



Klimaanalyse

Stadt Fröndenberg/Ruhr

Jahr 2025

Impressum

Regionalverband Ruhr
Der Regionaldirektor
Kronprinzenstr. 35
45128 Essen
www.rvr.ruhr
info@rvr.ruhr



Erstellt durch/ Inhaltlich Verantwortliche:

Referat Klima und Umweltschutz
Team Klimaanpassung
Kronprinzenstr. 6
45128 Essen

Verfasst von:

Marco Mersmann M.Sc.

Unter Mitarbeit von:

Dipl. Geogr. Thorsten Stock
Dipl. Geogr. Astrid Snowdon
Ioanna Schmidt-Ioannidou M. Sc.
Marion von Gersum
Johanna Koch B. Sc.

Vorgelegt am:

11.04.2025

Im Auftrag von:

Stadt Fröndenberg/Ruhr
Stabsstelle Klimaschutz
Bahnhofstraße 2
58730 Fröndenberg/Ruhr



Inhalt

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	V
KARTENVERZEICHNIS.....	VII
TABELLENVERZEICHNIS	VIII
ZUSAMMENFASSUNG	1
1 EINLEITUNG UND AUFGABENSTELLUNG	7
2 CHARAKTERISIERUNG DES UNTERSUCHUNGSGBIETES	10
2.1 NATURRÄUMLICHE UND GROSSKLIMATISCHE EINORDNUNG.....	12
2.2 RELIEF	14
2.3 FLÄCHENNUTZUNG.....	17
3 FLÄCHENHAFT E AUSPRÄGUNG AUSGEWÄHLTER KLIMAELEMENTE.....	22
3.1 BODENNAHE LUFTTEMPERATUREN UND NÄCHTLICHE ABKÜHLUNG	24
3.2 PHYSIOLOGISCH ÄQUIVALENTE TEMPERATUR	32
3.3 GESAMTBEWERTUNG DER WÄRMEBELASTUNG.....	37
3.4 AUTOCHTONES WINDFELD	42
3.5 KALTLUFTPRODUKTIONSRATE	47
3.6 KALTLUFTVOLUMENSTROM	50
3.7 LUFTAUSTAUSCHRATE	54
4 KARTE DER KLIMAÖKOLOGISCHEN FUNKTIONEN	57
4.1 DARSTELLUNGSEBENEN DER KARTE DER KLIMAÖKOLOGISCHEN FUNKTIONEN	57
4.1.1 BEBAUTE BEREICHE (FITNAH-NUTZUNGSKLASSEN)	57
4.1.2 KALTLUFT	58
4.1.3 BELÜFTUNG.....	59
4.2 GLIEDERUNG DER STADT FRÖNDENBERG/RUHR ANHAND DER KARTE DER KLIMAÖKOLOGISCHEN FUNKTIONEN.....	60
5 KLIMAANALYSEKARTE	66
5.1 DARSTELLUNGSEBENEN DER KLIMAANALYSEKARTE.....	67
5.1.1 KLIMATOPE.....	68
5.1.2 SPEZIFISCHE KLIMAEIGENSCHAFTEN	76
5.1.3 LUFTAUSTAUSCH.....	79
5.1.4 LUFTHYGIENE.....	80
5.2 GLIEDERUNG DER STADT FRÖNDENBERG/RUHR ANHAND DER KLIMAANALYSEKARTE	82

6	DIE STADT FRÖNDENBERG/RUHR IM ZEICHEN DES GLOBALEN KLIMAWANDELS...	91
6.1	GLOBALER KLIMAWANDEL	91
6.2	AUSWIRKUNGEN DES GLOBALEN KLIMAWANDELS AUF DIE REGION RUHR.....	97
6.3	ZUKÜNFTIGE ENTWICKLUNG KLIMATISCHER KENNTAGE IN FRÖNDENBERG/RUHR.....	113
7	BETROFFENHEITSANALYSE	119
7.1	METHODIK ZUR ABGRENZUNG DER PROBLEMGEBIETE	120
7.2	LOKALISIERUNG UND BEWERTUNG DER PROBLEMGEBIETE	127
8	PLANUNGSHINWEISE	130
8.1	PLANUNGSHINWEISKARTE	131
8.1.1	<i>DARSTELLUNGSEBENEN DER PLANUNGSHINWEISKARTE.....</i>	<i>131</i>
8.1.2	<i>GLIEDERUNG DER STADT FRÖNDENBERG/RUHR ANHAND DER PLANUNGSHINWEISKARTE.....</i>	<i>150</i>
8.2	PLANUNGSHINWEISE AUF EBENE DER STADTTEILE.....	154
8.2.1	<i>STADTTEILE ALTENDORF, DELLWIG, STRICKHERDICKE, LANGSCHEDE UND ARDEY</i>	<i>155</i>
8.2.2	<i>STADTTEIL FRÖNDENBERG</i>	<i>163</i>
8.2.3	<i>STADTTEILE FRÖMERN, OSTBÜREN UND BAUSENHAGEN.....</i>	<i>177</i>
8.2.4	<i>STADTTEILE STENTROP, BENTROP, WARMEN, FROHNHAUSEN UND NEIMEN</i>	<i>183</i>
	LITERATURVERZEICHNIS	190
	ANHANG	193

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1:	Stadtteile im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr (Quelle: Stadt Fröndenberg/Ruhr)	11
Abbildung 2-2:	Großlandschaften und Naturräumliche Haupteinheiten in der Metropole Ruhr (Datenquellen: RVR und Geobasis NRW)	12
Abbildung 2-3:	Klimabezirke in der Metropole Ruhr (Lüftner 1996)	13
Abbildung 3-1:	Prinzip des Flurwindes	42
Abbildung 5-1:	Flächenanteile der Klimatope und Verkehrstrassen im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr	82
Abbildung 6-1:	Beobachtete und simulierte Änderung der globalen Oberflächentemperatur von 1850-2020 (IPCC 2021)	92
Abbildung 6-2:	Änderungen der regionalen Durchschnittstemperatur bei beobachteter und simulierter Temperaturänderung (IPCC 2021)	92
Abbildung 6-3:	Multimodell-simulierte Änderung der mittleren globalen Erdoberflächentemperatur von 1950 bis 2100 (verändert nach IPCC 2013a)	94
Abbildung 6-4:	Globale Verteilung der Veränderung der mittleren Erdoberflächentemperatur (a) und des mittleren Niederschlags (b), basierend auf Multimodell-Mittel-Projektionen für 2081-2100 gegenüber 1986-2005 für die Szenarien RCP2.6 und RCP8.5 (IPCC 2013a)	96
Abbildung 6-5:	Jahresmitteltemperaturen (°C) von 1901 bis 2023 an der DWD-Station in Essen-Bredeney. Die 14 wärmsten Jahre sind in Rot dargestellt. (Datenquelle: DWD Climate Data Center (CDC): Jahresmittel der Stationsmessungen der Lufttemperatur auf 2 m Höhe in °C für Deutschland, Version v19.3, abgerufen am 26.06.2024)	100
Abbildung 6-6:	Vieljährige Monatsmittel der Lufttemperatur (°C) an der DWD-Station Essen-Bredeney (Datenquelle: DWD Climate Data Center (CDC): Monatsmittel der Stationsmessungen der Lufttemperatur auf 2 m Höhe in °C für Deutschland, Version v19.3, abgerufen am 23.10.2023)	100
Abbildung 6-7:	Jährliche Anzahl an Sommertagen ($t_{\max} \geq 25 \text{ °C}$) von 1935 bis 2023 an der DWD-Station Essen-Bredeney (Datenquelle: DWD Climate Data Center (CDC): Tägliche Stationsmessungen des Maximums der Lufttemperatur auf 2 m Höhe in °C für Deutschland, Version v19.3, abgerufen am 26.06.2024)	101
Abbildung 6-8:	Jährliche Anzahl an Heißen Tagen ($t_{\max} \geq 30 \text{ °C}$) von 1935 bis 2023 an der DWD-Station Essen-Bredeney (Datenquelle: DWD Climate Data Center (CDC): Tägliche Stationsmessungen des Maximums der Lufttemperatur auf 2 m Höhe in °C für Deutschland, Version v19.3, abgerufen am 26.06.2024)	101

Abbildung 6-9: Jährliche Anzahl der Frosttage ($t_{\min} < 0\text{ °C}$) von 1935 bis 2023 an der DWD-Station Essen-Bredeney (Datenquelle: DWD Climate Data Center (CDC): Tägliche Stationsmessungen des Minimums der Lufttemperatur auf 2 m Höhe in °C für Deutschland, Version v19.3, abgerufen am 26.06.2024).....	102
Abbildung 6-10: Jahressummen der Niederschlagshöhe (mm) von 1900 bis 2023 an der DWD-Station Essen-Bredeney (Datenquelle: DWD Climate Data Center (CDC): Jahressumme der Stationsmessungen der Niederschlagshöhe in mm für Deutschland, Version v19.3, abgerufen am 26.06.2024).....	102
Abbildung 6-11: Entwicklung und Verteilung des vieljährigen Mittels der Lufttemperatur in der Metropole Ruhr in den beiden Klimanormalperioden 1961-1990 und 1991-2020 (Datenquelle: DWD, Climate Data Center)	106
Abbildung 6-12: Entwicklung und Verteilung des mittleren jährlichen Anzahl an Sommertagen in der Metropole Ruhr in den beiden Klimanormalperioden 1961-1990 und 1991-2020 (Datenquelle: DWD, Climate Data Center)	107
Abbildung 6-13: Entwicklung und Verteilung des mittleren jährlichen Anzahl an Heißen Tagen in der Metropole Ruhr in den beiden Klimanormalperioden 1961-1990 und 1991-2020 (Datenquelle: DWD, Climate Data Center)	108
Abbildung 6-14: Entwicklung und Verteilung des mittleren jährlichen Anzahl an Frosttagen in der Metropole Ruhr in den beiden Klimanormalperioden 1961-1990 und 1991-2020 (Datenquelle: DWD, Climate Data Center)	109
Abbildung 6-15: Entwicklung und Verteilung des vieljährigen Mittels der Niederschlagshöhe in der Metropole Ruhr in den beiden Klimanormalperioden 1961-1990 und 1991-2020 (Datenquelle: DWD, Climate Data Center)	110
Abbildung 6-16: Differenz der Jahresmitteltemperaturen (in K) in der Metropole Ruhr zwischen den Klimanormalperioden 1971-2000 und 2021-2050 basierend auf Ensemble-Rechnungen für die Szenarien RCP4.5 und 8.5 (Eigene Darstellung auf Basis von EURO-Cordex-Projekt (Datengrundlage), DWD (Datenbearbeitung), LANUV NRW (Datenvermittler)).....	111
Abbildung 6-17: Differenz der mittleren Niederschlagssummen (in %) in der Metropole Ruhr zwischen den Klimanormalperioden 1971-2000 und 2021-2050 basierend auf Ensemble-Rechnungen für die Szenarien RCP4.5 und 8.5 (Eigene Darstellung auf Basis von EURO-Cordex-Projekt (Datengrundlage), DWD (Datenbearbeitung), LANUV NRW (Datenvermittler))	112
Abbildung 6-18: Verteilung und Entwicklung der Anzahl an Heißen Tagen im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr für die Szenarien RCP2.6 und 8.5	116
Abbildung 6-19: Verteilung und Entwicklung der Anzahl an Tropennächten im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr für die Szenarien RCP2.6 und 8.5	118

Kartenverzeichnis

Karte 2-1: Geländehöhen im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr (Daten: Digitales Geländemodell 2015).....	16
Karte 2-2: Verteilung der Flächennutzungskategorien im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr auf Basis der Flächennutzungskartierung des Regionalverbands Ruhr (Stand: 2021)	21
Karte 3-1: Bodennahe Lufttemperatur (2 m ü. Grund) im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr um 4 Uhr.....	29
Karte 3-2: Bodennahe Lufttemperatur (2 m ü. Grund) im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr um 14 Uhr.....	30
Karte 3-3: Nächtliche Abkühlung (22 - 4 Uhr) der Lufttemperatur in 2 m über Grund im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr.....	31
Karte 3-4: Physiologisch äquivalente Temperatur (PET) im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr um 14 Uhr.....	36
Karte 3-5: Gesamtbewertung der Wärmebelastung im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr.....	41
Karte 3-6: Autochthones Windfeld im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr um 4 Uhr	46
Karte 3-7: Kaltluftproduktionsrate im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr um 4 Uhr	49
Karte 3-8: Kaltluftvolumenstrom im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr um 4 Uhr.....	53
Karte 3-9: Luftaustauschrate im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr um 4 Uhr.....	56
Karte 4-1: Karte der Klimaökologischen Funktionen im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr.....	65
Karte 5-1: Klimaanalysekarte der Stadt Fröndenberg/Ruhr	90
Karte 7-1: Bevölkerungsdichte der Baublöcke im Bereich der Innenstadt- und Stadtklimatope im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr.....	123
Karte 7-2: Prozentualer Anteil der Bevölkerung über 65 Jahre auf Baublockebene für die Bereiche der Stadt- und Innenstadtklimatope im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr.....	126
Karte 7-3: Problemgebiete der Hitzebelastung im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr.....	129
Karte 8-1: Planungshinweiskarte der Stadt Fröndenberg/Ruhr	153
Karte 8-2: Ausschnitt der Planungshinweiskarte der Stadt Fröndenberg/Ruhr für den Bereich West.....	162
Karte 8-3: Ausschnitt der Planungshinweiskarte der Stadt Fröndenberg/Ruhr für den Bereich Mitte	176
Karte 8-4: Ausschnitt der Planungshinweiskarte der Stadt Fröndenberg/Ruhr für den Bereich Nord	182
Karte 8-5: Ausschnitt der Planungshinweiskarte der Stadt Fröndenberg/Ruhr für den Bereich Ost.....	189
Karte A 1: Bevölkerungsdichte auf Baublockebene im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr.....	195
Karte A 2: Prozentualer Anteil der Bevölkerung über 65 Jahre auf Baublockebene im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr.....	196

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Bevölkerungszahl, Flächengröße und Bevölkerungsdichte für die 14 Stadtteile der Stadt Fröndenberg/Ruhr	11
Tabelle 2-2: Ausgewählte Klimaindikatoren für den Zeitraum 1991-2020 (LANUV NRW 2025)	14
Tabelle 2-3: Flächengröße und prozentuale Anteile unterschiedlicher Flächennutzungskategorien an der Gesamtfläche des Regionalverbands Ruhr sowie des Stadtgebietes von Fröndenberg (Datenbasis: Flächennutzungskartierung (FNK) des RVR; Stand: 2021)	17
Tabelle 3-1: Einteilung der PET-Klassen, verändert nach Matzarakis und Mayer (1996) und Held und Krüger (2011).....	33
Tabelle 3-2: PET-Klassen, verändert nach Matzarakis und Mayer (1996) und Held und Krüger (2011)	38
Tabelle 3-3: Bewertung der mit FITNAH-3D modellierten nächtlichen Lufttemperaturen (T_{Nacht}) um 4 Uhr, in Anlehnung an LANUV 2018	38
Tabelle 3-4: Gesamtbewertung der Wärmebelastung, die sich aus der der nächtlichen Temperatur und dem PET-Wert ergibt	38
Tabelle 7-1: Anfälligkeitsstufen der Bevölkerungsdichte	127
Tabelle A 1: Charakteristika der 14 FITNAH-Nutzungsklassen (GEO-NET 2021).....	193

Zusammenfassung

Das Ziel der vorliegenden Klimaanalyse ist die Untersuchung und Bewertung der klimatischen Situation innerhalb des Stadtgebietes von Fröndenberg/Ruhr sowie die Ausweisung von Planungshinweisen, die vor dem Hintergrund der prognostizierten klimatischen Veränderungen im Laufe des 21. Jahrhunderts eine klimawandelgerechte Stadtentwicklung gewährleisten sollen.

Der Regionalverband Ruhr erstellt bereits seit über 40 Jahren entsprechende Stadtklimaanalysen für seine Verbandskommunen. So wurde beispielsweise bereits im Jahr 1991 im Rahmen eines „Klima- und Lufthygiene-Gutachtens für den Kreis Unna“ ein sogenannter „Sonderbericht Stadtgebiet Fröndenberg“ erarbeitet. Dabei basierten die Gutachten in der Vergangenheit oftmals auf einem aufwändigen Messprogramm, wobei aus stationären Messungen (punktuell) und Messfahrten (linienhaft) anhand von Analogieschlüssen nur grobe flächendeckende Aussagen mit geringer Detailschärfe getroffen werden konnten. Im Rahmen der vorliegenden Analyse werden hingegen die Ergebnisse einer für die gesamte Metropolregion Ruhr durchgeführten Klimamodellierung mit Hilfe des Simulationsmodells FITNAH-3D aus dem Jahre 2020 genutzt. Dieses Verfahren liefert, im Gegensatz zu den lokal begrenzten Messungen, umfassende, räumlich hochauflösende und vor allem flächendeckende Ergebnisse zu einer Vielzahl relevanter klimatischer Parameter. Die Ergebnisse dieser Modellierung werden in Kapitel 3 für das Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr beschrieben.

Das Relief von Fröndenberg/Ruhr ist geprägt durch das im Süden des Stadtgebietes von Ost nach West verlaufende Ruhrtal sowie die Lage am Haarstrang, einem geomorphologischen Höhenzug, der sich am südlichen Rand der Westfälischen Bucht von Westen nach Osten über den Süden der Stadt Dortmund sowie der Kreise Unna und Soest erstreckt. Dabei durchzieht der Haarstrang das zentrale Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr. Über die gesamte Breite des Stadtgebietes weist der Haarstrang ein starkes Gefälle nach Süden ins Ruhrtal auf, während das Relief zum Hellweg nach Norden deutlich sanfter abfällt. Neben dem Relief wird die klimatische Situation durch unterschiedliche Flächennutzungsstrukturen bestimmt.

Die Bedeutung dieser beiden Einflussgrößen spiegelt sich unter anderem in dem von FITNAH-3D für eine sommerliche autochthone Strahlungswetterlage simulierten nächtlichen bodennahen Temperaturfeld wider, welches eine Stadt-Umland-Differenz von 7,0 K (Wärmeinseleffekt) aufweist. Dabei treten die höchsten Temperaturen in den Gewerbe- bzw. Industriegebieten sowie im Stadtzentrum von Fröndenberg/Ruhr auf, während die niedrigsten Temperaturen im Stadtgebiet über landwirtschaftlich genutzten Flächen in Hang- bzw. Tallagen zu finden sind.

Das für eine sommerliche Strahlungswetterlage zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens simulierte bodennahe Windfeld weist die höchsten Windgeschwindigkeiten hauptsächlich über landwirtschaftlich genutzten Flächen auf. Dabei lässt sich ein deutlicher Unterschied der Windgeschwindigkeiten in Abhängigkeit der Reliefsituation erkennen, wobei grundsätzlich höhere Windgeschwindigkeiten über den Freiflächen in Hanglagen erreicht werden, während die Freiflächen entlang des Ruhrtals größtenteils geringere Werte aufweisen. Innerhalb der Siedlungsbereiche von Fröndenberg/Ruhr wurden deutlich geringere Windgeschwindigkeiten simuliert. Anhand der Strömungsvektoren ist erkennbar, welcher großen Einfluss das Relief auf die Windgeschwindigkeit sowie auf die Windrichtung der bodennahen Luftmassendynamik während solcher austauscharmer, autochthoner Wetterlagen ausübt.

Da die beschriebenen nächtlichen Luftmassenbewegungen ihren Ursprung zumeist über grüngerprägten Raumstrukturen haben und die Strömungsvektoren eine starke Reliefabhängigkeit aufweisen, kann hier grundsätzlich von Kaltluftdynamiken gesprochen werden, über die kühle und unbelastete Luftmassen transportiert werden. Die Eindringtiefe von Kaltluft in bebaute Gebiete hängt wesentlich von der Siedlungsgröße, der Bebauungsdichte, der Gebäudeausrichtung, der anthropogenen Wärmefreisetzung (die zu einer Erwärmung der eindringenden kühlen Luftmassen führt) sowie von der Menge und Geschwindigkeit der einströmenden Kaltluft ab. Letzteres ist wiederum von der Größe der kaltluftproduzierenden Flächen, der Kaltluftproduktivität dieser Flächen sowie der Reliefausprägung abhängig. Grundsätzlich gilt, dass vergleichsweise aufgelockerte Bebauungsstrukturen mit direkter Anbindung an größere Frei- bzw. Waldflächen und vernetzten innerstädtischen Grünflächen in austauscharmen Strahlungsnächten eine bessere Versor-

gung mit Kaltluft erfahren können, während hochverdichtete Strukturen mit geringem Grünflächenanteil und fehlender Vernetzung mit dem unbebauten Umland keine Kaltluftversorgung erfahren und damit potenziell stärkere nächtliche Überwärmungen aufweisen. Die Eindringtiefe der verschiedenen Kaltluftdynamiken in die Siedlungsbereiche von Fröndenberg/Ruhr wird in Kapitel 4 anhand der Karte der klimaökologischen Funktionen beschrieben.

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse der FITNAH-Modellierung, der Flächennutzung, der Topographie und aktueller Luftbilder erfolgte die Erstellung einer Klimanalysekarte (siehe Kapitel 5) nach den Vorgaben der VDI-Richtlinie 3787 Blatt 1 (VDI 2015). Die Klimanalysekarte beinhaltet mit den Klimatopen, den spezifischen Klimaeigenschaften, den Informationen zu lufthygienischen Verhältnissen sowie dem Luftaustausch vier Darstellungsebenen. Dabei wird sehr deutlich, dass die Freilandklimatope mit 67,7 % den mit weitem Abstand größten Anteil am Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr ausmachen. Das Waldklima nimmt mit 11,5 % den zweitgrößten Flächenanteil aller Klimatoptypen ein, gefolgt vom Vorstadtklima mit 6,0 % und Stadtrandklima mit 5,1 %. Weitere 3,1 % der Fläche entfallen auf die Straßen- und Gleisanlagen, während das Klima innerstädtischer Grünflächen 2,9 %, die Gewerbeklimatope 1,6 % und das Gewässerklima 1,2 % des Stadtgebietes umfassen. Die Klimatoptypen Stadtklima (0,5 %), Industrieklima (0,2 %) und Innenstadtklima (0,1 %) nehmen jeweils einen Flächenanteil von unter 1 % ein.

In Kapitel 6 wird ein Überblick über den wissenschaftlichen Stand zum Klimawandel, dessen Folgen und Auswirkungen sowie die projizierten globalen Klimaveränderungen für das 21. Jahrhundert gegeben. Dass der Klimawandel auch in der Metropolregion Ruhr bereits stattfindet, wird anhand von Auswertungen der teils über 120 Jahre umfassenden Datenreihe der DWD-Station Essen-Bredeney deutlich. Anschließend wird anhand der zeitlichen Entwicklung und räumlichen Verteilung klimatischer Kenntage, also der Häufigkeit des Auftretens von thermischen Extremereignissen wie heißen Tagen oder Nächten, die thermische Belastungssituation in unterschiedlichen Bereichen des Stadtgebietes aufgezeigt. Die Aussagen bezüglich der Verteilung und Entwicklung klimatischer Kenntage (Heiße Tage und Tropennächte) für das Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr beziehen sich dabei auf die beiden Zeiträume 2021-2050 und 2071-2100 und wurden für die zwei Szenarien

RCP2.6 und RCP8.5 (Hinweis: Erläuterung der RCP-Szenarien siehe Kapitel 6.1) ermittelt.

Die zu erwartenden Klimaveränderungen können negative Auswirkungen auf die Gesundheit des Menschen haben, von denen besonders kranke und ältere Menschen sowie Kleinkinder stärker betroffen sein können. Im Rahmen einer Betroffenheitsanalyse (siehe Kapitel 7) auf Baublockebene wurden Bereiche identifiziert, die aufgrund der klimatischen Situation, der Bevölkerungsdichte und der Altersstruktur eine besondere Sensibilität aufweisen. Dabei ist in den Bereichen der Stadt- und Innenstadtklimatope aufgrund der zumeist hochversiegelten Bebauung von einer generellen Hitzebelastung auszugehen. Mit zunehmender Bevölkerungsdichte erhöht sich die potenzielle Anfälligkeit eines Wohngebietes. Dabei wird deutlich, dass lediglich vereinzelt Baublöcke auftreten, die eine erhöhte oder gar sehr hohe Anfälligkeit gegenüber Hitzebelastungen in Bezug auf die Bevölkerungsdichte sowie zusätzlich eine erhöhte Anfälligkeit aufgrund der Altersstruktur aufweisen. Dies trifft insbesondere auf Baublöcke an der Karl-Wildschütz-Straße und im Bereich Auf der Freiheit bzw. an der Freiheitsstraße zu. Auffällig ist weiterhin, dass im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr einige hitzesensible Einrichtungen in den Problemgebieten der Hitzebelastung angesiedelt sind.

Abschließend wurden in Kapitel 8 auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse für das Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr Planungsempfehlungen aus rein stadtklimatologischer Sicht abgeleitet. Demnach ist der Großteil der Siedlungsbereiche im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr dem „Lastraum der überwiegend locker und offen bebauten Wohngebiete“ zuzuordnen. Mit Ausnahme des Stadtteils Fröndenberg entsprechen die Wohngebiete in sämtlichen Stadtteilen gänzlich diesem Lastraum. Aber auch im Stadtteil Fröndenberg überwiegen in weiten Teilen eher locker und offen bebaute Siedlungsstrukturen. Das Stadtzentrum und daran angrenzende Wohngebiete sowie mehrere kleinere Bereiche im Stadtteil Fröndenberg sind hingegen den klimatisch stärker belasteten Planräumen „Lastraum der überwiegend dicht bebauten Wohn- und Mischgebiete“ oder „Lastraum der hochverdichteten Innenstadt“ zugehörig. Zudem weisen insbesondere die Stadtteile Fröndenberg, Neimen und Frohnhausen unter anderem mit dem Industriegebiet Westick-

Ost/Frohnhausen sowie die Stadtteile Langschede und Dellwig Bereiche des „Lastraums der Gewerbe- und Industrieflächen“ auf.

Die bioklimatischen Verhältnisse in den Bereichen des „Lastraums der überwiegend locker und offen bebauten Wohngebiete“ sind grundsätzlich als positiv zu bewerten. Um die günstigen klimatischen Eigenschaften vor dem Hintergrund des globalen Klimawandels langfristig zu sichern, sollten die offenen und begrünten Bebauungsstrukturen erhalten bleiben und insbesondere im Bereich von Belüftungsbahnen und/oder Grünvernetzungen kleinräumige Entsiegelungs- und Begrünungsmaßnahmen durchgeführt und gefördert werden. In nahezu allen Stadtteilen ist dennoch aus rein stadtklimatologischer Sicht eine weitere maßvolle Nachverdichtung, die punktuelle Schließung von Baulücken oder die Ausweisung kleiner Neubaugebiete vertretbar. Lediglich im Stadtzentrum sowie auf dem Mühlenberg, am Sümberg und in Westick sollten keine oder nur sehr punktuelle Nachverdichtungen erfolgen. Zum Erhalt der Austauschfunktionen und zum Schutz relevanter klimatischer Ausgleichsflächen ist unter anderem in Teilbereichen der Siedlungsränder von Dellwig, Langschede und Frömern sowie im Süden der Hohenheide und in deren weiterem Verlauf am Siedlungsrand westlich der Bebauung am Hirschberg das Festschreiben einer klimatischen Baugrenze zu empfehlen. Weiterhin sollten klimatische Baugrenzen am südlichen Siedlungsrand von Westick und Neimen sowie am Rammbach im Nordosten von Warmen festgeschrieben werden.

Die klimatischen Ausgleichsräume des Freilandes, der innerstädtischen Grün- und Parkanlagen sowie der Waldgebiete fungieren vielerorts als wichtige thermische Pufferzonen zwischen den Siedlungsbereichen, als lokale Kalt- und Frischluftproduzenten, als Belüftungsbahn und/oder als Filter für Luftschadstoffe und Lärm, weshalb sie grundsätzlich gesichert werden sollten. Von entscheidender Bedeutung für die Relevanz dieser Ausgleichsflächen ist die Vernetzung mit den klimatischen Lasträumen. Hierzu ist der Erhalt bestehender Belüftungsbahnen erforderlich.

In den klimatischen Lasträumen der „überwiegend dicht bebauten Wohn- und Mischbebauung“, der „hochverdichteten Innenstadt“ sowie der Gewerbe- und Industrieflächen treten die negativen Ausprägungen des Stadtklimas am deutlichsten

hervor. In diesen Bereichen sollten verstärkt kleinräumige Entsiegelungs- und Begrünungsmaßnahmen zur Verbesserung der mikroklimatischen Verhältnisse ergriffen werden. Dach- und Fassadenbegrünungen können ebenfalls zur Steigerung des Grünflächenanteils beitragen. Zudem kann in Straßenräumen durch den Erhalt und die Anpflanzung von Bäumen in Folge von Verschattungs- und Verdunstungseffekten eine lokale Klimaverbesserung erzielt werden. Darüber hinaus sind die Bereiche der Kaltluftabflussbahnen von weiterer Bebauung sowie dichter, riegelförmiger Bepflanzung freizuhalten. Im Kaltluftsammelgebiet entlang des Ruhrtals besteht grundsätzlich die Gefahr der bodennahen Schadstoffakkumulation, weshalb in diesen Bereichen die weitere Ansiedlung bodennaher Emittenten vermieden werden sollte.

Eine detaillierte Beschreibung der Planungshinweise für das Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr wird in Kapitel 8.2 gegeben.

1 Einleitung und Aufgabenstellung

Die klimatischen und lufthygienischen Verhältnisse eines städtischen Siedlungsraums zeichnen sich durch erhebliche Modifikationen gegenüber dem unbebauten Umland aus, man spricht von der Ausprägung eines „Stadtklimas“. Insbesondere erhöhte Temperaturen, geringere Luftfeuchtigkeit, eine eingeschränkte Belüftungssituation und eine stärkere Luftverschmutzung können im städtischen Lebensraum zu Einbußen bei der Umweltqualität führen, was gesundheitliche Beeinträchtigungen der Bevölkerung zur Folge haben kann. Die Ursachen der klimatischen Defizite einer Stadt liegen unter anderem in einem hohen Versiegelungsgrad, einem geringen Grünflächenanteil, den thermischen Eigenschaften der urbanen Oberflächen und dreidimensionalen Baukörper sowie den erhöhten Emissionen an Luftschadstoffen begründet. Die Bebauungs- und Grünflächenstruktur einer Stadt nimmt somit eine zentrale Funktion bezüglich der lokalen klimatischen und lufthygienischen Verhältnisse ein (Kuttler 2009). Insbesondere mit Blick auf die prognostizierten klimatischen Veränderungen für die Metropole Ruhr, die sich bedingt durch den globalen Klimawandel im Laufe des 21. Jahrhunderts einstellen und zu einer Verschärfung des thermischen Stadt-Umland-Verhältnisses führen werden, kommt der Stadt- und Umweltplanung eine entscheidende Bedeutung zum Schutze der Stadtbevölkerung durch eine nachhaltige Anpassung der Städte an den Klimawandel zu (Kuttler 2010).

Die Belange der Umweltmeteorologie wurden daher rechtlich im Baugesetzbuch verankert. Gemäß § 1 (5) sollen „Bauleitpläne eine nachhaltige städtebauliche Entwicklung, die die sozialen, wirtschaftlichen und umweltschützenden Anforderungen auch in Verantwortung gegenüber künftigen Generationen miteinander in Einklang bringt, und eine dem Wohl der Allgemeinheit dienende sozialgerechte Bodennutzung gewährleisten. Sie sollen dazu beitragen, eine menschenwürdige Umwelt zu sichern, die natürlichen Lebensgrundlagen zu schützen und zu entwickeln sowie **den Klimaschutz und die Klimaanpassung, insbesondere auch in der Stadtentwicklung, zu fördern** ...“. § 1(6) Ziffer 7. a) besagt hierbei, dass insbesondere „... die Belange des Umweltschutzes, einschließlich des Naturschutzes und der

Landschaftspflege, insbesondere die Auswirkungen auf Tiere, Pflanzen, Boden, Wasser, **Luft, Klima** und das Wirkungsgefüge zwischen ihnen sowie die Landschaft und die biologische Vielfalt,...“ zu berücksichtigen sind (BauGB 2021).

Um den Anforderungen einer klimawandelgerechten Stadtentwicklung zu entsprechen, sind genaue Kenntnisse der aktuellen und zukünftig zu erwartenden lokalklimatischen Verhältnisse unabdingbar. Gesamtstädtische Klimauntersuchungen haben daher für eine qualifizierte Flächennutzungs- und Bebauungsplanung in städtischen Agglomerationsräumen zunehmend an Bedeutung gewonnen.

Der Regionalverband Ruhr erstellt bereits seit über 40 Jahren entsprechende Stadtklimaanalysen für seine Verbandskommunen. So wurde beispielsweise bereits im Jahr 1991 im Rahmen eines „Klima- und Lufthygiene-Gutachtens für den Kreis Unna“ ein sogenannter „Sonderbericht Stadtgebiet Fröndenberg“ erarbeitet. Dabei basierten diese Gutachten in der Vergangenheit oftmals auf einem aufwändigen Messprogramm, wobei aus stationären Messungen (punktuell) und Messfahrten (linienhaft) anhand von Analogieschlüssen allerdings nur grobe flächendeckende Aussagen mit geringer Detailschärfe getroffen werden konnten. Im Rahmen der vorliegenden Analyse werden hingegen die Ergebnisse einer für die gesamte Metropolregion Ruhr durchgeführten Klimamodellierung mit Hilfe des Simulationsmodells FITNAH-3D aus dem Jahre 2020 genutzt. Dieses Verfahren liefert, im Gegensatz zu den lokal begrenzten Messungen, umfassende, räumlich hochauflösende und vor allem flächendeckende Ergebnisse zu einer Vielzahl relevanter klimatischer Parameter. Die mesoskalige FITNAH-Modellierung ist zwar vorrangig auf die Ebene der Regional- und Flächennutzungsplanung ausgerichtet, ermöglicht aufgrund der hohen Auflösung von 25 m x 25 m aber auch vielfältige Hinweise für die Bebauungsplanung auf kommunaler Ebene. Bei einer kleinräumigen Betrachtung auf Baublockebene können in Abhängigkeit von der Fragestellung jedoch weitergehende Untersuchungen (z. B. Messungen oder mikroskalige Simulationen) erforderlich sein, um die klimatischen Auswirkungen baulicher Flächennutzungsänderungen von Einzelflächen detailliert bewerten zu können.

Ziel der vorliegenden Untersuchung ist die Analyse und Bewertung der klimatischen Situation des Stadtgebietes von Fröndenberg/Ruhr sowie die Ausweisung von Planungshinweisen. Zu diesem Zweck wird im ersten Schritt eine Beschreibung

der wichtigsten Klimafaktoren und Klimaelemente (Ergebnisse der FITNAH-Modellierung) im Untersuchungsgebiet vorgenommen. Die Wirkung und Relevanz von Grün- und Freiflächen werden in einer „Karte der klimaökologischen Funktionen“ aufgezeigt. Des Weiteren werden die bereits beobachteten und künftig zu erwartenden Auswirkungen des globalen Klimawandels auf das Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr beschrieben sowie eine Betroffenheitsanalyse des Stadtgebietes durchgeführt. Im Fokus der vorliegenden Arbeit stehen die Erstellung einer Klimanalysekarte sowie die Ausweisung von Planungshinweisen aus stadtklimatologischer Perspektive.

Die Klimaanalysekarte gliedert das Stadtgebiet in Klimatope, die durch ähnliche mikroklimatische Ausprägungen gekennzeichnet sind. Dynamische Faktoren werden in Form von spezifischen Klimaeigenschaften dargestellt und beschrieben. Die Klimaanalysekarte wird zur Ableitung des Planungs- und Handlungsbedarfs mit dem Ziel, bestehende Belastungspotentiale zu senken bzw. abzubauen sowie die Lebens- und Wohnqualität zu sichern und zu schützen, genutzt. Neben einer Darstellung der Planungshinweise für die gesamtstädtische Siedlungsstruktur werden für vier Betrachtungsräume, welche mehrere Stadtteile umfassen, lokale Planungshinweise in tabellarischer Form aufgeführt. Die Erstellung der Klimaanalyse- sowie Planungshinweiskarte erfolgte nach den Vorgaben der VDI-Richtlinie 3787 Blatt 1 (VDI 1997/2003; VDI 2015).

Durch die vorliegende Arbeit wird der Stadtverwaltung ein umfangreiches Hilfsmittel an die Hand gegeben, durch dessen Umsetzung der Maßnahmenempfehlungen zur Klimaanpassung eine nachhaltige und klimawandelgerechte Stadtentwicklung in Fröndenberg/Ruhr gesichert werden kann.

2 Charakterisierung des Untersuchungsgebietes

Die Stadt Fröndenberg liegt im Kreis Unna am südöstlichen Rand des Ruhrgebiets im Übergangsbereich zur landwirtschaftlich geprägten Hellwegbörde sowie zum Sauerland. Das Stadtgebiet grenzt im Westen an die Gemeinde Holzwickede, im Norden an die Kreisstadt Unna, im Osten an die Stadt Wickede (Ruhr) sowie im Süden an die Städte Menden (Sauerland) und Iserlohn.

Bei einer Gesamtbevölkerung von 20.548 und einer Fläche von 56,23 km² beträgt die Bevölkerungsdichte von Fröndenberg/Ruhr etwa 365 Einw./km² (Stand: 31.12.2022; IT.NRW 2024a). Damit nimmt Fröndenberg/Ruhr ein deutlich geringeres Niveau als die benachbarte Kreisstadt Unna (688 Einw./km²) ein. Auch die weiteren umliegenden Kommunen Holzwickede (774 Einw./km²), Wickede (Ruhr) (514 Einw./km²) sowie Menden (Sauerland) (610 Einw./km²) und Iserlohn (737 Einw./km²) weisen allesamt einen höheren Wert dieser Kennzahl auf (Stand: 2022, IT.NRW 2024b).

Das Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr ist in insgesamt 14 Stadtteile gegliedert (siehe Abb. 2-1). Die Bevölkerungsdichte in Fröndenberg/Ruhr zeigt dabei, bedingt durch unterschiedliche Bebauungs- bzw. Flächennutzungsstrukturen sowie die Grenzziehung der Stadtteile, eine heterogene Verteilung innerhalb des Stadtgebietes (siehe Tabelle 2-1). Den höchsten Wert der Bevölkerungsdichte weist mit etwa 1.375 Einw./km² der Stadtteil Langschede auf. Dies ist insbesondere darauf zurückzuführen, dass dieser Stadtteil die geringste Flächengröße umfasst. Der Stadtteil Fröndenberg verzeichnet mit 926 Einw./km² den zweithöchsten Wert dieser Kennzahl, gefolgt von Ardey (685 Einw./km²) und Dellwig (557 Einw./km²). Alle anderen Stadtteile von Fröndenberg/Ruhr zeichnen sich durch besonders geringe Bevölkerungsdichten mit Werten zwischen 288 Einw./km² in Neimen und etwa 54 Einw./km² in Altendorf aus. Die Werte der Bevölkerungsdichte wurden dabei annäherungsweise aus den vom Kreis Unna und der Stadt Fröndenberg/Ruhr zur Verfügung gestellten Baublöcken berechnet.

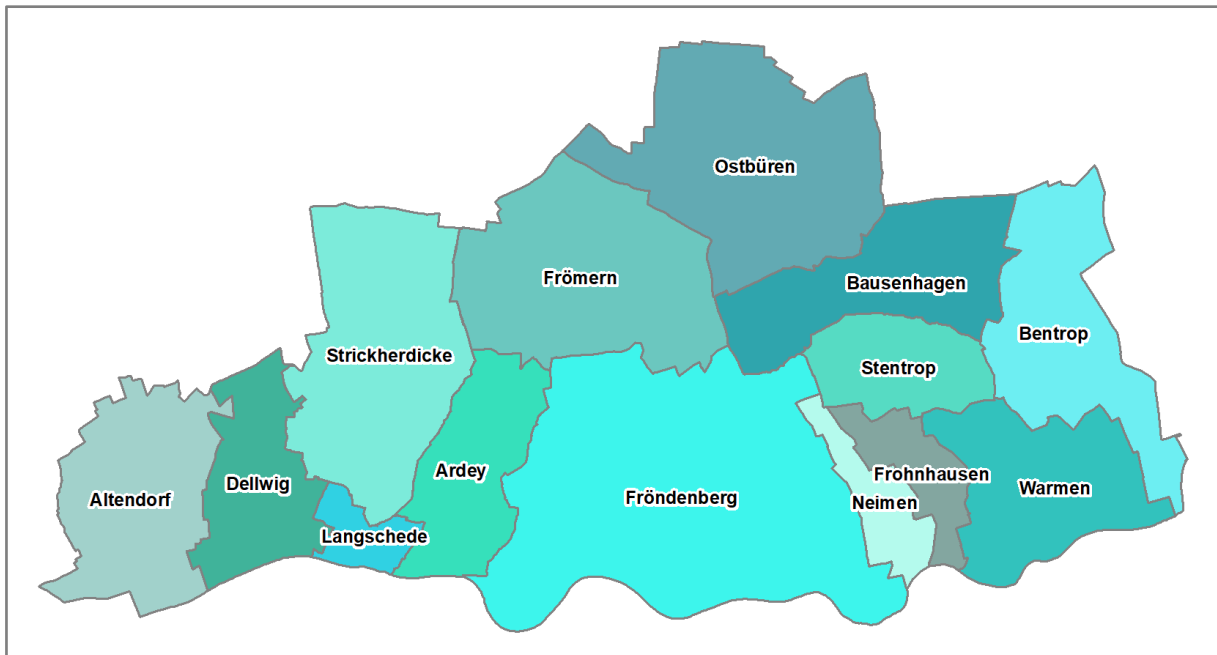


Abbildung 2-1: Stadtteile im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr (Quelle: Stadt Fröndenberg/Ruhr)

Tabelle 2-1: Bevölkerungszahl, Flächengröße und Bevölkerungsdichte für die 14 Stadtteile der Stadt Fröndenberg/Ruhr

Stadtteil	Bevölkerungszahl	Fläche in km ²	Bevölkerungsdichte in Einw./km ²
Langschede	1.041	0,76	1.375
Fröndenberg	10.420	11,25	926
Ardey	1.969	2,88	685
Dellwig	1.499	2,69	557
Neimen	348	1,21	288
Frömern	1.437	5,77	249
Frohnhausen	281	1,30	217
Warmen	792	3,73	212
Strickherdicke	776	5,76	135
Ostbüren	826	6,53	127
Bausenhagen	426	3,87	110
Stentrop	162	2,13	76
Bentrop	273	4,26	64
Altendorf	219	4,08	54

Die unterschiedliche Bebauungs- bzw. Siedlungsdichte, die Flächennutzung sowie das Relief haben einen großen Einfluss auf die lokalklimatischen Ausprägungen einer Stadt. Daher werden im Folgenden zunächst die charakteristischen Merkmale dieser Klimafaktoren im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr beschrieben. Zu Beginn steht jedoch eine naturräumliche und großklimatische Einordnung des Untersuchungsgebietes.

2.1 Naturräumliche und Großklimatische Einordnung

Naturräumlich betrachtet liegt Fröndenberg/Ruhr im Übergangsbereich der beiden Großlandschaften „Westfälische Bucht“ sowie „Sauer- und Siegerland“. Dabei gehört insbesondere das nördliche Stadtgebiet der naturräumlichen Haupteinheit „Hellwegbörden (Ordnungszahl NR-542)“ an, während weite Teile im Süden von Fröndenberg/Ruhr dem „Niedersauerland (Ordnungszahl NR-337-E2)“ zuzuordnen sind.

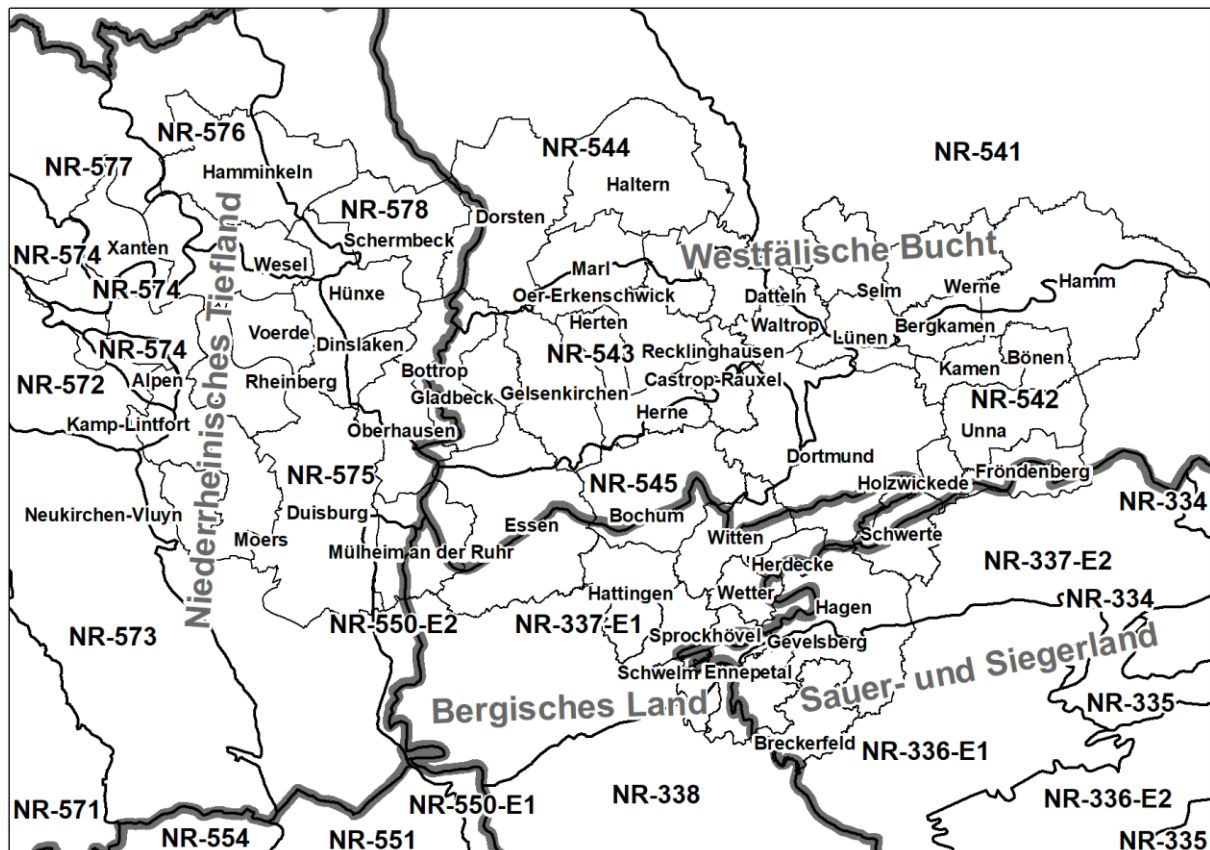


Abbildung 2-2: Großlandschaften und Naturräumliche Haupteinheiten in der Metropole Ruhr (Datenquellen: RVR und Geobasis NRW)

Makroklimatisch wird die Stadt Fröndenberg/Ruhr dem Klimabereich „Nordwest-Deutschland“ zugeordnet, welcher sich von der Nordseeküste bis zu den Südseiten von Eifel und Westerwald sowie bis zur Ostseite des Sauerlandes erstreckt (vgl. Abbildung 2-3). Durch die Lage im Westwindgürtel und die relative Nähe zum Atlantik ist das Klima in diesem Teil Deutschlands maritim beeinflusst. Dies äußert sich im Allgemeinen durch kühle Sommer und milde Winter. Allerdings können sich gelegentlich auch längere Hochdruckphasen mit kontinentalem Einfluss durchsetzen. Diese kontinentalen Hochdruckwetterlagen mit schwachen östlichen bis süd-

östlichen Winden führen im Sommer zu heißen, trockenen Phasen und sind im Winter hingegen mit anhaltenden Kälteperioden verbunden. Grundsätzlich dominieren im nordwestdeutschen Klimabereich jedoch südwestliche Windrichtungen, welche die vorherrschenden Luftdruckverhältnisse mit einem Hoch über Süd- und Mitteleuropa und einem Tief über dem Europäischen Nordmeer widerspiegeln. Regional-klimatisch liegt Fröndenberg/Ruhr im Übergang zwischen den Klimabezirken „Münsterland“ und „Sauerland“ (MURL 1989).

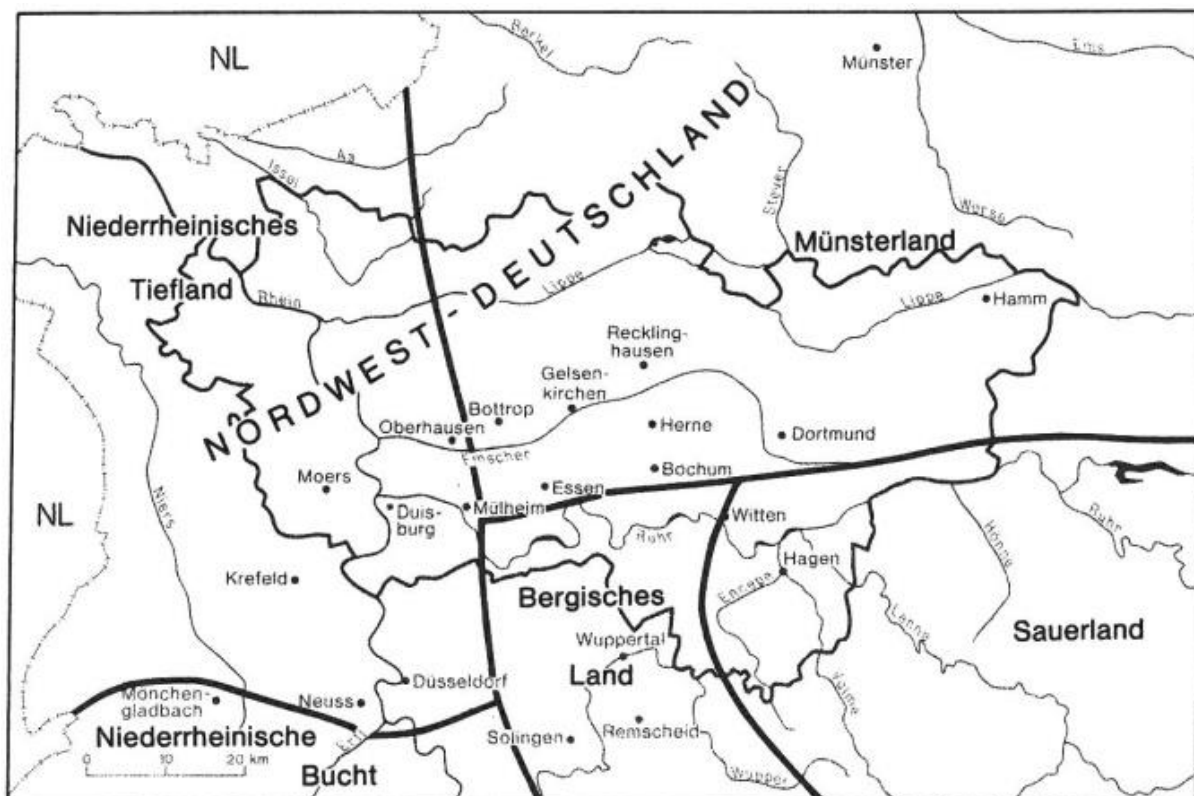


Abbildung 2-3: Klimabezirke in der Metropole Ruhr (Lüftner 1996)

Eine Zusammenstellung ausgewählter Klimadaten für Fröndenberg/Ruhr enthält Tabelle 2-2. Die dargestellten Werte zeigen die mittleren klimatischen Bedingungen im Zeitraum 1991-2020. Durch den prognostizierten Klimawandel werden sich die Klimaverhältnisse im Laufe des 21. Jahrhunderts verändern (vgl. Kapitel 6). Zudem können die groß- und regionalklimatischen Charakteristika der Klimabezirke auf der lokalen Ebene in erheblichem Maße durch natürliche Faktoren (z. B. Relief) sowie anthropogene Einflüsse (z. B. Flächennutzung, Versiegelungsgrad, Emission von Luftschadstoffen, etc.) überprägt werden.

Tabelle 2-2: Ausgewählte Klimaindikatoren für den Zeitraum 1991-2020 (LANUV NRW 2025)

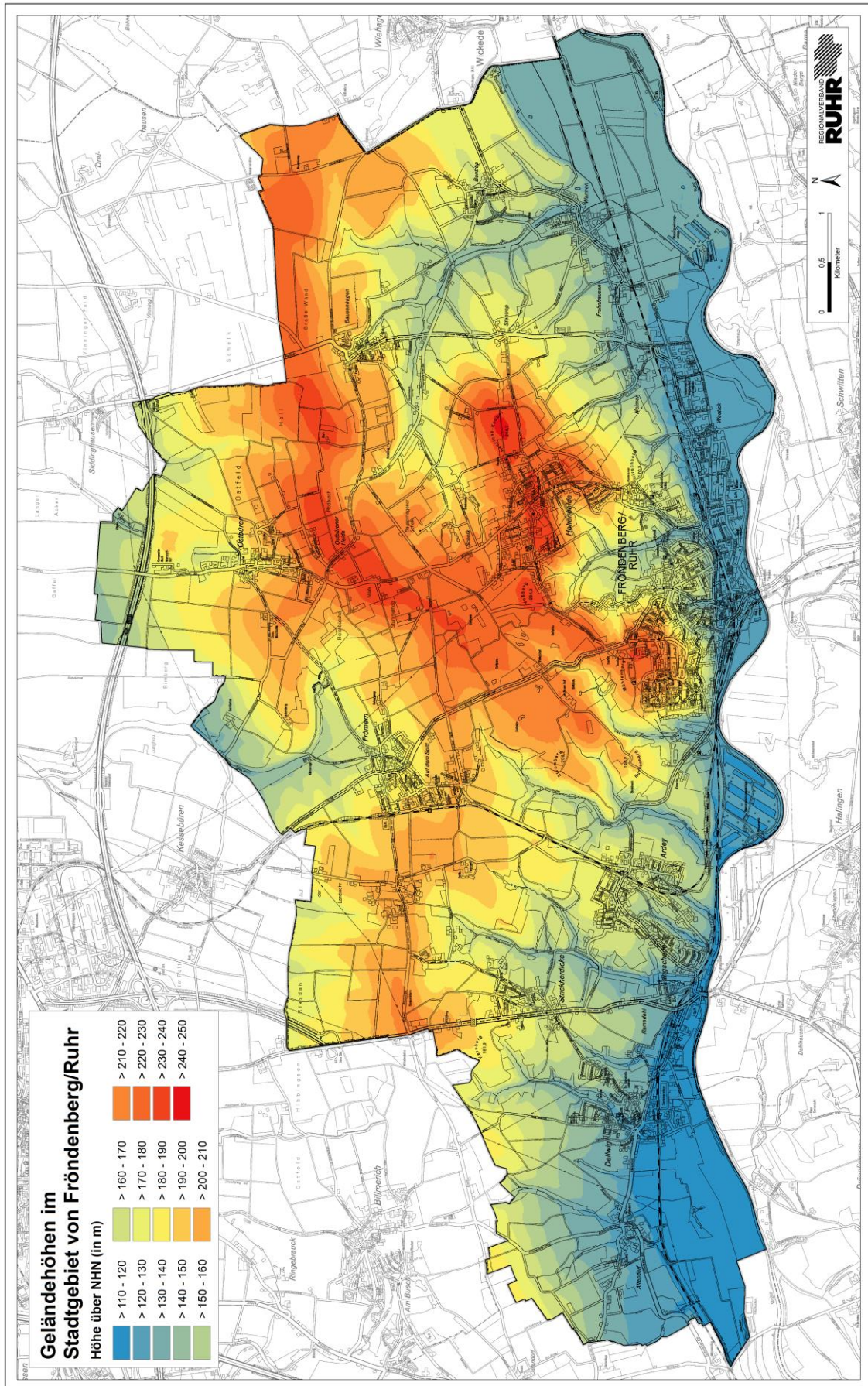
Klimaindikator	Wert
Mittleres Tagesmittel der Lufttemperatur (°C) im Jahr	9,5 – 10,4
Mittleres Tagesmittel der Lufttemperatur (°C) im Frühling	9,0 – 9,9
Mittleres Tagesmittel der Lufttemperatur (°C) im Sommer	17,0 – 17,9
Mittleres Tagesmittel der Lufttemperatur (°C) im Herbst	9,8 – 10,5
Mittleres Tagesmittel der Lufttemperatur (°C) im Winter	2,4 – 3,2
Mittlere Anzahl der Sommertage ($T_{\max} \geq 25 \text{ °C}$) pro Jahr	34 – 38
Mittlere Anzahl der Heißen Tage ($T_{\max} \geq 30 \text{ °C}$) pro Jahr	8 – 9
Mittlere Anzahl der Frosttage ($T_{\min} < 0 \text{ °C}$) pro Jahr	57 – 71
Mittlere Anzahl der Eistage ($T_{\max} < 0 \text{ °C}$) pro Jahr	8 – 14
Mittlere Niederschlagshöhe im Jahr (mm)	814 – 965

2.2 Relief

Eine ausgeprägte Reliefstruktur kann einen großen Einfluss auf die Belüftung einer Stadt ausüben. Sei es in Form einer Tallage mit dadurch bedingter Ablenkung der Hauptwindrichtung oder in Form einer insgesamt schlechten Belüftungssituation im Falle einer Kessellage. Daneben spielt das Relief für die Entstehung von Kaltluftabflüssen eine große Rolle. Kalte Luftmassen fließen bei geeigneten Wetterlagen hangabwärts, dem stärksten Gefälle folgend, und sammeln sich in Senken und Tälern an. Dringt die kalte Luft infolge ausreichenden Gefälles bis in Siedlungsgebiete vor, kann sie dort zur Abkühlung überhitzter Bereiche beitragen.

Das Relief von Fröndenberg/Ruhr ist geprägt durch das im Süden des Stadtgebietes von Ost nach West verlaufende Ruhrtal sowie die Lage am Haarstrang, einem geomorphologischen Höhenzug, der sich am südlichen Rand der Westfälischen Bucht von Westen nach Osten über den Süden der Stadt Dortmund sowie der Kreise Unna und Soest erstreckt. Dabei durchzieht der Haarstrang das zentrale Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr. Über die gesamte Breite des Stadtgebietes weist der Haarstrang ein starkes Gefälle nach Süden ins Ruhrtal auf, während das Relief zum Hellweg nach Norden deutlich sanfter abfällt. Die höchste Erhebung im

Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr stellt mit etwa 245 m über NHN der sogenannte Henrichs-Knübel auf der Hohenheide dar. Dieser ist somit Teil des Höhenzuges, welcher sich ausgehend von der nordöstlichen Stadtgrenze im Bereich Große Wand nördlich von Bausenhagen zunächst nach Westen über die Ostbürener Heide und im weiteren Verlauf dann nach Süden einerseits zur Hohenheide und andererseits zum Mühlenberg erstreckt. Dabei weisen weite Bereiche dieses Höhenzuges Geländehöhen von über 210 m über NHN auf. Im weiteren Verlauf in westliche Richtung erstrecken sich die Höhenlagen des Haarstrangs über den Bereich Auf dem Spitt im Süden von Frömern bis zum Bismarckturm bzw. der Wilhelmshöhe an der nordwestlichen Stadtgrenze zu Unna im Norden von Strickherdicke. Die Geländehöhen nehmen in diesem Bereich zumeist allerdings etwas geringere Werte unter 210 m über NHN ein. Prägend für die Geländestruktur insbesondere südlich des beschriebenen Höhenzuges des Haarstrangs sind aufgrund des stark abfallenden Reliefs zudem die Täler einer Vielzahl kleinerer Bachläufe, wie etwa des Strickherdicker Bachs, des Ostholzbachs, des Voßacker Bachs sowie des Löhnbachs und des Rammbachs, die allesamt ins Ruhrtal abfließen. Im Ruhrtal, welches sich im südlichen Stadtgebiet von Osten nach Westen erstreckt, werden die geringsten Werte der Geländehöhe erreicht. Während in Westick sowie im Stadtzentrum von Fröndenberg/Ruhr weitestgehend Geländehöhen zwischen 120 bis 130 m über NHN vorherrschen, sind im Süden von Langschede, Dellwig und Altendorf Werte unter 120 m über NHN zu verzeichnen. Der mit etwa 113 m über NHN niedrigste Geländepunkt im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr ist im südwestlichen Bereich von Altendorf an der Stadtgrenze zu Holzwickede verortet.



Karte 2-1: Geländehöhen im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr (Daten: Digitales Geländemodell 2015)

2.3 Flächennutzung

Da den Wechselwirkungen zwischen einer Oberfläche und der atmosphärischen Grenzschicht die beherrschende Rolle bei der Ausprägung von lokalklimatischen Verhältnissen zukommt, nimmt die Flächennutzung eine entscheidende stadtklimatische Bedeutung ein (Baumüller et al. 1999).

Tabelle 2-3 zeigt die Flächengrößen der Nutzungsarten sowie deren prozentualen Anteile an der Gesamtfläche des Stadtgebietes von Fröndenberg/Ruhr sowie im Vergleich dazu die entsprechenden Werte für die Gesamtfläche des Regionalverbands Ruhr (RVR). Die Auswertung basiert auf der Flächennutzungskartierung (FNK) des RVR. Anhand der Daten für das Jahr 2021 wird dabei deutlich, dass im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr Landwirtschafts- bzw. Freiraumflächen mit 70,6 % sehr stark dominieren und im Vergleich zum RVR-weiten Anteil (42,6 %) einen deutlich erhöhten Wert aufweisen. Hingegen ist der Waldflächenanteil in Fröndenberg/Ruhr mit 11,7 % im Vergleich zum RVR-Gebiet (19,2 %) deutlich geringer, nimmt jedoch den zweithöchsten Flächenanteil aller Nutzungskategorien im Stadtgebiet ein. Zudem weisen auch die Flächenanteile der Parks, Kleingärten und Friedhöfe mit etwa 0,8 % sowie die Gewässerflächen mit knapp 1,0 % geringere Werte im RVR-weiten Vergleich auf.

Tabelle 2-3: Flächengröße und prozentuale Anteile unterschiedlicher Flächennutzungskategorien an der Gesamtfläche des Regionalverbands Ruhr sowie des Stadtgebietes von Fröndenberg (Datenbasis: Flächennutzungskartierung (FNK) des RVR; Stand: 2021)

Flächennutzungskategorien	Regionalverband Ruhr		Stadt Fröndenberg/Ruhr	
	Fläche in ha	Anteil in %	Fläche in ha	Anteil in %
Abgrabungsflächen	1.233	0,28	8	0,14
Gewässer / Wasserflächen	12.822	2,89	54	0,97
Gewerbe / Industrie	26.807	6,04	97	1,73
Landwirtschaft / Freiraum	189.155	42,63	3.966	70,59
Park / Kleingärten / Friedhöfe	18.378	4,14	45	0,79
Siedlung	74.065	16,69	547	9,74
Ver- / Entsorgung (Energie, Abwasser, Abfall, Halden)	4.389	0,99	55	0,97
Verkehrsflächen	31.700	7,14	188	3,34
Wald / Halden (rekultiviert)	85.164	19,19	659	11,73
Insgesamt	443.712	100,00	5.619	100,00

Die Siedlungsflächen nehmen in Fröndenberg/Ruhr einen Anteil von etwa 9,7 % ein. Weitere 1,7 % der Fläche entfallen auf Gewerbe- und Industrieflächen und 3,3 % auf Verkehrsflächen. Somit sind zusammen genommen 14,8 % des Stadtgebietes von Fröndenberg/Ruhr durch Siedlungs-, Gewerbe- bzw. Industrie- und Verkehrsflächen überprägt. Bezogen auf die Gesamtfläche des RVR beträgt dieser Wert 29,9 % und ist somit mehr als doppelt so hoch.

Neben den Anteilen unterschiedlicher Flächennutzungskategorien an der Gesamtfläche ist vielmehr die Verteilung und Struktur der Nutzungsarten innerhalb eines Betrachtungsgebietes, wiederum in Abhängigkeit vom Relief, entscheidend für die klimatischen Eigenschaften eines Raumes. Karte 2-2 zeigt daher die räumliche Verteilung der unterschiedlichen Flächennutzungskategorien im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr basierend auf der Flächennutzungskartierung (FNK) des Regionalverbands Ruhr. Die FNK wird auf Grundlage automatisierter Liegenschaftskarten (ALK) als geometrische Basis unter Berücksichtigung aktueller Luftbildbefliegungen, Planungsdaten, Karten und Schrägluftbildern erstellt und regelmäßig aktualisiert. Dabei umfasst die Flächennutzungskartierung aktuell insgesamt 158 unterschiedliche Nutzungsarten. In Karte 2-2 werden diese für das Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr in acht Flächennutzungskategorien gegliedert. Dabei handelt es sich um die bereits in Tabelle 2-3 verwendeten Kategorien.

Die Flächennutzung in Fröndenberg/Ruhr wird, wie bereits erwähnt, sehr stark durch Flächen der Kategorie Landwirtschaft/Freiraum dominiert. Dabei treten diese Flächen im gesamten Stadtgebiet außerhalb der Siedlungskörper, auch unabhängig von der Höhenlage, auf. So sind großflächige, zusammenhängende landwirtschaftlich genutzte Freiflächen sowohl in den Höhen- und Hanglagen des Haarstrangs als auch in den Niederungen des Ruhrtals vorzufinden. Hinsichtlich der Waldflächen ist hingegen zu beobachten, dass diese zumeist in den Hanglagen entlang der zahlreichen kleinen Bachtäler auftreten. Der Hauptsiedlungskörper von Fröndenberg, welcher auch die Bebauung am Mühlenberg und in Westick umfasst, geht entlang der entsprechenden Verkehrsstrassen nahezu fließend in die Siedlungsbereiche auf der Hohenheide im Norden sowie in die zusammenhängende Bebauung der Stadtteile Neimen, Frohnhausen und Warmen im Osten über. Im west-

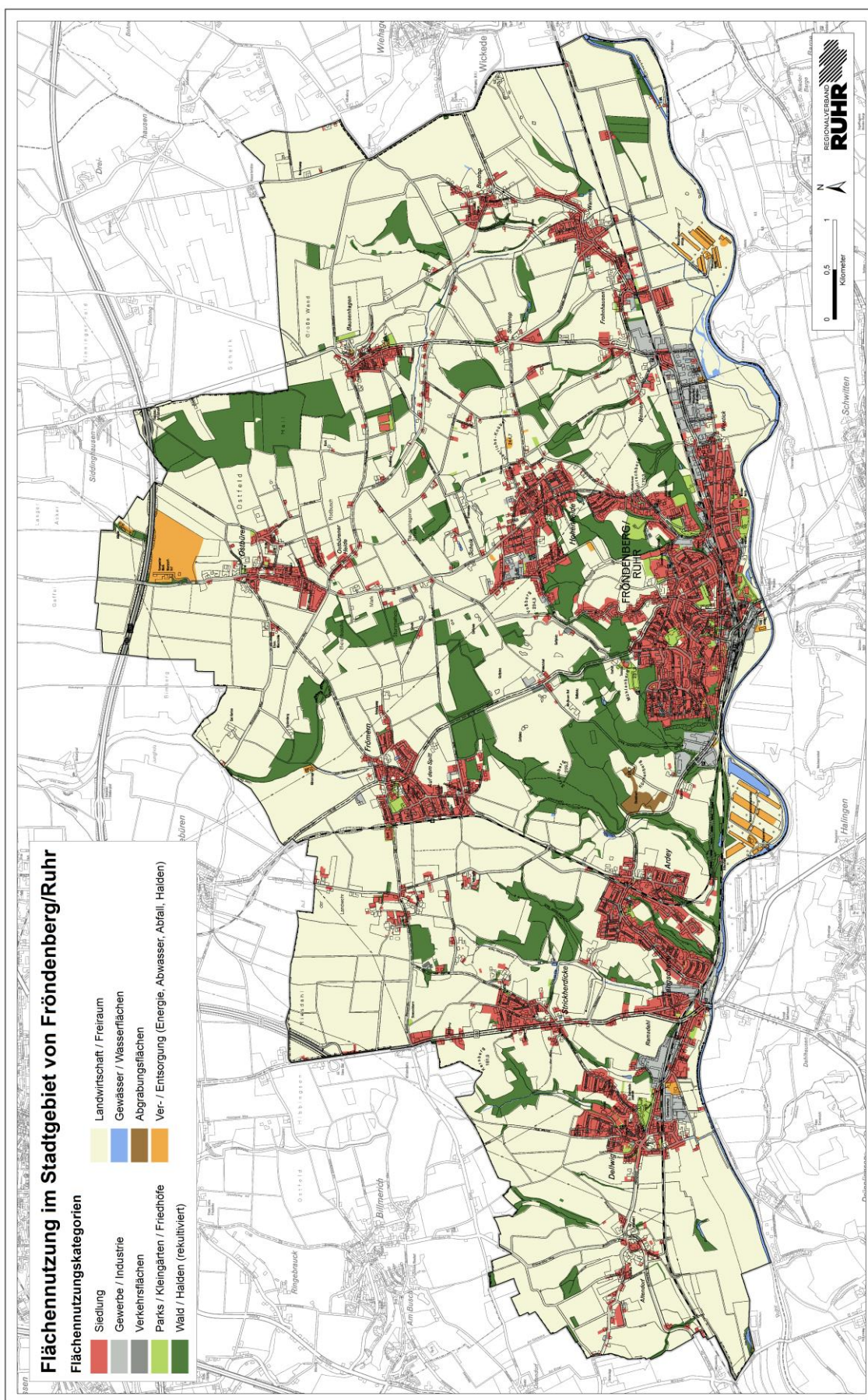
lichen Stadtgebiet stellen die Siedlungsbereiche der Stadtteile Dellwig, Langschede und Ardey ebenfalls einen weitestgehend zusammenhängenden Siedlungskörper dar. Weitere solitäre Siedlungskörper unterschiedlicher Größe sind in den Stadtteilen Altendorf, Strickherdicke, Frömern, Ostbüren, Bausenhagen sowie Stentrop und Bentrop verortet. Darüber hinaus fällt zudem auf, dass im gesamten Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr eine Vielzahl an Einzelhaus- bzw. Einzelhofbebauungen oder kleinere Splittersiedlungen im ländlichen Raum auftreten. Die vorgenannten solitären Siedlungskörper weisen allesamt einen dörflichen Charakter auf und sind zumeist gänzlich von weitläufigen Landwirtschaftsflächen umgeben. Die Bebauungsstruktur in diesen Siedlungen ist als aufgelockert und sehr gut durchgrünt zu bezeichnen.

Auch in den beiden zuvor beschriebenen zusammenhängenden Siedlungskörpern der Stadtteile Dellwig, Langschede und Ardey einerseits sowie von Fröndenberg über Westick, Neimen und Frohnhausen bis nach Warmen andererseits weisen große Teile der Wohnbebauung, neben einer geringen Entfernung zu großflächigen Freiflächen des Umlandes, einen relativ hohen Grünflächenanteil innerhalb der Bebauung auf. Eine Ausnahme bildet das Stadtzentrum von Fröndenberg/Ruhr insbesondere in dem Bereich zwischen dem Straßenzug aus Berg-, Union- sowie Alleestraße im Norden und der Bahntrasse im Süden, dessen Wohn- und Mischbebauung die am stärksten anthropogen überprägten Bereiche im Stadtgebiet darstellen (mit Ausnahme der Gewerbe- und Industriegebiete). Der Versiegelungs- und Überbauungsgrad des Stadtzentrums ist stark erhöht und der Grünanteil innerhalb der Bebauung zumeist entsprechend gering. Allerdings ist eine geringe Entfernung zu südlich angrenzenden größeren Freiraumflächen sowie den Grünflächen des Himmelmannparks entlang der Ruhr gegeben.

Die Gewerbe- und Industrieansiedlungen konzentrieren sich in Fröndenberg/Ruhr im Wesentlichen auf einige wenige Standorte. Allen voran ist diesbezüglich das Industriegebiet Westick-Ost/Frohnhausen als größte Gewerbekonzentration im Stadtgebiet zu benennen. Die gewerbliche und industrielle Nutzung ist in diesem Gebiet sehr heterogen ausgeprägt. Neben mehreren Maschinenbauunternehmen und weiterem produzierendem Gewerbe sind unter anderem unterschiedliche

Dienstleistungen aus der Automobilbranche, Handwerksbetriebe sowie ein Logistikunternehmen dort angesiedelt. Das Gewerbegebiet Atlantik liegt am westlichen Rand von Fröndenberg an der Ardeyer Straße. Auch hier herrscht eine diverse Nutzungsstruktur vor, die unter anderem von Unternehmen im Bereich Metallwaren- und Werkzeugherstellung über Logistik- und Verpackungsunternehmen bis hin zu Betrieben aus dem Bereich Garten- sowie Gerüstbau reicht. Weitere größere Gewerbeansiedlungen sind zudem an Standorten in Langschede und Dellwig verortet. Während in Dellwig, neben einer Fokussierung auf großflächige Logistikunternehmen, unter anderem eine Verzinkerei und zwei Maschinenbaubetriebe angesiedelt sind, umfasst die gewerbliche Nutzung in Langschede einen Großhändler für Trendartikel, einen Hersteller elektronischer Geräte, einen Solartechnik-Anbieter sowie mehrere Kleinstunternehmen aus verschiedenen Branchen.

Das Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr wird weiterhin von einigen Verkehrsverbindungen mit (über)regionaler Funktion durchzogen. Ganz im Norden im Stadtteil Ostbüren durchquert die in Ost-West-Richtung verlaufende Autobahn A44 das Stadtgebiet und stellt mit einem durchschnittlichen täglichen Verkehrsaufkommen (DTV) von 65.310 Kraftfahrzeugen (Kfz) grundsätzlich eine Emissionsquelle für Luftschadstoffe dar. Die Bundesstraße B233 verläuft im Westen des Stadtgebietes in Nord-Süd-Richtung durch die Stadtteile Strickherdicke und Langschede. Sie verbindet unter anderem die Autobahn A44 mit der A46 in Iserlohn. Die B233 stellt daher ebenfalls eine regional bedeutsame Verkehrsstrasse dar, weist auf Fröndenberger Stadtgebiet mit DTV-Werten zwischen 14.042 und 17.905 Kfz aber ein deutlich moderateres Verkehrsaufkommen auf. (Straßen.NRW 2025; Stand der DTV-Werte 2021) Weiterhin wird das Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr von regional bedeutsamen Bahntrassen durchquert. Einerseits verbindet die von Westen nach Osten verlaufende Trasse der Oberen Ruhrtalbahn das Ruhrgebiet (Hagen bzw. Dortmund) mit dem nördlichen Sauerland. Und andererseits besteht mit den beiden Bahnstrecken Unna-Fröndenberg sowie Fröndenberg-Letmathe eine Nord-Süd-Verbindung zwischen dem Märkischen Kreis und dem Kreis Unna.



Karte 2-2: Verteilung der Flächennutzungskategorien im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr auf Basis der Flächennutzungskartierung des Regionalverbands Ruhr (Stand: 2021)

3 Flächenhafte Ausprägung ausgewählter Klimaelemente

Die Verteilung lokalklimatisch relevanter Größen (z. B. Wind, Temperatur, etc.) kann mit Hilfe von Messungen ermittelt werden. Aufgrund der großen räumlichen und zeitlichen Variabilität der meteorologischen Parameter sind Messungen allerdings immer nur punktuell repräsentativ und eine Übertragung in benachbarte Räume zumeist nicht möglich. Daher nehmen kleinräumige Simulationsmodelle für umweltmeteorologische Zusammenhänge im Rahmen von stadt- und landschaftsplanerischen Fragestellungen eine immer größere Bedeutung ein. Mesoskalige Modelle können physikalisch fundiert die räumlichen und/oder zeitlichen Lücken zwischen Messungen schließen, weitere meteorologische Größen berechnen sowie Wind- und Temperaturfelder in ihrer raumfüllenden Struktur ermitteln und darstellen (RVR 2013).

Für den Fachbeitrag „Klimaanpassung“ zum Regionalplan Ruhr wurden die klimatischen Verhältnisse bereits im Jahr 2012 flächendeckend für die gesamte Metropole Ruhr mit Hilfe des Simulationsmodells FITNAH-3D berechnet. Aufgrund zwischenzeitlich veränderter baulicher Strukturen und weiteren Flächennutzungsänderungen in vielen Bereichen der Metropole Ruhr wurde die Modellierung im Jahr 2020 auf Basis aktueller Datengrundlagen erneut durchgeführt und dabei hinsichtlich der räumlichen Auflösung verbessert. Darüber hinaus wurden im Rahmen der neuen Modellrechnung zusätzliche Parameter berechnet sowie die Darstellung des Klimawandels anhand von thermischen Kenntagen (siehe Kapitel 6.3) ergänzt.

Die Modellierung der meteorologischen Parameter erfolgte dabei in einem Raster mit einer Zellengröße von 25 m x 25 m. Wie jedes numerische Modell benötigt FITNAH-3D Eingangsdaten, die die Charakteristika der Landschaft und Flächennutzung im Untersuchungsgebiet beschreiben. Dabei müssen die Informationen für jede Rasterzelle vorliegen bzw. definiert werden. Die für die Simulation notwendigen orographischen Eingangsparameter wurden auf Grundlage eines digitalen Geländehöhenmodells mit einer Auflösung von 1 m (DGM1) abgeleitet. Zur Aufberei-

tung der Landnutzungsstrukturen für die Modellrechnung wurde die Flächennutzungskartierung des RVR verwendet. Als zusätzliche Information zur Beschreibung der Strukturhöhe wurde zudem ein digitales Oberflächenmodell (DOM) herangezogen. (GEO-NET 2021)

Da bei einer Auflösung von 25 m x 25 m Einzelgebäude nicht explizit aufgelöst werden können, sind diese entsprechend parametrisiert über die Definition von Flächennutzungsklassen in die Modellierung eingegangen und werden je Rasterzelle über eine mittlere Rauigkeit und Hindernishöhe beschrieben. Während die Flächennutzungskartierung (FNK) des RVR über 150 verschiedene Nutzungsklassen unterscheidet, werden in FITNAH lediglich 14 Klassen verwendet, deren Charakteristika in Tabelle A-1 im Anhang aufgeführt werden. Aus der Verknüpfung der unterschiedlichen Eingangsparameter und der Einteilung in die 14 FITNAH-Klassen ist eine Informationsebene zur Realnutzung, Strukturhöhe und Oberflächenversiegelung aufgebaut worden. Anschließend wurde diese mittels umfangreichen Abgleichs auf Basis von Luftbildern stichprobenartig kontrolliert und bei Bedarf manuell korrigiert. (GEO-NET 2021)

Die Simulation erfolgte für eine autochthone Wetterlage. Hierbei handelte es sich um eine austauscharme sommerliche Hochdruckwetterlage mit wolkenlosem Himmel, hohen solaren Einstrahlungswerten und einem nur sehr schwachen überlagernden synoptischen Wind. Unter diesen Bedingungen können sich lokalklimatische Besonderheiten unterschiedlicher Nutzungsstrukturen besonders stark ausprägen. Häufig geht dies mit einer überdurchschnittlich hohen Wärmebelastung sowie erhöhter lufthygienischer Belastungen in Siedlungsräumen einher. Unter diesen Rahmenbedingungen können nächtliche Kalt- und Flurwindströmungen aus innerstädtischen Grün- und Brachflächen sowie dem unbebauten Umland zum Abbau einer Wärmebelastung in den Siedlungsbereichen beitragen. Die meteorologischen Eingangsdaten der Simulation stellen insofern eine besondere Situation dar, die jedoch jeden Sommer mehrfach auftritt und zudem keine absolute Extremsituation beschreibt. Konkret wurde die Situation des 21. Juni, also des Sonnenhöchststandes, bei wolkenlosem Himmel angenommen. Die Starttemperatur wurde zum Start-

zeitpunkt der Modellierung um 21 Uhr auf 21 °C in 2 m Höhe festgelegt. Des Weiteren wurde eine Bodenfeuchte von 60 % angenommen, so dass der Vegetation Wasser zur Verdunstung zur Verfügung steht. (GEO-NET 2021)

Im Folgenden werden die Ergebnisse der FITNAH-Modellierung aus dem Jahr 2020 zu verschiedenen meteorologischen Parametern für das Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr dargestellt und erläutert.

3.1 Bodennahe Lufttemperaturen und nächtliche Abkühlung

Der Tagesgang der bodennahen Lufttemperatur ist direkt an die Strahlungsbilanz eines Standortes gekoppelt. Die in Städten gegenüber dem unbebauten Umland modifizierten Temperaturverhältnisse lassen sich dabei im Wesentlichen auf die erhöhte Wärmekapazität und -leitfähigkeit der urbanen Böden und Oberflächen sowie die durch die Geometrie der städtischen Baukörper vergrößerte strahlungsabsorbierende Oberfläche zurückführen. Zudem bedingt die höhere Konzentration von Gasen und Aerosolen der Stadtluft eine Veränderung der Strahlungsbilanz zugunsten eines langwelligen Strahlungsgewinns (lokaler Treibhauseffekt). Des Weiteren leisten eine herabgesetzte Verdunstung infolge der geringeren Grünflächenanteile und der direkten Einleitung des Niederschlagswassers in die Kanalisation, die Wirkung der Stadt als Strömungshindernis und damit verbundener Beeinträchtigung der Durchlüftung und des Luftaustausches mit dem Umland sowie die erhöhte anthropogen bedingte Wärmeproduktion einen Beitrag zur Überwärmung bzw. geringeren nächtlichen Abkühlung der Siedlungsbereiche. Die nächtliche Temperaturdifferenz zwischen Stadt und Umland kann dabei mehr als 8 Kelvin (K) betragen, wobei das Ausmaß von der Größe der Stadt und der Dichte der Bebauung abhängig ist. Auch die Luftvolumina über grüngerprägten Flächen weisen untereinander keinen einheitlichen Temperaturzustand auf. Die nächtliche Abkühlung von natürlichen Oberflächen wird insbesondere von ihren thermischen Bodeneigenschaften (z. B. Wärmeleitfähigkeit und -kapazität) sowie von der Oberflächenbedeckung (Bewuchs, Laubstreu usw.) bestimmt. Das Relief, die Lage im Mosaik der Nutzungen sowie die dynamischen Luftaustauschprozesse üben einen weiteren

Einfluss aus. Eine Sonderstellung nehmen Wald- und Gewässerflächen ein. Der gedämpfte Tagesgang der Lufttemperatur im Wald beruht auf dem zweischichtigen Strahlungsumsatz zwischen Atmosphäre und Kronendach sowie zwischen Kronendach und Stammraum. Größere Waldgebiete stellen wichtige Frischluftproduktionsgebiete dar. Während tagsüber durch Verschattung und Verdunstung relativ niedrige Temperaturen bei hoher Luftfeuchtigkeit im Stammraum vorherrschen, treten nachts vergleichsweise milde Temperaturen auf. Stadtnahe Wälder können daher auch am Tage Kaltluft zugunsten des Siedlungsraumes erzeugen.

Karte 3-1 zeigt die mit FITNAH-3D simulierte flächenhafte Verteilung der bodennahen Lufttemperatur in zwei Meter über Grund für eine sommerliche austauscharme Strahlungswetterlage zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens. Die mittlere Temperatur im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr liegt bei 15,3 °C. Dabei umfasst das modellierte, sich nächtlich einstellende Temperaturfeld Werte zwischen 13,3 °C und 20,3 °C und weist somit eine maximale Stadt-Umland-Differenz von 7,0 K auf. Die höchsten Temperaturen im Stadtgebiet von über 20 °C treten ausschließlich vereinzelt auf hochversiegelten Gewerbe- bzw. Industrieflächen auf. Für das Stadtzentrum von Fröndenberg/Ruhr wurden größtenteils Werte zwischen 18 °C und 19 °C simuliert. Weite Teile der zumeist aufgelockerten Wohnbebauung sowohl in Fröndenberg selbst als auch in den weiteren Stadtteilen weisen mit 16 °C bis 18 °C ein geringeres Temperaturniveau auf, was auf den geringeren Überbauungsgrad, einen höheren Grünflächenanteil sowie die teils räumliche Nähe zu dem unbebauten Umland zurückzuführen ist. Die niedrigsten Temperaturen sind nachts über den zumeist landwirtschaftlich genutzten Freiflächen im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr zu verzeichnen, was in ihrer starken langwelligen Ausstrahlung nach Sonnenuntergang begründet liegt. Allerdings lassen sich bei näherer Betrachtung der Temperaturen über den Freiflächen teils auch deutliche Unterschiede feststellen, die in der Regel auf die Reliefsituation zurückzuführen sind. So weisen Freiflächen in einer erhöhten Kuppenlage, wie beispielsweise um den Henrichs-Knübel auf der Hohenheide, im Bereich Rodbusch auf der Ostbürener Heide sowie im Bereich Große Wand nördlich des Siedlungskörpers von Bausenhagen, tendenziell höhere Werte auf als Freiflächen in Hang- oder Tallage. Während beispielsweise über

den landwirtschaftlichen Freiflächen der vorgenannten Höhenlagen des Haarsstrangs mit teils 16 bis 18 °C ein vergleichbares Temperaturniveau wie in den aufgelockerten Siedlungsstrukturen vorherrscht, nehmen die Freiflächen in dem geographisch zwischen den aufgeführten Höhenlagen verorteten Hang- und Tallagen im oberen Verlauf des Rammbachs mit teils weniger als 14 °C die mitunter geringsten nächtlichen Lufttemperaturen im Stadtgebiet ein. Man spricht bei diesem geländeklimatischen Phänomen von einer warmen Kuppenzone, da diese Bereiche aus den nächtlichen Bodeninversionen der tieferen Lagen herausragen und durch das hangabwärts gerichtete Abfließen kalter Luftmassen relativ warm bleiben (siehe auch Kapitel 5.1.2). Die Waldgebiete in Fröndenberg/Ruhr zeigen ein vergleichsweise hohes Temperaturniveau mit Werten von bis zu 18 °C. Hier dämpft das Kronendach die nächtliche Ausstrahlung und damit auch ein stärkeres Absinken der bodennahen Lufttemperatur im Stammraum. Anhand der Becken der Wassergewinnungsanlagen entlang der Ruhr ist erkennbar, dass die Luftmassen über Gewässern unter den hier modellierten Wetterbedingungen in der Nacht ein relativ hohes Niveau einnehmen. Dies liegt an der hohen Wärmekapazität und der damit verbundenen thermischen Trägheit von Wasserkörpern, was im weiteren Verlauf noch etwas näher erläutert wird.

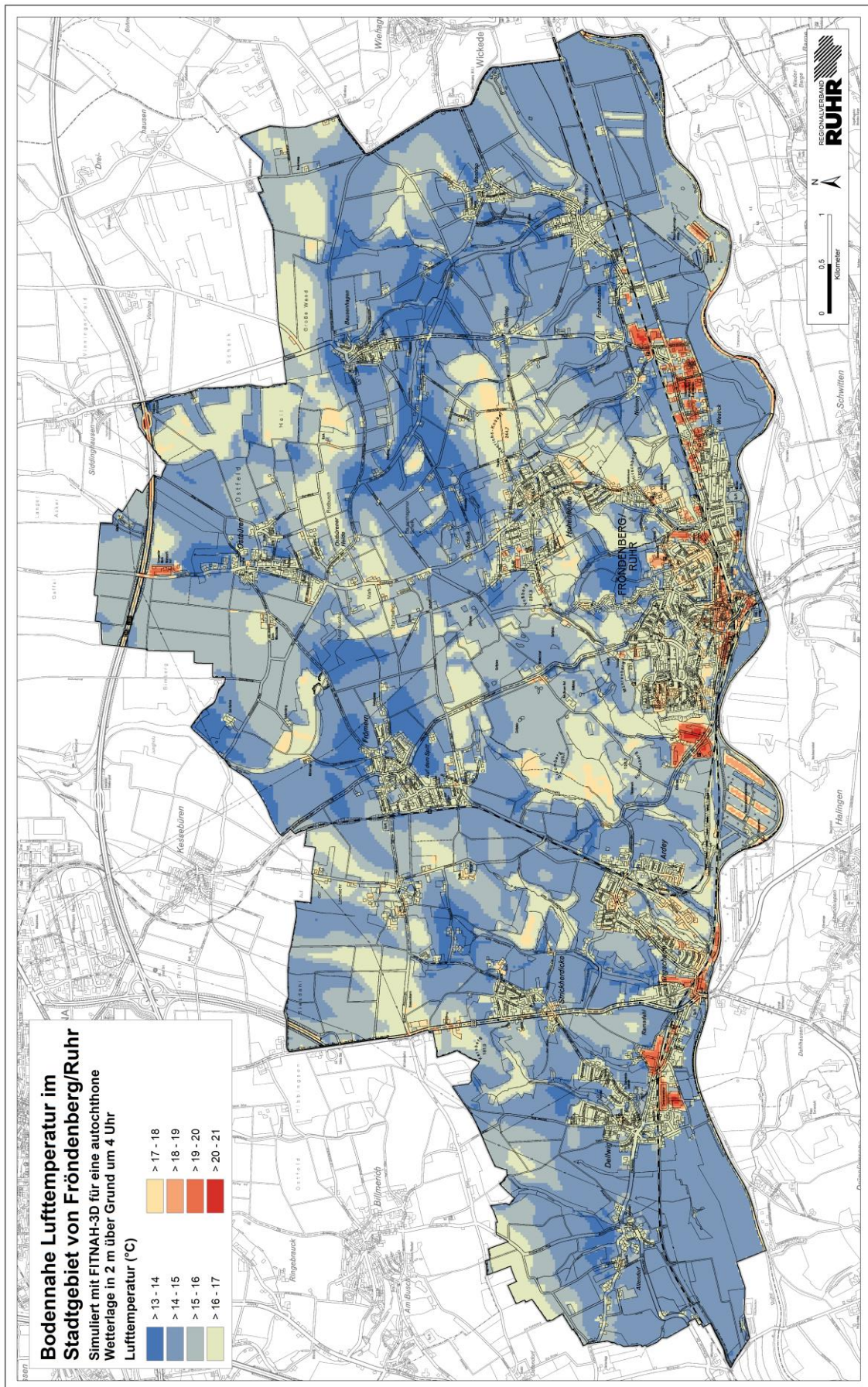
In Karte 3-2 ist die mit FITNAH-3D simulierte Verteilung der bodennahen Lufttemperatur in 2 m über Grund für eine sommerliche austauscharme Strahlungswetterlage zum Zeitpunkt 14 Uhr dargestellt. Die mittlere Lufttemperatur liegt im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr bei 30,6 °C. Das Temperaturminimum beträgt 19,9 °C und das Maximum der simulierten Temperaturen liegt bei 34,2 °C. Die höchsten Temperaturen mit Werten über 33 °C wurden dabei wiederum hauptsächlich für Teilbereiche der Gewerbe- und Industrieflächen im Stadtgebiet simuliert. Allerdings erreichen auch Teile des Stadtzentrums sowie die Areale der Gesamtschule und der beiden südlich davon gelegenen Grundschulen entsprechend hohe Werte. Darüber hinaus fällt auf, dass nahezu sämtliche Siedlungsbereiche von Fröndenberg/Ruhr mit etwa 31 °C bis 33 °C durch sehr hohe Lufttemperaturen während der Tagstunden gekennzeichnet sind. Dies trifft selbst bei aufgelockerter Bebauung, entsprechend höherem Grünflächenanteil sowie bei einer Anbindung an

größere Freilandgebiete zu, wie in den Siedlungsbereichen mit dörflichem Charakter der Stadtteile Ostbüren, Bausenhagen oder Bentrop. Auffällig ist zudem, dass selbst die weitläufigen landwirtschaftlichen Freiflächen ein nahezu ebenso hohes Temperaturniveau mit Werten von 29 bis 32 °C einnehmen. Dass die Lufttemperaturen zwischen dicht bebauten Innenstadtbereichen und unversiegeltem Freiland sich zur Mittags- bzw. frühen Nachmittagszeit kaum unterscheiden, wird durch zahlreiche Untersuchungen anhand von Messungen für alle Monate des Jahres belegt. Insbesondere im Juli kann es sogar zu einer Umkehr der Temperaturunterschiede zwischen Stadt und Land kommen. Diese Situation tritt insbesondere während starker Einstrahlung auf und ist mit dem Schattenwurf der Gebäude in den Siedlungsräumen, der Verlagerung der maßgeblichen Strahlungsreferenzflächen auf das Niveau der Gebäudedächer und die Ableitung der Wärme in die Baumaterialien zu erklären (KUTTLER 2009). Mit Temperaturen von 25 bis 28 °C sind innerhalb der Waldflächen deutlich günstigere Bedingungen während der Tagstunden festzustellen. Grund für die geringere Aufheizung ist die Abschirmung des Kronendachs vor der Sonnenstrahlung sowie die Verdunstungskühlung durch die Vegetation. Wie bereits erläutert, können die Lufttemperaturen über Wasserflächen in der Nacht ein vergleichsweise hohes Temperaturniveau aufweisen. Am Tage stellen Wasserflächen aufgrund der hohen spezifischen Wärmekapazität (Maß für diejenige Energie, die benötigt wird, um 1 kg eines Stoffes um 1 K zu erwärmen) grundsätzlich die kühleren Bereiche innerhalb eines Stadtgebietes dar. Daher zeichnen sich Wasserflächen durch ausgeglichene klimatische Verhältnisse mit einem stark gedämpften Tagesgang der Lufttemperatur aus und werden somit am Tage als relativ kühl und nachts als relativ warm empfunden. Dieser beschriebene Kühleffekt am Tage kann auch bei kleineren Wasserflächen beobachtet werden. Dies ist beispielsweise an den geringen Temperaturen über den Becken der Wassergewinnungsanlagen sowie über der Ruhr selbst zu erkennen. Die kühlende Wirkung der Wasserflächen ist in Abhängigkeit von ihrer Größe jedoch zumeist auf den unmittelbaren Nahbereich beschränkt.

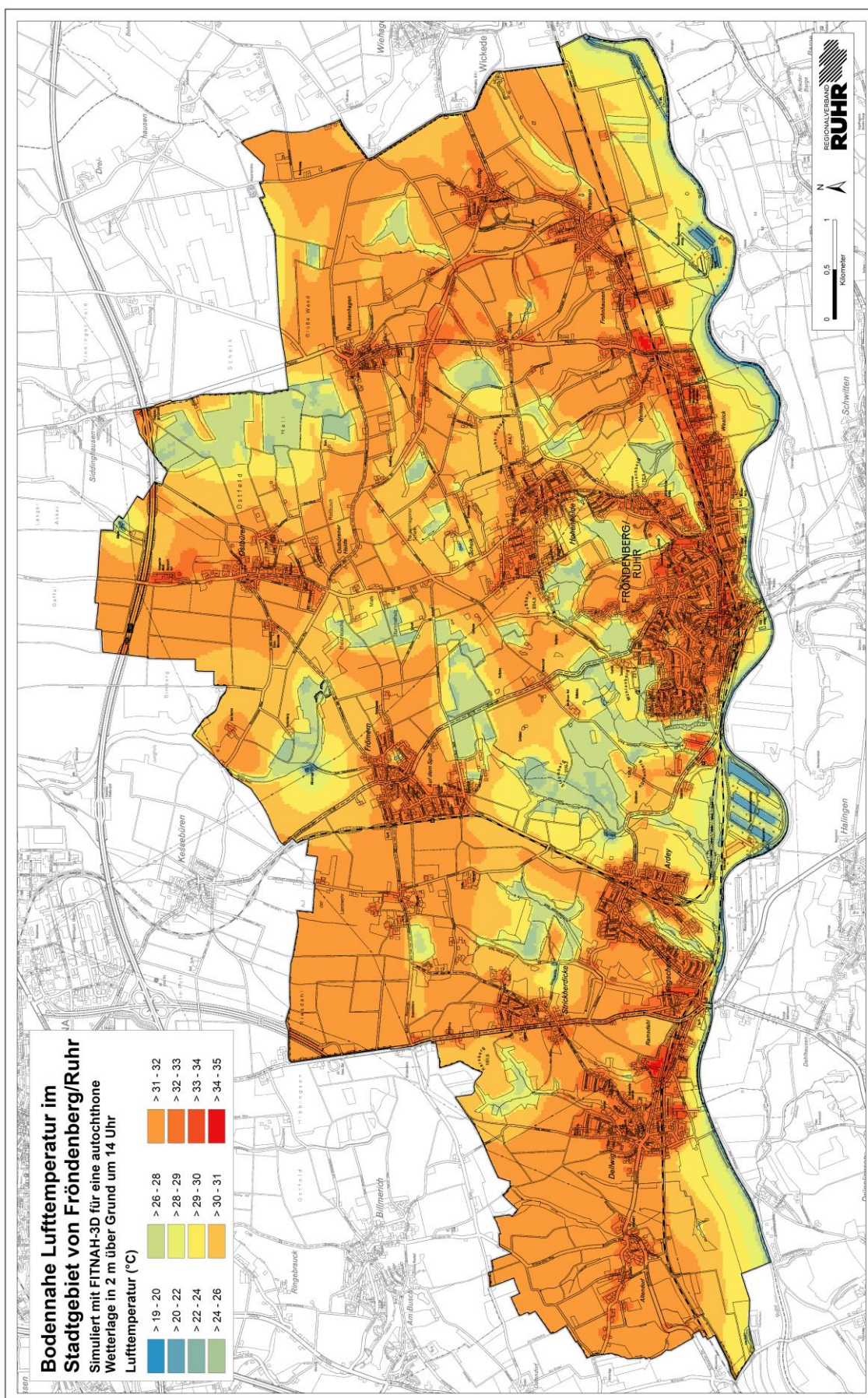
Die oben beschriebenen Zusammenhänge werden zudem in der nächtlichen Abkühlung deutlich. Den Rückgang der bodennahen Lufttemperatur zwischen Son-

nenuntergang am Abend (22 Uhr) bis 4 Uhr morgens zeigt Karte 3-3. Die geringsten Werte der nächtlichen Abkühlung innerhalb der Siedlungsstrukturen weisen die Gewerbe- und Industrieflächen von Fröndenberg/Ruhr auf, deren Rückgang der Lufttemperaturen im betrachteten Zeitraum zumeist lediglich 3 bis 5 K beträgt. Im Stadtzentrum von Fröndenberg/Ruhr kühlt die Lufttemperatur im gleichen Zeitraum um etwa 4 bis 6 K ab. In weiten Teilen der aufgelockerten Wohn- und Mischbebauung der Stadtteile Fröndenberg, Ardey, Langschede und Dellwig sowie in den Siedlungsstrukturen von Strickherdicke und Warmen beträgt der nächtliche Temperaturrückgang zwischen 22 Uhr und 4 Uhr etwa 5 bis 7 K. Lediglich innerhalb der Bebauung von Frömern, Ostbüren, Bausenhagen, Bentrop, Frohnhausen sowie in weiten Teilen auch auf der Hohenheide sind noch stärkere Temperaturrückgänge von 7 bis 8 K innerhalb der Siedlungskörper zu verzeichnen.

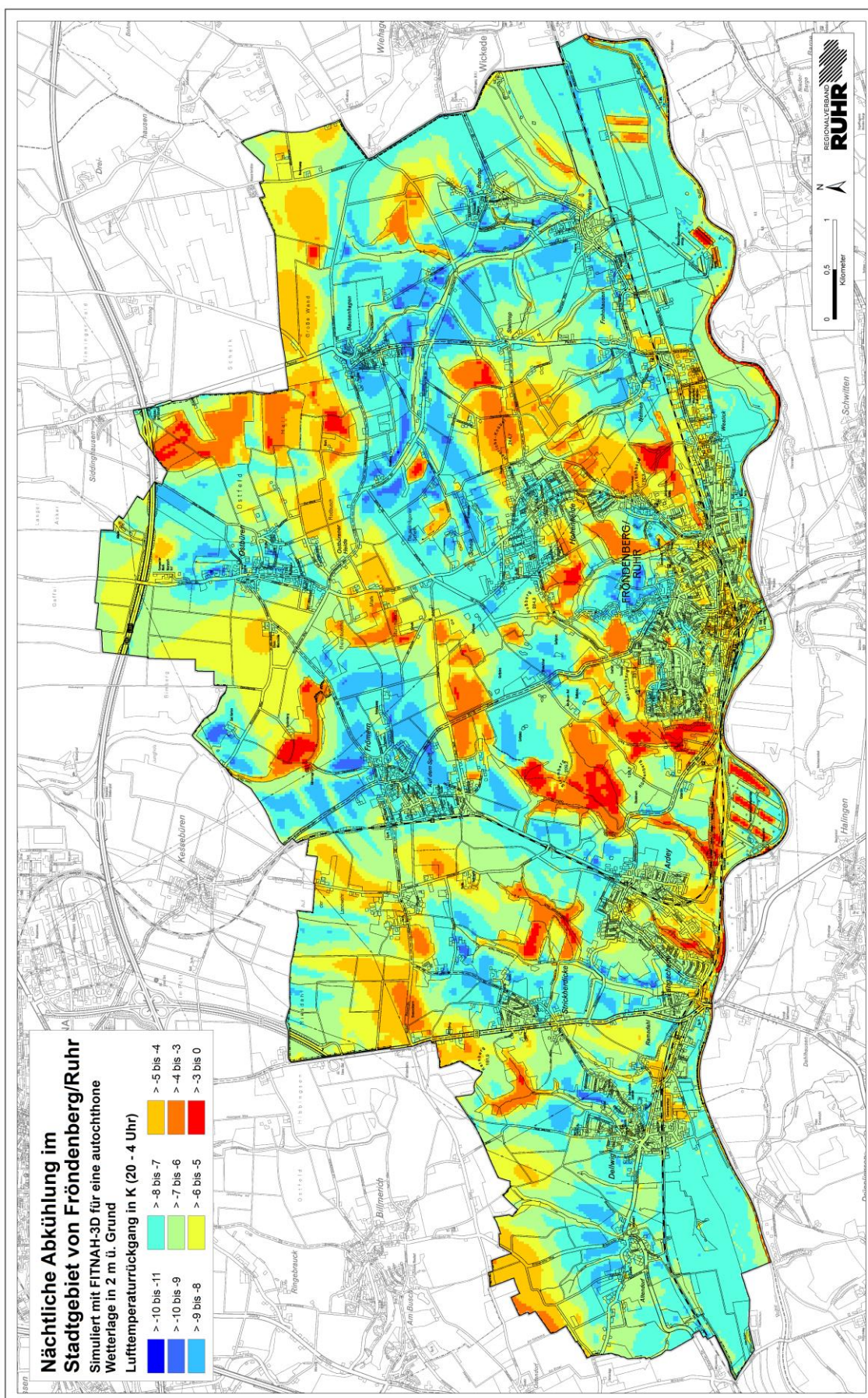
Bei Betrachtung der nächtlichen Abkühlung über den landwirtschaftlichen Flächen zeigen sich die bereits bezüglich der nächtlichen Lufttemperatur beschriebenen Unterschiede zwischen Kuppen-, Hang- und Tallagen. So verzeichnen landwirtschaftlich genutzte Flächen in Kuppenlagen sehr geringe Abkühlungswerte, die sogar auf einem Niveau mit den Gewerbe- und Industriegebieten liegen, während für die landwirtschaftlichen Freiflächen einiger Hang- und Talbereiche mit 7 bis 10 K die höchsten Werte der nächtlichen Abkühlung im Stadtgebiet modelliert wurden. Die Abkühlung der Waldflächen kann dagegen teils weniger als 3 K betragen, was auf den gedämpften Tagesgang der Lufttemperatur im Stammraum zurückzuführen ist. Ein ähnlich geringes Abkühlungsniveau wird über Wasserflächen erreicht.



Karte 3-1: Bodennahe Lufttemperatur (2 m ü. Grund) im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr um 4 Uhr



Karte 3-2: Bodennahe Lufttemperatur (2 m ü. Grund) im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr um 14 Uhr



Karte 3-3: Nächtliche Abkühlung (22 - 4 Uhr) der Lufttemperatur in 2 m über Grund im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr

3.2 Physiologisch Äquivalente Temperatur

Das physiologische Wärmeempfinden des Menschen wird nicht ausschließlich von der Lufttemperatur, sondern von vielen weiteren Faktoren bestimmt. Dazu zählen neben der Windgeschwindigkeit und der Luftfeuchtigkeit auch die jeweiligen Einstrahlungsbedingungen (Sonneneinstrahlung, Schattenwurf und langwellige Wärmeabstrahlung von Gebäuden). Somit ist die Lufttemperatur nicht immer als maßgeblicher Faktor für das Wärmeempfinden des Menschen zu betrachten. Je nach Situation und Tageszeit können auch die Strahlungs- und Windverhältnisse dominierend sein (Matzarakis 2013).

Aus diesem Grund ist eine kombinierte Bewertung aller relevanten Faktoren notwendig. Da hier alle den Wärmehaushalt des Menschen direkt beeinflussenden Klimaelemente eine Rolle spielen, spricht man vom thermischen Wirkungskomplex. Unter Berücksichtigung meteorologischer Größen und entsprechender Bekleidung kann der Wärmehaushalt berechnet und durch Vergleich mit Kenngrößen zur Behaglichkeit eine Beurteilung vorgenommen werden. Die auf diese Weise bestimmten Werte können einem thermischen Empfinden und einer Belastungsstufe zugeordnet werden (siehe Tabelle 3-1). Damit ist die Physiologisch Äquivalente Temperatur (engl. Physiologically Equivalent Temperature, PET) als biometeorologischer Index geeignet, den aktuellen meteorologischen Atmosphärenzustand in thermischer Hinsicht für den Menschen bewertbar zu machen.

Zur Bewertung der thermischen Behaglichkeit wurde der PET aus dem Energiebilanzmodell des menschlichen Körpers (Münchener Energiebilanz-Modell für Individuen, MEMI) abgeleitet. PET ist definiert als die Lufttemperatur, bei der in einer typischen Innenraumsituation die Energiebilanz des menschlichen Körpers, mit denselben Werten der Kern- und Hauttemperatur wie bei den Bedingungen im Freiraum, ausgeglichen ist (VDI 2008a).

Die dem Modell zugrunde gelegte Gleichung lautet:

$$M + W + R_n + Q_H + Q_L + Q_{SW} + Q_{Re} = 0 \text{ (W)}$$

- M: Metabolische Rate = Gesamtenergieumsatz des Menschen
 W: Energieumsatz infolge mechanischer Leistung
 R_n: Strahlungsbilanz
 Q_H: Fluss fühlbarer Wärme
 Q_L: Fluss latenter Wärme durch Wasserdampfdiffusion
 Q_{SW}: Fluss latenter Wärme durch Verdunstung von Schweiß
 Q_{Re}: Energieumsatz infolge von Erwärmung und Wasserdampfsättigung der Atemluft

Die Standardperson (Klima-Michel) für den die PET-Berechnung aufgestellt wurde, erfüllt dabei folgende Voraussetzungen:

Geschlecht: männlich
 Alter: 35 Jahre
 Gewicht: 75 kg
 Größe: 1,75 m
 Körperoberfläche: 1,9 m²
 metabolische Rate: 80 W (leichte Tätigkeit, sitzend)
 Kleidungsfaktor: 0,9 clo

Die Adaption für den Innenraum erfolgt unter den folgenden meteorologischen Annahmen:

Windgeschwindigkeit: 0,1 m/s
 Wasserdampfdruck: 12 hPa
 Annahme, dass die mittlere Strahlungstemperatur T_{mrt} der Lufttemperatur T_a entspricht (T_{mrt} = T_a)

Für einen ruhig sitzenden Menschen mit üblicher Innenraumbekleidung stellt sich üblicherweise bei einer PET von etwa 20 °C eine optimale Behaglichkeit ein. (Held und Krüger 2011)

Tabelle 3-1 zeigt die sechs PET-Klassen in aufsteigender Reihenfolge von Kältestress über Behaglichkeit bis zu den Stufen des Hitzestresses.

Tabelle 3-1: Einteilung der PET-Klassen, verändert nach Matzarakis und Mayer (1996) und Held und Krüger (2011)

PET-Intervall (°C)	Klasse	Thermisches Empfinden	Grad des physiologischen Stress
0 - 18	1	leicht kühl und kälter	Kältestress
> 18 - 23	2	behaglich	kein thermischer Stress
> 23 - 29	3	leicht warm	leichter Hitzestress
> 29 - 35	4	warm	moderater Hitzestress
> 35 - 41	5	heiß	starker Hitzestress
> 41	6	sehr heiß	extremer Hitzestress

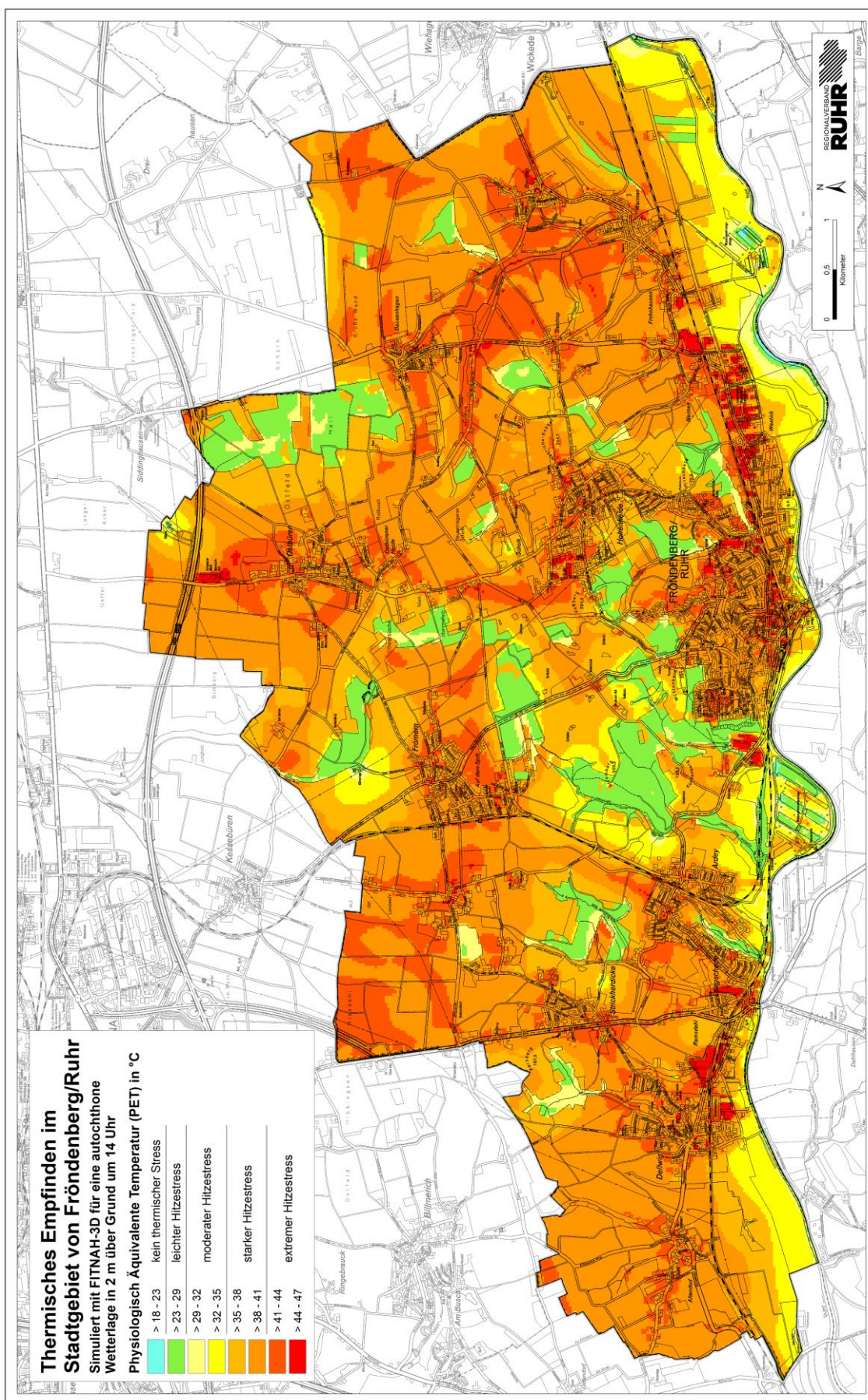
Die PET ist auch Bestandteil der VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2 (VDI 2008a).

Biometeorologische Indizes, wie die Physiologisch Äquivalente Temperatur, stellen eine sehr relevante Größe zur Beurteilung der thermischen Belastung eines Menschen dar und sollten in Planungsprozessen zur Bewertung von Klimaanpassungsmaßnahmen eine entscheidende Berücksichtigung finden. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass diese Indizes insbesondere bei Betrachtung von sommerlichem Hitzestress entscheidend von den Strahlungsbedingungen abhängig sind und dadurch eine sehr hohe räumliche Variabilität innerhalb der Siedlungsstrukturen aufweisen, die maßgeblich vom Schattenwurf der Gebäude und Bäume beeinflusst wird. Diese kleinräumige Variabilität kann mit einem mesoskaligen Modell wie FITNAH-3D, welches die Gebäude und Vegetation nicht explizit auflöst, sondern parametrisiert berücksichtigt, nicht dargestellt werden. Die Darstellung der Modellierung der Physiologisch Äquivalenten Temperatur mit FITNAH-3D kann daher lediglich eine erste Einordnung liefern, wie sich unterschiedliche Stadt- bzw. Flächennutzungsstrukturen grundsätzlich auf das thermische Empfinden eines Menschen auswirken.

Die mit FITNAH-3D modellierte, thermische Belastung am Tage wird anhand der Physiologisch Äquivalenten Temperatur (PET) in Karte 3-4 für das Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr dargestellt. Die Abbildung verdeutlicht, dass die Unterschiede in der Intensität des Hitzestresses zwischen stark verdichteten Siedlungsstrukturen, wie dem Stadtzentrum sowie den Gewerbe- bzw. Industriegebieten, und lockerer bebauten Siedlungsräumen nicht sehr stark ausgeprägt sind. Während in den vor allem im dicht bebauten Stadtzentrum und den Gewerbe- und Industriegebieten das thermische Empfinden als „sehr heiß“ bewertet wird und somit ein extremer Hitzestress auftritt, ist in weiten Teilen der locker bebauten Siedlungsflächen das thermische Empfinden mit „heiß“ bewertet, was einem starken Hitzestress entspricht. Dies trifft selbst für die sehr locker und somit stark durchgrünzten Siedlungsbereiche in den Stadtteilen Altendorf, Strickherdicke, Ostbüren, Bausenhagen oder Bentrop zu. Teilweise fällt dabei auf, dass die Siedlungsstrukturen sogar eine etwas geringere thermische Belastung aufweisen als die angrenzenden landwirtschaftlichen Freiflächen, bei denen ebenfalls ein starker bis extremer Hitzestress auftritt. Die starke thermische Belastung dieser Freiräume ist mit der fehlenden Beschattung durch höhere Vegetationsbestände sowie die am Tage ebenfalls erhöhten Lufttemperaturen zu erklären. Im Vergleich zu den Acker- und Wiesenflächen

zeigt sich für die Waldflächen eine deutlich geringere thermische Belastung, die mit einem leichten bis moderaten Hitzestress modelliert wird. Somit ist das thermische Empfinden in den Waldflächen als lediglich leicht warm bis warm zu bezeichnen. Dies liegt vor allem an einer erhöhten Verdunstungsaktivität, den am Tage reduzierten Lufttemperaturen sowie vor allem an der weitestgehend fehlenden direkten Sonneneinstrahlung infolge der Verschattung durch die Baumkronen.

Eine deutliche Reduktion der thermischen Belastung wird zudem über sowie im Umfeld von verdunstungsaktiven Wasserflächen modelliert und ist insbesondere mit den deutlich reduzierten Lufttemperaturen am Tage zu begründen. Die Reichweite des Gewässereinflusses ist zwar lediglich auf den unmittelbaren Nahbereich begrenzt, sorgt dort allerdings für eine Absenkung des physiologischen Hitzestressempfindens.



Karte 3-4: Physiologisch äquivalente Temperatur (PET) im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr um 14 Uhr

3.3 Gesamtbewertung der Wärmebelastung

In den vorangegangenen Kapiteln wurden die Wärmebelastung während der Nachtstunden anhand der nächtlichen Lufttemperaturen (Kapitel 3.1) sowie die Hitzebelastung während der Tagstunden mittels Darstellung der Physiologisch Äquivalenten Temperatur (Kapitel 3.2) für das Stadtgebiet räumlich dargestellt und erläutert.

Beim Vergleich der Ergebnisse für die Tag- und die Nachtsituation fällt auf, dass innerhalb des Stadtgebietes Bereiche existieren, die entweder nur während einer Tageshälfte oder ganztägig hohe bzw. moderate oder niedrige thermische Belastungssituationen aufweisen. Die Wärmebelastung kann in Abhängigkeit von der Flächennutzung und dem Einfluss ihrer Umgebung entweder am Tage bzw. in der Nacht oder während des gesamten Tagesverlaufs auftreten. Um die thermischen Bedingungen im Stadtgebiet für einen gesamten Tagesverlauf im Mittel beurteilen zu können, reichen die Darstellungen in den vorangegangenen Kapiteln daher nicht aus.

Aus diesem Grund wurde basierend auf den Ergebnissen der FITNAH-Modellierung eine Methodik zur Gesamtbewertung der Wärmebelastung entwickelt, die sich aus den gemittelten Ergebnissen für die Tag- und Nachtsituation ergibt. Ziel war dabei, eine qualitative Einordnung der Wärmebelastung unterschiedlicher Stadt- bzw. Flächennutzungsstrukturen für einen gesamten Tagesverlauf vorzunehmen und räumlich darzustellen.

Um die simulierten FITNAH-Ergebnisse für die Physiologisch Äquivalente Temperatur und die nächtlichen Temperaturen qualitativ einzuordnen, erfolgte die Bewertung der PET-Werte nach der Klassifizierung von Matzarakis und Mayer (1996) sowie Held und Krüger (2011) und die Bewertung der nächtlichen Lufttemperaturen in Anlehnung an eine Methodik aus der Klimaanalyse für Nordrhein-Westfalen (LANUV 2018).

Die qualitativen Einordnungen sind der Spalte „PET-Bewertungsklasse“ in Tabelle 3-2 und der Spalte „T_{Nacht}-Bewertungsklasse“ in Tabelle 3-3 zu entnehmen.

Tabelle 3-2: PET-Klassen, verändert nach Matzarakis und Mayer (1996) und Held und Krüger (2011)

PET (°C)	Qualitative Einordnung PET	PET-Klasse
$\leq 23,0^*$	kein Hitzestress	0
$> 23,0 - 29,0$	leichter Hitzestress	1
$> 29,0 - 35,0$	moderater Hitzestress	2
$> 35,0 - 41,0$	starker Hitzestress	3
$> 41,0$	extremer Hitzestress	4

*Werte unterhalb von 18 °C traten für den Betrachtungszeitraum der Simulation in der Metropole Ruhr nicht auf, so dass im Vergleich zu Tabelle 3-1 (Kapitel 3.2) eine Klasse entfällt; die Klasseneinteilung wurde zur besseren Vergleichbarkeit mit der nächtlichen Temperatur entsprechend angepasst.

Tabelle 3-3: Bewertung der mit FITNAH-3D modellierten nächtlichen Lufttemperaturen (T_{Nacht}) um 4 Uhr, in Anlehnung an LANUV 2018

Temperatur (°C)	Qualitative Einordnung der Temperatur	Temperatur-Klasse
$\leq 17,0$	keine nächtliche Überwärmung	0
$> 17,0 - 18,5$	schwache nächtliche Überwärmung	1
$> 18,5 - < 20,0$	mäßige nächtliche Überwärmung	2
$\geq 20,0^*$	starke nächtliche Überwärmung	3

*Nächtliche Temperaturen über 21,5 °C konnten anhand der FITNAH-Modellierung für das Untersuchungsgebiet der Metropole Ruhr nicht ermittelt werden, sodass keine zusätzliche Temperatur-Klasse „4“ ausgewiesen wurde.

Anschließend wurden die Werte der beiden Bewertungsklassen für PET und T_{Nacht} gemittelt, woraus sich acht neue Wärmebelastungsklassen ergeben (siehe Tabelle 3-4). Dies wurde basierend auf der Rasterauflösung der FITNAH-Modellierung durchgeführt, woraus für jede Rasterzelle ein Wert zur Gesamtbewertung der Wärmebelastung resultiert.

Tabelle 3-4: Gesamtbewertung der Wärmebelastung, die sich aus der der nächtlichen Temperatur und dem PET-Wert ergibt

Wärmebelastungsklasse	Qualitative Einordnung gesamt (Tag und Nacht gemittelt)
0	keine Wärmebelastung
0,5	sehr leichter Wärmebelastung
1	leichter Wärmebelastung
1,5	leichter bis mäßiger Wärmebelastung
2	mäßiger Wärmebelastung
2,5	mäßiger bis starker Wärmebelastung
3	starker Wärmebelastung
3,5	starker bis extremer Wärmebelastung

Das Ergebnis dieser Gesamtbewertung der Wärmebelastung, basierend auf den mit FITNAH-3D für eine autochthone Wetterlage simulierten Werten für die Physiologisch Äquivalente Temperatur um 14 Uhr sowie der Lufttemperatur um 4 Uhr, ist für das Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr in Karte 3-5 dargestellt. Es wird deutlich, dass die höchste Wärmebelastungsklasse mit einer starken bis extremen Wärmebelastung ausschließlich auf vereinzelte Gewerbe- und Industrieflächen im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr beschränkt ist, da diese Bereiche sowohl die höchsten PET-Werte am Tage als auch die höchsten nächtlichen Lufttemperaturen aufweisen. Weite Teile der Gewerbe- und Industriebereiche entfallen allerdings auf die zweithöchste Wärmebelastungsklasse und weisen somit eine insgesamt starke Wärmebelastung sowohl am Tage als auch in der Nacht auf. Im Industriegebiet Westick-Ost/Frohnhausen wird deutlich, dass die vorhandenen Grün- und Freiflächen zwischen den zumeist hochversiegelten bzw. überbauten Gewerbeansiedlungen nur leichte Wärmebelastungen aufweisen und somit die Bildung eines großen zusammenhängenden Belastungsraums verhindern.

Das Stadtzentrum von Fröndenberg/Ruhr weist größtenteils ebenfalls eine mäßige bis starke bzw. starke Wärmebelastung auf. Dies gilt laut des beschriebenen Bewertungsverfahrens basierend auf der FITNAH-Modellierung auch für Teile der Wohnbebauung auf dem Mühlenberg, die Umgebung der Gesamtschule sowie der beiden südlich angrenzenden Grundschulen und für das Umfeld des Harthaer Platzes, bestehend aus einem Supermarkt mit großflächigem und vollversiegeltem Parkplatz, der Feuerwehr und nördlich wie südlich angrenzender Gewerbeflächen. Darüber hinaus ist auch für das Justizvollzugskrankenhaus sowie das Schmallenbach-Haus in der Gesamtbewertung eine starke Wärmebelastung ausgewiesen. Allerdings sind diese Bereiche in ihrer räumlichen Ausdehnung zumeist stark begrenzt und oftmals auf einen lokal erhöhten Versiegelungs- bzw. Überbauungsgrad zurückzuführen.

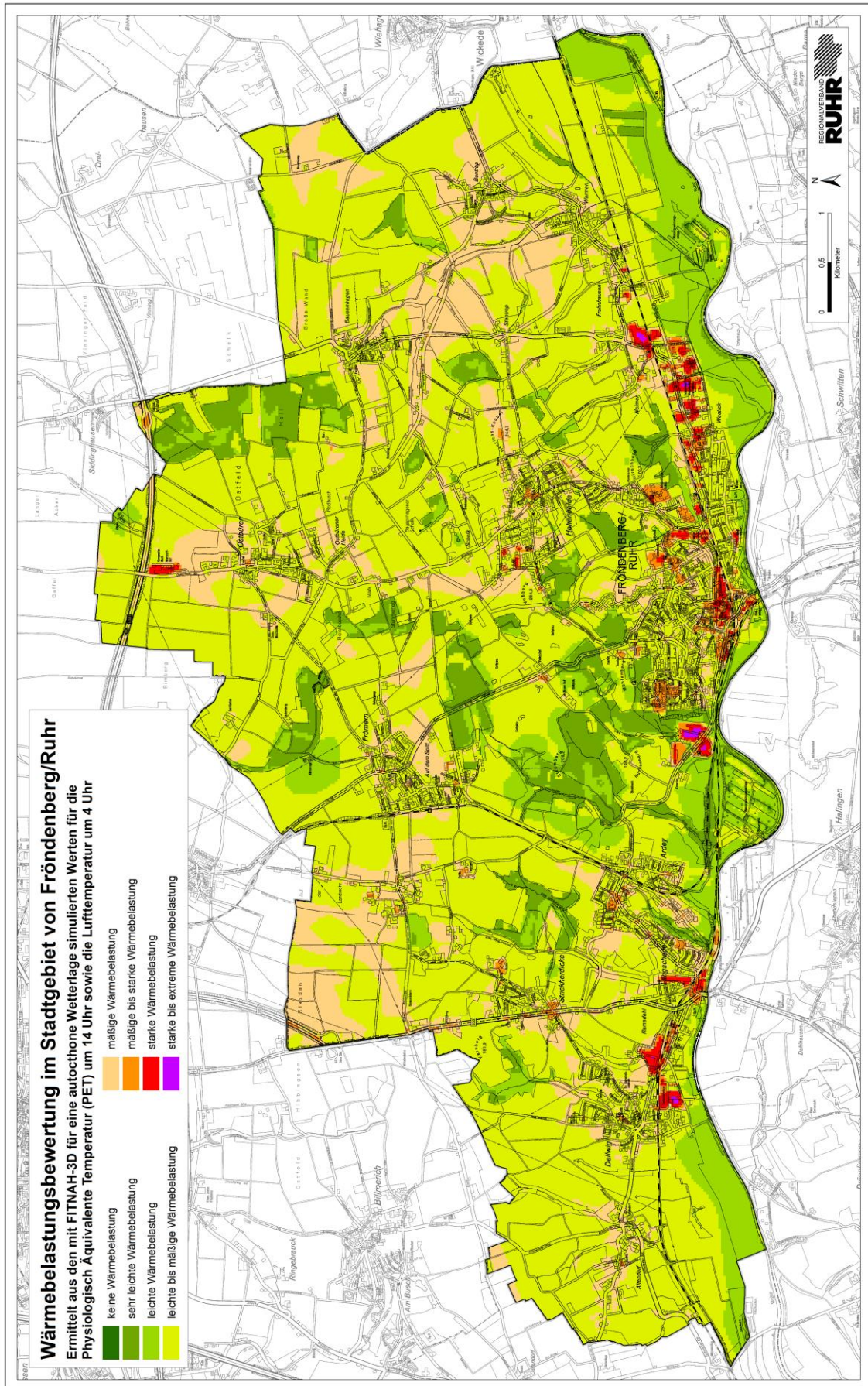
Alle anderen Siedlungsbereiche des Stadtgebietes, die durch eine stärker aufgelockerte und durchgrünte Bebauungsstruktur charakterisiert sind, weisen hingegen zumeist lediglich leichte bis mäßige Wärmebelastungen auf. Dies trifft sowohl für die Wohnbebauung in Westick und nördlich des Stadtzentrums zu als auch auf den Großteil der Siedlungsbereiche aller anderen Stadtteile, was dort aus einem zwar

starken Hitzestress am Tag, aber relativ geringen nächtlichen Lufttemperaturen resultiert.

Bei Betrachtung der landwirtschaftlich genutzten Freiflächen sind in der Bewertung der Wärmebelastung für den gesamten Tagesverlauf die in Bezug auf die nächtlichen Lufttemperaturen beschriebenen reliefbedingten Unterschiede zwischen Kuppen- und Tallagen kaum mehr zu erkennen. Insgesamt führen die geringen nächtlichen Lufttemperaturen und die infolge der fehlenden Verschattung erhöhten PET-Werte am Tage zu einer mittleren Wärmebelastung im Tagesverlauf. Für die meisten Flächen mit landwirtschaftlicher Nutzung liegt somit eine leichte bis mäßige oder eine mäßige Wärmebelastung in der Gesamtbewertung vor. Insbesondere im südlichen Stadtgebiet sind entlang der Ruhr vermehrt auch Landwirtschaftsflächen verortet, denen die Bewertungsklasse „leichte Wärmebelastung“ zugewiesen wurde.

Die Wälder und Gehölzbestände zeichnen sich weitestgehend durch sehr leichte bzw. leichte Wärmebelastungen im Tagesverlauf aus. Dies ist einerseits auf die geringen PET-Werte am Tage zurückzuführen und andererseits darauf, dass laut der Definition aus Tabelle 3-3 in den Wald- und Gehölzbeständen keine bzw. lediglich schwache nächtliche Überwärmungen der Lufttemperatur auftreten.

Größere Bereiche, die laut des beschriebenen Bewertungsverfahrens keine Wärmebelastung aufweisen, treten im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr nicht auf.



Karte 3-5: Gesamtbewertung der Wärmebelastung im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr

3.4 Autochtones Windfeld

Während allochthoner, also austauschstarker, Wetterlagen zeichnet sich das städtische Windfeld im Allgemeinen insbesondere aufgrund des erhöhten aerodynamischen Widerstandes der Bebauung gegenüber dem flachen Umland durch eine im Mittel geringere Windgeschwindigkeit sowie eine höhere Anzahl an Schwachwindstunden und Windstillen (Calmen) aus. Allerdings können bedingt durch thermische Turbulenzen oder infolge einer Kanalisierung in Straßenschluchten (Düseneffekt) und Umlenkungseffekten an Gebäudekanten lokal erhöhte Windgeschwindigkeiten und Böigkeit auftreten (Hupfer u. Kuttler 2006).

Bei sommerlicher autochthoner Strahlungswetterlage und somit nur sehr schwachem übergeordnetem Windfeld können die in Kapitel 3.1 beschriebene nächtliche bodennahe Lufttemperaturverteilung bzw. die dadurch bedingten horizontalen und vertikalen Luftdruckunterschiede lokale thermische Windsysteme auslösen. Die wichtigsten nächtlichen Luftströmungen dieser Art sind zum einen die gravitationsbedingten Berg- und Hangabwinde, zum anderen die als direkte Ausgleichsströmungen vom hohen zum tiefen Luftdruck aufzufassenden Flurwinde.

Bereits ab einer Geländeneigung von ein bis zwei Grad setzen nach Sonnenuntergang über natürlichen Oberflächen abwärtsgerichtete Strömungen ein. Da hangnahe Luftmassen durch die nächtliche Ausstrahlung der Oberflächen stärker abkühlen als die freie Luft in gleicher Höhe und somit eine höhere Dichte aufweisen, fließt die kühlere bodennahe Luft hangabwärts. Die Ausprägung dieses kleinräumigen Phänomens wird in erster Linie durch das Temperaturdefizit zur umgebenden Luft und durch die Neigung des Geländes bestimmt (Mosimann et al. 1999).

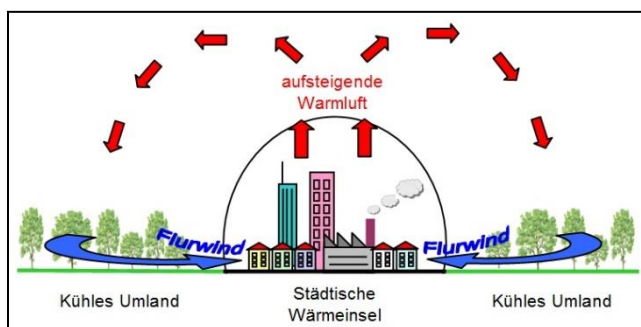


Abbildung 3-1: Prinzip des Flurwindes

Neben diesen durch das Relief beeinflussten Strömungen bilden sich in ebenen Lagen unter günstigen Bedingungen sogenannte Flurwinde aus. Flurwinde entstehen, wenn sich infolge der Überwärmung von überbauten oder versiegelten Gebie-

ten - und dem damit verbundenen konvektiven Aufstieg der betroffenen Luftmassen – gegenüber dem Umland ein lokales thermisches Tief im städtischen Bereich entwickelt. Der resultierende Druckgradient kann daraufhin durch einströmende kühlere Luftmassen aus dem Umland ausgeglichen werden (vgl. Abbildung 3-1). Flurwinde sind oftmals nur schwach ausgeprägt, lediglich wenige Meter mächtig und dringen im Idealfall radial in die Stadt ein (Hupfer u. Kuttler 2006).

Hangab- und Flurwinden kommt eine besondere stadtplanerische Bedeutung zu. Größere Siedlungen wirken aufgrund ihrer hohen aerodynamischen Rauigkeit als Strömungshindernis. Aus diesem Grund sind die Durchlüftung der Stadtkörper und der Luftaustausch mit dem Umland generell herabgesetzt. Die Abfuhr von schadstoffbelasteten und überwärmten Luftmassen in den Straßenschluchten kann in Abhängigkeit von der Bebauungsart und -dichte deutlich eingeschränkt sein. Speziell bei austauscharmen Wetterlagen wirken sich diese Faktoren bioklimatisch zu meist ungünstig aus. Daher können die genannten Strömungssysteme durch die Zufuhr frischer und kühlerer Luft eine bedeutende klima- und immissionsökologische Ausgleichsleistung für die Belastungsräume erbringen.

Karte 3-6 zeigt das bodennahe (2 m über Grund) autochthone Windfeld im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr für eine sommerliche Strahlungswetterlage zum Zeitpunkt 4 Uhr morgens. Die Strömungsgeschwindigkeiten innerhalb des Stadtgebietes reichen von vollkommener Windstille bis zu Maximalwerten von 2,14 m/s. Windgeschwindigkeiten von über 1,5 m/s wurden dabei hauptsächlich in einigen Hanglagen über landwirtschaftlich genutzten Flächen simuliert. Beispielsweise westlich der Bebauung von Dellwig sowie östlich der Bebauung von Ardey im Bereich der Hanglagen entlang des Ostholzbachs nehmen Teile der raugkeitsarmen Freiflächen entsprechende Werte ein. Weitere Bereiche mit Windgeschwindigkeiten von über 1,5 m/s treten über landwirtschaftlich genutzten Flächen im Nordosten von Frömern sowie ganz im Norden im Bereich der A44 und im Ostfeld im Stadtteil Ostbüren auf. Darüber hinaus sind weitere vereinzelte und räumlich sehr lokal begrenzte Bereiche mit entsprechenden Windgeschwindigkeiten in den östlichen Stadtteilen Bausenhagen, Bentrop, Stentrop, Neimen, Frohnhausen und Warmen zu verzeichnen.

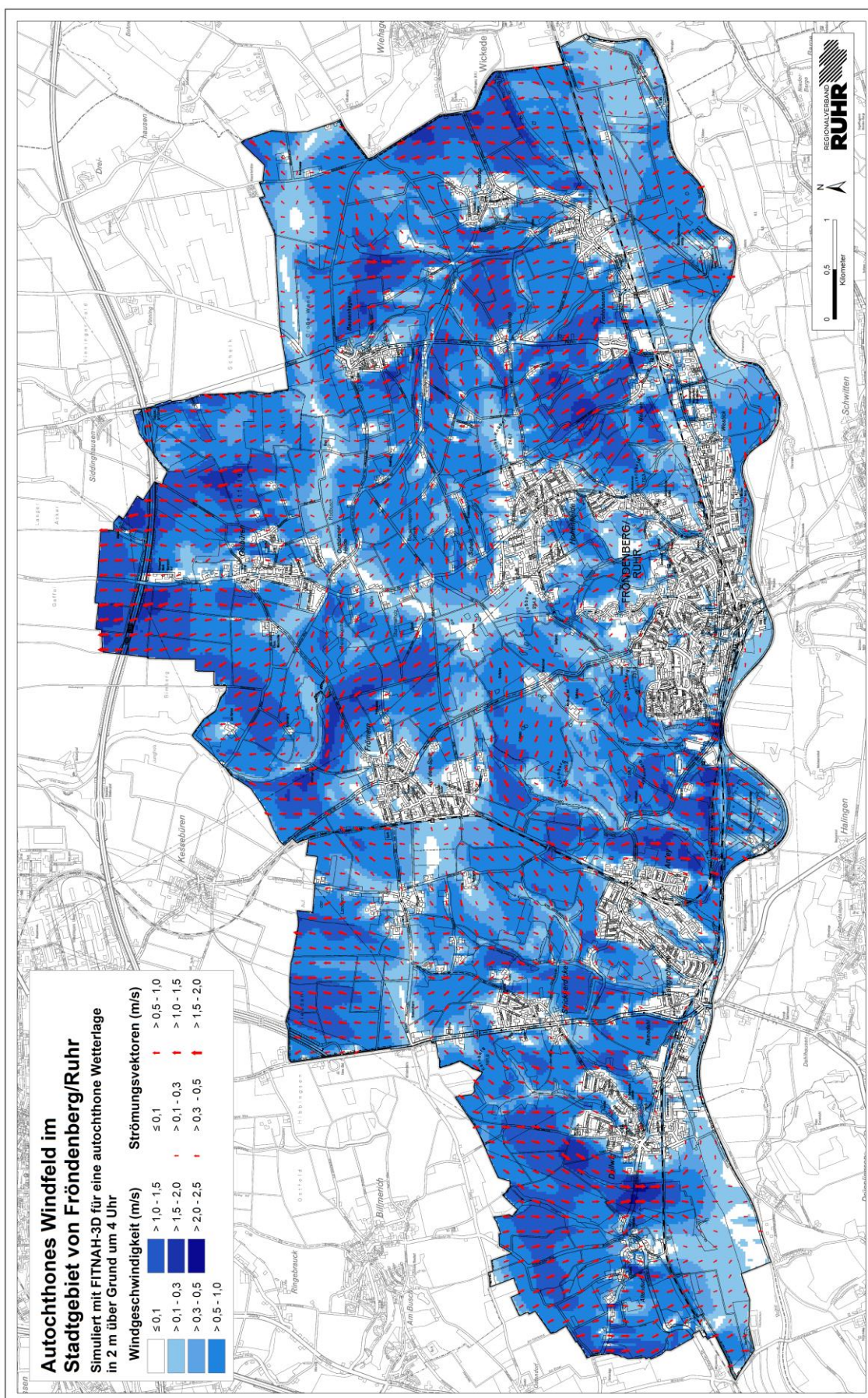
Insgesamt lässt sich ein deutlicher Unterschied der Windgeschwindigkeiten über den landwirtschaftlich genutzten Freiflächen in Abhängigkeit der Reliefsituation erkennen. Dabei werden grundsätzlich höhere Windgeschwindigkeiten über den Freiflächen in Hanglagen erreicht, während die Freiflächen entlang des Ruhrtals größtenteils geringere Werte aufweisen. Im Süden von Altendorf wurden über den landwirtschaftlichen Freiflächen teilweise sogar Werte mit unter $0,1 \text{ m/s}$ simuliert, was der sehr geringen Reliefenergie in diesem Bereich geschuldet ist.

Insbesondere anhand der Strömungsvektoren ist zudem erkennbar, welchen großen Einfluss das Relief auf die Windgeschwindigkeit sowie auf die Windrichtung der bodennahen Luftmassendynamik während solcher austauscharmer, autochthoner Wetterlagen ausübt. Die Strömungsvektoren zeigen nämlich ausschließlich hangabwärts gerichtete Dynamiken auf, was beispielsweise besonders deutlich an der Kuppenlage des Henrichs-Knübels, dem höchsten Punkt im Stadtgebiet, erkennbar ist. Die Strömungsvektoren über den Freiflächen nördlich dieser Erhebung folgen dem abfallenden Relief in Richtung Norden, während die Luftmassen über den Freiflächen östlich bzw. südlich des Henrichs-Knübels jeweils dem Gelände folgend nach Osten bzw. Süden abfließen. Zudem sieht man an dieser Stelle, dass die Windgeschwindigkeiten im Bereich der Kuppenlage zunächst sehr gering ausgeprägt sind und im Bereich der Hanglagen zunehmen. Die Abhängigkeit der Luftmassendynamiken vom Relief bedeutet zudem, dass den zahlreichen Bachtälern in den Hanglagen des Haarstrangs eine Leitfunktion hinsichtlich der Ausprägung des lokalen Windfeldes zugesprochen werden kann.

Wie bereits erläutert, zeichnet sich das Windfeld innerhalb eines urbanen Raumes insbesondere aufgrund des erhöhten aerodynamischen Widerstandes der Bebauung gegenüber dem rauigkeitsarmen Umland durch eine im Mittel geringere Windgeschwindigkeit aus. In diesem Fall wurden für nahezu sämtliche Siedlungsbereiche in Fröndenberg/Ruhr zumeist vernachlässigbar geringe Windgeschwindigkeiten von unter $0,1 \text{ m/s}$ simuliert. Dies gilt aber nicht nur für das stark überbaute Stadtzentrum von Fröndenberg, sondern trifft auch auf weite Teile der Bebauungsstrukturen innerhalb aller Stadtteile zu.

Da die beschriebenen nächtlichen Luftmassenbewegungen ihren Ursprung zumeist über grünteprägtten Raumstrukturen haben und die Strömungsvektoren eine

starke Reliefabhängigkeit aufweisen, kann hierbei grundsätzlich von Kaltluftdynamiken gesprochen werden, über die kühle und unbelastete Luftmassen transportiert werden. Das für eine sommerliche autochthone Wetterlage modellierte nächtliche Kaltluftgeschehen im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr wird in den folgenden Kapiteln anhand der Parameter Kaltluftproduktionsrate und Kaltluftvolumenstrom näher beschrieben.



Karte 3-6: Autochthones Windfeld im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr um 4 Uhr

3.5 Kaltluftproduktionsrate

Die Kaltluftproduktionsrate beschreibt die Menge der sich innerhalb einer Stunde pro Quadratmeter relativ zu ihrer Umgebung abkühlenden Luft über einer Fläche. Einige landnutzungstypische Charakteristika der Kaltluftentstehung wurden bereits in den vorangestellten Kapiteln erläutert. Im Allgemeinen hängt die Rate der Kaltluftentstehung über einer Freifläche von meteorologischen Größen (v.a. der Einstrahlung), dem Relief (Exposition, Geländeneigung) sowie von der Lage des betreffenden Kaltluftentstehungsgebietes im thermisch differenzierten Mosaik angrenzender Flächen ab. Entscheidend sind allerdings auch die Eigenschaften des Untergrundes, wie etwa die thermischen Bodeneigenschaften (Wärmeleitfähigkeit und -kapazität), die Farbe der Oberfläche, die Dichte des Bodensubstrates, der Luft- und Wassergehalt, das Porenvolumen sowie die Bodenbedeckung (Hupfer u. Kuttler 2006, GEO-NET 2021).

Die Bestimmung der Kaltluftproduktionsrate kann mit Ungenauigkeiten behaftet sein, was sowohl für die modellhafte Berechnung als auch für Geländemessungen gilt. Für die Modellierung größerer Untersuchungsgebiete liegen i.d.R. nicht alle relevanten, zum Teil sehr heterogenen Variablen vor oder können aus den Eingangsdaten nicht in hinreichender Differenziertheit parametrisiert werden. Daher ist bei der Angabe von Kaltluftproduktionsraten mit entsprechenden Unsicherheiten zu rechnen (GEO-NET 2021, VDI 2003).

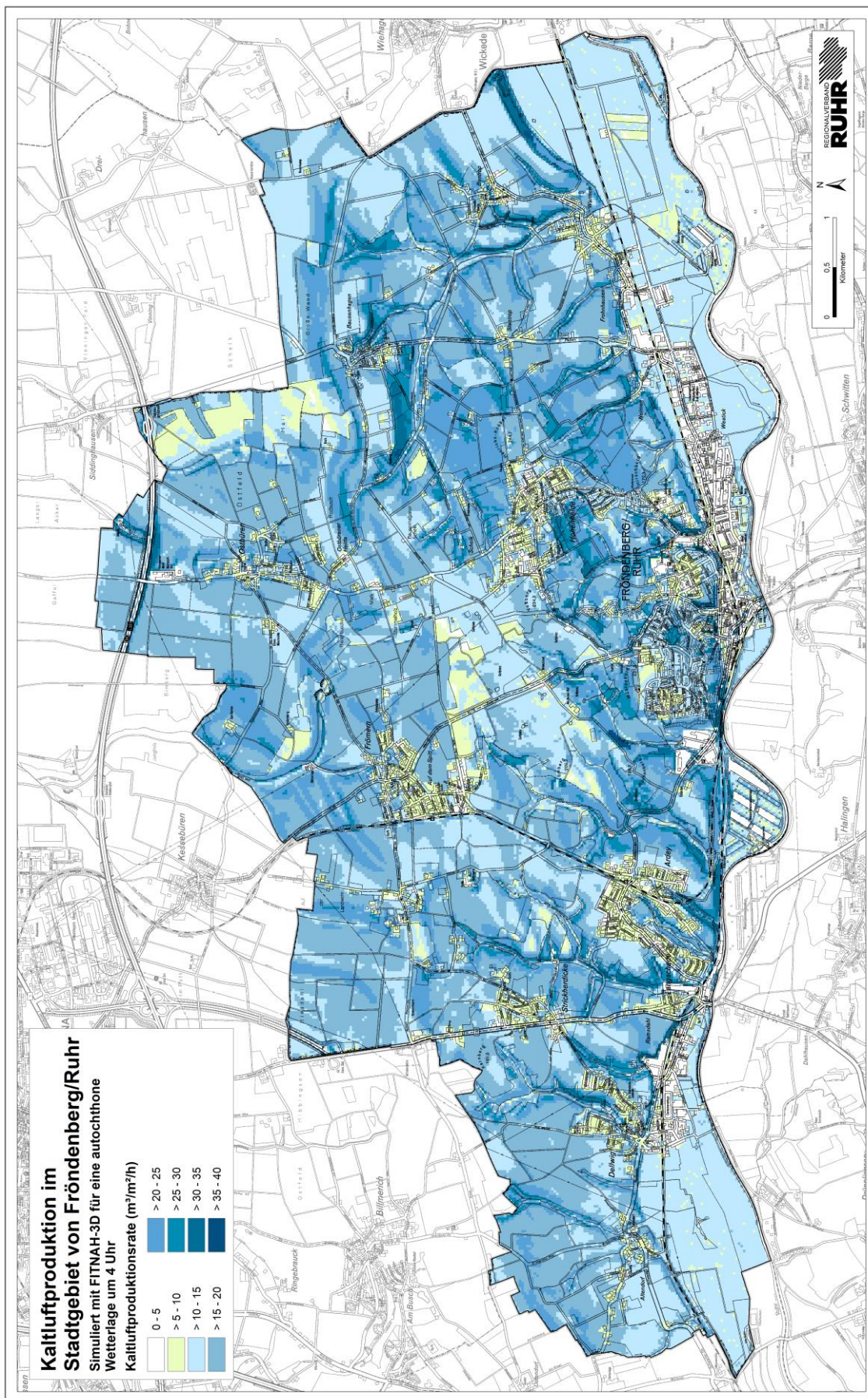
Die Ergebnisse der FITNAH-Modellierung umfassen für das Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr ein Wertespektrum bis $37,5 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ (siehe Karte 3-7). Dabei fällt zunächst auf, dass insbesondere die Gewerbe- und Industriegebiete im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr sowie das Stadtzentrum und auch weite Teile der Bebauung von Westick über keine nennenswerte Kaltluftproduktivität verfügen. Bei einer aufgelockerten und durchgrünter Bauweise kann den bebauten Bereichen in Fröndenberg/Ruhr jedoch eine zumeist geringe Kaltluftproduktion zugesprochen werden, die in einem Wertebereich zwischen 5 und $10 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ liegt. Dies trifft auf Großteile der Siedlungsbereiche von Altendorf, Dellwig, Strickherdicke, Langschede, Ardey, Frömern sowie der Hohenheide zu. Insbesondere nördlich des

Stadtzentrum von Fröndenberg, auf dem Mühlenberg, am Hirschberg sowie in Teilen von Bausenhagen und Ostbüren sind in Karte 3-7 allerdings auch Siedlungsgebiete erkennbar, die höhere Werte für die Kaltluftproduktion aufweisen.

Anhand der Becken der Wassergewinnungsanlagen sowie der Ruhr ist zudem zu erkennen, dass von Wasserflächen keine nächtliche Kaltluftproduktion ausgeht. Das liegt, wie bereits in Kapitel 3.1 beschrieben, an der hohen Wärmekapazität und der damit verbundenen thermischen Trägheit von Gewässern, die sich somit nachts eher überwärmt darstellen.

Grundsätzlich ist auch hinsichtlich der Höhe der Kaltluftproduktionsrate ein großer Einfluss des Reliefs zu erkennen. Dies wird insbesondere bei Betrachtung der Kaltluftproduktion von landwirtschaftlichen Freiflächen deutlich. Während die Freiflächen im Süden des Stadtgebietes entlang des Ruhrtals zumeist Werte zwischen 5 und 15 m³/m²/h aufweisen, nimmt die Kaltluftproduktion der Freiflächen in weiten Bereichen der Hanglagen des Haarstrangs mit 15 bis 30 m³/m²/h tendenziell höhere Werte ein. Die mit über 30 m³/m²/h höchsten Werte der Kaltluftproduktion in Fröndenberg/Ruhr werden zumeist sehr kleinräumig im Bereich von stark ausgeprägten Hängen und Böschungen etwa entlang von Bachtälern, wie beispielsweise in Teilbereichen entlang des Strickherdicker Bachs, Ostholzbachs, des Löhnbachs sowie des Rammbachs, erreicht. Dahingegen weisen die Freiflächen in Höhen- und Kuppenlagen, wie beispielsweise im Bereich der beiden Golfplätze zwischen der Hohenheide und Frömern, mit zumeist 10 bis 15 m³/m²/h geringere Werte der Kaltluftproduktionsrate auf.

Die Höhe der Kaltluftproduktionsrate allein ist jedoch nicht ausreichend, um das Kaltluftgeschehen und insbesondere dessen Relevanz für bestehende Siedlungsstrukturen sowie im Rahmen von Planverfahren einer neuen Bebauung abzuschätzen oder zu bewerten. Daher wird im folgenden Kapitel mit dem Kaltluftvolumenstrom eine weitere relevante Größe des Kaltlufthaushalts dargestellt und erläutert.



Karte 3-7: Kaltluftproduktionsrate im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr um 4 Uhr

3.6 Kaltluftvolumenstrom

Die potenzielle Ausgleichsleistung einer Grün- bzw. Freifläche bezüglich der Wärme- und Schadstoffbelastung in Siedlungsbereichen ist nicht allein von der Geschwindigkeit der Kaltluftströmung (autochthones Windfeld) abhängig, sondern wird zu einem wesentlichen Teil durch ihre Mächtigkeit (d. h. durch die Höhe der Kaltluftschicht) mitbestimmt. Daher wird zur Bewertung der Grün- und Freiflächen zudem der Kaltluftvolumenstrom herangezogen. Unter diesem Begriff versteht man, vereinfacht ausgedrückt, das Produkt aus der Fließgeschwindigkeit der Kaltluft, ihrer vertikalen Ausdehnung (Schichthöhe) und der horizontalen Ausdehnung des durchflossenen Querschnitts (Durchflussbreite). Er beschreibt somit diejenige Menge an Kaltluft in der Einheit m^3 , die in jeder Sekunde durch einen definierten Querschnitt (in diesem Fall: 1 m) fließt. Der Volumenstrom ist damit ein Maß für den Zustrom von Kaltluft und bestimmt, neben der Strömungsgeschwindigkeit, die Größenordnung des Durchlüftungspotenzials. (RVR 2013, GEO-NET 2021)

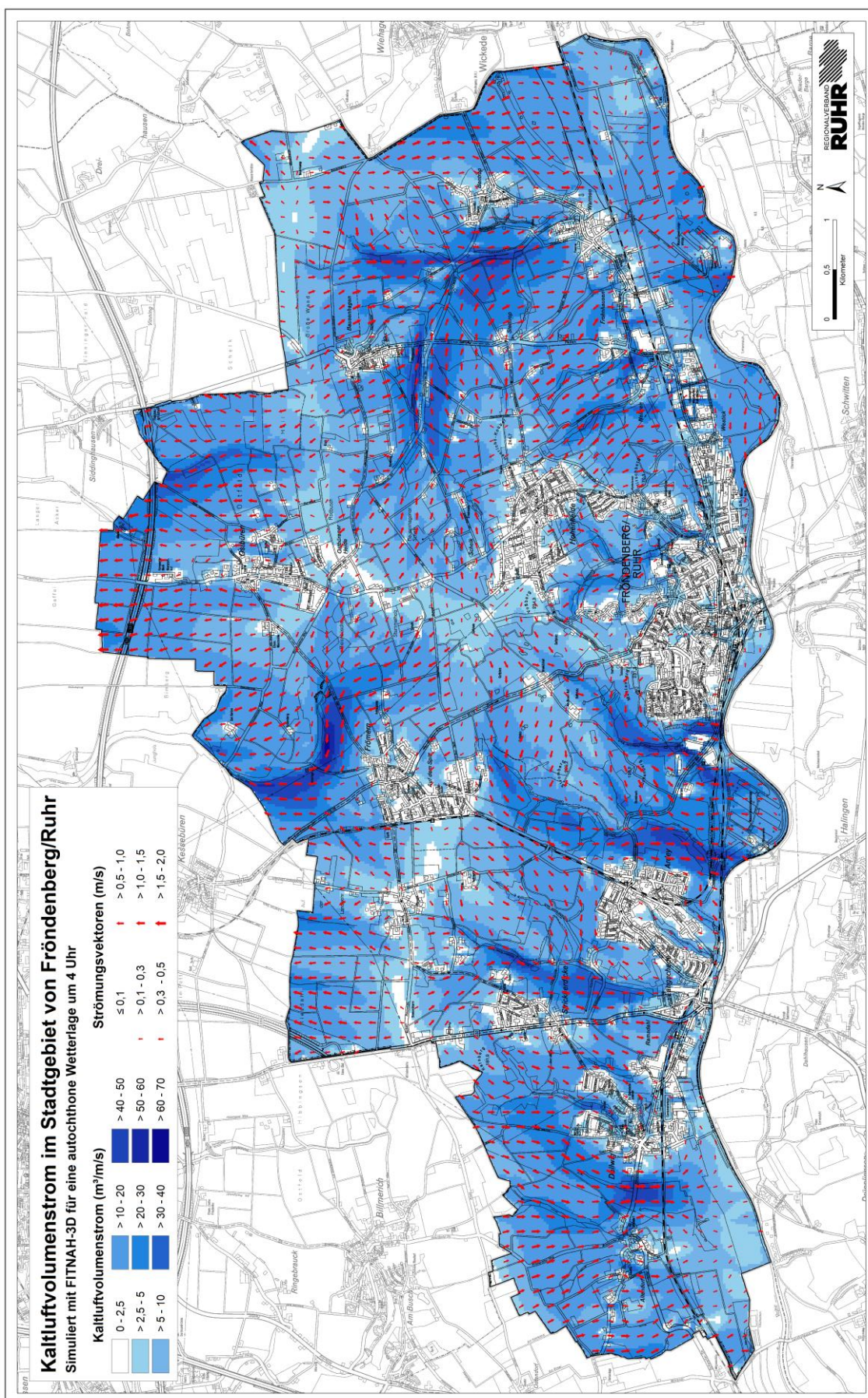
Karte 3-8 zeigt die simulierte, flächenhafte Verteilung des Kaltluftvolumenstroms im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr um 4 Uhr morgens während einer autochthonen Strahlungswetterlage. Die Klassifizierung des Volumenstroms orientiert sich dabei am auftretenden Wertespektrum innerhalb des Untersuchungsgebietes. Der Wertebereich des Kaltluftvolumenstroms reicht in Fröndenberg/Ruhr von 0 bis $61,86 \text{ m}^3/\text{m}/\text{s}$. Aufgrund der Abhängigkeit von der Strömungsgeschwindigkeit sowie der Kaltluftproduktionsrate ergibt sich in Karte 3-8 für den Kaltluftvolumenstrom ein aus den beiden vorgenannten Indikatoren kombiniertes räumliches Verteilungsmuster (vgl. Karte 3-6 und Karte 3-7). Die insgesamt höchsten Werte für den Kaltluftvolumenstrom im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr mit mehr als $60 \text{ m}^3/\text{m}/\text{s}$ werden dabei ausschließlich in einem kleinen Bereich im Verlauf des Lünser Bachs nordöstlich der Bebauung von Frömern erreicht. Bei Betrachtung des Wertebereiches mit Kaltluftvolumenströmen über $30 \text{ m}^3/\text{m}/\text{s}$ wurde entlang des Lünser Bachs in Frömern allerdings ein deutlich großflächigeres Areal über den landwirtschaftlichen Freiflächen modelliert. Darüber hinaus sind entsprechend hohe Werte für den Kaltluftvolumenstrom großräumig unter anderem noch zwischen Altendorf und Dellwig, entlang des Strickherdicker Bachs sowie im Ostfeld im

Nordosten von Ostbüren zu erkennen. Die größten zusammenhängenden Flächen mit Kaltluftvolumenströmen über $30 \text{ m}^3/\text{m/s}$ sind allerdings zwischen Ardey und Fröndenberg entlang des Ostholzbachs und Voßacker Bachs sowie entlang des Rammbachs im östlichen Stadtgebiet verortet. Darüber hinaus sind diverse kleinräumige Bereiche mit Werten über $30 \text{ m}^3/\text{m/s}$ in mehreren Stadtteilen insbesondere südlich des Haarstrangs zu verzeichnen. Für den Großteil der weiteren Freiland- und Waldflächen im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr sind Kaltluftvolumenströmen zwischen 5 und $20 \text{ m}^3/\text{m/s}$ modelliert worden.

Anhand der Strömungsvektoren innerhalb des Stadtgebietes wird zudem nochmals die Reliefabhängigkeit der bodennah abfließenden Kaltluftdynamiken deutlich. Es zeigt sich, dass die lokal gebildeten Kaltluftmassen von nahezu sämtlichen Frei- und Waldflächen dem abfallenden Relief der Hanglagen des Haarstrangs folgen. Über den landwirtschaftlichen Freiflächen in den Kuppenlagen sowie insbesondere im Süden von Altendorf und Dellwig werden dann vergleichsweise geringe Werte des Kaltluftvolumenstroms erreicht, was durch das gering ausgeprägte Relief zu erklären ist. Dies kann insbesondere im Ruhrtal zur Bildung eines Kaltluftsammelgebietes führen (vgl. Karte 5-2).

Für weite Teile der Siedlungsstrukturen von Fröndenberg/Ruhr wurden lediglich geringe Kaltluftvolumenströme von kleiner $2,5 \text{ m}^3/\text{m/s}$ simuliert. Die Eindringtiefe von Kaltluft in bebaute Gebiete hängt wesentlich von der Siedlungsgröße, der Bebauungsdichte, der Gebäudeausrichtung, der anthropogenen Wärmefreisetzung (die zu einer Erwärmung der eindringenden kühlen Luftmassen führt) sowie von der Menge und Geschwindigkeit der einströmenden Kaltluft ab. Letzteres ist wiederum von der Größe der kaltluftproduzierenden Flächen, der Kaltluftproduktivität dieser Flächen sowie der Reliefausprägung abhängig. Grundsätzlich gilt, dass vergleichsweise aufgelockerte Bebauungsstrukturen mit direkter Anbindung an größere Frei- bzw. Waldflächen und vernetzten innerstädtischen Grünflächen in austauscharmen Strahlungsnächten eine bessere Versorgung mit Kaltluft erfahren können, während hochverdichtete Strukturen mit geringem Grünflächenanteil und fehlender Vernetzung mit dem unbebauten Umland eine fehlende Kaltluftversorgung und damit potenziell stärkere nächtliche Überwärmungen aufweisen. Die Ein-

dringtiefe der verschiedenen Kaltluftdynamiken in die Siedlungsbereiche von Fröndenberg/Ruhr wird in Kapitel 4 anhand der Karte der klimaökologischen Funktionen noch näher beschrieben.



Karte 3-8: Kaltluftvolumenstrom im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr um 4 Uhr

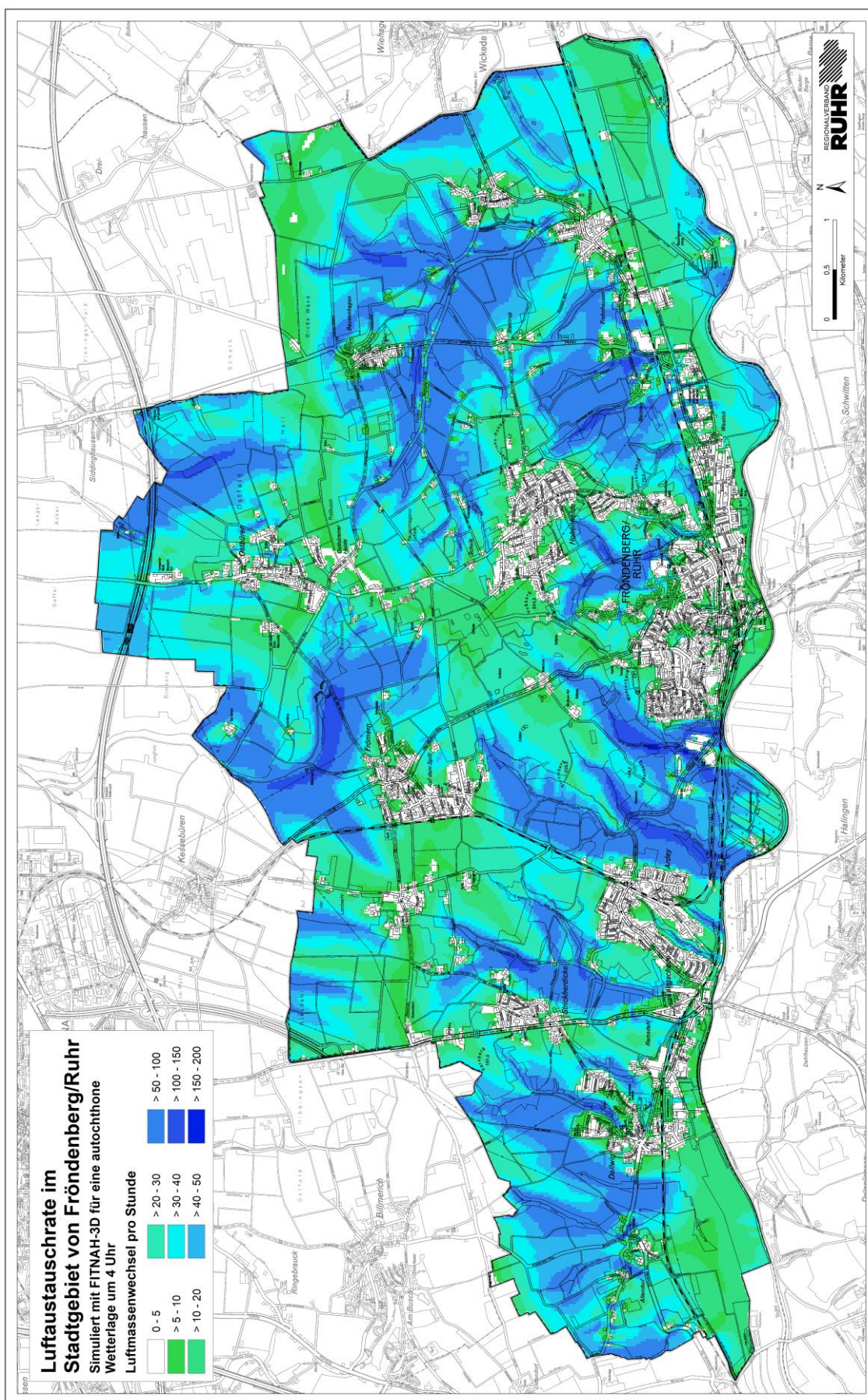
3.7 Luftaustauschrate

Die Luftaustauschrate ist eine Kennzahl für die Häufigkeit der vollständigen Erneuerung eines Luftvolumens an einem Standort. In urbanen Bereichen ist diese von Bedeutung, da ein Zusammenhang zwischen der Luftaustauschrate und der lufthygienischen Situation sowie der thermischen Belastung besteht. Sie wird abgeleitet aus der berechneten, dreidimensionalen Struktur und der zeitlichen Entwicklung des Windfeldes. Die Luftaustauschrate gibt an, wie oft pro (Nacht-)Stunde das bodennahe Luftvolumen (bis 30 m Höhe) in jeder Rasterzelle des Modells ausgetauscht wird (RVR 2013, GEO-NET 2021).

Die räumliche Ausprägung der Luftaustauschrate (siehe Karte 3-9) korrespondiert weitestgehend mit der des Kaltluftvolumenstroms (vgl. Karte 3-8) bzw. der Strömungsgeschwindigkeit des autochthonen Windfeldes (vgl. Karte 3-6). Das Wertespektrum der Luftaustauschrate im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr reicht von 0 bis 177-mal pro Stunde. Die mit über 150-mal pro Stunde höchsten Werte dieses Parameters werden lediglich kleinräumig entlang des Voßacker Bachs westlich der Bebauung am Mühlenberg erreicht. Luftaustauschraten von über 50-mal pro Stunde werden analog zum Kaltluftvolumenstrom großflächig zwischen Altendorf und Dellwig, entlang des Strickherdicker Bachs, entlang des Ostholzbachs und Voßacker Bachs zwischen Ardey und Fröndenberg, entlang des Lünser Bachs in Frörmern sowie im Bereich des Rammbachs im östlichen Stadtgebiet und über dem Ostfeld in Ostbüren erreicht. Darüber hinaus sind entsprechend hohe Werte für die Luftaustauschrate im Einzugsbereich des Löhnbachs sowie über den landwirtschaftlichen Flächen nördlich der Bebauung von Neimen und Frohnhausen zu verzeichnen. Zumeist beschränken sich die Bereiche mit Werten über 50-mal pro Stunde dabei nicht nur auf das direkte Umfeld der genannten Bachverläufe, sondern erstrecken sich über weitläufige Areale landwirtschaftlich genutzter Flächen in deren Einzugsgebieten.

Ferner wird in Karte 3-8 deutlich, dass weite Bereiche der Siedlungsgebiete von Fröndenberg/Ruhr aufgrund der abbremsenden Wirkung der Oberflächenstrukturen überwiegend sehr geringe Werte der Luftaustauschrate von unter 5-mal pro

Stunde aufweisen. In einigen Teilbereichen der Siedlungskörper werden etwas höhere Luftaustauschraten innerhalb der Bebauungsstrukturen erreicht, was als Indikator für eine etwas günstigere Belüftungssituation in diesen Bereichen angesehen werden kann. Dort wo die Luftmassen dabei aus dem unbebauten Umland in die Bebauung transportiert werden, ist davon auszugehen, dass es sich um kühle und weitestgehend unbelastete Luftmassen handelt, die daher einerseits zu einer Abkühlung der überwärmten Siedlungsbereiche beitragen und andererseits einen positiven Einfluss auf die Luftqualität ausüben können.



Karte 3-9: Luftaustauschrate im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr um 4 Uhr

4 Karte der klimaökologischen Funktionen

Neben der Klimaanalysekarte (siehe Kapitel 5), die eine klimatische Einordnung aller Nutzungsstrukturen darstellt, liefert die Karte der klimaökologischen Funktionen eine weitere wichtige Grundlage für die Flächenbewertung. Im Unterschied zur Klimaanalysekarte liegt der Schwerpunkt der Darstellung in der Einstufung der klimaökologischen Funktionen der unbebauten Freiräume. Diese Einstufung basiert auf den in Kapitel 3 vorgestellten Ergebnissen der FITNAH-Modellierung. Im Folgenden werden zunächst die Darstellungsebenen der Karte der klimaökologischen Funktionen erläutert, bevor eine Beschreibung für das Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr erfolgt.

4.1 Darstellungsebenen der Karte der klimaökologischen Funktionen

Die Karte der klimaökologischen Funktionen (siehe Karte 4-1) umfasst drei Darstellungsebenen. Zunächst werden die bebauten Bereiche anhand der FITNAH-Nutzungsklassen dargestellt. Des Weiteren werden die Freiräume insgesamt hinsichtlich ihres potenziellen Kaltluftliefervermögens bewertet, Bereiche mit einer hohen Kaltluftproduktionsrate gesondert ausgewiesen und die Eindringtiefe der Kaltluft in die Bebauung beschrieben. Zudem erfolgt eine Darstellung der Luftaustauschbeziehungen im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr, differenziert in Frischluftzufuhrbereiche sowie reliefbedingte Kaltluftabflüsse und nutzungsbedingte Ausgleichsströmungen (Flurwinde).

4.1.1 Bebaute Bereiche (FITNAH-Nutzungsklassen)

In der Karte der klimaökologischen Funktionen werden die Siedlungsbereiche unter Berücksichtigung der Nutzungsklassen ausgewiesen, die der FITNAH-Modellierung zu Grunde lag. Dargestellt werden daher lediglich die Bereiche, die in die FITNAH-Nutzungsklassen Zentrumsbebauung, Block- und Blockrandbebauung, Industrie- und Gewerbeflächen, Zeilen- und Hochhausbebauung sowie Einzel- und Reihenhausbauung eingestuft wurden.

4.1.2 Kaltluft

Die Grundlage zur Einstufung der Grün- und Freiflächen hinsichtlich ihres Kaltluftliefervermögens bilden die modellierten Ergebnisse zum Kaltluftvolumenstrom (vgl. Kapitel 3.6). Zur Bewertung des Kaltluftvolumenstroms wurde mangels geeigneter absoluter Schwellen- oder Grenzwerte eine z-Transformation entsprechend der VDI-Richtlinie 3785, Blatt 1 (VDI 2008b) durchgeführt. Dadurch wird eine Bewertung erreicht, die auf dem Gebietsmittelwert der gesamten Metropolregion Ruhr basiert. Um eine differenziertere Beurteilung zu ermöglichen, wird entgegen der in der Richtlinie vorgegebenen Vorgehensweise die 0,5-fache Standardabweichung zur Klasseneinteilung herangezogen. Dementsprechend sind positive Abweichungen vom Mittelwert der Metropolregion Ruhr mit einer hohen Mächtigkeit und negative Abweichungen entsprechend mit einer geringen bis mittleren Mächtigkeit bewertet.

Damit wird gewährleistet, dass eine Vergleichbarkeit von Flächen über die Ebene der stadtweiten Betrachtung hinaus möglich ist und eine einheitliche Bewertung klimaökologisch relevanter Flächen in der gesamten Metropolregion Ruhr vorgenommen werden kann.

Anhand des Kaltluftvolumenstroms (KVS) lässt sich zudem der Einfluss von Kaltluftmassen, die in Siedlungsräume vordringen, darstellen. In diesen Bereichen, welche durch die Punktsignatur „Kaltlufteinwirkungsbereich“ gesondert hervorgehoben sind, ergibt sich durch die Zufuhr von kühleren Luftmassen und der damit einhergehenden klimaökologischen Ausgleichsleistung eine Aufwertung der bioklimatischen Belastungssituation für diese Lasträume. Als Kaltlufteinwirkungsbereich wurden dabei Bereiche definiert, wo der nächtliche Kaltluftvolumenstrom während einer sommerlichen Strahlungswetterlage innerhalb der bebauten FITNAH-Nutzungsklassen größer ist als der mittlere KVS der Siedlungsgebiete im gesamten RVR-Gebiet, welcher bei $2,37 \text{ m}^3/\text{m}/\text{s}$ liegt, und/oder wo die Windgeschwindigkeit innerhalb der Siedlungsbereiche über $0,1 \text{ m}/\text{s}$ beträgt. Zusätzlich werden auch Straßen und Gleisanlagen, auf die die angeführten Kriterien hinsichtlich des KVS zutreffen, als Kaltlufteinwirkungsbereiche dargestellt, um eventuelle Leitfunktionen dieser Verkehrsinfrastrukturen erkennen zu können.

Des Weiteren ermöglicht die Darstellung von Flächen mit einer Kaltluftproduktionsrate (KPR) von mindestens $17,16 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ eine Lokalisierung potenziell besonders klimarelevanter Ausgleichsräume. Aus diesem Grund sind Flächen mit einer hohen Kaltluftproduktionsrate durch eine Schraffur ebenfalls gesondert hervorgehoben. Der Wert von $17,16 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ entspricht dabei der Summe aus dem Mittelwert der Kaltluftproduktionsrate aller Grün-, Freiland- und Waldflächen im RVR-Gebiet und der 0,5-fachen Standardabweichung der KPR dieser Flächen, bezogen auf die mit FITNAH simulierten Kaltluftproduktionsraten zum Zeitpunkt 4 Uhr nachts.

4.1.3 Belüftung

Die Luftaustauschbeziehungen im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr, differenziert in Frischluftzufuhrbereiche sowie Flurwind- und Kaltluftdynamiken, werden in Form von Pfeilsignaturen dargestellt. Bezüglich der Flurwinde und Kaltluftabflüsse erfolgt generell eine bewertende Einteilung anhand der Strömungsgeschwindigkeit in sehr gering ($0,3 - 0,5 \text{ m/s}$), gering ($0,5 - 1,0 \text{ m/s}$) und mittel bis hoch ($>1,0 \text{ m/s}$). Strömungsgeschwindigkeiten unterhalb von $0,3 \text{ m/s}$ werden als unbedeutend eingestuft und daher nicht dargestellt.

4.2 Gliederung der Stadt Fröndenberg/Ruhr anhand der Karte der klimaökologischen Funktionen

Zur Beurteilung der klimaökologischen Ausgleichsfunktion der Freiland- und Waldbereiche sowie der innerstädtischen Grünflächen wurden der Kaltluftvolumenstrom, die Kaltluftproduktionsrate, die Flur- und Kaltluftdynamik (Strömungsrichtung und -geschwindigkeit) sowie der Kaltlufteinwirkungsbereich (Eindringtiefe der Kaltluftmassen in die angrenzende Bebauung) unter Berücksichtigung der in Kapitel 4.1.2 und 4.1.3 aufgeführten Kriterien herangezogen. Folgende Erkenntnisse und Bewertungen resultieren aus der Karte der klimaökologischen Funktionen:

- Ganz im Westen des Stadtgebietes ist in Altendorf und Dellwig eine Kaltluftdynamik erkennbar, die bedingt durch das von Norden nach Süden abfallende Relief von den Freiflächen entlang der nördlichen Stadtgrenze zu Unna in das im Süden der beiden Stadtteile verlaufende Ruhrtal abfließt. Dabei werden insbesondere in den oberen Hanglagen sowie entlang der vorhandenen kleinen Bachtäler und an Böschungen hohe Kaltluftproduktionsraten erreicht. Zudem weisen weite Bereiche der landwirtschaftlichen Freiflächen nördlich der Bahntrasse hohe bis extrem hohe Mächtigkeiten der Kaltluftvolumenströme auf. Zwar erfolgt der Großteil des Kaltluftmassentransportes über die Freiflächen zwischen den Siedlungsbereichen der beiden Stadtteile, allerdings sind innerhalb der Bebauung von Altendorf und Dellwig Kaltlufteinwirkungsbereiche zu erkennen, die für eine nächtliche Abkühlung sorgen.
- Über den landwirtschaftlichen Freiflächen im Süden von Altendorf und Dellwig sind reliefbedingt kaum Abflussdynamiken der lokal gebildeten Kaltluft erkennbar. Dadurch weisen diese Flächen lediglich geringe bis mittlere Mächtigkeiten für den Kaltluftvolumenstrom sowie kaum Bereiche mit einer hohen Kaltluftproduktionsrate auf. Dies trifft zudem für weitere Bereiche entlang des Ruhrtals zu, wie etwa südlich des Stadtzentrums von Fröndenberg sowie im äußersten Südosten des Stadtgebietes. Das fehlende Abfließen der lokalen Kaltluft sowie das Zuströmen kühler Luftmassen aus anderen Bereichen des Stadtgebietes kann zur Bildung eines Kaltluftsammelgebietes führen (siehe Kap. 5.1.2 und 5.2).

- Ausgehend von der Höhenlage im Bereich des Bismarckturms hat zudem eine weitere Kaltluftdynamik ihren Ursprung im Norden von Strickherdicke. Während in den höheren (Kuppen-)Lagen noch geringe bis mittlere Mächtigkeiten des Kaltluftvolumenstroms zu beobachten sind, nehmen diese bei weitestgehend ebenfalls hohen Kaltluftproduktionsraten über den südlich angrenzenden Hanglagen deutlich zu. Die gebildeten Kaltluftmassen fließen entlang des Strickherdicker Bachs ab, welcher somit eine Leitfunktion einnimmt. Im gesamten Verlauf entlang des Strickherdicker Bachs sind extrem hohe Mächtigkeiten des Kaltluftvolumenstroms sowie weitestgehend hohe Kaltluftproduktionsraten zu verzeichnen. Die hierüber abfließenden Kaltluftmassen können weiter südlich in Teile der angrenzenden Bebauung von Langschede eindringen. Ein effektives Vordringen der Kaltluft in die Siedlungsbereiche von Strickherdicke selbst kann nicht festgestellt werden.
- Eine weitere Kaltluftdynamik hat ihren Ursprung im Bereich der beiden benachbarten Golfplätze im Norden des Stadtteils Fröndenberg. Die Kaltluftabflüsse aus diesem Bereich weisen zunächst eine zweigeteilte Struktur auf, bevor sie im weiteren Verlauf eine große zusammenhängende Dynamik darstellen. Einerseits ist ausgehend von den Golfplätzen ein Abfließen von Kaltluft in Richtung Westen zu beobachten, bevor die Dynamik südlich des Bereichs Auf dem Spitt in Frömern die Fließrichtung ändert und die Kaltluftmassen im weiteren Verlauf dem Tal des Ostholzbachs nach Süden folgen. Andererseits ist ausgehend vom Golfplatz ein Kaltluftabfluss entlang des Voßacker Bachs in südwestliche Richtung erkennbar. Beide Kaltluftströmungen vereinen sich zusammengekommen mit den lokal gebildeten Kaltluftmassen der Hanglagen südlich des Küchenbergs. Die beschriebenen Kaltluftabflüsse stellen in ihrer Gesamtheit eine sehr große Luftmassendynamik dar, welche in weiten Teilen extrem hohe Mächtigkeiten der Volumenströme sowie hohe Kaltluftproduktionsraten aufweisen. Allerdings können die entlang dieser Dynamik abfließenden, kühlen Luftmassen reliefbedingt nicht in die umliegenden Siedlungsbereiche von Frömern, Ardey oder dem Mühlenberg

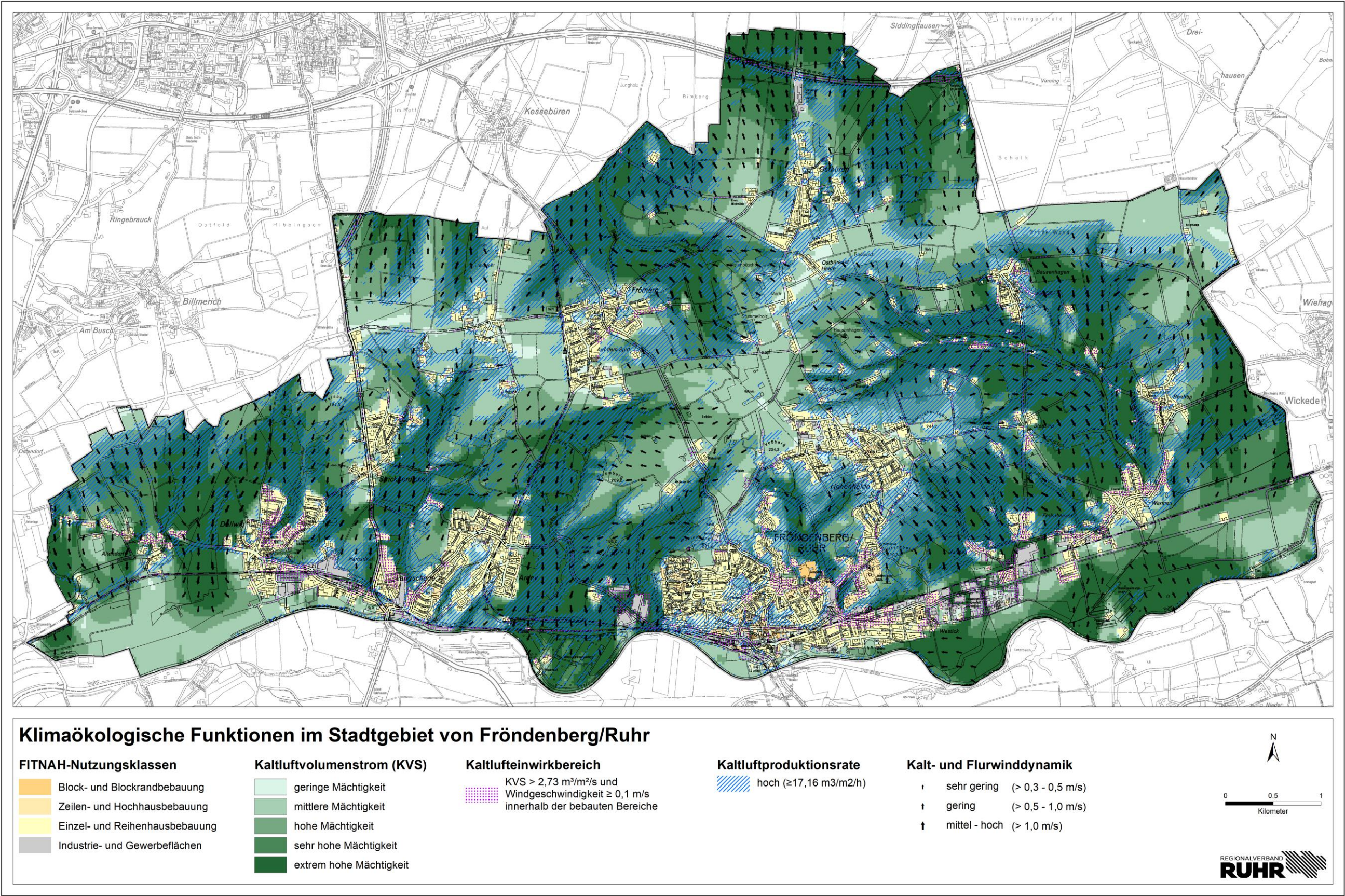
vordringen. Lediglich im Unterlauf des Voßacker Bachs können die Gewerbeansiedlungen an der Ardeyer Straße von den Kaltluftabflüssen profitieren. Das Gros dieser kühlen Luftmassen fließt allerdings ohne siedlungsbezogenen Einwirkungsbereich in das Ruhrtal ab.

- Auch die landwirtschaftlich genutzten Freilandflächen im Osten und Norden von Frömern weisen weitestgehend sehr hohe Werte für den Kaltluftvolumenstrom sowie hohe Kaltluftproduktionsraten auf. Die Kaltluftdynamik zeigt ein Abfließen der Luftmassen in nördliche Richtung, wobei eine Leitfunktion durch den Talverlauf des Lünser Bachs über die Stadtgrenze nach Unna erkennbar ist. Dies bedingt, dass für weite Teile des Siedlungskörpers von Frömern keine Kaltlufteinwirkungsbereiche ausgewiesen werden konnten.
- Die Kaltluftdynamik über den Freiflächen in Ostbüren zeigt ebenfalls ein reliefbedingtes Abfließen nach Norden über die Stadtgrenze nach Unna. Auch hier konnte kaum ein relevanter Kaltlufteinwirkungsbereich innerhalb der Siedlungsbereiche von Ostbüren festgestellt werden. Zu beobachten ist wiederum, dass in den Höhenlagen der Ostbürener Heide noch geringe Kaltluftmächtigkeiten vorherrschen, die hangabwärts dann stark zunehmen.
- Die Kaltluftdynamik mit dem größten Einzugsgebiet erstreckt sich entlang des Rammbachs über mehrere Stadtteile im Osten von Fröndenberg/Ruhr. Die weitläufigen zumeist landwirtschaftlich genutzten Freilandbereiche im Einzugsgebiet des Rammbachs weisen dabei weitestgehend extrem hohe Mächtigkeiten des Kaltluftvolumenstroms sowie hohe Kaltluftproduktionsraten auf und versorgen teilweise die Siedlungsstrukturen von Warmen und Frohnhausen mit nächtlichen Kaltluftzuflüssen.
- Südlich des Henrichs-Knübels sowie am Hirschberg ist eine weitere stark ausgeprägte Kaltluftdynamik zu erkennen. Die lokal gebildeten Kaltluftmassen können während autochthoner Strahlungsächte in südliche Richtungen abfließen und in die Wohnbebauung von Neimen, Frohnhausen und Westick sowie in das Gewerbegebiet Westick-Ost/Frohnhausen eindringen.

- Eine weitere, in ihrer räumlichen Ausdehnung deutlich kleinere, aber durchaus relevante Kaltluftdynamik ergibt sich entlang des Löhnbachs zwischen Fröndenberg und der Hohenheide. Das stark ausgeprägte Relief in diesem Bereich bedingt in weiten Teilen hohe Kaltluftproduktionsraten der dortigen Freiland- sowie Waldflächen. Dabei kann ein Vordringen der Kaltluftmassen in die südlich angrenzenden Siedlungsbereiche festgestellt werden.
- Innerhalb des zusammenhängenden Siedlungskörpers im Stadtteil Fröndenberg sind vom Mühlenberg über den Sümberg und das Stadtzentrum bis nach Westick weite Bereiche auszumachen, die über keinerlei nächtliche Kaltluftzuflüsse verfügen. Allerdings sind insbesondere nördlich und westlich des Stadtzentrums kleine Bereiche mit hohen Kaltluftproduktionsraten verortet, bei denen direkt angrenzende Kaltlufteinwirkbereiche auftreten. Dies betrifft beispielsweise den alten Friedhof, den Lunapark und auch die stark aufgelockerte und durchgrünte Bebauung nördlich der Bergstraße. Diese Bereiche können somit als lokale nächtliche Kaltluftproduzenten angesehen werden, die zwar eine kühlende Wirkung auf die direkt angrenzende Bebauung ausüben können, von denen allerdings keine Fernwirkung ausgeht.

Insgesamt ist für das Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr festzustellen, dass infolge des ausgeprägten Reliefs und der weitläufigen Freilandbereiche eine Vielzahl an Kaltluftdynamiken mit hohen Kaltluftproduktionsraten sowie Kaltluftvolumenströmen auftreten. In weiten Teilen der Siedlungsbereiche ist trotz einer oftmals direkten Nähe zu Kaltluftproduktionsflächen keine ausreichende nächtliche Kaltluftversorgung während sommerlicher Hochdruckwetterlagen gegeben. Insbesondere in diesen Bereichen kommt dem kleinräumigen lokalen Grünflächenanteil innerhalb der Bebauungsstrukturen eine besondere Bedeutung zum Schutz vor negativen stadtklimatischen Ausprägungen zu. Grundsätzlich ist eine Unterversorgung mit nächtlicher Kaltluft in Siedlungsbereichen, die eine lockere und ausreichend durchgrünten Siedlungsstruktur aufweisen, weniger kritisch zu beurteilen, während fehlende Kaltluftzuflüsse in Kombination mit einer dichten Bebauung und entsprechend reduzierten Grünanteilen zu stadtklimatischen Problemlagen führen können,

was sich unter anderem in der nächtlichen Überwärmung (vgl. Karte 3-1) darstellt. Daher lässt sich bereits hieraus für die Bereiche ohne ausreichende Kaltluftzufuhr und mit hohen Bebauungsdichten sowie Versiegelungsraten eine Notwendigkeit zur Umsetzung kleinräumiger Entsiegelungs- und Begrünungsmaßnahmen ableiten.



Karte 4-1: Karte der Klimaökologischen Funktionen im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr

5 Klimaanalysekarte

Die Klimaanalysekarte stellt eine flächenhafte Bewertung der klimatischen und lufthygienischen Verhältnisse im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr dar. Im Vergleich zur klassischen Darstellung der räumlichen Verteilung einzelner Klimaelemente in Klimaatlantent werden in der Klimaanalysekarte komplexe Struktur-, Beziehungs- und Funktionszusammenhänge vereinigt und kartographisch dargestellt.

Unter Berücksichtigung der aktuellen Flächennutzungskartierung des Regionalverbandes Ruhr, der Topographie des Untersuchungsgebietes, der in Kapitel 3 vorgestellten FITNAH-Modellierung, aktueller Luftbilder sowie weiterer vorliegender Untersuchungen zum Stadt- und Regionalklima erfolgte die Erstellung der Klimaanalysekarte nach den Vorgaben der VDI-Richtlinie 3787 Blatt 1 (VDI 2015).

Die Klimaanalysekarte beinhaltet mit den Klimatopen, den spezifischen Klimaeigenschaften und den Informationen zu lufthygienischen Verhältnissen sowie dem Luftaustausch vier Darstellungsebenen, die im folgenden Kapitel 5.1 näher erläutert werden.

Zur Ausweisung der Klimatope wurde ein vom Regionalverband Ruhr entwickeltes teilautomatisiertes Verfahren angewendet, welches gegenüber der herkömmlichen manuellen Abgrenzung der Klimatope in älteren Klimaanalysen eine deutlich feinere Auflösung aufweist. Aufgrund des angewendeten Verfahrens und der unterschiedlichen Betrachtungs- bzw. Maßstabsebenen bei der Erstellung unterscheiden sich die Klimatopeinteilung der Klimaanalysekarte in diesem Gutachten und die Ausweisung der Klimatope in der Regionalen Klimatopkarte für die Metropole Ruhr (vgl. RVR 2022). Während die Regionale Klimatopkarte lediglich einer regionalen Einordnung und groben Übersicht der Klimatopverteilung in der Metropole Ruhr dient und somit insbesondere für regionale Betrachtungen bzw. Analysen herangezogen wird sowie für Kommunen hilfreich ist, die nicht über ein gesamtstädtisches klimatologisches Gutachten verfügen, weist die im folgenden dargestellte Klimaanalysekarte eine detaillierte Gliederung des Stadtgebietes auf.

Im Gegensatz zu lufthygienischen Parametern existieren für klimatische Kenngrößen keine rechtsverbindlichen Grenz- oder Richtwerte. Daher soll anhand der

Klimaanalysekarte eine qualitative stadtklimatologische Bewertung formuliert werden, die als Grundlage für die Ausweisung von Planungshinweisen (siehe Kapitel 8) zur Erhaltung und Förderung günstiger klimatischer Verhältnisse auf der Ebene des gesamten Stadtgebietes sowie für einzelne Stadtteile dient.

Nachfolgend werden zunächst die unterschiedlichen Darstellungsebenen sowie deren einzelne in der Klimaanalysekarte abgebildete Elemente erläutert und anschließend die Gliederung des Stadtgebietes anhand der Klimaanalysekarte beschrieben.

5.1 Darstellungsebenen der Klimaanalysekarte

Die **erste Darstellungsebene** beinhaltet die flächenhafte klimatische Differenzierung des Stadtgebietes anhand von Klimatopen. Klimatope bezeichnen räumliche Einheiten, die aufgrund vergleichbarer Eigenschaften bezüglich der Flächennutzung, der Bebauungsdichte, des Versiegelungsgrades, der Rauigkeit und des Vegetationsbestandes ähnliche mikroklimatische Bedingungen aufweisen. Hinsichtlich der Abgrenzung der Klimatope ist anzumerken, dass sich klimatische Prozesse nicht linienscharf an Bebauungs- und Nutzungsgrenzen anpassen, sondern fließende Übergänge zu benachbarten Flächen aufweisen. Daher dürfen die Abgrenzungen der Klimatope innerhalb der Klimaanalysekarte nicht als flächenscharfe Grenzziehungen aufgefasst werden.

In einer **zweiten Darstellungsebene** werden die spezifischen Klimaeigenschaften ausgewiesen, welche Modifikationen der Klimatopeigenschaften beschreiben. Diese können beispielweise durch lokale Reliefstrukturen hervorgerufen werden und entweder zusätzliche Funktionen oder eine besonders starke Ausprägung bzw. Bedeutung bestimmter Klimatopeigenschaften darstellen.

Die **dritte Darstellungsebene** liefert Informationen zu den Luftaustauschverhältnissen im Stadtgebiet und zeigt das Auftreten von Luftleitbahnen sowie Bereiche der Frischluftzufuhr, der Kaltluftabflüsse und Flurwinde.

Die lufthygienischen Verhältnisse werden anhand der Ausweisung von Straßen mit erhöhtem Verkehrsaufkommen sowie industriellen und gewerblichen Emittenten von Luftschadstoffen in einer **vierten Darstellungsebene** beschrieben.

5.1.1 Klimatope

Im Folgenden werden die typischen Charakteristika der unterschiedlichen in der Klimaanalysekarte in Anlehnung an die VDI 3787 Blatt 1 (VDI 2015) ausgewiesenen Klimatope im Einzelnen näher erläutert:

Gewässerklima

Wasserkörper zeichnen sich aufgrund ihrer hohen Wärmekapazität und der damit verbundenen thermischen Trägheit durch ausgeglichene klimatische Verhältnisse mit gedämpftem Tagesgang der Lufttemperatur und einer erhöhten Luftfeuchtigkeit infolge der gesteigerten Verdunstung aus. Dadurch werden Wasserflächen am Tage als relativ kühl und nachts als relativ warm empfunden. Die tagsüber kühlende Wirkung bleibt insbesondere bei kleineren Gewässern zumeist auf den Wasserkörper sowie die unmittelbare Umgebung beschränkt. Ein zusätzlich positiver Effekt für die klimatische Situation wird durch die geringe Rauigkeit von Gewässerflächen bewirkt, wodurch Austausch- und Ventilationsverhältnisse begünstigt werden und linienhafte Gewässerstrukturen die Funktion als Luftleitbahn einnehmen können.

Gewässerklima	
klimatische Gunstfaktoren	klimatische Ungunstfaktoren
☺ geringe Oberflächenrauigkeit begünstigt die Belüftungsfunktion ☺ reduzierte Erwärmung am Tage bei gleichzeitig erhöhter Verdunstung ☺ geringe thermische und bioklimatische Belastung im Uferbereich ☺ Kaltluftabflüsse auch entlang kleinerer Bachtäler möglich	☹ hohe Wärmekapazität der Wasserkörper bedingt eine nur geringe nächtliche Abkühlung ☹ nächtliche Kaltluftmassen können beim Überströmen von Wasserflächen erwärmt werden ☹ bioklimatisch günstige Situation ist auf den Ufersaum beschränkt

Freilandklima

Dieser Klimatotyp stellt sich über landwirtschaftlichen Nutzflächen, Wiesen sowie Weiden und Brachflächen, bei denen der Versiegelungsgrad bei unter 10 % liegt, ein und zeichnet sich durch ungestörte Tagesgänge von Lufttemperatur und -feuchte aus. Zudem sind in diesen Bereichen meist keine Emittenten angesiedelt, weshalb es sich um bedeutsame Frischluftgebiete handeln kann. Des Weiteren ist diesen Flächen bei geeigneten Wetterlagen aus klimatischer Sicht ein hoher Stellenwert als Kaltluftproduktionsgebiet zuzuschreiben. Da die Freilandflächen darüber hinaus eine rauigkeitsarme Struktur aufweisen, können die kühleren und unbelasteten Luftmassen bei geeigneten Windrichtungen oder Reliefausprägungen, in die aus bio- und immissionsklimatischer Sicht stärker belasteten Gebiete transportiert werden und eine hohe Ausgleichswirkung einnehmen. Die Kaltluftproduktivität einer Freifläche hängt dabei entscheidend von den Eigenschaften des Untergrundes, wie etwa den thermischen Bodeneigenschaften (Wärmeleitfähigkeit und -kapazität), der Farbe der Oberfläche, der Dichte des Bodensubstrates, dem Luft- und Wassergehalt, dem Porenvolumen, der Bodenbedeckung bzw. der Vegetation sowie dem Relief ab.

Freilandklima	
klimatische Gunstfaktoren	klimatische Ungunstfaktoren
☺ geringe Schwüle- und Wärmebelastung und hoher bioklimatischer Stellenwert als Erholungsraum ☺ geringe Veränderungen des Windfeldes ☺ wertvolle Frischlufträume ☺ i.d.R. keine Emissionen ☺ hohe Kaltluftproduktion (starke Abkühlung in den Nachtstunden) ☺ klimaökologische Ausgleichsräume für angrenzende Bebauungsstrukturen	☹ Winddiskomfort bedingt durch geringe Rauigkeit möglich ☹ Bodeninversionen während autochthoner Strahlungsnächte fördern das Immissionspotenzial (in Tal- und Muldenlagen)

Waldklima

Typische Ausprägungen des Waldklimas sind stark gedämpfte Tagesgänge der Lufttemperatur und -feuchte. Man spricht hier von einem Bestandsklima, welches sich infolge der verminderten Ein- und Ausstrahlung im Stammraum einstellt. Die Hauptumsatzfläche für energetische Prozesse ist in Waldbeständen im oberen Kronenraum anzutreffen, wo sich bei windschwachen Strahlungswetterlagen auch Kaltluftmassen bilden können, die bei ausreichender Reliefneigung eine hohe Relevanz für angrenzende Lasträume haben. Bei zumeist geringen oder fehlenden Emissionen sind Waldflächen darüber hinaus Frischluftentstehungsgebiete, die jedoch aufgrund der hohen Rauigkeit im Gegensatz zu den unbewaldeten Freiflächen keine Luftleitfunktion innehaben. Daher zeichnen sie sich auch durch niedrige Windgeschwindigkeiten im Stammraum aus. Grundsätzlich stellen Waldflächen aufgrund der sehr geringen thermischen und bioklimatischen Belastungen wertvolle Regenerations- und Erholungsräume dar. Hervorzuheben ist weiterhin die Filterkapazität der Waldflächen gegenüber atmosphärischen Luftschadstoffen.

Waldklima	
klimatische Gunstfaktoren	klimatische Ungunstfaktoren
☺ ausgeglichenes Stammraumklima aufgrund des gedämpften Tagesgangs der Lufttemperaturen bei allgemein kühleren Temperaturen ☺ sehr geringe thermische und bioklimatische Belastung ☺ Luftruhe im Stammraum wirkt Kälte- und Winddiskomfort entgegen ☺ keine Emissionen ☺ Frischluftentstehungsgebiete ☺ Kaltluftentstehung im oberen Kronenraum ☺ Filterfunktion für gas- und staubförmige Luftschadstoffe ☺ wertvolle Regenerations- und Erholungsräume	☹ aufgrund hoher Oberflächenrauigkeit keine Luftleitfunktion; Barrierewirkung für Luftmassentransporte möglich ☹ Kaltluftabfluss nur bei ausreichend hoher Reliefneigung möglich ☹ im Sommer Gefahr erhöhter Ozonkonzentration

Parkklima

Größere innerstädtische Parks, Friedhöfe und Kleingartenanlagen sind aufgrund der aufgelockerten Vegetationsstrukturen mit Rasenflächen (Versiegelungsgrad < 20 %) durch stärker ausgeprägte Tagesgänge der Lufttemperatur und -feuchte gegenüber der umliegenden Bebauung gekennzeichnet. Sowohl tagsüber als auch in der Nacht treten die Park- und Grünanlagen als Kälteinseln hervor und können somit als lokale Kaltluftproduktionsflächen fungieren. Die klimameliorierende Wirkung ist zwar zumeist auf die Flächen selbst begrenzt („Oaseneffekt“), kann in Abhängigkeit von der Größe, der Struktur, der Reliefsituation sowie von der Vernetzung mit der angrenzenden Bebauung aber auch eine Fernwirkung ausüben. Die Kaltluftproduktion innerstädtischer Grünflächen kann daher der Entstehung großflächiger Wärmeinselsektoren entgegenwirken. Diese Wirkung ist bereits bei kleineren Grünflächen nachzuweisen, insbesondere wenn diese innerhalb des Stadtgebietes vernetzt sind.

Parkklima	
klimatische Gunstfaktoren	klimatische Ungunstfaktoren
☺ gedämpfter Tagesgang der Lufttemperatur und der Windgeschwindigkeit ☺ lokale Abkühlungseffekte durch Schattenzonen und erhöhte Verdunstungsraten ☺ geringe thermische und bioklimatische Belastung ☺ größere parkartige Grünflächen erweisen sich als innerstädtische Kaltluftproduzenten ☺ keine Emissionen ☺ Filterfunktion für gas- und staubförmige Luftschadstoffe ☺ wertvolle Regenerations- und Erholungsräume	☹ das günstige Bioklima begrenzt sich häufig auf die Fläche selbst (bei kleinen Flächen, „Oaseneffekt“) ☹ oftmals geringe Fernwirkung (≤ 200 m)

Stadttrandklima

Die Bebauungsstruktur des Stadttrandklimas, welche von Einzelhäusern über Wohnblocks bis hin zu Blockbebauung reicht, dabei aber durch niedrige Bauhöhen (im Allgemeinen dreigeschossig, vereinzelt höhere Gebäude möglich) und noch relativ geringe Versiegelungsgrade (20-50 %) gekennzeichnet ist, kann als aufgelockert und durchgrünt bezeichnet werden. Durch die relative Nähe zu klimatischen Ausgleichsräumen ist eine Frisch- und Kaltluftzufuhr weitgehend auch während gradientschwacher Wetterlagen gewährleistet. Hieraus resultieren eine nur schwache Ausprägung von Wärmeinseln und ein zumeist ausreichender Luftaustausch infolge nur geringer Windfeldveränderungen, was in der Regel gute bioklimatische Bedingungen gewährleistet. Vereinzelt können allerdings Straßenschluchten vorhanden sein, in denen bei erhöhtem Verkehrsaufkommen (z. B. entlang von Ein- und Ausfallstraßen) und gleichzeitig geschlossenem Kronendach der Straßenbäume erhöhte Immissionen auftreten können.

Stadttrandklima	
klimatische Gunstfaktoren	klimatische Ungunstfaktoren
☺ die relative Nähe zu klimatischen Ausgleichsflächen begünstigt die Zufuhr kühlerer und frischerer Luftmassen ☺ gutes Wohn- und Schlafklima durch eine ausreichende nächtliche Abkühlung im Sommer ☺ lokale und regionale Grünzonen sind häufig noch fußläufig erreichbar ☺ hohe Variabilität der Mikrokimate durch das Nebeneinander unterschiedlich stark verdichteter Wohngebiete (Einfamilienhäuser, lockere Reihenhausbebauung, offene Bebauungsstrukturen) und Grünflächen	☹ Mulden und Senken können lokal zur Erhöhung des bioklimatischen Belastungspotenzials beitragen ☹ Wärmebelastungen am Tage können durch fehlende Verschattungsstrukturen erhöht sein ☹ eingeschränkte vertikale Austauschverhältnisse während windschwacher Strahlungswetterlagen können bedingt durch lokale bodennahe Emittenten das Immissionsrisiko erhöhen (insb. in Tal- und Muldenlagen) ☹ punktuell erhöhte Immissionen in Straßen mit Häuserschluchten möglich

Stadtklima

Kennzeichnend für das Stadtklima ist eine überwiegend dichte, geschlossene Zeilen- und Blockbebauung mit meist hohen Baukörpern (i.d.R. bis fünfgeschossig, vereinzelt auch höher) und engen Straßen mit vermehrt häuserschluchtartigem Charakter. Während austauscharmer Strahlungsnächte kommt es bedingt durch den hohen Versiegelungsgrad (50-70 %), die hohen Oberflächenrauigkeiten und die geringen Grünflächenanteile zu einer Zunahme der Überwärmung. Die dichte städtische Bebauung verursacht somit ausgeprägte Wärmeinseln mit eingeschränkten Austauschbedingungen, die z.T. mit ungünstigen bioklimatischen Verhältnissen und erhöhter Luftbelastung verbunden sind. Durch die Ausbildung von Wärmeinseln in den Nachtstunden wird ein konvektiver Durchmischungsraum aufrechterhalten, sodass seltener Bodeninversionen auftreten als in den Freilandbereichen und den lockerer bebauten Siedlungsflächen. Neben den Verkehrsemissionen spielt der Hausbrand in den Wintermonaten eine entscheidende Rolle für die lufthygienische Situation.

Stadtklima	
Klimatische Gunstfaktoren	Klimatische Ungunstfaktoren
☺ Kältestress und Winddiskomfort werden durch die Bebauungsstrukturen reduziert ☺ während Inversionswetterlagen trägt der Wärmeinseleffekt zu einer Aufrechterhaltung eines bodennahen Durchmischungsraumes bei, wodurch bodennahe Luftschadstoffe verdünnt werden ☺ großkronige Bäume senken die Wärmebelastung innerhalb der Wohngebiete	☹ eingeschränkte Austauschverhältnisse sowie Wärmestau durch direkte Sonneneinstrahlung in engen Straßenzügen ☹ erhöhtes Schwülepotenzial in engen austauscharmen Straßen mit Häuserschluchten ☹ fehlende Verschattungsstrukturen durch verdunstungsaktive Baumkronen fördern die Hitze- und Wärmebelastung ☹ erhöhtes Immissionspotenzial im Einflussbereich bodennaher Schadstoffemittenten (v.a. KFZ-Verkehr) infolge eingeschränkter horizontaler Austauschverhältnisse ☹ langanhaltende nächtliche Überwärmungsphasen können sich im Sommer negativ auf das Innenraumklima auswirken

Innenstadtklima

Kennzeichnend für das Innenstadtklimatop sind ein sehr hoher Versiegelungsgrad (> 70 %) sowie ein geringer Grünflächenanteil, der lediglich durch Einzelbäume im Straßenraum sowie kleine Rasenflächen, z.T. mit Strauchvegetation als Straßenbegleitgrün, charakterisiert ist. Die Bebauungsstruktur weist vorwiegend mehrgeschossige Baublöcke mit Verwaltungs-, Geschäfts- und Wohngebäuden auf, die sich zumeist als geschlossene Blockbebauung mit vereinzelt auftretenden Hochhäusern darstellt. Das Innenstadtklima weist dadurch die stärksten mikroklimatischen Veränderungen im Stadtgebiet auf. Hierzu zählt vor allem ein sehr stark ausgeprägter Wärmeinseleffekt, bedingt durch die Wärmespeicherfähigkeit der städtischen Oberflächen, und starke Windfeldveränderungen, die sich in straßenparallelen Be- und Entlüftungssituationen widerspiegeln. Am Tage kann in den Bereichen der Innenstadt ein erhöhtes Belastungspotenzial durch Hitzestress und Schwüle entstehen, welches durch eingeschränkte Austauschverhältnisse und geringe Verdunstungskühlung aufgrund fehlender Vegetation hervorgerufen wird. Hitze und Schwülebelastungen im Sommer, erhöhte Luftschadstoff- und Lärmbelastungen durch den KFZ-Verkehr sowie Winddiskomfort durch Böigkeit und Windturbulenzen im Bereich von Straßen mit Häuserschluchten und offenen Plätzen führen zu einer hohen bioklimatischen Belastung.

Innenstadtklima	
klimatische Gunstfaktoren	klimatische Ungunstfaktoren
☺ durch geringe Abkühlung in den Abendstunden wird die Aufenthaltsdauer im Stadtzentrum verlängert, wodurch die Attraktivität der Innenstadt als kulturelles Zentrum erhöht wird ☺ nächtlich anhaltende thermische Turbulenz vergrößert den bodennahen Durchmischungsraum (Schadstoffverdünnung) ☺ geringer Anteil stagnierender Luftaustauschsituationen	☹ tagsüber erhöhtes Belastungspotenzial durch Hitzestress und Schwüle möglich ☹ fehlende Verschattungsstrukturen durch verdunstungsaktive Baumkronen fördern die Hitze- und Wärmebelastung ☹ Winddiskomfort durch erhöhte Böigkeit und Turbulenzen im Bereich von Straßen mit Häuserschluchten und offenen Plätzen ☹ Ein- und Ausfallstraßen erweisen sich als belastete Luftleitbahnen ☹ eingeschränkte Austauschverhältnisse sowie Wärmestau durch direkte Sonneneinstrahlung in engen Straßenzügen ☹ erhöhtes Immissionspotenzial im Einflussbereich bodennaher Schadstoffemittenten (v.a. KFZ-Verkehr) infolge eingeschränkter horizontaler Austauschverhältnisse ☹ langanhaltende nächtliche Überwärmungsphasen können sich im Sommer negativ auf das Innenraumklima auswirken

Gewerbe-/Industrieklima

In diesem Klimatotyp prägen Gewerbe- und Industriegebiete mit den dazugehörigen Produktions-, Lager- und Umschlagstätten, die sich durch einen hohen Versiegelungsgrad und geringen Grünflächenanteil auszeichnen, das Mikroklima. Die Emissionsstruktur für gas- und partikelförmige Spurenstoffe, deren Hauptquellen Feuerungsanlagen sowie produktionsbedingte Anlagen und der Schwerlastverkehr darstellen können, ist stark abhängig von der Art der gewerblichen bzw. industriellen Nutzung. Teilweise können auch erhöhte Freisetzungen industrieller Abwärme das Lokalklima beeinflussen. In Kombination kann dies verstärkt zu immisionsklimatischen und bioklimatischen Belastungssituationen führen.

Gewerbe-/Industrieklima	
klimatische Gunstfaktoren	klimatische Ungunstfaktoren
☺ nächtlich anhaltende thermische Turbulenz vergrößert den bodennahen Durchmischungsraum (Schadstoffverdünnung) ☺ relativ günstige bodennahe Austauschverhältnisse	☹ lufthygienischer Lastraum, lokale Schadstoff-emissionen, teils auch mit Fernwirkung ☹ langanhaltende nächtliche Wärmebelastungen ☹ tagsüber erhöhtes Belastungspotenzial durch Hitzestress und Schwüle möglich ☹ fehlende Verschattungsstrukturen durch verdunstungsaktive Baumkronen fördern die Hitze- und Wärmebelastung

5.1.2 Spezifische Klimaeigenschaften

Die Eigenschaften der Klimatope werden in einigen Bereichen durch natürliche und anthropogene Faktoren modifiziert. Hier spricht man von spezifischen Klimaeigenschaften, die beispielsweise aufgrund der lokalen Reliefsituation innerhalb eines Klimatops oder auch klimatopübergreifend örtliche Klimaveränderungen darstellen. Diese spezifischen Eigenschaften werden in der Klimaanalysekarte als flächenhafte Schraffuren und Punktsignaturen ausgewiesen. Klimatische Funktionen, die zwar schon im Zusammenhang mit der Klimatopbeschreibung erwähnt wurden, innerhalb einiger Klimatope jedoch besonders stark ausgeprägt sind, werden als Piktogramme dargestellt. Die Ausprägung der spezifischen Klimaeigenschaften ist zu meist eng an bestimmte Wetterlagen gekoppelt, wobei die windschwachen Strahlungswetterlagen im Vordergrund stehen. Im Folgenden werden die Charakteristika der spezifischen Klimaeigenschaften beschrieben.

Kaltluftsammelgebiet und Niederungsbereich

Eine hohe Kaltluftproduktion, fehlende Kaltluftdynamik oder Stausituationen an Strömungshindernissen (z. B. große Gebäudekomplexe, Dämme und Waldriegel) sowie bestimmte Reliefformen (z. B. Mulden und Senken) können zur Akkumulation lokal gebildeter Kaltluft führen. Diese Gebiete weisen während der Nacht niedrigere Temperaturen, eine erhöhte Inversionshäufigkeit und verstärkte Nebelbildung auf. Zudem können bodennahe Emissionen, wie etwa durch den Verkehr, bei entsprechender Wetterlage zur Anreicherung von Luftschadstoffen in diesen Bereichen führen.

Warme Kuppenzonen

Warme Kuppenzonen zeichnen sich dadurch aus, dass sie lange Zeit aus den nächtlichen Bodeninversionen der tieferen Lagen herausragen. Durch das hangabwärts gerichtete Abfließen kalter Luftmassen bleiben die Kuppenzonen relativ warm. Sie erreichen eine zu den dichten Bebauungsstrukturen analoge Überwärmung durch eine natürliche Temperaturzunahme mit der Höhe während nächtlicher Inversionswetterlagen. Darüber hinaus ist den Kuppenzonen ein hoher Durchlüftungsgrad zuzusprechen.

Bahnanlagen

Größere Bahn- bzw. Gleisanlagen weisen einen sehr ausgeprägten Tagesgang der Lufttemperatur auf, da sich die Oberflächen bei hoher Sonneneinstrahlung tagsüber sehr stark erwärmen und nachts eine starke Abkühlung erfahren. Da die Trassen in der Regel eine geringe Oberflächenrauigkeit aufweisen, verfügen diese Bereiche über einen guten Luftaustausch und können bei entsprechender Vernetzung als Luftleitbahn dienen, um kühlere, unbelastete Luftmassen von Freilandbereichen bzw. Grün- und Waldflächen in belastete Siedlungsbereiche zu transportieren. Teilweise können Bahntrassen sogar eine Relevanz zur Belüftung von Stadtzentren haben.

Bodennebel

Aufgrund eines hohen Wasserangebotes und bedingt durch die topographische Lage besteht eine erhöhte Nebelhäufigkeit. Betroffen sind überwiegend Tallagen, Freiflächen in der Nähe von Wasserkörpern und große Freilandbereiche, die eine gute Grundwasserversorgung aufweisen.

Park- und Grünflächen

Die als Parkklimatope bezeichneten Flächen haben aufgrund ihrer besonderen bioklimatischen Funktion einen hohen Stellenwert als wohnumfeldnahe Klimaoasen. Größere Parkflächen mit vielfältigen Vegetationsstrukturen weisen sowohl ähnliche bioklimatische Gunstbedingungen wie der Wald als auch Freilandeigenschaften auf. Durch das Vorhandensein großkroniger Bäume als natürliche Schattenspender werden Belastungen durch Hitzestress und Schwüle abgemildert. Auch die nächtliche Kaltluftbildungsrate in den Grünflächen wirkt sich in thermischer Hinsicht positiv aus, hiervon profitieren insbesondere die durch erhöhte thermische Belastungen charakterisierten umliegenden Bebauungsstrukturen im Nahbereich (< 200 m). Die Reichweite der Kaltluftströmungen ist hierbei unter anderem abhängig vom Mikrorelief, wobei größeren, zusammenhängenden Park- und Grünflächen die Funktion von Frischluftleitbahnen zugesprochen werden kann. Damit können diese Flächen als sehr wertvolle Regenerationsräume für die Bevölkerung, aber auch für die Tier- und Pflanzenwelt, angesehen werden.

Filterfunktion des Waldes

Größere Waldflächen haben die Eigenschaft, einerseits durch trockene Deposition im Stammraum und am Blatt- bzw. Nadelwerk, andererseits durch nasse Deposition im Erdreich und Wurzelraum des Waldes eine Filterfunktion auf Luftschadstoffe auszuüben. Während nächtlicher Strahlungswetterlagen wird diese Filterleistung erhöht, wenn Luft direkt am Blattwerk abkühlt, in den Stammraum absinkt und durch wärmere Luft aus größerer Höhe ersetzt wird, wodurch ein kontinuierlicher Luftdurchsatz entsteht.

Bioklimatischer Belastungsraum

Bioklimatische Belastungsräume weisen bedingt durch einen hohen Versiegelungsgrad eine starke Erwärmung am Tage und infolge eingeschränkter Auskühlung eine ausgeprägte nächtliche Wärmeinsel auf. Dies kann in den Sommermonaten Hitze- und Schwülebelastungen hervorrufen, wodurch eine starke bioklimatische Belastung für den Menschen entsteht. Zusätzlich wird bei windschwachen Wetterlagen eine Situationsverschlechterung durch lokal emittierte Schadstoffe hervorgerufen. Starke bioklimatische Belastungen in Verbindung mit einer starken Luftverschmutzung durch Feinstäube und Stickoxide treten im Umfeld hochfrequentierter Straßen auf, insbesondere wenn diese aufgrund der Bebauungsstruktur einen häuserschluchtartigen Charakter haben und somit eingeschränkte Belüftungsverhältnisse vorherrschen.

Windfeldveränderungen

Das Windfeld in der Stadt wird durch Kanalisierung im Straßenraum oder durch Düsen- und Kanteneffekte stark modifiziert. Beim Auftreten unterschiedlicher Bauformen sowie stark unterschiedlicher Höhen der Gebäude in Verbindung mit einem Nebeneinander von bebauten und unbebauten Flächen tritt eine starke Turbulenz des Windfeldes auf. Dadurch erhöht sich die Zugigkeit und Böigkeit im Straßenraum, was eine stark reduzierte Aufenthaltsqualität im Freien zur Folge haben kann (Winddiskomfort). Starke Windfeldveränderungen sind daher häufig in Stadtzentren vorzufinden, können jedoch auch im Bereich großflächiger Hochhausbebauung an Stadträndern oder im Umfeld von großen Industriebauten und Halden auftreten.

Vertikalaustausch

Durch den anthropogenen Wärmeineffekt werden die Luftmassen in zentralen Stadtbereichen labilisiert. Daraus resultieren eine nächtliche Vergrößerung des Durchmischungsraumes und eine starke thermische Konvektion am Tag. Die Bodeninversionshäufigkeit wird im Vergleich zu den Freilandgebieten stark herabgesetzt.

5.1.3 Luftaustausch

Einen hohen Stellenwert in der Stadtklimatologie besitzt der Luftaustausch zwischen klimatischen Last- und Entlastungsräumen einer Stadt. Für die Belüftungssituation relevant sind neben den Luftleitbahnen und der Frischluftzufuhr insbesondere Bereiche, die während sommerlicher Strahlungsnächte durch Kaltluftabflüsse und Flurwinde einer Reduzierung der städtischen Überwärmung zuträglich sind. Diese Elemente des Luftaustausches werden in der Klimafunktionskarte durch unterschiedliche Pfeilsignaturen dargestellt und im Folgenden näher erläutert.

Luftleitbahnen (belastet und unbelastet)

Insbesondere bei austauscharmen Wetterlagen sind Luftleitbahnen klimarelevant, da sie in der Lage sind, weniger belastete und kühlere bodennahe Luftmassen in die Lasträume der Stadt zu transportieren. Luftleitbahnen sind durch eine geringe Rauigkeit (keine hohe Bebauung, nur vereinzelte Bäume) und einen möglichst geradlinigen, breiten Verlauf gekennzeichnet, wobei die Randbegrenzung in der Regel durch Bebauung, einen geschlossenen Vegetationsbestand oder das Relief vorgegeben sind. Dabei können Luftleitbahnen eine unterschiedliche Qualität aufweisen. Es sind Leitbahnen mit nur gering belasteten Luftmassen von solchen, die sich im Einflussbereich von Emittenten (z. B. Hauptverkehrsstraßen) befinden und mit Schadstoffen angereicherte Luft transportieren, zu unterscheiden. Neben Bahntrassen, deren Funktion als Luftleitbahn durch Bahndämme eingeschränkt oder unterbunden werden kann, stellen Flussauen und Kanäle geeignete Flächennutzungen für Luftleitbahnen dar.

Frischluftezufuhr

Bei entsprechenden Windrichtungen können frische Luftmassen aus den Freilandarealen in die Lasträume der Stadt transportiert werden und dort durch die Vermischung mit belasteten Luftmassen bzw. einem Luftmassenaustausch zu einer Verbesserung der Luftqualität beitragen. Die Eindringtiefe der zugeführten Frischluft ist unter anderem von der Oberflächenrauigkeit (Bebauungs- und Vegetationsstruktur), dem Relief und der Windgeschwindigkeit abhängig. Eine Vernetzung der Frischluftentstehungsgebiete im Umland mit rauigkeitsarmen, innerstädtischen Grünflächen kann die Fernwirkung in die belasteten Stadtzentren begünstigen.

Kaltluft- und Flurwinddynamik

Der Kaltluftabfluss ist ein thermisches und reliefbedingtes, während der Nacht einsetzendes Windsystem (Hangabwind). Bereits ab einer Geländeneigung von ein bis zwei Grad setzen nach Sonnenuntergang über natürlichen, rauigkeitsarmen Oberflächen bodennahe, abwärts gerichtete Strömungen lokaler Kaltluftmassen ein. Die Ausprägung dieses kleinräumigen Phänomens wird in erster Linie durch einen schwachen Gradientwind oder die Geländeneigung sowie die Kaltluftproduktivität der Flächen bestimmt. Flurwinde sind nicht reliefbedingt, sondern entstehen durch Temperatur- und Luftdruckunterschiede zwischen den nächtlich überwärmten Siedlungsbereichen und dem kühleren Umland. Kaltluftabflüsse und Flurwinde können insbesondere während sommerlicher Strahlungsnächte zur Abkühlung überwärmter Siedlungsbereiche beitragen und somit den Wärmeinseleffekt reduzieren.

5.1.4 Lufthygiene

Die lufthygienischen Verhältnisse werden anhand der Ausweisung von Straßen mit erhöhtem Verkehrsaufkommen (linienhafte Punktsignaturen) sowie industriellen und gewerblichen Emittenten von Luftschadstoffen und Abwärme (Piktogramme) beschrieben.

Hauptverkehrsstraßen

Straßenzüge mit erhöhtem Verkehrsaufkommen stellen lineare Emissionsbänder für Luftschadstoffe (wie Stickoxide, Kohlendioxid, Kohlenmonoxid und Feinstäube)

mit zusätzlich erhöhten Lärmemissionen dar. Eine hohe Verkehrsbelastung wird für alle Straßen mit einem durchschnittlichen täglichen Verkehrsaufkommen (DTV) von mehr als 20.000 KFZ ausgewiesen. Bei geradlinigem, breitem Verlauf und geringer Rauigkeit können Straßen eine Funktion als belastete Luftleitbahn einnehmen.

5.2 Gliederung der Stadt Fröndenberg/Ruhr anhand der Klima-analysekarte

Karte 5-1 zeigt die Klimaanalysekarte für das Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr und Abbildung 5-1 die unterschiedlichen Flächenanteile der Klimatope sowie der Verkehrswege.

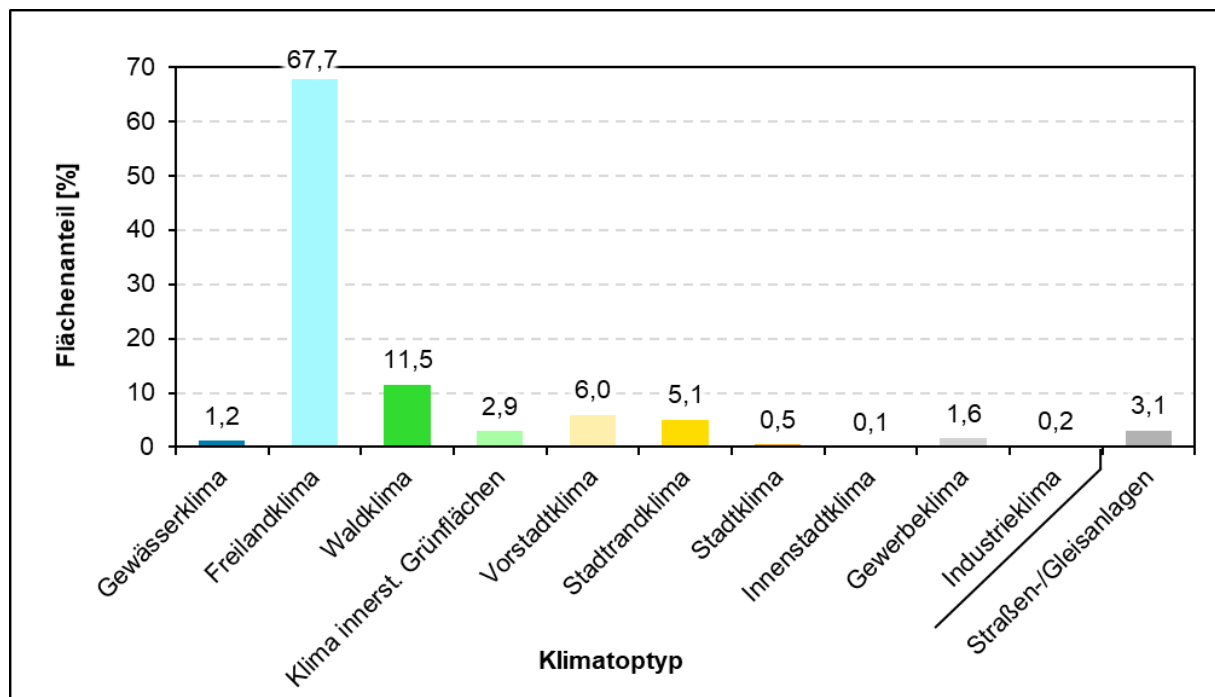


Abbildung 5-1: Flächenanteile der Klimatope und Verkehrstrassen im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr

Dabei wird sehr deutlich, dass die Freilandklimatope mit 67,7 % den mit weitem Abstand größten Anteil am Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr ausmachen. Das Waldklima nimmt mit 11,5 % den zweitgrößten Flächenanteil aller Klimatotypen ein, gefolgt vom Vorstadtklima mit 6,0 % und Stadtrandklima mit 5,1 %. Weitere 3,1 % der Fläche entfallen auf die Straßen- und Gleisanlagen, während das Klima innerstädtischer Grünflächen 2,9 %, die Gewerbeklimatope 1,6 % und das Gewässerklima 1,2 % des Stadtgebietes umfassen. Die Klimatotypen Stadtklima (0,5 %), Industrieklima (0,2 %) und Innenstadtklima (0,1 %) nehmen alle jeweils einen Flächenanteil von unter 1 % ein.

Freilandklimatope, zu denen im Wesentlichen landwirtschaftlich genutzte Flächen (aber teils auch gewerbliche bzw. industrielle Brachflächen) zählen, nehmen, wie bereits erwähnt, einen Anteil von 67,7 % am Stadtgebiet ein. Sie sind aus stadtkli-

matologischer Sicht grundsätzlich von besonderer Relevanz, da sie während sommerlicher, austauscharmer Strahlungsnächte wertvolle Produzenten von Kaltluftmassen sind und somit wichtige klimatische Ausgleichsflächen für überwärmte Siedlungsbereiche darstellen. Neben einem ausreichend hohen Vorkommen von klimatisch günstigen Freilandklimatopen ist jedoch die Lage bzw. Verteilung dieser Flächen im Stadtgebiet sowie deren Vernetzung mit den klimatisch stärker belasteten Klimatoptypen von entscheidender Bedeutung, wobei insbesondere das Relief eine wichtige Rolle spielt. Im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr sind große zusammenhängende Freilandklimatope im gesamten Stadtgebiet außerhalb der Siedlungsstrukturen vorzufinden. Dabei setzen sich die Freilandflächen zudem in nahezu alle Himmelsrichtungen weit über die Stadtgrenze hinaus in die Nachbarstädte Unna, Holzwickede, Iserlohn, Menden (Sauerland) und Wickede (Ruhr) fort. Bei den weitläufigen Freilandklimatopen außerhalb der Siedlungsstrukturen handelt es sich zumeist um landwirtschaftlich genutzte Flächen. Die Freilandklimatope im Umland weisen insbesondere in den Hanglagen des Haarstrangs teils hohe Kaltluftproduktionsraten und/oder -volumenströme auf und stellen somit potenziell wichtige klimatische Ausgleichsräume dar. Insbesondere in den Bereichen, wo das Relief in Richtung der Siedlungskörper geneigt ist und dementsprechend während sommerlicher Strahlungswetterlagen nächtliche Kaltluftabflüsse in die angrenzende Bebauung möglich sind. Die Bedeutung der Kaltluftdynamiken im Stadtgebiet wurde in Kapitel 4 bereits näher untersucht und erläutert.

Neben der Bedeutung als Kaltluftlieferanten während autochthoner Wetterlagen können bei allochthoner Witterung mit entsprechend übergeordnetem Windfeld zudem Frischluftmassen von den Freilandklimatopen in die angrenzenden bebauten Klimatope transportiert werden und dort für eine Verbesserung der Luftqualität sorgen. Dies trifft in Hinblick auf die dortigen Gewerbeansiedlungen beispielsweise auf einige Bereiche der Freilandklimatope in Dellwig und Langschede zu. Auch das Industriegebiet Westick-Ost/Frohnhausen kann in Abhängigkeit des übergeordneten Windfeldes von einer Frischluftzufuhr der umliegenden Freilandbereiche profitieren. Darüber hinaus kann bei südlichen Anströmungen auch ein Frischluftmassentransport in Richtung des Stadtzentrums von Fröndenberg/Ruhr erfolgen. Grundsätzlich können die umliegenden Freilandflächen der Siedlungsbereiche von

Altendorf, Strickherdicke, Frömern, Ostbüren, Bausenhagen, Stentrop, Bentrop, Warmen, Frohnhausen und der Hohenheide ebenfalls in Abhängigkeit der übergeordneten Windrichtung zu einer Frischluftzufuhr der jeweiligen Bebauung führen. Auf eine Kennzeichnung mit entsprechender Pfeilsignatur wurde in der Klimaanalysekarte an diesen Stellen allerdings verzichtet, da aufgrund des Fehlens größerer Emittenten der Frischluftzufuhr in den vorgenannten Siedlungsbereichen keine große Relevanz hinsichtlich der lokalen Luftqualitätsverhältnisse zugesprochen wurde.

Die Waldklimatope nehmen mit 11,5 % einen deutlich geringeren und trotzdem den zweitgrößten Flächenanteil am Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr ein. Insbesondere Waldbereichen im direkten Umfeld größerer Emittenten von Luftschadstoffen (z. B. Gewerbe-/Industriegebiete, Hauptverkehrsstraßen) und im fußläufigen Einzugsbereich der Wohnbebauung kommt aus lufthygienischer sowie bioklimatischer Sicht eine besondere Bedeutung zu, da diese Wälder einerseits eine Filterfunktion gegenüber Luftschadstoffen ausüben und andererseits aufgrund der reduzierten Lufttemperaturen an heißen Sommertagen als wichtige Regenerations- und Erholungsräume für die Bevölkerung dienen können. Große oder zusammenhängende bzw. vernetzte Waldklimatope, die zudem im fußläufigen Einzugsbereich der Wohnbebauung liegen, treten im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr nur vereinzelt auf. Diesbezüglich sind vor allem die Waldklimatope westlich und nördlich des Mühlenbergs zu nennen, die zudem eine Vernetzung mit weiteren Waldbereichen im Einzugsgebiet des Löhnbachtals aufweisen. Auch entlang des Ostholzbachs ist eine weitere Vernetzung von Waldklimatopen, ausgehend von der Ruhr im Süden bis nördlich der Golfplätze, zu erkennen. Weitere größere Waldklimatope sind entlang des Strickherdicker Bachs sowie im Osten von Ostbüren verortet. Grundsätzlich sind die Waldflächen aber als Vielzahl kleiner Bereiche über das Stadtgebiet verstreut. Innerhalb der Bebauung im Stadtteil Fröndenberg wurden beispielsweise mit dem Lunapark sowie dem Bereich am Kirchplatz nördlich der Unionstraße weitere kleinere Bereiche aufgrund des hohen und dichten Baumbestandes als Waldklimatope ausgewiesen, die den Anwohnenden an heißen Tagen als natürlicher Regenerations- und Erholungsraum dienen können. Unter anderem ist den Wald- bzw. Gehölzflächen zwischen dem Gewerbegebiet Atlantik an der Ardeyer Straße

und der Wohnbebauung am Mühlenberg eine zusätzliche Filterfunktion für Luftschadstoffe und somit eine lufthygienisch bedeutsame Ausgleichsfunktion zugesprochen worden.

Das Klima innerstädtischer Grünflächen umfasst im Wesentlichen öffentliche Parks, Friedhöfe, Kleingarten- und Sportanlagen sowie teilweise auch größere zusammenhängende Grünstrukturen innerhalb der Bebauung. Der Flächenanteil dieses Klimatotyps beträgt 2,9 % an der Gesamtfläche des Stadtgebietes von Fröndenberg/Ruhr. Dabei entfällt allerdings ein Großteil davon (etwa 74 %) auf die beiden Golfplätze zwischen der Hohenheide und Frömern. Bei den weiteren Flächen, die als Klima innerstädtischer Grünflächen ausgewiesen wurden, handelt es sich um die Friedhöfe sowohl in Fröndenberg selbst als auch in den Statteilen Dellwig, Frömern und Bausenhagen, die Kleingartenanlage auf dem Mühlenberg, diverse Sportplätze im Stadtgebiet sowie den Himmelmannpark und den Hindenburghain an der Graf-Adolf-Straße. Neben einer von der Zugänglichkeit und Ausstattung der Grünfläche abhängigen Naherholungsfunktion stellen diese Flächen lokale Kalt- und Frischluftproduzenten dar und können bei einer Lage innerhalb der Bebauung während sommerlicher Strahlungsnächte für eine thermische Entlastung im Mosaik der überwärmten Siedlungsbereiche sorgen.

Die Gewässerklimatepe nehmen mit 1,2 % einen sehr geringen Flächenanteil im Stadtgebiet ein und beschränken sich im Wesentlichen auf die Ruhr, die Becken der beiden Wassergewinnungsanlagen an der Ruhr sowie einer Vielzahl kleinerer Bäche und Teichanlagen. Die vor allem am Tage grundsätzlich positiven klimatischen Auswirkungen der vorhandenen Wasserflächen sind lediglich auf die unmittelbare Umgebung im Uferbereich beschränkt. Die reliefbedingten Leitwirkungen der Bachtäler auf die nächtlichen Kaltluftabflüsse wurden bereits in Kapitel 3.6 und 4.2 beschrieben.

Zusammen nehmen die Klimatope der klimatischen Ausgleichsräume (Freiland-, Wald- und Gewässerklimatepe sowie das Klima innerstädtischer Grünflächen), aufgrund der starken Dominanz der Freiflächen, insgesamt 83,4 % des Stadtgebietes ein. Während 3,1 % der Gesamtfläche von Fröndenberg/Ruhr durch Straßen- und Gleisanlagen nahezu vollversiegelt sind, entfallen etwa 13,5 % auf die bebauten Klimatope (Vorstadt-, Stadtrand-, Stadt-, Innenstadt-, Gewerbe- und Industrieklima).

Das Vorstadtklima ist grundsätzlich auf Einzelhöfe oder kleinere Streu- und Splittersiedlungen im ländlichen Raum sowie auf Siedlungsränder im Übergang zum unbebauten Umland beschränkt. Allerdings wurden in den Stadtteilen Altendorf, Stentrop, Bentrop, Warmen und Frohnhausen sämtliche Siedlungsstrukturen, die keine reine Gewerbenutzung aufweisen, gänzlich diesem Klimatotyp zugeordnet. Daher umfasst das Vorstadtklima insgesamt 6,0 % der gesamten Stadtfläche und nimmt somit den höchsten Anteil der bebauten Klimatotypen ein.

Das Stadtrandklima stellt mit 5,1 % den zweitgrößten Flächenanteil der bebauten Klimatotypen im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr. Insbesondere in Westick, am Sümberg und Mühlenberg sowie auf der Hohenheide ist dieser Klimatyp innerhalb der Wohn- und Mischbebauung vorherrschend. Aber auch in den Stadtteilen Dellwig, Langschede, Ardey, Strickherdicke und Frömern sind weite Teile der Siedlungsstrukturen dem Stadtrandklimatop, welches grundsätzlich mit noch verhältnismäßig günstigen bio- und immissionsklimatischen Bedingungen charakterisiert werden kann, zuzuordnen. Insbesondere durch eine zumeist aufgelockerte Bauweise und einer damit einhergehenden ausreichenden Durchmischung mit Grünflächen (vor allem Gärten) innerhalb der Bebauung wird einer Aufheizung und somit nächtlichen Überwärmung der Siedlungsbereiche entgegengewirkt, was in Teilbereichen zusätzlich durch die Anbindung an Freilandklimatope des Umlandes nochmals begünstigt wird.

Aus bioklimatischer Sicht stärker belastete Räume stellen hingegen die Stadtklimatope dar, welche unter anderem durch eine stärker verdichtete Bebauung mit entsprechend erhöhter Versiegelung und geringerem Grünflächenanteil charakterisiert sind. Die Stadtklimatope nehmen in Fröndenberg/Ruhr lediglich 0,5 % des gesamten Stadtgebietes ein und sind ausschließlich im Stadtteil Fröndenberg vorzufinden. Dabei umfasst das Stadtklimatop insbesondere die Siedlungsbereiche, die an das Stadtzentrum angrenzen, wie etwa die Wohnbebauung zwischen der Bergstraße und Wilhelm-Feuerhacke-Straße oder die Mischbebauung entlang der Bahnhofstraße und Ruhrstraße sowie westlich der Eulenstraße. Weiterhin wurden beispielsweise die Areale der Gesamtschule sowie der beiden benachbarten Grundschulen, das Justizvollzugskrankenhaus und das Schmalenbach-Haus am Hirschberg aufgrund eines jeweils lokal erhöhten Überbauungs- und Versiegelungsgrades

diesem Klimatotyp zugeordnet. In allen anderen Stadtteilen wurden hingegen keine Stadtklimatope ausgewiesen.

Die Innenstadtklimatope nehmen mit 0,1 % einen sehr geringen Anteil an der gesamtstädtischen Fläche von Fröndenberg/Ruhr ein. Allerdings umfassen sie den gesamten Bereich des Stadtzentrums zwischen der Union- und Alleestraße im Norden und der Bahntrasse im Süden. Das gesamte Stadtzentrum weist eine sehr starke bauliche Überprägung mit sehr hohem Versiegelungsgrad und kaum Grünflächen auf. Während im westlichen Bereich des Stadtzentrums ein vergleichsweise hoher Baumbestand zu verzeichnen ist, sind im Bereich um den Marktplatz sowie im Osten des Stadtzentrums kaum Bäume vorzufinden. Darüber hinaus schließen an diesen Bereich der Innenstadtklimatope weitere Flächen der bioklimatisch ebenfalls als ungünstig zu bewertenden Stadtklimatope oder Gewerbeklimatope an. Die starke Überbauung und die dadurch erhöhte Oberflächenrauigkeit können neben den nächtlichen Überwärmungen auch Modifikationen des Windfeldes im Stadtzentrum bedeuten. Dies kann einerseits durch eine erhöhte Turbulenz und Böigkeit sowie Kanalisierungseffekte im Straßenraum zu Winddiskomfort führen, andererseits kann durch eine insgesamt eingeschränkte Durchlüftungssituation eine Schadstoffakkumulation erfolgen. Daher wurde das Stadtzentrum von Fröndenberg/Ruhr als bioklimatischer Belastungsraum gekennzeichnet.

Die Gewerbe- und Industrieklimatope nehmen zusammen insgesamt einen Flächenanteil von 1,8 % am Stadtgebiet ein. Dabei konzentrieren sich diese Klimatope im Wesentlichen auf wenige Standorte, wie etwa das Industriegebiet Westick-Ost/Frohnhausen, das Gewerbegebiet Atlantik an der Ardeyer Straße sowie weitere Bereiche in Langschede und Dellwig. In den genannten Gewerbebereichen als auch im Bereich der Stadt- und Innenstadtklimatope können der hohe Versiegelungsgrad und der Mangel an verdunstungsaktiven Grün- und Wasserflächen während austauscharmer Wetterlagen im Sommer zu Schwüle- und Hitzebelastungen der Bevölkerung sowie zu teils hohen nächtlichen Überwärmungen (städtische Wärmeinseleffekte) führen. Generell werden in Klimaanalysekarten des Regionalverbandes Ruhr darüber hinaus emissionsintensive Gewerbe- bzw. Industriebetriebe als „Emittenten mit lokaler und regionaler Bedeutung“ gesondert gekennzeichnet. In Fröndenberg/Ruhr sind laut Emissionskataster Luft NRW allerdings

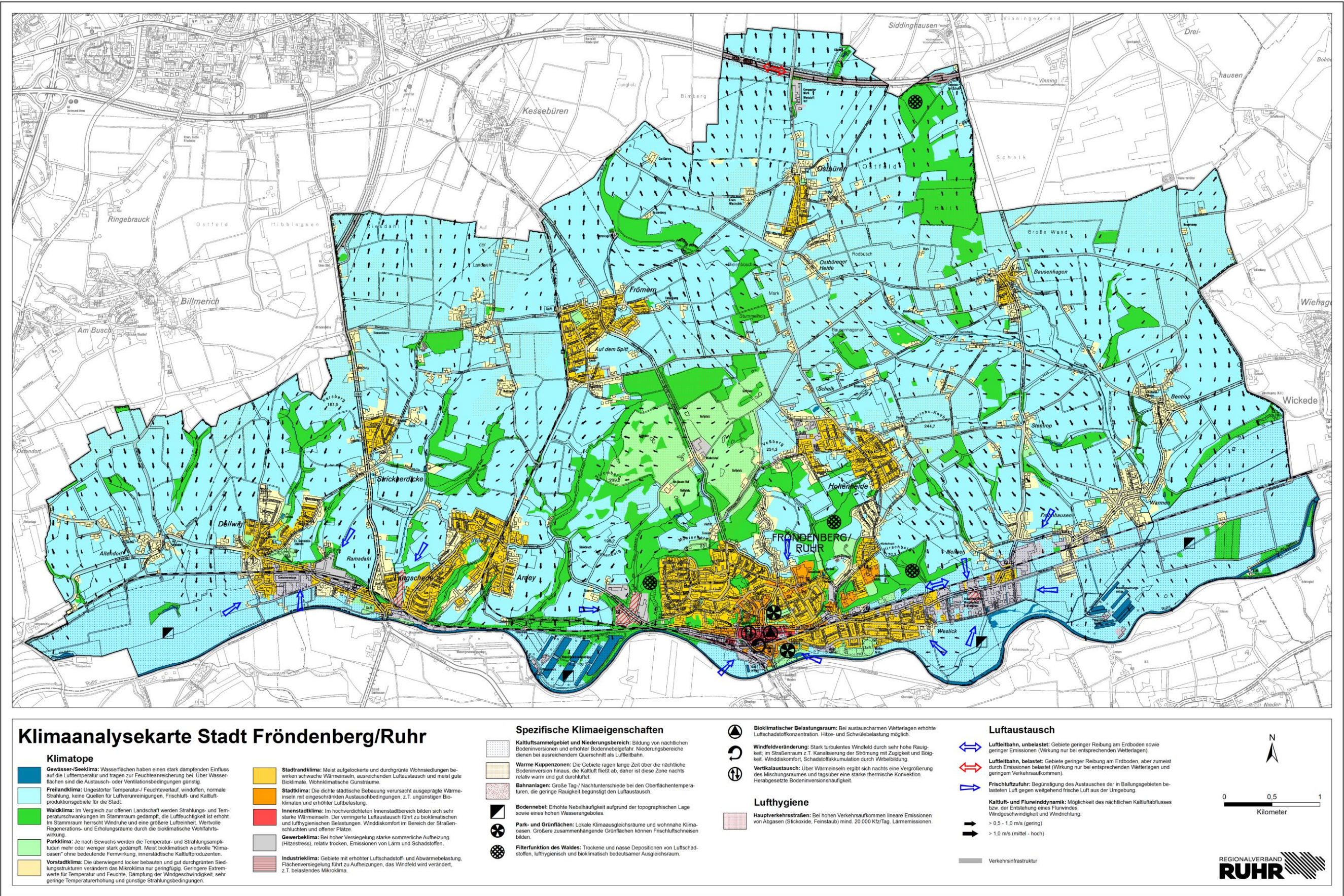
keine Betriebe angesiedelt, die die hierfür angesetzten Kriterien übersteigen. Zudem konnten auch keine großen Abwärmeemittenten der Schwerindustrie im Stadtgebiet deklariert werden.

Reliefbedingt wurde das gesamte südliche Stadtgebiet entlang des Ruhrtals als Kaltluftsammelgebiet bzw. Niederungsbereich ausgewiesen. In Kaltluftsammelgebieten können die lokal gebildeten Kaltluftmassen von den dortigen Freiflächen ohne fehlenden übergeordneten Strömungsantrieb nicht bzw. kaum abfließen und es können sich zudem Kaltluftzuflüsse von angrenzenden Freiland-, Wald- oder Grünflächen ansammeln. Infolge der Kaltluftansammlung kann es zur Bildung einer bodennahen Inversionsschicht kommen, welche durch starke Einschränkungen des vertikalen Luftaustauschs charakterisiert sind. Im Bereich von Freiland- und Grünflächen bedeutet dies eine vermehrte Bildung von Bodennebel. Für bebaute Bereiche innerhalb eines Kaltluftsammelgebietes bedeutet der Zustrom der Kaltluftmassen einerseits einen aus stadtklimatischer Sicht zu begrüßenden Abkühlungseffekt der überwärmten Flächen, andererseits kann jedoch die Inversionsbildung eine bodennahe Anreicherung lokal emittierter Luftschadstoffe zur Folge haben, was aus immissionsklimatischer Sicht als ungünstig zu bewerten ist.

Der Trassenverlauf der Autobahn A44, welche das Stadtgebiet im Norden von Ostbüren in Ost-West-Richtung durchquert, kann als lokale bodennahe Luftleitbahn fungieren, wobei aufgrund der Verkehrsemissionen von belasteten Luftmassen auszugehen ist. Allerdings grenzen auf Fröndenberger Stadtgebiet keine Wohnsiedlungen direkt an die Autobahntrasse an. Eine Funktion als unbelastete lokale Luftleitbahn wurde zudem den rauigkeitsarmen Freilandflächen zwischen der Bahntrasse und dem nördlich angrenzenden Waldgebiet unterhalb des Hirschbergs im Osten von Westick zugesprochen. Regionalklimatisch kann davon ausgegangen werden, dass das gesamte Ruhrtal eine Luftleitfunktion innehat.

Die sogenannten warmen Kuppenzonen zeichnen sich dadurch aus, dass sie lange Zeit aus den nächtlichen Bodeninversionen der Tallagen herausragen. Insbesondere bei einer Freiland- oder Grünflächennutzung und in eingeschränktem Maße auch bei einer Waldnutzung kann von diesen Kuppenzonen ein zumeist radialer nächtlicher Kaltluftabfluss erfolgen, wodurch die Kuppenzonen vergleichsweise relativ warm bleiben. Insbesondere für angrenzende überwärmte Siedlungsgebiete

können warme Kuppenzonen als nächtliche Kaltluftlieferanten daher klimatisch relevante geomorphologische Strukturen darstellen. Als warme Kuppenzonen konnten im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr die gesamten Höhenlagen des Haarstrangs ausgewiesen werden. Diese erstrecken sich ausgehend von der nordöstlichen Stadtgrenze im Bereich Große Wand nördlich von Bausenhagen zunächst nach Westen über die Ostbürener Heide und im weiteren Verlauf dann nach Süden einerseits zur Hohenheide und andererseits zum Mühlenberg. Im weiteren Verlauf in westliche Richtung erstrecken sich die Höhenlagen des Haarstrangs über den Bereich Auf dem Spitt im Süden von Frömern bis zum Bismarckturm bzw. der Wilhelmshöhe an der nordwestlichen Stadtgrenze zu Unna im Norden von Strickherdicke. Bereiche der Kuppenlagen, die eine wesentliche bauliche Überprägung aufweisen, werden in der Klimaanalysekarte nicht als „warme Kuppenzonen“ gekennzeichnet, da von ihnen nicht die Eigenschaft als Kaltluftlieferant ausgeht und die Überwärmung eher auf die Bebauung zurückzuführen ist. Eine entsprechende Konstellation ist im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr auf der Hohenheide, dem Mühlenberg sowie Auf dem Spitt in Frömern gegeben.



Karte 5-1: Klimaanalysekarte der Stadt Fröndenberg/Ruhr

6 Die Stadt Fröndenberg/Ruhr im Zeichen des globalen Klimawandels

In diesem Kapitel werden die Auswirkungen des globalen Klimawandels auf das Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr erläutert. Zu diesem Zweck wird zunächst eine kurze Übersicht der beobachteten und der für die Zukunft projizierten globalen Klimaänderungen gegeben. Des Weiteren werden Untersuchungen und Modellergebnisse zu den Ausprägungen des weltweiten Klimawandels auf der regionalen Ebene in der Metropole Ruhr aufgezeigt. Anschließend zeigen die zukünftige Entwicklung klimatischer Kennwerte, welche lokalen Auswirkungen der globale Klimawandel im Stadtgebiet hat.

6.1 Globaler Klimawandel

In der Erdgeschichte hat es bereits mehrfach erhebliche Klimaschwankungen gegeben, die auf natürliche Ursachen zurückzuführen sind. Hierzu zählen sowohl extraterrestrische Ursachen wie Variationen der Sonnenaktivität und der Gezeitenkräfte sowie Meteoreinschläge, als auch terrestrische Ursachen wie Kontinentalverschiebungen und Vulkanausbrüche, die für einen Wechsel zwischen den Warmklimaten und den Eiszeitaltern in der Geschichte unseres Planeten sorgten (Schönwiese 2003). Es gilt heute allerdings als erwiesen, dass die Klimaänderungen seit Mitte des 18. Jahrhunderts, welche sich unter anderem in einem Anstieg der global gemittelten Oberflächentemperatur (vgl. Abbildung 6-1) darstellt, hauptsächlich durch den Menschen hervorgerufen werden (IPCC 2021).

Die globale Oberflächentemperatur ist in den ersten beiden Jahrzehnten des 21. Jahrhunderts (2001–2020) gegenüber 1850–1900 um 0,99 °C angestiegen. Im Zeitraum 2011–2020 betrug der Temperaturanstieg bereits 1,09 °C gegenüber 1850–1900. Der Temperaturanstieg der Erdoberfläche weist dabei in Abhängigkeit der geographischen Lage, der Topographie sowie der Landnutzung regionale Unterschiede auf, wobei insbesondere der höhere Anstieg über Land gegenüber dem Ozean deutlich wird (vgl. Abbildung 6-2; IPCC 2021).

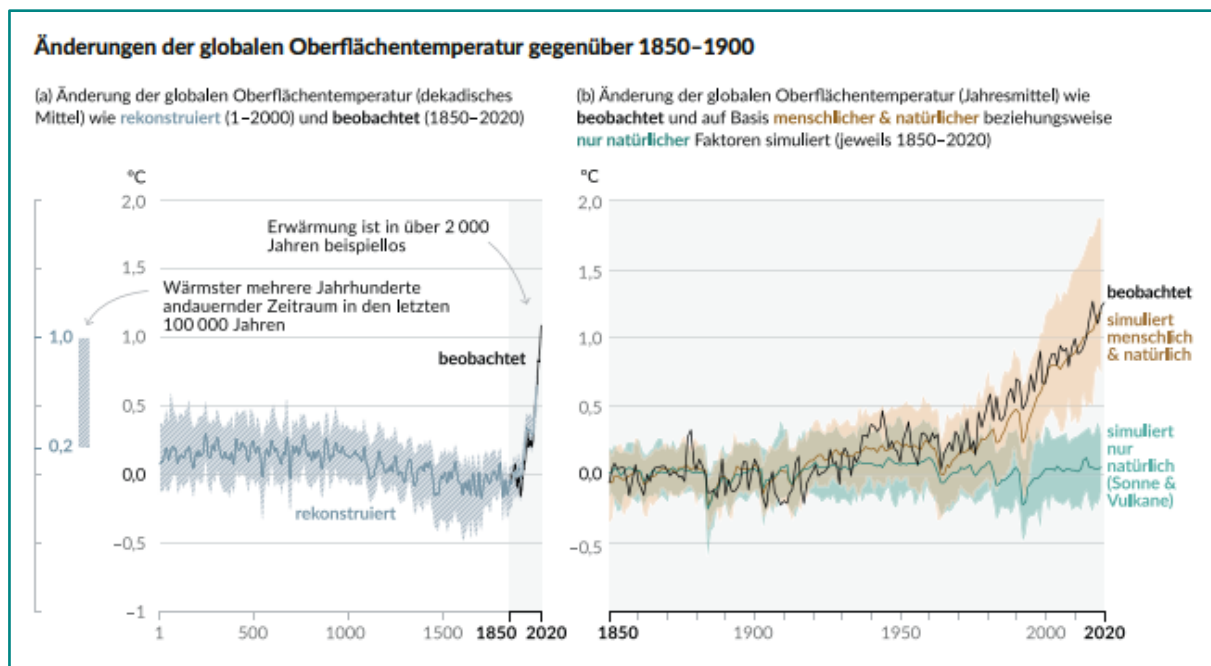


Abbildung 6-1: Beobachtete und simulierte Änderung der globalen Oberflächentemperatur von 1850–2020 (IPCC 2021)

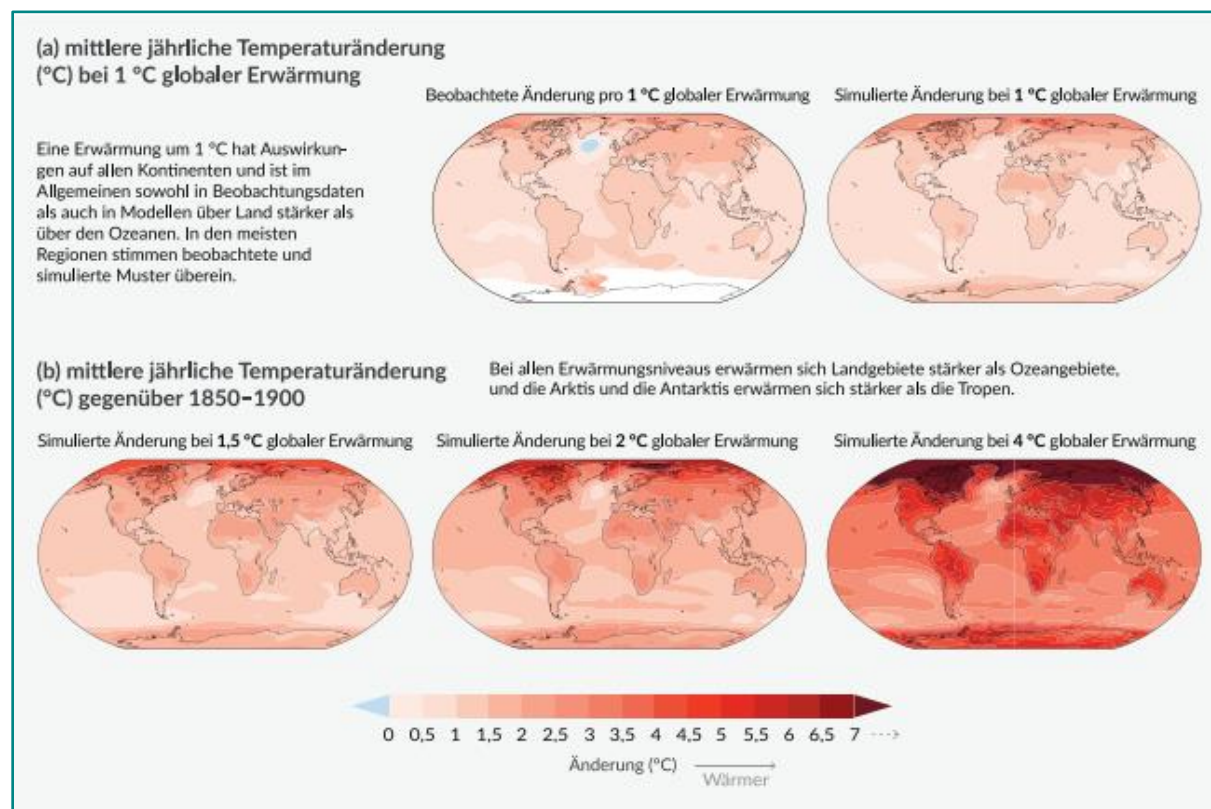


Abbildung 6-2: Änderungen der regionalen Durchschnittstemperatur bei beobachteter und simulierter Temperaturänderung (IPCC 2021)

Der globale Klimawandel äußert sich nicht nur in einer Zunahme des mittleren globalen Temperaturniveaus, sondern auch durch Veränderungen im Auftreten von Extremwetterereignissen. So gibt es seit dem 5. Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschuss für Klimaänderungen (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) stärkere Belege für beobachtete Veränderungen von Extremen wie Hitzewellen, Starkniederschlägen, Dürren und tropischen Wirbelstürmen sowie insbesondere für deren Zuordnung zum Einfluss des Menschen (IPCC 2021).

Als Hauptursache für diese beobachteten Klimaveränderungen gelten die anthropogenen Emissionen von Treibhausgasen (THG) durch die Verbrennung fossiler Energieträger, Landnutzungsänderungen (z. B. Waldrodungen) sowie der Ackerbau und die Viehzucht. Die Zunahme der Treibhausgaskonzentrationen sind eindeutig durch menschliche Aktivitäten verursacht und haben im Jahr 2019 jährliche Mittelwerte von 410 ppm für Kohlendioxid (CO₂), 1.866 ppb für Methan (CH₄) und 332 ppb für Lachgas (N₂O) erreicht (IPCC 2021).

Um das zukünftige Ausmaß des globalen Klimawandels abschätzen und gezielte Mitigations- und Adaptationsmaßnahmen entwickeln zu können, lässt der IPCC die zukünftige Klimaentwicklung mit einer Vielzahl von Klimamodellen unterschiedlicher Komplexität von mehreren unabhängigen Forschungsgruppen simulieren, deren Ergebnisse im 5. Sachstandsbericht¹ zu Multimodell- bzw. Ensembleergebnissen, den Repräsentativen Konzentrationspfaden (Representative Concentration Pathways - RCPs), zusammengefasst werden, um den wahrscheinlichsten Wertebereich zu erreichen. Dabei werden vier RCP-Szenarien verwendet, die von unterschiedlichen Änderungen des Strahlungsantriebes (in W/m²) zum Ende des 21. Jahrhunderts ausgehen. Diese beschreiben unterschiedliche Pfade der THG-Emissionen und atmosphärischen THG-Konzentrationen, wodurch unterschiedliche Entwicklungen des Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstums, der Energie- und Landnutzung, sowie der Einführung neuer Technologien und der Bedeutung der Klimapolitik repräsentiert werden. Alle vier RCPs gehen dabei von einer gegenüber

¹ In der vorliegenden Klimaanalyse werden ausschließlich die im 5. Sachstandsbericht des IPCC verwendeten RCP-Szenarien betrachtet. Auf die mit dem 6. Sachstandsbericht eingeführten SSP-Szenarien wird im Sinne einer einheitlichen Darstellung nicht eingegangen, da für diese Szenarien noch keine regionalisierten Ergebnisse (vgl. Kapitel 6.2) vorliegen.

der heutigen Situation höheren atmosphärischen CO₂-Konzentration im Jahre 2100 aus, allerdings in unterschiedlichem Maße. Während das RCP2.6 ein konsequentes Minderungsszenario darstellt und davon ausgeht, dass die atmosphärische CO₂-Konzentration ihren Höhepunkt im Jahr 2050 (443 ppm) erreicht und 2100 (421 ppm) nur leicht über den heutigen Werten liegen wird, beschreibt das Szenario RCP8.5 global weiterhin stark ansteigende Emissionen, die 2100 in einer sehr hohen CO₂-Konzentration in der Atmosphäre von 936 ppm resultieren. RCP4.5 und RCP6.0 liegen in ihren Annahmen zwischen diesen beiden Extremen (IPCC 2013a; IPCC 2014; Meinshausen et al. 2011).

Laut der Klimaprojektionen führen die zu erwartenden anhaltenden Emissionen von Treibhausgasen zu einer weiteren globalen Erwärmung. Abbildung 6-3 zeigt die simulierten Änderungen der mittleren globalen Erdoberflächentemperatur von 1950 bis 2100 bezogen auf den Referenzzeitraum 1986 bis 2005 für die unterschiedlichen Szenarien. Es wird projiziert, dass in Abhängigkeit vom Emissionsszenario die mittlere globale Erdoberflächentemperatur gegen Ende des 21. Jahrhunderts wahrscheinlich um 0,3 °C bis 1,7 °C (RCP2.6), 1,1 °C bis 2,6 °C (RCP4.5), 1,4 °C bis 3,1 °C (RCP6.0) bzw. 2,6 °C bis 4,8 °C ansteigen wird (IPCC 2013a; IPCC 2013b).

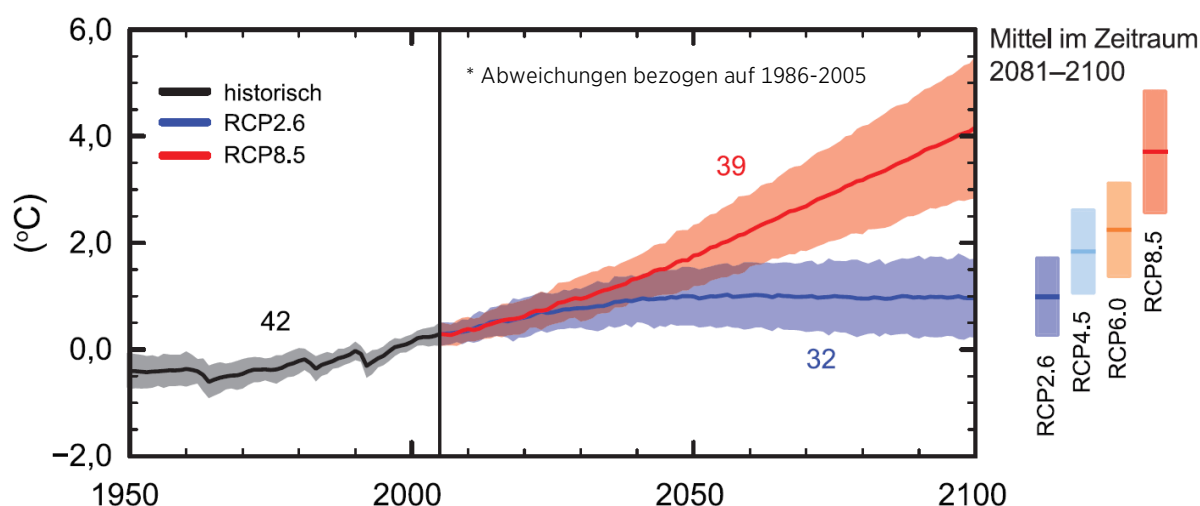


Abbildung 6-3: Multimodell-simulierte Änderung der mittleren globalen Erdoberflächentemperatur von 1950 bis 2100 (verändert nach IPCC 2013a)

Entsprechend den beobachteten Temperaturentwicklungen der Vergangenheit weisen auch die projizierten globalen Erwärmungstrends für das 21. Jahrhundert deutliche regionale Unterschiede auf (vgl. Abbildung 6-4). Dabei wird sich das Gebiet der Arktis am stärksten erwärmen und die Erwärmung insgesamt über den Kontinenten im Vergleich zu den Ozeanen höhere Werte einnehmen. Folglich werden sich über den meisten Landregionen warme Temperaturextreme und Hitzewellen mehr und an Intensität gewinnen, kalte Extreme hingegen an Auftrittshäufigkeit verlieren. Die global steigenden Temperaturen im Laufe des 21. Jahrhunderts sorgen zudem für regionale Änderungen im globalen Wasserkreislauf. Während die mittleren Jahresniederschläge in den hohen Breiten und in Äquatornähe über dem Pazifik deutliche Anstiege aufweisen, werden die Niederschläge in den Subtropen und vielen bereits heute trockenen Regionen der mittleren Breiten abnehmen. Auch bezüglich der Niederschläge ist davon auszugehen, dass sich Extremereignisse häufen und an Intensität gewinnen werden. Darüber hinaus wird ein weiterer Anstieg der Wassertemperatur des oberen Ozeans von 0,6 °C (RCP2.6) bis 2,0 °C (RCP8.5) zum Ende dieses Jahrhunderts projiziert sowie ein anhaltender Rückgang der flächenhaften Schneebedeckung in der Nordhemisphäre (7 % unter RCP2.6 bzw. 25 % unter RCP8.5), des arktischen Meereises (43 % unter RCP2.6 bzw. 94 % unter RCP8.5 für den Monat September) und der weltweiten Gletschervolumina (15 % bis 45 % unter RCP2.6 bzw. 25 % bis 85 % unter RCP8.5). Infolgedessen wird der mittlere globale Meeresspiegel weiterhin ansteigen, und zwar schneller als bisher. Für den Zeitraum 2081-2100 wurde bezogen auf 1986-2005 ein Anstieg des Meeresspiegels zwischen 0,26 m bis 0,55 m (RCP2.6) bzw. 0,45 bis 0,98 m (RCP8.5) simuliert (IPCC 2013a).

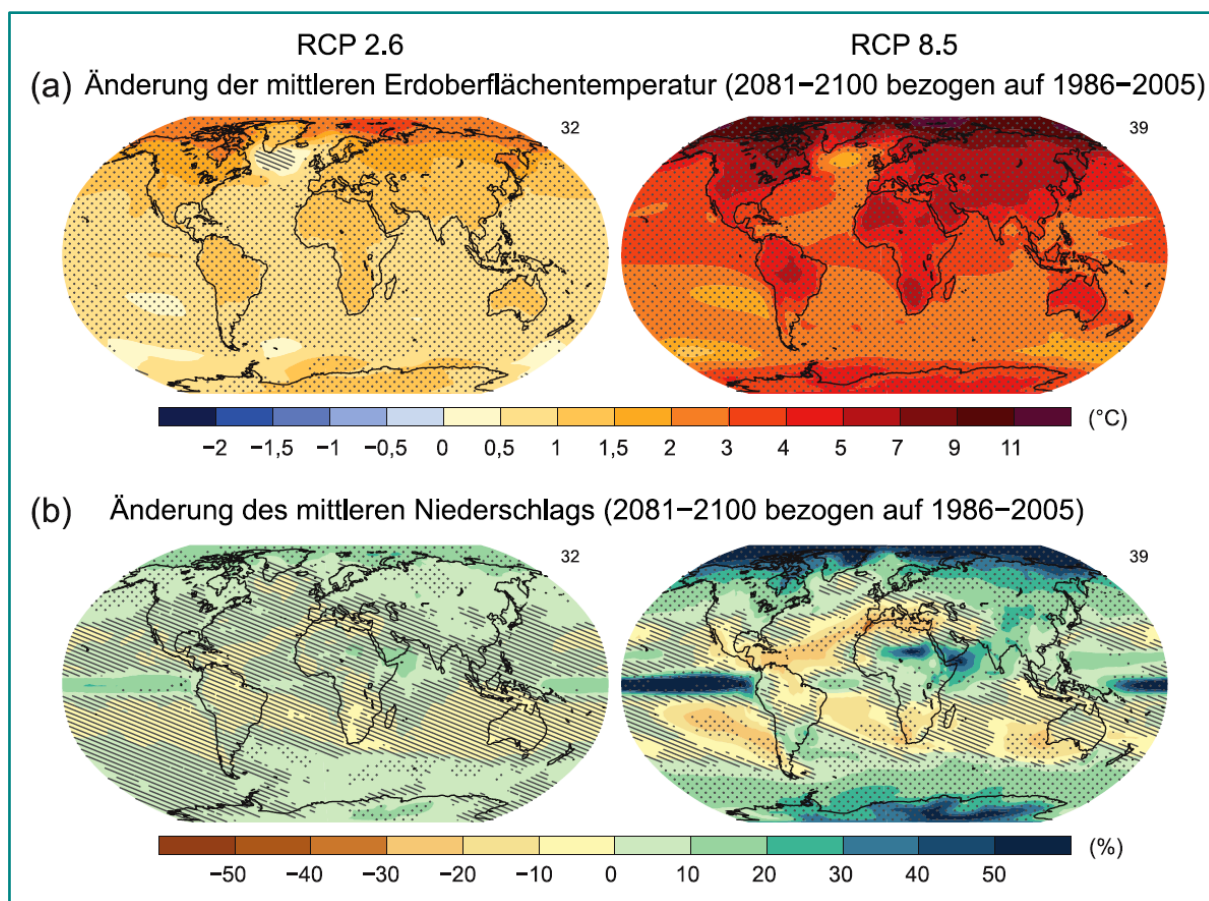


Abbildung 6-4: Globale Verteilung der Veränderung der mittleren Erdoberflächentemperatur (a) und des mittleren Niederschlags (b), basierend auf Multimodell-Mittel-Projektionen für 2081-2100 gegenüber 1986-2005 für die Szenarien RCP2.6 und RCP8.5 (IPCC 2013a)

Die beschriebenen projizierten Klimaveränderungen im Laufe des 21. Jahrhunderts und deren Auswirkungen auf die verschiedenen Subsysteme unseres Planeten werden die bereits geschilderten Folgen für Mensch und Natur weiter verschärfen. So werden durch den Klimawandel immer mehr biologische Arten vom Aussterben bedroht sein. Viele Pflanzenarten können ihre geographischen Verbreitungsgebiete nicht schnell genug verlagern. Meeresbewohner sind einer fortschreitenden Ozeanversauerung, geringeren Sauerstoffgehalten und höheren Wassertemperaturen ausgesetzt, was unter anderem zu Veränderungen des Fischfangpotenzials führt. Auch auf Ernteerträge von Kulturpflanzen (z. B. Weizen, Mais, Reis) wirkt sich der Klimawandel in vielen Regionen negativ aus. Zudem führt eine Verringerung der Wasserressourcen in immer mehr Bereichen zu einem verstärkten Wettbewerb um dieses Gut. Insgesamt werden die Folgen des Klimawandels vor dem Hintergrund eines steigenden Nahrungsmittelbedarfs infolge des weiteren Wachstums

der Weltbevölkerung die globale Ernährungssituation verschärfen. Die Ressourcenknappheit und auch der Anstieg des Meeresspiegels, wodurch einige Küstenregionen, Inseln und tiefliegenden Gebiete bedroht werden, können in klimawandelbedingten Migrationsbewegungen ganzer Bevölkerungsgruppen resultieren (IPCC 2014).

Selbst bei einem sofortigen weltweiten Stopp der anthropogenen THG-Emissionen würden sich viele der vorgenannten Aspekte des Klimawandels (z. B. Ozeanerwärmung und Meeresspiegelanstieg) aufgrund der Trägheit des Gesamtsystems wahrscheinlich noch über die kommenden Jahrhunderte hinweg auswirken (IPCC 2013a). Daher gilt es, sich auf die Ausprägungen und Folgen des Klimawandels einzustellen und Anpassungsstrategien zu entwickeln, die die räumliche Variabilität der projizierten Klimaänderungen berücksichtigt. Hierzu sind zunächst jedoch Kenntnisse der regionalen Ausprägung und Auswirkungen des Klimawandels erforderlich.

6.2 Auswirkungen des globalen Klimawandels auf die Region Ruhr

Dass der Klimawandel auch in der Metropolregion Ruhr bereits stattfindet, lässt sich am besten anhand von Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) verdeutlichen. Über das sog. Climate Data Center (CDC) stellt der DWD seine umfangreichen und vielfältigen Klimadaten im Internet zum entgeltfreien Download und zur freien Weiterverwendung bereit. Hierzu zählen unter anderem Zeitreihen gemessener Parameter der zahlreichen DWD-Stationen sowie weiterer, daraus abgeleiteter Parameter für die Stationsstandorte und auf Basis der Messdaten in die Fläche interpolierte Rasterfelder für ganz Deutschland, die in einem Geoinformationssystem weiterverarbeitet werden können.

Der Deutsche Wetterdienst betreibt am Standort der Niederlassung Essen an der Wallneyer Straße eine Wetterstation, deren Datenreihen teilweise bis in das späte 19. Jahrhundert zurückreichen. Zwar wurde die Station in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts durch Vorgängerorganisationen des DWD mehrfach verlegt, allerdings befand sie sich immer in der Nähe des heutigen Standortes. Die Station

liegt in einem ländlich geprägten Umfeld und ist somit unbeeinflusst von den stadtklimatischen Bedingungen der zunehmenden Verstädterung Essens im Laufe des 20. Jahrhunderts. Die ausgewerteten Datenreihen umfassen den Zeitraum von 1900 (Niederschlag) bzw. 1901 (Temperatur) und im Falle der klimatologischen Kenntage (Sommertage, Heiße Tage und Frosttage) von 1935 bis in das Jahr 2023. Lediglich vereinzelt sind dabei Datenausfälle in den Jahren des ersten und zweiten Weltkrieges zu verzeichnen (graue Balken in den Grafiken). Mit Hilfe der langjährigen Datenreihen der Station Essen-Bredeney sowie der im weiteren Verlauf dargestellten, interpolierten Rasterfelder ist es daher möglich, eine Aussage zum Trend der bereits vollzogenen Klimaentwicklung in der Region zu treffen.

In Abbildung 6-6 sind die Jahresmittelwerte der Lufttemperatur von 1901 bis 2023 der DWD-Station Essen-Bredeney dargestellt. Dabei beträgt die mittlere Jahresdurchschnittstemperatur für den gesamten Zeitraum von 1901 bis 2023 im Essener Süden 9,79 °C. Die geringste Jahresmitteltemperatur wurde mit 8,15 °C im Jahr 1956 verzeichnet, während das Jahr 2022 mit 12,0 °C den höchsten Wert aufweist. Besonders auffällig ist, dass die 14 wärmsten Jahre (siehe rotgefärbte Balken) dieser 123-jährigen Zeitreihe alle erst nach 1988 aufgetreten sind. Nicht nur an der linearen Regressionsgeraden, sondern auch anhand der vieljährigen Mittelwerte der Lufttemperatur für unterschiedliche 30-jährige Zeiträume (Klimanormalperioden) wird der Anstieg der Jahresmitteltemperaturen in den vergangenen 123 Jahren am Standort Essen-Bredeney deutlich. Während die vieljährige Jahresmitteltemperatur für den Zeitraum von 1961 bis 1990 noch 9,56 °C betrug, nahm sie in der direkt anschließenden Klimanormalperiode von 1991 bis 2020 bereits einen um fast 1 K erhöhten Wert von 10,54 °C ein. Im Vergleich zu den ersten 30 Jahren des 20. Jahrhunderts (9,37 °C) ergibt sich für den Zeitraum 1991 bis 2020 sogar eine Erhöhung um 1,17 K.

In Abbildung 6-7 wird anhand der vieljährigen Monatsmittel der Lufttemperatur deutlich, dass für den Zeitraum von 1991 bis 2020 im Vergleich zu den betrachteten vorherigen 30-jährigen Perioden sowie im Vergleich zum Mittel der gesamten Zeitreihe für alle Monate des Jahres eine Temperaturerhöhung festzustellen ist. Dabei treten die größten Differenzen zwischen der Klimanormalperiode von 1991 bis

2020 und dem Mittel des Gesamtzeitraums im April (+1,5 K), Juli und August (jeweils +1,1 K) auf, während die geringsten mittleren Temperaturerhöhungen in den Monaten September, Oktober und Dezember (jeweils +0,5 K) festzustellen sind.

Neben einer Erhöhung der Jahresmitteltemperaturen und der vieljährigen Monatsmitteltemperaturen konnte anhand der langjährigen Datenreihen des DWD für die Station Essen-Bredeney auch eine deutliche Zunahme der Häufigkeit von Sommertagen (Tages-Maximum der Lufttemperatur $\geq 25\text{ °C}$) und Heißen Tagen (Tages-Maximum der Lufttemperatur $\geq 30\text{ °C}$) nachgewiesen werden (siehe Abbildung 6-8 und 8-9). Während die jährliche Anzahl an Sommertagen im Zeitraum von 1961 bis 1990 im Mittel noch 21,7 betrug, stieg dieser Wert in der darauffolgenden Klimanormalperiode (1991-2020) auf im Mittel 32,3 Tage an, was einer Erhöhung von knapp 50 % entspricht. Hinsichtlich der Heißen Tage ist von im Mittel 3,0 (1961-1990) auf 6,7 (1991-2020) sogar mehr als eine Verdoppelung zu konstatieren. Zudem ist in Abbildung 6-9 ein deutlicher Rückgang der jährlichen Anzahl der Frosttage (Tages-Minimum der Lufttemperatur $< 0\text{ °C}$) zu beobachten. Traten im Zeitraum von 1961 bis 1990 im Mittel noch 53,7 Frosttage auf, so waren es zwischen 1991 und 2020 im Durchschnitt nur 45,2 Frosttage, was einer Reduzierung um 15,8 % entspricht.

Bezüglich der Jahressummen der Niederschlagshöhe (siehe Abbildung 6-10) lässt sich kein signifikanter Trend innerhalb der Zeitreihe von 1900 bis 2023 am Standort im Essener Süden erkennen. Der mittlere jährliche Niederschlag für den gesamten Zeitraum beträgt 918,0 mm, wobei die natürlichen Schwankungen einen Wertebereich zwischen 573,0 mm (1959) und 1.372,1 mm (2023) einnehmen.

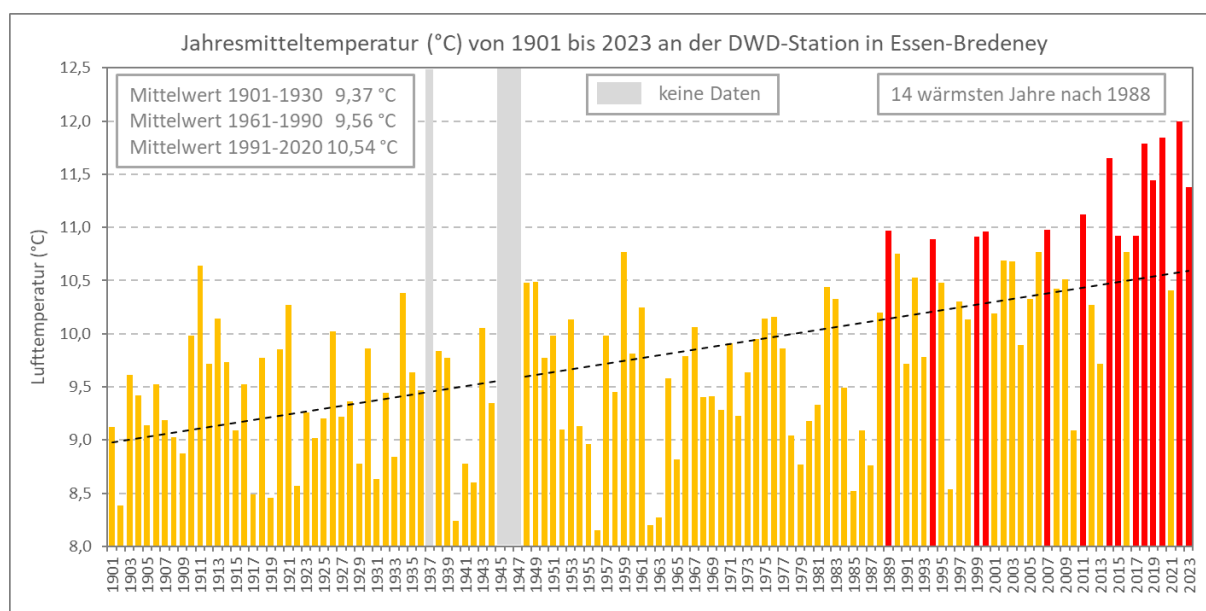


Abbildung 6-5: Jahresmitteltemperaturen (°C) von 1901 bis 2023 an der DWD-Station in Essen-Bredeney. Die 14 wärmsten Jahre sind in Rot dargestellt. (Datenquelle: DWD Climate Data Center (CDC): Jahresmittel der Stationsmessungen der Lufttemperatur auf 2 m Höhe in °C für Deutschland, Version v19.3, abgerufen am 26.06.2024)

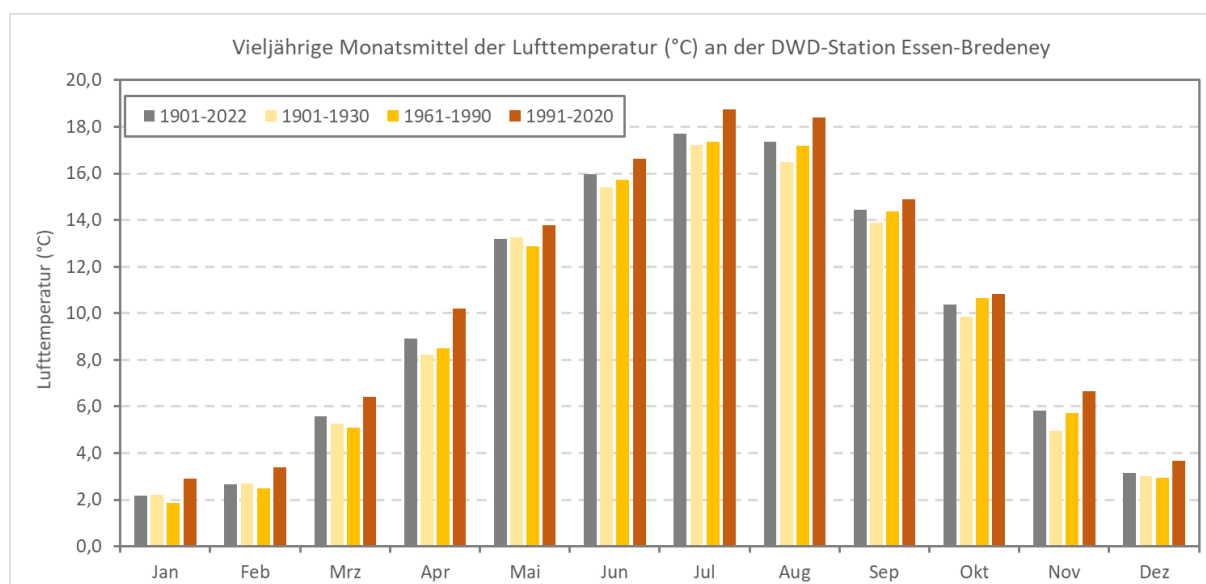


Abbildung 6-6: Vieljährige Monatsmittel der Lufttemperatur (°C) an der DWD-Station Essen-Bredeney (Datenquelle: DWD Climate Data Center (CDC): Monatsmittel der Stationsmessungen der Lufttemperatur auf 2 m Höhe in °C für Deutschland, Version v19.3, abgerufen am 23.10.2023)

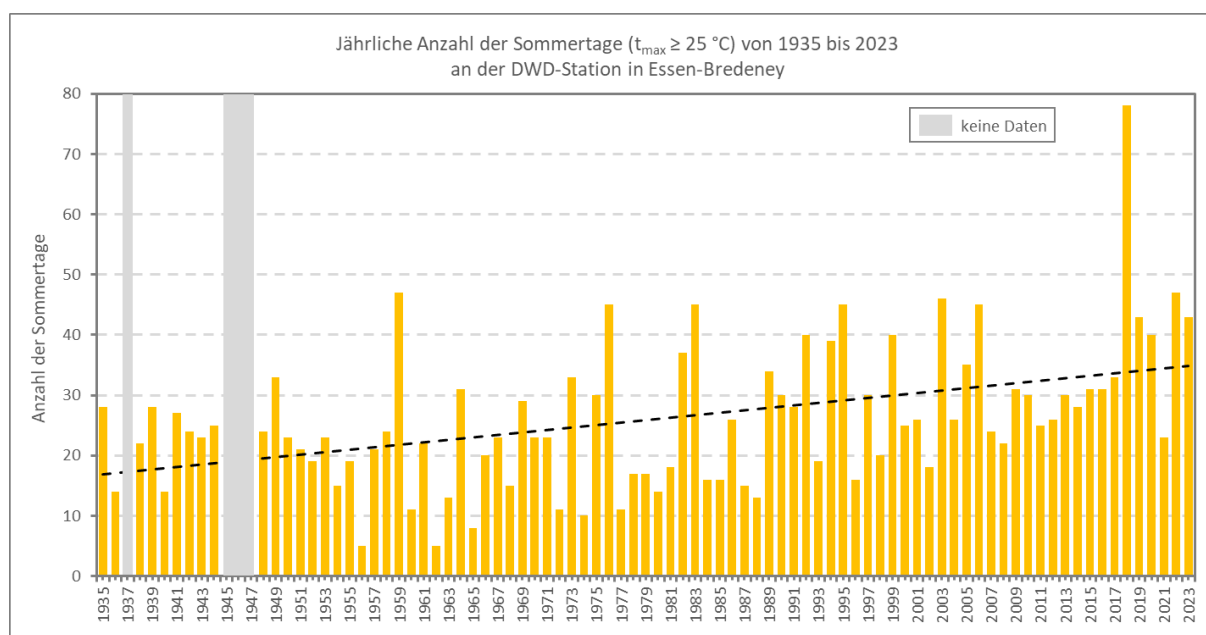


Abbildung 6-7: Jährliche Anzahl an Sommertagen ($t_{\max} \geq 25 \text{ °C}$) von 1935 bis 2023 an der DWD-Station Essen-Bredeney (Datenquelle: DWD Climate Data Center (CDC): Tägliche Stationsmessungen des Maximums der Lufttemperatur auf 2 m Höhe in °C für Deutschland, Version v19.3, abgerufen am 26.06.2024)

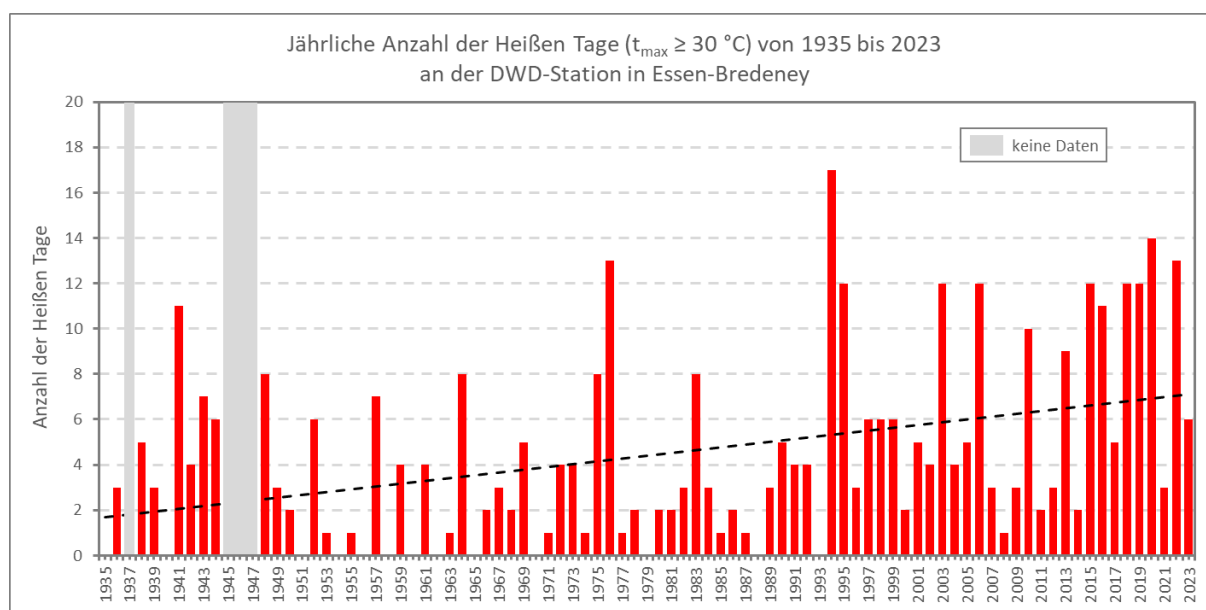


Abbildung 6-8: Jährliche Anzahl an Heißen Tagen ($t_{\max} \geq 30 \text{ °C}$) von 1935 bis 2023 an der DWD-Station Essen-Bredeney (Datenquelle: DWD Climate Data Center (CDC): Tägliche Stationsmessungen des Maximums der Lufttemperatur auf 2 m Höhe in °C für Deutschland, Version v19.3, abgerufen am 26.06.2024)

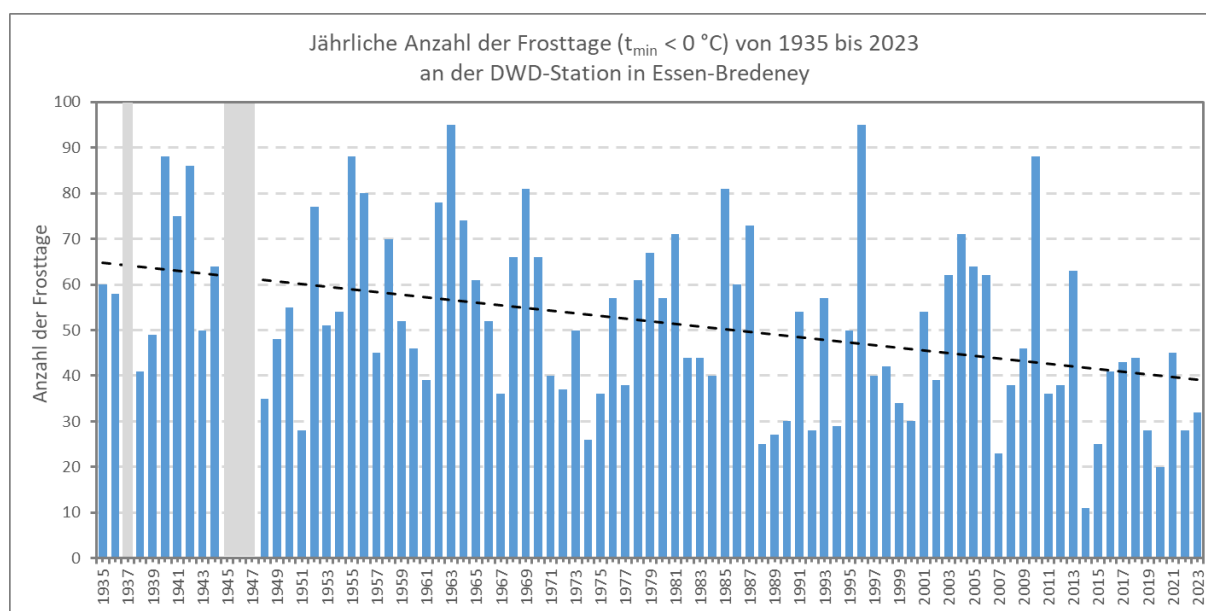


Abbildung 6-9: Jährliche Anzahl der Frosttage ($t_{\min} < 0\text{ °C}$) von 1935 bis 2023 an der DWD-Station Essen-Bredeney (Datenquelle: DWD Climate Data Center (CDC): Tägliche Stationsmessungen des Minimums der Lufttemperatur auf 2 m Höhe in °C für Deutschland, Version v19.3, abgerufen am 26.06.2024)

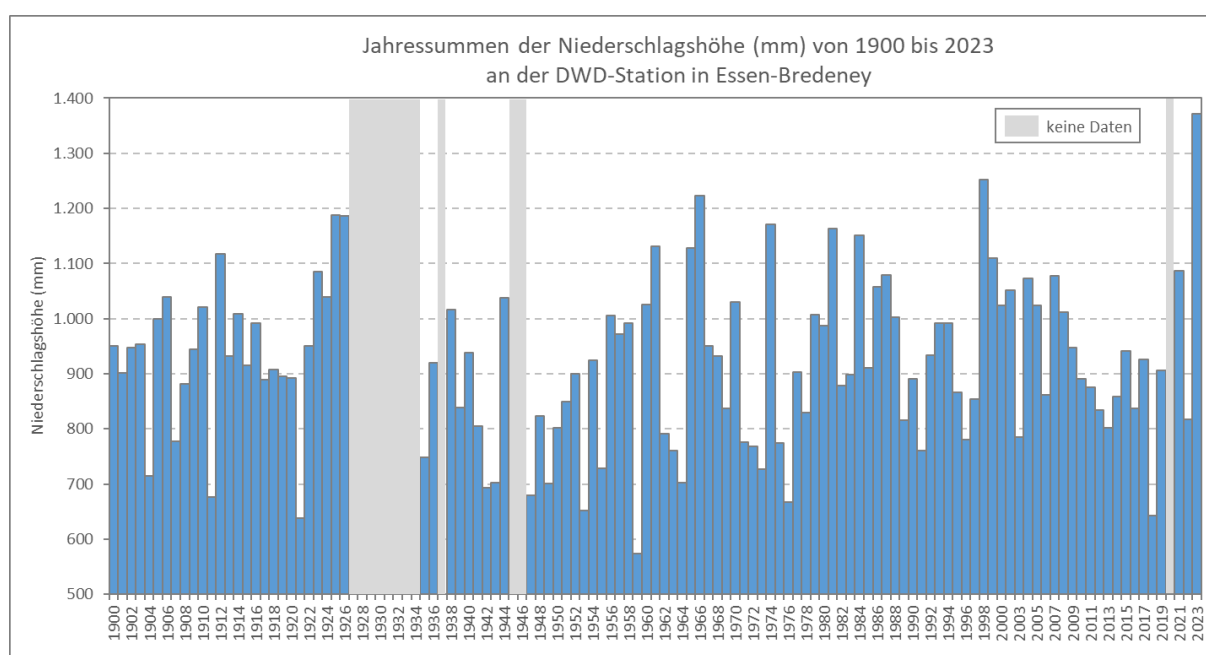


Abbildung 6-10: Jahressummen der Niederschlagshöhe (mm) von 1900 bis 2023 an der DWD-Station Essen-Bredeney (Datenquelle: DWD Climate Data Center (CDC): Jahressumme der Stationsmessungen der Niederschlagshöhe in mm für Deutschland, Version v19.3, abgerufen am 26.06.2024)

Wie bereits erwähnt, stellt der Deutsche Wetterdienst über das Climate Data Center im Internet neben den Stationsdaten auch eine Vielzahl an Rasterdaten zur Verfügung, die in einem Geoinformationssystem weiterverarbeitet werden können. Die Raster werden aus Daten der DWD-Stationen sowie qualitativ gleichgestellten Partnernetzstationen des DWD in Deutschland erzeugt. Dabei wird der Einfluss der Höhenlage in Form einer Höhenregression berücksichtigt und für die Interpolation das Inverse Distance Weight-Verfahren angewandt. Das dabei eingesetzte digitale Höhenmodell definiert die räumliche Auflösung der erzeugten Rasterdaten von 1 km x 1 km.

Die Rasterdaten haben den Vorteil, dass sie flächendeckende Informationen über die räumliche Verteilung verschiedener Klimaparameter und deren Entwicklung in den vergangenen Jahrzehnten liefern können, während die Messdaten einer Station lediglich die klimatischen Verhältnisse an dem jeweiligen Standort repräsentieren. Hinsichtlich der Interpretation ist allerdings zu beachten, dass bei der Erstellung der interpolierten Raster aus den Stationsdaten neben der Höhenlage keine weiteren klima- und witterungsbeeinflussenden Faktoren, wie beispielsweise die Flächennutzung, berücksichtigt wurden. Somit können lokalklimatisch relevante Prozesse, wie zum Beispiel städtische Wärmeinsel-Effekte oder Kaltluftdynamiken, hierbei nicht abgebildet werden. Da die meisten Stationen des DWD im ländlichen Raum verortet sind, werden die klimatischen Verhältnisse innerhalb der Siedlungsbereiche von Städten bei der Interpolation nicht hinreichend wiedergegeben, was es insbesondere im zentralen Ballungsgebiet der Metropole Ruhr zu beachten gilt. In Abbildung 6-11 ist die räumliche Verteilung des vieljährigen Mittels der Lufttemperatur in der Metropole Ruhr sowie deren Entwicklung zwischen den beiden Klimareferenzperioden 1961-1990 und 1991-2020 dargestellt. Grundsätzlich ist für die gesamte Metropole Ruhr eine deutliche Temperaturzunahme zu erkennen. Für beide 30-jährigen Zeiträume ergeben sich dabei die niedrigsten durchschnittlichen Jahresmitteltemperaturen im Süden des Ennepe-Ruhr-Kreises insbesondere in Breckerfeld sowie im Süden der Stadt Hagen und die höchsten Werte in der Rheinschiene mit jeweils einem Maximum in Duisburg. Dabei sind allerdings leichte Unterschiede in der Intensität der Erwärmung zu beobachten. Während das geringste vieljährige Mittel der Lufttemperatur in Breckerfeld im Zeitraum 1961-1990 bei

7,8 °C lag, erhöhte sich dieser Wert für den Zeitraum 1991-2020 um 0,8 K auf 8,6 °C. Der höchste Wert innerhalb der Metropole Ruhr betrug 1961-1990 in Duisburg 10,8 °C und in der Referenzperiode 1991-2020 11,4 °C, was einem Anstieg von 0,6 K entspricht.

Die Entwicklung und Verteilung der mittleren jährlichen Anzahl an Sommertagen in der Metropole Ruhr zeigt Abbildung 6-12 auf. Grundsätzlich zeigen sich ähnliche Verteilungsmuster und Entwicklungstendenzen wie beim vieljährigen Mittel der Lufttemperatur. Bei insgesamt erhöhter Anzahl an Sommertagen im Zeitraum 1991-2020 in der ganzen Metropole Ruhr ergeben sich wiederum die geringsten Werte mit 16 (1961-1990) bzw. 25 (1991-2020) Sommertagen in Breckerfeld und die höchsten Werte mit 36 bzw. 45 Sommertagen in Duisburg. Dabei fällt auf, dass für beide Bereiche der absolute Anstieg der Sommertage zwischen den beiden Referenzperioden neun Tage beträgt. In weiten Teilen der nördlichen Metropolregion, unter anderem in den Städten Gelsenkirchen, Bottrop, Herne sowie dem Kreis Recklinghausen und Kreis Wesel, ist die Anzahl der Sommertage von 28 auf 41 Tage angestiegen, was eine Erhöhung um 13 Sommertage bedeutet. Bezüglich der heißen Tagen (siehe Abbildung 6-13) ist ebenfalls eine Erhöhung der mittleren jährlichen Anzahl in der gesamten Metropole Ruhr zwischen den betrachteten Klimanormalperioden zu verzeichnen.

Hinsichtlich der Verteilung und Entwicklung der Frosttage (siehe Abbildung 6-14) ergibt sich ein sehr differenziertes Bild in der Metropole Ruhr. Einerseits sind für einige Bereiche, wie in Ennepetal und Breckerfeld sowie in Selm und Bergkamen, eine deutliche Reduzierung der mittleren Anzahl an Frosttagen zwischen den beiden Referenzperioden zu beobachten, andererseits sind Bereiche unter anderem am Niederrhein oder in Dortmund zu identifizieren, wo die Werte zwischen den beiden Zeiträumen auf einem vergleichbaren Niveau sind.

In Abbildung 6-15 werden die vieljährigen Mittel der Niederschlagshöhen in der Metropole Ruhr für die beiden 30-jährigen Referenzperioden dargestellt. Wie bereits bei den Daten der Wetterstation Essen-Bredeney beobachtet werden konnte, ist hinsichtlich der Niederschlagshöhe auch in der Metropole Ruhr keine große Veränderung zwischen den betrachteten Klimanormalperioden festzustellen. Während das Wertespektrum im Zeitraum 1961-1990 Jahresniederschlagssummen zwischen

694 und 1.360 mm aufweist, lagen die Werte im vieljährigen Mittel für die Referenzperiode 1991-2020 zwischen 726 und 1.316 mm. Zudem sind auch hinsichtlich der räumlichen Verteilung der Niederschlagssummen im vieljährigen Mittel der beiden Klimanormalperioden kaum Unterschiede zu erkennen. Insgesamt werden für beide Zeiträume die höchsten Werte mit über 1.000 mm im Übergang zum Bergischen Land im Ennepe-Ruhr-Kreis und dem Süden von Hagen erreicht, während die geringsten Jahresniederschlagssummen im vieljährigen Mittel mit Werten unter 800 mm einerseits am Niederrhein in Duisburg und dem Kreis Wesel sowie andererseits in einem Bereich vom Dortmunder Norden in Richtung Osten bis nach Hamm zu verzeichnen sind.

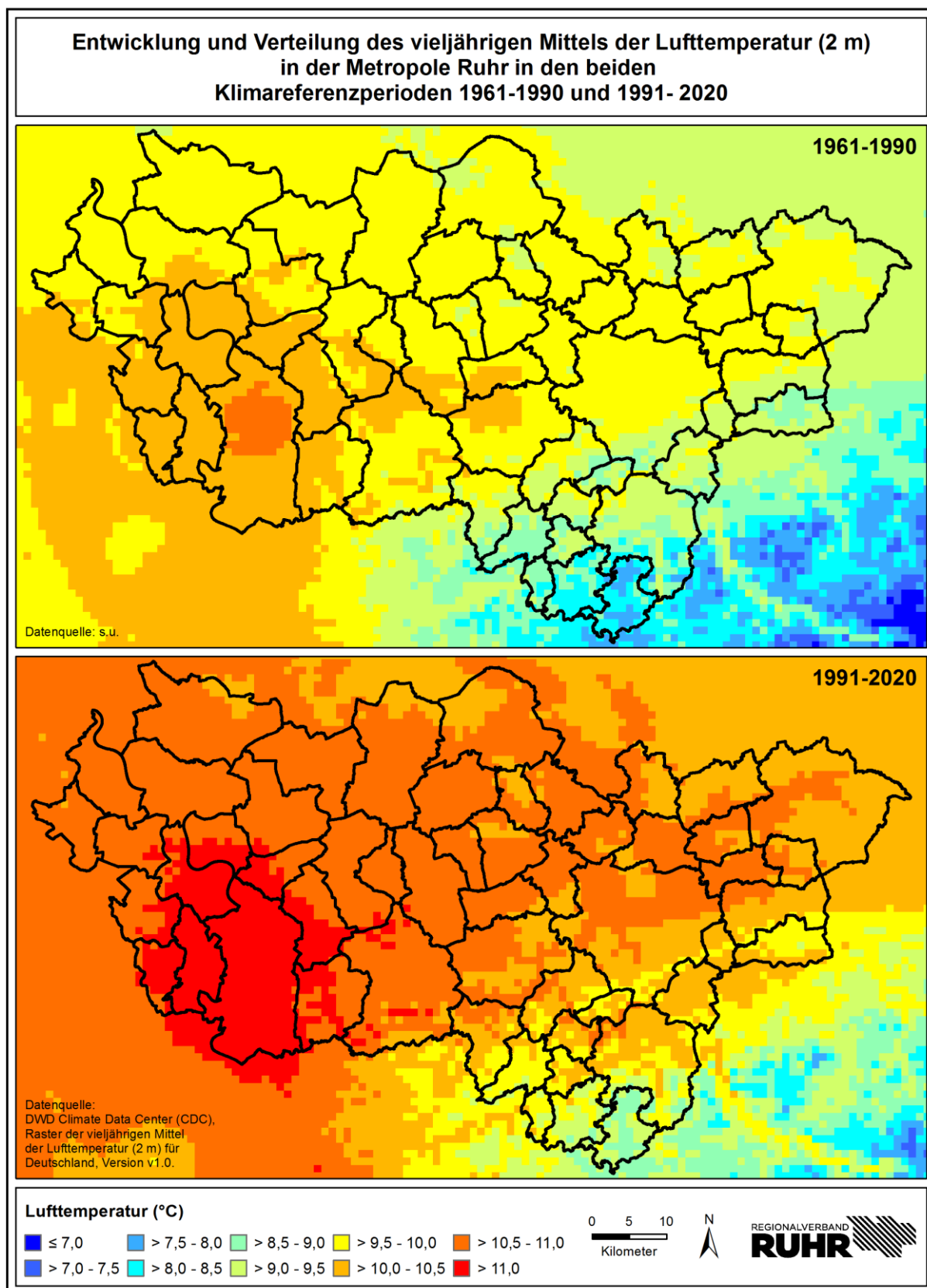


Abbildung 6-11: Entwicklung und Verteilung des vieljährigen Mittels der Lufttemperatur in der Metropole Ruhr in den beiden Klimanormalperioden 1961-1990 und 1991-2020 (Datenquelle: DWD, Climate Data Center)

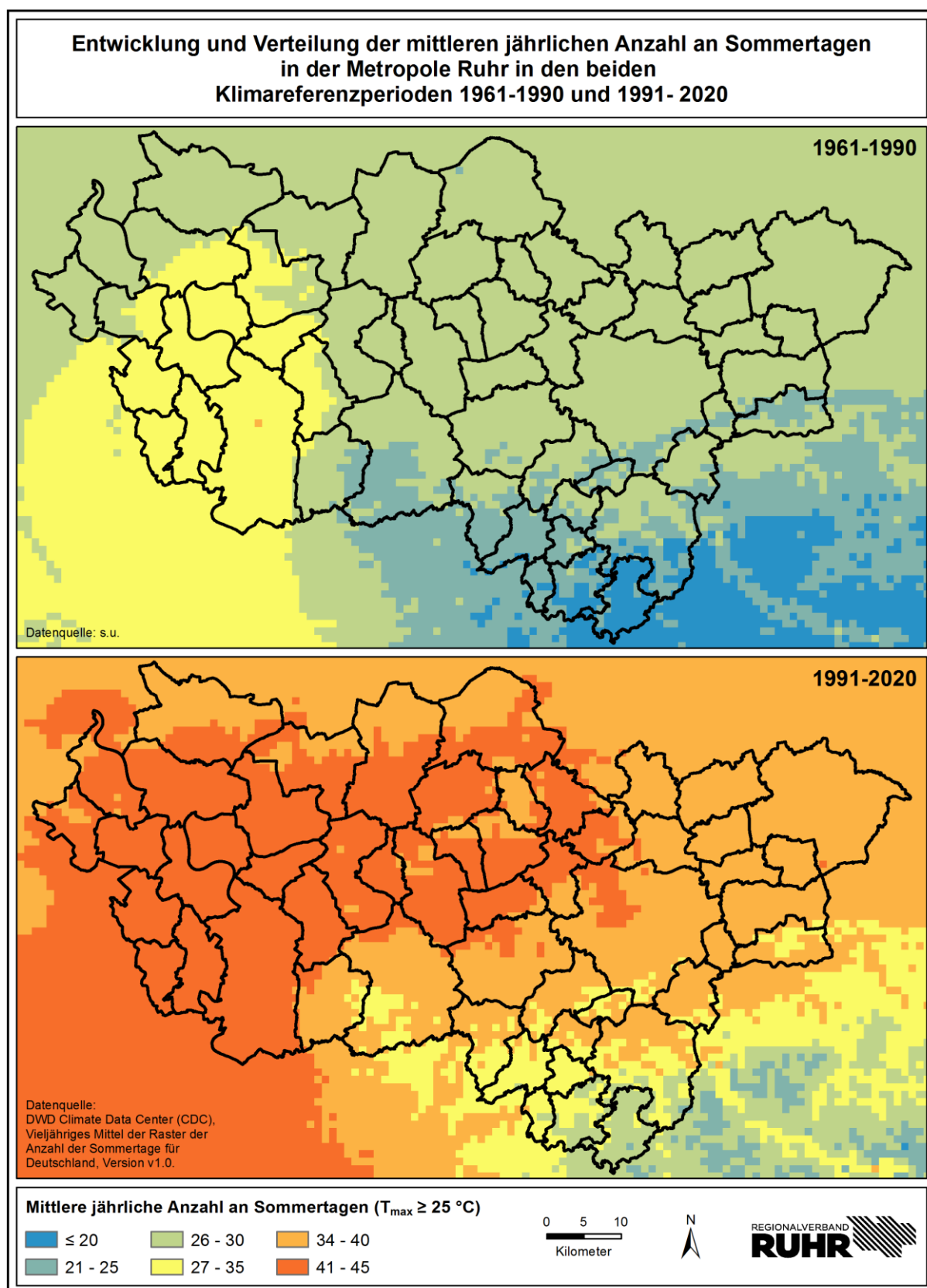


Abbildung 6-12: Entwicklung und Verteilung des mittleren jährlichen Anzahl an Sommertagen in der Metropole Ruhr in den beiden Klimanormalperioden 1961-1990 und 1991-2020 (Datenquelle: DWD, Climate Data Center)

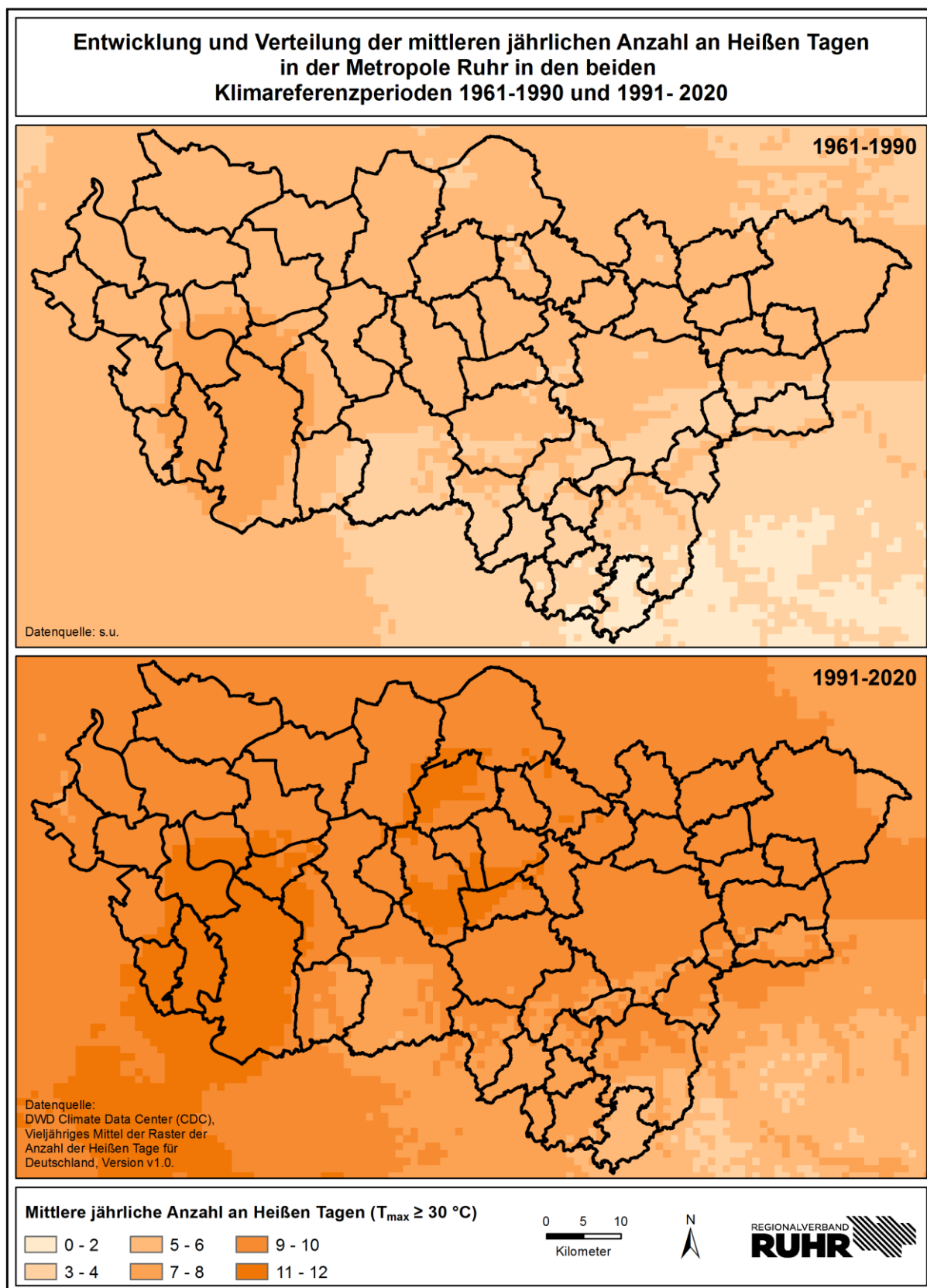


Abbildung 6-13: Entwicklung und Verteilung des mittleren jährlichen Anzahl an Heißen Tagen in der Metropole Ruhr in den beiden Klimanormalperioden 1961-1990 und 1991-2020 (Datenquelle: DWD, Climate Data Center)

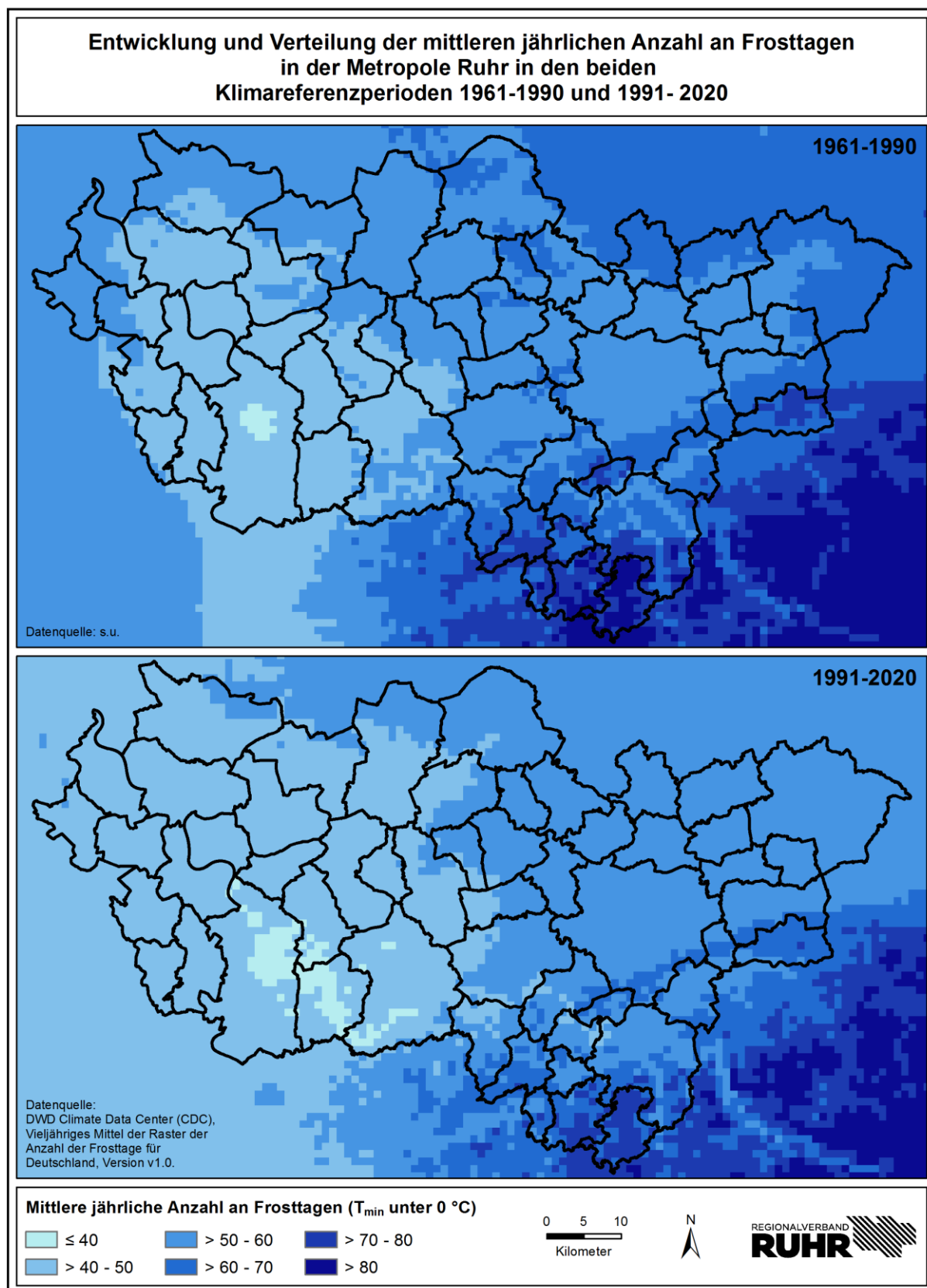


Abbildung 6-14: Entwicklung und Verteilung des mittleren jährlichen Anzahl an Frosttagen in der Metropole Ruhr in den beiden Klimanormalperioden 1961-1990 und 1991-2020 (Datenquelle: DWD, Climate Data Center)

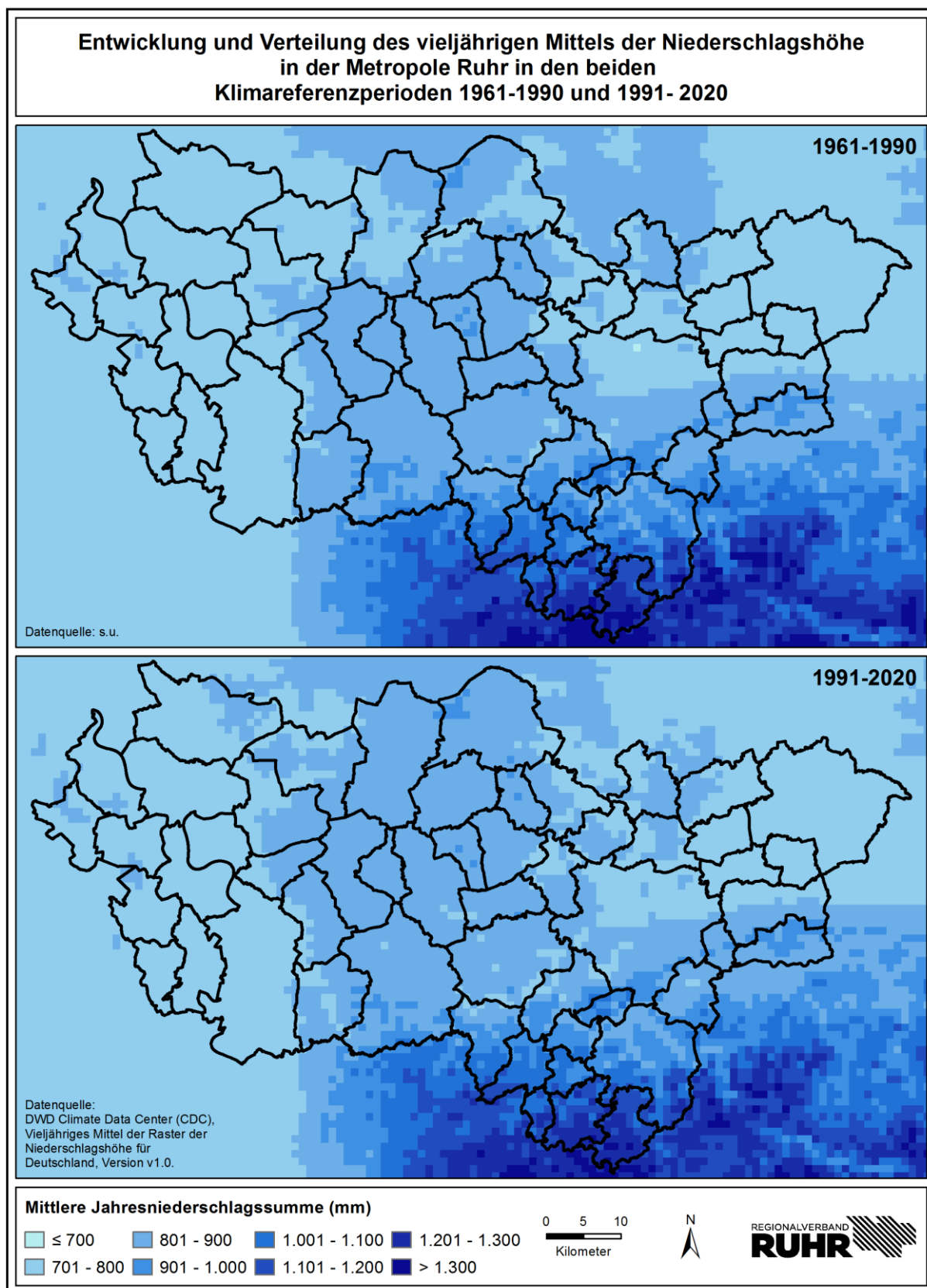


Abbildung 6-15: Entwicklung und Verteilung des vieljährigen Mittels der Niederschlagshöhe in der Metropole Ruhr in den beiden Klimanormalperioden 1961-1990 und 1991-2020 (Datenquelle: DWD, Climate Data Center)

Um eine differenzierte Abschätzung über die zukünftige klimatische Entwicklung und deren Auswirkungen auf regionaler Ebene zu erhalten, sind die von den globalen Klimamodellen getroffenen Aussagen, welche auf einer räumlichen Auflösung von 100-200 km basieren, zu verfeinern. Dabei werden die vom Deutschen Wetterdienst (DWD) bearbeiteten Darstellungen des EURO-Cordex-Projektes mit einer Rasterzellenauflösung von 12,5 km x 12,5 km betrachtet.

In den Abbildung 6-16 und Abbildung 6-17 werden die flächenhaften Ausprägungen des Klimawandels im Ruhrgebiet auf die Jahresmitteltemperaturen und -niederschlagssummen anhand eines Vergleichs der Bezugszeiträume 1971-2000 und 2021-2050 für die Szenarien RCP4.5 und RCP8.5 dargestellt. Im Vergleich der beiden Szenarien werden Unterschiede in der Ausprägung der zu erwartende Erwärmung deutlich. Beide Szenarien simulieren jedoch einen Anstieg der Jahresmitteltemperatur in der Metropole Ruhr bis Mitte des Jahrhunderts um 0,7 bis 1,8 K gegenüber dem Zeitraum 1971-2000. Bezüglich der Jahresniederschlagssummen zeigen beide Szenarien einen Anstieg um bis zu 14,5 Prozent.

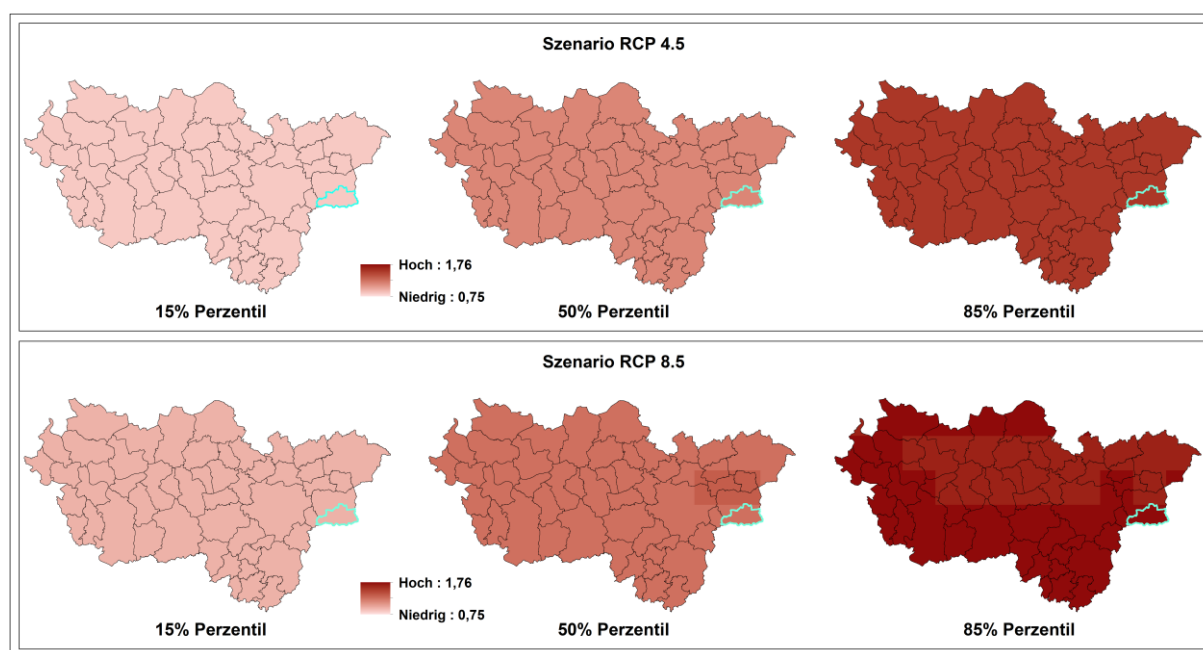


Abbildung 6-16: Differenz der Jahresmitteltemperaturen (in K) in der Metropole Ruhr zwischen den Klimanormalperioden 1971-2000 und 2021-2050 basierend auf Ensemble-Rechnungen für die Szenarien RCP4.5 und 8.5 (Eigene Darstellung auf Basis von EURO-Cordex-Projekt (Datengrundlage), DWD (Datenbearbeitung), LANUV NRW (Datenvermittler))

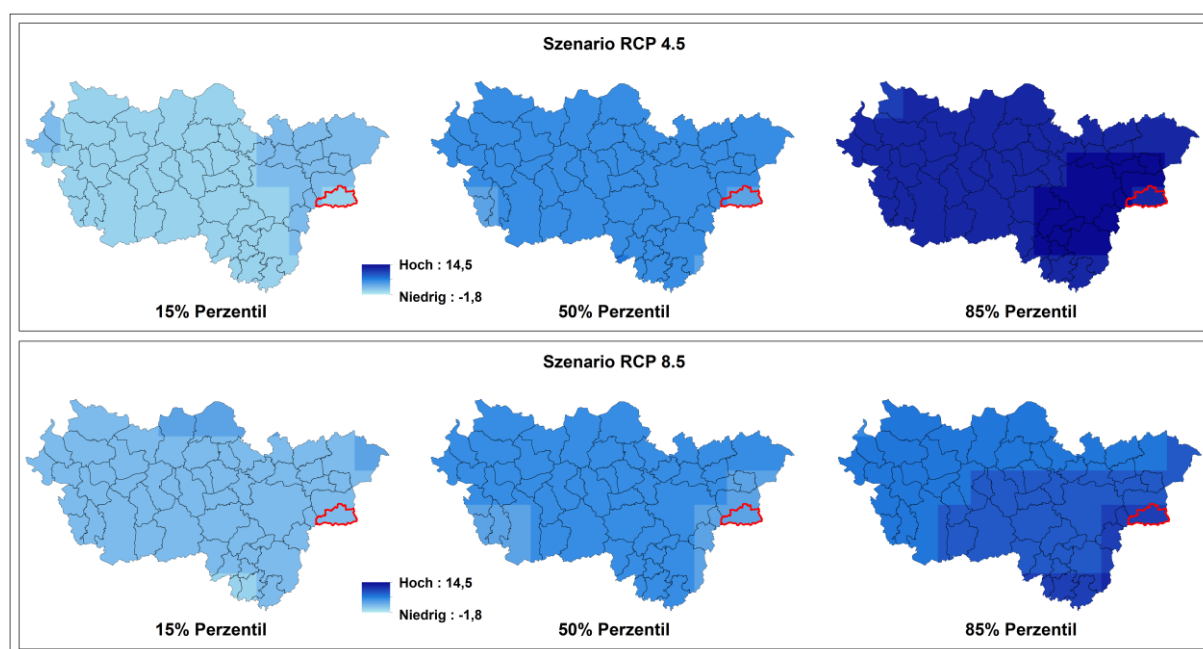


Abbildung 6-17: Differenz der mittleren Niederschlagssummen (in %) in der Metropole Ruhr zwischen den Klimanormalperioden 1971-2000 und 2021-2050 basierend auf Ensemble-Rechnungen für die Szenarien RCP4.5 und 8.5 (Eigene Darstellung auf Basis von EURO-Cordex-Projekt (Datengrundlage), DWD (Datenbearbeitung), LANUV NRW (Datenvermittler))

Neben einem Anstieg der mittleren Verhältnisse von Lufttemperatur und Niederschlag kann auch für das Ruhrgebiet davon ausgegangen werden, dass sich die Häufigkeit und Intensität von Extremwetterereignissen in Zukunft verändern werden. Hierzu zählen unter anderem häufigere Sommergewitter mit Starkregen sowie ein vermehrtes Auftreten von Hitzeperioden. Beispielsweise wird sich die Anzahl von Sommertagen ($T_{\max} \geq 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$) und Heißen Tagen ($T_{\max} \geq 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$) nahezu verdoppeln. Letzteres liegt darin begründet, dass sich das Spektrum der Großwetterlagen in Mitteleuropa im Zuge des Klimawandels verändern wird. Die Häufigkeit von Hochdruckwetterlagen mit austauscharmen Witterungsverhältnissen wird in ganz Mitteleuropa zunehmen. Da sich die gegenüber dem unbebauten Umland negativen klimatischen Verhältnisse in Städten während dieser austauscharmen Wetterlagen am stärksten ausprägen, ist davon auszugehen, dass der Klimawandel zu einer Verschärfung der stadtklimatischen Verhältnisse im Ruhrgebiet führen wird. Dies wird sich beispielsweise in einer häufigeren, länger andauernden und intensiveren Ausprägung städtischer Wärmeinseln darstellen (Kuttler 2010).

Vor diesem Hintergrund wird im folgenden Kapitel 6.3 die zukünftige Entwicklung klimatischer Kennwerte im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr aufgezeigt.

6.3 Zukünftige Entwicklung klimatischer Kenntage in Fröndenberg/Ruhr

Anhand der zeitlichen Entwicklung und räumlichen Verteilung klimatischer Kenntage, also der Häufigkeit des Auftretens von thermischen Extremereignissen wie besonders heißen Tagen oder Nächten, lässt sich die thermische Belastungssituation in unterschiedlich dicht bebauten Bereichen einer Stadt aufzeigen.

Zur Ermittlung der zeitlichen Entwicklung und räumlichen Verteilung klimatischer Parameter im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr wurde für die Modellierung der meteorologischen Grundlagendaten zum Klimawandel für zwei Zeitschnitte das Methoden-Paket „ENVELOPE“ angewendet.

„...Das Paket koppelt das mesoskalige Stadtklimamodell FITNAH-3D mit den aktuellsten Ergebnissen regionaler Klimamodell-Ensemble Rechnungen und erlaubt auf diese Weise die numerische Simulation stadtklimatisch relevanter Parameter. Entsprechend des Projektansatzes werden sich die Modellanalysen auf den thermischen Wirkungskomplex beziehen und räumlich differenzierte Informationen zur zukünftigen Entwicklung der Auftrittshäufigkeit ausgewählter klimatologischer Kenntage bereitstellen.

Aus dem Vergleich mit den Daten für die aktuelle Klimanormalperiode 1961-1990, kann das zu erwartende Ausmaß des Stadtklimawandels im Gebiet des RVR räumlich hochaufgelöst analysiert werden. Die Modellrechnungen liefern Ergebnisse in einer einheitlichen horizontalen Auflösung für den gesamten Untersuchungsraum. Obwohl die Ergebnisse der Regionalen Klimamodelle auf einem, verglichen mit dem globalen Maßstab, sehr feinen Rechengitter vorliegen, werden für die Abschätzung von Klimafolgen in der Regel noch detailliertere Aussagen benötigt. Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund notwendig, dass regionale Klimamodelle mit einer sehr guten räumlichen Auflösung von gegenwärtig bis zu 12,5 km dennoch nicht in der Lage sind, die relevanten lokalen Handlungsfelder wie fein strukturierte Wälder, unterschiedliche landwirtschaftliche Kulturen oder Städte aufzulösen und in den Klimaprojektionen ausreichend zu berücksichtigen.

Diese Aufgabe können mesoskalige und an den entsprechenden Raum angepasste Simulationsmodelle übernehmen. Sie sind aufgrund ihrer höheren räumlichen Auflösung in der Lage, die Vielfalt und Heterogenität der naturräumlichen Gliederung einer Landschaft auf die Verteilung der meteorologischen Größen zu erfassen...

...Mesoskalige dreidimensionale Simulationen werden dabei nicht parallel zu einem regionalen Klimamodell ausgeführt, vielmehr erfolgt die Übertragung der regionalen Ergebnisse auf die lokale Ebene durch ein statistisch-dynamisches Verfahren.

Dabei werden die größerskaligen Ergebnisse statistisch ausgewertet und mit den Ergebnissen einer Vielzahl mesoskaliger Simulationen verknüpft. Es werden keine lokalen Klimaszenarienrechnungen für die nächsten Dekaden durchgeführt, sondern die Ergebnisse der regionalen Klimamodelle „intelligent“ auf kleinere Raumeinheiten interpoliert, wobei eine Berücksichtigung der lokalen Besonderheiten einer Landschaft mit unterschiedlicher Landnutzung und Relief erfolgt...” (GEO-NET 2021).

Die Aussagen bezüglich der Verteilung und Entwicklung klimatischer Kenntage (Heiße Tage und Tropennächte) für das Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr beziehen sich auf die beiden Zeiträume 2021-2050 und 2071-2100 und wurden für die zwei Szenarien RCP2.6 und RCP8.5 ermittelt (Hinweis: Erläuterung der RCP-Szenarien siehe Kapitel 6.1).

Die Abbildungen 6-18 und 6-19 zeigen auf Basis der oben beschriebenen Methodik, welche Veränderungen hinsichtlich der Heißen Tage ($T_{\max} \geq 30\text{ °C}$) und der Tropennächte ($T_{\min} \geq 20\text{ °C}$ zwischen 19:00 und 07:00 Uhr MEZ) in der nahen Zukunft eintreten werden (Zeitraum 2021-2050) und welche in der fernen Zukunft (Zeitraum 2071-2100) voraussichtlich zu erwarten sind.

Abbildung 6-18 ist die Anzahl der Heißen Tage ($T_{\max} \geq 30\text{ °C}$) für zwei Bezugsräume in jeweils zwei Szenarien (RCP 2.6 und RCP 8.5) dargestellt. Bei der Betrachtung der Ergebnisse für das Szenario RCP 2.6 wird sehr deutlich, dass nur geringe Unterschiede zwischen den Bezugszeiträumen 2021-2050 und 2071-2100 zu erwarten sind. So ist beispielsweise davon auszugehen, dass sich die mittlere Anzahl der Heißen Tage für die Gewerbegebiete von bis zu 25 Tagen in der Bezugsperiode 2021-2050, im Zeitraum 2071-2100 nur marginal um ein bis zwei Tage erhöhen

wird. Auch für die übrigen bebauten Flächen gilt jeweils eine Erhöhung der mittleren Anzahl an heißen Tagen pro Jahr um lediglich ein bis zwei Tage zwischen den beiden betrachteten Zeiträumen. In den lockerer bebauten Bereichen der Stadt ist die Anzahl an heißen Tagen weiter reduziert und beträgt in weiten Teilen dieser Siedlungsstrukturen zwischen 9 und 12 heiße Tage. Die Freilandflächen weisen aufgrund der zum Teil geringen Beschattung durch fehlende Vegetationsstrukturen (z. B. intensiv genutzte Ackerflächen) vergleichbare Werte mit zumeist 9 bis 11 heißen Tagen im Zeitraum 2021-2050 auf. Die mit 4 heißen Tagen geringste Anzahl in diesem Zeitraum ist im Bereich der Gewässerflächen nachzuweisen. Es zeigt sich, dass trotz erheblicher Anstrengungen beim Klimaschutz auch in der fernen Zukunft noch mit einer Zunahme an Belastungssituationen zu rechnen ist, diese jedoch relativ moderat ausfällt.

Bei Betrachtung des RCP8.5-Szenarios im Vergleich zum RCP2.6-Szenario wird dagegen deutlich, dass beim RCP8.5 die zukünftige Klimaentwicklung bis zum Jahr 2100 eine drastische Erhöhung der Anzahl an heißen Tagen bedeutet. Während für den Bezugszeitraum 2021-2050 die Anzahl der heißen Tage in etwa den Ergebnissen für die ferne Zukunft (2071-2100) aus dem Szenario RCP2.6 entspricht bzw. im Vergleich dazu nur leicht erhöht ist, zeigt sich für die ferne Zukunft des Szenario RCP8.5 eine erhebliche Zunahme der heißen Tage. Mit bis zu 51 Tagen im Jahresmittel ist die höchste Anzahl an heißen Tagen in den Gewerbegebieten zu erwarten. Auch im Stadtzentrum von Fröndenberg/Ruhr ist im RCP8.5-Szenario gegen Ende des Jahrhunderts im Mittel mit bis zu 49 heißen Tagen im Jahr zu rechnen. In lockerer bebauten Bereichen nimmt die Belastungssituation zwar ab, jedoch sind zukünftig nach diesem Szenario selbst in Freilandbereichen zwischen 20 und 30 heißen Tage im Jahr zu erwarten. Die mit 10 heißen Tagen geringste Anzahl weisen die Gewässerflächen auf, während die Wälder auf etwa 15 bis 18 heißen Tage kommen werden. Somit kann festgehalten werden, dass für das Szenario RCP8.5 in der fernen Zukunft (2071-2100) etwa mit einer Verdoppelung der Anzahl an heißen Tagen gegenüber dem Zeitraum 2021-2050 zu rechnen ist, wenn keine Klimaschutzmaßnahmen ergriffen werden.

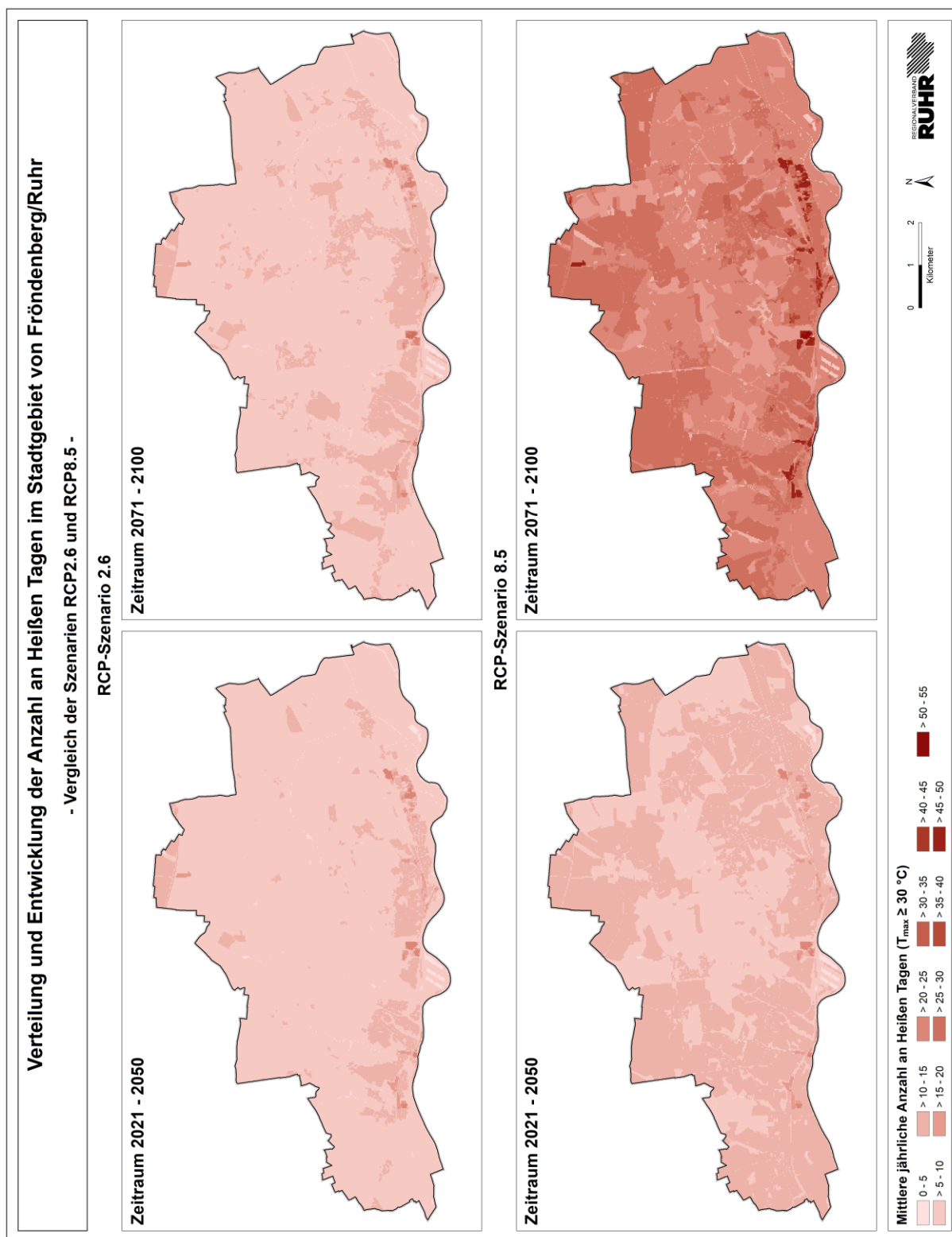


Abbildung 6-18: Verteilung und Entwicklung der Anzahl an Heißen Tagen im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr für die Szenarien RCP2.6 und 8.5

Die Entwicklung der Tropennächte, also Nächte, in denen die Lufttemperatur zwischen 19:00 und 7:00 Uhr Mitteleuropäischer Zeit (MEZ) nicht unter 20 °C sinkt, für die o.g. Szenarien und Zeiträume ist in Abbildung 6-20 dargestellt. Dabei fällt zunächst auf, dass das Szenario RCP2.6 sowohl für die nahe als auch die ferne Zukunft mit maximal 3 Tropennächten insgesamt sehr geringe Werte für die mittlere jährliche Anzahl dieses klimatischen Kenntages aufweist. Dadurch bedingt sind zudem auch die Unterschiede zwischen den verschiedenen Flächennutzungsstrukturen im Stadtgebiet gering ausgeprägt. Für das RCP8.5-Szenario ergeben sich bereits für die nahe Zukunft (Zeitraum 2021-2050) erhöhte Werte im Vergleich zum Szenario RCP2.6, die mit maximal 5 Tropennächten immer noch vergleichsweise moderat ausfallen. Wie bereits bezüglich der Heißen Tage ist im RCP8.5-Szenario allerdings für Ende des Jahrhunderts mit einem drastischen Anstieg der Anzahl an Tropennächten zu rechnen. Dabei treten die mit bis zu 17 Tropennächten höchsten Werte in den Gewerbegebieten auf, während im Stadtzentrum von Fröndenberg/Ruhr mit zumeist 14 bis 16 Tropennächten nur marginal geringere Werte festzustellen sind. Da diese Bereiche die höchsten Werte im Stadtgebiet aufweisen, ist auf die hohen Versiegelungsraten, die thermischen Eigenschaften der anthropogenen Oberflächen sowie die teilweise verminderte Belüftung zurückzuführen, wodurch bei Wetterlagen mit hoher solarer Einstrahlung eine erhöhte Aufheizung am Tage und insbesondere eine verzögerte und verminderte nächtliche Abkühlung erfolgt. Im Szenario RCP8.5 ist in der fernen Zukunft (2071-2100) im Bereich von Freilandflächen zumeist mit 6 bis 8 Tropennächten zu rechnen. Waldflächen weisen mit 10 bis 12 Tropennächten (RCP8.5; 2071-2100) ein höheres Niveau auf als Freilandbereiche, was in einer durch die Baumkronen eingeschränkten nächtlichen Wärmeausstrahlung begründet liegt.

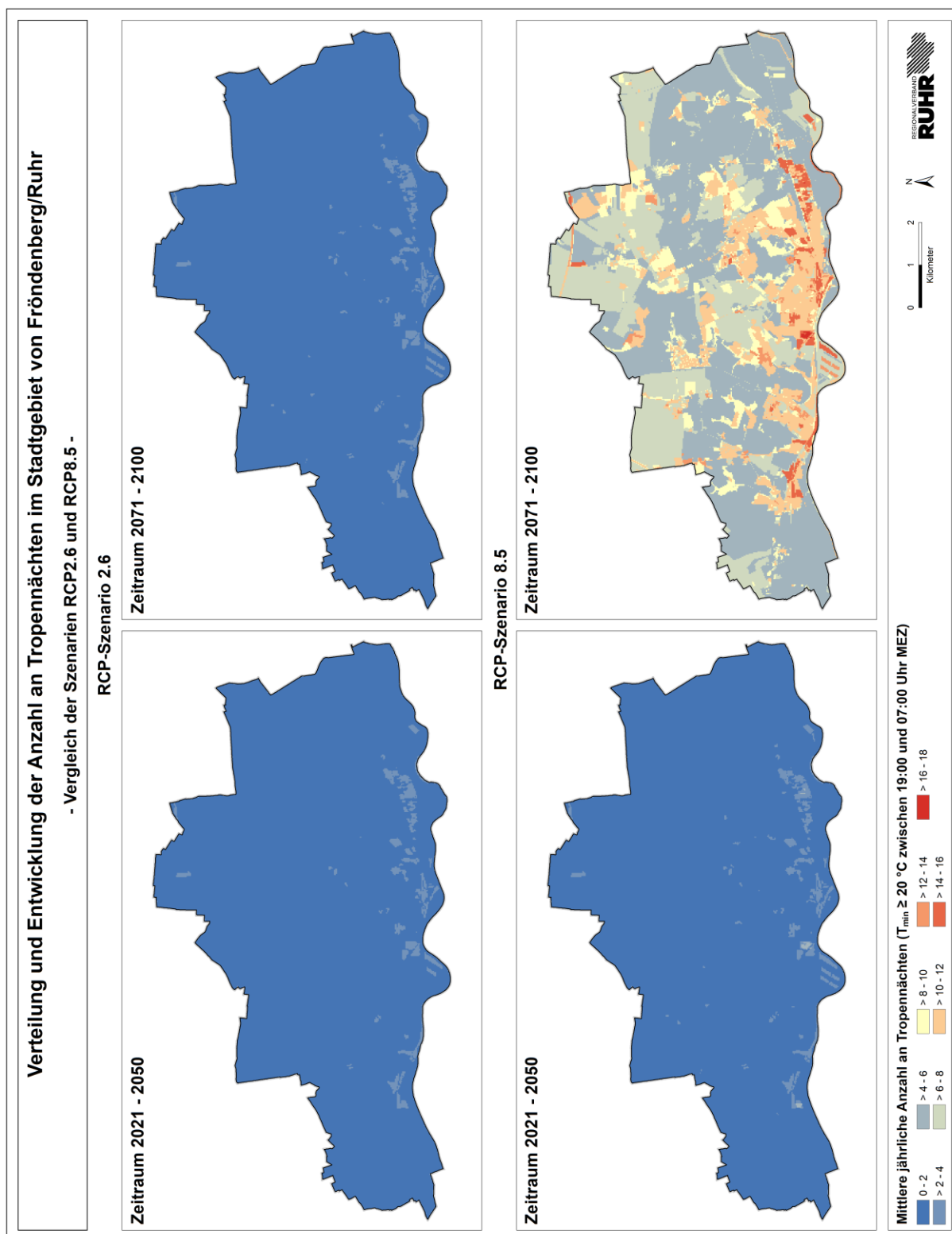


Abbildung 6-19: Verteilung und Entwicklung der Anzahl an Tropennächten im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr für die Szenarien RCP2.6 und 8.5

7 Betroffenheitsanalyse

Die in Kapitel 6 beschriebenen zu erwartenden Klimaänderungen im Laufe des 21. Jahrhunderts, insbesondere der Anstieg der Häufigkeit und Intensität der extremen Wetterereignisse (z. B. Hitzewellen), können sich negativ auf die Gesundheit des Menschen auswirken. Aber nicht nur hohe Temperaturen, sondern auch eine Zunahme der Luftverschmutzung und der Luftallergene, ein Anstieg des bodennahen Ozons während Hitzeperioden sowie die Zunahme der UV-Strahlung durch eine Abnahme des stratosphärischen Ozons können klimawandelbedingte Gesundheitsrisiken darstellen. Das Ausmaß extremer Wetterereignisse wurde dabei bereits in der Vergangenheit deutlich, so hat der Hitzesommer 2003 europaweit etwa 55.000 zusätzliche hitzebedingte Sterbefälle (ca. 7.000 davon in Deutschland) verursacht. Neben einer Steigerung der Mortalitätsrate wirken sich derartige klimatische Belastungen ebenfalls nachteilig auf die Morbidität, die Leistungsfähigkeit und das allgemeine Wohlbefinden des Menschen aus. Insbesondere Personen mit Atemwegs- und Herz-Kreislaufvorerkrankungen, ältere Menschen und Kleinkinder sind betroffen. Zwar ist das Ausmaß der gesundheitlichen Auswirkungen des Klimawandels schwer abzuschätzen, jedoch ist grundsätzlich bei zukünftig häufiger auftretenden und intensiveren klimatischen Belastungen auch mit einer Zunahme der negativen gesundheitlichen Auswirkungen zu rechnen. Daher gilt es, durch eine gezielte Anpassungsstrategie im Rahmen einer nachhaltigen Stadtplanung gesunde Wohn-, Arbeits- und Aufenthaltsbedingungen zu schaffen bzw. sicherzustellen, um die klimawandelbedingten Gesundheitsrisiken für die städtische Bevölkerung zu minimieren. (Jendritzky 2007)

Um entsprechende Anpassungsmaßnahmen gezielt zu entwickeln, sollen im Rahmen einer Betroffenheitsanalyse Gebiete bzw. Bereiche (im Folgenden als „Problemgebiete“ bezeichnet) innerhalb von Fröndenberg/Ruhr identifiziert werden, die eine besondere Sensitivität gegenüber Hitzebelastungen aufweisen.

7.1 Methodik zur Abgrenzung der Problemgebiete

In der Fachliteratur bestehen bereits vielfältige Ansätze zur Bewertung der Vulnerabilität bzw. Betroffenheit einer städtischen Bevölkerung in unterschiedlichen Quartieren gegenüber den Folgen des Klimawandels. Häufig wird dabei die Altersstruktur der Bevölkerung als alleiniger Indikator für das Maß der Verwundbarkeit gegenüber Hitzebelastung herangezogen. Sozialwissenschaftliche Studien zum Klimawandel zeigen, dass die subjektive Wahrnehmung der Hitzebelastung von vielfältigen gesellschaftlichen Einflüssen geprägt wird und von der individuellen Lebenssituation eines jeden Menschen abhängig ist (Großmann et al. 2012).

Für diese vielfältigen sozialen Parameter ist die Datenbasis oftmals nicht vorhanden oder unzureichend, um eine flächendeckende, stadtweite Bewertung durchzuführen. Auch im Rahmen der vorliegenden Untersuchung ist dies aufgrund der zur Verfügung stehenden Ressourcen nicht möglich.

Daher erfolgt die Betroffenheitsanalyse nach dem im Rahmen des „Handbuch Stadtklima“ (MUNLV 2010) entwickelten Ansatzes. Hierbei wird die Betroffenheit gegenüber Hitzebelastungen anhand der Bevölkerungsdichte und der Altersstruktur bezogen auf den Anteil der über 65-jährigen Wohnbevölkerung betrachtet. Die zugrunde gelegte Datenbasis wurde auf Ebene der Baublöcke vom Kreis Unna und der Stadt Fröndenberg/Ruhr zur Verfügung gestellt.

Die Bewertung erfolgte anschließend mittels Verschneidung der Bevölkerungsdaten mit den in der Klimaanalysekarte ausgewiesenen Innenstadt- und Stadtklimatopen, da diese die höchsten thermischen Belastungen aufweisen und daher grundsätzlich als anfällig gegenüber Hitzebelastungen charakterisiert werden können. Die ebenfalls aus thermischer Sicht stark belasteten Gewerbe- und Industrieklimatope wurden hierbei nicht betrachtet, da grundsätzlich von einem sehr geringen Anteil an Wohnbevölkerung in diesen Bereichen ausgegangen werden kann. Zusätzlich zur Bewertung der Anfälligkeit gegenüber Hitzebelastungen auf Basis der Bevölkerungsdichte und Altersstruktur werden hitzesensible Einrichtungen (Krankenhäuser, Pflegeheime sowie Kindergärten bzw. -tagesstätten) in den Problemgebieten verortet.

Bevölkerungsdichte

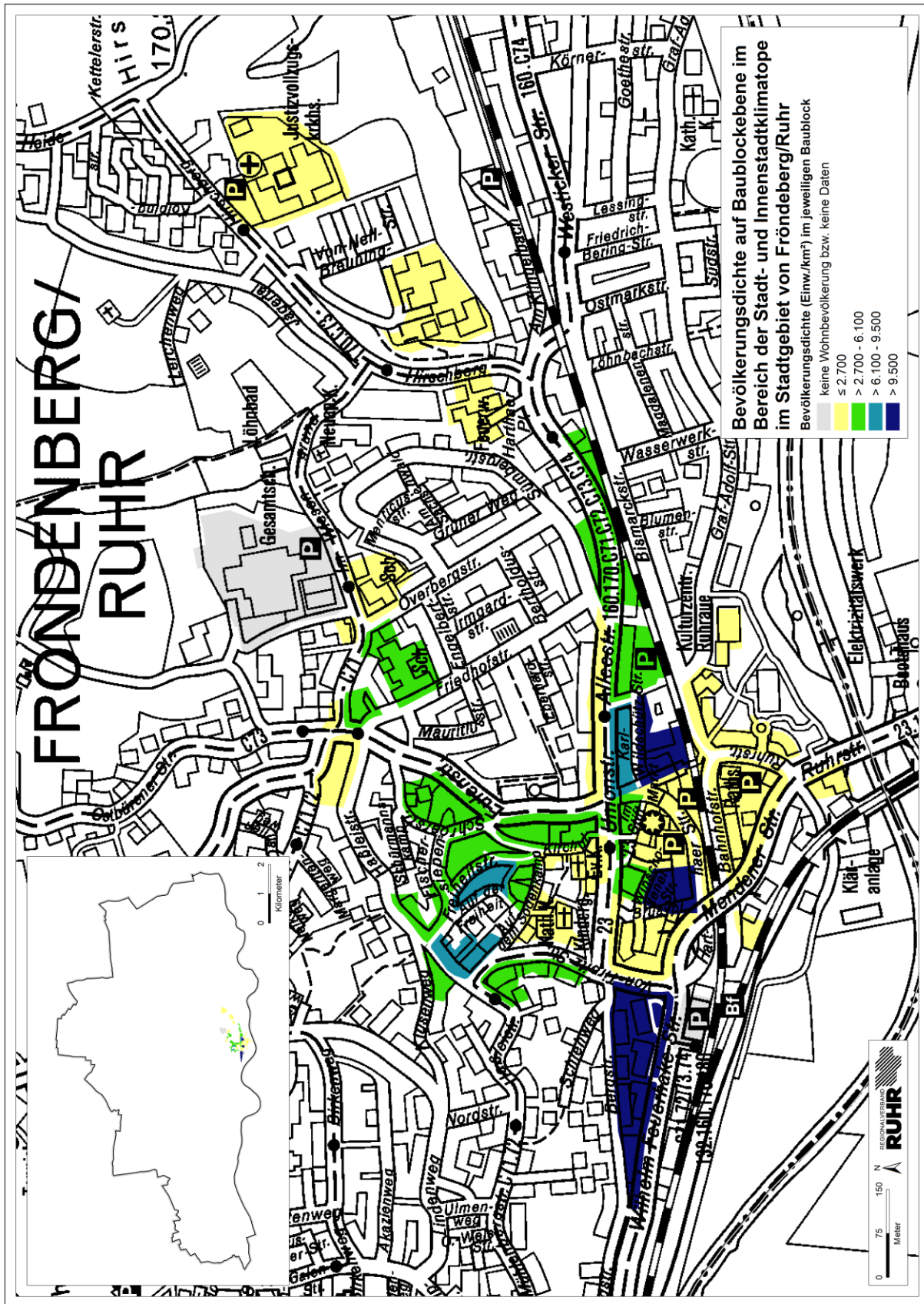
Ein wichtiger Indikator zur Beurteilung der Betroffenheit gegenüber Hitzebelastungen in unterschiedlichen Stadtquartieren ist die Bevölkerungsdichte. Denn je größer die Bevölkerungsdichte ist, desto mehr Menschen sind potenziell einer Hitzebelastung ausgesetzt. Hierzu wurden die Bevölkerungsdaten auf Grundlage von Baublöcken im Stadtgebiet herangezogen. Dies hat den Nachteil, dass Bereiche mit reiner Dienstleistungsfunktion oder öffentlichen Einrichtungen, die keine Wohnbevölkerung aufweisen, trotz potenziell hoher Hitzebelastung bei diesem Bewertungsverfahren nicht als Problemgebiete berücksichtigt werden. Innenstädte und andere Bereiche, die eine Mischnutzung aus Dienstleistung und Wohnen und somit einen relativ geringen Anteil an Wohnbevölkerung aufweisen, können dadurch als Problemgebiete mit geringer Anfälligkeitsstufe bewertet werden.

Grundsätzlich ist hierbei zu bedenken, dass bei einem temporären Aufenthalt in Innenstädten oder Nebenzentren tagsüber einer Hitzebelastung durch den Wechsel des Standortes und die bewusste Vermeidung von stark sonnenexponierten Plätzen aktiv entgegengewirkt werden kann. Wohingegen die Bevölkerung in ihren Wohnquartieren insbesondere nachts einer Hitzebelastung durch mangelnde Abkühlung nicht ausweichen kann.

Karte A 1 (siehe Anhang) zeigt die Bevölkerungsdichte (in Einw./km²) für das gesamte Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr. Um eine regionale Vergleichbarkeit und einheitliche Bewertungsmaßstäbe zu gewährleisten, wurden die Werte zur Klasseneinteilung aus der Analyse des „Handbuch Stadtklima“ übernommen. Diese beruhen auf der Auswertung der Bevölkerungszahlen auf Ebene der Wohnquartiere des gesamten Ruhrgebiets (Quelle: infas GEOdaten, Stand 2007). Bezogen ausschließlich auf die Gebiete der Stadt- und Innenstadtklimatope im gesamten Ruhrgebiet ergibt sich eine mittlere Bevölkerungsdichte von rund 2.700 Einw./km². Die weiteren Klassenobergrenzen (6.100 bzw. 9.500 Einw./km²) ergeben sich aus der Addition der mittleren Bevölkerungsdichte mit der einfachen bzw. doppelten Standardabweichung. Bei den hellgrau eingefärbten Flächen zur Bevölkerungsdichte handelt es sich um Bereiche, die entweder gar keine Wohnbevölkerung aufweisen oder deren Bevölkerungszahl so gering ist, dass aus Datenschutzgründen keine Informationen für diese Baublöcke bereitgestellt werden konnten.

Karte 7-1 zeigt die Bevölkerungsdichte im jeweiligen Baublockebene ausschließlich für die Bereiche der Stadt- und Innenstadtklimatope im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr. Da Stadt- und Innenstadtklimatope ausschließlich in dem gleichnamigen und zentralen Stadtteil Fröndenberg ausgewiesen wurden, ist der Kartenausschnitt auf diesen Bereich fokussiert. Erwartungsgemäß weisen einige Baublöcke im Bereich der Stadt- und Innenstadtklimatope, aufgrund der zumeist stark baulichen Überprägung, eine (sehr) hohe Bevölkerungsdichte auf. Baublöcke mit Werten über 9.500 Einw./km² sind allerdings nur vereinzelt im Bereich des Stadtzentrums zu verzeichnen. Eine Vielzahl der Stadt- und Innenstadtklimatope von Fröndenberg/Ruhr sind allerdings in Baublöcken verortet, die eine geringe Bevölkerungsdichte unterhalb von 2.700 Einw./km² aufweisen. Dabei handelt es sich in der Regel um Baublöcke mit vorwiegend öffentlicher Nutzung (z. B. Kirchen, Schulen, Verwaltungsgebäude, Feuerwehr, etc.) oder einer Mischnutzung aus Wohnen und Gewerbe (z. B. Einzelhandel, Gastronomie, Hotellerie, etc.).

Während in vielen Innenstädten häufig Baublöcke mit reiner oder überwiegender Dienstleistungsfunktion und nur sehr geringem Anteil an Wohnnutzung dominieren, weist das Stadtzentrum von Fröndenberg/Ruhr durchaus eine hohe Wohnnutzung auf. Innerhalb der Baublöcke des Stadtzentrums, welches hier definiert ist als der Bereich zwischen den Straßenzügen von Allee-, Union- sowie Bergstraße im Norden und der Bahntrasse im Süden, sind insgesamt 947 Personen auf einer Gesamtfläche von etwa 14 ha wohnhaft, woraus sich eine mittlere Bevölkerungsdichte für das Stadtzentrum von etwa 6.750 Einw./km² ergibt.



Karte 7-1: Bevölkerungsdichte der Baublöcke im Bereich der Innenstadt- und Stadtklimatope im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr

Altersstruktur

Für die Anfälligkeit eines Gebietes gegenüber einer klimatischen Belastung des Menschen spielen neben dem Hitzepotenzial und der Bevölkerungsdichte auch soziodemographische Faktoren wie die Altersstruktur der Bevölkerung eine Rolle. Ältere Menschen zeigen eine schlechtere Anpassung an extreme Hitze, mit gesundheitlichen Folgen, die von Abgeschlagenheit bis hin zu Hitzschlag und Herzversagen reichen können. Gebiete mit einem hohen Anteil älterer Menschen können daher als anfälliger gegenüber Hitzestress charakterisiert werden. Aus diesem Grund wurde im „Handbuch Stadtklima“ (MUNLV 2010) analog zur Bevölkerungsdichte auch der Anteil der über 65-Jährigen für die Wohnquartiere im gesamten Ruhrgebiet ermittelt. Im Ruhrgebiets-Mittel sind rund 20 % der Bevölkerung in den Gebieten der Stadt- und der Innenstadtklimatope über 65 Jahre alt (Standardabweichung 3 %).

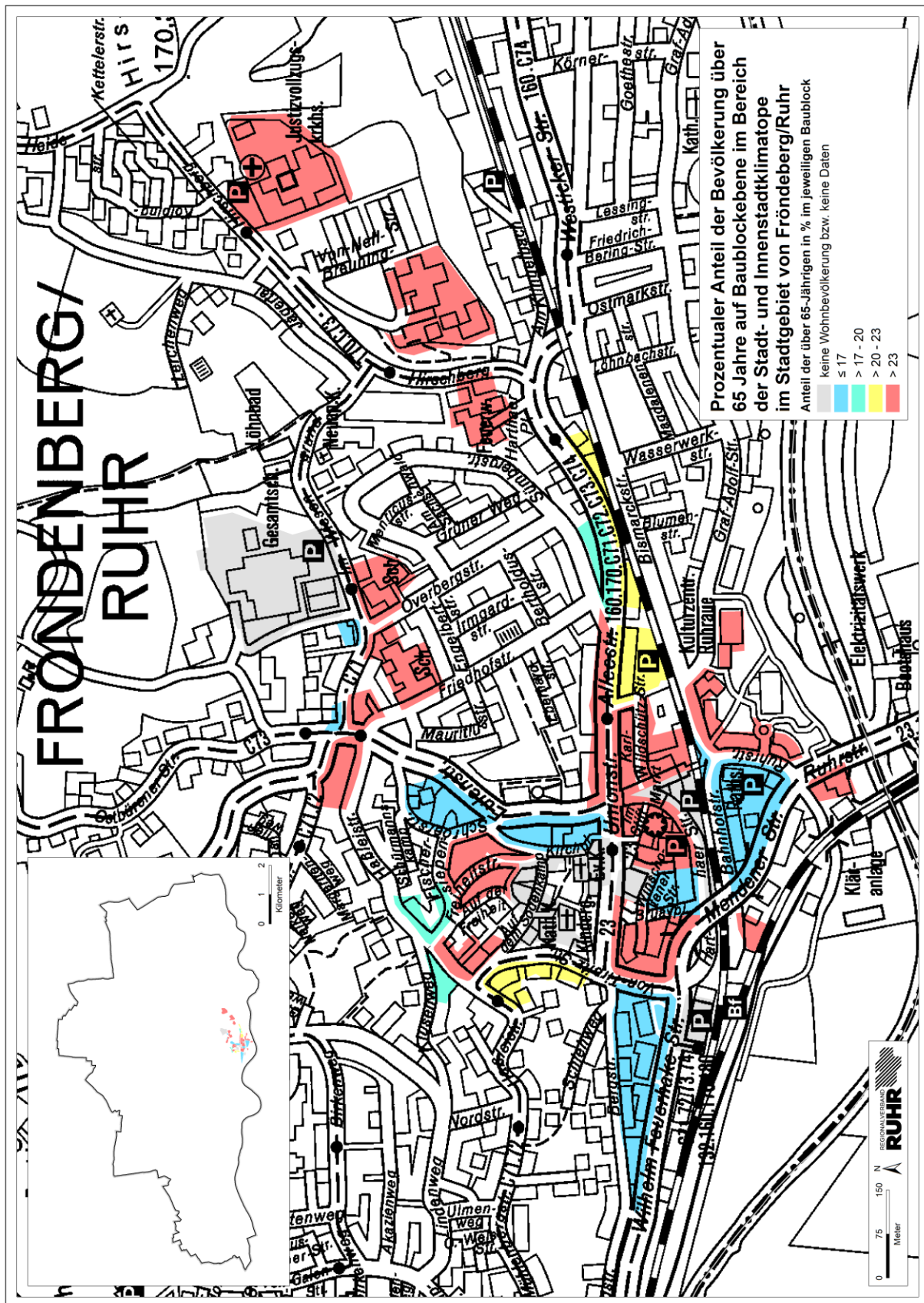
Karte A-2 (siehe Anhang) zeigt die prozentualen Anteile der Bevölkerung über 65 Jahre auf Baublockebene für das gesamte Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr. Analog zu Karte A 1 handelt es sich bei den hellgrau eingefärbten Flächen um Bereiche, die entweder gar keine Wohnbevölkerung aufweisen oder wo aus Datenschutzgründen keine Informationen für diese Baublöcke vorliegen.

Die Klasseneinteilung ergibt sich aus der Addition und Subtraktion der Standardabweichung (3 %) vom Mittelwert (20 %) bezogen auf das gesamte Ruhrgebiet. Somit werden Flächen bzw. Baublöcke mit Anteilen der über 65-Jährigen an der Wohnbevölkerung von unter 17 % und 17-20 % als unterdurchschnittlich und von 20-23 % sowie über 23 % als überdurchschnittlich gewertet. Bezogen auf die Gesamtbevölkerung der Stadt Fröndenberg/Ruhr lag der Anteil der über 65-Jährigen im Jahr 2023 bei 25,5 % und weist somit einen im Vergleich zum NRW-Landesmittel von 21,7 % erhöhten Wert auf (IT.NRW 2024b).

Karte 7-2 zeigt ausschließlich für die Bereiche der Stadt- und Innenstadtklimatope die prozentualen Anteile der Bevölkerung über 65 Jahre im jeweiligen Baublock für das Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr. Insgesamt wurden 36 Baublöcke betrachtet die Stadt- und/oder Innenstadtklimatope beinhalten. Davon weisen 16 Baublöcke einen Anteil der über 65-jährigen Wohnbevölkerung von über 23 % auf. Weitere zwei Baublöcken nehmen einen Wert zwischen 20 und 23 % für diese Kennzahl ein.

Während 14 Baublöcke einen Anteil der über 65-Jährigen von unter 20 % verzeichnen und somit unterhalb des Ruhrgebiets-Mittelwertes liegen, konnte für 8 Baublöcke keine Aussage getroffen werden, da entweder keine Wohnbevölkerung vorhanden ist oder aus Datenschutzgründen keine Werte vorliegen. Bemerkenswert ist zudem, dass in vier Baublöcken sogar über 50 % der Wohnbevölkerung 65 Jahre oder älter ist.

Grundsätzlich ist zu bedenken, dass laut einer Bevölkerungsvorausberechnung auf Kreisebene im Kreis Unna mit einem prognostizierten Bevölkerungsrückgang um 5,6 % bis zum Jahre 2050 (im Vergleich zum Jahr 2021) zu rechnen ist. Aufgrund des fortschreitenden demographischen Wandels wird demnach der Anteil der über 65-Jährigen im Kreis Unna im selben Zeitraum voraussichtlich auf 28,8 % ansteigen, was einer Erhöhung des Wertes im Vergleich zu 2021 um 16,9 % entspricht. (IT.NRW 2024b)



Karte 7-2: Prozentualer Anteil der Bevölkerung über 65 Jahre auf Baublockebene für die Bereiche der Stadt- und Innenstadtklimatope im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr

7.2 Lokalisierung und Bewertung der Problemgebiete

Aus der Verschneidung der Bereiche der Stadt- und Innenstadtklimatope mit den Daten der Bevölkerungsdichte und des prozentualen Anteils der über 65-Jährigen lassen sich Problemgebiete mit einer abgestuften Anfälligkeit gegenüber einer klimatischen Belastung des Menschen abgrenzen und bewerten.

Grundsätzlich ist in den Stadt- und Innenstadtbereichen aufgrund der zumeist hochversiegelten Bebauungsstruktur von einer generellen Hitzebelastung der Wohnbevölkerung auszugehen. Mit zunehmender Bevölkerungsdichte erhöht sich die potenzielle Anfälligkeit eines Wohngebietes. Auf Basis der Bevölkerungsdichte werden drei Stufen der Anfälligkeit gegenüber Hitzebelastungen unterschieden (vgl. Tabelle 7-1).

Tabelle 7-1: Anfälligkeitsstufen der Bevölkerungsdichte

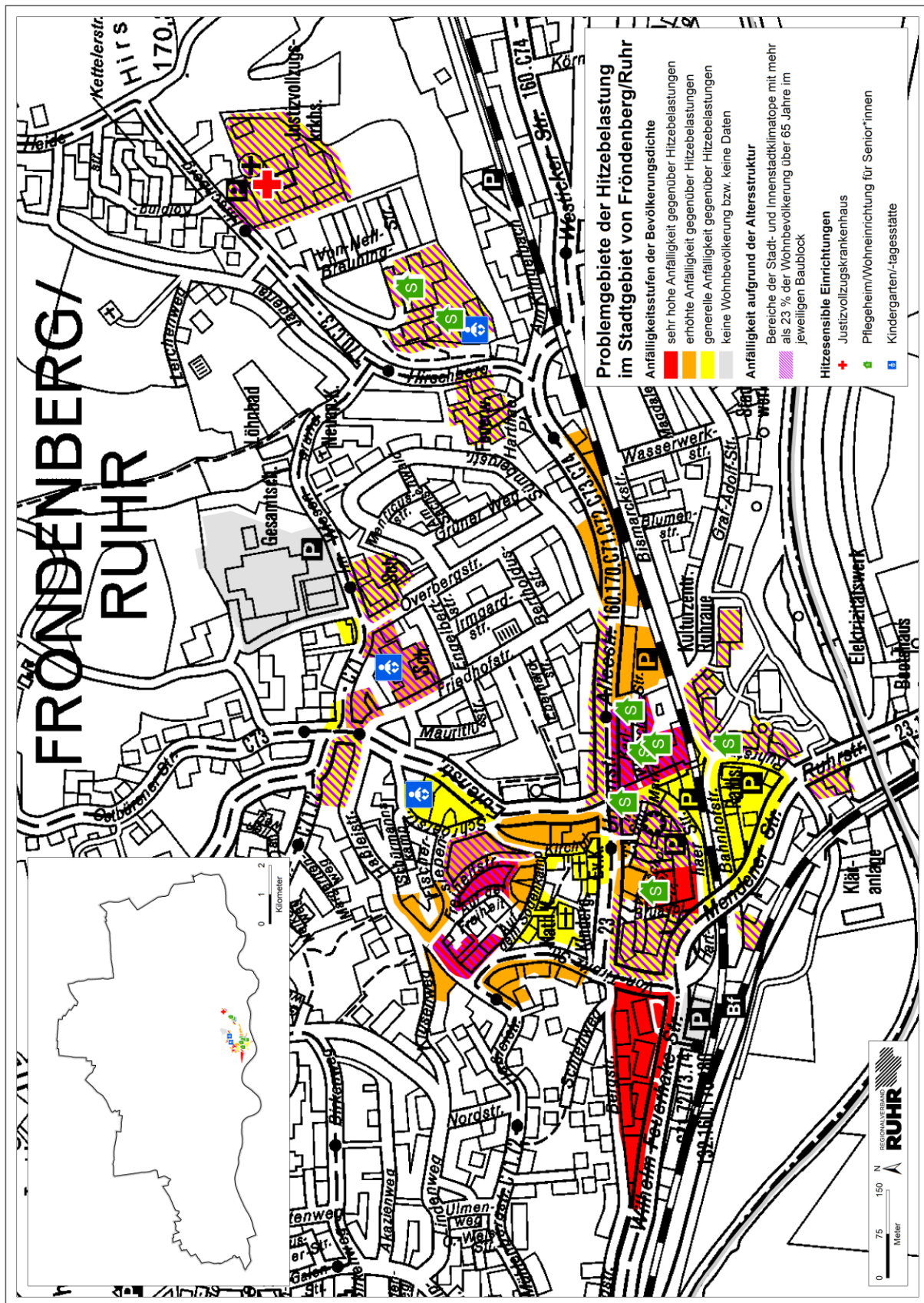
Bevölkerungsdichte auf Baublockebene (Einw./km ²)	Anfälligkeit gegenüber Hitzebelastungen
< 6.100	Generelle Anfälligkeit
> 6.100 bis 9.500	Erhöhte Anfälligkeit
> 9.500	Sehr hohe Anfälligkeit

Während Baublöcken mit einer Bevölkerungsdichte unterhalb von 6.100 Einw./km² eine generelle Anfälligkeit zugeordnet wird, weisen Bereiche mit einer Bevölkerungsdichte von 6.100 bis 9.500 Einw./km² eine erhöhte Anfälligkeit auf. Bei mehr als 9.500 Einw./km² kann von einer sehr hohen Anfälligkeit ausgegangen werden. Überlagert werden diese drei Klassen von Bereichen mit einem hohen Bevölkerungsanteil (mehr als 23 %) der über 65-Jährigen. Diesen Quartieren wird unabhängig von der Gesamtbevölkerungsdichte eine besondere Anfälligkeit gegenüber Hitzebelastungen zugesprochen, da sie ein hohes Hitze Potenzial zusammen mit einem hohen Anteil der älteren Bevölkerungsgruppe aufweisen.

Zusätzlich zur Bewertung der Anfälligkeit auf Baublockebene anhand der Indikatoren Bevölkerungsdichte und Anteil der über 65-jährigen Wohnbevölkerung werden Krankenhäuser, Pflegeheime und Kindergärten bzw. -tagesstätten in den potenziell hitzebelasteten Innenstadt- und Stadtklimatopen verortet. In diesen sogenannten (hitze-)sensiblen Einrichtungen hält sich dauerhaft oder temporär konzentriert an

einem Standort eine größere Anzahl an Personen auf, die den besonders gegenüber thermischen Belastungen anfälligen Bevölkerungsgruppen der älteren Menschen, Kranken und Kleinkindern zuzuordnen sind.

Der Karte 7-3 ist das Auftreten der Problemgebiete mit Hitzebelastung im Stadtgebiet von Fröndenberg zu entnehmen. Neben den bereits in Kapitel 7.1 angeführten Hinweisen wird deutlich, dass lediglich vereinzelt Baublöcke auftreten, die eine erhöhte oder gar sehr hohe Anfälligkeit gegenüber Hitzebelastungen in Bezug auf die Bevölkerungsdichte sowie zusätzlich eine erhöhte Anfälligkeit aufgrund der Altersstruktur aufweisen. Dies trifft insbesondere auf Baublöcke an der Karl-Wildschütz-Straße und im Bereich Auf der Freiheit bzw. an der Freiheitsstraße zu. Auffällig ist weiterhin, dass im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr einige hitzesensible Einrichtungen in den Problemgebieten der Hitzebelastung angesiedelt sind. So konnten sowohl das Justizvollzugskrankenaus, drei Kindergärten bzw. -tagesstätten sowie 9 Pflegeheime bzw. Wohneinrichtungen für Senior*innen im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr identifiziert werden, die in diesen stadtklimatischen Ungunsträumen verortet sind. In diesen Bereichen sollten vordringlich lokale Maßnahmen zur Reduzierung der sommerlichen Hitzebelastung fokussiert werden.



Karte 7-3: Problemgebiete der Hitzebelastung im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr

8 Planungshinweise

Auf Basis der Klimaanalysekarte, der Topographie, der Flächennutzung, aktueller Luftbilder sowie den Erkenntnissen aus der FITNAH-Simulation werden im Folgenden für das Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr Planungsempfehlungen aus stadtklimatologischer Sicht abgeleitet. Dabei gilt es zu berücksichtigen, dass lediglich die Umweltaspekte Klima und Lufthygiene zur Ausweisung der Planungshinweise herangezogen wurden. Eine Abwägung mit weiteren ökologischen Belangen oder der Raumentwicklung dienenden Vorgaben ist nicht erfolgt und daher bei allen Vorhaben zu prüfen.

Insbesondere mit Blick auf die prognostizierten klimatischen Veränderungen, die sich bedingt durch den globalen Klimawandel im Laufe des 21. Jahrhunderts in der Region einstellen und zu einer Verschärfung der thermischen Stadt-Umland-Verhältnisse führen werden, soll durch die Berücksichtigung und Umsetzung der Maßnahmenempfehlungen eine klimawandelgerechte Stadtentwicklung in Fröndenberg/Ruhr gesichert werden. Die ausgewiesenen Planungsempfehlungen sind dabei als Rahmenvorgaben anzusehen, die der Bauleitplanung als Orientierung für eine nachhaltige Anpassung der Stadt an den Klimawandel dienen sollen. Das Ziel ist der Erhalt klimatisch positiver Raumstrukturen sowie die Aufwertung der aus klimaökologischer Sicht belasteten Siedlungsbereiche zum Wohle der städtischen Bevölkerung.

Zu diesem Zweck wird im Folgenden zunächst die gesamtstädtische Planungshinweiskarte dargestellt und beschrieben, bevor anschließend eine Konkretisierung der Planungsempfehlungen für vier Betrachtungsräume innerhalb des Stadtgebietes auf Ebene der Stadtteile erfolgt. Die Erstellung der Planungshinweiskarte und die Ausweisung der Maßnahmenempfehlungen basieren auf den Vorgaben der VDI-Richtlinie 3787 Blatt 1 (VDI 2003).

8.1 Planungshinweiskarte

Die Planungshinweiskarte (siehe Karte 8-1) beinhaltet mit den Ausgleichs- und Lasträumen, den raumspezifischen Hinweisen, den lokalen Hinweisen sowie den Informationen zum Luftaustausch vier Darstellungsebenen, die im Folgenden zunächst näher erläutert werden.

8.1.1 Darstellungsebenen der Planungshinweiskarte

Die **erste Darstellungsebene** beinhaltet die flächenhafte Differenzierung des Stadtgebietes anhand von klimatischen Ausgleichs- und Lasträumen. Diese werden auf Basis der Klimatope abgeleitet und stellen räumliche Einheiten mit vergleichbaren Eigenschaften bezüglich der Flächennutzung, der Bebauungsdichte, dem Versiegelungsgrad, der Rauigkeit und dem Vegetationsbestand dar. Somit können für diese Bereiche flächenhaft gültige Planungsempfehlungen ausgesprochen werden, für die anhand der weiteren Darstellungsebenen lokale Konkretisierungen erfolgen können.

In der **zweiten Darstellungsebene** werden raumspezifische Hinweise ausgewiesen. Hierzu zählen linienhafte Strukturen der Hauptverkehrsstraßen und Bahnanlagen sowie flächenhafte Hinweise für die Bereiche der Kaltluftsammlgebiete und zur Vernetzung von Grünflächen.

Die **dritte Darstellungsebene** liefert lokale (Planungs-)Hinweise. Neben der Identifizierung von Bereichen, die sich aus klimatischer Sicht für eine weitere maßvolle Verdichtung oder Neubebauung eignen, werden Gebiete lokalisiert, in denen auf eine weitere Verdichtung verzichtet werden sollte. Zudem werden unter anderem an bestimmten Siedlungsrändern Empfehlungen zur Festsetzung von Baugrenzen ausgesprochen, die dem Schutze bzw. Erhalt der klimaökologischen Funktionen der angrenzenden Grün- und Freiflächen dienen sollen.

Die Planungsempfehlungen bezüglich der Luftaustauschverhältnisse im Stadtgebiet werden in einer **vierten Darstellungsebene** beschrieben. Neben Luftleitbahnen und Bereichen der Frischluftzufuhr werden die nächtlichen Kaltluftabflüsse dargestellt und Flächen aufgezeigt, bei denen der Luftaustausch gefördert oder erhalten bleiben sollte.

8.1.1.1 Ausgleichs- und Lasträume

Im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr nehmen diverse Flächen eine lokale Ausgleichsfunktion zu klimatischen bzw. lufthygienischen Belastungen ein. Die Ausgleichsräume können in die vier Flächentypen Gewässer, Freiland, Wald sowie Park- und Grünanlagen eingeteilt werden. Neben den Ausgleichsräumen wird das Stadtgebiet durch Lasträume geprägt. Hierbei kann in Abhängigkeit vom Versiegelungsgrad, der Bebauungsdichte und der Höhe der Gebäude zwischen unterschiedlich stark ausgeprägten Lasträumen unterschieden werden. Im Folgenden werden die unterschiedlichen Arten der Ausgleichs- und Lasträume charakterisiert, indem ihre Wirkungen auf das Stadtklima beschrieben sowie raum- und nutzungsbezogene Planungsempfehlungen aufgezeigt werden.

Ausgleichsraum Gewässer

Gewässer zeichnen sich durch ausgeglichene klimatische Verhältnisse mit gedämpftem Tagesgang der Lufttemperatur und einer erhöhten Luftfeuchtigkeit aus. Die tagsüber kühlende Wirkung bleibt insbesondere bei kleineren Gewässern zumeist auf den Wasserkörper sowie die unmittelbare Umgebung beschränkt. Die geringe Rauigkeit von Gewässerflächen begünstigt die Austausch- und Ventilationsverhältnisse, wodurch linienhafte Gewässerstrukturen die Funktion als Luftleitbahn einnehmen können.

Daher ist bei Gewässern eine Sicherung bzw. Förderung der Belüftungsfunktion für angrenzende Bebauungsstrukturen anzustreben. Zu diesem Zweck sollten die Uferbereiche sowie die Übergangszonen zwischen Gewässern und Siedlungskörpern von riegelförmiger Bebauung und Bepflanzung freigehalten werden. Gewässer und angrenzende Grünflächen stellen zudem wertvolle Zonen für die Naherholung dar und sollten als solche erhalten und gestaltet werden.

Ausgleichsraum Freiland

Die zumeist geringen Emissionen im Freiland werden großflächig verteilt und die Windgeschwindigkeiten durch geringe Bodenrauigkeiten erhöht. Durch die nächtliche Produktion von Kaltluftmassen können Kaltluftabflüsse begünstigt werden. Die ausgleichenden Funktionen können sich jedoch erst bei einer ausreichend gro-

ßen Freilandfläche, einer geringen Emittentenzahl und im Falle von Kaltluftabflüssen durch eine ausreichende Reliefdynamik einstellen. Besonders günstige Durchlüftungsverhältnisse ergeben sich für Freilandbereiche in Kuppen- oder Hanglagen. In ebener Lage werden dagegen nächtlich produzierte Kaltluftmassen nur schlecht transportiert.

Die stadtnahen Freiflächen sind grundsätzlich als Ausgleichsräume zu sichern und somit von Bebauung freizuhalten. Zudem ist eine Grünflächenvernetzung in die Siedlungsbereiche hinein anzustreben und von einer riegelförmigen Bebauungsstruktur an den Siedlungsrändern abzusehen. An Hängen, die als Kaltluftabflussbahnen fungieren, sind hangparallele Zeilenbebauung sowie dichte Bepflanzungen mit Riegelwirkung zu vermeiden. Neben der Größe einer Freifläche wirken sich auch die Art der Nutzung und die thermischen Eigenschaften des Bodens sowie der bodenbedeckenden Vegetation auf die Wirksamkeit von kalt- und frischluftproduzierenden Flächen aus. So produzieren beispielsweise gut wasserversorgte Feld- und Wiesenflächen mehr Kaltluft als Waldgebiete. Durch die Art der Nutzung und Vegetationswahl können diese Ausgleichsräume daher aus klimatischer Sicht aufgewertet werden.

Ausgleichsraum Park- und Grünanlagen

Park- und Grünanlagen stellen grundsätzlich bioklimatisch wertvolle innerstädtische Ausgleichsräume dar. Dabei ist die Reichweite der klimatischen Ausgleichswirkung von ihrer Flächengröße, ihrer Ausgestaltung, ihrer Anbindung an die Bebauung sowie der Reliefsituation abhängig. Während eine dichte Randbebauung auch bei großen Grünflächen eine Fernwirkung unterbinden kann, kann die Wirkung kleinerer Flächen in Kuppenlage aufgrund reliefbedingter Kaltluftabflüsse über die Fläche selbst hinausreichen. Voraussetzung hierfür ist das Vorhandensein ausreichend breiter, rauigkeitsarmer Belüftungsbahnen, entlang derer die kühleren Luftmassen abfließen können. Eine besondere Funktion kommt den Grünzügen als Trennungselement zwischen Wohngebieten und emittierenden Industrie- und Gewerbegebieten oder stark befahrenen Straßen zu. Hier erfüllen sie einerseits eine Abstandsfunktion, andererseits bewirken sie eine Verdünnung und Filterung von

Luftschadstoffen. Darüber hinaus fördern Grünzüge durch die Entstehung kleinräumiger Luftaustauschprozesse eine Unterbrechung von Wärmeinseln. Bei einer engen Vernetzung und einer stadträumlich sinnvollen Anordnung tragen daher auch kleinere Grünflächen zur Abmilderung des Wärmeinseleffekts bei. Zudem zeigen kleine, isoliert liegende Grünflächen, wie z. B. begrünte Innenhöfe, zwar keine über die Fläche hinausreichende Wirkung, stellen aber als „Klimaoasen“ gerade in den dicht bebauten Innenstädten wichtige lokale Freizeit- und Erholungsräume für die Bevölkerung dar.

Innerstädtische Park- und Grünanlagen sollten daher von Bebauung oder Versiegelung freigehalten werden. Vorhandene Vegetationsstrukturen sollten erhalten, ausgebaut und miteinander vernetzt werden. Bei der Gestaltung von Park- und Grünanlagen ist den zukünftigen klimatischen Bedingungen bereits heute Rechnung zu tragen. Zunehmende Sommerhitze und damit verbundene längere Trockenperioden erfordern eine gezielte Auswahl von geeigneten Pflanzen. Zudem sollte ein vermehrter Einsatz bodenbedeckender Vegetation erfolgen, um ein Austrocknen der Stadtböden im Sommer zu vermeiden, da dies bei Starkregenereignissen mit einer verminderten Versickerung und somit erhöhtem Überschwemmungsrisiko einhergeht. Um die positiven klimatischen Effekte der Park- und Grünanlagen zu erhalten, kann künftig während sommerlicher Trockenperioden auch eine vermehrte Bewässerung der urbanen Vegetation erforderlich werden. Zu diesem Zwecke sind Anlagen zur Sammlung des Niederschlagswassers der umliegenden Bebauung ratsam. Grundsätzlich ist bei Park- und Grünanlagen durch eine vielfgestaltige Vegetationsstruktur die Schaffung differenzierter Mikrokimate zu erzielen. Die Vernetzung mit den direkt angrenzenden Siedlungsräumen ist insbesondere bei größeren Parks anzustreben, während kleinere Grünflächen zu den Rändern geschlossen werden sollten, um eine lokale „Oasenfunktion“ herzustellen.

Ausgleichsraum Wald

Waldflächen innerhalb eines Stadtgebietes sind grundsätzlich als klimatisch wertvolle Ausgleichsräume einzustufen. Die positiven klimatischen Eigenschaften liegen insbesondere in der Fähigkeit, durch Schadstoffadsorption und -diffusion die

Luftqualität zu verbessern. Dort, wo hoch belastete Areale an sensible Wohnbereiche aneinandergrenzen, können Wälder eine bedeutsame Puffer- oder Trennfunktion der unterschiedlichen Nutzungsansprüche erfüllen. Zudem stellen Wälder aufgrund der gedämpften Strahlungs-, Temperatur- und Windverhältnisse während sommerlicher Hitzeperioden wichtige Regenerationsräume zur Naherholung für die städtische Bevölkerung dar. Vorhandene Waldflächen sollten daher erhalten und nach Möglichkeit ausgeweitet werden. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass vorhandene Ventilations- und Kaltluftabflussbahnen zu erhalten und von dichter und hoher Bepflanzung freizuhalten sind, da der Wald die Oberflächenrauigkeit erhöht und somit den Luftaustausch einschränkt.

Ferner sind auch die Wälder dem Klimawandel anzupassen. Ein erhöhtes Temperaturniveau, ausgedehnte Trockenphasen, längere Vegetationsperioden, Veränderungen im Wasserhaushalt, häufigere Starkregen- und Sturmereignisse sowie die Ausbreitung neuer Baumkrankheiten stellen nur einige klimawandelbedingte Herausforderungen für das Ökosystem Wald dar. Reine Nadelwälder sind durch den Klimawandel besonders bedroht, während artenreiche Wälder anpassungsfähiger und stabiler gegenüber den Klimaveränderungen sind. Daher gilt es, baumartenreiche Mischwälder zu etablieren, in denen heimische Laubbaumarten (z. B. Buche, Traubeneiche) vertreten sind und mit fremdländischen Baumarten durchmischt werden, die an die künftigen Klimabedingungen angepasst und nicht krankheitsanfällig sind sowie idealerweise zu einer Verbesserung der Bodeneigenschaften beitragen (MKULNV 2012).

Lastraum der überwiegend locker und offen bebauten Wohngebiete

Die Flächen, die dem „Lastraum der überwiegend locker und offen bebauten Wohngebiete“ zugeordnet sind, entsprechen in ihrer Ausdehnung den Flächen der Vorstadt- und Stadtrandklimatope in der Klimaanalysekarte. Kennzeichnend für diese Flächen ist die aufgelockerte und offene Bauweise mit einer hohen Durchgrünung. Dadurch ist in diesen Bereichen von einer nur geringen bis mäßigen Änderung der Klimaelemente auszugehen, weshalb die lufthygienischen und bioklimatischen Verhältnisse grundsätzlich positiv zu bewerten sind.

Um die günstige klimatische Situation in diesem Lastraum zu sichern, sollten die Bebauungsstrukturen in weiten Teilen erhalten bleiben und nicht weiter verdichtet werden. Dies gilt insbesondere für locker bebaute Wohngebiete, die an höher versiegelte Bereiche der weiteren Lasträume angrenzen. Damit eine Ausdehnung der überwärmten Bereiche im Zuge des Klimawandels zukünftig vermieden werden kann, sollte die Grünausstattung erhalten und aufgewertet werden. Zudem sollten die Sicherung und Anlage von Grünflächen zur Verbesserung bzw. zum Erhalt der Belüftungssituation sowie eine Vernetzung der Grün- und Freiflächen mit den stärker belasteten Räumen angestrebt werden. Punktuell sind Entsiegelungs- bzw. Rückbaumaßnahmen an (überdimensionierten) Erschließungs- und Stellplatzflächen ratsam. Zur nachhaltigen Sicherung der insgesamt positiven lufthygienischen Verhältnisse in diesem Lastraum ist eine Reduzierung der Emissionen durch Hausbrand und den Verkehr, v.a. entlang der Einfallstraßen, anzustreben.

Lastraum der überwiegend dicht bebauten Wohn- und Mischgebiete

Der Lastraum der überwiegend dicht bebauten Wohn- und Mischgebiete entspricht hinsichtlich seiner räumlichen Ausdehnung dem Klimatotyp Stadtklima in der Klimaanalysekarte. Neben der bioklimatischen Belastung in diesem Bereich herrscht ebenfalls ein höheres lufthygienisches Belastungspotenzial.

Im Vergleich zur hochverdichteten Innenstadt ist die Bebauung in diesen Bereichen zwar etwas weniger stark verdichtet, führt aber dennoch zu einer deutlichen Veränderung der mikroklimatischen Verhältnisse gegenüber dem unbebauten Umland. Hierzu zählen insbesondere eine erhöhte thermische und zugleich bioklimatische Belastung sowie eingeschränkte Luftaustauschbedingungen. Besonders problematische Verhältnisse entstehen dort, wo bodennahe Emittenten (v.a. Kfz-Verkehr) zu einer Schadstoffanreicherung führen.

Als Maßnahme zur Verbesserung der klimatischen und lufthygienischen Situation in den überwiegend dicht bebauten Wohn- und Mischgebieten sollten generell Park- und Grünflächen erhalten, neu geschaffen und miteinander vernetzt werden, um die negativen mikroklimatischen Verhältnisse abzumildern bzw. zu verbessern. Zudem sind die Vermeidung von weiteren Verdichtungsmaßnahmen sowie die Auflockerung der vorhandenen Bebauungsstrukturen zu nennen. Dies kann in Form

von Entsiegelungs- und Rückbaumaßnahmen sowie durch Begrünungsmaßnahmen erfolgen. Beispielsweise durch die Entkernung und Begrünung von hochversiegelten Innenhöfen, wo bei ausreichender Größe zur Verbesserung des Mikroklimas locker stehende Baumbestände angelegt werden können. Dach- und Fassadenbegrünungen sind weitere Möglichkeiten, um in den Hinterhofbereichen eine Verbesserung der stadtklimatischen Bedingungen zu erzielen. Zusätzlich sind Begrünungsmaßnahmen mit dem Schwerpunkt der Anpflanzung höherer Vegetation und großkroniger Bäume umzusetzen. Eine Ausnahme bilden Straßenzüge mit schluchtartigem Charakter und hohem Aufkommen bodennaher Emittenten, da ein geschlossenes Kronendach in diesen Bereichen den Luftaustausch einschränken und somit zur Schadstoffanreicherung führen kann.

Die Begrenzung des Versiegelungsgrades sowie die Festsetzung von Bepflanzungsmaßnahmen ist in den rechtlichen Grundlagen der Gestaltungssatzung nach § 9 (1) BauO NRW und dem § 9 (1) BauGB geregelt. Weitere wichtige Umsetzungsinstrumente sind Förderprogramme zur Blockinnenhofbegrünung und Wohnumfeldverbesserung. Über Baumschutzsatzungen sowie die Überprüfung bauordnungsrechtlicher Nebenbestimmungen sind Möglichkeiten gegeben, Maßnahmen umzusetzen und schützenswerte Elemente zu erhalten. Geschwindigkeitsbeschränkungen (Einrichtung von Tempo 30-Zonen), die Ausweisung von Wohnstraßen sowie die Reduzierung von Kfz-Stellplätzen bieten Möglichkeiten, verkehrsbedingte Emissionen erheblich zu reduzieren.

Lastraum der hochverdichteten Innenstadt

Der Lastraum der hochverdichteten Innenstadt ist durch eine dichte Bebauungsstruktur mit z.T. hohen Gebäuden, einen hohen Versiegelungsgrad und einen sehr geringen Grünflächenanteil geprägt. Ein weiteres charakteristisches Merkmal ist die Ausbildung von Straßenschluchten, d.h. die Gebäudehöhe übertrifft deutlich die Straßenbreite. Typisch ist auch ein hohes Verkehrsaufkommen. Diese Eigenschaften zusammen bewirken die stärkste Ausprägung des Stadtklimas, was sich durch erhöhte Lufttemperaturen insbesondere in den Sommermonaten bemerkbar macht. Verschlechterte Belüftungsverhältnisse sowie hohe lufthygienische Belastungen sind ebenso die Folge der starken anthropogenen Überformung. Besonders

nachteilig in klimatischer und lufthygienischer Hinsicht wirkt sich die geringe Anzahl an Grünanlagen aus. Daher ist es wichtig, dort kleinräumige Grünareale zu schaffen, um auf eine Milderung des Stadtklimas hinzuwirken.

Begrünungsmaßnahmen können in der Planung und Baugenehmigung über eine Gestaltungssatzung nach Pflanzgeboten gemäß § 9 (1) 25 a und 25 b BauGB in Verbindung mit § 178 BauGB umgesetzt werden. Zur Begrenzung der Neuversiegelung und zum Erhalt von Freiflächen sind Festsetzungen im Bebauungsplan zur Gestaltung unter anderem von Stellplätzen nach § 9 (1) BauGB und § 9 (1) BauO NRW heranzuziehen. Die Begrenzung der Stellplatzzahl ist nach § 9 (1) Nr. 4 BauGB in Verbindung mit § 12 (6) BauNVO festzusetzen.

Insbesondere Rückbaumaßnahmen (z. B. innerstädtischer Gewerbeflächen) sind als Chance zur Integration von mehr Grün in die hochverdichtete Bebauung zu ergreifen. Nach Möglichkeit ist eine erneute Versiegelung zu vermeiden und anstelle dessen Park- und Grünanlagen anzulegen. Bei unumgänglicher Neubebauung ist auf einen möglichst geringen Versiegelungsgrad und umfangreiche Begrünungsmaßnahmen hinzuwirken. Dies können die Anpflanzung großkroniger Laubbäume im Straßenraum, die Grüngestaltung eines Innenhofes sowie die Begrünung von Tiefgaragen, Dächern und Fassaden sein. Dachbegrünungen sind vor allem dort effektiv, wo niedrige Flachdächer klimatisch auf umstehende, höhere Gebäude wirken können (etwa in bebauten Innenhöfen). Bei ausreichender Größe der angelegten Dachbegrünung kann so der Wärme- und Feuchtehaushalt spürbar verbessert werden. Des Weiteren kann einer Überwärmung im Innenstadtbereich auch durch die Wahl geeigneter Baumaterialien und die Farbgestaltung von Hausfassaden und -dächern, die Integration von Verschattungselementen sowie einer optimierten Gebäudeausrichtung entgegengewirkt werden.

Zur Verbesserung des Mikroklimas hochversiegelter Aufenthaltsbereiche im Außenraum (z. B. Fußgängerzone und öffentliche Plätze) sollten Schattenelemente installiert, großkronige Bäume angepflanzt sowie offene, bewegte Wasserelemente (z. B. Springbrunnen) geschaffen werden.

Lastraum der Gewerbe- und Industrieflächen

Diese Gebiete sind zumeist durch einen sehr hohen Versiegelungsgrad, einen entsprechend geringen Grünflächenanteil sowie (in Abhängigkeit von der Art der angesiedelten Unternehmen) erhöhte Emissionen von Lärm und Luftschadstoffen gekennzeichnet. Zu den stadtklimatischen Auswirkungen der Industrie- und Gewerbeflächen zählen demnach eine hohe thermische, bioklimatische und lufthygienische Belastung sowie eine eingeschränkte Belüftungssituation.

Zu den Entwicklungszielen für die Industrie- und Gewerbeflächen zählen neben der Reduzierung nachteiliger Wirkungen auf die umliegenden Gebiete die Optimierung der lufthygienischen Situation sowie die Vermeidung großflächiger Wärmeinseln. Weiterhin ist die Entwicklung von akzeptablen Aufenthaltsqualitäten im Gewerbeumfeld tagsüber anzustreben.

Maßnahmen, die zu einer Verbesserung der Situation in den Lasträumen der Gewerbe- und Industriegebiete führen, bestehen in erster Linie in der Entsiegelung und dem Erhalt sowie der Erweiterung von Grün- und Brachflächen. Eine weitere sinnvolle Maßnahme ist die Begrünung von Fassaden und Dächern. Die hochverdichteten Bauflächen sowie Lager- und Freiflächen sollten durch die Anlegung breiter Pflanzstreifen gegliedert werden. Darüber hinaus bieten sich Stellplatzanlagen und das Umfeld von Verwaltungsgebäuden für Begrünungsmaßnahmen an. Um den Kern der Gewerbezonen herum sollte ein bepflanzter Freiraum als Puffer (Immissionsschutzpflanzung) zu angrenzenden (Wohn-) Flächen eingerichtet werden.

Bei Neuplanungen von Gewerbe- und Industriegebieten ist darauf zu achten, in den jeweiligen Planungsstufen die Belange von Klima und Lufthygiene zu berücksichtigen. Dies gilt insbesondere für die Rahmenplanung, das Bebauungsplanverfahren, die Vorhaben- und Erschließungsplanung sowie das Baugenehmigungsverfahren. Klimawirksame Maßnahmen lassen sich im Bebauungsplan für neue, aber auch für bereits bestehende und zu erweiternde Standorte durchführen. So ist im Rahmen der Eingriffsregelung - soweit möglich - darauf zu achten, zumindest einen Teil der Kompensationsmaßnahmen auf dem Gelände selbst durchzuführen, nicht nur um eine Einbindung in das Landschaftsbild zu erwirken, sondern auch um zu einer Ver-

besserung der klimatischen und lufthygienischen Bedingungen vor Ort beizutragen. Mit Hilfe geeigneter Festsetzungen ist eine Begrenzung der Flächeninanspruchnahme sowie eine ausreichende Grünausstattung vorzugeben. Weiterhin ist durch eine geeignete Baukörperanordnung und die Einschränkung bestimmter Bauhöhen eine optimale Durchlüftung zu gewährleisten.

8.1.1.2 Raumspezifische Hinweise

Raumspezifische Hinweise beziehen sich auf Planungsempfehlungen, die sich nicht in Last- oder Ausgleichsräume einordnen lassen, aber von hoher klimatischer und lufthygienischer Relevanz sind.

Grünvernetzung

Durch zusätzliche Begrünungsmaßnahmen können bereits existierende Wald-, Frei- und Grünflächen miteinander vernetzt werden, was zur Verbesserung der bioklimatischen und lufthygienischen Situation beiträgt. Darüber hinaus werden so wichtige Pufferräume geschaffen und stadtklimatische Belastungen abgemildert. Unter Grünvernetzung sind der Erhalt und Ausbau vorhandener Grün- und Freiflächen sowie die Einbeziehung von Grünflächen im hausnahen Bereich und von Straßengrün in umfangreiche Begrünungsmaßnahmen zu verstehen. Auch Dach- und Fassadenbegrünungen können in diesem Zusammenhang einen wichtigen Beitrag leisten. Bei allen Bebauungsmaßnahmen in diesen Bereichen sollte in Zukunft sorgfältig abgewogen werden, inwieweit sie erforderlich und klimatisch verträglich sind. Innerhalb der ausgewiesenen Bereiche zur Grünvernetzung sind zum Teil Gewerbegebiete angesiedelt, die durch intensive Dach- und Fassadenbegrünungen sowie die Begrünung von Lagerflächen und Parkplätzen eingebunden werden sollten.

Hauptverkehrsstraßen

Breite Straßenbänder erweisen sich sowohl tagsüber als auch in der Nacht durch eine starke Überwärmung als klimatisch belastet. Aufgrund ihrer geringen Oberflächenrauigkeit können sie die Funktion von Belüftungsschneisen erfüllen, die jedoch hohe Emissions- und Immissionsbelastungen aufweisen und darüber hinaus hohe Lärmbelastungen im Straßenraum und der angrenzenden Umgebung.

Dabei wurden alle Straßenabschnitte mit mindestens 20.000 Kfz/Tag (DTV-Werte) als Hauptverkehrsstraßen definiert. Wo Lärmschutzwände existieren, konzentrieren sich die Schadstoffe weitgehend auf den Straßenquerschnitt und nehmen im angrenzenden Raum rasch ab. Bei freier Lage allerdings können die Emissionen bis zu mehrere hundert Meter in die Umgebung eindringen. Zusätzlich führen hohe Lärmemissionen zu starken Umweltbelastungen in den angrenzenden Bereichen. Wesentliches Planungsziel sollte daher sein, Lärm- und Schadstoffbelastungen langfristig abzubauen. Neben Maßnahmen zur Verkehrsreduzierung sollten aktive und passive Lärmschutzmaßnahmen sowie Grünpuffer und Abstandszonen zu angrenzender Wohnbebauung eingerichtet werden.

Bahnanlagen

Ähnlich wie Straßen können auch Bahntrassen als Belüftungsbahnen wirksam sein. Obwohl sich die Luftmassen tagsüber über den Bahnanlagen stark erwärmen, kühlen sie nachts auch wieder rasch ab. Da es sich um Bereiche mit geringen Emissionen handelt, zählen Bahnanlagen zu den Entlastungsräumen in einem Stadtgebiet. Frische und kühlere Luftmassen aus den Ausgleichsräumen können über diese raugkeitsarmen Flächen bis in die Randbereiche des Stadtzentrums gelangen und dort die bioklimatische Situation begünstigen. Erhöhte Bahndämme sowie dichte Bepflanzung entlang der Trassen können im Bereich von Freiflächen lokale Kaltluftabflüsse an Hängen behindern. Das Ziel sollte den Schutz und Erhalt der Belüftungs- und Kaltluftbahnen darstellen.

Kaltluftsammelgebiete

In Niederungsbereichen und durch die Barrierewirkung von Dämmen (etwa von Straßen oder Gleisanlagen) können Kaltluftbewegungen zum Erliegen kommen, wodurch Kaltluftsammelgebiete entstehen. In diesen Bereichen können nächtliche Bodeninversionen gekoppelt mit einer erhöhten Nebelbildung auftreten. Die hierdurch eingeschränkten Belüftungsverhältnisse können zu einer verstärkten Anreicherung von Luftschadstoffen führen, wenn entsprechende bodennahe Emittenten vorhanden sind. In diesen Bereichen sollte möglichst keine Bebauung erfolgen bzw. die vorhandene Bebauung keine weitere Verdichtung erfahren. Insbesondere eine

Ansiedlung von bodennahen Emittenten sollte vermieden werden oder – falls unvermeidbar – ist darauf zu achten, dass die Emissionen in größerer Höhe freigesetzt werden. Zudem sollten auch Maßnahmen zur Reduzierung der Verkehrsemissionen in diesen Bereichen angestrebt werden. Um eine Verbesserung der lufthygienischen Situation in Kaltluftsammlgebieten mit angesiedelten Emittenten zu erzielen, sollten Belüftungsbahnen geöffnet werden.

8.1.1.3 Lokale Hinweise

Zusätzlich zu den allgemeinen Empfehlungen für die Ausgleichs- und Lasträume liefern die lokalen Hinweise konkrete Planungsempfehlungen für bestimmte Bereiche. Sie gelten teilweise Flächenscharf oder schließen deren unmittelbares Umfeld ein. Die Hinweise „Weitere Bebauung möglich“, „Keine weitere Verdichtung“, „Begrünung Gewerbe und Industrie“ sowie „Begrünung im Wohnbereich“ beziehen sich dagegen auf größere Areale der Quartiersebene. Die Hinweise haben immer auch einen exemplarischen Charakter. Empfehlungen, die für eine bestimmte Fläche gegeben werden, können und sollen daher auch auf Bereiche mit vergleichbaren Voraussetzungen übertragen werden.

Weitere Bebauung möglich

Bereiche, in denen eine weitere Bebauung keine zusätzlichen oder nur vertretbare nachteilige Auswirkungen auf die Ausprägung der klimatischen Bedingungen hätte, sind in der Planungshinweiskarte durch das Symbol „Weitere Bebauung möglich“ hervorgehoben. Bei der Bebauung oder Schließung einzelner Baulücken in diesen Gebieten ist zu berücksichtigen, dass die vorhandene Bebauungsstruktur umliegender Wohngebiete weitgehend aufgegriffen und eine zu hohe Verdichtung vermieden werden sollte. Bei einer Bebauung am Siedlungsrand ist durch die Gebäudeausrichtung (keine Riegelbebauung zum Umland) die Belüftungssituation zu erhalten.

Keine weitere Verdichtung

Bereiche, die aufgrund weiterer Bautätigkeiten und Nachverdichtungen nachteilige klimatische Veränderungen erfahren würden, sind durch das Symbol „Keine weitere Verdichtung“ in der Planungshinweiskarte gekennzeichnet. Diese Empfehlung wird vor allem für hochverdichtete Innenstadtbereiche, aber auch für locker bebaute Wohngebiete, die daran angrenzen, ausgesprochen. Bautätigkeiten im Bereich dieser Flächen würden eine Verschlechterung der klimatischen Situation im Umfeld bewirken und so zu einer Intensivierung und Ausdehnung überwärmter Gebiete führen.

Teilweise wird auch für Quartiere, die aufgrund ihrer aufgelockerten Bebauungsstruktur und ihres hohen bis sehr hohen Grünflächenanteils eine wichtige Funktion als Regenerationsraum einnehmen, empfohlen, eine weitere Verdichtung zu vermeiden. Aufgrund ihrer Vernetzungsfunktion zwischen angrenzenden Frei- und Grünflächen kann diesen Bereichen eine besonders hohe klimatische Bedeutung beigemessen werden und eine weitere Verdichtung könnte die Regenerations- und Ausgleichsfunktion dieser Flächen einschränken.

Klimatische Baugrenze

Um klimatisch wertvolle Räume zu schützen und eine Zersiedelung des Stadtgebietes zu verhindern, wurde an besonders wichtigen Stellen das Liniensymbol „Klimatische Baugrenzen“ gesetzt. Das Ziel ist, eine über die Begrenzung hinausgehende Bebauung zu vermeiden, um die klimatischen Ausgleichsfunktionen der angrenzenden Grün- und Freiflächen zu erhalten. Insbesondere Kalt- und Frischluftproduktionsflächen, Belüftungsbahnen und Grünflächenvernetzungen sollen durch Baugrenzen nicht weiter eingeschränkt werden.

Anstreben klimatischer Baugrenzen

Im Gegensatz zu klimatischen Baugrenzen, die eine Vermeidung der Bautätigkeit jenseits der Grenze empfehlen, ist durch das Symbol „Anstreben klimatischer Baugrenzen“ eine möglichst weitgehende Zurückhaltung bei Bautätigkeiten über die Grenzen hinaus anzustreben. Einzelne Gebäude können durchaus die Grenze überschreiten, größere zusammenhängende Baugebiete sollten jedoch nicht in den Außenraum vordringen.

Begrünung im Wohnbereich

Neben größeren Parks und Grünanlagen können auch kleinere begrünte Flächen in bebauten Gebieten eine bioklimatische Entlastung der Bevölkerung begünstigen. Gegenüber den größeren Flächen beschränken sich bei diesen kleinen Grünflächen die klimatischen Auswirkungen in der Regel auf die Flächen selbst (Oaseneffekt). Eine positive Wirkung wird also vor allem erzielt, wenn die Flächen als Aufenthaltsraum aufgesucht werden und die Bevölkerung somit während klimatisch belastender Wetterlagen von den kleinräumigen bioklimatischen und lufthygienischen Vorteilen profitieren kann.

Zu den Begrünungsmaßnahmen in Wohnbereichen zählen unter anderem die Bepflanzung und Begrünung von Fußgängerzonen, öffentlichen Plätzen, Straßenräumen und größeren Innenhöfen. Für die Bevölkerung werden durch diese Maßnahmen wichtige Klimaoasen zur Regeneration geschaffen. Neben Entsiegelungsmaßnahmen und der Anpflanzung schattenspendender großkroniger Bäume können auch Fassaden- und Dachbegrünungen eine verminderte Erwärmung in den Sommermonaten erwirken. Die Begrünung im Wohnbereich wurde als Planungsempfehlung in erster Linie in Bereichen mit ungünstigen bioklimatischen und lufthygienischen Bedingungen ausgesprochen. Diese Bereiche zeichnen sich in der Regel durch einen hohen Versiegelungsgrad und einen geringen Grünflächenanteil aus.

Begrünung Gewerbe und Industrie

In den Gewerbe- und Industriegebieten mit dem Symbol „Begrünung Gewerbe und Industrie“ sollte nach Möglichkeit durch gezielte Entsiegelungs- und Begrünungsmaßnahmen eine klimatische Aufwertung angestrebt werden. So können Begrünungsmaßnahmen im Bereich großer Abstands-, Lager- oder Reserveflächen innerhalb der gewerblich und industriell genutzten Areale die mikroklimatischen Bedingungen verbessern. Dabei sollte in erster Linie die Anpflanzung von Gehölzen, großkroniger Bäume (z. B. auf Parkplätzen) und die Installation von Dachbegrünung forciert werden.

Hinweise zur Begrünung von Gewerbe- und Industriegebieten sind in nahezu allen größeren Gewerbe- und Industriegebieten in der Karte der Planungshinweise zu

finden. Hier sind ausreichend große Frei- bzw. Dachflächen vorhanden, durch deren Begrünung eine Verbesserung der lokalklimatischen Bedingungen erzielt werden kann.

Begrünung im Straßenraum

Zusätzlich zu den lufthygienischen Belastungen und den Lärmemissionen durch den Kfz-Verkehr sind auch die bioklimatischen Verhältnisse aufgrund hoher Temperaturen und ungehinderter solarer Einstrahlung innerhalb einzelner Straßenräume oft sehr ungünstig. Durch eine Begrünung dieser Straßenzüge mit Bäumen und Sträuchern kann durch den Schattenwurf der Vegetation sowie die Verdunstung und Transpiration der Pflanzen eine Aufheizung der zumeist hochversiegelten Flächen vermindert werden.

Die Begrünung im Straßenraum sollte in erster Linie durch den Erhalt vorhandener großkroniger Laubbäume oder durch deren Anpflanzung erreicht werden. Gekennzeichnet sind diejenigen Straßen, in denen aus stadtklimatologischer Sicht ein besonderer Bedarf an Straßenbäumen gesehen wird. Dies schließt nicht aus, dass auch die Anpflanzungen von Bäumen in weiteren Straßenzügen klimatisch günstige Auswirkungen haben und zu begrüßen sind.

In Straßen mit schluchtartigem Charakter und hohem Verkehrsaufkommen ist eine zu dichte Anpflanzung großkroniger Bäume, die ein geschlossenes Kronendach über dem Straßenraum ausprägen, zu vermeiden. Hierdurch können die vertikalen Austauschverhältnisse eingeschränkt werden, was eine Akkumulation von Luftschadstoffen zur Folge haben kann. In solchen Straßenzügen wird daher empfohlen, möglichst kleinkronige Bäume mit ausreichendem Abstand anzupflanzen. Auf die Anlage von Alleen sollte insbesondere bei starken bodennahen Emissionen verzichtet werden. Derartige Einschränkungen zur Begrünung mit Bäumen gelten nur dort, wo sich unterhalb der Baumkrone signifikante Emissionsquellen befinden. Wenig befahrene Straßenabschnitte, öffentliche Plätze und Fußgängerzonen können durch eine Begrünung mit großkronigen Bäumen lokalklimatisch aufgewertet werden.

Bei der Auswahl von geeigneten Baumarten für die Begrünung im innerstädtischen Raum - dies gilt für eine Begrünung von Straßenzügen ebenso wie bei Parkbäumen - sind aus stadtklimatischer Sicht zwei Dinge zu beachten: Zum einen emittieren verschiedene Baumarten unterschiedlich große Mengen an flüchtigen organischen Stoffen, die zur Bildung von Ozon führen. Diese Bäume können so zu einer Erhöhung der Ozonbelastung beitragen und sind nicht zur Stadtbegrünung geeignet. Zum anderen müssen sich Stadtbäume auf veränderte, durch den Klimawandel verursachte Bedingungen einstellen. Insbesondere die zunehmende Sommerhitze in den Städten und damit verbundene sommerliche Trockenperioden fordern eine gezielte Auswahl von geeigneten Stadtbäumen für die Zukunft. Eine Liste geeigneter Straßenbäume mit fachlichen Empfehlungen wird vom Arbeitskreis Stadtbäume der Grünflächenamtsleiterkonferenz (GALK) herausgegeben und fortlaufend aktualisiert.

Immissionsschutzpflanzungen

In Bereichen mit bodennahen Emissionen können Immissionsschutzpflanzungen eine deutliche Verringerung der Immissionsbelastung bewirken. Um eine möglichst effektive Wirkung zu erzielen, sollte eine dichte und tiefe Gehölzanpflanzung angelegt werden. Besonders geeignet sind solche Anpflanzungen dort, wo Wohnbebauung unmittelbar an Gewerbe- oder Industriegebiete sowie an stark befahrene Straßen angrenzt.

Park- und Grünanlagen

Größere Park- und Grünanlagen sind in der Lage, das Bioklima positiv zu beeinflussen. Sie können ein eigenständiges Mikroklima ausbilden und sind – je nach ihrer Ausstattung und der Umgebungsstruktur – fähig, einen positiven Einfluss auf die Umgebung zu erzielen. Darüber hinaus sind sie aufgrund weitgehend fehlender Emittenten in der Regel Frisch- und Reinluftgebiete und können bei geeigneter Ausstattung eine Filterfunktion für Luftschadstoffe ausüben. Zudem werden sie zur Naherholung von der städtischen Bevölkerung genutzt. Um möglichst differenzierte Mikrokimate zu erhalten, sollte eine abwechslungsreiche Pflanzstruktur mit Bäumen, Sträuchern und Wiesen angestrebt werden.

Waldflächen

Die positive Wirkung von Waldflächen wurde bereits unter dem Stichwort „Ausgleichsräume“ (siehe oben) angesprochen. Größere zusammenhängende Wälder insbesondere im Nahbereich von Emittenten weisen neben einem günstigen Lokalklima auch eine Filterwirkung für Luftschadstoffe auf. Besonders effektiv ist die Filterwirkung bei Stäuben, aber auch gasförmige Luftbeimengungen können verdünnt und gebunden werden. Gerade in einem Ballungsraum wie dem Ruhrgebiet mit zahlreichen Emittenten spielen Waldflächen damit als Pufferraum eine wesentliche Rolle. Die vorhandenen Strukturen sollten daher erhalten bleiben und ausgebaut werden.

8.1.1.4 Luftaustausch

Der Luftaustausch trägt wesentlich zur Qualität des Mikroklimas bei. Überwärmte und mit Schadstoffen angereicherte Luftmassen können aus dem Stadtgebiet abgeführt und durch kühlere, immissionsärmere Luft aus dem Umland ersetzt werden. Neben Bereichen der Frischluftzufuhr und der Kaltluftabflüsse, deren Bahnen möglichst von weiterer Bebauung freigehalten werden sollten, werden in der Planungshinweiskarte Bereiche benannt, in denen Maßnahmen zur Förderung des Luftaustauschs ergriffen werden sollten, um die klimatische Situation in den angrenzenden Siedlungsbereichen zu erhalten bzw. zu verbessern.

Luftleitbahn

Besonders gut geeignet als Luftleitbahnen sind Flächen, die eine Mindestbreite von 50 m aufweisen, möglichst hindernisarm sind und eine ausreichend geradlinige Ausrichtung besitzen. Nur dann sind sie in der Lage, Luftmassen über längere Entfernungen ohne stärkere Verwirbelungen und Strömungswiderstände zu transportieren. Bei entsprechend geringer Oberflächenrauigkeit bzw. geringem Strömungswiderstand und geeigneter Ausrichtung können Luftleitbahnen zu einer wirkungsvollen Stadtbelüftung beitragen.

Zum Erhalt bzw. zur Aufwertung dieser Belüftungsbahnen sollten dort keine weiteren bodennahen Emittenten angesiedelt bzw. vorhandene Emissionen reduziert werden. Zudem ist im Bereich der Luftleitbahnen von einer weiteren Bautätigkeit

abzusehen. Zur Unterstützung der Belüftungsfunktion wird die Anlage rauigkeitsarmer Grünzonen im Umfeld der Belüftungsbahnen empfohlen. Zudem sollten Vernetzungsstrukturen in angrenzende klimatisch belastete Räume geschaffen und die Ränder der Luftleitbahnen in diesen Übergangsbereichen geöffnet werden.

Frischluftezufuhr

Große Freilandbereiche und Waldflächen sind für die Frischluftproduktion von großer Bedeutung. Bei geeigneten Windrichtungen können frische Luftmassen aus diesen Bereichen in die belasteten Stadtgebiete geführt werden und dort durch die Vermischung mit belasteten Luftmassen bzw. einen Luftmassenaustausch zu einer Verbesserung der Luftqualität beitragen. Die Übergangsbereiche dieser Freiland- und Waldareale in die Bebauung sollten eine aufgelockerte, durchgrünte Bebauungsstruktur mit einheitlich geringen Gebäudehöhen aufweisen, um ein weites Vordringen der Frischluftmassen in die belasteten Stadtbereiche hinein zu ermöglichen. Zudem sollten die potenziellen Frischluftschneisen unbedingt von weiterer Bebauung, insbesondere von der Ansiedlung von Emittenten, freigehalten werden.

Kaltluftabfluss

Kaltluftabflüsse können insbesondere während sommerlicher Strahlungsnächte zur Abkühlung überwärmter Siedlungsbereiche beitragen und somit den Wärmeinsellekt reduzieren. Die grundsätzlich dem Relief folgenden Abflussbahnen sind von Bebauung, Dammlagen und dichter Bepflanzung freizuhalten. Bei unvermeidbaren Bebauungsvorhaben sollten offene und aufgelockerte Strukturen angestrebt und hangparallele Riegelbebauungen unbedingt vermieden werden. Auf eine Ansiedlung von Emittenten im Bereich der Kaltluftabflussbahnen sollte ebenfalls verzichtet werden. Um die positiven klimatischen Effekte der kalten Luftmassen zu nutzen, sollten die Belüftungsbahnen mit den Siedlungsbereichen vernetzt werden.

Luftaustausch fördern und erhalten

Durch kleinräumige Verflechtungen größerer Frei- und Grünflächen mit angrenzenden lockeren bzw. durchgrünten Bebauungsstrukturen können Kaltluftabflüsse und schwächere Ausgleichsströmungen in die Siedlungsgebiete eindringen, wodurch

ein guter Luftaustausch und eine nächtliche Abkühlung der überwärmten Stadtbe-
reiche gewährleistet werden kann. Abfallende Geländesituationen können die
Frisch- und Kaltluftzufuhr in die angrenzenden Siedlungen begünstigen.

Um einen Luftaustausch zwischen den Flächen wirksam zu fördern, sollten die Frei-
und Grünflächen an ihren Rändern offen gestaltet werden. Weiterhin können die
Wirkungen durch Grünverbünde zwischen Parkanlagen und umliegender Bebau-
ung in Form von Straßenbäumen, begrünten Hausgärten oder zu den Grünflächen
hin geöffneten Innenhöfen verstärkt werden. Eine riegelförmige und dichte Bebau-
ung im Übergangsbereich zu den Grün- und Freiflächen ist zu vermeiden.

8.1.2 Gliederung der Stadt Fröndenberg/Ruhr anhand der Planungshinweiskarte

Der Großteil der Siedlungsbereiche im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr ist dem „Lastraum der überwiegend locker und offen bebauten Wohngebiete“ zuzuordnen. Mit Ausnahme des Stadtteils Fröndenberg entsprechen die Wohngebiete in sämtlichen Stadtteilen gänzlich diesem Lastraum. Aber auch im Stadtteil Fröndenberg überwiegen in weiten Teilen eher locker und offen bebaute Siedlungsstrukturen. Insbesondere trifft dies auf die Bebauung in Westick, auf der Hohenheide und am Mühlenberg zu. Das Stadtzentrum und daran angrenzende Wohngebiete sowie mehrere kleinere Bereiche im Stadtteil Fröndenberg sind hingegen den klimatisch stärker belasteten Planräumen „Lastraum der überwiegend dicht bebauten Wohn- und Mischgebiete“ oder „Lastraum der hochverdichteten Innenstadt“ zugehörig. Zudem weisen insbesondere die Stadtteile Fröndenberg, Neimen und Frohnhausen unter anderem mit dem Industriegebiet Westick-Ost/Frohnhausen sowie die Stadteile Langschede und Dellwig Bereiche des „Lastraums der Gewerbe- und Industrieflächen“ auf.

Die bioklimatischen Verhältnisse in den Bereichen des „Lastraums der überwiegend locker und offen bebauten Wohngebiete“ sind grundsätzlich als positiv zu bewerten. Um die günstigen klimatischen Eigenschaften vor dem Hintergrund des globalen Klimawandels langfristig zu sichern, sollten die offenen und begrünten Bebauungsstrukturen erhalten bleiben und insbesondere im Bereich von Belüftungsbahnen und/oder Grünvernetzungen kleinräumige Entsiegelungs- und Begrünungsmaßnahmen durchgeführt und gefördert werden.

In nahezu allen Stadtteilen ist dennoch aus rein stadtklimatologischer Sicht eine weitere maßvolle Nachverdichtung, die punktuelle Schließung von Baulücken oder die Ausweisung kleiner Neubaugebiete unter Beachtung der vorherrschenden lockeren Bebauungsstruktur und entsprechend hohem Grünflächenanteil vertretbar. Um einerseits eine weitere Verschärfung der Situation in den stärker verdichteten Bereichen zu vermeiden und andererseits die positiven klimatischen Verhältnisse innerhalb der aufgelockerten Wohngebiete zu wahren, sollten im Stadtzentrum sowie

auf dem Mühlenberg, am Sümberg und in Westick keine oder nur noch sehr punktuelle Nachverdichtungen erfolgen. Insbesondere bei Bauvorhaben an den Siedlungsrändern ist zum Erhalt der Austauschfunktionen zwischen den Last- und Ausgleichsräumen eine Riegelbebauung zu vermeiden. Zum Erhalt dieser Austauschfunktionen und zum Schutz relevanter klimatischer Ausgleichsflächen ist zudem an diversen Siedlungsrändern das Festschreiben einer klimatischen Baugrenze zu empfehlen. Dies ist unter anderem in Teilbereichen der Siedlungsränder von Dellwig, Langschede und Frömern sowie im Süden der Hohenheide und in dessen weiteren Verlauf am Siedlungsrand westlich der Bebauung am Hirschberg der Fall. Weiterhin sollten klimatische Baugrenzen am südlichen Siedlungsrand von Westick und Neimen sowie am Rammbach im Nordosten von Warmen festgeschrieben werden.

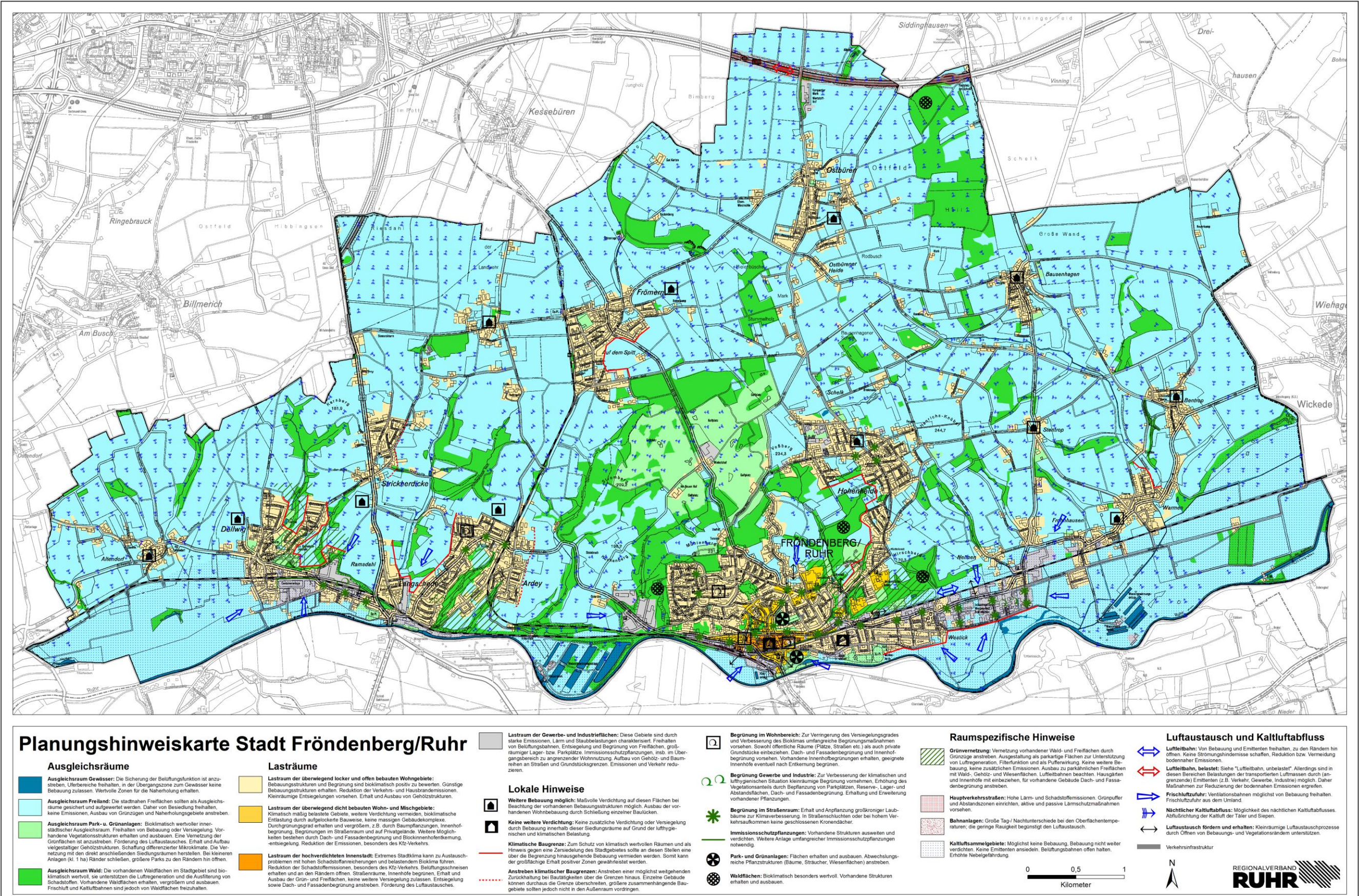
Die klimatischen Ausgleichsräume des Freilandes, der innerstädtischen Grün- und Parkanlagen sowie der Waldgebiete fungieren vielerorts als wichtige thermische Pufferzonen zwischen den Siedlungsbereichen, als lokale Kalt- und Frischluftproduzenten, als Belüftungsbahn und/oder als Filter für Luftschadstoffe und Lärm, weshalb sie grundsätzlich gesichert und von weiterer Bebauung freigehalten werden sollten. Von entscheidender Bedeutung für die Relevanz dieser Ausgleichsflächen ist die Vernetzung mit den klimatischen Lasträumen. Hierzu ist der Erhalt bestehender Belüftungsbahnen erforderlich. Darüber hinaus sollte auch in den Bereichen, die als Grünvernetzung gekennzeichnet sind, keine weitere Bebauung erfolgen, sondern eine weitere Stärkung der Vernetzungsfunktionen einerseits der Grünflächen untereinander sowie andererseits der Grünflächen mit den angrenzenden Siedlungsbereichen angestrebt werden.

In den klimatischen Lasträumen der „überwiegend dicht bebauten Wohn- und Mischbebauung“, der „hochverdichteten Innenstadt“ sowie der Gewerbe- und Industrieflächen treten die negativen Ausprägungen des Stadtklimas am deutlichsten hervor. Daher ist insbesondere in Übergangsbereichen von Grün-, Frei- und Waldflächen zu stark verdichteten Siedlungsstrukturen die Förderung des Luftaustausches zu forcieren. In hochverdichteten Bereichen, die keine direkte Anbindung an größere klimatische Ausgleichsflächen aufweisen und wo eine entsprechende

Grünvernetzung aufgrund der Bestandsstrukturen nicht realisierbar ist, sollten verstärkt kleinräumige Entsiegelungs- und Begrünungsmaßnahmen zur Verbesserung der mikroklimatischen Verhältnisse ergriffen werden. Insbesondere die Schaffung verdunstungsaktiver Flächen und schattenspendender Strukturen kann für lokale Abmilderung thermischer Belastungen sorgen. Bei fehlenden Entsiegelungs- und Rückbaumöglichkeiten können als Alternative Dach- und Fassadenbegrünungen zur Steigerung des Grünflächenanteils in diesen Bereichen umgesetzt werden. Zudem kann in hochversiegelten Straßenräumen durch den Erhalt und die Anpflanzung von Bäumen in Folge von Verschattungs- und Verdunstungseffekten eine lokale Klimaverbesserung erzielt werden. Hierbei ist zwingend darauf zu achten, dass sich in Straßenschluchten und bei hohem Verkehrsaufkommen keine geschlossenen Kronendächer entwickeln, die zu eingeschränkten Austauschverhältnissen und einer Schadstoffanreicherung führen können.

Relevante Kaltluftmassentransporte im Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr erfolgen vor allem von den landwirtschaftlich genutzten Flächen der Hanglagen des Haarstrangs. Diese kühlen Luftmassen können während autochthoner Strahlungsnächte teilweise in angrenzende Lasträume vordringen und dort eine Abmilderung der Wärmeinseleffekte bedingen, weshalb die Bereiche der Kaltluftabflussbahnen von weiterer Bebauung und dichter, riegelförmiger Bepflanzung freizuhalten sind. Insbesondere im Ruhrtal kann sich während autochthoner Witterung mit fehlendem übergeordnetem Strömungsantrieb ein großflächiges Kaltluftsammelgebiet bilden. Hier besteht grundsätzlich die Gefahr der bodennahen Schadstoffakkumulation, weshalb in diesen Bereichen die weitere Ansiedlung großer bodennaher Emittenten vermieden werden sollte.

Eine detailliertere Beschreibung der Planungshinweise für das Stadtgebiet von Fröndenberg/Ruhr wird im folgenden Kapitel 8.2 auf der Ebene der Stadtteile gegeben.



Karte 8-1: Planungshinweiskarte der Stadt Fröndenberg/Ruhr

8.2 Planungshinweise auf Ebene der Stadtteile

Im Folgenden werden die raum- und nutzungsbezogenen Empfehlungen aus der Planungshinweiskarte auf der Ebene der Stadtteile von Fröndenberg/Ruhr konkretisiert. Aufgrund der Raumstruktur bzw. der Gliederung des Stadtgebietes sowie im Sinne der Lesbarkeit und Übersichtlichkeit des vorliegenden Gutachtens werden teilweise mehrere Stadtteile zusammengefasst, wodurch das Stadtgebiet in vier Betrachtungsräume gegliedert wird.

Neben einer textlichen Beschreibung erfolgt eine tabellarische Aufbereitung für die jeweiligen Last- und Ausgleichsräume in diesen Bereichen. Dabei werden eine Kurzcharakterisierung der vorherrschenden Nutzung und deren Funktion sowie eine Auflistung prägender anthropogener und natürlicher Einflussfaktoren auf das vorherrschende Stadtklima gegeben. Darüber hinaus werden Gunst- und Ungunstfaktoren der bioklimatischen und immissionsklimatischen Situation aufgeführt und neben allgemeinen Empfehlungen auch lokale, für die Stadtteile bedeutsame Planungshinweise benannt.

Nimmt ein Last- oder Ausgleichsraum in einem Betrachtungsraum nur einen sehr geringen Flächenanteil ein und ist für diese Flächen kein besonderer lokal relevanter Planungshinweis ausgewiesen, so wurde auf die tabellarische Aufbereitung verzichtet und es gelten die allgemeinen Planungsempfehlungen für den jeweiligen Last- bzw. Ausgleichsraum.

8.2.1 Stadtteile Altendorf, Dellwig, Strickherdicke, Langschede und Ardey

Die im Westen von Fröndenberg/Ruhr gelegenen Stadtteile Altendorf, Dellwig, Strickherdicke, Langschede und Ardey sind durch weitläufige landwirtschaftlich genutzte Flächen gekennzeichnet. Das Relief ist stark ausgeprägt



und fällt deutlich von Norden nach Süden in das Ruhrtal ab, wobei mehrere Bachtäler, wie beispielsweise der Strickherdicker Bach, strukturgebend sind. Die Freiflächen der Hanglagen weisen weitestgehend hohe Werte für die Kaltluftproduktion sowie -volumenströme auf und sind Ausgangsort gleich mehrerer Kaltluftdynamiken, die allesamt ins Ruhrtal abfließen. Reliefbedingt kommt es über den dortigen landwirtschaftlichen Freiflächen zur Ausbildung eines Kaltluftsammelgebietes, wodurch bei autochthonen Wetterlagen im Ruhrtal eine bodennahe Akkumulation von Emissionen möglich ist. Bei einem ausgeprägten Tagesgang der Lufttemperatur weisen die Freilandbereiche im Sommer infolge der fehlenden Verschattung eine Tendenz zur Wärmebelastung am Tage und starker Abkühlung in den Nachtstunden auf. Während allochthoner Wetterlagen führt die geringe Rauigkeit der Freilandbereiche zu einer guten Durchlüftung.

Darüber hinaus sind in den westlichen Stadtteilen von Fröndenberg/Ruhr zumeist entlang von Bachtälern eine Vielzahl kleinerer Waldbereiche bzw. Gehölzbestände vorzufinden. Die Waldbestände in ausgeprägten Hanglagen weisen teilweise ebenfalls hohe Kaltluftproduktionen und Kaltluftabflüsse auf. Insbesondere bei geringer Reliefneigung können Kaltluftabflüsse von landwirtschaftlichen Freilandflächen allerdings grundsätzlich auch durch dichte Baumbestände bzw. Wälder abgebremst werden, wodurch diesen Wald- und Gehölzbeständen eine Barrierewirkung zukommt.

Die Siedlungsbereiche von Altendorf, Dellwig, Strickherdicke, Langschede und Ardey zeichnen sich durch eine insgesamt stark aufgelockerte und durchgrünte Wohnbebauung sowie eine geringe Entfernung zum unbebauten Umland aus. Dies sorgt für insgesamt sehr geringe nächtliche Wärmeinseleffekte, eine infolge der

geringen Rauigkeit günstige Durchlüftungssituation sowie Frischluftversorgung und somit für insgesamt positive klimatische Verhältnisse. Dies kann insbesondere in Teilen der Siedlungsbereiche von Altendorf, Dellwig und Langschede durch Kaltluftzuflüsse von den nördlich angrenzenden Freilandbereichen zusätzlich begünstigt werden. In Strickherdicke und Ardey sind hingegen trotz direkter Anbindung an Freilandflächen reliefbedingt kaum Kaltluftzuflüsse gegeben.

In Dellwig und Langschede sind darüber hinaus einige Gewerbeansiedlungen mit verschiedenen Nutzungsarten, die unter anderem Logistikbetriebe, Maschinenbauunternehmen, Großhändler, Solartechnik-Anbieter und eine Autowerkstatt umfassen, angesiedelt. Die gewerblich genutzten Flächen weisen einen sehr hohen Versiegelungsgrad und geringen Grünanteil auf. Allerdings liegen diese zumeist direkt angrenzend an Freilandbereiche, die durch Kalt- und Frischluftzufuhr bioklimatischen Belastungen entgegenwirken können. Im Sommer können tagsüber jedoch starke Überwärmungen der bodennahen Lufttemperaturen im Bereich der hochversiegelten und unverschatteten Flächen auftreten. Zudem sind die Gewerbestandorte innerhalb oder angrenzend zum Kaltluftsammelgebiet im Ruhrtal verortet, wodurch bei Inversionswetterlagen eine Akkumulation von bodennahen Emissionen möglich ist.

Die aufgelockerten Bebauungsstrukturen in Altendorf, Dellwig, Strickherdicke, Langschede und Ardey sollten grundsätzlich genauso erhalten bleiben wie die umliegenden Freilandbereiche, welche wertvolle Kalt- und Frischluftproduzenten darstellen. Allerdings ist eine maßvolle bauliche Nachverdichtung durch die Schließung bestehender Baulücken sowie die Ausweisung kleinerer Neubaugebiete aus stadtklimatischer Sicht in allen Stadtteilen grundsätzlich vertretbar. Der durchgrünte Siedlungscharakter sollte dabei erhalten und keine Riegelbebauung bzw. -pflanzung an den Siedlungsrändern etabliert werden. In Dellwig und Langschede wird zudem jeweils in Teilbereichen der nördlichen Siedlungsränder das Festschreiben klimatischer Baugrenzen empfohlen, um die Kaltluftzuflüsse der angrenzenden Freilandflächen zu erhalten. Darüber hinaus sollten am östlichen Siedlungsrand von Strickherdicke und Ardey klimatische Baugrenzen angestrebt werden, um die angrenzenden Kaltluftabflussbahnen nicht einzuschränken. Im Norden von Ardey sind aufgrund des hohen Anteils von Flachdächern Dachbegrünungen

zur Erhöhung des Grünanteils innerhalb der Bebauung geeignet. Darüber hinaus sollten Baumpflanzungen in privaten Gärten zur Schaffung von Schattenzonen angeregt werden. Unter anderem entlang der Hauptstraße in Dellwig sowie der Ardeyer Straße in Ardey wird der Erhalt bzw. die Neupflanzung weiterer Straßenbäume empfohlen. Die ausgewiesenen, bestehenden Grünverbindungen in Dellwig sowie in Ardey und Langschede sollten auch unter Einbeziehung der angrenzenden Bebauung erhalten bzw. ausgebaut werden.

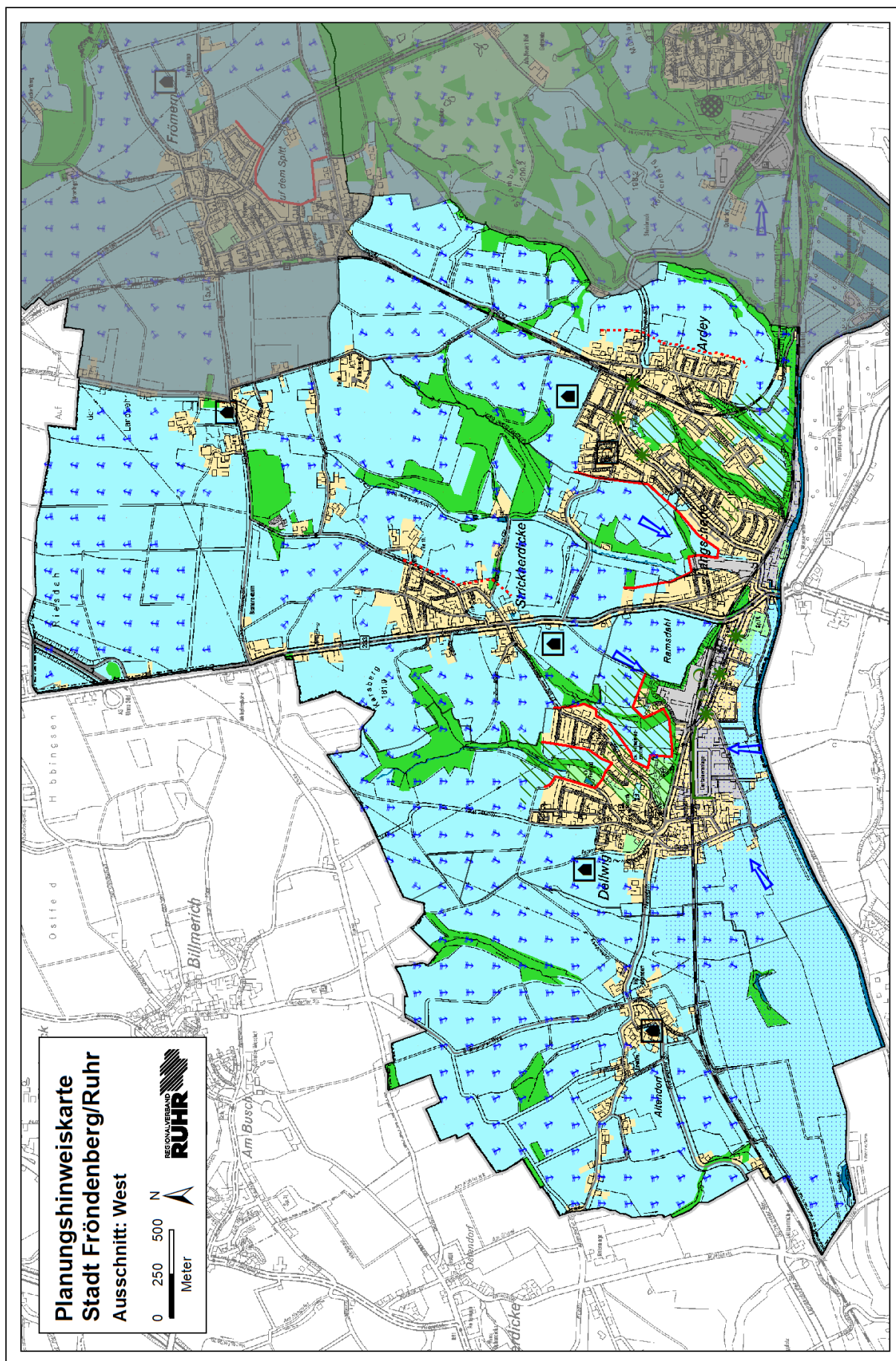
Im Bereich der Gewerbeflächen sind kleinräumige Entsiegelungs- und Begrünungsmaßnahmen angeraten. Beispielsweise könnte die Pflanzung großkroniger Bäume zur Verschattung versiegelter Flächen, wie etwa auf Parkplätzen, eine lokale Klimaverbesserung bewirken. Darüber hinaus wird auch die Anpflanzung einer bzw. Aufwertung der Immissionsschutzpflanzung westlich und nördlich der Containerlagerfläche in Dellwig empfohlen.

Stadtteile Altendorf, Dellwig, Strickherdicke, Langschede und Ardey: Lastraum der Gewerbe- und Industrieflächen	
Allgemeine Beschreibung	
Funktionen/Nutzungstypen	Klimarelevante Faktoren
- Gewerbestandorte in Dellwig und Langschede - verschiedene Nutzungsarten (u. a. Logistikbetriebe, Maschinenbauunternehmen, Großhändler, Solartechnik-Anbieter, Autowerkstatt, etc.)	- zum Teil sehr hoher Versiegelungsgrad - geringer Grünanteil sowie Baumbestand auf den Flächen selbst - zumeist angrenzend an Freilandflächen
Bioklima	
Gunstfaktoren	Ungunstfaktoren
☀ angrenzende Freilandflächen wirken bioklimatischen Belastungen entgegen ☀ teils Kaltluftzufluss von den jeweils nördlich angrenzenden Freilandflächen in Dellwig und Langschede	☂ im Sommer starke Überwärmung der bodennahen Lufttemperaturen im Bereich hochversiegelter und unverschatteter Flächen, daher Hitzestress und Schwülebelastungen möglich ☂ erhöhte nächtliche Lufttemperaturen
Immissionsklima	
Gunstfaktoren	Ungunstfaktoren
☀ die überwiegend geringen Gebäudehöhen begünstigen die Durchlüftung ☀ aufgrund der Nähe zu Freilandklimatopen ist die Zufuhr kühler und frischer Luftmassen in die Gewerbeflächen sowohl bei südlichen als auch bei nördlichen Windrichtungen möglich	☂ erhöhte Emissionen sowie Immissionen von Luftschadstoffen und Lärm in Abhängigkeit der gewerblichen Nutzung möglich ☂ lokale Windfeldmodifikationen durch Gebäudestrukturen möglich ☂ teilweise Lage im Kaltluftsammelgebiet des Ruhrtals; Akkumulation von bodennahen Emissionen bei Inversionswetterlagen möglich
Planungshinweise	
➤ Entsiegelungs- und Begrünungsmaßnahmen ➤ Erhalt und weitere Anpflanzung von Bäumen, Erhöhung des Anteils großkroniger Bäume zur Verschattung versiegelter Flächen (z. B. auf Parkplätzen) ➤ keine weitere Riegelbebauung oder -bepflanzung im Übergang zu den angrenzenden Freilandflächen, um die Kalt- und Frischluftzufuhr nicht zu unterbinden ➤ Reduzierung bodennaher Emissionen von Luftschadstoffen im Kaltluftsammelgebiet ➤ Anpflanzung einer bzw. Aufwertung der Immissionsschutzpflanzung westlich und nördlich der Containerlagerfläche in Dellwig ➤ Erhalt angrenzender Freiflächen ➤ Festschreibung klimatischer Baugrenzen im Norden der Gewerbestandorte in Dellwig und Langschede	

Stadtteile Altendorf, Dellwig, Strickherdicke, Langschede und Ardey: Lastraum der überwiegend locker und offen bebauten Wohngebiete	
Allgemeine Beschreibung	
Funktionen/Nutzungstypen	Klimarelevante Faktoren
- hauptsächlich aufgelockerte Wohnbebauung mit geringer Geschossanzahl (i. d. R. max. 2-3 Geschosse) - teils größere zusammenhängende Gartenareale bzw. größere Grünflächen im hausnahen Bereich und/oder Nähe zu größeren Freilandarealen	- geringer bis mittlerer Versiegelungsgrad - mittlerer bis hoher Grünflächenanteil - teils geringer Baumbestand in Gärten - Anbindung an klimatische Ausgleichsräume des Umlandes - teils Lage angrenzend zu Gewerbe und/oder im Kaltluftsammlgebiet im Ruhrtal
Bioklima	
Gunstfaktoren	Ungunstfaktoren
☀️ Grünflächen und Gärten innerhalb der Bebauung dienen als kleinräumige Klimaoasen ☀️ lediglich (sehr) geringe Wärmeinseleffekte ☀️ teilweise Kaltluftzuflüsse von angrenzenden Freilandflächen, insbesondere in Altendorf, Dellwig und Langschede ☀️ insgesamt positive bioklimatische Verhältnisse	☂️ punktuell kann die Wärmebelastung tagsüber im Sommer durch fehlende Verschattungselemente erhöht sein ☂️ in Strickherdicke und Ardey trotz direkter Anbindung an Freilandflächen reliefbedingt kaum Kaltluftzuflüsse gegeben
Immissionsklima	
Gunstfaktoren	Ungunstfaktoren
☀️ die geringe Rauigkeit trägt zu einer insgesamt günstigeren Durchlüftung bei ☀️ zumeist Frischluftzufuhr von angrenzenden Freilandbereichen in die Bebauung möglich	☂️ erhöhte Immissionen von Luftschadstoffen und/oder Lärm im Umfeld der Gewerbeansiedlungen ☂️ teils Lage innerhalb des Kaltluftsammlgebietes entlang der Ruhr; Akkumulation von Luftschadstoffen bei Inversionswetterlagen möglich
Planungshinweise	
➤ aufgelockerte und durchgrünte Bebauungsstruktur erhalten ➤ weitere Nachverdichtungen sowie die Ausweisung kleiner Neubaugebiete sind aus stadtklimatischer Sicht in allen Stadtteilen möglich ➤ im Norden von Ardey sind Dachbegrünung aufgrund des hohen Anteils von Flachdächern zur Erhöhung des Grünanteils innerhalb der Bebauung besonders geeignet ➤ in Dellwig und Langschede sind jeweils in Teilbereichen der nördlichen Siedlungsränder klimatische Baugrenzen festzuschreiben, um die Kaltluftzuflüsse der angrenzenden Freilandflächen zu erhalten ➤ am östlichen Siedlungsrand von Strickherdicke und Ardey sind zudem klimatische Baugrenzen anzustreben, um die angrenzenden Kaltluftabflussbahnen nicht zu stark einzuschränken ➤ Anpflanzung einer bzw. Aufwertung der Immissionsschutzpflanzung westlich und nördlich der Containerlagerfläche in Dellwig ➤ teilweise Baumpflanzungen in privaten Gärten zur Schaffung von Schattenzonen anregen ➤ Erhalt bzw. Neupflanzung von Straßenbäumen unter anderem entlang der Hauptstraße in Dellwig und der Ardeyer Straße in Ardey ➤ Erhalt und Ausbau bestehender Grünvernetzungen in Dellwig sowie in Ardey und Langschede unter Einbeziehung privater Grundstücke	

Stadtteile Altendorf, Dellwig, Strickherdicke, Langschede und Ardey: Ausgleichsraum Freiland	
Allgemeine Beschreibung	
Funktionen/Nutzungstypen	Klimarelevante Faktoren
- landwirtschaftlich genutzte Flächen - Kalt- und Frischluftproduzenten - Kaltluftabflussbereiche - im Süden: Kaltluftsammelgebiet im Ruhrtal	- Größe und Nutzung - räumlich-funktionale Vernetzung mit anderen Grünflächen sowie mit angrenzenden Lasträumen - Relief
Bioklima	
Gunstfaktoren	Ungunstfaktoren
☀ ausgeprägter Tagesgang der Lufttemperaturen mit Neigung zur Wärmebelastung zur Mittagszeit (fehlende Verschattung) und starker Abkühlung während der Nachtstunden ☀ zumeist hohe Kaltluftproduktion und -volumenströme (außer im Ruhrtal und den Kuppenlagen) ☀ Kaltluftabflüsse in Siedlungsbereiche von Altendorf, Dellwig und Langschede	☂ an heißen Sommertagen Tendenz zur Wärmebelastung aufgrund fehlender Verschattungselemente
Immissionsklima	
Gunstfaktoren	Ungunstfaktoren
☀ gute Durchlüftung aufgrund geringer Rauigkeit ☀ keine Emissionen; daher Frischluftproduzenten ☀ Frischluftzufuhr in angrenzende Siedlungsbereiche in Abhängigkeit der übergeordneten Windrichtung	☂ bei autochthonen Wetterlagen im Bereich des Kaltluftsammelgebietes im Ruhrtal bodennahe Akkumulation von Luftschadstoffen aufgrund von Emissionen angrenzender Gewerbeansiedlungen möglich
Planungshinweise	
➤ die vorhandenen Freiflächen sind grundsätzlich als wertvolle Kalt- und Frischluftproduzenten zu erhalten und zu sichern ➤ insbesondere sollten keine weiteren bodennahen Emittenten im Umfeld der Kaltluftabflussbahnen sowie des Kaltluftsammelgebietes im Ruhrtal angesiedelt werden ➤ in Dellwig und Langschede sind jeweils in Teilbereichen der nördlichen Siedlungsränder klimatische Baugrenzen festzuschreiben, um die Kaltluftzuflüsse der angrenzenden Freilandflächen zu erhalten ➤ am östlichen Siedlungsrand von Strickherdicke und Ardey sind zudem klimatische Baugrenzen anzustreben, um die angrenzenden Kaltluftabflussbahnen nicht einzuschränken ➤ Erhalt und Ausbau bestehender Grünvernetzungen in Dellwig sowie in Ardey und Langschede ➤ dennoch ist die weitere Ausweisung von Siedlungserweiterungen durch kleine Neubaugebiete im Westen von Dellwig, im Süden von Strickherdicke und nördlich der Bebauung von Ardey möglich	

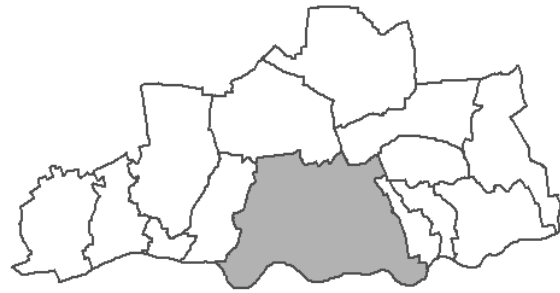
Stadtteile Altendorf, Dellwig, Strickherdicke, Langschede und Ardey: Ausgleichsraum Wald	
Allgemeine Beschreibung	
Funktionen/Nutzungstypen	Klimarelevante Faktoren
- zumeist kleinere Waldbereiche bzw. Gehölzbestände entlang von Bachtälern - lokale Kalt- und Frischluftproduzenten - teils Klimaoasen mit wohnnaher Freizeit- und Erholungsfunktion	- Größe der Wald- und Gehölzbestände - räumlich-funktionale Vernetzung mit anderen Grünflächen sowie mit angrenzenden Lasträumen - Relief
Bioklima	
Gunstfaktoren	Ungunstfaktoren
☀ gedämpfter Tagesgang der Lufttemperaturen bei allgemein niedrigen Temperaturen führt zu einem sehr milden, ausgeglichenen Stammraumklima ☀ sehr geringe thermische Belastungen; bioklimatische Wohlfahrtswirkung; daher wichtige Regenerations- und Erholungsräume ☀ teils hohe Kaltluftproduktion und Kaltluftabflüsse der Waldbestände in Hanglagen	☂ insbesondere bei geringer Reliefneigung können Kaltluftabflüsse von landwirtschaftlichen Freilandflächen grundsätzlich durch dichte Baumbestände bzw. Wälder abgebremst werden (Barrierewirkung)
Immissionsklima	
Gunstfaktoren	Ungunstfaktoren
☀ die Luftruhe im Stammraum wirkt sich positiv auf die Aufenthaltsdauer aus ☀ keine Emissionen; daher Regenerationsräume ☀ Filterfunktion durch Ad- und Absorption gas- und partikelgebundener Luftschadstoffe	☂ aufgrund der erhöhten Rauigkeit teils Hinder- nismwirkung für Luftmassentransporte; eingeschränkte Luftleitfunktion
Planungshinweise	
➤ die vorhandenen Waldflächen und Gehölzbestände sind als wertvolle Erholungs- und Regenerationsräume sowie aufgrund ihrer Filterfunktion und Frischluftproduktion zu erhalten und zu sichern ➤ Erhalt und Ausbau der bestehenden Grünvernetzungsstrukturen in Dellwig sowie in Ardey und Langschede ➤ keine weiteren dichten Baumbestände im Bereich von Kaltluftabflussbahnen etablieren, insbesondere im Übergang zu den Siedlungsbereichen	



Karte 8-2: Ausschnitt der Planungshinweiskarte der Stadt Fröndenberg/Ruhr für den Bereich West

8.2.2 Stadtteil Fröndenberg

Der Stadtteil Fröndenberg umfasst mit dem Stadtzentrum den (mit Ausnahme der Industrie- und Gewerbegebiete) am stärksten anthropogen überprägten Bereich des Stadtgebietes. Zwischen der Union- und Alleestraße im Norden bis



zur Bahntrasse im Süden sowie vom Parkplatz am Bahnhof im Westen bis zum Parkplatz an der Karl-Wildschütz-Straße im Osten wurde ein zusammenhängender Bereich dem klimatischen „Lastraum der hochverdichteten Innenstadt“ zugewiesen. Eine stark verdichtete Wohn- und Mischbebauung mit überwiegend zwei- bis vierstöckigen Gebäuden und einer sehr hohen Versiegelungsrate, das hochversiegelte Bahnhofsumfeld sowie weitere versiegelte öffentliche Plätze und Parkplätze prägen die bioklimatische Situation im Stadtzentrum von Fröndenberg/Ruhr. Während im westlichen Bereich des Stadtzentrums noch ein vergleichsweise hoher Baumbestand für eine Verschattung versiegelter Flächen sorgt, sind im östlichen Teil kaum Baumbestände vorzufinden. Die Nutzungsstruktur umfasst Einzelhandelsgeschäfte, Gastronomie, diverse Dienstleistungen, eine Pflegeeinrichtung sowie auch einen hohen Anteil an Wohnnutzung. Durch die Lage des Stadtzentrums im Ruhrtal und die geringe Entfernung zu den dortigen landwirtschaftlichen Freilandflächen südlich des Bahnhofs sowie den angrenzenden Grünflächen am Himmelmannpark sind teils Kaltluftzuflüsse in diesen Bereich möglich. Während allochthoner Wetterlagen mit übergeordnetem Wind aus südlichen Richtungen können über die genannten Bereiche zudem Frischluftmassen in das Stadtzentrum transportiert werden. Die Lage innerhalb des Kaltluftsammlgebietes im Ruhrtal kann während Inversionswetterlagen allerdings auch eine Akkumulation bodennaher Emissionen bedeuten.

Insbesondere im Bereich hochversiegelter und unverschatteter Flächen, wie den genannten öffentlichen Plätzen und Parkplätzen, können im Sommer starke Überwärmungen der bodennahen Lufttemperaturen sowie hohe solare Einstrahlungswerte auftreten, was zu Hitzestress und Schwülebelastungen führen kann. Die

starke bauliche Überprägung führt zudem zu einer hohen Wärmespeicherung der urbanen Oberflächen aus der Sonneneinstrahlung und somit zu erhöhten, nächtlichen Wärmeinseleffekten. Grundsätzlich zeichnen sich Lasträume der hochverdichteten Innenstadt infolge der erhöhten Rauigkeit durch herabgesetzte Windgeschwindigkeiten und einer schlechteren Durchlüftungssituation aus. Allerdings können durch bestimmte Gebäudestrukturen auch lokale Windfeldmodifikationen zu Turbulenz- bzw. Düseneffekten und damit zu Winddiskomfort führen.

Angrenzend zum Stadtzentrum sind zudem weitere klimatische „Lasträume der überwiegend dicht bebauten Wohn- und Mischgebiete“ vorzufinden. In diesen Bereichen sind teilweise lokale Verbesserungen des Mikroklimas durch höhere Grünflächenanteile innerhalb der Bebauung zu konstatieren. Allerdings sind vereinzelt auch hitzesensible Einrichtungen, wie das Justizvollzugskrankenhaus, das Schmalenbachhaus, die Gesamtschule sowie die beiden benachbarten Grundschulen, aufgrund eines lokal erhöhten Versiegelungsgrades diesem Lastraum zugeordnet.

In den „Lasträumen der hochverdichteten Innenstadt“ sowie in den angrenzenden Bereichen der „Lasträume der überwiegend dicht bebauten Wohn- und Mischgebiete“ sollte keine weitere Bebauung und Versiegelung vorgenommen werden. Hingegen sollten insbesondere im Stadtzentrum Rückbaumaßnahmen als Chance zur Integration von mehr Grün in das Stadtbild ergriffen und bei unvermeidbarer Neubebauung ein erhöhter Grünflächenanteil realisiert werden. Die Erhöhung des Grünflächenanteils sollte zudem durch eine Vielzahl kleinräumiger Entsiegelungs- und Begrünungsmaßnahmen angestrebt werden. Hierzu zählen beispielsweise die Anpflanzung von Bäumen auf Parkplätzen, Schulhöfen und öffentlichen Plätzen, die Entkernung und Begrünung von Innenhöfen sowie Dach- und Fassadenbegrünungen. Dachbegrünungen sind insbesondere auf geringgeschossigen Gebäuden, wie beispielsweise auf Anbauten oder Garagenanlagen in versiegelten Innen- bzw. Hinterhöfen, wirksam. Durch die richtige Auswahl von Baumaterialien sowie hellen Dach- und Fassadenfarben kann Einfluss auf die Wärmespeicherfähigkeit der urbanen Oberflächen genommen und eine Aufheizung von Gebäuden oder versiegelten Flächen reduziert werden. Auf öffentlichen Plätzen kann zudem die Errichtung von Verschattungselementen und bewegten Wasserinstallationen für lokale Klimaverbesserungen sorgen. In einer Vielzahl von Straßenzügen, wie unter anderem der

Union- und Alleestraße, Eulenstraße, Overbergstraße sowie der Wilhelm-Feuerhake-Straße, wird der Erhalt bzw. die Neupflanzung von Straßenbäumen empfohlen. Allerdings sind geschlossene Kronendächer über dem Straßenraum zu vermeiden, da dies zu einer eingeschränkten Durchlüftung und somit zur Schadstoffanreicherung im Straßenraum führen kann. Ebenso sollten nördlich der Bismarckstraße Immissionsschutzpflanzungen zwischen der Bahntrasse und der Bebauung des Stadtzentrums errichtet bzw. aufgewertet werden. Darüber hinaus sollte der Luftaustausch von den Freilandflächen südlich des Bahnhofs und über den Himmelmannpark in Richtung Stadtzentrum sowie von den Freilandbereichen nördlich der Gesamtschule in die südlich angrenzende Bebauung erhalten bleiben bzw. gefördert werden.

Weite Teile der zumeist reinen Wohnbebauung in Westick, am Mühlenberg, Sümberg, Hirschberg und auf der Hohenheide weisen eine deutlich lockerere und offenere Bebauungsstruktur mit erhöhtem Grünanteil auf. Daher sind die bio- und immissionsklimatischen Verhältnisse in diesen Bereichen von Fröndenberg insgesamt deutlich positiver zu bewerten. Die Grünflächen und Gärten innerhalb der Bebauung dienen als kleinräumige Klimaoasen und sorgen für eine hohe Variabilität der Mikroklimata und deutlich reduzierte nächtliche Wärmeinseleffekte. Punktuell kann die Wärmebelastung durch fehlende Verschattungselemente tagsüber im Sommer jedoch auch in diesen Bereichen erhöht sein. Insbesondere am Hirschberg und in Westick sind nächtliche Kaltluftzuflüsse in Teile der Bebauung möglich, während auf dem Mühlenberg und der Hohenheide kaum Kaltluftzufuhr erfolgt.

In den „Lasträumen der überwiegend locker und offen bebauten Wohngebiete“ im Stadtteil Fröndenberg sollten die aufgelockerten und durchgrünten Bebauungsstrukturen erhalten bleiben und zur Wahrung der positiven klimatischen Bedingungen insbesondere in der Nachbarschaft zu dichterem Bebauung sowie in Westick keine stärkere bauliche Nachverdichtung erfolgen. Insbesondere auf der Hohenheide ist aus rein stadtklimatischer Sicht eine weitere Nachverdichtung durch die Schließung von Baulücken oder die Ausweisung kleiner Neubaugebiete hingegen vertretbar. Teilweise sollten weitere Baumpflanzungen in privaten Gärten zur Schaffung kühler Schattenzonen angeregt werden. Am südlichen Siedlungsrand

von Westick sowie im Südwesten der Hohenheide und in deren Verlängerung westlich der Bebauung am Fasanenweg, Schwalbenweg und Jägertal wird darüber hinaus die Festsetzung einer klimatischen Baugrenze empfohlen.

Neben dem hochverdichteten Stadtzentrum hat der Stadtteil Fröndenberg zudem Anteile am Industriegebiet Westick-Ost/Frohnhausen. Zudem sind im Gewerbegebiet Atlantik an der Ardeyer Straße, im Umfeld des Bahnhofs sowie des Harthaer Platzes, entlang der Westicker Straße und in den Telgen auf der Hohenheide weitere Gewerbeflächen verortet. Die Gewerbe- und Industriegebiete weisen zumeist einen sehr hohen Versiegelungsgrad und entsprechend geringen Grünanteil sowie Baumbestand auf den Flächen selbst auf. Allerdings sind sie zumeist direkt an benachbarte Freiland- oder Waldbereiche angebunden und profitieren somit von nächtlichen Kaltluftzuflüssen. Beispielsweise können Kaltluftmassentransporte vom Hirschberg in das Industriegebiet Westick-Ost/Frohnhausen erfolgen, kühle Luftmassen aus dem Löhnbachtal in den Bereich um den Harthaer Platz abfließen und die Freiland- und Waldbereiche entlang des Voßacker Bachs sowie am Küchenberg das Gewerbegebiet Atlantik mit Kaltluft versorgen. Zudem erfahren auch die Gewerbeflächen im Umfeld des Bahnhofs eine nächtliche Kaltluftversorgung während sommerlicher, autochthoner Wetterlagen. Während allochthoner Wetterlagen sind bei entsprechenden Windrichtungen zudem Frischluftmassentransporte von den jeweils angrenzenden Freiland- und Waldflächen in die genannten gewerblich und industriell genutzten Bereiche möglich. Dennoch können in den hochversiegelten Gewerbe- und Industriebereichen im Sommer erhöhter Hitzestress und hohe nächtliche Wärmeinseleffekte auftreten. Ebenso können insbesondere innerhalb des Kaltluftsammelgebietes im Ruhrtal während Inversionswetterlagen durch lokal angesiedelte Emittenten oder den Schwerlastverkehr erhöhte Emissionen und Immissionen von Luftschadstoffen vorliegen.

Zur Reduzierung der klimatischen Belastungen sollten in den Lasträumen der Gewerbe- und Industrieflächen Entsiegelungs- und Begrünungsmaßnahmen durchgeführt werden. Insbesondere Parkplätze von Firmen oder Supermärkten eignen sich zur (weiteren) Anpflanzung großkroniger Bäume. Ferner sollten mehr Straßenbäume in den Gewerbe- und Industriegebieten gepflanzt werden bzw. die vorhandenen Bäume erhalten bleiben. Dies trifft beispielsweise auf die Westicker Straße

oder Wilhelm-Feuerhake-Straße zu. Der hohe Anteil an Flachdächern ist vorbehaltlich der statischen Voraussetzungen grundsätzlich zur vermehrten Installation von Dachbegrünungen geeignet. Innerhalb des Kaltluftsammlgebietes sollten Maßnahmen zur Reduzierung der Emissionen ergriffen und keine weiteren bodennahen Emittenten angesiedelt werden. Zudem sollte der Luftaustausch in den beschriebenen Kalt- und Frischluftzufuhrbereichen erhalten bzw. gefördert werden. Am südlichen Rand des Industriegebietes Westick-Ost/Frohnhausen wird entlang der Werner-von-Siemens-Straße die Festsetzung einer klimatischen Baugrenze empfohlen.

Der Stadtteil Fröndenberg verfügt jedoch auch über eine Vielzahl klimatischer Ausgleichsräume. Deren klimatische Funktionen als Kalt- und Frischluftlieferanten für angrenzende Wohn-, Gewerbe- und Industriegebiete wurden in diesem Kapitel bereits erläutert. Neben landwirtschaftlich genutzten Freiflächen sind größere Waldbestände im Bereich Buschholt, entlang des Ostholzbachs und Voßacker Bachs, im Bereich des Löhnbachtals sowie am südlichen Hirschberg vorzufinden. Darüber hinaus sind kleinere, dichte Baumbestände innerhalb der Siedlungsstrukturen, wie zum Beispiel der Lunapark, als Ausgleichsraum Wald eingestuft worden. Als Ausgleichsraum Park- und Grünflächen sind neben den beiden großen benachbarten Golfplätzen im Norden des Stadtteils vor allem der Himmelmannpark, der Hindenburgpark und die beiden Friedhöfe erwähnenswert. Die genannten Waldgebiete sowie Park- und Grünanlagen können an heißen Sommertagen der Bevölkerung als wichtige klimatische Erholungs- und Regenerationsräume dienen. Den größeren Waldgebieten kommt eine grundsätzliche Filterfunktion für Luftschadstoffe zu, während dem Waldbestand zwischen dem Gewerbegebiet Atlantik und der Wohnbebauung an der Paul-Löbe-Straße eine zusätzliche Immissionsschutzwirkung zugesprochen werden kann. Vom Löhnbachtal über den Bereich um den Harthaer Platz zu den Grün-, Freiland- und Waldflächen entlang der Straße Am Klingelbach wurde eine Grünvernetzungsstruktur ausgewiesen. Die Freilandbereiche zwischen der Bahntrasse entlang der Straße Am Klingelbach und den nördlich angrenzenden Waldflächen am südlichen Hirschberg können die Funktion einer lokalen bodennahen Luftleitbahn einnehmen.

Die vorhandenen Park- und Grünanlagen, die bestehenden Wald- und Gehölzbestände sowie die weitläufigen Freilandbereiche sind zu erhalten und die bestehende Grünvernetzungsstruktur auszubauen. Die Übergangsbereiche zwischen größeren Grün- und Parkanlagen (z. B. Himmelmannpark) und der angrenzenden Bebauung sollten offengehalten werden, um Vernetzungen zu schaffen, während zur Schaffung von Klimaoasen bei kleineren Grün- und Parkanlagen deren Ränder zu schließen sind. Im Bereich der Kaltluftabflussbahnen ist zudem die weitere Etablierung dichter Baum- und Gehölzbestände zu vermeiden, um den Kaltluftmassentransport nicht zu unterbinden.

Stadtteil Fröndenberg: Lastraum der Gewerbe- und Industrieflächen	
Allgemeine Beschreibung	
Funktionen/Nutzungstypen	Klimarelevante Faktoren
- Anteile am Industriegebiet Westick-Ost/Frohnhausen (u. a. Supermärkte, Kfz-Dienstleistungen, Maschinenbauunternehmen) - Gewerbegebiet Atlantik an der Ardeyer Straße (u. a. Metallwaren- und Werkzeugherstellung, Logistik- und Verpackungsunternehmen) - weitere Gewerbeansiedlungen u. a. im Umfeld des Bahnhofs sowie des Harthaer Platzes, entlang der Westicker Straße und in den Telgen auf der Hohenheide	- sehr hoher Versiegelungs- bzw. Überbauungsgrad bei entsprechend geringem Grünanteil sowie Baumbestand auf den Flächen selbst - zumeist direkte Anbindung an Freiland oder Waldflächen - teils Lage im Kaltluftsammelgebiet - teils direkt angrenzend an Wohnbebauung
Bioklima	
Gunstfaktoren	Ungunstfaktoren
☀ Kaltluftzuflüsse vom Hirschberg in die Gewerbeflächen in Westick, aus dem Löhnbachtal in den Bereich um den Harthaer Platz sowie entlang des Voßacker Bachs und vom Küchenberg in das Gewerbegebiet Atlantik ☀ Kaltluftversorgung der Gewerbeflächen im Umfeld des Bahnhofs gegeben	☂ im Sommer starke Überwärmung der bodennahen Lufttemperaturen im Bereich hochversiegelter und unverschatteter Flächen, daher Hitzestress und Schwülebelastungen möglich ☂ teils hohe nächtliche Überwärmung
Immissionsklima	
Gunstfaktoren	Ungunstfaktoren
☀ aufgrund der Nähe zu Freiland- und Waldklimatopon ist während allochthoner Wetterlagen die Zufuhr von Frischluftmassen in das Gewerbegebiet Atlantik (v. a. bei östlichen Windrichtungen) sowie in die Gewerbebereich im Umfeld des Bahnhofs (v.a. bei südlichen Windrichtungen) und im Osten von Westick (v.a. bei südlichen und nördlichen Windrichtungen) möglich	☂ erhöhte Emissionen sowie Immissionen von Luftschadstoffen und Lärm in Abhängigkeit der gewerblichen Nutzung ☂ teils Lage innerhalb des Kaltluftsammelgebietes im Ruhrtal; Akkumulation von bodennahen Emissionen bei Inversionswetterlagen möglich
Planungshinweise	
➤ Entsiegelungs- und Begrünungsmaßnahmen der Gewerbe- und Industrieflächen ➤ Dach- und Fassadenbegrünungen ➤ Erhalt und weitere Anpflanzung von Straßenbäumen (z. B. entlang der Westicker Straße, Wilhelm-Feuerhake-Straße) ➤ Erhöhung des Anteils großkroniger Bäume (z. B. auf Firmen- und Supermarktparkplätzen) ➤ Erhalt angrenzender Freiland- und Waldflächen ➤ Erhalt und Ausbau der Grünvernetzung vom Löhnbachtal über den Bereich um den Harthaer Platz zu den Grün-, Freiland- und Waldflächen entlang der Straße Am Klingelbach ➤ Erhalt bzw. Förderung des Luftaustauschs zwischen den Freilandflächen südlich des Bahnhofs und den angrenzenden Gewerbeflächen, aus dem Löhnbachtal in Richtung Süden sowie im Bereich Am Klingelbach (z. B. keine weitere Riegelbebauung bzw. -bepflanzung in den Übergangsbereichen) ➤ Festschreiben einer klimatischen Baugrenze am südlichen Siedlungsrand des Industriegebietes Westick-Ost/Frohnhausen ➤ Reduzierung bodennaher Emissionen sowie keine weitere Ansiedlung bodennaher Emittenten im Bereich des Kaltluftsammelgebietes	

Stadtteil Fröndenberg: Lastraum der hochverdichteten Innenstadt	
Allgemeine Beschreibung	
Funktionen/Nutzungstypen	Klimarelevante Faktoren
- Wohn- und Mischbebauung mit überwiegend zwei- bis vierstöckiger Bebauung - Einzelhandel, Gastronomie, Arztpraxen, Pflegeeinrichtungen, etc. - öffentliche Plätze sowie Parkplätze - konzentriert auf das Stadtzentrum zwischen der Union- und Alleestraße im Norden sowie der Bahntrasse im Süden	- hoher bis sehr hoher Versiegelungsgrad - geringer Grünflächenanteil - geringer Baumbestand im östlichen Stadtzentrum - Anbindung an klimatische Ausgleichsräume
Bioklima	
Gunstfaktoren	Ungunstfaktoren
☀ durch die geringe Abkühlung in den Abendstunden wird die mögliche Aufenthaltsdauer verlängert ☀ teils Kaltluftzuflüsse aus angrenzenden Grün- und Freilandflächen ☀ geringe Entfernung zu größeren klimatischen Ausgleichsräumen ☀ hoher Baumbestand im westlichen Stadtzentrum	☂ im Sommer starke Überwärmung der bodennahen Lufttemperaturen im Bereich hochversiegelter und unverschatteter Flächen, daher Hitzestress und Schwülebelastungen möglich ☂ hohe nächtliche Überwärmung ☂ lokale Windfeldmodifikationen durch die Gebäudestruktur können infolge von Turbulenz- und Düseneffekten zu Winddiskomfort führen
Immissionsklima	
Gunstfaktoren	Ungunstfaktoren
☀ Frischluftmassenzufuhr während allochthoner Wetterlagen aus südlichen Richtungen möglich	☂ insgesamt schlechtere Durchlüftungssituation durch herabgesetzte Windgeschwindigkeiten infolge erhöhter Rauigkeit ☂ Lage innerhalb des Kaltluftsammegebietes im Ruhrtal; Akkumulation von bodennahen Emissionen bei Inversionswetterlagen möglich
Planungshinweise	
➤ keine weitere Bebauung und Versiegelung in diesen Bereichen zulassen ➤ Rückbaumaßnahmen sollten als Chance zur Integration von mehr Grün in das Stadtbild ergriffen werden; bei unvermeidbarer Neubebauung sollte ein erhöhter Grünflächenanteil realisiert werden ➤ Erhöhung des Grünflächenanteils durch kleinräumige Entsiegelungs- und Begrünungsmaßnahmen anstreben und fördern, wie der Anpflanzungen schattenspendender Bäume auf Parkplätzen und öffentlichen Plätzen, Entkernung und Begrünung von Innenhöfen, Dach- und Fassadenbegrünungen ➤ Errichtung von Verschattungselementen und bewegter Wasserinstallationen auf öffentlichen Plätzen ➤ Erhalt bzw. Neupflanzung von Straßenbäumen (z. B. Union- und Alleestraße sowie Wilhelm-Feuerhake-Straße); dabei geschlossene Kronendächer über dem Straßenraum vermeiden ➤ Errichtung bzw. Aufwertung von Immissionsschutzpflanzungen zwischen der Bahntrasse und der angrenzenden Bebauung im östlichen Stadtzentrum ➤ Erhalt bzw. Förderung des Luftaustauschs von den Freilandflächen südlich des Bahnhofs sowie über den Himmelmannpark in Richtung Stadtzentrum	

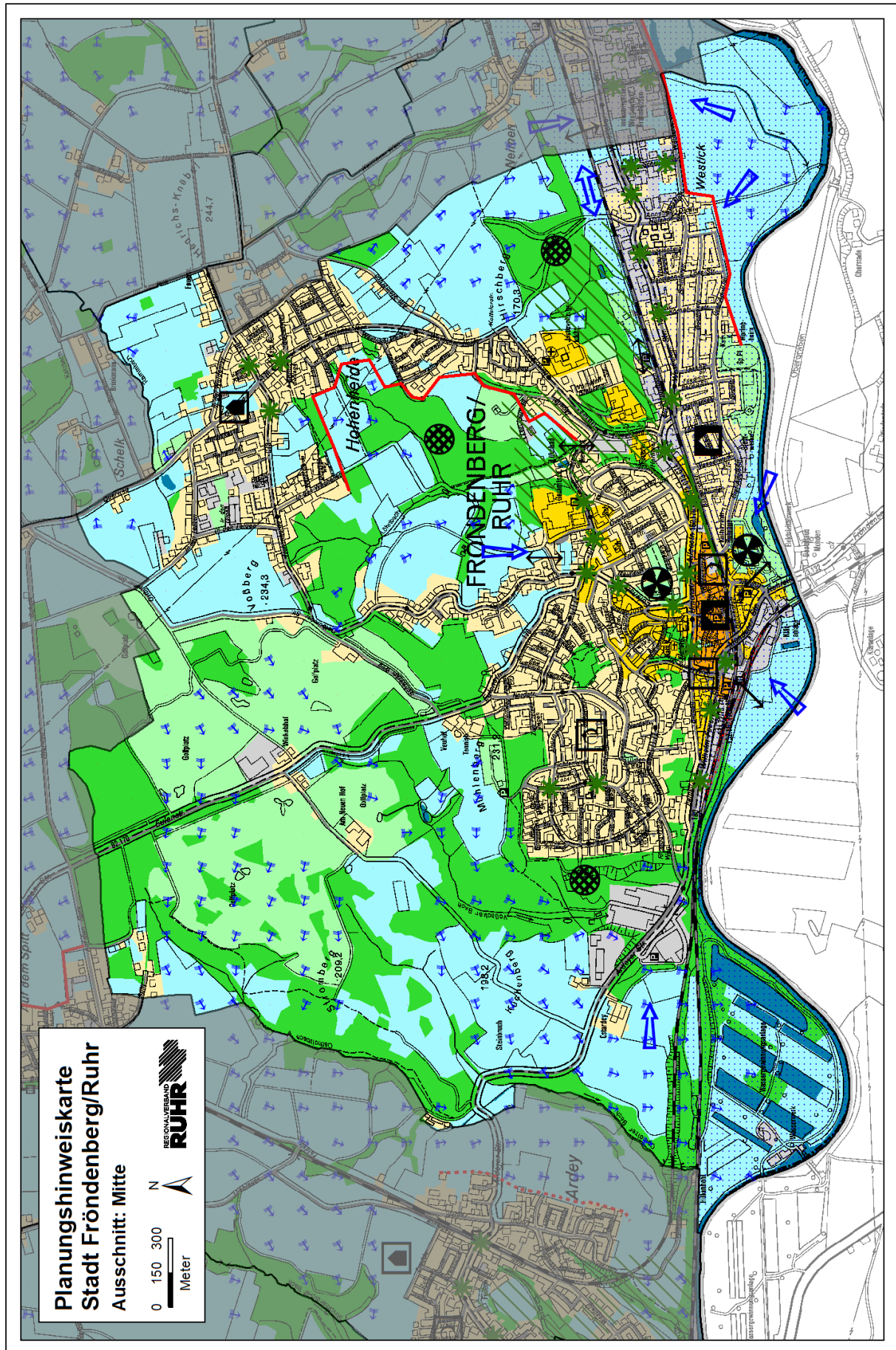
Stadtteil Fröndenberg: Lastraum der überwiegend dicht bebauten Wohn- und Mischgebiete	
Allgemeine Beschreibung	
Funktionen/Nutzungstypen	Klimarelevante Faktoren
- Wohn- und Mischgebiete angrenzend zum Stadtzentrum mit mehreren öffentlichen Gebäuden (z. B. Rathaus, Kirchen) - Gesamtschule sowie die beiden benachbarten Grundschulen, Justizvollzugskrankenhaus, Schmalenbachhaus	- mittlerer bis hoher Versiegelungsgrad - mittlerer Grünflächenanteil sowie Baumbestand - Größe und Ausdehnung der Bereiche - Entfernung zu klimatischen Ausgleichsräumen
Bioklima	
Gunstfaktoren	Ungunstfaktoren
 teilweise lokale Verbesserung des Mikroklimas durch höheren Grünflächenanteil innerhalb der Bebauung (Klimaoasen) oder direkter Anbindung an Grün-, Freiland- oder Waldflächen	 im Sommer starke Überwärmung der bodennahen Lufttemperaturen im Bereich hochversiegelter und unverschatteter Flächen, daher Hitzestress und Schwülebelastungen möglich (z. B. im Bereich von Parkplätzen und Schulhöfen)
Immissionsklima	
Gunstfaktoren	Ungunstfaktoren
 während allochthoner Wetterlagen und entsprechender Windrichtungen teils Frischluftzufuhr von angrenzenden Freiland- und Grünflächen möglich (insb. im Bereich der Bebauungen zwischen Bergstraße und Wilhelm-Feuerhake-Straße sowie an der Bahnhof-, Ruhr- und Bismarckstraße und im Bereich der Schulen)	 insgesamt schlechtere Durchlüftungssituation durch herabgesetzte Windgeschwindigkeiten infolge erhöhter Rauigkeit  teils Lage innerhalb des Kaltluftammelgebietes im Ruhrtal; Akkumulation von bodennahen Emissionen bei Inversionswetterlagen möglich
Planungshinweise	
➤ möglichst keine weitere Bebauung und Versiegelung in diesen Bereichen zulassen ➤ Erhöhung des Grünflächenanteils durch kleinräumige Entsiegelungs- und Begrünungsmaßnahmen anstreben ➤ Anpflanzungen schattenspendender Bäume auf Parkplätzen und Schulhöfen ➤ Erhalt bzw. Neupflanzung von Straßenbäumen u. a. entlang der Union- und Alleestraße, der Wilhelm-Feuerhake-Straße, der Eulenstraße sowie der Overbergstraße; dabei geschlossene Kronendächer vermeiden ➤ Erhalt bzw. Förderung des Luftaustauschs über den Himmelmannpark in Richtung Stadtzentrum sowie von den Freilandflächen nördlich der Gesamtschule in die angrenzende Bebauung hinein ➤ Erhalt und Ausbau der Grünvernetzung vom Löhnbachtal über den Bereich um den Harthaer Platz zu den Grün-, Freiland- und Waldflächen entlang der Straße Am Klingelbach	

Stadtteil Fröndenberg: Lastraum der überwiegend locker und offen bebauten Wohngebiete	
Allgemeine Beschreibung	
Funktionen/Nutzungstypen	Klimarelevante Faktoren
- hauptsächlich aufgelockerte Wohnbebauung mit geringer Geschossanzahl (i.d.R. 2-3 Geschosse) - teils größere zusammenhängende Gartenareale bzw. größere Grünflächen im hausnahen Bereich	- geringer bis mittlerer Versiegelungsgrad - mittlerer bis hoher Grünflächenanteil - teils geringer Baumbestand auf privaten Grundstücken - Entfernung und Anbindung an klimatische Ausgleichsräume - teils Lage im Kaltluftsammlgebiet - teils Nähe zu Gewerbeflächen
Bioklima	
Gunstfaktoren	Ungunstfaktoren
☀ Grünflächen und Gärten innerhalb der Bebauung dienen als kleinräumige Klimaoasen ☀ (sehr) geringe bis mittlere Wärmeinseleffekte ☀ hohe Variabilität der Mikroklimata durch das Nebeneinander versiegelter bzw. bebauter und begrünter Flächen ☀ teilweise Kaltluftzuflüsse an angrenzenden Freiland- und Grünflächen (z. B. am Hirschberg und in Westick) ☀ insgesamt positive bioklimatische Verhältnisse	☂ punktuell kann die Wärmebelastung tagsüber im Sommer durch fehlende Verschattungselemente erhöht sein ☂ weitestgehend fehlende Kaltluftzufuhr (z. B. Mühlenberg und Hohenheide)
Immissionsklima	
Gunstfaktoren	Ungunstfaktoren
☀ die geringe Rauigkeit trägt zu einer insgesamt günstigeren Durchlüftung bei ☀ teils Frischluftzufuhr von angrenzenden Freilandbereichen in die Bebauung möglich (nur bei allochthoner Wetterlage mit entsprechenden Windrichtungen)	☂ teilweise Lage innerhalb des Kaltluftsammlgebietes (v.a. in Westick); Akkumulation von Luftschadstoffen bei Inversionswetterlagen möglich
Planungshinweise	
➤ aufgelockerte und durchgrünte Bebauungsstruktur erhalten; zur Wahrung der positiven klimatischen Bedingungen sollten insbesondere in der Nachbarschaft zu dichter Bebauung (Stadtklimatope) sowie in Westick keine weiteren baulichen Nachverdichtungen erfolgen ➤ insbesondere auf der Hohenheide sind weitere Nachverdichtungen sowie die Ausweisung kleiner Neubaugebiete aus stadtklimatischer Sicht möglich ➤ teils Baumpflanzungen zur Schaffung von Schattenzonen in privaten Gärten anregen ➤ Erhalt bzw. Neupflanzung von Straßenbäumen (z. B. Westicker Straße, Hohenheide und Querweg) ➤ Erhalt und Ausbau der Grünvernetzung vom Löhnbachtal über den Bereich um den Harthaer Platz zu den Grün-, Freiland- und Waldflächen entlang der Straße Am Klingelbach ➤ Erhalt bzw. Förderung des Luftaustauschs von den Freilandflächen nördlich der Gesamtschule in die südlich angrenzende Bebauung hinein ➤ Festsetzung einer klimatischen Baugrenze am südlichen Siedlungsrand von Westick sowie im Südwesten der Hohenheide und in deren Verlängerung westlich der Bebauung entlang von Fasanenweg, Schwalbenweg und Jägertal	

Stadtteil Fröndenberg: Ausgleichsraum Park- und Grünanlagen	
Allgemeine Beschreibung	
Funktionen/Nutzungstypen	Klimarelevante Faktoren
- Golfplätze; öffentliche Grünanlagen (v. a. Himmelmannpark und Hindenburghain), Friedhöfe, Kleingartenanlagen, etc. - teils Klimaoasen mit wohnnaher Freizeit- und Erholungsfunktion - (lokale) Kalt- und Frischluftproduzenten	- Größe und Ausstattung der Grün- und Parkanlagen - räumlich-funktionale Vernetzung der Flächen untereinander - angrenzende Nutzung
Bioklima	
Gunstfaktoren	Ungunstfaktoren
☀️ Park- und Grünflächen wirken bioklimatischen Belastungen entgegen ☀️ Reduzierung der nächtlichen Wärmeinseleffekte innerhalb der Siedlungsstrukturen ☀️ die öffentlichen Grünflächen können der Bevölkerung an heißen Sommertagen als fußläufig erreichbare, klimatische Erholungs- und Regenerationsraum dienen ☀️ Kaltluftabflüsse insbesondere von den Golfplätzen	☂️ positive Effekte bei kleineren Grünflächen zu meist lokal begrenzt ☂️ die Kaltluftmassendynamik ausgehend von den Golfplätzen folgt im Wesentlichen den Talverläufen von Ostholzbach und Voßacker Bach ins Ruhrtal; kaum Eindringbereiche in Bebauung
Immissionsklima	
Gunstfaktoren	Ungunstfaktoren
☀️ die Luftruhe wirkt sich positiv auf die Aufenthaltsdauer aus ☀️ keine Emissionen; lokale Frischluftproduzenten ☀️ Frischluftmassentransport über den Himmelmannpark in Richtung Stadtzentrum möglich (nur bei allochthoner Wetterlage mit südöstlicher Anströmung)	☂️ teilweise Lage innerhalb des Kaltluftsammelgebietes im Ruhrtal (v. a. Himmelmannpark und Hindenburghain); Akkumulation von Luftschadstoffen aus umliegenden Quellen bei Inversionswetterlagen möglich
Planungshinweise	
➤ Erhalt und Sicherung der vorhandenen Grünflächen ➤ Erhalt und Ausbau der Grünvernetzung vom Löhnbachtal über den Bereich um den Harthaer Platz zu den Grün-, Freiland- und Waldflächen entlang der Straße Am Klingelbach ➤ der Übergangsbereich zwischen dem Himmelmannpark in Richtung Stadtzentrum ist offen zu gestalten (Vernetzung schaffen); bei kleineren Grünflächen sind die Ränder zu schließen (Klimaoasen schaffen) ➤ Erhalt bzw. Förderung des Luftaustauschs über den Himmelmannpark in Richtung Stadtzentrum	

Stadtteil Fröndenberg: Ausgleichsraum Freiland	
Allgemeine Beschreibung	
Funktionen/Nutzungstypen	Klimarelevante Faktoren
- landwirtschaftlich genutzte Flächen - Kalt- und Frischluftproduzenten - Kaltluftabflussbahnen - im Ruhrtal: Kaltluftsammelgebiet	- Größe und Nutzung - räumlich-funktionale Vernetzung mit anderen Grünflächen sowie mit angrenzenden Lasträumen - Relief
Bioklima	
Gunstfaktoren	Ungunstfaktoren
☀ ausgeprägter Tagesgang der Lufttemperaturen mit Neigung zur Wärmebelastung zur Mittagszeit (fehlende Verschattung) und starker Abkühlung während der Nachtstunden ☀ in den Hanglagen zumeist hohe Kaltluftproduktionsraten und -volumenströme ☀ nächtliche Kaltluftabflüsse in das Gewerbegebiet Atlantik, das Industriegebiet Westick-Ost/Frohnhausen sowie teilweise in die Wohnbebauung (z. B. am Hirschberg und in Westick)	☂ an heißen Sommertagen Tendenz zur Wärmebelastung aufgrund fehlender Verschattungselemente
Immissionsklima	
Gunstfaktoren	Ungunstfaktoren
☀ gute Durchlüftung aufgrund geringer Rauigkeit ☀ keine Emissionen; daher Frischluftproduzenten ☀ Frischluftzufuhr in angrenzende Siedlungsbereiche in Abhängigkeit der übergeordneten Windrichtung ☀ lokale Luftleitbahn zwischen der Bahntrasse und den nördlich angrenzenden Waldflächen entlang der Straße Am Klingelbach in Westick	☂ teilweise Lage innerhalb des Kaltluftsammelgebietes im Ruhrtal; Akkumulation von Luftschadstoffen aus umliegenden Quellen bei Inversionswetterlagen möglich
Planungshinweise	
➤ die vorhandenen Freiflächen sind als Kalt- und Frischluftproduzenten zu erhalten und zu sichern ➤ insbesondere sollten keine weiteren bodennahen Emittenten im Umfeld des Kaltluftsammelgebietes angesiedelt werden ➤ Festsetzung einer klimatischen Baugrenze am südlichen Siedlungsrand von Westick sowie im Südwesten der Hohenheide und in deren Verlängerung westlich der Bebauung entlang von Fasanenweg, Schwalbenweg und Jägertal ➤ Erhalt bzw. Förderung des Luftaustauschs von den Freilandflächen südlich des Bahnhofs in Richtung Stadtzentrum sowie von den Freilandflächen nördlich der Gesamtschule in die südlich angrenzende Bebauung hinein (z. B. keine weitere Riegelbebauung bzw. -bepflanzung im Übergangsbereich)	

Stadtteil Fröndenberg: Ausgleichsraum Wald	
Allgemeine Beschreibung	
Funktionen/Nutzungstypen	Klimarelevante Faktoren
- größere Waldbestände im Bereich Buschholt (nördlich der Golfplätze), entlang des Ostholzbachs, Voßacker Bachs, im Bereich des Löhnbachtals sowie südlich des Hirschbergs - weitere kleinere Waldbereiche bzw. Baumbestände (z. B. Lunapark) - teils Filterfunktion für Luftschadstoffe; teils Immissionsschutzfunktion - lokale Kalt- und Frischluftproduzenten - Klimaoasen mit wohnnaher Freizeit- und Erholungsfunktion	- Größe der Wald- und Gehölzbestände - räumlich-funktionale Vernetzung mit anderen Grünflächen sowie mit angrenzenden Lasträumen - Relief
Bioklima	
Gunstfaktoren	Ungunstfaktoren
☀ gedämpfter Tagesgang der Lufttemperaturen bei allgemein niedrigen Temperaturen führt zu einem sehr milden, ausgeglichenen Stammraumklima ☀ sehr geringe thermische Belastungen; bioklimatische Wohlfahrtswirkung; daher wichtige Regenerations- und Erholungsräume ☀ Kaltluftabflüsse der Waldflächen in Hanglage	☂ aufgrund der erhöhten Rauigkeit teils bremsende Wirkung für Luftmassentransporte; eingeschränkte Luftleitfunktion
Immissionsklima	
Gunstfaktoren	Ungunstfaktoren
☀ die Luftruhe im Stammraum wirkt sich positiv auf die Aufenthaltsdauer aus ☀ Filterfunktion durch Ad- und Absorption gas- und partikelgebundener Luftschadstoffe; daher Frischluftproduzenten ☀ Immissionsschutzfunktion zwischen dem Gewerbegebiet Atlantik und der Bebauung im Umfeld der Paul-Löbe-Straße	
Planungshinweise	
➤ die vorhandenen Waldflächen und Gehölzbestände sind als wertvolle Erholungs- und Regenerationsräume sowie aufgrund ihrer Filterfunktion und Frischluftproduktion zu erhalten und zu sichern ➤ Erhalt und Ausbau der Grünvernetzung vom Löhnbachtal über den Bereich um den Harthaer Platz zu den Grün-, Freiland- und Waldflächen entlang der Straße Am Klingelbach ➤ keine weiteren dichten Baumbestände im Bereich von Kaltluftabflussbahnen etablieren	



Karte 8-3: Ausschnitt der Planungshinweiskarte der Stadt Fröndenberg/Ruhr für den Bereich Mitte

8.2.3 Stadtteile Frömern, Ostbüren und Bausenhagen

Die Stadtteile Frömern, Ostbüren und Bausenhagen im Norden des Stadtgebietes weisen ebenfalls einen sehr hohen Anteil landwirtschaftlich genutzter Flächen auf. Darüber hinaus sind mehrere unterschiedlich große Wald- bzw.



Gehölzbestände vorzufinden. Diese liegen zwar zumeist isoliert im Freiland und weisen daher keinen direkten Bezug zu den Siedlungsflächen auf. Allerdings sind die Waldbestände, wie etwa am Lüner Bach, im Bereich am Stummelholz oder Buschholt in Frömern sowie im Osten von Ostbüren, in fußläufiger Entfernung zu den Siedlungsbereichen der drei Stadtteile und können somit aufgrund ihrer bioklimatischen Wohlfahrtswirkung als wohnnahe Regenerations- und Erholungsräume an heißen Tagen aufgesucht werden. Insbesondere angrenzend zur A44 im Nordosten von Ostbüren kann dem dortigen Waldbestand zusätzlich eine Filterfunktion durch Ad- und Absorption gas- und partikelgebundener Luftschadstoffe zugesprochen werden.

Die großflächigen landwirtschaftlich genutzten Bereiche weisen insbesondere in den Hanglagen teils hohe Werte für die Kaltluftproduktion sowie -volumenströme auf. Die Kaltluftabflüsse erfolgen allerdings in Frömern größtenteils ins Lüner Bachtal, in Ostbüren nach Norden über die Stadtgrenze zu Unna und in Bausenhagen in das Rammbachtal. Dabei sind trotz direkter Anbindung kaum relevante Einwirkbereiche der Kaltluft innerhalb der Bebauung der drei Stadtteile erkennbar. Dadurch, dass die drei Siedlungskörper der Stadtteile Frömern, Ostbüren und Bausenhagen nahezu vollständig von raugkeitsarmen Freilandbereichen umgeben sind, können während allochthoner Wetterlagen in Abhängigkeit von der Windrichtung allerdings Frischluftmassentransporte in die Siedlungsbereiche hinein erfolgen.

Die Bebauungsstrukturen der Siedlungskörper von Frömern, Ostbüren und Bausenhagen sind insgesamt als sehr aufgelockert und durchgrünt mit dörflichem Charakter zu bezeichnen. Auffällig ist in allen Stadtteilen allerdings ein geringer Anteil großkroniger Bäume, insbesondere in Gärten auf Privatgrundstücken. Infolge der

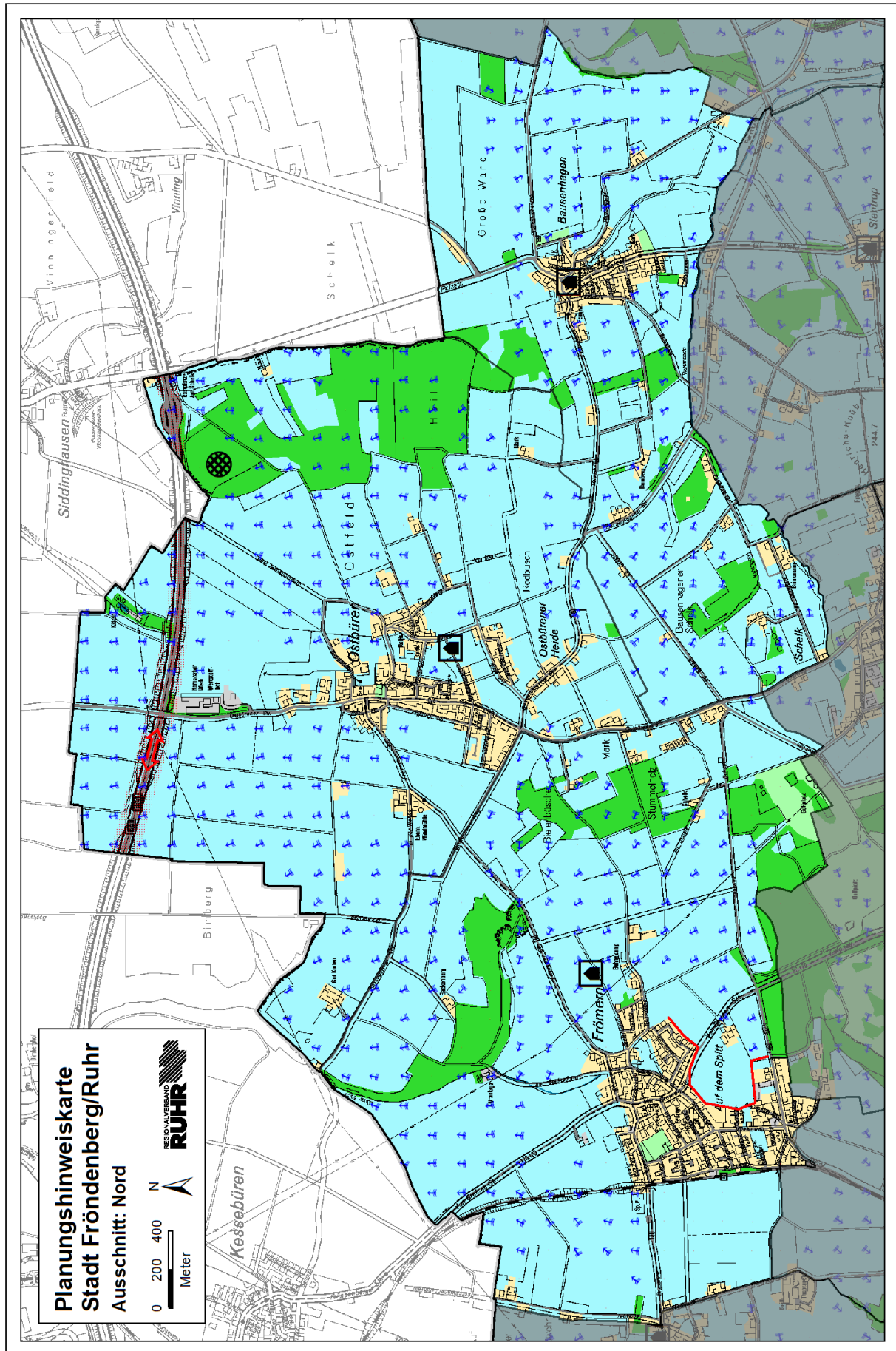
fehlenden Verschattung können tagsüber im Sommer dadurch punktuell Wärmebelastungen auftreten. Der erhöhte Grünflächenanteil bedingt allerdings trotz der fehlenden Kaltluftzufuhr nur sehr gering ausgeprägte nächtliche Überwärmungen. Zudem begünstigt die geringe Rauigkeit der Siedlungskörper die Durchlüftungsverhältnisse. Insgesamt sind die klimatischen Verhältnisse innerhalb der Siedlungsstrukturen von Frömern, Ostbüren und Bausenhagen daher als positiv zu bezeichnen.

Die Freiland- und Waldflächen sollten grundsätzlich als relevante Kalt- und Frischluftproduzenten erhalten bleiben und auch die aufgelockerte Bebauung der Siedlungsbereiche ist beizubehalten. Dennoch sind maßvolle bauliche Nachverdichtungen durch die Schließung bestehender Baulücken sowie die Ausweisung kleinerer Neubaugebiete in allen drei Stadtteilen aus stadtklimatischer Sicht vertretbar. Allerdings sollte keine Riegelbebauung an den Siedlungsrändern etabliert und im Bereich Auf dem Spitt in Frömern eine klimatische Baugrenze festgesetzt werden. Im Siedlungsbestand ist die Pflanzung schattenspendender Bäume in privaten Gärten zu empfehlen. Im Umfeld der kalt- und frischluftproduzierenden Freiflächen und insbesondere im Bereich der Kaltluftabflussbahnen ist zudem die Ansiedlung bodennaher Emittenten zu vermeiden.

Stadtteile Frömern, Ostbüren und Bausenhagen: Lastraum der überwiegend locker und offen bebauten Wohngebiete	
Allgemeine Beschreibung	
Funktionen/Nutzungstypen	Klimarelevante Faktoren
- hauptsächlich aufgelockerte Wohnbebauung mit geringer Geschossanzahl (i. d. R. max. 3 Geschosse) - teils größere zusammenhängende Gartenareale bzw. größere Grünflächen im hausnahen Bereich	- geringer bis mittlerer Versiegelungsgrad - mittlerer bis hoher Grünflächenanteil - Anbindung an klimatische Ausgleichsräumen
Bioklima	
Gunstfaktoren	Ungunstfaktoren
☀️ Grünflächen und Gärten innerhalb der Bebauung dienen als kleinräumige Klimaoasen ☀️ lediglich (sehr) geringe bis mittlere Wärmeinselleffekte ☀️ hohe Variabilität der Mikrokimate durch das Nebeneinander versiegelter bzw. bebauter und begrünter Flächen ☀️ insgesamt positive bioklimatische Verhältnisse	☂️ punktuell kann die Wärmebelastung tagsüber im Sommer durch fehlende Verschattungselemente erhöht sein ☂️ in weiten Teilen trotz direkter Anbindung an kaltluftproduzierende Freilandflächen kaum relevante nächtliche Kaltluftzufuhr gegeben
Immissionsklima	
Gunstfaktoren	Ungunstfaktoren
☀️ die geringe Rauigkeit trägt zu einer insgesamt günstigeren Durchlüftung bei ☀️ Frischluftzufuhr von den jeweils umliegenden Freilandbereichen möglich (nur bei allochthoner Wetterlage in Abhängigkeit der Windrichtung)	
Planungshinweise	
➤ aufgelockerte und durchgrünte Bebauungsstruktur erhalten ➤ weitere Nachverdichtungen durch die Schließung einzelner Baulücken sowie die Ausweisung kleiner Neubaugebiete sind aus stadtklimatischer Sicht in allen Stadtteilen möglich ➤ teils weitere Baumpflanzungen in privaten Gärten zur Schaffung von Schattenzonen anregen ➤ Festsetzung einer klimatischen Baugrenze im Bereich Auf dem Spitt in Frömern zum Schutz der kaltluftproduzierenden Freiflächen	

Stadtteile Frömer, Ostbüren und Bausenhagen: Ausgleichsraum Freiland	
Allgemeine Beschreibung	
Funktionen/Nutzungstypen	Klimarelevante Faktoren
- großflächige landwirtschaftlich genutzte Bereiche - Kalt- und Frischluftproduzenten - Kaltluftabflussbereiche	- Größe und Nutzung - räumlich-funktionale Vernetzung mit anderen Grünflächen sowie mit angrenzenden Lasträumen - Relief
Bioklima	
Gunstfaktoren	Ungunstfaktoren
☀ ausgeprägter Tagesgang der Lufttemperaturen mit Neigung zur Wärmebelastung zur Mittagszeit und starker Abkühlung während der Nachtstunden ☀ teils hohe Kaltluftproduktion und -volumenströme (insb. in Hanglagen)	☂ an heißen Sommertagen Tendenz zur Wärmebelastung am Tage aufgrund fehlender Verschattungselemente ☂ die Kaltluftabflüsse erfolgen in Frömer ins Lünener Bachtal, in Ostbüren nach Norden über die Stadtgrenze zu Unna und in Bausenhagen ins Rammachtal; kaum Einwirkbereiche der Kaltluft innerhalb der Bebauung der drei Stadtteile
Immissionsklima	
Gunstfaktoren	Ungunstfaktoren
☀ gute Durchlüftung aufgrund geringer Rauigkeit ☀ keine Emissionen; daher Frischluftproduzenten ☀ Frischluftmassentransporte in angrenzende Siedlungsstrukturen (nur bei allochthoner Wetterlage und entsprechender Windrichtung)	☂ im Nord von Ostbüren teils Lage entlang der A44; daher potenziell Schadstoffakkumulation bei entsprechenden Wetterlagen möglich
Planungshinweise	
➤ die vorhandenen Freiflächen sind als Kalt- und Frischluftproduzenten zu erhalten und zu sichern; eine Zersiedlung der Landschaft ist zu vermeiden ➤ es sollten keine bodennahen Emittenten im Umfeld der kalt- und frischluftproduzierenden Freiflächen angesiedelt werden, insb. im Bereich der Kaltluftabflussbahnen ➤ die Ausweisung kleiner Neubaugebiete angrenzend zu den bestehenden Siedlungskörpern von Frömer, Ostbüren und Bausenhagen ist aus stadtklimatischer Sicht grundsätzlich vertretbar ➤ Festsetzung einer klimatischen Baugrenze im Bereich Auf dem Spitt in Frömer zum Schutz der kaltluftproduzierenden Freiflächen	

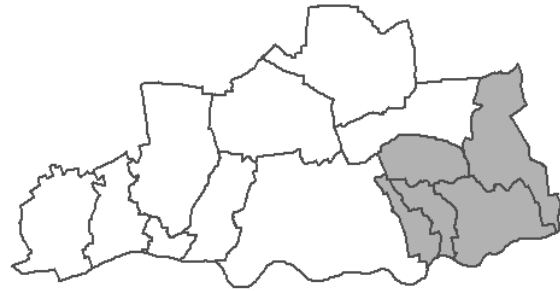
Stadtteile Frömern, Ostbüren und Bausenhagen: Ausgleichsraum Wald	
Allgemeine Beschreibung	
Funktionen/Nutzungstypen	Klimarelevante Faktoren
- mehrere Waldbereiche unterschiedlicher Größe unter anderem am Lüner Bach, Stummelholz und Buschholt in Frömern sowie im Osten von Ostbüren - Filterfunktion für Luftschadstoffe - lokale Kalt- und Frischluftproduzenten - teils mit wohnnaher Freizeit- und Erholungsfunktion	- Größe der Wald- und Gehölzbestände - räumlich-funktionale Vernetzung mit anderen Grünflächen sowie mit angrenzenden Lasträumen - Relief
Bioklima	
Gunstfaktoren	Ungunstfaktoren
☀ gedämpfter Tagesgang der Lufttemperaturen bei allgemein niedrigen Temperaturen führt zu einem sehr milden, ausgeglichenen Stammraumklima ☀ sehr geringe thermische Belastungen; bioklimatische Wohlfahrtswirkung; daher Regenerations- und Erholungsräume	
Immissionsklima	
Gunstfaktoren	Ungunstfaktoren
☀ die Luftruhe im Stammraum wirkt sich positiv auf die Aufenthaltsdauer aus ☀ keine Emissionen; innerstädtische Regenerationsräume ☀ Filterfunktion durch Ad- und Absorption gas- und partikelgebundener Luftschadstoffe; daher Frischluftproduzenten (insb. angrenzend zur A44)	⬆ aufgrund der erhöhten Rauigkeit teils Hinderwirkung für Luftmassentransporte; eingeschränkte Luftleitfunktion
Planungshinweise	
➤ die vorhandenen Waldflächen und Gehölzbestände sind als Erholungs- und Regenerationsräume sowie aufgrund ihrer Filterfunktion und Frischluftproduktion zu erhalten und zu sichern	



Karte 8-4: Ausschnitt der Planungshinweiskarte der Stadt Fröndenberg/Ruhr für den Bereich Nord

8.2.4 Stadtteile Stentrop, Bentrop, Warmen, Frohnhausen und Neimen

Die Stadtteile Stentrop, Bentrop, Warmen, Frohnhausen und Neimen bilden zusammen genommen den östlichen Teil des Stadtgebietes von Fröndenberg/Ruhr. Die Flächennutzung ist auch in diesem Bereich der Stadt durch einen



hohen Anteil an landwirtschaftlich genutztem Freiland geprägt. Dabei können den Freilandbereichen aus stadtklimatischer Sicht trotz identischer Flächennutzung reliefbedingt unterschiedliche Funktionen zugesprochen werden. Während die nördlichen Freilandbereiche aufgrund der ausgeprägten Reliefenergie größtenteils hohe Kaltluftproduktionsraten sowie -volumenströme aufweisen und somit als Kaltluftabflussbahnen fungieren, kommt es während autochthoner Wetterlagen infolge der geringen Reliefausprägung über den landwirtschaftlichen Freiflächen im Süden entlang des Ruhrtals zur Ausbildung eines Kaltluftsammelgebietes. Über die Kaltluftabflussbahnen können während sommerlicher Strahlungs Nächte kühle Luftmassen in weite Bereiche der Wohnbebauung dieser Stadtteile sowie in das Industriegebiet Westick-Ost/Frohnhausen vordringen. Darüber hinaus können die Freilandbereiche als Frischluftproduzenten angesehen werden und bei allochthonen Wetterlagen in Abhängigkeit der übergeordneten Windrichtung unbelastete Luftmassen in die Siedlungsstrukturen transportieren. Im Bereich des Kaltluftsammelgebietes kann es während autochthoner Wetterlagen zur Bildung einer bodennahen Inversionsschicht kommen, welche einen stark eingeschränkten horizontalen wie vertikalen Luftaustausch aufweist. Dies kann zur bodennahen Akkumulation von Luftschadstoffen führen, insbesondere aus Verkehrsemissionen sowie von den Gewerbeansiedlungen im Industriegebiet Westick-Ost/Frohnhausen.

Das genannte Industriegebiet Westick-Ost/Frohnhausen, welches unter anderem Logistikbetriebe, Maschinenbauunternehmen, weiteres produzierendes Gewerbe, Handwerksbetriebe sowie unterschiedliche Dienstleistungen aus der Automobilbranche beheimatet, erstreckt sich vom östlichen Westick über Neimen bis nach

Frohnhausen. Während die genutzten Flächen der angesiedelten Unternehmen zu meist einen hohen Versiegelungs- bzw. Überbauungsgrad und entsprechend geringen Grünanteil sowie Baumbestand aufweisen, ist allerdings auch sowohl eine direkte Anbindung als auch eine Durchmischung mit Freilandflächen gegeben. Die Lage des Industriegebietes innerhalb des Kaltluftsammelgebietes und die damit verbundene bodennahe Akkumulation von Luftschadstoffen während Inversionswetterlagen wurde bereits ebenso erwähnt, wie die Zufuhr kühler und frischer Luftmassen von den umliegenden Freilandbereichen. Im Sommer können tagsüber im Bereich hochversiegelter und unverschatteter Flächen jedoch starke Überwärmungen der bodennahen Lufttemperaturen und damit einhergehend Hitzestress sowie Schwülebelastungen auftreten.

Die Wohnbebauungen der Stadtteile Stentrop, Bentrop, Warmen, Frohnhausen und Neimen sind ausschließlich dem „Lastraum der überwiegend locker und offen bebauten Wohngebiete“ zugeordnet, die sich durch geringe Gebäudehöhen mit in der Regel zwei bis drei Geschossen sowie teils größeren Gartenarealen auszeichnen. Insgesamt weisen die Siedlungsstrukturen in den fünf Stadtteilen (mit Ausnahme des Industriegebietes) auch aufgrund der vereinzelt vorkommenden landwirtschaftlich betriebenen Höfe einen Dorfcharakter auf. Der hohe Grünflächenanteil innerhalb der Bebauung sowie die in Teilen gute Kaltluftversorgung von angrenzenden Freiflächen bewirken auch in sommerlichen Nächten lediglich sehr gering ausgeprägte Überwärmungen.

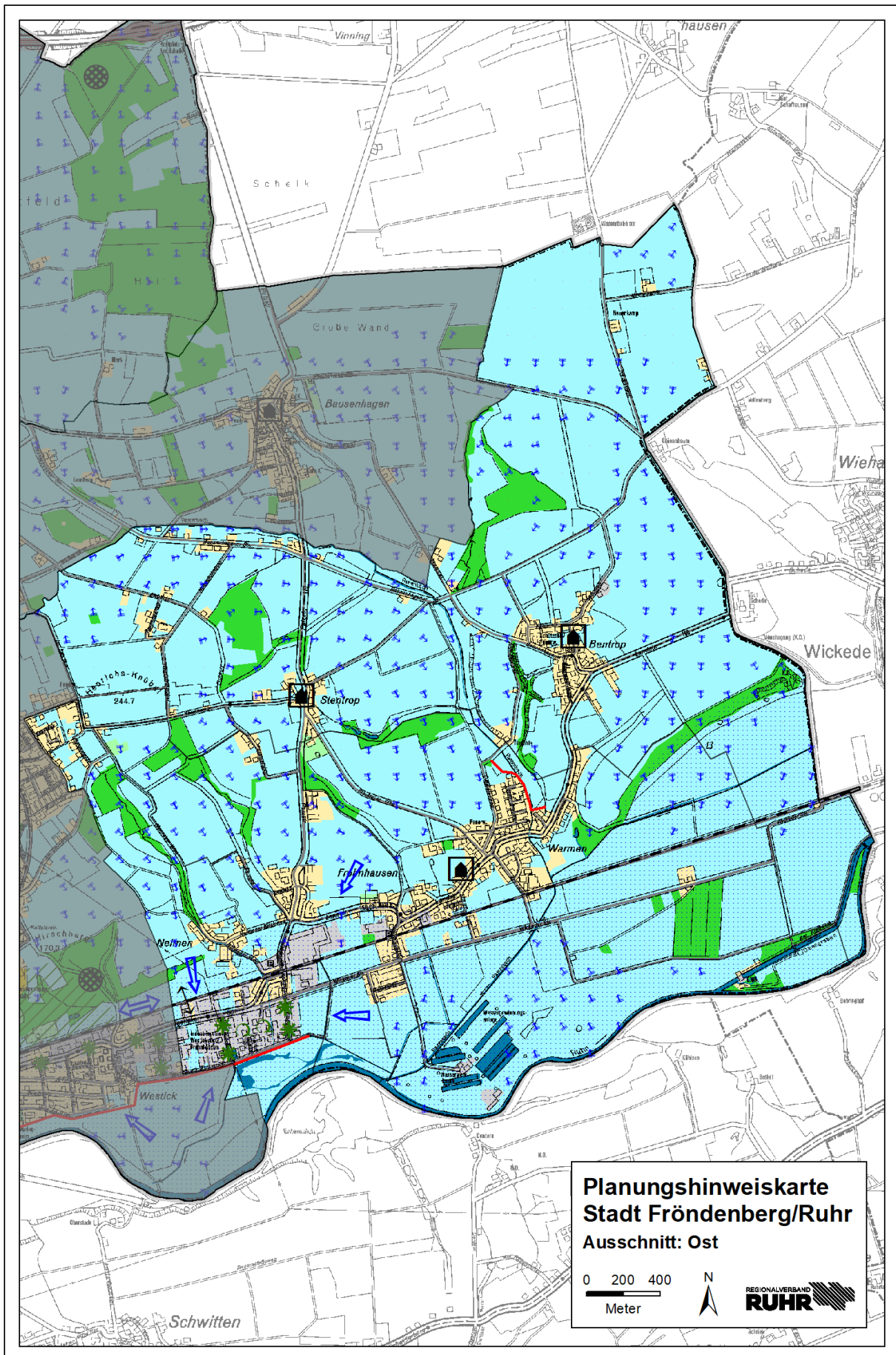
Im Industriegebiet Westick-Ost/Frohnhausen sollten kleinräumige Entsiegelungs- und Begrünungsmaßnahmen angestrebt werden. Dabei können auch Dachbegrünungen sowie Fassadenbegrünungen von sonnenexponierten Gebäudewänden zur Erhöhung des Grünanteils beitragen. Auf Parkplätzen sowie im Straßenraum sind zudem Baumpflanzung zur Verschattung der hochversiegelten Flächen zu empfehlen. Am südlichen Rand des Industriegebietes sollte eine klimatische Baugrenze festgeschrieben und am nördlichen Rand der Luftaustausch mit den angrenzenden Freilandflächen erhalten bzw. gefördert werden, um den Kaltluftzufluss nicht zu unterbinden. Bei weiteren Gewerbeansiedlungen im Industriegebiet Westick-Ost/Frohnhausen sind aufgrund der Lage im Kaltluftsammelgebiet im Ruhrtal Emissionsarme Unternehmen zu bevorzugen.

Die bestehenden großflächigen Freilandbereiche, aber auch die vorhandenen Grün-, Wald- bzw. Gehölzflächen, sind grundsätzlich zu sichern und deren Funktion als Kalt- und Frischluftproduzenten zu erhalten. Zur Wahrung der positiven klimatischen Bedingungen in weiten Teilen der Siedlungsstrukturen der fünf Stadteile sollten die dort vorherrschenden aufgelockerten und durchgrünten Bebauungsstrukturen erhalten bleiben. Dennoch sind weitere Nachverdichtungen durch die Schließung von Baulücken sowie die Ausweisung kleinerer Neubaugebiete aus stadtklimatischer Sicht vertretbar. Allerdings sollte in Warmen im Bereich des Rammbachs eine klimatische Baugrenze festgesetzt werden. Darüber hinaus sind weitere Baumpflanzungen zur Schaffung von Schattenzonen in Gärten auf Privatgrundstücken anzuregen.

Stadtteile Stentrop, Bentrop, Warmen, Frohnhausen und Neimen: Lastraum der Gewerbe- und Industrieflächen	
Allgemeine Beschreibung	
Funktionen/Nutzungstypen	Klimarelevante Faktoren
- Industriegebiet Westick-Ost/Frohnhausen - verschiedene Nutzungsarten (u. a. Logistik, Maschinenbau, produzierendes Gewerbe, Handwerksbetriebe, Dienstleistungen aus der Automobilbranche)	- zum Teil sehr hoher Versiegelungs- bzw. Überbauungsgrad und entsprechend geringer Grünanteil sowie Baumbestand auf den Flächen selbst - direkte Anbindung an sowie Durchmischung mit Freilandflächen
Bioklima	
Gunstfaktoren	Ungunstfaktoren
☀ angrenzende Freilandflächen wirken großräumigen bioklimatischen Belastungen entgegen ☀ Kaltluftzufluss von den nördlich angrenzenden Freilandflächen	☂ im Sommer starke Überwärmung der bodennahen Lufttemperaturen im Bereich hochversiegelter und unverschatteter Flächen, daher Hitzestress und Schwülebelastungen möglich ☂ erhöhte nächtliche Lufttemperaturen
Immissionsklima	
Gunstfaktoren	Ungunstfaktoren
☀ die überwiegend geringen Gebäudehöhen begünstigen die Durchlüftung ☀ Zufuhr frischer Luftmassen von den nördlich, südlich oder östlich angrenzenden Freiland- und Waldflächen (nur bei allochthonen Wetterlagen mit entsprechenden Windrichtungen)	☂ erhöhte Emissionen sowie Immissionen von Luftschadstoffen und Lärm möglich ☂ Lage im Kaltluftsammlgebiet; Akkumulation von bodennahen Emissionen bei Inversionswetterlagen möglich ☂ lokale Windfeldmodifikationen durch Gebäudestrukturen möglich
Planungshinweise	
➤ Entsiegelungs- und Begrünungsmaßnahmen ➤ Erhalt und weitere Anpflanzung großkroniger Bäumen (z. B. auf Parkplätzen zur Verschattung der versiegelten Flächen) ➤ Dach- und Fassadenbegrünung ➤ Erhalt bzw. Neupflanzung von Straßenbäumen ➤ Erhalt. bzw. Förderung des Luftaustauschs mit den umliegenden Freilandbereichen; insbesondere im Norden, um den Kaltluftzufluss nicht einzuschränken ➤ Reduzierung bodennaher Emissionen von Luftschadstoffen ➤ aufgrund der Lage im Kaltluftsammlgebiet bei weiteren Gewerbeansiedlungen auf Emissionsarme Unternehmen bevorzugen ➤ Festsetzung einer klimatischen Baugrenze am südlichen Rand des Industriegebietes Westick-Ost/Frohnhausen	

Stadtteile Stentrop, Bentrop, Warmen, Frohnhausen und Neimen: Lastraum der überwiegend locker und offen bebauten Wohngebiete	
Allgemeine Beschreibung	
Funktionen/Nutzungstypen	Klimarelevante Faktoren
- hauptsächlich sehr aufgelockerte und durchgrünte Wohnbebauung mit geringer Geschossanzahl (i.d.R. max. 3 Geschosse) - vereinzelt landwirtschaftlich betriebene Höfe - teils größere Gartenareale und zumeist geringe Nähe zu größeren Freilandarealen	- (sehr) geringer Versiegelungsgrad - hoher Grünflächenanteil - teils geringer Baumbestand in Gärten - geringe Nähe zu großen klimatischen Ausgleichsräumen des Freilandes
Bioklima	
Gunstfaktoren	Ungunstfaktoren
☀ sehr geringe Wärmeinseleffekte ☀ hohe Variabilität der Mikroklimata durch das Nebeneinander versiegelter bzw. bebauter und begrünter Flächen ☀ teils Kaltluftzuflüsse von angrenzenden Freilandbereichen ☀ insgesamt positive bioklimatische Verhältnisse	☂ punktuell kann die Wärmebelastung tagsüber im Sommer durch fehlende Verschattungselemente erhöht sein
Immissionsklima	
Gunstfaktoren	Ungunstfaktoren
☀ die geringe Rauigkeit trägt zu einer insgesamt günstigen Durchlüftung bei ☀ Frischluftzufuhr von den angrenzenden Freilandbereichen in die Siedlungsstrukturen (nur bei allochthoner Wetterlage und entsprechender Windrichtung)	☂ teilweise Lage innerhalb eines Kaltluftsammegebietes; Akkumulation von Luftschadstoffen durch angrenzendes Industriegebiet bei Inversionswetterlagen möglich
Planungshinweise	
➤ aufgelockerte und durchgrünte Bebauungsstruktur erhalten ➤ eine bauliche Verdichtung durch die Schließung von Baulücken sowie die Ausweisung kleinerer Neubaugebiete ist aus stadtklimatischer Sicht vertretbar; die bestehende aufgelockerte und durchgrünte Siedlungsstruktur sollte dabei erhalten bleiben ➤ in Warmen sollte im Bereich des Rammbachs eine klimatische Baugrenze festgesetzt werden ➤ teils weitere Baumpflanzungen in privaten Gärten zur Schaffung von Schattenzonen anregen	

Stadtteile Stentrop, Bentrop, Warmen, Frohnhausen und Neimen: Ausgleichsraum Freiland	
Allgemeine Beschreibung	
Funktionen/Nutzungstypen	Klimarelevante Faktoren
- großflächige landwirtschaftlich genutzte Flächen - Kalt- und Frischluftproduzenten - Kaltluftabflussbereiche - im Süden Kaltluftsammelgebiet	- Größe und Nutzung - räumlich-funktionale Vernetzung mit anderen Grünflächen sowie mit angrenzenden Lasträumen - Relief
Bioklima	
Gunstfaktoren	Ungunstfaktoren
☀ ausgeprägter Tagesgang der Lufttemperaturen mit Neigung zur Wärmebelastung zur Mittagszeit und starker Abkühlung während der Nachtstunden ☀ teils hohe Kaltluftproduktion und -volumenströme (insb. in den Hanglagen) ☀ Kaltluftabflüsse in die Wohnbebauungen sowie in das Industriegebiet Westick-Ost/Frohnhausen	☂ an heißen Sommertagen Tendenz zur Wärmebelastung am Tage aufgrund fehlender Verschattungselemente
Immissionsklima	
Gunstfaktoren	Ungunstfaktoren
☀ gute Durchlüftung aufgrund geringer Rauigkeit ☀ keine Emissionen; daher Frischluftproduzenten ☀ Frischluftzufuhr in die Siedlungsstrukturen der Stadtteile sowie in das Industriegebiet Westick-Ost/Frohnhausen (nur bei allochthonen Wetterlagen mit entsprechenden Windrichtungen)	☂ bei autochthonen Wetterlagen im Bereich des Kaltluftsammelgebietes im Ruhrtal bodennahe Akkumulation von Luftschadstoffen aufgrund von Emissionen des angrenzenden Industriegebietes möglich
Planungshinweise	
➤ die vorhandenen Freiflächen sind als wertvolle Kalt- und Frischluftproduzenten zu erhalten und zu sichern ➤ die Ausweisung kleinerer Neubaugebiete angrenzend zu den bestehenden Siedlungskörpern ist aus stadtklimatischer Sicht grundsätzlich vertretbar ➤ es sollten keine bodennahen Emittenten im Umfeld der kalt- und frischluftproduzierenden Freiflächen angesiedelt werden, insb. im Bereich der relevanten Kaltluftabflussbahnen sowie des Kaltluftsammelgebietes ➤ Erhalt bzw. Förderung des Luftaustausches der Freilandbereiche mit dem Industriegebiet Westick-Ost/Frohnhausen; insbesondere nördlich des Industriegebietes, um den Kaltluftzufluss nicht einzuschränken ➤ Festsetzung einer klimatischen Baugrenze am südlichen Rand des Industriegebiet Westick-Ost/Frohnhausen sowie in Warmen im Bereich des Rrammbachs	



Karte 8-5: Ausschnitt der Planungshinweiskarte der Stadt Fröndenberg/Ruhr für den Bereich Ost

Literaturverzeichnis

BAUMÜLLER, J.; HELBIG, A.; KERSCHGENS, M.J. (Hrsg.) (1999): Stadtklima und Luftreinhaltung. 2. Aufl., Springer-Verlag, Berlin & Heidelberg, 467 S.

BauGB (2021): Baugesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 3. November 2017 (BGBl. I S. 3634), das zuletzt durch Artikel 9 des Gesetzes vom 10. September 2021 (BGBl. I S. 4147) geändert worden ist

BauNVO (2013): Baunutzungsverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 23. Januar 1990 (BGBl. I S. 132), die zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 11. Juni 2013 (BGBl. 1548) geändert worden ist

BauO NRW (2000): Bauordnung für das Land Nordrhein-Westfalen – Landesbauordnung – (BauO NRW) in der Fassung der Bekanntmachung vom 1. März 2000

GEO-NET (2021): Methodik der aktuellen FITNAH-Klimamodellierung im Regionalverband Ruhr. - GEO-NET Umweltconsulting GmbH. unveröffentlichter Abschlussbericht. Hannover. 21 S.

GROßMANN, K.; FRANK, U.; KRÜGER, M.; SCHLICK, U.; SCHWARZ, N. U. STARK, K. (2012): Soziale Dimension von Hitzebelastung in Großstädten. disP – The Planning Review, 48:4, S. 56-68.

HELD, F.; KRÜGER, T. (2011): Stadtstrukturabhängige Ausweisung sensibler Siedlungsräume bei thermischen Belastungen als Grundlage für die künftige Stadtentwicklung – Darstellung sensibler Gebiete bei thermischen Belastungen – Anpassungsempfehlungen, REGKLAM-Ergebnisbericht.

HUPFER, P.; KUTTLER, W. (HRSG.) (2006): Witterung und Klima – Eine Einführung in die Meteorologie und Klimatologie. 12. überarbeitete Auflage, B.G. Teubner Verlag, Wiesbaden, 554 S.

IPCC (2013A): Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. In: Klimaänderung 2013: Naturwissenschaftliche Grundlagen. Beitrag der Arbeitsgruppe I zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex und P.M. Midgley (Hrsg.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Großbritannien und New York, NY, USA. Deutsche Übersetzung durch IPCC-Koordinierungsstelle, Österreichisches Umweltbundesamt, ProClim, Bonn/Wien/Bern 2014.

IPCC (2013B): Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex und P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

IPCC (2014): Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. In: Klimaänderung 2014: Synthesebericht. Beitrag der Arbeitsgruppen I, II und III zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen [Hauptautoren, R.K. Pachauri und L.A. Meyer (Hrsg.)]. IPCC, Genf, Schweiz. Deutsche Übersetzung durch Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, Bonn 2015

IT.NRW (2024a): Kommunalprofil Fröndenberg/Ruhr, Stadt. – Landesbetrieb für Informationen und Technik Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf. 24 S.

IT.NRW (2024b): Statistikatlas Nordrhein-Westfalen. Webdatenbank - Landesbetrieb für Information und Technik Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf. (<https://www.statistikatlas.nrw.de> [Zugriff: 10.12.2024])

JENDRITZKY, G. (2007): Folgen des Klimawandels auf die Gesundheit. In: Endlicher, W.; Gerstengarbe, F.W. (Hrsg.): Der Klimawandel. Einblicke, Rückblicke und Ausblicke, S. 108-118. Potsdam: PIK 2007.

KUTTLER, W. (2009): Klimatologie. Verlag Ferdinand Schöningh, Paderborn, 260 S.

KUTTLER, W. (2010): Das Ruhrgebiet im Klimawandel - Bestandsaufnahme und Prognose. = Essener Unikate - Berichte aus der Forschung und Lehre, 38, Beiträge zur „Ruhr 2010“, S. 40-51

MATZARAKIS, A.; MAYER, H. (1996): Another kind of environmental stress: thermal stress. WHO Newsletter 18, S. 7-10

MATZARAKIS, A. (2013): Stadtklima vor dem Hintergrund des Klimawandels. In: Gefahrstoffe, Reinhaltung der Luft, S. 115-118.

MEINSHAUSEN, M.; SMITH, S. J.; CALVIN, K.; DANIEL, J.S.; KAINUMA, M. L. T.; LAMARQUR, J.-F.; MATSUMOTO, K.; MONTZKA, S. A.; RAPER, S. C. B.; RIAHI, K.; THOMSON, A.; VELDEERS G. J. M.; VAN VUUREN, D.P. P. (2011): The RCP greenhouse gas concentrations and their extension from 1765 to 2300. In: Climatic Change (2011) 109:213-241

MOSIMANN, TH.; TRUTE, P.; FREY, TH. (1999): Schutzgut Klima/Luft in der Landschaftsplanung. Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen, Heft 4/99, S. 202-275.

MUNLV (HRSG.) (2010): Handbuch Stadtklima – Maßnahmen und Handlungsempfehlungen für Städte und Ballungsräume zur Anpassung an den Klimawandel (Langfassung). Düsseldorf, 268 S.

MKULNV (Hrsg.) (2012): Wald im Klimawandel – Auswirkungen des Klimawandels auf Wälder und Forstwirtschaft in Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf, 52 S.

MURL (Hrsg.) (1989): Klima-Atlas von Nordrhein-Westfalen. – Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf

LANUV (2018): Klimaanalyse Nordrhein-Westfalen. LANUV-Fachbericht 86. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen. Recklinghausen. 101 S.

LANUV (2025): Online-Emissionskataster Luft NRW. Webdatenbank - Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Recklinghausen. (<https://www.ekl.nrw.de/ekat> [Zugriff: 25.02.2025])

LANUV (2025): Klimaatlas Nordrhein-Westfalen. Webdatenbank - Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Recklinghausen. (<http://www.klimaatlas.nrw.de> [Zugriff: 07.02.2025])

LÜFTNER, H. (1996): Das Regionalklima im Ruhrgebiet - Entwicklung, Analyse und Darstellungsmöglichkeiten des Klimas in einem urban-industriellen Verdichtungsraum. Europäische Hochschulschriften 42, Ökologie, Umwelt und Landespflge; Bd. 19. Peter Lang. Frankfurt am Main. 276 S.

RVR (2013): Fachbeitrag zum Regionalplan der Metropole Ruhr - „Klimaanpassung“. - Regionalverband Ruhr. unveröffentlichter Bericht. Essen. 137 S.

RVR (2022): Klimaserver des RVR. Webkartenanwendung - Regionalverband Ruhr, Essen. (<https://klima.geoportal.ruhr> [Zugriff: 11.02.2022])

SCHÖNWIESE, CH.-D. (2003): Klimatologie. 2. neu bearbeitete und aktualisierte Auflage, Verlag Eugen Ulmer GmbH & Co. KG, Stuttgart.

STRAßEN.NRW (2025): Straßeninformationsbank Nordrhein-Westfalen. Webdatenbank - Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen, Köln. (<http://www.nwsib-online.nrw.de> [Zugriff: 06.03.2025])

VDI (2003): Richtlinie VDI 3787 Blatt 5 Umweltmeteorologie - Lokale Kaltluft. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf. 85 S.

VDI (2008a): Richtlinie VDI 3787, Blatt 2: Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt und Regionalplanung. Teil I: Klima. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf. 32 S.

VDI (2008b): VDI-Richtlinie 3785 Blatt 1. Umweltmeteorologie - Methodik und Ergebnisdarstellung von Untersuchungen zum planungsrelevanten Stadtklima. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf.

VDI (2003/2015): VDI-Richtlinie 3787 Bl. 1: Umweltmeteorologie. Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen. Düsseldorf. 54 S.

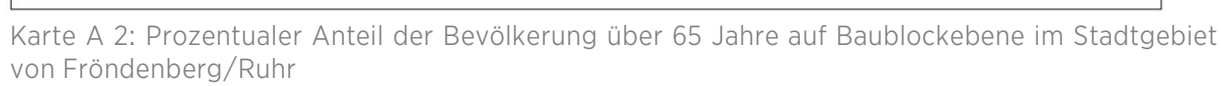
Anhang

Tabelle A 1: Charakteristika der 14 FITNAH-Nutzungsklassen (GEO-NET 2021)

Klasse	Flächentyp	Beschreibung	Mittlerer Versiege- lungsgrad (%)	Mittlere Struk- turbhöhe (m)
1	Zentrums- bebauung	Kerngebietsnutzung, welche durch einen sehr hohen Bebauungs- und Versiegelungsgrad gekennzeichnet ist.	95	25,0
2	Block- und Block- randbebauung	Vergleichsweise dicht bebaute und häufig auch stark versiegelte Siedlungsfläche. Baustrukturell ist sie meist durch geschlossene Blockinnenhöfe geprägt. Sie umfasst sowohl Vorkriegs- als auch Nachkriegsbauten.	78	15,0
3	Industrie- und Gewerbeflächen	Weisen einen ähnlich hohen Versiegelungsgrad wie die Zentrumsbebauung auf, gleichzeitig ist der versiegelte Flächenanteil oft größer als der mit Gebäuden bestandene.	87	10,0
4	Zeilen- und Hochhaus- bebauung	Zu diesem Flächentyp zählen sowohl freistehende Punkthochhäuser als auch halboffene Blockrandbebauung und Zeilenbebauung. Gemeinsames Merkmal ist ein relativ hoher Grünflächenanteil, welcher sich durch die zwischen den Gebäudkörpern befindlichen Abstandsflächen ergibt.	55	15,0
5	Einzel- und Reihenhaus- bebauung	Dieser Typ weist unter den Siedlungsräumen den geringsten Überbauungsgrad auf. Der Übergang zwischen dicht ausgeprägter Reihenhausbebauung und einer Zeilenbebauung ist fließend.	41	5,0
6	Straßenraum	Ebenerdig versiegelte Fläche des Straßenraums.	95	0,0
7	Gleisfläche	Schienenverkehrsfläche mit geringer Strukturhöhe.	25	0,5

8	Baulich geprägte Grünfläche	Unter diesem Flächentyp sind vegetationsgeprägte Flächen zusammengefasst, welche zugleich auch einen gewissen Anteil an versiegelter Fläche (Zuwegungen)/oder Bebauung aufweisen. Dazu zählen z. B. Kleingartenanlagen und Gartenbauflächen, sowie Spiel- und Sportplätze. Es überwiegt aber letztlich die Eigenschaft der Grünfläche.	25	5,0
9	Freiland	Beinhaltet vor allem landwirtschaftlich genutzte Wiesen und Weiden sowie ackerbaulich genutzte Flächen, aber auch die zum Teil großen Tagebauflächen in NRW. Innerstädtisch handelt es sich zumeist um Rasenflächen mit geringem Gehölzanteil.	5	1,0
10	Gehölz	Diese Nutzungskategorie umfasst sowohl innerstädtische Parkareale und Gehölzflächen als auch Obstbauflächen, Baumschulen und Straßenbegleitgrün.	5	2,0
11	Laubwald	Waldflächen sowie waldartige Bestände im Siedlungsbereich	5	12,5
12	Nadelwald	Waldflächen sowie waldartige Bestände im Siedlungsbereich	5	12,5
13	Mischwald	Waldflächen sowie waldartige Bestände im Siedlungsbereich	5	12,5
14	Wasserfläche	Still- und Fließgewässer	0	0,0







www.rvr.ruhr