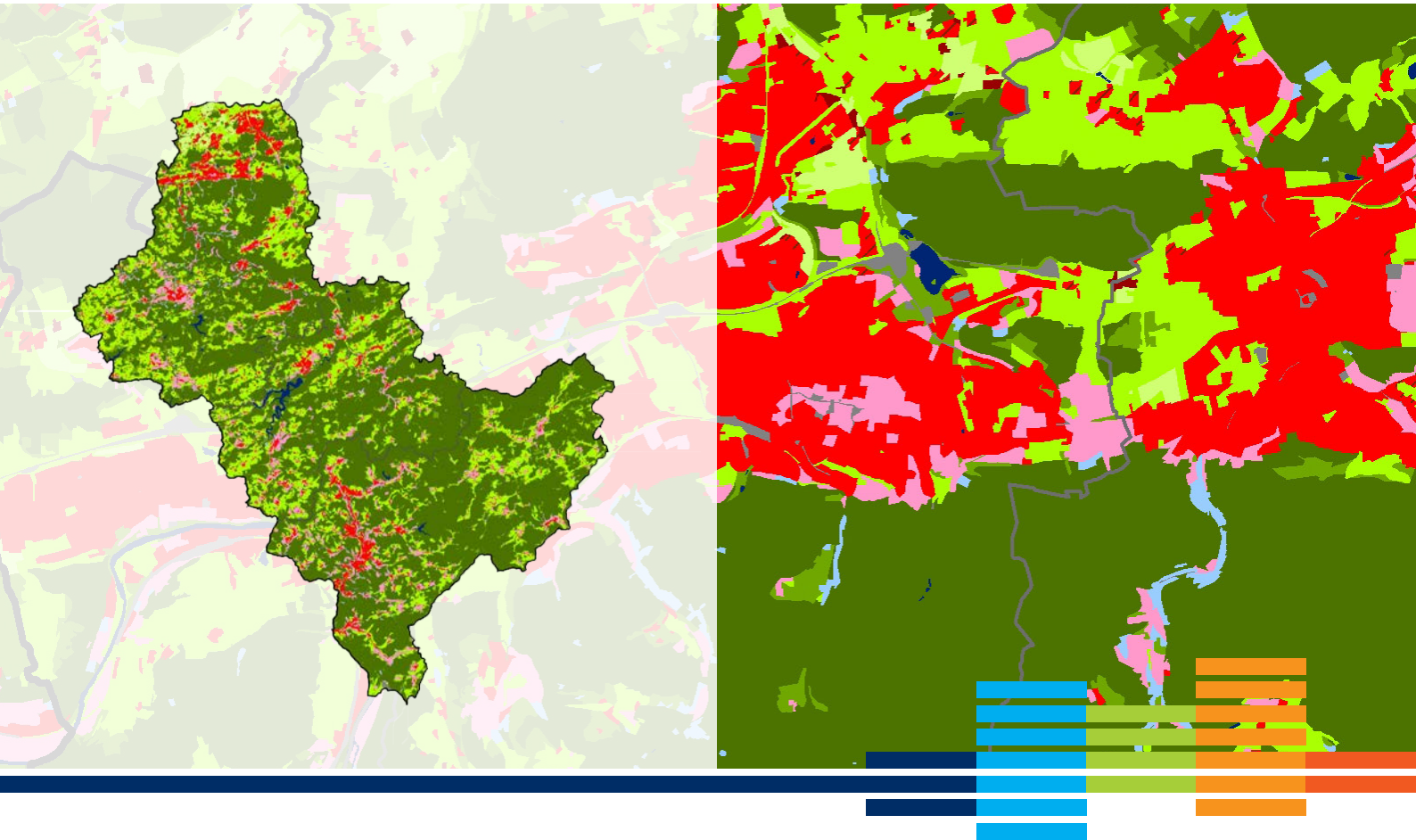




Fachbeitrag Klima

für die Planungsregion Arnsberg,
räumlicher Teilplan Märkischer Kreis,
Kreis Olpe und Kreis Siegen-Wittgenstein

Fachbeitrag Klima

für die Planungsregion Arnsberg,
räumlicher Teilplan Märkischer Kreis,
Kreis Olpe und Kreis Siegen-Wittgenstein

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen
Recklinghausen 2019

IMPRESSUM

Herausgeber	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) Leibnizstraße 10, 45659 Recklinghausen Telefon 02361 305-0 Telefax 02361 305-3215 E-Mail: poststelle@lanuv.nrw.de
Bearbeitung	Niklas Raffalski, Dr. Ingo Wolff (LANUV)
Fachliche Unterstützung	GEO-Net Umweltconsulting (Hannover), Planungsgruppe Umwelt (Hannover)
Titel	LANUV; Kartengrundlage: Land NRW (2018): Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0 (www.govdata.de/dl-de/by-2-0)
Informationsdienste	Informationen und Daten aus NRW zu Natur, Umwelt und Verbraucherschutz unter • www.lanuv.nrw.de Aktuelle Luftqualitätswerte zusätzlich im • WDR-Videotext
Bereitschaftsdienst	Nachrichtenbereitschaftszentrale des LANUV (24-Std.-Dienst) Telefon 0201 714488

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

Inhalt

Abbildungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis	9
1 Einführung	13
1.1 Rechtsgrundlagen	15
1.2 Das Teilplangebiet.....	17
2 Klimawandel im Teilplangebiet Märkischer Kreis, Kreis Olpe und Kreis Siegen-Wittgenstein	19
2.1 Aktuelles Klima und bisherige Entwicklung im Teilplangebiet Märkischer Kreis, Kreis Olpe und Kreis Siegen-Wittgenstein	23
2.1.1 Lufttemperatur	24
2.1.2 Kenntage Temperatur	27
2.1.3 Niederschlag	32
2.1.4 Kenntage Niederschlag	35
2.1.5 Zusammenfassung der bereits registrierten Klimaveränderungen.....	47
2.2 Projizierter Klimawandel im Teilplangebiet Märkischer Kreis, Kreis Olpe und Kreis Siegen-Wittgenstein	48
2.2.1 RCP-Szenarien und Perzentile	48
2.2.2 Projizierte Klimaveränderung	51
2.2.3 Temperatur.....	51
2.2.4 Temperatur: Projizierte Veränderungen im Jahresverlauf.....	53
2.2.5 Kenntage Temperatur	55
2.2.6 Niederschlag	58
2.2.7 Wetterextreme	62
2.2.8 Fazit projizierte Klimaänderungen	64
3 Klimaschutz im Teilplangebiet Märkischer Kreis, Kreis Olpe und Kreis Siegen-Wittgenstein	65
3.1 Treibhausgasemissionen und Klimaschutzziele.....	66
3.1.1 Treibhausgasemissionen im Teilplangebiet Märkischer Kreis, Kreis Olpe und Kreis Siegen-Wittgenstein	66
3.1.2 Ziele zur Reduktion von Treibhausgasemissionen.....	70
3.2 Ausbau der Erneuerbaren Energien in der Region	72
3.2.1 Windenergie	76
3.2.2 Photovoltaik.....	81
3.2.3 Biomasse.....	86
3.2.4 Wasserkraft	92
3.2.5 Fazit.....	96
3.3 Weitere Handlungsfelder Klimaschutz	97
3.4 Klima-fachliche Empfehlungen für regionalplanerische Festlegungen zum Klimaschutz	99

4	Klimaanpassung im Teilplangebiet Märkischer Kreis, Kreis Olpe und Kreis Siegen-Wittgenstein	102
4.1	Hitzebelastung.....	102
4.1.1	Hitzebelastung und regionalplanerische Steuerungsmöglichkeiten	104
4.1.2	Methodik der Klimaanalyse NRW.....	112
4.1.2.1	Grundlagen	113
4.1.2.2	Klimaanalyse Nachtsituation	115
4.1.2.3	Klimaanalyse Tagsituation	116
4.1.2.4	Gesamtbetrachtung.....	117
4.1.2.5	Klimawandel-Vorsorgebereich	120
4.1.2.6	Berechnung der Anzahl der betroffenen Bevölkerung	121
4.1.2.7	Abgrenzung von Bereichen mit überörtlicher Bedeutung	121
4.1.3	Ergebnisse der Klimaanalyse für das Teilplangebiet MK-OE-SI	125
4.1.3.1	Klimaanalyse Nachtsituation	125
4.1.3.2	Klimaanalyse Tagsituation	130
4.1.3.3	Zusammenfassende Gesamtbetrachtung.....	135
4.1.3.4	Klimaökologische Prozesse mit überörtlicher Bedeutung.....	143
4.1.4	Mögliche Umsetzungspfade und Handlungsempfehlungen	150
4.1.4.1	Diskussionen möglicher Umsetzungspfade	150
4.1.4.2	Hitzebelastung - Empfehlungen für regionalplanerische Festlegungen	154
4.2	Weitere Handlungsfelder Klimaanpassung	156
Literatur		161
Gesetze, Verordnungen und Rechtsprechung		172
Anhang A 1: Daten Bestand und Potenziale Erneuerbarer Energien.....		174
Anhang A 2: Methodik zur Abgrenzung von Bereichen mit überörtlicher klimaökologischer Bedeutung		182
A 2.1	Regional bedeutsame Belastungsräume (nachts).....	183
A 2.2	Regional bedeutsame Belastungsräume (tags)	185
A 2.3	Regional bedeutsame Kaltluft-Leitbahnen und assoziierte Einzugsgebiete.....	186
A 2.4	Regional bedeutsame Ausgleichsräume mit hoher Aufenthaltsqualität am Tage	195

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Gemeinden und Kreise im Regierungsbezirk Arnsberg (Betrachtetes Teilplangebiet ist rot umrandet, die Großlandschaften sind blau umrandet. Kartengrundlage: Land NRW (2018) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)	18
Abbildung 2:	Verlauf rekonstruierter CO ₂ -Gehalte und globaler Temperaturschwankungen der letzten 420.000 Jahre (Historische / aktuelle CO ₂ -Messungen im roten Oval, verändert nach HANSEN, SATO (2012) und ENGLANDER (2017))	21
Abbildung 3:	CO ₂ -Gehalte und Temperaturentwicklung seit Beginn der Wetteraufzeichnung bis 2017 (Grafik: LANUV NRW. Daten: National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA 2018B, 2018C, 2018D; Etheridge et al. 1996))	21
Abbildung 4:	Topographie und Großlandschaften des Teilplangebietes Märkischer Kreis, Kreis Olpe und Kreis Siegen-Wittgenstein (Kartengrundlage: Land NRW (2018) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)	23
Abbildung 5:	Mittlere Jahrestemperatur 1981-2010 (Daten: DWD; Kartengrundlage: Land NRW (2018) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)	25
Abbildung 6:	Mittlere Anzahl an Heißen Tage pro Jahr 1981-2010m (Daten: DWD; Kartengrundlage: Land NRW (2018) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0).....	28
Abbildung 7:	Änderung der mittleren Anzahl an Heißen Tage pro Jahr 1981-2010 bezogen auf 1951-1980 (Daten: DWD; Kartengrundlage: LandNRW (2018) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)	29
Abbildung 8:	Mittlere Anzahl an Eistagen pro Jahr 1981-2010 (Daten: DWD; Kartengrundlage: Land NRW (2018) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0.....	30
Abbildung 9:	Änderung der mittleren Anzahl an Eistagen pro Jahr 1981-2010 bezogen auf 1951-1980 (Daten: DWD; Kartengrundlage: Land NRW (2018) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)	31
Abbildung 10:	Mittlerer jährlicher Niederschlag 1981-2010 (Daten: DWD; Kartengrundlage: Land NRW (2018) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0).....	33
Abbildung 11:	Änderungen des mittleren jährlichen Niederschlags 1981-2010 bezogen auf 1951-1980 (Daten: DWD; Kartengrundlage: Land NRW (2018) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)	35
Abbildung 12:	Lage der Messstationen Wermelskirchen und Medebach-Berge (Daten: DWD; Kartengrundlage: Land NRW (2018) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)	37

Abbildung 13:	Mittlere Anzahl an Starkniederschlagstagen (> 10 mm/Tag) pro Jahr 1981-2010 (Daten: DWD; Kartengrundlage: Land NRW (2018) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0).....	39
Abbildung 14:	Mittlere Anzahl an Starkniederschlagstagen (> 20 mm/Tag) pro Jahr 1981-2010 (Daten: DWD; Kartengrundlage: Land NRW (2018) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0).....	40
Abbildung 15:	Mittlere Anzahl an Starkniederschlagstagen (> 30 mm/Tag) pro Jahr 1981-2010 (Daten: DWD; Kartengrundlage: Land NRW (2018) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0).....	41
Abbildung 16:	Änderung der mittleren Anzahl an Starkniederschlagstagen (> 10 mm/Tag) pro Jahr 1981-2010 bezogen auf 1951-1980 (Daten: DWD; Kartengrundlage: Land NRW (2018) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0).....	42
Abbildung 17:	Änderung der mittleren Anzahl an Starkniederschlagstagen (> 20 mm/Tag) pro Jahr 1981-2010 bezogen auf 1951-1980 (Daten: DWD; Kartengrundlage: Land NRW (2017) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0).....	43
Abbildung 18:	Änderung der mittleren Anzahl an Starkniederschlagstagen (> 30 mm/Tag) pro Jahr 1981-2010 bezogen auf 1951-1980 (Daten: DWD; Kartengrundlage: Land NRW (2017) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0).....	44
Abbildung 19:	Mittlere Anzahl an Schneetagen pro Jahr 1981-2010 (Daten: DWD; Kartengrundlage: Land NRW (2018) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0).....	45
Abbildung 20:	Änderung der mittleren Anzahl an Schneetagen pro Jahr 1981-2010 bezogen auf 1951-1980 (Daten: DWD; Kartengrundlage: Land NRW (2018) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)	46
Abbildung 21:	Temperaturverlauf beobachteter Temperaturen in NRW im Vergleich zu Zeitreihendaten der RCP-Projektionen (Datenquelle: DWD).....	50
Abbildung 22:	Klimawandel - Temperaturverteilung und Extreme (STAEGER 2016).....	64
Abbildung 23:	Treibhausgasemissionen und Restbudget in Deutschland (Grafik: Prof. Stefan Rahmstorf, Creative Commons BY-SA 4.0)	71
Abbildung 24:	Erneuerbare Energien - Stromertrag nach Gemeinden (Stand: 31.12.2018; Quellen: LANUV, BNA, ÜNB, LEE)	74
Abbildung 25:	Erneuerbare Energien – Anteil am Stromverbrauch nach Gemeinden (Stand: 31.12.2018; Quellen: LANUV, BNA, ÜNB, LEE; Stand Stromverbrauch: 31.12.2015).....	74
Abbildung 26:	Windenergie - potenzieller Ertrag nach Gemeinden (LANUV 2012; Beispiel „NRW-Leitszenario“)	78
Abbildung 27:	Windenergie - potenziell nutzbare Fläche nach Gemeinden (LANUV 2012; Beispiel „NRW-Leitszenario“)	78
Abbildung 28:	Windenergie - Anzahl der Anlagen nach Gemeinden (Stand: 31.12.2018; Quellen: LANUV, BNA, ÜNB, LEE)	80

Abbildung 29:	Windenergie - Stromertrag nach Gemeinden (Stand: 31.12.2018; Quelle: LANUV, BNA, ÜNB, LEE)	80
Abbildung 30:	Dachflächen-Photovoltaik - potenzieller Ertrag nach Gemeinden (LANUV 2018c).....	83
Abbildung 31:	Freiflächen-Photovoltaik - potenzieller Ertrag nach Gemeinden (LANUV 2013)	83
Abbildung 32:	Dachflächen-Photovoltaik - Stromertrag nach Gemeinden (Stand: 31.12.2018; Quelle: LANUV, BNA, ÜNB, LEE)	85
Abbildung 33:	Freiflächen-Photovoltaik - Stromertrag nach Gemeinden (Stand: 31.12.2018; Quelle: LANUV, BNA, ÜNB, LEE)	85
Abbildung 34:	Biomasse - potenzieller Stromertrag nach Kreisen (LANUV 2014).....	88
Abbildung 35:	Biomasse – potenziell nutzbare landwirtschaftliche Fläche nach Kreisen (LANUV 2014)	88
Abbildung 36:	Biomasse – potenziell nutzbare Waldfläche nach Kreisen (LANUV 2014)	89
Abbildung 37:	Biomasse - Stromertrag nach Gemeinden (Stand: 31.12.2018; Quelle: LANUV, BNA, ÜNB, LEE)	90
Abbildung 38:	Biomasse – Anzahl der Anlagen nach Gemeinden (Stand: 31.12.2018; Quelle: LANUV, BNA, ÜNB, LEE)	90
Abbildung 39:	Wasserkraft - potenzieller (ungenutzter) Ertrag nach Gemeinden (LANUV 2017 _B).....	93
Abbildung 40:	Wasserkraft - Anzahl potenzieller Anlagen (Neubau / Repowering) nach Gemeinden (LANUV 2017 _B)	93
Abbildung 41:	Wasserkraft - Ertrag nach Gemeinden (Stand: 31.12.2018; Quelle: LANUV, BNA, ÜNB, LEE).....	95
Abbildung 42:	Wasserkraft - Anzahl der Anlagen nach Gemeinden (Stand: 01.03.2017; Quelle: LANUV, BNA, ÜNB, LEE)	95
Abbildung 43:	Klimaanalyse Nachtsituation (Kartengrundlage: Land NRW (2017) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0).....	127
Abbildung 44:	Klimaanalyse Nachtsituation – Klimawandel-Vorsorgebereiche (Detailausschnitt) (Kartengrundlage: Land NRW (2017) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)	128
Abbildung 45:	Klimaanalyse Nachtsituation – Detailausschnitt Iserlohn (Kartengrundlage: Land NRW (2017) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0).....	129
Abbildung 46:	Klimaanalyse Tagsituation (Kartengrundlage: Land NRW (2017) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0).....	132
Abbildung 47:	Klimaanalyse Tagsituation – Klimawandel-Vorsorgebereiche (Detailausschnitt) (Kartengrundlage: Land NRW (2017) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)	133

Abbildung 48:	Klimaanalyse Tagsituation – Detailausschnitt Iserlohn (Kartengrundlage: Land NRW (2017) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0).....	134
Abbildung 49:	Klimaanalyse Gesamtbetrachtung (Kartengrundlage: Land NRW (2017) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)	139
Abbildung 50:	Klimaanalyse Gesamtbetrachtung – Klimawandel-Vorsorgebereiche (Detailausschnitt) (Kartengrundlage: Land NRW (2017) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)	140
Abbildung 51:	Klimaanalyse Gesamtbetrachtung – Detailausschnitt Iserlohn (Kartengrundlage: Land NRW (2017) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0).....	141
Abbildung 52:	Klimaanalyse – Planungsempfehlungen Regionalplanung (Kartengrundlage: Land NRW (2017) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0).....	145
Abbildung 53:	Klimaanalyse – Legende Planungsempfehlungen Regionalplanung	146
Abbildung A 1:	Schematische Darstellung der übergeordneten Arbeitsschritte zur Ableitung von klimabezogenen Planungsempfehlungen für die Regionalplanung in Anlehnung an das „Referenzverfahren“ gem. dem „Methodenhandbuch regionale Klimafolgenbewertung“ (Hrsg. BMVBS 2013)	182
Abbildung A 2:	Direkter und indirekter (inverser) Workflow zur Abgrenzung regional bedeutsamer Kaltluft-Leitbahnen und ihrer Einzugsgebiete	187
Abbildung A 3:	Exemplarischer Ablauf der Ermittlung regional bedeutsamer Kaltluft- Leitbahnen und der zugehörigen Einzugsgebiete	190
Abbildung A 4:	Beispiel eines heterogenen, Flurwind beeinflussten Strömungssystems mit Einzugsgebiet regionale Bedeutung	194

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Mittlere jährliche und saisonale Temperaturen 1971-2000 und 1981-2010 (Daten: DWD).....	24
Tabelle 2:	Änderung der mittleren jährlichen und saisonalen Temperaturen 1981-2010 bezogen auf 1951-1980	26
Tabelle 3:	Anzahl der Temperaturkenttage pro Jahr - Änderungen 1981-2010 bezogen auf 1951-1980.....	32
Tabelle 4:	Mittlerer jährlicher und saisonaler Niederschlag 1971-2000 und 1981-2010.....	33
Tabelle 5:	Änderungen des jährlichen und saisonalen Niederschlags 1981-2010 bezogen auf 1951-1980.....	34
Tabelle 6:	Änderung der mittleren jährlichen und saisonalen Anzahl an Trocken Tagen für die Messstationen Wermelskirchen und Medebach-Berge (alle Werte auf ganze Zahlen gerundet; Daten: DWD).....	37
Tabelle 7:	Anzahl der Starkniederschlagstage pro Jahr: Übersicht	44
Tabelle 8:	Änderung der mittleren Jahrestemperatur - Projektionen für die nahe Zukunft (2021-2050) bezogen auf 1971-2000 (Daten: DWD)	52
Tabelle 9:	Änderung der mittleren Jahrestemperatur - Projektionen für die ferne Zukunft (2071-2100) bezogen auf 1971-2000	53
Tabelle 10:	Änderung der mittleren saisonalen Temperaturen - Projektionen für die nahe und ferne Zukunft bezogen auf 1971-2000 (Daten: DWD)	54
Tabelle 11:	Änderung der Anzahl an Heißen Tage pro Jahr - Projektionen für die nahe und ferne Zukunft bezogen auf 1971-2000 (alle Werte auf ganze Zahlen gerundet; Daten: DWD)	55
Tabelle 12:	Änderung der Anzahl an Sommertagen pro Jahr - Projektionen für die nahe und ferne Zukunft bezogen auf 1971-2000 (alle Werte auf ganze Zahlen gerundet; Daten: DWD)	56
Tabelle 13:	Änderung der Anzahl an Eistagen pro Jahr - Projektionen für die nahe und ferne Zukunft bezogen auf 1971-2000 (alle Werte auf ganze Zahlen gerundet; Daten: DWD)	57
Tabelle 14:	Änderung der Anzahl an Frosttagen pro Jahr - Projektionen für die nahe und ferne Zukunft bezogen auf 1971-2000 (alle Werte auf ganze Zahlen gerundet; Daten: DWD)	58
Tabelle 15:	Änderung des mittleren jährlichen Niederschlags in Prozent - Projektionen für die nahe Zukunft (2021-2050) bezogen auf 1971-2000 (alle Werte auf ganze Zahlen gerundet; Daten: DWD).....	59
Tabelle 16:	Änderung des mittleren jährlichen Niederschlags in Prozent - Projektionen für die ferne Zukunft (2071-2100) bezogen auf 1971-2000 (alle Werte auf ganze Zahlen gerundet; Daten: DWD).....	59
Tabelle 17:	Änderung des saisonalen Niederschlags - Projektionen für die nahe und ferne Zukunft bezogen auf 1971-2000 (Daten: DWD).....	61

Tabelle 18:	Änderung der Anzahl an Starkniederschlagstagen (> 10 mm pro Tag) pro Jahr - Projektionen für die nahe und ferne Zukunft bezogen auf 1971-2000 (alle Werte auf ganze Zahlen gerundet; Daten: DWD).....	62
Tabelle 19:	Änderung der Anzahl an Starkniederschlagstagen (> 20 mm/Tag) pro Jahr - Projektionen für die nahe und ferne Zukunft bezogen auf 1971-2000 (alle Werte auf ganze Zahlen gerundet; Daten: DWD).....	63
Tabelle 20:	Treibhausgasemissionen im Teilplangebiet 2016	68
Tabelle 21:	Vergleich der THG-Emissionen 2016 im Teilplangebiet, in NRW und in Deutschland.....	69
Tabelle 22:	Ausbaustand der Erneuerbaren Energien im Teilplangebiet (Stand: 31.12.2018; Daten: LANUV, AGEE-STAT, BNA, ÜNB, LEE, Werte gerundet)	73
Tabelle 23:	Potenziale zum Ausbau der Erneuerbaren Energien im Teilplangebiet (Werte gerundet, Gesamtpotenzial ohne Berücksichtigung des derzeitigen Bestandes. Daten: Potenzialstudien Erneuerbare Energien des LANUV, Website www.energieatlas.nrw.de)	75
Tabelle 25:	Windenergie - Gemeinden mit der höchsten installierten Leistung	79
Tabelle 26:	Dachflächen-Photovoltaik - Gemeinden mit der höchsten potenziell installierbaren Leistung.....	84
Tabelle 27:	Freiflächen-Photovoltaik - Gemeinden mit der höchsten potenziell installierbaren Leistung.....	84
Tabelle 28:	Dachflächen-Photovoltaik - Gemeinden mit der höchsten installierten Leistung	86
Tabelle 29:	Freiflächen-Photovoltaik - Gemeinden mit der höchsten installierten Leistung	86
Tabelle 30:	Biomasse - potenzielle Erträge nach Kreisen (LANUV 2014)	89
Tabelle 31:	Biomasse - Ertrag und installierte Leistung (nur Strom) nach Gemeinden (Stand: 31.12.2018; Quelle: LANUV, BNA, ÜNB, LEE)	91
Tabelle 32:	Wasserkraft - Ausbaupotenzial nach Gemeinden (LANUV 2017 _B)	94
Tabelle 33:	Wasserkraft - Gemeinden mit der höchsten installierten Leistung (Stand: 01.03.2018; Quelle: LANUV, BNA, ÜNB)	94
Tabelle 34:	Bewertung des Kaltluftvolumenstroms	115
Tabelle 35:	Bewertung der nächtlichen Überwärmung im Siedlungsraum.....	116
Tabelle 36:	Bewertung der thermischen Belastung anhand der PET	117
Tabelle 37:	Klassenbasierte Gesamtbewertung der thermischen Situation in Siedlungsräumen.....	118
Tabelle 38:	Matrix zur Verknüpfung der Bewertung von Tag- und Nachtsituation bei Wohnflächen (links) sowie bei Gewerbeflächen (rechts).....	118
Tabelle 39:	Klassenbasierte Gesamtbewertung der thermischen Ausgleichfunktion von Grün- und Freiflächen.....	119
Tabelle 40:	Matrix zur Verknüpfung der Bewertung von Tag- und Nachtsituation bei Grünflächen	119

Tabelle 41:	Klimaanalyse Nachtsituation - Anzahl der betroffenen Bevölkerung und der Siedlungsfläche im Teilplangebiet MK-OE-SI	126
Tabelle 42:	Klimaanalyse Nachtsituation - Anzahl der betroffenen Bevölkerung und der Siedlungsfläche mit mäßiger thermischer Belastung nach Gemeinden	126
Tabelle 43:	Klimaanalyse Tagsituation - Anzahl der betroffenen Bevölkerung und der Siedlungsfläche im Teilplangebiet MK-OE-SI (Werte Bevölkerung gerundet)	130
Tabelle 44:	Klimaanalyse Tagsituation - Anzahl der betroffenen Bevölkerung und der Siedlungsfläche mit starker oder extremer thermischer Belastung nach Gemeinden (Werte Bevölkerung gerundet)	131
Tabelle 45:	Klimaanalyse Gesamtbetrachtung - Anzahl der betroffenen Bevölkerung und der Siedlungsfläche im Teilplangebiet MK-OE-SI	135
Tabelle 46:	Klimaanalyse Gesamtbetrachtung - Anzahl der betroffenen Bevölkerung und der Siedlungsfläche mit ungünstiger oder sehr ungünstiger thermischer Situation nach Gemeinden.....	136
Tabelle 47:	Klimawandel-Vorsorgebereiche - Anzahl der betroffenen Bevölkerung und der Siedlungsfläche mit in Zukunft voraussichtlich ungünstiger oder sehr ungünstiger thermischer Situation.....	136
Tabelle 48:	Klimawandel-Vorsorgebereiche - Anzahl der zusätzlich betroffenen Bevölkerung und der Siedlungsfläche mit in Zukunft voraussichtlich ungünstiger thermischer Situation nach Gemeinden (Werte Bevölkerung gerundet)	137
Tabelle 49:	Klimawandel-Vorsorgebereiche - Anzahl der zusätzlich betroffenen Bevölkerung und der Siedlungsfläche mit in Zukunft voraussichtlich sehr ungünstiger thermischer Situation nach Gemeinden (Werte Bevölkerung gerundet)	137
Tabelle 50:	Ungünstige und sehr ungünstige thermische Situation (Gesamtbetrachtung) - Vergleich der aktuell betroffenen und der zukünftig* voraussichtlich betroffenen Bevölkerung (*bis etwa 2050, bei der Annahme eines Temperaturanstieges von +1 K; Werte Bevölkerung gerundet)	137
Tabelle 51:	Bereiche mit überörtlicher klimaökologischer Bedeutung - Vergleich Teilplangebiet MK-OE-SI mit NRW	149
Tabelle A 1:	Gesamtpotenzial Windenergie nach Gemeinden(LANUV 2012).....	174
Tabelle A 2:	Bestand Windenergie nach Gemeinden (Stand: 31.12.2018)	175
Tabelle A 3:	Potenzial Dachflächen-Photovoltaik nach Gemeinden (LANUV 2018c) ..	176
Tabelle A 4:	Potenzial Freiflächen-Photovoltaik nach Gemeinden (LANUV 2013).....	177
Tabelle A 5:	Bestand Dachflächen-Photovoltaik nach Gemeinden (Stand: 31.12.2018)	178
Tabelle A 6:	Gesamtpotenzial Biomasse nach Kreisen (LANUV 2014).....	179
Tabelle A 7:	Bestand Biomasse nach Gemeinden(Stand: 31.12.2018)	179
Tabelle A 8:	Bestand Biomasse nach Kreisen (Stand: 31.12.2018).....	180

Tabelle A 9:	Ungenutzte Potenziale Wasserkraft nach Gemeinden (LANUV 2017 _B) ...	180
Tabelle A 10:	Bestand Wasserkraft nach Gemeinden (Stand: 31.12.2018)	181
Tabelle A 10:	Klassifizierung regional bedeutsamer nächtlicher Belastungsräume	184
Tabelle A 11:	Klassifizierung regional bedeutsamer Kaltluft-Leitbahnen (Kernbereiche von 1.000 m Breite) nach Leistungsfähigkeit	191
Tabelle A 12:	Klassifizierung regional bedeutsamer Kaltluft-Entstehungsgebiete (Einzugsgebiete der Leitbahnen) nach Kaltluft-Produktivität	192
Tabelle A 13:	Klassifizierung regional bedeutsamer Kaltluft-Entstehungsgebiete (Einzugsgebiete der Leitbahnen) nach Anzahl profitierender Einwohnern	192
Tabelle A 15:	Zusammengeführte Klassifizierung regional bedeutsamer Kaltluft- Entstehungsgebiete (Einzugsgebiete)	193

1 Einführung

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

Im Pariser Klimaschutzabkommen, 2015 von 195 Staaten beschlossen und 2016 in Kraft getreten, haben Deutschland und zahlreiche weitere Länder völkerrechtlich verbindliche Ziele formuliert: So soll die Erderwärmung im Vergleich zum vorindustriellen Niveau auf deutlich unter 2 Grad Celsius (°C), idealerweise auf 1,5 °C begrenzt werden. Um dies zu erreichen, darf der Mensch spätestens in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts nur noch so viele Treibhausgase ausstoßen, wie der Atmosphäre z. B. durch Wälder oder Moore wieder entzogen wird (so genannte "Treibhausgas-Neutralität"). Erforderlich ist hierfür ein schneller und konsequenter Wandel der Weltwirtschaft, verbunden mit einer deutlichen Verringerung des Kohlenstoff-Umsatzes (Dekarbonisierung). Weitere Ziele des Vertrages sind die bessere Anpassung der Staaten an den Klimawandel oder die Berücksichtigung globaler Finanzflüsse beim Klimaschutz (BMU 2017).

Der Begriff Klima bezeichnet den mittleren Zustand der Atmosphäre an einem bestimmten Ort oder für ein Gebiet und einen bestimmten Zeitraum. Das Klima wird durch statistische Auswertung von verschiedenen meteorologischen Größen über einer Periode von mindestens 30 Jahren (so genannte Klimanormalperiode) beschrieben. Es wird in der Regel durch Mittelwerte und Jahressummen (beispielsweise bei Temperatur und Niederschlag), Häufigkeiten (zum Beispiel verschiedene Kenntage) und Andauerzeiten (zum Beispiel Sonnenscheindauer) charakterisiert. Das Klima an einem bestimmten Ort wird wesentlich beeinflusst z. B. durch die Höhenlage, die Nähe zum Meer oder die Nähe zum Äquator. Der Begriff Klima ist dabei klar vom Begriff Wetter abzugrenzen: Das Wetter beschreibt im Gegensatz zum Klima den augenblicklichen physikalischen Zustand der unteren Atmosphäre (Troposphäre) zu einem bestimmten Zeitpunkt an einem bestimmten Ort. Von Wetter spricht man bei Zeiträumen von lediglich wenigen Stunden bis hin zu einigen Tagen.

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

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

Die Raumplanung ist daher bereits heute ein unverzichtbares Instrument, um Maßnahmen zum Klimaschutz sowie zur Anpassung an den anthropogenen Klimawandel zu implementieren. Aber auch der mittel- bis langfristig ausgerichtete Zeithorizont von Stadt- und Regionalentwicklung sowie die damit verbundenen, oft für einen Zeitrahmen mehrerer Generationen manifestierten baulichen Veränderungen, erfordern die Berücksichtigung klimatischer Veränderungen, die sich zum Teil erst in der Zukunft auswirken werden. Hier kann insbesondere die unterschiedliche Sektoren koordinierende und gesamträumliche Zielvorstellungen formulierende Raumordnung, auch im Vergleich zur häufig eher kurzfristig und auf Legislaturperioden ausgerichteten Politik, der Herausforderung des Klimawandels begegnen (KLIMA-UND-RAUM 2018).

Damit die räumliche Planung die Belange von Klimaschutz und Klimaanpassung in Konzepten, Masterplänen oder formellen Festsetzungen berücksichtigen kann, benötigt sie entsprechende, möglichst räumlich konkrete Informationen, belastbare Datengrundlagen und klimafachliche Einschätzungen. Ziel des hier vom Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW (LANUV) vorgelegten Fachbeitrags Klima für den Regionalplan Arnsberg, Teilplangebiet Märkischer Kreis, Kreis Olpe und Kreis Siegen-Wittgenstein (MK-OE-SI) ist es, diese Grundlagen für die planerischen Abwägungsprozesse flächendeckend bereitzustellen.

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

Der Fachbeitrag Klima gliedert sich dabei in drei zentrale Bausteine. In Kapitel 2 werden das Klima und der bereits stattgefundene sowie für die Zukunft projizierte anthropogene Klimawandel im Teilplangebiet MK-OE-SI beschrieben. Kapitel 3 befasst sich mit dem Handlungsfeld Klimaschutz im Teilplangebiet. Neben einer Auswertung der verfügbaren Daten zu den regionalen Treibhausgasemissionen wird hierbei insbesondere der Bereich der Energieversorgung und damit verbunden der Ausbau der Erneuerbaren Energien thematisiert. In Kapitel 4 werden Herausforderungen und Handlungsansätze zur Anpassung an den vom Menschen

verursachten Klimawandel in der Planungsregion behandelt. Der Fokus liegt hierbei vor allem auf dem Aspekt der klimatischen bzw. thermischen Belastung der Bevölkerung durch Hitze. Hierzu werden umfassende Daten aus der vom LANUV erstellten landesweiten „Klimaanalyse NRW“ (LANUV 2018_A) für das Teilplangebiet MK-OE-SI ausgewertet. Nur am Rande behandelt werden dabei die ebenfalls bedeutsamen Auswirkungen des anthropogenen Klimawandels auf die Wasserwirtschaft, was zum Beispiel Problemstellungen wie Sturzfluten in Folge von vermehrten Starkniederschlagsereignissen, vorsorgender Hochwasserschutz, Gewässermanagement und die Sicherung des (Trink-) Wasserdargebots umfasst. Für diese Aspekte wird ein eigenständiger Fachbeitrag „Wasser und Klimawandel“ vom LANUV erstellt, der von den entsprechenden Fachdezernaten der Bezirksregierung räumlich konkretisiert und auf die regionalen / lokalen Gegebenheiten hin angepasst werden kann. Auch die Bereiche Forst- und Landwirtschaft werden nicht im Detail thematisiert, da hierzu ebenfalls eigenständige sektorale Fachbeiträge erstellt werden. Gleiches gilt für den Bereich Natur- und Artenschutz. Hier liegt mit dem Fachbeitrag des Naturschutzes und der Landschaftspflege des LANUV eine Informationsgrundlage vor, die für das Teilplangebiet MK-OE-SI ebenfalls einen Fokus auf den vom Menschen verursachten Klimawandel legt.

1.1 Rechtsgrundlagen

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

Das Landesplanungsgesetz Nordrhein-Westfalen (LPIG NRW) formuliert dazu in § 12 (2): *„Vorliegende Fachbeiträge und Konzepte (z. B. Klimaschutzkonzepte) sind bei der Erarbeitung von Raumordnungsplänen zu berücksichtigen.“* Auch nach in Kraft treten der letzten Änderung am 6. August 2019 legt der Landesentwicklungsplan Nordrhein-Westfalen (LEP) in Grundsatz 4-3 weiterhin fest, das vorliegende Klimaschutzkonzepte und den Klimaschutz betreffende Fachbeiträge von der Regionalplanung zu berücksichtigen sind.

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

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

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

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

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

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

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

1.2 Das Teilplangebiet

Zu dem Gebiet des räumlichen Teilplans des Regionalplans Arnsberg, für den dieser Fachbeitrag Klima erarbeitet wurde, zählen der Märkische Kreis (413.383 Einwohner), der Kreis Olpe (134.808 Einwohner) sowie der Kreis Siegen-Wittgenstein (277.977 Einwohner) (Quelle: IT.NRW, Stand: 31.12.2017). Mit einer Fläche von rund 2.900 Quadratkilometern (290.000 Hektar) und einer Gesamtbevölkerungszahl von knapp 830.000 umfasst das Teilplangebiet 36 % der gesamten Fläche und 23 % der gesamten Bevölkerung des Regierungsbezirks Arnsberg. In Abbildung 1 ist das Teilplangebiet durch eine rote Lineatur vom restlichen Gebiet des Regierungsbezirks Arnsberg abgegrenzt. Weiterhin zählen zum Gebiet der Bezirksregierung Arnsberg die Kreise Soest und der Hochsauerlandkreis als eigenständiger Regionalplan-Teilabschnitt sowie die Kreise und kreisfreien Städte Herne, Bochum, Ennepe-Ruhr-Kreis, Hagen, Dortmund, Unna und Hamm, die zukünftig zum Geltungsbereich des aktuell noch im Entwurf befindlichen Regionalplans Ruhr des Regionalverbandes Ruhr (RVR) gehören.

Die Siedlungsdichte im Teilplangebiet liegt mit ca. 390 Einwohnern pro km² im Märkischen Kreis, mit ca. 246 Einwohnern pro km² im Kreis Siegen-Wittgenstein sowie etwa 191 Einwohnern pro km² im Kreis Olpe zum Teil ganz erheblich unter dem Landesdurchschnitt (517 Einwohnern pro km²) von Nordrhein-Westfalen.

Hinsichtlich der Großlandschaften liegt das Teilplangebiet fast ausschließlich in der Großlandschaft Sieger- und Sauerland (Abbildung 1). Lediglich der westlichste Teil des Märkischen Kreises gehört zum Bergischen Land. Der Großteil der Region ist geprägt von den Mittelgebirgen des Rheinischen Schiefergebirges. Nur in den beiden nördlichsten Gemeindegebieten des Märkischen Kreises, im Ruhr- und Lennetal, ist das Relief weniger stark ausgeprägt. Dort steigt von ca. 100 m ü. NHN (Meter über Normalhöhennull) die Höhe im Teilplangebiet bis an den äußersten Osten des Kreises Siegen-Wittgenstein auf maximal 788 m ü. NHN am Rothaargebirge an. Abbildung 4 in Kapitel 2.1 stellt die physische Übersicht des Teilplangebietes dar.

Der nördliche Teil des Teilplangebietes wird durch die Lenne und die Volme entwässert, der südliche Teil nach Westen durch die Sieg, sowie nach Osten durch die Eder und die Lahn. Die Ruhr bildet in Iserlohn und Menden im Wesentlichen die nördliche Grenze des Märkischen Kreises und damit des Plangebietes. Bedeutende Gewässer in der Region sind darüber hinaus die zahlreichen Talsperren, wie die Biggetal- sowie die Listertalsperre, die Kerspetalsperre oder die Versetalsperre.

Wirtschaftlich sind die drei Kreise im Plangebiet vor allem gekennzeichnet von einer klein- und mittelständisch geprägten Unternehmensstruktur mit einem Schwerpunkt im verarbeitenden Gewerbe. Ein Großteil der Arbeitsplätze in der Region ist dem Industriesektor zuzuordnen, hierzu zählen zum Beispiel zahlreiche Metall erzeugende und verarbeitende Unternehmen aus dem Maschinenbau und der Automobilzuliefererindustrie. Daneben haben auch die Forst- und Holzwirtschaft in der Region eine lange Tradition (IHK SIEGEN 2019; KREIS SIEGEN-WITTGENSTEIN 2019).

Eine besondere Rolle spielt für die Region der Tourismus: Die hügelige Mittelgebirgslandschaft mit ihren Wäldern und Seen lockt beispielsweise zahlreiche Wander- oder Wintertouristen an.

Das Plangebiet ist Teil des Naturparks Sauerland-Rothaargebirge, dem zweitgrößten Naturpark Deutschlands (KREIS OLPE 2019).

Daneben gibt es in der Region auch bedeutende Hochschulstandorte: Siegen verfügt über eine Universität sowie die Hochschule für Ökonomie und Management, Iserlohn ist Hauptsitz der Fachhochschule Südwestfalen mit derzeit etwa 4.000 Studierenden (MÄRKISCHER KREIS 2019).

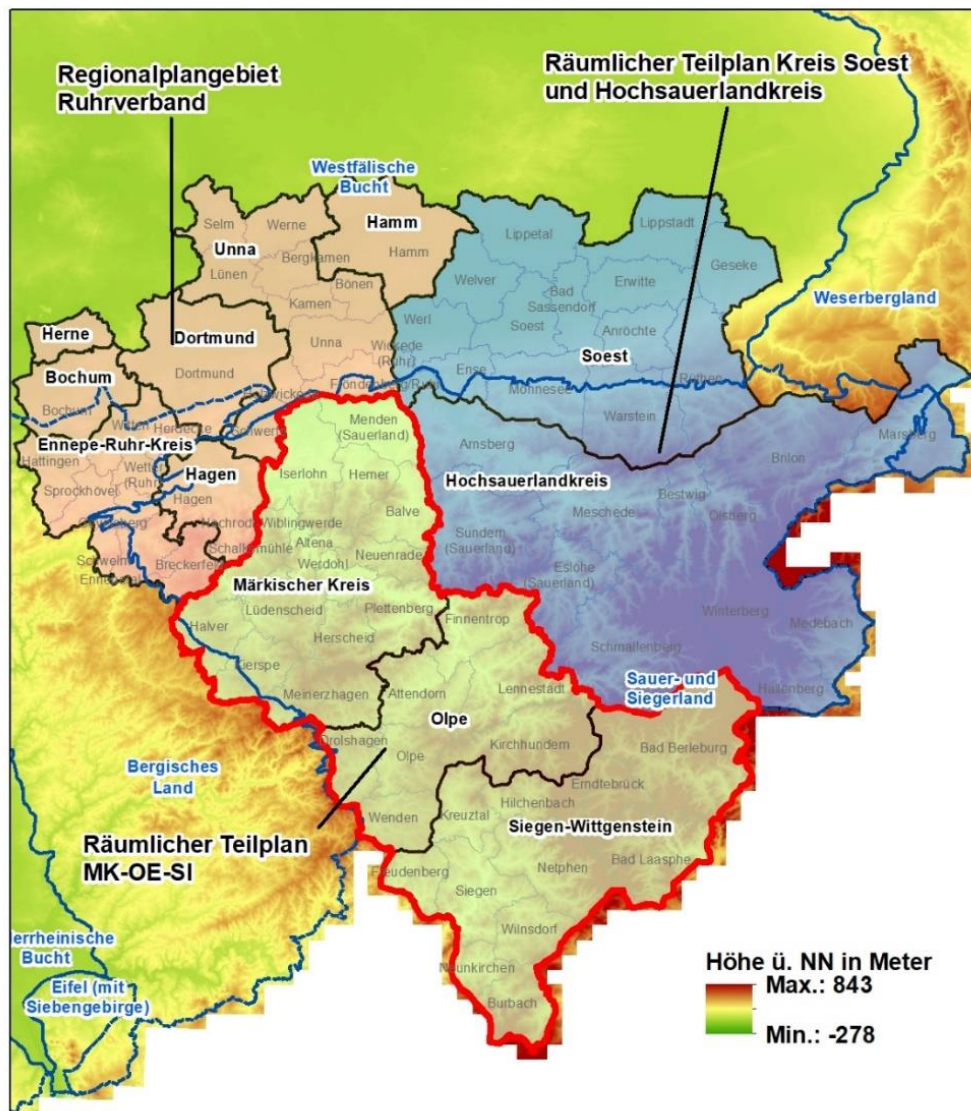


Abbildung 1: Gemeinden und Kreise im Regierungsbezirk Arnsberg (Betrachtetes Teilplangebiet ist rot umrandet, die Großlandschaften sind blau umrandet. Kartengrundlage: Land NRW (2018) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)

2 Klimawandel im Teilplangebiet Märkischer Kreis, Kreis Olpe und Kreis Siegen-Wittgenstein

Der anthropogene Klimawandel fasst sämtliche vom Menschen verursachte Änderungen im globalen Klimasystem zusammen. Dazu gehören unter anderem Durchschnittstemperaturen, Niederschlagssummen, die Länge der Jahreszeiten, Wetterextreme oder Veränderungen von ganzen Wettersystemen durch die Abschwächung des Polarfront-Jetstreams. Im Folgenden wird eine kurze Einführung in die Ursachen des Klimawandels gegeben. Dies erscheint sinnvoll, um die Magnitude dieser vom Menschen verursachten Klimaänderung zu verdeutlichen und um die in den kommenden Unterkapiteln dargestellten Zahlen der bereits beobachteten und der für die Zukunft projizierten Klimaveränderungen im Teilplangebiet MK-OE-SI in einen größeren Zusammenhang zu setzen.

Seit der industriellen Revolution, und besonders verstärkt nach 1950, greift der Mensch u. a. durch die Verbrennung von fossilen Energieträgern wie Kohle, Öl oder Gas oder eine intensivierte Landnutzung massiv in die Zusammensetzung der Atmosphäre ein. Durch die daraus resultierende Anreicherung der Atmosphäre mit Treibhausgasen (insbesondere Kohlenstoffdioxid (CO_2)) steigen die globalen Temperaturen stark an. CO_2 ist dabei das Treibhausgas, welches mit Abstand in den 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 parts per million (PPM), im Jahr 2010 stieg er auf 400 ppm und 2019 erreichte der CO_2 -Gehalt erstmals eine Höhe von 414 ppm (NOAA 2018_A). Dies ist ein Wert, welcher wahrscheinlich zuletzt vor 3,3 Millionen Jahren erreicht wurde (BOER et al. 2010; VAN DE WAL et al. 2011; ZHANG et al. 2013; STOCKER et al. 2013b) und bedeutet einen Anstieg von über 47 % in sehr kurzer Zeit, der mit seiner Schnelligkeit so auf der Erde mindestens seit 66 Mio. Jahren (ZEEBE et al. 2016) beispielloos ist. 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, emittierte der Mensch zuletzt diese Menge an CO_2 zusätzlich in nur 17 Jahren (BEREITER et al. 2015; HENLEY und ABRAM 2017).

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 ständigen 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). Klimaschwankungen der letzten 12.000 Jahre, die in einer wesentlich geringeren Bandbreite stattgefunden haben (MARCOTT et al. 2013), sind erst recht nicht mit dem derzeit stattfindenden anthropogenen Klimawandel vergleichbar, wenn man die Ursache und vor allem die globalen Ausmaße der Erwärmung betrachtet (BJÖRCK 2011; STOCKER et al. 2013b). Aufgrund der drastischen Zunahme des CO_2 -Gehaltes wird der natürliche Treibhauseffekt wesentlich verstärkt, die globale Temperatur und die Meeresspiegelhöhe passen sich entspre-

chend an. Zusätzlich werden sich selbst verstärkende Prozesse, wie die Erwärmung des Arktischen Ozeans durch den Rückgang des See-Eises oder der verstärkten Methanausgasung im Permafrost, diesen Effekt weiter antreiben.

Der erst kürzlich vom Weltklimarat, dem Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), veröffentlichte Sonderbericht über die Unterschiede zwischen einer globalen Erwärmung von 1,5 Grad Celsius gegenüber 2 Grad Celsius (IPCC 2018) stellt eine sehr eindringliche Warnung vor den möglichen dramatischen Folgen des anthropogenen Klimawandels dar.

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

Im Anschluss stellt Abbildung 3 den globalen Anstieg der Temperatur und der CO₂-Konzentration von 1880 bis 2017 dar. Was in Abbildung 2 bei der Kohlendioxidkonzentration innerhalb des roten Ovals wie eine Wand aussieht (aufgrund der geringen zeitlichen Auflösung), stellt sich in Abbildung 3 auch bei hoher zeitlichen Auflösung als eine deutliche Steigerung heraus, die seit den 1980er Jahren nochmal steiler wird. Die globale Erderwärmung nimmt gut sichtbar ebenfalls verstärkt seit den 1980er Jahren zu.

Dass die in Abbildung 2 dargestellte Temperaturkurve keinen ähnlich steilen Anstieg wie bei der oberen CO₂-Konzentrationskurve anzeigt, liegt daran, dass sich das Klimasystem noch nicht auf die bereits erfolgte anthropogene CO₂-Anreicherung der Atmosphäre eingestellt hat. Alleine durch die enorme Wärmekapazität der Ozeane wird sich das durch den anthropogen verstärkten Treibhauseffekt gestörte Energiegleichgewicht auf der Erde erst nach Jahrzehnten wieder im Gleichgewicht befinden - mit dann höheren Temperaturen in den Ozeanen und auf der Erdoberfläche, entsprechend dem erhöhten CO₂-Gehalt (HANSEN et al. 2017). Dies bedeutet, dass sich selbst bei einem plötzlichen Ende aller Treibhausgasemissionen die Erde noch weiter erwärmen wird, insbesondere in Anbetracht der Verweildauer von CO₂ in der Atmosphäre von ca. 50-200 Jahren (IPCC 2007). Ohne zusätzliche Rückkopplungseffekte könnten die Temperaturen noch zwischen 0,5 und 0,7 Kelvin [K] ansteigen (die Temperatureinheiten Grad Celsius und Kelvin haben identische Skalierungen, Temperaturänderungen werden in Kelvin angegeben) (HANSEN et al. 2017) und somit das 1,5 Grad Celsius-Ziel des Pariser Klimaabkommens (UNFCCC 2015), gegenüber dem vorindustriellem Niveau, übertreffen. Der aktuelle Sonderbericht des IPCC zum 1,5 Grad Celsius-Ziel (IPCC 2018) formuliert hingegen, dass eine Begrenzung der globalen Temperatur auf dieses Niveau noch gerade so realistisch sein kann. Voraussetzung hierfür sei, dass fundamentale Anstrengungen zum Klimaschutz sehr zeitnah, d. h. in den nächsten Jahren, auf den Weg gebracht werden.

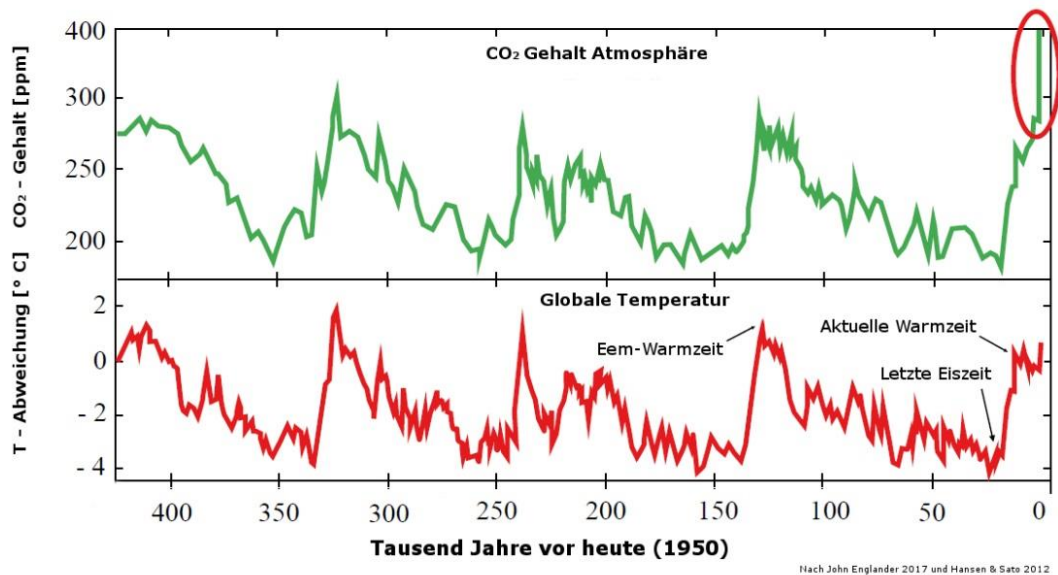


Abbildung 2: Verlauf rekonstruierter CO₂-Gehalte und globaler Temperaturschwankungen der letzten 420.000 Jahre (Historische / aktuelle CO₂-Messungen im roten Oval, verändert nach HANSEN, SATO (2012) und ENGLANDER (2017))

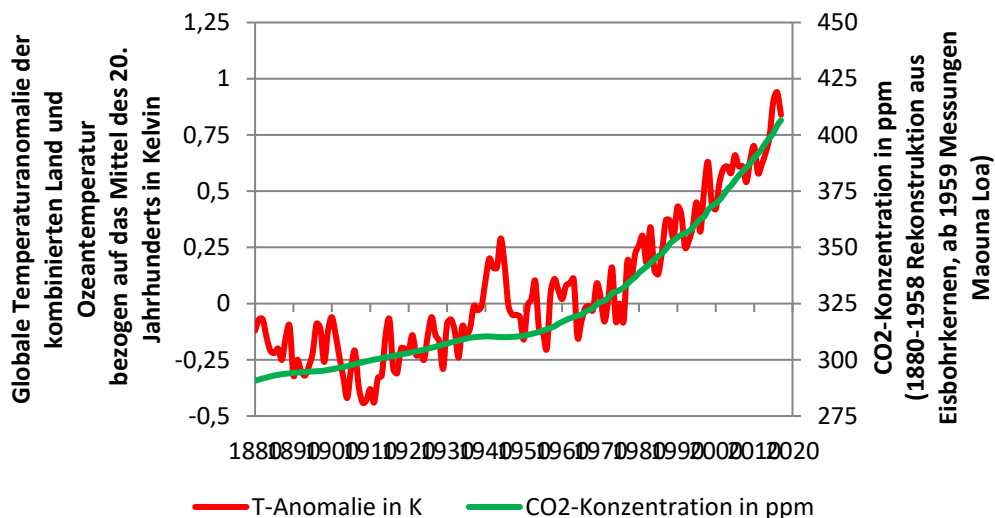


Abbildung 3: CO₂-Gehalte und Temperaturentwicklung seit Beginn der Wetteraufzeichnung bis 2017 (Grafik: LANUV NRW. Daten: National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA 2018B, 2018C, 2018D; ETHERIDGE et al. 1996))

Weltweit sind die mittleren globalen Temperaturen seit Beginn der Wetteraufzeichnungen (im Vergleich der Klimanormalperioden 1881-1910 und 1981-2010) um rund 0,7 Kelvin (NASA GODDARD INSTITUTE FOR SPACE STUDIES 2018) gestiegen. In Nordrhein-Westfalen hat sich die mittlere Temperatur um rund 1,2 Kelvin (LANUV 2016_A) erhöht. Vergleicht man die Anfangs- und Endwerte der linearen Trendgeraden, so liegt der globale Temperaturanstieg (1880-2017) bei knapp 1 Kelvin (0,98 nach NASA GODDARD INSTITUTE FOR SPACE STUDIES 2018; 0,95 nach NOAA 2018_B) sowie bei 1,6 Kelvin für NRW (1881-2018, Daten vom DWD). Eine Ursache dafür, dass sich NRW und Deutschland schneller erwärmt haben als im globalen Mittel, ist der Effekt der „arctic amplification“, durch den sich insbesondere die Nordhalbkugel durch den Rückgang des arktischen Meereises besonders schnell erwärmt (BEKRYAEV et al. 2010; SCREEN und SIMMONDS 2010). Außerdem gab es in Nordrhein-Westfalen innerhalb des Zeitraumes 1881-2017 einen Anstieg der mittleren jährlichen Niederschlagsmenge um 13 %. Weitere Informationen stehen auch auf den Seiten des Klimafolgenmonitorings des LANUV NRW unter www.kfm.nrw.de zur Verfügung.

In den folgenden Kapiteln wird das Klima im Teilplangebiet MK-OE-SI näher beschrieben. In Kapitel 2.1 wird das aktuelle Klima und seine bisherige Entwicklung seit der Klimanormalperiode 1951-1980 beschrieben. In Kapitel 2.2 werden die modellierten Klimaprojektionen für die Zukunft bezogen auf das Teilplangebiet dargestellt.

2.1 Aktuelles Klima und bisherige Entwicklung im Teilplangebiet Märkischer Kreis, Kreis Olpe und Kreis Siegen-Wittgenstein

In diesem Kapitel werden das aktuelle Klima im betrachteten Teilplangebiet Märkischer Kreis, Kreis Olpe und Kreis Siegen Wittgenstein sowie die Entwicklung des Klimas bezogen auf die Klimanormalperiode (KNP) 1951-1980 beschrieben.

Das Teilplangebiet MK-OE-SI gehört klimatisch zur warmgemäßigten und feuchtemperierten Klimazone (Cfb) nach der Klassifikation von Köppen und Geiger (RUBEL und KOTTEK 2010), die ganz Deutschland und Mitteleuropa mit einschließt. Innerhalb des Teilplangebietes bestehen größere Unterschiede hinsichtlich der Topographie (Abbildung 4), die sich auch auf das vorherrschende Klima auswirken. Wie bereits in Kapitel 1.2 beschrieben, steigert sich die Höhenlage innerhalb des Teilplangebietes vom im Norden gelegenen Ruhrtal (ca. 100 m ü. NHN) bis in die südöstlichen Bereiche im Anschluss an das Rothaargebirge (ca. 788 m ü. NHN). Dazwischen liegt ein mittleres Höhengniveau von ca. 440 m ü. NHN vor. Entsprechend der in Abbildung 4 ersichtlichen topographischen Gliederung wirkt sich, wie im Folgenden dargestellt, diese Gliederung auch auf die mittleren jährlichen Niederschlagssummen, mittleren Temperaturen und zahlreichen anderen klimatischen Parametern aus.

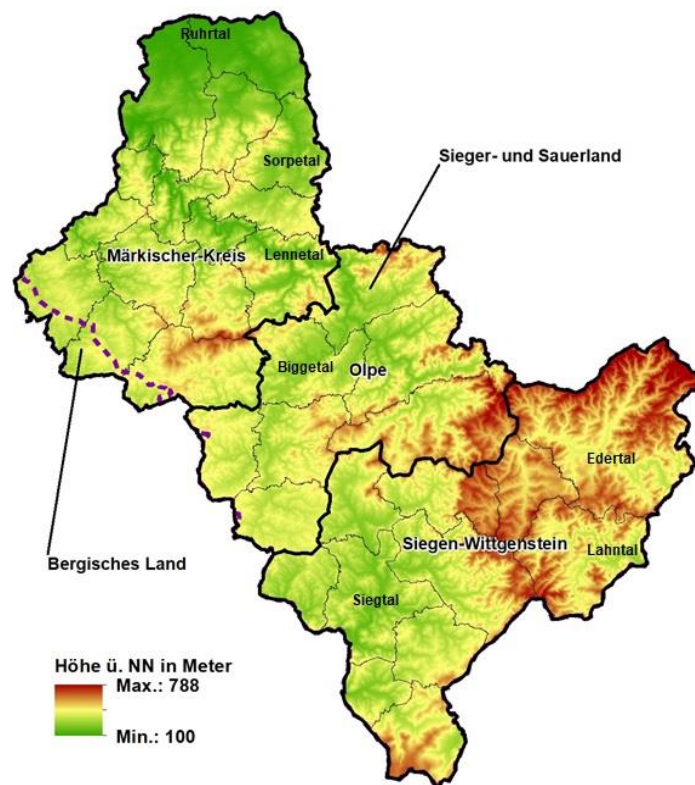


Abbildung 4: Topographie und Großlandschaften des Teilplangebietes Märkischer Kreis, Kreis Olpe und Kreis Siegen-Wittgenstein (Kartengrundlage: Land NRW (2018) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)

In den folgenden Unterkapiteln wird näher auf die klimatischen Parameter Lufttemperatur (0) und die klimatischen Kenntage zur Lufttemperatur (2.1.2) eingegangen. Danach erfolgt die Darstellung des Parameters Niederschlag (2.1.3) sowie der dazugehörigen Kenntage und zuletzt der Schneebedeckung (0). Dabei wird das aktuelle Klima der Klimanormalperiode 1981-2010 eingehender auch in Bezug auf die der Topographie geschuldeten räumlichen Unterschiede beschrieben. Neben den klimatischen Kenngrößen der aktuellen Klimanormalperiode 1981-2010 werden auch die Werte der Klimanormalperiode 1971-2000 aufgeführt, da diese Klimanormalperiode als Referenz für die in Kapitel 0 dargestellten Zukunftsprojektionen verwendet wird. Darüber hinaus werden auch die bereits registrierten Veränderungen der unterschiedlichen Klimaparameter in der Planungsregion seit der Klimanormalperiode 1951-1980 dargestellt. Zum Schluss werden die beobachteten Klimaänderungen bewertet (0).

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

2.1.1 Lufttemperatur

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

Die mittlere Jahrestemperatur im Teilplangebiet MK-OE-SI beträgt für die aktuelle Klimanormalperiode 1981-2010 rund 8,2 °C, während die mittlere Jahrestemperatur in der KNP 1971-2000 noch rund 7,9 °C betrug. Die für das Teilplangebiet berechneten Temperaturmittelwerte liegen deutlich unter den Mittelwerten für NRW, die bei 9,6 °C (1981-2010) und 9,3 °C (1971-2000) angesiedelt sind. Eine Übersicht der mittleren Temperaturen für das Teilplangebiet und die Jahreszeiten in der KNP 1981-2010 sowie der KNP 1971-2000 sind in Tabelle 1:

Mittlere jährliche und saisonale Temperaturen 1971-2000 und 1981-2010 (Daten: DWD) dargestellt.

Tabelle 1: Mittlere jährliche und saisonale Temperaturen 1971-2000 und 1981-2010 (Daten: DWD)

	KNP 1971-2000	KNP 1981-2010
Frühjahr	7,3 °C	7,7 °C
Sommer	15,4 °C	15,8 °C
Herbst	8,1 °C	8,5 °C
Winter	0,8 °C	0,7 °C
Jahr	7,9 °C	8,2 °C

Die topographische Gliederung der Region spiegelt sich sehr deutlich in der räumlichen Verteilung der mittleren jährlichen Lufttemperatur wieder. Abbildung 5 stellt anschaulich dar, wie

sich die Höhenlage auf die durchschnittliche Jahrestemperatur in der KNP 1981-2010 auswirkt. Der größte Flächenanteil des Teilplangebietes liegt auf einer durchschnittlichen Höhe von etwa 400 bis 500 m ü. NHN. Dort liegt die mittlere Temperatur der KNP 1981-2010 zwischen 8 °C und 9 °C. Die tiefergelegenen Täler der Ruhr, Lenne und Sieg weisen eine mittlere Temperatur von 9 °C bis 10 °C auf. Die Gebiete, die über 500 m ü. NHN liegen, weisen mittlere Temperaturen von 7 °C bis 8 °C auf. Diese mittleren Hochlagen finden sich im Märkischen Kreis nur im Süden sowie im Kreis Olpe im Süden bis Osten. Im Kreis Siegen-Wittgenstein ist diese Höhe und somit dieses Temperaturniveau vor allem im Osten anzutreffen. Die Hochlagen im Ostteil des Kreises Siegen-Wittgenstein erreichen bei Höhen von deutlich über 700 m ü. NHN nur noch ein mittleres Temperaturniveau von 6 bis 7 °C im Jahr.

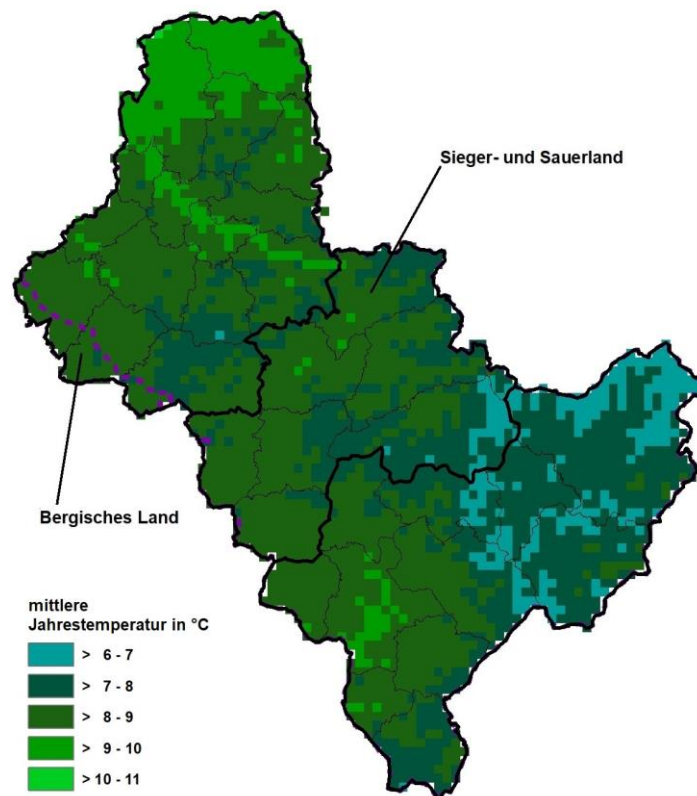


Abbildung 5: Mittlere Jahrestemperatur 1981-2010 (Daten: DWD; Kartengrundlage: Land NRW (2018) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)

Anhand der für Nordrhein-Westfalen vorliegenden Rasterdaten der Lufttemperaturen des Deutschen Wetterdienstes lassen sich im Vergleich der Klimanormalperiode 1951-1980 und 1981-2010 für das Teilplangebiet MK-OE-SI bereits deutliche Temperaturveränderungen ableiten: Während der KNP 1951-1980 lag im Teilplangebiet die mittlere Jahrestemperatur bei rund 7,5 °C, in der aktuellen KNP 1981-2010 liegt sie bei rund 8,2 °C (Tabelle 2). Dies entspricht einem auf die Fläche gemittelten Temperaturanstieg von rund +0,7 Kelvin (K). Dieser Wert ist auch identisch mit dem mittleren Temperaturanstieg in gesamt NRW. Eine Gegenüberstellung der mittleren jahreszeitlichen Temperaturen der Klimanormalperioden 1951-1980 und 1981-2010 innerhalb der Planungsregion zeigt Tabelle 2.

Tabelle 2: Änderung der mittleren jährlichen und saisonalen Temperaturen 1981-2010 bezogen auf 1951-1980 (auf eine Nachkommastelle gerundet; Daten: DWD)

	KNP 1951-1980	KNP 1981-2010	Differenz
Frühjahr	6,7 °C	7,7 °C	+1,0 K
Sommer	14,9 °C	15,8 °C	+1,0 K
Herbst	8,1 °C	8,5 °C	+0,4 K
Winter	0,2 °C	0,7 °C	+0,5 K
Jahr	7,5 °C	8,2 °C	+0,7 K

Es wird deutlich, dass sich die Temperaturen in allen Jahreszeiten im Vergleich der beiden Klimanormalperioden erhöht haben. Dabei haben sich im Teilplangebiet die mittleren Herbsttemperaturen mit +0,4 Kelvin am moderatesten erhöht, während die mittleren Frühlings- und Sommertemperaturen mit jeweils etwa +1,0 Kelvin am stärksten angestiegen sind. Im Vergleich mit Nordrhein-Westfalen gibt es beim saisonalen Temperaturanstieg der Klimanormalperiode 1981-2010 bezogen auf 1951-1980 nur leichte Abweichungen. Hier stiegen im Frühjahr die Temperaturen um +1,1 K, im Sommer um +0,9 K, im Herbst um +0,4 K und im Winter um +0,7 K an. Insgesamt ist der Temperaturanstieg auch landesweit im Herbst am geringsten und im Frühling und Sommer am höchsten. Landesweit ist die mittlere Wintertemperatur jedoch deutlicher angestiegen als im Teilplangebiet MK-OE-SI.

Beim Vergleich der KNP 1951-1981 und 1981-2010 gibt es nur wenig räumliche Unterschiede. Die Spanne der Temperaturzunahme zwischen diesen beiden Zeiträumen beträgt in der Fläche der Planungsregion +0,5 bis +1,0 K. Abweichungen darüber hinaus wurden in den Rasterdaten nicht festgestellt. Daher wurde an dieser Stelle auf eine räumliche Darstellung der Temperaturdifferenzen zwischen den beiden KNP verzichtet.

Um den mittleren Anstieg von rund +0,7 K im Flächenmittel des Teilplangebietes zwischen den Klimanormalperioden 1951-1980 und 1981-2010 einzuordnen und in eine geologische Zeitperspektive zu setzen, ist ein Blick auf die Erwärmungsrate beim natürlichen Übergang von der letzten Eiszeit zur jetzigen Warmzeit (Holozän) vor ungefähr 11.700 Jahren hilfreich (WALKER et al. 2009). Zu der Zeit erwärmte sich das Klima global mit durchschnittlich +0,3 bis +0,8 K in 1.000 Jahren (STOCKER et al. 2013b). Die hier gemessene Erwärmung von +0,7 K zwischen der KNP 1951-1980 und der aktuellen KNP 1981-2010 (sowohl für die Planungsregion als auch für ganz NRW) verläuft demnach mindestens um das zwanzigfache schneller. Die linearen Trends weisen dabei noch steilere Steigungsraten auf. Auch wenn der Temperaturanstieg in NRW mit den globalen Erwärmungsraten seit der letzten Eiszeit nicht direkt miteinander vergleichbar sind und lokale Effekte sowie der Breitengrad hier ebenfalls eine Rolle spielen (wobei die Größenordnung vergleichbar ist mit aktuellen globalen Steigerungsraten, siehe NOAA 2018_B), 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), den sogenannten Dansgaard-Oeschger-Ereignissen (vgl. (HENRY et al. 2016; ZHANG et al. 2014), die nur innerhalb von Eiszeiten eintreten können. Basierend auf zahlreichen unterschiedlichen

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

2.1.2 Kenntage Temperatur

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

Heiße Tage

Für die aktuelle Klimanormalperiode 1981-2010 werden im räumlichen Mittel innerhalb des Teilplangebietes MK-OE-SI 4 Heiße Tage pro Jahr ermittelt (NRW: 6), in der vorangegangenen KNP 1971-2000 rund 3 Heiße Tage pro Jahr (NRW: 5). In Abbildung 6 ist die räumliche Verteilung der mittleren Anzahl der Heißen Tage pro Jahr im Teilplangebiet dargestellt. Dabei ist die topographische Gliederung des Plangebietes wieder deutlich erkennbar. Die Hochlagen, besonders im Osten des Kreises Siegen-Wittgenstein, erreichen 1 bis 2 Heiße Tage pro Jahr, während die überwiegende Fläche des Teilplangebietes in den mittleren Lagen auf 2 bis 4 Heiße Tage pro Jahr kommt. In den Tälern von Ruhr, Lenne und Sieg werden 4 bis 6 Heiße Tage und in den Talböden insbesondere nahe der Ruhr sogar bis zu 8 Heiße Tage pro Jahr erreicht.

In der Klimanormalperiode 1951-1980 gab es im Teilplangebiet MK-OE-SI im Durchschnitt lediglich 2 Heiße Tage im Jahr (NRW: 3). Für die KNP 1981-2010 ist die Zahl der Heißen Tagen pro Jahr somit um +2 zusätzliche Tage im Vergleich zur vorangegangenen KNP angestiegen.

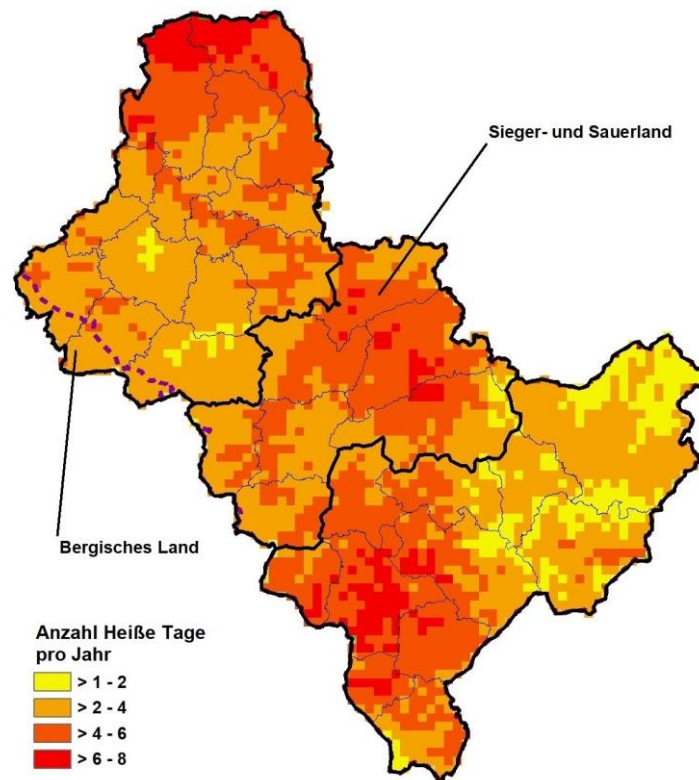


Abbildung 6: Mittlere Anzahl an Heißen Tage pro Jahr 1981-2010 (Daten: DWD; Kartengrundlage: Land NRW (2018) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)

Abbildung 7 stellt die räumliche Verteilung der Zunahme der Heißen Tage pro Jahr dar. Während ganz im Süden des Teilplangebietes in Bereich von Siegen keine Zunahme seit der KNP 1951-1980 festgestellt wird, kann im weitaus größten Flächenanteil des Teilplangebietes eine Zunahme von +1 bis +3 Heißen Tagen mehr pro Jahr registriert werden. Im Norden des Teilplangebietes, hauptsächlich im Märkischen Kreis und Teilen des Kreises Olpe, wird teilweise auch eine Zunahme von +3 bis +6 Tagen pro Jahr festgestellt. Im Gegensatz zu den absoluten Werten dieses Kenntages spielt die Topographie bei der räumlichen Struktur der Veränderung der Anzahl an Heißen Tagen pro Jahr keine Rolle.

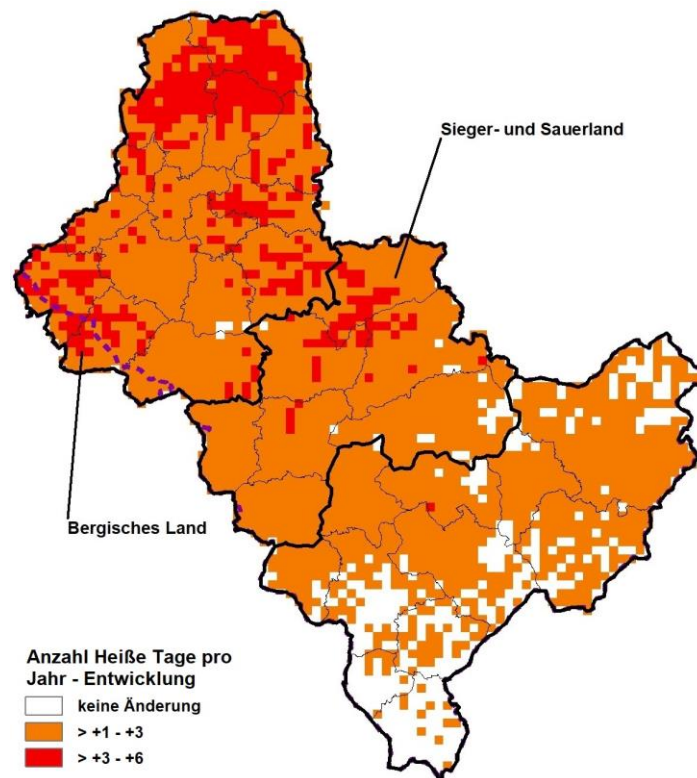


Abbildung 7: Änderung der mittleren Anzahl an Heißen Tage pro Jahr 1981-2010 bezogen auf 1951-1980 (Daten: DWD; Kartengrundlage: Land NRW (2018) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)

Sommertage

In der aktuellen Klimanormalperiode 1981-2010 wird für das Teilplangebiet MK-OE-SI ein räumlicher Mittelwert von rund 25 Sommertagen pro Jahr (NRW: 31) ermittelt, während es in der KNP 1971-2000 im Mittel rund 22 Sommertage pro Jahr waren (NRW: 27). In der KNP 1951-1980 gab es durchschnittlich 16 Sommertage pro Jahr (NRW: 22). Somit ergibt sich ein Anstieg der durchschnittlichen Anzahl an Sommertage pro Jahr von +9 Tagen seit dem Zeitraum 1951-1980.

Eistage

In der aktuellen Klimanormalperiode 1981-2010 ergibt sich für das ganze Teilplangebiet ein Mittelwert von 23 Eistagen pro Jahr (NRW: 14 Eistage/Jahr). In der Klimanormalperiode 1971-2000 waren es 22 Eistage pro Jahr (NRW: 14 Eistage/Jahr) im Mittelwert. In Abbildung 8 wird die räumliche Verteilung der mittleren Anzahl der Eistage pro Jahr während der KNP 1981-2010 präsentiert. Ähnlich wie bei der mittleren Jahrestemperatur und den Heißen Tagen machen sich die Höhenunterschiede deutlich bemerkbar. Während innerhalb der KNP 1981-2010 in den Tallagen im Durchschnitt 10 bis 20 Eistage pro Jahr auftreten, sind es in den mittleren Höhenlagen von über 400 m ü. NHN zwischen 20 und 30 Eistage pro Jahr. Im Osten des Teilplangebietes, vor allem in den Hochlagen des Rothaargebirges, werden flächendeckend 30 bis 40, in den lokalen Kammlagen 40 bis 50 Eistage pro Jahr, ermittelt.

Die durchschnittliche Anzahl an Eistagen pro Jahr während der Klimanormalperiode 1951-1980 betrug 25 Tage pro Jahr (NRW: 17). Somit gab es im Mittel einen leichten Rückgang um -2 Eistage für das gesamte Teilplangebiet

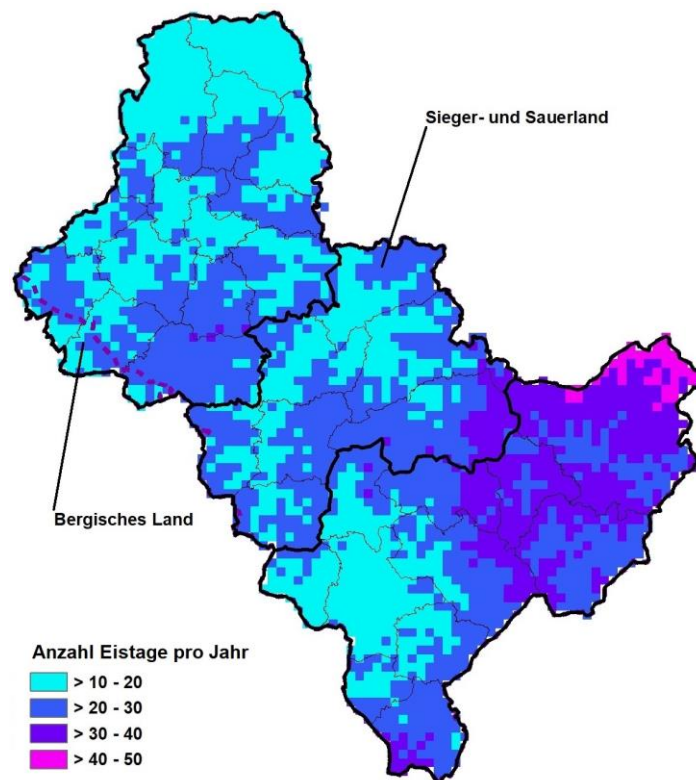


Abbildung 8: Mittlere Anzahl an Eistagen pro Jahr 1981-2010 (Daten: DWD; Karten-grundlage: Land NRW (2018) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)

In Abbildung 9 ist die räumliche Verteilung der Abnahme an Eistagen pro Jahr in der KNP 1981-2010 bezogen auf den Zeitraum 1951-1980 dargestellt. Während die überwiegende Mehrheit des Teilplangebietes einen flächendeckenden Rückgang der Eistage um -2 bis -4 Tage weniger pro Jahr verzeichnet, sind ganz im Norden (Märkischer Kreis) sowie im Süd-Osten (Kreis Siegen-Wittgenstein) keine Abnahmen bei den Eistagen feststellbar. Die Gebiete, in denen die größten Abnahmen von -4 bis -6 Eistagen pro Jahr weniger festgestellt werden, sind nicht an die Topographie gebunden, ebenso wenig wie die Abnahme der Eistage pro Jahr im Allgemeinen.

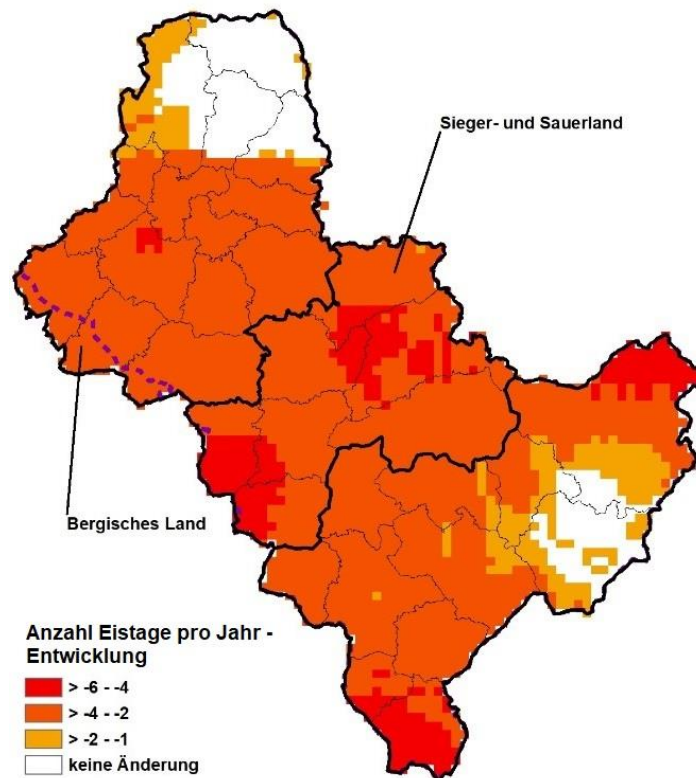


Abbildung 9: Änderung der mittleren Anzahl an Eistagen pro Jahr 1981-2010 bezogen auf 1951-1980 (Daten: DWD; Kartengrundlage: Land NRW (2018) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)

Frosttage

Für die Klimanormalperioden 1981-2010 und 1971-2000 werden im Teilplangebiet MK-OE-SI im Mittel rund 88 (NRW: 66) beziehungsweise 90 Frosttage pro Jahr ermittelt (NRW: 66). In der KNP 1951-1980 waren es im Schnitt noch rund 97 Frosttage pro Jahr (NRW: 73). Damit hat sich die jährliche Anzahl der Frosttage im Vergleich zur KNP 1951-1980 im Schnitt um rund -9 Tage pro Jahr vermindert.

Fazit Temperaturkenntage

Bei der vergleichenden Übersicht der Klimanormalperioden 1951-1980 und 1981-2010 in Tabelle 3 lassen sich deutliche Veränderungen bei der Anzahl an Temperaturkenntagen feststellen. Die Anzahl der Heißen Tage und der Sommertage haben insgesamt zugenommen, während die Anzahl an Eis- und Frosttage pro Jahr abgenommen hat.

Tabelle 3: Anzahl der Temperaturkenntage pro Jahr - Änderungen 1981-2010 bezogen auf 1951-1980 (alle Werte auf ganze Zahlen gerundet; Daten: DWD)

	KNP 1951-1980	KNP 1981-2010	Differenz
Heiße Tage	2	4	+2
Sommertage	16	25	+9
Eistage	25	23	-2
Frosttage	97	88	-9

2.1.3 Niederschlag

Der klimatische Parameter Niederschlag ist deutlich indirekter mit dem durch anthropogene Eingriffe verursachten Klimawandel 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), und sorgt somit für insgesamt mehr Niederschlag. Dennoch gibt es zahlreiche weitere Faktoren, welche die Menge, die Häufigkeit und räumliche Verteilung von Niederschlägen beeinflussen. Dadurch ist dieser Parameter insgesamt erheblich variabler als der Parameter Lufttemperatur.

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

Der mittlere jährliche Niederschlag, in Millimetern pro Jahr (mm/a) gemessen, liegt im Teilplangebiet MK-OE-SI für die aktuelle Klimanormalperiode 1981-2010 bei 1.236 mm/a. Dieser Mittelwert liegt deutlich über dem Mittelwert von Nordrhein-Westfalen, welcher im gleichen Zeit-

raum bei 918 mm/a liegt. Für die KNP 1971-2000 wurden 1.178 mm/a (NRW: 873 mm/a) gemessen. In Tabelle 4 werden die jahreszeitlichen Unterschiede in der Niederschlagssumme für die KNP 1981-2010 und 1971-2000 dargestellt.

Tabelle 4: Mittlerer jährlicher und saisonaler Niederschlag 1971-2000 und 1981-2010 (Daten: DWD)

	KNP 1971-2000	KNP 1981-2010
Frühjahr	259 mm	267 mm
Sommer	268 mm	281 mm
Herbst	303 mm	320 mm
Winter	348 mm	369 mm
Jahr	1.178 mm	1.236 mm

In Abbildung 10 wird die räumliche Verteilung der mittleren jährlichen Niederschlagssummen der KNP 1981-2010 im Teilplangebiet dargestellt. Da die Summe der mittleren Niederschläge in der Regel mit der Höhenlage steigt, zeichnet sich hier grob eine Raumstruktur analog zur Topographie im Plangebiet ab, wobei auch Luv- und Lee-Effekte eine besondere Rolle spielen.

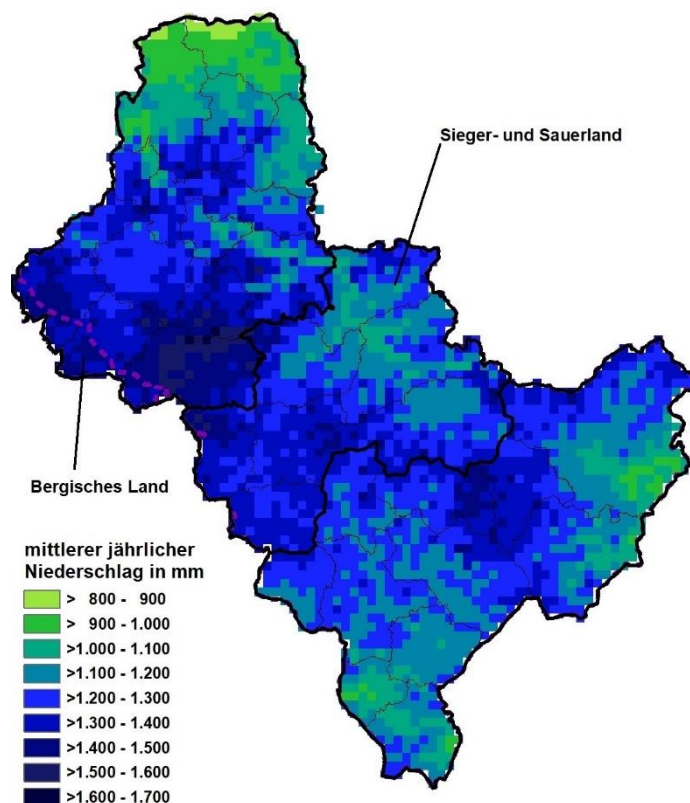


Abbildung 10: Mittlerer jährlicher Niederschlag 1981-2010 (Daten: DWD; Kartengrundlage: Land NRW (2018) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)

Insbesondere die höheren Lagen im Märkischem Kreis, welche sich im Luv der meist aus dem Südwesten kommenden Niederschlagsgebiete befinden, erreichen mit durchschnittlich bis zu über 1.600 mm/a Spitzenwerte innerhalb des Teilplangebietes MK-OE-SI. In den weiter östlich gelegenen, noch höheren Lagen des Kreises Siegen-Wittgenstein macht sich bereits ein leichter Lee-Effekt bemerkbar. Dort werden zwar auch noch hohe Niederschlagsmittelwerte um 1.300 bis 1.500 mm/a erreicht, jedoch ist im Vergleich zum weiter westlich gelegenen Gebiet der maximalen Niederschlagsmengen im Märkischen Kreis die Fläche solche hohen Niederschlagsmittelwerte deutlich geringer. Mittlere Niederschläge von 1.100 bis 1.300 mm/a sind im Teilplangebiet MK-OE-SI weiträumig anzutreffen. Geringere Jahressummen von unter 1.100, lokal unter 1.000 mm/a, sind in den Tälern von Sieg und Nahe feststellbar. Einzig im Norden des Märkischen Kreises, im Ruhrtal, fallen die mittleren Niederschlagssummen auf unter 900 mm/a.

Die mittlere jährliche Niederschlagssumme hat sich in der Klimanormalperiode 1981-2010 bezogen auf den Zeitraum 1951-1980 im Teilplangebiet von 1.142 mm/a (NRW: 857 mm/a) mit einem Zuwachs von +95 mm (rund +8 %) auf 1.236 mm/a (NRW: 918 mm/a) leicht erhöht. Demnach hat sich die Niederschlagssumme im Teilplangebiet MK-OE-SI stärker erhöht als im Mittel von NRW (+61 mm). In der folgenden Tabelle 5 werden die mittleren jährlichen und saisonalen Niederschlagssummen der KNP 1951-1980 und 1981-2010 im Vergleich gegenübergestellt.

Tabelle 5: Änderungen des jährlichen und saisonalen Niederschlags 1981-2010 bezogen auf 1951-1980 (alle Werte auf ganze Zahlen gerundet; Datengrundlage: DWD)

	KNP 1951-1980	KNP 1981-2010	Differenz
Frühjahr	239 mm	267 mm	+29 mm
Sommer	309 mm	281 mm	-28 mm
Herbst	272 mm	320 mm	+48 mm
Winter	318 mm	369 mm	+50 mm
Jahr	1142 mm	1236 mm	+95 mm

Dabei wird deutlich, dass insbesondere im Herbst (+48 mm) und Winter (+50 mm) die Anstiege registriert wurden. Mit einem Zuwachs von 29 mm hat sich die Niederschlagsmenge im Frühjahr etwas weniger stark erhöht. Dem gegenüber hat sich die mittlere Niederschlagsmenge des Sommers sogar mit -29 mm leicht reduziert. Somit hat sich das Niederschlagsmaximum des Winters (in NRW lag das Niederschlagsmaximum ursprünglich stets im Sommer) weiter verfestigt. Diese Entwicklung wird auch für ganz Nordrhein-Westfalen, wenn auch mit leicht geringeren Unterschieden zwischen den Klimanormalperioden, beobachtet (Frühjahr: + 17 mm, Sommer: -20 mm, Herbst: +34 mm und Winter: +32 mm).

In Abbildung 11: Änderungen des mittleren jährlichen Niederschlags 1981-2010 bezogen auf 1951-1980 (Daten: DWD; Kartengrundlage: Land NRW (2018) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0) ist die räumliche Verteilung der Änderungen der mittleren jährlichen Niederschlagssummen in der Klimanormalperiode 1981-2010 bezogen auf den Zeitraum

1951-1980 dargestellt. Die stärksten Zuwächse sind in einem Bogen ausgehend vom Zentrum des Märkischen Kreises über den westlichen Kreis Olpe hin über den westlichen und zentralen Teil des Kreises Siegen-Wittgenstein zu erkennen. Auch ganz im Westen des Märkischen Kreises, im Bereich des Bergischen Landes, sind höhere Zuwächse erkennbar. Innerhalb dieses beschriebenen Gebiets liegen die Niederschlagszunahmen im Bereich von über +100 mm/a. In kleinräumigen Gebieten steigen die Zuwächse auf bis zu +160 mm/a, lokal sehr begrenzt im Zentrum des Märkischen Kreises auch auf bis zu +190 mm/a. Demgegenüber sind die Zuwächse bei den mittleren Niederschlagssummen in den südlichen Tallagen tendenziell geringer ausgeprägt. Dort liegen die Zuwächse im Bereich von +10 bis +70 mm/a, ganz lokal gab es auch keine Veränderung. Abgesehen von den bisher beschriebenen Gebieten und Zuwächsen wurde für den Großteil der Fläche des Teilplangebietes MK-OE-SI ein Zuwachs von +70 bis +100 mm/a festgestellt.

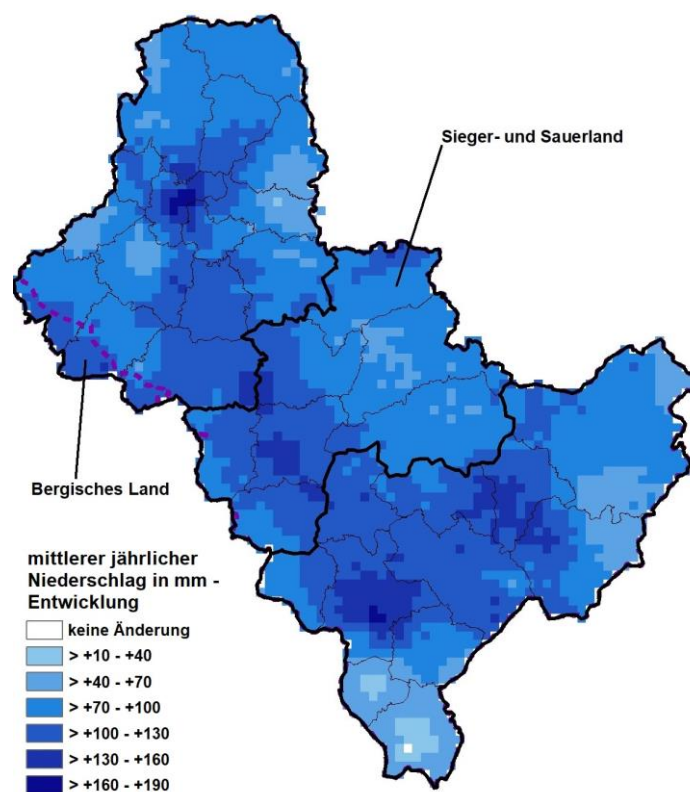


Abbildung 11: Änderungen des mittleren jährlichen Niederschlags 1981-2010 bezogen auf 1951-1980 (Daten: DWD; Kartengrundlage: Land NRW (2018) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)

2.1.4 Kenntage Niederschlag

Ähnlich wie bei der Lufttemperatur gibt es für den Niederschlag Kenntage, die gewisse Unter- oder Überschreitungen von bestimmten Niederschlagssummen pro Tag kennzeichnen. Im Zusammenhang mit dem Parameter Niederschlag werden in diesem Fachbeitrag analog zum LANUV-Fachbericht 74 (LANUV 2016_A) die Kenntage Trockene Tage (max. 0,1 mm/Tag) und Starkniederschlagstage (jeweils in den Klassen > 10 mm pro Tag, > 20 mm pro Tag und > 30 mm pro Tag) für das Teilplangebiet MK-OE-SI dargestellt. Mit Hilfe dieser Kenntage soll im

Rahmen des Klimafolgenmonitorings in NRW (LANUV 2017_A) die wahrscheinlich zunehmende Variabilität der Niederschläge mit allen Extremen als indirekte Folge des anthropogenen Klimawandels dokumentiert werden.

Dabei muss beachtet werden, dass die Schwellenwerte der hier vorgestellten Starkniederschlagstage eher niedrig angesiedelt sind. Die raum-zeitliche Auflösung der für die Starkniederschlagstage herangezogenen Messstationen kann meistens nur großräumige Regenereignisse advektiven Ursprungs (typisch für Warmfronten bei Tiefdruckgebieten) erkennen. Gewitterzellen jedoch sind aufgrund ihrer begrenzten Ausdehnung und allgemeinen Kurzlebigkeit nur schwer zu registrieren, wenn sie nicht zufällig von einer Messstation erfasst werden, auch wenn sie mengenmäßig die Schwellen der Kenntage mit über 100 mm Niederschlag in wenigen Stunden deutlich überschreiten können.

Durch die globale anthropogene Erderwärmung kann die Atmosphäre mehr Wasserdampf aufnehmen (ca. 7 % mehr Wasserdampf pro 1 °C Erwärmung) und somit potenziell mehr Niederschlag in wahrscheinlich extremerer Form ermöglichen (STOCKER et al. 2013a; IPCC 2007, 2012, 2013). Auch hier werden die Kenntage im Text als auf ganze Zahlen gerundete Werte beschrieben.

Trockene Tage

Trockene Tage markieren einen Tag mit einer Niederschlagsmenge von maximal 0,1 mm (AQUA PLAN GMBH et al. 2010; LANUV 2010). Die mittlere Anzahl der Trockenen Tage pro Jahr ist eine Kenngröße für die allgemeine Trockenheit. Eine Folge von Trockenen Tagen über einen längeren Zeitraum hinweg kann sich auf die allgemeine Wasserverfügbarkeit für Pflanzen auswirken. Der Boden trocknet aus und der Grundwasserspiegel fällt. Dementsprechend können Pflanzen unter Trockenstress leiden. Im Gegensatz zu anderen Kenntagen, wie zum Beispiel bei den Kenntagen für bestimmte Lufttemperaturen oder den noch vorzustellenden Starkniederschlags- und Schneetagen, liegen für Trockene Tage keine flächendeckenden Rasterdaten für das Teilplangebiet vor. Die dem Teilplangebiet am nächsten gelegenen Wetterstationen mit entsprechenden Datenreihen liegen einmal westlich des Teilplangebietes in Wermelskirchen (Bergisches Land) und einmal östlich des Teilplangebietes in Medebach-Berge (Sieger- Sauerland). Die Datenreihen decken jeweils die Klimanormalperiode 1951-1980 und die aktuelle Klimanormalperiode 1981-2010 ab.

Abbildung 12 veranschaulicht die Lage der Messstationen in der Umgebung des Teilplangebietes. Während die westlich vom Teilplangebiet gelegene Station Wermelskirchen deutlich um Luv des Bergischen Landes bzw. des Rheinischen Schiefergebirges liegt, befindet sich die Station Medebach-Berge im Lee vom Rothaarkamm. Die anschließende Tabelle 6 zeigt für die zwei Messstationen die Unterschiede zwischen den KNP 1951-1980 und 1981-2010 in Bezug auf die Trockenen Tage.

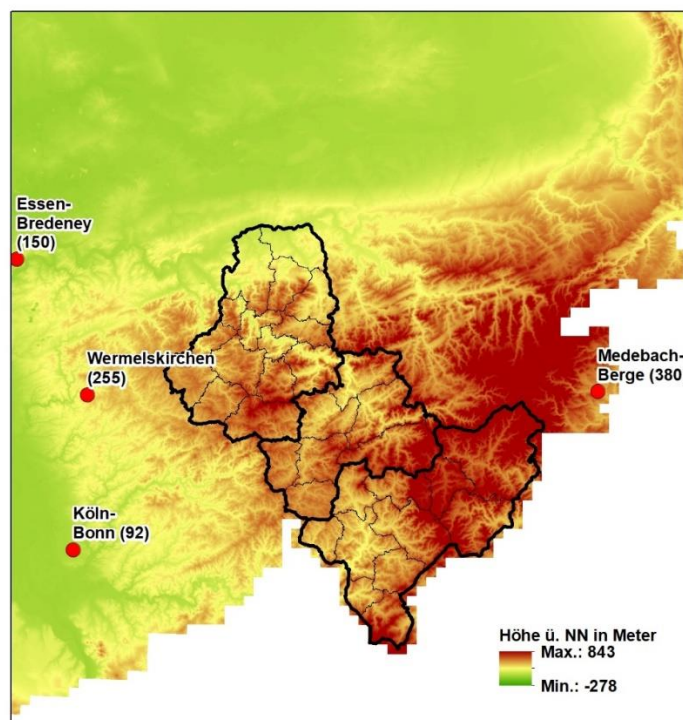


Abbildung 12: Lage der Messstationen Wermelskirchen und Medebach-Berge (Daten: DWD; Kartengrundlage: Land NRW (2018) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)

Tabelle 6: Änderung der mittleren jährlichen und saisonalen Anzahl an Trockenen Tagen für die Messstationen Wermelskirchen und Medebach-Berge (alle Werte auf ganze Zahlen gerundet; Daten: DWD)

KNP	Jahr / Jahreszeit	Trockene Tage Wermelskirchen	Differenz KNPs	Trockene Tage Medebach-Berge	Differenz KNPs
1951-1980	Jahr	166		185	
	Frühjahr	44		48	
	Sommer	44		49	
	Herbst	43		48	
	Winter	35		40	
1981-2010	Jahr	165	-1	162	-23
	Frühjahr	43	-1	41	-7
	Sommer	46	+2	47	-2
	Herbst	39	-4	40	-8
	Winter	36	+1	34	-6

Wie man Tabelle 6 entnehmen kann, zeigt sich die seit der KNP 1951-1980 zugenommene Jahresniederschlagsmenge zum Teil auch bei der Anzahl der Trockenen Tage pro Jahr. Während sich bei der Station Wermelskirchen die Anzahl der Trockenen Tage nur um -1 Tag verringerte und sich im Sommer sogar um im Mittel um +2 Tage pro Jahr erhöhte (Herbst: -3),

verzeichnete die Station Medebach-Berge einen massiven Rückgang von -23 Trocken Tagen pro Jahr weniger. Auch die mittlere Anzahl der Trocken Tage pro Jahreszeit hat sich durchgängig verringert. Saisonal betrachtet ist die Anzahl der mittleren Trocken Tage im Herbst (-8) am stärksten und im Sommer (-3) am wenigsten zurückgegangen.

Starkniederschlagstage

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

Auf die Fläche des Teilplangebietes MK-OE-SI gemittelt ergeben sich innerhalb der aktuellen KNP 1981-2010 rund 39 Starkniederschlagstage > 10 mm Niederschlag pro Jahr (NRW: 25). In der gleichen KNP sind rund 9 Starkniederschlagstage > 20 mm Niederschlag pro Jahr zu verzeichnen (NRW: 6). Die mittlere Anzahl der Starkniederschlagstage > 30 mm liegt bei rund 3 Tagen pro Jahr (NRW: 2). In der vorangegangenen KNP 1971-2000 wurden geringfügig weniger Starkniederschlagstage pro Jahr registriert als in der aktuellen KNP. So gab es 1971-2000 im Teilplangebiet durchschnittlich 37 Starkniederschlagstage > 10 mm (NRW: 23), rund 9 Starkniederschlagstage > 20 mm (NRW: 6) sowie rund 2 Starkniederschlagstage > 30 mm pro Jahr (NRW: 1). Analog zur absoluten Niederschlagssumme liegt die Anzahl der Starkregentage im Teilplangebiet pro Jahr generell höher als im Flächenmittel von Nordrhein-Westfalen.

In Abbildung 13 wird die räumliche Verteilung der mittleren Anzahl von Starkniederschlagstagen pro Jahr > 10 mm in der KNP 1981-2010 dargestellt. Analog zu der mittleren jährlichen Niederschlagssumme wirken sich dabei Höhenlage und Exposition zur Hauptwindrichtung deutlich aus. Am häufigsten kommen Tage mit > 10 mm Niederschlag in den westlichen Hochlagen des Märkischen Kreises vor. Hier werden lokal über 50 Tage pro Jahr > 10 mm Niederschlag registriert. Insgesamt treten die Starkregentage besonders häufig in den westlichen und höher gelegenen Regionen des Teilplangebietes MK-OE-SI auf (über 40 Tage pro Jahr). Lediglich in den deutlich höher gelegenen zentralen Gebieten des Kreises Siegen-Wittgenstein werden ähnliche Häufigkeiten erreicht. Der Großteil des Teilplangebietes weist für die aktuelle Klimanormalperiode 1981-2010 mittlere Häufigkeiten von 30 bis 40 Tagen pro Jahr auf. Gebiete mit 20 bis 30 Starkniederschlagstagen > 10 mm pro Jahr befinden sich vor allem ganz im Norden des Märkischen Kreises in Richtung Ruhr sowie in den übrigen Tallagen der Flüsse Lenne, Sieg, Lahn und Eder.

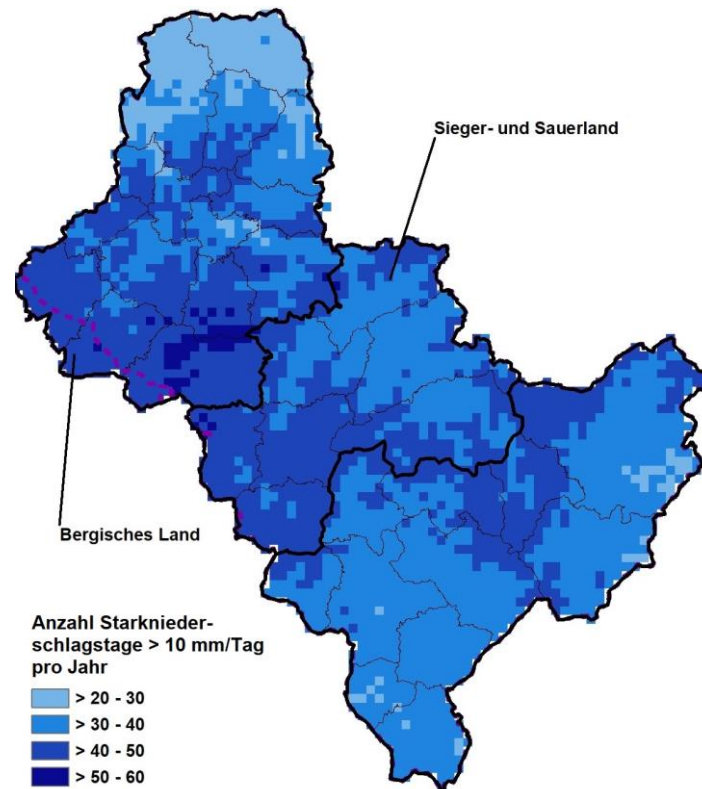


Abbildung 13: Mittlere Anzahl an Starkniederschlagstagen (> 10 mm/Tag) pro Jahr 1981-2010 (Daten: DWD; Kartengrundlage: Land NRW (2018) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)

Abbildung 14 stellt die räumliche Verteilung der gemittelten Anzahl von Starkniederschlagstagen pro Jahr > 20 mm während der aktuellen KNP 1981-2010 dar. Auch hier äußert sich die dem Regen zugewandte Exposition der westlichsten Gebiete des Teilplangebietes deutlich. Am südöstlichen Rand des Märkischen Kreises und am nordöstlichsten Bereich des Kreises Olpe, teilweise noch in der Großlandschaft Bergisches Land gelegen, kommen 13 bis 17 Tage pro Jahr mit > 20 mm an Niederschlagsmenge vor. Eine deutlich größere Fläche, ebenfalls mehrheitlich im Westen des Teilplangebietes MK-OE-SI gelegen, verzeichnet im Mittel zwischen 9 und 13 Starkniederschlagstage > 20 mm pro Jahr. Im übrigen Bereich des Teilplangebietes, wo entweder niedrigere Tallagen vorliegen (nördlicher Märkischer Kreis bzw. südlicher Kreis Siegen-Wittgenstein) oder sich deutlich im Lee befindliche Hochlagen, wie im Osten des Kreises Siegen-Wittgenstein anzutreffen sind, kommen im Mittel 5 bis 9 Starkniederschlagstage pro Jahr mit > 20 mm vor.

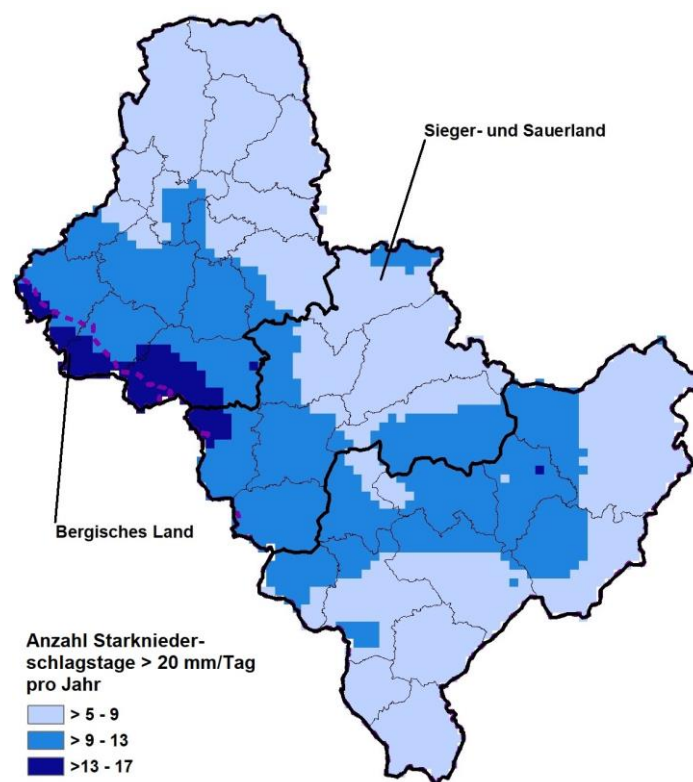


Abbildung 14: Mittlere Anzahl an Starkniederschlagstagen (> 20 mm/Tag) pro Jahr 1981-2010 (Daten: DWD; Kartengrundlage: Land NRW (2018) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)

Abbildung 15 zeigt die durchschnittliche Anzahl an Starkniederschlagstagen pro Jahr > 30 mm während der aktuellen KNP 1981-2010. Die Spitzenwerte von 4 bis 6 Starkniederschlagstagen > 30 mm pro Jahr werden im südöstlichsten Bereich des Märkischen Kreises bzw. im nordöstlichsten Teil des Kreises Olpe erreicht. Im restlichen Westen des Teilplangebietes MK-OE-SI sowie in den höheren Lagen des Kreises Siegen-Wittgenstein sind zwischen 2 und 4 Starkniederschlagstage > 30 mm pro Jahr zu verzeichnen. In den übrigen Gebieten des Teilplangebietes kommen 1 bis 2 Starkniederschlagstage > 30 mm pro Jahr vor. Auch hier liegen entweder die niedriger gelegenen Tallagen vor, oder die ganz im Lee anzutreffenden Hochlagen im Osten des Kreises Siegen-Wittgenstein.

Im Vergleich mit der Klimanormalperiode 1951-1980 hat sich im Flächenmittel die Häufigkeit der Starkniederschlagstage in der aktuellen Klimanormalperiode 1981-2010 leicht erhöht. Die jährlichen Starkniederschlagstage > 10 mm sind durchschnittlich um rund +4 Tage (NRW: +2 Tage) häufiger aufgetreten. Im gleichen Zeitraum stieg die Anzahl der Tage mit > 20 mm um rund +2 Tage (NRW: +1 Tag) und die Anzahl der Starkniederschlagstage > 30 mm Niederschlag um rund +1 Tag pro Jahr an (NRW: unverändert).

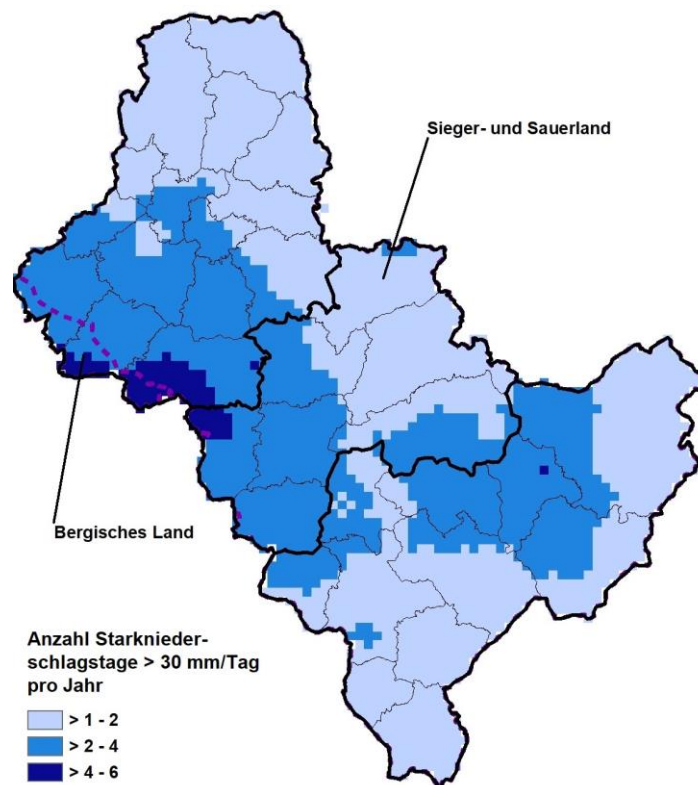


Abbildung 15: Mittlere Anzahl an Starkniederschlagstagen (> 30 mm/Tag) pro Jahr 1981-2010 (Daten: DWD; Kartengrundlage: Land NRW (2018) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)

Abbildung 16 bis Abbildung 18 stellen räumlich differenziert die Veränderungen der jährlichen Anzahl an Starkniederschlagstagen in der KNP 1981-2010 bezogen auf den Zeitraum 1951-1980 dar. Sie zeigen dabei je nach Lage deutliche Abweichungen im Vergleich der beiden Zeiträume.

In Abbildung 16 sind die räumlichen Veränderungen bei der mittleren jährlichen Anzahl von Starkniederschlagstagen > 10 mm dargestellt. Die absolut höchsten Zunahmen liegen bei +6 bis +9 Tage pro Jahr mehr, jedoch räumlich nur sehr lokal begrenzt. Neben einem etwas größeren lokalen Maximum der Zunahmen im Grenzgebiet zwischen dem Märkischen Kreis und dem Kreis Olpe gibt es noch kleinere lokale Maxima im Zentrum des Märkischen Kreises sowie ganz im Osten des Kreises Olpe. Ganz im Nordosten sowie ganz im Süden des Teilplangebietes liegen Bereiche, in denen keine Veränderung zwischen der KNP 1951-1980 und 1981-2010 festgestellt wurde.

Im Gegensatz zu den absoluten Mittelwerten der Starkniederschlagstage > 10 mm sind, wie auch bei den Niederschlagssummen, die Veränderungen zwischen den beiden Klimanormalperioden nicht an die Topographie gekoppelt und treten sowohl in Tallagen als auch in Hochlagen auf.

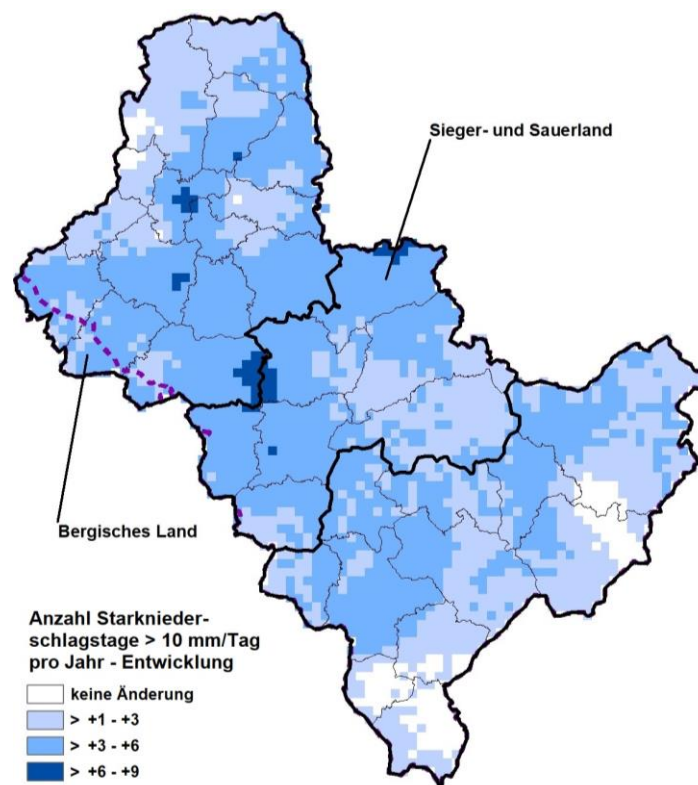


Abbildung 16: Änderung der mittleren Anzahl an Starkniederschlagstagen (> 10 mm/Tag) pro Jahr 1981-2010 bezogen auf 1951-1980 (Daten: DWD; Kartengrundlage: Land NRW (2018) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)

Abbildung 17 stellt die Änderung der mittleren jährlichen Anzahl an Tagen mit > 20 mm Niederschlag pro Tag für die KNP 1981-2010 in Bezug auf den Zeitraum 1951-1980 für das Teilplangebiet dar. Eine maximale Zunahme zwischen +4 und +6 Tagen pro Jahr wurde nur an einem Punkt festgestellt. Auch Anstiege von +2 bis +4 Tage pro Jahr kommen nur lokal begrenzt vor. Auch hier spielt bei den Veränderungen zwischen den Klimanormalperioden die Topographie keine Rolle.

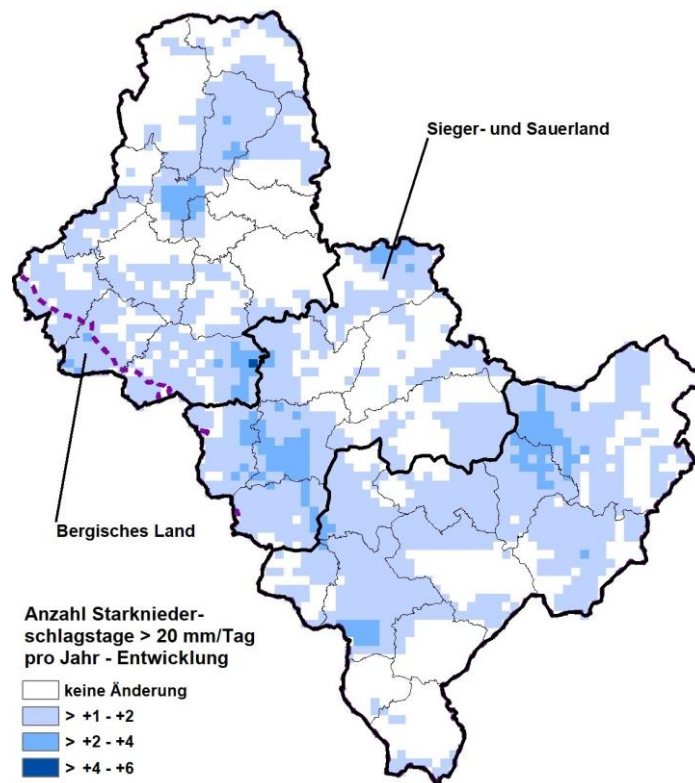


Abbildung 17: Änderung der mittleren Anzahl an Starkniederschlagstagen (> 20 mm/Tag) pro Jahr 1981-2010 bezogen auf 1951-1980 (Daten: DWD; Kartengrundlage: Land NRW (2017) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)

Abbildung 18 zeigt abschließend die Veränderung der mittleren jährlichen Anzahl von Starkniederschlagstagen > 30 mm für Klimanormalperiode 1981-2010 in Bezug auf den Zeitraum 1951-1980. Die maximale Zunahme von +2 bis +4 Tagen ist nur an einem Punkt feststellbar. Zunahmen zwischen +1 und +2 Starkniederschlagstagen > 30 mm Niederschlag pro Jahr kommen ebenfalls räumlich nur sehr begrenzt und weitgehend unabhängig von der Topographie vor. Der mit weitem Abstand größte Flächenanteil des Teilplangebietes MK-OE-SI hat bei der eher seltenen Starkniederschlagsklasse > 30 mm pro Tag keine Veränderung zu verzeichnen.

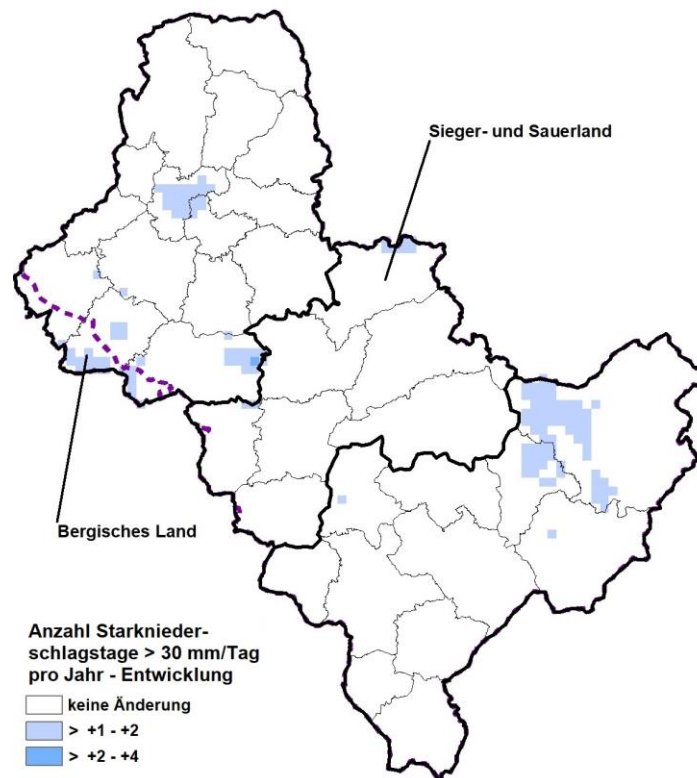


Abbildung 18: Änderung der mittleren Anzahl an Starkniederschlagstagen (> 30 mm/Tag) pro Jahr 1981-2010 bezogen auf 1951-1980 (Daten: DWD; Kartengrundlage: Land NRW (2017) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)

Anhand der gezeigten Daten wird deutlich, dass die auf die Fläche des gesamten Teilplangebietes bezogenen Mittelwerte zur Veränderungen der Starkniederschlagstage im Vergleich der KNP 1981-2010 und 1951-1980 lokal deutlich variieren können. Bei der Starkniederschlagsklasse > 10 mm ist eine weit verbreitete Zunahme der Starkniederschlagstage zu erkennen. Dabei ist die Lage und flächige Ausdehnung der lokalen Maxima weniger klar an die Topographie und Exposition zur Hauptwindrichtung gekoppelt. Bei den Starkniederschlagsklassen > 20 mm und > 30 mm gibt es ebenfalls keinen klaren Zusammenhang zwischen räumlicher Verteilung der Zunahmemaxima mit der Topographie und Ausrichtung zur Windrichtung. Tabelle 7 stellt abschließend die Veränderung im Flächenmittel des Teilplangebietes hinsichtlich der jährlichen Anzahl der jeweiligen Starkniederschlagstage für die KNP 1981-2010 in Bezug auf den Zeitraum 1951-1980 dar.

Tabelle 7: Anzahl der Starkniederschlagstage pro Jahr: Übersicht (alle Werte auf ganze Zahlen aufgerundet; Daten: DWD)

KNP	> 10 mm/Tag	> 20 mm/Tag	> 30 mm/Tag
1981-2010	39	9	3
1951-1980	35	8	2
Differenz	4	2	1

Schneetage

Schneetage werden definiert als Tage mit einer geschlossenen Schneedecke von mindestens 10 cm Mächtigkeit. Das Auftreten von Schneetagen und die Schneehöhe hängen von der Temperatur und der Niederschlagsmenge ab. Die bereits stattgefundenen und noch zu erwartenden Temperaturerhöhungen als Folge des anthropogenen Klimawandels werden zu Rückgängen der Anzahl der Schneetage führen. In der aktuellen Klimanormalperiode 1981-2010 werden, gemittelt auf die Fläche des gesamten Teilplangebietes MK-OE-SI, rund 48 Schneetage pro Jahr (NRW: 25) registriert. In der KNP 1971-2000 lag dieser Wert bei rund 49 Tagen pro Jahr (NRW: 26).

Abbildung 19 zeigt die gemittelte Anzahl an Schneetagen pro Jahr während der aktuellen KNP 1981-2010. Dabei ist die Höhenlage und somit vor allem die jährliche Durchschnittstemperatur ein wesentlicher Einflussfaktor. Absolute Höchstwerte von über 80 Schneetagen pro Jahr werden nur vereinzelt auf den Kammlagen des Rothaargebirges und Wittgensteiner Landes im östlichen Kreis Siegen-Wittgenstein bzw. südöstlichen Kreis Olpe erreicht. Dort werden auch auf größeren Flächen über 60 Schneetage pro Jahr erreicht werden. Dies gilt auch für die höchsten Erhebungen im Märkischen Kreis. In den mittleren Lagen innerhalb des Teilplangebietes gibt es im Mittel der aktuellen KNP zwischen 30 und 50 Schneetage im Jahr. In den Tallagen von Ruhr und Lenne sinkt die Anzahl der Schneetage ab auf einen Mittelwert von 16 bis 30 Schneetagen pro Jahr.

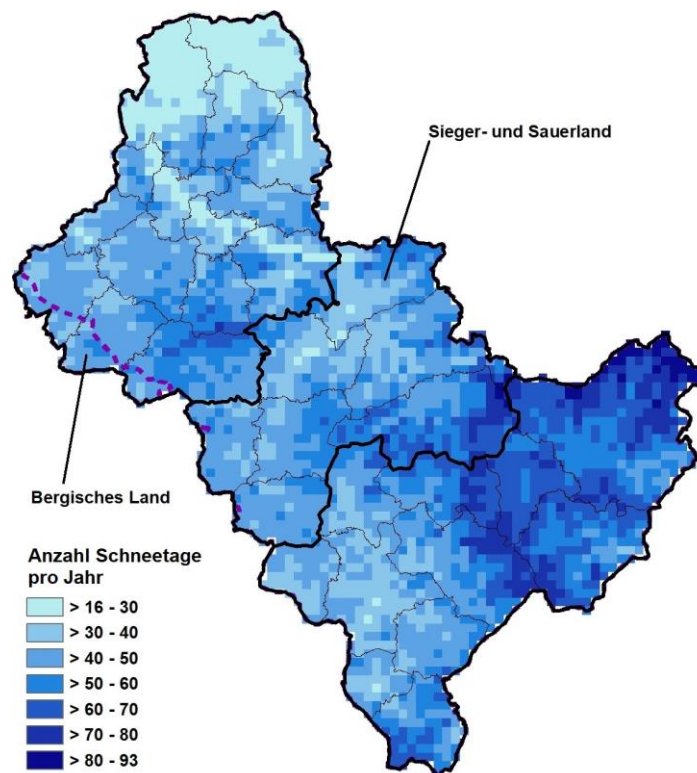


Abbildung 19: Mittlere Anzahl an Schneetagen pro Jahr 1981-2010 (Daten: DWD; Kartengrundlage: Land NRW (2018) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)

Während der Klimanormalperiode 1951-1980 gab es bezogen auf die gesamte Fläche des Teilplangebietes im Mittel rund 55 Schneetage pro Jahr (NRW: 30). Im Vergleich zu diesem Zeitraum reduzierte sich die mittlere Anzahl der Schneetage pro Jahr in der aktuellen KNP 1981-2010 um durchschnittlich gut -7 Schneetage auf die bereits oben genannten 48 Schneetage pro Jahr (NRW: -5).

Abbildung 20 zeigt die räumliche Verteilung der Veränderungen bei den Schneetagen pro Jahr in der KNP 1981-2010 bezogen auf den Zeitraum 1951-1980. Die stärksten Rückgänge bei den Schneetagen sind dort zu verzeichnen, wo es absolut die meisten Schneetage gibt. So ist von einem Rückgang von -12 bis -16 Schneetagen pro Jahr vor allem der östliche Teil des Kreises Siegen-Wittgenstein betroffen. Die mit Abstand größte Fläche des Teilplangebietes MK-OE-SI verzeichnet einen mittleren Rückgang von -4 bis -8 Schneetagen pro Jahr weniger im direkten Vergleich der KNP 1981-2010 und 1951-1980. Im Süden des Teilplangebietes sowie lokal stark begrenzt im Kreis Olpe liegt der mittlere Rückgang bei -1 bis -4 Schneetagen pro Jahr weniger. Nur ganz kleinräumig existieren Flächen innerhalb des Teilplangebietes, in denen keine Rückgänge festgestellt wurden.

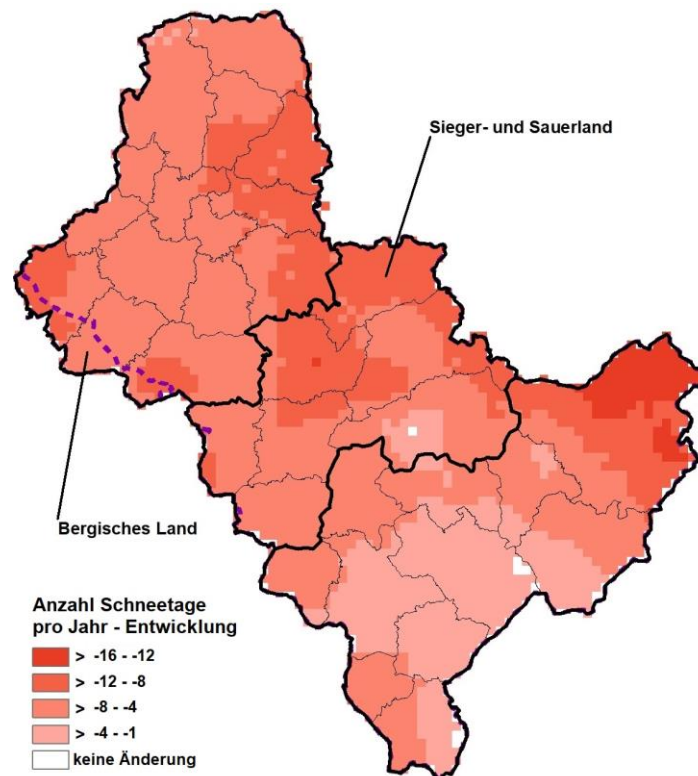


Abbildung 20: Änderung der mittleren Anzahl an Schneetagen pro Jahr 1981-2010 bezogen auf 1951-1980 (Daten: DWD; Kartengrundlage: Land NRW (2018) Datenzulassung Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)

2.1.5 Zusammenfassung der bereits registrierten Klimaveränderungen

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

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

2.2 Projizierter Klimawandel im Teilplangebiet Märkischer Kreis, Kreis Olpe und Kreis Siegen-Wittgenstein

Nachdem im Kapitel 2.1 das aktuelle Klima der Klimanormalperiode 1981-2010 im Teilplangebiet und dessen Änderung bezogen auf den Zeitraum 1951-1980 beschrieben wurden, soll in Kapitel 2.2 nun auf die für die Zukunft projizierten Klimaveränderungen eingegangen werden. Die Ergebnisse der Projektionen beziehen sich auf die Referenz-Klimanormalperiode 1971-2000, deren Mittelwerte ebenfalls in Kapitel 2.1 dargestellt wurden. Zunächst werden in den Unterkapiteln 2.2.1 und 2.2.2 die Grundlagen für die Simulation zukünftiger Klimaänderungen und deren Auswertung erläutert. Unterkapitel 2.2.3 widmet sich den projizierten Veränderungen bei der Temperatur sowie bei den Temperaturkenntagen (2.2.5). Abschnitt 2.2.5 behandelt die projizierten Veränderungen beim Niederschlag, wobei zuerst auf die Niederschlagssummen eingegangen wird und anschließend auf die Starkniederschlagstage beziehungsweise Wetterextreme (2.2.7). Zuletzt wird in Unterkapitel 2.2.7 eine Zusammenfassung über die projizierten Klimaveränderungen gegeben.

2.2.1 RCP-Szenarien und Perzentile

Um die Veränderung des Klimas auch für zukünftige Zeiträume abschätzen zu können, werden hochkomplexe Klimamodelle verwendet. Diese Modelle arbeiten neben den festen physikalischen Rahmenbedingungen, z. B. aktuelle CO₂- bzw. Treibhausgaskonzentration, Sonneneinstrahlung, Oberflächentemperatur u. v. m., auch mit Szenarien über die möglichen zukünftigen CO₂- und sonstigen 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 im Teilplangebiet MK-OE-SI eingegangen wird, sollen die verwendeten Modellszenarien und deren Bandbreiten für die projizierten Klimakenngrößen beschrieben werden.

Exkurs I: Projektionsszenarien bei der Modellierung zukünftiger Klimata

Für Nordrhein-Westfalen und somit auch für das Teilplangebiet liegen Klimaprojektionen unterschiedlicher Modell-Simulationen basierend auf den sogenannten RCP-Szenarien vor. Die Bezeichnung RCP steht für Repräsentative Konzentrationspfade (englisch: Representative Concentration Pathways). Diese relativ neuen Konzentrationsszenarien (Moss et al. 2010) unterscheiden sich von den älteren SRES-Emissionsszenarien dadurch, dass sie von bestimmten Strahlungsantriebswerten im Jahr 2100 ausgehen und - quasi rückwärts - auf mögliche Treibhausgaskonzentrationen rückschließen. Dementsprechend werden sie auch nach den Strahlungsantriebswerten, die sie im Jahr 2100 erreichen, bezeichnet. Dabei werden vier RCP-Szenarien unterschieden: RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 und RCP8.5 (nähere Informationen hierzu: DWD 2018_B)

Das optimistische Szenario RCP2.6 geht davon aus, dass ein Maximum der globalen Treibhausgasemission von ca. 490 ppm schon bis deutlich vor 2100 erreicht werden kann (VAN

VUUREN et al. 2011). Anschließend sieht dieses Szenario eine aggressive Emissionsminderung vor. Nur auf diese Weise könnte das 2015 bei der COP21 in Paris vereinbarte Ziel, die Temperaturerhöhung auf deutlich unter 2 °C gegenüber dem Temperaturniveau der vorindustriellen Zeit zu begrenzen, noch erreicht werden. Deshalb wird dieses Szenario auch als „Klimaschutz-Szenario“ bezeichnet. Die Daten des RCP2.6-Szenarios für NRW liegen dem LANUV nun zum ersten Mal für die Auswertung in diesem Fachbeitrag vor.

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

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

Das Szenario RCP8.5 wird als „business as usual“ Szenario bezeichnet. Es könnte bei einem steigenden Verbrauch fossiler Energieträger und daraus resultierenden weiterhin steigenden Treibhausgasemissionen eintreten. Hier geht man von einer CO₂-Konzentration von 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 (STOCKER et al. 2013b; ZHANG et al. 2013).

Für die Projektionen des zukünftigen Klimas in NRW und dem Teilplangebiet MK-OE-SI wurden in diesem Fachbeitrag die Szenarien RCP2.6, RCP4.5 und RCP8.5 ausgewertet, deren Daten seit diesem Jahr (2019) vom Deutschen Wetterdienst auch in einer höheren Auflösung als bisher bereitgestellt worden sind.

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 wissenschaftlich 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 klare Aussagen über die zu erwarteten Klimaveränderungen herleiten zu können, werden Perzentile verwendet.

Perzentile sind besondere Quantile („Hundertstelwerte“ / Prozentränge) und damit ein Lagemaß der Statistik. Sie geben die Lage bestimmter Werte in einer statistischen Verteilung (hier: die Bandbreite der verschiedenen Modellergebnisse) wieder. 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 der folgenden Abbildung 21 werden die Bandbreiten der drei RCP Szenarien, bestehend aus dem 15. bis 85. Perzentil, im Vergleich zu den beobachteten Temperaturen beispielhaft dargestellt. Die RCP Daten werden als absolute Zeitreihenwerte dargestellt, um eine direkte Vergleichbarkeit mit den beobachteten Temperturmittelwerten zu ermöglichen. Alle Daten stammen vom DWD, die Beobachtungsdaten sind auf 5 – jährige gleitende Mittel geglättet, die Projektionswerte auf 10 – jährige gleitende Mittel.

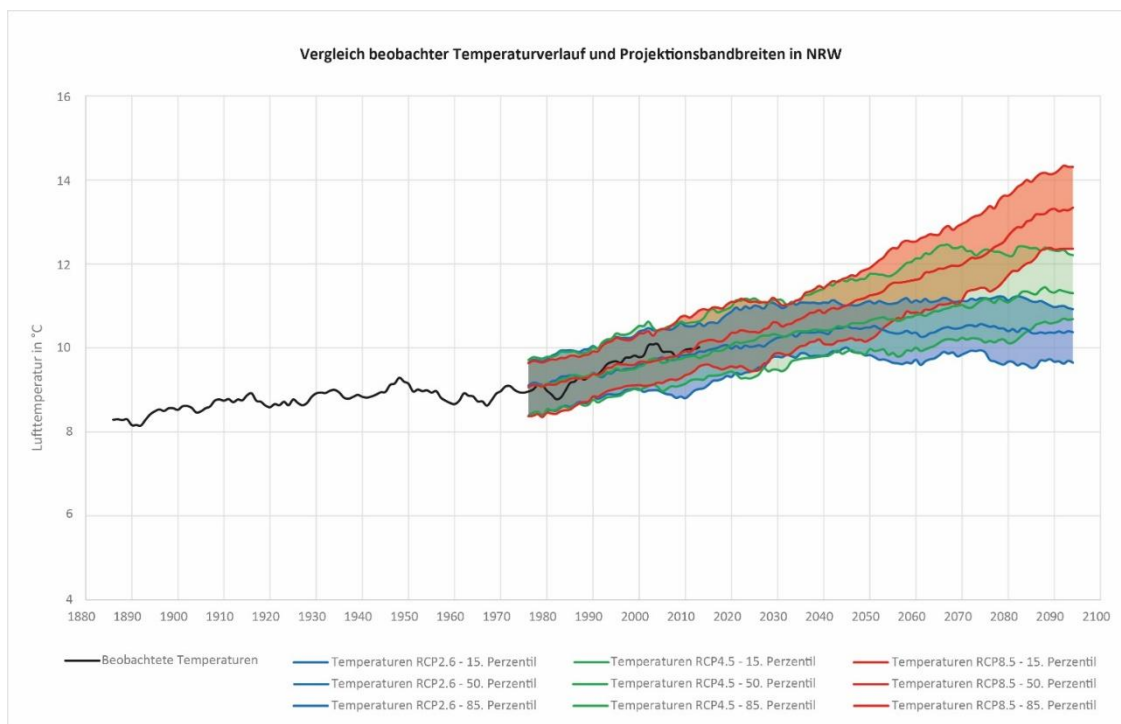


Abbildung 21: Temperaturverlauf beobachteter Temperaturen in NRW im Vergleich zu Zeitreihendaten der RCP-Projektionen (Datenquelle: DWD)

2.2.2 Projizierte Klimaveränderung

Für die Klimaparameter Temperatur und Niederschlag sowie für Temperaturkenntage und Starkniederschlagstage liegen vom Deutschen Wetterdienst bereits regionalisierte Klimaprojektionen vor, die sich auf die RCP-Szenarien 2.6, 4.5 und 8.5 beziehen. Die neuesten Projektionen verfügen dabei nun über eine gesteigerte räumliche Auflösung von ca. 5 x 5 km Pixelgröße (analog zu HYRAS-Beobachtungsdaten; DWD 2019). Die aktuellen Auswertungen der Klimaprojektionen für Nordrhein-Westfalen beruhen auf Auswertungen der Projekte „EUROCORDEX“ 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 Änderungswerte für die nahe Zukunft (2021-2050) und die ferne Zukunft (2071-2100) jeweils bezogen auf den Referenzzeitraum 1971-2000 dargestellt.

Auch wenn sich die räumliche Auflösung der Projektionsdaten mittlerweile auf ca. 5 x 5 km gesteigert hat und auch die Topographie besser abgebildet werden kann (KRÄHENMANN 2019), sollte den Projektionsdaten dennoch nicht eine ähnliche Genauigkeit wie Beobachtungsdaten zugemessen werden. Um möglichst valide Aussagen bezüglich potentieller Klimaentwicklungen in einem Gebiet machen zu können, sollten mindestens 3 x 3 Gitterboxen bzw. Pixel à 5 x 5 km den gleichen Änderungswert besitzen (LINKE et al. 2015).

Die projizierten Klimaveränderungen werden im Folgenden textlich beschrieben und mit Hilfe von Tabellen zusammenfassend für die gesamte Planungsregion dargestellt. Es können jedoch nur eingeschränkt belastbare Aussagen zur räumlichen Ausdifferenzierung zukünftiger möglicher Klimaentwicklung innerhalb des Teilplangebietes gemacht werden. Daher wird auf Kartendarstellungen bewusst verzichtet. Bei der für Klimamodellierungen vergleichsweise geringen Größe des Plangebietes lassen die räumliche Auflösung bzw. die räumliche Variabilität der meisten Modellergebnisse und Klimaparameter sowie die modellimmanenten Unsicherheiten eine derart kleinräumige Darstellung nicht mit der notwendigen Belastbarkeit zu.

2.2.3 Temperatur

Zunächst werden die regionalisierten Ergebnisse der Klimamodelle für den Parameter Lufttemperatur für den Zeitraum der nahen Zukunft (2021-2050) für die drei RCP-Szenarien dargestellt. Anschließend werden die Projektionen für den Zeitraum der fernen Zukunft (2071-2100) betrachtet.

2021-2050: Nahe Zukunft

Im Szenario RCP2.6 steigern sich für die nahe Zukunft die mittleren Temperaturen im Vergleich zur Referenz-Klimanormalperiode 1971-2000 gemittelt auf das Teilplangebiet um 0,7 K bis 1,5 K an. Im Szenario RCP4.5 steigen die Temperaturen um 0,7 K bis 1,6 K im Flächenmittel an. Die projizierte Steigerung für die nahe Zukunft (2021-2050) entspricht in den Szenarien RCP2.6 und RCP4.5 damit mindestens der Zunahme von 0,7 K, die seit der KNP 1951-

1981 im Teilplangebiet gemessen wurde. Die projizierten Temperaturveränderungen des RCP8.5-Szenarios liegen mit einer Temperaturzunahme von 0,9 K bis 1,8 K gegenüber der KNP 1971-2000 in einem ähnlichen Bereich. In Tabelle 8 werden die projizierten Temperaturveränderungen für die Szenarien RCP2.6, RCP4.5 und RCP8.5 im Teilplangebiet MK-OE-SI zusammengefasst.

Tabelle 8: Änderung der mittleren Jahrestemperatur - Projektionen für die nahe Zukunft (2021-2050) bezogen auf 1971-2000 (Daten: DWD)

Klimaszenario	Perzentil	Mittel
RCP2.6	15.	+0,7 K
	50.	+0,9 K
	85.	+1,5 K
RCP4.5	15.	+0,7 K
	50.	+1,2 K
	85.	+1,6 K
RCP8.5	15.	+0,9 K
	50.	+1,4 K
	85.	+1,8 K

2071-2100: Ferne Zukunft

Für die ferne Zukunft wird innerhalb des RCP2.6-Szenarios für die Planungsregion ein mittlerer Temperaturanstieg im Bereich von rund 0,8 K bis 1,6 K im Vergleich zur Referenz-KNP 1971-2000 projiziert. Somit hat sich beim Klimaschutzszenario die Temperatursteigerung für die ferne Zukunft weitgehend stabilisiert. Bei den folgenden Szenarien wird für die ferne Zukunft eine weitere Temperatursteigerung projiziert. Beim RCP4.5-Szenario liegt die projizierte Temperatursteigerung gegenüber der Referenz-KNP bei 1,3 bis rund 2,7 K, während für das RCP8.5-Szenario deutlich stärkere Temperaturabweichungen für das Teilplangebiet projiziert werden. Hier liegen die Zunahmen in einem Bereich zwischen rund 2,8 K und rund 4,5 K gegenüber der Referenz-KNP 1971-2000. 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. In Tabelle 9 sind die Projektionen der beiden Szenarien für die ferne Zukunft (2071-2100) im Teilplangebiet MK-OE-SI noch einmal zusammengefasst.

Tabelle 9: Änderung der mittleren Jahrestemperatur - Projektionen für die ferne Zukunft (2071-2100) bezogen auf 1971-2000 (Daten: DWD)

Klimaszenario	Perzentil	Mittel
RCP2.6	15.	+0,8 K
	50.	+1,1 K
	85.	+1,6 K
RCP4.5	15.	+1,3 K
	50.	+2,0 K
	85.	+2,7 K
RCP8.5	15.	+2,8 K
	50.	+3,7 K
	85.	+4,5 K

2.2.4 Temperatur: Projizierte Veränderungen im Jahresverlauf

In Kapitel 2.1.1 wurde bereits festgestellt, dass sich im Teilplangebiet bei der Gegenüberstellung der Klimanormalperiode 1951-1980 mit der aktuellen Klimanormalperiode 1981-2010 die mittleren Herbsttemperaturen am geringsten erhöht haben, während die mittleren Frühlings- und Sommertemperaturen jeweils am stärksten angestiegen sind.

Bei der Auswertung der Projektionen der saisonalen Temperaturanstiege, jeweils für alle RCP-Szenarien und beide Zukunftszeiträume, werden die stärksten Temperaturanstiege für die Jahreszeiten Herbst und Sommer projiziert. Die moderatesten Anstiege werden nach den vorliegenden Projektionen im Frühling erwartet. stellt die saisonalen Temperaturprojektionen für beide Zukunftszeiträume und die RCP-Szenarien dar.

Tabelle 10: Änderung der mittleren saisonalen Temperaturen - Projektionen für die nahe und ferne Zukunft bezogen auf 1971-2000 (Daten: DWD)

Jahreszeit	Klimaszenario	Perzentil	2021-2050	2071-2100
Frühjahr	RCP2.6	15.	+0,5 K	+0,6 K
		50.	+0,6 K	+0,9 K
		85.	+1,3 K	+1,3 K
	RCP4.5	15.	+0,2 K	+0,9 K
		50.	+0,9 K	+2,0 K
		85.	+1,5 K	+2,2 K
	RCP8.5	15.	+0,7 K	+2,2 K
		50.	+1,1 K	+3,0 K
		85.	+1,3 K	+3,4 K
Sommer	RCP2.6	15.	+0,7 K	+0,8 K
		50.	+1,0 K	+1,1 K
		85.	+1,5 K	+1,7 K
	RCP 4.5	15.	+0,9 K	+1,5 K
		50.	+1,2 K	+1,9 K
		85.	+1,3 K	+2,5 K
	RCP8.5	15.	+0,9 K	+3,0 K
		50.	+1,2 K	+3,8 K
		85.	+1,9 K	+4,7 K
Herbst	RCP2.6	15.	+0,7 K	+0,6 K
		50.	+1,1 K	+1,3 K
		85.	+1,9 K	+2,0 K
	RCP4.5	15.	+0,8 K	+1,6 K
		50.	+1,2 K	+2,3 K
		85.	+1,9 K	+3,4 K
	RCP8.5	15.	+1,1 K	+3,0 K
		50.	+1,7 K	+4,0 K
		85.	+2,3 K	+5,4 K
Winter	RCP2.6	15.	+0,9 K	+1,0 K
		50.	+1,0 K	+1,2 K
		85.	+1,2 K	+1,5 K
	RCP4.5	15.	+0,7 K	+1,5 K
		50.	+1,1 K	+2,1 K
		85.	+1,8 K	+2,7 K
	RCP8.5	15.	+0,8 K	+3,1 K
		50.	+1,6 K	+3,7 K
		85.	+1,8 K	+4,4 K

2.2.5 Kenntage Temperatur

Für diesen Fachbeitrag liegen dem LANUV auch für die Temperaturkenntage erstmals Daten des DWD für die RCP2.6-, RCP4.5- und RCP8.5-Szenarien in der Auflösung von 5 km x 5 km vor. Zunächst werden im Folgenden die Projektionen für die Heißen Tage und Sommertage vorgestellt, anschließend die der Eistage und Frosttage. Hierbei werden sämtliche Kenntage zu ganzen Werten gerundet dargestellt.

Aufgrund der verbesserten Auflösung der vom DWD zur Verfügung gestellten Projektionsdaten können zumindest sehr grob und qualitativ räumliche Unterschiede aufgrund der unterschiedlichen Höhenstufen erkannt werden. Prinzipiell steigen warme Temperaturkenntage in den Höhenlagen weniger stark an als in den Tallagen, weil sich aufgrund der Höhenlage die jeweiligen Schwellenwerte unterschiedlich häufig überschritten werden. Bei den kalten Temperaturkenntagen sind generell die größten Rückgänge bei den Häufigkeiten in den Hochlagen zu finden, weil dort auch die meisten Eis- und Frosttage vorkommen.

Heiße Tage

Im RCP2.6-Szenario wird für die nahe Zukunft (2021-2050) im Teilplangebiet MK-OE-SI eine durchschnittliche Zunahme von rund +1 bis rund +5 Heißen Tagen (Temperaturmaximum > 30 °C) pro Jahr im Vergleich zur Referenz-KNP 1971-2000 projiziert. Innerhalb des RCP4.5 Szenario liegt die Steigerung der Heißen Tage im Flächenmittel ebenfalls bei rund +1 bis +5 Heiße Tage pro Jahr. Beim RCP8.5 Szenario liegt die Steigerung mit rund +2 bis +5 zusätzlichen Heißen Tagen in einem sehr ähnlichen Bereich. Für die ferne Zukunft (2071-2100) liefert das RCP2.6-Szenario eine geringfügig größere Steigerung von rund +2 bis rund +6 zusätzlichen Heißen Tagen pro Jahr. Das RCP4.5-Szenario zeigt für das Teilplangebiet Werte von rund +3 bis rund +9 Heißen Tagen pro Jahr zusätzlich gegenüber der Referenz-KNP. Besonders deutlich ist die Steigerung im RCP8.5-Szenario, wo die Steigerung der Heißen Tage mit zwischen rund +8 bis rund +18 zusätzlichen Heißen Tagen pro Jahr am stärksten ist. Tabelle 11 werden alle RCP-Projektionen der Zunahme der Heißen Tage pro Jahr innerhalb des Teilplangebietes für beide Zukunftszeiträume zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 11: Änderung der Anzahl an Heißen Tage pro Jahr - Projektionen für die nahe und ferne Zukunft bezogen auf 1971-2000 (alle Werte auf ganze Zahlen gerundet; Daten: DWD)

Klimaszenario	Perzentil	2021-2050	2071-2100
RCP2.6	15.	+1	+2
	50.	+2	+3
	85.	+5	+6
RCP4.5	15.	+1	+3
	50.	+3	+5
	85.	+5	+9
RCP8.5	15.	+2	+8
	50.	+3	+13
	85.	+5	+18

Sommertage

Die Ergebnisse der Klimamodelle für das RCP2.6-Szenario zeigen bei der Entwicklung der Sommertage (Temperaturmaximum > 25 °C) für die nahe Zukunft (2021-2050) innerhalb des Teilplangebietes eine Steigerung von rund +4 bis rund +13 Tagen pro Jahr zusätzlich gegenüber der Referenz-KNP 1971-2000. Beim RCP4.5-Szenario liegt die Steigerung bei rund +5 bis rund +12 Sommertagen pro Jahr zusätzlich, während für das RCP8.5-Szenario eine Steigerung von rund +6 bis rund +13 zusätzlichen Sommertagen pro Jahr im Flächenmittel projiziert wird. Damit liegen für die nahe Zukunft noch keine allzu großen Unterschiede zwischen den RCP-Szenarien vor. Für den Bereich der fernen Zukunft (2071-2100) werden die Unterschiede deutlicher: So wird für das RCP2.6-Szenario eine auf die Fläche gemittelte Abweichung im Bereich von rund +5 bis rund +11 zusätzlichen Sommertagen pro Jahr projiziert. Beim RCP4.5-Szenario liegt die Steigerung zwischen rund +11 bis rund +20 zusätzlichen Sommertagen pro Jahr. Im RCP8.5 Szenario liegt die Steigerung der mittleren Anzahl an Sommertagen pro Jahr bei rund +23 bis rund +42 zusätzlichen Sommertagen. Tabelle 12 zeigt die Bandbreite der Projektionsergebnisse für die Anzahl an Sommertagen pro Jahr für beide Zukunftszeiträume.

Tabelle 12: Änderung der Anzahl an Sommertagen pro Jahr - Projektionen für die nahe und ferne Zukunft bezogen auf 1971-2000 (alle Werte auf ganze Zahlen gerundet; Daten: DWD)

Klimaszenario	Perzentil	2021-2050	2071-2100
RCP2.6	15.	+4	+5
	50.	+7	+8
	85.	+13	+11
RCP4.5	15.	+5	+11
	50.	+8	+14
	85.	+12	+20
RCP8.5	15.	+6	+23
	50.	+8	+31
	85.	+13	+42

Eistage

Wie zu Beginn dieses Kapitels beschrieben, wird für die Auswertung der Ergebnisse der verschiedenen Klimamodelle eine Größensortierung der Modellprojektionen vorgenommen. Dies bedeutet für die negativen Änderungen der Kenntage, dass sich die Aussage der jeweiligen Perzentile umkehrt: die absolut kleinsten Werte stellen die größte Änderung dar. So stellt bei den hier diskutierten Eistagen das 15. Perzentil nun den Bereich der Projektionsbandbreite dar, bei der die Änderungen gegenüber der Referenz-KNP 1971-2000, nun negativ abnehmend, am stärksten ausgeprägt sind. Dem entsprechend repräsentiert nun das 85. Perzentil den Bereich mit den geringsten Änderungen innerhalb der verschiedenen Modell-Läufe.

Für das RCP2.6-Szenario wird für die nahe Zukunft (2021-2050) einen Rückgang der jährlichen Eistage (Temperaturmaximum $< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$) gegenüber der Referenz-KNP 1971-2000 innerhalb einer Bandbreite von rund -6 bis rund -10 Eistagen pro Jahr weniger projiziert. Das RCP4.5-Szenario liefert für die Fläche des Teilplangebietes eine mittlere Abnahme der Eistage von rund -3 bis rund -14 Eistagen pro Jahr weniger, beim Szenario RCP8.5 liegt die Bandbreite der Abnahme der Eistage zwischen rund -6 und rund -13 Eistagen weniger. Auch hier liegen die Projektionen der nahen Zukunft relativ nah beieinander. Für die ferne Zukunft (2071-2100) wird innerhalb der Planungsregion im Vergleich zur Referenz-KNP für das RCP2.6-Szenario ein gemittelter Rückgang von durchschnittlich rund -7 bis rund -11 Eistagen pro Jahr projiziert. Beim RCP4.5-Szenario zeigt sich wie bei den anderen Temperatur-Parametern jedoch eine stärkere Veränderung in Richtung Erwärmung. Die Bandbreite des Rückgangs der Eistage steigert sich hier auf rund -8 bis rund -17 Eistagen pro Jahr weniger im Flächenmittel des Teilplangebietes. Für das RCP8.5-Szenario liefern die Projektionen einen Rückgang an Eistagen von rund -15 bis rund -20 Eistagen pro Jahr weniger im Vergleich zur KNP 1971-2000. Bei nur durchschnittlich rund 22 Eistagen pro Jahr während der Referenz-KNP 1971-2000 gäbe es in der fernen Zukunft (2071-2100) somit nur noch wenige Eistage im Jahr. Tabelle 13 fasst sämtliche Projektionen für die Eistage abschließend zusammen.

Tabelle 13: Änderung der Anzahl an Eistagen pro Jahr - Projektionen für die nahe und ferne Zukunft bezogen auf 1971-2000 (alle Werte auf ganze Zahlen gerundet; Daten: DWD)

Klimaszenario	Perzentil	2021-2050	2071-2100
RCP2.6	15.	-10	-11
	50.	-7	-9
	85.	-6	-7
RCP4.5	15.	-14	-17
	50.	-9	-14
	85.	-3	-8
RCP8.5	15.	-13	-20
	50.	-10	-19
	85.	-6	-15

Frosttage

Für die Anzahl an Frosttagen (Temperaturminimum $< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$) in der nahen Zukunft (2021-2050) wird für das Szenario RCP2.6 ein mittlerer Rückgang gegenüber der Referenz-KNP 1971-2000 in einem Bereich von rund -15 bis rund -24 Tagen pro Jahr im Flächenmittel des Teilplangebietes projiziert. Für das RCP4.5-Szenario liefern die Projektionen im Flächenmittel einen Rückgang von rund -13 bis rund -33 Frosttagen pro Jahr weniger, für das RCP8.5-Szenario beläuft sich der Rückgang in einer Bandbreite von rund -17 bis rund -33 Frosttagen pro Jahr weniger. Im Gegensatz zu den bisherigen Temperatur-Projektionen werden leichte Unterschiede zwischen den drei RCP-Szenarien bereits in der nahen Zukunft deutlich. Für die ferne Zukunft (2071-2100) und das RCP2.6-Szenario wird ein Rückgang im Bereich von rund -15 bis rund -30 Frosttagen pro Jahr weniger gegenüber der Referenz-KNP 1971-2000 projiziert.

Für das RCP4.5-Szenario steigert sich der Rückgang auf rund -20 bis rund -52 Frosttage pro Jahr weniger, für das RCP8.5-Szenario zeigt sich ein nochmals gesteigerter Rückgang der Anzahl an Frosttagen von rund -46 bis -68 Tagen pro Jahr weniger. Tabelle 14 stellt die Projektionen zu der Anzahl an Frosttagen pro Jahr zusammenfassend dar.

Tabelle 14: Änderung der Anzahl an Frosttagen pro Jahr - Projektionen für die nahe und ferne Zukunft bezogen auf 1971-2000 (alle Werte auf ganze Zahlen gerundet; Daten: DWD)

Klimaszenario	Perzentil	2021-2050	2071-2100
RCP2.6	15.	-24	-30
	50.	-19	-20
	85.	-15	-15
RCP4.5	15.	-33	-52
	50.	-23	-43
	85.	-13	-20
RCP8.5	15.	-33	-68
	50.	-27	-59
	85.	-17	-46

2.2.6 Niederschlag

Die Klimaprojektionen für die mittleren jährlichen Niederschlagssummen liegen für das Teilplangebiet Märkischer Kreis, Kreis Olpe und Kreis Siegen-Wittgenstein ebenfalls für die Szenarien RCP2.6, RCP4.5 RCP8.5 vor. Dabei werden die relativen Veränderungen zu der mittleren jährlichen Niederschlagssumme der Referenz-KNP 1971-2000 in Prozent dargestellt. Eine jahreszeitliche Differenzierung der Zukunftsprojektionen zu den Niederschlägen wird im Unterkapitel 2.2.5.1 aufgezeigt. Entgegen den projizierten Veränderungen bei der zukünftigen mittleren Lufttemperatur sind die projizierten Veränderungen der mittleren Jahresniederschläge variabler, sowohl räumlich als auch innerhalb der gesamten Breite der Perzentile.

2021-2050: Nahe Zukunft

Für die nahe Zukunft (2021-2050) und das RCP2.6-Szenario wird im Flächenmittel des Teilplangebietes MK-OE-SI eine Niederschlagsveränderung von rund -3 % bis rund +7 % gegenüber der mittleren jährlichen Niederschlagssumme der Referenz-KNP (1971-2000) projiziert. Für das RCP4.5-Szenario liegen die Veränderungen in einer Bandbreite zwischen rund 0 % bis rund +8 %, beim RCP8.5-Szenario zwischen rund -3 % und rund +7 % im Flächenmittel gegenüber der Referenz-KNP. Insgesamt liegen auch hier die drei RCP-Szenarien für die nahe Zukunft relativ nah beieinander. Tabelle 15 zeigt zusammenfassend die Projektionsergebnisse für die Niederschlagsveränderungen in der nahen Zukunft (2021-2050).

Tabelle 15: Änderung des mittleren jährlichen Niederschlags in Prozent - Projektionen für die nahe Zukunft (2021-2050) bezogen auf 1971-2000 (alle Werte auf ganze Zahlen gerundet; Daten: DWD)

Klimaszenario	Perzentil	Mittel
RCP2.6	15.	-3 %
	50.	+2 %
	85.	+7 %
RCP4.5	15.	0 %
	50.	+3 %
	85.	+8 %
RCP8.5	15.	-3 %
	50.	+2 %
	85.	+7 %

2071-2100: Ferne Zukunft

Für das RCP2.6-Szenario wird im Bereich der fernen Zukunft (2071-2100) eine Veränderung der gemittelten Jahresniederschläge in einem Bereich von rund -5 % bis rund +4 % gegenüber der Referenz-KNP 1971-2000 projiziert. Für das RCP4.5-Szenario zeigt sich eine Veränderung im Bereich von rund 0 % bis +10 % im Flächenmittel für das Teilplangebiet. Für das RCP8.5-Szenario ist die größte Bandbreite der Veränderungen bei den jährlichen Niederschlagssummen ersichtlich: Hier liegt die Bandbreite der Veränderung der jährlichen Niederschlagssummen im Bereich von rund -5 % bis +13 %. In der Tabelle 16 werden die Projektionen der fernen Zukunft für die Niederschlagssummen Teilplangebiet MK-OE-SI nochmals für alle Szenarien zusammengefasst.

Tabelle 16: Änderung des mittleren jährlichen Niederschlags in Prozent - Projektionen für die ferne Zukunft (2071-2100) bezogen auf 1971-2000 (alle Werte auf ganze Zahlen gerundet; Daten: DWD)

Klimaszenario	Perzentil	Mittel
RCP2.6	15.	-5
	50.	0
	85.	+4
RCP4.5	15.	0
	50.	+3
	85.	+10
RCP8.5	15.	-5
	50.	+4
	85.	+13

2.2.5.1 Niederschlag: Projizierte Veränderungen im Jahresverlauf

Die saisonale Betrachtung der bereits stattgefundenen Veränderungen bei den Niederschlagsmengen im Vergleich der KNP 1951-1980 und 1981-2010, dargestellt in Tabelle 17, zeigt eine Verlagerung der höchsten durchschnittlichen Niederschlagssummen vom Sommer in den Herbst und Winter bei einem insgesamt moderaten Anstieg der mittleren Niederschlagssumme pro Jahr.

Auch für die Zukunft wird von den Klimamodellen weiterhin eine moderate Zunahme der jährlichen Gesamtniederschlagssummen projiziert. Auf die Jahreszeiten bezogen werden jedoch vor allem für den Winter und den Frühling überproportionale Steigerungen bei den Niederschlagssummen erwartet, während der Herbst maximal nur leichte Zuwächse bei den Niederschlagssummen zu erwarten sind. Für den Sommer ist tendenziell eher mit einer Stagnation oder einem Rückgang der Niederschlagssummen zu rechnen. Die Veränderung der Niederschlagssummen im saisonalen Verlauf wird sich demnach also auch zukünftig weiter fortsetzen.

Tabelle 17 veranschaulicht die projizierten Niederschlagssummen der einzelnen Jahreszeiten und Zukunftszeiträume sowie der drei RCP-Szenarien für das Teilplangebiet. Die Tabelle zeigt für das 15. Perzentil der Modellergebnisse gerade in den Sommer- und Herbstmonaten auch deutliche Rückgänge der Niederschlagsmengen.

Tabelle 17: Änderung des saisonalen Niederschlags - Projektionen für die nahe und ferne Zukunft bezogen auf 1971-2000 (Daten: DWD)

Jahreszeit	Klimaszenario	Perzentil	2021-2050	2071-2100
Frühjahr	RCP2.5	15.	+1	-5
		50.	+8	+5
		85.	+14	+12
	RCP4.5	15.	+6	+10
		50.	+9	+14
		85.	+13	+19
	RCP8.5	15.	0	0
		50.	+5	+12
		85.	+12	+22
Sommer	RCP2.5	15.	-14	-12
		50.	-4	-4
		85.	+4	+5
	RCP4.5	15.	-9	-15
		50.	-3	-8
		85.	+10	+9
	RCP8.5	15.	-13	-21
		50.	-4	-9
		85.	+3	+1
Herbst	RCP2.5	15.	-7	-7
		50.	-1	-4
		85.	+8	+4
	RCP4.5	15.	-6,5	-9,0
		50.	+1,0	-0,5
		85.	+6,8	+9,9
	RCP8.5	15.	-6,8	-16,7
		50.	+1,0	-1,4
		85.	+10,0	+12,9
Winter	RCP2.5	15.	-3,2	-9,0
		50.	+7,5	+0,7
		85.	+11,4	+11,3
	RCP4.5	15.	-1,3	-0,7
		50.	+5,0	+7,4
		85.	+10,4	+12,8
	RCP8.5	15.	-7,0	+2,5
		50.	+6,3	+13,3
		85.	+14,6	+23,8

2.2.7 Wetterextreme

Unter dem Begriff Wetterextreme sollen an dieser Stelle Projektionen der zu erwartenden Starkniederschlagstage mit > 10 mm und > 20 mm Niederschlag pro Tag an dargestellt werden. Auch diese Projektionsdaten des Modellensembles liegen für die Szenarien RCP2.6, RCP4.5 und RCP8.5 vor. Wie bei den anderen Projektionsdaten lassen sich hier keine belastbaren Aussagen über räumliche Unterschiede innerhalb des Teilplangebietes MK-OE-SI ableiten. Analog zu den anderen Kenntagen werden im Text die nun beschriebenen Änderungswerte ebenfalls auf ganze Zahlen gerundet.

Starkniederschlagstage > 10 mm pro Tag:

Bei den Tagen mit Starkniederschlägen von mehr als 10 mm wird für die nahe Zukunft (2021-2050) im RCP2.6-Szenario eine Veränderung gegenüber der Referenz-KNP 1971-2000 in einer Bandbreite von rund -2 bis rund +4 zusätzliche Tage pro Jahr projiziert. Für das RCP4.5-Szenario wird eine Zunahme im Bereich von keinem bis rund +4 Starkniederschlagstagen pro Jahr erwartet. Die Projektionen des RCP8.5-Szenarios bewegen sich in einer Bandbreite von rund -1 bis +3 zusätzlichen Starkniederschlagstagen > 10 mm pro Jahr. Auch hier liegen die Bandbreiten aller betrachteten RCP-Szenarien im Bereich der nahen Zukunft recht nah beieinander.

Im Bereich der fernen Zukunft (2071-2100) liegt die Bandbreite der Veränderungen an Starkniederschlagstagen > 10 mm pro Jahr für das RCP2.6-Szenario bei rund -2 bis rund +2 zusätzlichen Tagen pro Jahr. Für das RCP4.5-Szenario gibt es im Vergleich zur nahen Zukunft ebenfalls kaum Unterschiede bei den Bandbreiten der Veränderungen. So liegt hier der Bereich ebenfalls zwischen keinem Anstieg und rund +4 zusätzlichen Starkniederschlagstagen pro Jahr. Die Projektionen für das RCP8.5-Szenario zeigen eine leichte Zunahme der jährlichen Anzahl an Starkniederschlagstagen mit > 10 mm (keine Änderung bis rund +5 Tagen zusätzlich).

In Tabelle 18 werden die Projektionen für die nahe Zukunft (2021-2050) sowie die ferne Zukunft (2071-2100) hinsichtlich der möglichen Änderungen bei den Starkniederschlagstagen > 10 mm innerhalb des Teilplangebiets zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 18: Änderung der Anzahl an Starkniederschlagstagen (> 10 mm pro Tag) pro Jahr - Projektionen für die nahe und ferne Zukunft bezogen auf 1971-2000 (alle Werte auf ganze Zahlen gerundet; Daten: DWD)

Klimaszenario	Perzentil	2021-2050	2071-2100
RCP2.6	15.	-2	-2
	50.	+1	0
	85.	+4	+2
RCP4.5	15.	0	0
	50.	+1	+2
	85.	+4	+4
RCP8.5	15.	-1	0
	50.	+1	+2
	85.	+3	+5

Starkniederschlagstage > 20 mm/Tag:

Bei der jährlichen Anzahl an Tagen mit > 20 mm Niederschlag wird für das RCP2.6-Szenario in der nahen Zukunft (2021-2050) lediglich eine Veränderung zwischen 0 und rund +2 zusätzlichen Tagen pro Jahr gegenüber der Referenz-KNP 1971 – 2000 projiziert. Für das RCP4.5-Szenario liegt die Veränderung zwischen 0 und rund +1 zusätzlichen Starkniederschlagstag pro Jahr sogar geringfügig unter dem Bereich des RCP2.6-Szenarios. Für das RCP8.5-Szenario verändert sich die Anzahl der Starkniederschlagstage > 20 mm im Flächenmittel nahezu identisch zum RCP2.6-Szenario. Insgesamt liegen zwischen den Bandbreiten aller betrachteten Szenarien innerhalb der nahen Zukunft kaum Unterschiede vor.

Für die ferne Zukunft wird beim RCP2.6-Szenario eine Bandbreite der Änderungen an Starkniederschlagstagen > 20 mm zwischen keinem und rund +1 zusätzlichem Tag pro Jahr gegenüber der Referenz-KNP projiziert. Für das RCP4.5-Szenario steigert sich die Bandbreite gegenüber der nahen Zukunft nur sehr geringfügig (keiner bis rund +2 zusätzlichen Tage pro Jahr). Auch für das RCP8.5-Szenario gibt es nur sehr leichte Steigerungen in der Bandbreite gegenüber der nahen Zukunft. So werden hier Zuwächse im Bereich von keinem bis rund +3 zusätzlichen Tagen pro Jahr zusätzlich. In Tabelle 19 sind die Projektionen für die nahe (2021-2050) und die ferne Zukunft (2071-2100) zu den möglichen Veränderungen der mittleren jährlichen Anzahl an Starkniederschlagstagen > 20 mm zusammengefasst.

Tabelle 19: Änderung der Anzahl an Starkniederschlagstagen (> 20 mm/Tag) pro Jahr - Projektionen für die nahe und ferne Zukunft bezogen auf 1971-2000 (alle Werte auf ganze Zahlen gerundet; Daten: DWD)

Klimaszenario	Perzentil	2021-2050	2071-2100
RCP2.6	15.	0	0
	50.	+1	+1
	85.	+2	+1
RCP4.5	15.	0	0
	50.	+1	+1
	85.	+1	2
RCP8.5	15.	0	0
	50.	+1	+1
	85.	+2	+3

2.2.8 Fazit projizierte Klimaänderungen

Für die vorgestellten Ergebnisse der Klimaprojektionen für das Teilplangebiet MK-OE-SI können im Gegensatz zu den bisher bereits beobachteten Klimaveränderungen kaum Aussagen zu den räumlichen Unterschieden innerhalb der Planungsregion gemacht werden. Dennoch liefern die Projektionen der zu erwartenden Klimaveränderungen wertvolle Informationen darüber, auf welche Änderungen der klimatischen Verhältnisse sich in Zukunft grundsätzlich und auch im Rahmen der Regionalplanung eingestellt werden muss.

Die projizierten Änderungen des Klimas im Teilplangebiet Märkischer Kreis, Kreis Olpe und Kreis Siegen-Wittgenstein verdeutlichen, dass das Klima insgesamt und damit auch das Wetter nicht nur wärmer, sondern auch extremer wird. Dies ist besonders bedeutsam, da sämtliche hier vorgestellten Projektionen der jeweiligen Klimaparameter Mittelwerte der Fläche des Teilplangebietes sind. Lokal können insbesondere bei den Kenntagen und dem Niederschlag deutlich höhere Abweichungen gegenüber der Referenzperiode 1971-2000 auftreten. Auch leichte Verschiebungen der klimatischen Mittelwerte können dabei zu extremen Ereignissen führen, die so in unseren Breiten früher wesentlich seltener waren. Abbildung 22 verdeutlicht, wie sich Veränderungen von klimatischen Mittelwerten auf die Auftretenswahrscheinlichkeit von Extremwetterereignissen auswirken können.

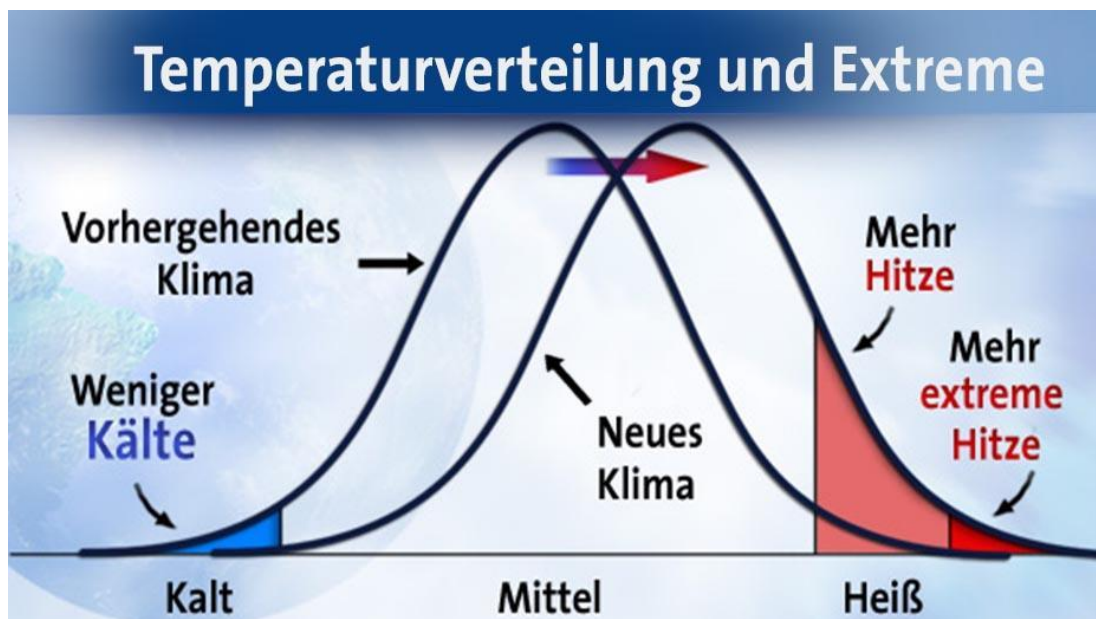


Abbildung 22: Klimawandel - Temperaturverteilung und Extreme (STAEGER 2016)

3 Klimaschutz im Teilplangebiet Märkischer Kreis, Kreis Olpe und Kreis Siegen-Wittgenstein

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

In diesem Kapitel werden zunächst im Abschnitt 3.1 die Treibhausgasemissionen im Teilplangebiet MK-OE-SI quantifiziert und eingeordnet sowie die internationalen, bundes- und landesweiten Klimaschutzziele und deren Auswirkungen aufgezeigt. Anschließend wird mit den Erneuerbaren Energien ein wesentlicher Baustein im Bereich Klimaschutz thematisiert: Da der Energiesektor allgemein durch den Einsatz fossiler Brennstoffe (vor allem Braun- und Steinkohle, Öl, Gas) für einen großen Teil der CO₂-Emissionen verantwortlich ist, kann durch den Umbau des Energieversorgungssystems und den damit verbundenen Ausbau der regenerativen Energien der Ausstoß großer Mengen an Treibhausgasen eingespart werden. Um die Energiewende auf der Ebene des Teilplangebietes zu unterstützen, werden daher in Kapitel 3.2 der aktuelle Bestand und noch ungenutzte Potenziale regenerativer Energien dargestellt und ausgewertet. Grundlage hierfür ist u. a. die „Potenzialstudie Erneuerbare Energien“ des LANUV. Der Fokus liegt dabei auf dem Strombereich, da für den Wärmesektor (mit Ausnahme der regionalplanerisch kaum zu adressierenden oberflächennahen Geothermie) bislang keine vergleichbare Datengrundlage vorliegt.

Um die Energiewende auch im Wärmesektor zu unterstützen, werden vom LANUV aktuell weitere Studien erarbeitet, beispielsweise zur Nutzung der Kraft-Wärme-Kopplung oder der industriellen Abwärme. Die Ergebnisse lagen bei Erstellung dieses Fachbeitrags Klima jedoch noch nicht vor. Veröffentlicht wurde vom LANUV im Jahr 2018 bereits die Potenzialstudie Warmes Grubenwasser, die die Möglichkeiten zur Nutzung von Erdwärme z. B. aus dem Grubenwasser stillgelegter Bergwerke als Beitrag zur Wärmeversorgung untersucht (LANUV 2018_D). Im Rahmen dieser Studie wurden innerhalb des Teilplangebietes auch die Potenziale der Schwefelkiesgrube Meggen und des Siegerländer Erzrevieres betrachtet. Die Grubenwasserhaltung am Standort Meggen stellt demnach mit 14.395 MWh/a ein eher geringes Potenzial im Vergleich aller betrachteten Wasserhaltungsstandorte dar, das Energiepotenzial könnte trotz nur geringer Wärmesenken im Umfeld jedoch vollständig abgenommen werden. Für das Siegerländer Erzrevier wurde auf Grund einer unklaren Datenlage und eines nur geringen thermischen Nutzungspotenziales kein geothermisches Potenzial berechnet.

In Kapitel 3.3 weitere Bausteine im Bereich Klimaschutz und deren Relevanz für die Regionalplanung im Gebiet des Teilplanes MK-OE-SI behandelt. Kapitel 3.4 zeigt abschließend durch klimafachliche Formulierungsvorschläge zu regionalplanerischen Festlegungen konkrete raumordnerische Steuerungsmöglichkeiten im Bereich Klimaschutz auf.

3.1 Treibhausgasemissionen und Klimaschutzziele

In diesem Abschnitt werden im Unterkapitel 3.1.1 zunächst einige Grundlagen zu Treibhausgasen und dem Monitoring der Emissionen erläutert, sowie die Höhe der Treibhausgasemissionen im Teilplangebiet der drei Kreise Märkischer Kreis, Kreis Olpe und Kreis Siegen-Wittgenstein dargestellt und in das Verhältnis zu den landes- und bundesweiten Werten gesetzt. Anschließend werden in Abschnitt 3.1.2 die verschiedenen Klimaschutzziele zur Reduktion von Treibhausgasemissionen dokumentiert und deren Auswirkungen aufgezeigt.

3.1.1 Treibhausgasemissionen im Teilplangebiet Märkischer Kreis, Kreis Olpe und Kreis Siegen-Wittgenstein

Im Folgenden werden die klimaschädlichen Treibhausgasemissionen im Gebiet des räumlichen Teilplans des Regionalplans Arnsberg (Märkischer Kreis, Kreis Olpe, Kreis Siegen-Wittgenstein) untersucht und in ein Verhältnis zu den Werten aus ganz Nordrhein-Westfalen sowie dem gesamten Bundesgebiet gesetzt. Nähere Informationen zu diesem Thema können auch dem Bericht „Treibhausgas-Emissionsinventar Nordrhein-Westfalen 2016 – LANUV-Fachbericht 87“ (LANUV 2017c) entnommen werden, der auch die Grundlage für die folgenden Ausführungen ist.

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

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

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

CO₂ entsteht vor allem bei Verbrennungsvorgängen, während N₂O in größerem Umfang hauptsächlich bei Industrieprozessen und in der Landwirtschaft emittiert wird. CH₄ tritt insbesondere als flüchtige Emission aus Brennstoffen auf, z. B. im Steinkohlebergbau und der Öl-

und Gaswirtschaft, außerdem in der Landwirtschaft und bei Abfalldeponien. Die Berechnungen für das Treibhausgas-Emissionsinventar orientieren sich an den Vorgaben der IPCC-Guidelines 2006 (IPCC 2006).

Datengrundlagen für die Inventarerstellung sind:

- die Emissionsberichte der emissionshandelspflichtigen Anlagen, die auf der Basis der Emissionshandels-Richtlinie erstellt werden (Richtlinie 2003/87/EG),
- die Emissionserklärungen nach der 11. Bundes-Immissionsschutzverordnung (11. BImSchV),
- Daten des Johann Heinrich von Thünen-Instituts, Braunschweig, zur Landwirtschaft und zur Landnutzungsänderung, die im Auftrag des UBA für das Nationale Inventar ermittelt und auch für NRW zur Verfügung gestellt werden,
- Berichte aus dem Pollutant Release and Transfer Register (PRTR), das Informationen zur Freisetzung von Schadstoffen von Industriebetrieben in Wasser, Luft und Boden sowie die Verbringung von Abfallmengen enthält,
- weitere Statistiken, wie Energiebilanzen und Produktionsstatistiken.

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

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

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

Demzufolge müssen für die regionalisierte Betrachtung der THG-Emissionen im Teilplangebiet MK-OE-SI kleinere Kompromisse in Kauf genommen werden: So enthalten die Daten im Gegensatz zu den ebenfalls angegebenen Vergleichswerten für ganz NRW und Deutschland keine Angaben zu den F-Gasen (z. B. HFC, PFC, SF₆, NF₃). Die Äquivalente setzen sich

also nur aus CO₂, CH₄ und N₂O zusammen. Für die Sektoren Abfall, Produktanwendung/Sonstige und Flüchtige Emissionen aus Brennstoffen liegen keine Daten auf Kreisebene vor. Auch liegen für das Teilplangebiet MK-OE-SI die Werte der eigentlich eigenständigen Sektoren Energiewirtschaft und Industrie nur gemeinsam vor, diese stammen aus den Emissionsberichten 2016 des Emissionshandels und den Emissionserklärungen nach der 11. BImSchV für 2016. Für die anderen Sektoren wurden die Emissionsdaten für 2012/2013 mit Hilfe der Daten des THG-Inventars und anderer statistischer Daten auf 2016 umgerechnet.

Dennoch lassen sich mit den verfügbaren Datengrundlagen die THG-Emissionen der drei Kreise Märkischer Kreis, Kreis Olpe und Kreis Siegen-Wittgenstein solide einordnen. Die fehlenden Sektoren spielen, wie die landes- und bundesweiten Daten zeigen, quantitativ eine eher untergeordnete Rolle. Gleiches gilt für die F-Gase, die in NRW nur etwa 1 % der gesamten THG-Emission in CO₂-Äquivalenten ausmachen (LANUV 2017_C).

Tabelle 20 zeigt die Treibhausgasemissionen im Teilplangebiet MK-OE-SI für das Jahr 2016. Demnach lag der THG-Ausstoß hier bei 7,9 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalenten (ohne die Sektoren Abfall, Produktanwendung/Sonstige und Flüchtige Emissionen aus Brennstoffen sowie F-Gase). Für knapp 96 % der Emissionen in CO₂-Äquivalenten ist demnach der Kohlenstoffdioxid-Ausstoß verantwortlich. Etwa 58 % der THG-Emissionen entstehen in Teilplangebiet MK-OE-SI in den Sektoren Energiewirtschaft und Industrie (ca. 4,6 Mio. t CO_{2eq}). Der Verkehrssektor (1,7 Mio. t CO_{2eq}) sowie Haushalte und Kleinverbrauch (1,4 Mio. t CO_{2eq}) waren für etwa 21 % bzw. 18 % aller THG-Emissionen in der Region verantwortlich.

Tabelle 20: Treibhausgasemissionen im Teilplangebiet 2016

Emissionen 2016 in 1.000 t CO _{2eq}	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Summe
Energiewirtschaft/Industrie	4.540	10	31	4.581
Verkehr	1.665	3	18	1.686
Haushalte, Kleinverbrauch	1.382	3	3	1.388
Landwirtschaft	0	179	79	258
Summe	7.587	195	131	7.913

In Tabelle 21 werden die Werte in das Verhältnis zur Einwohnerzahl gesetzt und mit den THG-Emissionen von ganz Nordrhein-Westfalen sowie Deutschland verglichen. Für NRW und Deutschland werden zusätzlich noch die Gesamtemissionen inklusive der Sektoren Abfall, Produktanwendung/Sonstige und Flüchtige Emissionen aus Brennstoffen angegeben.

Im Ergebnis zeigt sich, dass die vergleichbaren THG-Emissionen im Teilplangebiet mit etwa 9,6 Tonnen CO_{2eq} pro Einwohner auf einem ähnlichen Niveau liegen wie der bundesweite Durchschnitt (10,7 Tonnen CO_{2eq} pro Kopf), allerdings deutlich unter den überdurchschnittlich hohen Werten für ganz NRW (15,5 t CO_{2eq} pro Einwohner). Hauptursache hierfür sind die THG-Emissionen im Sektor Energiewirtschaft und Industrie, die im Teilplangebiet MK-OE-SI mit 5,5 t CO_{2eq} deutlich unter den Pro-Kopf-Werten ganz Nordrhein-Westfalens (11,4 t CO_{2eq}) und auch leicht unter dem bundesweiten Durchschnitt (6,3 t CO_{2eq}) liegen. Die Treibhaus-

gasemissionen je Einwohner in den Sektoren Verkehr (2,0 t CO_{2eq}), Haushalte / Kleinverbrauche (1,7 t CO_{2eq}) und Landwirtschaft (0,3 t CO_{2eq}) liegen im Teilplangebiet in etwa auf dem gleichen Niveau wie in ganz NRW oder im Bund.

Ein wesentlicher Grund für diese Ergebnisse liegt darin, dass im Teilplangebiet 2016 mit dem Kraftwerk in Werdohl-Elverlingsen (Steinkohle, Erdgas; mittlerweile größtenteils stillgelegt) lediglich ein auf der Verbrennung fossiler Energieträger basierendes größeres Kraftwerk existierte. Im Jahr 2016 verursachte dieses Kraftwerk Treibhausgasemissionen in Höhe von knapp 380.000 Tonnen CO_{2eq}. Bei der Bilanz der THG-Emissionen pro Kopf im Sektor Energiewirtschaft / Industrie profitieren die drei Kreise des Teilplanes daher davon, dass die zur Energieversorgung in der Region derzeit noch notwendigen fossilen Kraftwerke außerhalb des Teilplangebietes liegen, und deren Emissionen für den Sektor Energiewirtschaft / Industrie im Monitoring damit auch außerhalb der Region anfallen. Im Vergleich zu anderen Regionen Nordrhein-Westfalens ist die Wirtschaftsstruktur im Teilplangebiet außerdem vergleichsweise wenig durch die energieintensive chemische Industrie geprägt.

Die mit dem gesamten Bundesdurchschnitt in etwa vergleichbare Höhe der THG-Emissionen pro Einwohner im Teilplangebiet zeigt, dass auch in dieser Region Maßnahmen zur Reduktion des Treibhausgasausstoßes eine uneingeschränkt hohe Relevanz aufweisen. Zur Erreichung der im Folgenden aufgeführten globalen sowie bundes- und landesweiten Klimaschutz-Ziele ist ein schnelles und entschiedenes Handeln in allen Sektoren und Teilräumen erforderlich. Die hier aufgeführten Daten sind dabei auch als Grundlage für das Monitoring der THG-Emissionen auf regionaler Ebene von Bedeutung.

Tabelle 21: Vergleich der THG-Emissionen 2016 im Teilplangebiet, in NRW und in Deutschland

	MK OE SI CO _{2eq} (in 1.000 t)	MK OE SI CO _{2eq} / Kopf (in t)	NRW CO _{2eq} (in 1.000 t)	NRW CO _{2eq} / Kopf (in t)	Deutsch- land CO _{2eq} (in 1.000 t)	Deutsch- land CO _{2eq} / Kopf (in t)
Bevölkerung (31.12.2016; Quelle: IT.NRW/ Destatis)	827.802		17.890.100		82.521.700	
Energiewirtschaft/ Industrie	4.581	5,5	204.818	11,4	516.067	6,3
Verkehr	1.686	2,0	34.632	1,9	166.815	2,0
Haushalte, Klein- verbrauch	1.388	1,7	30.268	1,7	136.565	1,7
Landwirtschaft	258	0,3	7.567	0,4	65.228	0,8
Summe	7.913	9,6	277.285	15,5	884.675	10,7
Gesamtemissio- nen (inkl. Flücht- ige Emissionen aus Brennstoffen, Produktanwen- dung/Sonstige, Abfall)	k.A.	k.A.	285.593	16,0	909.405	11,0

3.1.2 Ziele zur Reduktion von Treibhausgasemissionen

Auf internationaler, nationaler, und auf Landesebene sind von der Politik mittlerweile verschiedene Zielwerte zur Reduktion von Treibhausgasemissionen beschlossen worden. Im Jahr 1997 wurden auf der Konferenz in Kyoto Ziele zum Klimaschutz auf globaler Ebene festgelegt (Kyoto Protokoll als Zusatzprotokoll zur Ausgestaltung der Klimarahmenkonvention, UNFCCC 1997). Das 2005 in Kraft getretene und 2012 ausgelaufene Abkommen schrieb verbindliche Zielwerte für den Ausstoß von Treibhausgasen fest. Mittlerweile wurde in Nachfolge im Jahr 2015 das völkerrechtlich verbindliche Pariser Klimaschutzabkommen (UNFCCC 2015) verabschiedet, welches zum Ziel hat, die globale Erwärmung auf deutlich unter 2 °C im Vergleich zu dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen und Anstrengungen zu unternehmen, sie unter 1,5 Grad zu halten. Deutschland und auch das Land Nordrhein-Westfalen bekennen sich zur Einhaltung dieser Pariser Klimaziele.

Die Europäische Union (EU) hat Zwischenziele für eine verbindliche Emissionsreduktion im Vergleich zum Jahr 1990 formuliert, die eine Reduktion um 20 Prozent bis 2020 und um mindestens 40 Prozent bis 2030 vorsehen (UBA 2018). Diese Werte der EU reichen jedoch aller Voraussicht nach deutlich nicht aus, um die globale Erwärmung im Sinne des Pariser Klimaschutzabkommens auf unter 2 Grad zu begrenzen (DEUTSCHE WELLE 2017, Climateactiontracker 2019).

Die deutsche Bundesregierung hatte zunächst im November 2016 mit dem Klimaschutzplan 2050 die nationalen Klimaschutzziele bestätigt und weiter präzisiert, wonach Deutschland seine Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2020 um mindestens 40 % reduzieren will, bis 2030 um mindestens 55 % und bis 2040 um mindestens 70 % (im Vergleich zu 1990). Bis zum Jahr 2050 soll Deutschland demnach weitgehend treibhausgasneutral werden. Auf Grund der absehbaren Zielverfehlung erklärten die Regierungsparteien im Koalitionsvertrag 2018 ihre Absicht, das Ziel für 2020 nun so bald wie möglich erreichen zu wollen.

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

Neben den politisch festgesetzten Zielwerten auf europäischer, Bundes- und Landesebene stellt sich aber insbesondere auch die Frage, welche Erfordernisse und Auswirkungen sich aus dem völkerrechtlich verbindlichen Pariser Klimaschutzabkommen und seinem Ziel ergeben, die globale Erwärmung auf deutlich unter 2 Grad im Vergleich zum vorindustriellen Niveau zu begrenzen und Anstrengungen zu unternehmen, sie unter 1,5 Grad zu halten.

Die Begrenzung der globalen Erwärmung auf einen bestimmten Wert erlaubt folgerichtig nur noch die globale Emission einer begrenzten Menge an Treibhausgasen. Um die Ziele des

Pariser Klimaabkommens zu erreichen und die globale Erwärmung auf deutlich unter 2 Grad zu begrenzen, sind demnach nur noch begrenzte Treibhausgas-Emissionsbudgets verfügbar. Der Weltklimarat hat hierzu in einem Sondergutachten den Stand der Wissenschaft zusammengefasst und (für Kohlenstoffdioxid) dargestellt, wie hoch die verbleibenden globalen Emissionsbudgets für das Erreichen bestimmter Klimaziele noch ausfallen. Um mit einer Wahrscheinlichkeit von 67 Prozent die globale Erwärmung auf 1,75 Grad begrenzen zu können, verblieben demnach weltweit ab Anfang 2018 noch 800 Gigatonnen CO₂-Emissionen (IPCC 2018).

Legt man den Anteil an der Weltbevölkerung zu Grunde (1,1 %), verfügt Deutschland demnach zur Erreichung der Pariser Klimaschutzziele ab Beginn des Jahres 2019 noch über ein Restbudget von 7,3 Gigatonnen CO₂-Emissionen (RAHMSTORF 2019). Derzeit emittiert Deutschland jährlich 0,8 – 0,9 Gigatonnen (Tabelle 21). Um die deutschen Treibhausgasemissionen derart zu reduzieren, dass eine Treibhausgas-Neutralität zu dem Zeitpunkt erreicht wird, in dem das verbleibende deutsche Emissionsbudget vollständig ausgeschöpft ist, ist eine erhebliche jährliche Minderung der Treibhausgasemissionen erforderlich. Ab sofort müssten hierfür die bundesweiten Treibhausgasemissionen konstant jedes Jahr um rund 6 Prozent reduziert werden, so dass ab dem Jahr 2036 das derzeitige CO₂-Restbudget von 7,3 Gigatonnen aufgebraucht und Treibhausgas-Neutralität erreicht würde (Abbildung 23). Einen Spielraum für Treibhausgas-Emissionen nach 2036 könnte nur durch eine anfangs schneller stattfindende Reduktion oder durch negative Emissionen erreicht werden (relevant sind in diesem Zusammenhang die Netto-Emissionen). Zum Vergleich: Wäre schon 1992, nach Abschluss der Klimarahmenkonvention in Rio, mit der Emissionsminderung begonnen worden, hätte eine lineare Reduktion über einen Zeitraum von 62 Jahren (Treibhausgas-Neutralität bis zum Jahr 2052) und somit eine Reduktionsrate von lediglich 1,6 Prozent pro Jahr ausgereicht, um mit demselben Emissionsbudget auszukommen. (RAHMSTORF 2019)

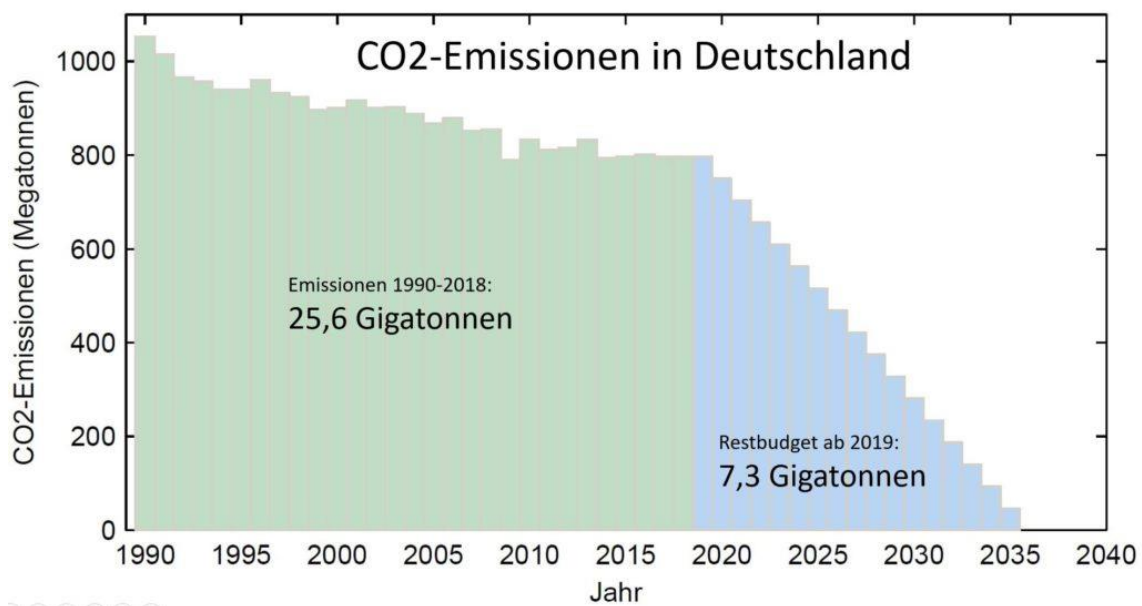


Abbildung 23: Treibhausgasemissionen und Restbudget in Deutschland
(Grafik: Prof. Stefan Rahmstorf, Creative Commons BY-SA 4.0)

Die Ziele des Pariser Klimaschutzabkommens erfordern also eine schnelle und konsequente Reduktion der Treibhausgasemissionen. Dies gilt global ebenso wie für Deutschland, Nordrhein-Westfalen oder das Teilplangebiet MK-OE-SI im Regierungsbezirk Arnsberg, das mit Gesamtdeutschland vergleichbare Pro-Kopf-Emissionen aufweist. Ohne entschiedenes und unverzügliches Handeln auf globaler, nationaler, regionaler und lokaler Ebene können die Pariser Klimaziele nicht mehr erreicht werden. Die Höhe der zukünftigen volkswirtschaftlichen, ökologischen und sozialen Folgekosten des Klimawandels (in den Bereichen Klimaschutz und Klimaanpassung) sind stark abhängig davon, welche Entscheidungen heute getroffen werden. Dies gilt selbstverständlich auch für die regionale Planung und die Umsetzung des bundes- und landesrechtlich verankerten Auftrages zum Klimaschutz aus ROG § 2 Abs. 2 Nr. 6 bzw. LPIG NRW § 12 Abs. 3.

3.2 Ausbau der Erneuerbaren Energien in der Region

Der Landesentwicklungsplan NRW fordert in Grundsatz 10.1-1 eine nachhaltige Energieversorgung in Nordrhein-Westfalen. So soll in allen Teilen des Landes *„den räumlichen Erfordernissen einer Energieversorgung Rechnung getragen werden, die sich am Vorrang und den Potenzialen der erneuerbaren Energien orientiert.“* Es wird gefordert, dass vorrangig erneuerbare Energieträger eingesetzt und die räumlichen Voraussetzungen für den Ausbau der Erneuerbaren Energien, die Erhöhung der Energieeffizienz und eine sparsame Energienutzung geschaffen werden. Auch der neue LEP (in Kraft getreten am 6. August 2019) hält an dieser Formulierung fest.

Die folgenden Ausführungen zum Ausbaustand und den Potenzialen der Erneuerbaren Energien beziehen sich größtenteils auf den Strombereich, da für den Wärmesektor (mit Ausnahme der regionalplanerisch nicht zu steuernden oberflächennahen Geothermie und der Biomasse sowie für das Warme Grubenwasser) bislang eine vergleichbare Datengrundlage noch nicht vorliegt. Derzeit werden im LANUV weitere Potenzialstudien durchgeführt (z. B. zur Kraft-Wärme-Kopplung und zur industriellen Abwärme), um auch im Wärmesektor eine umfassende Informationsbasis zu schaffen. Zudem wird die Potenzialstudie Windenergie derzeit überarbeitet, die Ergebnisse lagen für diesen Fachbeitrag jedoch noch nicht vor.

Wie in Kapitel 3.1 deutlich geworden ist, ist der Sektor Energiewirtschaft / Industrie auch im Teilplangebiet der mit Abstand größte Verursacher von Treibhausgasemissionen. Insgesamt lag der Stromverbrauch im Jahr 2015 in den drei Kreisen Märkischer Kreis (3.247 GWh/a), Olpe (1.059 GWh/a) und Siegen-Wittgenstein (2.184 GWh/a) bei etwa 6.490 GWh (LANUV 2018_B). Der Stromertrag aus Erneuerbaren Energien lag 2018 bei etwa 539 GWh (Tabelle 22), so dass Strom aus regenerativen Quellen derzeit lediglich etwa 8,3 % des gesamten Stromverbrauchs in der Planungsregion ausmacht (die aktuellsten Daten zum Stromverbrauch auf Ebene der Kreise stammen aus dem Jahr 2015, der jährliche Stromverbrauch liegt jedoch seit Jahren auf einem relativ konstanten Niveau, so dass an dieser Stelle auch Werte aus verschiedenen Jahren verglichen werden). Dadurch kann eine jährliche Einsparung der Treibhausgasemissionen von etwa 0,3 Mio. Tonnen CO_{2eq} erzielt werden (Quellen: AGEE-STAT, LANUV 2018_B). Zum Vergleich: Die gesamten Emissionen lagen im Teilplangebiet für das Jahr

2016 bei etwa 7,9 Mio. Tonnen CO_{2eq}, die Emissionen aus Energiewirtschaft und Industrie bei 4,6 Mio. Tonnen (Kapitel 3.1).

Dies verdeutlicht die Potenziale, aber auch die dringliche Notwendigkeit zur Reduktion von Treibhausgasemissionen im Teilplangebiet, insbesondere durch den Ausbau der Erneuerbaren Energien.

Tabelle 22 zeigt den Ausbaustand der Erneuerbaren Energien im Teilplangebiet MK-OE-SI zum 31.12.2018 im Stromsektor. In Bezug auf die installierte Leistung heben sich die Windenergie (131 MW) und die Photovoltaik (137 MW, davon lediglich 0,2 MW an Freiflächen-PV-Anlagen) deutlich von den weiteren erneuerbaren Energieträgern ab (Biomasse: 12 MW, Wasserkraft: 39 MW). In Bezug auf den Stromertrag liegt die Windenergie (246 GWh/a) deutlich vor der Photovoltaik (121 GWh/a), der Wasserkraft (87 GWh/a) und der Biomassenutzung (72 GWh/a).

Tabelle 22: Ausbaustand der Erneuerbaren Energien im Teilplangebiet (Stand: 31.12.2018; Daten: LANUV, AGEE-STAT, BNA, ÜNB, LEE, Werte gerundet)

	Anzahl Anlagen	installierte Leistung in MW	Stromerzeugung in GWh/a	Anteil am Stromverbrauch
Windenergie	87	131	246	4,0 %
Photovoltaik	9.708	137	121	1,9 %
<i>davon Freiflächen-PV</i>	4	0,2	0,2	<0,1 %
Biomasse	22	12	72	1,1 %
Wasserkraft	73	39	87	1,3 %
Gesamt	9.894	319	539	8,3 %

Im Teilplangebiet sind somit zum Stand Ende 2018 9.894 Anlagen zur regenerativen Stromerzeugung mit einer Gesamtleistung von knapp 319 MW installiert. Dies entspricht ungefähr 4 % aller Anlagen in Nordrhein-Westfalen (insgesamt ca. 269.000) und etwa 3 % der landesweit installierten Leistung (insgesamt ca. 10.900 MW). Mit einer Bruttostromerzeugung von etwa 539 GWh/a kommen etwa 2,5 % der in NRW erzeugten Erneuerbaren Energie (insgesamt ca. 21.500 GWh/a) aus der Planungsregion (LANUV 2018_B, Stand der Daten: 31.12.2018). Mit 8,3 % Anteil am Stromverbrauch liegen die Erneuerbaren Energien im Teilplangebiet deutlich unterhalb des landesweiten Anteils von 16,1 %, und noch deutlicher unterhalb des bundesweiten Wertes von ca. 40 % (Stand: 31.12.2018, Quelle: LANUV 2018_B, FRAUNHOFER ISE 2019)

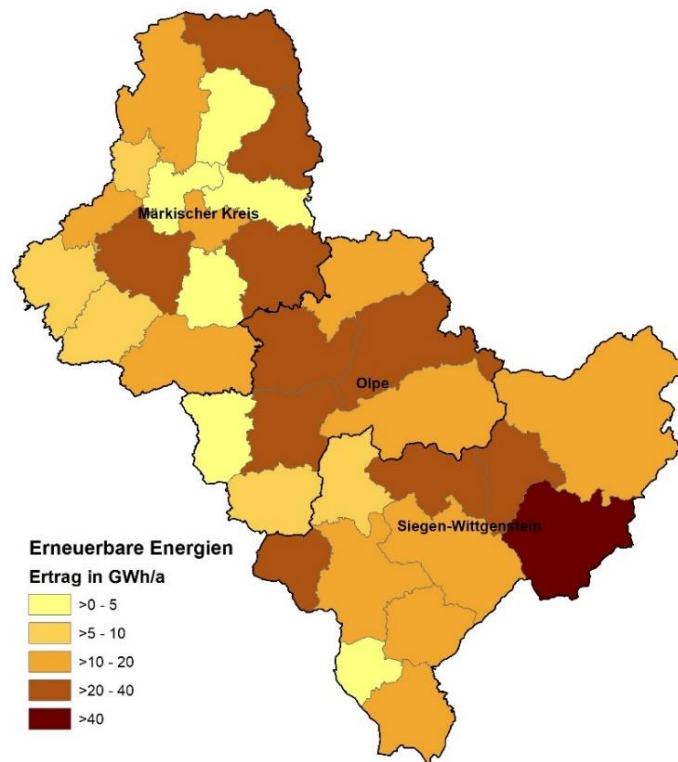


Abbildung 24: Erneuerbare Energien - Stromertrag nach Gemeinden (Stand: 31.12.2018; Quellen: LANUV, BNA, ÜNB, LEE)

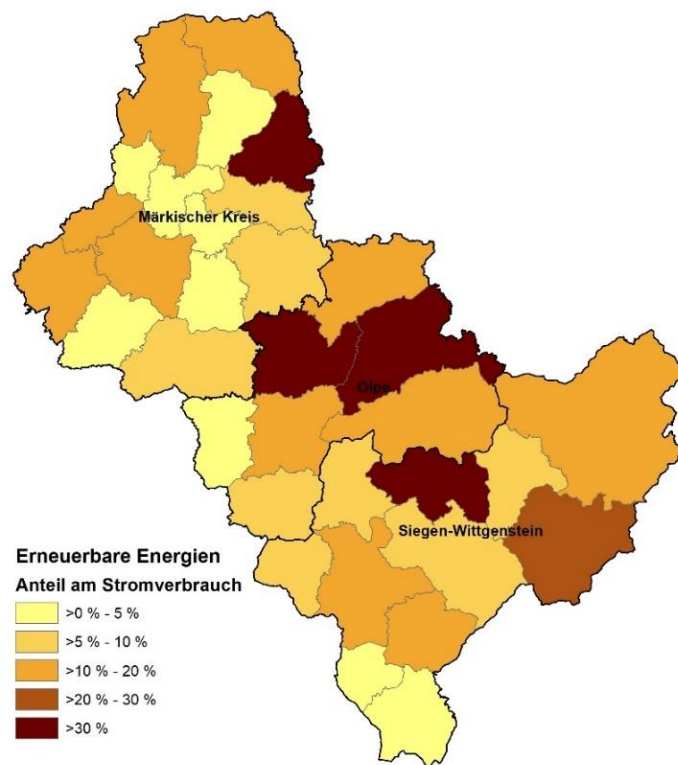


Abbildung 25: Erneuerbare Energien – Anteil am Stromverbrauch nach Gemeinden (Stand: 31.12.2018; Quellen: LANUV, BNA, ÜNB, LEE; Stand Stromverbrauch: 31.12.2015)

Abbildung 24 und Abbildung 25 veranschaulichen den Stromertrag aus Erneuerbaren Energien sowie den Anteil Erneuerbarer Energien am Stromverbrauch im Teilplangebiet nach Gemeinden im Jahr 2018. Den absolut höchsten Stromertrag aus Erneuerbaren Energien weist dabei mit deutlichem Abstand die Gemeinde Bad Laasphe auf (57,9 GWh/a), gefolgt von Erndtebrück (32,3 GWh/a), Lennestadt (31,2 GWh/a) und Attendorn (30,5 GWh/a). Der Anteil Erneuerbarer Energien am Stromverbrauch ist im gesamten Teilplangebiet am höchsten in Balve (42,6 %), gefolgt von Lennestadt (34,2 %), Attendorn (33,9 %) und Hilchenbach (30,9 %).

Tabelle 23 fasst die Potenziale für den Ausbau der Erneuerbaren Energien in der Planungsregion zusammen. Hierbei handelt es um Gesamtpotenziale aus der Potenzialstudie Erneuerbare Energien des LANUV, bei denen der aktuelle Anlagenbestand nicht berücksichtigt ist. Für die Ermittlung des noch ungenutzten Potenzials muss daher jeweils das Gesamtpotenzial im Verhältnis zum aktuellen Anlagenbestand betrachtet werden. Dabei muss jedoch auch beachtet werden, dass bestehende Anlagen zum Teil auch auf Flächen stehen, die in der Studie nicht als Potenzialflächen erfasst wurden. Daher stimmt das Gesamtpotenzial abzüglich des derzeitigen Bestandes nicht exakt mit dem noch ungenutzten Potenzial überein.

In Bezug auf die installierbare Leistung weist die Photovoltaik das größte Gesamtpotenzial im Planungsraum auf (4.720 MW, davon 1.480 MW an Freiflächenanlagen), gefolgt von der Windenergie (je nach Szenario: 840 bis 3.920 MW, siehe 3.2.1) und der Wasserkraft. Für die Biomasse liegen zur installierbaren Leistung keine Potenziale vor. Betrachtet man jedoch den potenziellen Ertrag, so weist die Windenergie einen potenziellen Ertrag zwischen 2.050 und 9.310 GWh/a auf, gefolgt von der Photovoltaik (3.840 GWh/a), der Biomasse (1.690 GWh/a, davon 1.260 GWh/a Wärme und 430 GWh/a Strom) und der Wasserkraftnutzung (10 GWh/a). Bei vollständiger Ausnutzung des vorhandenen Gesamtpotenzials für regenerative Energie könnte der derzeitige Stromverbrauch im Teilplangebiet MK-OE-SI (6.490 GWh/a) demnach mehr als abgedeckt werden.

Tabelle 23: Potenziale zum Ausbau der Erneuerbaren Energien im Teilplangebiet (Werte gerundet, Gesamtpotenzial ohne Berücksichtigung des derzeitigen Bestandes. Daten: Potenzialstudien Erneuerbare Energien des LANUV, Website www.energieatlas.nrw.de)

	potenziell installierbare Leistung in MW	potenzieller Ertrag in GWh/a
Windenergie	840 - 3.920	2.050 - 9.310
Photovoltaik (Dachflächen)	3.240	2.580
Photovoltaik (Freiflächen)	1.480	1.260
Wasserkraft	3	12
Biomasse	k.A.	Strom: 430 Wärme: 1.260

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

Ebenfalls sollte berücksichtigt werden, dass die Potenzialstudie Windenergie aus dem Jahre 2012 derzeit überarbeitet wird, um aktuelle Entwicklungen und geänderte Rahmenbedingungen zu berücksichtigen. Die Ergebnisse lagen für diesen Fachbeitrag jedoch noch nicht vor, so dass für die Potenziale der Windenergienutzung im Teilplangebiet auf die Ergebnisse Studie aus dem Jahr 2012 (LANUV 2012) zurückgegriffen wird. Dabei werden die beiden Szenarien „NRW_{alt}“ und „NRW-Leitszenario“ berücksichtigt.

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

3.2.1 Windenergie

In der „Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW – Teil 1: Windenergie (LANUV 2012) wurden die Möglichkeiten zum Ausbau der Windkraftnutzung in Nordrhein-Westfalen untersucht. Derzeit wird vom LANUV eine neue Potenzialuntersuchung zur Windenergie in NRW durchgeführt, in der auch die neuen Vorgaben des Landesentwicklungsplans, insbesondere bezüglich empfohlener Mindestabstände und der Waldinanspruchnahme, aber auch der technische Fortschritt bei den Windenergieanlagen berücksichtigt werden. Die Ergebnisse lagen für diesen Fachbeitrag jedoch noch nicht vor. Zur Beschreibung des Ausbaustandes und der Potenziale der Windenergie im Teilplangebiet wurden daher die Ergebnisse der Potenzialstudie aus dem Jahr 2012 verwendet.

Methodisch wurden bei der Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW – Teil 1: Windenergie (LANUV 2012) alle relevanten und landesweit verfügbaren Grundlagendaten genutzt. Im Rahmen einer Flächenanalyse wurden dabei zunächst Ausschluss- und Einzelfallprüfungsbereiche identifiziert, die für die Windenergienutzung nicht oder nur im Einzelfall in Frage kommen. Darüber hinaus wurden Windfeldkarten in Höhen von 100 m, 125 m, 135 m und 150 m über Grund berechnet. In die Berechnungen ist auch eine umfangreiche schalloptimierte Betrachtung eingeflossen, um den Immissionsschutz (Lärmbelastung) zu berücksichtigen. Darauf aufbauend wurden mit Hilfe einer GIS-gestützten Analyse und basierend auf einem Standortagentyp einer 3 MW Windenergieanlage die Flächen- und Ertragspotenziale für ganz NRW sowie auf den Ebenen der Planungsregionen, der Kreise und der Gemeinden ermittelt. Die Berechnung des machbaren Potenzials erfolgte über einen Szenarien-Ansatz, wobei die Szenarien sich im Hinblick auf die Möglichkeit zur Inanspruchnahme des Waldes unterscheiden.

In der Studie wurde ein Gesamtpotenzial zur Windenergienutzung ermittelt, d.h. bereits bestehende Anlagen wurden nicht miteingetragen. Für die Ermittlung des noch ungenutzten Potenzials muss daher jeweils das Gesamtpotenzial im Verhältnis zum aktuellen Anlagenbestand betrachtet werden. Hierbei muss jedoch auch beachtet werden, dass bestehende Anlagen zum Teil auch auf Flächen stehen, die in der Studie nicht als Potenzialflächen gewertet wurden, so dass das Gesamtpotenzial abzüglich des derzeitigen Bestandes nicht exakt mit dem noch ungenutzten Potenzial übereinstimmt. Die detaillierte Beschreibung der Methodik der Studie sowie die Ergebnisse für ganz Nordrhein-Westfalen können der Potenzialstudie Windenergie (LANUV 2012) entnommen werden.

Die im folgenden Abschnitt angeführten Potenziale beziehen sich sowohl auf das „NRW_{alt}-Szenario“ der Potenzialstudie aus dem Jahr 2012, in welchem Wald für die Windenergienutzung ausgeschlossen wurde, als auch auf das „NRW-Leitszenario“, welches die Nutzbarkeit der Nadelwald- und der ehemaligen Kyrill-Flächen umfasst, andere Waldflächen jedoch ausschließt. So wird eine Spannweite aufgezeigt, in der nach der Änderung des LEPs zur Waldinanspruchnahme 2019 voraussichtlich auch die Ergebnisse der aktuell noch laufenden Potenzialuntersuchung liegen werden.

Für die drei Kreise des Teilplanes wurde je nach Szenario eine potenziell für die Windenergie nutzbare Fläche zwischen ca. 1.510 und ca. 15.900 Hektar identifiziert. Daraus ergibt sich ein Gesamtpotenzial zur Windenergienutzung zwischen ca. 840 und ca. 3.900 MW installierbarer Leistung, was eine mögliche Nettostromproduktion von 2.050 bis 9.300 GWh/a bedeutet (Tabelle 23). Diese Strommenge entspricht im Maximum etwa dem jährlichen Verbrauch von 3 Mio. Privathaushalten (Verbrauch Musterhaushalt: 3.107 kWh/a).

Die größten Potenziale zur Windenergienutzung liegen dabei insbesondere im Osten des Teilplangebiets in den Kreisen Olpe und Siegen-Wittgenstein (Abbildung 26 und Abbildung 27). Die Gemeinden, die bei der Windenergienutzung den größten potenziellen Nettostromertrag aufweisen, sind Bad Berleburg (240 - 1.070 GWh/a), Kirchhundem (120 - 860 GWh/a) und Finnentrop (90 - 690 GWh/a) (Tabelle 24).

Tabelle 24: Windenergie - Gemeinden mit der höchsten potenziell installierbaren Leistung (LANUV 2012; „NRW_{alt}-Szenario“ und „NRW-Leitszenario“)

Gemeinde	Potenziell installierbare Leistung in MW (gerundet)	Potenzieller Ertrag in GWh/a (gerundet)	Potenziell nutzbare Fläche in ha (gerundet)
Bad Berleburg	100 - 460	240 - 1.070	210 - 1.860
Kirchhundem	50 - 350	120 - 860	50 - 1.460
Finnentrop	40 - 290	90 - 690	60 - 1.340
Bad Laasphe	40 - 280	90 - 650	50 - 1.280
Lennestadt	40 - 260	90 - 610	80 - 1.110
Plettenberg	40 - 220	90 - 490	70 - 930
Balve	70 - 190	170 - 430	240 - 880
Neuenrade	40 - 160	90 - 360	100 - 810
Attendorn	40 - 150	100 - 360	50 - 570
Netphen	20 - 150	50 - 350	40 - 640

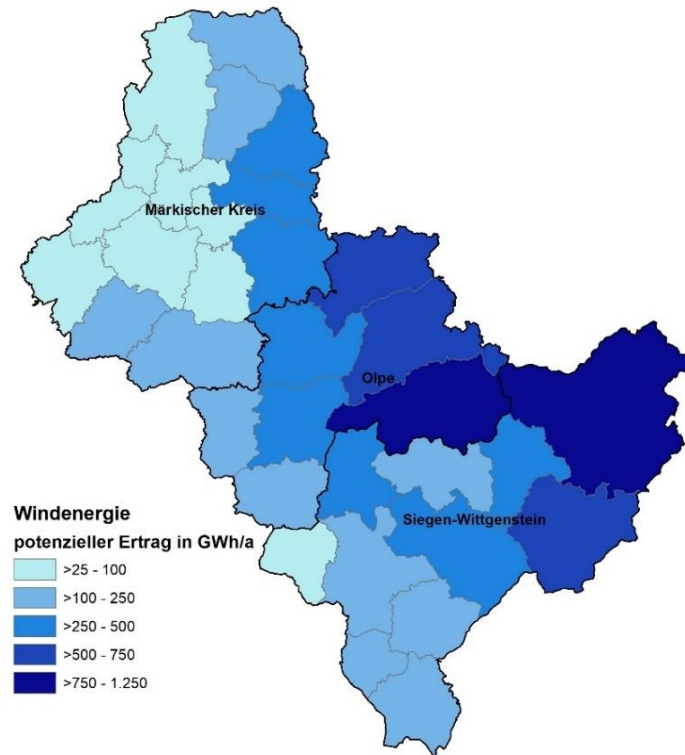


Abbildung 26: Windenergie - potenzieller Ertrag nach Gemeinden (LANUV 2012; Beispiel „NRW-Leitszenario“)

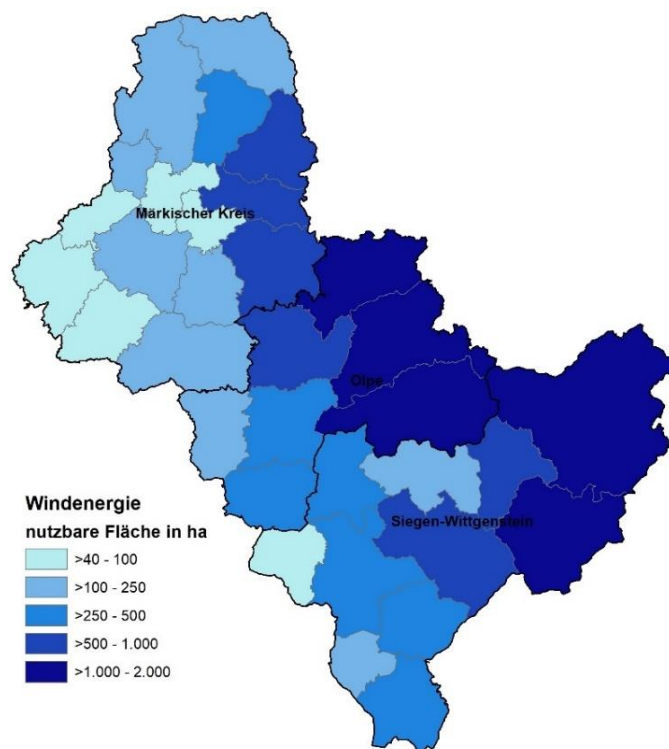


Abbildung 27: Windenergie - potenziell nutzbare Fläche nach Gemeinden (LANUV 2012; Beispiel „NRW-Leitszenario“)

Teile dieses Gesamtpotenzials werden im Teilplangebiet MK-OE-SI bereits genutzt. So waren hier Ende 2018 insgesamt 87 Windenergieanlagen mit einer installierten Gesamtleistung von 130 MW in Betrieb. Die Windenergie ist damit in der gesamten Planungsregion für eine Nettostromproduktion von rund 250 GWh/a verantwortlich (Tabelle 22). Damit können derzeit über 80.000 Privathaushalte mit regenerativem Strom von Windenergieanlagen aus der Region versorgt werden.

Im bundes- oder landesweiten Vergleich ist die Bedeutung der Windenergie im Gebiet der drei Kreise Märkischer Kreis, Olpe und Siegen-Wittgenstein jedoch bisher unterdurchschnittlich. So ist der Anteil der Windenergie am Stromverbrauch im Jahr 2018 hier mit etwa 4,0 % nur etwa halb so hoch wie in ganz NRW (8,1 %) und liegt erheblich unter dem bundesweiten Wert von 20,4 % (LANUV 2018_B, FRAUNHOFER ISE 2019).

Die räumlichen Schwerpunkte der derzeitigen Windenergienutzung liegen relativ dispers im Teilplangebiet verteilt (Abbildung 28). Bad Laasphe ist dabei die Gemeinde, die in den drei Kreisen bei der Windenergie mit Abstand die höchste Nettostromproduktion aufweist (Abbildung 29). Die meisten Anlagen pro Gemeinde stehen ebenfalls in Bad Laasphe (9 Anlagen, 28 MW installierte Leistung), gefolgt von Olpe, Balve (je 6 Anlagen, 10 bzw. 7 MW), Hilchenbach, Bad Berleburg und Lennestadt (je 5 Anlagen, 5 – 10 MW) (Tabelle 25). In 6 Gemeinden des Teilplangebietes stehen keine Windenergieanlagen.

Tabelle 25: Windenergie - Gemeinden mit der höchsten installierten Leistung (Stand: 31.12.2018) (Quelle: LANUV, BNA, ÜNB, LEE)

Gemeinde	Installierte Leistung in MW (gerundet)	Anzahl der Anlagen
Bad Laasphe	28	9
Hilchenbach	10	5
Olpe	10	6
Freudenberg	9	4
Wilnsdorf	8	3
Schalksmühle	7	4
Balve	7	6
Lennestadt	6	5
Plettenberg	6	3
Bad Berleburg	5	5

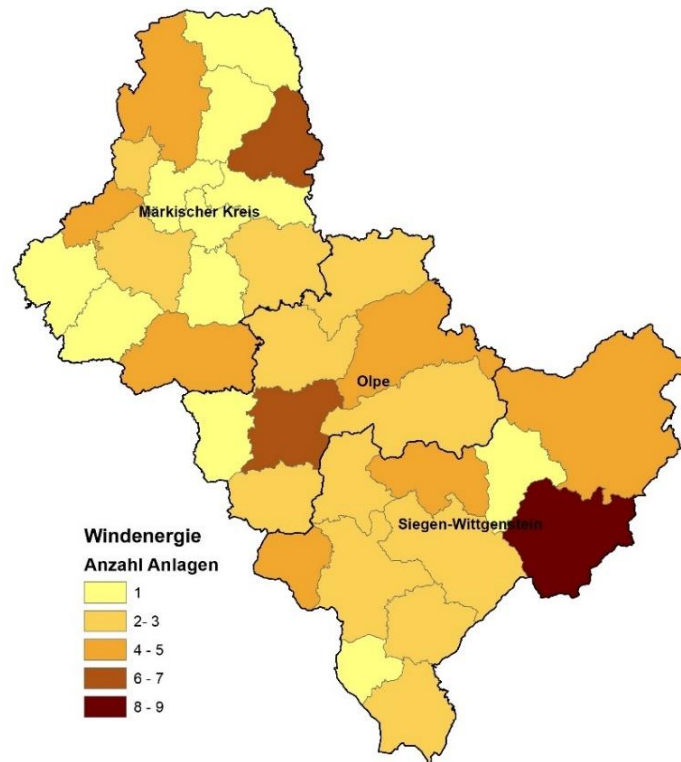


Abbildung 28: Windenergie - Anzahl der Anlagen nach Gemeinden (Stand: 31.12.2018; Quellen: LANUV, BNA, ÜNB, LEE)

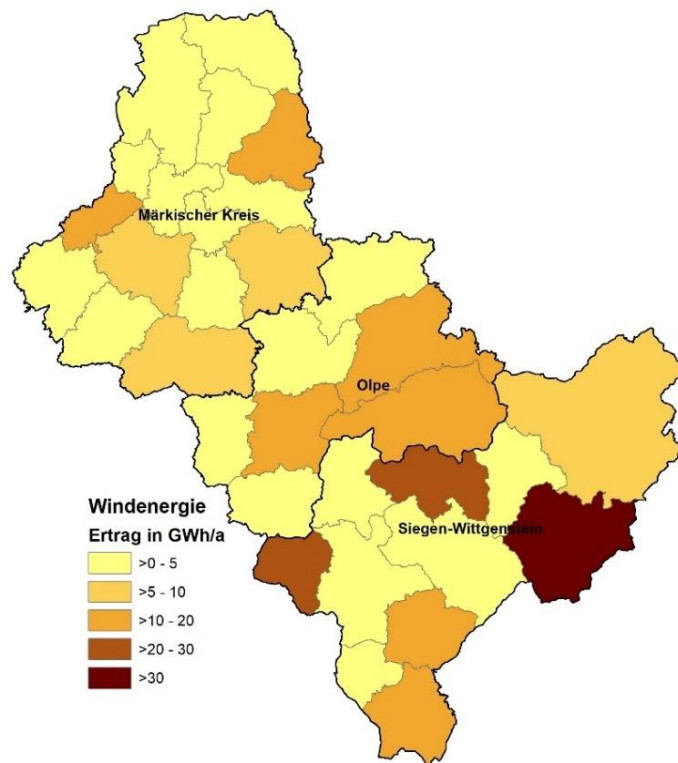


Abbildung 29: Windenergie - Stromertrag nach Gemeinden (Stand: 31.12.2018; Quelle: LANUV, BNA, ÜNB, LEE)

3.2.2 Photovoltaik

Im Jahr 2018 hat das LANUV ein landesweites Solarkataster erstellt und dieses als interaktive Online-Anwendung in den Energieatlas NRW integriert (www.solarkataster.nrw.de). Ziel des Solarkatasters ist es, den Bürgerinnen und Bürgern sowie der öffentlichen Hand Informationen zur Eignung ihrer Dachflächen für die Nutzung der Solarenergie bereitzustellen. Anhand eines Rechenmoduls ist es möglich, die zu erwartenden energetischen und finanziellen Erträge von Solaranlagen für alle Dachflächen in NRW zu berechnen. In diesem Zuge wurden auch die landesweit bzw. in den einzelnen Verwaltungseinheiten Nordrhein-Westfalens vorzufindenden Potenziale zur Stromerzeugung mit Photovoltaikanlagen untersucht und damit die Ergebnisse aus der Potenzialstudie Solarenergie (LANUV 2013) aktualisiert und überarbeitet.

Die Potenziale wurden dabei auf der Grundlage von landesweit verfügbaren, hochaufgelösten Laserscandaten ermittelt. Aus diesen wurde ein flächendeckendes digitales Oberflächenmodell (DOM) in einer Auflösung von 0,5 Meter mal 0,5 Meter erzeugt. Durch Verschneidung dieser Daten mit einer Karte aller Gebäudeumrisse konnten sämtliche Dachflächen in Nordrhein-Westfalen ermittelt werden. Diese wurden wiederum in homogene Teilflächen zerlegt, die jeweils über eine einheitliche Neigung und Ausrichtung verfügen und damit gleichermaßen für Solarmodule belegbar sind. Durch die hohe Auflösung des digitalen Oberflächenmodells und die Zerlegung in homogene Teilflächen konnten auch kleinteilige Dachelemente, wie beispielsweise Schornsteine, Gauben, Gehölze und andere unterbrechende Strukturen, ausfindig gemacht werden. Über Strahlungsdaten des Deutschen Wetterdienstes wurde für ganz NRW die solare Einstrahlung sowie deren prozentuale Verschattung errechnet – und zwar unter Berücksichtigung der tages- und jahreszeitlich wechselnden Einstrahlung. Stark abgeschattete Bereiche sowie zu kleine Flächen wurden als ungeeignet aus der weiteren Berechnung herausgenommen. Anschließend konnte eine Vielzahl von Parametern für jede Dachfläche berechnet werden, wie beispielsweise die nutzbare Modulfläche, die installierbare Leistung, der potenzielle Strom- oder Wärmeertrag (Solarthermie) und die damit einhergehende Kohlendioxid-Einsparung. Bautechnische Faktoren wie der Zustand und die Statik des Daches oder Gebäudes sowie der Denkmalschutz konnten auf dieser Datengrundlage nicht erfasst werden. (LANUV 2018c)

Die Möglichkeiten zur Nutzung der Solarenergie auf Freiflächen werden im Rahmen der Erstellung des Solarkatasters durch das LANUV aktuell ebenfalls untersucht, die Ergebnisse lagen bei der Fertigstellung dieses Fachbeitrages jedoch noch nicht vor. Daher wird für die Darstellung der Potenziale der Freiflächen-Photovoltaik an dieser Stelle auf die Ergebnisse der „Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW – Teil 2: Solarenergie“ des LANUV aus dem Jahr 2013 zurückgegriffen (LANUV 2013).

Für die Analyse potenzieller PV-Freiflächenstandorte wurden in dieser Studie zunächst diejenigen Flächen aus dem digitalen ATKIS-Datenbestand selektiert, die grundsätzlich für die Ansiedlung eines Solarparks zur Produktion von förderungswürdigem Strom im Sinne des Erneuerbare - Energien - Gesetz (EEG) 2011 geeignet waren. Hierzu zählen beispielsweise der 110 Meter Randstreifen entlang von Autobahnen und Schienenwegen, Halden oder auch Parkplatzflächen. Von diesen Flächen wurden anschließend diejenigen Bereiche ausgeschlossen, die nicht als Solarpark in Frage kommen, wie beispielsweise Flächen die unter Naturschutz

stehen, nach Norden ausgerichtet sind, in unmittelbarer Nähe zu Verschattungsobjekten wie z. B. Waldflächen oder Gebäuden liegen oder eine festgelegte Mindestgröße unterschreiten. Für die verbleibenden Flächen wurden unter Berücksichtigung der geographischen Lage die installierbare Modulfläche und der potenzielle Stromertrag bestimmt. Detaillierte Beschreibungen der Methodik der Studie sowie die landesweiten Ergebnisse können der Potenzialstudie Solarenergie (LANUV 2013) entnommen werden.

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

Für das Teilplangebiet MK-OE-SI wurde für Photovoltaikanlagen auf Dachflächen im Rahmen der Erstellung des Solarkatasters NRW eine potenziell installierbare Gesamtleistung von etwa 3.200 MW bzw. ein potenzieller Ertrag von 2.600 GWh/a ermittelt (LANUV 2018_c, Tabelle 23). Für Freiflächenanlagen wurde im Gebiet der drei Kreise eine potenziell nutzbare Fläche von gut 8 km² identifiziert, wodurch sich eine potenziell installierbare Leistung von ca. 1.500 MW und ein möglicher Ertrag von 1.300 GWh/a ergibt (LANUV 2013). Mit dem gesamten potenziellen Ertrag aus der Solarenergie (ca. 3.900 GWh/a) könnten etwa 1,3 Mio. Privathaushalte mit Strom versorgt werden (Verbrauch Musterhaushalt: 3.107 kWh/a).

Die größten Potenziale zur Solarenergienutzung auf Dachflächen liegen in den größeren Städten des Teilplangebietes wie Iserlohn (250 GWh/a potenzieller Stromertrag), Siegen (240 GWh/a) und Menden (170 GWh/a) (LANUV 2018_c; Abbildung 30 und Tabelle 26). Betrachtet man die Photovoltaiknutzung auf Freiflächen, verfügt Iserlohn mit etwa 110 GWh/a über den größten potenziellen Ertrag, gefolgt von Bad Laasphe (90 GWh/a) sowie Menden und Siegen (je ca. 80 GWh/a) (LANUV 2013; Abbildung 31 und Tabelle 27).

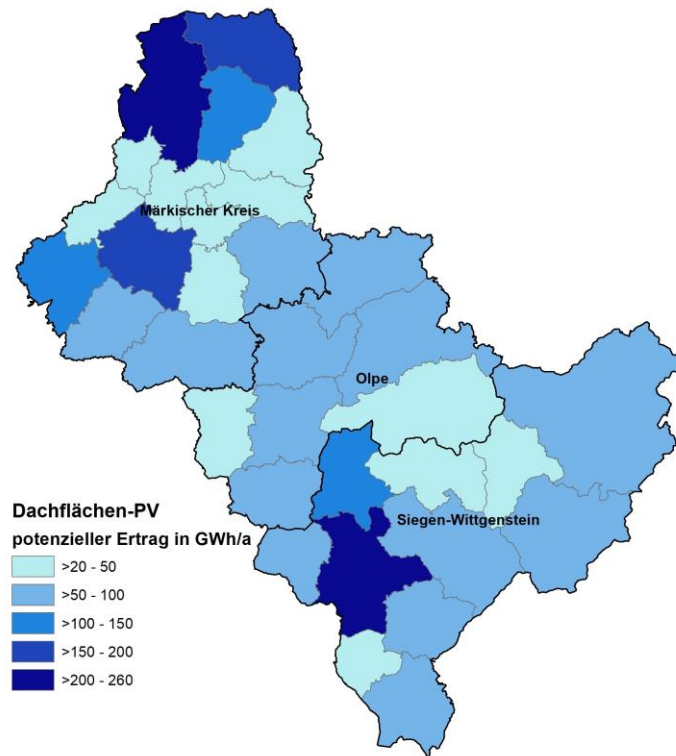


Abbildung 30: Dachflächen-Photovoltaik - potenzieller Ertrag nach Gemeinden (LANUV 2018c)

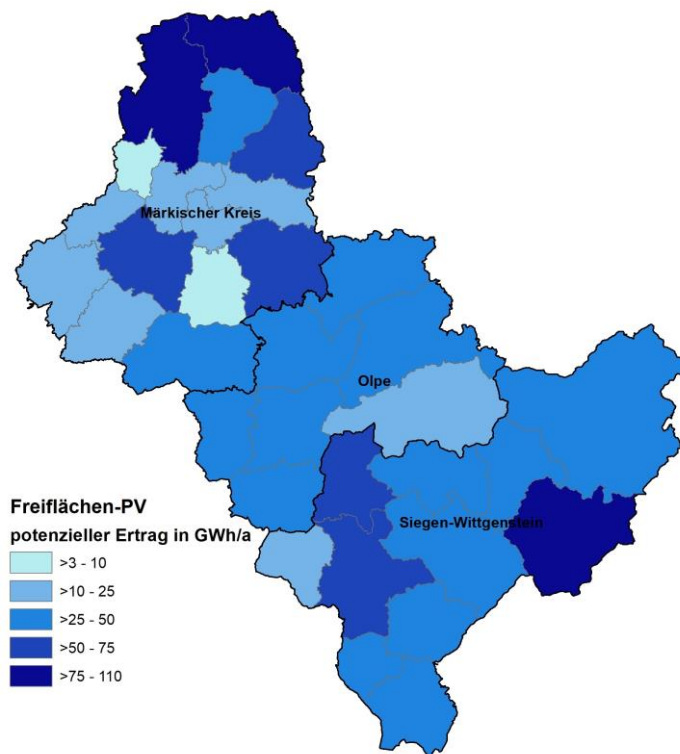


Abbildung 31: Freiflächen-Photovoltaik - potenzieller Ertrag nach Gemeinden (LANUV 2013)

Tabelle 26: Dachflächen-Photovoltaik - Gemeinden mit der höchsten potenziell installierbaren Leistung (LANUV 2018_C)

Gemeinde	potenziell installierbare Leistung in MWp (gerundet)	potenzieller Ertrag in GWh/a (gerundet)	Installierbare Modulfläche in km ² (gerundet)
Iserlohn	310	250	1,8
Siegen	310	240	1,8
Menden (Sauerland)	210	170	1,2
Lüdenscheid	200	160	1,2
Hemer	130	110	0,8
Kreuztal	130	100	0,8
Halver	120	100	0,7
Attendorn	110	90	0,7
Olpe	110	80	0,6
Plettenberg	110	90	0,6

Tabelle 27: Freiflächen-Photovoltaik - Gemeinden mit der höchsten potenziell installierbaren Leistung (LANUV 2013)

Gemeinde	potenziell installierbare Leistung (Freiflächen-PV) in MWp (gerundet)	potenzieller Ertrag (Freiflächen-PV) in GWh/a (gerundet)	potenzielle Modulfläche (Freiflächen-PV) in km ²
Iserlohn	120	110	0,7
Bad Laasphe	110	90	0,6
Menden (Sauerland)	90	80	0,5
Siegen	90	80	0,5
Lüdenscheid	70	60	0,4
Balve	60	50	0,3
Kreuztal	60	50	0,3
Plettenberg	60	50	0,3
Erndtebrück	50	50	0,3
Burbach	50	50	0,3

Im Gebiet des Teilplanes MK-OE-SI waren Ende 2018 insgesamt etwa 9.700 Solarenergieanlagen mit einer installierten Gesamtleistung von 140 MW in Betrieb. Davon entfallen bisher lediglich etwa 0,2 MW auf 4 Freiflächenanlagen. Die Solarenergienutzung in der Planungsregion ist somit insgesamt für eine Nettostromproduktion von etwa 120 GWh/a verantwortlich (Tabelle 22). Dadurch können derzeit knapp 40.000 Privathaushalte mit regenerativem Strom aus PV-Anlagen versorgt werden. Der Anteil der Photovoltaik am Stromverbrauch im Teilplangebiet ist im Jahr 2018 mit 1,9 % deutlich geringer als im Bundesdurchschnitt (8,4 %), und liegt ebenfalls niedriger als der Wert für ganz NRW (3,1 %) (LANUV 2018_B, FRAUNHOFER ISE 2019).

Erwartungsgemäß sind die höchsten Stromerträge aus Dachflächenphotovoltaik in den größeren Städten des Teilplangebietes zu finden (Abbildung 32). Auf Grund der geringen Anzahl an Freiflächen-Photovoltaikanlagen lassen sich hier keine Rückschlüsse aus der räumlichen Verteilung ziehen (Abbildung 33).

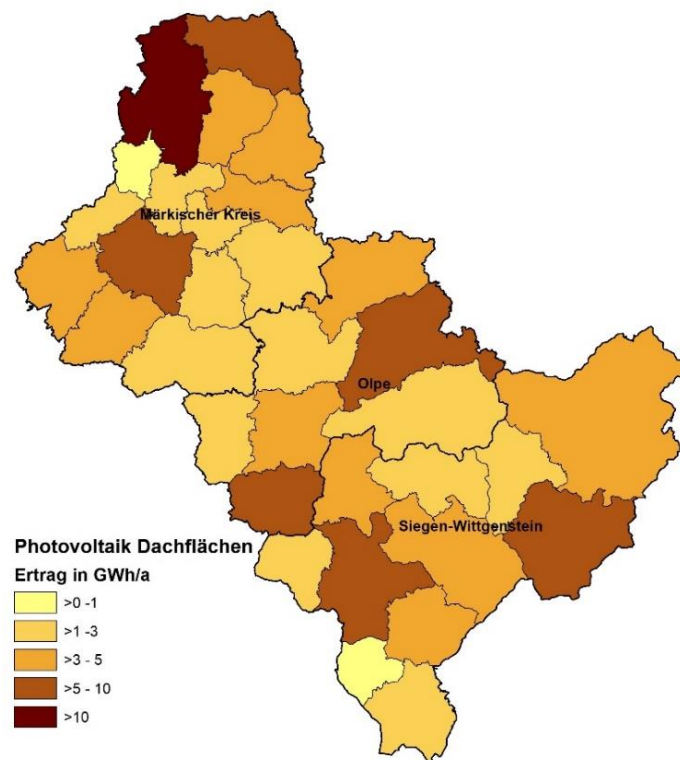


Abbildung 32: Dachflächen-Photovoltaik - Stromertrag nach Gemeinden (Stand: 31.12.2018; Quelle: LANUV, BNA, ÜNB, LEE)

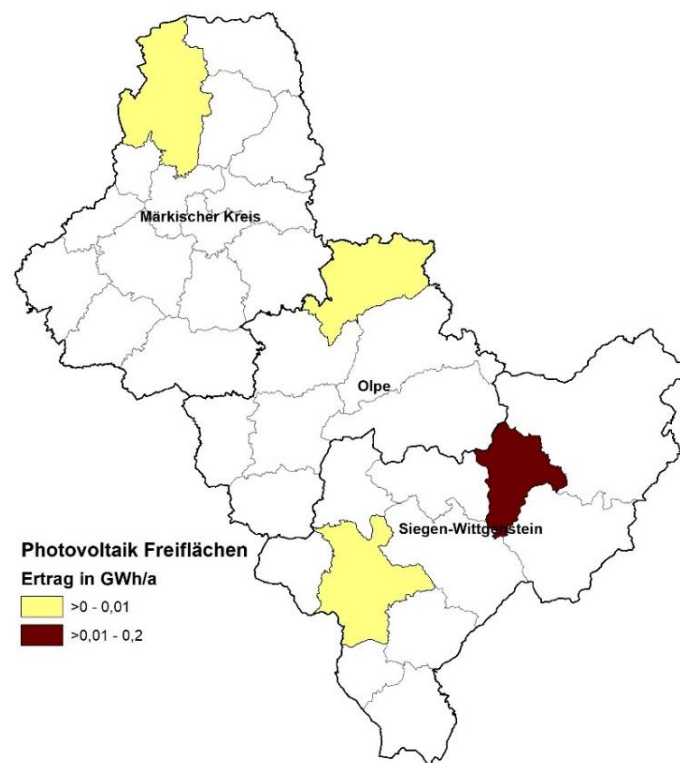


Abbildung 33: Freiflächen-Photovoltaik - Stromertrag nach Gemeinden (Stand: 31.12.2018; Quelle: LANUV, BNA, ÜNB, LEE)

Die Gemeinde mit der aktuell höchsten installierten Leistung bei der Photovoltaiknutzung auf Dachflächen ist Iserlohn (13 MW), gefolgt von Menden, Siegen und Wenden (je ca. 9 MW) (Tabelle 28). Im Teilplangebiet gibt es darüber hinaus derzeit 4 PV-Freiflächenanlagen in Erndtebrück, Siegen, Iserlohn und Finnentrop. Diese tragen jedoch bisher nur einen geringen Teil zur Stromerzeugung aus Solarenergie bei (Tabelle 29).

Tabelle 28: Dachflächen-Photovoltaik - Gemeinden mit der höchsten installierten Leistung (Stand: 31.12.2018; Quelle: LANUV, BNA, ÜNB)

Gemeinde	installierte Leistung in MWp (gerundet)	Ertrag in GWh/a (gerundet)	Anzahl Anlagen
Iserlohn	13,4	11,9	896
Menden (Sauerland)	9,1	8,1	531
Siegen	9,0	7,9	643
Wenden	8,7	7,7	483
LenneStadt	6,3	5,6	478
Bad Laasphe	5,8	5,2	267
Lüdenscheid	5,8	5,1	374
Bad Berleburg	5,2	4,7	435
Netphen	4,9	4,3	399
Balve	4,6	4,1	280

Tabelle 29: Freiflächen-Photovoltaik - Gemeinden mit der höchsten installierten Leistung (Stand: 31.12.2018; Quelle: LANUV, BNA, ÜNB)

Gemeinde	installierte Leistung in MWp (gerundet)	Ertrag in GWh/a (gerundet)	Anzahl Anlagen
Erndtebrück	0,2	0,2	1
Siegen	<0,1	<0,1	1
Iserlohn	<0,1	<0,1	1
Finnentrop	<0,1	<0,1	1

3.2.3 Biomasse

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

In Bezug auf die Vielzahl möglicher Konversionsarten der energetischen Nutzung von Biomasse wurden in der Studie die Hauptpfade „Biogas“ und „thermochemische Konversion“ (Verbrennung) berücksichtigt und die gebräuchlichen Konversionsarten erfasst und beschrieben. Dafür wurden in Deutschland betriebene Referenzanlagen als Verfahrensbeispiele herangezogen. Die ausgewiesenen Potenziale wurden unter Beachtung von Nutzungskonkurrenzen, Nachhaltigkeitsaspekten und weiteren Umwelt - und Naturschutzanforderungen ermittelt.

Dabei wurde in der Studie das technische und das machbare Potenzial für die drei Sektoren Land -, Forst - und Abfallwirtschaft untersucht. Das machbare energetische Ausbaupotenzial addiert sich hierbei mit dem bereits realisierten energetischen Potenzial zu einem machbaren Gesamtpotenzial.

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

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

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

Im Teilpangebiet MK-OE-SI besteht demnach bei der Biomassenutzung insgesamt ein Gesamterzeugungspotenzial von etwa 430 GWh/a im Strombereich. Das entspricht in etwa dem jährlichen Stromverbrauch von knapp 140.000 Privathaushalten. Hinzu kommt noch ein Potenzial von ca. 1.260 GWh/a bei der Wärmeversorgung (Tabelle 23; LANUV 2014).

Die größten Potenziale zur energetischen Nutzung der Biomasse liegen im Teilplangebiet im Märkischen Kreis (ca. 180 GWh/a), gefolgt vom Kreis Siegen-Wittgenstein (150 GWh/a) und dem Kreis Olpe (100 GWh/a) (Abbildung 34 und Tabelle 30). Der Märkische Kreis verfügt dabei auch über die größte potenziell nutzbare landwirtschaftliche Fläche für den Biomasseanbau (Abbildung 35). Bei der potenziell nutzbaren Waldfläche liegen die größten Potenziale im Kreis Siegen-Wittgenstein (Abbildung 36).

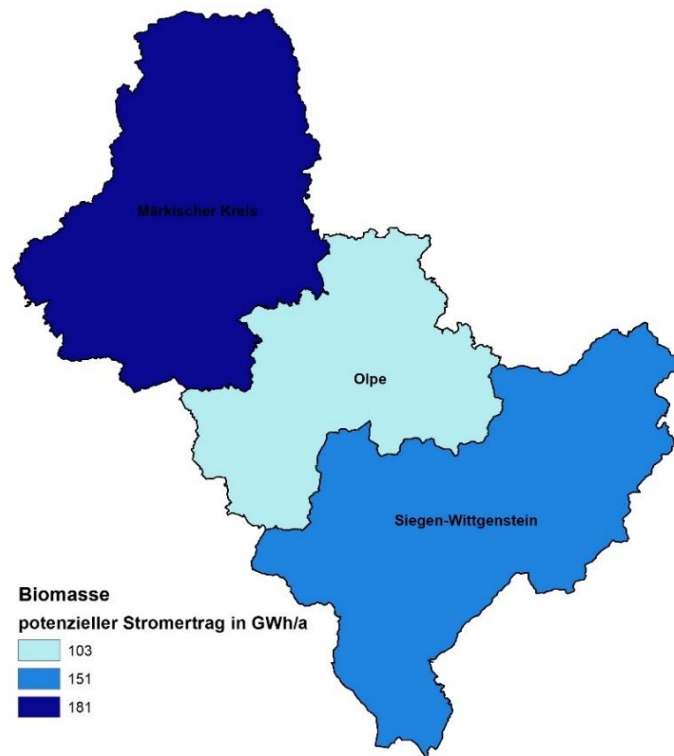


Abbildung 34: Biomasse - potenzieller Stromertrag nach Kreisen (LANUV 2014)

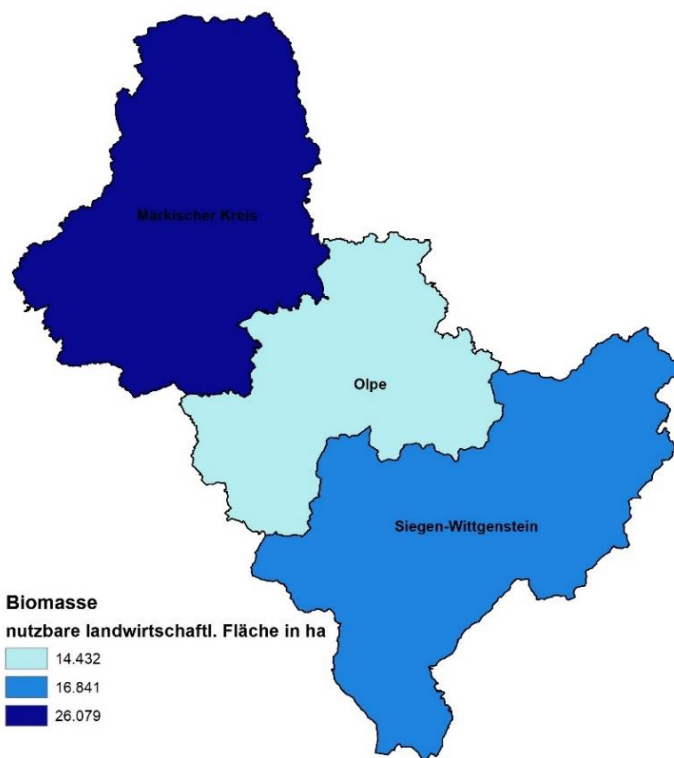


Abbildung 35: Biomasse – potenziell nutzbare landwirtschaftliche Fläche nach Kreisen (LANUV 2014)

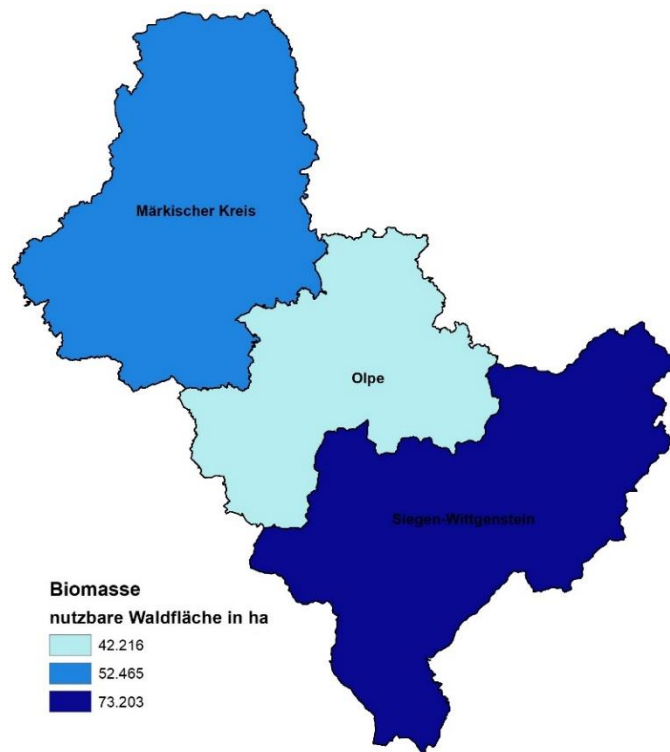


Abbildung 36: Biomasse – potenziell nutzbare Waldfläche nach Kreisen (LANUV 2014)

Tabelle 30: Biomasse - potenzielle Erträge nach Kreisen (LANUV 2014)

Keis	potenzielle Stromerträge in GWh/a (gerundet)				potenzielle Wärmeerträge in GWh/a (gerundet)			
	Land- wirt- schaft	Forst- wirt- schaft	Abfall	Ge- samt	Land- wirt- schaft	Forstwirt- schaft	Abfall	Ge- samt
Märkischer Kreis	20 - 130	10 - 15	70 - 80	180	80 - 170	210 - 310	150 - 160	490
Siegen- Wittgen- stein	10 - 100	11 - 14	40 - 50	150	10 - 130	230 - 280	90 - 100	440
Olpe	10 - 80	9 - 11	20 - 30	100	20 - 100	190 - 220	50 - 60	330

Derzeit (Stand Ende 2018) ist im Teilplangebiet an 22 stromerzeugenden Biomasse-Anlagen (ohne Deponie- und Klärgas) eine Leistung von insgesamt ca. 12 MW installiert, womit ein Stromertrag von knapp 72 GWh/a realisiert werden kann (Tabelle 22). Dies ist in etwa die Menge Strom, die 23.000 Privathaushalte im Jahr verbrauchen.

Bei der Betrachtung der regionalen Verteilung der Stromerzeugung in den Gemeinden verbucht Erndtebrueck mit ca. 30 GWh/a den größten Stromertrag aus der Nutzung von Biomasse (1 Anlage mit 5 MW installierter Leistung), gefolgt von Lennestadt (2 Anlagen, 2 MW, 12 GWh/a) und Balve (4 Anlagen, 1,5 MW, 9 GWh/a) (Tabelle 31, Abbildung 37).

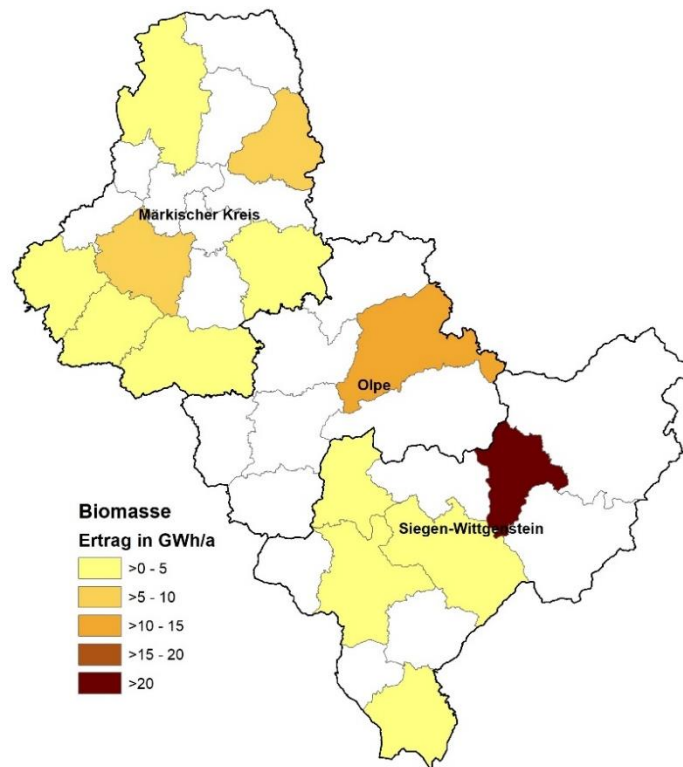


Abbildung 37: Biomasse - Stromertrag nach Gemeinden (Stand: 31.12.2018; Quelle: LANUV, BNA, ÜNB, LEE)

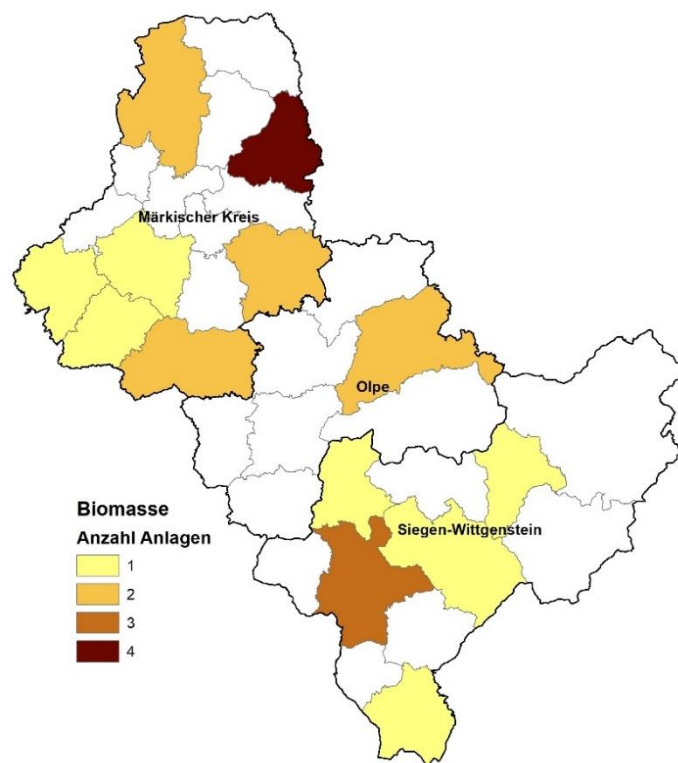


Abbildung 38: Biomasse – Anzahl der Anlagen nach Gemeinden (Stand: 31.12.2018; Quelle: LANUV, BNA, ÜNB, LEE)

Tabelle 31: Biomasse - Ertrag und installierte Leistung (nur Strom) nach Gemeinden
(Stand: 31.12.2018; Quelle: LANUV, BNA, ÜNB, LEE)

Kreis	Ertrag in GWh/a (gerundet)	installierte Leistung in MW (gerundet)	Anzahl Anlagen
Erndtebrück	30	5,0	1
Lennestadt	12	1,9	2
Balve	9	1,5	4
Lüdenscheid	7	1,2	1
Plettenberg	3	0,6	2
Siegen	3	0,4	3
Kierspe	2	0,4	1
Iserlohn	2	0,4	2
Burbach	2	0,3	1
Meinerzhagen	1	0,2	2

3.2.4 Wasserkraft

Die Möglichkeiten zum Ausbau der Wasserkraft in Nordrhein-Westfalen wurden in der „Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW – Teil 5: Wasserkraft (LANUV 2017_B)“ abgeschätzt. Schwerpunktmäßig wurde in dieser Studie das Potenzial zur Wasserkraftnutzung an bestehenden Querbauwerken in NRW sowie das Repoweringpotenzial an bereits in Betrieb befindlichen Wasserkraftanlagen untersucht. Potenzielle neue Standorte mussten dabei als Mindestanforderung an einem bereits bestehendem Querbauwerk liegen, eine Mindestabsturzhöhe von 0,8 m aufweisen und sich in einem Gewässerabschnitt mit einem Mittelabfluss von mindestens 1 m³/s befinden. Außerdem wurden für die Ermittlung des Potenzials die erforderlichen ökologischen Abflüsse für Fischaufstiegsanlagen und für Bypässe zum Fischabstieg berücksichtigt sowie an Ausleitungsstandorten für die Mindestwassermenge.

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

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

Für das Gebiet des Teilplans MK-OE-SI wurde im Rahmen der Untersuchung ein noch ungenutztes Restpotenzial an 22 Standorten identifiziert, die insgesamt eine noch ungenutzte potenziell installierbare Leistung von etwa 3 MW aufweisen. Das entspricht einem Stromertrag von ca. 12 GWh/a (Tabelle 23; LANUV 2017_B). Das noch ungenutzte Wasserkraftpotenzial im Teilplangebiet verteilt sich auf 12 Gemeinden (Abbildung 39 und Abbildung 40). Plettenberg an der Einmündung der Else in die Lenne ist dabei die Gemeinde, für die die größten Potenziale ermittelt wurden (4 Standorte mit 0,5 MW installierbarer Leistung und 2,4 GWh/a potenziellem Stromertrag), gefolgt von Olpe (Bigge, 1 Standort, 0,4 MW, 0,7 GWh/a), Menden (Ruhr, 2 Standorte, 0,4 MW, 1,8 GWh/a), Lennestadt (Lenne, 4 Standorte, 0,3 MW, 1,1 GWh/a) und Nachrodt-Wiblingwerde (Lenne, 2 Standorte, 0,3 MW, 1,3 GWh/a) (Tabelle 32).

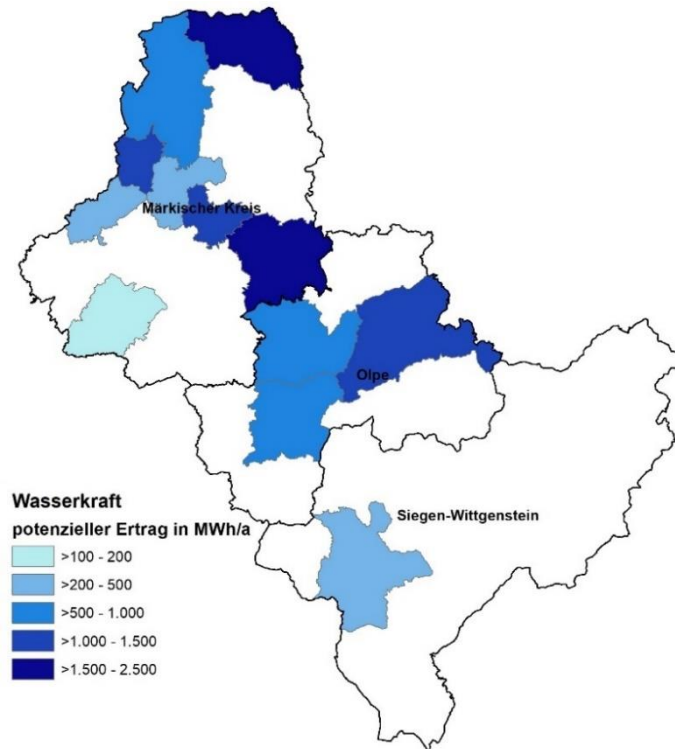


Abbildung 39: Wasserkraft - potenzieller (ungenutzter) Ertrag nach Gemeinden (LANUV 2017_B)

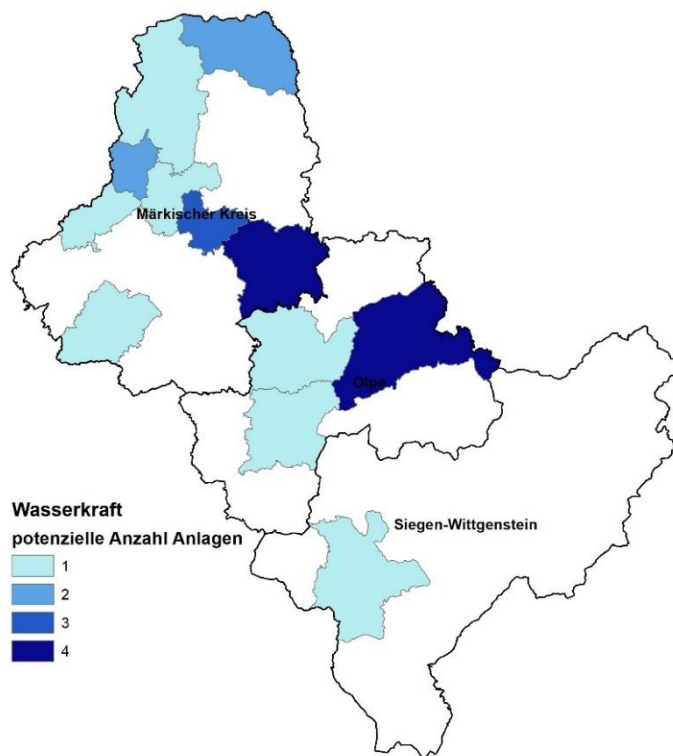


Abbildung 40: Wasserkraft - Anzahl potenzieller Anlagen (Neubau / Repowering) nach Gemeinden (LANUV 2017_B)

Tabelle 32: Wasserkraft - Ausbaupotenzial nach Gemeinden (LANUV 2017_B)

Gemeinde	potenziell installierbare Leistung in kW (gerundet)	potenzieller Ertrag in MWh/a (gerundet)	Anzahl potenzieller Anlagen (Neubau, Repowering)
Plettenberg	540	2.350	4
Olpe	430	720	1
Menden (Sauerland)	360	1.750	2
Lennestadt	330	1.140	4
Nachrodt-Wiblingwerde	310	1.320	2
Werdohl	280	1.450	3
Attendorn	240	950	1
Siegen	130	470	1
Iserlohn	100	590	1
Altena	90	500	1

Die noch ungenutzten Potenziale sind jedoch im Verhältnis zum bereits bestehenden Ausbaustand der Wasserkraftnutzung vergleichsweise gering, insbesondere im Vergleich zu anderen regenerativen Energieträgern. An 73 in Betrieb befindlichen Anlagen im gesamten Teilplangebiet ist derzeit bereits eine Leistung von etwa 40 MW installiert, was einen Stromertrag von ca. 87 GWh/a bedeutet (Stand: 31.12.2018, Tabelle 22). Das entspricht dem jährlichen Stromverbrauch von etwa 28.000 Privathaushalten.

Die mit deutlichem Abstand höchste installierte Leistung bzw. den höchsten Stromertrag im Teilplangebiet weist die an der Bigge und der Biggetalsperre gelegene Gemeinde Attendorn auf (Abbildung 41 und Abbildung 42). An drei Standorten ist hier eine Leistung von etwa 19 MW installiert. In Werdohl sind an der Lenne insgesamt 7 Wasserkraftanlagen mit etwa 5 MW installierter Leistung in Betrieb, gefolgt von Finnentrop (4 MW Leistung an 6 Standorten) und Menden (4 MW, 3 Standorte) (Tabelle 33).

Tabelle 33: Wasserkraft - Gemeinden mit der höchsten installierten Leistung (Stand: 01.03.2018; Quelle: LANUV, BNA, ÜNB)

Gemeinde	installierte Leistung in kW (gerundet)	Ertrag in MWh/a (gerundet)	Anzahl Anlagen
Attendorn	19.400	25.200	3
Werdohl	5.050	17.960	7
Finnentrop	4.090	9.330	6
Menden (Sauerland)	4.060	14.000	3
Plettenberg	2.350	8.220	2
Nachrodt-Wiblingwerde	2.000	4.030	2
Altena	640	1.970	2
Lüdenscheid	450	1.470	3
Lennestadt	420	1.970	7
Schalksmühle	380	870	2

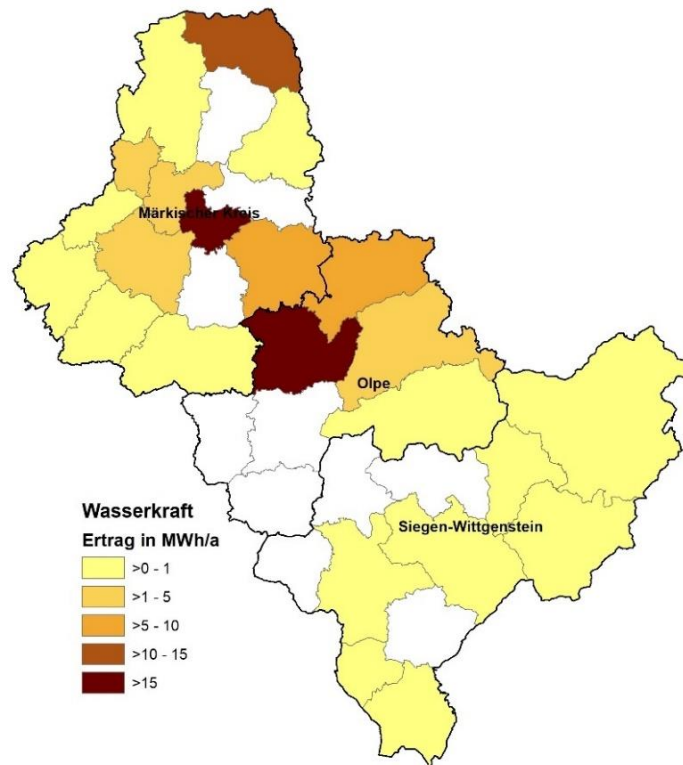


Abbildung 41: Wasserkraft - Ertrag nach Gemeinden (Stand: 31.12.2018; Quelle: LANUV, BNA, ÜNB, LEE)

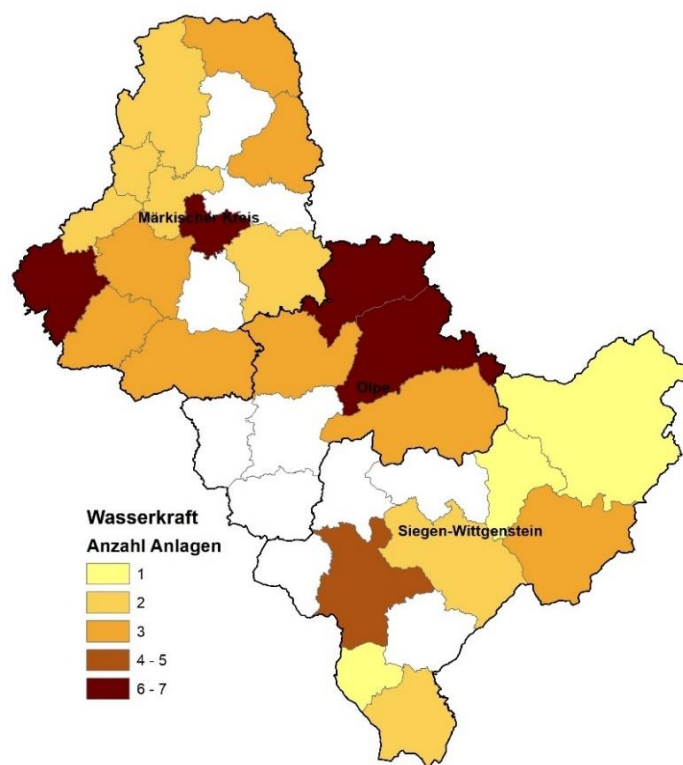


Abbildung 42: Wasserkraft - Anzahl der Anlagen nach Gemeinden (Stand: 01.03.2017; Quelle: LANUV, BNA, ÜNB, LEE)

3.2.5 Fazit

Zusammenfassend ist bei der Betrachtung der verschiedenen erneuerbaren Energieträger deutlich geworden, dass die größten Potenziale für den Klimaschutz und den Umbau der Energieversorgung in der Planungsregion, ähnlich wie in Gesamt-NRW oder bundesweit, im Ausbau der Solarenergie und der Windenergie (auf Grundlage der Potenzialstudie LANUV 2012) liegen. Typisch ist dabei das Muster der räumlichen Verteilung der Potenziale: Während in den dichter besiedelten Gemeinden auf Grund der großen Anzahl an Dachflächen allgemein das größte Potenzial zur Photovoltaiknutzung besteht, ist in den eher ländlich geprägten Teilen der Planungsregion das größte Potenzial zum Ausbau der Windenergie vorhanden.

Zur Erreichung der erforderlichen Treibhausgas-Emissionsreduktion im Stromsektor spielt neben der Energieeinsparung und der Steigerung der Energieeffizienz auch im Teilplangebiet MK-OE-SI der Ausbau der Erneuerbaren Energien eine wesentliche Rolle. Dadurch, dass Strom aus Erneuerbaren Energien den Strom aus fossilen Energieträgern ersetzt, werden Treibhausgasemissionen vermieden. In einem vereinfachten Ansatz können durch die Multiplikation der (potenziellen) Strommenge aus Erneuerbaren Energien mit dem CO₂-Äquivalentwert des deutschen Strommixes die vermeidbaren CO₂-Emissionen näherungsweise errechnet werden. Bei der Erzeugung einer Kilowattstunde Strom für den Endverbrauch (ohne Berücksichtigung des Stromhandelssaldos) wurden in Deutschland im Jahr 2018 auf der Basis vorläufiger Daten 474 Gramm pro Kilowattstunde emittiert (CO₂-Äquivalent-Wert für den deutschen Strommix) (UBA 2019). Bei einer derzeitigen Bruttostromerzeugung aus Erneuerbaren Energien von insgesamt etwa 539 GWh/a im Teilplangebiet ergibt sich demnach eine Vermeidung von Treibhausgasemissionen von über 255.000 Tonnen pro Jahr.

Moderne Windenergieanlagen können im Bereich des Teilplangebietes MK-OE-SI Jahresenergieerträge von über 10 GWh (10.000.000 kWh) erzielen (LANUV 2018_B: Windertragsrechner). Durch den Bau einer Windkraftanlage mit einem Jahresertrag von 10 GWh könnten demnach Treibhausgasemissionen von ca. 4.740 Tonnen eingespart werden, durch einen Windpark mit 10 Anlagen etwa 47.400 Tonnen. Dies entspricht etwa 0,6 Prozent der gesamten Treibhausgasemissionen im Teilplangebiet von 7.913.000 Tonnen (2016; Tabelle 20).

Im Zeitraum 2017 bis Anfang 2019 (Stand: 31.01.2019) sind im Teilplangebiet MK-OE-SI insgesamt 1.019 neue PV-Dachanlagen mit einer installierten Leistung von 19,7 Megawattpeak in Betrieb genommen worden (LANUV 2018_B). Dadurch konnte eine jährliche Stromerzeugung von 17,5 GWh (17.500 MWh bzw. 17.500.000 kWh) erzielt werden. Moderne PV-Anlagen erzeugen im Teilplangebiet demnach im Schnitt eine Strommenge von 17,2 MWh bzw. 17.200 kWh pro Anlage und Jahr und vermeiden dadurch etwa 8,1 Tonnen Treibhausgasemissionen. Durch den Zubau von beispielsweise 1.000 weiteren Dachflächen-Photovoltaikanlagen könnten im Teilplangebiet demnach mehr als 8.100 Tonnen Treibhausgasemissionen vermieden werden, was gut 0,1 Prozent der gesamten Treibhausgasemissionen im Teilplangebiet entspricht. Das Gesamtpotenzial zum Ausbau der Photovoltaik auf Dach- und Freiflächen im Teilplangebiet liegt dabei deutlich höher: Ein potenzieller Jahresertrag von 3.840 GWh (bzw. 3.840.000.000 kWh, Summe Dach- und Freiflächenphotovoltaik) (Tabelle 23) entspräche vermiedenen Treibhausgasemissionen in Höhe von 1.820.000 Tonnen oder 23 Prozent der gesamten Treibhausgasemissionen im Teilplangebiet.

3.3 Weitere Handlungsfelder Klimaschutz

Im Folgenden soll cursorisch auf weitere Handlungsfelder im Bereich Klimaschutz eingegangen werden. Da hier jedoch die verfügbaren Datengrundlagen nicht aussagekräftig genug oder die Steuerungsmöglichkeiten auf der Ebene der Regionalplanung insgesamt eingeschränkt sind, werden diese für den Klimaschutz insgesamt ebenfalls äußerst wichtigen Themenbereiche an dieser Stelle nur grob skizziert.

Mobilität

Das Handlungsfeld Mobilität weist auch im Teilplangebiet MK-OE-SI ein erhebliches Potenzial zur Reduktion von Treibhausgasemissionen auf: Etwa 21 % der THG-Gesamtemissionen in der Region entstammen aus dem Verkehrssektor (Tabelle 20). Zur Verringerung verkehrsbedingter CO₂-Emissionen können beispielsweise günstige Siedlungs- und Verkehrsstrukturen beitragen. Dies betrifft vor allem die Möglichkeit zur Verkehrsverlagerung (Bewältigung von Wegstrecken mit Verkehrsmitteln des Umweltverbundes wie Fuß- und Radverkehr, ÖPNV), der Verkehrsvermeidung (Beeinflussung des Bedarfs nach Verkehr und Verkürzung der Wegstrecken), der Verkehrsoptimierung (bessere Auslastung bestehender Kapazitäten) sowie die Minderung der spezifischen Emissionen der Fahrzeuge (z. B. Förderung der Elektro-Mobilität und der dafür benötigten Infrastruktur). (UBA 2012)

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

Landwirtschaft

Die Landwirtschaft ist einerseits deutlich von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen, weshalb in diesem Bereich auch Anpassungsmaßnahmen von großer Bedeutung sind (Kapitel 4.2), andererseits trägt die Landwirtschaft durch Treibhausgasemissionen auch zum Klimawandel bei. Etwa 3 % der Treibhausgasemissionen im Teilplangebiet MK-OE-SI stammen aus der Landwirtschaft (Tabelle 20).

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

Die durch die Landwirtschaft verursachten Treibhausgasemissionen lassen sich nicht vollständig vermeiden. Eine Reduzierung und damit ein wichtiger Beitrag zum Klimaschutz kann jedoch z. B. durch eine effizientere Düngung, die Nutzung von Mist und Gülle in Biogasanlagen oder eine verbesserte Fütterung, Tiergesundheit und Tierleistung erreicht werden. (BMEL 2016)

Wärmeversorgung, Energieeffizienz

Die Wärmeversorgung von Gebäuden benötigt etwa ein Drittel des gesamten Endenergieverbrauchs in Deutschland, private Haushalte sind für etwa 18 % der Treibhausgasemissionen im Teilplangebiet MK-OE-SI verantwortlich (Kapitel 3.1). Daher besteht auch im Handlungsfeld Wärmeversorgung ein erhebliches Potenzial zur Einsparung von Treibhausgasemissionen. Neben dem Einsatz von Erneuerbaren Energien (z. B. Biomasse, Geothermie, Solarthermie) sind energieeffiziente Siedlungsstrukturen (z. B. passive Solarenergienutzung) oder wärmetechnische Gebäudesanierungen zentrale Instrumente in diesem Bereich. (UBA 2012)

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

Energiespeicher

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

Die derzeit wirtschaftlichste und ausgereifteste Technologie zur Speicherung von Energie in großem Maßstab sind Pumpspeicherkraftwerke. Die Potenziale von Pumpspeicherkraftwerken hat das LANUV in der Potenzialstudie Pumpspeicherkraftwerke NRW (2016) untersucht und dabei auch Potenziale an Vorzugsstandorten im Teilplangebiet MK-OE-SI identifiziert.

Kohlenstoffsinken

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

satzformulierungen sowie die Ausweisung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten für Naturschutz und Landschaftspflege, Waldschutz oder Waldmehrung oder Sanierungsgebiete mit dem Schwerpunkt der Moorentwicklung. (UBA 2012)

3.4 Klima-fachliche Empfehlungen für regionalplanerische Festlegungen zum Klimaschutz

Aus klimaschutzfachlicher Perspektive sollte der Regionalplan MK-OE-SI den Ausbau der Erneuerbaren Energien im Rahmen der Vorgaben und Möglichkeiten des Landesentwicklungsplans NRW unterstützen und durch die Formulierung von Zielen und Grundsätzen sichern. Zentrale Kriterien sind hierbei die Raumbedeutsamkeit und die überörtliche Bedeutung (nähere Ausführungen hierzu in Kapitel 4.1.1). Dies ist beispielsweise für dach- und fassadengebundene Photovoltaikanlagen oder kleinere Wasserkraftanlagen in der Regel nicht gegeben. Bei Windenergieanlagen, Freiflächen-Photovoltaikanlagen und größeren Wasserkraftanlagen wird in der Regel von einer regionalplanerischen Steuerungsfähigkeit ausgegangen (BMVBS 2011). Bei der Biomasse Nutzung wird die Errichtung von privilegierten Einzelanlagen in der Regel nicht als raumbedeutsam angesehen, bei mehreren Anlagen in engem zeitlichem und räumlichem Zusammenhang kann aufgrund ihrer kumulativen Wirkungen oder auch im Zusammenwirken mit dem Biomasseanbau eine Einstufung als raumbedeutsam vorliegen. Bei nicht privilegierten Anlagen kann die immissionsschutzrechtliche Genehmigungsbedürftigkeit gemäß Anhang zur 4. BImSchV zur Einstufung als raumbedeutsames Vorhaben herangezogen werden. (BMVBS 2011). Es ist aber auch darauf hinzuweisen, dass § 1 Abs. 4 BauGB Bindungswirkungen der Ziele der Raumordnung auch für nicht raumbedeutsame Planungen beinhaltet.

Grundsätzlich sollten im Regionalplan MK-OE-SI aus Gründen des Klimaschutzes in allen Teilen der Region die Voraussetzungen für eine umwelt- und klimaverträgliche Energieversorgung geschaffen werden. Aus Sicht des LANUV sollten daher planerische Handlungsspielräume und Steuerungsmöglichkeiten möglichst weitgehend ausgenutzt und Festlegungen getroffen werden, die die verstärkte Nutzung regional verfügbarer erneuerbarer Energiequellen zum Ziel haben, auch um den mittelfristigen Ausstieg aus der Nutzung konventioneller Energieträger (Erdöl, Erdgas, Kohle, Uran) kompensieren zu können und lokale Wertschöpfungsketten zu stärken. Zur Förderung des Ausbaus klimafreundlicher Energien im Rahmen einer klimawandelgerechten Regionalplanung sollte dabei auch die Möglichkeit von quantitativen gebietsbezogenen Mengenvorgaben intensiv geprüft werden.

Der Ausbau der Windenergienutzung ist von großer Bedeutung für die Erreichung der Klimaschutzziele im Sektor Energieversorgung und sollte aus klimaschutzfachlicher Sicht des LANUV durch den Regionalplan MK-OE-SI im Rahmen der Vorgaben des LEP NRW unterstützt werden. Eine konkrete räumliche Steuerung durch die Regionalplanung ist durch die Ausweisung von zeichnerischen Vorrang- und Vorbehaltsgebieten möglich (wobei für Vorbehaltsgebiete neue Planzeichen nach § 35 Abs. 4 LPlG DVO zu entwickeln wären). Dies ist ein in NRW sowie den Raumordnungsplänen weiterer Bundesländer mittlerweile bewährtes Instrument zur

räumlichen Steuerung und Absicherung des Ausbaus klimafreundlicher Energieträger. Mögliche weitere raumordnerische Festlegungen können und sollten auch textliche und / oder zeichnerische Regelungen zum Repowering von Windenergieanlagen betreffen. Dabei können im Regionalplan Vorranggebiete für das Repowering festgesetzt werden, in denen die Windenergienutzung nur unter bestimmten Voraussetzungen möglich ist (und in denen z. B. eine Differenzierung hinsichtlich anderweitig geforderter weicher Tabukriterien wie Mindestabständen zu Siedlungsbereichen erfolgt), oder regionalplanerische Ausnahmen für das Repowering nach § 6 Abs. 1 ROG formuliert werden.

Der Ersatz alter Windräder durch moderne, leistungsfähigere Anlagen wird durch das Auslaufen der EEG-Förderung für die ersten Anlagen ab dem Jahr 2021 deutlich an Relevanz zunehmen. So werden in ganz NRW 1.235 Windenergieanlagen mit einer installierten Leistung von ca. 1.550 MW (Jahresertrag: etwa 2.250 GWh) zwischen 2021 und 2025 aus der EEG-Förderung fallen, und damit - in Abhängigkeit auch von den Börsenstrompreisen und dem Anlagenzustand - häufig stillgelegt und zurückgebaut werden. Das entspricht etwa 34 % aller Anlagen und knapp 27 % der gesamten installierten Leistung im Land (Stand: 31.12.2018). In einer bundesweiten Befragung von Anlagenbetreibern wurde für 40 % der Windenergieanlagen, die zwischen 2021 und 2025 das EEG-Förderende erreichen, angegeben, dass diese im Umfeld des Standortes nicht repowert werden können. Als Ursache hierfür werden für zwei Drittel dieser Fälle planungsrechtliche Restriktionen angegeben (FA Wind 2018). Auch aus dem Ausnahmetatbestand für Repoweringanlagen in Bezug auf einen pauschalen Abstand zu Wohngebäuden in Ziel 10.2-3 des geänderten Landesentwicklungsplans vom 6. August 2019 ergibt sich in diesem Bereich ein erhöhter planerischer Steuerungsbedarf. Weitere Hinweise zu regionalplanerischen Gestaltungsmöglichkeiten beim Repowering können z. B. dem Leitfaden „Regionalplanung und Repowering“ (BWE 2017) entnommen werden.

Zur Unterstützung und Steuerung von Freiflächen-Photovoltaikanlagen sollten textliche oder zeichnerische Festlegungen hinsichtlich ihrer räumlichen Steuerung auf bestimmte Flächen (z. B. versiegelte Flächen, Konversionsflächen, Halden) formuliert werden. In diesen Bereichen sollte der Nutzung von regional bedeutsamen Freiflächen-Photovoltaikanlagen, solange diese nicht landwirtschaftliche Flächen in Anspruch nehmen, ein besonderes Gewicht bei der Abwägung mit konkurrierenden raumbedeutsamen Nutzungen beigemessen werden. Für Dachflächen-Photovoltaikanlagen wäre es vor dem Hintergrund der siedlungsstrukturellen Entwicklung im Teilplangebiet MK-OE-SI sinnvoll, einen raumordnerischen Grundsatz zu formulieren, nach dem bei der Ausweisung neuer Gewerbegebiete durch die kommunale Bauleitplanung die Belange des Klimaschutzes verstärkt zu berücksichtigen sind. Konkret könnte dies beispielsweise die bauleitplanerische Verpflichtung zur Photovoltaiknutzung auf Dachflächen von industriell oder gewerblich genutzten Neubauten umfassen.

Darüber hinaus ist es im Rahmen der Regionalplanung zumindest denkbar, als übergreifendes Klimaschutzinstrument für Treibhausgase gebietsbezogen konkrete Emissionsminderungsvorgaben festzusetzen. Dieser planungsrechtlich innovative Ansatz wird umfassend in WAGNER 2018 beschrieben und dort hinsichtlich seiner Voraussetzungen, Zulässigkeit und Wirkungen diskutiert. Nach Ansicht Wagners erfüllen gebietsbezogene Emissionsminderungsziele die Anforderungen an Ziele der Raumordnung nach § 3 Abs.1 Nr.2 ROG und verstoßen weder gegen europäisches noch nationales Emissionshandels- oder Immissionsschutzrecht. Aus raumordnerisch festgesetzten Emissionsminderungszielen ergäbe sich dann die Pflicht des

Planungsträgers, treibhausgasemittierende sowie –reduzierende Nutzungen und Funktionen derart zu planen, dass die gebietsweise ausgewiesenen Minderungsziele erreicht würden. Treibhausgasemittierende raumbedeutsame Vorhaben wären dann unzulässig, wenn durch sie die festgesetzten Emissionsminderungsziele verfehlt würden (WAGNER 2018). Für das Monitoring der Treibhausgasemissionen wäre zu prüfen, ob die Daten des Treibhausgas-Emissionsinventars NRW des LANUV herangezogen werden könnten.

Allgemeine Grundsätze sollten im Regionalplan MK-OE-SI darüber hinaus u. a. auch zur Reduktion des Energieverbrauchs oder zur effizienteren Energienutzung festgesetzt werden. Diese Vorgaben sollten sich beispielsweise auf eine energiesparende Siedlungsstruktur und –entwicklung oder eine energiesparende und klimaverträgliche Verkehrsinfrastruktur beziehen.

4 Klimaanpassung im Teilplangebiet Märkischer Kreis, Kreis Olpe und Kreis Siegen-Wittgenstein

Die Folgen des anthropogenen Klimawandels sind in Nordrhein-Westfalen bereits heute messbar und haben Auswirkungen auf verschiedenste Lebensbereiche. Es ist daher unerlässlich, sich an bereits eingetretene und nicht mehr vermeidbare zukünftige 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 Planungen notwendig, um zukünftigen Risiken rechtzeitig begegnen zu können.

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

4.1 Hitzebelastung

Nordrhein-Westfalen ist mit knapp 18 Millionen Einwohnern das bevölkerungsreichste und am dichtesten besiedelte Bundesland Deutschlands. Über acht Millionen Menschen leben in Städten mit mehr als 100.000 Einwohnern. Im Teilplangebiet MK-OE-SI zählt hierzu die Großstadt Siegen (ca. 102.300 Einwohner). Aber auch weitere Städte wie Iserlohn (ca. 92.900), Lüdenscheid (ca. 72.900) oder Menden (53.000) (Quelle: IT.NRW, Stand: 31.12.2017) weisen verstärkt urbane Siedlungsstrukturen auf.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

In diesem Kapitel werden zunächst die grundsätzlichen regionalplanerischen Steuerungsmöglichkeiten im Bereich der thermischen Belastung thematisiert (4.1.1), bevor auf die zentralen Aspekte der Methodik der Klimaanalyse NRW eingegangen wird (4.1.2). Anschließend werden die Ergebnisse und damit das klimaökologischen Prozessgeschehen im Teilplangebiet MK-OE-SI dargestellt (4.1.3). Abschließend werden Handlungsempfehlungen und mögliche regionalplanerische Umsetzungspfade aus Sicht des LANUV beschrieben (4.1.4).

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

4.1.1 Hitzebelastung und regionalplanerische Steuerungsmöglichkeiten

Klimatische Aspekte im Allgemeinen und bioklimatische Belange im Speziellen (z. B. Hitzebelastung) sind auf Ebene der Regionalplanung bis heute nur in wenigen Fällen Auslöser durchsetzungskräftiger regionalplanerischer Festlegungen. Als mögliche Ursachen kommen hier (im Gegensatz auch beispielsweise zum Bereich Klimaschutz) fehlende Erfahrungen und Beispiele für die regionalplanerische Steuerung klimaökologischer Belange, eine unter den bisherigen klimatischen Rahmenbedingungen noch als gering eingeschätzte planerische Relevanz dieser Belange, aber insbesondere auch die zumeist fehlende Datengrundlage für die adäquate Berücksichtigung solcher Fragestellungen in der Regionalplanung in Frage. Dies hat in der Vergangenheit dazu geführt, dass sich das Klima repräsentierende Belange und Raumansprüche nicht gegenüber den zahlreichen und oftmals weitaus besser untersuchten konkurrierenden Belangen wie z. B. Landwirtschaft, Gewerbe und Siedlungsentwicklung durchsetzen konnten.

Eine weitere Herausforderung stellt die Unterscheidung und Abgrenzung zwischen überörtlichen, d.h. in den Aufgabenbereich der Raumordnung fallenden, und eher lokalen Funktionen und Wirkungsgefügen dar, welche im Zuständigkeitsbereich der kommunalen Planung liegen. Vor diesem Hintergrund soll in diesem Abschnitt diskutiert werden, ob und in welcher Form die von der Regionalplanung bisher kaum durchsetzungsfähig adressierten klimaökologischen Belange regionalplanerisch gesteuert werden können. Dies erfordert auch die Einbeziehung planungsrechtlicher Aspekte, wenngleich diese Fragestellungen (beispielsweise zum Kompetenzrahmen der Raumordnung) selbstverständlich in den Zuständigkeits- und Kompetenzbereich der Landes- und Regionalplanungsbehörden fallen.

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

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

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

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

Der hier erwähnte § 3 des Klimaschutzgesetzes (i.d.F.v. 29.01.2013) ist wiederum für die in dieser Studie betrachtete bioklimatische Situation in Absatz 3 relevant, in dem es heißt, dass *„die negativen Auswirkungen des Klimawandels durch die Erarbeitung und Umsetzung von sektorspezifischen und auf die jeweilige Region abgestimmten Anpassungsmaßnahmen zu*

begrenzen sind“. Diese Vorgaben haben sich in dem geltenden Landesentwicklungsplan (LEP) NRW vom 06.08.2019 niedergeschlagen.

So enthält Abschnitt 4 des LEP die Grundsätze 4-1 bis 4-3, welche allesamt die Berücksichtigung des Schutzguts Klima im Zuge der Raumordnung und -entwicklung adressieren.

Zwar haben all die aufgeführten Regelungen insbesondere den Umgang mit den Folgen des anthropogenen Klimawandels durch die Regionalplanung im Blick, gleichwohl muss in diesem Zusammenhang die Analyse des Status-Quo und die Sicherung der bereits heute bestehenden und raumwirksamen Strukturen ein erster, unabdingbarer Schritt bei der Umsetzung dieser Anforderungen darstellen. Somit ist eine stärkere Berücksichtigung klimatischer Fragestellungen in Regionalplänen insbesondere auch mit Blick auf die zu erwartenden Auswirkungen des vom Menschen verursachten Klimawandels künftig unverzichtbar. Auch kommt der Regionalplanung dabei im Rahmen der regionalen Klimaanpassung im Zuge der Erarbeitung eines sog. „Klimawandelgerechten Regionalplans“ (BMVI 2017) höchste Priorität zu. Vorrangige Ziele einer klimagerechten Regionalplanung müssen hierbei sein:

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

Zentrale Handlungsansätze und Instrumente für eine Umsetzung dieser Ziele sind:

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

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

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

Kompetenzrahmen der Raumordnung

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

Das Raumordnungsgesetz – im Zusammenwirken mit dem Landesplanungsgesetz NRW – sieht zur Wahrnehmung und Umsetzung der raumordnerischen Aufgaben und Kompetenzen mit Zielen und Grundsätzen zwei sich im Hinblick auf ihre Steuerungs- und Bindungswirkung voneinander unterscheidende Instrumente vor. So weisen Ziele der Raumordnung auf Grund der sog. Beachtungspflicht nach § 4 Abs. 1 ROG eine hohe Steuerungswirksamkeit auf, wohingegen Grundsätze von nachgeordneten Planungsebenen lediglich im Zuge der eigenen Abwägung *mit besonderem Gewicht* berücksichtigt werden sollen (Berücksichtigungspflicht). Grundsätze können demnach jederzeit begründet weggewogen werden, sofern die konkurrierende Nutzung als gewichtiger bewertet wird. Dies führt in der Planungs-Realität häufig dazu, dass planerische Grundsätze kaum praktische Wirkungen erzielen (BMVI 2017).

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

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

Der Vorsorgegrundsatz ermöglicht jedoch bis zu einem gewissen Grad aufgrund des Fehlens klimabezogener Fachgesetze oder fachplanerischer (sicherer) Bedarfsfeststellungen den Einbezug von Klima-Projektionen in die raumordnerische Planung.

So können Raumbedarfe und sonstige räumlichen Erfordernisse von Klima, Klimaschutz und Klimaanpassung auch unter Ungewissheit frühzeitig und damit rechtzeitig berücksichtigt werden, bevor zwischenzeitlich neu aufgenommene oder erweiterte Raumnutzungen eine spätere Berücksichtigung klimatischer Erfordernisse unter Gewissheit bereits unmöglich gemacht oder wesentlich erschwert haben. Erforderlich erscheint dieses vordringlich im Falle von Flächen oder Funktionen, die standortspezifisch und von einer bereits bestehenden Flächen-Knappheit gekennzeichnet sind (BMVI 2017).

Auch unter Bezug auf den Vorsorgegrundsatz sollte jedoch keinesfalls nur auf einzelne Modell-Rechnungen von Klima-Projektionen abgestellt werden, da deren Eintritts-Wahrscheinlichkeit mit modellbedingten Unsicherheiten verbunden ist und die rechtliche Legitimation von Planungs-Entscheidungen allein auf dieser Grundlage somit als fragwürdig anzusehen wären. Alternativ sollte auf sogenannte Ensemble-Simulationen zurückgegriffen werden, um allgemeine Trends für die relevanten Klimasignale bzw. Klimaparameter herauszuarbeiten und als Begründung der Festlegungen heranzuziehen. Bei diesem Verfahren werden mehrere Modell-rechnungen betrachtet, um durch die Mittelung über mehrere Modelle Unsicherheiten besser einschätzen und daraus Ergebnisse ableiten zu können (2.2.1). Ensemble-Simulationen können die Entwicklung des Klimas innerhalb einer gewissen Spannweite in der Regel zuverlässiger beschreiben als einzelne Modellläufe.

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

Anforderungen an raumordnerische Festlegungen

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

Die gemeindliche Planungshoheit (Art. 28 Abs. 2 Satz 1 GG) steht dabei der Bindung der gemeindlichen Bauleitplanung an Ziele der Raumordnung nicht prinzipiell entgegen, denn die kommunale Selbstverwaltung wird verfassungsrechtlich nur im Rahmen der Gesetze gewährleistet (ständige Rechtsprechung, u. a. BVerwG, Beschluss vom 09.04.2014 – 4 BN 3/14 –, juris).

Materiellrechtlich sind solchen Eingriffen jedoch Grenzen gesetzt. Schränkt die Landes- oder Regionalplanung die Planungshoheit einzelner Gemeinden ein, so müssen überörtliche Interessen von höherem Gewicht den Eingriff rechtfertigen. Der Eingriff in die Planungshoheit muss gerade angesichts der Bedeutung der kommunalen Selbstverwaltung verhältnismäßig sein (BVerwG, a.a.O.). Im Folgenden wird diskutiert, in wie weit überörtliche Interessen bei der Sicherung von klimaökologisch bedeutsamen Räumen, Funktionen oder Belastungen anzunehmen und ausreichend begründbar sind.

Überörtlichkeit

Das ROG verlangt grundsätzlich eine Überörtlichkeit der von der Raumordnung erfassten Nutzungen, Funktionen, etc. Somit dürfen in Regionalplänen ausschließlich sogenannte raumbedeutsame Festlegungen im Sinne von § 3 Abs. 1 Nr. 6 ROG getroffen werden. Die überörtlichen Belange besitzen in diesem Fall grundsätzlich ein höheres Gewicht als die kommunalen oder privaten Belange. Gegenstand raumordnerischer und damit überörtlicher Festlegungen kann somit nicht sein, was in den Regelungsbereich des BauGB fällt.

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

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

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

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

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

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

Dies zeigt, dass trotz der scheinbar klaren Abgrenzung zwischen der überörtlichen und der örtlichen Planungsebene Grenz- und Konfliktfälle bestehen, welche an den Schnittstellen und Überschneidungsbereichen des mehrstufigen deutschen Planungssystems zu Tage treten. Diese Kompetenzkonflikte werden gegenwärtig in der theoretischen Fachwissenschaft wie auch in der Planungspraxis noch unterschiedlich interpretiert und behandelt. Unstrittig ist allein, dass raumordnerische Festlegungen, die in den genannten Grenz- und Überschneidungsbereich der verschiedenen Planungsebenen fallen, eine besonders umfassende und stichhal-

tige Überprüfung und Begründung des Kriteriums der Überörtlichkeit von Seiten der Regionalplanung voraussetzen. Darüber hinaus erscheint eine intensive Beteiligung und Abstimmung mit den betroffenen kommunalen Planungsträgern unabdingbar.

Überfachlichkeit

Die Forderung nach der Überfachlichkeit von Raumordnungsplänen grenzt die Kompetenzen der Raumordnung rechtlich gegenüber den Kompetenzen der verschiedenen Fachplanungen ab. Dass klimabezogene Festlegungen im Allgemeinen einen überfachlichen Charakter aufweisen, ist weitestgehend unstrittig. So betreffen klimatische Fragestellungen zweifelsohne u. a. die Fachbereiche von Siedlungs- und Wirtschaftsentwicklung (Wohn- und Arbeitsqualität, Standort-Attraktivität etc.) wie auch den Erholungssektor sowie Natur- und Artenschutz (Sonderstandorte, Lebensraumansprüche, Standortfaktor der Biodiversität).

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

Diesem Konfliktpotenzial sollte bei der Planung klimabezogener raumordnerischer Festlegungen daher durch einen frühzeitigen und intensiven Beteiligungs- und Abstimmungsprozess mit den unterschiedlichen Fachplanungen entgegengewirkt werden.

Weitere Anforderungen (Bestimmtheit und Datengrundlagen)

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

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

Zwingend zu beachten ist hierbei allerdings in jedem Einzelfall der Grundsatz der Verhältnismäßigkeit. Dieser besagt, dass eine Maßnahme geeignet, erforderlich und angemessen sein muss. Der Eingriff in die gemeindliche Planungshoheit muss diesen Anforderungen genügen.

Dies bezieht sich z. B. auf das Verhältnis von Nutzen, Dringlichkeit und räumlicher Bestimmtheit einer Festlegung zu dem quantitativ-flächenmäßigen (z. B. Anteil betroffener Gemeindefläche) und qualitativen (z. B. Detailgrad der Festlegung, Ausschlussgrad anderer Nutzungen) Umfang der kommunalen Einschränkung. Was in diesem Sinne als angemessen oder aber unangemessen anzusehen ist, entzieht sich naturgemäß einer allgemeingültigen Definition und ist im Zuge einer Einzelfallentscheidung zu beurteilen.

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

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

Ein Fachbeitrag Klima, wie er in NRW für das Teilplangebiet MK-OE-SI nun vorliegt, wurde durch das LANUV 2018 erstmals für die Fortschreibung der Regionalpläne Detmold und Köln erstellt. Somit liegt nun ein den Anforderungen an Festlegungen der Raumordnung genügender, einheitlicher Grundlagendatensatz vor, mit dem klimatische Belange stärker in die Raumordnung einbezogen werden können. Sowohl Auflösung als auch fachliche Eignung und Qualität der hier ermittelten Daten entsprechen den fachwissenschaftlich geltenden Standards, sodass den genannten raumordnerischen Anforderungen durch die im Folgenden dargestellten Daten entsprochen wird.

4.1.2 Methodik der Klimaaanalyse NRW

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

4.1.2.1 Grundlagen

Als Grundlage für die Analyse und Bewertung der siedlungsklimatischen Zusammenhänge im Teilplangebiet MK-OE-SI dienen die modellierten meteorologischen Parameter der Klimaanalyse NRW. Für die gesamte Landesfläche Nordrhein-Westfalens wurde im Rahmen dieser Untersuchung eine Modellierung der klimatischen Situation durchgeführt, um die komplexen klimatischen Prozesse und Zusammenhänge zu untersuchen. Das verwendete mesoskalige Modell FITNAH simuliert dabei die Entwicklung verschiedener klimatischer Parameter wie beispielsweise Wind oder Temperatur über einen Tagesgang und in einem Raster von 100 m × 100 m. Für jede meteorologische Variable wird in der Modellierung eine physikalisch fundierte mathematische Berechnungsvorschrift aufgestellt. Das Modell basiert, wie Wettervorhersage- und Klimamodelle auch, auf einem Satz sehr ähnlicher Bilanz- und Erhaltungsgleichungen. Das Grundgerüst besteht aus den Gleichungen für die Impulserhaltung (Navier-Stokes Bewegungsgleichung), der Massenerhaltung (Kontinuitätsgleichung) und der Energieerhaltung (1. Hauptsatz der Thermodynamik). Die Grundlagen dieses Modells sowie eine detaillierte Beschreibung von FITNAH ist der entsprechenden Fachliteratur zu entnehmen (z. B. GROß 1993).

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

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

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

Aus dieser Untergliederung in Wirk- und Ausgleichsräume sowie verbindende Strukturen ergibt sich ein komplexes Bild vom klimaökologischen Prozesssystem der Luftaustauschströmungen, welches kartographisch in Form der Klimaanalysekarten abgebildet ist. Anschließend werden in einem weiteren Schritt die Empfindlichkeiten dieser Funktionen bzw. Räume gegenüber strukturellen Veränderungen bewertet. Die damit verbundene Umsetzung in raumspezifische klimaökologische Qualitätsziele mündet in Handlungsempfehlungen.

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

Durch konkrete Zuordnung planungsrelevanter Aussagen zu den wichtigen, das klimaökologische Prozessgeschehen steuernden Strukturelementen wie z. B. Kaltluftentstehungsflächen können Flächen benannt werden, die in ihrem Bestand gesichert und vor negativen Einflüssen geschützt werden sollen. Andererseits werden Belastungsräume mit einem Mangel an Durchlüftung identifiziert, welche dementsprechend sanierungsbedürftig sind.

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

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

Basierend auf den Ergebnissen der modellgestützten Klimaanalyse erfolgen mit dem Ziel der planerischen Inwertsetzung und Aufbereitung der Ergebnisse die Ableitung planungsrelevanter Aussagen sowie eine Auseinandersetzung mit den Möglichkeiten einer Integration der Analyseergebnisse in raumplanerische Instrumente. Als zentrales Produkt dieser regionalplanungsbezogenen Auswertung, welche durch die Träger der Regionalplanung in Ermangelung einer zugeordneten Fachplanungsbehörde in aller Regel nicht selbst geleistet werden kann, wird basierend auf den Ergebnissen der Klimaanalyse NRW eine zusätzliche Karte dargestellt, deren Inhalte bereits an die Anforderungen und Bedürfnisse der Regionalplanung angepasst sind und die sich unterstützend an den Planungsträger richtet (Abbildung 52, *Planungsempfehlungen Regionalplanung*).

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

4.1.2.2 Klimaanalyse Nachtsituation

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

Grün- und Freifläche (Ausgleichsflächen)

Da Grün- und Freiflächen klimaökologische Ausgleichsräume darstellen und über Flurwinde die Wärmebelastung in den Siedlungsflächen verringern können, ist in der Nachtsituation für die Grünflächen ihr Kaltluftproduktionspotenzial entscheidend. Die Grünflächen werden nach ihrer Kaltluftlieferung anhand des mittleren Kaltluftvolumenstroms in Kubikmeter pro Sekunde (m^3/s) gegliedert; er drückt den Zustrom von Kaltluft aus der benachbarten Rasterzelle aus. Zur Bewertung wurde in Ermangelung von absoluten Schwellen- oder Grenzwerten bzw. aufgrund des fehlenden direkten Wirkzusammenhangs zur Physiologie des menschlichen Organismus eine z-Transformation (VDI 2008) durchgeführt. Somit ergibt sich eine Bewertung, die auf den Gebietsmittelwert von NRW zurückgeht und positive Abweichungen entsprechend gut (überdurchschnittliche Kaltluftproduktion) und negative entsprechend als schlechter (unterdurchschnittlich) bewertet. Die entsprechenden Klassengrenzen sind in nachfolgender Tabelle 34 dargestellt:

Tabelle 34: Bewertung des Kaltluftvolumenstroms

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

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

Siedlungsraum (Wirkraum)

Ein erholsamer Schlaf ist nur bei günstigen thermischen Bedingungen möglich, womit der Belastungssituation in den Nachtstunden eine besondere Bedeutung zukommt. Da die klimatischen Verhältnisse der Wohnungen in der Nacht im Wesentlichen nur durch den Luftaustausch mit dem Außenbereich modifiziert werden können, ist die Temperatur der Außenluft

der entscheidende Faktor bei der Bewertung der thermophysiologischen Belastung der Bewohner. Entsprechend spiegelt die Beurteilung des Bioklimas weniger die thermische Beanspruchung des Menschen im Freien wider, als vielmehr die positive Beeinflussbarkeit des nächtlichen Innenraumklimas. Für die Siedlungsräume ist die mögliche Überwärmung und somit die Bildung einer urbanen Wärmeinsel (UHI, engl.: urban heat island) der entscheidende Faktor, weshalb die Untergliederung der Siedlungsflächen anhand der nächtlichen Lufttemperatur vorgenommen wird (Tabelle 35).

Die Bewertung der nächtlichen Schlaftemperatur erfolgt zum einen unter der Annahme, dass eine für den Menschen optimale Schlafumgebungstemperatur zwischen 16 und 18 °C liegt (UBA 2015) und folgt zum anderen der Definition einer Tropennacht, in der die Lufttemperatur (außen) nicht unter 20 °C absinkt und als besonders belastend für den menschlichen Organismus gilt (u. a. UBA 2015).

Tabelle 35: Bewertung der nächtlichen Überwärmung im Siedlungsraum

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

4.1.2.3 Klimaanalyse Tagsituation

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

Für die PET existiert in der VDI-Richtlinie 3787, Blatt 9 eine absolute Bewertungsskala, die das thermische Empfinden und die physiologischen Belastungsstufen quantifizieren (z. B. Starke Wärmebelastung ab PET 35 °C; VDI 2004). Ein PET-Wert zwischen 18 °C und 23 °C beschreibt ein Temperaturempfinden, das als behaglich bezeichnet wird. Die Bewertung der thermischen Belastung im Untersuchungsgebiet für die Tagsituation orientiert sich daher an dieser Skala (Tabelle 36).

Tabelle 36: Bewertung der thermischen Belastung anhand der PET

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

4.1.2.4 Gesamtbetrachtung

Das Ziel der Klimaanalyse ist es, eine klimatische Gesamtbetrachtung für das Untersuchungsgebiet zu treffen, auf deren Basis planungsrelevante Aussagen abgeleitet werden können. Dies wird für die Nacht- und Tagsituation mit der in den vorangegangenen Abschnitten dargestellten Methodik zur Erstellung der Klimaanalysekarten geleistet. Um aus diesen Einzelbetrachtungen eine thermische Gesamtbewertung abzuleiten, greift die Klimaanalysekarte *Gesamtbetrachtung* das nächtliche Kaltluftprozessgeschehen auf und geht zusätzlich auf die Wärmebelastung am Tage ein. Da insbesondere für Risikogruppen auch die Hitzebelastung am Tag eine wichtige Rolle spielt, wird diese zusammen mit der mangelnden nächtlichen Erholung in der Gesamtbetrachtung berücksichtigt.

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

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

Siedlungsraum (Wirkungsraum)

Der Siedlungsraum stellt in der anthropozentrischen Perspektive der Klimaanalyse den primären Wirkungsraum des stadtklimatischen Prozessgeschehens dar. Zur Beurteilung der Gesamtsituation in den Siedlungsräumen werden die Einzelergebnisse der Tag- und Nachtsituation aggregiert. Dies erfolgt über eine matrizenbasierte Verknüpfung der Bewertungsklassen

zu einem Gesamtergebnis. Die Klassifizierung der Gesamtsituation lässt sich dabei nach Tabelle 37 beschreiben:

Tabelle 37: Klassenbasierte Gesamtbewertung der thermischen Situation in Siedlungsräumen

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

Dabei werden für Wohn- und Gewerbeflächen separate Matrizen zur Verknüpfung genutzt. Bei Wohnflächen ist ein erholsamer Schlaf für die menschliche Gesundheit als besonders relevant anzusehen. Im Vergleich zur thermischen Belastung am Tage ist die Anpassungskapazität der Bevölkerung an Hitzestress in der Nacht grundsätzlich niedriger einzustufen. Daher geht die nächtliche Überwärmung stärker gewichtet in die Berechnung ein (Tabelle 38 links). Demgegenüber wird in der Berechnung der Gesamtsituation für Gewerbeflächen die Tagsituation stärker gewichtet (Tabelle 38 rechts). Gewerbeflächen werden vorwiegend tagsüber genutzt, sodass hier die thermische Belastung am Tage die entscheidende Rolle spielt (Arbeit im Freien, Arbeitswege, Innenraumklima, etc.).

Tabelle 38: Matrix zur Verknüpfung der Bewertung von Tag- und Nachtsituation bei Wohnflächen (links) sowie bei Gewerbeflächen (rechts).

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

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

Grün- und Freiflächen (Ausgleichsräume)

Im Gegensatz zu den Einzelbetrachtungen der Klimaanalysekarten für die Tag- und die Nachtsituation stehen in der Gesamtbetrachtung die stadtklimatische Bedeutung von Grünflächen sowie die Ableitung deren Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderungen im Mittelpunkt. Zur Bewertung der klimaökologischen Charakteristika im Hinblick auf planungsrelevante Belange bedarf es einer Analyse der vorhandenen Wirkungsraum-Ausgleichraum-Systeme im Untersuchungsgebiet. Kaltluft, die während einer Strahlungsnacht innerhalb der Grünflächen

entsteht, kann nur dann von planerischer Relevanz sein, wenn den Flächen ein entsprechender Siedlungsraum zugeordnet ist, der von ihren Ausgleichsleistungen profitieren kann. Für die Bewertung der bioklimatischen Bedeutung von Grünflächen wird ein teilautomatisiertes Verfahren angewendet, welches im Fachbericht der Klimaanalyse NRW im Detail beschrieben wird (LANUV 2018_A).

Die Grünflächen werden für die Tag- und Nacht-Situation getrennt bewertet und in vier Stufen von *geringe* bis *sehr hohe bioklimatische Bedeutung* eingeteilt. Analog zu den Siedlungsräumen wird für die Gesamtbetrachtung eine fünfte Stufe zur besseren Differenzierung der Grünflächen eingeführt. Die Bewertung der Gesamtsituation erfolgt nach demselben Schlüssel wie bei den Siedlungsräumen, d. h. die Bedeutung in der Nacht wird stärker gewichtet als am Tag (Tabelle 40). Die Klassifizierung der Gesamtsituation lässt sich dabei nach Tabelle 39 beschreiben:

Tabelle 39: Klassenbasierte Gesamtbewertung der thermischen Ausgleichfunktion von Grün- und Freiflächen

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

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

Tabelle 40: Matrix zur Verknüpfung der Bewertung von Tag- und Nachtsituation bei Grünflächen

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

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

4.1.2.5 Klimawandel-Vorsorgebereiche

Die bisherigen methodischen Beschreibungen zur Klimaanalyse NRW mit den Klimaanalysekarten *Nachtsituation*, *Tagsituation* und *Gesamtbetrachtung* beziehen sich auf die Bewertung der thermischen Verhältnisse in der Ist-Situation. Darüber hinaus werden in den Karten auch Klimawandel-Vorsorgebereiche dargestellt, die veranschaulichen sollen, welche Auswirkungen durch den fortschreitenden Klimawandel hinsichtlich der bioklimatischen Belastung der Bevölkerung in NRW zu erwarten sind. Somit kann die Bedeutung von Planungsaussagen für diese Flächen gesteigert bzw. die Information in die Priorisierung zur Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen mit einbezogen werden (VDI 2015).

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

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

In der zusammenfassenden Gesamtbetrachtung, die anders als die Klimaanalysekarten fünf anstatt vier Belastungsklassen umfasst, werden nicht nur die Flächen als Vorsorgebereiche dargestellt, die durch einen Temperaturaufschlag neu in die höchste Belastungsklasse (Klasse 5) aufsteigen, sondern auch die Flächen, die neu in der zweithöchsten Belastungsklasse (Klasse 4) einzuordnen sind. Für die Ableitung der Klimawandel Vorsorgebereiche in der Gesamtbetrachtung wird entsprechend der Bewertungsmethodik für die thermische Belastung

das matrixbasierte Bewertungsschema (Tabelle 38) angewendet. Als Basis dienen jedoch die „beaufschlagten“ Klassen der Klimaanalyse von Tag- und Nachtsituation.

4.1.2.6 Berechnung der Anzahl der betroffenen Bevölkerung

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

Die Bevölkerungsdichte wurde ermittelt, in dem die Anzahl der Einwohner einer Gemeinde (Daten: IT NRW, Stand: 31.12.2017) ins Verhältnis zur jeweiligen Siedlungsfläche gesetzt wurde. Zur Siedlungsfläche zählen dabei sowohl Wohn- als auch Gewerbe und Industrieflächen. Anschließend wurden zur Auswertung der jeweiligen Betroffenenzahlen in den einzelnen Belastungsklassen für jede Gemeinde die Flächengröße der jeweiligen Klasse mit der gemeindespezifischen Bevölkerungsdichte je Hektar Siedlungsfläche multipliziert.

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

4.1.2.7 Abgrenzung von Bereichen mit überörtlicher Bedeutung

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

Die Abgrenzung und räumliche Konkretisierung von Bereichen mit überörtlicher klimaökologischer Bedeutung erfolgt dabei aus der Perspektive der landesweiten Betrachtung der Klimaanalyse NRW. Grundlage hierfür sind die landesweit verfügbaren Ergebnisse und Daten der Studie sowie die Verwendung einheitlicher Kriterien und Parameter. Die so identifizierten Bereiche mit regional bedeutsamen klimaökologischen Funktionen bzw. Funktionsstörungen im Teilplangebiet MK-OE-SI sind daher durch die landesweite Perspektive der Untersuchung und dem damit verbundenen Maßstab und Detaillierungsgrad mit einem gewissen Abstraktions-

grad verbunden. Sie sind als Hinweise und klimafachliche Hilfestellung für die regionale Planung zu verstehen. Im Einzelfall ist die Frage, ob eine überörtliche klimaökologische Bedeutung vorliegt, vor Ort genauer zu untersuchen.

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

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

Als Voraussetzung für Bereiche, welche im regionalen Maßstab als bedeutsam anzusehen sind, die also ein regionalplanerisches Eingreifen rechtfertigen und erfordern, wird dabei in der Regel die Kombination einer erheblichen klimaökologischen Bedeutung (Belastung oder Ausgleichsfunktion) sowie einer im landesweiten Maßstab großen Betroffenenzahl angesehen. Die entsprechenden Betroffenenzahlen werden näherungsweise ermittelt durch die Verschneidung der jeweiligen Flächen mit der gemeindespezifischen Bevölkerungsdichte (4.1.2.6).

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

Überörtlich bedeutsamen Bereichen mit nächtlicher Überwärmung

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

Zur Einordnung der Betroffenenzahlen wird das NRW-weite 85 %-Quantil herangezogen. Das bedeutet, dass eine überörtliche Bedeutung der Belastung in der Nacht für die Gemeinden angenommen wird, die zu den 15 % der Städte in NRW mit der größten Zahl von Betroffenen in der höchsten Belastungskategorie zählen. Bei 185 Gemeinden in NRW, die in der Nacht Bereiche mit einer starken Überwärmung aufweisen, ergibt sich demnach eine überörtliche

Bedeutung dieser Belastung für die 28 Kommunen mit den meisten Betroffenen. Im Ergebnis sind dies alle Städte mit mehr als 8.000 Betroffenen in der höchsten Belastungsklasse.

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

Ortslagen mit überörtlich bedeutender Überhitzung am Tag

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

Kaltluft-Leitbahnen mit überörtlicher Bedeutung samt der ihnen zuzuordnenden Einzugsgebiete

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

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

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

Bioklimatischen Gunsträumen mit überörtlicher Bedeutung am Tag

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

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

Grundprämisse ist hierbei, dass je mehr Einwohner von Belastungen betroffen sind, desto mehr Ausgleichsflächen zur Belastungsminderung erforderlich sein müssen, sodass die Belastungen in der Grundtendenz nicht mehr von den betroffenen Kommunen allein zu bewältigen sind und somit ein überörtlicher, regionaler Handlungsbedarf besteht. Gleichzeitig nimmt mit der Anzahl der Betroffenen auch die Dringlichkeit von Maßnahmen kontinuierlich zu.

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

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

Darüber hinaus ist darauf hinzuweisen, dass auch zahlreiche Bereiche, die nicht als überörtlich bedeutsam eingestuft wurden, über besonders hohe Belastungen oder Ausgleichspotenziale verfügen können. Deren klimaökologische Bedeutung ist nicht zwangsläufig geringer ausgeprägt oder von einer geringeren Priorität gekennzeichnet als die der überörtlich bedeutsamen

Bereiche. Es wird jedoch nach der hier beschriebenen Methodik angenommen, dass in diesen Fällen die kommunale Planung und nicht die Regionalplanung zuständig ist.

4.1.3 Ergebnisse der Klimaaanalyse für das Teilplangebiet MK-OE-SI

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Klimaaanalyse für das Regionalplanteilgebiet Märkischer Kreis, Kreis Olpe und Kreis Siegen-Wittgenstein beschrieben. Exemplarisch werden dabei die Aussagen der jeweiligen Arbeitsschritte kartographisch dargestellt. Neben Karten für das gesamte Teilplangebiet werden, mit dem Ziel einer besseren Lesbarkeit, die Klimawandel-Vorsorgebereiche ebenso separat abgebildet wie beispielhafte Kartenausschnitte mit den Ergebnissen für den Bereich Iserlohn in einem größeren Maßstab. Hierdurch sollen die Details der Klimaaanalyse und ihrer Parameter besser veranschaulicht werden. Der Bezirksregierung Arnsberg werden alle Karten zusätzlich auch digital in einer hochauflösenden Qualität sowie als editierbare Projektdateien für die Bearbeitung in Geoinformationssystemen übergeben.

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

4.1.3.1 Klimaaanalyse Nachtsituation

Die Ergebnisse der Klimaaanalyse für die Nachtsituation (Methodik siehe Kapitel 4.1.2.2) im Teilplangebiet MK-OE-SI geben Aufschluss über den Kaltluftvolumenstrom um 4 Uhr morgens und damit die thermische Ausgleichsfunktion des Freiraums, die damit verbundenen Einwirkbereiche der Kaltluft in den Siedlungsraum sowie dessen thermische Belastung (nächtliche Überwärmung) (siehe beispielhaft Detailausschnitt Iserlohn, Abbildung 45)

Dabei wird deutlich, dass in der Planungsregion die nächtliche Überwärmung insgesamt und damit vor allem auch im Vergleich zu anderen Landesteilen Nordrhein-Westfalens nur sehr gering ausgeprägt ist (Abbildung 43). Hier wirken sich die vergleichsweise geringe Siedlungsdichte und Flächenversiegelung im Plangebiet positiv aus.

Siedlungsbereiche mit einer starken Überwärmung sind im Plangebiet nicht auszumachen, und auch eine mäßige Überwärmung beschränkt sich auf einzelne größere Städte, insbesondere im Norden des Teilplangebietes im Märkischen Kreis (Menden, Iserlohn, Werdohl) sowie in Siegen. Im Norden des Märkischen Kreises befinden sich im Freiraum zudem auch die Bereiche mit den höchsten Kaltluftabflüssen des Plangebietes.

Bei näherer Betrachtung des Siedlungsraums (Wohn-, Gewerbe- und Industrieflächen) in der Nachtsituation zeigt sich, dass für mehr als 87 % der Bevölkerung (ca. 723.300 Menschen) und knapp 90 % der Siedlungsfläche bei der angenommenen sommerlichen Wetterlage keine nächtliche Überwärmung besteht (Temperatur unter 17 °C). Etwa 11 % der Bevölkerung sind von einer schwachen Belastung betroffen (ca. 90.500 Menschen), nur 1,5 % sind in der Nacht

einer mäßigen nächtlichen Überwärmung ausgesetzt (12.400. Betroffene). Eine als stark einzuschätzende Belastung ($> 20\text{ °C}$ Lufttemperatur) tritt in der Nachtsituation im Plangebiet unter den dem Modell zu Grunde liegenden Bedingungen nicht auf (Tabelle 41).

Die Gemeinde mit der größten Anzahl an Menschen, die von einer mäßigen Belastung in der Nacht betroffen sind, ist Menden (ca. 4.900 Menschen), gefolgt von Iserlohn (ca. 4.300), Werdohl (1.200) und Siegen (ca. 1.000) (Tabelle 42).

Tabelle 41: Klimaanalyse Nachtsituation - Anzahl der betroffenen Bevölkerung und der Siedlungsfläche im Teilplangebiet MK-OE-SI (Werte Bevölkerung gerundet)

Nächtliche Überwärmung	Anzahl betroffene Bevölkerung (Anteil Gesamtbevölkerung)	betroffene Siedlungsfläche in km ² (Anteil gesamte Siedlungsfläche)
keine ($\leq 17\text{ °C}$)	723.300 (87,5 %)	293,0 (89,6 %)
schwach (> 17 bis $18,5\text{ °C}$)	90.500 (11,0 %)	30,4 (9,3 %)
mäßig ($> 18,5$ bis 20 °C)	12.400 (1,5 %)	4,1 (1,2 %)
stark ($> 20\text{ °C}$)	0 (0 %)	0 (0 %)

Tabelle 42: Klimaanalyse Nachtsituation - Anzahl der betroffenen Bevölkerung und der Siedlungsfläche mit mäßiger thermischer Belastung nach Gemeinden (Werte Bevölkerung gerundet)

Gemeinde	Anzahl betroffene Bevölkerung (Anteil Gesamtbevölkerung)	betroffene Siedlungsfläche in km ² (Anteil gesamte Siedlungsfläche)
Menden (Sauerland)	4.900 (9,2 %)	1,7 (9,2 %)
Iserlohn	4.300 (4,6 %)	1,2 (4,6 %)
Werdohl	1.200 (6,7 %)	0,4 (6,7 %)
Siegen	1.000 (1,0 %)	0,3 (1,0 %)
Hemer	500 (1,5 %)	0,2 (1,5 %)
Plettenberg	300 (1,1 %)	0,1 (1,1 %)
Altena	200 (1,3 %)	0,1 (1,3 %)

Abbildung 44 zeigt beispielhaft für den Bereich Iserlohn / Menden / Hemer und südlich angrenzende Gemeinden im Märkischen Kreis, wie sich Situation durch den Klimawandel etwa bis zur Mitte des Jahrhunderts entwickeln könnte. Dabei wird einerseits der Status quo dargestellt, und andererseits die heutige Situation der starken nächtlichen Überwärmung um die Klimawandel-Vorsorgebereiche erweitert (siehe Kapitel 4.1.2.5), also jene Siedlungsbereiche, die bei einem pauschalen Temperaturaufschlag von 1 K zusätzlich der höchsten nächtlichen Belastungsklasse zuzuordnen wären (starke nächtliche Überwärmung, $> 20\text{ °C}$). Insbesondere in einigen Bereichen von Menden und Iserlohn wird sich die Problematik der thermischen Belastung in der Nacht zukünftig verstärken.

Im Freiraum ist im Teilplangebiet MK-OE-SI nachts ein Großteil der Flächen von einem mittleren Kaltluftvolumenstrom (zwischen 300 und 1.500 m³/s) geprägt (ca. 1.900 km² bzw. etwa 73 % aller Flächen im Freiraum). Ein hoher Kaltluftvolumenstrom (zwischen 1.500 und 2.700 m³/s) wurde für 22 % aller Flächen im Freiraum berechnet (ca. 600 km²). Einen sehr hohen nächtlichen Kaltluftvolumenstrom von mehr als 2.700 m³/s weisen noch 90 km² und damit etwa 3 % aller Flächen des Freiraums in der Region auf. Nur gut 1 % aller Freiraumflächen verfügen lediglich über einen geringen Kaltluftvolumenstrom von weniger als 300 m³/s (30 km²).

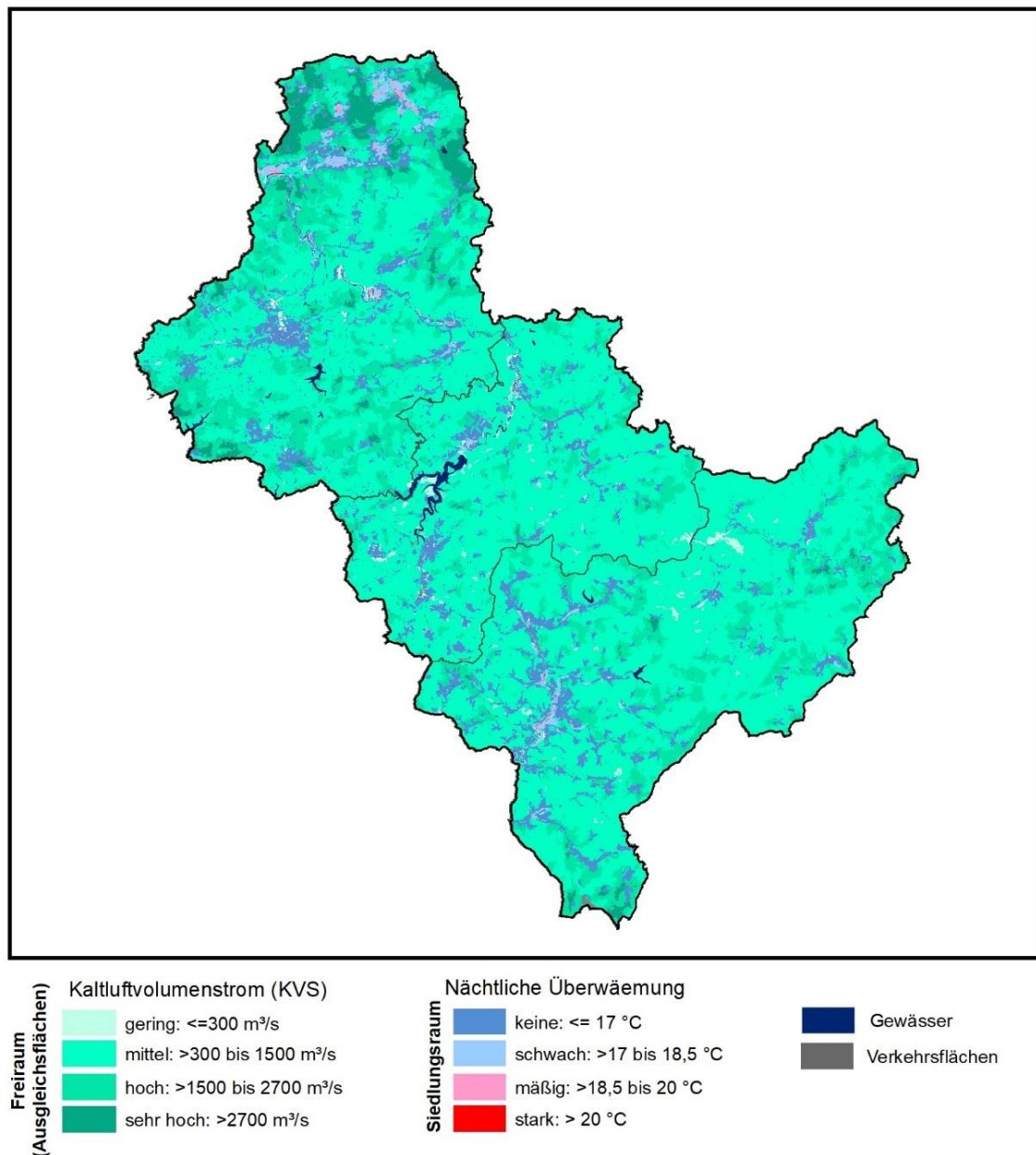
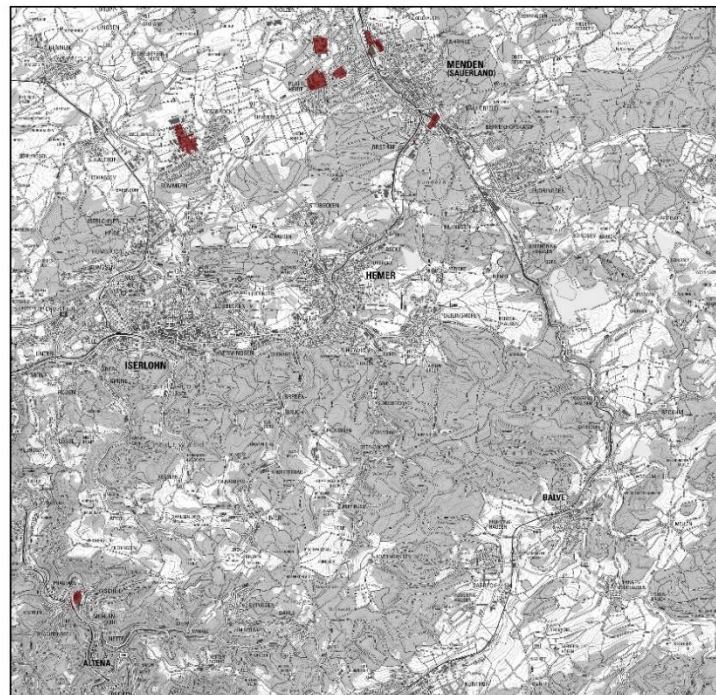


Abbildung 43: Klimaanalyse Nachtsituation (Kartengrundlage: Land NRW (2017) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)



Starke Überwärmung: Aktuelle Situation (Nacht)

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



Starke Überwärmung: Zukünftige Situation* (Nacht)

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

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

Abbildung 44: Klimanalyse Nachtsituation – Klimawandel-Vorsorgebereiche (Detailausschnitt) (Kartengrundlage: Land NRW (2017) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)

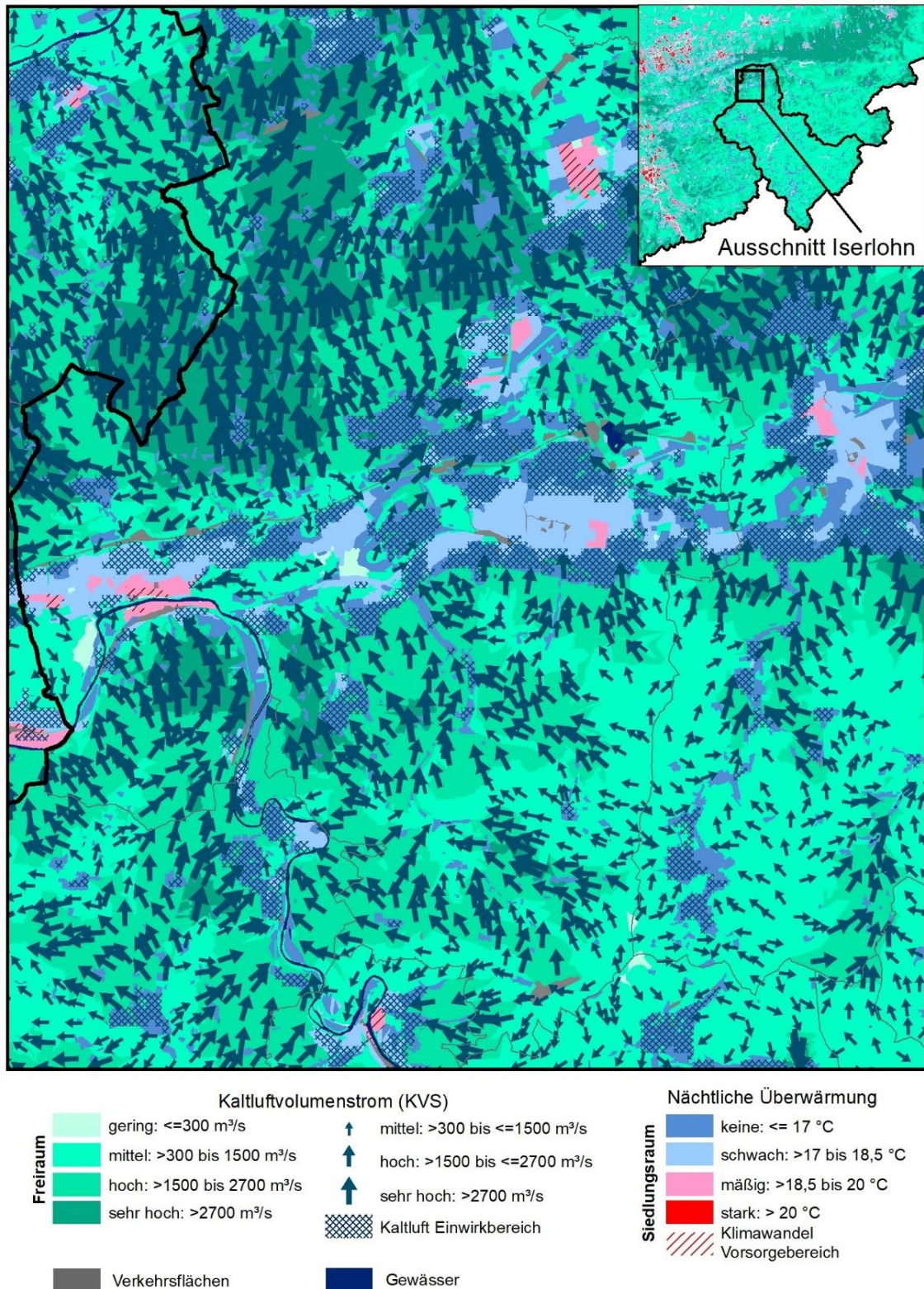


Abbildung 45: Klimaanalyse Nachtsituation – Detailausschnitt Iserlohn (Kartengrundlage: Land NRW (2017) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)

4.1.3.2 Klimaanalyse Tagsituation

Für die Tagsituation (15 Uhr) liefert die Klimaanalyse sowohl für den Freiraum als auch für den Siedlungsraum Ergebnisse zur thermischen Belastung (siehe Kapitel 4.1.2.3), die im Gegensatz zur Nachtsituation in der physiologisch äquivalenten Temperatur (PET) angegeben wird und somit weitere meteorologische Parameter wie die Sonneneinstrahlung bzw. Verschattung berücksichtigt (siehe beispielhaft Detailausschnitt Iserlohn, Abbildung 48).

Die kartographische Darstellung der Ergebnisse der Klimaanalyse zeigt deutlich, dass im Gegensatz zur Nachtsituation am Tage weite Teile des Siedlungsraums im Plangebiet von einer starken thermischen Belastung betroffen sind (zwischen 35 und 41 °C PET) (**Abbildung 46**). Auch wenn einige Schwerpunktbereiche erkennbar sind (im Norden des Märkischen Kreises, Kreuztal / Siegen), ist die Belastung im Gegensatz zu der Nachtsituation nicht auf einzelne Bereiche in den größeren Städten konzentriert, sondern tritt auch in eher kleineren Gemeinden der Region auf. Eine extreme thermische Belastung am Tage betrifft im Plangebiet, im Gegensatz zu vielen anderen Regionen in NRW, jedoch nur sehr wenige Menschen. Im Freiraum zeigt sich in weiten Teilen eine insgesamt geringe thermische Belastung, was auf den hohen Waldanteil im Plangebiet zurückzuführen ist. Während grundsätzlich z. B. viele landwirtschaftlich genutzte Freiräume eine hohe thermische Belastung aufweisen, ist in Waldbereichen am Tage durch eine hohe Verschattung die physiologisch äquivalente Temperatur deutlich geringer.

Im Siedlungsraum ist mit etwa 400.000 Menschen knapp die Hälfte der Bevölkerung (ca. 48 %) bei sommerlichen Wetterlagen von einer starken thermischen Belastung am Tag betroffen. Etwa 46 % der gesamten Siedlungsfläche der Region (ca. 150 km²) sind dieser Belastungskategorie zuzuordnen (Tabelle 43). Hinzu kommen etwa 360.000 Menschen (ca. 43 % der Gesamtbevölkerung), die einer mäßigen thermischen Belastung ausgesetzt sind (45,5 % der Siedlungsfläche, ca. 149 km²). Eine nur schwache thermische Belastung am Tage ist für etwa 8 % aller Siedlungsflächen zu konstatieren, wovon knapp 70.000 Menschen betroffen sind. Unter einer extremen thermischen Belastung am Tage von mehr als 41 °C PET leiden unter den beschriebenen Bedingungen weniger als 1 % der Bevölkerung (5.300 Menschen, 0,5 % der gesamten Siedlungsfläche)

Tabelle 43: Klimaanalyse Tagsituation - Anzahl der betroffenen Bevölkerung und der Siedlungsfläche im Teilplangebiet MK-OE-SI (Werte Bevölkerung gerundet)

thermische Belastung	Anzahl betroffene Bevölkerung (Anteil Gesamtbevölkerung)	betroffene Siedlungsfläche in km ² (Anteil gesamte Siedlungsfläche)
schwach (≤29 °C PET)	68.200 (8,3 %)	27,4 (8,4 %)
mäßig (>29 bis 35 °C PET)	358.600 (43,4 %)	148,7 (45,5 %)
stark (>35 bis 41 °C PET)	394.100 (47,7 %)	149,7 (45,8 %)
extrem (>41 °C PET)	5.300 (0,6 %)	1,7 (0,5 %)

Mit Iserlohn und Siegen weisen die beiden bevölkerungsreichsten Städte der im Teilplangebiet MK-OE-SI auch die größte Anzahl von Menschen auf, die von starker oder extremer thermischer Belastung am Tage betroffen sind (Iserlohn: ca. 76.000 Menschen; Siegen: 54.100 Menschen), gefolgt von Menden (ca. 45.900) und Hemer (23.400) (Tabelle 44). Auch kleinere Gemeinden wie Neuenrade (73,7 %) können dabei besonders hohe Anteile aller Einwohner in diesen beiden höchsten Belastungsklassen am Tage aufweisen.

Tabelle 44: Klimaanalyse Tagsituation - Anzahl der betroffenen Bevölkerung und der Siedlungsfläche mit starker oder extremer thermischer Belastung nach Gemeinden (Werte Bevölkerung gerundet)

Gemeinde	Anzahl betroffene Bevölkerung (Anteil Gesamtbevölkerung)	betroffene Siedlungsfläche in km ² (Anteil gesamte Siedlungsfläche)
Iserlohn	76.000 (81,8 %)	21,7 (81,8 %)
Siegen	54.100 (52,8 %)	16,4 (52,8 %)
Menden (Sauerland)	45.900 (86,5 %)	16,2 (86,5 %)
Hemer	23.400 (68,7 %)	8,1 (68,7 %)
Kreuztal	18.400 (59,2 %)	7,6 (59,2 %)
Lüdenscheid	15.700 (21,6 %)	4,3 (21,6 %)
Attendorn	13.500 (55,5 %)	5,7 (55,5 %)
Plettenberg	12.800 (50,2 %)	5,3 (50,2 %)
Lennestadt	10.100 (39,4 %)	4,5 (39,4 %)
Neuenrade	8.800 (73,7 %)	3,5 (73,7 %)

Abbildung 47 zeigt beispielhaft für die Tagsituation für einen Ausschnitt des Teilplangebietes im Märkischen Kreis die Gegenüberstellung der heutigen Situation mit dem Zustand, wie er bis etwa zur Mitte dieses Jahrhunderts zu erwarten ist (zusätzliche Darstellung der Klimawandel-Vorsorgebereiche). Dabei ist ersichtlich, dass die zukünftige Zunahme der thermischen Belastung durch den Klimawandel für die Tagsituation nicht auf die größeren Städte im Teilplangebiet beschränkt wäre. Die bis zur Mitte dieses Jahrhunderts voraussichtlich zusätzlich als extrem belastet zu bewertenden Bereiche sind relativ dispers im Planungsraum verteilt und liegen häufig auch am Siedlungsrand.

Im Freiraum sind am Tage etwa ein Viertel aller Flächen im Plangebiet von einer starken thermischen Belastung betroffen (ca. 600 km², 24 %). Als mäßig ist die thermische Belastung für 8 % aller Flächen (200 km²) im Freiraum einzuschätzen. Ein Großteil des Freiraums im Teilplangebiet weist lediglich eine schwache thermische Belastung am Tage auf (1.700 km², 68 %), was vor allem auf Waldbereiche zutrifft.

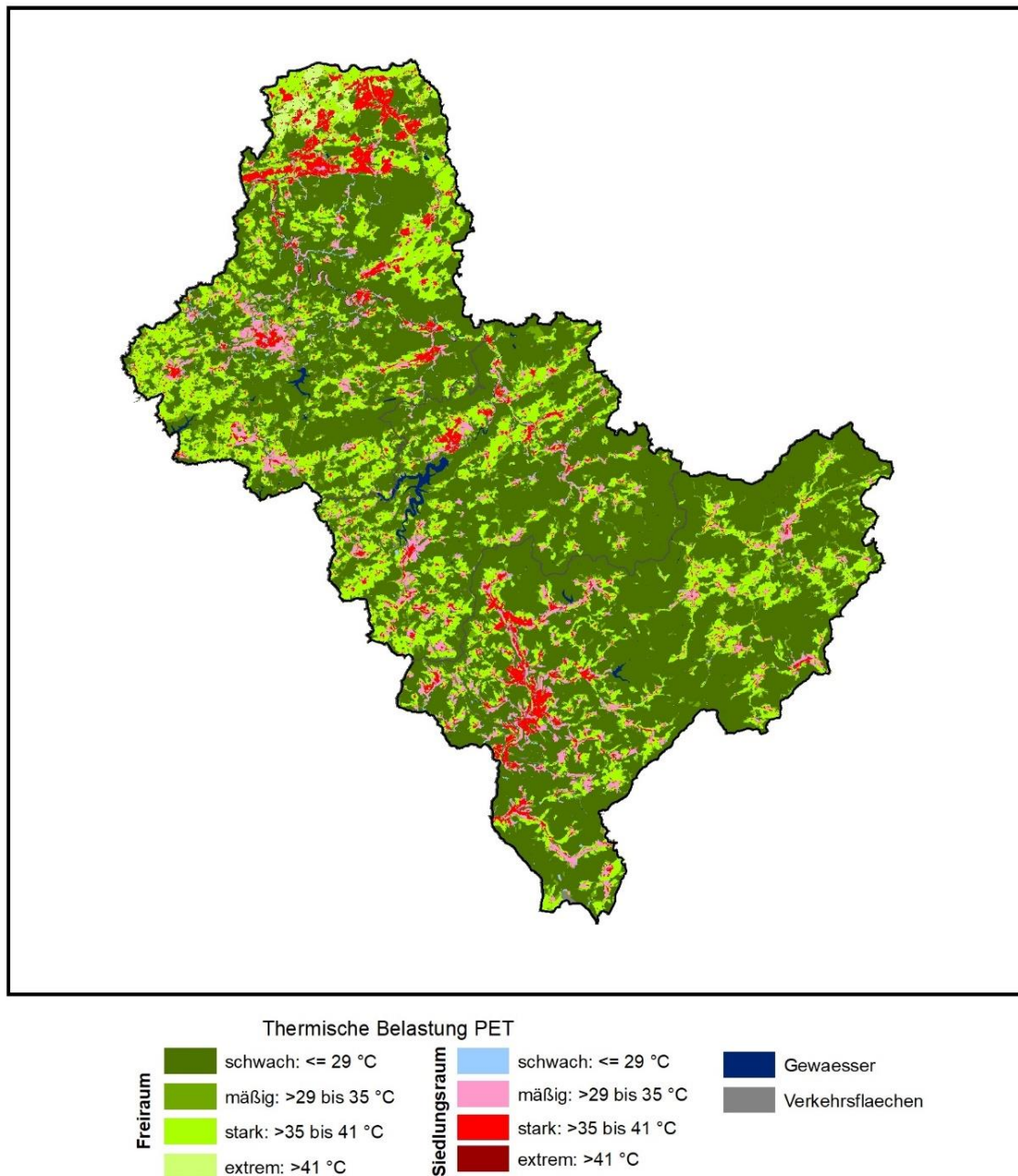
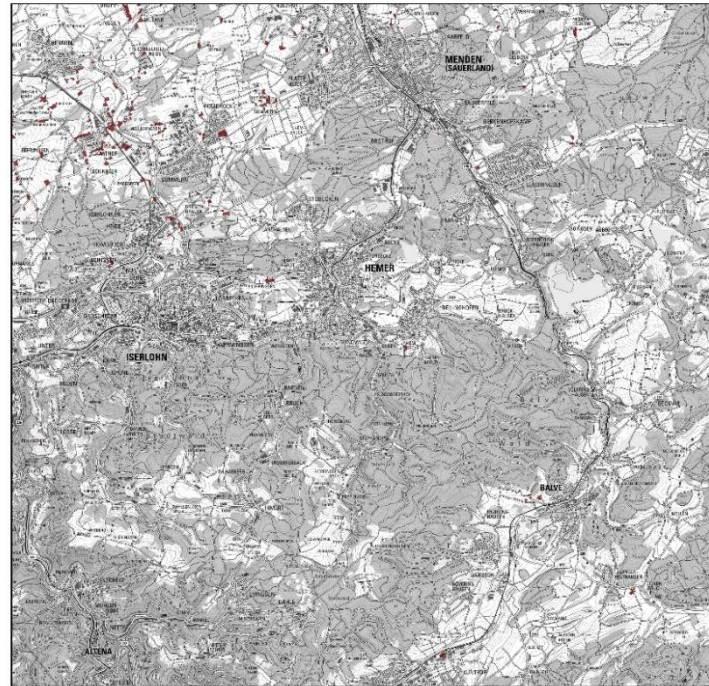
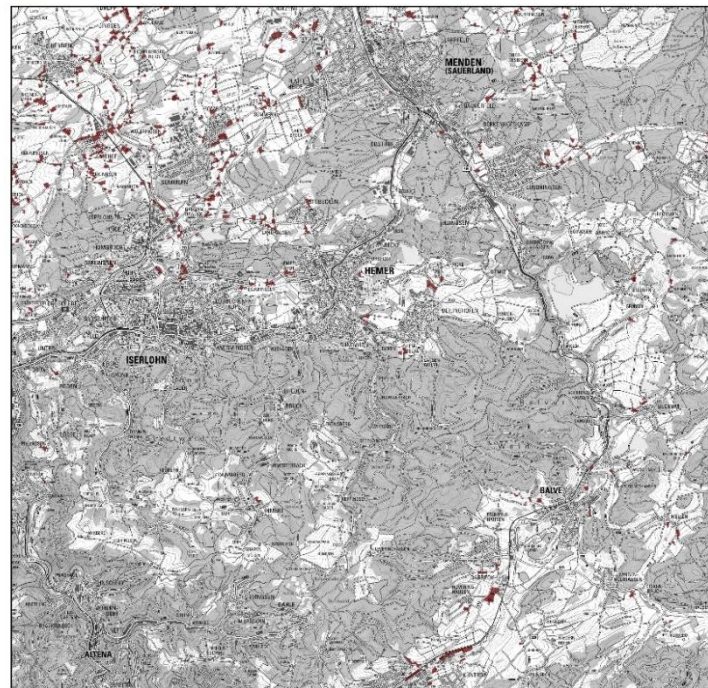


Abbildung 46: Klimaaanalyse Tagsituation (Kartengrundlage: Land NRW (2017) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)



Extreme thermische Belastung: Aktuelle Situation (Tag)

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



Extreme thermische Belastung: Zukünftige Situation* (Tag)

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

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

Abbildung 47: Klimaanalyse Tagsituation – Klimawandel-Vorsorgebereiche (Detailausschnitt) (Kartengrundlage: Land NRW (2017) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)

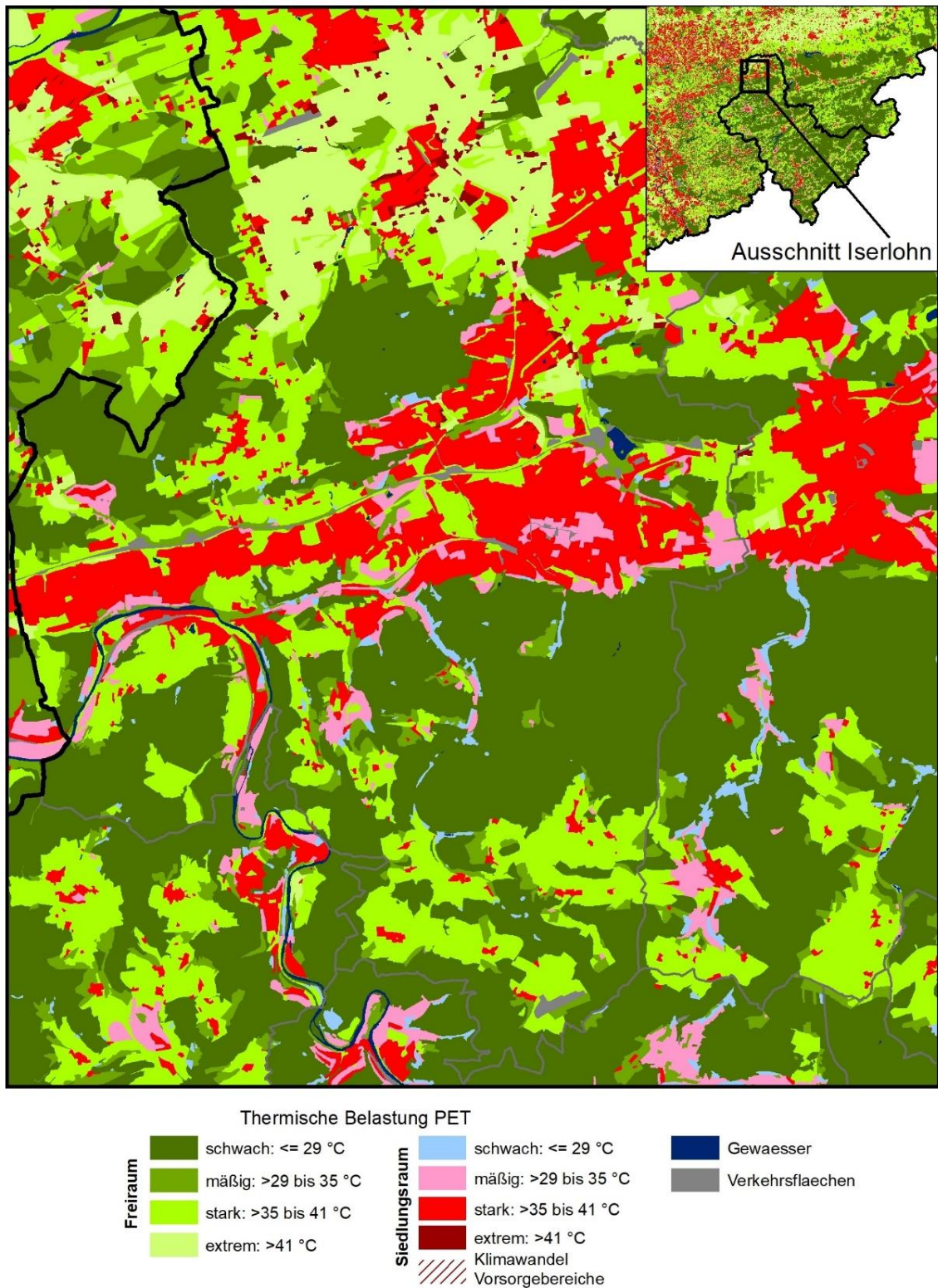


Abbildung 48: Klimaanalyse Tagsituation – Detailausschnitt Iserlohn (Kartengrundlage: Land NRW (2017) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)

4.1.3.3 Zusammenfassende Gesamtbetrachtung

Die zusammenfassende Gesamtbetrachtung der Klimaanalyse für das Teilplangebiet MK-OE-SI, in die sowohl die Tag- als auch die Nachtsituation einfließen (gewichtetes Bewertungsverfahren, siehe Kapitel 4.1.2.4), umfasst eine zusätzliche fünfte Klasse und bewertet die thermische Situation für den Siedlungsraum und für die Bereiche des Freiraums deren thermische Ausgleichsfunktion (siehe beispielhaft Detailausschnitt Iserlohn, Abbildung 51). Die größten thermischen Belastungen konzentrieren sich sowohl in ihrer flächigen Ausdehnung als auch in ihrer Intensität in der Gesamtbetrachtung vermehrt auf die größeren Städte, insbesondere im Norden des Märkischen Kreises (Iserlohn, Menden, Hemer) (Abbildung 49). Abgesehen davon ist der überwiegende Teil der Siedlungsflächen im Teilplangebiet aber durch eine günstige oder sogar sehr günstige thermische Situation gekennzeichnet. Eine sehr hohe thermische Ausgleichsfunktion kommt vor allem den Freiräumen am Rand größerer Siedlungsbereiche zu.

Eine sehr ungünstige thermische Situation tritt unter den beschriebenen Ausgangsbedingungen des Modells (sommerliche Strahlungswetterlage) im Teilplangebiet nicht auf. Für Siedlungsflächen im Umfang von lediglich etwa 1 km² (0,4 % der gesamten Siedlungsfläche) und damit für knapp 4.000 Menschen ist die thermische Situation als ungünstig zu bewerten (Tabelle 45). Knapp 14 % aller Menschen in der Region sind von einer weniger günstigen thermischen Situation betroffen (ca. 114.000 Menschen, 39,7 % aller Siedlungsflächen). Für etwa 86 % der Bevölkerung wird die thermische Situation auf Grundlage der Modellergebnisse der Klimaanalyse NRW als günstig oder sehr günstig eingeschätzt.

Tabelle 45: Klimaanalyse Gesamtbetrachtung - Anzahl der betroffenen Bevölkerung und der Siedlungsfläche im Teilplangebiet MK-OE-SI (Werte Bevölkerung gerundet)

Thermische Situation	Anzahl betroffene Bevölkerung (Anteil Gesamtbevölkerung)	betroffene Siedlungsfläche in km ² (Anteil gesamte Siedlungsfläche)
sehr günstig	320.700 (38,8 %)	134,0 (41,0 %)
günstig	387.400 (46,9 %)	152,5 (46,6 %)
weniger günstig	114.400 (13,8 %)	39,7 (12,2 %)
ungünstig	3.700 (0,4 %)	1,2 (0,4 %)
sehr ungünstig	0 (0 %)	0 (0 %)

In der Gesamtbetrachtung ist Menden die Stadt mit der größten Anzahl von Menschen, die bei sommerlichen Strahlungswetterlagen einer hohen thermischen Belastung ausgesetzt sind (ungünstige thermische Situation). Hiervon sind etwa 3 % der Bevölkerung der Stadt betroffen (ca. 1.700 Menschen). Iserlohn weist etwa 1.600 Einwohner in Siedlungsbereichen auf, deren thermische Situation als ungünstig zu bezeichnen ist, gefolgt von Hemer (ca. 200) (Tabelle 46).

Tabelle 46: Klimaanalyse Gesamtbetrachtung - Anzahl der betroffenen Bevölkerung und der Siedlungsfläche mit ungünstiger oder sehr ungünstiger thermischer Situation nach Gemeinden (Werte Bevölkerung gerundet)

Gemeinde	Anzahl betroffene Bevölkerung (Anteil Gesamtbevölkerung)	betroffene Siedlungsfläche in km ² (Anteil gesamte Siedlungsfläche)
Menden (Sauerland)	1.700 (3,2 %)	59,2 (3,2 %)
Iserlohn	1.600 (1,8 %)	46,5 (1,8 %)
Hemer	200 (0,6 %)	6,8 (0,6 %)

Die bislang sehr geringe Anzahl an Menschen im Teilplangebiet MK-OE-SI, die bei den typischen sommerlichen Bedingungen von einer ungünstigen oder sehr ungünstigen thermischen Situation betroffen sind, wird bis zur Mitte des Jahrhunderts durch den Klimawandel jedoch voraussichtlich deutlich ansteigen. So sind unter der pauschalen Annahme eines Temperaturanstieges von 1 K etwa 4 % aller Siedlungsflächen zusätzlich den beiden höchsten Belastungsklassen zuzuordnen (Tabelle 47). Hierdurch würde die Anzahl der betroffenen Menschen um mehr als 30.000 ansteigen.

Tabelle 47: Klimawandel-Vorsorgebereiche - Anzahl der betroffenen Bevölkerung und der Siedlungsfläche mit in Zukunft voraussichtlich ungünstiger oder sehr ungünstiger thermischer Situation (Werte Bevölkerung gerundet)

Thermische Situation	Anzahl betroffene Bevölkerung (Anteil Gesamtbevölkerung)	betroffene Siedlungsfläche in km ² (Anteil gesamte Siedlungsfläche)
ungünstig	32.000 (3,9 %)	11,1 (3,4 %)
sehr ungünstig	100 (<0,1 %)	<0,1 (<0,1 %)

Besonders betroffen von den Auswirkungen des Klimawandels sind die größeren Städte in der Region (Tabelle 48 und Tabelle 49). In Iserlohn würde sich unter den genannten Bedingungen die Anzahl der betroffenen Bevölkerung um etwa 10.200 (ungünstige thermische Situation) erhöhen. Aber auch in Menden, Siegen, Welter und Hemer ist zukünftig vermutlich eine größere Anzahl von Menschen zusätzlich von einer ungünstigen thermischen Situation betroffen. Die Auswertung zeigt jedoch auch, dass auch bei einer angenommenen Temperaturzunahme von + 1 K keine besonders große Anzahl von Menschen im Märkischen Kreis, im Kreis Olpe und im Kreis Siegen-Wittgenstein von einer sehr ungünstigen thermischen Situation betroffen wäre.

Tabelle 48: Klimawandel-Vorsorgebereiche - Anzahl der zusätzlich betroffenen Bevölkerung und der Siedlungsfläche mit in Zukunft voraussichtlich ungünstiger thermischer Situation nach Gemeinden (Werte Bevölkerung gerundet)

Gemeinde	Anzahl betroffene Bevölkerung (Anteil Gesamtbevölkerung)	betroffene Siedlungsfläche in km ² (Anteil gesamte Siedlungsfläche)
Iserlohn	10.200 (10,9 %)	2,9 (10,9 %)
Menden (Sauerland)	10.000 (18,9 %)	3,5 (18,9 %)
Siegen	4.200 (4,1 %)	1,3 (4,1 %)
Welter	2.500 (12,6 %)	1,2 (12,6 %)
Hemer	1.200 (3,5 %)	0,4 (3,5 %)
Wickede (Ruhr)	1.000 (5,0 %)	0,5 (5,0 %)
Plettenberg	800 (3,0 %)	0,3 (3,0 %)
Altena	400 (2,4 %)	0,2 (2,4 %)
Neuenrade	300 (2,2 %)	0,1 (2,2 %)
Balve	200 (2,1 %)	0,1 (2,1 %)

Tabelle 49: Klimawandel-Vorsorgebereiche - Anzahl der zusätzlich betroffenen Bevölkerung und der Siedlungsfläche mit in Zukunft voraussichtlich sehr ungünstiger thermischer Situation nach Gemeinden (Werte Bevölkerung gerundet)

Gemeinde	Anzahl betroffene Bevölkerung (Anteil Gesamtbevölkerung)	betroffene Siedlungsfläche in km ² (Anteil gesamte Siedlungsfläche)
Iserlohn	100 (0,1 % %)	<0,1 (<0,1 %)
Menden (Sauerland)	<100 (<0,1 %)	<0,1 (<0,1 %)
Werdohl	<100 (<0,1 %)	<0,1 (<0,1 %)

Im Vergleich zur aktuellen Situation wird sich die Anzahl der Menschen, die insbesondere von einer ungünstigen thermischen Situation betroffen sind, zukünftig deutlich erhöhen (Tabelle 50). So sind heute hiervon insgesamt lediglich etwa 3.600 Menschen im Plangebiet betroffen (weniger als 0,1 % der Gesamtbevölkerung), bei einer angenommenen Temperaturzunahme von +1 K ist bis zur Mitte des Jahrhunderts aber davon auszugehen, dass sich diese Zahl auf mehr als 32.000 Betroffene (etwa 4 % der Gesamtbevölkerung) erhöhen wird.

Tabelle 50: Ungünstige und sehr ungünstige thermische Situation (Gesamtbetrachtung) – Vergleich der aktuell betroffenen und der zukünftig* voraussichtlich betroffenen Bevölkerung (*bis etwa 2050, bei der Annahme eines Temperaturanstieges von +1 K; Werte Bevölkerung gerundet)

Thermische Situation	Aktuelle Situation Anzahl betroffene Bevölkerung (Anteil Gesamtbevölkerung)	Zukünftige Situation Anzahl betroffene Bevölkerung (Anteil Gesamtbevölkerung)
ungünstig	3.700 (<0,1 %)	32.000 (3,9 %)
sehr ungünstig	0 (0 %)	100 (>0,1 %)
Summe	3.700 (<0,1 %)	32.100 (3,9 %)

Die kartographische Darstellung der Vorsorgebereiche am Beispiel des Ausschnitts von Iserlohn / Menden und den südlich angrenzenden Gemeinden zeigt, dass die Siedlungsfläche, die bis zur Mitte dieses Jahrhunderts voraussichtlich zusätzlich von einer ungünstigen oder sogar sehr ungünstigen Situation betroffen sein wird, hier deutlich anwachsen wird (Abbildung 50). Die Vorsorgebereiche konzentrieren sich dabei räumlich ebenfalls verstärkt auf die stärker verdichteten Siedlungsschwerpunkte. Es ist davon auszugehen, dass insbesondere in urbanen Bereichen die thermische Belastung der Bevölkerung zukünftig eine deutlich größer werdende Herausforderung darstellen wird.

Die „höchste thermische Ausgleichsfunktion“ ist im Freiraum nur 0,1 % aller Flächen zuzuweisen (knapp 2 km²). Hierzu zählen insbesondere vegetationsgeprägte Freiflächen am Rande größerer Städte. Auch eine sehr hohe Ausgleichsfunktion weisen nur 0,4 % der Flächen im Freiraum auf (9 km²). Knapp die Hälfte aller Flächen im Freiraum (48 %) verfügt noch über eine hohe thermische Ausgleichsfunktion (ca. 1.200 km²). Während etwa 21 % der Flächen im Freiraum eine mittlere Bedeutung aufweisen, ist die Ausgleichsfunktion von knapp einem Drittel aller Freiraumbereiche als gering zu bewerten (30 %, ca. 800 km²). Eine mögliche Ursache für eine geringe thermische Ausgleichsfunktion kann auch darin liegen, dass die Flächen zwar einen nennenswerten Kaltluftabfluss aufweisen, von diesem jedoch keine besonders stark belasteten Siedlungsbereiche profitieren. Durch die Ausweisung neuer Siedlungsflächen kann sich daher auch die Bewertung von Freiflächen ändern. Freiflächen, denen bisher aufgrund ihrer derzeitigen Lage zu Siedlungsräumen keine größere Ausgleichsfunktion zugemessen wird, müssen für die planerische Bewertung hinzugenommen werden, wenn zukünftig von deren Ausgleichsfunktion neue Siedlungsbereiche profitieren können.

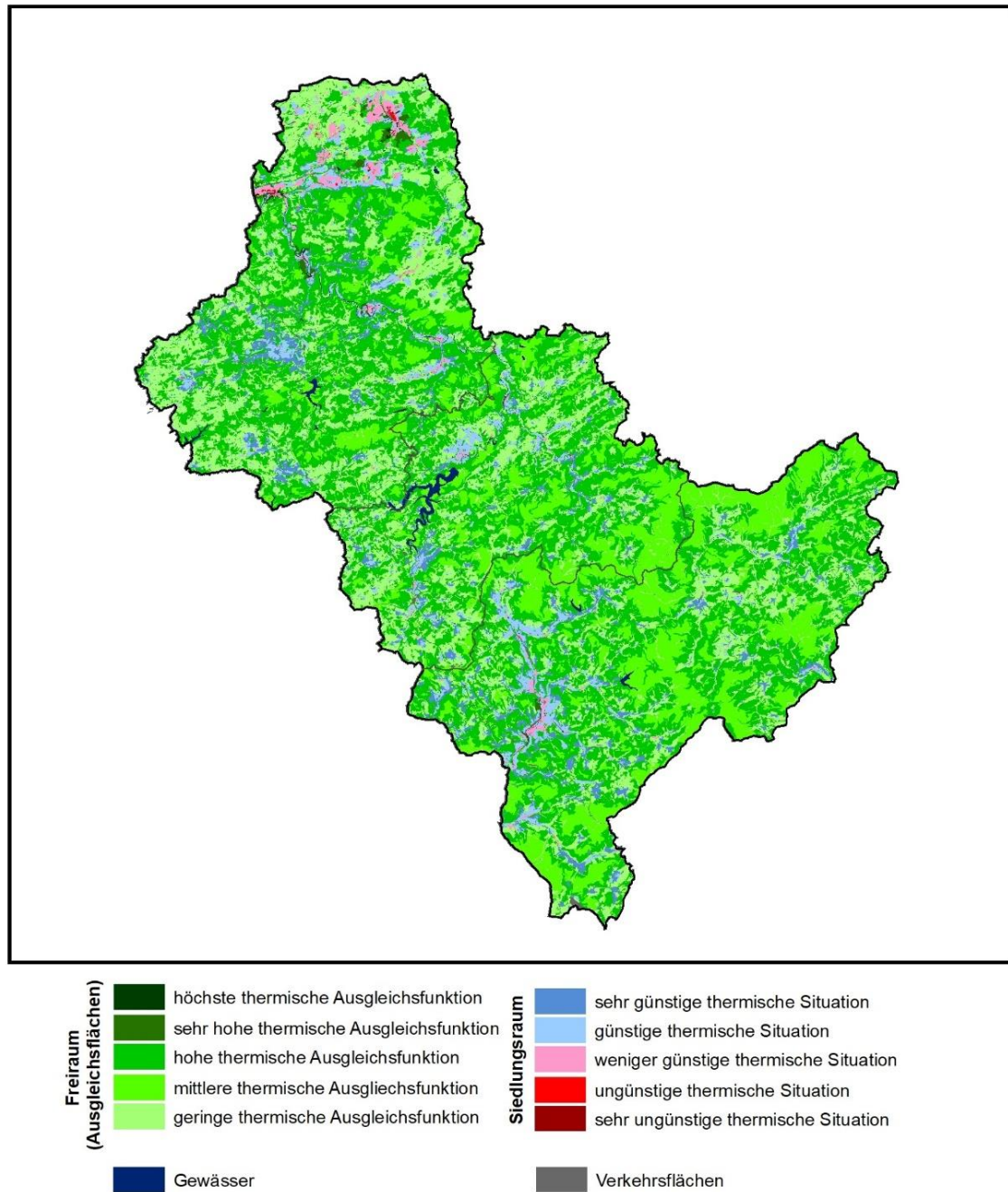
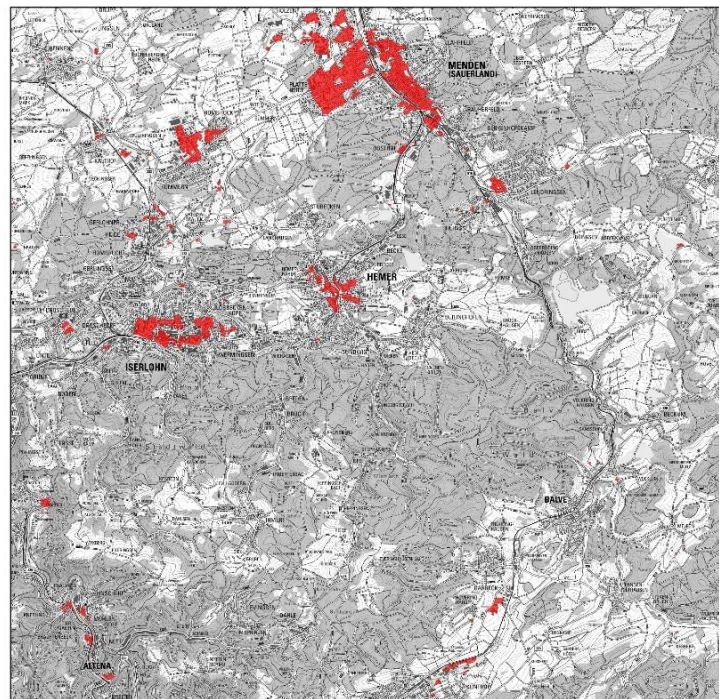


Abbildung 49: Klimaanalyse Gesamtbetrachtung (Kartengrundlage: Land NRW (2017) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)



Gesamtbetrachtung: Aktuelle Situation

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



Gesamtbetrachtung: Zukünftige Situation*

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

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

Abbildung 50: Klimaanalyse Gesamtbetrachtung – Klimawandel-Vorsorgebereiche (Detailausschnitt) (Kartengrundlage: Land NRW (2017) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)

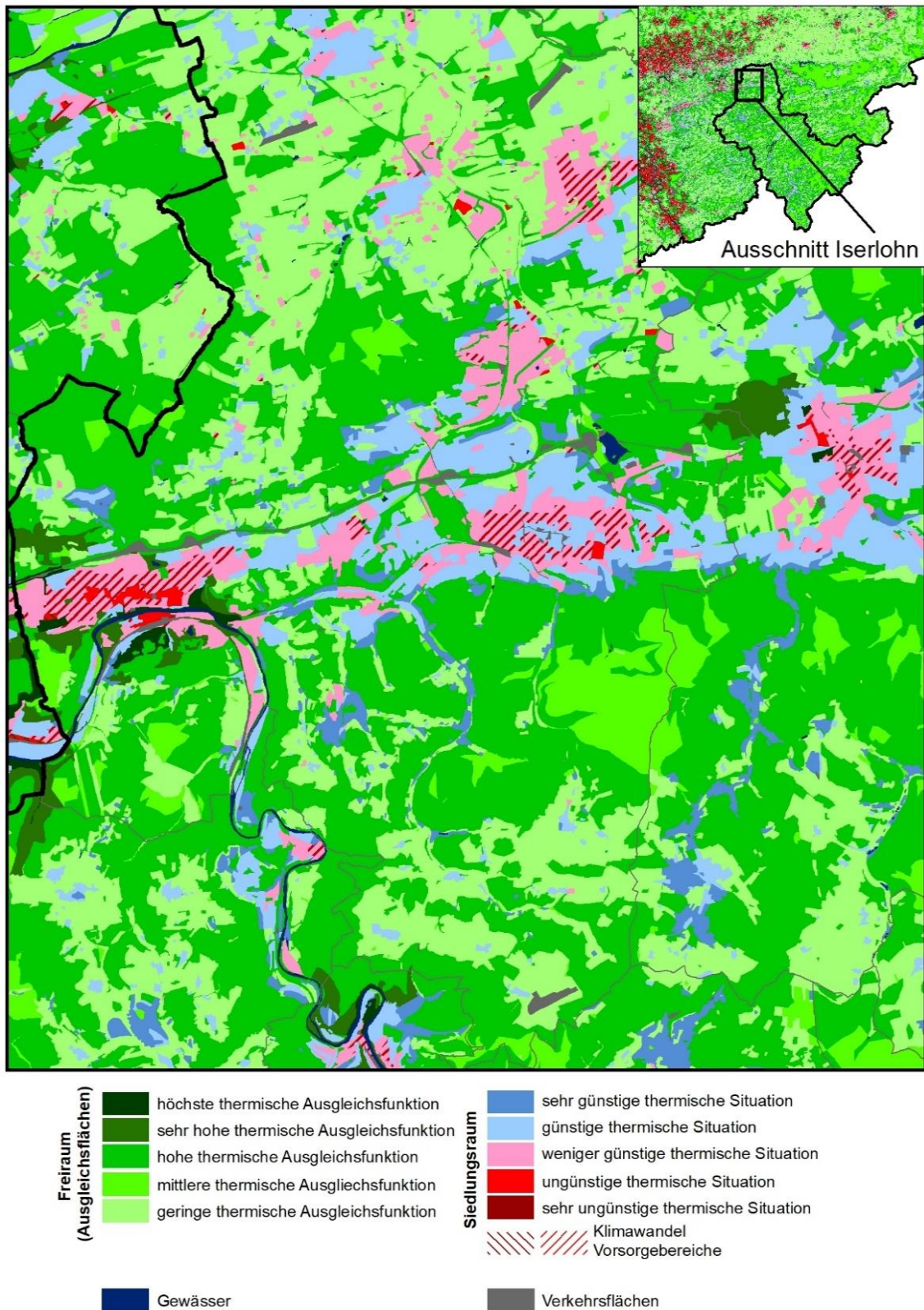


Abbildung 51: Klimaanalyse Gesamtbetrachtung – Detailausschnitt Iserlohn (Kartengrundlage: Land NRW (2017) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)

Planungshinweise

Für die verschiedenen Kategorien der zusammenfassenden Gesamtbetrachtung werden im Rahmen der Klimaanalyse grundsätzliche Planungsempfehlungen formuliert. Diese beschreiben unter anderem die Empfindlichkeit der Räume und Funktionen gegenüber Nutzungsintensivierungen und richten sich als klimafachliche Hinweise sowohl an die regionale als auch an die kommunale Planung.

Freiraum

Höchste bioklimatische Bedeutung

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

Sehr hohe bioklimatische Bedeutung

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

Hohe bioklimatische Bedeutung

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

Mittlere bioklimatische Bedeutung

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

Geringe bioklimatische Bedeutung

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

Siedlungsraum

Sehr günstige bioklimatische Situation

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

Günstige bioklimatische Situation

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

Weniger günstige bioklimatische Situation

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

Ungünstige bioklimatische Situation

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

Sehr ungünstige bioklimatische Situation

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

4.1.3.4 Klimaökologische Prozesse mit überörtlicher Bedeutung

Die Ergebnisse der Klimaanalyse für das Teilplangebiet MK-OE-SI werden in einem zusätzlichen Arbeitsschritt für die Ebene der Regionalplanung ausgewertet. Im Fokus steht dabei die Frage, welchen klimaökologischen Funktionen oder Belastungen eine überörtliche Bedeutung zugeschrieben werden kann, um Hinweise auf die Möglichkeit bzw. das Erfordernis einer regionalplanerischen Steuerung zu geben. Das Verfahren, das zur Ableitung einer überörtlichen klimaökologischen Bedeutung angewendet wird, ist detailliert in Kapitel 4.1.2.7 sowie in Anhang A2 beschrieben. Die identifizierten regional bedeutsamen Bereiche werden hinsichtlich

ihrer Priorität bzw. des Handlungsbedarfs weiter klassifiziert. Die wesentlichen Ergebnisse dieser Untersuchung sind für die Teilplangebiet MK-OE-SI in der Karte „Planungsempfehlungen Regionalplanung“ dargestellt (Abbildung 52).

Die Priorität bzw. der Handlungsbedarf von Siedlungsbereichen mit einer im überörtlichen Maßstab bedeutenden nächtlichen Überwärmung wird unterschieden in „vorhanden“ (mehr als 8.000 Betroffene), „hoch“ (mehr als 12.200 Betroffene) und „sehr hoch“ (mehr als 30.000 Betroffene). Für die tagsituation werder Belastungsräume, die eine Betroffenenanzahl von mehr als 70.000 Menschen (90 %-Quantil) aufweisen, als regional bedeutsam eingestuft.

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

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

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

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

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

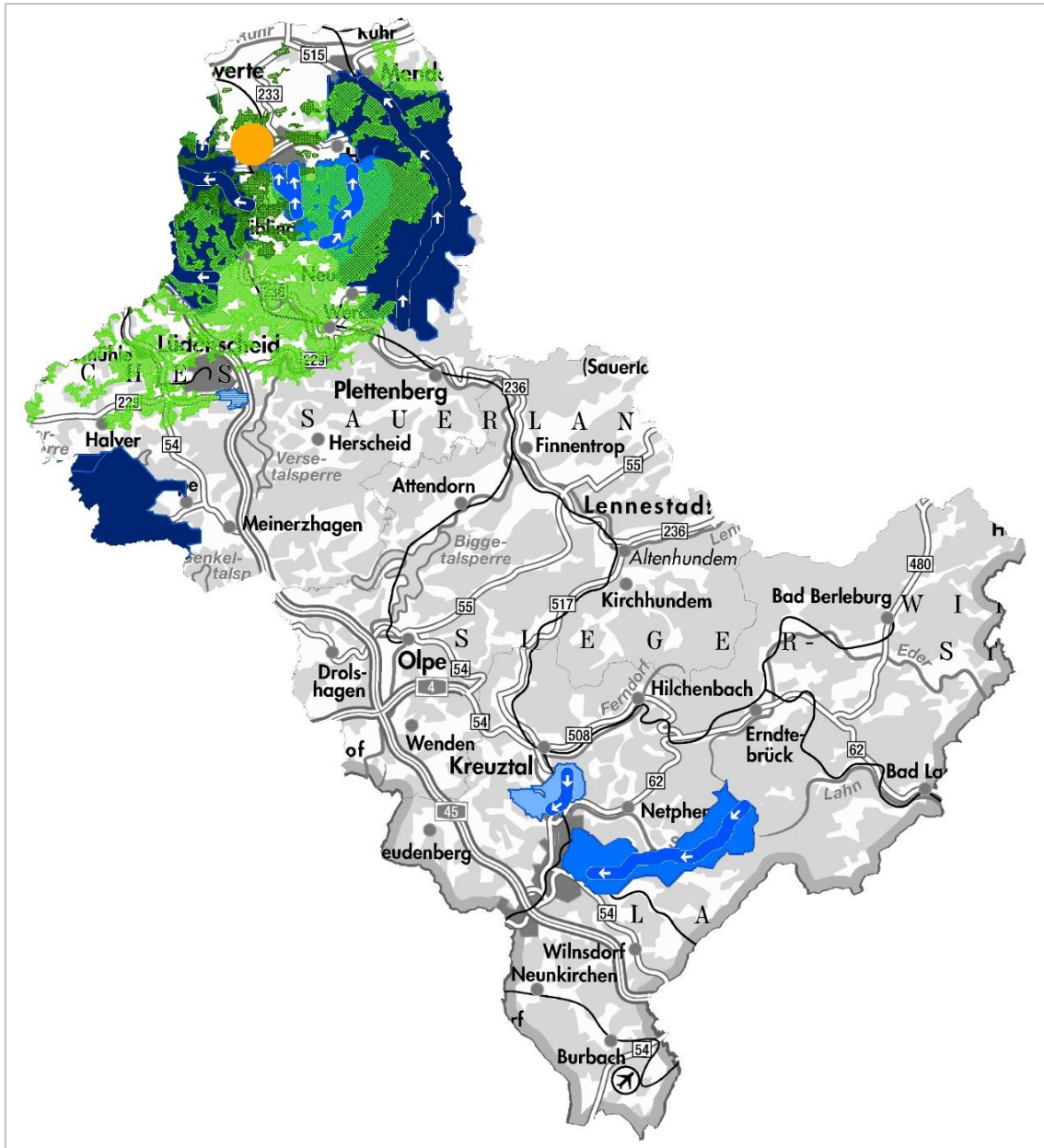


Abbildung 52: Klimaanalyse – Planungsempfehlungen Regionalplanung (Kartengrundlage: Land NRW (2017) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0)

Thermische Belastungsräume

Gemeinden mit überörtlich bedeutsamer Überwärmung in der Nacht

-  Sehr hohe Priorität/Handlungsbedarf (> 30.000 Betroffene, 95 %-Quantil)
-  Hohe Priorität/Handlungsbedarf (> 12.200 Betroffene, 90 %-Quantil)
-  Priorität/Handlungsbedarf vorhanden (> 8.000 Betroffene, 85 %-Quantil)

Gemeinden mit überörtlich bedeutsamer Hitzebelastung am Tage

-  Gemeinden mit besonders vielen Betroffenen von starker oder extremer Hitzebelastung am Tage (>70.000 Betroffene, 90 %-Quantil)

Thermische Ausgleichsräume und -prozesse

Kaltluft-Leitbahn überörtlicher Bedeutung

-  Kernbereiche einer Leitbahn mit sehr hoher Priorität
-  Kernbereiche einer Leitbahn mit hoher Priorität
-  Kernbereiche einer Leitbahn mit mittlerer Priorität
-  Fließrichtung
-  Warnhinweis: Zerschneidung der Leitbahn durch Bundesautobahn mit einer Verkehrsbelastung von >50.000 DTV/24 h gem. Verkehrszählung NRW 2015

Einzugsgebiete von Kaltluft-Leitbahnen überörtlicher Bedeutung

-  Einzugsgebiet sehr hoher Priorität
-  Einzugsgebiet hoher Priorität
-  Einzugsgebiet mittlerer Priorität
-  Einzugsgebiet mit vorhandener Priorität
-  Einzugsgebiet nachrangiger Priorität
-  Einzugsgebiet flächenhafter Kaltluftabfluss ohne klar definierte Leitbahn
-  Einzugsgebiet heterogener Kaltluftabfluss (Flurwindsystem in Kombination mit kleinräumigen Kaltluftabflüssen)

Bioklimatische Gunsträume überörtlicher Bedeutung (tags)

-  Gunstraum sehr hoher Priorität und Aufenthaltsqualität am Tage mit einer Mindestgröße von 2 km² und guter Erreichbarkeit (bis 10 km Entfernung zu Hauptbelastungsraum)
-  Gunstraum hoher Priorität für Nah-/Feierabenderholung (Maximal 400 m Entfernung zu Hauptbelastungsraum)

Abbildung 53: Klimaanalyse – Legende Planungsempfehlungen Regionalplanung

Bioklimatische Belastungsräume

Im Teilplangebiet MK-OE-SI befinden sich nach dem landesweit einheitlichen Bewertungsmaßstab keine wesentlichen bioklimatischen Belastungsräume von überörtlicher Bedeutung in der Nacht. Eine regional bedeutsame thermische Belastung von Siedlungsbereichen am Tage (starke bzw. extreme Hitzebelastung) sowie eine entsprechend im landesweiten Vergleich hohe Anzahl an Betroffenen wurde in der Gemeinde Iserlohn identifiziert.

Bioklimatische Ausgleichsräume

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

Kaltluftleitbahnen von überörtlicher Bedeutung mit sehr hoher Priorität bestehen in der Planungsregion vor allem im Norden des Märkischen Kreises, wo neben den südlichen Randlagen der Stadt Menden insbesondere Iserlohn, Hemer, Balve und Altena von Kaltluftleitbahnen profitieren. Darüber hinaus befinden sich hier nördlich von Lüdenscheid auch Kaltluftleitbahnen mit sehr hoher Priorität, von denen Gemeinden wie Schwerte oder Hagen profitieren, die zwar im Regierungsbezirk Arnsberg liegen, aber zum Geltungsbereich des Regionalplans Ruhr zählen. Leitbahnen mit hoher Priorität und größeren Einzugsgebieten versorgen beispielsweise die südlichen Randbereiche von Iserlohn und Hemer sowie Bereiche der Stadt Siegen.

Bioklimatischen Gunsträume mit überörtlicher Bedeutung sind auf Grund des landesweit einheitlichen methodischen Ansatzes zur Identifizierung überörtlich bedeutsamer klimaökologischer Funktionen nur im Norden des Märkischen Kreises vorzufinden, da nur hier mit Iserlohn ein überörtlich bedeutsamer Belastungsraum vorhanden ist. Vergleichbare Gunsträume mit hoher Erholungsfunktion und Aufenthaltsqualität auch bei hohen Temperaturen sind, auch auf Grund des hohen Waldanteils in der Region, jedoch in allen Teilen des Plangebiets zu finden.

Übersicht und landesweiter Vergleich

Um die Ergebnisse der Ableitung von Bereichen und Funktionen mit einer überörtlichen klimaökologischen Bedeutung für das Teilplangebiet MK-OE-SI hinsichtlich ihrer möglichen räumlichen Konsequenzen einzuordnen, werden diese abschließend hinsichtlich verschiedener statistischer Kenngrößen zusammenfassend in tabellarischer Form dargestellt und mit den Ergebnissen für ganz NRW verglichen (Tabelle 51).

Der Anteil der Menschen, die in Siedlungsbereichen mit im überörtlichen Maßstab bedeuten Hitzebelastungen leben, liegt im Plangebiet sowohl für die Tag- als auch die Nachtsituation deutlich unterhalb des Wertes für ganz NRW. Im Teilplangebiet MK-OE-SI leben etwa 9,2 % der Bevölkerung in Städten, denen eine überörtliche Bedeutung in Bezug auf die Hitzebelastung am Tage zugeschrieben wird (Iserlohn), während dies in ganz NRW etwa 46 % sind.

Im überörtlichen Maßstab bedeutende Bereiche mit nächtlicher Überwärmung gibt es im Plangebiet nicht, während hiervon in ganz NRW über 1,1 Mio. Menschen (etwa 6,3 % der Gesamtbevölkerung) betroffen sind.

Bei dem Vergleich der Ausgleichsräume und –funktionen von überörtlicher Bedeutung im Plangebiet mit den landesweiten Zahlen zeigt sich, dass diese im Bereich MK-OE-SI stärker ausgeprägt sind als in ganz NRW. So befinden sich, bezogen auf die Länge, 10 % der landesweiten Kaltluftleitbahnen überörtlicher Bedeutung mit sehr hoher Priorität und etwa 7 % der Kaltluftleitbahnen mit hoher Priorität im Plangebiet (Flächenanteil des Plangebietes an gesamter Landesfläche: etwa 8,5 %). Der Anteil der Einzugsgebiete von Kaltluftleitbahnen überörtlicher Bedeutung an der gesamten Fläche des Teilplangebietes liegt bei 12,7 % und damit über dem Wert für ganz NRW (11,9 %). Dass dieser leicht überdurchschnittliche Wert erreicht wird, obwohl für die Klassifizierung von Ausgleichsfunktionen mit überörtlicher Bedeutung eine Mindestanzahl von hitzebelasteten Menschen erforderlich ist (wozu im Plangebiet im Vergleich zu ganz NRW jedoch deutlich weniger Menschen zählen), verdeutlicht die relativ günstige klimaökologische Situation im Teilplangebiet. Auch der Flächenanteil bioklimatischer Gunsträume von überörtlicher Bedeutung am Tag liegt mit 10,5 % über dem landesweiten Anteil von 6,5 %, obwohl sich diese Bereiche im Gebiet des Teilplan MK-OE-SI nur auf Iserlohn als einzige Stadt mit einer überörtlichen Belastung am Tage beziehen.

Tabelle 51: Bereiche mit überörtlicher klimaökologischer Bedeutung - Vergleich Teilplangebiet MK-OE-SI mit NRW

Belastungsräume						
	Teilplangebiet MK-OE-SI			NRW		
	Anzahl	Einwohner	Anteil	Anzahl	Einwohner	Anteil
im überörtlichen Maßstab bedeutende Bereiche mit nächtlicher Überwärmung	0	0	0 %	28	1.133.761	6,3 %
Ortslagen mit überörtlich bedeutender Überhitzung (tags)	1	76.000	9,2 %	40	8.126.688	45,7 %
Ausgleichsräume/-funktionen						
Kaltluft-Leitbahnen überörtlicher Bedeutung	Teilplangebiet MK-OE-SI			NRW		
	Anzahl	Länge	Anteil	Anzahl	Länge	Anteil
sehr hohe Priorität	3	41,0 km	54,6 %	33	411,7 km	34,4 %
hohe Priorität	2	34,1km	45,4 %	30	498,1 km	41,6 %
vorhandene Priorität	0	0 km	0 %	29	287,6 km	24,0 %
Summe	5	75,1 km	100 %	92	1.197,4 km	100 %
Einzugsgebiete von Kaltluft-Leitbahnen überörtlicher Bedeutung	Anzahl	Fläche	Flächenanteil	Anzahl	Fläche	Flächenanteil
sehr hohe Priorität	3	250,8 km ²	8,6 %	9	2.294 km ²	6,7 %
hohe Priorität	0	0 km ²	0 %	12	1.125 km ²	3,3 %
mittlere Priorität	2	104,2km ²	3,6 %	11	476 km ²	1,4 %
vorhandene Priorität	1	14,3km ²	0,5 %	10	107 km ²	0,3 %
nachrangige Priorität	0	0 km ²	0 %	12	62 km ²	0,2 %
Summe	6	369,3 km ²	12,7 %	54	4.066 km ²	11,9 %
Einzugsgebiete flächenhafter Kaltluftabfluss ohne klar definierte Leitbahn	1	2,3 km ²	< 0,1 %	13	131 km ²	0,4 %
Einzugsgebiete heterogener Kaltluftfluss (u. a. Flurwindssysteme)	0	0 km ²	0,0 %	12	68 km ²	0,2 %
Bioklimatische Gunsträume überörtlicher Bedeutung (tags)						
	Teilplangebiet MK-OE-SI			NRW		
		Fläche	Flächenanteil		Fläche	Flächenanteil
sehr hohe Priorität		263,5 km ²	9,1 %		1.703 km ²	5,0 %
hohe Priorität		39,7 km ²	1,4 %		525 km ²	1,5 %
Summe		303,2 km ²	10,5 %		2.228 km ²	6,5 %

4.1.4 Mögliche Umsetzungspfade und Handlungsempfehlungen

In diesem Kapitel werden zunächst grundsätzlich denkbare Anwendungsmöglichkeiten und Umsetzungspfade der zuvor beschriebenen Ergebnisse der Untersuchung der klimaökologischen Funktionen im Teilplangebiet MK-OE-SI diskutiert. Anschließend werden Vorschläge für konkrete regionalplanerische Festsetzungen formuliert.

4.1.4.1 Diskussionen möglicher Umsetzungspfade

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

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

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

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

Die erarbeiteten Empfehlungen für die Regionalplanung stellen eine hilfreiche und bereits nach raumordnerischen Anforderungen sowie hinsichtlich der Maßstabsebene entsprechend aufbereitete, fachliche Datengrundlage dar, welche die bereits im Rahmen der Regionalplanung zu berücksichtigenden klimatischen Funktionen und raumbedeutsamen Belange abbildet. Die nach fachlichen Kriterien begründeten und überdies raumspezifisch abgeleiteten Inhalte der Karte „Planungsempfehlungen Regionalplanung“ (Abbildung 52) sollten demnach im Zuge von Raumordnungsverfahren zu raumbedeutsamen Plänen oder Projekten sowie von raumordnerischen Stellungnahmen mit den Inhalten dieser Vorhaben überlagert und abgeglichen werden. Dies erlaubt eine unkomplizierte und dennoch fachlich qualifizierte Berücksichtigung der klimatischen Fragestellung in derartigen Verfahren, wodurch gleichermaßen eine Stärkung klimatischer Belange auf Ebene der Regionalplanung erwartet wird.

Berücksichtigung als Abwägungsgrundlage bei der räumlichen Steuerung von mit klimatischen Belangen konkurrierenden Raumnutzungen sowie als Grundlage für die Umweltprüfung

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Ein besonders weitgehender und innovativer Umsetzungsansatz zur regionalplanerischen Berücksichtigung klimaökologischer Aspekte besteht in der Möglichkeit der Einführung zusätzlicher monofunktionaler, d.h. allein mit klimatischen Funktionen zu begründender Planzeichen. So könnten monofunktionale Raumordnungsgebiete Flächen sowohl für Kaltluftentstehung und -transport sichern. Denkbar wäre z. B. die Einführung eines Planzeichens „Vorranggebiet Kaltluftaustausch“ als Ziel der Raumordnung. Hierbei wäre allerdings im Einzelfall kritisch zu prüfen, ob die zugrundeliegende landesweite Modellrechnung derart weitgehende Eingriffe in die nachfolgenden Planungsebenen und ggf. private Belange rechtfertigen kann, und ob der kommunalen Planung noch ein hinreichender Ausgestaltungsspielraum verbleibt. Zu beachten wären hierbei die Vorgaben zu Darstellungen in den Regionalplänen nach § 35 der Verordnung zur Durchführung des Landesplanungsgesetzes NRW (LPIG DVO), wobei Absatz 4 die Abweichung von den in der Regel vorgegebenen Planzeichen regelt.

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

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

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

4.1.4.2 Hitzebelastung - Empfehlungen für regionalplanerische Festlegungen

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

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

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

Vor diesem Hintergrund lassen sich, vorbehaltlich einer detaillierteren Prüfung der Übereinstimmung mit den Vorgaben des Landesentwicklungsplans NRW, aus klimaökologischer Perspektive folgende Vorschläge für mögliche regionalplanerische Festsetzungen formulieren, die sich zum Teil an bestehenden regionalplanerischen Festsetzungen aus anderen Bundesländern orientieren.

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

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

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

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

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

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

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

(Ziel) Allgemeine Siedlungsbereiche (ASB) beinhalten die Flächen für Wohnen und wohnverträgliches Gewerbe, für Wohnfolgeeinrichtungen und öffentliche und private Dienstleistungen. Auch siedlungszugehörige Grün-, Sport-, Freizeit- und Erholungsflächen sind Bestandteil des ASB. Den Erfordernissen zur Anpassung an den Klimawandel wird bei der bauleitplanerischen Umsetzung von ASB ab einer Größe von X durch Untergliederung in ein gestuftes städtisches Freiflächensystem Rechnung getragen.

4.2 Weitere Handlungsfelder Klimaanpassung

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

Wasserwirtschaft

Die in Kapitel 2 beschriebenen anthropogenen Klimaänderungen im Teilplangebiet MK-OE-SI werden sich spürbar auf den natürlichen Wasserhaushalt auswirken. Es ist damit zu rechnen, dass dies alle relevanten Handlungsbereiche der Wasserwirtschaft beeinflussen wird.

Zu erwarten sind etwa häufiger auftretende Starkniederschläge, was entsprechend häufiger zu Überlastungen der Kanalsysteme und Sturzfluten in Siedlungsbereichen führen kann, verbunden mit Risiken für Menschen und erheblichen Beschädigungen an Gebäuden und öffentlicher Infrastruktur. Die vergleichsweise großen Höhenunterschiede in den Mittelgebirgslagen des Plangebietes sind dabei ein Risikofaktor für mögliche Überschwemmungen oder Hangrutschungen bei Sturzfluten.

Auch die Kapazitäten von Abwasserbehandlungsanlagen oder vorgehaltener Regenwasserspeicherbecken können bei länger anhaltenden oder besonders starken Niederschlägen zukünftig häufiger für eine begrenzte Zeitspanne überschritten werden. Häufig bereits eingeleitete Maßnahmen zur Entlastung der Abwasseranlagen, zum Beispiel die Versickerung, Rückhaltung oder Nutzung von Niederschlagswasser sowie die Flächenentsiegelung in Ballungsräumen, sollte in Zukunft auch im Plangebiet MK-OE-SI ergänzt werden durch möglichst flexiblere Steuerungsmöglichkeiten der vorhandenen Infrastruktur. Auch die Erstellung von lokalen / regionalen Risikoanalyse- und Sturzflutgefährdungskarten ist zu prüfen und gegebenenfalls zu unterstützen. Vermehrt auftretende Starkregenereignisse können darüber hinaus in dem von Mittelgebirgslagen geprägten Planungsraum häufigere Abschwemmungen bewirken, bei denen abbaubare Bodenbestandteile, Nährstoffe oder Krankheitserreger in die Oberflächengewässer eingetragen werden. (MKULNV 2011_A).

Auch wenn Nordrhein-Westfalen ein wasserreiches Land ist, können länger andauernde und stärker ausgeprägte Hitzeperioden die Wasserversorgung im Sommer beeinträchtigen, was im Plangebiet zu Herausforderungen und Anpassungsbedarf im Talsperrenmanagement führen kann. 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. (MKULNV 2011_A).

Natur- und Artenschutz

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

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

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

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

Landwirtschaft

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

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

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

Waldökologie, Forstwirtschaft

Die Auswirkungen des Klimawandels auf den Wald und die Forstwirtschaft sind im Plangebiet auf Grund seines sehr hohen Waldanteils von besonders großer Relevanz. In den vergangenen Jahren sind in der Region schwere Schäden durch Stürme, Trockenheit und verstärkten Schädlingsbefall zu beobachten gewesen. Das Gebiet des Teilplans MK-OE-SI umfasst die Regionalforstämter Märkisches Sauerland (ca. 56.000 Hektar Waldfläche, ca. 53 % der Gesamtfläche), Kurkölnisches Sauerland (54.300 Hektar, 76 %) und Siegen-Wittgenstein (80.000 Hektar, 71 %) (LANDESBETRIEB WALD UND HOLZ NRW 2011, 2012, 2017).

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 auf Grund der Auswirkungen des Klimawandels die Stabilität und die Anpassungsfähigkeit der Wälder zu erhöhen. Im Rahmen der Klimaanpassungsstrategie für den Wald und die Waldbewirtschaftung in Nordrhein-Westfalen (MKULNV 2015) und den neuen Instrumenten für die Waldbewirtschaftung im Klimawandel (MULNV 2019_A, 2019_B & 2018_A; vor allem Waldbaukonzept NRW (MULNV 2018_B)) 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 (MULNV 2018_B).

In diesem Zusammenhang sind die im Bereich des Teilplan MK-OE-SI besonders häufig vorkommen Fichtenbestände (z. B. Kreis Olpe: 74 % aller Baumarten, Kreis Siegen-Wittgenstein: 52 %) (LANDESBETRIEB WALD UND HOLZ NRW 2012, 2017) auf ihre Standortgerechtigkeit zu prüfen. Hierzu liegen Untersuchungen des Landesbetriebes Wald und Holz NRW und des Geologischen Dienstes NRW vor (u. a. Geologischer Dienst NRW 2011). Das neue Internetportal Waldinfo.NRW (www.waldinfo.nrw.de; MULNV 2019_C) beinhaltet digitale Karten zur standörtlichen Eignung der Fichte und anderer bedeutender Baumarten unter bisherigen Klimabedingungen und angesichts eines ausgewählten Szenarios zu Auswirkungen des Klimawandels. Die regionalen und lokalen waldbaulichen Planungen sollten auf der Grundlage des neuen Waldbaukonzepts (MULNV 2018_B), der Boden- und Standortkarten (Geologischer Dienst 2018) sowie der aktuellen Projektionen zu den Auswirkungen des Klimawandels in NRW weiterentwickelt werden.

Auch die fachlichen Konzepte und Handlungsempfehlungen in Bereichen wie Waldschutz, forstliches Krisenmanagement, forstlicher Wegebau, Waldnaturschutz, Erholungsnutzung im Wald sowie Forschung und Versuchswesen bedürfen im Klimawandel der Weiterentwicklung (MKULNV 2015).

Tourismus

Das Sauerland ist die bedeutendste Wintersportregion in Nordrhein-Westfalen, auch wenn dies vor allem für den Hochsauerlandkreis gilt, der nicht zum Teilplangebiet MK-OE-SI gehört. Der Klimawandel hat einen großen Einfluss auf die Grundlagen der Tourismuswirtschaft in der Region, z. B. durch höhere Temperaturen im Winter und damit verbunden einer geringeren Schneesicherheit in den Mittelgebirgslagen. So ist die Anzahl der Schneetage pro Jahr (geschlossene Schneedecke von mindestens 10 cm) an der Station Kahler Asten bereits heute von 100 Tagen pro Jahr im Zeitraum 1961-1990 auf 76 Tage (1988-2017) um ca. ein Viertel zurückgegangen. Dieser Trend ist statistisch sehr signifikant, und die Klimaprojektionen für die Zukunft lassen erwarten, dass er sich auch zukünftig fortsetzen wird.

Im Bereich des Wintertourismus in der Region muss daher mit weniger Schneetagen und möglicherweise Einnahmeeinbußen gerechnet werden. Auf der anderen Seite bietet sich im Teilplangebiet MK-OE-SI durch die zu erwartenden Veränderungen des Klimas in der Region auch die Chance, weiterhin und verstärkt den Ganzjahrestourismus zu fördern und beispielsweise Wanderer oder Wassersportler anzusprechen.

Literatur

- AQUA PLAN GMBH; HYDRO & METEO GMBH & CO KG; DR. PAPADAKIS GMBH (2010): Extremwert-statistische Untersuchung von Starkniederschlägen in NRW (ExUS). Veränderung in Dauer, Intensität und Raum auf Basis beobachteter Ereignisse und Auswirkungen auf die Eintretenswahrscheinlichkeit. Abschlussbericht, erstellt für das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV). Unter Mitarbeit von aqua plan GmbH, hydro & meteo GmbH & Co KG und dr. papadakis GmbH. Hg. v. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV). Recklinghausen.
- BEKRYAEV, R.V.; POLYAKOV, I.V.; ALEXEEV, V.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.
- BAUMGARTE, S.; TERFRÜCHTE, T. (Hrsg.) (2013): Zukunft der Regionalplanung in Nordrhein-Westfalen. In: Arbeitsberichte der Akademie für Raumforschung und Landesplanung (ARL), Nr. 6, Hannover.
- BEREITER, B.; EGGLESTON, S.; SCHMITT, J.; NEHRBASS-AHLES, C.; STOCKER, T.F.; FISCHER, H. et al. (2015): Revision of the EPICA Dome C - CO₂ record from 800 to 600 kyr before present. In: Geophys. Res. Lett. 42 (2), S. 542–549. DOI: 10.1002/2014GL061957.
- BJÖRCK, S., (2011): Current global warming appears anomalous in relation to the climate of the last 20000 years. Clim. Res. 48, 5-11.
- BOER, B. DE; VAN DE WAL, R.S.W.; BINTANJA, R.; LOURENS, L. J.; TUENTER, E. (2010): Cenozoic global ice-volume and temperature simulations with 1-D ice-sheet models forced by benthic $\delta^{18}\text{O}$ records. In: Annals of Glaciology 51 (55), S. 23–33. DOI: 10.3189/172756410791392736.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT [BMEL] 2016: Klimaschutz und Klimawandel. https://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Nachhaltige-Landnutzung/Klimawandel/_Texte/LandwirtschaftUndKlimaschutz.html;jsessionid=8E4B9F49AE2A0DF225FC33CC38153BFC.1_cid358?nn=310028 (zuletzt aufgerufen am 28.08.2018)
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND NUKLEARE SICHERHEIT [BMU] (2017): Die Klimakonferenz in Paris. Online verfügbar unter: <https://www.bmu.de/themen/klima-energie/klimaschutz/internationale-klimapolitik/pariser-abkommen>, zuletzt abgerufen am 12.04.2019.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG [BMVBS] (2011): Erneuerbare Energien: Zukunftsaufgabe der Regionalplanung. Berlin.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG [BMVBS] (2013₁): Wie kann Regionalplanung zur Anpassung an den Klimawandel beitragen? Bonn.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG [BMVBS] (2013₂) (Hrsg.): Methodenhandbuch zur regionalen Klimafolgenbewertung in der räumlichen Planung – Systematisierung der Grundlagen regionalplanerischer Klimafolgenbewertung. Bonn.

- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR [BMVI] (2017) (Hrsg.): Handlungshilfe Klimawandelgerechter Regionalplan – Ergebnisse des Forschungsprojektes KlimREG für die Praxis. In: MORO Praxis Heft 6/2017, Bonn.
- BUNDESVERBAND WINDENERGIE E.V. [BWE] (2017): Regionalplanung und Repowering. Planerische Gestaltungsmöglichkeiten. Berlin / Bremen.
- CLIMATEACTIONTRACKER (2019): EU – Country summary. Online verfügbar unter: <https://climateactiontracker.org/countries/eu/> zuletzt abgerufen am 10.05.2019
- CORDEX-PROJEKT: EURO-CORDEX – Coordinated Downscaling Experiment – European Domain: <http://www.euro-cordex.net/index.php.en> (zuletzt aufgerufen am 07.07.2017).
- DOWSETT, H.J., ROBINSON, M.M., HAYWOOD, A.M., HILL, D.J., DOLAN, A.M., STOLL, D.K., CHAN, W.-L., ABE-OUCHI, A., CHANDLER, M.A., ROSENBLOOM, N.A., OTTO-BLIESNER, B.L., BRAGG, F.J., LUNT, D.J., FOLEY, K.M., RIESSELMAN, C.R. (2012): Assessing confidence in Pliocene sea surface temperatures to evaluate predictive models. *Nature Climate Change* 2, 365 EP.
- DEUTSCHE WELLE (2017): EU muss für Pariser Klimaziele nachlegen. Online verfügbar unter: <https://www.dw.com/de/eu-muss-für-pariser-klimaziele-nachlegen-55-erneuerbare-energien-bis-2030-erforderlich/a-41843755>, zuletzt abgerufen am 06.05.2019
- DEUTSCHER WETTERDIENST [DWD] (2019): Wetter und Klima - Deutscher Wetterdienst - Leistungen - HYRAS – Hydrologische Rasterdatensätze. Hg. v. Deutscher Wetterdienst DWD. DWD. Online verfügbar unter <https://www.dwd.de/DE/leistungen/hyras/hyras.html>, zuletzt abgerufen am 08.05.2019
- DEUTSCHER WETTERDIENST [DWD] (2018_A): Bioklima. Hg. v. Deutscher Wetterdienst DWD. Deutscher Wetterdienst DWD. Online verfügbar unter https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/ku_beratung/gesundheit/bioklima/bioklima_node.html, zuletzt abgerufen am 20.07.2018.
- DEUTSCHER WETTERDIENST [DWD] (2018_B): RCP-Szenarien. Hg. v. Deutscher Wetterdienst DWD. Deutscher Wetterdienst DWD. Online verfügbar unter https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimawandel/klimaszenarien/rcp-szenarien_node.html, zuletzt abgerufen am 20.07.2018.
- DEUTSCHER WETTERDIENST [DWD] (2017_A) - Climate Data Center: http://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/cdc/cdc_node.html (zuletzt aufgerufen am 07.07.2017).
- DEUTSCHER WETTERDIENST [DWD] (2017_B): Wetterlexikon: Föhn. Online verfügbar unter: <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?lv2=100784&lv3=100882> (zuletzt abgerufen am 18.08.2017).
- ENGLANDER, J. (2017): <http://www.johnenglander.net/sea-level-rise-blog/single-image-proves-human-caused-global-warming/>
- 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.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY: www.eea.europa.eu (zuletzt aufgerufen am 07.07.2017).

- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY [EEA] (2003): Corine Land Cover 2000, Corine-Datensatz zu Geländehöhe und Nutzungsstruktur, Copenhagen, Dänemark.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY [EEA] (2012): Fast Track Service Precursor (FTSP) on Land Monitoring. Degree of soil sealing.
- FACHAGENTUR WINDENERGIE AN LAND [FA WIND] (2018): Was tun nach 20 Jahren? Repowering, Weiterbetrieb oder Stilllegung von Windenergieanlagen nach Förderende. Berlin.
- FRANCE DIPLOMATIE (2015): 2015 Paris Climate Conference (COP21). Hg. v. French Ministry for Europe and Foreign Affairs. Online verfügbar unter <http://www.diplomatie.gouv.fr/en/french-foreign-policy/climate/2015-paris-climate-conference-cop21/>, zuletzt abgerufen am 04.09.2017.
- FRAUNHOFER ISE (2019): Öffentliche Nettostromerzeugung in Deutschland 2018: Erneuerbare Energiequellen erreichen über 40 Prozent. Online verfügbar unter: <https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/news/2018/nettostromerzeugung-2018.html> (zuletzt abgerufen am 23.04.2019)
- GANOPOLSKI, A., WINKELMANN, R., SCHELLNHUBER, H.J. (2016): Critical insolation-CO₂ relation for diagnosing past and future glacial inception. *Nature* 529, 200-203.
- GEO-NET (2013): Klimaökologische Analysen Für das Gebiet des Regionalverbandes Ruhr: Kaltlufthaushalt und Durchlüftung. Im Auftrag des Regionalverbandes Ruhr, Kronprinzenstraße 35, 45128 Essen. GEO-NET Umweltconsulting GmbH, Hannover.
- GEO-NET (2014): Konzept zur automatisierten Ableitung von Klimatopen in Nordrhein-Westfalen. Hannover, 05. Mai 2014, 20 Seiten.
- GEOLOGISCHER DIENST NRW (2018): Bodenkarten und Forstliche Standortkarten für die Wälder Nordrhein-Westfalens.
- GEOLOGISCHER DIENST NRW (2011): Veränderung forstlicher Standorteigenschaften bei Klima-wandel – Auswertungen auf Basis großmaßstäbiger Bodenkarten des nördlichen Sauerlandes.
- GEST, L.; PARRENIN, F.; CHOWDHRY BEEMAN, J.; RAYNAUD, D.; FUDGE, T.J.; BUIZERT, C.; BROOK, E.J. (2017): Leads and lags between Antarctic temperature and carbon dioxide during the last deglaciation. In: *Clim. Past Discuss.*, S. 1–16. DOI: 10.5194/cp-2017-71.
- GROSS, G. (1989): Numerical simulation of the nocturnal flow systems in the Freiburg area for different topographies. *Beitr. Phys. Atmosph.*, H 62, S. 57-72.
- GROSS, G. (1993): Numerical Simulation of canopy flows. Springer Verlag Heidelberg.
- GROSS, G (2002): The exploration of boundary layer phenomena using a nonhydrostatic mesoscale model. *Meteor. Z.schr.* Vol. 11 Nr. 5., S. 701-710.
- HANSEN, J.; JOHNSON, D.; LACIS, A.; LEBEDEFF, S.; LEE, P.; RIND, D.; RUSSELL, G. (1981): Climate impact of increasing atmospheric carbon dioxide. In: *Science (New York, N.Y.)* 213 (4511), S. 957–966. DOI: 10.1126/science.213.4511.957.
- HANSEN, J., SATO, M., KHARECHA, P., SCHUCKMANN, K. VON, BEERLING, D.J., CAO, J., MARCOTT, S., MASSON-DELMOTTE, V., PRATHER, M.J., ROHLING, E.J., SHAKUN, J., SMITH, P., LACIS,

- A., RUSSELL, G., RUEDY, R. (2017): Young people's burden. Requirement of negative CO₂ emissions. *Earth Syst. Dynam.* 8, 577-616.
- HANSEN, J., SATO, M. (2012): Paleoclimate Implications for Human-Made Climate Change. In: Sijacki, A.B.M. (Ed.), *Climate Change. Inferences from Paleoclimate and Regional Aspects. Conference proceedings.*
- HENLEY, B.; ABRAM, N. (2017): The three-minute story of 800,000 years of climate change with a sting in the tail. <https://theconversation.com/the-three-minute-story-of-800-000-years-of-climate-change-with-a-sting-in-the-tail-73368> (zuletzt abgerufen am 08.08.2017).
- HENRY, L. G.; MCMANUS, J. F.; CURRY, W. B.; ROBERTS, N. L.; PIOTROWSKI, A. M.; KEIGWIN, L. D. (2016): North Atlantic ocean circulation and abrupt climate change during the last glaciation. In: *Science* 353 (6298), S. 470. DOI: 10.1126/science.aaf5529.
- HERGERT, S. (1991): Klimatische und lufthygienische Situation am Kronsberg und die Beeinträchtigung der klimaökologischen Ausgleichswirkung durch Bebauung. Diplomarbeit der der Abt. Physische Geographie und Landschaftsökologie am Geogr. Inst. der Univers. Hannover. 190 S.
- HÖPPE, P. (1999): The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *International Journal of Biometeorology* Volume 43, S. 71-75
- HÖPPE, P.; MAYER, H. (1987): Planungsrelevante Bewertung der thermischen Komponente des Stadtklimas. *Landschaft und Stadt* 19 (1): S. 22-29.
- IHK SIEGEN (2019): Mittelständisch und industriestark. Online verfügbar unter: <https://www.ihk-siegen.de/hn/ueber-uns/mittelstaendisch-und-industriestark/>, zuletzt abgerufen am 04.03.2019.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE [IPCC] (Hg.) (2018): Global Warming of 1.5 °C. an IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial 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. Hg. v. IPCC. IPCC, zuletzt abgerufen am 30.11.2018.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE [IPCC] (Hg.) (2013): Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Unter Mitarbeit von Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE [IPCC] (Hg.) (2012): Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change []. Unter Mitarbeit von Field, C. B., V. Barros, T. F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken et al. Hg. v. Field, C. B., V. Barros, T. F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, et al. IPCC. Cambridge, UK,. Online verfügbar unter http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srex/SREX_Full_Report.pdf.

- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE [IPCC] (Hg.) (2007): Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Unter Mitarbeit von Pachauri, R.K and Reisinger, A. Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE [IPCC] (2006): IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, 2006.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE [IPCC] (Hg.) (2001): Climate Change 2001: The Scientific Basis. Im Internet abrufbar unter https://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg1/pdf/WG1_TAR-FRONT.PDF (zuletzt aufgerufen am 07.07.2017).
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE [IPCC] (Hg.) (2000): Emissions Scenarios. Special Report on Special Report in Emissions Scenarios. Unter Mitarbeit von Nebojsa Nakicenovic and Rob Swart. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom. Online verfügbar unter https://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/emission/emissions_scenarios.pdf.
- IT.NRW: Bevölkerung am 31.12.2017 und 30.06.2018 nach Gemeinden. <https://www.it.nrw/statistik/eckdaten/bevoelkerung-am-31122017-und-30062018-nach-gemeinden-93051> (9. Mai 2019)
- KLIMA-UND-RAUM (2018): <http://www.klima-und-raum.org/klimaanpassung>
- KLIMREG – Webtool für einen Klimawandelgerechten Regionalplan: <http://www.klimreg.de> (zuletzt aufgerufen am 07.07.2017).
- KNIELING, J; KRETSCHMANN, N.; REITZIG, F.; ZIMMERMANN, T. (2015): Diskussionspapier – Regionalplanerische Festlegungen: Möglichkeiten und Grenzen zum Umgang mit den Folgen des Klimawandels. Im Rahmen des BMVI/BBSR-Modellvorhabens der Raumordnung „KlimREG – Klimawandelgerechter Regionalplan“, Hamburg/Berlin.
- KUTTLER, W. (2011): Klimawandel im urbanen Bereich. Teil 2, Maßnahmen. Environmental Sciences Europe 2011: 23:21.
- KRÄHENMANN, S. (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.
- KREIS OLPE (2019): Den Kreis Olpe erleben. Online verfügbar unter: <https://www.kreis-olpe.de/Kreis-Olpe-erleben>, zuletzt abgerufen am 04.03.2019.
- KREIS SIEGEN-WITTGENSTEIN (2019): Leitbranchen im Kreis Siegen-Wittgenstein. Online verfügbar unter: <https://www.siegen-wittgenstein.de/Region/Wirtschaft/Leitbranchen>, zuletzt abgerufen am 04.03.2019.
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN [LANUV] (2018_A): Klimaanalyse Nordrhein-Westfalen. LANUV-Fachbericht 86. Recklinghausen.

- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN [LANUV] (2018_B): Energieatlas.NRW. <http://www.energieatlas.nrw.de/site> (zuletzt abgerufen am 07.05.2019)
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN [LANUV] (2018_C): Das landesweite Solarkataster Nordrhein-Westfalen. Ein Instrument zum Ausbau der Solarenergie. LANUV-Info 43. Recklinghausen.
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN [LANUV] (2018_D): Potenzialstudie Warmes Grubenwasser. LANUV-Fachbericht 90. Recklinghausen.
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN [LANUV] (2017_A): Auswirkungen des Klimawandels in Nordrhein-Westfalen. Klimafolgenmonitoring 2016. LANUV-Info 38. Unter Mitarbeit von Christina Seidenstücker und Claudia Brinkmann. Hg. v. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV). Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV). Recklinghausen.
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN [LANUV] (2017_B): Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW, Teil 5 - Wasserkraft, LANUV-Fachbericht 40; Herausgeber: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz. Recklinghausen.
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN [LANUV] (2017_C): Treibhausgas-Emissionsinventar Nordrhein-Westfalen 2016; LANUV-Fachbericht 87. Recklinghausen.
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN [LANUV] (2016_A): Klimawandel und Klimafolgen in Nordrhein-Westfalen. Ergebnisse aus den Monitoringprogrammen 2016. LANUV-Fachbericht 74. Recklinghausen.
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN [LANUV] (2016_B): ATKIS-Basis-DLM und Biotoptypenkartierung. GIS-Datensätze. Recklinghausen.
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN [LANUV] (2015): Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW, Teil 4 - Geothermie, LANUV-Fachbericht 40; Herausgeber: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz. Recklinghausen.
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN [LANUV] (2014): Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW, Teil 3 - Biomasse, LANUV-Fachbericht 40; Herausgeber: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz. Recklinghausen.
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN [LANUV] (2013): Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW, Teil 2 - Solarenergie, LANUV-Fachbericht 40; Herausgeber: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz. Recklinghausen.

- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN [LANUV] (2012): Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW, Teil 1 - Windenergie, LANUV-Fachbericht 40; Herausgeber: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz. Recklinghausen.
- LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN [LANUV] (2010): Klima und Klimawandel in Nordrhein-Westfalen - Daten und Hintergründe. LANUV - Fachbericht 27. Hg. v. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV). Recklinghausen (LANUV-Fachberichte, 27).
- LANDESBETRIEB WALD UND HOLZ NRW (2018): Regionalforstämter. Landesbetrieb Wald und Holz NRW. Online verfügbar unter <https://www.wald-und-holz.nrw.de/?id=82>, zu-letzt abgerufen am 20.07.2018.
- LANDESBETRIEB WALD UND HOLZ NRW (2017): Regionalforstamt Siegen-Wittgenstein. Ein starker Partner.
- LANDESBETRIEB WALD UND HOLZ NRW (2012): Regionalforstamt Kurkölnisches Sauerland. Nachhaltige Waldpflege für Generationen.
- LANDESBETRIEB WALD UND HOLZ NRW (2011): Regionalforstamt Märkisches Sauerland. Mit Herz und Hand für Wald und Holz.
- LINKE, C. et al. (2015): Leitlinien zur Interpretation regionaler Klimamodelldaten des Bund-Länder-Fachgespräches „Interpretation regionaler Klimamodelldaten“. Hg. v. Bund-Länder-Fachgespräch "Interpretation regionaler Klimamodelldaten". Hannover
- MANN, M.E.; ZHANG, Z.; HUGHES, M.K.; BRADLEY, R.S.; MILLER, S.K.; RUTHERFORD, S.; NI, F. (2008): Proxy-based reconstructions of hemispheric and global surface temperature variations over the past two millennia. In: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 105 (36), S. 13252–13257. DOI: 10.1073/pnas.0805721105.
- MARCOTT, S.A.; SHAKUN, J.D.; CLARK, P.U.; MIX, A.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.
- MÄRKISCHER KREIS (2019): Wirtschaft. Online verfügbar unter: <https://www.maerkischer-kreis.de/der-kreis/portrait/wirtschaft.php>, zuletzt abgerufen am 04.03.2019.
- MINISTERIUM FÜR BAUEN, WOHNEN, STADTENTWICKLUNG UND VERKEHR DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN [MBWSV] (2016): Automatische Straßenverkehrszählungen in Nordrhein-Westfalen 2015. Düsseldorf.
- MINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT, NATUR UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN [MKULNV] (2016): Umweltbericht Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf.
- MINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT, NATUR- UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN [MKULNV] (2015): Wald und Waldmanagement im Klimawandel. Anpassungsstrategie für Nordrhein-Westfalen.

- MINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT, NATUR- UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN [MKULNV] (2012): Wald im Klimawandel. Auswirkungen des Klimawandels auf Wälder und Forstwirtschaft in Nordrhein-Westfalen.
- MINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT, NATUR- UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN [MKULNV] (2011_A): Klimawandel und Wasserwirtschaft. Maßnahmen und Handlungskonzepte in der Wasserwirtschaft zur Anpassung an den Klimawandel.
- MINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT, NATUR- UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN [MKULNV] (2011_B): Klimawandel und Landwirtschaft Auswirkungen der globalen Erwärmung auf die Entwicklung der Pflanzenproduktion in Nordrhein-Westfalen.
- MINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT, NATUR- UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN [MKULNV] (2010): Natur im Wandel. Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt in Nordrhein-Westfalen.
- MINISTERIUM FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT, NATUR- UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN [MULNV] (2019_A): Landeswaldbericht 2019 – Bericht über Lage und Entwicklung der Forstwirtschaft in NRW.
- MINISTERIUM FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT, NATUR- UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN [MULNV] (2019_B): Waldbewirtschaftung. Online verfügbar unter: <https://www.umwelt.nrw.de/naturschutz/wald/waldbewirtschaftung/> (zuletzt abgerufen am 11.06.2019)
- MINISTERIUM FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT, NATUR- UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN [MULNV] (2019_C): Waldinformationen NRW. Online verfügbar unter: <https://www.waldinfo.nrw.de/> (zuletzt abgerufen am 11.06.2019)
- MINISTERIUM FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT, NATUR- UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN [MULNV] (2018_A): Neue Instrumente für die künftige Waldbewirtschaftung in Nordrhein-Westfalen - Ministerin Ursula Heinen-Esser stellt Aspekte der neuen Waldbewirtschaftung in Nordrhein-Westfalen vor.
- MINISTERIUM FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT, NATUR- UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN [MULNV] (2018_B): Waldbaukonzept Nordrhein-Westfalen – Empfehlungen für eine nachhaltige Waldbewirtschaftung.
- MOSIMANN, T.; TRUTE, P.; FREY, T. (1999): Schutzgut Klima/Luft in der Landschaftsplanung. Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen, Heft 4/99, S. 202-275.
- MOSS, R. H.; EDMONDS, J.A.; HIBBARD, K.A.; MANNING, M.R.; ROSE, S.K.; VAN VUUREN, D.P. et al. (2010): The next generation of scenarios for climate change research and assessment. In: Nature 463 (7282), S. 747–756. DOI: 10.1038/nature08823.
- NASA GODDARD INSTITUTE FOR SPACE STUDIES (2018): Data.GISS: GISS Surface Temperature Analysis: Analysis Graphs and Plots. Online verfügbar unter <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs/>, zuletzt aktualisiert am 01.08.2017, zuletzt abgerufen am 17.07.2018. NOAA: ftp://ftp.cmdl.noaa.gov/products/trends/co2/co2_weekly_mlo.txt

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

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

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

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

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

RAHMSTORF, S. (2019): Wie viel CO₂ kann Deutschland noch ausstoßen? Online verfügbar unter: <https://scilogs.spektrum.de/klimalounge/wie-viel-co2-kann-deutschland-noch-ausstossen/> (zuletzt abgerufen am 17.04.2019)

REKLIES-DE: <http://reklies.hlnug.de/home/>

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

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

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

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

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

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

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

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

STAATSKANZLEI DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN (2019): Landesentwicklungsplan Nordrhein-Westfalen (LEP NRW). In Kraft getreten am 6. August 2019. Düsseldorf.

STAEGE, T. (2016): Temperaturverteilung und Extreme. Hg. v. tagesschau.de. <https://wetter.tagesschau.de/wetterthema/2016/12/02/statistik-und-wetter.html> (zuletzt abgerufen am 15.09.2017).

- STEFFERN, W.; ROCKSTRÖM, J.; RICHARDSON, K.; LENTON, T.M.; FOLKE, C.; LIVERMAN, D. et al. (2018): Trajectories of the Earth System in the Anthropocene. In: Proceedings of the National Academy of Sciences. DOI: 10.1073/pnas.1810141115.
- STOCKER, F. T.; QIN, D.; PLATTNER, G.-K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S. K. ET AL. (Hg.) (2013): Chapter 5: Information from Paleoclimate Archives. Unter Mitarbeit von Masson-Delmotte, V, M. Schulz, A. Abe-Ouchi, J. Beer, A. Ganopolski et al. Intergovernmental Panel on Climate Change. 14 Bände. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.: Cambridge University Press (Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 5). Online verfügbar unter http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter05_FINAL.pdf.
- STOCKER, F.-T., D. QIN, PLATTNER, G.-K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S.K. ET AL. (Hg.) (2013_B): Chapter 12: Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility. Unter Mitarbeit von Collins, M., R. Knutti, J. Arblaster, J.-L. Dufresne, T. Fichefet, P. Friedlingstein, X. Gao, W.J. Gutowski, T. Johns, G. Krinner, M. Shongwe, C. Tebaldi, A.J. Weaver and M. Wehner. Intergovernmental Panel on Climate Change. 14 Bände. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.: Cambridge University Press (Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change). Online verfügbar unter http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter12_FINAL.pdf.
- UMWELTBUNDESAMT [UBA] (2019): Strom- und Wärmeversorgung in Zahlen. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/energieversorgung/strom-waermeversorgung-in-zahlen?sprungmarke=Strommix#Kraftwerke> (zuletzt abgerufen am 07.05.2019)
- UMWELTBUNDESAMT [UBA] (2018): Klimaschutzziele Deutschlands. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/klimaschutzziele-deutschlands> (zuletzt abgerufen am 29.04.2019)
- UMWELTBUNDESAMT [UBA] (2017): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2017, Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2015 <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/berichterstattung-unter-der-klimarahmenkonvention-2>
- UMWELTBUNDESAMT [UBA] (2015): Heizen, Raumtemperatur – gewusst wie. Im Internet abrufbar: <http://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/heizen-bauen/heizen-raumtemperatur> (letztmaliger Zugriff am 12. 06. 2017)
- UMWELTBUNDESAMT [UBA] (2012): Klimaschutz in der räumlichen Planung. Gestaltungsmöglichkeiten der Raumordnung und Bauleitplanung.
- UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC) (1997): Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen: Das Protokoll von Kyoto zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen.
- UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC) (2015): Adoption of the Paris Agreement, Conference of the Parties, Twenty-first session, Paris, 30 November to 11 December 2015 <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09.pdf>

- ULRICH, W. (1987): Simulationen von thermisch induzierten Winden und Überströmungssituationen. Wiss. Mitt. Meteor. Inst. Univ. München Nr. 57.
- U.S. GEOLOGICAL SURVEY (USGS) 2004: Geländedatensatz der SRTM-Befliegung. USGS/EROS Data Center, Attn.: Research. Sioux Falls, SD
- VAN DE WAL, R.S.W.; BOER, B. DE; LOURENS, L. J.; KÖHLER, P.; BINTANJA, R. (2011): Reconstruction of a continuous high-resolution CO₂ record over the past 20 million years. In: Clim. Past 7 (4), S. 1459–1469. DOI: 10.5194/cp-7-1459-2011.
- VAN VUUREN, D.P., EDMONDS, J., KAINUMA, M., RIAHI, K., THOMSON, A., HIBBARD, K., HURTT, G.C., KRAM, T., KREY, V., LAMARQUE, J.-F., MASUI, T., MEINSHAUSEN, M., NAKICENOVIC, N., SMITH, S.J., ROSE, S.K. (2011): The representative concentration pathways. An overview. Climatic Change 109, 5-31.
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE [VDI] (2004): VDI-Richtlinie 3787 Blatt 9. Umweltmeteorologie. Berücksichtigung von Klima und Lufthygiene.
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE [VDI] (2008): Richtlinie VDI 3785, Blatt 1, Methodik und Ergebnisdarstellung von Untersuchungen zum planungsrelevanten Stadtklima, Düsseldorf.
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE [VDI] (2008_B): VDI-Richtlinie 3787 Blatt 2. Umweltmeteorologie. Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung. Teil I: Klima.
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE [VDI] (2015): Richtlinie VDI 3787 Blatt 1. Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen. Düsseldorf
- WAGNER, S. (2018): Klimaschutz durch Raumordnung. Zentralinstitut für Raumplanung an der Universität Münster. Beiträge zum Raumplanungsrecht.
- WALKER, M., JOHNSEN, S., RASMUSSEN, S.O., POPP, T., STEFFENSEN, J.-P., GIBBARD, P., HOEK, W., LOWE, J., ANDREWS, J., BJÖRCK, S., Cwynar, L.C., HUGHEN, K., KERSHAW, P., KROMER, B., LITT, T., LOWE, D.J., NAKAGAWA, T., NEWNHAM, R., SCHWANDER, J. (2009): Formal definition and dating of the GSSP (Global Stratotype Section and Point) for the base of the Holocene using the Greenland NGRIP ice core, and selected auxiliary records. J. Quaternary Sci. 24, 3-17.
- ZEEBE, R.E.; RIDGWELL, A.; ZACHOS, J.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, X.; LOHMANN, G.; KNORR, G.; PURCELL, C. (2014): Abrupt glacial climate shifts controlled by ice sheet changes. In: Nature 512, 290 EP -. DOI: 10.1038/nature13592.
- ZHANG, Y.G.; PAGANI, M.; LIU, Z.; BOHATY, S.M.; DECONTO, R. (2013): A 40-million-year history of atmospheric CO(2). In: Philosophical transactions. Series A, Mathematical, physical, and engineering sciences 371 (2001), S. 20130096. DOI: 10.1098/rsta.2013.0096.
- ZWECKVERBAND GROßRAUM BRAUNSCHWEIG [ZGB] (2012): Ausnahmen von Zielen der Raumordnung - § 6 Abs. 1 ROG rechtssicher und praxisorientiert anwenden! In: Schriftenreihe zur Regionalentwicklung – Heft 3, Braunschweig.

Gesetze, Verordnungen und Rechtsprechung

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

Klimaschutzgesetz Nordrhein-Westfalen vom 29.01.2013.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Anhang A 1: Daten Bestand und Potenziale Erneuerbarer Energien

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

Gemeinde	potenziell installierbare Leistung in MW	potenzieller Ertrag in GWh/a	potenziell nutzbare Fläche in ha
Altena	12	29	50
Attendorn	150	363	574
Bad Berleburg	456	1.072	1.856
Bad Laasphe	282	649	1.275
Balve	186	426	876
Burbach	96	222	407
Drolshagen	69	172	245
Erndtebrück	132	312	594
Finnentrop	294	685	1.344
Freudenberg	36	90	59
Halver	18	45	54
Hemer	75	177	283
Herscheid	36	88	175
Hilchenbach	69	170	238
Iserlohn	36	89	133
Kierspe	51	129	98
Kirchhundem	354	856	1.464
Kreuztal	117	285	440
Lennestadt	261	613	1.114
Lüdenscheid	39	96	109
Meinerzhagen	66	167	167
Menden (Sauerland)	42	105	105
Nachrodt-Wiblingwerde	33	80	105
Netphen	147	354	638
Neuenrade	159	359	812
Neunkirchen	42	102	138
Olpe	123	297	459
Plettenberg	216	487	926
Schalksmühle	24	58	61
Siegen	84	205	268
Wenden	90	223	345
Werdohl	27	67	96
Wilnsdorf	96	234	376

Tabelle A 2: Bestand Windenergie nach Gemeinden (Stand: 31.12.2018)

Gemeinde	installierte Leistung in	Ertrag in GWh/a	Anzahl Anlagen
Altena	0,0	0,0	0
Attendorn	1,7	3,0	3
Bad Berleburg	5,4	8,7	5
Bad Laasphe	27,7	52,6	9
Balve	6,9	10,2	6
Burbach	5,0	10,7	2
Drolshagen	0,0	0,0	0
Erndtebrück	0,0	0,0	0
Finnentrop	2,2	3,2	3
Freudenberg	8,9	24,4	4
Halver	0,5	0,6	1
Hemer	0,1	0,0	1
Herscheid	0,6	0,8	1
Hilchenbach	10,0	23,7	5
Iserlohn	1,2	2,9	4
Kierspe	0,0	0,0	0
Kirchhundem	5,3	14,2	3
Kreuztal	2,2	3,6	2
LenneStadt	6,2	11,2	5
Lüdenscheid	3,6	8,8	2
Meinerzhagen	5,3	6,8	4
Menden (Sauerland)	0,6	0,5	1
Nachrodt-Wiblingwerde	1,6	1,8	2
Netphen	2,4	3,9	3
Neuenrade	0,6	0,4	1
Neunkirchen	0,0	0,0	0
Olpe	9,6	14,7	6
Plettenberg	6,0	8,2	3
Schalksmühle	7,3	14,3	4
Siegen	1,6	2,6	2
Wenden	1,2	1,6	2
Werdohl	0,0	0,0	0
Wilnsdorf	7,5	13,0	3

Tabelle A 3: Potenzial Dachflächen-Photovoltaik nach Gemeinden (LANUV 2018c)

Gemeinde	potenziell installierbare Leistung in MWp	potenzieller Ertrag in GWh/a	potenzielle installierbare Modulfläche in m²
Altena	54	42	321.769
Attendorn	111	88	659.612
Bad Berleburg	93	73	554.174
Bad Laasphe	69	54	409.866
Balve	59	47	349.064
Burbach	67	53	397.811
Drolshagen	61	48	364.095
Erndtebrück	42	33	249.920
Finnentrop	86	67	509.733
Freudenberg	69	54	407.296
Halver	119	103	703.437
Hemer	132	107	779.742
Herscheid	31	24	182.802
Hilchenbach	56	44	331.432
Iserlohn	311	254	1.841.391
Kierspe	65	52	382.652
Kirchhundem	50	38	294.280
Kreuztal	128	101	758.694
Lennestadt	102	79	602.797
Lüdenscheid	200	163	1.184.508
Meinerzhagen	88	71	522.866
Menden (Sauerland)	210	171	1.243.232
Nachrodt-Wiblingwerde	25	20	146.827
Netphen	93	73	548.410
Neuenrade	53	42	313.855
Neunkirchen	62	49	367.241
Olpe	105	82	619.788
Plettenberg	108	85	639.004
Schalksmühle	50	41	294.142
Siegen	305	240	1.802.907
Wenden	92	73	543.633
Werdohl	59	46	347.306
Wilnsdorf	84	66	495.102

Tabelle A 4: Potenzial Freiflächen-Photovoltaik nach Gemeinden (LANUV 2013)

Gemeinde	potenzielle Modulfläche in km ²	potenziell installierbare Leistung in MWp	potenzieller Ertrag in GWh/a
Altena	0,1	19,0	16,0
Attendorn	0,2	33,2	27,7
Bad Berleburg	0,2	39,6	33,7
Bad Laasphe	0,6	108,3	94,7
Balve	0,3	59,8	51,2
Burbach	0,3	52,2	46,1
Drolshagen	0,2	31,3	27,0
Erndtebrück	0,3	54,5	47,4
Finnentrop	0,3	49,1	41,3
Freudenberg	0,1	24,5	20,7
Halver	0,1	20,1	17,1
Hemer	0,3	50,5	43,5
Herscheid	<0,1	6,8	5,6
Hilchenbach	0,2	37,5	32,3
Iserlohn	0,7	124,6	107,1
Kierspe	0,1	23,4	20,1
Kirchhundem	0,2	27,5	23,4
Kreuztal	0,3	59,7	50,9
Lennestadt	0,2	34,7	28,8
Lüdenscheid	0,4	68,4	57,5
Meinerzhagen	0,2	41,3	35,4
Menden (Sauerland)	0,5	93,9	80,4
Nachrodt-Wiblingwerde	<0,1	4,1	3,5
Netphen	0,2	31,6	26,8
Neuenrade	0,1	24,8	21,0
Neunkirchen	0,2	37,5	32,7
Olpe	0,2	39,7	34,0
Plettenberg	0,3	59,7	50,5
Schalksmühle	0,1	24,9	21,4
Siegen	0,5	88,6	74,7
Wenden	0,2	33,6	28,8
Werdohl	0,1	21,0	17,6
Wilnsdorf	0,3	50,2	43,5

Tabelle A 5: Bestand Dachflächen-Photovoltaik nach Gemeinden (Stand: 31.12.2018)

Gemeinde	Installierte Leistung in MW	Ertrag in GWh/a	Anzahl Anlagen
Altena	1,4	1,3	129
Attendorn	2,6	2,3	237
Bad Berleburg	5,2	4,7	435
Bad Laasphe	5,8	5,2	267
Balve	4,6	4,1	280
Burbach	2,7	2,4	221
Drolshagen	3,2	2,8	256
Erndtebrück	2,3	2,0	160
Finnentrop	4,4	3,9	321
Freudenberg	3,2	2,9	223
Halver	4,3	3,8	285
Hemer	3,7	3,3	295
Herscheid	2,1	1,9	142
Hilchenbach	1,7	1,5	168
Iserlohn	13,4	11,9	896
Kierspe	3,7	3,3	228
Kirchhundem	2,8	2,5	194
Kreuztal	4,1	3,6	324
Lennestadt	6,3	5,6	478
Lüdenscheid	5,8	5,1	374
Meinerzhagen	2,9	2,6	247
Menden (Sauerland)	9,1	8,1	531
Nachrodt-Wiblingwerde	1,1	0,9	65
Netphen	4,9	4,3	399
Neuenrade	3,5	3,1	238
Neunkirchen	1,0	0,9	116
Olpe	4,3	3,8	297
Plettenberg	2,7	2,4	215
Schalksmühle	1,3	1,2	121
Siegen	9,0	7,9	643
Wenden	8,7	7,7	483
Werdohl	1,1	1,0	98
Wilnsdorf	3,7	3,2	338

Tabelle A 6: Gesamtpotenzial Biomasse nach Kreisen (LANUV 2014)

Keis	potenzielle Stromerträge in GWh/a	potenzielle Wärmeerträge in GWh/a
Märkischer Kreis	181,0	488,6
Olpe	102,6	327,5
Siegen-Wittgenstein	151,0	441,5

Tabelle A 7: Bestand Biomasse nach Gemeinden (Stand: 31.12.2018)

Gemeinde	installierte Leistung in MW	Ertrag in GWh/a (elektrisch)	Anzahl Anlagen
Altena	0	0	0
Attendorn	0	0	0
Bad Berleburg	0	0	0
Bad Laasphe	0	0	0
Balve	1,5	9,2	4
Burbach	0,3	2,0	1
Drolshagen	0	0	0
Erndtebrück	5,0	29,9	1
Finnentrop	0	0	0
Freudenberg	0	0	0
Halver	75,0	0,4	1
Hemer	0	0	0
Herscheid	0	0	0
Hilchenbach	0	0	0
Iserlohn	0,4	2,1	2
Kierspe	0,4	2,3	1
Kirchhundem	0	0	0
Kreuztal	2,0	0,1	1
Lennestadt	1,9	11,5	2
Lüdenscheid	1,2	7,2	1
Meinerzhagen	0,2	0,9	2
Menden (Sauerland)	0	0	0
Nachrodt-Wiblingwerde	0	0	0
Netphen	45,0	0,3	1
Neuenrade	0	0	0
Neunkirchen	0	0	0
Olpe	0	0	0
Plettenberg	0,6	3,3	2
Schalksmühle	0	0	0
Siegen	0,4	2,5	3
Wenden	0	0	0
Werdohl	0	0	0
Wilnsdorf	0	0	0

Tabelle A 8: Bestand Biomasse nach Kreisen (Stand: 31.12.2018)

Kreis	installierte Leistung in MW	Ertrag in GWh/a (elektrisch)	Anzahl Anlagen
Märkischer Kreis	4,3	25,5	13
Olpe	1,9	11,5	2
Siegen-Wittgenstein	5,8	34,8	7

Tabelle A 9: Ungenutzte Potenziale Wasserkraft nach Gemeinden (LANUV 2017_B)

Gemeinde	potenziell installierbare Leistung in kW	potenzieller Ertrag in MWh/a	Anzahl potenzieller Anlagen (Neubau, Repowering)
Altena	94	496	1
Attendorn	237	949	1
Bad Berleburg	0	0	0
Bad Laasphe	0	0	0
Balve	0	0	0
Burbach	0	0	0
Drolshagen	0	0	0
Erndtebrück	0	0	0
Finnentrop	0	0	0
Freudenberg	0	0	0
Halver	0	0	0
Hemer	0	0	0
Herscheid	0	0	0
Hilchenbach	0	0	0
Iserlohn	98	586	1
Kierspe	54	191	1
Kirchhundem	0	0	0
Kreuztal	0	0	0
Lennestadt	327	1.141	4
Lüdenscheid	0	0	0
Meinerzhagen	0	0	0
Menden (Sauerland)	357	1.750	2
Nachrodt-Wiblingwerde	310	1.320	2
Netphen	0	0	0
Neuenrade	0	0	0
Neunkirchen	0	0	0
Olpe	432	723	1
Plettenberg	542	2.350	4
Schalksmühle	81	351	1
Siegen	133	473	1
Wenden	0	0	0
Werdohl	284	1.452	3
Wilnsdorf	0	0	0

Tabelle A 10: Bestand Wasserkraft nach Gemeinden (Stand: 31.12.2018)

Gemeinde	installierte Leistung in kW	Ertrag in MWh/a	Anzahl Anlagen
Altena	641	1.968	2
Attendorn	19.402	25.202	3
Bad Berleburg	4	14	1
Bad Laasphe	18	38	3
Balve	116	169	3
Burbach	13	45	2
Drolshagen	0	0	0
Erndtebrück	34	10	1
Finnentrop	4.091	9.330	6
Freudenberg	0	0	0
Halver	133	415	7
Hemer	0	0	0
Herscheid	0	0	0
Hilchenbach	0	0	0
Iserlohn	58	18	2
Kierspe	49	53	3
Kirchhundem	41	69	3
Kreuztal	0	0	0
Lennestadt	417	1.968	7
Lüdenscheid	453	1.471	3
Meinerzhagen	52	127	3
Menden (Sauerland)	4.055	14.005	3
Nachrodt-Wiblingwerde	2.000	4.033	2
Netphen	87	601	2
Neuenrade	0	0	0
Neunkirchen	20	70	1
Olpe	0	0	0
Plettenberg	2.350	8.220	2
Schalksmühle	383	874	2
Siegen	26	79	5
Wenden	0	0	0
Werdohl	5.051	17.961	7
Wilnsdorf	0	0	0

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

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



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

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

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

sowie bioklimatischen Ausgleichsräumen und -funktionen durch Abgrenzung von

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

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

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

A 2.1 Regional bedeutsame Belastungsräume (nachts)

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

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

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

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

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

Tabelle A 10: Klassifizierung regional bedeutsamer nächtlicher Belastungsräume

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

A 2.2 Regional bedeutsame Belastungsräume (tags)

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

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

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

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

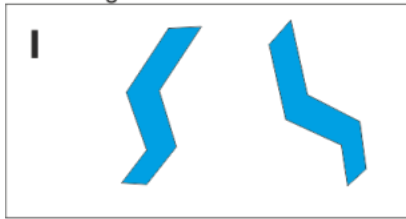
A 2.3 Regional bedeutsame Kaltluft-Leitbahnen und assoziierte Einzugsgebiete

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

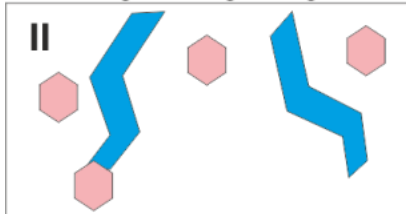
Grundsätzlich sind die landesweit vorkommenden Kaltluft-Leitbahnen sowie das jeweils transportierte Volumen bereits in den Modell-Ergebnissen der Klimaanalyse NRW als Rasterdatensatz des Strömungsfeldes mit Richtung und Geschwindigkeit enthalten. Diese Daten liegen jedoch in einem – aus Sicht der Maßstabsebene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

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

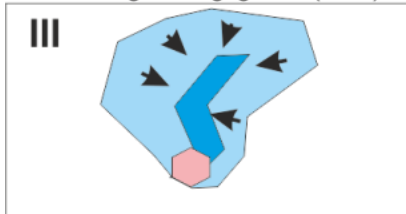
Ermittlung Leitbahnen



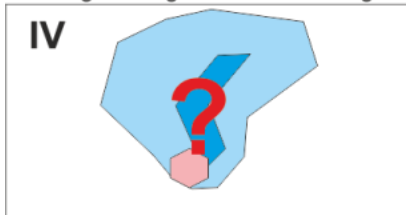
Herstellung Siedlungsbezug



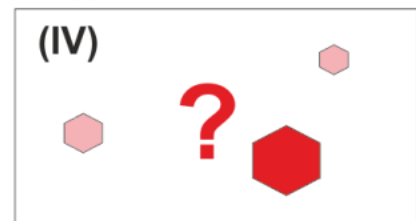
Berechnung Einzugsgebiet (EZG)



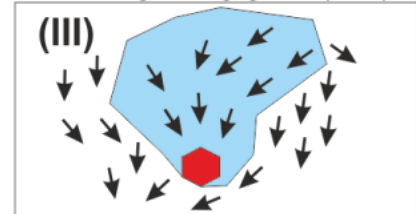
Prüfung auf regionale Bedeutung



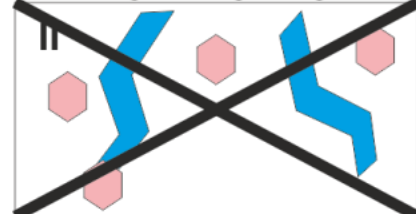
Definition reg. Bedeutung durch Wirkraum



Berechnung Einzugsgebiet (EZG)



Herstellung Siedlungsbezug



Ermittlung Leitbahnen aus EZG

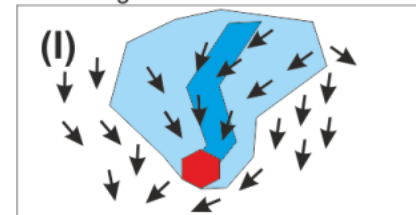


Abbildung A 2: Direkter und indirekter (inverser) Workflow zur Abgrenzung regional bedeutsamer Kaltluft-Leitbahnen und ihrer Einzugsgebiete

Festlegung der überörtlichen Bedeutung anhand von Betroffenenzahlen

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

Einerseits belegt eine im landesweiten Vergleich möglichst große Betroffenenzahl die besondere Bedeutung der Ausgleichsfunktion, andererseits lässt sich aus einer großen Betroffenenzahl auch auf die Größe des Liefergebiets (räumliche Ausdehnung des Einwirkbereichs) und damit indirekt auch auf die Ausdehnung und Intensität der Leitbahn rückschließen. Da der Kaltluftstrom durch den Siedlungskörper auf Grund zunehmender Oberflächenrauigkeit und Turbulenz gebremst wird, ist ein großer Einwirkbereich im Allgemeinen, und damit in Abhängigkeit von der jeweiligen Bevölkerungsdichte auch eine große Betroffenenzahl, auch mit einer ausgedehnten und vergleichsweise starken Ausgleichsströmung verbunden.

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

Modellierung der Kaltluftleitbahnen und Einzugsgebiete

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

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

Sowohl der Start- als auch der Endpunkt sind dabei jeweils durch den zugeordneten Einwirkungsbereich der Leitbahn (Endpunkt) sowie die „Quellgebiete“ (Startpunkt) an den Außengrenzen der Einzugsgebiete vorgegeben. Zu beachten ist, dass es lediglich einen Endpunkt, aber durchaus mehrere Startpunkte und somit auch mitunter mehr als eine Leitbahn pro Einzugsgebiet geben kann. Die in NRW vorhandenen, als regional bedeutsam einzustufenden Kaltluft-Leitbahnen werden ausgehend von den ermittelten Einzugsgebieten automatisiert mit Hilfe einer GIS-basierten Kostenpfad-Analyse erzeugt. Die oben genannten Charakteristika der Leitbahnen lassen sich aus dem aus der Modellierung vorliegenden rasterbasierten Strömungsfeld herleiten und werden für die GIS-Analyse in „Kostenfaktoren“ – die letzten Endes einem spezifischen Fließwiderstand entsprechen – umgewandelt und gleichwertig (d. h. ohne Wichtungsfaktoren) zu rasterzellen-spezifischen „Gesamtkosten“ aufsummiert. Somit erhält jede einzelne Rasterzelle einen spezifischen „Kostenwert“ bzw. Fließwiderstand, wobei geringe Kosten auch einen geringen Fließwiderstand und hohe Kosten einen hohen Fließwiderstand abbilden. Die „Kostenwerte“ werden darüber hinaus noch mit einem Korrekturfaktor multipliziert, um zu vermeiden, dass im Zuge der Kosten-Kumulation geradlinige, direkte Verbindungen zwischen Start- und Endpunkt Verläufen bevorzugt werden.

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

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

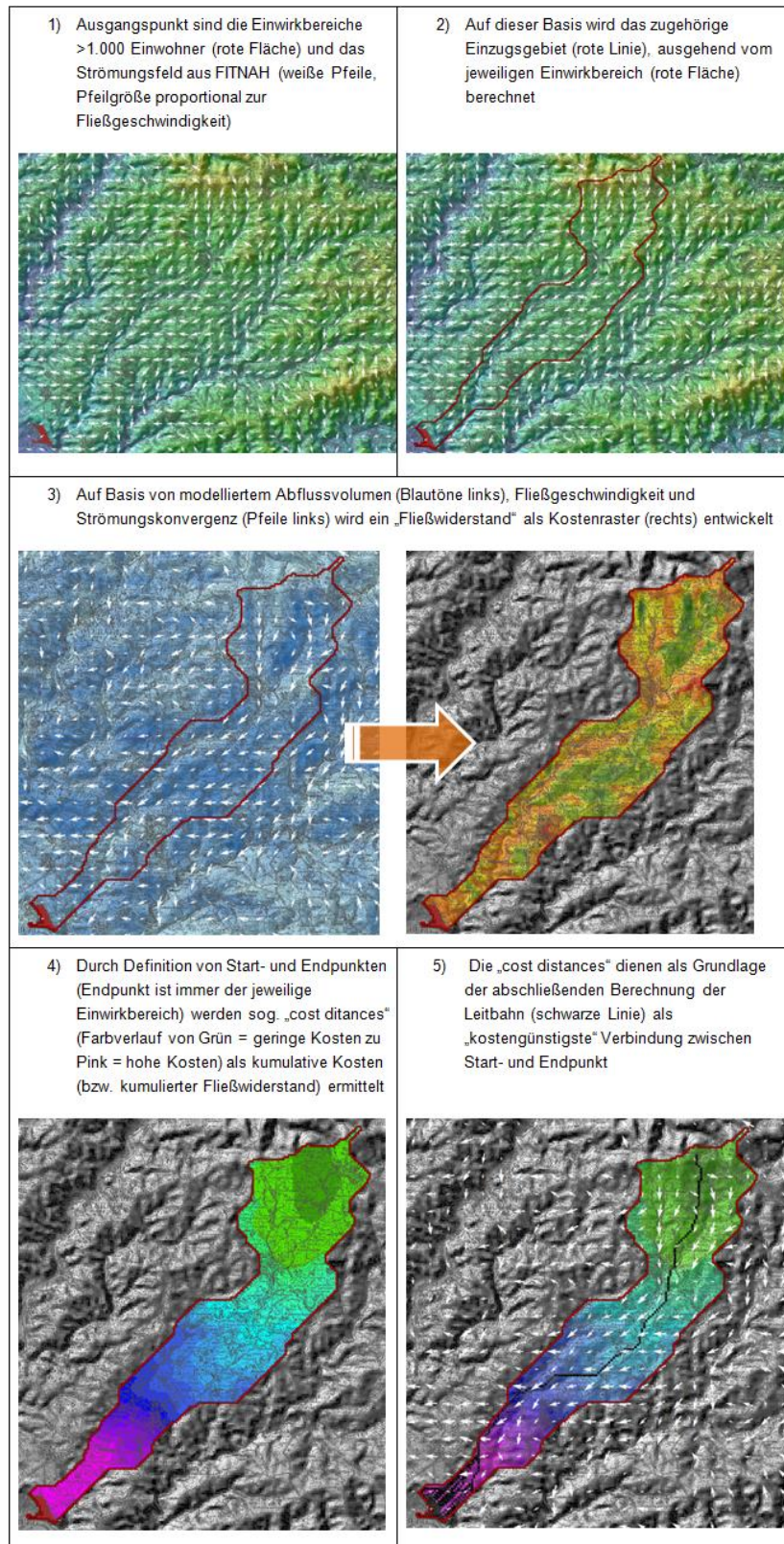


Abbildung A 3: Exemplarischer Ablauf der Ermittlung regional bedeutsamer Kaltluft- Leitbahnen und der zugehörigen Einzugsgebiete

Klassifizierung der Kaltluftleitbahnen und Einzugsgebiete

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Sonderfälle – Regional bedeutsame Einzugsgebiete ohne klassische Leitbahn

Ein kleinerer Anteil der aus den Modell-Ergebnissen ableitbaren regional bedeutsamen Einwirkbereiche (>1.000 Betroffene) weist keine klassische Leitbahn-Struktur auf und wird teils nicht allein von orographisch bedingten oder verstärkten Kaltluftabflüssen geprägt. Es handelt sich einerseits um flächenhafte Kaltluftabflüsse, die sich entlang von weitgehend geraden, einheitlich strukturierten (homogene Landnutzung) und gleichmäßigen Hangsystemen entwickeln. Andererseits sind dies komplexere, von lokalen Kaltluftabflüssen oder strukturbedingten Ausgleichsströmungen („Flurwindsystem“) gespeiste Kaltluftsysteme, die insbesondere in weniger reliefiertem Gelände zutage treten und von Bedeutung sind.

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

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

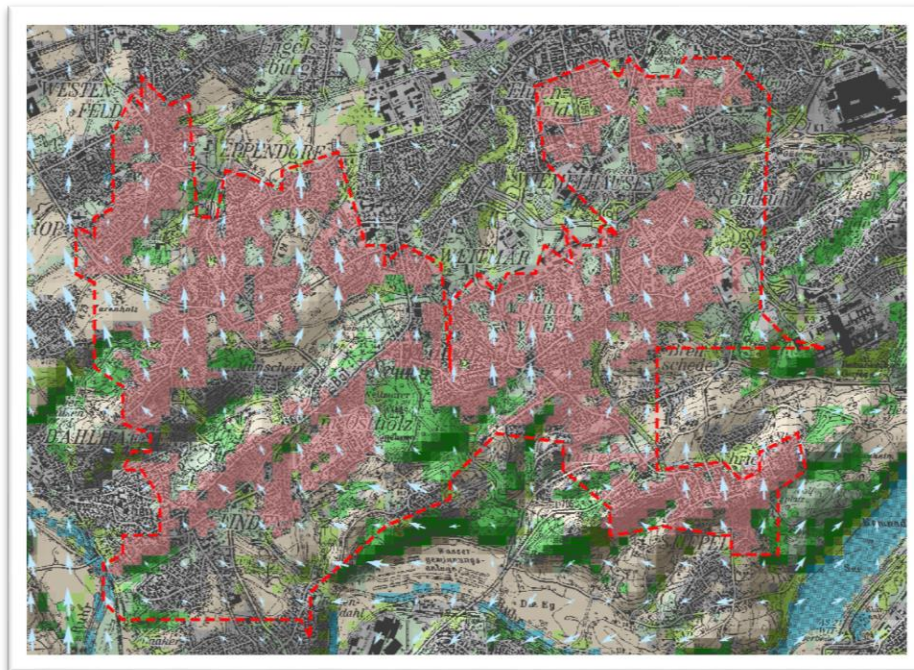


Abbildung A 4: Beispiel eines heterogenen, Flurwind beeinflussten Strömungssystems mit Einzugsgebiet regionale Bedeutung

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

A 2.4 Regional bedeutsame Ausgleichsräume mit hoher Aufenthaltsqualität am Tage

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

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

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

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

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

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

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

Landesamt für Natur, Umwelt und
Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen

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

www.lanuv.nrw.de