Kleve (Kranenburg) sowie zwischen Viersen und Grefrath hohe Kaltluftvolumenstromdichten auf. Die Kaltluftvolumenstromdichte unterscheidet sich zwischen dem typischen und dem extremen Sommertag nur geringfügig (Tabelle 47). Ein Drittel der Fläche im Freiraum zeigt eine Kaltluftvolumenstromdichte von 5 - 10 $\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$, bei etwa 37 % der Fläche liegt der Wert zwischen 10 und 20 $\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$. Für knapp 15 % der Fläche im Ausgleichsraum ergibt sich eine Kaltluftvolumenstromdichte von 20 – 50 $\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$. Höhere Werte treten in der Planungsregion Düsseldorf nur auf 0,2 % der Fläche im Freiraum auf.

Tabelle 47: Flächenanteile der Kaltluftvolumenstromdichte im Ausgleichsraum in der Karte Klimaanalyse Nacht: Planungsregion Düsseldorf

	typischer Sommertag		extremer Sommertag	
KVSD in $\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$	Fläche in km^2	Flächenanteil in %	Fläche in km^2	Flächenanteil in %
≤ 5	382	14,7	403	15,5
> 5-10	869	33,5	887	34,2
> 10-20	965	37,2	930	35,8
> 20-50	376	14,5	371	14,3
> 50-100	4	0,2	4	0,2
> 100	0	0,0	0	0,0
Gesamtfläche Ausgleichsraum	2.596	100,0	2.596	100,0

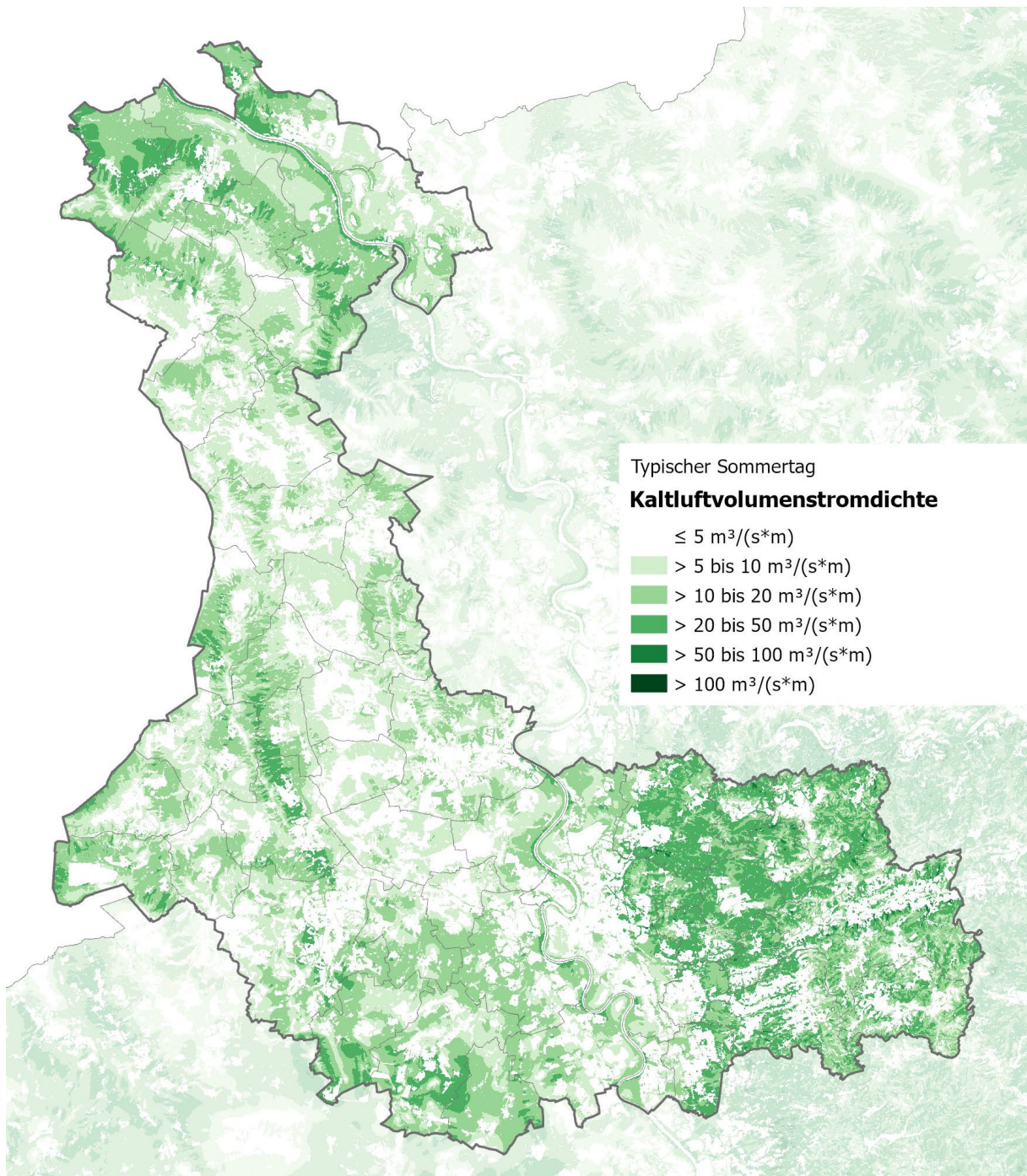


Abbildung 43: Klimaanalysekarte Nacht – typischer Sommertag: Kaltluftvolumenstromdichte im Freiraum

Klimaanalysekarte Tag

In der Klimaanalysekarte Tag wird der Wirkraum genauso wie der Ausgleichsraum an Hand der PET bewertet (Abbildung 44 und Abbildung 45). Die Flächenanteile der einzelnen Belastungskategorien für die beiden Szenarien sind in Tabelle 48 dargestellt. Knapp die Hälfte der Gesamtfläche in der Planungsregion Düsseldorf zeigt am typischen Sommertag eine starke Wärmebelastung. Eine extrem starke Wärmebelastung mit einer PET von mehr als 41 °C ergibt sich für knapp 12 % der Gesamtfläche. An einem extremen Sommertag zeigt sich für 58 % aller Flächen im Planungsraum eine extrem starke Wärmebelastung.

Tabelle 48: Flächenanteile der thermischen Belastungskategorien in der Karte Klimaanalyse Tag: Planungsregion Düsseldorf

PET in °C	Thermische Belastung	typischer Sommertag		extremer Sommertag	
		Fläche in km ²	Flächen- anteil in %	Fläche in km ²	Flächen- anteil in %
> 13-18 °C	leichter Kältestress	0	0,0	0	0,0
> 18-23 °C	kein thermischer Stress	9,3	0,3	0	0,0
> 23-29 °C	leichte Wärmebelastung	624,9	17,2	44,3	1,2
> 29-35 °C	moderate Wärmebelastung	803,7	22,1	640,7	17,6
> 35-41 °C	starke Wärmebelastung	1.777,7	48,9	843,3	23,2
> 41 °C	extrem starke Wärmebelastung	421,9	11,6	2.109,2	58,0
	Gesamtfläche Planungsregion	3.637,5	100,0	3.637,5	100,0

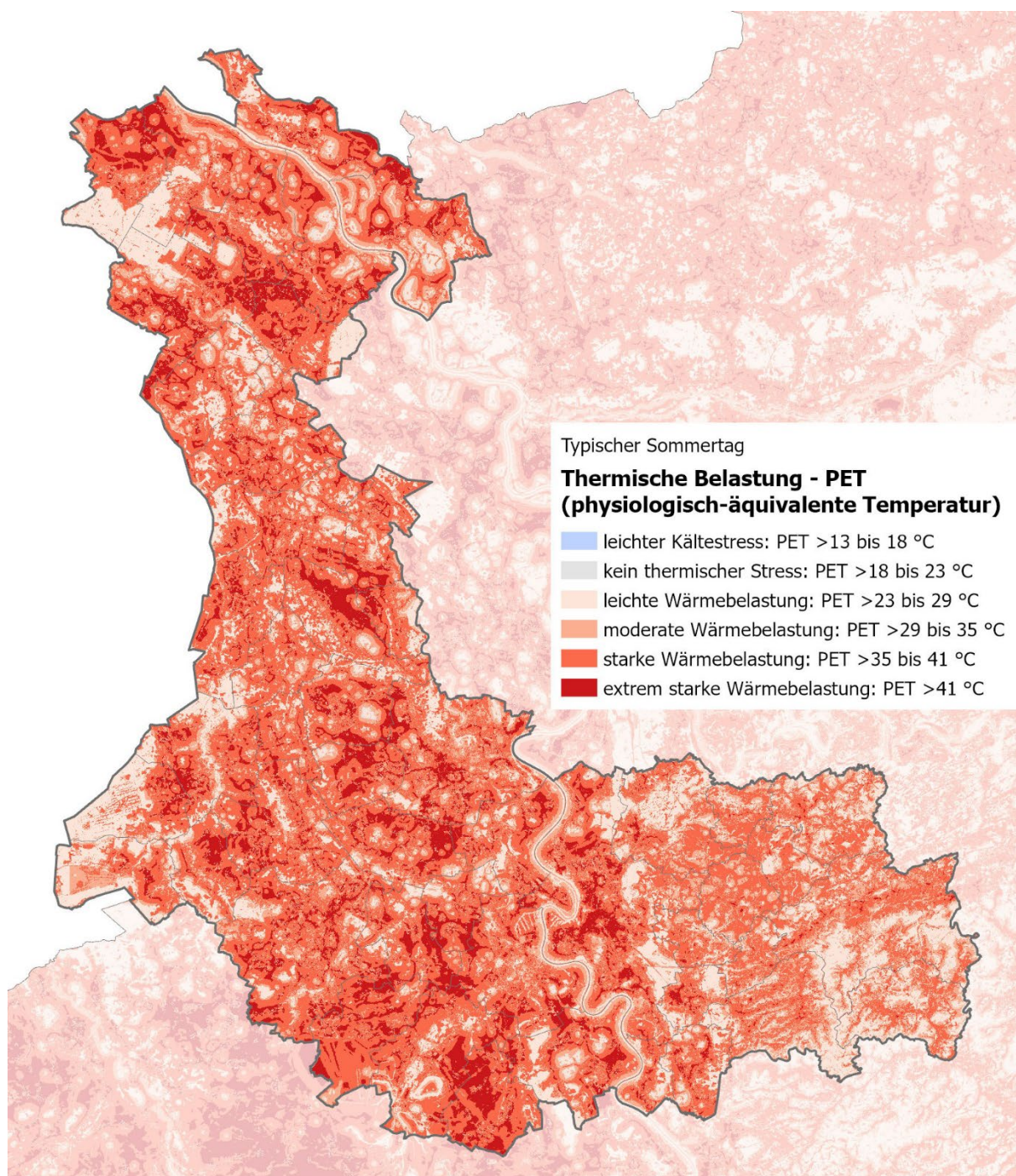


Abbildung 44: Klimaanalysekarte Tag – typischer Sommertag: Thermische Belastung

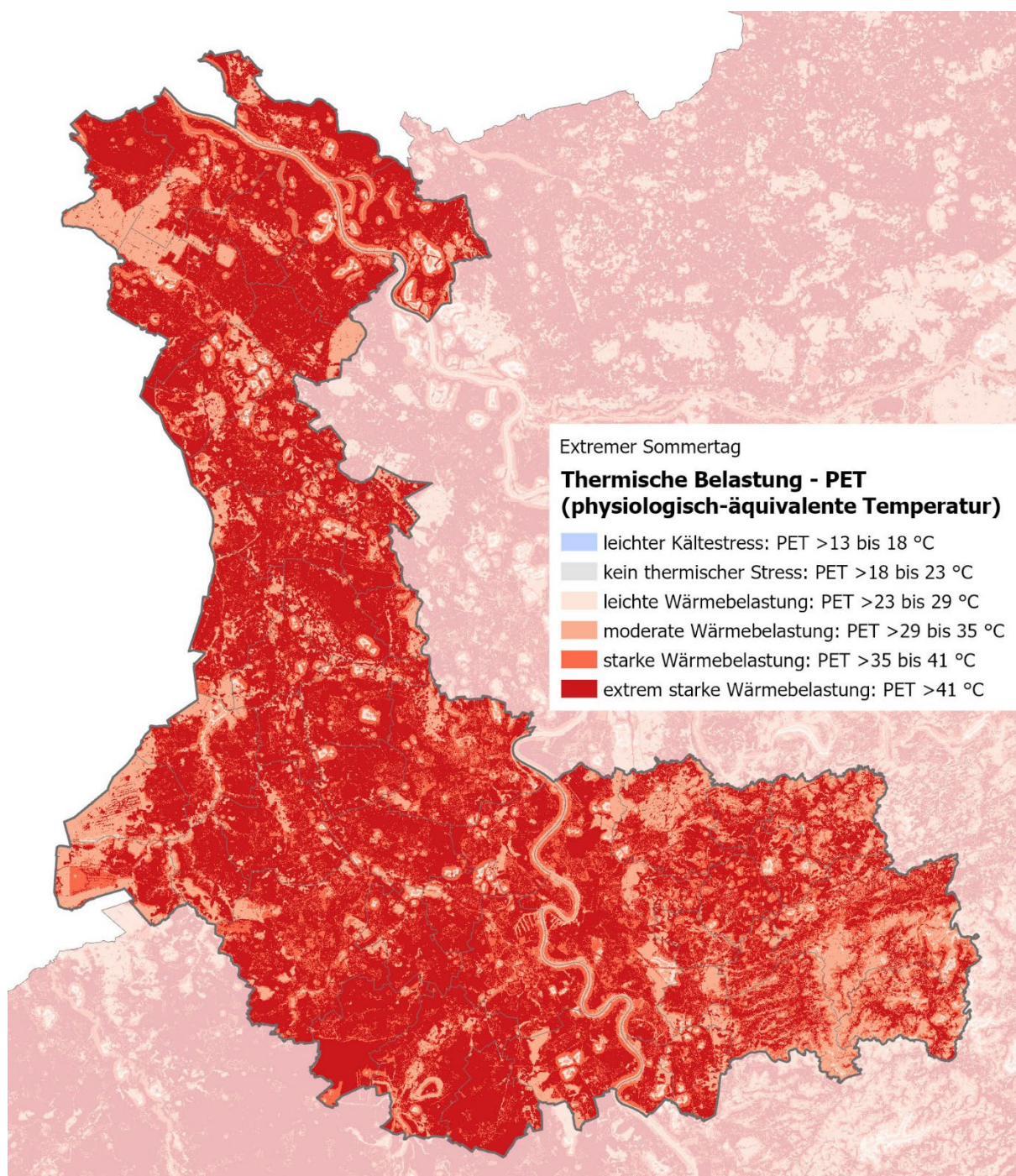


Abbildung 45: Klimaanalysekarte Tag – extremer Sommertag: Thermische Belastung

Planungshinweiskarte

Die Planungshinweiskarte ist zugeschnitten auf die Planungsregion Düsseldorf in Abbildung 46 dargestellt. In Tabelle 49 werden die Flächengröße und Flächenanteile der sechs Handlungsprioritäts-Klassen im Wirkraum aus der Planungshinweiskarte abgebildet. Insgesamt 42,6 % der Fläche des Wirkraums in der Planungsregion Düsseldorf ist dem „dringenden Handlungsbedarf“ (Handlungspriorität 1 + 2) zugeordnet. Dieser Wert liegt damit etwa 10 % höher als für ganz NRW (32,5 %). In den Siedlungsflächen mit dringendem Handlungsbedarf leben im Planungsraum etwa 1,7 Millionen Menschen, was etwas mehr als der Hälfte der Gesamtbevölkerung entspricht. Zum Vergleich: In Nordrhein-Westfalen leben 41,7 % der Bevölkerung, also etwa 7,5 Millionen Menschen, in Bereichen mit Handlungspriorität 1 oder 2 („dringender Handlungsbedarf“).

Tabelle 49: Flächenanteile der Handlungsprioritäten und Bevölkerung im Wirkraum in der Planungshinweiskarte: Planungsregion Düsseldorf

Handlungsprioritäten im Wirkraum	Fläche in km ²	Flächenanteil Wirkraum in %	Flächenanteil Planungsregion in %	Bevölkerung Summe	Bevölkerung Anteil in %
Handlungspriorität 1	32,2	3,5	0,9	125.397	3,8
Handlungspriorität 2	361,3	39,1	9,9	1.574.807	47,9
Handlungspriorität 3	323,7	35,0	8,9	1.214.349	36,9
Handlungspriorität 4	120,4	13,0	3,3	267.617	8,1
Handlungspriorität 5	85,8	9,3	2,4	105.203	3,2
Handlungspriorität 6	0,6	0,1	0,0	594	0,02
Gesamtfläche Wirkraum	924,0	100,0	25,4	3.287.967	100,0

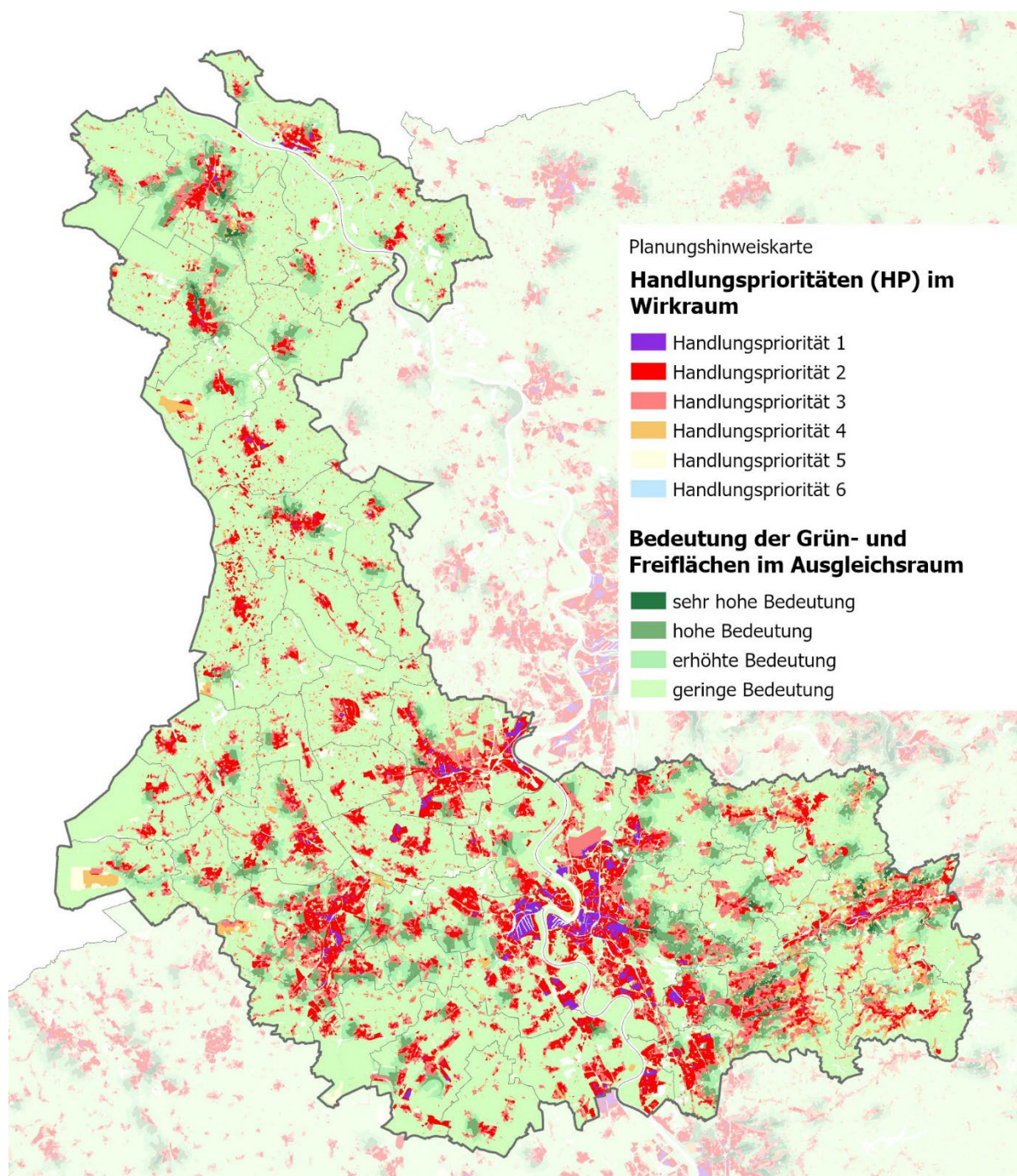
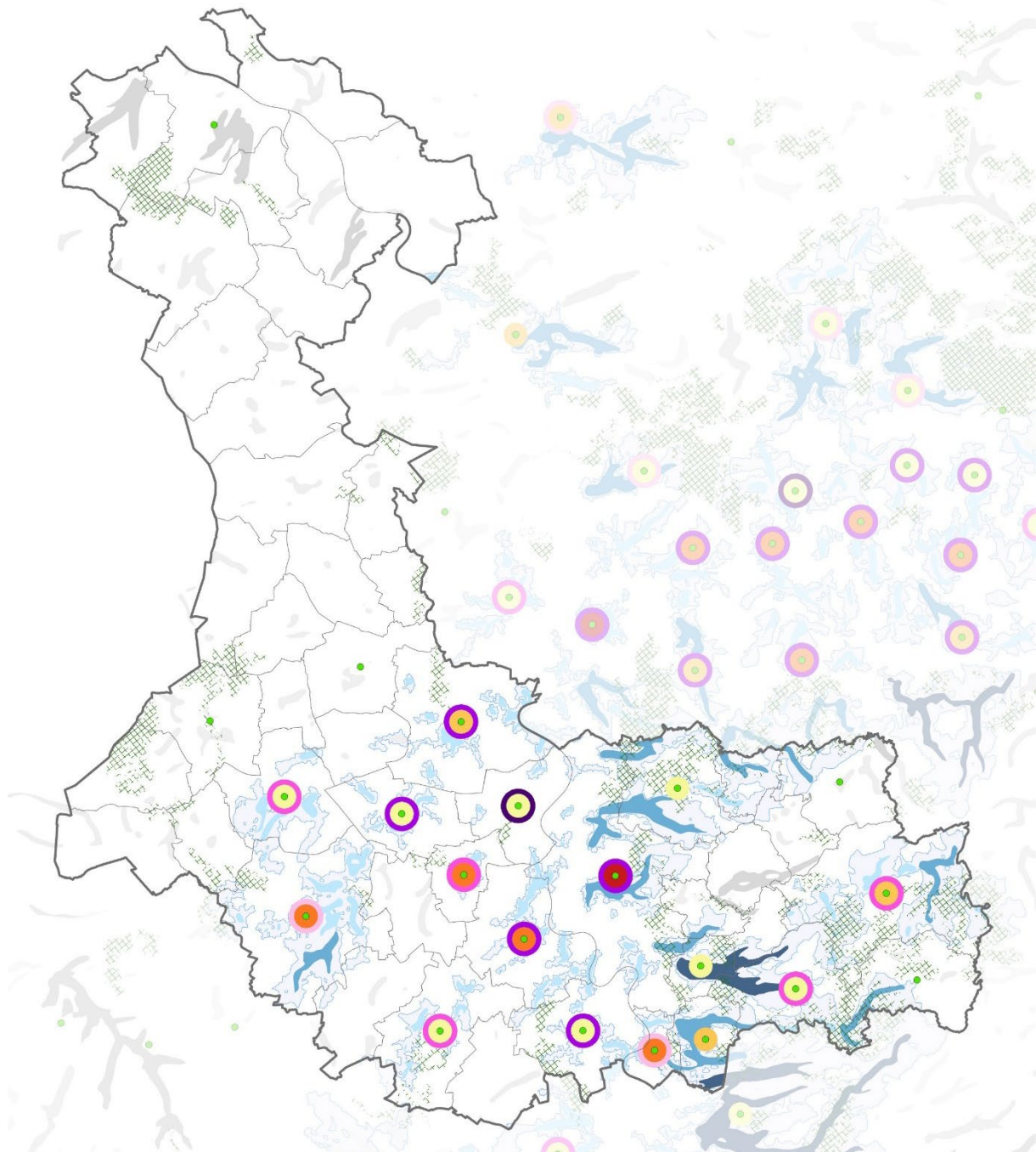


Abbildung 46: Planungshinweiskarte

4.3 Regional bedeutsame Klimafunktionen in der Planungsregion Düsseldorf

Abbildung 47 zeigt die regional bedeutsamen Klimafunktionen in der Planungsregion Düsseldorf. Dargestellt sind Gemeinden mit einer regional bedeutsamen Wärmebelastung, sowohl für den Tag als auch für die Nacht, die Kaltluftversorgung der Gemeinden, regionale Kaltluftsysteme, die Einzugsgebiete der regionalen Kaltluftsysteme sowie regional bedeutsame Ausgleichsräume am Tag. Für eine bessere Lesbarkeit sind die Kaltluftentstehungsgebiete sowie die Fließrichtung der Trajektorien in der Abbildung nicht dargestellt (siehe dazu: Abbildung 49).



(Kartengrundlage: LAND NRW (2026) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)

Abbildung 47: Regional bedeutsame Klimafunktionen in der Planungsregion Düsseldorf

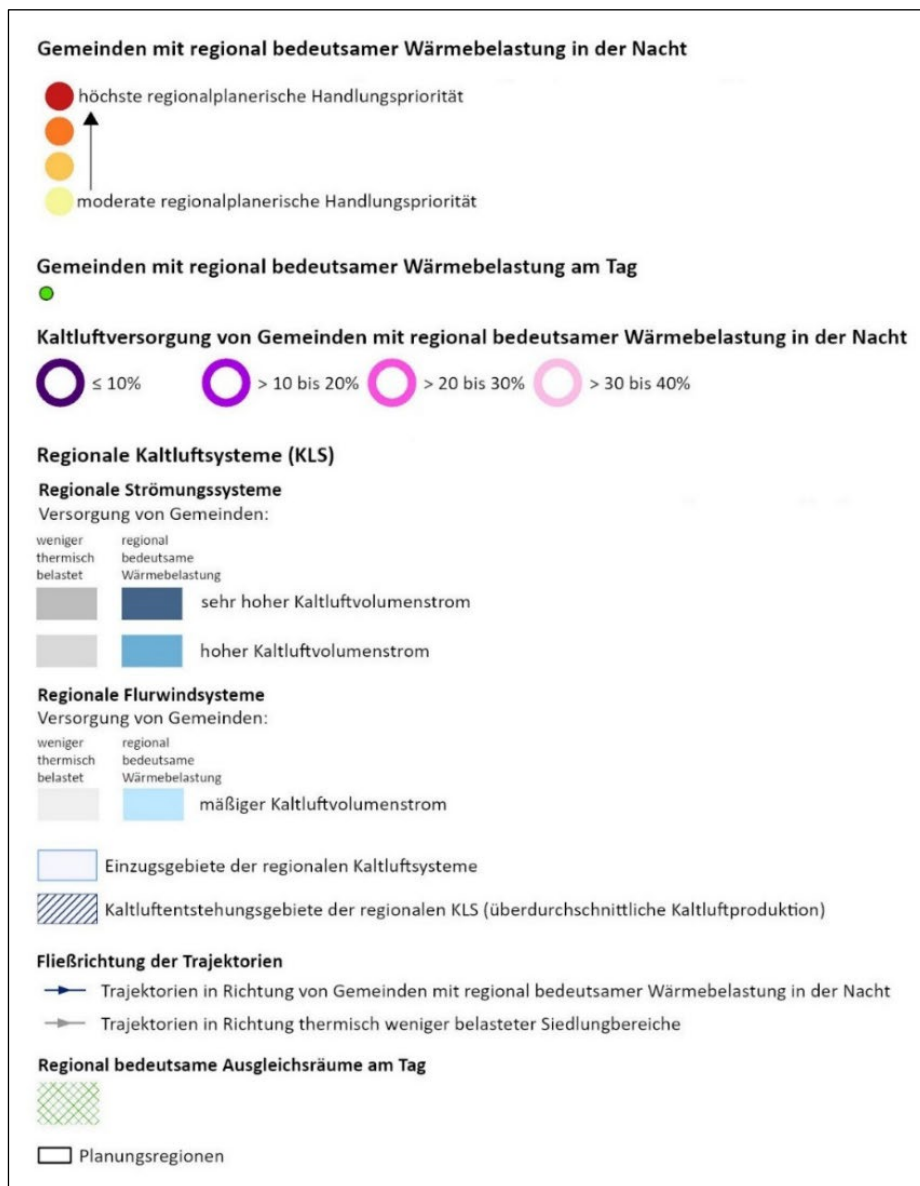


Abbildung 48: Klimaanalyse – Legende Planungsempfehlungen Regionalplanung

Die Karte ist, wie alle Ergebnisse der Klimaanalyse NRW, hochauflösend im digitalen Fachinformationssystem Klimaatlas NRW veröffentlicht. Dort werden auch die Geodaten der verschiedenen Karten zum Download bereitgestellt.

Gemeinden mit einer regional bedeutsamen Wärmebelastung liegen insbesondere im dicht besiedelten südlichen Teil des Planungsraums. Im Kreis Kleve weist nur die Stadt Kleve eine regional bedeutsame Wärmebelastung am Tag auf.

Gemeinden mit regional bedeutsamer Wärmebelastung in der Nacht

Insgesamt zeigt sich für 16 Gemeinden im Planungsraum eine regional bedeutsame Wärmebelastung in der Nacht (Tabelle 50). Zu den auch landesweit am stärksten betroffenen Gemeinden mit der höchsten regionalplanerischen Handlungspriorität zählt die Landeshauptstadt Düsseldorf. Hier leben mehr als 465.000 Menschen in Bereichen, für die in der Planungshinweiskarte der Klimaanalyse NRW ein „dringender Handlungsbedarf“ ausgewiesen ist. Für die Städte Mönchengladbach, Neuss, Monheim am Rhein und Kaarst ergibt sich eine sehr hohe Handlungspriorität. Eine hohe regionalplanerische Handlungspriorität zeigt sich für Krefeld, Wuppertal und Langenfeld. Für acht Städte ergibt die Bewertung der Betroffenheit eine moderate regionalplanerische Handlungspriorität (Solingen, Viersen, Ratingen, Dormagen, Grevenbroich, Hilden, Meerbusch und Willich). Der Anteil der Einwohner in Bereichen mit dringendem Handlungsbedarf ist in Monheim am Rhein, Düsseldorf und Kaarst besonders hoch.

Tabelle 50: Gemeinden mit regional bedeutsamer Wärmebelastung in der Nacht in der Planungsregion Düsseldorf

Gemeinde	Einwohner in Bereichen mit "dringendem Handlungsbedarf"	Anteil der Einwohner in Bereichen mit "dringendem Handlungsbedarf"	Regionalplanerische Handlungspriorität
Düsseldorf	465.026	76,1%	höchste Priorität
Mönchengladbach	162.961	61,7%	sehr hohe Priorität
Neuss	101.725	66,5%	sehr hohe Priorität
Monheim am Rhein	33.605	79,7%	sehr hohe Priorität
Kaarst	31.026	71,9%	sehr hohe Priorität
Krefeld	132.405	57,4%	hohe Priorität
Wuppertal	112.400	31,5%	hohe Priorität
Langenfeld (Rhld.)	41.260	69,2%	hohe Priorität
Solingen	44.680	27,1%	moderate Priorität
Viersen	41.495	54,5%	moderate Priorität
Ratingen	39.473	44,6%	moderate Priorität
Dormagen	36.284	56,5%	moderate Priorität
Grevenbroich	35.239	54,0%	moderate Priorität
Hilden	32.405	58,8%	moderate Priorität
Meerbusch	32.390	56,8%	moderate Priorität
Willich	29.403	59,4%	moderate Priorität

Gemeinden mit regional bedeutsamer Wärmebelastung am Tag

In allen 49 Gemeinden der Planungsregion Düsseldorf gibt es Siedlungsbereiche, die an einem typischen Sommertag tagsüber mindestens eine „starke Wärmebelastung“ (PET > 35 °C) und an einem extremen Sommertag eine „extrem starke Wärmebelastung“ zeigen (PET > 41 °C). In 21 dieser Gemeinden wohnen mindestens 25.000 Menschen in diesen Bereichen (Tabelle 51). Somit ergibt sich für knapp die Hälfte aller Gemeinden im Planungsraum eine regional bedeutsame Wärmebelastung am Tag. Besonders betroffen sind hiervon die Städte mit den höchsten Einwohnerzahlen, wie z. B. Düsseldorf (505.916 betroffene Personen), Mönchengladbach (210.243), Wuppertal (179.551) und Krefeld (161.209). Während dabei in Wuppertal am Tag etwa die Hälfte der Einwohner von starken (typischer Sommertag) oder extrem starken Wärmebelastungen (extremer Sommertag) betroffen ist, liegt dieser Anteil in Kaarst, Düsseldorf, Mönchengladbach, Dormagen und Monheim am Rhein bei etwa 80 % oder mehr.

Tabelle 51: Gemeinden mit regional bedeutsamer Wärmebelastung am Tag in der Planungsregion Düsseldorf

Gemeinde	„starke“ / „extrem starke Wärmebelastung“: Einwohner gesamt	„starke“ / „extrem starke Wärmebelastung“: Einwohner Anteil
Düsseldorf	505.916	82,77%
Mönchengladbach	210.243	79,61%
Wuppertal	179.551	50,33%
Krefeld	161.209	69,89%
Neuss	116.601	76,17%
Solingen	75.539	45,89%
Viersen	60.301	20,48%
Ratingen	57.183	64,67%
Dormagen	51.052	79,45%
Grevenbroich	47.558	72,91%
Langenfeld (Rhld.)	45.027	75,49%
Hilden	42.155	76,53%
Meerbusch	42.105	73,87%
Kaarst	37.819	87,62%
Willich	36.055	72,85%
Remscheid	35.410	31,13%
Monheim am Rhein	33.199	78,69%
Velbert	30.604	37,18%
Nettetal	29.137	69,93%
Kleve	25.918	8,22%
Kempen	25.907	75,83%

Regionale Kaltluftsysteme

Da alle Gemeinden mit einer regional bedeutsamen Wärmebelastung in der Nacht im südlichen Teil des Planungsraums liegen, befinden sich hier auch die regionalen Strömungssysteme, die auf die entsprechenden Gemeinden mit einer besonderen Wärmebelastung ausgerichtet sind. Eher lokal wirksame Flurwindssysteme sind dabei in allen Gemeinden mit einer regional bedeutsamen Wärmebelastung in der Nacht zu finden.

Regionale Strömungssysteme, die über einen hohen oder sehr hohen Kaltluftvolumenstrom sowie häufig auch eine größere räumliche Ausdehnung verfügen, befinden vor allem im orographisch stärker strukturierten süd-östlichen Teil der Planungsregion. Die Einzugsgebiete dieser Kaltluftsysteme, von denen beispielsweise Düsseldorf und Hilden profitieren, erstrecken sich über das Gebiet von Städten östlich der Landeshauptstadt, wie z. B. Solingen, Langenfeld, Wuppertal, Ratingen, Heiligenhaus und Velbert. Dies sind auch die Freiraum-Bereiche im Planungsraum mit der höchsten Kaltluftvolumenstromdichte (Abbildung 43). Zudem gibt es auch in Mönchengladbach ein größeres regionales Strömungssystem, dessen Einzugsgebiet auch im Bereich der Stadt Jüchen liegt.

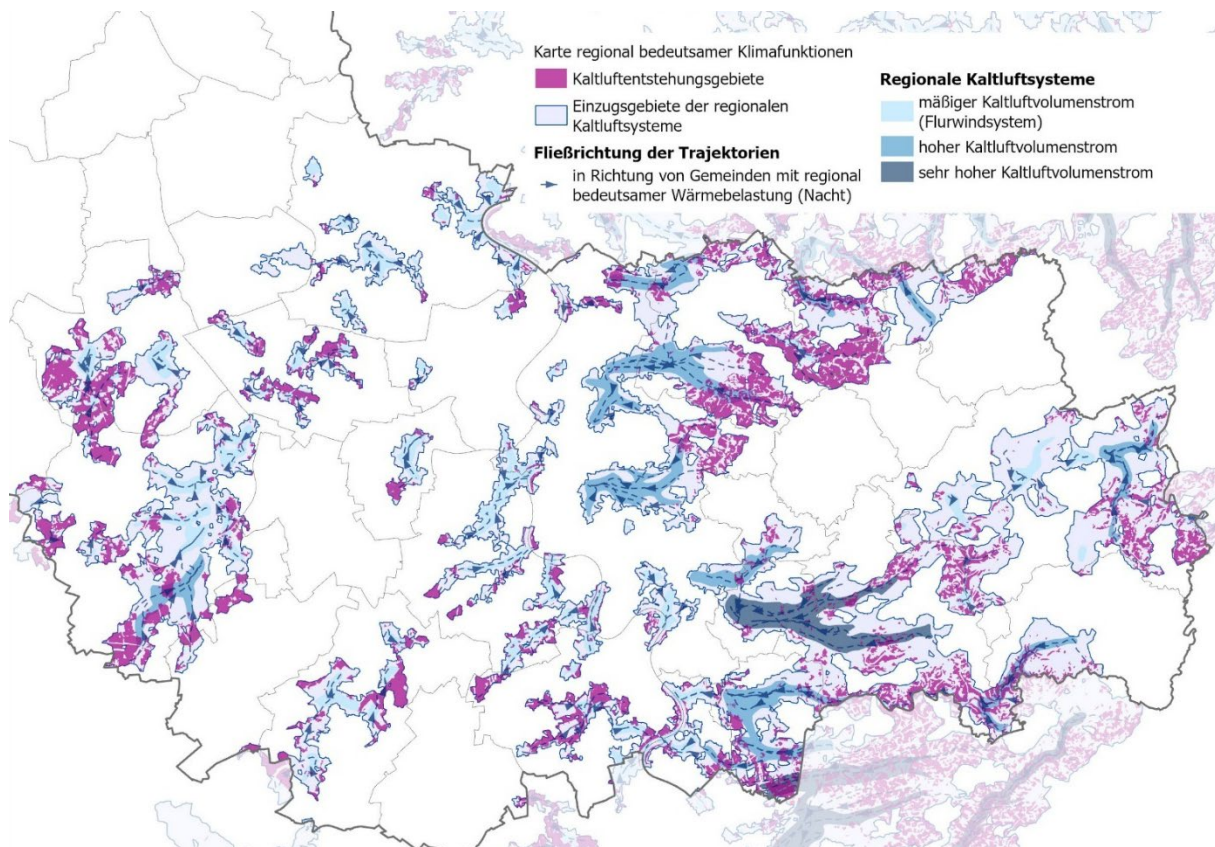


Abbildung 49: Kaltluftentstehungsgebiete innerhalb der Einzugsgebiete der regionalen Kaltluftsysteme (Ausschnitt)

Zu beachten ist dabei, dass der Kaltluftvolumenstrom der regionalen Kaltluftsysteme, und damit auch die klima-ökologische Ausgleichsfunktion, insbesondere von der Lage sowie der Größe der Kaltluftentstehungsgebiete in den Einzugsgebieten der regionalen Kaltluftsysteme abhängig ist. Zur Veranschaulichung der räumlichen Zusammenhänge zwischen regionalen Kaltluftsystemen, ihren Einzugsgebieten sowie den Kaltluftentstehungsgebieten zeigt

Abbildung 49 einen Ausschnitt des südlichen Teils der Planungsregion. Dabei wird deutlich, dass sich die Kaltluftentstehungsgebiete häufig am Ausgangspunkt der regionalen Strömungssysteme befinden, und regelmäßig auch außerhalb der Kaltluftsysteme (aber innerhalb ihrer Einzugsgebiete) liegen. Die relevanten Bereiche erstrecken sich teilweise auch auf angrenzende Planungsregionen.

Kaltluftversorgung von Gemeinden mit regional bedeutsamer Wärmebelastung in der Nacht

Von den 16 Gemeinden im Planungsraum mit regional bedeutsamer Wärmebelastung in der Nacht zeigen 13 Gemeinden eine eingeschränkte nächtliche Kaltluftversorgung, bei der weniger als 40 % der Bevölkerung von regionalen Kaltluftsystemen profitieren (Tabelle 52). In Meerbusch werden weniger als 8 % der Menschen von regionalen Kaltluftsystemen erreicht. In Willich, Dormagen, Neuss, Düsseldorf und Krefeld liegt dieser Wert zwischen 10 % und 20 %. In Solingen, Wuppertal, Kaarst, Grevenbroich und Viersen profitieren 20 % bis 30 % der Bevölkerung von regionalen Kaltluftsystemen. In Mönchengladbach und Monheim leben 30 % bis 40 % der Bevölkerung innerhalb von regionalen Kaltluftsystemen.

Tabelle 52: Anzahl und Anteil der Einwohner innerhalb regionaler Kaltluftsysteme nach Gemeinden

Gemeinde	Einwohner innerhalb regionaler Kaltluftsysteme	Anteil Einwohner innerhalb regionaler Kaltluftsysteme
Meerbusch	4.409	7,7%
Willich	6.324	12,8%
Dormagen	8.672	13,5%
Neuss	25.541	16,7%
Düsseldorf	103.944	17,0%
Krefeld	40.940	17,7%
Solingen	36.206	22,0%
Wuppertal	89.123	25,0%
Kaarst	11.155	25,8%
Grevenbroich	17.105	26,2%
Viersen	20.096	26,4%
Mönchengladbach	81.375	30,8%
Monheim am Rhein	15.173	36,0%

Regional bedeutsame Ausgleichsräume am Tag

Zu den regional bedeutsamen Ausgleichsräumen am Tag zählen insbesondere größere zusammenhängende Waldbereiche wie der Klever Reichswald im Norden der Planungsregion, der Brachter Wald nordwestlich von Brüggen, die Heronger Buschberge auf dem Gebiet der Stadt Straelen, der Hildener Stadtwald, die Hildener Heide und die Ohligser Heide, der Rätinger Wald und der Kalkumer Forst sowie größere Bereiche im Bergischen Land.

Mögliche Anwendung im Rahmen der Regionalplanung

Die Ergebnisse der Klimaanalyse NRW, insbesondere die regional bedeutsamen Klimafunktionen, eignen sich als klima-fachliche Daten- und Planungsgrundlage für die Berücksichtigung klima-ökologischer Belange im Rahmen der regionalplanerischen Ordnung, Sicherung und Entwicklung des Raumes. Grundsätzliche Anwendungsmöglichkeiten werden vor allem in folgenden Bereichen gesehen:

- Erweiterung des Begründungshorizonts und Schärfung bestehender multifunktionaler Festlegungen bzw. Planzeichen (insbesondere Regionale Grünzüge)
- Textliche Ziel- und Grundsatzfestlegungen in Verbindung mit einer thematischen Beikarte
- Berücksichtigung als Abwägungsgrundlage bei der räumlichen Steuerung von Raumnutzungen, die klima-ökologischen Belangen entgegenstehen, sowie als Grundlage für die Umweltprüfung
- Berücksichtigung als Abwägungsgrundlage in Raumordnungsverfahren und im Zuge der Erarbeitung raumordnerischer Stellungnahmen

Klima-ökologische Belange können durch bestehende multifunktionale Festlegungen und Planzeichen gezielt adressiert werden. Auf diese Weise können bestehende Festlegungen auch mit klimaspezifischen Inhalten geschärft, weitergehend begründet, in ihrer Durchsetzungsfähigkeit gestärkt sowie inhaltlich und ggf. flächenmäßig weiterentwickelt werden. Hier kommen insbesondere die Regionalen Grünzüge in Betracht, welche unterschiedliche Raumfunktionen schützen und Freiräume gegen eine bauliche Inanspruchnahme sichern. Mit den Regionalen Grünzügen werden im Regionalplan Düsseldorf bereits klimatische Raumfunktionen adressiert. Die klima-ökologischen Funktionen sind jedoch bisher kaum weitergehend definiert oder räumlich spezifiziert (Kapitel 5.2). Die Einbindung der regional bedeutsamen Klimafunktionen kann in manchen Fällen auch dazu führen, dass die bestehenden multifunktionalen Festlegungen hinsichtlich ihrer flächenspezifischen Begründung zu überprüfen sind.

Eine weitere Möglichkeit zur Nutzung klima-fachlicher Daten- und Informationsgrundlagen besteht darin, durchsetzungsstarke textliche Festlegungen zu formulieren, und diese mit Hilfe einer thematischen Beikarte räumlich zu konkretisieren. Hierfür eignet sich die Karte regional bedeutsamer Klimafunktionen. Dieser Ansatz ermöglicht themenspezifische (mono-funktionale) und räumlich konkrete Festlegungen, ohne dass hierfür zusätzliche Planzeichen eingeführt werden müssen. Im Zusammenspiel von textlicher Festlegung und ergänzender räumlicher Darstellung in einer Beikarte verbleibt der kommunalen Ebene zudem ein angemessener Ausgestaltungsspielraum. Durch möglichst verbindliche textliche Festlegungen in Kombination mit der räumlichen Konkretisierung kann innerhalb der benannten Raumkategorien eine sachgerechte Prüfung von Vorhaben gefordert sein, z. B. durch vertiefende und räumlich detaillierte

Fachgutachten zu den voraussichtlichen Auswirkungen auf die bestehenden Klima-ökologischen Funktionen.

Die regional bedeutsamen Klimafunktionen eignen sich insbesondere auch für eine angemessene Abwägung im Zuge von Planverfahren, wie etwa bei der Änderung oder Fortschreibung des Regionalplans. Die Informationen und Hinweise dienen in diesem Zusammenhang dazu, die Verortung und konkrete Abgrenzung von Planungen und Maßnahmen mit den Erfordernissen des Klimawandels im Allgemeinen und klima-ökologischen Belangen im Besonderen abzugleichen und ggf. zu beeinflussen. Die konkrete Berücksichtigung der regional bedeutsamen Klimafunktionen kann dabei entweder bereits in Form eines Bausteins des gesamträumlichen Planungskonzepts sowie der Alternativenentwicklung erfolgen, oder aber im Zuge der Umweltprüfung, in der die Ergebnisse der Klimaanalyse als umfassende Datengrundlage für die zu erwartenden erheblichen Auswirkungen auf das Schutzgut Klima dienen können.

Die nach fachlichen Kriterien begründeten und zudem raumspezifisch abgeleiteten regional bedeutsamen Klimafunktionen können außerdem im Zuge von Raumordnungsverfahren zu raumbedeutsamen Plänen oder Projekten sowie bei raumordnerischen Stellungnahmen mit den Inhalten dieser Vorhaben überlagert und abgeglichen werden.

4.4 Weitere Handlungsfelder Klimaanpassung

Im Folgenden werden die Auswirkungen des Klimawandels auf weitere Handlungsfelder dargestellt, die auch für die Regionalplanung in Planungsraum Düsseldorf relevant sind. Da zu diesen Aspekten jedoch auch eigenständige, sektorale Fachbeiträge für die Regionalplanung erstellt werden (z. B. Landwirtschaft, Naturschutz und Landschaftspflege, Forstwirtschaft), werden an dieser Stelle nur einige wesentliche Aspekte angesprochen, um ein umfassenderes Bild der Herausforderungen bei der Anpassung an den Klimawandel in der Planungsregion Düsseldorf zu skizzieren. Für detaillierte Ausführungen wird u. a. auf die jeweiligen sektoralen Fachbeiträge verwiesen.

Wasserwirtschaft

Der in Kapitel 2 beschriebene Klimawandel im Planungsraum wird sich spürbar auf den natürlichen Wasserhaushalt auswirken. Es ist damit zu rechnen, dass die Veränderungen des Klimas alle relevanten Handlungsbereiche der Wasserwirtschaft beeinflussen werden.

Zu erwarten sind etwa häufiger auftretende Starkniederschläge, was entsprechend häufiger zu Überlastungen der Kanalsysteme und Sturzfluten in Siedlungsbereichen führen kann, verbunden mit Risiken für Menschen und 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 Reduzierung der Abflüsse und Belastung der Ableitungssysteme, zum Beispiel die Versickerung, Rückhaltung oder Nutzung von Niederschlagswasser sowie die Flächenentsiegelung in Ballungsräumen, sollten in Zukunft ergänzt werden durch möglichst flexiblere Bewirtschaftungsmöglichkeiten der vorhandenen Infrastruktur. Auch die Erstellung von

lokalen sowie regionalen Risikoanalyse- und Sturzflutgefährdungskarten ist zu prüfen und gegebenenfalls zu unterstützen. Vermehrt auftretende Starkregenereignisse können darüber hinaus im Planungsraum auch Abschwemmungen - v. a. auf landwirtschaftlich genutzten Flächen - bewirken, bei denen abbaubare Bodenbestandteile, Nährstoffe, Pflanzenschutzmittel oder Krankheitserreger in die Oberflächengewässer eingetragen werden. In gefährdeten Lagen sind daher Maßnahmen zur Reduzierung des Eintragsrisikos vorzusehen (u. a. Filter- und Pufferstreifen, Schaffung von Retentionsräumen etc.). Synergien bei der Bewirtschaftung von Niederschlagswasser können auch im Bereich der Hitze- und Trockenheitsprävention durch gezielte Verdunstungskühlung, Regenwasserrückhaltung und -nutzung und die Verbesserung des Mikroklimas durch die Stützung des lokalen Wasserhaushalts gehoben werden.

Auch wenn Nordrhein-Westfalen grundsätzlich ein wasserreiches Land ist, können länger andauernde und stärker ausgeprägte Hitze- und Trockenperioden lokal zu Wasserstresssituationen führen, was im Plangebiet zu neuen Herausforderungen und einem Anpassungsbedarf führen kann. So können beispielsweise Maßnahmen erforderlich werden, die den ungenutzten Wasserabfluss reduzieren und die Grundwasserneubildung unterstützen. Vor dem Hintergrund zunehmender konkurrierender Wasserbedarfsansprüche ist auch der Schutz nutzbarer Grundwasservorkommen für die öffentliche Wasserversorgung eine wichtige Aufgabe der Regionalplanung. Eine Verringerung der Grundwasserneubildung wirkt sich nicht nur auf das Grundwasserdargebot aus, sondern kann auch zu erhöhten Konzentrationen von Stoffen im Wasser führen. Maßnahmen zur Reduzierung der Einträge - z. B. Nitratauswaschung aus der Landwirtschaft oder Einträge aus undichten Abwasserkanälen - werden eine noch wichtigere Rolle spielen als jetzt.

Außerdem wird davon ausgegangen, dass saisonale Abflussänderungen in Oberflächengewässern (z. B. Abflusszunahme im Winter, Abflussabnahme im Sommer) Auswirkungen auf den Hochwasserschutz und die Gewässerbewirtschaftung haben können. Potenzielle Anpassungsmaßnahmen im Bereich des Hochwasserrisikomanagements 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 ertüchtigen oder neu zu errichten.

Naturschutz und Landschaftspflege

Die Lebensgrundlagen von Tieren und Pflanzen in der Planungsregion Düsseldorf werden auch durch den Wandel der klimatischen Verhältnisse beeinflusst. Dabei gibt es sowohl Arten, die durch Temperatur- und Niederschlagsveränderungen negativ beeinflusst werden, als auch solche, die von den Änderungen profitieren. 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 des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV 2010).

Dort wird - was sinngemäß auf den Planungsraum 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 (MKULNV 2010).

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 (MKULNV 2010).

Über diese Grundzüge hinausgehende, konkrete Hinweise und planerische Empfehlungen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels werden im Fachbeitrag des Naturschutzes und der Landschaftspflege des LANUK nach § 8 LNatSchG NRW dargestellt. Dieser wird durch Abteilung 2 des LANUK für in Aufstellung befindliche Regionalpläne erstellt.

Landwirtschaft

Der Landwirtschaft sowie dem Gartenbau kommt im Düsseldorf eine große Bedeutung zu. Knapp die Hälfte des Planungsraums wird landwirtschaftlich genutzt (LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NRW 2013). Die skizzierten Änderungen des Klimas sorgen zukünftig für wesentliche Veränderungen von landwirtschaftlichen Standorteignungen und haben Auswirkungen auf die 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. Dadurch könnten sich Anbauoptionen erweitern.

Auf der anderen Seite kann sich der für die Zukunft projizierte Rückgang der sommerlichen Niederschläge negativ auswirken (MKULNV 2011). Die erwartete Verringerung der Grundwasserneubildung und der damit verbundene Anstieg der Nitratreintragskonzentrationen führt zu einer erhöhten Notwendigkeit, die Nitratauswaschung zu reduzieren, z. B. durch dauerhafte Begrünung. Darüber hinaus bestehen für die Landwirtschaft durch den Klimawandel weitere mögliche Risiken: Die milder werdenden Winter werden Schädlingen und Krankheiten (z. B. Pilzkrankheiten) insgesamt bessere Überlebenschancen ermöglichen und die Ausbreitung neuer und potenziell schädlicher 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. Durch optimierte Bewässerungssysteme und Maßnahmen zum Wasserrückhalt in der Fläche müssen die verfügbaren Wasserressourcen effizienter genutzt werden.

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 oder die Nutzpflanzen auf den landwirtschaftlichen Flächen angeht. Die Regionalplanung kann dennoch die Voraussetzungen zur Sicherung und Anpassung der Leistungsfähigkeit von Agrarstandorten im Planungsraum auch vor dem Hintergrund des Klimawandels schützen. Mögliche planerische Ansätze wären die Ausweisung von Flächen mit besonders ertragreichen Böden, die sich als besonders robust gegenüber Klimaänderungen erweisen und demnach für die Landwirtschaft sehr gut geeignete Flächen darstellen. 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

Die Auswirkungen des Klimawandels auf den Wald und die Forstwirtschaft sind im Plangebiet trotz eines vergleichsweise geringen Waldanteils von Relevanz. Große Teile des Planungsraums Düsseldorf zählen zum Bereich des Regionalforstamtes Niederrhein, der darüber hinaus auch den Kreis Wesel umfasst. Mit rund 17 % Waldanteil an der gesamten Fläche ist der Anteil von Waldflächen im Bereich des Regionalforstamtes Niederrhein geringer als in ganz NRW (ca. 27 %) und deutlich geringer als in den walddreichen Regionen des Landes. Die am stärksten vertretene Einzelbaumart im Bereich des Regionalforstamtes Niederrhein ist die Kiefer, dominierend sind jedoch Laubbaumarten mit etwa 64 %. Mehr als die Hälfte der Waldfläche im Bereich Niederrhein ist Privatwald (Landesbetrieb Wald und Holz NRW 2026). Darüber hinaus zählen der Kreis Mettmann und die kreisfreien Städte Remscheid, Solingen und Wuppertal zum Bereich des Regionalforstamtes Bergisches Land, der in seiner räumlichen Ausdehnung aber weit über die Planungsregion Düsseldorf hinaus geht. Aufgrund des geringen Waldflächenanteils in der Region sollten dem Schutz der bestehenden Wälder und den sich durch den Klimawandel ergebenden Herausforderungen grundsätzlich eine besondere Bedeutung beigemessen werden.

Anpassungsmaßnahmen im Bereich Waldökologie und Forstwirtschaft müssen auf die zu erwartenden Temperatur- und Niederschlagsveränderungen reagieren (z. B. verlängerte Vegetationszeit, vermehrter Trockenstress), aber auch vermehrte Schäden durch Stürme (Windbruch/-wurf), eine erhöhte Waldbrandgefahr und indirekte Effekte wie erhöhte Belastung durch Schadinsekten berücksichtigen. Insbesondere ist aufgrund der Auswirkungen des Klimawandels die Stabilität und die Anpassungsfähigkeit der Wälder zu erhöhen. Vor dem Hintergrund der Klimaanpassungsstrategie für den Wald und die Waldbewirtschaftung in Nordrhein-Westfalen (MKULNV 2015), den neuen Instrumenten für die Waldbewirtschaftung im Klimawandel (MLV 2025, MLV 2026B, MLV 2023) sowie dem Wiederbewaldungskonzept NRW (MLV 2024) werden hierfür insbesondere standortgerechte und strukturierte Mischbestände aus überwiegend heimischen Baumarten empfohlen. Auch die Verwendung von geeignetem forstlichen

Vermehrungsgut ist bedeutend. Es werden auch einige ausgewählte, in NRW nicht heimische Baumarten empfohlen (z. B. Weißtanne, Douglasie), überwiegend als Beimischungen (MLV 2023).

Die im Plangebiet vorkommenden Baumarten sind vor dem Hintergrund des Klimawandels auf ihre Standortgerechtigkeit zu prüfen. Hierzu liegen verschiedene Untersuchungen des Landesbetriebes Wald und Holz NRW vor. Das Internetportal Waldinfo.NRW (www.waldinfo.nrw.de; MLV 2026A) beinhaltet digitale Karten zur standörtlichen Eignung bedeutender Baumarten unter bisherigen Klimabedingungen und angesichts eines ausgewählten Szenarios zu Auswirkungen des Klimawandels (Schulte-Kellinghaus et al. 2020). Die regionalen und lokalen waldbaulichen Planungen sollten auf der Grundlage des neuen Waldbaukonzepts (MLV 2023), der Boden- und Standortkarten (Geologischer Dienst 2024) sowie der aktuellen Projektionen zu den Auswirkungen des Klimawandels in NRW weiterentwickelt werden. Für die Wiederbewaldung von Kalamitätsflächen beinhaltet das Wiederbewaldungskonzept NRW (MLV 2024) fachliche Empfehlungen.

5 Klima-fachliche Evaluierung des Regionalplans Düsseldorf

In diesem Kapitel werden zunächst grundsätzliche Steuerungsmöglichkeiten der Regionalplanung zum Klimaschutz sowie zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels beschrieben (Kapitel 5.1). Anschließend werden die Festlegungen des aktuellen Regionalplans Düsseldorf (RPD) untersucht, die Auswirkungen auf die Belange des Klimaschutzes und der Klimaanpassung haben oder durch diese begründet sind (Kapitel 5.2). In Kapitel 5.3 werden abschließend Empfehlungen zur Weiterentwicklung des Regionalplans Düsseldorf aus klima-fachlicher Perspektive gegeben.

5.1 Regionalplanerische Steuerungsmöglichkeiten zum Klimaschutz und zur Anpassung an den Klimawandel

Die Analyse der klimatischen Veränderungen in der Planungsregion Düsseldorf zeigt einen Anstieg der Temperaturen, sowie eine Verschiebung saisonaler Niederschlagsmuster. Durch die Veränderung des Klimas ist zudem eine Zunahme von Extremwetterereignissen zu erwarten, verbundenen mit Überflutungen durch Starkregen und Hochwasser an Fließgewässern. Ebenso muss mit zunehmenden Hitzeereignissen im Sommer sowie vermehrten Dürreperioden gerechnet werden (Kapitel 2).

Der überörtliche Umgang mit Starkregen, Hitze in Siedlungsbereichen und Wassermangellagen wird auch die Raumordnung zukünftig konzeptionell und instrumentell stärker fordern (BBSR 2023). Die Transformation hin zu klimafreundlichen Energieversorgungssystemen bleibt zudem eine dauerhafte und dynamische Aufgabe der Raumordnung. Diese Herausforderungen sind geprägt von den räumlichen Gegebenheiten und Betroffenheiten in der Region. Die Raumordnung ist dabei als Schlüsselinstrument für die Umsetzung von Klimaschutz und Klimaanpassung zu sehen (BBSR 2025).

Im Folgenden werden sowohl für den Bereich Klimaschutz als auch für den Bereich Klimaanpassung zentrale Aufgaben- und Handlungsbereiche der Regionalplanung sowie mögliche Festlegungen beschrieben. Hierbei handelt es sich um allgemeine Strategien und Maßnahmen, deren fachliche Notwendigkeit vor dem Hintergrund der konkreten räumlichen Gegebenheiten zu prüfen ist. Nicht betrachtet werden Themenfelder, die keine Relevanz für den Planungsraum aufweisen (z. B. Küstenschutz, alpine Klimaanpassung).

Regionalplanerische Steuerungserfordernisse und -möglichkeiten zur Berücksichtigung der Belange des Klimawandels sind u. a. in mehreren Vorstudien des Bundes erarbeitet (KlimaMORO, KlimREG) und durch die Ministerkonferenz für Raumordnung (MKRO) begleitet. Der Bericht „Klimawandel und Energiewende raumverträglich gestalten“ des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR 2025), die Vorbereitungsstudie zum Raumordnungsbericht „Klimawandel und Energiewende gestalten“ (BBSR 2023) sowie die „Handlungshilfe Klimawandelgerechter Regionalplan“ des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI 2017) dienen als Grundlage für die Zusammenfassung der nachfolgend aufgeführten regionalplanerischen Handlungsmöglichkeiten. Für eine vertiefende Auseinandersetzung mit einzelnen Strategien und Maßnahmen, Analysen zu deren Umsetzung in Raumordnungsplänen sowie konkrete Praxis-Beispiele wird auf die Veröffentlichungen des BBSR verwiesen.

5.1.1 Klimaschutz

Im Bereich des Klimaschutzes lassen sich zwei wesentliche Bereiche unterscheiden: Dies sind einerseits Strategien und Maßnahmen, die zur **Reduktion von Treibhausgasemissionen** beitragen, z. B. durch den Ausbau erneuerbarer Energien, der Netze und Anlagen zur Energiespeicherung, oder durch klimafreundliche Siedlungsstrukturen. Andererseits trägt auch die **Bindung von Treibhausgasen**, z. B. durch den Erhalt und die Schaffung von natürlichen Kohlenstoffspeichern, zum Klimaschutz bei.

Reduktion von Treibhausgasemissionen

Zur Reduktion von Treibhausgasemissionen, insbesondere CO₂, können in der Regionalplanung Festlegungen zum Ausbau der erneuerbaren Energien getroffen werden. Dazu können Flächen ausgewiesen werden, die für die Errichtung von Anlagen zur Strom- und Wärmeproduktion aus regenerativen Energiequellen vorzusehen sind. Ebenso können Festlegungen für den notwendigen Netzausbau getroffen werden, z. B. durch die Sicherung von Korridoren für den Ausbau der Stromtrassen, für Umspannwerke oder Konverteranlagen (BBSR 2025).

Für den geordneten Ausbau der Windenergie können Flächen als Vorranggebiete, bzw. als Beschleunigungsgebiete, festgelegt und planungsrechtlich gesichert werden. Zusätzlich zur Ausweisung neuer Flächen, die für die Nutzung durch Windenergie vorgehalten werden sollen, können für bestehende Standorte Höhenbeschränkungen ausgeschlossen und diese somit für das Repowering gesichert werden. Für den Ausbau der Freiflächen-Photovoltaik besteht ebenfalls die Möglichkeit zur Ausweisung von Vorranggebieten im Regionalplan. Der Ausbau der Solarenergie, über die in § 35 BauGB definierten Bereiche hinaus, kann auf diese Art raumverträglich gesteuert werden. Darüber hinaus können Festlegungen getroffen werden, dass Flächen für den Ausbau von erneuerbaren Energien mehrfach genutzt werden können, z. B. durch Freiflächen-Solarenergieanlagen oder Batteriespeicher in Windenergiebereichen (BBSR 2025).

Weiterhin kann auf Ebene der Regionalplanung auch die Förderung des Ausbaus von Wasserstoff- und LNG-Infrastruktur (Flüssiggas) erfolgen, indem Festlegungen zu Standorten für die Produktion, Speicherung und den Transport von Wasserstoff (Standorte für Elektrolyseure, ggf. unterirdische Speicher, Korridore für Leitungstrassen) getroffen werden (BBSR 2025).

Zudem können Festlegungen zu flächen-, energiesparenden und verkehrsreduzierenden Siedlungsstrukturen getroffen werden. Dabei können Vorgaben zur Flächeninanspruchnahme und zur Siedlungsdichte erfolgen. Durch eine kompakte Siedlungsstruktur und einen flächensparenden Umgang mit der Ausweisung von neuen Siedlungsbereichen können die Funktionen des Freiraums, z. B. für die Kaltluftentstehung und als Retentionsflächen, geschützt werden. Mögliche Festlegungen beinhalten z. B. den Vorrang der Innenentwicklung, die Revitalisierung von Brachflächen, ein Monitoring des Flächenbedarfs sowie die bedarfsgerechte Ausweisung neuer Siedlungs- und Gewerbeflächen (BBSR 2025).

Reduktion von Treibhausgasemissionen

→ Ausbau der erneuerbaren Energien und der Netze

- Festlegungen von Flächen zur Errichtung von Windenergieanlagen
- Festlegungen von Flächen zur Errichtung von Freiflächen-Solarenergieanlagen
- Festlegungen zu Standorten für die Produktion und Speicherung von Wasserstoff
- Festlegungen zur Sicherung von Korridoren für den Ausbau von Stromtrassen
- Festlegungen zur Sicherung von Leitungstrassen für den Transport von Wasserstoff

→ Flächen-, energiesparende und verkehrsreduzierende Siedlungsstrukturen

- Festlegungen zu Flächeninanspruchnahme und Siedlungsdichte

Quelle: BBSR (2025)

Bindung von Treibhausgasen

Zur Bindung von Kohlenstoffdioxid (CO₂) können Festlegung zum Erhalt und zur Schaffung von natürlichen Kohlenstoffspeichern, wie z. B. Wäldern und Mooren, getroffen werden. Dabei können in der Regionalplanung Gebiete für den Schutz und den Erhalt von Mooren sowie die Renaturierung entsprechender Böden festgelegt werden. In den Festlegungen können Maßnahmen zum Erhalt und zur Wiederherstellung von Mooren und Grünland, sowie von Feuchtgebieten und sonstigen kohlenstoffreichen Böden benannt werden, insbesondere Maßnahmen zur Wiedervernässung von Mooren (BBSR 2025).

Weiterhin kann die Schaffung und der Erhalt von Kohlenstoffspeichern durch Aufforstung und weitere Bepflanzungen erfolgen. Hierzu können in der Regionalplanung Vorranggebiete zur Waldmehrung ausgewiesen werden, um eine generelle Vergrößerung des Waldanteils zu erzielen. Dabei sollten klimaresiliente Pflanzungen und Baumarten gewählt werden, die hitzebeständiger und auch bei Trockenheit und Sturm widerstandsfähiger sind. Im Rahmen eines nachhaltigen Waldumbaus können bestehende Wälder sukzessiv an die Erfordernisse des Klimawandels angepasst werden und langfristig als CO₂-Speicher fungieren (BBSR 2025).

Grundsätzlich kann durch eine extensive Landnutzung bzw. landwirtschaftliche Bewirtschaftung dauerhaft mehr Kohlenstoff (CO₂) im Erdboden gespeichert werden. In Festlegungen, die der Sicherung von Grünland, Grünzäsuren sowie des Freiraums dienen, können entsprechende Hinweise zu extensiver Bodenbearbeitung aufgenommen werden, um eine Bodenverdichtung zu verhindern.

Bindung von Treibhausgasen

→ Erhalt und Schaffung von natürlichen Kohlenstoffspeichern

- Festlegungen zur Flächensicherung natürlicher Kohlenstoffspeicher (Moore, Wälder)
- Festlegungen zum Schutz, Erhalt und Wiedervernässung von Mooren
- Festlegungen zu Flächen für Waldmehrung, Aufforstung und Bepflanzung
- Festlegungen zu klimaresilientem Waldumbau
- Festlegungen zu extensiver Landnutzung und landwirtschaftlicher Bodenbearbeitung

Quelle: BBSR (2025)

5.1.2 Klimaanpassung

Im Bereich der Klimaanpassung können für die Regionalplanung im Planungsraum Düsseldorf aufgrund der in Kapitel 2 beschriebenen Veränderungen des Klimas sowie der räumlichen Struktur des Planungsraums drei wesentliche Aufgaben- bzw. Handlungsbereiche identifiziert werden: **Überflutungen** aufgrund von Hochwasser oder Starkregen, **Hitzebelastung und Kaltlufthaushalt** sowie **Trockenheit / Dürre**.

Überflutungen (Hochwasser / Starkregen)

Die klimatischen Veränderungen in der Planungsregion sind mit einer Verschärfung von Hochwasserrisiken verbunden. Häufigere und intensivere Starkregenereignisse, die lokal zu Hochwasser, Sturzfluten und Überschwemmungen führen können, werden mit zunehmender Klimaerwärmung wahrscheinlicher. Dabei geht der Deutsche Wetterdienst davon aus, dass es zukünftig häufiger zu intensiveren Starkregenereignissen kommen kann, die auch großflächiger auftreten (DWD 2021). Zudem haben saisonale Veränderungen bei den Niederschlägen Auswirkungen auf die Fließgewässer.

Die Vorsorge gegenüber Überflutungen aufgrund von Hochwasser und Starkregenereignissen ist wegen des Flächenbezugs und der überörtlichen Bedeutung eine wichtige Aufgabe der Regionalplanung. Die Hochwasservorsorge an Fließgewässern ist dabei in der Raumordnung etabliert, bislang insbesondere durch die Sicherung von Überschwemmungsbereichen als Retentionsraum. Vor dem Hintergrund des Klimawandels können zukünftig weitere Festlegungen erforderlich werden, wie die Rückgewinnung von Retentionsräumen, die Verbesserung des Wasserrückhalts in der Fläche sowie ein regionales Starkregenrisikomanagement (BBSR 2023). Dabei sollte auch Überflutungen aufgrund von Starkregenereignissen vorsorglich begegnet werden, die auch abseits von Fließgewässern (z. B. in Senken) ein großes Schadenspotenzial aufweisen können. Kritische Infrastruktur und andere sensible Nutzungen sind dabei besonders zu schützen.

Beim Hochwasserschutz übernimmt die Wasserwirtschaft als Fachplanung eine zentrale Rolle. Die Regionalplanung kann die Fachplanung jedoch unterstützen und eigene Impulse setzen, um mögliche Gefahren zu vermeiden (BBSR 2025). Zu Sicherung von Flächen, die bei Starkregen und Hochwasser überflutet werden, sind festgesetzte Überschwemmungsgebiete gemäß § 76 Wasserhaushaltsgesetz (WHG) im Regionalplan als Überschwemmungsbereiche zu sichern. Darüber hinaus können Hochwasserrisikogebiete gemäß § 78b WHG gesichert werden, z. B. als Vorbehaltsgebiete (BBSR 2023). Vorhandene Retentionsräume sollten erhalten werden. Weiterhin kann klarstellend festgelegt werden, dass Bauleitplanung in den Bereichen nur zum Erhalt oder zur Anpassung von Bestandsbebauung bzw. vorhandener Ortsteile mit entsprechenden Festsetzungen zu hochwasserangepasster Bauweise erfolgen sollte. Dabei sind mögliche Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten zu berücksichtigen, sowie dafür Sorge zu tragen, dass bei Überflutung in den betroffenen Bereichen kein Eintrag von wassergefährdenden Stoffen erfolgt. Besonders schützenswerte Nutzungen, wie z. B. Krankenhäuser, Pflegeeinrichtungen sowie sonstige kritische Infrastruktur und Störfallbetriebe, können auf Ebene der Bauleitplanung ausgeschlossen werden (BMVI 2017).

Im Regionalplan können zudem Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für den Hochwasserabfluss, den Rückhalt von Niederschlagswasser und zur Verhinderung von Bodenerosion festgelegt werden. Maßnahmen und Nutzungen innerhalb der festgelegten Bereiche, die eine

Überflutung verstärken oder zu einer negativen Beeinträchtigung des Wasserabflusses und -rückhalts führen, können ausgeschlossen werden. Zudem können Maßnahmen zum Ausgleich für entfallene Retentionsflächen festgelegt werden (BMVI 2017). Weiterhin können Festlegungen getroffen werden, die nicht nur dem Erhalt, sondern auch der Rückgewinnung von überfluteten Bereichen dienen (BBSR 2023).

Die Abgrenzung von Flächen, die dem Erhalt und der Verbesserung des (Niederschlags-)Wasserrückhalts in Hochwasserentstehungsgebieten bzw. im Einzugsgebiet von Flüssen dienen, kann anhand entsprechender Bodenkarten erfolgen. Für Flächen mit hoher Hangneigung, und dadurch besonders hoher natürlicher Erosionsgefahr durch Wasser, sowie für Böden mit geringem Wasserrückhaltevermögen können Aufforstungen festgelegt werden. Gleichzeitig können schützenswerte Böden mit besonders hohem Wasserrückhaltevermögen durch entsprechende Festlegungen gesichert werden (BMVI 2017).

Zur Verbesserung des Wasserrückhalts in den von Überflutung gefährdeten Bereichen sowie im Einzugsgebiet von Gewässern können Festlegungen zur Art der Flächennutzung getroffen werden. Beispielsweise können solche Bereiche als Freiraum oder als Waldfläche festgelegt werden (BBSR 2023). Bepflanzung und Vegetation, z. B. Waldflächen, tragen dazu bei, den Rückhalt von Niederschlagswasser zu erhöhen, den Wasserabfluss zu verringern und Bodenerosionen zu vermindern. Zusätzlich zu Festlegungen zur Aufforstung in diesen Gebieten können auch Nutzungen ausgeschlossen werden, die einen stärkeren Wasserabfluss von Niederschlag hervorrufen und zu Bodenerosionen führen können. Hier können zum Beispiel großflächige Bodenversiegelungen, Rodung von Waldflächen und Vegetationsbeständen sowie Bodenverdichtung zu einer Beeinträchtigung des Wasserrückhaltevermögens führen.

Zur Sicherung der Leistungs- und Funktionsfähigkeit von kritischer Infrastruktur können Maßnahmen zum Schutz dieser ergriffen werden (z. B. Deiche oder andere technische Bauwerke). Durch die Rücknahme von anderen Nutzungen und Festlegungen im Regionalplan können Flächen in diesen Bereichen gesichert werden, insbesondere wenn es sich um Reserveflächen handelt und die Nutzung noch nicht umgesetzt wurde.

Der Umgang mit Niederschlagswasser fällt zwar grundsätzlich in den kommunalen Zuständigkeitsbereich, großräumig auftretende Starkregenereignisse führen jedoch zunehmend zu einem überörtlichen Handlungsbedarf, der eine regionalplanerische Risikovorsorge erforderlich macht. So werden mehr Flächen für den Rückhalt und die Versickerung des anfallenden Niederschlagswasser benötigt werden, regionale Starkregenanalysen und regionale Retentionsraumkonzepte gewinnen an Bedeutung (BBSR 2023).

Bereiche mit hohem Schutzbedarf oder hohem Schadenspotenzial können mit Hilfe von Hochwasserrisikokarten oder Starkregengefahrenhinweiskarten ermittelt werden. Für NRW existiert eine Starkregengefahrenhinweiskarte des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie (BKG), die aufzeigt wie sich Starkregenereignisse außerhalb von Fließgewässern auswirken können. Dabei werden an Hand von Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten räumlich konkret die Auswirkungen von zwei Szenarien dargestellt: Seltener Starkregen mit einer lokalen Wiederkehrzeit von 100 Jahren und Extremer Starkregen mit 90 mm Niederschlag in einer Stunde (BKG 2026). Die Starkregengefahrenhinweiskarte des BKG ist im Klimaatlas NRW integriert.

Hochwasserentstehungsgebiete nach § 78d WHG sind Flächen mit hohen Niederschlägen und schnellen Abflüssen, in denen bei Starkregenereignissen oberirdische Abflüsse entstehen

können, die in kurzer Zeit zu Überflutungen führen können. An entsprechende wasserrechtliche Festsetzungen können zeichnerische Festlegungen im Regionalplan anknüpfen (BBSR 2023).

Bei der Bemessung von Anlagen zum Hochwasserschutz und der Bemessung von Überschwemmungsgebieten sollten die erwarteten Folgen des Klimawandels berücksichtigt und bei Bedarf ein entsprechender Klimaänderungsfaktor einbezogen werden. Die Stärkung der Hochwasservorsorge sollte dabei auch die Einzugsgebiete von kleinen Fließgewässern berücksichtigen (BBSR 2025).

Überflutungen (Hochwasser / Starkregen)

→ Erhalt und Rückgewinnung von überfluteten Bereichen als Retentionsraum

- Festlegung von Überschwemmungsgebieten sowie Hochwasserrisikogebieten als Überschwemmungsbereich
- Festlegung von Flächen für den Hochwasserabfluss und -rückhalt bzw. für die Freihaltung potenzieller Retentionsflächen
- Festlegungen zur Rücknahme anderer Nutzungen in Überflutungsbereichen
- Festlegungen zum Schutz kritischer Infrastruktur sowie besonders schützenswerter Nutzungen in Überflutungsbereichen
- Festlegungen zu Maßnahmen des technischen Hochwasserschutzes

→ Verbesserung des Wasserrückhalts im Einzugsgebiet der Flüsse

- Festlegungen zu Art und Intensität der Flächennutzung (z. B. Waldnutzung, Versiegelung) sowie Ausschluss von Nutzungen, die das Wasserrückhaltevermögen beeinträchtigen
- Festlegungen von Flächen zum Rückhalt von Niederschlagswasser, Verhinderung von Erosionen und Verringerung des Wasserabflusses
- Festlegungen zu Aufforstung und Bepflanzung

→ Weitere Festlegungen zum vorsorglichen Überflutungsschutz

- Regionales Starkregenisikomanagement
- Abstimmung zwischen Ober- und Unterlieger
- Integriertes Hochwasserrisikomanagement

Quelle: BBSR (2023, 2025), BMVI (2017)

Hitzebelastung und Kaltlufthaushalt

Aufgrund des Klimawandels werden sommerliche Hitzewellen zukünftig voraussichtlich häufiger auftreten, länger andauern und auch mit höheren Maximaltemperaturen einhergehen. Da für diesen Bereich keine spezifische Fachplanung existiert, kann die Raumordnung hier eine Auffangfunktion erfüllen (BBSR 2025). Zur Vorsorge gegen Hitzebelastungen können auf Ebene der Regionalplanung Festlegungen getroffen werden, die zum Schutz der Bevölkerung vor Hitzefolgen beitragen.

Zentrale Maßnahmen hierbei sind Festlegungen zum Schutz von klimawirksamen Freiräumen. Flächen, die der Kaltluftentstehung sowie dem Kaltluftaustausch dienen, können beispielsweise als Regionale Grünzüge gesichert werden. Darüber hinaus können klima-ökologische Ausgleichsräume, die besondere Klimafunktionen aufweisen, auch als monofunktionale Vorrang- bzw. Vorbehaltsgebiete festgelegt werden (BBSR 2023).

Für Gebiete im Freiraum, die der Kaltluftentstehung dienen, kann dabei u. a. festgelegt werden, dass diese von großflächiger Versiegelung und abriegelnder Bebauung sowie emittierenden Anlagen freizuhalten sind. In Kaltluftleitbahnen können zudem potenziell abriegelnde Aufforstungen im Abflussbereich der Kaltluft ausgeschlossen werden (BMVI 2017). Regionale Klimamodellierungen, die klima-ökologische Prozesse und Zusammenhänge räumlich konkret darstellen, können als Grundlage für entsprechende Festlegungen dienen. (BMVI 2017.) Eine solche Modellierung liegt mit der Klimaanalyse NRW 2026 für den Planungsraum vor (Kapitel 4).

Im Regionalplan kann darüber hinaus festgelegt werden, dass Kaltluftentstehungsgebiete sowie Kaltluftleitbahnen in der Bauleitplanung zu berücksichtigen sind (BBSR 2023). Entsprechende zeichnerische Darstellungen können im Flächennutzungsplan der jeweiligen Kommune, ggf. auch nur nachrichtlich, aufgenommen werden. In der verbindlichen Bauleitplanung können Kaltluftleitbahnen insbesondere bei Neuplanungen beachtet werden, z. B. bei Arrondierungen am Siedlungsrand, bei denen die Kaltluft aus dem Freiraum möglichst weit in das Stadtgebiet hineinfließen soll. Darüber hinaus kann im Siedlungsgefüge durch eine offene Bauweise, begrünte Dächer sowie Entsiegelungs- und Begrünungsmaßnahmen auf eine Reduzierung der Hitzebelastung hingewirkt werden. Die Darstellung von thermischen Belastungsgebieten im Siedlungsbereich bietet dafür eine Informationsgrundlage nach der die Betroffenheit der jeweiligen Bereiche aufgezeigt und die entsprechenden Maßnahmen getroffen werden können.

Hitzebelastung und Kaltlufthaushalt

→ Schutz von überörtlich bedeutsamen Gebieten mit besonderer Klimafunktion

- Festlegungen zu Ausgleichsflächen und Luftaustauschflächen
- Festlegungen zu regionalen Grünzügen und Grünzäsuren
- Festlegungen zu Kaltluftentstehungsgebieten
- Festlegungen zu Kaltluftleitbahnen
- Festlegungen zu Aufforstung und Bepflanzung (sowie Ausschluss von Aufforstungen)

Quelle: BBSR (2023, 2025), BMVI (2017)

Trockenheit / Dürre

Extreme Dürreperioden in den vergangenen Jahren haben deutlich gemacht, dass in Zukunft der schonende Umgang mit Wasserressourcen und der Grundwasserschutz an Bedeutung gewinnen werden. Durch den zu erwartenden weiteren Temperaturanstieg sowie Niederschlagsdefizite im Sommer ist auch zukünftig vermehrt mit anhaltenden Trockenperioden zu rechnen. Es kann nicht mehr von einer ganzjährig ausreichenden Verfügbarkeit von Wasser ausgegangen werden. Daher sollte zum vorsorglichen Umgang mit Wasserknappheit und Dürre eine möglichst frühzeitige Einbindung der wasserwirtschaftlichen Fachplanung in die Prozesse der Regionalplanung erfolgen. Hierbei ist die Koordinierung der Instrumente von Wasserwirtschaft und Raumordnung erforderlich (BBSR 2023). Angesichts des fehlenden bodenrechtlichen Kompetenztitels der Raumordnung betrifft dies vor allem Festlegungen zu raumbedeutsamen Planungen und Maßnahmen und deren Lokalisierung, z. B. die Steuerung wasserverbrauchender sowie die Grundwasserqualität beeinträchtigender Flächennutzungen (BBSR 2025).

Die Begriffe Trockenheit und Dürre beschreiben unterschiedliche Phänomene. Trockenheit (oder „Aridität“) wird auf Basis der langjährigen mittleren Wasserverfügbarkeit bestimmt (negatives Verhältnis von wenig Niederschlag zu mehr Verdunstung). Dürren sind zeitlich begrenzte Extremereignisse mit unterdurchschnittlicher Wasserverfügbarkeit. Sie sind großräumig, meist anhaltend und häufig mit weiteren negativen Auswirkungen verbunden (BMLEH 2026). Grundlegende Maßnahmen im Hinblick auf den Umgang mit Dürre und Trockenheit sind die vorsorgliche Sicherung des Wasserdargebotes und die Vermeidung von Nutzungskonflikten mit dem Grundwasserschutz (BBSR 2023).

Durch die Festlegung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten zum Oberflächen- und Grundwasserschutz im Regionalplan können bestimmte raumbedeutsame Vorhaben und Maßnahmen, wie z. B. besonders intensive Wassernutzung, in schutzbedürftigen Bereichen ausgeschlossen werden (BBSR 2025). Beeinträchtigungen oder Gefährdungen der Wassergüte und Wassermenge sollen dadurch verhindert werden. Die Abgrenzung der Gebiete kann anhand der bereits festgesetzten Wasserschutzgebiete gemäß § 51 WHG erfolgen (Vorranggebiete), und an Hand der noch in Planung befindlichen Wasserschutzgebiete (Vorbehaltsgebiete). Die Ausweisung von Vorrang und Vorbehaltsgebieten für den Grundwasserschutz in der Regionalplanung ist vor dem Hintergrund des Klimawandels an die geänderten Grundwasserverhältnisse anzupassen (BBSR 2025). Bei Eingriffen in den Boden, z. B. durch Bauvorhaben, ist nachzuweisen, dass keine qualitative oder quantitative Beeinträchtigung der Wasservorkommen erfolgt. Verminderungs-, Vermeidungs- und Ausgleichsmaßnahmen sind zu ergreifen (BMVI 2017).

Weiterhin können auch Festlegungen zur Erhöhung der Grundwasserneubildung sowie zur Wiederaufbereitung und Nutzung von Brauchwasser getroffen werden (BBSR 2023). Es können Regelungen zu einer vorausschauenden Steuerung des Wasserverbrauchs aufgenommen werden, die darauf hinwirken sollen, schonend und sparsam mit den vorhandenen Wasserressourcen umzugehen. Ebenso können wasserintensive Nutzungen in bestimmten Bereichen, die von Trockenheit besonders betroffen sind, ausgeschlossen sowie auf geeignetere Bereiche gelenkt werden (BMVI 2017).

Darüber hinaus können im Regionalplan Festlegungen zur Erhöhung der Wasserspeicherfähigkeit der Böden, z. B. Bepflanzungen und Aufforstungen, getroffen werden. Es können ebenso Festlegungen zur sparsamen Nutzung von Grund und Boden getroffen werden, die

grundsätzlich die Versiegelung verringern, der Verbesserung des Wasserhaushalts dienen und so dazu beitragen, Dürre und Wasserknappheit vorsorglich zu begegnen (BBSR 2023). Zudem können bei Bedarf im Regionalplan Standorte für neue Trinkwassertalsperren gesichert werden.

Im Regionalplan können allgemeine Grundsätze festgelegt werden, die auf die Sicherung der Wasserressourcen in der Bauleitplanung hinwirken. Durch Festsetzungen zur Intensität und Art der Bodennutzung, wie z. B. dem Versiegelungsgrad und der Bepflanzung, kann hier der oberirdische Abfluss von Niederschlagswasser verlangsamt und reduziert werden (BMVI 2017).

Um den in Zukunft voraussichtlich vermehrt auftretenden sommerlichen Dürreperioden Rechnung zu tragen, können Festlegungen zum Schutz vor Waldbränden getroffen werden, wie z. B. Waldbrandschutzstreifen (BBSR 2023). Weitere Maßnahmen, die der Waldbrandbekämpfung beziehungsweise -eindämmung dienen, sind z. B. der Betrieb von Überwachungssystemen für besonders gefährdete Gebiete, der Bau von Feuerwachtürmen oder die Anlage von Löschteichen (BBSR 2025).

Darüber sind auch Anpassungsstrategien für die Land- und Forstwirtschaft von Bedeutung. Durch Anpassung der Landnutzung (Nutzpflanzen mit geringerem Wasserbedarf, veränderte Kultivierungsabfolge) sowie durch klimaresiliente Pflanzungen bei Aufforstung im Rahmen eines sukzessiven Waldumbaus, kann eine Anpassung an die Erfordernisse des Klimawandels erfolgen. Der Kompetenztitel der Raumordnung zur Beeinflussung der land- und forstwirtschaftlichen Bodennutzung ist jedoch sehr beschränkt (BBSR 2025).

Trockenheit / Dürre

→ Schutz ober- und unterirdischer Wasservorkommen

- Festlegungen zur Verhinderung von Grundwasser- und Gewässerbeeinträchtigungen
- Festlegungen zum Ausschluss von verunreinigenden Nutzungen
- Festlegungen zu festgesetzten und geplanten Wasserschutzgebieten
- Festlegungen zu Eingriffen in den Boden (Verminderungs-, Vermeidungs- und Ausgleichsmaßnahmen)

→ Sicherung von Wasserressourcen

- Festlegungen zur Erhöhung der Grundwasserneubildung
- Festlegungen zur Wiederaufbereitung und Nutzung von Brauchwasser
- Festlegungen zur Erhöhung der Wasserspeicherfähigkeit der Böden
- Festlegungen zur Bodenbearbeitung in der Landwirtschaft
- Steuerung von Art und Intensität der Flächennutzung

→ Schutz vor Waldbränden

- Festlegungen zu Waldbrandschutzstreifen, Löschteichen, Feuerwachtürmen

Quelle: BBSR (2023, 2025), BMVI (2017)

5.2 Bestehende Festlegungen zum Klimaschutz und zur Klimaanpassung im Regionalplan Düsseldorf

In diesem Kapitel erfolgt eine Auswertung des aktuellen Regionalplans Düsseldorf (Stand: 18.07.2025) und der bestehenden Festlegungen, die Auswirkungen auf die Belange des Klimaschutzes und der Klimaanpassung haben, oder durch diese begründet sind. Diese klimafachliche Evaluierung des geltenden Regionalplans Düsseldorf wurde von der Regionalplanungsbehörde beim LANUK im Rahmen der Erarbeitung des Fachbeitrags Klima erbeten.

Für eine erste systematische Auswertung und eine möglichst übersichtliche Darstellung werden, aufbauend auf der Analyse regionalplanerischer Steuerungsmöglichkeiten in Kapitel 5.1, zunächst zentrale Handlungsfelder zusammengefasst. Dies sind für den Bereich Klimaschutz die Handlungsfelder *Erneuerbare Energien, Netze und Speicher, Kohlenstoffspeicher* und *Mobilität* sowie im Bereich Anpassung an die Folgen des Klimawandels die Handlungsfelder *Hitzebelastung und Kaltlufthaushalt, Überflutungen, Trockenheit / Dürre* und zusammenfassend *Wald, Forst- und Landwirtschaft, Natur- und Artenschutz* (Tabelle 53).

Tabelle 53: Zentrale Handlungsfelder Klimaschutz / Klimaanpassung

1	Klimaschutz: Erneuerbare Energien
2	Klimaschutz: Netze und Speicher
3	Klimaschutz: Kohlenstoffspeicher
4	Klimaschutz: Mobilität
5	Klimaanpassung: Hitzebelastung und Kaltlufthaushalt
6	Klimaanpassung: Überflutungen (Hochwasser / Starkregen)
7	Klimaanpassung: Trockenheit / Dürre
8	Klimaanpassung: Wald, Forst- und Landwirtschaft, Natur- und Artenschutz

Tabelle 54 stellt in einer Übersicht die textlichen Festlegungen des Regionalplans Düsseldorf mit Relevanz für die Belange von Klimaschutz und Klimaanpassung und den Bezug zu den genannten zentralen Handlungsfeldern dar. In der Tabelle werden das jeweilige Kapitel des RPD sowie die entsprechenden Grundsätze (G) bzw. Ziele (Z) aufgeführt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die vielschichtigen und interdisziplinären Themenfelder Klimaschutz und Klimaanpassung zahlreiche mittelbare und unmittelbare Bezüge zu vielen anderen fachlichen Themenfeldern und damit auch zu zahlreichen Festlegungen im RPD aufweisen. Die Übersicht hat daher nicht den Anspruch, tatsächlich alle relevanten Zusammenhänge vollständig und abschließend erfassen und darstellen zu können.

Tabelle 54: Festlegungen im Regionalplan Düsseldorf mit Bezug zu zentralen Handlungsfeldern Klimaschutz / Klimaanpassung

Kapitel	G/Z	Gegenstand der Festlegung	Handlungsfelder Klimaschutz / Klimaanpassung							
			1	2	3	4	5	6	7	8
Klimaschutz und Klimaanpassung (2.3.1)	G1	Allgemeine Vorgaben zur Berücksichtigung der Erfordernisse des Klimawandels durch Maßnahmen zum Klimaschutz und der Klimafolgenanpassung	x	x	x	x	x	x	x	x
Klimaökologische Ausgleichsräume (2.3.2)	G1	Sicherung der Funktionsfähigkeit raumbedeutsamer klima-ökologischer Ausgleichsräume, Verhinderung von Barrierewirkungen in Ventilations-schneisen und Luftaustauschgebieten, Verzicht auf kartographische Abgrenzung klima-ökologischer Ausgleichsräume, Verweis auf ehemalige Erläuterungskarte Klima des GEP99					x			
Siedlungsbereiche entwickeln, Freiraum schützen (3.1.1)	Z1	Konzentration der Siedlungsentwicklung auf den Siedlungsraum, u. a. zur Verkehrsvermeidung und Sicherung des zusammenhängenden Freiraums				x	x			x
Verantwortungsvolle Flächeninanspruchnahme (3.1.2)	Z2	Konzentration der Siedlungsentwicklung auf den Siedlungsraum. Ziel: Innenentwicklung vor Außenentwicklung, Ausnahmen unter bestimmten Voraussetzungen im Rahmen des Flächentausches möglich. Benennung der klima-ökologischen Funktion als Begründung für ausnahmsweise Umwandlung eines Innenpotenzials in Freifläche im Rahmen des Flächentausches				x	x			x
Verantwortungsvolle Flächeninanspruchnahme (3.1.2)	G1	Flächenintensive Kompensationsmaßnahmen im Freiraum, nicht auf landwirtschaftlichen Flächen. Ausnahmsweise im Siedlungsbereich, z. B. aus stadtklimatischen Gründen					x			x
Bereiche für Gewerbe und Industrie (GIB und ASB-GE) (3.3.1)	G2	Etablierung von „Zero-Emission-Clustern“, Gewerbestandorte sollen Unternehmen vorbehalten bleiben, die ebenfalls das Ziel „Zero-Emission“ anstreben	x	x		x				
Freiraumschutz und Freiraumentwicklung (4.1.1)	G1	Erhalt und Entwicklung von Freiraumbereichen			x		x	x	x	x
Freiraumschutz und Freiraumentwicklung (4.1.1)	G2	Bei Planungen und Maßnahmen im Freiraumbereich ist die Schutzwürdigkeit der Böden bei der Standortwahl zu berücksichtigen. Erhalt klima-relevanter Böden, Vermeidung und Minimierung von Trenn-, Zerschneidungs- und Barrierewirkungen			x			x	x	x
Freiraumschutz und Freiraumentwicklung (4.1.1)	G3	Freihaltung und Schutz von unzerschnittenen verkehrsarmen Freiräumen (UZVR)								x
Regionale Grünzüge (4.1.2)	Z1	Schutz und Erhalt von regionalen Grünzügen und ihrer freiraum- und siedlungsbezogenen Funktionen. Barrieren, die die Funktionsfähigkeit der regionalen Grünzüge einschränken (u. a. den klimatischen Ausgleich) sind zu beseitigen oder zu minimieren. Die Durchlässigkeit der regionalen Grünzüge zu angrenzenden Freiraumbereichen ist durch die Erhaltung oder Entwicklung von Luftaustauschkorridoren, Ventilationsschneisen, Vernetzungsstrukturen und Siedlungszäsuren zu sichern			x		x			x

Kapitel	G/Z	Gegenstand der Festlegung	Handlungsfelder Klimaschutz / Klimaanpassung							
			1	2	3	4	5	6	7	8
Regionale Grünzüge (4.1.2)	Z2	Entwicklung und Verbesserung der regionalen Grünzüge für ihre Funktion der Siedlungsgliederung, als klima-ökologisch wirksame Bereiche, für die Erholungsfunktion und die Vernetzung ökologischer Potenziale			x		x			x
Schutz von Natur und Landschaft – Allgemeine Vorgaben (4.2.1)	Z1	Regionalplan stellt als Landschaftsrahmenplan die Belange von Natur und Landschaft als Vorgaben für die nachfolgenden Planungsebenen dar und konkretisiert Ziele des Naturschutzes und der Landschaftspflege. Im Zuge der Landschaftsplanung die schutzwürdigen und entwicklungsbedürftigen Landschaftsteile zu konkretisieren und die erforderlichen Schutz- und Entwicklungsziele, Maßnahmen, Ge- und Verbote zu bestimmen, vor allem in Bereichen mit besonderen Freiraumfunktionen (BSN und BSLE)			x		x			x
Schutz von Natur und Landschaft – Allgemeine Vorgaben (4.2.1)	G1	Erhalt, Sicherung und Entwicklung des Biotopverbunds, Vernetzung und Verbindung schutzwürdiger Biotope			x					x
Schutz von Natur und Landschaft – Allgemeine Vorgaben (4.2.1)	G2	Schutz und Entwicklung des Biotopverbunds in BSN durch Festsetzungen und Maßnahmen nach BNatSchG, Festsetzung der BSLE in bedeutsamen Räumen als Landschaftsschutzgebiete			x					x
Schutz von Natur und Landschaft – Allgemeine Vorgaben (4.2.1)	G3	Allgemeine Vorgabe zur Berücksichtigung von Klimaschutz und Klimaanpassung im Rahmen der Landschaftsplanung in Bereichen mit besonderen Potenzialen. Dazu zählen insbesondere die Sicherung von Standorten der langfristigen Bindung von CO ₂ (Wälder, Moore), Sicherung von klimarelevanten Böden mit naturnahem Wasserhaushalt, Sicherung von Wanderungskorridoren und Ersatzlebensräumen für die klimabedingte Ausbreitung von Tieren und Pflanzen			x					x
Schutz der Natur (4.2.2)	Z1	Ausschluss von Planungen und Maßnahmen in BSN, die die besonderen Funktionen dieser Bereiche beeinträchtigen oder gefährden mit dem Ziel der Schaffung eines ökologisch wirksamen Freiraumverbundsystems, auch aus Gründen des Klimas			x		x	x		x
Schutz der Natur (4.2.2)	Z2	Sicherung und Entwicklung der Funktionen von Natur und Landschaft, sowie Erhalt und Verbindung der Schutzgebiete in den BSN			x		x	x		x
Schutz der Landschaft und landschaftsorientierter Erholung (4.2.3)	G1	Erhalt von natürlichen Landschaftsbestandteilen, Erhalt von Landschaftsstrukturen und Trittsteinen zur Biotopvernetzung. Vermeidung von Beeinträchtigungen der Leistungsfähigkeit des Naturhaushalts, der erhaltenswerten Kulturlandschaften oder der Erholungseignung der Landschaft			x		x	x		x
Wald (4.3)	G1	Sicherung und Verbesserung der Waldbereiche, um deren Funktion zu erhalten und zu entwickeln. Waldbereiche sollen entsprechend ihrer Bedeutung u. a. als Bereiche mit besonderen Potenzialen für den Klimaschutz sowie als Räume mit wichtigen Schutz- und Ausgleichsfunktionen für den Wasserhaushalt und für Natur und Landschaft erhalten und entwickelt werden. Die ökologische Stabilität und Anpassung der Waldbestände an Erfordernisse des Klimawandels wird als Aufgabe der Forstwirtschaft benannt			x		x	x	x	x

Kapitel	G/Z	Gegenstand der Festlegung	Handlungsfelder Klimaschutz / Klimaanpassung							
			1	2	3	4	5	6	7	8
Wald (4.3)	G2	In waldarmen Gebieten sollen (Klein-)Waldflächen erhalten und entwickelt werden, sowie Flächen für die Waldmehrung vorgesehen werden			x		x			x
Wald (4.3)	G3	Vorgaben zum Ausgleich für die Inanspruchnahme von Wald			x		x			x
Wald (4.3)	G4	Förderung der Funktionen des Waldes, Verbindung der Entwicklung von Waldbeständen mit den Zielen der Landschaftsentwicklung sowie des Klimaschutzes und der Klimaanpassung			x		x			x
Wasserhaushalt (4.4.1)	G1	Schutz von ober- und unterirdischen Wasservorkommen bei raumbedeutsamen Planungen und Maßnahmen, z. B. durch Beschränkung der Wasserentnahme sowie Erhalt und Förderung der Grundwasserneubildung z. B. durch geringen Versiegelungsgrad oder Versickerung von unbelastetem Regenwasser						x	x	
Wasserhaushalt (4.4.1)	G2	Beseitigung vorhandener Grundwasserbelastungen bei standortbezogenen raumbedeutsamen Planungen und Maßnahmen							x	
Grundwasser- und Gewässerschutz (4.4.3)	Z1	Ausschluss von raumbedeutsamen Planungen und Maßnahmen in Bereichen für den Grundwasser- und Gewässerschutz, die die Grundwasservorkommen für die öffentliche Trinkwasserversorgung beeinträchtigen oder gefährden können, z. B. durch großflächige Versiegelungen						x	x	
Grundwasser- und Gewässerschutz (4.4.3)	G1	In Bereichen für Grundwasser- und Gewässerschutz soll bei Ausweisung von Bauflächen die Grundwasserneubildung gewährleistet werden. Ausschluss von Beeinträchtigungen und Gefährdungen der Grundwasservorkommen im Rahmen der verbindlichen Bauleitplanung							x	
Grundwasser- und Gewässerschutz (4.4.3)	G2	Berücksichtigung des Grundwasser- und Gewässerschutzes sowie der Grundwasserneubildung bei raumbedeutsamen Planungen und Maßnahmen in erweiterten Einzugsbereichen für den Grundwasser- und Gewässerschutz							x	
Grundwasser- und Gewässerschutz (4.4.3)	G3	Die durch die Wasserhaltungsmaßnahmen des Braunkohletagebaus verursachten Veränderungen der Einzugsgebiete öffentlicher Trinkwassergewinnungsanlagen sollen vor raumbedeutsamen Planungen und Maßnahmen geschützt werden, die erhebliche Auswirkungen auf die Grundwasserqualität haben können							x	
Vorbeugender Hochwasserschutz (4.4.4)	G1	Bei Aufgabe oder Änderung von raumbedeutsamen Planungen und Maßnahmen in Überschwemmungsbereichen soll geprüft werden, ob die freiwerdenden Flächen als Retentionsfläche genutzt werden können						x		
Vorbeugender Hochwasserschutz (4.4.4)	G2	In Extremhochwasserbereichen soll auf Nutzungen verzichtet werden, die im Fall der Überflutung eine Gefährdung für die Allgemeinheit darstellen, ebenso wie auf kritische Infrastruktur. In potenziellen Überflutungsbereichen und in Extremhochwasserbereichen wird eine hochwasserangepasste Bauweise bei allen Planungen und Maßnahmen empfohlen						x		

Kapitel	G/Z	Gegenstand der Festlegung	Handlungsfelder Klimaschutz / Klimaanpassung							
			1	2	3	4	5	6	7	8
Vorbeugender Hochwasserschutz (4.4.4)	G3	Im Einzugsgebiet von Fließgewässern soll auf einen verbesserten Rückhalt und verlangsamten Abfluss des Wassers hingewirkt werden, beispielsweise durch Versickerung von Niederschlagswasser, Regenwasserbewirtschaftung sowie Revitalisierung von Gewässern in städtischen und dörflichen Bereichen						x		
Landbewirtschaftung und natürliche Ressourcen (4.5.1)	G1	Erhaltung von landwirtschaftlichen Nutzflächen in Allgemeinen Freiraum- und Agrarbereichen. Sicherung der natürlichen Beschaffenheit und natürlichen Leistungskraft der Flächen. Landwirtschaftliche Flächen können die Funktionen des Freiraums beeinflussen, z. B. als Flächen für die Kaltluftentstehung, die einen Beitrag zum Ausgleich bioklimatischer Belastungen liefern					x			x
Landbewirtschaftung und natürliche Ressourcen (4.5.1)	G2	U. a. Bereiche mit besonders guten agrarstrukturellen Bedingungen und agrarstrukturell bedeutsame Flächen mit hoher Produktivität sollen nicht für raumbedeutsame Planungen und Maßnahmen in Anspruch genommen werden, wenn diese die agrarwirtschaftliche Bedeutung beeinträchtigen								x
Gartenbau (4.5.2)	G1	Neue raumbedeutsame Gewächshausanlagen vorzugsweise an Standorten, bei denen u. a. die Voraussetzungen für die Nutzung von Abwärme aus benachbarten Betrieben (z. B. Kraftwerken) oder die Nutzung regenerativer Wärmequellen (z. B. Geothermie) gegeben sind, und die außerhalb unzerschnittener Landschaftsräume sowie der erweiterten Einzugsgebiete der öffentlichen Trinkwassergewinnung liegen		x					x	x
Schienennetz (5.1.3)	Z1	Zeichnerische Darstellungen von Schienenwegen haben die Wirkung von Vorranggebieten, entgegenstehende Planungen oder Maßnahmen sind ausgeschlossen				x				
Schienennetz (5.1.3)	Z3	Bei Veränderungen von Schienenwegen der kommunalen Netze ist sicher zu stellen, dass auf den für den regionalen Verkehr bedeutsamen Verbindungen weiterhin ein Betrieb möglich ist				x				
Schienennetz (5.1.3)	G1	Erhalt und Ausbau des Schienennetzes, um die Voraussetzungen für ein attraktives Angebot im öffentlichen Personenverkehr und im Güterverkehr zu schaffen				x				
Schienennetz (5.1.3)	G4	Bestehende kommunale Schienennetze sollen erhalten werden				x				
Schienennetz (5.1.3)	G6	An geeigneten Haltepunkten des ÖPNV sollen Parkeinrichtungen, Fahrradstationen und Umsteigeanlagen vorgesehen werden				x				
Radwege (5.1.6)	G1	Zur Förderung umweltfreundlicher Verkehrsmittel sollen die vorhandenen zwischenörtlichen Radwegeverbindungen zu einem lückenlosen Netz für den Alltags- und den Freizeitverkehr entwickelt werden				x				
Radwege (5.1.6)	G2	Straßenbegleitende Radwege sollen bei der Planung eines Neubaus oder eines wesentlichen Umbaus von Straßen vorgesehen werden, wenn hierdurch Netzverbindungen hergestellt werden können				x				

Kapitel	G/Z	Gegenstand der Festlegung	Handlungsfelder Klimaschutz / Klimaanpassung							
			1	2	3	4	5	6	7	8
Transportfernleitungen (5.2)	G1	Bereiche parallel zu vorhandenen Transportfernleitungen sollen für die Aufnahme weiterer Leitungen freigehalten werden, vor allem soll die Möglichkeit der Nutzung bestehender Transportfernleitungen nicht durch neue Planungen und Maßnahmen eingeschränkt werden		x						
Windenergieanlagen (5.5.1)	Z1	Unzulässigkeit von bauleitplanerischen Höhenbeschränkungen in Windenergiebereichen und Umgebungsbereich (75 m)	x							
Windenergieanlagen (5.5.1)	Z2	Kein Ausschluss von Windenergieanlagen (oder Teilen davon) außerhalb der WEB, WEB sind Rotor-außerhalb-Flächen (Rotoren von Windenergieanlagen, deren Mast in einem Windenergiebereich liegt, haben bis zu einer Entfernung von 75 Metern zum Windenergiebereich Vorrang vor anderen raumbedeutsamen Funktionen oder Nutzungen)	x							
Windenergieanlagen (5.5.1)	Z3	Im Zuge von Genehmigungen sind Minderungsmaßnahmen in einigen WEB vorzusehen, wenn ansonsten erhebliche Umweltauswirkungen im Sinne der Richtlinie 2001/42/EG zu erwarten sind, Verweis auf 18. Änderung des RPD und den dazugehörigen Umweltbericht	x							
Freiflächen-Solarenergieanlagen (5.5.2)	G1	Bauleitplanung soll geeignete Bereiche für raumbedeutsame Freiflächen-Solarenergieanlagen auf möglichst konfliktarmen und raumverträglichen Standorten sichern. Besondere Berücksichtigung der Auswirkungen auf die landwirtschaftliche Nahrungs- und Futtermittelproduktion, der Belange des Arten- und Naturschutzes sowie den Raumbedarf für langfristige Siedlungsentwicklungen sowie den erforderlichen Ausbau der Energienetze. Empfehlung an Kommunen, Solarenergiepotenzialstudien oder gesamtäumliche Solarenergiekonzepte zu erstellen	x	x						x
Freiflächen-Solarenergieanlagen (5.5.2)	G2	Bandartige Strukturen von Freiflächen-Solarenergieanlagen und damit einhergehende Barrierewirkungen sollen verhindert werden	x							x
Freiflächen-Solarenergieanlagen (5.5.2)	G3	In Bauleitplänen sollen Darstellungen oder Festsetzungen zur umgebungsangepassten Eingrünung von Freiflächen-Solarenergieanlagen vorgesehen werden	x							
Freiflächen-Solarenergieanlagen (5.5.2)	G4	Im Siedlungsraum sollen Flächen für Freiflächen-Solarenergieanlagen untergeordnet zu anderen Siedlungsnutzungen ermöglicht werden, wenn diese z. B. aufgrund des Flächenzuschnitts oder einer zu geringen Größe für die Ansiedlung von Wohnungen und Gewerbe-/Industriebetrieben nicht mehr genutzt werden können oder die Nutzungen untergeordnet ergänzen	x							
Biomasseanlagen (5.5.3)	G1	Bauleitplanerische Standortsicherung für raumbedeutsame Biogasanlagen im Siedlungsraum oder in Ortsteilen soll bevorzugt in GIB oder Industriegebiete erfolgen	x							x
Wasserkraftanlagen (5.5.4)	G1	Voraussetzungen für eine raum- und naturverträgliche Wasserkraftnutzung (inkl. Pumpspeicherkraftwerke) sollen in entsprechenden Bereichen geschaffen und vorhandene Anlagenstandorte erhalten werden	x							

Kapitel	G/Z	Gegenstand der Festlegung	Handlungsfelder Klimaschutz / Klimaanpassung							
			1	2	3	4	5	6	7	8
Geothermieranlagen (5.5.5)	G1	Voraussetzungen für eine raum- und umweltverträgliche Geothermienutzung sollen in entsprechenden Bereichen geschaffen werden, wenn keine erheblichen Risiken für Raum und Umwelt bestehen	x							
Kraftwerksstandorte (5.5.6)	G1	Bei Erweiterungen, Ausbaumaßnahmen und Neuplanungen für Kraftwerke mit Verbrennungstechnik sollen diese Vorhaben an Standorten erfolgen, an denen auch ein Wärmeabnahmepotenzial gegeben ist. Bei der Durchführung der entsprechenden Vorhaben soll Wärmeauskopplung und die Einbeziehung in Fernwärmesysteme ermöglicht werden		x						

Die Übersicht zeigt, dass der Regionalplan Düsseldorf in großem Umfang Festlegungen zum Klimaschutz und zur Klimaanpassung enthält. Die Ziele und Grundsätze können dabei auch einschränkende Vorschriften beinhalten. Die Darstellung in Tabelle 54 ermöglicht es daher noch nicht, die konkrete Ausgestaltung der Festlegungen und ihre planerische Durchsetzungskraft aus klimafachlicher Sicht final zu bewerten, was im Rahmen dieses Fachbeitrags auch nicht abschließend geleistet werden kann. Im Folgenden wird auf die wesentlichen Festlegungen im RPD zu den Handlungsfeldern in den Bereichen Klimaschutz und Klimaanpassung näher eingegangen.

In der Einleitung des Regionalplans Düsseldorf wird formuliert, welche Perspektiven für die räumliche Entwicklung der Region mit dem Plan verfolgt werden. Hierzu zählen unter dem Punkt „Energiewende unterstützen – Klimawandel mitdenken“ eine kostengünstige, sichere und umweltverträgliche Energieversorgung ebenso wie der Einbezug der Erfordernisse des Klimaschutzes und der Anpassung an die Folgen des Klimawandels.

Kapitel 2 des RPD widmet sich gesamträumlichen, raumstrukturellen Aspekten der Planungsregion, Unterkapitel 2.3 thematisiert dabei explizit die Themen Klima und Klimawandel. Grundsatz 1 im Abschnitt 2.3.1 enthält allgemeine Vorgaben zu den räumlichen Erfordernissen des Klimawandels, denen bei raumbedeutsamen Planungen und Maßnahmen Rechnung getragen werden soll, sowohl durch Maßnahmen, die dem Klimawandel entgegenwirken, als auch durch solche, die der Anpassung an den Klimawandel dienen. Dabei werden verschiedene Klimaschutzmaßnahmen aufgeführt:

- flächensparende Siedlungsentwicklung
- Ausbau erneuerbarer Energien
- Förderung integrierter Verkehrskonzepte
- Aufforstungen
- Erhalt und Wiederherstellung von Mooren oder Grünland, Feuchtgebieten und sonstigen kohlenstoffreichen Böden

Als Klimaanpassungsmaßnahmen werden die Vermeidung von Infrastruktureinrichtungen in zunehmend überschwemmungsgefährdeten Bereichen und die Optimierung von Belüftungsschneisen in zunehmend hitzegefährdeten Bereichen genannt. In den Erläuterungen wird auf weitere Vorgaben in anderen Kapiteln des RPD verwiesen, die entweder durch die Erfordernisse des Klimawandels begründet sind oder zum Klimaschutz bzw. zur Klimaanpassung

beitragen. Dies sind z. B. Vorgaben zu Windenergiebereichen (5.5.1), Energieleitungen (5.2), flächensparender Siedlungsentwicklung und Anbindung an den ÖPNV (Kapitel 3), freiraumbezogene Festlegungen (z. B. zu Natur und Landschaft (4.2) oder Wald (4.3)), Vorgaben für die langfristige Sicherung von Wasserressourcen (4.4.3) oder die Darstellung von Überschwemmungsbereichen (4.4.4).

Nach den eher grundsätzlichen klima-bezogenen Vorgaben und Hinweisen in Abschnitt 2.3.1 bezieht sich Abschnitt 2.3.2 explizit auf klima-ökologische Ausgleichsräume. Dabei werden neben lufthygienischen Aspekten auch Hitzebelastungen im Siedlungsraum sowie die Kaltluftproduktion im Freiraum aufgeführt. Grundsatz 1 legt fest, dass die Funktionsfähigkeit raumbedeutsamer klima-ökologischer Ausgleichsräume gesichert werden soll, in Ventilationsschneisen und Luftaustauschgebieten sollen keine Barrierewirkungen zu den Siedlungsbereichen entstehen. In den Erläuterungen zu diesem Grundsatz werden klima-ökologische Zusammenhänge umfangreich beschrieben. Es wird jedoch darauf verzichtet, klima-ökologische Ausgleichsräume kartographisch konkret abzugrenzen, u. a. da die „genaue Lage und aktuelle Bedeutung der Räume [...] in der Regel nur auf einer sehr kleinteiligen Ebene unterhalb der Region“ ermittelt werden könne. Die konkrete Berücksichtigung raumbedeutsamer klimatischer Belange und Auswirkungen (auch solcher von überörtlicher Bedeutung) wird im RPD daher vor allem auf die Ebene der Bauleitplanung und der Landschaftsplanung abgeschichtet.

Kapitel 3 des RPD enthält Festlegungen zur Siedlungsstruktur und damit auch Bezüge zu klima-relevanten Aspekten. Dies umfasst die Festlegungen in Ziel 1 (3.1.1) zur Konzentration der Siedlungsentwicklung auf den Siedlungsraum (Verkehrsvermeidung und Sicherung des zusammenhängenden Freiraums) sowie Ziel 2 im Abschnitt 3.1.2 zum Vorrang der Innenentwicklung und flächensparender Siedlungsentwicklung. In diesem Ziel ist festgelegt, dass Innenpotenziale vor Außenpotenzialen zu entwickeln sind. Davon abweichend regelt Grundsatz 1, dass flächenintensive Kompensationsmaßnahmen als Ausnahme im Siedlungsraum erfolgen sollen, wenn dies Grün- und Freiflächen betrifft, die aus stadtklimatischen Gründen von einer baulichen Entwicklung freigehalten werden sollen. Abschnitt 3.3.1 (Bereiche für Gewerbe und Industrie) enthält einen Grundsatz für Modellvorhaben „Zero Emission“, die den Allgemeinen Siedlungsbereich für Gewerbe (ASB-GE) Mönchengladbach Sasserath / Jüchen betrifft. Hier soll durch Regelungen in der Bauleitplanung und andere geeignete Maßnahmen sichergestellt werden, dass bilanziell keine CO₂-Emissionen entstehen.

Kapitel 4 des RPD befasst sich mit dem Thema Freiraum und enthält zahlreiche klima-relevante Festlegungen, z. B. zum Freiraumschutz, zum Wald oder zu wasserwirtschaftlichen Aspekten. Die Festlegungen sind zum Teil unmittelbar durch die Erfordernisse des Klimaschutzes sowie der Klimaanpassung begründet, zum Teil haben sie mittelbar Auswirkungen in diesen Bereichen. Ausdrücklich auf den Klimaschutz oder die Anpassung an die Folgen des Klimawandels beziehen sich beispielsweise Grundsatz 2 in Abschnitt 4.1.1 (Raumbedeutsame Planungen und Maßnahmen in Freiraumbereichen: Erhalt klima-relevanter Böden) oder Grundsatz 1 in Kapitel 4.3 (Erhalt und Entwicklung von Waldbereichen: u. a. zum Schutz des Klimas). Nach Grundsatz 3 im Abschnitt 4.2.1 sind im Rahmen der Landschaftsplanung Bereiche mit besonderen Potentialen für den Schutz des Klimas oder für die Anpassung an den Klimawandel besonders mit zu betrachten (u. a. Kohlenstoffspeicher wie Wälder, Moore oder klimarelevante Böden). Ziel 1 im Abschnitt 4.1.2 legt fest, dass Regionale Grünzüge vor siedlungsräumlicher Inanspruchnahme zu schützen sind, u. a. aufgrund ihrer klima-ökologischen Ausgleichsfunktion. Die besonderen und herausragenden Funktionen der Regionalen Grünzüge sind in Beikarte 4C dargestellt. Der klima-ökologische Ausgleich zählt zu den Funktionen

der zentralen Grünzüge Bergische Waldterrassen und Rheinauen (alle Funktionen mit gleichem Gewicht) sowie zu den besonderen Funktionen der Regionalen Grünzüge Kulturräum Knechtsteden, Meerbusch & Lanker Busch, Dormagener Seen- und Waldband sowie Erholungsraum Wupper und Gelpe. Darüber hinaus bestehen verschiedene Festlegungen, die mittelbare Klima-Bezüge aufweisen, indem sich allgemeine Vorgaben zum Freiraumschutz auch positiv auf den Erhalt von Kohlenstoffsenken, Retentionsräumen oder klima-ökologischen Ausgleichsräumen auswirken (z. B. 4.2.2: Z1 (Schutz der Natur) oder 4.2.1: G1 (Biotopverbund)).

Kapitel 4.4 des RPD enthält Festlegungen, die die Wasserwirtschaft betreffen, z. B. zum Wasserhaushalt (4.4.1), zum Grundwasserschutz (4.4.3) oder zum vorbeugenden Hochwasserschutz (4.4.4). Diese Vorgaben sind grundsätzlich auch vor dem Hintergrund des Klimawandels und der damit verbundenen Folgen für die Wasserwirtschaft relevant (z. B. Dürre oder Überflutungen aufgrund von Extremwetterereignissen). Als Beispiele hierfür sind u. a. zu nennen:

- Z1 in Abschnitt 4.4.3: Ausschluss von raumbedeutsamen Planungen und Maßnahmen in den Bereichen für den Grundwasser- und Gewässerschutz, wenn diese die Nutzung der Grundwasservorkommen für die öffentliche Trinkwasserversorgung gefährden können
- G1 im Abschnitt 4.4.1: Schutz von Wasservorkommen, z. B. durch Beschränkung der Wasserentnahme, einen geringeren Versiegelungsgrad oder Versickerung von Regenwasser
- G3 im Abschnitt 4.4.4: Verbesselter Rückhalt und verlangsamter Abfluss des Wassers im Einzugsgebiet von Fließgewässern
- Beikarte 4 H: Vorbeugender Hochwasserschutz

Festlegungen zum vorbeugenden Hochwasserschutz und Beikarte 4 H beziehen sich auf Hochwasser und Überflutungen an Fließgewässern, wie z. B. dem Rhein. Kapitel 4 enthält jedoch keine Festlegungen oder direkten Bezüge in den Erläuterungen zu den Veränderungen des Klimas und den sich daraus ergebenden Auswirkungen, wie z. B. vermehrt auftretende Starkregenereignisse und daraus resultierende Sturzfluten, oder auch häufigere Dürreperioden.

Kapitel 5.1 des RPD befasst sich mit der Verkehrsinfrastruktur und enthält auch Vorgaben, die einer möglichst klimaverträglichen Mobilität dienen. Zu nennen sind hier Festlegungen mit dem Ziel eines attraktiven Angebots im öffentlichen Personenverkehr und im Güterverkehr (5.1.3: G1, G4, G6) sowie zu Radwegeverbindungen (5.1.6: G1, G2). Zur Elektromobilität und den Voraussetzungen für den Ausbau der Ladeinfrastruktur (z. B. im Rahmen kommunaler Planungen) enthält Kapitel 5.1 keine Aussagen.

Die Energieversorgung und damit auch die räumlichen Erfordernisse der Energiewende sind Gegenstand von Kapitel 5.5 des RPD. Insbesondere im Bereich der Windenergie enthält der Plan maßgebliche und konkrete Festlegungen. Zentrales Instrument zur Steuerung des Windenergieausbaus ist die zeichnerische Festlegung von Windenergiebereichen als Vorranggebiete für die Windenergienutzung nach 10.2-2 LEP. Mit der 18. Änderung des RPD wurden die Vorgaben des LEP umgesetzt. Damit wurden die planungsrechtlichen Voraussetzungen für den weiteren Ausbau der Windenergie geschaffen und das Teilflächenziel nach § 3 Absatz 2 WindBG erfüllt. Darüber hinaus werden in Abschnitt 5.5.1 weitere Festlegungen zur

Steuerung des Windenergieausbaus getroffen, z. B. zur Unzulässigkeit bauleitplanerischer Höhenbeschränkungen (G1), zur Rotor-Außerhalb-Regelung (G2) sowie zu erheblichen Umweltauswirkungen im Sinne der Richtlinie 2001/42/EG und Minderungsmaßnahmen (G3). Zudem werden Regelungen für Beschleunigungsgebiete festgelegt.

Zu raumbedeutsamen Freiflächen-Photovoltaikanlagen macht der Regionalplan Düsseldorf Vorgaben im Abschnitt 5.5.2. Die Bauleitplanung soll geeignete Bereiche für raumbedeutsame Freiflächen-Solarenergieanlagen auf möglichst konfliktarmen und raumverträglichen Standorten sichern (G1). Kommunen wird empfohlen, ggf. Solarenergiepotentialstudien oder gesamt-räumliche Solarenergiekonzepte zu erstellen. Darüber hinaus haben die Festlegungen zu raumbedeutsamen FF-PV-Anlagen jedoch eher einen restriktiven Charakter. Die Festlegungen zur Nutzung der Freifläche-Solarenergie im LEP werden dahingehend konkretisiert, dass weitere zu berücksichtigende Belange benannt werden (z. B. Auswirkungen auf die Landwirtschaft, Raumbedarf für langfristige Siedlungsentwicklungen). Zeichnerische Festlegungen zur Nutzung von raumbedeutsamen FF-PV-Anlagen enthält der RPD nicht.

Die Grundsätze zu den weiteren klimaverträglichen Energieerzeugungsanlagen (Biomasse-, Wasserkraft- und Geothermieranlagen) enthalten vergleichsweise allgemeine Festlegungen zur Schaffung der räumlichen Voraussetzungen. Raumbedeutsame Biomasseanlagen sollen bevorzugt in Bereichen für gewerbliche und industrielle Nutzungen (G1B) oder Industriegebieten geplant werden (5.5.3: G1).

Im Bereich der Wärmeversorgung sowie der Netzinfrastruktur trifft der RPD einzelne Festlegungen an verschiedenen Stellen, z. B. in den Abschnitten Transportfernleitungen (5.2) und Kraftwerksstandorte (5.5.6). Demnach sollen parallel zu vorhandenen Transportfernleitungen Bereiche für die Aufnahme weiterer Leitungen freigehalten werden sowie bei Neuplanungen für Kraftwerke Wärmeabnahmepotenziale berücksichtigt und die Wärmeauskopplung sowie die Einbeziehung in Fernwärmesysteme ermöglicht werden. Der Plan enthält darüber hinaus aber keine umfassenden Aussagen zu einer klimaverträglichen Wärmeversorgung, z. B. hinsichtlich der Rückkopplung zwischen Regionalplanung und kommunalen Wärmeplänen.

Neben den aufgeführten textlichen Zielen und Grundsätzen enthält der RPD auch zeichnerische Festlegungen von Vorranggebieten (Ziele der Raumordnung = Z) und Vorbehaltsgebieten (Grundsätze der Raumordnung = G) mit direktem Bezug oder Auswirkungen auf die Belange von Klimaschutz und Klimaanpassung. Dies sind neben den bereits angeführten Windenergiebereichen (Z) und Regionalen Grünzügen (Z) die Windenergievorbehaltsbereiche (G), Bereiche zum Schutz der Natur (G), Waldbereiche (Z), Allgemeine Freiraum- und Agrarbereiche (G), Bereiche zum Schutz der landschaftsorientierten Erholung (G), Oberflächengewässer (Z), Überschwemmungsbereiche (Z), Bereiche für Grundwasser- und Gewässerschutz (Z) sowie verschiedene Bereiche für zweckgebundene Nutzungen. Zudem bestehen zeichnerische Festlegungen zu Beschleunigungsgebieten für Windenergie, zur Verkehrsinfrastruktur und zum Höchstspannungsnetz (Umspannanlagen / Konverter, Höchstspannungsfreileitungen, Höchstspannungserdkabel).

Der RPD enthält verschiedene Beikarten und Erläuterungskarten. Hier haben insbesondere die Karten zu Unzerschnittenen verkehrsarmen Räumen, Böden (u. a. klimarelevante Böden), regionalen Grünzügen (u. a. klima-ökologische Ausgleichsfunktion), Kernbereichen für die Entwicklung des Biotopverbundes (u. a. Heide-, Moor- und Waldkomplexe), dem Wald, der

Wasserwirtschaft, dem vorbeugenden Hochwasserschutz, dem ÖPNV und Transportfernleitungen Bezüge zum Klimaschutz oder zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass der Regionalplan Düsseldorf zahlreiche und zum Teil sehr detaillierte Festlegungen enthält, die mittelbar oder unmittelbar Auswirkungen auf die Belange von Klimaschutz und Klimaanpassung haben, oder (zum Teil) durch diese begründet sind. Sehr umfassend und konkret wird z. B. der Ausbau der Windenergienutzung gesteuert. Auch der Schutz des Freiraums oder von natürlichen Treibhausgassenken wird an verschiedenen Stellen im RPD adressiert und mit dem Klimawandel in Bezug gesetzt.

Darüber hinaus enthält der RPD zu weiteren Handlungsfeldern Festlegungen, die auch vor dem Hintergrund des Klimawandels relevant sind. Zu nennen wären hier beispielsweise der vorbeugende Hochwasserschutz oder der Grundwasserschutz. Auch wenn Festlegungen in diesen Bereichen grundsätzlich auch der Klimaanpassung dienen können, fehlt in einzelnen Kapiteln des RPD bislang jedoch ein entsprechender Bezug zum Klimawandel. Im Bereich der Wasserwirtschaft enthält der RPD keine konkreten Aussagen, die sich auf die Folgen der Klimaveränderungen beziehen, z. B. zur Vorsorge gegen Extremwetterereignisse wie Starkregen und daraus resultierende Sturzfluten, oder gegen Wassermangel während sommerlicher Dürreperioden. Hier wäre zu prüfen, ob bestehende Festlegungen, die auf fachlichen Bewertungen und Planungsgrundlagen basieren, auch vor dem Hintergrund der Veränderungen des Klimas ausreichend sind, oder ob diese ggf. erweitert werden müssen.

5.3 Fazit: Klima-fachliche Empfehlungen zur Weiterentwicklung des Regionalplans Düsseldorf

Nachdem in Kapitel 5.1 grundsätzliche Steuerungsmöglichkeiten und -erfordernisse der Regionalplanung zum Klimaschutz und zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels beschrieben und die bestehenden klima-bezogenen Festlegungen des RPD untersucht wurden (Kapitel 5.2), werden abschließend klima-fachliche Handlungsempfehlungen zur Weiterentwicklung des Regionalplans Düsseldorf gegeben. Die Empfehlungen sind unterteilt in die Bereiche Klimaschutz (Kapitel 5.3.1) und Klimaanpassung (Kapitel 5.3.2)

5.3.1 Klimaschutz

Aus Gründen des Klimaschutzes sollten grundsätzlich in allen Teilen der Planungsregion Düsseldorf die Voraussetzungen für eine umwelt- und klimaverträgliche Energieversorgung geschaffen werden. Entsprechende Vorgaben enthält der RPD in Grundsatz 1 des Abschnitt 2.3.1.

Windenergie

Durch die Festlegung von Windenergiebereichen im erforderlichen Umfang wurden im Regionalplan Düsseldorf die planungsrechtlichen Voraussetzungen für den weiteren Ausbau der Windenergie geschaffen und das regionale Teilflächenziel nach WindBG bzw. LEP erreicht. Darüber hinaus besteht auf kommunaler Ebene die Möglichkeit, zusätzliche Flächen für die Windenergienutzung bereit zu stellen. Aus klima-fachlicher Sicht besteht daher derzeit keine

Notwendigkeit, im Regionalplan Düsseldorf zusätzliche Flächen für die Windenergienutzung zu sichern.

Die festgelegten Windenergiebereiche sollten aus klima-fachlicher Sicht kontinuierlich hinsichtlich ihrer Ausnutzbarkeit und sich wandelnder technischer Anforderungen überprüft werden. Ziel sollte es hierbei sein, die energetische und volkswirtschaftliche Effizienz der Flächenkulisse für die Windenergienutzung nach Möglichkeit planerisch zu optimieren. Neben der generellen Stromerzeugungskapazität betrifft dies auch Aspekte wie die Höhe der Stromgestehungskosten und die Kapazitäten bzw. die Kosten für den Ausbau der Netze. Ein wichtiger Faktor ist hierbei u. a. das räumlich differenzierte Winddargebot. Das LANUK stellt hierzu mit dem im Jahr 2025 veröffentlichten Windatlas NRW eine landesweite Planungsgrundlage zur Verfügung.

Darüber hinaus wird das LANUK im Auftrag des MWIKE die Regionalplanungsbehörden durch ein kontinuierliches Monitoring der Windenergiebereiche nach Ziel 10.2-10 des LEP unterstützen.

Freiflächen-Photovoltaik

Im Vergleich zur Windenergie enthält der RPD zur Freiflächen-Photovoltaik deutlich weniger konkrete Festlegungen. Zeichnerische Darstellungen, z. B. Vorranggebiete für FF-PV-Anlagen, bestehen nicht. Zur Erreichung der Ziele beim Klimaschutz, vor dem Hintergrund der bundes- und landesweiten energiepolitischen Zielsetzungen sowie in Anbetracht des großen Ausbaupotenzials und der vergleichsweise hohen Effizienz von FF-PV-Anlagen ist ein möglichst verträglicher Zubau entsprechender Anlagen aus klima-fachlicher Sicht dringend erforderlich.

Eine gesamträumliche, umfassende Angebotsplanung für die Freiflächen-Solarenergie ist wegen der grundsätzlichen technischen Eignung großer Bereiche, der bestehenden landesplanerischen Vorgaben, der städtebaurechtlichen Privilegierung für viele Flächen und in Ermangelung konkreter Flächenziele nicht generell erforderlich. Die Festlegung von Vorranggebieten für raumbedeutsame und darstellungsrelevante Freiflächen-Solarenergieanlagen kann vorhabenbezogen und zur Standortsicherung im Einzelfall dennoch erforderlich sein, z. B. zum Abgleich bzw. zur raumordnungsrechtlichen Prüfung von kommunalen Planungen.

Sinnvoll erscheint aus klima-fachlicher Sicht, grundsätzliche Vorgaben für die Bauleitplanung im Regionalplan festzulegen, die der Nutzung von Dach- und Fassaden-PV dienen, z. B. zur solaroptimierten Planung neuer Siedlungs- und Gewerbeflächen.

Wärmeversorgung, Energieversorgungsnetze

Die Berücksichtigung der Belange von Energieversorgungsnetzen sowie deren Ausbau ist auch zukünftig für die Planung von großer Relevanz, z. B. aufgrund des weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien und der verstärkten Elektrifizierung der Sektoren Mobilität und Wärmeversorgung. Dies ist auch verbunden mit planerischen Herausforderungen auf Ebene der Regionalplanung. Zudem sollten die Erfordernisse einer klimaverträglichen Wärmeversorgung, soweit möglich, bereits auf der regionalen Planungsebene Berücksichtigung finden.

In Bezug auf Energieversorgungsleitungen und eine klimaverträgliche Wärmeversorgung ist daher aus klima-fachlicher Sicht die Einführung allgemeiner, themenbezogener Grundsätze zu prüfen. Dabei sollte beispielsweise auf die Berücksichtigung bestehender Netzinfrastrukturen und -kapazitäten bei der Standortsicherung und Bereichsfestlegung für Anlagen zur Energieerzeugung hingewirkt werden. Zudem sollten Potenziale zur Abwärmenutzung bei der Planung von Gewerbe-, Industrie- und Siedlungsbereichen oder bei der Standortsicherung für entsprechende Großvorhaben mit hohem Energiebedarf oder Abwärmepotenzial (z. B. Rechenzentren) Berücksichtigung finden. Die Rückkopplung zwischen Regionalplanung und kommunaler Wärmeplanung sollte dabei sichergestellt werden, z. B. durch die Unterstützung regional abgestimmter Konzepte und die Sicherung von Gebieten mit hoher Eignung für eine klimafreundliche Wärmeversorgung.

Sonstige Handlungsfelder

Aus klima-fachlicher Sicht sollte der Erhalt und die Wiederherstellung von besonders bedeutsamen Kohlenstoffspeichern wie Moore, Grünland, Feuchtgebiete und sonstige kohlenstoffreichen Böden mittels durchsetzungsstarker Zielfestlegungen sichergestellt werden.

Darüber hinaus ist aus klima-fachlicher Sicht die Schärfung und Konkretisierung bestehender Festlegungen hinsichtlich einer energiesparenden und klimaverträglichen Siedlungs- und Verkehrsinfrastruktur zu prüfen.

5.3.2 Klimaanpassung

Der Schutz des Freiraums hat auf Ebene der Regionalplanung eine zentrale Bedeutung für die Anpassung an die Folgen des Klimawandels. Wesentliche Funktionen und Kapazitäten zur Anpassung an und Abmilderung von Folgen des Klimawandels sind verbunden mit dem Erhalt sowie der Weiterentwicklung vegetationsgeprägter Grünflächen im Freiraum. Neben seiner Funktion zur Speicherung von CO₂ hat der Freiraum vor dem Hintergrund der Klimaveränderungen auch eine besondere Bedeutung für den Siedlungsraum, u. a. für den Kaltlufthaushalt oder als Retentionsraum bei Starkregenereignissen und Hochwasser. Der RPD enthält an verschiedenen Stellen unterschiedlich durchsetzungsstarke Festlegungen zum Schutz des Freiraums.

Nutzungsansprüche an den Freiraum bestehen auch durch Maßnahmen zum Klimaschutz (z. B. Flächenbedarf für die Windenergienutzung und Freiflächen-Photovoltaikanlagen, Energiespeicher und Energieversorgungsleitungen). Konflikte mit den Funktionen des Freiraums zur Anpassung an den Klimawandel sind dabei möglich, aber nicht grundsätzlich gegeben. Die Flächen im Freiraum unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Bedeutung bzw. ihrer Funktionen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels. Erforderlich ist daher eine differenzierte Bewertung auf Grundlage räumlich möglichst konkreter, fachlicher Informationen.

Hitzebelastung / Kaltlufthaushalt

Die Klimaanalyse NRW und insbesondere die Karte regional bedeutsamer Klimafunktionen stellt eine fachlich fundierte und räumlich hinreichend konkrete Grundlage für die Berücksichtigung klima-ökologischer Belange im Regionalplan Düsseldorf dar. Sie liefert wichtige

Hinweise zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels auf regionaler Ebene, insbesondere für die Freiraumplanung und die Planung des Siedlungsraums.

Bei Planungen und Maßnahmen sollte vor dem Hintergrund der Veränderungen des Klimas die Funktionsfähigkeit des Freiraumes als klima-ökologischer Ausgleichsraum geschützt und nach Möglichkeit verbessert werden. Dies gilt insbesondere für Flächen mit regional bedeutsamen Klimafunktionen. Konkret sind Flächen, die der Kaltluftproduktion und dem Kaltlufttransport dienen und die klimatische Entlastungspotentiale für die Siedlungsräume darstellen, zu erhalten. Maßnahmen, die den Luftaustausch zwischen Ausgleichsräumen und Siedlungsbereichen einschränken, sollten vermieden werden. Die Einstellung klima-ökologischer Belange in die Abwägung sollte sich an der Bewertung der Räume hinsichtlich ihrer klima-ökologischen Bedeutung orientieren. Der Fachbeitrag Klima und die Ergebnisse der Klimaanalyse NRW 2026 stellen hierfür eine geeignete Datengrundlage dar.

Insbesondere die regionalen Strömungssysteme, die größere Mengen an Kaltluft in Siedlungsbereiche mit regional bedeutsamer Wärmebelastung in der Nacht transportieren können, sind aufgrund ihrer besonderen klima-ökologischen Ausgleichsfunktion sowie ihrer räumlichen Ausdehnung von überörtlicher Bedeutung. Nutzungsänderungen innerhalb der regionalen Kaltluftsysteme und den dazugehörigen Einzugsgebieten, insbesondere verbunden mit größeren baulichen Strukturen und Flächenversiegelungen, können die Kaltluftsysteme in ihrer regionalen klima-ökologischen Ausgleichsfunktion beeinträchtigen. Dies gilt in besonderem Maße für die Kaltluftentstehungsgebiete. Die regionalen Strömungssysteme sowie die für sie relevanten Einzugsgebiete und Kaltluftentstehungsgebiete im Freiraum sollten daher zum Erhalt ihrer klima-ökologischen Ausgleichsfunktion regionalplanerisch gesichert werden.

Dabei bestehen grundsätzlich verschiedene Möglichkeiten zum Schutz dieser klima-ökologischen Ausgleichsräume. Sie können z. B. als (ggf. zusätzlicher) Bestandteil der multifunktional begründeten regionalen Grünzüge oder mittels durchsetzungsstarker textlicher Festlegungen im Zusammenhang mit einer räumlich konkretisierenden Beikarte gesichert werden.

Die regional bedeutsamen Ausgleichsräume am Tag können während besonders starker Hitzebelastungen für die Bevölkerung als Entlastungsräume fungieren. Sie sollten aus klimafachlicher Perspektive ebenfalls durch regionalplanerische Festlegungen in ihrer Funktionsfähigkeit gesichert werden.

In Siedlungsbereichen mit besonders ausgeprägten Hitzebelastungen sollte auf den Abbau von bestehenden Belastungen hingewirkt und eine Nachverdichtung auf klima-ökologisch bedeutsamen Flächen vermieden werden. Dabei ist aus klimafachlicher Sicht zu prüfen, ob im Ausnahmefall vom Vorrang der Innen- vor der Außenentwicklung abgewichen werden sollte, z. B. um Brachflächen oder Baulücken mit klima-ökologischer Ausgleichsfunktion innerhalb besonders belasteter Siedlungsbereiche zu schützen.

Darüber hinaus erscheint eine Anpassung von Grundsatz 2 im Abschnitt 2.3.2 erforderlich, da mit dem Fachbeitrag Klima, und insbesondere der Identifikation regional bedeutsamer Klimafunktionen, nun eine fachlich fundierte und räumlich hinreichend konkrete Grundlage zur Abgrenzung klima-ökologischer Ausgleichsräume für die Planungsregion Düsseldorf vorliegt.

Wasserwirtschaft

Der Regionalplan Düsseldorf enthält verschiedene Festlegungen, Erläuterungen und Beikarten zu wasserwirtschaftlichen Handlungsfeldern, z. B. zum Wasserhaushalt oder zum vorbeugenden Hochwasserschutz. Es fehlen jedoch konkrete Festlegungen oder direkte Bezüge in den Erläuterungen zu den Folgen der Klimaveränderungen auf die Wasserwirtschaft, z. B. zu zukünftig vermehrt zu erwartenden Dürreperioden und Sturzfluten aufgrund von Starkregenereignissen. Hier ist aus klima-fachlicher Sicht die Notwendigkeit einer Weiterentwicklung des Regionalplans zu prüfen.

Der Fachbeitrag Klima beschreibt in Kapitel 2 die bereits messbaren und die für die Zukunft projizierten Klima-Veränderungen, z. B. in Bezug auf den Niederschlag und den Wasserhaushalt in der Planungsregion Düsseldorf. Zudem werden in Kapitel 4.4 die sich daraus ergebenden Auswirkungen auf für die Wasserwirtschaft skizziert und in Kapitel 5.1.2 grundsätzliche Steuerungsmöglichkeiten der Regionalplanung in diesen Bereich aufgezeigt. Darüber hinaus erfolgt in diesem Fachbeitrag keine tiefergehende Auseinandersetzung mit den wasserwirtschaftlichen Folgen des Klimawandels sowie den damit verbundenen, konkreten planerischen Handlungserfordernissen in der Region.

Die Klimaanpassungsstrategie NRW 2024 -2029 führt als Maßnahme im Handlungsfeld Landes- und Regionalplanung die Erstellung eines Fachbeitrags „Wasser“ zur Regionalplanung auf (MUNV 2024). Dieser Fachbeitrag sollte sich aus klima-fachlicher Sicht auch intensiv mit den wasserwirtschaftlichen Erfordernissen sowie den raumordnungsrechtlichen Steuerungsmöglichkeiten bei der Anpassung an die Folgen des Klimawandels auseinandersetzen. Dabei wären insbesondere konkrete planerische Maßnahmen zur Vorsorge gegen Dürre oder gegen Sturzfluten aufgrund von Starkregenereignissen sowie die dafür erforderlichen fachlichen Datengrundlagen in den Blick zu nehmen. Vorliegende wasserwirtschaftliche Planungsgrundlagen sollten vor dem Hintergrund der sich verändernden Klimabedingungen und den damit verbundenen Auswirkungen im Zuge von Planverfahren eine besondere Berücksichtigung erfahren.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Gemeinden und Kreise in der Planungsregion Düsseldorf	11
Abbildung 2:	Übersicht CO ₂ -Gehalte, Temperaturen und Meerspiegelniveaus von verschiedenen geologischen und historischen Zeiträumen.....	14
Abbildung 3:	Rekonstruierte, beobachtete und projizierte Temperatur- und CO ₂ -Gehalte im Zeitraum 60 Mio. Jahre vor heute bis ca. 2300.....	15
Abbildung 4:	CO ₂ -Gehalte und Temperaturentwicklung seit Beginn der Wetteraufzeichnung bis 2025	16
Abbildung 5:	Topographie und Großlandschaften (blaue Linien) des Planungsraums Düsseldorf	18
Abbildung 6:	Mittlere Jahrestemperatur 1991-2020 im Planungsraum Düsseldorf	20
Abbildung 7:	Mittlere Anzahl an Heißen Tage pro Jahr 1991-2020 im Planungsraum Düsseldorf.....	23
Abbildung 8:	Änderung der mittleren Anzahl an Heißen Tage pro Jahr 1991-2020 bezogen auf 1961-1990 im Planungsraum Düsseldorf	24
Abbildung 9:	Mittlere Anzahl an Eistagen pro Jahr 1991-2020 im Planungsraum Düsseldorf.....	26
Abbildung 10:	Änderung der mittleren Anzahl an Eistagen pro Jahr 1991-2020 bezogen auf 1961-1990 im Planungsraum Düsseldorf	27
Abbildung 11:	Mittlerer jährlicher Niederschlag 1991-2020 im Planungsraum Düsseldorf.....	30
Abbildung 12:	Änderungen des mittleren jährlichen Niederschlags 1991-2020 bezogen auf 1961-1990 im Planungsraum Düsseldorf	32
Abbildung 13:	Anzahl der Trockentage pro Jahr mit < 1 mm Niederschlag pro Tag im Zeitraum 1991-2020	35
Abbildung 14:	Entwicklung Trockene Tage pro Jahr mit < 1mm Niederschlag pro Tag 1991-2020 in Bezug auf 1961-1990	36
Abbildung 15:	Mittlere Anzahl an Niederschlagstagen (> 10 mm/Tag) pro Jahr 1991-2020 im Planungsraum Düsseldorf	38
Abbildung 16:	Mittlere Anzahl an Niederschlagstagen (> 20 mm/Tag) pro Jahr 1991-2020.....	39
Abbildung 17:	Mittlere Anzahl an Schneedeckentagen pro Jahr 1991-2020 im Planungsraum Düsseldorf.....	41
Abbildung 18:	Änderung der mittleren Anzahl an Schneedeckentagen pro Jahr 1991-2020 bezogen auf 1961-1990 im Planungsraum Düsseldorf	42
Abbildung 19:	Grundwasserneubildung pro Jahr 1991-2020 im Planungsraum Düsseldorf.....	45
Abbildung 20:	Änderung der mittleren Grundwasserneubildung pro Jahr 1991-2020 bezogen auf 1961-1990 im Planungsraum Düsseldorf	46
Abbildung 21:	Netto-Gesamtabfluss pro Jahr 1991-2020 im Planungsraum Düsseldorf.....	48

Abbildung 22:	Änderung des Netto-Gesamtabflusses pro Jahr 1991-2020 bezogen auf 1961-1990 im Planungsraum Düsseldorf.....	49
Abbildung 23:	Tatsächliche Evapotranspiration pro Jahr 1991-2020 im Planungsraum Düsseldorf.....	51
Abbildung 24:	Änderung der Tatsächlichen Evapotranspiration pro Jahr 1991-2020 bezogen auf 1961-1990 im Planungsraum Düsseldorf.....	52
Abbildung 25:	Klimatische Wasserbilanz pro Jahr 1991-2020 im Planungsraum Düsseldorf.....	54
Abbildung 26:	Änderung der Klimatischen Wasserbilanz pro Jahr 1991-2020 bezogen auf 1961-1990 im Planungsraum Düsseldorf.....	55
Abbildung 27:	Tatsächliche allgemeine Vegetationszeit, Anzahl Tage pro Jahr 1991-2020 im Planungsraum Düsseldorf.....	58
Abbildung 28:	Änderung der tatsächlichen allgemeinen Vegetationszeit, Anzahl Tage pro Jahr 1991-2020 bezogen auf 1961-1990 im Planungsraum Düsseldorf.....	59
Abbildung 29:	Tatsächliche forstliche Vegetationszeit, Anzahl Tage pro Jahr 1991-2020 im Planungsraum Düsseldorf.....	61
Abbildung 30:	Änderung der tatsächlichen forstlichen Vegetationszeit, Anzahl Tage pro Jahr 1991-2020 bezogen auf 1961-1990 im Planungsraum Düsseldorf.....	62
Abbildung 31:	Waldbrandgefahr, Anzahl Tage pro Jahr 1991-2020 mit Waldbrandindex > 4 im Planungsraum Düsseldorf.....	64
Abbildung 32:	Änderung der Waldbrandgefahr, Anzahl Tage pro Jahr 1991-2020 mit Waldbrandindex > 4 bezogen auf 1961-1990 im Planungsraum Düsseldorf.....	65
Abbildung 33:	Beobachtete Lufttemperaturen und Projektionen für das RCP2.6- und RCP8.5- Szenario in NRW.....	70
Abbildung 34:	Beobachtete Niederschlagssummen und Projektionen für das RCP2.6- und RCP8.5-Szenario in NRW.....	70
Abbildung 35:	Klimawandel - Temperaturverteilung und Extreme.....	96
Abbildung 36:	Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in der Planungsregion Düsseldorf nach Gemeinden.....	106
Abbildung 37:	Anteil der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien am Stromverbrauch in der Planungsregion Düsseldorf nach Gemeinden.....	107
Abbildung 38:	Windatlas NRW – Mittlere Windgeschwindigkeit in der Planungsregion Düsseldorf in 150 m und in 200 m über Grund.....	113
Abbildung 39:	Windatlas NRW – Standortgüte in der Planungsregion Düsseldorf in 150 m (Enercon 115) und in 200 m (Vestas 172) über Grund.....	113
Abbildung 40:	Arbeitsschritte für die Ableitung regionaler Kaltluftsysteme.....	132
Abbildung 41:	Klimaanalysekarte Nacht – typischer Sommertag: Lufttemperatur im Siedlungsraum.....	137

Abbildung 42:	Klimaanalysekarte Nacht – typischer Sommertag: Lufttemperatur im Siedlungsraum	138
Abbildung 43:	Klimaanalysekarte Nacht – typischer Sommertag: Kaltluftvolumenstromdichte im Freiraum	140
Abbildung 44:	Klimaanalysekarte Tag – typischer Sommertag: Thermische Belastung.....	142
Abbildung 45:	Klimaanalysekarte Tag – extremer Sommertag: Thermische Belastung.....	143
Abbildung 46:	Planungshinweiskarte	145
Abbildung 47:	Regional bedeutsame Klimafunktionen in der Planungsregion Düsseldorf.....	146
Abbildung 48:	Klimaanalyse – Legende Planungsempfehlungen Regionalplanung	147
Abbildung 49:	Kaltluftentstehungsgebiete innerhalb der Einzugsgebiete der regionalen Kaltluftsysteme (Ausschnitt).....	150

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Einwohneranzahl und Fläche der Kreise und kreisfreien Städte in der Planungsregion Düsseldorf	10
Tabelle 2:	Mittlere jährliche und saisonale Temperaturen in verschiedenen Klimanormalperioden in °C im Planungsraum Düsseldorf	19
Tabelle 3:	Änderung der mittleren jährlichen und saisonalen Temperaturen 1991-2020 bezogen auf 1961-1990 im Planungsraum Düsseldorf.	21
Tabelle 4:	Anzahl der Temperaturkentage pro Jahr in verschiedenen Klimanormalperioden im Planungsraum Düsseldorf	28
Tabelle 5:	Änderung der Anzahl der Temperaturkentage pro Jahr 1991-2020 bezogen auf 1961-1990 im Planungsraum Düsseldorf	28
Tabelle 6:	Mittlere jährliche und saisonale Niederschlagssumme in verschiedenen Klimanormalperioden im Planungsraum Düsseldorf	29
Tabelle 7:	Änderungen des jährlichen und saisonalen Niederschlags 1991-2020 bezogen auf 1961-1990 im Planungsraum Düsseldorf	31
Tabelle 8:	Übersicht Niederschlagskentage für die Planungsregion Düsseldorf	43
Tabelle 9:	Unterschiede Niederschlagskentage Planungsregion Düsseldorf 1991-2020 gegenüber 1961-1990	43
Tabelle 10:	Übersicht der mGROWA- Kennzahlen im Wasserhaushalt pro Jahr im Planungsraum Düsseldorf, in mm	56
Tabelle 11:	Übersicht Klimatische Wasserbilanz, jährlich und saisonal, in der Planungsregion Düsseldorf, in mm	56
Tabelle 12:	Änderung der tatsächlichen Vegetationszeiten und Waldbrandgefahr, in mittlere Anzahl an Tagen pro Jahr Klimanormalperiode 1991-2020 bezogen auf 1961-1990 im Planungsraum Düsseldorf	66
Tabelle 13:	Absolutwerte der mittleren Jahrestemperatur im Planungsraum Düsseldorf - Projektionen für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) und ferne Zukunft (2071-2100) im Vergleich zur aktuellen KNP (1991-2020)	72
Tabelle 14:	Absolutwerte der mittleren saisonalen Temperatur im Planungsraum Düsseldorf - Projektionen für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) und ferne Zukunft (2071-2100) im Vergleich zur aktuellen KNP (1991-2020)	74
Tabelle 15:	Absolutwerte der Anzahl Heißer Tage im Planungsraum Düsseldorf - Projektionen für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) und ferne Zukunft (2071-2100) im Vergleich zur aktuellen KNP (1991-2020)	75
Tabelle 16:	Absolutwerte Anzahl Hitzewellen pro Jahr im Planungsraum Düsseldorf – Projektionen für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2070) und ferne Zukunft (2071-2100) im Vergleich zur aktuellen KNP (1991-2020)	76
Tabelle 17:	Absolutwerte Anzahl Tropennächte pro Jahr im Planungsraum Düsseldorf - Projektionen für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2070)	

	und ferne Zukunft (2071-2100) im Vergleich zur aktuellen KNP (1991-2020).....	77
Tabelle 18:	Absolutwerte der Anzahl Sommertage im Planungsraum Düsseldorf - Projektionen für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) und ferne Zukunft (2071-2100) im Vergleich zur aktuellen KNP (1991-2020).....	78
Tabelle 19:	Absolutwerte der Anzahl Eistage im Planungsraum Düsseldorf - Projektionen für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) und ferne Zukunft (2071-2100) im Vergleich zur aktuellen KNP (1991-2020).....	79
Tabelle 20:	Absolutwerte der Anzahl Frosttage im Planungsraum Düsseldorf - Projektionen für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) und ferne Zukunft (2071-2100) im Vergleich zur aktuellen KNP (1991-2020).....	80
Tabelle 21:	Absolutwerte jährliche Niederschlagssumme im Planungsraum Düsseldorf - Projektionen für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) und ferne Zukunft (2071-2100) im Vergleich zur aktuellen KNP (1991-2020).....	81
Tabelle 22:	Absolute saisonale projizierte Niederschlagsentwicklung im Planungsraum Düsseldorf für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) und ferne Zukunft (2071-2100) im Vergleich zur aktuellen KNP (1991-2020).....	83
Tabelle 23:	Absolute projizierte Anzahl Niederschlagstage mit > 10 mm pro Jahr im Planungsraum-Düsseldorf für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) und ferne Zukunft (2071-2100) im Vergleich zur aktuellen KNP (1991-2020)	84
Tabelle 24:	Absolute projizierte Anzahl Niederschlagstage > 20 mm pro Jahr im Planungsraum-Düsseldorf für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) und ferne Zukunft (2071-2100) im Vergleich zur aktuellen KNP (1991-2020).....	85
Tabelle 25:	Absolute projizierte Anzahl Trockentage < 1 mm pro Jahr im Planungsraum-Düsseldorf für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) und ferne Zukunft (2071-2100) im Vergleich zur aktuellen KNP (1991-2020).....	86
Tabelle 26:	Absolutwerte Grundwasserneubildung im Planungsraum Düsseldorf - Projektionen für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) und ferne Zukunft (2071-2100) im Vergleich zur aktuellen KNP (1991-2020).....	87
Tabelle 27:	Absolutwerte Netto-Gesamtabfluss im Planungsraum Düsseldorf - Projektionen für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) und ferne Zukunft (2071-2100) im Vergleich zur aktuellen KNP (1991-2020).....	88
Tabelle 28:	Absolutwerte tatsächliche Evapotranspiration im Planungsraum Düsseldorf - Projektionen für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) und ferne Zukunft (2071-2100) im Vergleich zur aktuellen KNP (1991-2020).....	89
Tabelle 29:	Absolutwerte klimatische Wasserbilanz im Planungsraum Düsseldorf - Projektionen für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) und ferne Zukunft (2071-2100) im Vergleich zur aktuellen KNP (1991-2020).....	90

Tabelle 30:	Absolutwerte saisonale klimatische Wasserbilanz im Planungsraum Düsseldorf - Projektionen für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) und ferne Zukunft (2071-2100) im Vergleich zur aktuellen KNP (1991-2020).....	92
Tabelle 31:	Absolutwerte tatsächliche allgemeine Vegetationszeit im Planungsraum Düsseldorf - Projektionen für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) und ferne Zukunft (2071-2100) im Vergleich zur aktuellen KNP (1991-2020)	93
Tabelle 32:	Absolutwerte Forstliche Vegetationszeit im Planungsraum Düsseldorf - Projektionen für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) und ferne Zukunft (2071-2100) im Vergleich zur aktuellen KNP (1991-2020).....	94
Tabelle 33:	Absolutwerte Waldbrandgefahr im Planungsraum Düsseldorf - Projektionen für die Mitte des Jahrhunderts (2031-2060) und ferne Zukunft (2071-2100) im Vergleich zur aktuellen KNP (1991-2020).....	95
Tabelle 34:	Treibhausgasemissionen in der Planungsregion Düsseldorf 2023	100
Tabelle 35:	Vergleich der Treibhausgas-Emissionen 2023 in der Planungsregion Düsseldorf, in Nordrhein-Westfalen und in Deutschland.	101
Tabelle 36:	Stromverbrauch in der Planungsregion Düsseldorf (2024)	104
Tabelle 37:	Stromertrag, Leistung und Anteil am Stromverbrauch von erneuerbaren Energien in NRW und der Planungsregion Düsseldorf (2024)	105
Tabelle 38:	Ausbaustand der stromerzeugenden erneuerbaren Energien nach Energieträger in NRW und in der Planungsregion Düsseldorf (2024)	108
Tabelle 39:	Ausbaupotenzial der erneuerbaren Energien in der Planungsregion Düsseldorf (Strom)	109
Tabelle 40:	Flächenpotenziale für Freiflächen-Solarenergie in der Planungsregion Düsseldorf.....	111
Tabelle 41:	Ausbaupotenzial der erneuerbaren Energien zur Wärmeerzeugung in der Planungsregion Düsseldorf	115
Tabelle 42:	Bewertungsklassen der PET nach VDI 3787, Blatt 2 (VDI 2022).....	127
Tabelle 43:	Verknüpfung der z-transformierten Bewertung der nächtlichen Überwärmung zur Kategorisierung des Wirkraumes in der Planungshinweiskarte	128
Tabelle 44:	Regional bedeutsame Wärmebelastung in der Nacht - Bewertung der regionalplanerischen Handlungspriorität	130
Tabelle 45:	Klassifizierung regionaler Kaltluftsysteme an Hand des Kaltluftvolumenstroms.....	133
Tabelle 46:	Flächenanteile der nächtlichen Überwärmung im Wirkraum in der Karte Klimaanalyse Nacht: Planungsregion Düsseldorf.....	136
Tabelle 47:	Flächenanteile der Kaltluftvolumenstromdichte im Ausgleichsraum in der Karte Klimaanalyse Nacht: Planungsregion Düsseldorf.....	139

Tabelle 48:	Flächenanteile der thermischen Belastungskategorien in der Karte Klimaanalyse Tag: Planungsregion Düsseldorf	141
Tabelle 49:	Flächenanteile der Handlungsprioritäten und Bevölkerung im Wirkraum in der Planungshinweiskarte: Planungsregion Düsseldorf	144
Tabelle 50:	Gemeinden mit regional bedeutsamer Wärmebelastung in der Nacht in der Planungsregion Düsseldorf	148
Tabelle 51:	Gemeinden mit regional bedeutsamer Wärmebelastung am Tag in der Planungsregion Düsseldorf	149
Tabelle 52:	Anzahl und Anteil der Einwohner innerhalb regionaler Kaltluftsysteme nach Gemeinden.....	151
Tabelle 53:	Zentrale Handlungsfelder Klimaschutz / Klimaanpassung	167
Tabelle 54:	Festlegungen im Regionalplan Düsseldorf mit Bezug zu zentralen Handlungsfeldern Klimaschutz / Klimaanpassung	168

Literaturverzeichnis

Gesetze und Verordnungen

BAUGESETZBUCH (BauGB). Online verfügbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/bbaug/BJNR003410960.html>. Zuletzt abgerufen am 10.03.2026

BUNDES-KLIMAANPASSUNGSGESETZ [KAnG] vom 20. Dezember 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 393). Online verfügbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/kang/BJNR1890A0023.html>, zuletzt geprüft am 28.01.2026.

BUNDES-KLIMASCHUTZGESETZ [KSG] vom 12. Dezember 2019 (BGBl. I S. 2513), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 15. Juli 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 235) geändert worden ist. Online verfügbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/ksg/KSG.pdf>, zuletzt geprüft am 30.01.2026.

ERNEUERBARE-ENERGIEN-GESETZ (EEG 2023). Online verfügbar unter: https://www.gesetze-im-internet.de/eeg_2014/. Zuletzt abgerufen am 10.03.2026

KLIMAANPASSUNGSGESETZ NRW [KAnG] vom 8. Juli 2021. Online verfügbar unter: <https://recht.nrw.de/gvnrw/2021-s910/>, zuletzt geprüft am 09.04.2026.

KLIMASCHUTZGESETZ NRW. Neufassung vom 8. Juli 2021. Online verfügbar unter: https://recht.nrw.de/lmi/owa/br_bes_text?sg=0&menu=0&anw_nr=2&gld_nr=%207&ugl_nr=7129&val=46232&ver=0&aufgehoben=N&keyword=klimaschutzgesetz&bes_id=46232&show_preview=1&typ=Kopf, zuletzt abgerufen am 30.01.2026.

KLIMASCHUTZGESETZ NRW HISTORISCH. Online verfügbar unter: https://recht.nrw.de/lmi/owa/br_bes_text?anw_nr=2&gld_nr=7&ugl_nr=7129&bes_id=22784&menu=0&sg=0&aufgehoben=J&keyword=klimaschutzplan#det510708, zuletzt abgerufen am 30.01.2026.

LANDESENTWICKLUNGSPLAN NRW [LEP]. Hrsg. Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie (MWIKE) NRW. Stand 03. Juli 2024. Online verfügbar unter: <https://landesplanung.nrw.de/system/files/media/document/file/202509912-lesefassung-lep.pdf>, zuletzt abgerufen am 28.01.2026.

LANDESENTWICKLUNGSPLAN NRW [LEP]. 3. Änderung. Hrsg. Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie (MWIKE) NRW. Online verfügbar unter: <https://landesplanung.nrw.de/land-beschliesst-entwurf-zur-3-aenderung-des-landesentwicklungsplans-nordrhein-westfalen>, zuletzt abgerufen am 28.01.2026.

LANDESNATURSCHUTZGESETZ NRW (LNatSchG). Online verfügbar unter: <https://recht.nrw.de/lrgv/gesetz/01042025-gesetz-zum-schutz-der-natur-nordrhein-westfalen-landesnaturschutzgesetz/>. Zuletzt abgerufen am 10.03.2026

LANDESPLANUNGSGESETZ NRW [LPIG] vom 3. Mai 2005. Stand 16.01.2026. Online verfügbar unter: https://recht.nrw.de/lmi/owa/br_bes_text?sg=0&menu=0&bes_id=7530&aufgehoben=N&anw_nr=2, zuletzt abgerufen am 27.01.2026.

LANDESWÄRMEPLANUNGSGESETZ NRW (LWPG). Online verfügbar unter: <https://recht.nrw.de/gvnrw/2024-s1177-0/>. Zuletzt abgerufen am 10.03.2026

RAUMORDNUNGSGESETZ vom 22. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2986), das zuletzt durch Artikel 7 des Gesetzes vom 12. August 2025 (BGBl. 2025 I Nr. 189) geändert worden ist

(ROG). Online verfügbar unter: https://www.gesetze-im-internet.de/rog_2008, zuletzt abgerufen am 27.01.2026.

RICHTLINIE 2003/87/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 13. Oktober 2003 über ein System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten in der Gemeinschaft und zur Änderung der Richtlinie 96/61/EG des Rates. Online verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32003L0087&from=NL>. Zuletzt abgerufen am 10.03.2026

VERORDNUNG ÜBER EMISSIONSERKLÄRUNGEN - 11. BIMSCHV. Online verfügbar unter: https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_11_2004/BJNR069400004.html. Zuletzt abgerufen am 10.03.2026

WÄRMEPLANUNGSGESETZ (WPG). Online verfügbar unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/wpg/WPG.pdf>. Zuletzt abgerufen am 10.03.2026

WASSERHAUSHALTSGESETZ (WHG). Online verfügbar unter: https://www.gesetze-im-internet.de/whg_2009/BJNR258510009.html. Zuletzt abgerufen am 10.03.2026

Kapitel 1

BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR [BMV] (2025): Klimaschutzziele und Beschlüsse. Online verfügbar unter: <https://www.bmv.de/DE/Themen/Mobilitaet/Klimaschutz-im-Verkehr/Klimaschutzziele-und-Beschluesse/klimaschutzziele-und-beschluesse.html>, zuletzt geprüft am 30.01.2026

DEUTSCHE ANPASSUNGSSTRATEGIE [DAS] (2024). Hrsg. Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMUKN). Stand 11.12.2024. Online verfügbar unter: https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaanpassung/das_2024_strategie_bf.pdf, zuletzt geprüft am 30.01.2026.

LANDESBETRIEB INFORMATION UND TECHNIK NORDRHEIN-WESTFALEN [IT.NRW] (2025): Bevölkerung nach Gemeinden. Stand Juni 2025. Online verfügbar unter: <https://statistik.nrw/gesellschaft-und-staat/gebiet-und-bevoelkerung/bevoelkerung/bevoelkerung-nach-gemeinden#>, zuletzt geprüft am 30.01.2026.

MINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND VERKEHR NRW [MUNV] (2024): Klimaanpassung Nordrhein-Westfalen. Landesstrategie 2024–2029. Stand Oktober 2024. Online verfügbar unter: <https://broschuerenservice.nrw.de/munv/shop/klimaanpassung-nordrhein-westfalen-2024-2029%7C2246>, zuletzt geprüft am 30.01.2026.

MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, INDUSTRIE, KLIMASCHUTZ UND ENERGIE NRW [MWIKE] (2026): Klimaschutzpakete. Online verfügbar unter: <https://www.wirtschaft.nrw/klimaschutzpakete>, zuletzt abgerufen am 30.01.2026.

UMWELTBUNDESAMT [UBA] (2024): Übereinkommen von Paris. Online verfügbar unter: <https://www.uba.de/n89763de>, zuletzt abgerufen am 26.01.2026.

Kapitel 2

- ANNAN, J. D.; HARGREAVES, J. C. (2013): A new global reconstruction of temperature changes at the Last Glacial Maximum. In: *Clim. Past* 9 (1), S. 367-376. DOI: 10.5194/cp-9-367-2013.
- 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.
- 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.
- CLIMATE ACTION TRACKER (2025): Little change in warming outlook for four years; new 2035 climate targets make no difference. Warming Projections Global Update - November 2025. Climate Analytics and NewClimate Institute. Köln/Berlin.
- COHEN, J.; ZHANG, X.; FRANCIS, J.; JUNG, T.; KWOK, R.; OVERLAND, J. ET AL. (2020): Divergent consensus on Arctic amplification influence on midlatitude severe winter weather. In: *Nature Clim Change* 10 (1), S. 20-29. DOI: 10.1038/s41558-019-0662-y.
- DAI, AIGUO; LUO, DEHAI; SONG, MIRONG; LIU, JIPING (2019): Arctic amplification is caused by sea-ice loss under increasing CO₂. In: *Nature communications* 10 (1), S. 121. DOI: 10.1038/s41467-018-07954-9.
- DER HEIDEN, M. AN (2025): Hitzebedingte Mortalität in Deutschland 2023 und 2024. In: *Epidemiologisches Bulletin* (025; 19: 3-9), S. 1–9. Online verfügbar unter DOI 10.25646/13135.
- DEUTSCHER WETTERDIENST [DWD] (2025_A): Raster der Mitteltemperatur in °C für Deutschland - HYRAS-DE-TAS v6-1. Hrsg. v. Deutscher Wetterdienst. Offenbach am Main. Online verfügbar unter https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/grids_germany/daily/hyras_de/air_temperature_mean/BESCHREIBUNG_HYRAS-DE-TAS_V6-1_de.pdf.
- DEUTSCHER WETTERDIENST [DWD] (2025_B): Raster der Niederschlagssumme in mm für Deutschland - HYRAS-DE-PR v6-1. Hrsg. v. Deutscher Wetterdienst. Online verfügbar unter https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/grids_germany/daily/hyras_de/precipitation/.
- DEUTSCHER WETTERDIENST [DWD] (2020): Globale CLIMAT-Raster des Deutschen Wetterdienstes. Hrsg. v. DWD – Deutscher Wetterdienst. Offenbach am Main. Online verfügbar unter https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/observations_global/CLIMAT/.
- DEUTSCHER WETTERDIENST [DWD] (2019): Klimaszenarien. Online verfügbar unter https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimawandel/klimaszenarien/klimaszenarien_homenode.html;jsessionid=CA1BCF8A41BD74571881C99632C14C29.live31091, zuletzt geprüft am 20.03.2026.

- 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). Hrsg. 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 glacial. In: *Science* 353 (6298), S. 470. DOI: 10.1126/science.aaf5529.
- HÜBENER, HEIKE; SPEKAT, ARNE; BÜLOW, KATHARINA; FRÜH, BARBARA; KEULER, KLAUS; MENZ, CHRIS-TOPH ET AL. (2017): *ReKliEs-De Nutzerhandbuch*, zuletzt geprüft am 08.06.2020.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE [IPCC] (2023): Synthesis Report of the IPCC 6th. Assessment Report (AR6). Longer Report. Intergovernmental Panel on Climate Change, zuletzt geprüft am 29.06.2023.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE [IPCC] (2022_A): Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Hrsg. v. H. O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, et al. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK and New York, NY, USA, zuletzt geprüft am 29.06.2023.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE [IPCC] (2022_B): Climate change 2022 - Mitigation of climate change. Working Group III contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Hrsg. v. Priyadarshi R.

Shukla, Jim Skea, Raphael Slade, Roger Fradera, Minal Pathak, Alaa Al Khourdajie, et al. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK and New York, NY, USA, zuletzt geprüft am 29.06.2023.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE [IPCC] (2021_A): Climate Change 2021. The Physical Science Basis - Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Hrsg. v. Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, et al. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, zuletzt geprüft am 06.10.2021.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE [IPCC] (2021_B): Technical Summary. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Hrsg. v. IPCC. Cambridge, UK and New York, NY, USA.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE [IPCC] (Hrsg.) (2019_A): Climate Change and Land. An IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. Summary for Policymakers. Hrsg. v. IPCC. Geneva, Switzerland, zuletzt geprüft am 09.09.2019.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE [IPCC] (Hrsg.) (2019_B): The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. Unter Mitarbeit von H., O. Pörtner, D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor et al. IPCC, zuletzt geprüft am 08.10.2019.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE [IPCC] (2018): Global Warming of 1.5 °C. an IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5 °C above preindustrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Hrsg. v. IPCC. IPCC, zuletzt geprüft am 30.11.2018.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE [IPCC] (2013_A): Climate change 2013. The physical science basis Working Group I contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, New York, zuletzt geprüft am 15.11.2020.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE [IPCC] (Hrsg.) (2013_B): 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.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE [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. Hrsg. 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.

- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE [IPCC] (2007): Climate Change 2007 - The Physical Science Basis. The Physical Science Basis. 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. Hrsg. v. IPCC. IPCC. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Online verfügbar unter http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/contents.html, zuletzt geprüft am 13.10.2017.
- JANSEN, EYSTEIN; CHRISTENSEN, JENS HESSELBJERG; DOKKEN, TROND; NISANCIOGLU, KERIM H.; VINTHER, BO M.; CAPRON, EMILIE ET AL. (2020): Past perspectives on the present era of abrupt Arctic climate change. In: Nature Clim Change 10 (8), S. 714–721. DOI: 10.1038/s41558-020-0860-7.
- KRÄHENMANN, STEFAN (2019): Statistisches Downscaling und BIAS-Adjustierung der EURO-CORDEX Simulationen über dem HYRAS-Gebiet. Arbeitskonzept Stefan Krähenmann, DWD im BMVI-Expertenetzwerk. DWD, Abteilung Klima- und Umweltberatung. Offenbach a. Main, zuletzt geprüft am 19.02.2019.
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NRW [LANUV] (2024): Klimaentwicklung und Klimaprojektionen in Nordrhein-Westfalen. Datengrundlage und Wissenschaftlicher Hintergrund der Klimaanpassungsstrategie. Unter Mitarbeit von Nicole Kauke, Tobias Kemper, Antje Kruse, Alessandra Kunzmann und Ingo Wolff. Hrsg. v. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV). Recklinghausen. Online verfügbar unter https://www.klimaatlas.nrw.de/sites/default/files/2024-08/LANUV-Fachbericht_157.pdf, zuletzt geprüft am 04.12.2024.
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NRW [LANUV] (2023): ExUS 2020 – Studie. Extremwertstatistische Untersuchung von Starkniederschlägen in NRW. Recklinghausen.
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NRW [LANUV] (2021): Fachbeitrag Klima für die Planungsregion Münsterland. Hrsg. v. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV). Recklinghausen. Online verfügbar unter https://www.klimaatlas.nrw.de/sites/default/files/2022-10/20210504_Fachbeitrag_Klima_-_M%C3%BCnsterland.pdf.
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NRW [LANUV] (2019): Fachbeitrag Klima für die Planungsregion Arnsberg, räumlicher Teilplan Märkischer Kreis, Kreis Olpe und Kreis Siegen-Wittgenstein. Hrsg. v. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV). Recklinghausen, zuletzt geprüft am 03.02.2021.
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NRW [LANUV] (2018): Fachbeitrag Klima für die Planungsregion Köln. Hrsg. v. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV). Recklinghausen, zuletzt geprüft am 19.02.2019.
- LINKE, C. ET AL. (2015): Leitlinien zur Interpretation regionaler Klimamodelldaten des Bundesländer- Fachgespräches „Interpretation regionaler Klimamodelldaten“. Hrsg. v. Bundesländer- Fachgespräch "Interpretation regionaler Klimamodelldaten". Hannover.
- 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.
- NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION [NOAA] (2025_A): Climate at a Glance Global Time Series. NOAA. Online verfügbar unter https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/climate-at-a-glance/global/time-series/globe/tavg/land_ocean/ytd/12/1881-2024?trend=true&trend_base=100&begtrendyear=1881&endtrendyear=2025&filter=true&filterType=running-mean.
- NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION [NOAA] (2025_B): Global Monitoring Laboratory. Trends in CO₂, CH₄, N₂O, SF₆. NOAA. Online verfügbar unter <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/>.
- NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION [NOAA] (2019): Climate at a Glance. Hrsg. v. National Oceanic & Atmospheric Administration. Online verfügbar unter <https://www.ncdc.noaa.gov/cag/global/time-series>, zuletzt geprüft am 20.07.2019.
- NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION [NOAA] (2018_A): NOAA ESRL DATA. Hrsg. 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>.
- NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION [NOAA] (2018_B): 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.
- PITHAN, FELIX; MAURITSEN, THORSTEN (2014): Arctic amplification dominated by temperature feedbacks in contemporary climate models. In: *Nature Geosci* 7 (3), S. 181–184. DOI: 10.1038/ngeo2071.
- 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.
- SIPPEL, SEBASTIAN; MEINSHAUSEN, NICOLAI; FISCHER, ERICH M.; SZÉKELY, ENIKŐ; KNUTTI, RETO (2020): Climate change now detectable from any single day of weather at global scale. In: *Nat. Clim. Chang.* 10 (1), S. 35–41. DOI: 10.1038/s41558-019-0666-7.
- SKUPIN, KLAUS; ZANDSTRA, JACOB GOSSE (2010): Gletscher der Saale-Kaltzeit am Niederrhein. Untersuchungen zur Petrografie und Leitgeschiebeführung der

- Stauchmoränen des Nieder-rheins und deren Anbindung an die Moränen des Münsterlandes. Krefeld: Selbstverlag. Online verfügbar unter https://www.gd.nrw.de/zip/sv_gletscher_2010.pdf.B
- STAEGGER, TIM (2016): Temperaturverteilung und Extreme. Hrsg. 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. (HRSG.) (2013_A): 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. Fiechter, 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.
- STOCKER; F, T.; QIN, D.; PLATTNER, G.-K; TIGNOR, M.; ALLEN, S. K. ET AL. (HRSG.) (2013_B): 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.
- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (2025): Emissions Gap Report 2025: Off target – Continued collective inaction puts global temperature goal at risk. Hrsg. v. A. Olhoff, W. Lamb, T. Kuramochi, J. Rogelj, M. den Elzen und Christensen. Nairobi, Kenya. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.59117/20.500.11822/48854>.
- UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE [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 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.
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION [WMO] (2018): WMO Statement on the state of the global climate in 2017. Hrsg. v. World Meteorological Organization (WMO). World Meteorological Organization. Online verfügbar unter https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4453, zuletzt geprüft am 28.08.2018.
- 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 (2001), S. 20130096. DOI: 10.1098/rsta.2013.0096.

Kapitel 3

- BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT [BMEL] 2025: Klimaschutz und Klimawandel. https://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Nachhaltige-Landnutzung/Klimawandel/_Texte/LandwirtschaftUndKlimaschutz.html;jsessionid=8E4B9F49AE2A0DF225FC33CC38153BFC.1_cid358?nn=310028 (zuletzt aufgerufen am 28.01.2026)
- BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER [LAWA] (2025): Grundlagen und Leitlinien für eine ökologisch verträgliche Nutzung von Gewässern zur Wärmegewinnung. Online verfügbar unter: [LAWA-O5_23_Leitfaden-Gewthermie.pdf](#) (zuletzt abgerufen am 19.02.2026)
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE [IPCC] (2021): Full Report. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Abrufbar unter: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report.pdf (Stand 21.09.2023).
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE [IPCC] (2006): IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, 2006.
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND KLIMA NRW [LANUK] (2025_A): Solarpotenziale Freiflächen. Erläuterungen zu den Karten im Solarkataster NRW. Online abrufbar unter: https://www.energieatlas.nrw.de/site/solarpotenziale_freiflaechen. Zuletzt abgerufen am 19.02.2026.

- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND KLIMA NRW [LANUK] (2025_B): WINDATLAS NRW. LANUK-Fachbericht 166. Recklinghausen.
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND KLIMA NRW [LANUK] (2024_A): Potenzialstudie zur zukünftigen Wärmeversorgung in NRW. https://www.energieatlas.nrw.de/site/waermestudienrw_ergebnisse
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND KLIMA NRW [LANUK] (2024_B): Solarkataster NRW. Methodik der Karte „Suchflächen für Freiflächen-PV“. On-line verfügbar unter: https://www.energieatlas.nrw.de/site/Media/Default/Dokumente/Methodik_Suchflaechen_Juli%202024.pdf. Zuletzt abgerufen am 19.02.2026.
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NRW [LANUV] (2024): Windpotenzialmodellierung. <https://www.energieatlas.nrw.de/site/windpotenzialmodellierung>
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NRW [LANUV] (2023_A): 2025-09-18 LANUK Kurzbericht_THG-Emissionsinventar_2023-2024.pdf <https://www.lanuk.nrw.de/themen/klima/klimaschutz/treibhausgasemissionen>
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NRW [LANUV] (2023_B): Flächenanalyse Windenergie NRW. Recklinghausen.
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NRW [LANUV] (2017): Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW Teil 5 – Wasserkraft. Recklinghausen.
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NRW [LANUV] (2014): Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW Teil 3 - Biomasse-Energie LANUV-Fachbericht 40. Recklinghausen.
- MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, INDUSTRIE, KLIMASCHUTZ UND ENERGIE DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN [MWIKE] (2024_A): Energie- & Wärmestrategie Nordrhein-Westfalen. Langfassung. Abrufbar unter: https://www.wirtschaft.nrw/system/files/media/document/file/mwike_br_warmestrategie_langfassung_web-pdf.pdf. Zuletzt abgerufen am 17.02.2026
- MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, INDUSTRIE, KLIMASCHUTZ UND ENERGIE DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN [MWIKE] (2024_B): Energiespeicherkonzept Nordrhein-Westfalen. Kurzfassung. Abrufbar unter: https://www.wirtschaft.nrw/system/files/media/document/file/mwike_br_energiespeicherkonzept_kurzfassung_rz_web-pdf.pdf. Zuletzt abgerufen am 17.02.2026
- SACHVERSTÄNDIGEN RAT FÜR UMWELTFRAGEN [SRU] (2022): Wie viel CO₂ darf Deutschland maximal noch ausstoßen? Fragen und Antworten zum CO₂-Budget. Stellungnahme Juni 2022. Abrufbar unter: https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/04_Stellungnahmen/2020_2024/2022_06_fragen_und_antworten_zum_co2_budget.html (Stand 09.06.2023)
- UMWELTBUNDESAMT [UBA] (2024_A): Grundlagen von CO₂-Budgets <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/grundlagen-von-co2-budgets>
- UMWELTBUNDESAMT [UBA] (2024_B): Empfehlungen der Kommission Bodenschutz beim UBA. Der Boden als Kohlenstoff-speicher und Kohlenstoffsенke. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/der-boden-als-kohlenstoffspeicher-kohlenstoffsенke>
- UMWELTBUNDESAMT [UBA] (2020): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2020, Nationaler Inventarbericht zum

Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2018 <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/berichterstattung-unter-der-klimarahmenkonvention-5>

UMWELTBUNDESAMT [UBA] (2012): Klimaschutz in der räumlichen Planung. Gestaltungsmöglichkeiten der Raumordnung und Bauleitplanung.

Kapitel 4

DEUTSCHER WETTERDIENST [DWD] (2018): Bioklima. Hrsg. v. Deutscher Wetterdienst DWD. Deutscher Wetterdienst DWD. Online verfügbar unter https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/ku_beratung/gesundheit/bioklima/bioklima_node.html, zuletzt abgerufen am 20.07.2018.

GEOLOGISCHER DIENST NRW (2024): Forstliche Boden- und Standortkarten für die Wälder Nordrhein-Westfalens. Krefeld.

GROSS, G. (1992): Results of supercomputer simulations of meteorological mesoscale phenomena. *Fluid Dynamics Research*, 10(4–6), 483–498. [https://doi.org/10.1016/0169-5983\(92\)90035-U](https://doi.org/10.1016/0169-5983(92)90035-U)

GROSS, G. (1989): Numerical simulation of the nocturnal flow systems in the Freiburg area for different topographies. *Beitr. Phys. Atmosph.*, 62, 57–72.

GROSS, G. (1987). Some effects of deforestation on nocturnal drainage flow and local climate. A numerical study. *Boundary-Layer Meteorology*, 38(4), 315–337. <https://doi.org/10.1007/BF00120851>

LANDESBETRIEB WALD UND HOLZ NRW (2026): Regionalforstamt Niederrhein. Online verfügbar unter: <https://www.wald-und-holz.nrw.de/ueber-uns/einrichtungen/regionalforstamter/niederrhein> (zuletzt abgerufen am 13.02.2026)

LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NRW (2013): Landwirtschaftlicher Fachbeitrag zum Regionalplan Düsseldorf. Daten, Fakten, Entwicklungen der Landwirtschaft im ländlichen, sub-urbanen und urbanen Raum

LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND KLIMA NRW [LANUK] (2026): Klimaanalyse NRW 2026. Methoden- und Ergebnisüberblick. LANUK-Fachbericht 171. Recklinghausen

LOHMEYER, A., & SCHÄDLER, G. (1998). Das Kaltluftabflußmodell KALM. <https://www.lohmeyer.de/de/sys-tem/files/content/download/publikationen/KALM-deutsch.pdf>

KING, ERWIN (1973): Untersuchungen über kleinräumige Änderungen des Kaltluftflusses und der Frostgefährdung durch Straßenbauten. In: *Berichte des Deutschen Wetterdienstes* No. 130. DWD. Online verfügbar unter: <http://dwdbib.dwd.de/retrosammlung/33859>

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] (2011): 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.
- MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN [MLV] (2026_A): Waldinformationen für NRW. Online verfügbar unter: <https://www.waldinfo.nrw.de/> (zuletzt abgerufen am 13.02.2026)
- MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN [MLV] (2026_B): Waldbewirtschaftung. Online verfügbar unter: <https://www.mlv.nrw.de/themen/forstwirtschaft/waldbewirtschaftung> (zuletzt abgerufen am 13.02.2026)
- MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN [MLV] (2025): Waldzustandsbericht 2025. Bericht über den ökologischen Zustand des Waldes in Nordrhein-Westfalen.
- MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN [MLV] (2024): Wiederbewaldungskonzept Nordrhein-Westfalen. Empfehlungen für eine nachhaltige Walderneuerung auf Kalamitätsflächen. Düsseldorf.
- MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN [MLV] (2023): Waldbaukonzept Nordrhein-Westfalen. Empfehlungen für eine nachhaltige Waldbewirtschaftung. Düsseldorf.
- SCHULTE-KELLINGHAUS, S., WELLER, A. & WOLFF, I. (2020): Erweiterung der Forstlichen Standortkarte von Nordrhein-Westfalen auf der Grundlage von Klimaprojektionen und zur Entwicklung von Karten zur Eignung von Baumarten und Waldentwicklungstypen – Projektbericht.
- SIEVERS, U. (2005). Das Kaltluftabflussmodell KLAM_21 (No. 227; Berichte des DWD).
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE E. V. [VDI] (2024): VDI-Richtlinie 3787, Blatt 7: Umweltmeteorologie. Klimaindikatoren. Berlin: Beuth Verlag.
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE E. V. [VDI] (2022): VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2: Umweltmeteorologie. Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung der thermischen Komponente des Klimas. Berlin: Beuth Verlag.
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE E. V. [VDI] (2015): VDI-Richtlinie 3787, Blatt 1: Umweltmeteorologie. Klima- und Lüfthygienekarten für Städte und Regionen. Berlin: Beuth Verlag.

Kapitel 5

- BUNDESAMT FÜR KARTOGRAPHIE UND GEODÄSIE [BKG] (2026): Hinweiskarte Starkregen Gefahren. Online verfügbar unter: <https://www.bkg.bund.de/DE/Themen/Umwelt-und-Klimawandel/Starkregen/starkregen.html> (zuletzt abgerufen am 08.02.2026)
- BUNDESINSTITUT FÜR BAU-, STADT- UND RAUMFORSCHUNG [BBSR] (2025): Klimawandel und Energiewende raumverträglich gestalten. Online verfügbar unter: bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/sonderveroeffentlichungen/2025/klima-energie-dl.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (zuletzt abgerufen am 26.02.2026)

- BUNDESINSTITUT FÜR BAU-, STADT- UND RAUMFORSCHUNG [BBSR] (2023): Klimawandel und Energiewende gestalten. Vorbereitungsstudie Raumordnungsbericht 2024. Online verfügbar unter: https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/sonderveroeffentlichungen/2023/klimawandel-energiewende-vorstudie-rob-2024-dl.pdf?__blob=publicationFile&v=5 (zuletzt abgerufen am 09.07.2024)
- BUNDESMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, ERNÄHRUNG UND HEIMAT [BMLEH] (2026): Dürre-Wissensportal (DWP). Online verfügbar unter: <https://www.bmleh.de/DE/themen/la6dwirtschaft/klimaschutz/dwp-duerre-wissensportal.html>. (zuletzt abgerufen am 09.02.2026)
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR [BMVI] (2017): Handlungshilfe Klimawandelgerechter Regionalplan. Ergebnisse des Forschungsprojektes KlimREG für die Praxis. MORO Praxis Heft 6. Online verfügbar unter: https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/ministerien/moro-praxis/2017/moro-praxis-6-17-dl.pdf;jsessionid=CFF401419E68C4C81F9D70D12D7B7F2D.live11291?__blob=publicationFile&v=1 (zuletzt abgerufen am 09.07.2024)
- DEUTSCHER WETTERDIENST [DWD] (2021): Studie der Strategischen Behördenallianz „Anpassung an den Klimawandel“. Veränderte Niederschläge beeinflussen Einsatzgeschehen und urbane Lebensräume. Pressemitteilung vom 26.08.2021
- MINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND VERKEHR NRW [MUNV] (2024): Klimaanpassung Nordrhein-Westfalen. Landesstrategie 2024–2029. Stand Oktober 2024. Online verfügbar unter: <https://broschuerenservice.nrw.de/munv/shop/klimaanpassung-nordrhein-westfalen-2024-2029%7C2246>, zuletzt geprüft am 30.01.2026.

Impressum

Herausgeber	Landesamt für Natur, Umwelt und Klima Nordrhein-Westfalen (LANUK NRW) Leibnizstraße 10, 45659 Recklinghausen Telefon 02361 305-0 poststelle@lanuk.nrw.de www.lanuk.nrw.de
Bearbeitung	Niklas Raffalski, Elisabete Lopes, Dr. Christina Haubaum, Dr. Ingo Wolff (alle LANUK)
Stand	Juni 2026
Veröffentlichung	Juni 2026
Titelbild	LANUK; Kartengrundlage: Land NRW (2026): Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0 (www.govdata.de/dl-de/by-2-0)

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

Landesamt für Natur, Umwelt und Klima
Nordrhein-Westfalen

Leibnizstraße 10
45659 Recklinghausen
Telefon 02361 305-0
poststelle@lanuk.nrw.de

www.lanuk.nrw.de
