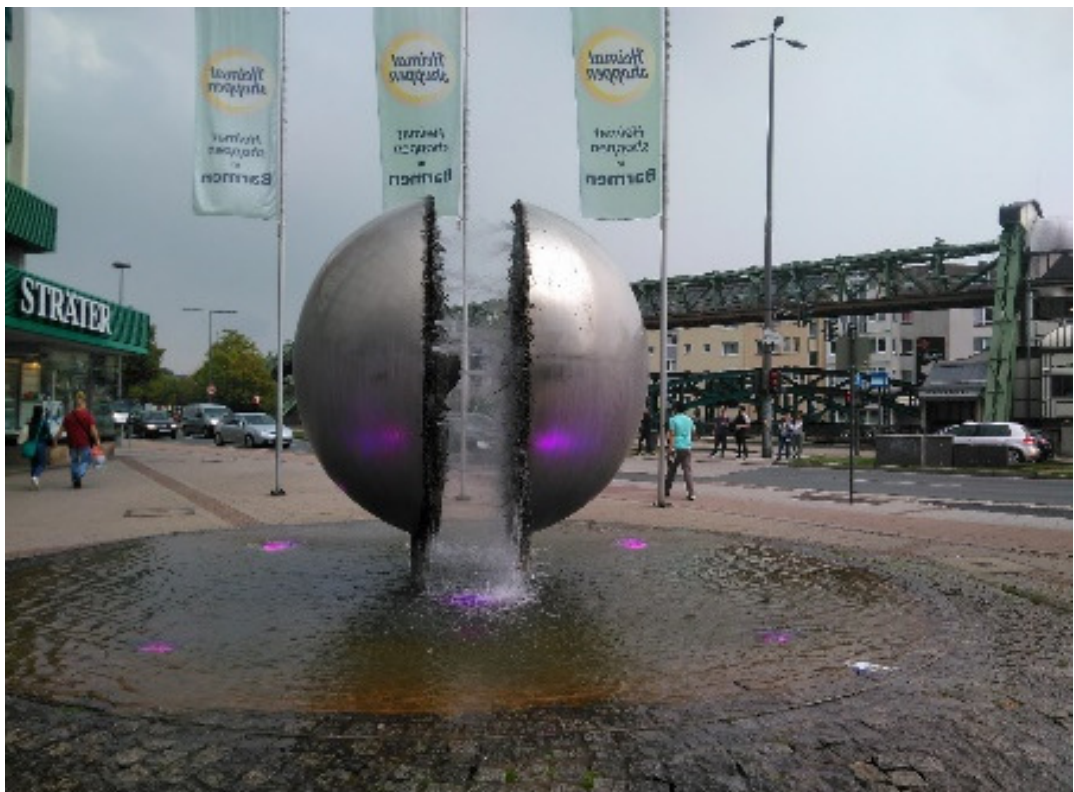


Klimawandel-Betroffenheit der Stadt Wuppertal

Themenfeld "Hitze in der Stadt"



Endbericht
Januar 2019



K.PLAN Klima.Umwelt&Planung GmbH

Dr. Monika Steinrücke
Denis Ahlemann
Steffen Schrödter

Steinring 55, 44789 Bochum
info@stadtklima.ruhr / www.k.plan.ruhr

Januar 2019

Inhalt

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	ii
0. Einleitung.....	1
1. Herangehensweise	2
2. Gesamtstädtische Analyse zur Hitze-Betroffenheit	10
2.1 Zusammenstellung der Grundlageninformationen zum Klima in Wuppertal auf einer digitalen Datenbasis	11
2.2 Kaltluftsimulation für das gesamte Stadtgebiet von Wuppertal.....	18
2.3 Verteilung der Klimatope im Wuppertaler Stadtgebiet im IST-Zustand und im Zukunftsszenario 2050	27
2.4 Verteilung der aktuellen und zukünftigen Hitzebelastungen im Stadtgebiet von Wuppertal.....	37
2.5 Verringerung der Hitzebelastung durch Umsetzung von Maßnahmenbündeln im Zukunftsszenario	40
2.6 Die Hitzebetroffenheit im Stadtgebiet von Wuppertal	54
3. Entwicklung einer Gesamtstrategie zur Klimafolgenanpassung mit Handlungsempfehlungen und Maßnahmen zum Thema Hitze in der Stadt	60
3.1 Die „Handlungskarte Klimaanpassung – Themenfeld Hitze“ für die Stadt Wuppertal	69
3.2 Katalog der Klimaanpassungsmaßnahmen - Themenfeld Hitze.....	81
4. Mikroklimatische Untersuchungen des städtischen Quartiers Arrenberg	139
4.1 Der lokalklimatische Ist-Zustand im Quartier Arrenberg	139
4.2 Arrenberg - Szenario 1 mit Baumaßnahmen.....	149
4.3 Arrenberg - Szenario 2 mit verschiedenen Anpassungsmaßnahmen	153
5. Analysen zur Klimawandelbetroffenheit – Themenfeld “Starkwind und Sturm“	162
5.1 Starkwind- und Sturmgefährdung im Stadtgebiet von Wuppertal	163
5.2 Betroffenheitsanalyse für das Themenfeld Starkwind und Sturm	168
6. Literaturverzeichnis	175

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1	Maximale Temperaturunterschiede zwischen Stadtzentrum und Umland in Abhängigkeit von der Einwohnerzahl für Städte in NRW (Messdaten des RVR und der Abt. Klimatologie und Landschaftsökologie, Universität Duisburg-Essen)	1
Abb. 1.2	Bausteine der Analyse zur Klimawandelbetroffenheit der Stadt Wuppertal	2
Abb. 1.3	Einflussfaktoren auf die Verteilung der Hitzebelastungen im Stadtgebiet von Wuppertal	3
Abb. 1.4	Zunahme von Mittelwert und Streuung der Lufttemperaturen im zukünftigen Klima	4
Abb. 1.5	Abgrenzung von Gebieten der klimatischen Belastung des Menschen im Stadtgebiet von Wuppertal	5
Abb. 1.6	Die Handlungskarte Klimaanpassung als „Filter“ für kommunale Planungen	6
Abb. 1.7	Beispielhafte Maßnahmen und deren Wirkungen auf den drei Raumebenen	8
Abb. 2.1	Realnutzungskarte der Stadt Wuppertal	12
Abb. 2.2	Station 1: Temporäre Lufttemperaturmessungen (2 m Höhe) im Sommer 2018 in Wuppertal-Ronsdorf, Friedrichshöhe (Foto: K.PLAN, google.de)	13
Abb. 2.3	Station 2: Temporäre Lufttemperaturmessungen (2 m Höhe) im Sommer 2018 in Wuppertal-Elberfeld, Platz am Kolk (Foto: K.PLAN, google.de)	13
Abb. 2.4	Station 3: Temporäre Lufttemperaturmessungen (2 m Höhe) im Sommer 2018 in Wuppertal-Uellendahl, Untenrohleder (Foto: K.PLAN, google.de)	13
Abb. 2.5	Ergebnisse der Sonder-Lufttemperaturmessungen an drei Standorten in Wuppertal für den Zeitraum 10.07. – 07.08.2018	14
Abb. 2.6	Mittlerer Tagesgang der Lufttemperaturen an drei Standorten in Wuppertal für den Zeitraum 10.07. – 07.08.2018	15
Abb. 2.7	Lufttemperaturverteilungskarte der Stadt Wuppertal (relative nächtliche Lufttemperaturen in 2 m Höhe bei Strahlungswetterlagen)	16
Abb. 2.8	Karte der Oberflächentemperaturen für das Wuppertaler Stadtgebiet (Oberflächentemperaturen der Nachtsituation, Thermalscannerbefliegung vom 28.06.1986)	17
Abb. 2.9	Geländehöhen im Untersuchungsgebiet Wuppertal für die Kaltluftsimulations-Eingabedatei	19
Abb. 2.10	Landnutzungen im Untersuchungsgebiet Wuppertal für die Kaltluftsimulations-Eingabedatei	20
Abb. 2.11	Karte der Kaltluftverteilung nach 2 Stunden Simulationszeit (Ergebnisse der KLAM_21 – Modellrechnungen)	21
Abb. 2.12	Karte der Kaltluftverteilung nach 4 Stunden Simulationszeit (Ergebnisse der KLAM_21 – Modellrechnungen)	22
Abb. 2.13	Karte der Kaltluftverteilung nach 8 Stunden Simulationszeit (Ergebnisse der KLAM_21 – Modellrechnungen)	24/25
Abb. 2.14	Ablauf zur Berechnung der Klimatope im Stadtgebiet von Wuppertal	28
Abb. 2.15	Klimatopkarte der Stadt Wuppertal im IST-Zustand	29
Abb. 2.16	Klimawandel: Anstieg der Anzahl heißer Tage bis zum Jahr 2100 (Quelle: PIK, www.klimafolgenonline.com)	33
Abb. 2.17	Zunahme heißer Tage im Zukunftsszenario 2050 in der Region um Wuppertal (Quelle: PIK, www.klimafolgenonline.com)	34
Abb. 2.18	Zunahme von Mittelwert und Streuung der Lufttemperaturen im zukünftigen Klima	34
Abb. 2.19	Zur Neuberechnung der Zukunfts-Klimatopkarte herangezogenen Flächenentwicklungen aus dem Stadtentwicklungskonzept der Stadt Wuppertal	35
Abb. 2.20	Klimatopkarte der Stadt Wuppertal im Zukunftsszenario 2050	36
Abb. 2.21	Karte der aktuellen und zukünftigen Hitzebelastungen der Stadt Wuppertal	38/39

Abb. 2.22	Bereiche der Umsetzung des Maßnahmenbündels 1 zur Hitzereduktion in der Zukunft: Verbesserung des Kaltluftzuflusses	41
Abb. 2.23	Bereiche der Umsetzung des Maßnahmenbündels 2 zur Hitzereduktion in der Zukunft: Durchgrünung von Wohngebieten auf den Nordhöhen	42
Abb. 2.24	Bereiche der Umsetzung eines Maßnahmenbündels zur Hitzereduktion in der Zukunft: Durchgrünung von Wohngebieten im südöstlichen Stadtgebiet	43
Abb. 2.25	Bereiche der Umsetzung eines Maßnahmenbündels zur Hitzereduktion in der Zukunft: Durchgrünung und Teilentsiegelung von Gewerbe- und Industrieflächen	44
Abb. 2.26	Karte der Veränderungen der Hitzebelastung im Zukunftsszenario durch Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen	45
Abb. 2.27	Luftbild des Untersuchungsgebietes „Elberfeld City“	46
Abb. 2.28	Begrünung im Modellgebiet „Elberfeld City“ im IST-Zustand	47
Abb. 2.29	Oberflächentemperaturen um 0:00 Uhr im Modellgebiet „Elberfeld City“ im IST-Zustand	48
Abb. 2.30	IR-Aufnahmen der Oberflächentemperaturen um 20 Uhr, Untersuchungsgebiet „Elberfeld City“	49
Abb. 2.31	Virtuelles Luftbild des Untersuchungsgebietes „Elberfeld City“ nach Maßnahmenumsetzung	50
Abb. 2.32	Begrünung im Modellgebiet „Elberfeld City“ im Anpassungs-Szenario	51
Abb. 2.33	Differenzen der Oberflächentemperaturen um 23:00 Uhr im Modellgebiet „Elberfeld City“ im Anpassungs-Szenario	52
Abb. 2.34	Differenzen der Lufttemperaturen um 23:00 Uhr im Modellgebiet „Elberfeld City“ im Anpassungs-Szenario	52
Abb. 2.35	Karte der Hitzebetroffenheit der Stadt Wuppertal	56/57
Abb. 3.1	Bausteine der Analyse zur Klimawandelbetroffenheit der Stadt Wuppertal	60
Abb. 3.2	Die Handlungskarte Klimaanpassung als „Filter“ für kommunale Planungen	61
Abb. 3.3	Controllingkonzept für die Integration von Klimaanpassungsmaßnahmen in Planungsprozesse der Stadt Wuppertal	68
Abb. 3.4	Handlungskarte Klimaanpassung – Themenfeld Hitze für die Stadt Wuppertal	70/71
Abb. 4.1	Gebäude- und Vegetationsstruktur im Modellgebiet Arrenberg im IST-Zustand	140
Abb. 4.2	Ausschnitt aus der Karte der Kaltluftverteilung nach 8 Stunden Simulationszeit	141
Abb. 4.3	Modellierte Oberflächentemperaturen um 15 Uhr im Modellgebiet Arrenberg im IST-Zustand	142
Abb. 4.4	Modellierte PMV-Werte um 15 Uhr im Modellgebiet Arrenberg im IST-Zustand	144
Abb. 4.5	Modellierte Windverteilung in 10 m über Grund um 0 Uhr im Modellgebiet Arrenberg im IST-Zustand, Anströmung aus Nordost	145
Abb. 4.6	Modellierte Schwachwindverteilung in 10 m über Grund um 0 Uhr im Modellgebiet Arrenberg im IST-Zustand, Anströmung aus Nordost	146
Abb. 4.7	Modellierte Schwachwindverteilung in 10 m über Grund um 0 Uhr im Modellgebiet Arrenberg im IST-Zustand, Anströmung aus Süd	146
Abb. 4.8	Modellierte Lufttemperaturen in 2 m über Grund um 0 Uhr im Modellgebiet Arrenberg im IST-Zustand, Anströmung aus Nordost	147
Abb. 4.9	Modellierte Lufttemperaturen in 2 m über Grund um 0 Uhr im Modellgebiet Arrenberg im IST-Zustand, Anströmung aus Süd	148
Abb. 4.10	Gebäude- und Vegetationsstruktur im Modellgebiet Arrenberg im Szenario 1	149

Abb. 4.11	Differenzen der Windgeschwindigkeiten in 10 m über Grund um 0 Uhr im Modellgebiet Arrenberg, Szenario 1 minus IST-Situation, Anströmung aus Nordost	150
Abb. 4.12	Differenzen der Windgeschwindigkeiten in 10 m über Grund um 0 Uhr im Modellgebiet Arrenberg, Szenario 1 minus IST-Situation, Anströmung aus Süd	151
Abb. 4.13	Differenzen der Lufttemperaturen in 2 m über Grund um 0 Uhr im Modellgebiet Arrenberg, Szenario 1 minus IST-Situation, Anströmung aus Süd	152
Abb. 4.14	Gebäude- und Vegetationsstruktur sowie Bereiche der Maßnahmenumsetzung im Modellgebiet Arrenberg im Szenario 2	153
Abb. 4.15	Detailausschnitt aus dem Modellgebiet Arrenberg im Szenario 2, Bereich Gutenbergstraße oben: IST-Zustand, unten: mit Maßnahmenumsetzungen	154
Abb. 4.16	Detailausschnitt aus dem Modellgebiet Arrenberg im Szenario 2, Bereich Alsenstraße links: IST-Zustand, rechts: mit Maßnahmenumsetzungen	155
Abb. 4.17	Detailausschnitt aus dem Modellgebiet Arrenberg im Szenario 2, Bereich Alsenstraße oben: IST-Zustand, unten: mit Maßnahmenumsetzungen	156
Abb. 4.18	Differenzen der Oberflächentemperaturen um 15 Uhr im Modellgebiet Arrenberg, Szenario 2 minus IST-Situation, Anströmung aus Nordost	157
Abb. 4.19	Differenzen der bioklimatischen PMV-Werte um 15 Uhr im Modellgebiet Arrenberg, Szenario 2 minus IST-Situation, Anströmung aus Nordost	158
Abb. 4.20	Differenzen der Windgeschwindigkeiten in 10 m Höhe um 0 Uhr im Modellgebiet Arrenberg, Szenario 2 minus IST-Situation, Anströmung aus Süd	159
Abb. 4.21a	Differenzen der Lufttemperaturen in 2 m Höhe um 0 Uhr im Modellgebiet Arrenberg, Teil Gutenbergplatz, Szenario 2 minus IST-Situation, Anströmung aus Nordost	160
Abb. 4.21b	Differenzen der Lufttemperaturen in 2 m Höhe um 0 Uhr im Modellgebiet Arrenberg, Teil Steinbecker Meile/Spichernstraße, Szenario 2 minus IST-Situation, Anströmung aus Nordost	160
Abb. 4.22	Differenzen der Lufttemperaturen in 2 m Höhe um 0 Uhr im Modellgebiet Arrenberg, Szenario 2 minus IST-Situation, Anströmung aus Süd	161
Abb. 5.1	Starkwindgefährdungskarte für die Stadt Wuppertal	166/167
Abb. 5.2	Karte der Starkwindanfälligkeit für die Stadt Wuppertal	170/171
Abb. 5.3	Karte der Starkwindbetroffenheit für die Stadt Wuppertal	172/173

Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1	Möglichkeiten zur Klimaanpassung im Quartier (positive Beispiele)	53
Tab. 2.2	Gebiete mit einer Hitzebelastung im Stadtgebiet von Wuppertal	58/59
Tab. 4.1	Meteorologische Startparameter für die ENVI-met Modellrechnungen	141
Tab. 4.2	Werteskala der PMV-Feineinteilung	143
Tab. 5.1	Indikatoren für eine Starkwindgefährdung im Stadtgebiet von Wuppertal	164/165
Tab. 5.2	Indikatoren für eine Starkwindanfälligkeit im Stadtgebiet von Wuppertal	168/169

0. Einleitung

Während der Klimaschutz seit vielen Jahren fester Bestandteil der Kommunalpolitik in Nordrhein-Westfalen ist und zahlreiche Städte und Gemeinden eigene Klimaschutzziele und Klimaschutzstrategien haben, beginnt man auf der kommunalen Ebene in den letzten Jahren damit, sich auf die nicht mehr abwendbaren Folgen des Klimawandels einzustellen. Anpassung an den Klimawandel wird zu einem Schwerpunktthema, das in den nächsten Jahren in Wuppertal bearbeitet wird. Die hier vorliegende Analyse bildet eine Arbeitsgrundlage dafür. Die den Lebensalltag beeinflussenden Veränderungen des Klimas gehen mit erheblichen Belastungen und Risiken einher. Dort, wo Menschen eng zusammenleben und eine funktionierende Infrastruktur sehr wichtig ist, steigt die Anfälligkeit für Störungen durch Wetterereignisse, die Risiken und Gefährdungen sind dort besonders ausgeprägt. Daher kommen insbesondere in den Städten der vorsorgenden Planung und der Durchführung von präventiven Maßnahmen eine große Bedeutung zu. Insgesamt ist die Stadt Wuppertal aufgrund ihrer Rahmenbedingungen gut aufgestellt, um zukünftig die zu erwartenden negativen Folgen des Klimawandels in ihren Wirkungen durch geeignete Maßnahmen abmildern zu können. Auch wenn die genauen Zahlen des Klimawandels und deren Folgen für die Stadt Wuppertal unsicher sind, gilt, dass es zu viel Anpassung nicht gibt. Anpassung an das Klima und dessen Wandel ist immer auch mit einer Steigerung der Umwelt- und Lebensqualität verbunden und deshalb niemals überflüssig.

Jeder Mensch, die arbeitende Bevölkerung, aber insbesondere ältere Menschen, die aufgrund des demographischen Wandels bald einen großen Teil der Gesamtbevölkerung ausmachen werden, sowie Säuglinge, Kleinkinder und Kranke leiden verstärkt unter langen Hitzeperioden oder größeren Temperaturschwankungen. In städtischen Gebieten mit hoher Bevölkerungs- und Bebauungsdichte liegen die durchschnittlichen Temperaturen bereits heute höher als im unbebauten Umland (Abb. 1.1). Hier wird man in Zukunft damit rechnen müssen, stärker als andere Gebiete von Hitzebelastungen betroffen zu sein. Aus diesen Gründen müssen sich Städte verstärkt und frühzeitig um Anpassungsmaßnahmen zur Hitzereduktion kümmern.

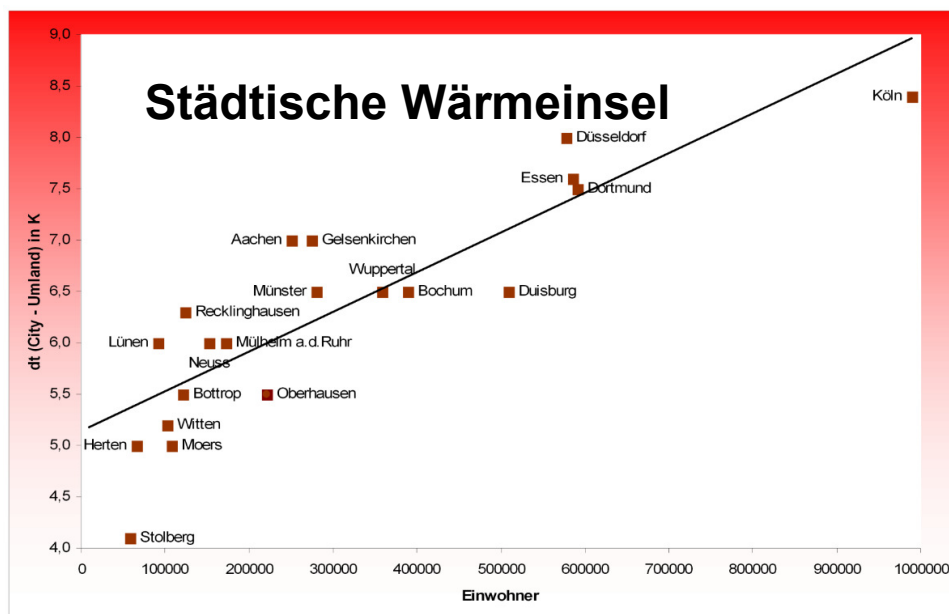


Abb. 1.1 Maximale Temperaturunterschiede zwischen Stadtzentrum und Umland in Abhängigkeit von der Einwohnerzahl für Städte in NRW (Messdaten des RVR und der Abt. Klimatologie und Landschaftsökologie, Universität Duisburg-Essen)

1. Herangehensweise

Bereits heute sind Teile des Stadtgebietes von Wuppertal durch Wärmeinseleffekte, verminderte Durchlüftung und mangelnde nächtliche Abkühlung gekennzeichnet. In einer sommerlichen Nacht bei Strahlungswetterlagen (wolkenloser Himmel und nur geringe Windgeschwindigkeiten) kann es in den Wuppertaler Stadtzentren von Oberbarmen bis Vohwinkel um 6 bis 7 Grad wärmer sein als im unbebauten Umland (Abb. 1.1). Die daraus resultierenden Handlungserfordernisse werden in ihrer Dringlichkeit erheblich verschärft durch die in den nächsten Jahrzehnten absehbaren Klimaveränderungen. Da bei einem nachhaltigen Stadtumbau mit langwierigen Prozessen gerechnet werden muss, müssen rechtzeitig, das heißt jetzt Maßnahmen getroffen werden, um die Anfälligkeit von Mensch und Umwelt gegenüber den Folgen des Klimawandels zu verringern. Dabei wirken sich die Effekte von Anpassungsmaßnahmen unmittelbar „vor Ort“ positiv aus.

Erste Untersuchungen wurden in Wuppertal bereits durchgeführt. Dabei orientiert sich die Stadt Wuppertal am Klimaanpassungskonzept (2013) für Remscheid und Solingen, um im bergischen Städtedreieck einen gemeinsamen Weg zu beschreiten. Dabei fehlen aber Wuppertal-spezifische Untersuchungen zu Hitzebelastungen und zur Hitze-Betroffenheit für das gesamte Stadtgebiet. Im Folgenden hat sich Wuppertal am Projekt „BESTKLIMA“ (2015-17) beteiligt, bei dem Untersuchungen zum Tal der Wupper sowie zum Quartier Arrenberg durchgeführt wurden. Die vorliegende Untersuchung greift die vorhandenen Analysen und Daten auf und führt eine Analyse zur Klimawandel-Betroffenheit der Stadt Wuppertal für das Themenfeld „Hitze“ durch. Abbildung. 1.2 zeigt die einzelnen Bausteine dieser Analyse.

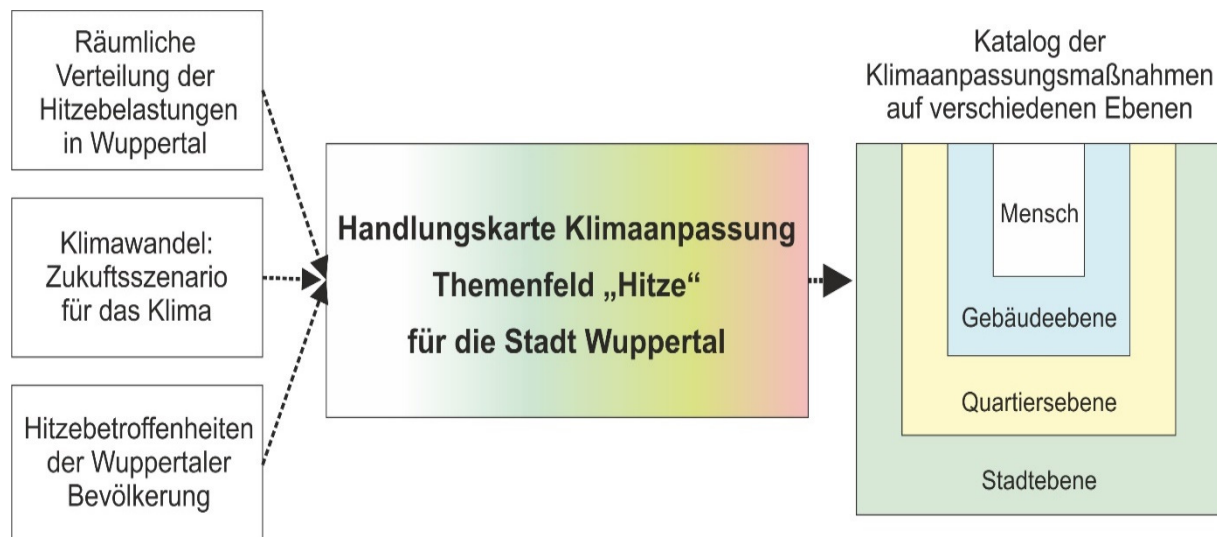


Abb. 1.2 Bausteine der Analyse zur Klimawandelbetroffenheit der Stadt Wuppertal

Räumliche
Verteilung der
Hitzebelastungen
in Wuppertal

Die räumlichen Verteilungen der Hitzebelastungen und der Hitzebetroffenheit in Wuppertal sowie die regionalen Prognosen zum Klimawandel bilden die Grundlagen der Analyse. Die Grundlagendaten, die Methoden sowie die Ergebnisse zur Hitzebetroffenheitsanalyse werden ausführlich im Kapitel 2 beschrieben.

Die wichtigsten Einflussfaktoren für die Verteilung der Hitzebelastungen in Wuppertal sind in der Abbildung 1.3 zusammengefasst. Zur Ermittlung dieser Faktoren wurden die aktuellen Realnutzungsdaten der Stadt Wuppertal ausgewertet, eigene Lufttemperaturmessungen durchgeführt und eine Kaltluftsimulation für das gesamte Stadtgebiet berechnet. Für die Ausbildung einer Hitzebelastung spielen in erster Linie die Bebauung und Versiegelung eines Gebietes eine Rolle. Variationen ergeben sich durch den Einsatz verschiedenen Materialien (je dunkler, desto stärker erwärmen sich Oberflächen) und durch den Durchgrünungsgrad. Vegetation kann durch Schattenwurf und Verdunstung erheblich zur Temperaturabsenkung beitragen. Die Höhenlage und Belüftungsbahnen können für den Abtransport von warmer bzw. die Zuführung von kühler Luft sorgen. Auf dieser Grundlage wurde die Karte der Hitzebelastungen für die Stadt Wuppertal (Kapitel 2.4) erstellt.



Abb. 1.3 Einflussfaktoren auf die Verteilung der Hitzebelastungen im Stadtgebiet von Wuppertal

Klimawandel:
Zukunftsszenario
für das Klima

Die für Nordrhein-Westfalen prognostizierten Auswirkungen des Klimawandels zeigen, dass sich die Randbedingungen in Richtung Hitzewellen mit hohem Mortalitätsrisiko verändern werden. Dass schwerwiegende Folgen von Hitzewellen vor allem in Städten auftreten, liegt an der Bedeutung der Nachttemperaturen für die Erholungsphase des Menschen. Der Effekt der städtischen Wärmeinsel führt durch Speicherung der eingestrahlichten Sonnenenergie zu stark überhöhten nächtlichen Temperaturen. Durch reduzierte nächtliche Abkühlungen werden die gesundheitsschädlichen Auswirkungen von Hitzewellen in Städten in Zukunft deutlich zunehmen. Abbildung 1.4 zeigt die Verschiebung des zukünftigen Klimas hin zu mehr und stärkerer Hitze. Insbesondere die Zunahme der Streuung, also das häufige Auftreten von Extremereignissen, führt dazu, dass die Hitze in Zukunft um ein Vielfaches zunimmt, während die kalten Wintertemperaturen nur eine geringe Änderung zeigen.

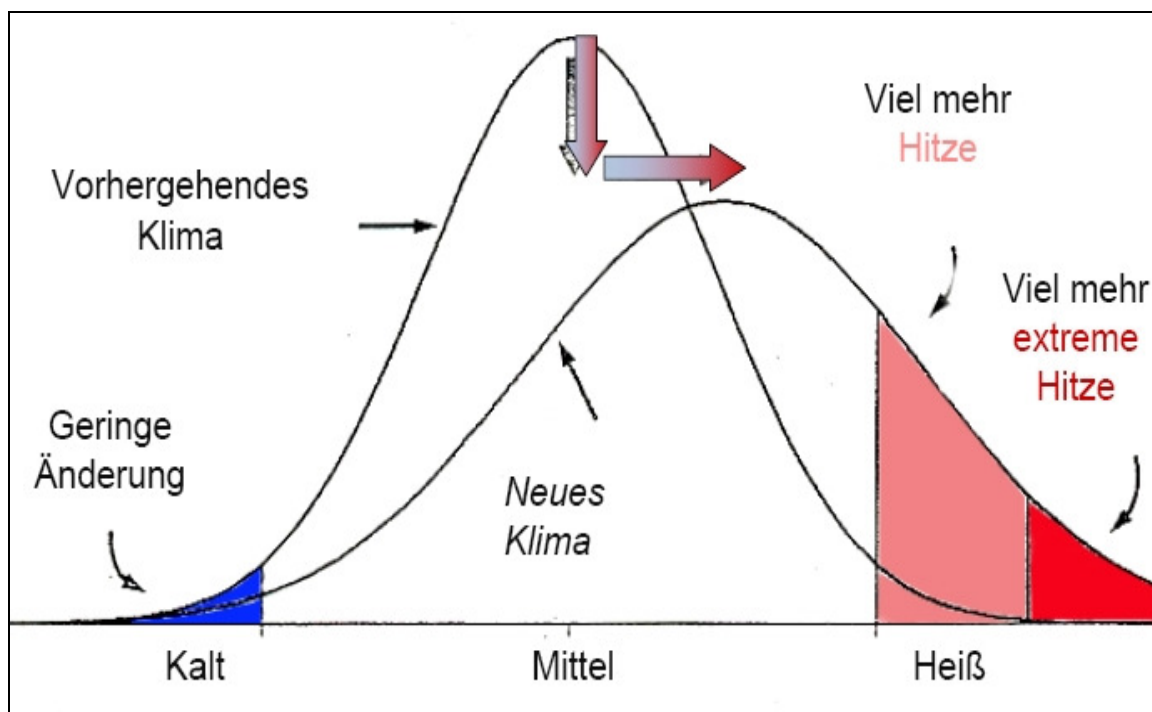


Abb. 1.4 Zunahme von Mittelwert und Streuung der Lufttemperaturen im zukünftigen Klima (Hupfer 2006)

Nicht der mittlere globale Temperaturanstieg in Deutschland von rund 2 bis 4 Grad in den nächsten 50 bis 100 Jahren ist von Bedeutung für Klimaanpassungsmaßnahmen, sondern die aus der Verschiebung der Temperaturverteilung resultierende zunehmende Hitzebelastung in den Innenstädten. Während in den vergangenen 100 Jahren die Anzahl der Heißen Tage (Tagestemperaturmaximum ≥ 30 °C) im Mittel schon um rund 100 % angestiegen ist, kommt in den nächsten 50 Jahren nochmal ein Anstieg von über 100 % dazu. Für das Zukunftsszenario 2050 (bezogen auf die Dekade 2050-2060) wurde die Ausweitung der Hitzebelastungen im Stadtgebiet berechnet. Durch die virtuelle Umsetzung von verschiedenen Maßnahmenbündeln zur Klimaanpassung kann die Ausweitung der Hitzebelastung im Zukunftsszenario weitgehend auf den IST-Zustand zurückgesetzt werden. Dies wird beispielhaft stadtweit und kleinräumig für ein Modellgebiet am Rathaus Elberfeld umgesetzt. Die Ergebnisse hierzu sind im Kapitel 2.5 beschrieben.

Hitzebetroffenheiten
der Wuppertaler
Bevölkerung

Für die Anfälligkeit eines Gebietes gegenüber einer klimatischen Belastung des Menschen spielen neben dem Hitzepotential auch die Einwohnerdichte sowie soziodemographische Faktoren wie das Alter der Bevölkerung eine Rolle. Je größer die Einwohnerdichte ist, desto mehr Menschen sind einer möglichen Hitzebelastung ausgesetzt. Ältere Menschen sowie Kleinkinder 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 oder Kleinkinder können daher als anfälliger gegenüber Hitzestress charakterisiert werden. Aus der Verschneidung der Bereiche der städtischen Wärmeinseln (Hitzebelastungen) mit der Bevölkerungsdichte, dem Anteil der über 65Jährigen und unter 3Jährigen und sensiblen Einrichtungen wie Altenheime, Krankenhäuser und Kindertagesstätten ergeben sich als Ergebnis Belastungsgebiete unter dem Aspekt Hitze mit verschiedenen Anfälligkeitsstufen (Abb. 1.5). Die Karte der Hitzebetroffenheit für die Stadt Wuppertal wird im Kapitel 2.6 erläutert.


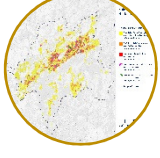
Ausgangsdaten	Parameter
- Bereiche der Städtischen Wärmeinsel (Ist und Zukunft):	Hitzebelastung 
- Einwohnerdichte in den Stadtvierteln von Wuppertal:	Anfälligkeit
- Anteil der Einwohner über 65 Jahre:	Anfälligkeit
- Anteil von Kindern unter 3 Jahren:	Anfälligkeit
- Hitzesensible Einrichtungen:	Anfälligkeit 

Abb. 1.5 Abgrenzung von Gebieten der klimatischen Belastung des Menschen im Stadtgebiet von Wuppertal

Handlungskarte Klimaanpassung – Themenfeld Hitze für die Stadt Wuppertal

Aus den Analyseergebnissen des Kapitels 2 wird im Kapitel 3 eine Handlungskarte für das Stadtgebiet entwickelt. In dieser Karte werden alle Flächen ausgewiesen, die momentan oder auf das Zukunftsszenario 2050 bezogen ein Konfliktpotential im Hinblick auf den Klimawandel unter dem Aspekt Hitze aufweisen. Um Anpassungsmaßnahmen an das Stadtklima unter Berücksichtigung des Klimawandels gezielt ein- und möglichst effektiv umzusetzen, sollten die Gebiete und Bereiche identifiziert werden, die eine besondere Sensitivität gegenüber den Folgen des Klimawandels aufweisen. Das sind Gebiete, in denen aufgrund der sozialen, ökonomischen und naturräumlichen Rahmenbedingungen vor Ort besondere Probleme durch die klimatischen Änderungen zu erwarten sind. Neben der Berücksichtigung anderer Belange sollte die Handlungskarte zukünftig in alle Planungsprozesse der Stadt Wuppertal integriert werden. Sie enthält neben der Darstellung des Konfliktpotentials auch schon einen Überblick

über notwendige Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel und Vorschläge, die in Planungsprozesse einfließen sollen. Diese Handlungskarte ist wie ein Filter, durch den zukünftig alle Planungen im Stadtgebiet gefiltert werden sollten (Abb. 1.6).

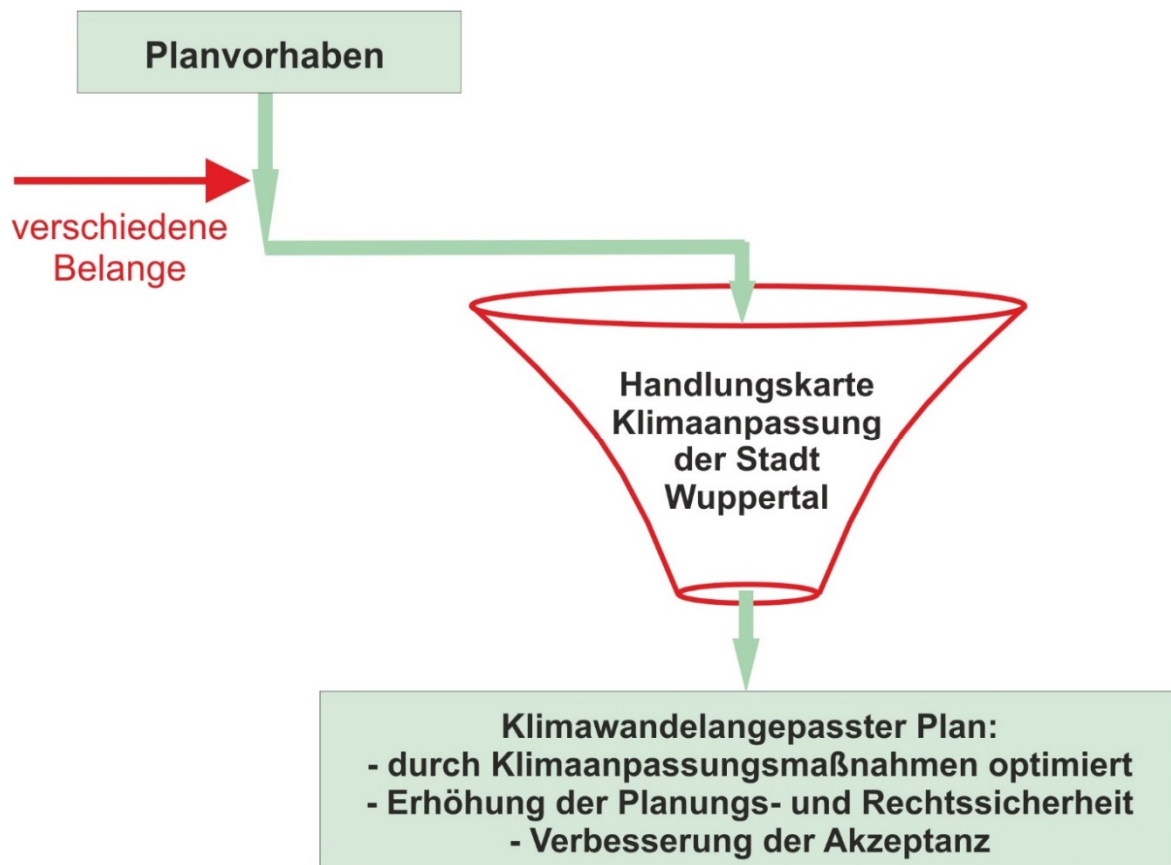


Abb. 1.6 Die Handlungskarte Klimaangepasstung als „Filter“ für kommunale Planungen

Bevor es zu einer Entscheidung zugunsten einer konkreten Fläche kommt, muss vorab verwaltungsintern mit Hilfe der Handlungskarte abgeglichen werden, ob die angestrebte Fläche ein dort ausgewiesenes Konfliktpotential aufweist. Ist dies zutreffend, so muss geklärt werden, um welche Art von Konfliktpotential, z. B. Hitzebelastung oder die Belüftungs- oder Kühlfunktion einer Fläche, es sich handelt. Ab diesem Zeitpunkt müssen Maßnahmen aufgezeigt und in den weiteren Schritten des Planungsverfahrens mitberücksichtigt werden. Die kommunalen Planungen müssen als Weichenstellung für die zukünftige Stadtentwicklung verstanden werden. Neben der Vorbildfunktion der Stadt für das Thema der Klimaangepasstung geht es auch um einen Standortfaktor für Wuppertal und die Lebensqualität in der Stadt. Eine weitreichende Kommunikation der „Handlungskarte Klimaangepasstung – Themenfeld Hitze“ in die Öffentlichkeit hinein erleichtert die Anwendung des Maßnahmenkatalogs auch im Bereich privater Grundstücksflächen.

Maßnahmenkatalog

Während es in den heißen Klimazonen der Erde schon immer einen klimaangepassten Städtebau (z. B. enge Gassen mit Verschattung der Hauswände, helle Oberflächen) gegeben hat, ist in unseren Regionen ein Umdenken erforderlich, um eine Anpassung an die Folgen des Klimawandels zu erreichen. Es muss eine Umgestaltung auf Stadt-, Quartiers- und Gebäudeebene stattfinden, um eine Verminderung der zukünftigen Belastungen durch die Folgen des Klimawandels zu erreichen. Zusätzlich muss sich das Verhalten des Menschen verändern, damit die Anfälligkeit gegenüber Hitze abnimmt. Im Kapitel 3.2 wird ein Katalog mit verschiedenen Anpassungsmaßnahmen auf diesen vier Ebenen zusammengestellt. Die Maßnahmen werden anhand eines jeweils zweiseitigen Steckbriefs erläutert mit einer Beschreibung der Maßnahme, ihren Anwendungsbereichen, Synergien, Zielkonflikten, Akteuren, Kooperationspartnern, Zielgruppen und möglichen Umsetzungsinstrumenten sowie anschaulichen Beispielen.

Anpassungsmaßnahmen auf Stadtebene

Langfristig umzusetzende Maßnahmen fallen in den Bereich der Freiraumplanung und Stadtentwicklung. Aufgrund der sehr langsamen Geschwindigkeit eines nachhaltigen Stadtumbaus besteht hier ein hoher Handlungsdruck für die Stadtentwicklungsplanung. Anpassungsmaßnahmen für Veränderungen, die sich erst in der Zukunft ergeben, müssen bereits heute beginnen. Freiwerdende Flächen sind im Sinne der Stadtbelüftung einer sorgfältigen Abwägung über die zukünftige Nutzung zu unterziehen.

Anpassungsmaßnahmen auf Quartiersebene

Kurz- und mittelfristig umzusetzende Maßnahmen zur Anpassung der städtischen Infrastruktur an den Klimawandel sind Begrünungs- und Entsiegelungsmaßnahmen im Straßenraum. Ebenfalls kurz- bis mittelfristig umsetzbar ist die Schaffung von kleineren offenen Wasserflächen im Stadtbereich. Maßnahmen einer baulichen Quartiersumgestaltung sind nur mittel- oder langfristig umsetzbar.

Anpassungsmaßnahmen auf Gebäudeebene

Kurz- bis mittelfristig umzusetzende Maßnahmen zur Reduzierung der Hitzebelastung im städtischen Raum auf Gebäudeebene sind Dach- und Fassadenbegrünungen. Veränderungen im Gebäudedesign, wie die Gebäudeausrichtung, Hauswandverschattung, Wärmedämmung und der Einsatz von geeigneten Baumaterialien können als mittelfristige Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel zusammengefasst werden. Neben dem Gebäude an sich wird auch das direkte Gebäudeumfeld betrachtet, z. B. die Gartengestaltung.

Anpassungsmaßnahmen auf Verhaltensebene

Eine stärkere Vernetzung von kommunalen Akteuren, Verbänden, sozialen Einrichtungen, Investoren und der Bürgerschaft ist zukünftig notwendig, um die Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen voranzutreiben. Dazu gehört auch, die Akzeptanz in Politik und Gesellschaft zu erhöhen und aufzuzeigen, dass Klimaanpassung immer auch mit einer Aufwertung von Stadtvierteln und einer besseren Lebensqualität verknüpft ist. Das persönliche Verhalten im Fall von extremer Trockenheit (Brandgefahr, Bewässerung) und Hitze muss an die zukünftigen Klimabedingungen angepasst werden. Für besonders betroffene Personengruppen wie alte und kranke Menschen sind Pläne zur Verhaltensvorsorge aufzustellen.

Stadtebene

Frischlufschneisen und Luftleitbahnen mit Kaltluftabfluss in überwärmte Bereiche



Frischlufschneisen und Luftleitbahnen verbinden Kaltluftentstehungsgebiete oder Frischlufflächen mit überwärmten städtischen Bereichen und sind somit ein wichtiger Bestandteil des städtischen Luftaustausches. Insbesondere bei austauscharmen Wetterlagen sind sie klimarelevant, da über sie eine Belüftung hoch versiegelter Bereiche stattfinden kann.

Den Austausch hemmende Faktoren können neben Baukörpern auch hohe und dichte Vegetation (Sträucher und Bäume) sein. Besonders nachteilig wirkt sich dieser Effekt auf strahlungs nächtliche, häufig nur schwach ausgebildete Kaltluftabflüsse aus.

Quartiersebene

Offene Wasserflächen oder Springbrunnen zur Kühlung von innerstädtischen Plätzen



Die Verdunstung von Wasser verbraucht Wärmeenergie aus der Luft und trägt so zur Abkühlung der aufgeheizten Innenstadtluft bei. Über eine Steigerung des Anteils von Wasser- und Grünflächen in Städten kann damit ein Abkühlungseffekt erzielt und gleichzeitig in der meist relativ trockenen Stadtatmosphäre die Luftfeuchtigkeit erhöht werden. Bewegtes Wasser wie innerstädtische Springbrunnen oder Wasserzerstäuber tragen insgesamt in größerem Maß zur Verdunstungskühlung bei als stehende Wasserflächen. Stark besonnte Standorte erhöhen den Effekt der Abkühlung durch Verdunstung.

Gebäudeebene

Begrünte Dächer im Stadtgebiet vermindern das Aufheizen der Dachflächen und verbessern das Mikroklima



Dachbegrünungen haben positive Auswirkungen auf das thermische, lufthygienische und energetische Potential eines Gebäudes. Im Jahresverlauf werden Temperaturextreme abgemildert. Das Blattwerk, das Luftpolster und die Verdunstung in der Vegetationsschicht vermindern das Aufheizen der Dachfläche im Sommer und den Wärmeverlust des Hauses im Winter. Dies führt zu einer ausgeglicheneren Klimatisierung der darunter liegenden Räume. Erst in einem größeren Verbund können sich auch Auswirkungen auf das Mikroklima eines Stadtviertels ergeben. Durch Speicherung und Verdunstung von Wasser auf der Dachfläche ergeben sich Synergien mit dem städtischen Wasserhaushalt.

Abb. 1.7 Beispielhafte Maßnahmen und deren Wirkungen auf den drei Raumebenen

Die vorliegende Analyse zur Hitzebetroffenheit in Wuppertal soll den erforderlichen Werkzeugkasten für eine nachhaltige Klimaanpassung in der Stadt Wuppertal bereitstellen. Aus dem Zusammenspiel von Handlungskarte und Anpassungssteckbriefen können zukünftig konkrete Anpassungsprojekte entwickelt und deren Nutzen abgeschätzt werden.

Beispielhaft wurden für das Quartier Arrenberg, das schon im Projekt „BESTKLIMA“ als Modellgebiet genauer betrachtet wurde, detailliert die Belastungspotenziale durch Hitze mittels Modellierungen untersucht und darauf aufbauend konkrete Vorschläge zur Klimaanpassung entwickelt. In diesem Quartier fallen hohe Hitzebelastungen und mangelnde Durchlüftung durch eine dichte Bebauung mit einer schwachen und daher anfälligen Kaltluftzufuhr aus kleinen Nebentälern der Wupper zusammen. Damit ist das Quartier Arrenberg ein geeignetes Untersuchungsgebiet mit der Möglichkeit, die Ergebnisse auf andere Stadtquartiere zu übertragen. Durch mikroskalige Modellierungen wurden für zwei Varianten die Veränderungen im Quartier, sowohl bauliche Maßnahmen wie auch Begrünung, Entsiegelung und

Verdunstungskühlung durch bewegtes Wasser, im Hinblick auf Überhitzung und insbesondere bezüglich der Belüftung im Untersuchungsgebiet überprüft. Das mikroklimatische Modell ENVI-met dient zur Simulation der Wind-, Temperatur- und Feuchteverteilung sowie der bioklimatischen Belastung (PMV-Index) in städtischen Quartieren. ENVI-met versetzt z. B. Stadtplaner in die Lage, die Auswirkungen von gezielten Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel innerhalb verschiedener Planungsszenarien zu simulieren und zu vergleichen, ohne dass das untersuchte Gebiet bzw. die Anpassungsmaßnahmen in der Realität existieren müssen. Die Auswertungen dieser mikroklimatischen Untersuchungen sind im Kapitel 4 nachlesbar.

Bei der Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen sind vielfältige Synergien, beispielsweise mit der Niederschlagsretention auf Grünflächen, aber auch Konflikte mit anderen Themenfeldern wie „Innenentwicklung“ gegeben. Neben dem großen Themenbereich des Klimaschutzes müssen auch die weiteren Folgen des Klimawandels wie Trockenheit, Extremniederschläge und Sturm in die Überlegungen einbezogen werden. Im Kapitel 5 wird ein erster Ausblick auf die Klimawandelbetroffenheit der Stadt Wuppertal im Themenfeld „Starkwind und Sturm“ gegeben. Dieses Themenfeld ist beispielsweise bei der Planung von Begrünungen mit Bäumen einzubeziehen. Städtische Baumstandorte sind in der Regel Extremstandorte, die stärker von Trockenperioden und Sturmereignissen getroffen werden können.

Zusammengefasst behandelt die vorliegende Analyse die folgenden Schritte:

- ◆ Handlungsschwerpunkte identifizieren
- ◆ Priorisierung des Handlungsbedarfs
- ◆ Werkzeugkasten zur Umsetzung und Optimierung von Planungsvorhaben

2. Gesamtstädtische Analyse zur Hitze-Betroffenheit

Die Landnutzungs- und Siedlungsstruktur ist von großflächiger Bebauung im Tal der Wupper, an dessen Hängen und – ausgehend von den kleineren Siedlungskernen – auf den höheren Lagen geprägt. Durch die teils stark verdichteten Siedlungskernen Oberbarmen, Barmen, Elberfeld und Vohwinkel im Tal der Wupper und die kleineren bzw. weniger verdichteten Siedlungsansätzen an den Hängen und auf den Kuppen neben dem Tal ist die städtische Wärmeinsel von Wuppertal bandförmig angeordnet mit „Hot Spots“ und untergeordneten schwachen Nebenwärmeinseln. Typisch ist dabei über größere Teile des Talbodens eine Gemengelage von teils dicht nebeneinanderliegenden gewerblich genutzten Flächen (mit teils stark industrieller Nutzung) und Wohnbauflächen verschiedener Dichte (städtische Mischnutzung). In dem engen Längstal wird zudem viel Platz durch übergeordnete Infrastruktur (Bundesstraßen, Fernbahnstrecken) in Anspruch genommen, die Wupper selbst ist teilweise überbaut.

Zur Beurteilung der stadtklimatischen Situation werden alle vorhandenen Klimauntersuchungen und städtischen Daten der Stadt Wuppertal herangezogen. Aus der Auswertung lassen sich Belastungsgebieten, in denen aktuell oder zukünftig bedingt durch den Klimawandel verschärft Probleme auftreten werden, berechnen. Hierzu werden neben den Klimaanalysen die Realnutzungsdaten, Klimakarten, das digitale Höhenmodell und Bevölkerungsdaten herangezogen. Die Ausgangsdaten der nachfolgenden Analysen werden im Kapitel 2.1 vorgestellt und durch eine Kaltluftsimulation für das gesamte Wuppertaler Stadtgebiet (Kap. 2.2) ergänzt.

Als Grundlage der Abgrenzung von Gebieten mit einer deutlichen Hitzebelastung wird eine digitale Klimatopkarte für das gesamte Stadtgebiet erstellt (Kap.2.3). Zusätzlich zum Ist-Zustand der Klimakarte wird ein Zukunftsszenario 2050 der Klimatope unter Berücksichtigung von regionalen Klimawandel-Projektionen und städtebaulichen Vorhaben aus dem Stadtentwicklungskonzept (Stand 03.2018) berechnet. Anhand der Karten „IST“ und „Zukunftsszenario“ kann die Veränderung der Hitzebelastungen durch Ausweitung der entsprechenden Klimatope im Stadtgebiet in der Zukunft abgeschätzt werden (Kap. 2.4). Auf dieser Grundlage wird beispielhaft ein Maßnahmenbündel erarbeitet, mit dem die Klimakarte des Zukunftsszenarios bezüglich der Intensität und Ausweitung der Hitzeareale wieder weitgehend auf den IST-Zustand gesetzt werden kann. Dazu gehören beispielsweise die Entsiegelung und Begrünung von Flächen, Straßen- und Innenhofbegrünung und die Verbesserung der Funktion der Belüftungsbahnen. An einem innerstädtischen Untersuchungsgebiet in Wuppertal-Elberfeld wird die Wirksamkeit einiger Maßnahmen beispielhaft durch mikroskalige Modellierungen überprüft (Kap. 2.5).

Konkrete Aussagen zu Betroffenheiten der Bevölkerung in Gebieten, in denen aktuell und in Zukunft verstärkt Hitzebelastungen auftreten, werden durch eine Verknüpfung der Hitzebelastungsbereiche im Stadtgebiet mit den Daten zur Bevölkerungsdichte sowie dem Anteil an über 65-jährigen und unter 3-jährigen Bewohnern und hitzesensiblen Einrichtungen getroffen (Kap. 2.6). Die so berechnete „Karte der Hitzebetroffenheit“ für die Stadt Wuppertal hat das Ziel aufzuzeigen, in welchen Stadtgebieten der vordringlichste Handlungs- und Planungsbedarf bezogen auf den Aspekt „Hitzebelastung“ besteht.

2.1 Zusammenstellung der Grundlageninformationen zum Klima in Wuppertal auf einer digitalen Datenbasis

Die vielfältigen vorhandenen Klimauntersuchungen und Ergebniskarten zum Wuppertaler Stadtklima werden im Folgenden ausgewertet und aktualisiert, um alle erforderlichen Grundlagendaten für eine gesamtstädtische Analyse zur Klimawandelfolgen-Betroffenheit bezüglich der Hitzebelastungen zusammenstellen zu können. Dies sind im Einzelnen:

- Realnutzungsdaten der Stadt Wuppertal, Datenstand 14.02.2018
- Orographie des Wuppertaler Stadtgebietes und Umgebung, Auflösung: 1m Rasterweite
- Entwurf der Klimatopkarte Wuppertal, Stand Februar 2018
- Abschlussbericht zum Projekt BESTKLIMA der Städte Remscheid, Solingen und Wuppertal, 2017
- Handlungskonzept Klima und Lufthygiene für die Stadt Wuppertal mit: Stadtklimaanalysekarte und Planungshinweiskarte (Ingenieurbüro Lohmeyer, 2000)
- Klimaanalyse Stadt Wuppertal (Bangert et al, 1988)
- Stadtentwicklungskonzept: Städtebauliche Vorhaben/ Projekte, Arbeitsplan, Stand 03.2018
- Baublöcke mit Einwohnerzahlen nach Altersklassen, Datenstand 3. Quartal 2017

Aus diesen Daten lassen sich die wichtigsten Einflussfaktoren für die Verteilung der Hitzebelastungen in Wuppertal ableiten:

- ◆ Höhenlage
- ◆ Belüftungsbahn
- ◆ Durchgrünung
- ◆ Versiegelungsgrad
- ◆ Bebauungsdichte
- ◆ Materialien/ Farben

Ausgangspunkt ist die Berechnung einer aktuellen Klimatopkarte (Kap. 2.3). Unter dem Begriff Klimatop werden Stadtbereiche mit gleicher Struktur und klimatischer Ausprägung zusammengefasst. Bestimmend für die Einteilung des Stadtgebietes in Klimatope sind die dominierende Nutzungsart sowie die thermale Situation an dem jeweiligen Ort. Entsprechend dienen als Grundlage für die Berechnung der Klimatopkarte die Realnutzungskarte, die Karte der Lufttemperaturverteilung während einer sommerlichen Strahlungsnacht sowie eine Karte der Oberflächentemperaturen.

Abbildung 2.1 zeigt die Realnutzungskarte der Stadt Wuppertal entsprechend dem von der Stadt zur Verfügung gestellten Nutzungsschlüssel. Deutlich ist das Siedlungsband entlang der Wupper erkennbar. Dieses ist durchzogen von gewerblich und industriell genutzten Flächen. Die Siedlungen auf den Hang- und Kuppenlagen sind mäßig bis stark verdichtet und überwiegend von Freiland und Waldgebieten umgeben.

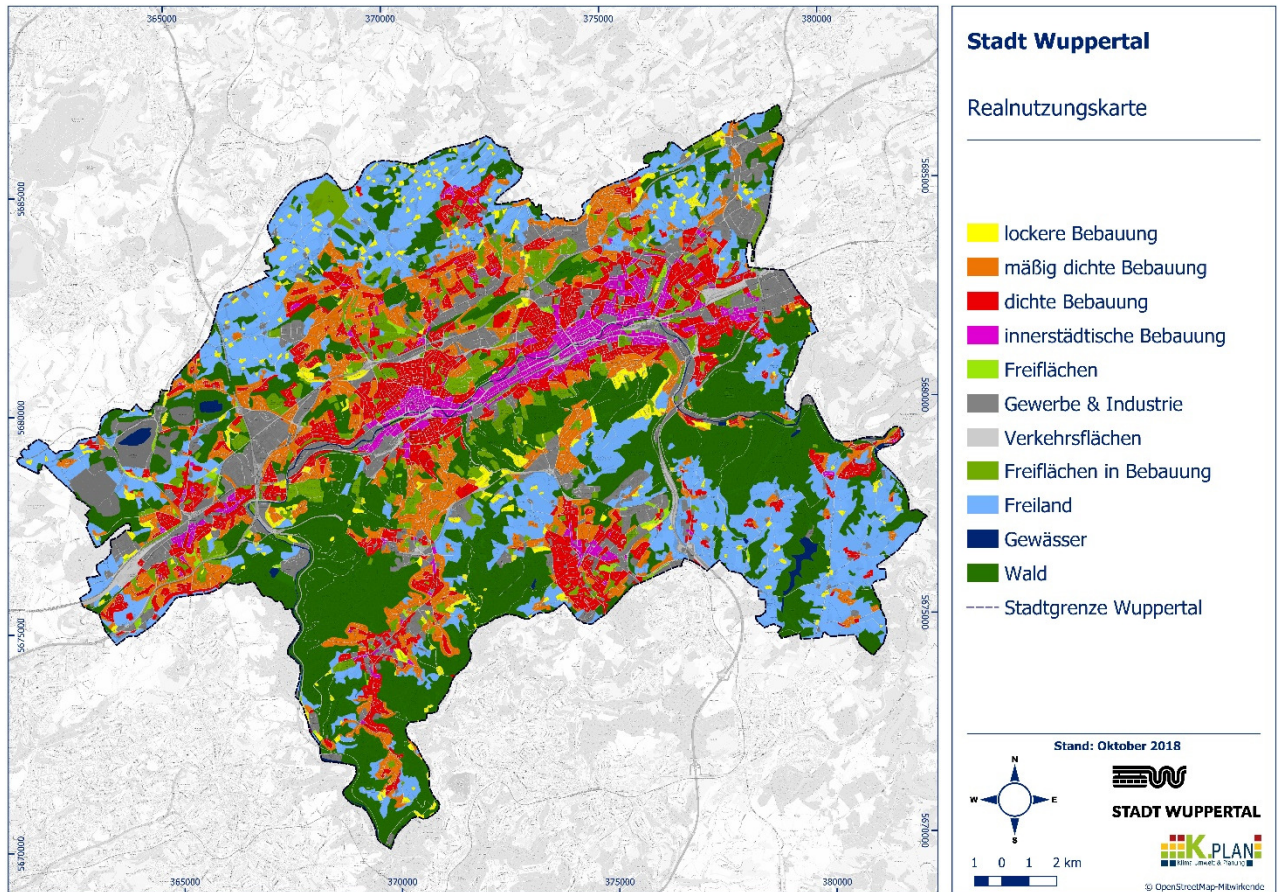


Abb. 2.1 Realnutzungskarte der Stadt Wuppertal

Eine aktuelle Lufttemperaturverteilungskarte für das Stadtgebiet von Wuppertal existierte nicht. Deshalb musste eine neue Lufttemperaturverteilungskarte der Stadt Wuppertal (Abb. 2.7) entwickelt werden. Grundlage bildeten die Temperaturuntersuchungen der alten Analysen. Zusätzlich waren aktuelle Messungen auf einem Nord-Süd-Profil in unterschiedlichen orographischen Lagen und Nutzungsstrukturen notwendig, um die in der Literatur angegebenen möglichen maximalen Lufttemperaturunterschiede in einer Sommernacht bei Hitzewetterlagen zwischen innerstädtischem Raum und Freiland zu verifizieren.

Im Sommer 2018 wurden für 2 Monate an drei verschiedenen Standorten Lufttemperaturmessungen durchgeführt. Station 1 (siehe Abb. 2.2) lag am Siedlungsrand von Wuppertal-Ronsdorf in einer Freiland-Kuppenlage. Station 2 (Abb.2.3), im Zentrum von Wuppertal-Elberfeld, repräsentierte die innerstädtische Wärmeinsel und Station 3 (Abb.2.4), in Wuppertal-Uellendahl, die klimatische Situation in einer leichten Senkenlage im Freiland. Durch diese Auswahl wurden drei Extremstandorte erfasst, die anzeigen, welche Temperaturunterschiede in einer sommerlichen Strahlungsnacht auftreten können. Ausgewertet und dargestellt sind im Folgenden die Temperaturverläufe während einer ausgeprägten Hitzewelle in Juli/ August 2018.



Abb. 2.2 Station 1: Temporäre Lufttemperaturmessungen (2 m Höhe) im Sommer 2018 in Wuppertal-Ronsdorf, Friedrichshöhe (Foto: K.PLAN, google.de)



Abb. 2.3 Station 2: Temporäre Lufttemperaturmessungen (2 m Höhe) im Sommer 2018 in Wuppertal-Elberfeld, Platz am Kolk (Foto: K.PLAN, google.de)



Abb. 2.4 Station 3: Temporäre Lufttemperaturmessungen (2 m Höhe) im Sommer 2018 in Wuppertal-Uellendahl, Untenrohleder (Foto: K.PLAN, google.de)

Abbildung 2.5 zeigt die Ergebnisse der Lufttemperaturmessungen für den Zeitraum vom 17.07.18 bis 07.08.18. In diesem Zeitraum wurden mehrmals über 30 °C Tageshöchsttemperaturen erreicht. Deutlich ist zu sehen, dass sich die Lufttemperaturen tagsüber nur wenig unterscheiden, hier ist die gut durchlüftete Kuppenstation (Station 1 in Ronsdorf) immer etwas kühler als die anderen Standorte. Nachts dagegen sind die Freilandstandorte (Station 1 und 3) häufig deutlich kühler als der Standort in der Innenstadt von Elberfeld. Die tagsüber eingestrahlte Sonnenenergie wird hier in den Gebäuden und versiegelten Flächen gespeichert, zusätzlich ist die Durchlüftung durch die Baukörper reduziert. Nachts wird die gespeicherte Wärme langsam an die Luft abgegeben und wirkt dadurch der nächtlichen Abkühlung entgegen.

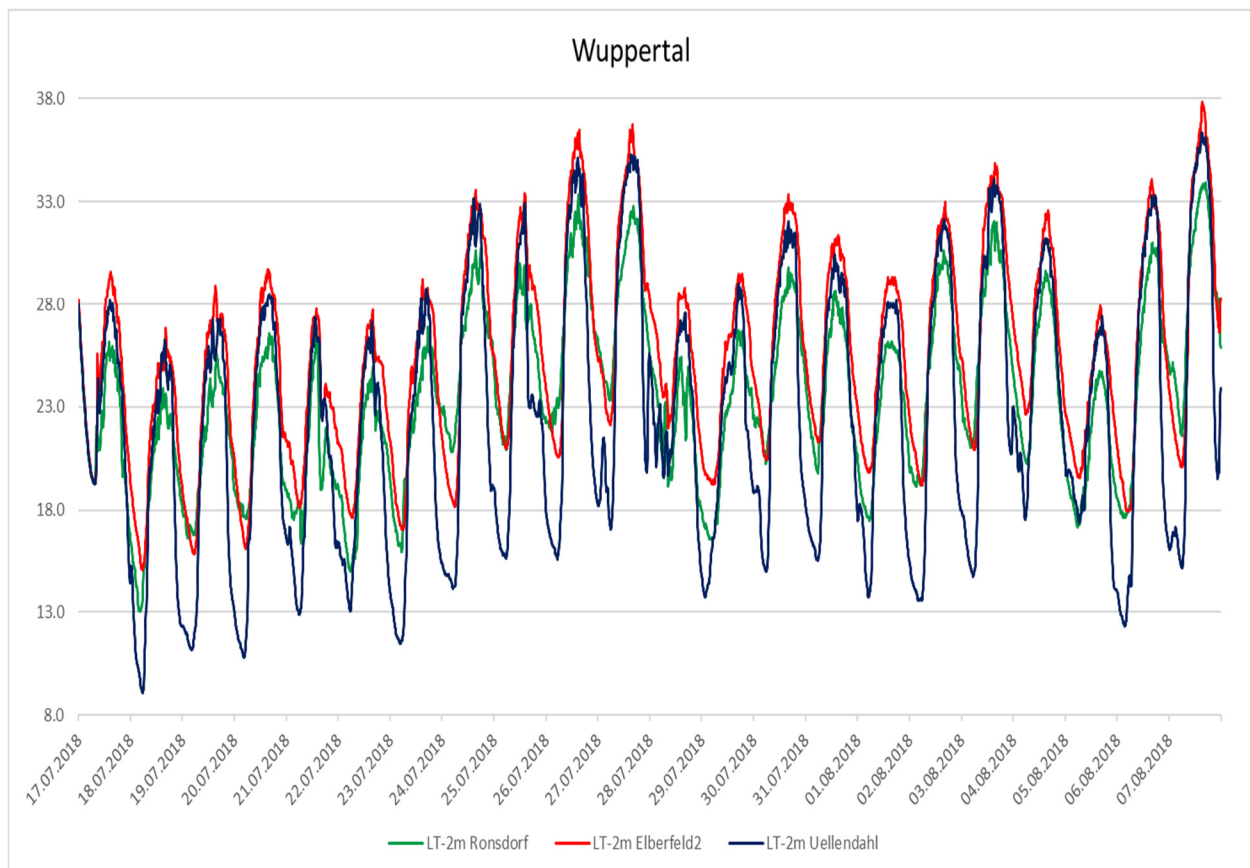


Abb. 2.5 Ergebnisse der Sonder-Lufttemperaturmessungen an drei Standorten in Wuppertal für den Zeitraum 10.07. – 07.08.2018

Der mittlere Unterschied der Lufttemperaturen an den drei Standorten im Tagesgang ist in der Abbildung 2.6 dargestellt. Deutlich wird der große Unterschied der Freiland-Senkenstation in Uellendahl im Vergleich zur Innenstadt, die im Mittel nachts rund 6 Kelvin beträgt. Da nächtlich gebildete Kaltluft von Kuppen und oberen Hanglagen abfließt, ragen Kuppen als „kleine Wärmeinseln“ aus der Freiland-Kaltluft heraus. Die nächtlichen Lufttemperaturen an der Freiland-Kuppenstation in Ronsdorf liegen im Mittel deshalb nur rund 2 Kelvin unter denen im Elberfeld. Siedlungen in Kuppenlage können deshalb auch bei einer nur mäßigen Verdichtung eine deutliche nächtliche Wärmeinsel ausbilden.

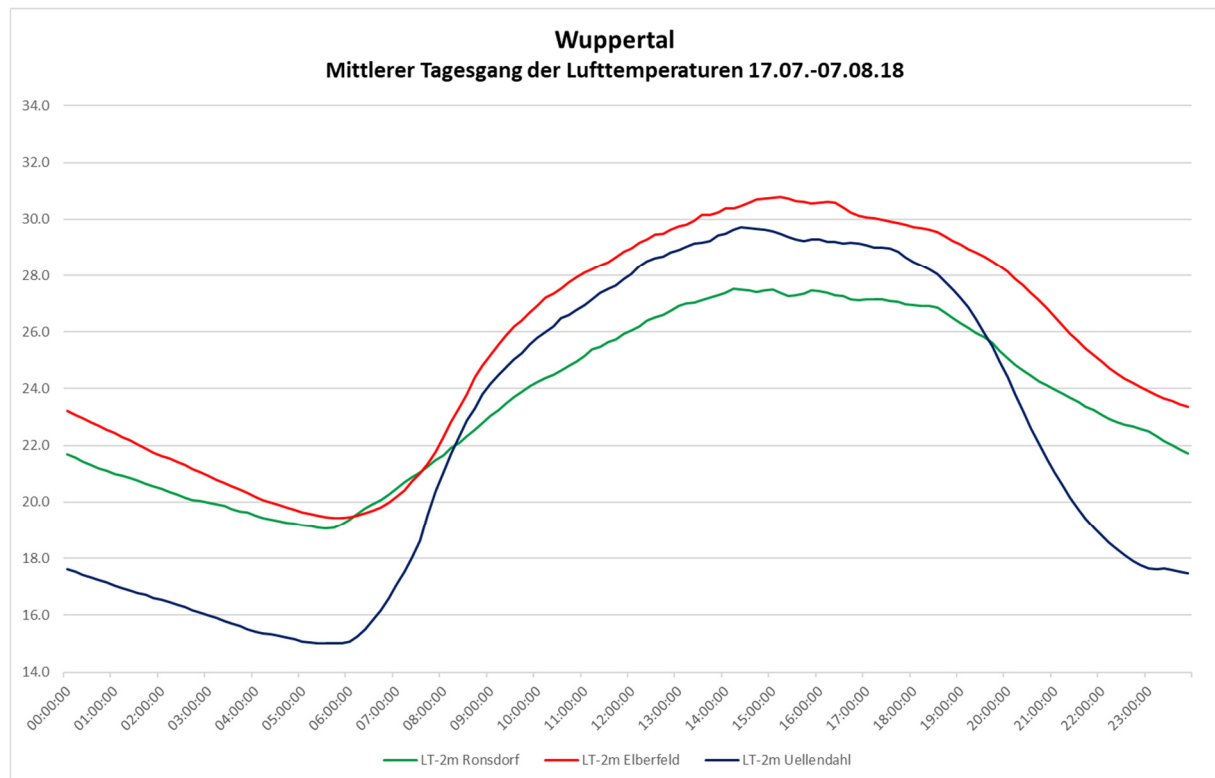


Abb. 2.6 Mittlerer Tagesgang der Lufttemperaturen an drei Standorten in Wuppertal für den Zeitraum 10.07. – 07.08.2018

In der Karte der Lufttemperaturverteilung (Abb. 2.7) dargestellt sind relative nächtliche Lufttemperaturen in der Messhöhe 2 m über Grund, wie sie bei Strahlungswetterlagen während wolkenloser Nächte auftreten können. Bei diesen Wetterlagen bilden sich die durch Flächennutzungen und Oberflächenformen verursachten Temperaturunterschiede am deutlichsten aus. Damit können die dargestellten Lufttemperaturunterschiede als Idealfall einer nur von den Standortunterschieden beeinflussten Temperaturverteilung angesehen werden. Bei anderen Wetterlagen schwächen sich die Unterschiede ab oder verschwinden völlig.

Untersuchungen im Rahmen der verschiedenen Klimaanalysen für die Stadt Wuppertal seit 1988 zeigen eine starke räumliche Variation der Temperaturverhältnisse im Stadtgebiet bedingt durch das Relief und die Landnutzung. Die großen Freilandflächen im Norden und Süden des Wuppertaler Stadtgebietes sind wichtige Kaltluftproduzenten. Verglichen mit diesen Freilandflächen sind die Waldgebiete im Süden schlechtere Kaltluftproduzenten, dafür gute Frischluftlieferanten. Kaltluftabfluss aus den Freilandflächen im Norden und vor allem im Süden kann durch die höheren Lagen in Richtung des dichten Siedlungsbands im Tal der Wupper stattfinden. Eine gute Belüftungssituation ergibt sich auf den großen Freilandflächen des Stadtgebietes. Gebiete innerhalb des Stadtkerns, wie auch in größeren Bereichen außerhalb des Stadtkerns weisen eine schlechte Belüftungssituation auf. Genauere Untersuchungen zur Kaltluftbildung und zum Kaltluftabfluss im gesamten Stadtgebiet wurden durch eine Kaltluftsimulation (siehe Kap. 2.2) durchgeführt.

Wenn in den überwärmten Siedlungsgebieten die nächtlichen Lufttemperaturen nicht unter 20 °C absinken, spricht man von Tropennächten. Nachttemperaturen über 20 °C gelten als belastend für den menschlichen Organismus.

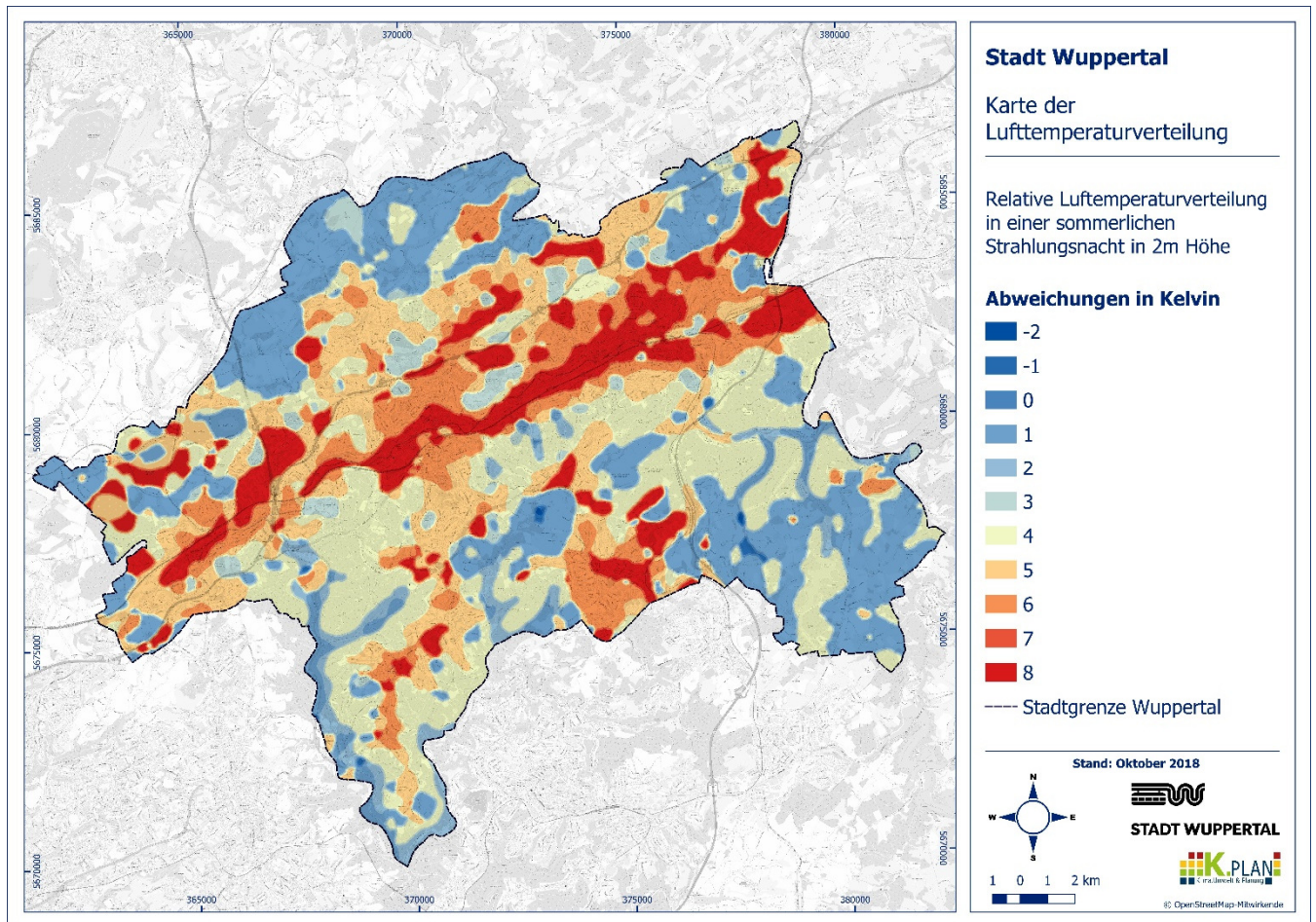


Abb. 2.7 Lufttemperaturverteilungskarte der Stadt Wuppertal (relative nächtliche Lufttemperaturen in 2 m Höhe bei Strahlungswetterlagen)

- ◆ Zwischen den Freilandgebieten, auf denen Kaltluftbildung stattfindet, und den stark versiegelten Innenstadtbereichen können in windschwachen, wolkenfreien Sommernächten Temperaturunterschiede von 6 bis 8 Kelvin auftreten.
- ◆ Dies kann bedeuten, dass es nachts im Innenstadtbereich nicht unter 20 °C abkühlt.
- ◆ Solche überwärmten Nächte gelten als gesundheitlich belastend, insbesondere wenn mehrere solcher „Tropennächte“ in Folge auftreten.

Um die Oberflächentemperaturen als dritte Eingangsgröße zur Berechnung der Klimatopkarte zu erhalten, wurde eine existierende Infrarotaufnahme aus der Wuppertaler Klimaanalyse von 1988 hinzugezogen (Abb. 2.8, Karte der Oberflächentemperaturen der Stadt Wuppertal). Die Karte weist die ansteigenden Oberflächentemperaturen von Kaltluftflächen zu Wärmeinseln in den Farbstufen Blau, Gelb und Rot aus. Thermalbilder sind in ihrer Eigenschaft der strikten Abbildung der Oberflächentemperaturen für die Beurteilung der stadtklimatischen Situation nur indirekt nutzbar. Die Luft wird über den Oberflächen erwärmt oder abgekühlt, das heißt, dass sehr warme Oberflächen zu erhöhten Lufttemperaturen führen können. Versiegelte Flächen und Bebauungen speichern viel Energie und kühlen sich auch nachts nur langsam ab. In Verbindung mit einem geringen Luftaustausch in bebauten Stadtgebieten führt dies zur Ausprägung von Wärmeinseln. Die höchsten Oberflächentemperaturen treten im Wuppertaler Stadtgebiet auf versiegelten Verkehrsflächen und in den Innenstadtbereichen auf.

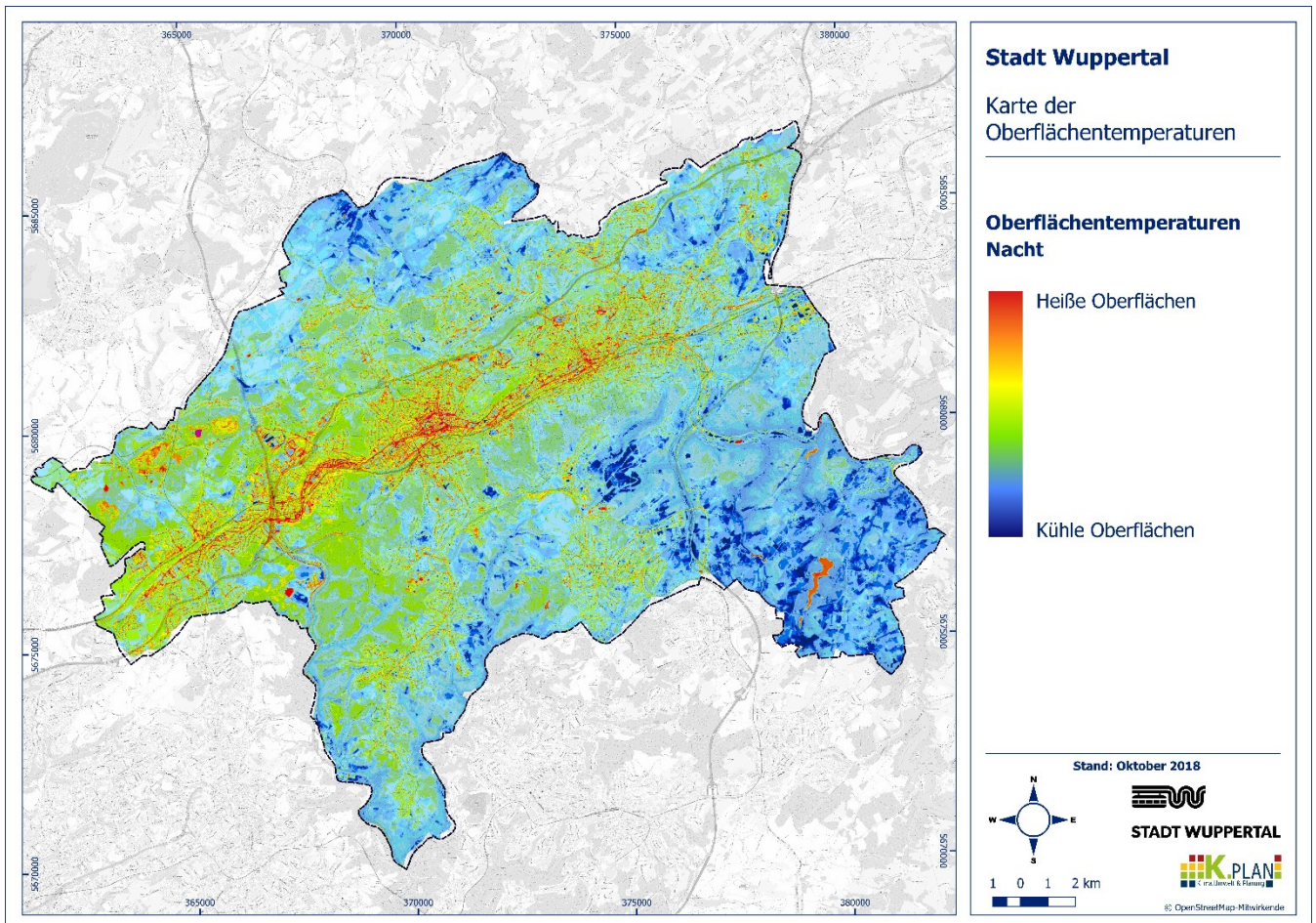


Abb. 2.8 Karte der Oberflächentemperaturen für das Wuppertaler Stadtgebiet (Oberflächentemperaturen der Nachtsituation, Thermalscannerbefliegung vom 28.06.1986)

Freiflächen kühlen nachts sehr schnell ab und haben niedrige Oberflächentemperaturen. Diese kühlen die darüber liegenden Luftschichten und führen zu einer nächtlichen Kaltluftbildung auf den Flächen. Bei austauscharmen Wetterlagen mit geringen Windgeschwindigkeiten können die entsprechend der Geländeneigung abfließenden Kaltluftmassen einen erheblichen Betrag zur Belüftung und Kühlung von erwärmten Stadtgebieten leisten. Im Winter kann es dagegen im Bereich von Kaltluftbildungs-, Kaltluftabfluss- und Kaltluftammelgebieten zu vermehrter Nebel- oder Frostbildung kommen.

2.2 Kaltluftsimulation für das gesamte Stadtgebiet von Wuppertal

Da im Stadtgebiet von Wuppertal insbesondere bei austauscharmen sommerlichen Hitzewetterlagen lokale Windsysteme für die Belüftungsverhältnisse von Bedeutung sind, werden diese durch den Einsatz eines Kaltluftabflußmodells zusätzlich betrachtet. Durch die Kaltluftsimulation werden qualitative und quantitative Aussagen erarbeitet. Für das Stadtgebiet von Wuppertal wurde eine Modellsimulation mit dem Kaltluftabflußmodell KLAM_21 des Deutschen Wetterdienstes (Sievers, U., 2005; VDI, 2003) durchgeführt. KLAM_21 ist ein zweidimensionales, mathematisch-physikalisches Simulationsmodell zur Berechnung von Kaltluftflüssen und Kaltluftansammlungen in orographisch gegliedertem Gelände (Sievers, U., 2005. In: Berichte des Deutschen Wetterdienstes, Band 227, Offenbach am Main). Die Randbedingungen und Ergebnisse der Kaltluftberechnungen werden folgend beschrieben.

Unter bestimmten meteorologischen Bedingungen können sich nachts über geneigtem Gelände sogenannte Kaltluftabflüsse bilden; dabei fließt in Bodennähe (bzw. bei Wald über dem Kronenraum) gebildete kalte Luft hangabwärts. Die Dicke solcher Kaltluftschichten liegt meist zwischen 1 m und 50 m, in sogenannten Kaltluftseen, in denen sich die Kaltluft staut, kann die Schicht auf über 100 m anwachsen. Die typische Fließgeschwindigkeit der Kaltluft liegt in der Größenordnung von 1 m/s bis 3 m/s. Die folgenden beiden meteorologischen Bedingungen müssen für die Ausbildung von Kaltluftabflüssen erfüllt sein:

- wolkenarme Nächte: durch die aufgrund fehlender Wolken reduzierte Gegenstrahlung der Atmosphäre kann die Erdoberfläche kräftig auskühlen
- großräumig windschwache Situation: dadurch kann sich die Tendenz der Kaltluft, an geneigten Flächen abzufließen, gegenüber dem Umgebungswind durchsetzen.

Die Produktionsrate von Kaltluft hängt stark vom Untergrund ab: Freilandflächen weisen beispielsweise hohe Kaltluftproduktion auf, während sich bebaute Gebiete bezüglich der Kaltluftproduktion neutral bis kontraproduktiv (städtische Wärmeinsel) verhalten. Hoch versiegelte Bereiche können durch deutliche Erwärmung der herangeführten Luftschichten zum Abbau von Kaltluft führen.

Unter Umweltgesichtspunkten hat Kaltluft eine doppelte Bedeutung: zum einen kann Kaltluft nachts für Belüftung und damit Abkühlung thermisch belasteter Siedlungsgebiete sorgen. Zum anderen sorgt Kaltluft, die aus Reinluftgebieten kommt, für die nächtliche Belüftung schadstoffbelasteter Siedlungsräume. Kaltluft kann aber auch auf ihrem Weg Luftbeimengungen (Autoabgase, Geruchsstoffe etc.) aufnehmen und transportieren. Für die Regional- und Stadtplanung ist es daher von großer Bedeutung, Kaltluftabflüsse in einem Gebiet qualitativ und auch quantitativ bestimmen zu können.

Voraussetzung für eine Kaltluftsimulation ist eine für Kaltluftabflüsse optimale Situation, d.h. eine klare und windstille Nacht. Das Modell berechnet die zeitliche Entwicklung der Kaltluftströmung, ausgehend vom Ruhezustand (keine Strömung) bei gegebener zeitlich konstanter Kaltluftproduktionsrate. Diese, ebenso wie die Reibungskoeffizienten, werden über die Art der Landnutzung gesteuert. Die Kaltluftflüsse hängen in erster Linie von den orographischen Gegebenheiten ab. Neben den Realnutzungsdaten der Stadt Wuppertal gehen die Daten des digitalen Geländemodells als weitere Eingangsgröße in die Simulation ein. Sowohl die Daten der Flächennutzungen wie auch die Geländehöhen wurden weitläufig um das Stadtgebiet von Wuppertal herum in die Simulation aufgenommen, damit die Kaltluftströmungen in den Randbereichen des Stadtgebietes entsprechend den topographischen Gegebenheiten der umliegenden Bereiche erfasst werden können

Für die Kaltluftsimulation des gesamten Wuppertaler Stadtgebietes werden 9 Landnutzungsklassen, die sich hinsichtlich ihrer dynamischen und thermischen Oberflächeneigenschaften wie z.B. Oberflächenrauigkeit, Verdrängungsschichtdicke, Versiegelungsgrad und Kaltluftproduktivität unterscheiden, berücksichtigt:

- Siedlung (dicht)
- Siedlung (locker)
- Wald
- Halb versiegelte Flächen (z. B. Bahnanlagen)
- Kernstadt (führt zum Abbau von Kaltluft)
- Park
- Unversiegelte Freiflächen
- Versiegelte Flächen (z. B. Autobahnen)
- Wasser

Die Abbildungen 2.9 und 2.10 zeigen die Modell-Eingangsdaten der Geländehöhen und der Landnutzungen im erweiterten Untersuchungsgebiet für die Kaltluft-Simulationen. Um sowohl die größerskaligen Abflüsse als auch die Details der innerstädtischen Bereiche erfassen zu können, wurde im gesamten Untersuchungsgebiet mit einer sehr genauen Auflösung von 10 m x 10 m gerechnet. Die Größe des Untersuchungsgebietes lag dementsprechend 2086 x 1673 Rasterfeldern, das entspricht einer Ausdehnung von 20,86 km in Ost-West-Richtung und 16,73 km im Nord-Süd-Richtung.

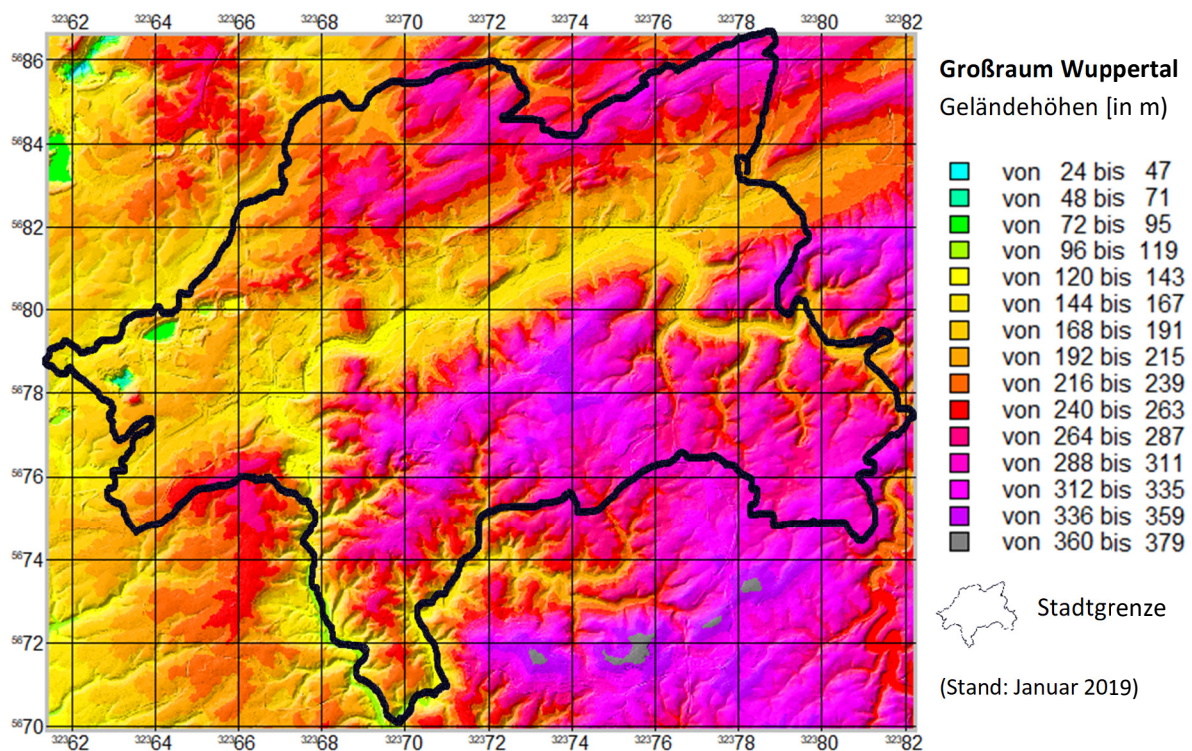


Abb. 2.9 Geländehöhen im Untersuchungsgebiet Wuppertal für die Kaltluftsimulations-Eingabedatei

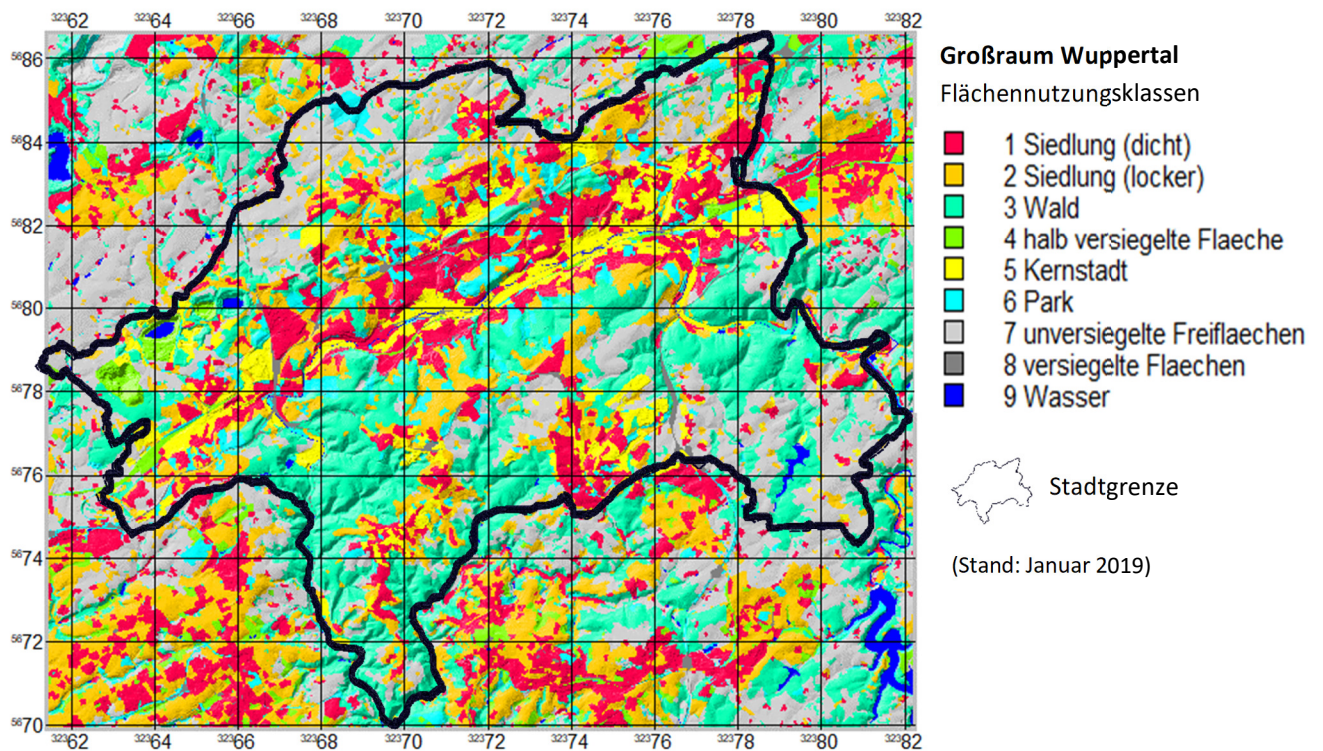


Abb. 2.10 Landnutzungen im Untersuchungsgebiet Wuppertal für die Kaltluftsimulations-Eingabedatei

Ergebnisse der Kaltluftsimulationen

Die Kaltluftabflüsse sind in klaren oder nur gering bewölkten windschwachen Nächten am deutlichsten ausgeprägt. Sie treten an Hängen als hangabwärts orientierte Hangwinde auf, in Tälern als talachsenparallele Bergwinde. Mit zunehmender Kaltluftmächtigkeit gehen die Hangwinde in Bergwinde über. Strömungsgeschwindigkeit und Kaltluftmächtigkeit hängen stark von der Talgröße und vom Taltyp ab. In Tälern mit größeren Einzugsgebieten können die Abflüsse im Laufe einer Nacht Mächtigkeiten bis zu 17 m erreichen, während Hangwinde geringere Mächtigkeiten (weniger als 2 m), aber höhere Strömungsgeschwindigkeiten (je nach Hangneigung etwa 1 m/s bis 3 m/s) aufweisen. In breiten Tälern dagegen liegt die Abflussgeschwindigkeit oft unter 1 m/s. In solchen Tälern und in Senken findet man häufig auch Kaltluftstaugebiete, dort können wegen der schlechten Austauschbedingungen erhöhte Luftschadstoffkonzentrationen auftreten.

Mit der KLAM_21 - Kaltluftsimulation wird die Dicke der Kaltluftschicht sowie die beiden horizontalen Geschwindigkeitskomponenten (West-Ost und Süd-Nord), gemittelt über die Dicke der Kaltluftschicht, berechnet. Die Darstellung der Kaltfluthöhe und des Schichtmittelwerts der Strömungsgeschwindigkeit wurde gewählt, um einerseits den in der Natur auftretenden Schwankungen der Kaltluftschichtdicke Rechnung zu tragen, andererseits um die für planerische Zwecke (Bebauungshöhe) wichtige vertikale Variation der Kaltluftflüsse zu erfassen. Für vorgegebene Zeitpunkte im Verlauf der Nacht wird jeweils eine entsprechende Ergebnisdatei erzeugt. Die folgenden Darstellungen und Diskussionen der Simulationsergebnisse beziehen sich auf drei unterschiedliche Zeitpunkte nach Einsetzen der Kaltluftbildung am Abend. Einmal wird die Anfangsphase der Kaltluftbedingungen betrachtet, in der sich die

bodennahen Hangwinde ausbilden (nach 2 Stunden simulierter Zeit). Dann wird der Zeitpunkt der vollständigen Ausbildung der Kaltluftströmungen in der ersten Nachthälfte dargestellt (nach 4 Stunden simulierter Zeit). Nach dieser Zeit haben sich, sofern die Topographie es zulässt, stationäre Verhältnisse eingestellt. Die besondere Situation in Wuppertal erfordert zusätzlich die Betrachtung zu einem späteren Zeitpunkt, damit sich die regional bedeutsame Kaltluftbewegung ausbilden kann. In der zweiten Nachthälfte kommen in den breiten Tälern teilweise talparallele Abflüsse zum Tragen, die mit den Darstellungen zum Ende der Nacht (nach 8 Stunden simulierter Zeit) aufgezeigt werden.

Abbildung 2.11 zeigt die Ergebnisse der Kaltluftberechnungen nach 2 Stunden simulierter Zeit. In dieser Anfangsphase der Kaltluftentstehung sind an den Hängen mit starker Neigung und über dem Freiland die intensivsten Kaltluftströmungen zu erkennen. In den eingeschnittenen Tälern sammelt sich rasch die Kaltluft an und bewegt sich der Neigung folgend. In diesen Bereichen herrschen schon kurz nach Einsetzen der Kaltluftbildung intensive Volumenströme vor.

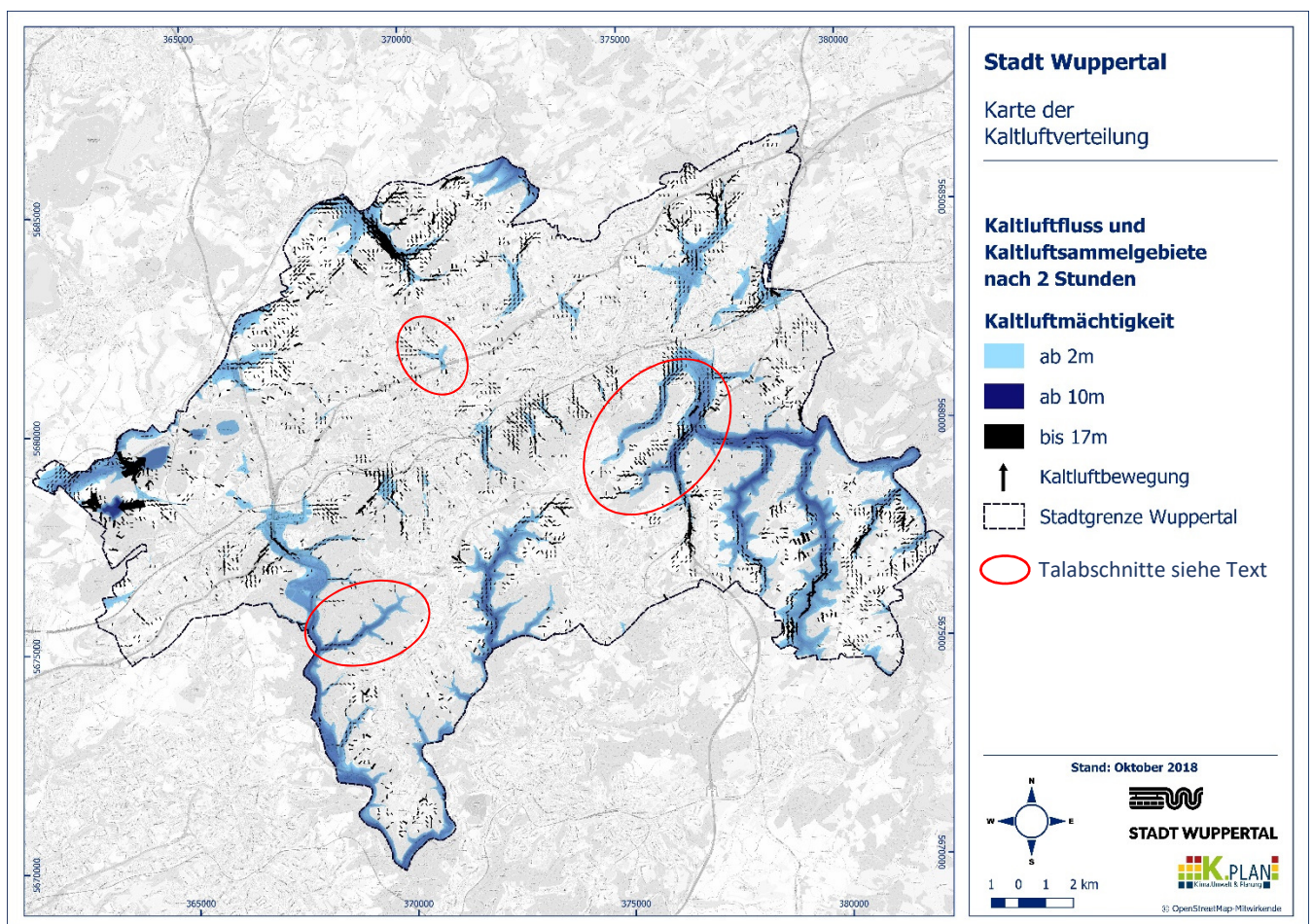


Abb. 2.11 Karte der Kaltluftverteilung nach 2 Stunden Simulationszeit (Ergebnisse der KLAM_21 – Modellrechnungen)

In der Anfangsphase dominieren die Hangabwinde mit teilweise bedeutenden Strömungsgeschwindigkeiten. Die Hangabwinde weisen zu dieser Zeit eine geringe Mächtigkeit und damit größtenteils eine geringe Kaltfluthöhe auf. Bei gut ausgebildeten Kaltluftbedingungen sind in den Hangbereichen die

höchsten Strömungsgeschwindigkeiten ausgebildet. In tief eingeschnittenen Tälern treten dagegen geringe Strömungsgeschwindigkeiten auf, da dort aufgrund des intensiven Zuströmens der Luft Kaltluftansammlungen entstehen. Damit nehmen am unteren Hang die Strömungsgeschwindigkeiten ab. Die talparallelen Kaltluftbewegungen weisen schon in dieser Anfangsphase eine intensive Mächtigkeit bei meist reduzierten Strömungsgeschwindigkeiten auf. Damit werden die Hangabwinde im Bereich des Hangfußes in die talparallele Strömung umgelenkt. Solche Kaltluftströmungen haben eine hohe Bedeutung für die Belüftung anschließender Siedlungsbereiche. Dies ist in der Abbildung 2.11 anhand der Darstellungen der Kaltluftschichtdicken zu erkennen. In den schmalen Tälern sind relativ große Kaltluftmächtigkeiten von bis zu 10 m zu erkennen. Die Kaltluftströmungen greifen auch in bebaute Bereiche ein. In der frühen Nacht wirkt insbesondere kleinräumig lokaler Kaltluftabfluss von den Hängen und aus kleinen Tälern. Die Täler von Burgholzbach, Murbelbach, Blombacher Bach, Mirker Bach (siehe rote Umrandungen in der Abbildung 2.11) und anderen führen zusätzliche Mengen Kaltluft heran, die vor allem in den frühen Nachtstunden einen relativ großen Beitrag zur Abkühlung von Siedlungsbereichen leisten, wobei aber im Hauptsiedlungsbereich der Talachse mehrere kaltluftfreie Wärmeinseln verbleiben.

Nach der ersten Nachthälfte (nach 4 Stunden Simulationszeit, siehe Abbildung 2.12) entsteht Kaltluft in verschiedenen Teilen des Stadtgebiets in unterschiedlichen Größenordnungen und teilweise komplizierter Überlagerung.

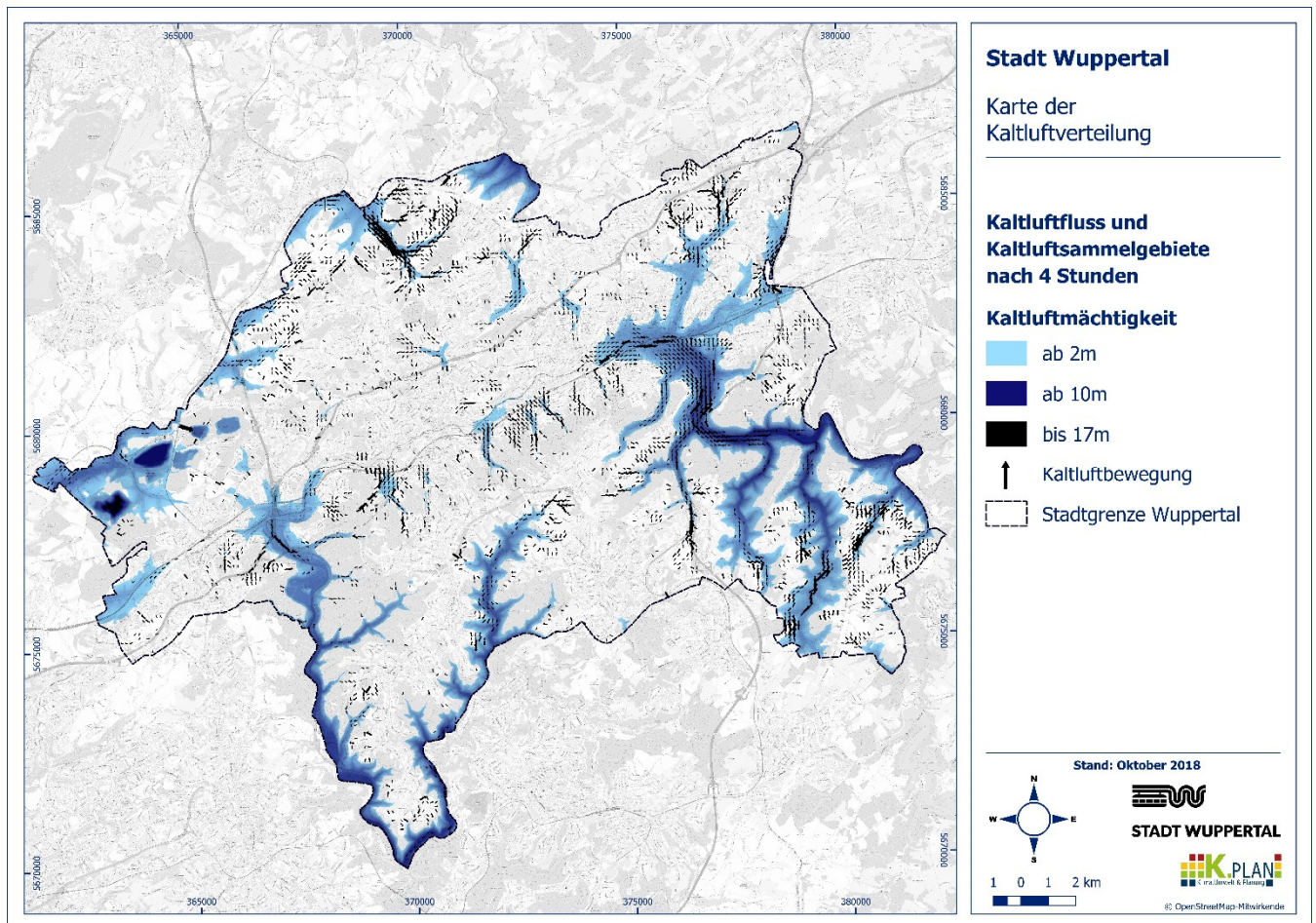


Abb. 2.12 Karte der Kaltluftverteilung nach 4 Stunden Simulationszeit (Ergebnisse der KLAM_21 – Modellrechnungen)

Es bildet sich zunächst in den unbebauten Teilen des Stadtgebiets Kaltluft auf Hängen und in Mulden, die sich in kleinen Tälern zu Kaltluftströmen sammelt und in Richtung auf die noch vom Tage warme Bebauung zuströmt. Weiterhin hat der Kaltluftzufluss aus den kleineren Tälern eine große Bedeutung. Der kleine Kaltluftstrom im Tal des Mirker Bachs verstärkt sich im Laufe der Nacht und versorgt Elberfeld-Zentrum mit Kaltluft. Dies hat für Elberfeld eine besondere Bedeutung, da hier die Wirkung des Kaltluftstroms aus dem oberen Tal der Wupper schon stark abgeschwächt ist, während die Kaltluftwirkung im weiter oberhalb des Talverlaufs liegenden Barmen deutlicher zu spüren ist.

Sowohl aus dem oberen als auch aus dem unteren Tal der Wupper strömt Kaltluft auf die dichter bebauten Teile des Tals in Wuppertal zu, im Fall der Kaltluft aus dem unteren Tal der Wupper sogar entgegen dem Gefälle. Ursache ist der dort früh einsetzende Kaltluftstau in Folge des geringen Längsgefälles und des großen Zuflusses von Kaltluft aus dem Süden. Zunächst werden die Randbereiche von Langerfeld bzw. Sonnborn erreicht. Hier führen kleine stadtnahe Seitentäler des Tals der Wupper (Burgholz bach, Murbelbach, Blombacher Bach) zusätzliche Mengen Kaltluft heran, die damit – vor allem in den frühen Nachtstunden – einen relativ großen Beitrag leisten, bevor später in der Nacht sehr große Kaltluftmengen aus dem oberen Tal der Wupper eintreffen. Die sehr verschieden starken Kaltluftströme erreichen in der frühen Nacht die stärker bebauten Stadtteile noch weitgehend getrennt. Im Tal der Wupper zwischen Langerfeld und Vohwinkel ergeben sich dementsprechend noch getrennte und unterschiedlich weitreichende kleine Kaltlufteinzugsgebiete. Der Ortsteil Arrenberg wird teilweise von kleinen Kaltluftströmen schon früh in der Nacht erreicht.

In der zweiten Nachthälfte finden sich in nahezu allen tief gelegenen Bereichen Kaltluftansammlungen und die Strömungsgeschwindigkeiten nehmen dort ab. Die Bereiche mit intensiven Hangabwinden sind deutlich seltener gegenüber der ersten Nachthälfte. Selbst in den dicht bebauten Talbereichen sind zum Ende der Nacht Kaltluftansammlungen zu finden (Abb. 2.13). Das führt im Tal der Wupper zu einer nach Osten gerichteten mächtigen Kaltluftströmung mit allerdings geringen Strömungsgeschwindigkeiten.

In der späten Nacht (8 h nach Sonnenuntergang, Abb. 2.13) dringt die Kaltluft aus dem oberen Tal der Wupper als zusammenhängender großer Kaltluftstrom weit in die zentralen Stadtteile von Wuppertal vor und erreicht dann Elberfeld-Zentrum. Es handelt sich dabei um einen für eine Großstadt im Mittelgebirgsraum vergleichsweise großen Kaltluftstrom. Kaltluft aus dem unteren Tal der Wupper strömt weiter talaufwärts nach Wuppertal ein, vergrößert seine Reichweite gegenüber der frühen Nachtsituation dort aber wenig. Alle im Tal gelegenen Teile der Stadt werden zu dieser Zeit von Kaltluft erreicht, lediglich einzelne Kuppenlagen bleiben kaltluftfrei.

Fast alle der in der frühen Nacht aktiven kleinen Kaltluftströme aus den Seitentälern und seitlichen Mulden des Tals der Wupper bleiben auch in der späten Nacht aktiv. In den oberhalb und unterhalb der Stadt liegenden Teilen des Tals der Wupper überwiegt Kaltluftstau, d.h. stagnierende oder sehr langsam strömende Kaltluft. Dabei werden erhebliche Kaltluftmächtigkeiten erreicht. Im unteren Tal der Wupper sind diese Kaltluftstaubereiche auf die Talachse konzentriert, im oberen Tal der Wupper hingegen großflächig. Randlich zur Einmündung der Kaltluftströme aus dem unteren und oberen Tal der Wupper (bei Sonnborn, Vohwinkel und im Westteil von Arrenberg bzw. nordöstlich von Oberbarmen) herrscht im Randbereich der Bebauung flächenhaft Kaltluftstau; diese Bereiche können sich als besonders immissionsgefährdet erweisen. Die Belüftungsverhältnisse in Arrenberg werden in einem gesonderten Kapitel (Kap. 4) mittels mikroskaliger Modellierungen intensiver betrachtet.

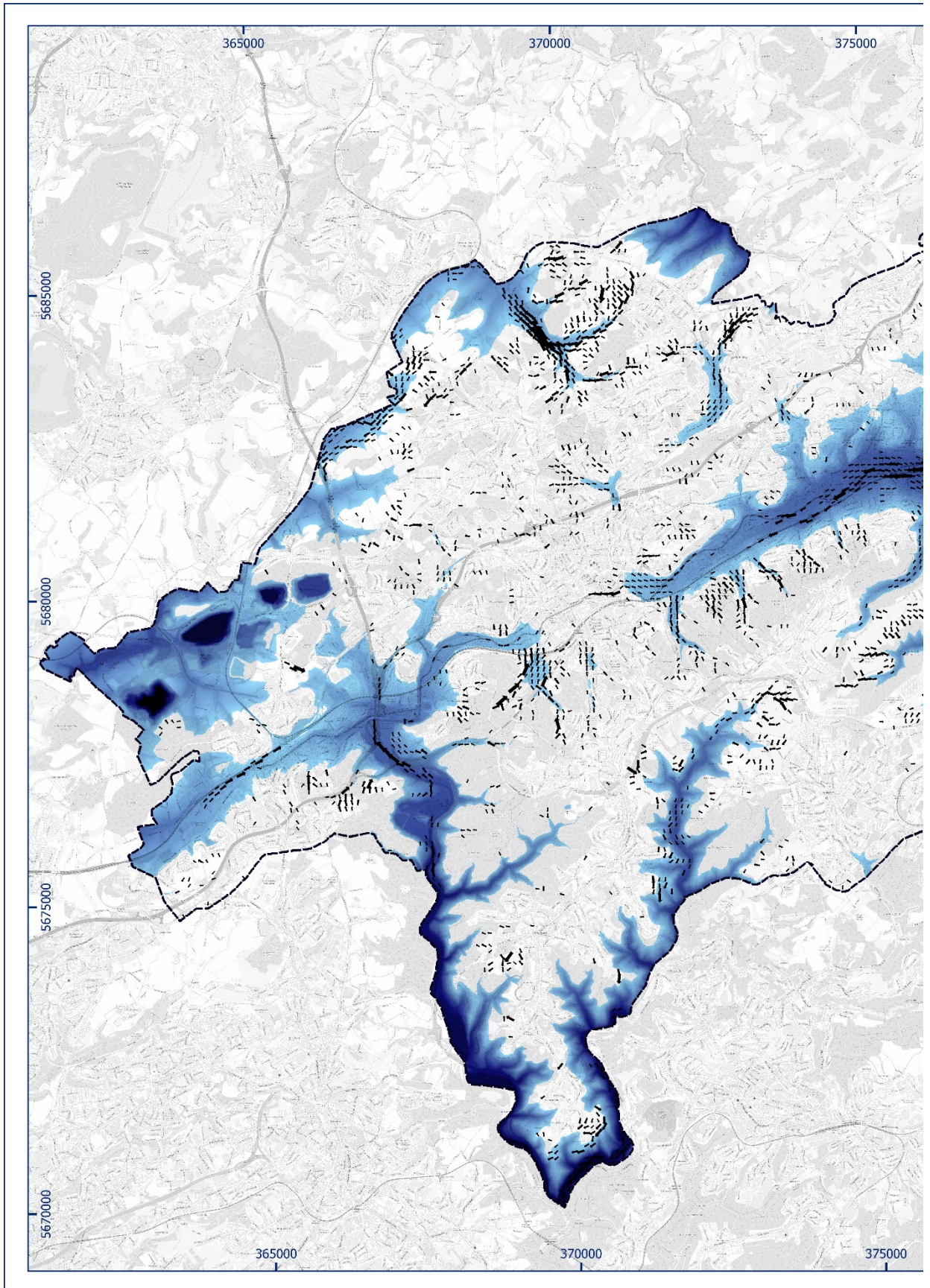
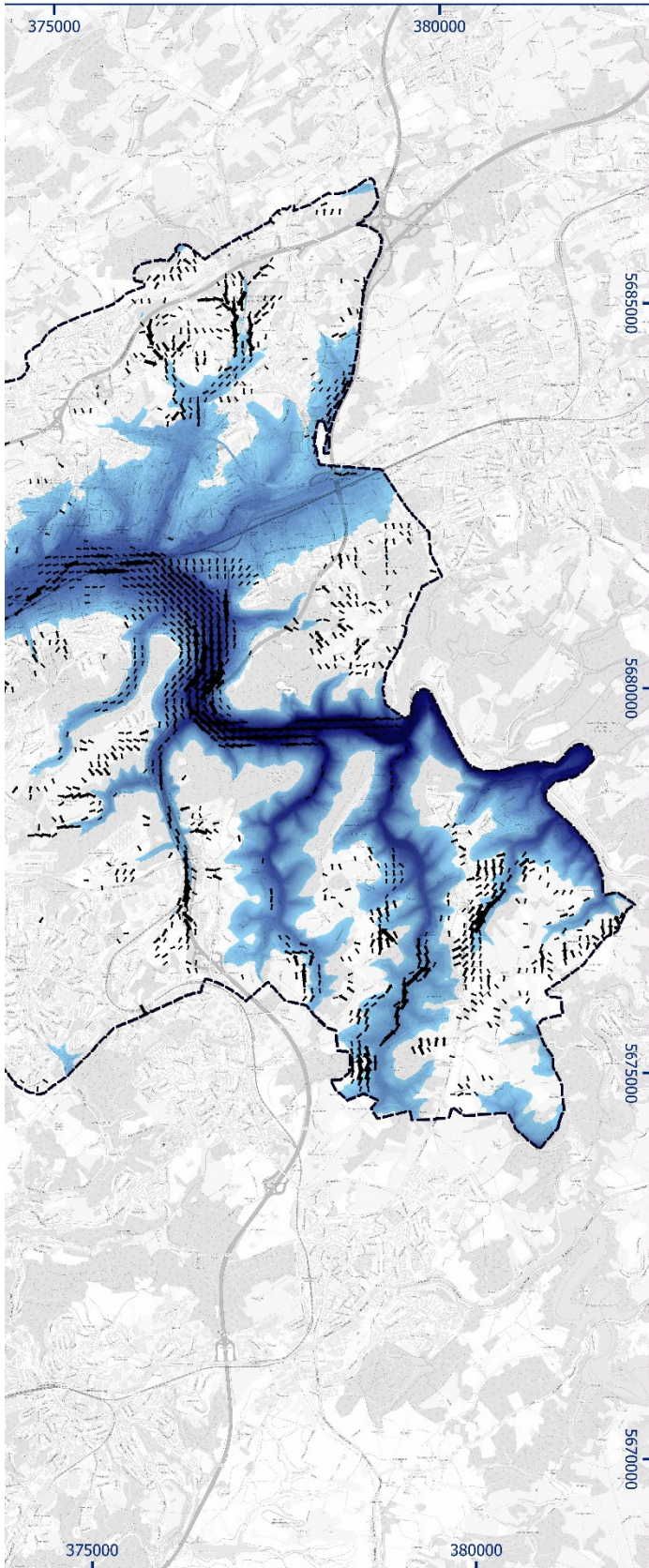


Abb. 2.13 Karte der Kaltluftverteilung nach 8 Stunden Simulationszeit (Ergebnisse der KLAM_21 – Modellrechnungen, die Karte ist in hoher Auflösung auch im digitalen Anhang des Berichts einzusehen)



Stadt Wuppertal

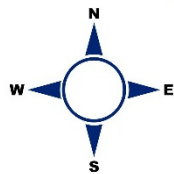
Karte der Kaltluftverteilung

Kaltluftfluss und Kaltluftammelgebiete nach 8 Stunden

Kaltluftmächtigkeit

-  ab 2m
-  ab 10m
-  bis 17m
-  Kaltluftbewegung
-  Stadtgrenze Wuppertal

Stand: Oktober 2018



STADT WUPPERTAL

1 0 1 2 km



© OpenStreetMap-Mitwirkende

Zusammenfassung der Ergebnisse

Kennzeichnend für Wuppertal ist die Lage in einem teils engem Mittelgebirgstal mit untypischem Talverlauf (wechselnde Breite, starke Richtungsänderungen, Verbindungen in Form niedriger Pässe zu Nebentälern), wodurch es zu untypisch erschwertem Kaltluftabfluss auch mit gegen das Gefälle gerichteter Strömung kommt, es gibt zudem einige kleinere Seitentäler und am Talrand gelegene Mulden, so dass im Einzelnen ein komplexes Strömungsbild entsteht. Die hohe bauliche Dichte entlang der Talachse behindert den Kaltluftabfluss und bewirkt Aufzehrungstendenzen der Kaltluft. Das gesamtstädtische Kaltluftmodell arbeitet nicht mit einzelnen Bauwerksstrukturen, sondern nur über Flächennutzungsklassen. Deshalb werden einzelne Strömungshindernisse im Kaltluftfluss nicht berücksichtigt und die Ergebnisse sind als potentielle Kaltluftbewegungen im Stadtgebiet zu verstehen.

Die Pfeilsignaturen zeigen, dass in den Hangbereichen teilweise intensive Kaltluftströmungen anzutreffen sind. Sofern die oberen Hangbereiche Freiland oder nur lockere Bebauung aufweisen, bilden sich Kaltluftabflüsse aus, die die thermischen Verhältnisse im Stadtgebiet günstig beeinflussen. Hangbereiche mit dichter Bebauung zeigen deutliche Einschränkungen der Kaltluftströmungen. Im Osten des Stadtgebietes mündet aus südlicher Richtung der Taleinschnitt der Wupper in den Stadtbereich. Hier bildet sich ein deutliches Talwindssystem aus. Die südlich und südöstlich vom Stadtbezirk Heckinghausen gelegenen Freiflächen stellen das Einzugsgebiet der Kaltluft dar. Dem Gelände folgende Hangabwinde sammeln sich im Einschnitt der Wupper und strömen der Neigung folgend in das Stadtgebiet. Die erwärmten Bereiche des dichtbebauten Stadtgebietes unterstützen zunächst durch ein Druckgefälle diese Kaltluftströmung. Die aus dem oberen Tal der Wupper stammende große nächtliche Kaltluftzufuhr kommt erst in der späten Nacht von Beyenburg über Barmen bis Elberfeld voran. Die westlichen Ortslagen weisen die geringste Kaltluftzufuhr im Tal der Wupper auf. Durch eine allmähliche Erwärmung der von Osten über das Tal der Wupper einfließenden Kaltluft im Bereich von Barmen erreichen die kalten Luftschichten nur zum Ende einer idealen Strahlungsnacht auch das Zentrum von Elberfeld.

Elberfeld erreichen Kaltluftströme unterschiedlicher Größenordnung und aus unterschiedlicher Richtung zu unterschiedlichen Zeiten. Auf den südlich von den Stadtbezirken Elberfeld und Vohwinkel gelegenen Freiflächen entsteht bei geeigneten Bedingungen Kaltluft, die geländefolgend in die eingeschnittenen Talbereiche strömt. Die Talbereiche werden schnell mit Kaltluft aufgefüllt. Da in den südlichen Bereichen weiterhin Kaltluftzuflüsse stattfinden, wird die Kaltluft im Taleinschnitt der Wupper nach Norden gedrängt. In den dichtbebauten und erwärmten Stadtbezirken Elberfeld und Vohwinkel wird die zuströmende Kaltluft aufgezehrt, so dass der von Süden kommende Kaltluftstrom in die Talssenke von Wuppertal einströmen kann, obwohl der Talboden der Wupper dort leicht nach Süden geneigt ist. Dies hat zur Folge, dass es im Stadtteil Arrenberg zeitweise zum Zusammenströmen von Kaltluft (Konvergenz mit Kaltluftstau) kommt. Dabei strömt sowohl Kaltluft aus dem Tal der Wupper oberhalb von Wuppertal als auch solche aus dem Tal unterhalb von Wuppertal und darüber hinaus Kaltluft aus unterschiedlichen kleinen Seitentälern zusammen; diese Kaltluftströme können sich gegenseitig blockieren und die Belüftung reduzieren.

- ◆ Die hohe bauliche Dichte entlang der Talachse behindert den Kaltluftabfluss und bewirkt Aufzehrungstendenzen der Kaltluft.
- ◆ Obere Hangbereiche, die Freiland oder nur lockere Bebauung aufweisen, bilden Kaltluftabflüsse aus, dichte Hangbebauung schränkt die Kaltluftströmungen ein.
- ◆ Die aus dem oberen Tal der Wupper stammende große nächtliche Kaltluftzufuhr kommt erst in der späten Nacht von Beyenburg über Oberbarmen und Barmen bis Elberfeld voran und erwärmt sich deutlich auf dem Weg.
- ◆ Die westlichen Stadtteile, insbesondere Elberfeld und Arrenberg sind deutlich schlechter mit der Kaltluft des Hauptstroms aus Osten versorgt.

2.3 Verteilung der Klimatope im Wuppertaler Stadtgebiet im IST-Zustand und im Zukunftsszenario 2050

Die im Folgenden erläuterte rechnergestützte Modellierung der Auswirkung anthropogener Beeinflussung des Klimas im städtischen Raum in Form einer berechneten Klimatopkarte bietet einige Vorteile. Die erfassten Daten bleiben in einer konsistenten Form gespeichert und erleichtern damit eine Fortführung des Kartenmaterials. Durch die Festlegung eines einheitlichen Analyseansatzes und eine nachvollziehbare Gewichtung können subjektive Einflüsse reduziert bzw. verifiziert werden. Im Ergebnis präsentiert sich eine berechnete Klimatopkarte detailliert und räumlich hoch aufgelöst. Es existieren keine starre Grenzen zwischen den Klimatopen, die die Interpretation eines Übergangsbereichs erfordern würden. Die digitale Klimatopkarte weist diesen Übergangsbereich durch eine Verzahnung von verschiedenen Klimatopen aus. Hierdurch wird eine Darstellung erreicht, welche die Stadtstrukturen im klimatischen Sinne realitätsnäher abbilden kann.

Für die Berechnung werden folgende Eingangsdatensätze in digitaler Form benutzt:

- Realnutzung des Untersuchungsgebietes (siehe Abb. 2.1)
- Karte der relativen nächtlichen Lufttemperaturverteilung in 2 m Höhe während einer sommerlichen Strahlungswetterlage (siehe Abb. 2.7)
- Abbildung der Oberflächentemperaturen (IR-Aufnahmen) (siehe Abb. 2.8)

Unter dem Begriff Klimatop sind Flächen mit vergleichbaren mikroklimatischen Verhältnissen zu verstehen. Freiland-, Wald-, Gewässer-, Parkklimatope sowie Gewerbe- und Industrieflächen werden auf Grund ihrer inhaltlichen Definition ausschließlich mit Hilfe der Daten der Nutzungsstruktur abgegrenzt. Im GIS sind diese Flächen durch eine Reklassifikation oder Datenbankabfrage leicht darstellbar. Für Bereiche mit Bebauung ist die Einteilung in Klimatope jedoch nicht so einfach durchführbar, da diese Gebiete ausgesprochen heterogene Strukturen bilden. Um die Zuordnung zu einem der Vorstadt-, Siedlungs-, Stadt- oder Innenstadtklimatope zu klären, ist es notwendig, die thermische Situation des jeweiligen Ortes zu berücksichtigen. In der Abbildung 2.14 ist der Ablauf zur Erstellung der Klimatopkarte für die Stadt Wuppertal zusammengefasst dargestellt.

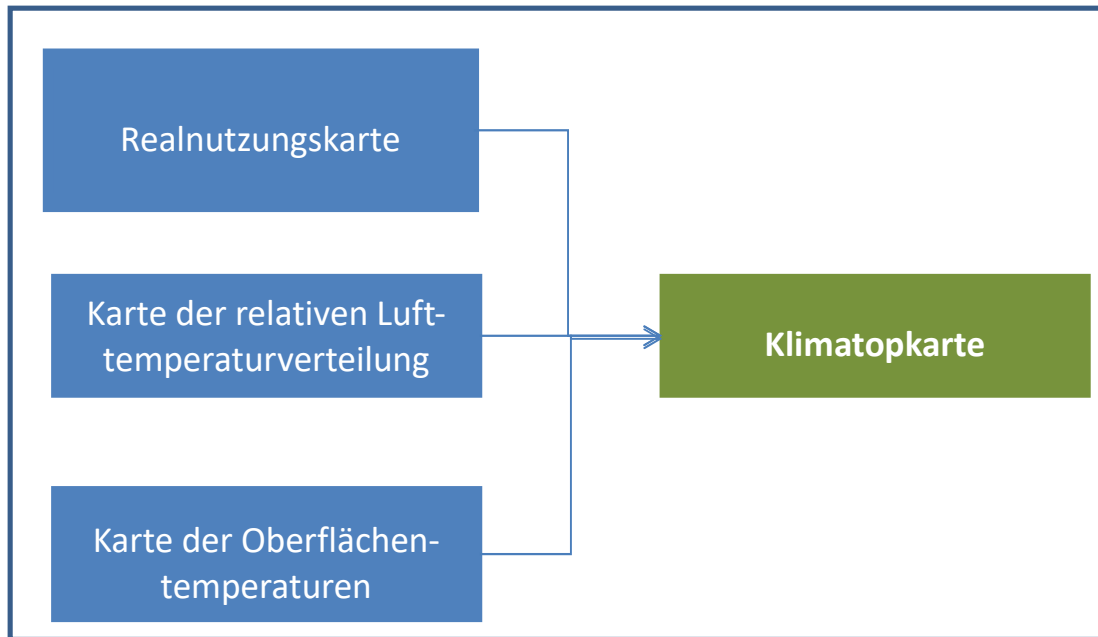


Abb. 2.14 Ablauf zur Berechnung der Klimatope im Stadtgebiet von Wuppertal

Um zu bestimmen, welche Areale in das Klimatop der lockeren Bebauung, in das Siedlungs-, Stadt- oder Innenstadtklimatop einzuordnen sind, muss für jedes dieser Klimatope einzeln eine Berechnung durchgeführt werden, welche den Grad der Eignung widerspiegelt. Da die Inhalte der Eingangskarten, also die Nutzungsstruktur, die Lufttemperaturverteilung und die Karte der Oberflächentemperaturen, nicht direkt vergleichbar, im Sinne der rechnergestützten Verarbeitung mit GIS nicht untereinander verrechenbar sind, müssen die Eingangsparameter zunächst standardisiert werden. Diese Standardisierung wird im Wertebereich von 0 bis 100 vorgenommen und dient gleichzeitig als Maß für die Bestimmung der Eignung der jeweiligen Parameter (0 = keine Eignung, 100 = sehr gute Eignung) für die Zuordnung zu einem der vier Klimatope. Auf diesem Weg wird für jedes der betroffenen Klimatope eine Karte erstellt, welche für jeden Bildpunkt die jeweilige Eignung darstellt. Die anschließende Verschneidung mit GIS, also die Zuordnung eines jeden Bildpunktes zu dem an genau diesem Punkt dominanten Klimatop, erzeugt eine Darstellung, in welcher eine überprüfbare räumliche Verteilung des Klimatops der lockeren Bebauung oder des Siedlungs-, Stadt- und Innenstadtklimatops abgebildet ist. Im Folgenden werden die aufgrund der Flächennutzungskartierung abgegrenzten Klimatope der Gewässer-, Freiland-, Wald-, Park-, Gewerbe- und Industriebereiche den berechneten Klimatopen überlagert, womit eine Gesamtdarstellung der Verteilung der Klimatope im Stadtgebiet erreicht wird (Abb. 2.15). Die Charakteristiken der einzelnen Klimatope werden im Folgenden kurz beschrieben.

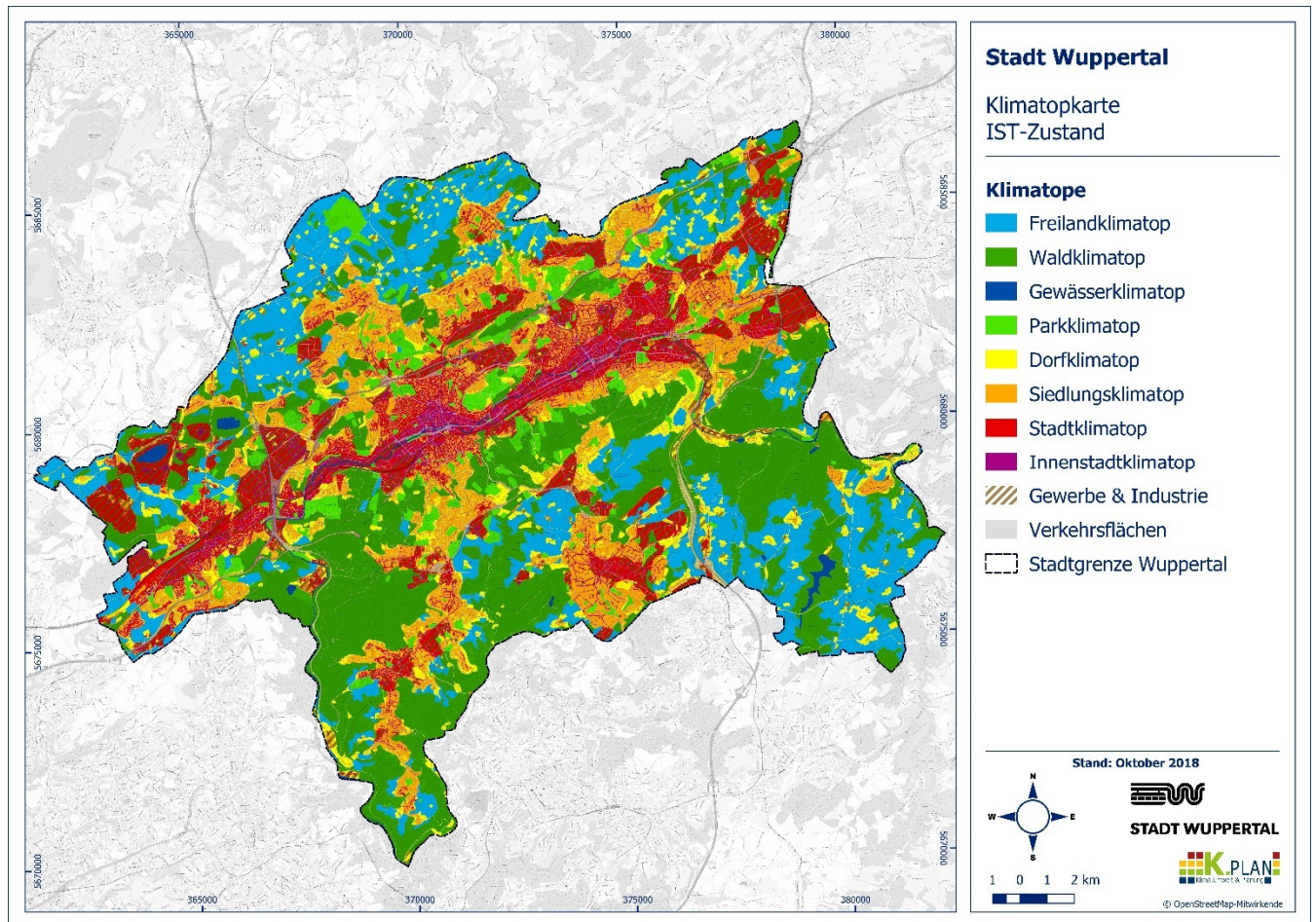


Abb. 2.15 Klimatopkarte der Stadt Wuppertal im IST-Zustand
(Die Klimatopkarte ist in hoher Auflösung auch im digitalen Anhang des Berichts einzusehen)



Freilandklimatop

Dieser Klimatoptyp gibt die Verhältnisse des Freilandes wieder. Freilandklimatop stellen sich über den überwiegend landwirtschaftlich genutzten Außenbereichen ein und zeichnen sich durch ausgeprägte Tagesgänge von Temperatur und Feuchte sowie nur wenig lokal beeinflusste Windströmungsbedingungen aus. Da zudem in diesen Bereichen überwiegend keine Emittenten angesiedelt sind, handelt es sich um bedeutsame Frischluftgebiete mit einer hohen Ausgleichswirkung für die in bioklimatischer und immissionsklimatischer Hinsicht belasteten Gebiete mit Wohnbebauung. Bei geeigneten Wetterlagen tragen landwirtschaftlich genutzte Flächen darüber hinaus zur Kaltluftbildung bei.



Waldklimatop

Typische Ausprägungen des Waldklimas sind stark gedämpfte Temperatur- und Feuchteamplituden, die eine Folge des Energieumsatzes im Stammraum (verminderte Ein- und Ausstrahlung) sind. Waldflächen erweisen sich daher aufgrund sehr geringer thermischer und bioklimatischer Belastungen als wertvolle Regenerations- und Erholungsräume. Bei geringen oder fehlenden Emissionen sind Waldflächen darüber hinaus Frischluftentstehungsgebiete, können jedoch aufgrund der hohen Rauigkeit im Gegensatz zu den unbewaldeten Freiflächen keine Luftleitfunktion übernehmen. Daher zeichnen sie

sich auch durch niedrige Windgeschwindigkeiten im Stammraum aus. Oberhalb des Kronenraumes, der auch als Hauptumsatzfläche für energetische Prozesse betrachtet werden kann, oder im Stammraum ohne oder mit nur geringem Unterwuchs kann auch bei Waldbeständen Kaltluft gebildet werden. Hervorzuheben ist weiterhin die Filterkapazität der Waldflächen gegenüber Luftschadstoffen. Durch Ad- und Absorption vermögen Waldflächen gas- und partikelförmige Luftschadstoffe auszufiltern.

Gewässerklimatop

Gewässerklimate zeichnen sich tagsüber durch deutlich reduzierte Erwärmungsraten auf, so dass bei gleichzeitig hoher Verdunstung der fühlbare Wärmestrom herabgesetzt wird. Während Wasserflächen am Tage relativ kühl sind, sind sie nachts relativ warm. Dieses Phänomen ist auf die hohe Wärmespeicherkapazität des Wassers zurückzuführen, die nur schwache tagesperiodische Temperaturunterschiede an der Gewässeroberfläche ermöglicht. Die Lufttemperaturen in diesem Klimatop weisen einen ausgeglichenen Tages- und Jahresgang mit abgeschwächten Minima und Maxima auf. Ein zusätzlich positiver Effekt für die klimatische Situation wird durch die geringe Rauigkeit von Gewässerflächen bewirkt, wodurch Austausch- und Ventilationsverhältnisse begünstigt werden.

Parkklimatop

Parkklimate sind gekennzeichnet durch aufgelockerte Vegetationsstrukturen mit Rasenflächen und reich strukturierten lockeren Gebüsch- oder Baumbeständen. Sowohl tagsüber als auch in der Nacht treten die Park- und Grünanlagen als Kälteinseln hervor (Oaseneffekte). Die klimatischen Verhältnisse von Park- und Grünanlagen sind zwischen Freiland- und Waldklima einzustufen. In Abhängigkeit von der Größe der Parkanlagen, deren Ausstattung sowie von der Anbindung an die Bebauung variiert die klimatische Reichweite von Parkflächen. Die Auswirkungen in die Randbereiche der Umgebung sind meist gering und auf die direkt umgebende Bebauung beschränkt.

Klimatop der lockeren Bebauung

Das Klima der lockeren Bebauung bildet den Übergangsbereich zwischen den Klimaten der bebauten Flächen und den Klimaten des Freilandes. Charakteristisch für Flächen, die diesem Klimatop zugeordnet werden, sind in erster Linie Bebauungsstrukturen mit einem geringeren Versiegelungsgrad und starker Durchgrünung mit Baum- und Strauchvegetation. Dieser Klimatotyp ist charakteristisch für dörfliche Einzelsiedlungen und Vorstadtsiedlungen, die im unmittelbaren Einflussbereich des Freilandes stehen und dadurch günstige bioklimatische Verhältnisse aufweisen. Das Klima in den Vorstadtsiedlungen zeichnet sich durch eine leichte Dämpfung der Klimaelemente Temperatur, Feuchte, Wind und Strahlung aus. Die Windgeschwindigkeit liegt niedriger als im Freiland, aber höher als in der Innenstadt.

Siedlungsklimatop

Das Siedlungsklima unterscheidet sich vom Klima der lockeren Bebauung in erster Linie durch zwei Aspekte: zum einen durch eine dichtere Bebauung und zum anderen durch einen geringeren Grünflächenanteil. Dennoch handelt es sich um Bereiche mit einer mäßigen Bebauung und einer relativ guten Durchgrünung. Hieraus resultiert eine nur schwache Ausprägung von Wärmeinseln, und es werden ein

ausreichender Luftaustausch sowie in der Regel gute bioklimatische Bedingungen in diesen Stadtbezirken gewährleistet. Charakteristisch für die dem Siedlungsklimatop zuzuordnenden Wohngebiete ist, dass die stadtklimatischen Effekte nur einen geringen und selten belastenden Ausprägungsgrad erreichen. Dies ist nicht zuletzt auch eine Folge des Auftretens von Überlagerungseffekten durch geländeklimatische Faktoren wie Kaltluftströme oder Belüftung über Luftleitbahnen.

Nachts zeichnen sich die Gebiete durch eine deutliche Abkühlung aus, tagsüber kommt es nur zu leichten Erwärmungsraten. Das Windfeld weist Strömungsveränderungen auf, die meist nicht erheblich sind. Durch die relative Nähe zu regionalen und lokalen Ausgleichsräumen ist eine Frischluft- und Kaltluftzufuhr auch während windschwacher Wetterlagen gewährleistet.



Stadtklimatop

Kennzeichnend für das Stadtklima ist eine überwiegend dichte, geschlossene Zeilen- und Blockbebauung mit meist hohen Baukörpern und engen Straßen. Während austauscharmer Strahlungsnächte kommt es bedingt durch den hohen Versiegelungsgrad, die hohen Oberflächenrauigkeiten und geringen Grünflächenanteile zu einer Zunahme der Überwärmungstendenz. Die dichte städtische Bebauung verursacht ausgeprägte Wärmeinseln mit eingeschränkten Austauschbedingungen, die z. T. mit ungünstigen bioklimatischen Verhältnissen gekoppelt sind.



Innenstadtklimatop

Das Innenstadtklimatop zeichnet sich durch die Ausbildung einer deutlichen Wärmeinsel und somit, bezogen auf die Lufttemperaturen im Vergleich mit dem Freiland, einer hohen Überwärmung aus. Kennzeichnend für die Nutzungsstruktur ist eine ausgesprochen dichte Bebauung mit einem geringen Grünanteil. Allerdings kann bei der Zuordnung des Eignungsgrades auch hier wiederum nicht ausgeschlossen werden, dass vereinzelte Bebauungsstrukturen, beispielsweise durch bewusst angelegte Bepflanzungen, eine aufgelockerte Struktur aufweisen.



Industrie- und Gewerbeflächen

Die Produktions-, Lager- und Umschlagstätten der Industrie- und Gewerbegebiete prägen das Mikroklima. Bedingt durch den hohen Versiegelungsgrad kommt es verstärkt zu bioklimatischen Konfliktsituationen. Die insgesamt hohe Flächenversiegelung bewirkt in diesen Bereichen eine starke Aufheizung tagsüber und eine deutliche Überwärmung nachts. Der nächtliche Überwärmungseffekt kann hier eine dem Stadtklimatop analoge Ausprägung erreichen. Für die Klimatopkarte wurde berechnet, welchem Klimatop (Innenstadt, Stadt, Siedlung oder lockere Bebauung) diese Flächen aufgrund ihrer thermischen Ausprägung zugeordnet werden können. Aufgelockerte und durchgrünte Gewerbeflächen werden dabei eher den Siedlungs- bis Stadtklimatopen zugeordnet, hoch versiegelte Industriegebiete zeigen die Ausprägungen des Stadt- bis Innenstadtklimatops. Zur Unterscheidung zu den Wohnbauflächen wurden die hier jeweils berechneten Klimatope zusätzlich mit einer Schraffur zur Kennzeichnung als Gewerbe- oder Industriegebiet überlagert.

Die räumliche Verteilung der Klimatope im Stadtgebiet von Wuppertal zeigt im Wesentlichen eine Dreiteilung auf:

- ◆ Im Tal der Wupper dominieren aufgrund der intensiven Bebauung die siedlungsbezogenen Klimatope:
 - Stadt- und Innenstadtklimatope mit einer dichten bis sehr dichten Bebauung und gewerbliche und industriellen Nutzungen
 - Hangbereiche werden vom Siedlungsklimatop dominiert
- ◆ Außerhalb des Talbereichs der Wupper dominieren weitgehend Freiraumnutzungen:
 - Wald- und Freilandklimatope
 - Kleinräumiger Siedlungsflächen, die sich aus wenigen Gebäuden zusammensetzen und überwiegend der Landwirtschaft zuzuordnen sind
- ◆ In den Höhenlagen bestehen einige Siedlungskerne mit dichter Bebauung, wie z.B. im Süden die Stadtbezirke Ronsdorf, Cronenberg, Langerfeld-Beyenburg und im Norden der Stadtbezirk Uellendahl-Katernberg:
 - Aufgrund ihrer Höhenlage, der umgebenden Freiräume und der geringeren räumlichen Ausdehnung sind hier im Vergleich zu den Tallagen günstigere klimatische Verhältnisse vorherrschend.

Zukunftsszenarien für das Klima

Klimaänderungen sind ein bekanntes Phänomen in der Erdgeschichte – auf Kaltzeiten folgen Warmzeiten und umgekehrt. Diese globalen Veränderungen wirken sich jeweils drastisch auf unseren Planeten und seine Lebewesen aus. Heute leben wir in Mitteleuropa in einem gemäßigten Klima, das jedoch immer auch Schwankungen unterliegt. Seit Jahrzehnten untersuchen Klimaforscher diese Trends, um für die Zukunft Prognosen zum Klimawandel ableiten zu können. Auch wenn die Meinungen der Forscher im Detail auseinander gehen, so ist davon auszugehen, dass in Europa die Temperaturen in Zukunft weiter steigen und extreme Wetterereignisse häufiger auftreten werden. Im Vergleich zu den Klimaänderungen der Erdgeschichte ist die Geschwindigkeit, mit der der globale Temperaturanstieg heute voranschreitet, besonders hoch. Hauptgrund für diesen Trend ist die enorme Freisetzung von so genannten Treibhausgasen wie Kohlendioxid und Methan, die vor allem von Industrie, Haushalten, Verkehr und der Landwirtschaft ausgehen. Trotz aller Bemühungen der letzten Jahre, die Treibhausgasbelastung zu verringern, ist der Trend zur Klimaerwärmung mit seinen Folgen im besten Falle zu bremsen, nicht aber aufzuhalten oder gar rückgängig zu machen. Daher muss sich unsere Region neben allen Bemühungen zum Klimaschutz auch auf langfristige Veränderungen des Klimas einstellen. Der Klimawandel betrifft auch Wuppertal. Nicht der mittlere globale Temperaturanstieg von rund 2 bis 4 Kelvin (Temperaturänderungen werden in Kelvin angegeben, Schrittweite entspricht der °C-Skala) in den nächsten 50 bis 100 Jahren ist von Bedeutung für Klimaanpassungsmaßnahmen, sondern die aus der Verschiebung der Temperaturverteilung resultierende zunehmende Hitzebelastung in den Innenstädten. Für die Berechnung der Klimatopkarte im Zukunftsszenario 2050 wurden die regionalen Prognosen zur Veränderung der Lufttemperaturen in den nächsten rund 40 Jahren ausgewertet. Dabei bezieht sich das Zukunftsszenario 2050 nicht auf ein einzelnes Jahr, sondern auf die Dekadenmittelwerte des Zeitraums 2050 – 2060.

Definierte Tage mit Wärme- oder Hitzebelastungen:

- ◆ Sommertag: Maximum der Lufttemperatur $\geq 25 \text{ }^\circ\text{C}$
- ◆ Heißer Tag: Maximum der Lufttemperatur $\geq 30 \text{ }^\circ\text{C}$
- ◆ Tropennacht: Minimum der Lufttemperatur $\geq 20 \text{ }^\circ\text{C}$

Die regionalen Klimaprojektionen des LANUV NRW zeigen deutliche Signale für einen zukünftigen Anstieg der Lufttemperaturen in Nordrhein-Westfalen. Für die nahe Zukunft bis 2050 werden Zunahmen der Jahresmitteltemperatur von 0,8 K bis 1,7 K projiziert, für die ferne Zukunft bis 2100 von 2,3 K bis 3,8 K. Für die Herbst- und Wintermonate fallen die Steigerungen der Temperatur etwas höher aus, für den Frühling etwas geringer. Die Genauigkeit der Werte (Nachkommastellen) sollte vor dem Hintergrund der Modellunsicherheiten vernachlässigt werden, daher geben die Ergebnisse eher einen Überblick über die grundlegend zu erwartenden Klimaänderungen.

Das Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e. V. (PIK) hat die zeitlichen und räumlichen Veränderungen des Klimas mittels des regionalen Klimamodelles STARS für die Szenarien RCP 8.5 und 2.6 berechnet. Um die Spannweite der möglichen zukünftigen Entwicklung darzustellen, wurden mehrere Realisierungen aus eintausend des jeweiligen Szenariums ausgewählt. Diese Modelle bilden alle Treiber anthropogener Treibhausgasemissionen ab und setzen sie in konsistente Szenarien zukünftiger Treibhausgasemissionen und resultierender Strahlungsantriebe um. Es gibt dabei vier verschiedene Szenarienpfade, die darauf beruhen, dass „keine“ bis „viele“ Klimaschutzmaßnahmen zur Reduzierung der Treibhausgase umgesetzt werden. Auf der Grundlage der RCP-Szenarien wurden mit Hilfe von Klimamodellen neue Projektionen möglicher Klimaveränderungen im 21. Jahrhundert und darüber hinaus berechnet. Die Regionalisierung der Klimaszenarien erfolgte mit dem am PIK entwickelten Klimamodell STARS. Als Grundlage für die Eingabe in das regionale Klimamodell STARS wurden die über Deutschland gemittelten Temperaturentwicklungen zwischen 2011 und 2100 herangezogen.

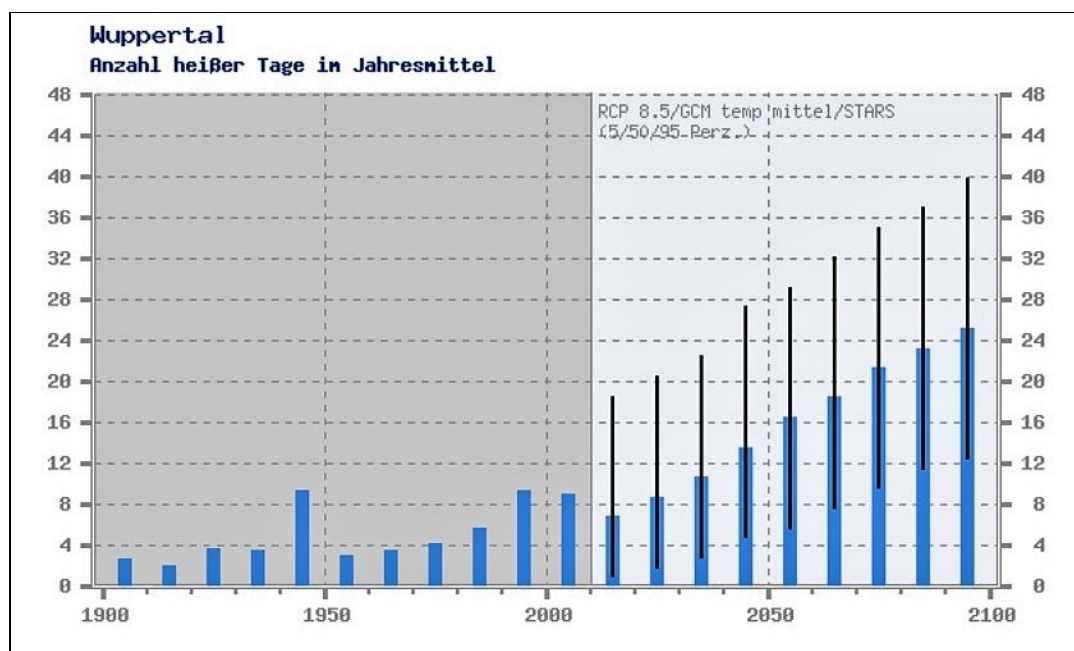


Abb. 2.16 Klimawandel: Anstieg der Anzahl heißer Tage bis zum Jahr 2100 (Quelle: PIK, www.klimafolgenonline.com)

Für Wuppertal zeigen die Klimaprojektionen des PIK einen deutlichen Anstieg der Sommertemperaturen bis zum Jahr 2100. Neben einem starken Anstieg der Anzahl der Sommertage ($T \geq 25 \text{ }^\circ\text{C}$) und der Tropennächte, in denen die Temperaturen nicht unter $20 \text{ }^\circ\text{C}$ sinken, fällt der extrem hohe Anstieg der Anzahl der Heißen Tage mit Lufttemperaturen über $30 \text{ }^\circ\text{C}$ ins Gewicht (Abb.2.16). Während sich in den vergangenen 100 Jahren die Anzahl schon verdoppelt hat auf aktuell rund 10 Tage pro Jahr, kommt in den nächsten 40-50 Jahren nochmal ein Anstieg von mindestens 100 % dazu. Damit können im Zukunftsszenario 2051-2060 während sommerlicher Hitzeperioden bis zu 20 Hitzetage mit Lufttemperaturen $\geq 30 \text{ }^\circ\text{C}$ auftreten. Im Ausnahmesommer 2018 gab es bereits 19 Heiße Tage.

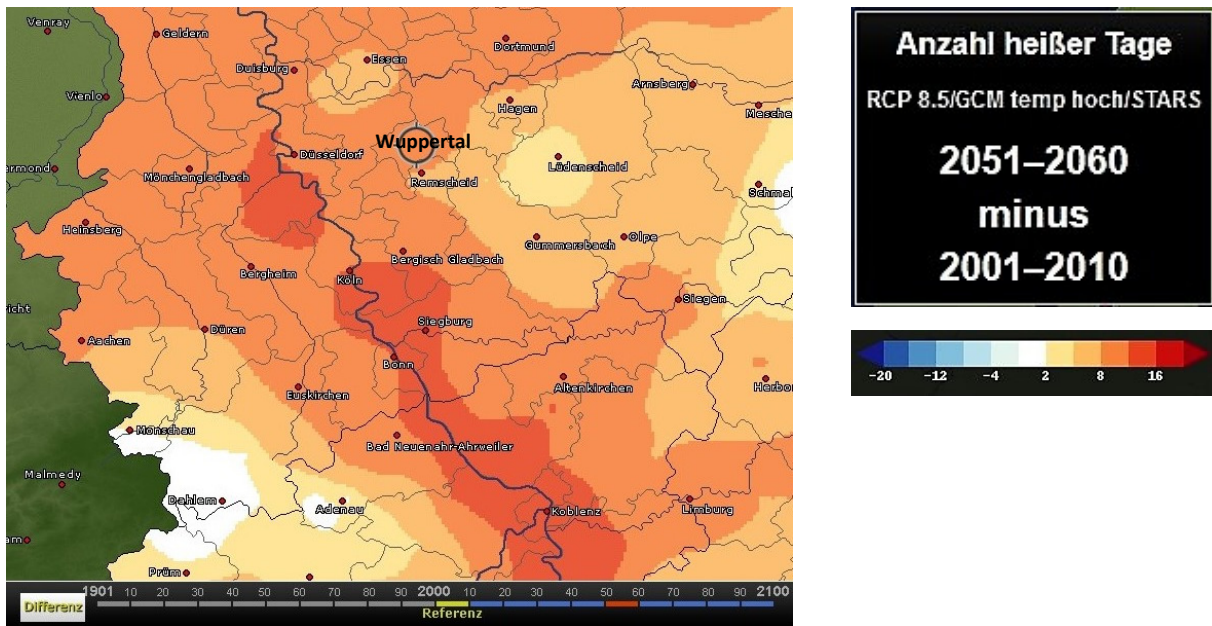


Abb. 2.17 Zunahme heißer Tage im Zukunftsszenario 2050 in der Region um Wuppertal (Quelle: PIK, www.klimafolgenonline.com)

In der Abbildung 2.17 ist die räumliche Verteilung der Zunahme der heißen Tage mit Lufttemperaturen $\geq 30 \text{ }^\circ\text{C}$ in der Dekade 2050-2060 im Vergleich zur Dekade 2000-2010 dargestellt. Innerhalb von 50 Jahren nimmt die Anzahl um 8 bis 12 Tage im Sommer zu. Abbildung 2.18 zeigt die Verschiebung des zukünftigen Klimas hin zu mehr und stärkerer Hitze. Insbesondere die Zunahme der Streuung, also das häufige Auftreten von Extremereignissen, führt dazu, dass die Hitze in Zukunft um ein Vielfaches zunimmt, während die kalten Wintertemperaturen nur eine geringe Änderung zeigen.

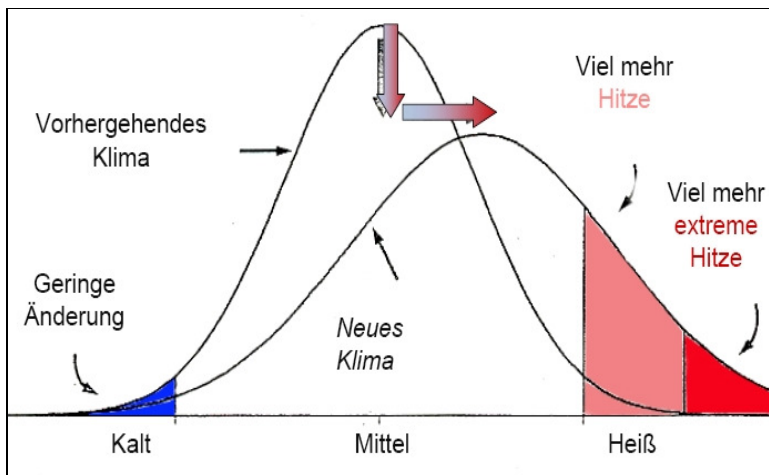


Abb. 2.18 Zunahme von Mittelwert und Streuung der Lufttemperaturen im zukünftigen Klima (Hupfer 2006)

Die klimatischen Unterschiede zwischen den Innenstadtbereichen von Wuppertal und dem Außenbereich treten während der Hitzeperioden nachts besonders deutlich hervor. Diese Nächte sind belastend für den menschlichen Organismus und können gesundheitliche Schäden verursachen. Die Auswertung verschiedener Hitzewellen in Städten zeigt, dass im Verlauf einer mehrtägigen Hitzewelle die nächtlichen Lufttemperaturunterschiede zwischen den Innstädten und der unbebauten Umgebung von Tag zu Tag ansteigen und schon nach drei bis vier Tagen um 2 bis 4 Kelvin zugenommen haben. Entsprechend der Versiegelungsrate und der Dichte der Bebauung wurde deshalb der Ist-Wert der relativen Lufttemperaturverteilung (Abb. 2.7) während sommerlicher Strahlungsnächte im Freiland nicht, aber in der Bebauung je nach Bebauungsdichte erhöht.

Zusätzliche Änderungen könnten sich aufgrund von zukünftigen Bauprojekten oder veränderten Flächennutzungen ergeben. Hierzu wurden die städtebaulichen Vorhaben und Projekte aus dem Arbeitsplan (Stand 03.2018) des Stadtentwicklungsprojektes ausgewertet. Für die Berechnung der Klimatopkarte im Zukunftsszenario 2050 wurde alle Wohnbaupotenzialflächen, Gewerbepotenzialflächen, sonstige städtebauliche Projekte und der Ausbau von Park- und Grünanlagen umgesetzt. Die für die Zukunftsprojektion berücksichtigten Flächen im Stadtgebiet von Wuppertal sind in der Abbildung 2.19 ausgewiesen.

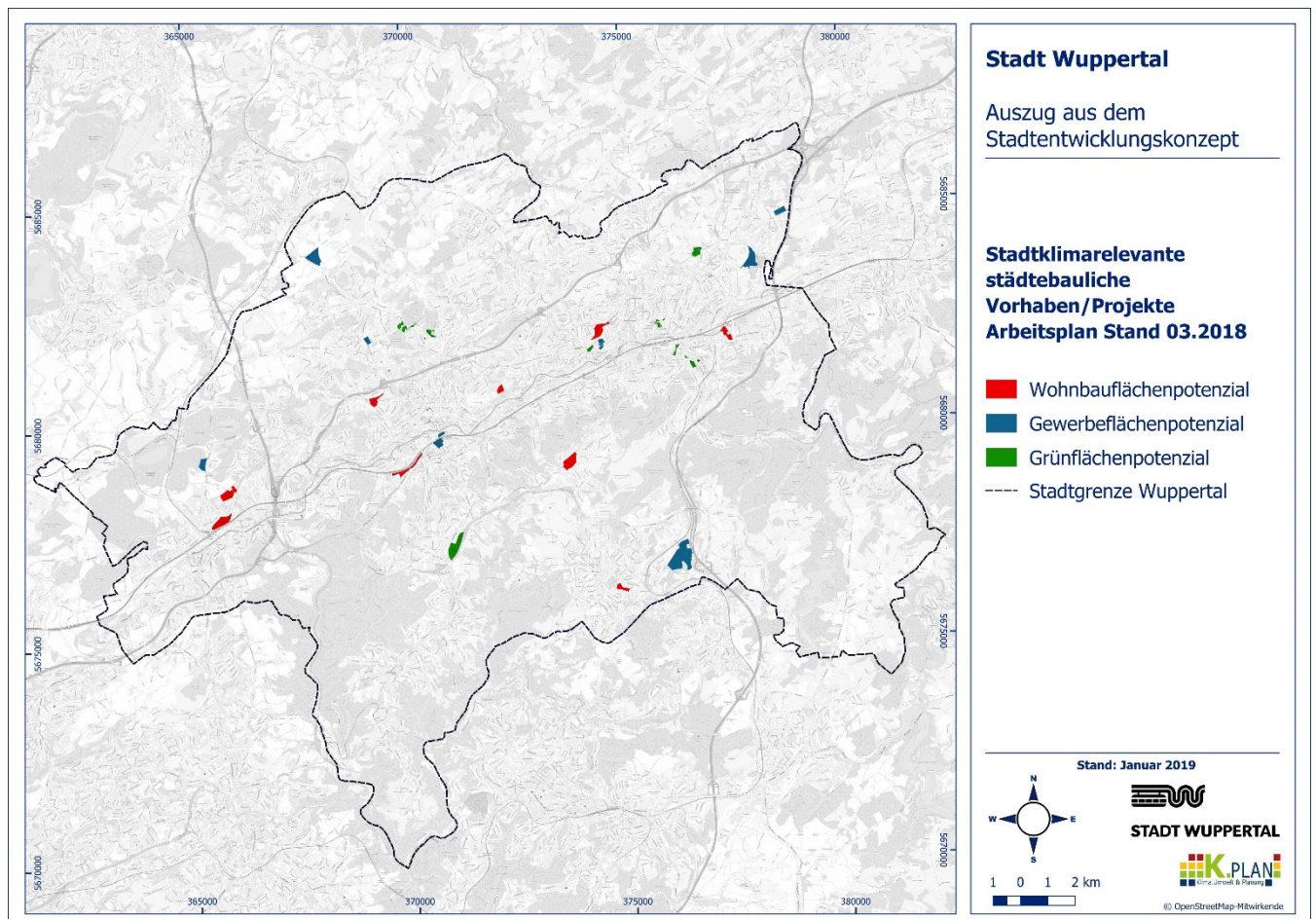


Abb. 2.19 Zur Neuberechnung der Zukunfts-Klimatopkarte herangezogenen Flächenentwicklungen aus dem Stadtentwicklungskonzept der Stadt Wuppertal

Auf dieser Grundlage wurde mit gleichbleibenden Gewichtungen und Grenzwerten wie zur Berechnung der digitalen Klimatopkarte im IST-Zustand eine Klimatopkarte der Zukunftsprojektion für 2050 berechnet. Als Folge zeigt sich im Zukunftsszenario 2050 eine aufgrund der Hitzezunahmen und der Flächennutzungsumwidmung veränderte Klimatopverteilung im Wuppertaler Stadtgebiet (Abb. 2.20).

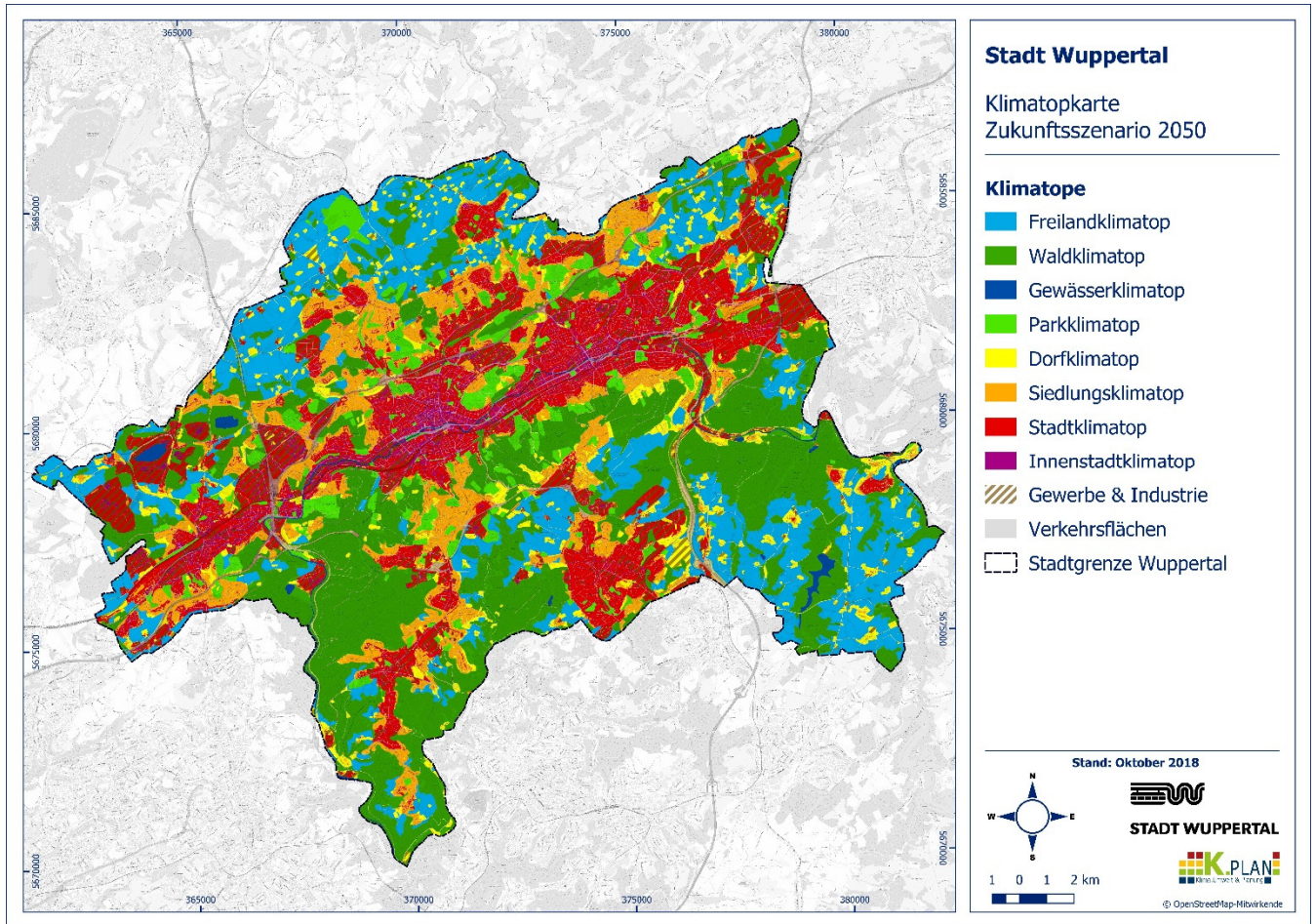


Abb. 2.20 Klimatopkarte der Stadt Wuppertal im Zukunftsszenario 2050 (Die Klimatopkarte Zukunftsszenario 2050 ist in hoher Auflösung auch im digitalen Anhang des Berichts einzusehen)

- ◆ Die Klimatopkarte im Zukunftsszenario 2050 (Abb. 2.20) zeigt eine starke Zunahme des Stadtklimatops zu Lasten des Siedlungsklimatops sowohl im Siedlungsband entlang des Tals der Wupper wie auch in den größeren im Außenbereich liegenden Siedlungen, wie Ronsdorf oder Cronenberg.
- ◆ Das Klimatop der lockeren Bebauung bleibt im Zukunftsszenario weitgehend von Veränderungen verschont. Hier kann die weitgehend kühle Umgebung der Freilandbereiche den zunehmenden Hitzeeintrag noch kompensieren.
- ◆ In den bisherigen Bereichen des Siedlungsklimatops, insbesondere in räumlicher Nähe zu innerstädtischen Gebieten oder Gewerbe- und Industrieflächen, verstärkt sich die im IST-Zustand schwache Ausprägung der Überwärmung durch die Zunahme der Hitzebelastung im Zukunftsszenario.

2.4 Verteilung der aktuellen und zukünftigen Hitzebelastungen im Stadtgebiet von Wuppertal

Um Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel gezielt ein- und möglichst effektiv umzusetzen, sollten die Gebiete und Bereiche identifiziert werden, die eine besondere Sensitivität gegenüber Hitze als Folge des Klimawandels aufweisen. Das sind Gebiete, in denen aufgrund der sozialen, ökonomischen und naturräumlichen Rahmenbedingungen vor Ort besondere Probleme durch die klimatischen Änderungen zu erwarten sind. Auf Grundlage der vorrangegangenen Analysen lassen sich in Wuppertal Gebiete identifizieren, die aufgrund der klimatischen Situation bereits heute als Belastungsräume unter dem Aspekt „Hitze“ bezeichnet werden müssen.

Aufgrund der durchgehenden Bebauung und hohen Versiegelung von Oberflächen gibt es im Wuppertaler Stadtgebiet Bereiche, die sich im Sommer besonders stark aufheizen. Dies ergibt sich dadurch, dass der bebaute Raum Wärme weitaus stärker speichert, als dies für Flächen im unbebauten Umland gilt, durch mangelnde Durchlüftung im innerstädtischen Raum und durch verringerte Abkühlung durch geringere Wasserverdunstungsraten in hoch versiegelten Gebieten. Diese thermische Belastung resultiert neben hohen Strahlungstemperaturen am Tage sowohl aus der städtischen Wärmeinsel, als auch aus der mangelnden Durchlüftung, wodurch ein Abtransport der warmen Luft aus der Stadt bzw. die Advektion kühlerer Luft aus dem Umland erschwert wird. Große Temperaturunterschiede von bis zu 8 Kelvin in warmen Sommernächten zwischen Innenstadt und dem Umland sind die Folge. Dies führt in der Innenstadt vor allem dann zu einer belastenden Situation, wenn die Temperaturen nachts nicht mehr deutlich genug absinken. Die weiter zunehmende Klimaerwärmung wird in Zukunft häufiger zu längeren und stärker ausgeprägten Hitzeperioden auch in Wuppertal führen. Solche Gebiete, die bereits heute als belastend eingestuft sind, werden zukünftig noch stärker betroffen sein und sich in die Umgebung ausdehnen. Neben dem Siedlungsband in der Talachse gilt dies auch für die kleineren Siedlungskerne im Umland.

Grundlagen für die Abgrenzung von potentiellen Problemgebieten unter dem Aspekt der Hitzebelastung des Menschen liefern die Klimatope des „Innenstadtklimas“ und des „Stadtklimas“ der IST-Situation und des Zukunftsszenarios 2050 (siehe Abbildungen 2.15 und 2.19). Hier bilden sich aufgrund der hohen Versiegelung die städtischen Wärmeinseln so stark aus, dass es zu einer Belastung des menschlichen Organismus kommt. Zusätzlich wird die Durchlüftung durch die Bebauungsstrukturen behindert. In diesen Bereichen kommt es insbesondere in den sommerlichen Nachtstunden zu einer deutlichen Überwärmung im Vergleich zum unbebauten Umland.

In der Karte der Hitzebelastungen für die Stadt Wuppertal (Abb. 2.21) auf der nachfolgenden Doppelseite und im digitalen Anhang werden die Räume des Stadt- und des Innenstadtklimatops als Hitzeareale ausgewiesen. Die potentiellen Hitzeareale im IST-Zustand sind unterteilt in „Hitzeinsel“, dies entspricht dem Stadtklimatop, und „starke Hitzeinsel“, dies entspricht dem Innenstadtklimatop aus der neu berechneten Klimatopkarte der Stadt Wuppertal im IST-Zustand (Abb. 2.15). Sie liegen vorwiegend in der Talachse der Wupper, im Bereich der Gewerbe- und Industrieflächen und in kleinerer räumlicher Ausdehnung in den Kernbereichen der Siedlungen auf den Kuppen.

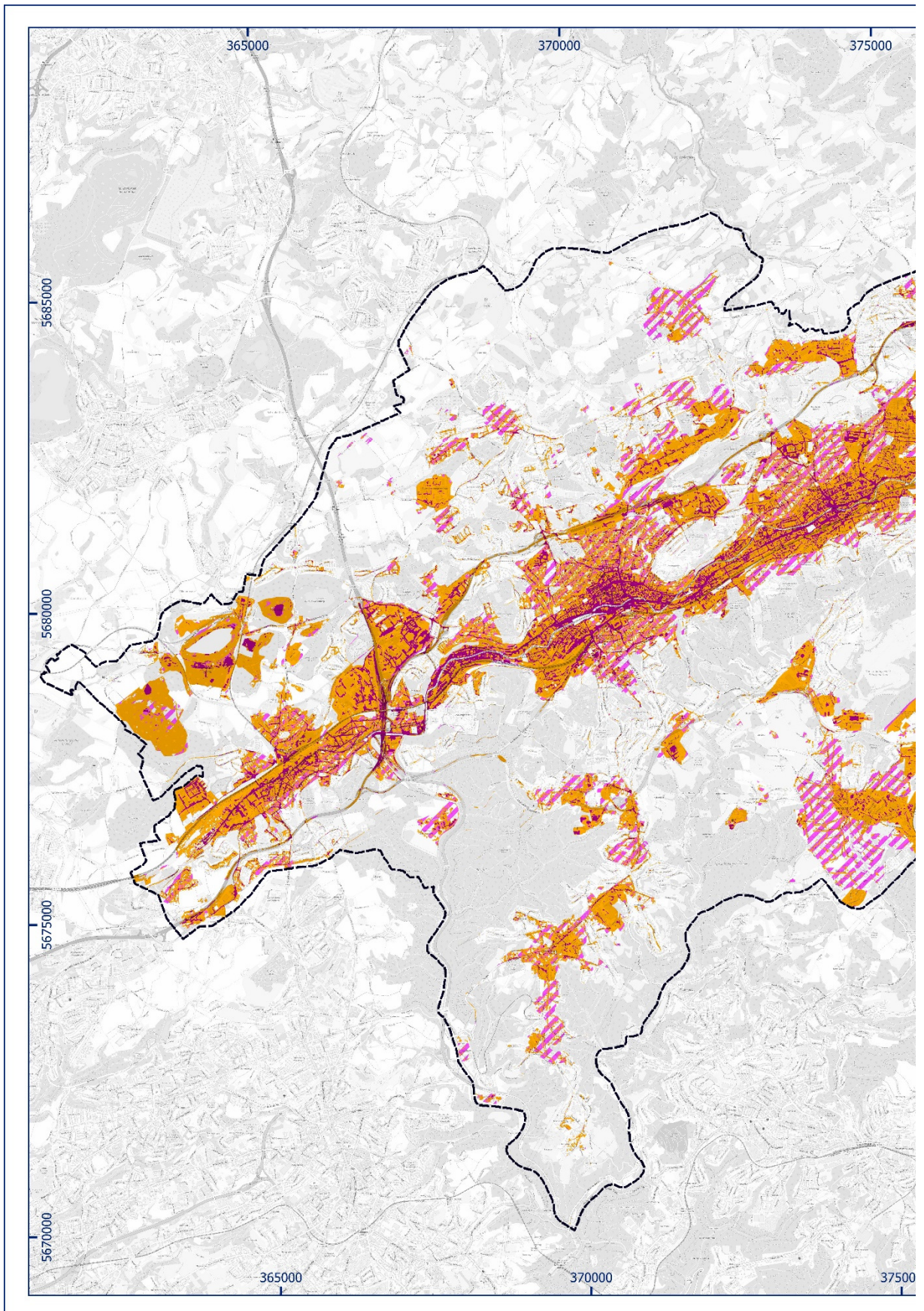
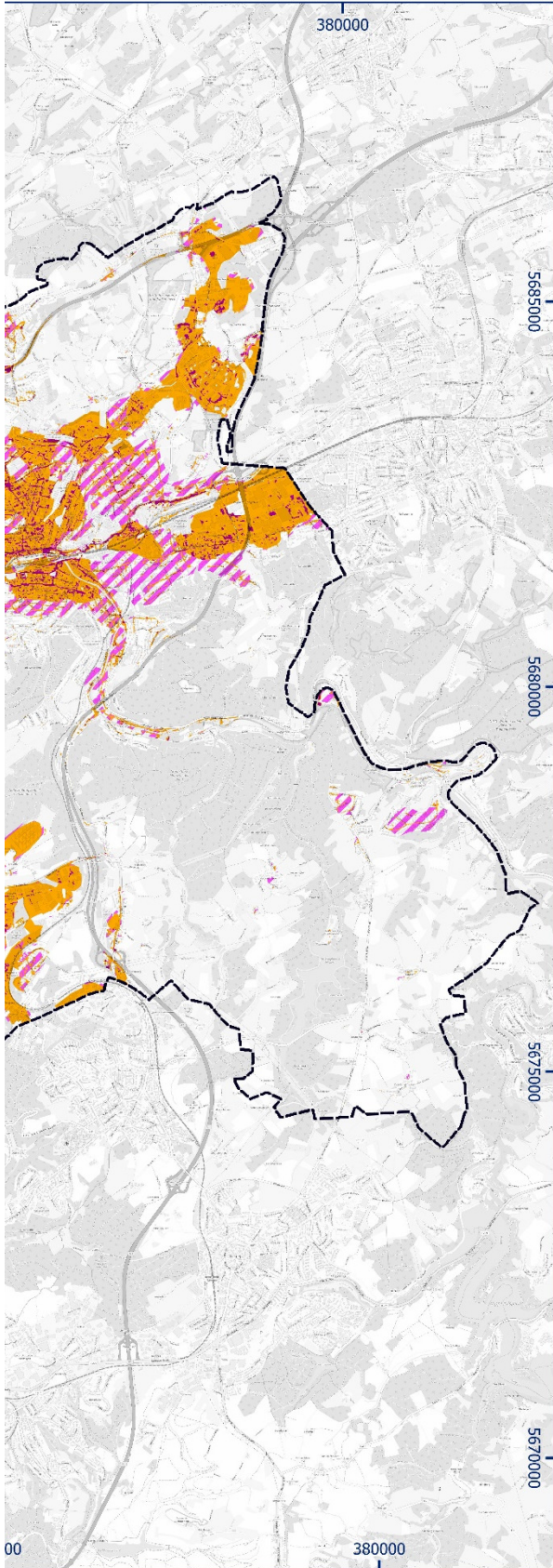






Abb. 2.21 Karte der aktuellen und zukünftigen Hitzebelastungen der Stadt Wuppertal (Die Hitzebelastungskarte ist in hoher Auflösung auch im digitalen Anhang des Berichts einzusehen)



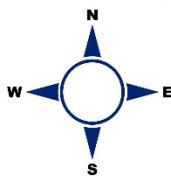
Stadt Wuppertal

Karte der aktuellen und zukünftigen Hitzebelastungen

Hitzeareale

-  Hitzeinsel im IST-Zustand
-  starke Hitzeinsel im IST-Zustand
-  Ausweitung der Hitzeinsel im Zukunftsszenario 2050
-  Stadtgrenze Wuppertal

Stand: Oktober 2018



1 0 1 2 km



STADT WUPPERTAL



© OpenStreetMap-Mitwirkende

Es zeigt sich im Zukunftsszenario eine deutliche Ausweitung der Areale mit einer potentiellen Hitzebelastung im gesamten Stadtgebiet. Zukünftig können auch die umgebenden Stadtteile, die eine leicht erhöhte Bebauungsdichte aufweisen, zusätzlich von der Hitzebelastung aufgrund der Ausweitung der städtischen Wärmeinsel betroffen sein. Diese Flächen sind momentan noch überwiegend dem Siedungsklimatop zugeordnet.

Abbildung 2.21 zeigt die Ausweitung der Hitzeareale in die Fläche des Wuppertaler Stadtgebietes von der IST-Situation (orange bis rot) bis zum Zukunftsszenario (lila-schraffiert). Die Ausweitung der Hitzebelastungen im Zukunftsszenario beruht auf dem Aufstieg von Gebieten des Siedlungs- und des Stadtklimatops in die jeweils höhere Klasse im Zukunftsszenario 2050. Es zeigt sich eine deutliche Ausweitung der Stadt- und Innenstadtklimatope im Stadtgebiet. Zukünftig können die Randbezirke des Siedlungsbandes in der Talachse zusätzlich von der Hitzebelastung aufgrund der Ausweitung der städtischen Wärmeinsel betroffen sein. Auch fallen zukünftig mehr Industrie- und Gewerbegebiete in die Bereiche mit einer potentiellen Hitzebelastung.

2.5 Verringerung der Hitzebelastung durch Umsetzung von Maßnahmenbündeln im Zukunftsszenario

Im Kapitel 2.3 wurden die Klimatopkarten des IST-Zustandes sowie der Zukunftsprojektion 2050 auf Grundlage der sommerlichen Temperaturerhöhung im Zukunftsszenario berechnet. Zusätzliche Änderungen aufgrund von zukünftigen Bauprojekten oder veränderten Flächennutzungen sind auf der Grundlage des Stadtentwicklungskonzeptes berücksichtigt. Im Folgenden soll gezeigt werden, dass eine Reduktion der bestehenden Hitzebelastung und der Hitzeausweitung im Zukunftsszenario durch die Umsetzung von Maßnahmenbündeln möglich ist. Die Abbildungen 2.22 bis 2.24 zeigen auf der Grundlage der Realnutzungskarte die Bereiche, in denen beispielhaft jeweils ein virtuell eingerechnetes Maßnahmenbündel umgesetzt wurde. Dabei wurde Wert gelegt auf realistisch umsetzbare Maßnahmen wie Anpflanzung von Straßenbäume, Dachbegrünungen und Entsiegelung von Plätzen und Innenhöfen sowie Wechsel des Bodenbelags. Auch das Einbringung von Wasser zur Erhöhung der Verdunstungsrate und die Reduzierung der Rauigkeiten in den potenziellen Belüftungsbahnen, beispielsweise durch Entfernung von Strömungshindernissen, wurde simuliert.

Die Maßnahmenbündel wurden nicht flächendeckend umgesetzt, sondern konzentrieren sich auf Bereiche, die im Zukunftsszenario 2050 in die ausgewiesenen Hitzeareale fallen. In diesen im Moment noch zu einem „Übergangsbereich der Hitzebelastung“ gehörenden Flächen lässt sich durch Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen ein besonders hoher Effekt erzielen. Die gewählten Testgebiete für die Maßnahmenbündel können als Beispiel dienen für eine Übertragbarkeit der Klimaanpassungsmaßnahmen auf ähnlich strukturierte Stadtviertel. Deshalb wurde bei der Auswahl der Testgebiete darauf geachtet, verschiedenen Stadtstrukturen wie Wohngebiete und Gewerbeflächen sowohl in der Talachse wie auch in den Siedlungen auf den Höhen in die virtuellen Betrachtungen einzubeziehen.

Maßnahmenbündel 1: Verbesserung des Kaltluftzuflusses

- **Testgebiete** (siehe Markierungen in der Abb. 2.22): Bereich der Kaltluftzuflüsse
 - aus dem Tal der Ennepe über Langerfeld
 - aus dem Tal der Wupper bei Barmen
 - aus kleinen Nebentälern von Barmen über Elberfeld bis Arrenberg
- **Simulierte Maßnahmen:**
 - Beseitigung von Strömungshindernissen (einzelne Bauwerke)
 - Teilentsiegelung von Flächen in den Industrie- und Gewerbegebieten
 - Begrünung von Flachdächern, insbesondere Gewerbehallen
- **Wirkungen** der Maßnahmen:
 - Erhöhung des Kaltluftzuflusses (Strömungsintensität)
 - Verminderte Erwärmung der Kaltluft beim Überstreichen von versiegelten Bereichen
- **Ergebnis:**
 - Verringerung der nächtlichen Lufttemperatur um 1 bis 2 Kelvin
 - Reichweite des Kaltluftstroms Richtung Barmen und Elberfeld erhöht

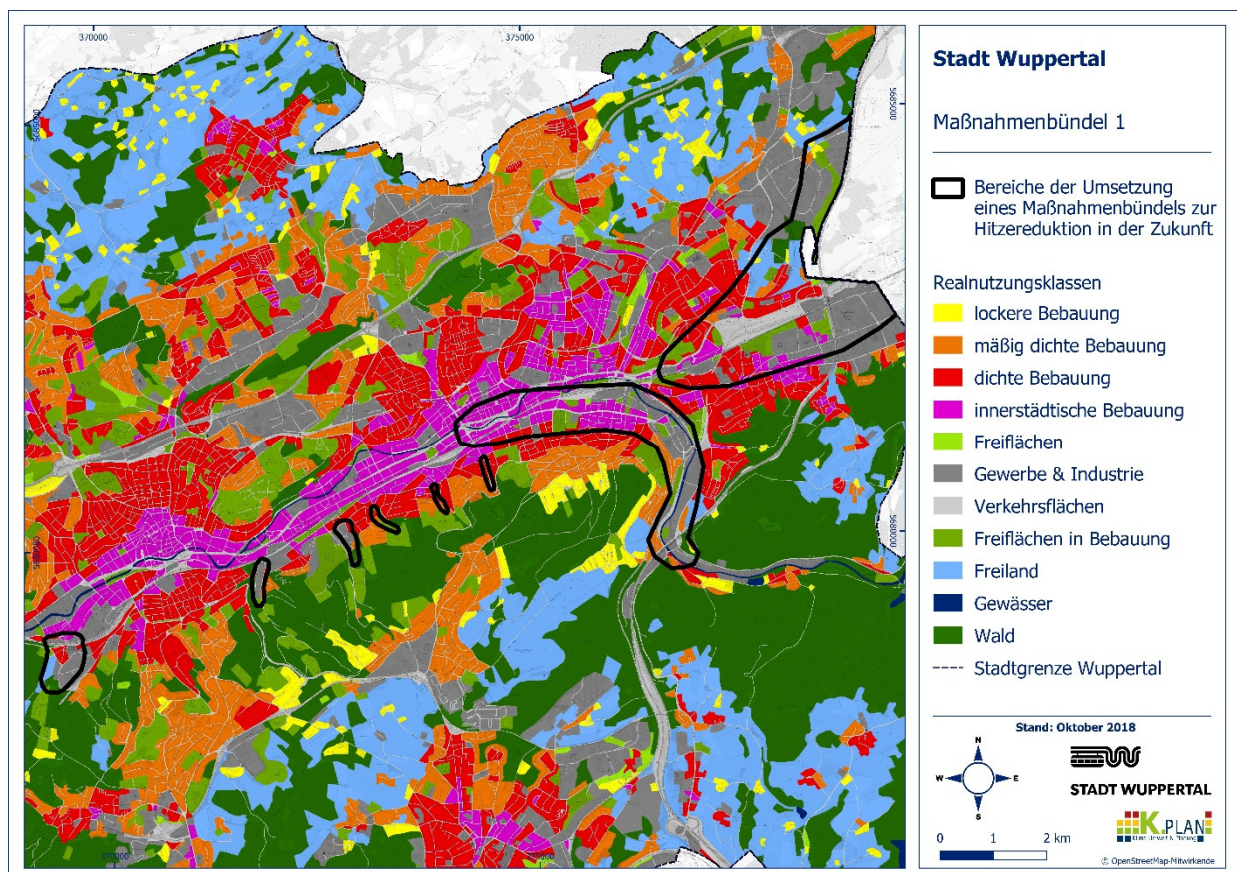


Abb. 2.22 Bereiche der Umsetzung des Maßnahmenbündels 1 zur Hitzereduktion in der Zukunft: Verbesserung des Kaltluftzuflusses

Maßnahmenbündel 2a: Durchgrünung von Wohngebieten auf den Nordhöhen

- **Testgebiete** (siehe Markierungen in der Abb. 2.23): In den etwas stärker verdichteten Stadtteilen von Dönberg, Uellendahl und Katernberg im nördlichen Stadtgebiet gibt es im IST-Zustand noch keine ausgeprägte Hitzebelastung. Das ändert sich im Zukunftsszenario
- **Simulierte Maßnahmen:**
 - Ausweitung der Begrünung im Straßenraum
 - Dachbegrünungen
 - Entsiegelung und Begrünung von Bereichen im privaten Hausumfeld (keine Steinvorgärten!)
- **Wirkungen** der Maßnahmen:
 - Verminderung des Hitzeeintrags am Tag durch Beschattung
 - Abkühlung durch Erhöhung der Verdunstung der Vegetation
 - Verminderte Erwärmung von Flächen durch Entsiegelung
- **Ergebnis:**
 - Verringerung der sommerlichen Lufttemperaturen um rund 1 Kelvin
 - Erhöhung der Bodenkühlleistung

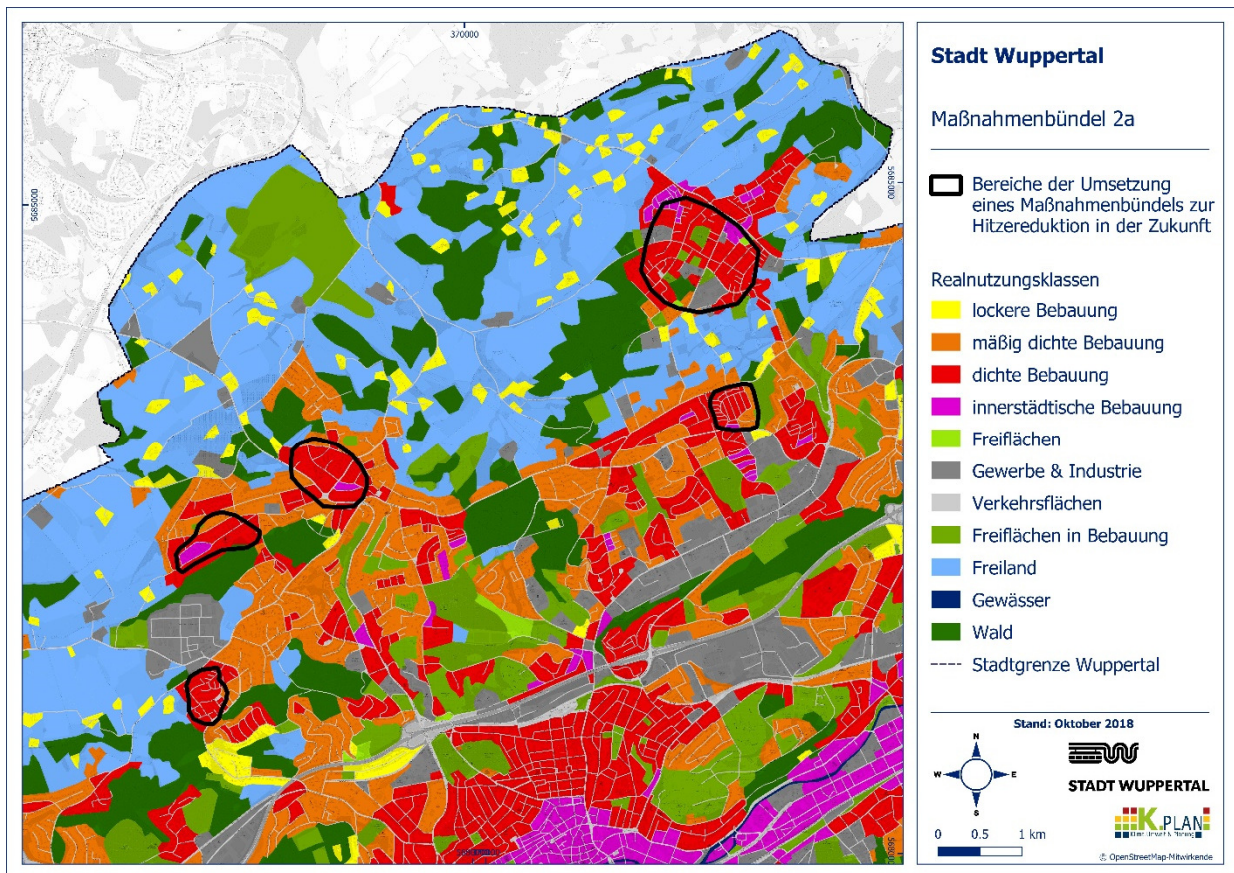


Abb. 2.23 Bereiche der Umsetzung des Maßnahmenbündels 2 zur Hitzereduktion in der Zukunft: Durchgrünung von Wohngebieten auf den Nordhöhen

Maßnahmenbündel 2b: Durchgrünung von Wohngebieten im südöstlichen Stadtgebiet

- **Testgebiete** (siehe Markierungen in der Abb. 2.24): In den etwas stärker verdichteten Stadtteilen Ronsdorf und Beyenburg im südlichen Stadtgebiet gibt es im IST-Zustand noch keine ausgeprägte Hitzebelastung. Das ändert sich im Zukunftsszenario
- **Simulierte Maßnahmen:**
 - Ausweitung der Begrünung im Straßenraum
 - Dachbegrünungen
 - Entsiegelung und Begrünung von Bereichen im privaten Hausumfeld (keine Steinvorgärten!)
- **Wirkungen** der Maßnahmen:
 - Verminderung des Hitzeeintrags am Tag durch Beschattung
 - Erhöhung des Energieverbrauchs durch Transpiration der Vegetation
 - Verminderte Erwärmung von Flächen durch Entsiegelung
- **Ergebnis:**
 - Verringerung der sommerlichen Lufttemperaturen um rund 1 Kelvin
 - Erhöhung der Bodenkühlleistung

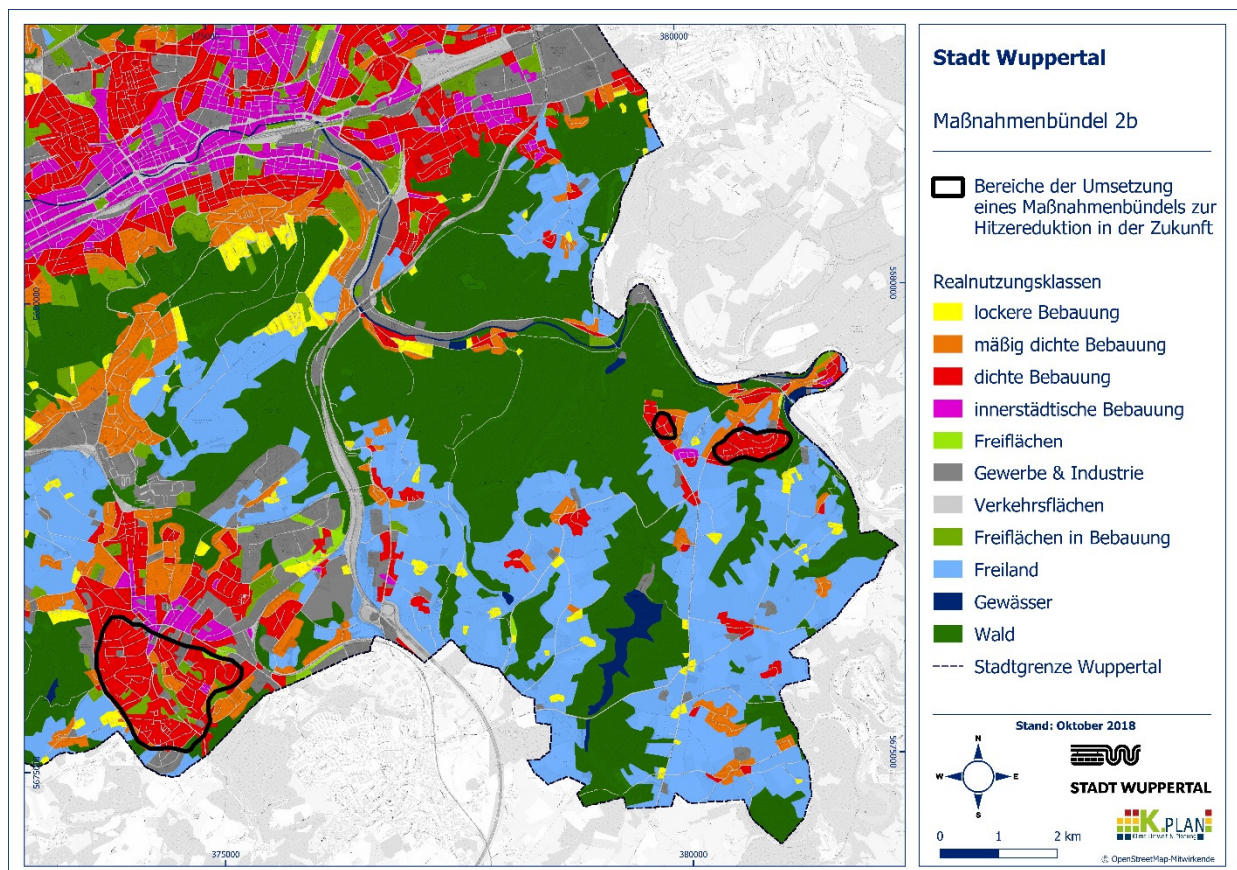


Abb. 2.24 Bereiche der Umsetzung eines Maßnahmenbündels zur Hitzereduktion in der Zukunft: Durchgrünung von Wohngebieten im südöstlichen Stadtgebiet

Maßnahmenbündel 3: Durchgrünung und Teilentsiegelung von Gewerbe- und Industrieflächen

- **Testgebiete** (siehe Markierungen in der Abb. 2.25): Gesamtstädtisch alle Gewerbe- und Industrieflächen, die schon im IST-Zustand eine aktuelle Hitzebelastung aufweisen. Diese wird sich zukünftig verstärken, wenn keine Anpassungsmaßnahmen getroffen werden.
- **Simulierte Maßnahmen:**
 - Ausweitung der Begrünung im Straßenraum, auf Parkplätzen und Freiflächen
 - Dachbegrünungen
 - Teilentsiegelung von Bereichen im Betriebsumfeld
- **Wirkungen** der Maßnahmen:
 - Verminderung des Hitzeintrags am Tag durch Beschattung
 - Erhöhung des Energieverbrauchs durch Transpiration der Vegetation
 - Verminderte Erwärmung von Flächen durch Entsigelung
- **Ergebnis:**
 - Verringerung der sommerlichen Lufttemperaturen um rund 1 Kelvin
 - Erhöhung der Bodenkühlleistung

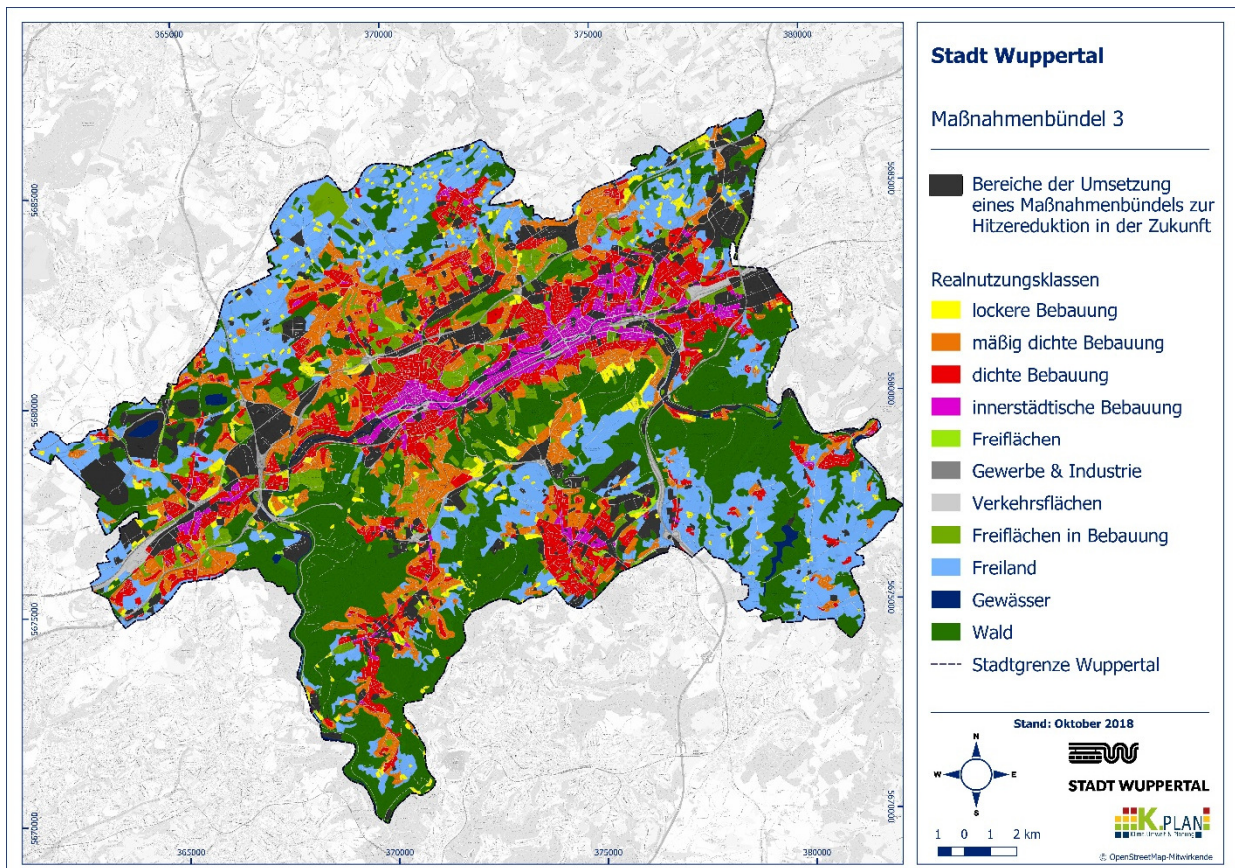


Abb. 2.25 Bereiche der Umsetzung eines Maßnahmenbündels zur Hitzereduktion in der Zukunft: Durchgrünung und Teilentsiegelung von Gewerbe- und Industrieflächen

Mit diesen Veränderungen wurde eine Zukunfts-Klimakarte 2050 nach Umsetzung der 4 Maßnahmenbündel gerechnet. Aus dieser Klimatopkarte wurden wiederum die Bereiche extrahiert, die besonders von sommerlicher Hitzebelastung betroffen sein werden. Grundlage dafür waren, wie auch bei der Betrachtung der Ist-Situation und des Zukunftsszenarios 2050, die Bereiche des Stadt- und des Innenstadtklimatops. In der Abbildung 2.26 sind die erreichten Veränderungen im Vergleich zur IST-Situation und zum Zukunftsszenario 2050 ohne Maßnahmenumsetzung dargestellt. Die Ausweitung der Hitzeinsel im Zukunftsszenario mit Maßnahmenumsetzung im Vergleich zum IST-Zustand beschränkt sich jetzt überwiegend auf die Siedlungsbereiche oberhalb der Talachse. Umsetzung von Maßnahmen, wie beispielhaft an den nördlichen und südlichen Stadtteilen gezeigt, sind aus Platzgründen in den stark verdichteten Bereichen entlang der Talachse nur sehr kleinräumig umsetzbar. In den Bereichen mit simulierten Maßnahmenumsetzungen ist es aber gelungen, die Ausweitung der Hitzebelastung im Zukunftsszenario 2050 auf den Stand der IST-Berechnungen zurückzuführen.

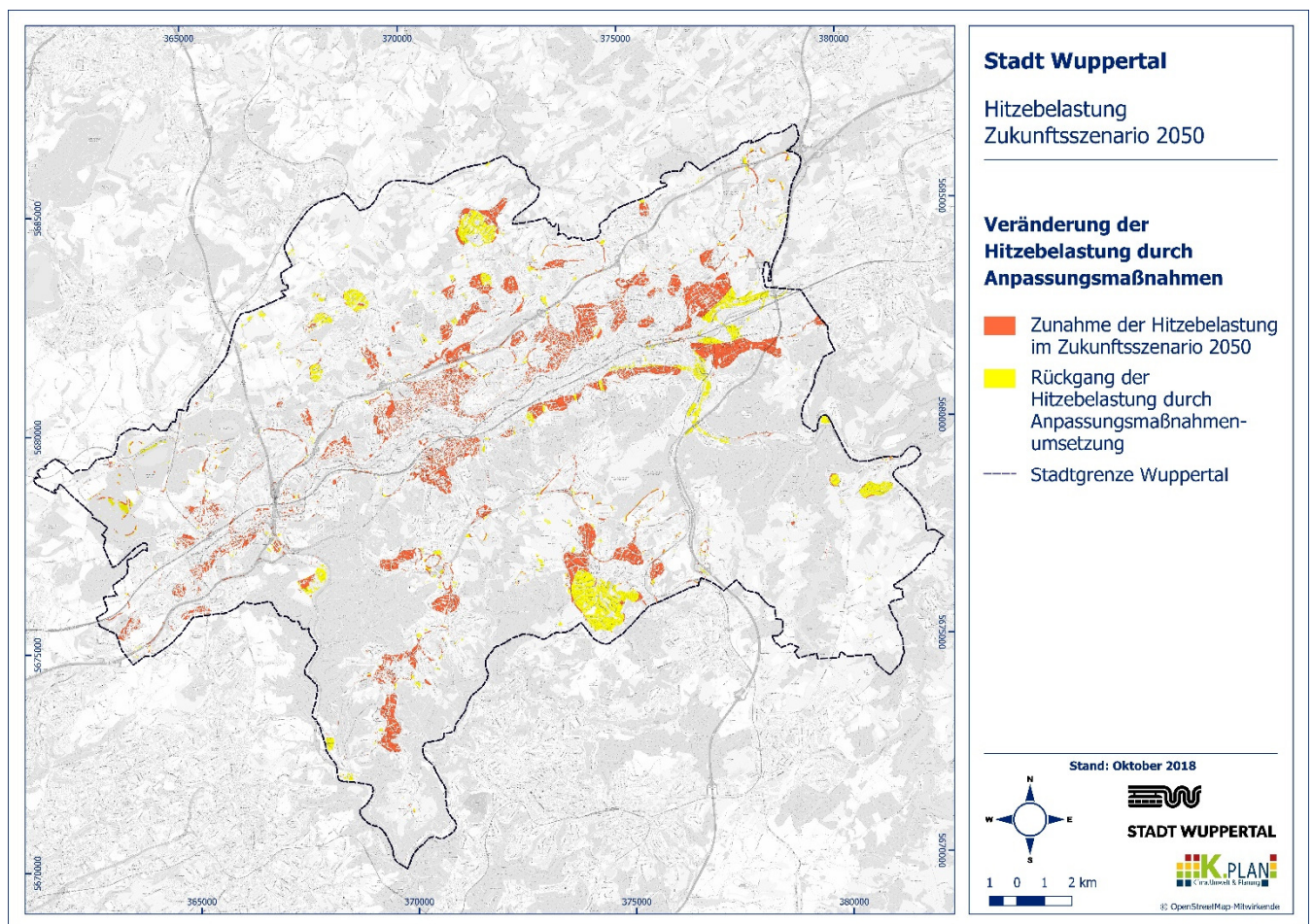
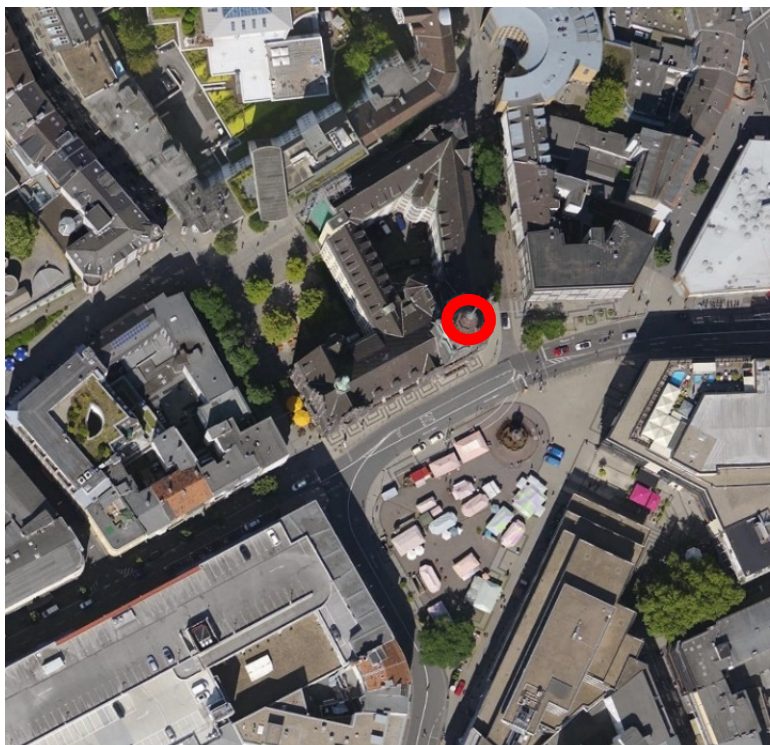


Abb. 2.26 Karte der Veränderungen der Hitzebelastung im Zukunftsszenario durch Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen

Verifizierung der Hitzeintensitäten sowie der Wirksamkeit von modellhaft umgesetzten Klimaanpassungsmaßnahmen an dem innerstädtischen Beispiel „Elberfeld City“

Beispielhaft für einen innerstädtischen Teilraum wurden im Zentrum von Wuppertal-Elberfeld detailliert die Belastungspotenziale durch Hitze untersucht. Darauf aufbauend wurden konkrete Anpassungsmaßnahmen entwickelt. Ausgehend von Thermalaufnahmen, die aus der Vogelperspektive vom Standort auf dem Rathausurm Elberfeld aus getätigt wurden, wurde anschließend durch mikroskalige Modellierungen die Wirksamkeiten von Klimaanpassungsmaßnahmen im Hinblick auf Hitzeminderung überprüft. Zur Bewertung des Ist-Zustandes und zur Überprüfung der klimatischen Wirksamkeit von Anpassungsmaßnahmen wird das mikroklimatische Ausbreitungs- und Strömungsmodell ENVI-met eingesetzt. Das Modell dient zur Simulation der Wind-, Temperatur- und Feuchteverteilung in städtischen Strukturen. Es erfasst urbane Strukturen als Gesamtsystem und beschreibt dynamische klimatologische Vorgänge. Mit diesem mikroskaligen Modell werden die Wechselwirkungen zwischen Oberflächen, Pflanzen und der Atmosphäre in einer städtischen Umgebung simuliert. Es werden Parameter wie Gebäudeoberflächen, Bodenversiegelungsgrad, Bodeneigenschaften, Vegetation und Sonneneinstrahlung einbezogen. Durch die Wechselwirkungen von Sonne und Schatten sowie die unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften der Materialien (spezifische Wärme, Reflexionseigenschaften) entwickeln sich im Laufe eines simulierten Tages unterschiedliche Oberflächentemperaturen, die ihrerseits in Abhängigkeit vom Windfeld ihre Wärme mehr oder minder stark an die Luft abgeben. Um Wechselwirkungen zwischen der Vegetation und der Atmosphäre simulieren zu können, wird das physiologische Verhalten der Pflanzen nachgebildet. Hierzu zählt das Öffnen und Schließen der Spaltöffnungen zur Steuerung des Wasserdampfaustausches mit der Umwelt, die Aufnahme von Wasser über die Wurzeln oder die Änderung der Blatttemperatur im Laufe des Tages. Die klimatischen Besonderheiten einer Fläche zeigen sich besonders deutlich an einem sommerlichen Strahlungstag mit Schwachwindlage. Einen Überblick über das Untersuchungsgebiet „Elberfeld City“ liefert die Abbildung 2.27. Die Umgebung ist dicht und hoch bebaut und zu rund 90 % versiegelt.




 Rathausurm

Abb. 2.27 Luftbild des Untersuchungsgebietes „Elberfeld City“

Bei einer Größe des Modellgebietes „Elberfeld City“ von 200 m x 200 m wurde eine horizontale Gitterauflösung im Model von 2 m gewählt, die vertikale Auflösung betrug 1 m. Die Kartierungen erfolgten auf der Grundlage von vorhandenem Kartenmaterial und Luftbildern sowie einer Geländebegehung. Die aufgenommenen Daten wurden dann im nächsten Schritt in das Programm ENVI-met übertragen und dort für eine virtuelle Modellierung vom Ist-Zustand des Untersuchungsgebietes und als Grundlage für die Modellierung der Wirksamkeit von Klimaanpassungsmaßnahmen verwendet.

Simuliert wurde jeweils ein sommerlicher Strahlungstag über 24 Stunden, um eine maximale Erwärmung im Modellgebiet zu erreichen. Neben der Gebäude-, Vegetations- und Oberflächenstruktur des Modellgebietes wurden jeweils meteorologischen Startparameter für eine mikroskalige Modellierung des Ist-Zustandes sowie des Anpassungs-Szenario festgelegt. Diese Werte entsprechen den typischen Ausgangsbedingungen einer sommerlichen Strahlungswetterlage mit Hitzebelastung. Die Startwerte der meteorologischen Parameter werden für alle Modellrechnungen gleich gewählt. Sommerliche Strahlungstage sind in der Regel Schwachwindwetterlagen. Die Ausgangs-Windgeschwindigkeit in 10 Metern Höhe sollte deshalb für mikroskalige Modellierungen unter 1,5 m/s liegen. Bei einer solchen Wetterlage treten lokalklimatische Effekte am deutlichsten hervor und die Auswirkungen der simulierten Anpassungsmaßnahmen auf das Kleinklima können gezeigt werden.

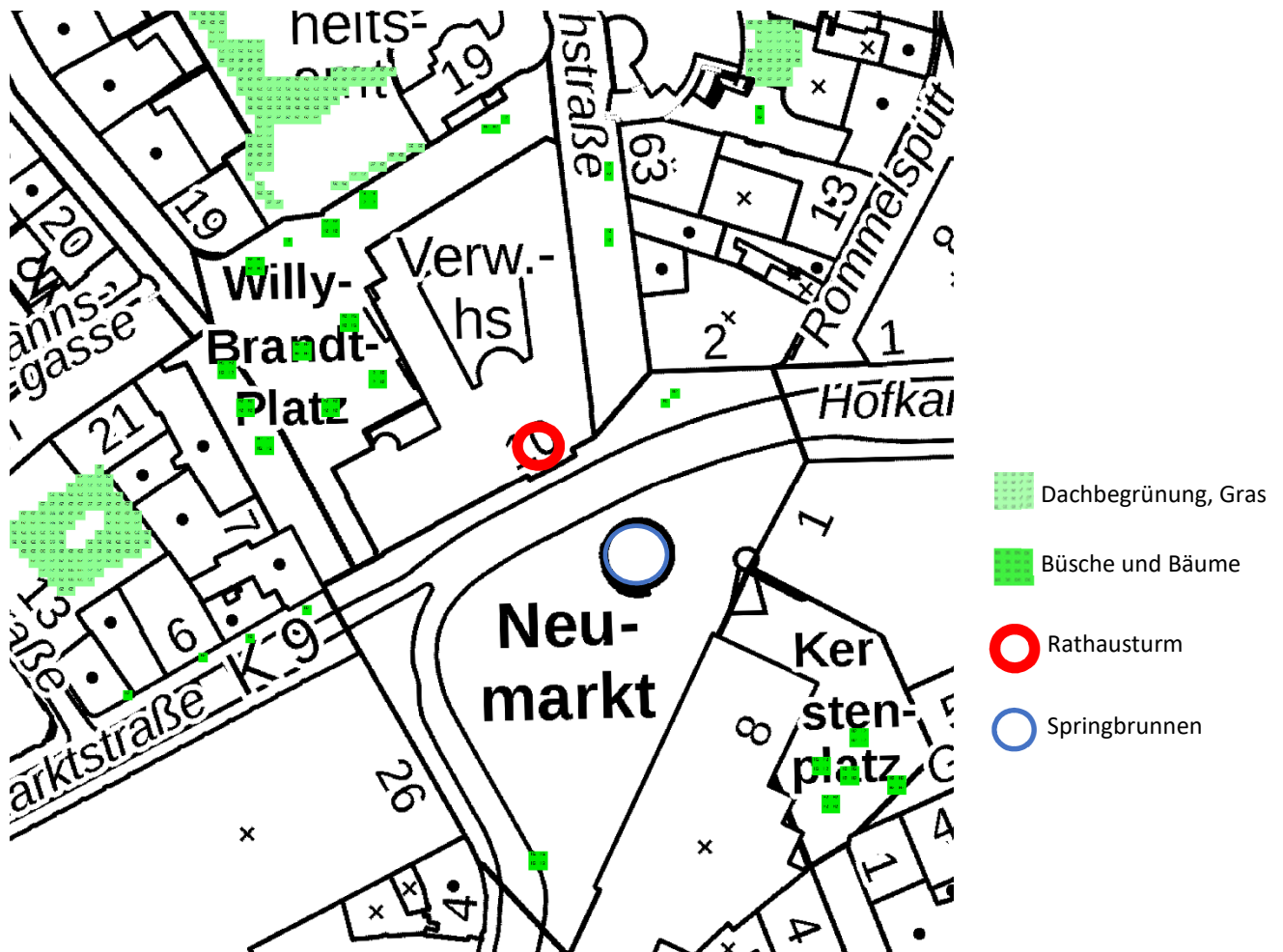


Abb. 2.28 Begrünung im Modellgebiet „Elberfeld City“ im IST-Zustand (Gebäude und versiegelte Flächen aus Gründen der Lesbarkeit nicht dargestellt)

Das ENVI-met Modell der Ist-Situation mit einer Ausdehnung von 200 m x 200 m ist in der Abbildung 2.28 dargestellt. Neben der Lage, Form und Material der Gebäude ist auch die Vegetationsstruktur mit Informationen über Rasenflächen, Büsche und Bäume verschiedener Größen in den Eingabedateien vorhanden. Die unterschiedliche Höhe der Vegetation von Rasenflächen über Büsche bis hin zu Bäumen ist grob anhand der Grüntöne zu unterscheiden. Bäume und Büsche werden in Dunkelgrün, Rasenflächen in Hellgrün wiedergegeben. Zusätzlich wurde die Bodenversiegelung im Modellgebiet erfasst und in die Eingabedatei übertragen.

Die Situation im IST-Zustand zeigt die Problematik der sehr hohen Oberflächentemperaturen im Modellgebiet „Elberfeld City“, die noch um Mitternacht großflächig zwischen 24 °C und 29 °C liegen (Abb. 2.29). Dies ist eine Folge der Materialien, die die tagsüber eingestrahlte Sonnenenergie speichern.

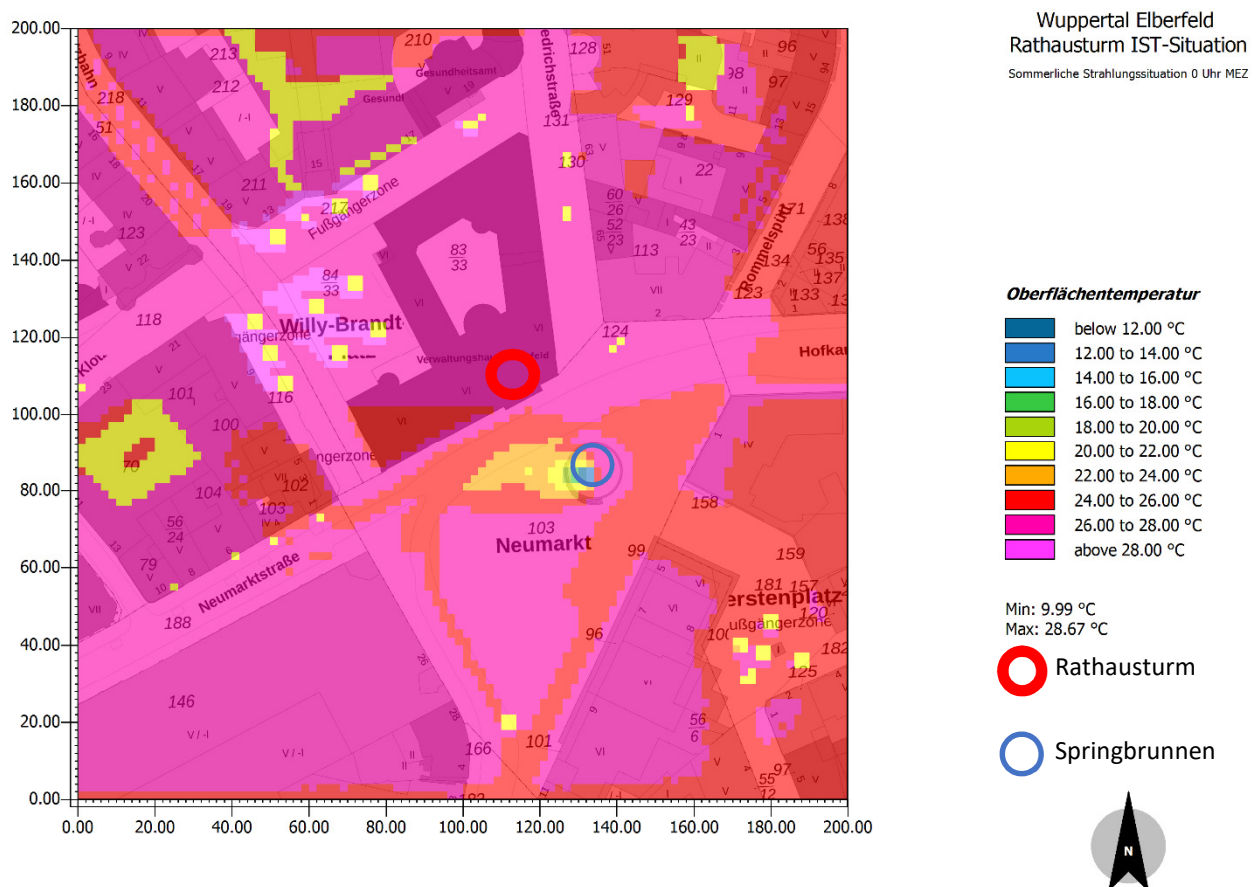


Abb. 2.29 Oberflächentemperaturen um 0:00 Uhr im Modellgebiet „Elberfeld City“ im IST-Zustand

Durch Thermalaufnahmen (IR) vom Elberfelder Rathausurm können die bestehenden Hitzeeinträge auf die Gebäude und größtenteils versiegelten Flächen während eines sommerlichen Hitzetages detailliert gezeigt werden. Die Abbildung 2.30 zeigt die Ergebnisse der Messungen um 20 Uhr an einem wolkenlosen Sommerabend. Die Oberflächentemperaturen liegen je nach Material und Sonnenausrichtung zwischen 10 °C und 24 °C. Hausfassaden, die zu offenen Plätzen zeigen, und weite Straßen, die tagsüber lange der Sonneneinstrahlung ausgesetzt waren, zeigen noch nach Sonnenuntergang die höchsten Oberflächentemperaturen.

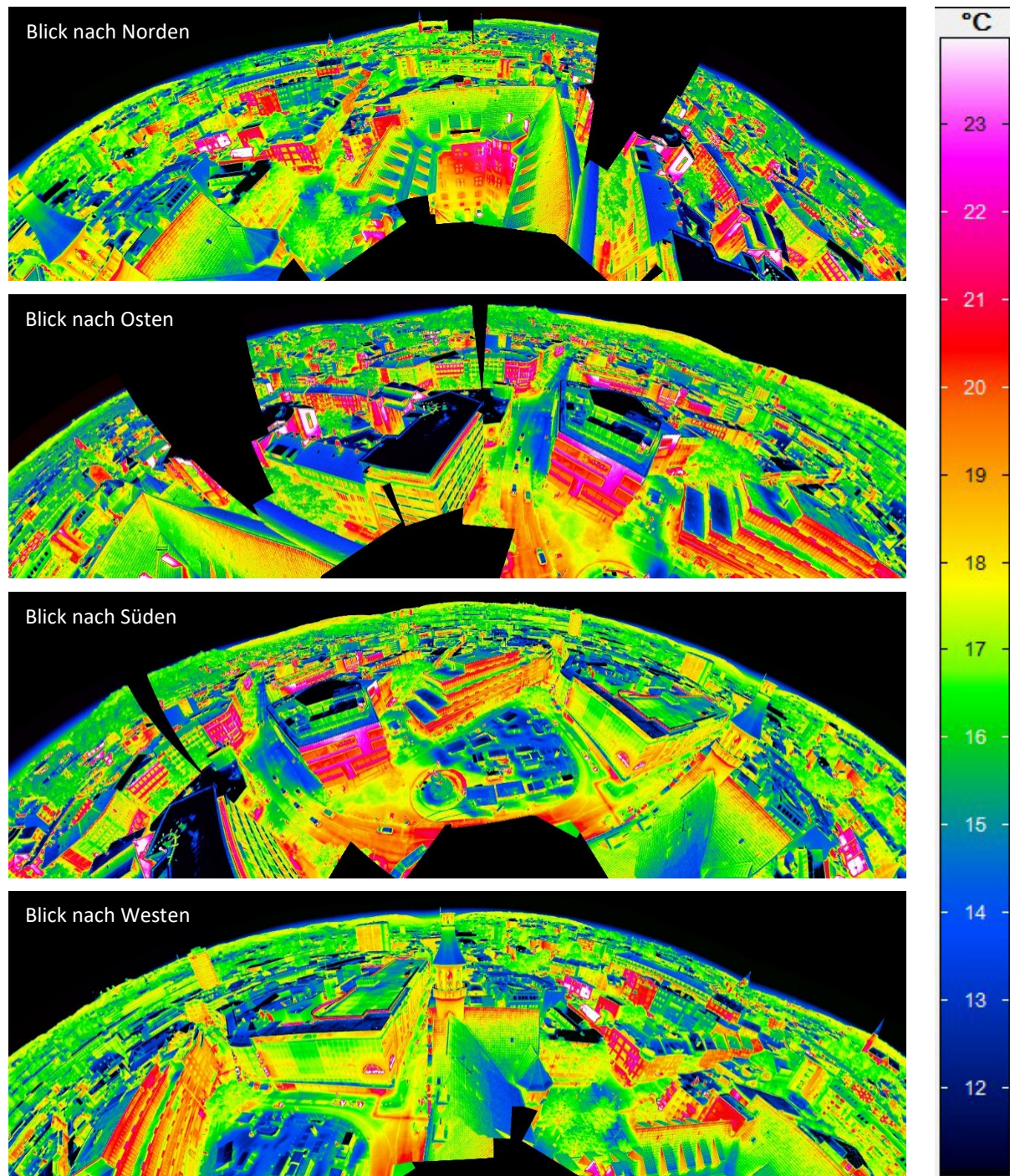


Abb. 2.30 IR-Aufnahmen der Oberflächentemperaturen um 20 Uhr, Untersuchungsgebiet „Elberfeld City“, auf

Für die Überprüfung der Wirksamkeit von Anpassungsmaßnahmen im Untersuchungsgebiet wurden die zahlreich vorhandenen Flachdächer begrünt. Zusätzlich wurden kleinere Bereiche des Willy-Brandt-Platzes sowie des Neumarkts entsiegelt und begrünt. Es wurden Springbrunnen und ein offener Wasserlauf in das Modellgebiet virtuell eingebracht. Die simulierten Anpassungsmaßnahmen sind als exemplarische Beispiele zu betrachten und wurden ausschließlich aus der fachlichen Sicht des Gutachters ausgewählt. An dieser Stelle wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die


Maßnahmenvorschläge zur Klimaanpassung im Vorfeld nicht mit dem Ressort Stadtentwicklung abgestimmt wurden, da es sich hierbei nicht um konkrete Planungsabsichten vonseiten der Stadt Wuppertal handelt. Im Einzelnen wurden die folgenden virtuellen Maßnahmen in das Gebiet eingearbeitet:

- alle Flachdächer extensiv begrünt (ohne Türme und techn. Aufbauten, Solaranlagen)
- auf dem Parkdeck eines Einzelhandelsgebäudes: intensive Dachbegrünung)
- am Willi-Brand-Platz: Springbrunnen und Grünstreifen
- am Neumarkt: Grünstreifen entlang des Randes (4-6 m Breite) mit Hecken
- Neumarkt mit dem Straßenabschnitt Neumarktstraße: helles Pflaster
- Neumarkt: einzelne Bäume und Büsche auf dem Platz
- Kerstenplatz: Springbrunnen mit Verbindung durch einen offenen Wasserlauf bis zum Springbrunnen auf dem Neumarkt, Anlage als Wasserspielplatz möglich

Abbildung 2.31 zeigt ein virtuelles Luftbild des Untersuchungsgebietes, so wie es nach Umsetzung der Maßnahmen aussehen könnte.



Abb. 2.31 Virtuelles Luftbild des Untersuchungsgebietes „Elberfeld City“ nach Maßnahmenumsetzung

 Rathausturm

Die Abbildung 2.32 zeigt im Vergleich dazu das Modellgebiet im simulierten Anpassungs-Szenario.

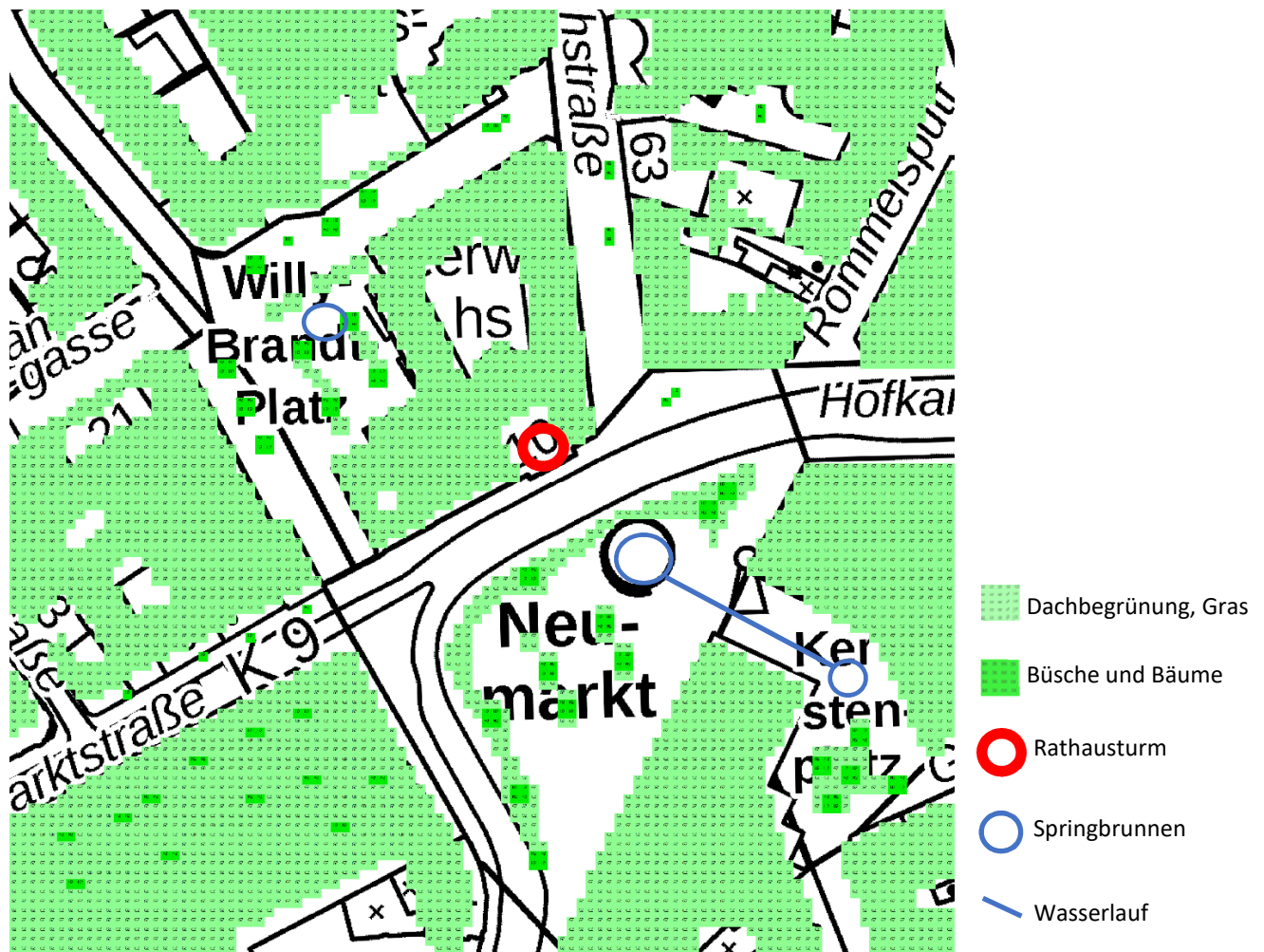


Abb. 2.32 Begrünung im Modellgebiet „Elberfeld City“ im Anpassungs-Szenario

Durch die intensive Begrünung von allen Flachdächern und Teilen der städtischen Plätze konnten die Oberflächentemperaturen um 3 bis 7 Kelvin gesenkt werden (Abb. 2.33). Eine besonders hohe Wirkung zeigt die Veränderung des Oberflächenmaterials auf Neumarkt und Neumarktstraße von dunklem Asphalt auf ein helles Pflaster im Anpassungs-Szenario.

Entscheidend ist im zweiten Schritt, welche Auswirkungen diese Oberflächentemperatur-Absenkungen auf die Lufttemperaturen im Modellgebiet haben können. Abbildung 2.34 zeigt die Differenzen der Lufttemperaturen des Begrünungsszenarios im Vergleich zum IST-Zustand in der Nacht um 23 Uhr. Im gesamten Modellgebiet werden die Lufttemperaturen durch die Anpassungsmaßnahmen um 1 bis 2 Kelvin herabgesetzt. Einen deutlich höheren Effekt erreichen die auf dem Willy-Brandt-Platz und dem Kerstenplatz virtuell installierte Springbrunnen und der offene Wasserlauf zum Neumarkt. Hier wird im direkten Umfeld der Wasseranlage durch Verdunstungsvorgänge die Luft um bis zu 10 Kelvin abgekühlt. Entsprechend der Anströmung des Modellgebietes gibt es eine Fahne von kühler Luft, die mehrere 10er-Meter in die angrenzende Bebauung hineinreicht und mindestens 2 bis 3 Kelvin Abkühlung für die Umgebung bringt.

2. Gesamtstädtische Analyse zur Hitze-Betroffenheit

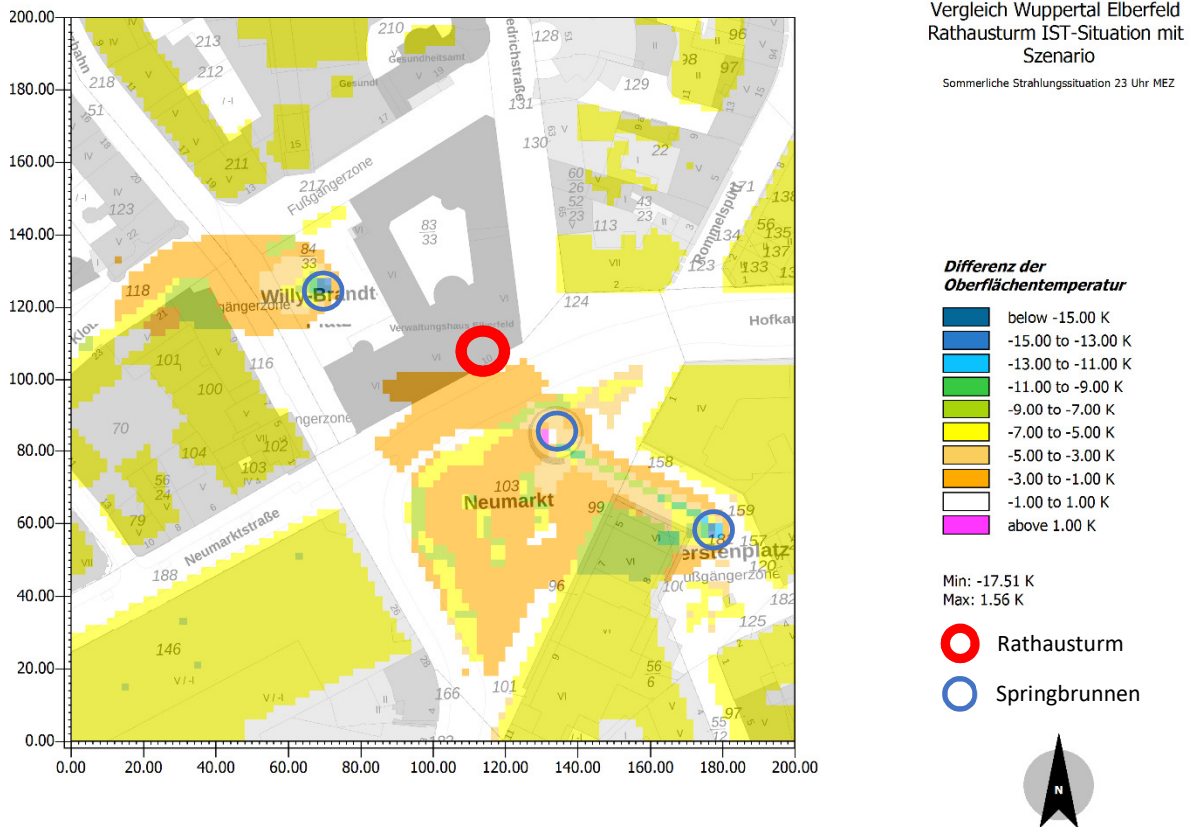


Abb. 2.33 Differenzen der Oberflächentemperaturen um 23:00 Uhr im Modellgebiet „Elberfeld City“ im Anpassungs-Szenario

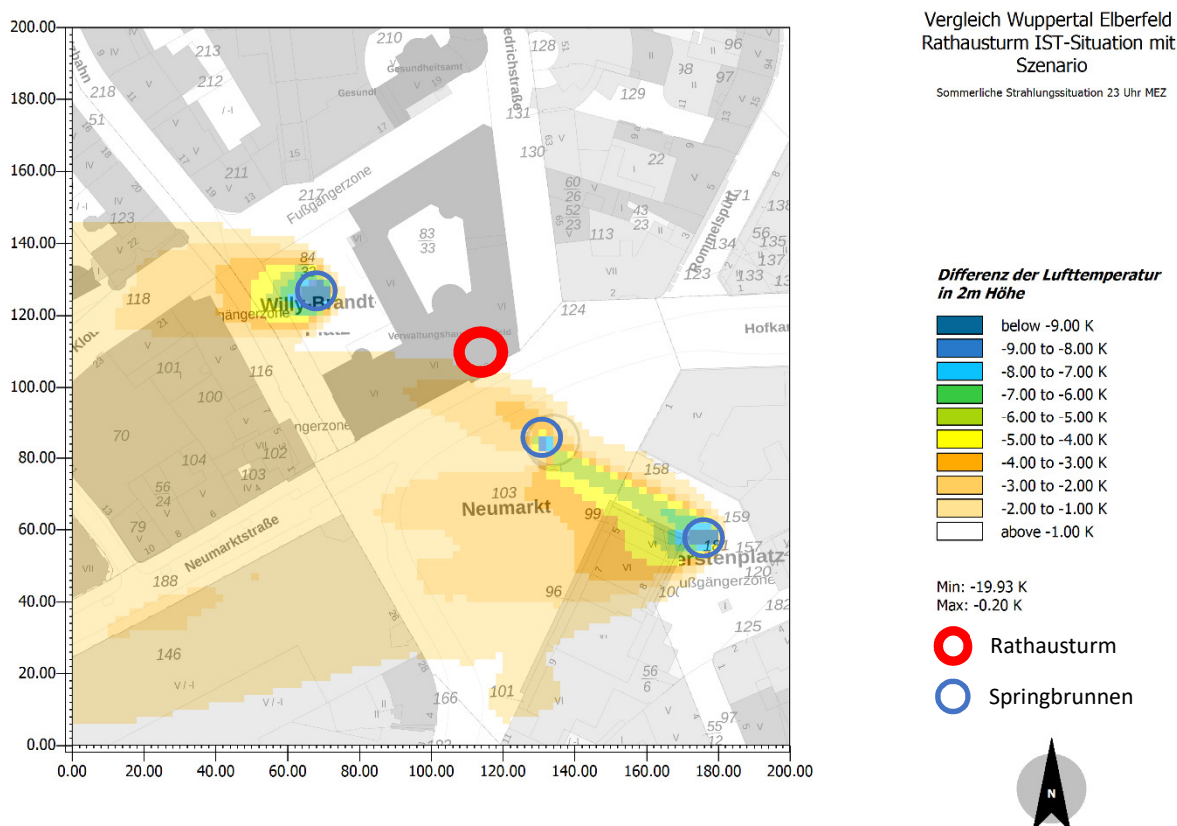


Abb. 2.34 Differenzen der Lufttemperaturen um 23:00 Uhr im Modellgebiet „Elberfeld City“ im Anpassungs-Szenario

- ◆ Durch die virtuelle Einbringung von Anpassungsmaßnahmen und modellhafte Berechnung der Wirkungen konnte gezeigt werden, dass durch ein Maßnahmenbündel in einer Kombination aus Dach- und Platzbegrünungen, Oberflächenmaterialwechsel und bewegtes Wasser in der Stadt eine Abkühlung im Quartier um 1 bis 3 Kelvin erreichbar ist.
- ◆ Damit könnten, jeweils lokal begrenzt, die zukünftigen Erwärmungen aufgrund des Klimawandels ausgeglichen werden.

Tab. 2.1 Möglichkeiten zur Klimaanpassung im Quartier (positive Beispiele)

Maßnahme	Fotos: Stadt Wuppertal, K.PLAN, Ute Bucker	
Dachbegrünung - extensiv - intensiv		
Fassadenbegrünung		
Farbgestaltung und Materialauswahl der Oberflächen - Verkehrsflächen - Hauswände - Nutzflächen		
Bewegtes Wasser - Springbrunnen - Wasserläufe - Wasserwand - Wasserspielplatz		
Beschattung durch Bäume/ Elemente		

2.6 Die Hitzebetroffenheit im Stadtgebiet von Wuppertal

Da es in der vorliegenden Untersuchung um die Abgrenzung von jetzigen und zukünftigen Hitzegebieten mit Bezug zum Menschen geht, wurde in einem weiteren Schritt die Bevölkerungsverteilung auf der Grundlage von Wohnblöcken (Quelle: Stadt Wuppertal) herangezogen. Je größer die Einwohnerdichte ist, desto mehr Menschen sind einer möglichen Hitzebelastung ausgesetzt. Bei einem Aufenthalt in den Innenstädten tagsüber kann einer Hitzebelastung durch Standortwechsel und Vermeidung von besonnten Standorten entgegengewirkt werden. Da aber ein Verlassen der Innenstädte bei Hitze- wetherlagen auch aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten unerwünscht ist, ist hier Schutz vor Hitzeeinwirkung am Tag notwendig. Die Wohnbevölkerung kann insbesondere nachts einer Hitzebelastung durch mangelnde Abkühlung im Bereich der städtischen Wärmeinsel nicht ausweichen. Innenstadtbe- reiche, die überwiegend als Dienstleistungszentrum genutzt werden und einen nur geringen oder durchschnittlich hohen Anteil an Wohnbevölkerung haben, sind Handlungsgebiete mit einer anderen Anfälligkeit als reine Wohngebiete.

Die folgenden Faktoren spielen eine Rolle für das Mortalitätsrisiko bei einer Hitzewelle:

- Soziodemographische Faktoren: Risikogruppen sind ältere Menschen ≥ 65 Jahre und Kleinkinder < 3 Jahre, Frauen sind stärker betroffen als Männer.
- Dauer: Einzelne, isolierte Hitzetage sind besser verträglich als länger andauernde Hitze- perioden. Nach den Klimaprojektionen ist zukünftig neben der generellen Zunahme der heißen Tage vor allem auch eine Zunahme der Länge der Hitzewellen zu erwarten.
- Jahreszeit: Im Frühjahr hat eine Hitzewelle größeren Einfluss als im Sommer, da der menschliche Organismus dann noch nicht an große Hitze angepasst ist und deshalb sensibler auf Hitzebelastungen reagiert. Die aufgrund des Klimawandels zu erwartende Verschiebung der ersten „Heißen Tage“ von Ende Juni auf Anfang April führt daher zu einem vermehrten Auftreten von besonders unverträglichen Hitzewellen.
- Zeitpunkt: Die Nachttemperaturen sind bedeutender als die Tagesmaxima, da die nächtliche Erholungsphase für den menschlichen Körper besonders wichtig ist. Belas- tend sind sogenannte „Tropennächte“, in denen die Lufttemperatur nicht unter $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ sinkt.

Die benötigten Ausgangsdaten zur räumlichen Abgrenzung und Priorisierung zur Maßnahmenumset- zung von Gebieten mit einer Belastung durch Hitze für den Menschen sind:

<u>Eingangsdaten</u>	<u>Parameter</u>
a) Bereiche der Städtischen Wärmeinsel (Ist und Zukunft):	Hitzebelastung
b) Einwohnerdichte in den Stadtvierteln von Wuppertal:	Anfälligkeit
c) Anteil der Einwohner über 65 Jahre:	Anfälligkeit
d) Anteil von Kindern unter 3 Jahren:	Anfälligkeit
e) Hitzesensible Einrichtungen:	Anfälligkeit

Hitzesensible Einrichtungen sind Krankenhäuser, Altenheime und Kindertagesstätten. Da aus dem Stadtentwicklungskonzept Aussagen über zukünftig geplante KiTas vorliegen, wurden auch diese in die Berechnungen der Hitzebetroffenheiten mit einbezogen. Die vorliegenden Informationen wurden miteinander verschnitten und als Ergebnis in der Karte der Hitzebetroffenheit (Abb. 2.35) dargestellt.

Die Abbildung 2.35 zeigt für das Stadtgebiet von Wuppertal die Abstufung der Hitzevulnerabilität, also einer abgestuften Anfälligkeit gegenüber Hitze anhand der Bevölkerungsdichte, Bevölkerungsstruktur und den sensiblen Einrichtungen. Dabei wurden die potentiellen Hitzeareale im Stadtgebiet sowohl im Ist-Zustand wie auch im Zukunftsszenario berücksichtigt. Die mittlere Bevölkerungsdichte für Wuppertal liegt, nur bezogen auf die bebauten Flächen im Stadtgebiet, bei rund 6.000 Einwohnern pro km². Für die Anfälligkeit eines Gebietes gegenüber einer klimatischen Belastung des Menschen spielen neben dem Hitzepotential auch soziodemographische Faktoren wie das Alter der Bevölkerung eine Rolle. Das Gewicht soziodemographischer Aspekte wird in der Zukunft weiter zunehmen, da der demographische Wandel zu einer Zunahme der Bevölkerungsgruppe älterer Menschen führen wird.

Laut „Handlungsprogramm Demografischer Wandel - Strategien zum Umgang mit den demografischen Herausforderungen“, herausgegeben von der Stadt Wuppertal (2010), ist die prognostizierte negative Entwicklung der Bevölkerungszahlen („Schrumpfung“) und die Verschiebung der Anteile der Altersgruppen an der Gesamtbevölkerung („Alterung“) auf absehbare Zeit nicht aufzuhalten oder umzukehren sondern allenfalls abzumildern. Diese Tendenz gilt auch weiterhin als wahrscheinlich. Eine Teilkompensation wird voraussichtlich durch Zuwanderung erfolgen („Internationalisierung“). Der aktuellen Bevölkerungsprognose zufolge wird sich der Bevölkerungsrückgang weiter fortsetzen. Da zukünftige Elterngenerationen zunehmend aus geburtenschwachen Jahrgängen gebildet werden, ist der fortschreitende Alterungs- und Schrumpfungsprozess unausweichlich und wird auf lange Sicht nicht korrigierbar sein. Die Anzahl ältere Menschen steigt in Wellenbewegungen bis 2040 von 32.000 auf über 40.000 Einwohner um fast 25 % an, ihr Anteil an der Bevölkerung verdoppelt sich fast.

Die Bertelsmannstiftung kommt in ihrem „Demographiebericht“ für Wuppertal auf ähnliche Zahlen. Demnach wird der Anteil der 65- bis 79-Jährigen von 14,8% im Jahr 2016 auf 16 % im Jahr 2030 zunehmen. Der Anteil der ab 80-Jährigen steigt sogar von 6,2 % (2016) auf 14,8 % im Jahr 2030. Dies führt zudem zu stärkerer Auslastung und notwendigen Neubaus von Einrichtungen des Sozial- und Gesundheitswesens. Im Stadtgebiet von Wuppertal kann es zudem in Zukunft zu einer Verschiebung in der räumlichen Verteilung der betroffenen Bevölkerungsgruppen kommen. Durch die hitzeangepasste Planung von neuen Krankenhäusern und Altenheimen kann dies einerseits gesteuert werden, andererseits können in Zukunft ganz andere Stadtviertel als heute von einer Überalterung betroffen sein. Während man früher eher an seinen Wohnstandort verblieb, wird die Bevölkerung zunehmend flexibler und wechselt auch im Alter noch den Wohnsitz.

Die in der nachfolgenden Karte der Hitzebetroffenheit (Abb. 2.35) ausgewiesenen Belastungsgebiete beziehen sich deshalb auf die IST-Situation der Bevölkerungsverteilung, auch wenn die zukünftigen Hitzeareale schon mit eingeflossen sind. Eine Beschreibung der verschiedenen Typen der Hitzebetroffenheit erfolgt in der Tabelle 2.2. auf Seite 58.

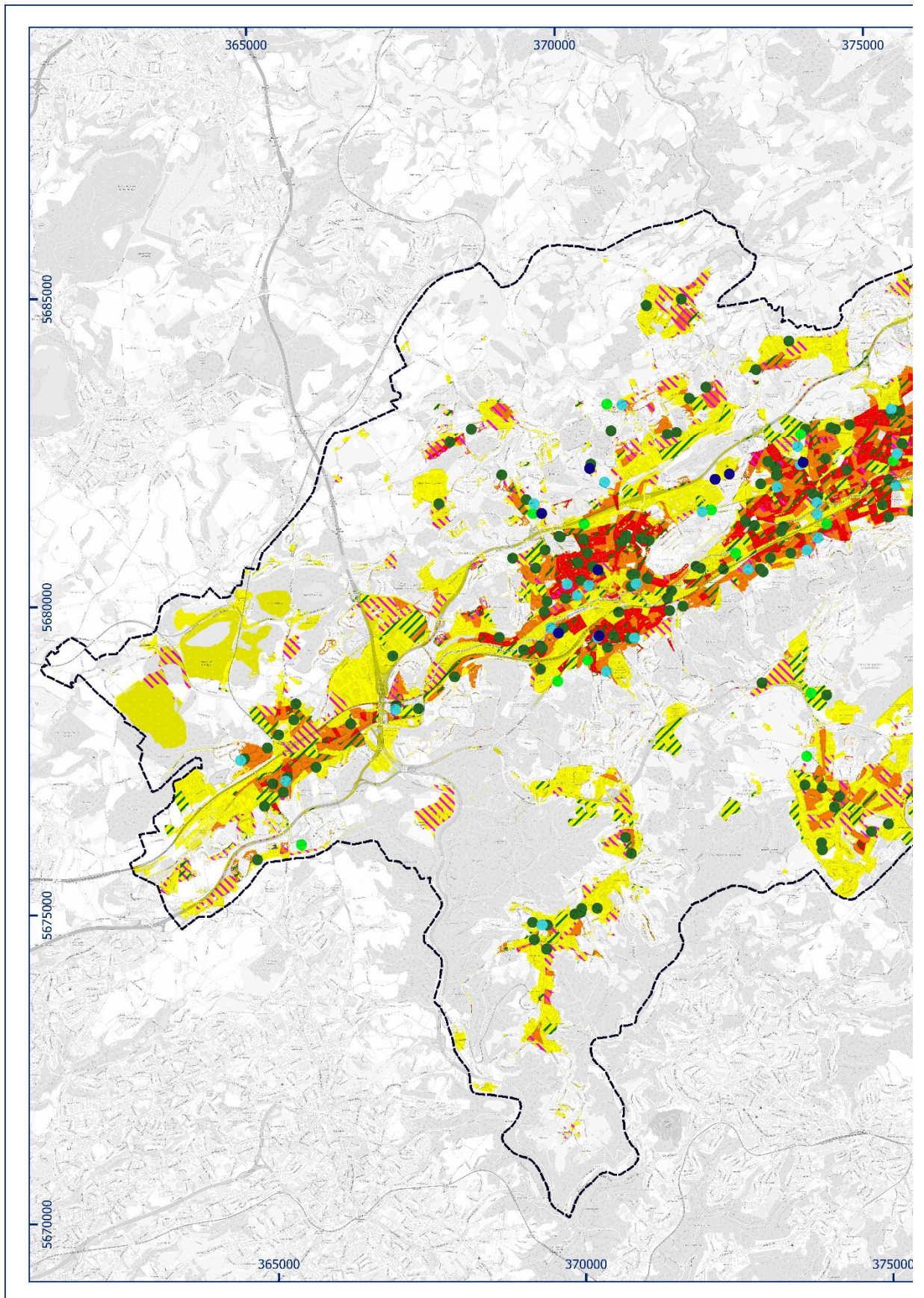
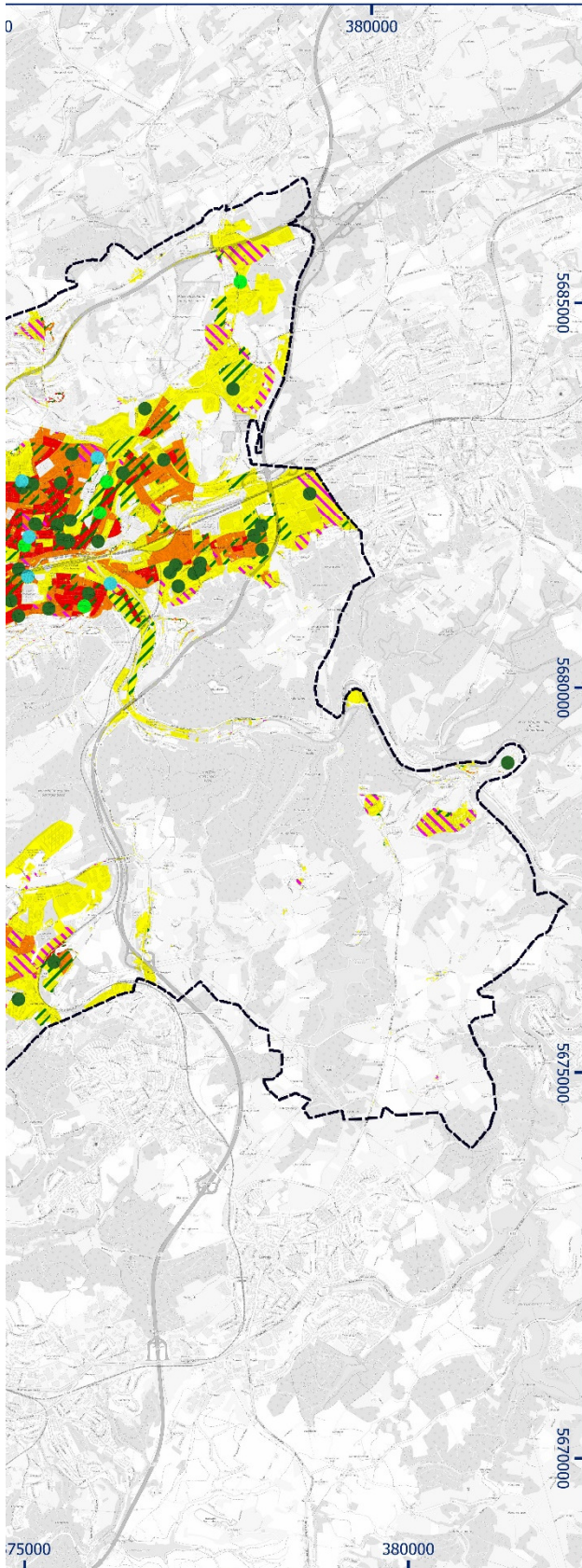


Abb. 2.35 Karte der Hitzebetroffenheit der Stadt Wuppertal (Die Hitzebetroffenheitskarte ist in hoher Auflösung auch im digitalen Anhang des Berichts einzusehen)



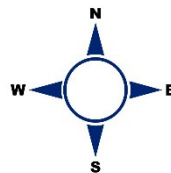
Stadt Wuppertal

Karte der Hitzebetroffenheit

Gebiete mit einer Hitzebelastung

- Typ A: Keine Wohnbevölkerung bis zu einer durchschnittlichen Bevölkerungsdichte im Bereich der Hitzeinsel
- Typ B: Durchschnittliche bis zu einer hohen Bevölkerungsdichte im Bereich der Hitzeinsel
- Typ C: Überdurchschnittlich hohe Bevölkerungsdichte im Bereich der Hitzeinsel
- Typ D: überdurchschnittlich hoher Anteil an Personen ab 65 Jahren im Bereich der Hitzeinsel
- Typ E: überdurchschnittlich hoher Anteil an Kindern unter 3 Jahren im Bereich der Hitzeinsel
- Kindertagesstätte im Bereich der Hitzeinsel
- geplante Kindertagesstätte im Bereich der Hitzeinsel
- Krankenhaus im Bereich der Hitzeinsel
- Pflegeheim im Bereich der Hitzeinsel
- Stadtgrenze Wuppertal

Stand: Oktober 2018



STADT WUPPERTAL

1 0 1 2 km



© OpenStreetMap-Mitwirkende

Tab. 2.2 Gebiete mit einer Hitzebelastung im Stadtgebiet von Wuppertal

Typ der Hitzebetroffenheit	Beschreibung
<p> Typ A: Keine Wohnbevölkerung bis zu einer durchschnittlichen Bevölkerungsdichte im Bereich der Hitzeinsel</p>	<p>Eine nur generelle Anfälligkeit gegenüber der Hitzebelastung besteht in Gebieten mit einer nur geringen bis durchschnittlichen Einwohnerdichte bis 6.000 EW/km². In diese Stufe fallen viele Industrie- und Gewerbeflächen, die in der Regel keine oder nur eine sehr geringe Wohnbevölkerung aufweisen. Gleiches gilt für die Dienstleistungs- und Shoppingbereiche in den Wuppertaler Kernräumen. Die randlichen Siedlungsbereiche entlang der Talachse sowie die Einzelsiedlungen wie Ronsdorf und Cronenberg weisen auch eine nur unterdurchschnittliche Bevölkerungsdichte auf.</p>
<p> Typ B: Durchschnittliche bis zu einer hohen Bevölkerungsdichte im Bereich der Hitzeinsel</p> <p> Typ C: Überdurchschnittlich hohe Bevölkerungsdichte im Bereich der Hitzeinsel</p>	<p>Wohngebiete im Bereich der Hitzeareale mit durchschnittlich hohen Einwohnerdichten bis 15.000 EW/km² (Mittelwert plus einfache Standardabweichung) fallen in den Typ B der Hitzebetroffenheit (orange Bereiche in der Abb. 2.35). Zusammen mit dem Typ C (überdurchschnittlich hohe Bevölkerungsdichte über 15.000 EW/km², rote Bereiche in der Abb. 2.35) bilden sie die Kernbereiche der Siedlungen außerhalb der Shoppingareale und der Gewerbegebiete. Die Typen B und C zeigen eine erhöhte bzw. hohe Betroffenheit gegenüber einer Hitzebelastung, da sich in diesen Gebieten die Wohnbevölkerung konzentriert. Sie gehören fast vollständig schon im IST-Zustand zu den hoch belasteten Bereichen.</p>
<p> Typ D: überdurchschnittlich hoher Anteil an Personen ab 65 Jahren im Bereich der Hitzeinsel</p>	<p>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 die Anzahl der über 65-jährigen an den Einwohnern eines Wohnblocks (Quelle: Stadt Wuppertal) ermittelt.</p> <p>In der Karte der Hitzebetroffenheit werden die drei Klassen der Bevölkerungsdichte von Bereichen mit einem überdurchschnittlichen Anteil von Einwohnern ab 65 Jahre überlagert. Diese Quartiere weisen einen hohen Handlungsdruck für Anpassungsmaßnahmen auf, da hier ein hohes Hitzepotential bei geringen Durchlüftungsmöglichkeiten zusammenkommt mit einem hohen Anteil an der anfälligen Bevölkerungsgruppe der über 65jährigen. Sie fallen daher unabhängig von der Gesamtbevölkerungsdichte in die Stufe der extrem hohen Anfälligkeit gegenüber einer Hitzebelastung.</p>
<p> Typ E: überdurchschnittlich hoher Anteil an Kindern unter 3 Jahren im Bereich der Hitzeinsel</p>	<p>Kleinkinder haben noch nicht die Fähigkeit entwickelt, sich an extreme Temperaturen anzupassen. Analog zur Abgrenzung der Betroffenheit älterer Menschen wurden für die Wuppertaler Siedlungsbereiche Areale abgegrenzt, in denen es überdurchschnittlich viele Kinder unter 3 Jahren gibt. Dieser Typ E der Hitzebetroffenheit ist wiederum als grün schraffierte</p>

	<p>Fläche den anderen Hitzebetroffenheiten überlagert und weist auf einen hohen Handlungsbedarf hin.</p>
<ul style="list-style-type: none"> ● Kindertagesstätte im Bereich der Hitzeinsel ● geplante Kindertagesstätte im Bereich der Hitzeinsel 	<p>Kindertagesstätten, die aktuell im Bereich der Hitzeareale liegen oder gebaut werden, sollten durch Klimaanpassungsmaßnahmen zukunftsfähig gestaltet werden. Kinder können insbesondere in den Außenbereichen bei Hitzewellen einer starken Wärmeeinwirkung ausgesetzt werden. Abhilfe kann geschaffen werden indem:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Außenbereiche verschattet werden, - einer Gebäudeaufheizung durch Begrünung, Dämmung und hellem Anstrich entgegengewirkt wird, - Erzieher und Erzieherinnen das Verhalten der Kinder steuern und geeignete Rahmenbedingungen schaffen (reichlich trinken, keine Anstrengungen in der Sonne).
<ul style="list-style-type: none"> ● Krankenhaus im Bereich der Hitzeinsel ● Pflegeheim im Bereich der Hitzeinsel 	<p>Bei einer Lage von Krankenhäusern, Alten- und Pflegeheimen im Bereich der Hitzeareale muss aktiver Hitzeschutz gestartet werden. Alte und kranke Menschen leiden besonders unter Hitze und können im schlimmsten Fall durch zu große Hitzeeinwirkungen sterben. Abhilfe kann geschaffen werden indem:</p> <ul style="list-style-type: none"> - das Pflegepersonal Angebote macht, um auf das Verhalten der Menschen einzuwirken (reichlich trinken, keine Anstrengungen in der Sonne), - einer Gebäudeaufheizung durch Beschattung, Begrünung, Dämmung und hellem Anstrich entgegengewirkt wird, - kühle Plätze zur Erholung von der Hitze angeboten werden, - bewegtes Wasser zur Abkühlung genutzt wird

3. Entwicklung einer Gesamtstrategie zur Klimafolgenanpassung mit Handlungsempfehlungen und Maßnahmen zum Thema Hitze in der Stadt

Jede Strategie zur kommunalen Anpassung an die Folgen des Klimawandels steht unter dem übergeordneten Leitbild einer „nachhaltigen Stadtentwicklung“. Dabei geht es um die Sicherung und Verbesserung der Lebensqualität in einer Stadt unter der Voraussetzung, notwendige räumliche und wirtschaftliche Entwicklungen zuzulassen. Um eine Gesamtstrategie zur Hitzeanpassung entwickeln zu können, müssen die drei Kernfragen behandelt werden:

- WARUM?	<ul style="list-style-type: none"> - lokale Ausprägungen des Stadtklimas in Wuppertal (städtische Hitzeinseln) - Auswirkungen des Klimawandels in den nächsten 50 Jahren (extreme Zunahme der sommerlichen Hitze)
- WO?	<ul style="list-style-type: none"> - Lage der Hitzeareale im Stadtgebiet von Wuppertal - Räumliche Verteilung der betroffenen Bevölkerungsgruppen - Lage der hitzesensiblen Einrichtungen
- WOMIT?	<ul style="list-style-type: none"> - Handlungskarte mit Empfehlungen zur Hitzeanpassung - Katalog möglicher Anpassungsmaßnahmen - Integration klimaangepasster Maßnahmen in die Planungsprozesse der Stadt Wuppertal - Entwicklung von Umweltzielen und lokalen Projekten zur Klimaanpassung - Controllingkonzept zur Verfestigung der Klimaanpassung

Die Bausteine dieser Analyse (Abb. 3.1) behandeln nacheinander diese drei Grundfragen. Im Kapitel 2 wurden die Areale mit einer aktuellen und mit zukünftiger zusätzlicher Hitzebelastung herausgearbeitet. Aus diesen Informationen wurde die Anfälligkeit der Wuppertaler Bevölkerung gegenüber sommerlicher Hitze analysiert und in verschiedene Stufen der Betroffenheit eingeteilt. Eine Fortführung der hier durchgeführten Arbeiten wird ab März 2019 im Integrierten Klimaschutzkonzept mit dem Teil zur Klimaanpassung erfolgen.



Abb. 3.1 Bausteine der Analyse zur Klimawandelbetroffenheit der Stadt Wuppertal

Im Zentrum dieser Gesamtstrategie zur Klimafolgenanpassung steht eine „Handlungskarte Klimaanpassung – Themenfeld Hitze“ für die Stadt Wuppertal (Abb. 3.4 auf Seite 70/71). In dieser Karte werden alle Flächen ausgewiesen, die momentan oder auf das Zukunftsszenario 2050 bezogen ein Konfliktpotential im Hinblick auf den Klimawandel unter dem Aspekt Hitze aufweisen. Neben Belastungsgebieten unter dem Aspekt Hitze werden in der Handlungskarte auch die Belastungsgebiete der Gewerbe- und Industrieflächen und die Restriktionsflächen der Frischluftschneisen und Luftleitbahnen sowie der aus klimatischer Sicht schutzwürdigen Grünflächen und Freiräume ausgewiesen. Diese zentrale Handlungskarte wird im Kapitel 3.1 ausführlich beschrieben.

Zukünftig soll die Handlungskarte und damit das Themenfeld „Hitze“ in alle Planungsprozesse der Stadt Wuppertal integriert werden. Sie enthält neben der Darstellung des Konfliktpotentials auch schon einen Überblick über notwendige Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel und Hinweise, die bei Planungsprozessen zu berücksichtigen sind. Im Kapitel 3.2 werden die verschiedenen Anpassungsmaßnahmen zum Themenfeld „Hitze“ in Form von Steckbriefen beschrieben und in einem Katalog zusammengestellt. Die Maßnahmensteckbriefe werden vier verschiedenen räumlichen Ebenen zugeordnet und reichen vom Verhalten eines einzelnen Menschen über die Gebäude und Quartiersebene bis zur Ebene der Gesamtstadt. Eine Berücksichtigung des nachfolgend abgebildeten Ablaufschemas (Abb. 3.2) zur Integration von Klimaanpassung in die Planungsprozesse der Stadt Wuppertal unter Verwendung der „Handlungskarte Klimaanpassung – Themenfeld Hitze“ ist bei allen anfallenden Planungen im Stadtgebiet notwendig. Dabei gilt es, für jedes Planvorhaben einen Abgleich mit der Handlungskarte durchzuführen und eine Optimierung des Vorhabens im Sinne einer klimatischen Verbesserung und damit Steigerung der Lebensqualität zu erreichen.

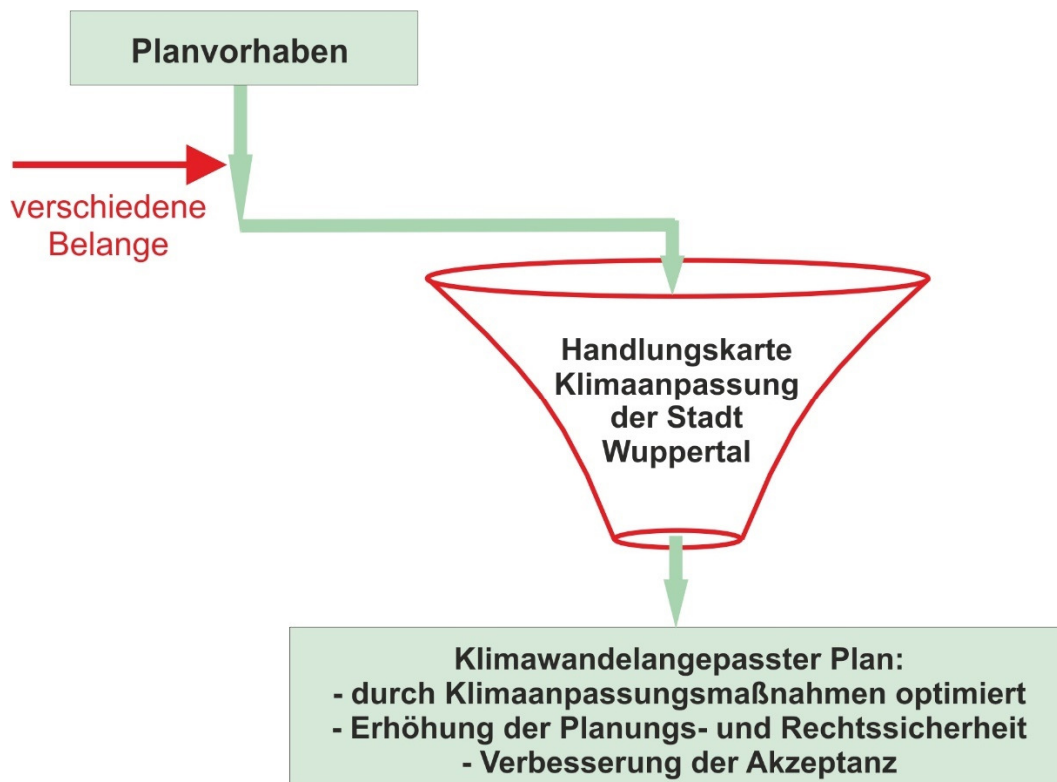


Abb. 3.2 Die Handlungskarte Klimaanpassung als „Filter“ für kommunale Planungen

Die Handlungskarte wirkt dabei wie ein Filter, den zukünftig alle Planungen im Stadtgebiet durchlaufen sollten. Für den Einstieg in den Filter der Handlungskarte gibt es zwei völlig unterschiedliche Ausgangsfragestellungen:

- A Es ist eine Flächenentwicklung oder Nutzungsänderung einer Fläche (stadteigene Fläche oder Fläche eines Investors) vorgesehen.
- B Innenentwicklung: Es sollen Maßnahmen zur Optimierung der Lebensqualität in Wuppertal ergriffen werden.

Variante A (Flächenentwicklung):

Bevor es zu einer Entscheidung zugunsten einer konkreten Fläche kommt, muss bereits an dieser Stelle verwaltungsintern mit Hilfe der „Handlungskarte Klimaanpassung“ abgeglichen werden, ob die angestrebte Fläche ein dort ausgewiesenes Gefährdungspotential aufweist. Ist dies zutreffend, so muss geklärt werden, um welche Art von Belastungsgebiet es sich handelt. Ab diesem Zeitpunkt muss eine Belastung, wenn zutreffend, bei jedem weiteren Schritt im Planungsverfahren mit berücksichtigt werden. Sollte es sich beispielsweise um ein Bauvorhaben im Außenbereich beziehungsweise auf bislang unbebauter Fläche handeln, muss zu Beginn der Planungen abgeklärt werden, ob es sich um eine Luftleitbahn oder ein Kaltluftentstehungsgebiet handelt, die beeinträchtigt werden könnten.

Handelt es sich um die Neuentwicklung einer Fläche, kann eine Wettbewerbsausschreibung durchgeführt werden. Dabei wird eine genaue Planungsaufgabe für ein Gebiet veröffentlicht. Bei einer solchen Auslobung hat die Stadt eine Steuerungsmöglichkeit und somit gute Möglichkeiten, Klimaanpassungsmaßnahmen in Form von Dach- und Fassadenbegrünungen oder von Bebauung freizuhalten Flächen zu integrieren. In der Regel erfolgen Flächenentwicklungen aber ohne Wettbewerbsausschreibungen. Will ein Grundstückseigentümer oder ein Investor eine bestimmte Fläche entwickeln, kann die Stadt außerdem im aufzustellenden Bebauungsplan ganz konkrete Vorgaben und Auflagen bezüglich der Klimaanpassungsmaßnahmen für das angestrebte Bauvorhaben machen. Die Aushandlungsprozesse zwischen Stadt und Investor finden in den meisten Fällen vor Beginn des offiziellen Aufstellungsverfahrens für einen Bebauungsplan statt. Als Hauptargument seitens der Investoren gegen Klimaanpassungsmaßnahmen werden fast immer die zu hohen Kosten angeführt. Für solche Fälle besteht immer die Möglichkeit, in Abstimmung mit dem Investor aus einem Maßnahmenkatalog auf der Grundlage der Maßnahmensteckbriefe die für das Bauvorhaben passenden Maßnahmen auszuwählen und dies nach Möglichkeit vertraglich zu fixieren. Dabei ist der Maßnahmenkatalog so breit angelegt, dass einer klimawandelangepassten Planung bzw. Bebauung immer ausreichend Raum gegeben werden kann, wenn auch nicht immer alle möglichen Maßnahmen zur Anwendung kommen. Dies gilt sowohl für Wohnbauvorhaben als auch für Industrie- und Gewerbegebiete. Darüber hinaus sollten die Festsetzungsmöglichkeiten bei B-Plänen wie Dach- und Fassadenbegrünung, Grundflächenzahl (zwecks Reduzierung der Bodenversiegelung) oder Fassadengestaltung genutzt werden, um Klimaanpassungsmaßnahmen in die Bebauung zu integrieren. Zum Beispiel kann in einem B-Plan eine helle Fassadenfarbe festgelegt werden, die die Albedo (die Reflexion von direkter Sonneneinstrahlung) erhöhen und verhindern würde, dass sich die Gebäude im Sommer zu stark aufheizen. Solche Festsetzungen können dort erfolgen, wo dem keine städtebaulichen Gründe grundsätzlicher Natur wie z. B. die Ortsbildprägung oder Anpassung an die Umgebung entgegenstehen. Wenn eine solche Festsetzung weniger konkret sein soll oder der Planungsträger ganz darauf verzichten will, sollten die klimatischen Vorzüge einer helleren Fassadenfarbe den Investoren bzw. Bauherren zumindest verdeutlicht werden.

Zielführend ist eine Sensibilisierung aller Beteiligten bezüglich auftretender Synergieeffekte. Durch die Darstellung von „win-win“-Situationen können auch wirtschaftliche Vorteile kommuniziert werden. Eine weitere Möglichkeit der Integration von Klimaanpassungsmaßnahmen in eine Flächenentwicklung ist die Nutzung von möglicherweise vorhandenen Fördertöpfen auf Landes- oder Bundesebene.

Variante B (Innenentwicklung):

- Wird im Rahmen von städtischen Zielvorgaben eine Optimierung der Lebensqualität in einem Wuppertaler Stadtteil im Zusammenhang mit dem Klimawandel angestrebt, so können auf der Grundlage der Handlungskarte Flächen im Wuppertaler Stadtgebiet ausgewählt werden, die eine aktuelle oder zukünftige klimatische Belastung aufweisen. Abhängig von den dargestellten Konfliktpotentialen werden entsprechende Klimaanpassungsmaßnahmen vorgeschlagen. Beispielsweise bieten sich bestimmte dicht bebaute Gebiete speziell für Fassaden- und Dachbegrünungsmaßnahmen an.
- Bei einer Neu- oder Umgestaltung von Flächen oder Quartieren bietet sich die Gelegenheit, Klimaanpassungsmaßnahmen im Bestand zu integrieren. Als fester Bestandteil sollte bei allen Veränderungen geprüft werden, ob und in welchem Umfang Maßnahmen zur Hitzereduktion notwendig und möglich sind. Durch eine klimaangepasste Planung kann eine zukunftsfähige Gestaltung und damit eine erhöhte Resilienz gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels erreicht werden.

Die Anwendung der „Handlungskarte Klimaanpassung“ sollte möglichst frühzeitig im Planungsprozess angesetzt werden, also schon bei der Planungskonferenz, die zu Beginn des Planverfahrens in Wuppertal steht. Die große Herausforderung in diesem Zusammenhang für die kommenden Jahre wird es sein, Klimaanpassungskonzepte nicht nur parallel zum kommunalen Planungsalltag parat liegen zu haben, sondern sie in die kommunalen Planungsabläufe zu integrieren. Die Stadt Bochum hat mit den Planungen zum Großprojekt „Ostpark“ beispielsweise genau diesen Weg beschritten (www.plan4change.de). Auf diesem Wege blieben es nicht bloß gut gemeinte Handlungsempfehlungen und hilfestellende Ratgeber, sondern feste, und vor allem für die beteiligten Akteure verbindliche Bestandteile der Kommunalplanung, wenn möglich und nötig in Satzungsform. Die Bereitschaft zur Integration von Klimaanpassungsmaßnahmen in die kommunalen Planungen ist von Seiten der Stadt Wuppertal gegeben. Allerdings ist die Stadt häufig nicht selbst Eigentümerin der Flächen. Auch das Fehlen von finanziellen Mitteln auf Seiten der Stadt oder des Investors muss als ernsthaftes Hindernis angesehen werden.

Wichtig ist vor allem, dass im Rahmen der Ämterbeteiligung den jeweiligen Bearbeitern während des Erstellungsprozesses immer klar ist, um welche Art von klimatischem Belastungsraum es sich handelt und welche Möglichkeiten für Abhilfe versprechende Klimaanpassungsmaßnahmen sich bieten. Diese lassen sich direkt aus der Handlungskarte Klimaanpassung entnehmen. An dieser Stelle soll außerdem darauf hingewiesen werden, dass es für Flächen, die in keinem der auf der Handlungskarte ausgewiesenen klimatischen Belastungsräumen liegen, ebenso wünschenswert ist, dass Anpassungsmaßnahmen berücksichtigt werden. Mit möglichen erheblichen Änderungen des Klimas in der Zukunft sind potenzielle Anpassungsmaßnahmen verbunden, deren theoretische Durchführung bereits zum heutigen Zeitpunkt ermöglicht werden sollte. Klimaanpassungsmaßnahmen führen immer auch zu einer

Steigerung der Aufenthalts- und Wohnqualität und haben damit positive Auswirkungen auf die Lebensqualität in der Stadt Wuppertal.

Der größte Spielraum für Anpassungsmöglichkeiten liegt vor allem bei Neubauprojekten oder städtebaulichen Entwicklungen. Der größte Handlungsbedarf liegt aber im Bestand.

Wichtige Maßnahmen neben dem klassischen Bauleitplanverfahren sind:

- Klimagerechte Planung von Straßenräumen (Artenauswahl, Anzahl und Anordnung von Bäumen und sonstigem Grün, etc....),
- Planung von öffentlichen Grün- und Freiflächen,
- Klimawandelgerechte Entwässerungsplanung, Rückhalteflächen, Abkopplung etc.,
- Anpassungsmaßnahmen an privaten Gebäuden (Fassadenbegrünung und -farbe, Innenhofentsiegelung, ggf. Dachbegrünung, Regenrückhaltung auf dem Grundstück).
- Freihalten von Frischluftbahnen

Dies bedeutet für den Instrumentenkasten, stärker auch folgende Aspekte zu beachten:

- Information von Eigentümern, Sensibilisierung und Verhaltensempfehlungen für die Bevölkerung,
- Berücksichtigung von Anpassungsmaßnahmen in Stadtteilsanierungen, Stadterneuerungsstrategien, etc.,
- Integration von Klimaanpassung auch in die Planung von öffentlichen Plätzen,
- bei Wettbewerben Vorgaben für Klimaanpassungsmaßnahmen formulieren,
- vertragliche Vereinbarungen mit Bauherren und Investoren (z. B. Städtebauliche Verträge),
- Vorbildfunktion der Stadt durch klimaangepasste Sanierung der städtischen Liegenschaften

Eine weitreichende Kommunikation der „Handlungskarte Klimaanpassung – Themenfeld Hitze“ in die Öffentlichkeit hinein mittels Flyer, Broschüren, Veranstaltungen, in sozialen Medien und über die Presse erleichtert die Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen, auch im Bereich privater Grundstücksflächen. Im anstehenden integrierten Klimaschutzkonzept ist ein wesentlicher Schwerpunkt die Akteursbeteiligung und der Netzwerkaufbau.

Controllingkonzept

Zur Verstetigung der Klimaanpassung im kommunalen Planungsalltag der Stadt Wuppertal bedarf es eines mehrstufigen Controllingkonzeptes. Die für die Integration von Klimaanpassungsmaßnahmen Verantwortlichen aus den entsprechenden Ressorts haben die Aufgabe, die Grundlageninformationen aktuell zu halten, eine Checkliste für Planungsvorhaben abzuarbeiten und die städtischen Ziele sowie erfolgte Anpassungsmaßnahmen zu evaluieren. Dabei sind einige Aufgaben permanent zu berücksichtigen und die Aktualisierungen im Zeitraum von rund 5 Jahren bzw. 10 Jahren durchzuführen. Die Kommunalpolitik sollte dabei als Steuerungsinstrument zur Einhaltung der notwendigen Schritte fungieren. Die Aufgaben können reichen von der Erstellung von Berichten zu den Fortschritten der kommunalen

Klimaanpassung, der Formulierung oder Aktualisierung von Zielen bis zur Bereitstellung von notwendigen Ressourcen.

1. Aktualisierung der Grundlageninformationen

Überwachung der Entwicklung der städtischen Wärmeinsel (fortlaufend)

Da die Hitzebelastung eine zentrale Rolle für die Ausweisung von Gefährdungspotentialen im Zusammenhang mit dem Klimawandel spielt, ist eine permanente Überprüfung der Entwicklung der städtischen Wärmeinsel notwendig. Die Daten der Messstellen für die Luftmessberichte Wuppertal, die Landesmessstationen sowie die Station des Deutschen Wetterdienstes im Stadtgebiet von Wuppertal sowie periodisch durchgeführte Messungen während sommerlicher Hitzeperioden stellen dazu eine ausreichende Datengrundlage zur Verfügung. Auf der einen Seite kann die mögliche Zunahme von Hitzetagen in den Innenstadtbereichen verfolgt werden. Auch die Intensität der städtischen Hitzeinsel, die Temperaturdifferenz zwischen Freiland und Innenstädten in sommerlichen Strahlungsnächten mit einer Belastung durch nächtliche Hitze, muss permanent überwacht werden.

Aktualisierung der Zukunftsprojektionen (rund alle 5 Jahre)

Bei einer zukünftigen Fortschreibung der internationalen IPCC-Berichte (Intergovernmental Panel on Climate Change) sowie der regionalen Klimaprojektionen ist auch eine Aktualisierung der Zukunftsszenarien für Wuppertal notwendig. Neu herausgegebene Berichte sollen zeitnah berücksichtigt werden und müssen in das kommunale Handeln einfließen. Da die Prognosen der zukünftigen Klimaentwicklung mit vielen Unsicherheiten verbunden sind, sollte die Berücksichtigung des Klimawandels bei Planungsfragen immer auf den neuesten verfügbaren Ergebnissen fußen.

Aktualisierung der Klimatopkarte (rund alle 10 Jahre)

Die GIS-basierte Berechnung der Klimatopkarte für Wuppertal, im Ist-Zustand ebenso wie im Zukunftsszenario 2050, erleichtert die zukünftige Aktualisierung dieses Kartenmaterials. Bestimmend für die Einteilung des Stadtgebietes in Klimatope ist die dominierende Nutzungsart sowie die thermale Situation an dem jeweiligen Ort. Entsprechend muss die Karte des Zukunftsszenarios aktualisiert werden, sobald die Ergebnisse der neuen Klimazukunftsprojektionen vorliegen. Beide Karten brauchen eine Aktualisierung, sobald sich die Flächennutzungen im Wuppertaler Stadtgebiet in dem Ausmaße geändert haben, dass diese Änderungen klimawirksam werden. In der Regel ist dies alle 10 Jahre der Fall.

2. Checkliste für Planungsvorhaben

Überprüfung von Bauvorhaben auf notwendige Anpassungsmaßnahmen

- Zunächst ist eine Überprüfung der Lage der betroffenen Fläche im Wuppertaler Stadtgebiet notwendig. Neben der möglicherweise vorhandenen Belastung durch Hitze müssen weitere Aspekte des Klimawandels wie Überflutung durch Extremniederschläge, Sturm, Trockenheit abgeprüft werden. Ab diesem Zeitpunkt muss eine Belastung, wenn zutreffend, bei jedem weiteren Schritt im Planungsverfahren mitberücksichtigt werden.
- Für das Planungsvorhaben muss im Folgenden eine Zusammenstellung notwendiger und sinnvoller Anpassungsmaßnahmen entsprechend der klimatischen Belastung gemacht werden. Hierzu sind unter anderem die Informationen aus der „Handlungskarte Klimaanpassung – Themenfeld Hitze“ und der Maßnahmenkatalog heranzuziehen. Liegt ein bestehender Bebauungsplan vor, der

fortgeschrieben wird, sollte dieser ressortübergreifend auf die Integration von entsprechenden Klimaanpassungsmaßnahmen überprüft werden.

- Begleitend zum Planungsprozess ist eine Diskussion der notwendigen Maßnahmen mit beteiligten Akteuren, der Öffentlichkeit sowie der Politik vorzusehen. Auch die verschiedenen Bereiche und Ressorts müssen in stärkerem Maße miteinander im Austausch stehen und kommunizieren.

Aktualisierung des Maßnahmenkatalogs zur Anpassung an den Klimawandel

In einem Zeitabstand von maximal 5 Jahren muss der Maßnahmenkatalog überarbeitet und aktualisiert werden. Erkenntnisse aus der Evaluierung von umgesetzten Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel aus Wuppertal genauso wie aus anderen Städten sollen in den Maßnahmenkatalog einfließen. Die Klimaanpassung in der Stadtplanung steckt noch in den Anfängen, gesicherte Evaluierungsergebnisse liegen daher erst in einigen Jahren vor. Neue Erkenntnisse für die Möglichkeiten zur Klimaanpassung sowie eventuelle technische Neuentwicklungen müssen neu in den Maßnahmenkatalog aufgenommen werden. Dabei sind die neuen Maßnahmen entsprechend ihrer Maßstabsebene (Stadtstruktur, Quartiersebene, Gebäudeebene) und ihrer Synergien und Zielkonflikte zu beurteilen.

Aktualisierung der Belastungsgebiete in der „Handlungskarte Klimaanpassung“

Aus der im Rhythmus von bis zu 10 Jahren stattfindenden Aktualisierung der Klimatopkarten des IST-Zustandes und des Zukunftsszenarios verbunden mit aktuellen regionalen Klimaprojektionen ergibt sich die Notwendigkeit, die „Handlungskarte Klimaanpassung“ zu überarbeiten. Dabei sollten neben klimatischen Prognosen und Nutzungsänderungen im Stadtgebiet auch Prognosen zur demographischen Entwicklung und Wanderbewegungen innerhalb des Stadtgebietes in Wuppertal einbezogen werden. Auf dieser Grundlage müssen die Abgrenzungen für die Belastungsgebiete bezüglich Hitze und die jeweiligen Betroffenheiten neu berechnet werden. Zusätzlich sollten die Belastungen durch weitere Klimafolgen ergänzt werden. Dies sollte mindestens alle 10 Jahre erfolgen, um eine aktuelle Grundlage für das Handlungskonzept zur Klimaanpassung zu haben.

3. Evaluierung der Ziele/ Anpassungsmaßnahmen

Evaluation von Maßnahmen durch mikroskalige Modellierungen

Die Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Klimatelementen wie Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit oder Wind und einer Stadt sind so komplex, dass man die Folgen von baulichen oder anderen Veränderungen in einem Stadtviertel nicht ohne weiteres abschätzen kann. Sollen Auswirkungen einer beabsichtigten Veränderung der Stadtstruktur vorausgesagt werden, ist der Einsatz eines numerischen Simulationsmodells eine sinnvolle Lösung. Ein solches Simulationsmodell berücksichtigt die Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen urbanen Klimafaktoren wie Bebauung und Vegetation und der Atmosphäre. Auf diesem Weg ist sowohl eine Planung zur Vermeidung von Belastungsräumen als auch die Optimierung bereits vorhandener Strukturen möglich (siehe auch das Beispiel „Arrenberg“ im Kapitel 4).

Während rein qualitative Aussagen zu geplanten Maßnahmen meist von internen oder externen Experten getroffen werden können, ist die Quantifizierung einer Veränderung, beispielsweise der Lufttemperatur durch eine Parkanlage, nur mittels numerischer Simulation möglich. Eine ökologisch wertvolle und ökonomisch effiziente Begrünung von städtischen Gebieten ist immer sinnvoll. Aber ein besonders hoher Kosten-Nutzen-Quotient ist nur erreichbar, wenn man in der Lage ist, Bereiche zu identifizieren, in denen ein Handlungsbedarf besteht (z. B. über die Handlungskarte Klimaanpassung), und

abzuschätzen, mit welcher Strategie und mit welchem Einsatz ein möglichst hoher Effekt erreicht wird. Beispielsweise spielen die genauen Standorte und die Wuchsformen von neu zu pflanzenden (Straßen-)Bäumen eine große Rolle für das anschließende Kühlpotential dieser Begrünungsmaßnahme. Um einen Vergleich zwischen Ist-Zustand und verschiedenen Planvarianten zu ermöglichen, ist der Einsatz eines mikroskaligen Klimamodells hilfreich. Als Beispiel dienen in dieser Analyse die mikroskaligen Modellierungen im Quartier Arrenberg (Kapitel 4). Die durch mikroskalige Modellierungen errechneten Wirkungen von verschiedenen Maßnahmen können durch Analogieschlüsse auf andere Planungen im ähnlichen Kontext übertragen werden, so dass nicht immer wieder Modellsimulationen erforderlich werden.

Bei größeren, komplexeren Planungsprozessen im Stadtgebiet sollte zur Evaluierung von möglichen Klimaanpassungsmaßnahmen eine mikroskalige Modellierung zum Einsatz kommen. Damit kann einerseits die beste Planvariante ermittelt werden. Ebenso wichtig ist aber auch die Möglichkeit, positive Auswirkungen von Anpassungsmaßnahmen anschaulich in die Öffentlichkeit und in die Akteursgruppen zu kommunizieren.

Überprüfung / Aktualisierung von städtischen Zielen

Viele der im Rahmen der Umweltplanung verfolgten Umweltziele leisten einen wichtigen Beitrag zur Klimaanpassung. Besonders Umweltqualitätsziele, die sich auf die Begrenzung der Neuversiegelung, die Mindestanteile unversiegelter Flächen, die Erhaltung der unbebauten Flächen, den Erhalt von Park- und Grünanlagen und die Regenwasserabkopplung beziehen, sind hinsichtlich der Klimaanpassung relevant.

Mit dem Instrument der „Handlungskarte Klimaanpassung“ bieten sich im Zusammenhang mit der Erstellung von städtebaulichen Konzepten große Möglichkeiten für die Integration von Maßnahmen, die der Anpassung an das Klima dienen. Voraussetzung dafür ist allerdings, dass Inhalte der Umweltplanung in der Abwägung der privaten und öffentlichen Belange im Bebauungsplanverfahren gegenüber Belangen, die einer Verbesserung des Stadtklimas nicht zuträglich wären, Berücksichtigung finden. Für die nächsten Jahre sollten konkrete Klimaanpassungsprojekte entwickelt und bis zur Umsetzung gebracht werden. Primäre Handlungsbereiche sind die Zonen 1, 2 und 3 der Handlungskarte (Abb. 3.4 auf Seite 70/71).

In regelmäßigen Abständen von einigen Jahren sind die Ziele der Stadtentwicklungs- und Umweltplanung im Hinblick auf Klimaanpassung zu überprüfen und gegebenenfalls zu ergänzen.

Evaluation von Maßnahmen durch Messungen

Eine langfristig angelegte Evaluation von Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel besteht in der Möglichkeit, bei größeren Projekten Messungen jeweils vor und nach Umsetzung der Anpassungsmaßnahmen durchzuführen. Beispielsweise großflächige Begrünungsmaßnahmen bieten sich an, um den Effekt auf die Reduzierung von sommerlicher Hitze zu messen. Die Messungen können mittels mobiler Messeinrichtungen während ausgewählter Hitzeperioden oder langfristig mittels stationärer Messungen durchgeführt werden. Um einen Vergleich vorher/ nachher zu ermöglichen, sind solche Messungen schon im Vorfeld, vor Umsetzung von Klimaanpassungsmaßnahmen zu veranlassen.

Eine zusammenfassende Übersicht über die einzelnen Schritte des Controllingkonzeptes gibt die Abbildung 3.3.

Intervall Aufgabe	fortlaufend	rund 5 Jahre	rund 10 Jahre
Aktualisierung der Grundlageninformationen	Überwachung der Entwicklung der städtischen Wärmeinsel (periodische Klimamessungen)	Aktualisierung der klimatischen Zukunftsprojektionen nach Stand der Forschung	Aktualisierung der Klimatopkarte (Berücksichtigung der Änderungen der Realnutzungen und der Klimaprojektionen)
Checkliste für Planungsmaßnahmen	<p>Überprüfung der Lage im Stadtgebiet</p> <p>Zusammenstellung notwendiger/sinnvoller Anpassungsmaßnahmen entsprechend der Lage (Belastungsgebiet „Hitze“, weitere Klimafolgen)</p> <p>Ressortübergreifende Überprüfung der Bebauungspläne (sind entsprechende Maßnahmen vorgesehen?)</p> <p>Diskussion der notwendigen Maßnahmen mit Akteuren/ Öffentlichkeit/ Politik</p>	Überarbeitung und Aktualisierung des Maßnahmenkatalogs zur Anpassung an den Klimawandel (neue Erkenntnisse einarbeiten)	<p>Aktualisierung der „Handlungskarte Klimaanpassung“ für „Hitze“, Einarbeitung der Belastungen durch weitere Klimafolgen (Extremniederschläge, Sturm, Trockenheit)</p> <p>Einbeziehung der klimatischen und demographischen Veränderungen sowie von Nutzungsänderungen</p>
Evaluierung der Ziele/ Anpassungsmaßnahmen	Mikroskopische Modellierung der klimatischen Auswirkungen von komplexen Planentwürfen	<p>Überprüfung / Aktualisierung von städtischen Zielen (Einbindung der Kommunalpolitik)</p> <p>Konkrete Klimaanpassungsprojekte entwickelt und zur Umsetzung bringen</p> <p>Überprüfung der klimatischen Auswirkungen von umgesetzten Bauvorhaben und Anpassungsmaßnahmen durch Messungen vorher/ nachher</p>	

Abb. 3.3 Controllingkonzept für die Integration von Klimaanpassungsmaßnahmen in Planungsprozesse der Stadt Wuppertal

3.1 Die „Handlungskarte Klimaanpassung – Themenfeld Hitze“ für die Stadt Wuppertal

Die „Handlungskarte Klimaanpassung – Themenfeld Hitze“ (Abb. 3.4) ist das Ergebnis der Untersuchungen aus dem Kapitel 2. In dieser Karte werden entsprechen ihrem Konfliktpotential Flächen ausgewiesen, für die bestimmte Maßnahmen notwendig werden, um den Folgen des Klimawandels zu begegnen. Von den in der Karte abgegrenzten fünf Zonen gehören drei zu den Belastungsgebieten gegenüber sommerlicher Hitze, mit jeweils unterschiedlichen Betroffenheiten. Hier sollten jetzt und zukünftig konkrete Maßnahmenbündel zur Hitzereduktion erarbeitet und zeitnah umgesetzt werden. Die Handlungskarte stellt in einem Überblick schon geeignete Klimaanpassungsmaßnahmen vor, die auf die jeweils typischen Konfliktpotentiale der in der Karte dargestellten verschiedenen Konfliktzonen (Hitze, Belüftung) abgestimmt sind. Damit werden den an einem Prozess beteiligten Planern und Akteuren konkrete Vorschläge zur Klimaanpassung an die Hand gegeben, um die Stadt Wuppertal nachhaltig vor den Folgen des Klimawandels zu schützen. Eine Zusammenstellung aller Maßnahmen in Form von Steckbriefen gibt es im nachfolgenden Maßnahmenkatalog (Kapitel 3.2).

Eine gute Belüftungssituation in der Stadt trägt wesentlich zur Qualität ihres Mikroklimas bei. Durch einen guten Luftaustausch können überwärmte Luftmassen aus dem Stadtgebiet abgeführt und durch kühlere aus dem Umland ersetzt werden. Weiterhin können mit Schadstoffen angereicherte Luftmassen durch Frischluft ersetzt und die vertikale Durchmischung der Luft erhöht werden. Aufgrund ihrer Lage, der geringen Oberflächenrauigkeit bzw. des geringen Strömungswiderstandes und der Ausrichtung können einzelne Flächen im Stadtgebiet zu einer wirkungsvollen Stadtbelüftung beitragen. Dabei sind die vorherrschenden Strömungsrichtungen des Windes bei austauscharmen Warm- und Hitzewetterlagen zu berücksichtigen und die Ergebnisse der Kaltluftsimulationen aus dem Kapitel 2.2 einzubeziehen. Die relevanten Luftleitbahnen mit Anschluss an überhitzte Stadtgebiete wurden identifiziert und in die Handlungskarte übernommen.

Im gesamten Stadtgebiet von Wuppertal wurden Grünflächen, zu denen auch Friedhöfe und Kleingartenanlagen gezählt wurden, und Freiräume bezüglich ihrer Relevanz für das Wuppertaler Stadtklima bewertet. Neben innerstädtischen Parks haben vor allem Grünflächen im städtischen Randbereich, die die Hitzeinseln begrenzen können, und Freiflächen mit stadtklimarelevantem Kaltluftbildungspotential eine hohe Bedeutung. Diese Flächen wurden als Gebiete der stadtklimarelevanten Grün- und Freiflächen in die Handlungskarte übernommen.

Als graue Flächen verbleiben in der „Handlungskarte Klimaanpassung – Themenfeld Hitze“ solche Siedlungsflächen, die keine oder nur eine sehr geringe Betroffenheit durch insbesondere nächtliche Hitzebelastung aufweisen und großflächige Freiräume ohne besondere stadtklimatische Beziehungen. Aber auch bei diesen Flächen ist es für den weiteren Planungsprozess mit Blick auf die Zukunft wünschenswert, dass mögliche Änderungen des Klimas und potentiell damit verbundene, notwendige Anpassungsmaßnahmen berücksichtigt werden. Grundsätzlich bewirken Klimaanpassungsmaßnahmen eine Erhöhung der Aufenthaltsqualität und damit der Aufwertung des Quartiers.

Nachfolgend werden die einzelnen Zonen der Handlungskarte ausführlich beschrieben. Für die Entwicklung von Maßnahmenbündeln im nächsten Schritt der konkreten Umsetzungsphase werden für die jeweilige Zone geeignete Anpassungsmaßnahmen vorgeschlagen.

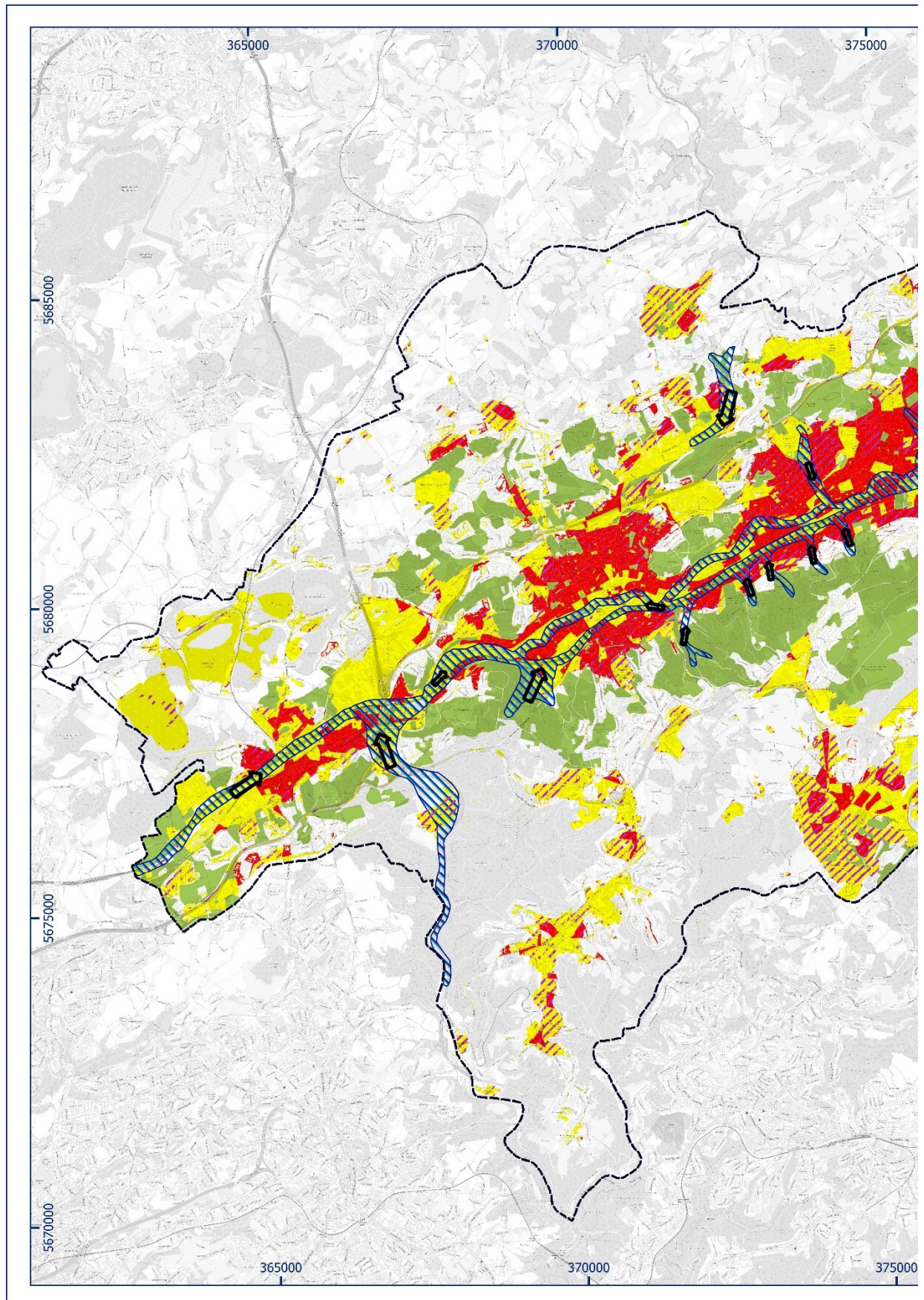
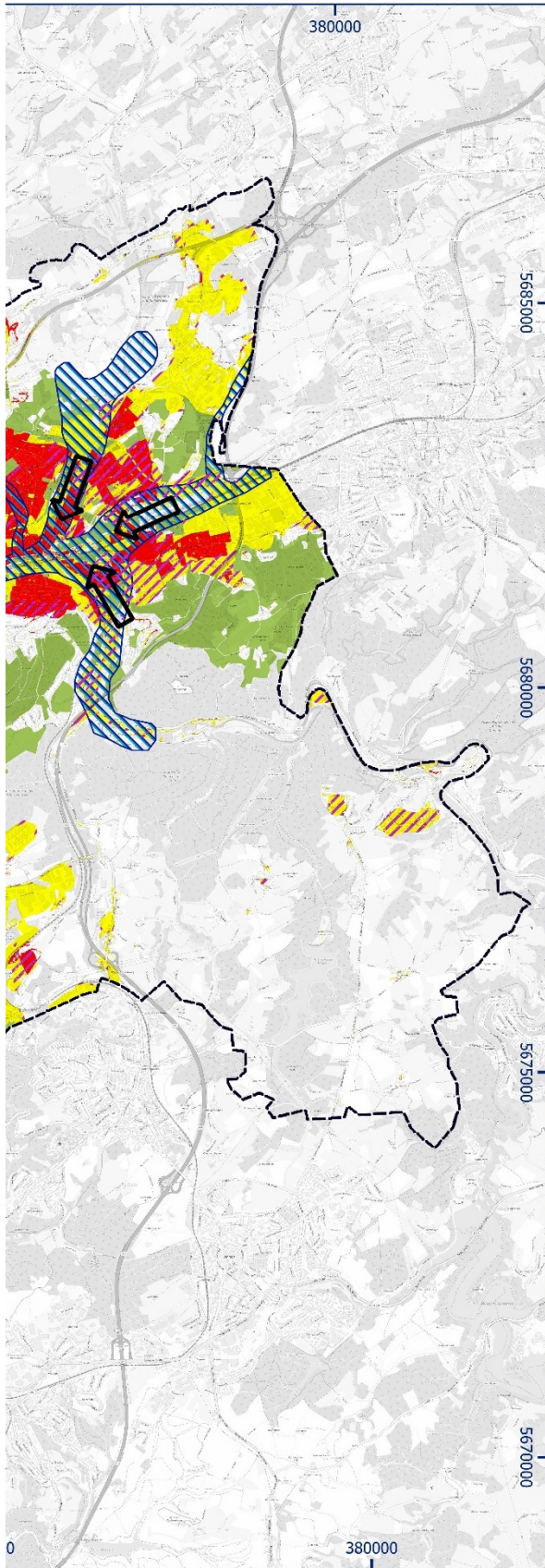


Abb. 3.4 Handlungskarte Klimaanpassung – Themenfeld Hitze für die Stadt Wuppertal (Die Handlungskarte ist in hoher Auflösung auch im digitalen Anhang des Berichts einzusehen)



Stadt Wuppertal

Handlungskarte Klimaanpassung Themenfeld Hitze

Zone 1: Gebiete mit einer Hitzebelastung und einer geringen bis durchschnittlichen Bevölkerungsdichte

Zielvorgaben:

- Aufenthaltsqualität steigern durch Verringerung der Hitzeentwicklung am Tag
- Beschattung durch Vegetation und Bauelemente
- Kühleffekte der Verdunstung nutzen (offene Wasserflächen, Begrünung)
- Ausgleichsräume schaffen/erhalten (Parks im Nahbereich, Begrünung von Innenhöfen)

Zone 2: Gebiete mit einer Hitzebelastung und einer hohen bis sehr hohen Bevölkerungsdichte und/ oder einem überdurchschnittlich hohen Anteil an Personen ab 65 Jahren und/ oder an Kleinkindern unter 3 Jahren

Zielvorgaben

Nächtliche Überwärmung verringern durch:

- Verringerung der Hitzeentwicklung am Tag (siehe Zone 1)
- Zufuhr kühlerer Luft aus der Umgebung
- Ausgleichsräume schaffen/erhalten (Parks im Nahbereich, Begrünung von Innenhöfen)

Zone 3: Gebiete, die erst zukünftig von Hitzebelastung betroffen sein werden

Zielvorgaben

- Anpassungsmaßnahmen der Zonen 1 und 2 sollten zur Anwendung kommen
- Freiflächen möglichst nicht zur Innenverdichtung heranziehen

Zone 4: Gebiete der stadtklimarelevanten Grün- und Freiräume

Zielvorgaben

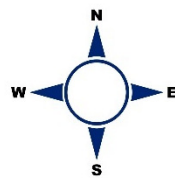
- Flächen erhalten, untereinander vernetzen
- Parkartige Strukturen erhalten / verbessern
- Straßenbegleitgrün erhalten
- Keine großflächigen Aufforstungen auf Kaltluftbildungs- und Kaltluftabflussflächen

Zone 5: Gebiete der Luftleitbahnen

Zielvorgaben

- Beachtung der Luftleitbahnen bei künftigen Planungen/Bautätigkeiten
- Keine zusätzlichen Emittenten, Minimierung und Optimierung durch neue Technologien
- Randliche Bebauung sollte keine Riegelwirkung erzeugen
- Dichte Vegetation als Strömungshindernis vermeiden
- Im Bereich von Luftleitbahnen und Frischluftschneisen Aufforstung vermeiden
- Übergangsbereiche zwischen Frischluftschneise und Bebauung offen gestalten

Stand: Oktober 2018



1 0 1 2 km



STADT WUPPERTAL



© OpenStreetMap-Mitwirkende

Aufgrund der durchgehenden Bebauung und hohen Versiegelung von Oberflächen gibt es im Wuppertaler Stadtgebiet Bereiche, die sich im Sommer besonders stark aufheizen. Dies ergibt sich dadurch, dass der bebaute Raum Wärme weitaus stärker speichert als dies für Flächen im unbebauten Umland gilt. Weitere Gründe für die städtische Wärmeinsel sind eine verringerte Abkühlung aufgrund geringer Wasserverdunstungsraten in hoch versiegelten Gebieten und eine mangelnde Durchlüftung, wodurch ein Abtransport der warmen Luft aus der Stadt bzw. die Zuführung kühlerer Luft aus dem Umland erschwert wird. Große Temperaturunterschiede von bis zu 8 Grad in warmen Sommernächten zwischen Innenstadt und dem unbebauten Umland sind die Folge. Dies führt in Wohngebieten vor allem dann zu einer belastenden Situation, wenn die Temperaturen nachts nicht mehr deutlich genug absinken.

Zone 1 Gebiete mit einer Hitzebelastung und einer geringen bis durchschnittlichen Bevölkerungsdichte



Die generelle Anfälligkeit gegenüber einer Hitzebelastung ergibt sich in der Zone 1 der Handlungskarte aus der typischen, hoch versiegelten Bebauungsstruktur der Stadt- und Innenstadtbereiche kombiniert mit einer geringen oder mittleren Bevölkerungsdichte. Häufig fallen in diese Zone Innenstadtbereiche, die überwiegend als Dienstleistungszentrum genutzt werden und einen nur unterdurchschnittlichen Anteil an Wohnbevölkerung haben. Dies sind Problemgebiete mit anderer Anfälligkeit als reine Wohngebiete. Bei einem Aufenthalt in den Innenstädten tagsüber kann einer Hitzebelastung durch Standortwechsel und Vermeidung von besonnten Standorten entgegengewirkt werden. Da dies von Seiten der Stadt und der Geschäftsleute nicht gewünscht sein, ist eine Verbesserung der Innenstadttatktivität auch im Sinne der Klimaanpassung anzustreben.

Darüber hinaus fallen in diese Zone auch fast alle Belastungsgebiete der Gewerbe- und Industrieflächen. Die insgesamt hohe Flächenversiegelung bis zu 90 % bewirkt in diesen Bereichen eine starke Aufheizung tagsüber und eine deutliche Überwärmung nachts. Die Hitze tagsüber kann zu einer Verminderung der Produktivität der in diesen Bereichen beschäftigten Menschen führen. Der nächtliche Überwärmungseffekt kann hier eine der Innenstadt analoge Ausprägung erreichen. Aufgrund der Gebäudeanordnungen und der hohen Rauigkeit in den Industriegebieten wird das Windfeld stark verändert. Dies kann sich äußern durch Düseneffekte im Bereich der Werkhallen, die jedoch keine immissionsverbessernden Effekte haben müssen. Besonders problematisch sind unmittelbar an das Zentrum angrenzende Industriekomplexe, die aufgrund der hohen Versiegelungsrate eine stark eingeschränkte nächtliche Abkühlung aufweisen. Im Zusammenspiel mit dichter Stadtbebauung bilden sich große Wärmeinseln aus. Dies spielt insbesondere bei den großen Industriekomplexen im Talverlauf entlang der B7 oder am Robert-Daum-Platz eine große Rolle. Die dicht bebauten Industriegebiete sind aus klimatischer wie auch lufthygienischer Sicht als ausgeprägte Lasträume zu bezeichnen. Gewerbegebiete weisen zum Teil eine stärker durchgrünte Struktur auf und sind dann etwas weniger stark von Hitzebelastung betroffen.

Ein häufiges Problem der hoch verdichteten Innenstadt- sowie Industrie- und Gewerbeflächen ist auch, dass hier über den erhitzten Oberflächen die Kaltluft aufgezehrt wird und den angrenzenden Gebieten nicht mehr im vollen Umfang zur Verfügung steht.

Maßnahmenvorschläge:

Sinnvolle Maßnahmen in den Wuppertaler Innenstädten haben zum Ziel, die Aufenthaltsqualität zu steigern durch Verringerung der Hitzeentwicklung am Tag. Hierzu können Maßnahmen auf Gebäudeebene und Maßnahmen zur Anpassung der städtischen Infrastruktur herangezogen werden wie:

- Beschattung durch Vegetation und Bauelemente (z. B. Pergola, Arkaden, Sonnensegel)
- Kühleffekte der Verdunstung nutzen (offene und bewegte Wasserflächen, Begrünung)
- Helle Farben für Oberflächen und Hausfassaden verwenden, um die Hitzeaufnahme der Materialien zu reduzieren
- Entsiegelung von Flächen (z. B. Straßenbankette, Mittelstreifen, Innenhöfe)

Eine Erhöhung des Grünanteils durch Baumpflanzungen im hoch verdichteten Bereich der Zone 1 ist nur unter der Berücksichtigung der Belüftung, die durch die Maßnahme nicht eingeschränkt werden darf, anzustreben. In schlecht durchlüfteten Bereichen ist eine dichte Vegetation zu vermeiden. Hier sind Detailuntersuchungen vor der Durchführung von Begrünungsmaßnahmen notwendig. Für Baumpflanzungen bieten sich besonders größere Plätze und Stellplatzanlagen an. Hierbei steigern insbesondere großkronige Laubbäume durch ihren Schattenwurf die Aufenthaltsqualität. An Hauptverkehrsstraßen bestehen meist weitreichende Restriktionen durch Leitungen und Kanäle im Boden. Die Neuanpflanzung von innerstädtischen (Straßen-)Bäumen ist eine sinnvolle Maßnahme zur Reduzierung der Hitzebelastungen. Bei der Entwicklung von konkreten Pflanzprojekten sind die Aspekte weiterer Klimawandelfolgen mit zu berücksichtigen. So können die prognostizierten sommerlichen Trockenperioden oder die Zunahme von Sturmereignissen zu Stress bei Stadtbäumen führen. Eine Optimierung der Baumscheiben-Standorte, der Bewässerungspläne sowie der Auswahl geeigneter Baumarten ist zukünftig notwendig. Hierzu geben die Maßnahmensteckbriefe im Katalog der Anpassungsmaßnahmen (Kap. 3.2) detaillierte Informationen und Hinweise.

Aufgrund des geringen bis fehlenden Platzangebotes für die Neuanlage von Grünflächen im dicht bebauten innerstädtischen Bereich können ergänzend Fassaden- und Dachbegrünungen zur Verbesserung des Mikroklimas durchgeführt werden. Zur Begrenzung von Neuversiegelung und zum Erhalt von Freiflächen sind beispielsweise Festsetzungen im Bebauungsplan zur Gestaltung von Stellplätzen heranzuziehen. In schon bebauten Gebieten sollten Entsiegelungen überall dort erfolgen, wo sie aufgrund der jeweiligen Nutzung möglich sind. Abseits der öffentlichen Straßen können Bodenversiegelungen durch den Einsatz von durchlässigen Oberflächenbefestigungen vermieden bzw. reduziert werden und zwar vor allem dann, wenn die Nutzungsform der Flächen nicht unbedingt hochresistente Beläge wie Beton oder Asphalt voraussetzt. Über eine Mehrfachnutzung versiegelter Flächen, zum Beispiel von Parkplätzen, die tagsüber von Büroangestellten und abends von Kinobesuchern genutzt werden, kann eine Reduzierung der Versiegelung erreicht werden.

Da bewegtes Wasser einen besonders großen Beitrag zur Kühlung der Luft leisten kann, ist es sinnvoll zu erkunden, an welchen Stellen im innerstädtischen Bereich verrohrte Wasserläufe reaktiviert werden können. In Wuppertal gibt es über 800 Fließgewässer, die eine große Chance zur Nutzung darstellen. Hier gilt es, Synergien mit dem Überflutungsschutz zu finden und gemeinsame Lösungen zu erarbeiten.

Hitzebelastungen in Industrie- und Gewerbegebieten in Wuppertal betreffen in erster Linie die tagsüber dort tätigen Menschen. Hier sind Klimaanpassungsmaßnahmen notwendig, um die Produktivität zu erhalten und gesunde Arbeitsbedingungen zu schaffen. Im Sinne des Klimaschutzes gilt es zu

vermeiden, den Stromverbrauch, beispielsweise durch Klimaanlage, zu erhöhen. Maßnahmen, die zu einer Verbesserung der Situation in den Lasträumen der Gewerbe- und Industrieflächen führen, bestehen in erster Linie in der Entsiegelung und dem Erhalt sowie der Erweiterung von Grün- und Brachflächen. Die Erfordernisse gewerblich-industrieller Nutzungen bestimmen maßgeblich die Gestaltung der Gebiete und schränken somit den Rahmen für klimaverbessernde Maßnahmen ein. Es entstehen Zielkonflikte zwischen einer anzustrebenden Verbesserung der Grünstruktur und Verringerung des Versiegelungsgrades einerseits und einer notwendigen Vollversiegelung betrieblicher Funktionsbereiche auch zum Schutz des Grundwassers andererseits. Lösungsmöglichkeiten sind in diesem Fall in einer ausreichenden Gliederung von hochversiegelten Bauflächen und betrieblichen Funktionsbereichen wie Lager- und Freiflächen, durch breite Pflanzstreifen und Grünzüge zu suchen. Darüber hinaus bieten sich oft Stellplatzanlagen, Randsituationen und das Umfeld von Verwaltungsgebäuden für Begrünungen an. Weitere sinnvolle Maßnahmen sind die Begrünung von Fassaden und Dächern sowie die Nutzung von gespeichertem Regenwasser zur Kühlung. Der Rückhalt von Regenwasser bringt zudem wirtschaftliche Vorteile (Abwassergebühren sinken) und ein positives Image für den jeweiligen Betrieb.

Bei Neuplanungen von Gewerbe- und Industriegebieten ist darauf zu achten, in den jeweiligen Planungsstufen die Belange von Klimaanpassung zu berücksichtigen. Zu nennen sind die Rahmenplanung, die Flächennutzungsplanung, die Bebauungsplanung, die Vorhaben- und Erschließungsplanung sowie das Baugenehmigungsverfahren. Klimawirksame Maßnahmen lassen sich insbesondere in der Bauleitplanung für neue und zu erweiternde Standorte umsetzen. So ist im Rahmen der Eingriffsregelung darauf zu achten, soweit möglich die Kompensationsmaßnahmen auf dem Gelände selbst durchzuführen, um für eine Verbesserung der klimatischen und lufthygienischen Bedingungen vor Ort zu sorgen. Mit Hilfe geeigneter Festsetzungen ist im Bebauungsplan eine Begrenzung der Flächeninanspruchnahme sowie eine ausreichende Grünausstattung zu sichern. Weiterhin ist durch eine geeignete Baukörperanordnung und die Beschränkung bestimmter Bauhöhen eine optimale Durchlüftung zu gewährleisten. Durch die Wahl eines geeigneten Areals zur Sicherung einer hinreichenden Be- und Entlüftung kann die Ausbildung großflächiger Wärmeinseln vermieden werden. Dazu kann auch ein bepflanzter Freiraum als Puffer zu angrenzenden Flächen dienen.

- ◆ Zone 1 ist ein Lastraum mit hoher Hitzeeinwirkung
- ◆ Die dicht bebaute Zone 1 umfasst Gebiete mit einer hohen Flächenkonkurrenz
- ◆ Platzmangel setzt enge Grenzen für Maßnahmen zur klimatischen Optimierung, bioklimatische Extreme können nur abgemildert werden
- ◆ Flächen dieses Lastraums sollten sich nicht weiter im Stadtgebiet ausdehnen

Zone 2 Gebiete mit einer Hitzebelastung und einer hohen bis sehr hohen Bevölkerungsdichte und/ oder einem überdurchschnittlich hohen Anteil an Personen ab 65 Jahren und/ oder an Kleinkindern unter 3 Jahren



Innenstadtnahe Wohngebiete, überwiegend in der Wuppertaler Talachse gelegen, machen den Hautanteil dieser Belastungszone aus. Nur vereinzelt gibt es kleine Bereiche des Typs 2 in den Stadtteilen nördlich und südlich des Wuppertales. Die meist dichte, mehrstöckige Bebauung in den Wohngebieten in der Talachse erschwert den Abtransport von tagsüber aufgenommener Hitze deutlich. Für Begrünungen ist in der Regel wenig Platz. In diesen Bereichen spielt insbesondere die fehlende nächtliche Abkühlung, die zu einer Belastung des menschlichen Organismus führen kann, eine entscheidende Rolle für das Belastungspotenzial. Während langanhaltender Hitzeperioden bleiben die Nachttemperaturen deutlich über 20 °C und eine Lüftung zur Kühlung von aufgeheizten Innenräumen ist nicht mehr möglich.

Maßnahmenvorschläge:

In Bereichen der Hitzeinsel mit einer hohen Bevölkerungsdichte müssen Maßnahmen zur Klimaanpassung einerseits die Aufenthaltsqualität steigern durch Verringerung der Hitzeentwicklung am Tag, andererseits aber auch Maßnahmen ergriffen werden, die die nächtliche Überwärmung verringern.

Hierzu können Maßnahmen herangezogen werden wie:

- Nächtliche Überwärmung verringern durch eine Verringerung der Hitzeentwicklung am Tag (Beschattung, Verdunstung, helle Farben, Entsiegelung)
- Zufuhr kühlerer Luft aus der Umgebung
- Ausgleichsräume schaffen/erhalten (Parks im Nahbereich, Begrünung von Innenhöfen)

Tagsüber müssen Ausgleichsräume für die Bevölkerung geschaffen werden, z.B. Parks in Nahbereich (siehe Zone 4). Parkanlagen, aber auch Friedhöfe, Kleingartenanlagen und Spielplätze können lokale Klimaoasen sein, die der Erholung vor Ort dienen und bei entsprechender Größe auch zur Abkühlung der direkten Umgebung beitragen können. Bewegte Wasserflächen oder Springbrunnen im Park erhöhen das Kühlpotential der Grünanlage. Durch Beschattung von Straßenräumen mit Bäumen kann der Hitzeeintrag am Tag reduziert werden, was wiederum die Überwärmung in der Nacht vermindert. Viele Verkehrsflächen leisten aufgrund ihrer dunklen Farbe und Materialien einen großen Beitrag zur Aufheizung dieser Stadtgebiete. Verschattungen oder hellere Farben können hier einen Beitrag sowohl zur Hitzevermeidung am Tag wie auch zur Verringerung der nächtlichen Überwärmung leisten. Ein weiterer Aspekt in Synergie mit Überlegungen zur Mobilität ist die Verschattung und/ oder Begrünung und damit Verringerung der Aufheizung von ÖPNV-Haltestellen, die als Folge besser genutzt werden könnten.

Zur notwendigen Reduzierung der nächtliche Überwärmung kann einerseits die Verringerung der Hitzeentwicklung am Tag durch Vegetation, Wasserverdunstung, Verschattung und Entsiegelung beitragen. Andererseits sind Maßnahmen zur Anpassung der gesamten Stadtstruktur notwendig, damit die Zufuhr kühlerer Luft aus der Umgebung verbessert wird. Frischluftschneisen und Luftleitbahnen (siehe Zone 5) spielen für diese Hitzegefährdungsgebiete eine wichtige Rolle. Die Stadtviertel im westlichen Teil von Wuppertal profitieren deutlich weniger von der aus dem Freiland durch den Taleinschnitt der Wupper herantransportierten Kaltluft. In den Stadtteilen Langerfeld, Oberbarmen und Barmen ist diese Luft noch als kühlend nachweisbar. Hier kann mit geeigneten Maßnahmen (Identifizierung und

Rückbau von Strömungshindernissen im Talverlauf) eine bessere nächtliche Kühlung erreicht werden. In den westlichen Stadtteilen im Taleinschnitt ab Elberfeld hat die über die Wupper herantransportierte Luft durch das Überstreichen hoch verdichteter Stadtgebiete ihr Kühlpotential weitgehend verloren. Hier haben die kleineren Seitentäler eine höhere Bedeutung zur Abmilderung der Hitzebelastung. Diese sind unbedingt zu erhalten und auf eine Verbesserung der Durchströmbarkeit hin zu untersuchen.

Zone 3 Gebiete, die erst zukünftig von Hitzebelastung betroffen sein werden



Die weiter zunehmende Klimaerwärmung wird in zukünftig häufiger zu längeren und stärker ausgeprägten Hitzeperioden auch in Wuppertal führen. Solche Gebiete, die bereits heute als belastend eingestuft sind, werden sich zukünftig noch stärker aufheizen und sich in die Umgebung ausdehnen. Siedlungsgebiete im oberen Hangbereich der Talachse und jetzt auch die Stadtteile in der Freilandumgebung wie Ronsdorf, Cronenberg und Dönberg mit einer mittleren Bebauungsdichte, die im IST-Zustand bei kürzeren Hitzeperioden noch ausreichend nächtliche Abkühlung zeigen, fallen im Zukunftsszenario in die Gebiete der Hitzebelastungen. Obwohl es sich bei diesen Flächen überwiegend um Wohngebiete handelt, ist die Einwohnerdichte nicht so hoch wie in den Siedlungsbändern entlang der Talachse. Deshalb gehören die zukünftigen Hitzebelastungsgebiete weitgehend zur Zone 1 der mäßigen Betroffenheit.

Maßnahmenvorschläge:

Durch eine Ausweitung der Hitzeinsel im Zuge des Klimawandels kommen im Zukunftsszenario 2050 insbesondere im oberen Randbereich des Siedlungsbandes in der Wuppertaler Talachse und in den stärker verdichteten Wohn- und Geschäftsvierteln aller anderen Stadtteile Gebiete dazu, die von einer hohen Hitzebelastung betroffen sein werden.

- Die Anpassungsmaßnahmen der Zonen 1 und 2 sollten auch im Bereich der Zone 3 zur Anwendung kommen, auch wenn die Hitzebelastung momentan noch nicht so ausgeprägt ist
- Freiflächen möglichst nicht oder nur klimasensibel zur Innenverdichtung heranziehen

Anpassungsmaßnahmen für Veränderungen, die sich erst in der Zukunft ergeben, müssen bereits heute beginnen. Durch geeignete Maßnahmen kann einer Ausweitung der Hitzeinsel in der Zukunft entgegengewirkt werden. Momentan noch vorhandene Freiflächen in dieser Zone, die für eine Innenverdichtung herangezogen werden sollen, dürfen nur klimasensibel umgenutzt werden. Hier sollten keine neuen Belastungen hinzukommen. Die Neuplanung von stark durchgrüntem Wohngebieten mit einer aufgelockerten Bebauungsstruktur, die kühle Freilandluft tief eindringen lässt, sind möglich. Im Bereich der privaten Hausbesitzer muss mit Aufklärungskampagnen dem Trend der versiegelten Vorgärten oder den Steingärten entgegengewirkt werden. Im Neubau sind hierzu Vorgaben festzuschreiben, um den Versiegelungsgrad zu verringern.

Zone 4 Gebiete der stadtklimarelevanten Grün- und Freiflächen



Im gesamten Stadtgebiet von Wuppertal wurden alle Grünflächen und Freiräume bezüglich ihrer Relevanz für das Stadtklima bewertet. Vegetationsflächen haben eine bedeutende Wirkung auf das Lokalklima, da sie einerseits die nächtliche Frisch- und Kaltluftproduktion verursachen und andererseits bei hohem Baumanteil tagsüber thermisch ausgleichend sind. Innerstädtische und siedlungsnahen Grünflächen beeinflussen die direkte Umgebung in mikroklimatischer Sicht positiv. Beispielsweise spielen die Kleingartenanlagen in Wuppertal eine große Rolle als lokale, innenstadtnahe Aufenthaltsräume, die es als klimatische Gunsträume und zur Naherholung zu erhalten gilt.

Vegetationsflächen am Siedlungsrand fördern den Luftaustausch. Größere zusammenhängende Vegetationsflächen stellen das klimatisch-lufthygienische Regenerationspotential dar. Neben innerstädtischen Parks haben vor allem Grünflächen im städtischen Randbereich, die die Hitzeinseln begrenzen können, und Freiflächen mit stadtklimarelevantem Kaltluftbildungspotential eine hohe Bedeutung.

Freiflächen mit einer hohen Klimaaktivität sind vor allem Gebiete mit direktem Bezug zu den Hitzebelastungsgebieten wie z.B. innerstädtische und siedlungsnahen Grünflächen oder solche, die in Hanglage zu Siedlungsbereichen orientiert oder im Einzugsgebiet eines Berg-/Talwindsystems liegen. Unbebaute Täler, in denen Kaltluftabfluss stattfindet, zählen ebenfalls dazu und sollen mit hohen Restriktionen gegenüber Bebauung und Nutzungsänderungen belegt werden. Außerdem sind große zusammenhängende Freiflächen wie Wald- und Freiflächen der südöstlich anschließenden Bergischen Hochfläche und die Freiflächen des nördlich anschließenden Niederbergischen Hügellandes aus klimatisch-lufthygienischen Gründen für den dicht bebauten Siedlungsraum von Wuppertal von großer Bedeutung. Innerhalb der bebauten Bereiche sind vorhandene Grünflächen überwiegend mit den höchsten Empfindlichkeiten und Restriktionen gegenüber Nutzungsänderungen versehen. Die Grünflächen sind aufgrund der lokalklimatischen Auswirkungen in angrenzenden Bereichen von herausragender Bedeutung. Im Stadtgebiet von Wuppertal ragen viele Grünflächen über die Talhänge wie „grüne Finger“ in die stärker bebauten Bereiche hinein und wirken klimaverbessernd.

Maßnahmenvorschläge:

Die Flächen der Zone 4 sind mit einer hohen Empfindlichkeit gegenüber nutzungsändernden Eingriffen bewertet; d.h. bauliche und zur Versiegelung beitragende Nutzungen führen zu bedenklichen klimatischen Beeinträchtigungen. Sinnvolle Maßnahmen in dieser Zone der Handlungskarte sind:

- Flächen erhalten, untereinander vernetzen
- Parkartige Strukturen erhalten / verbessern
- Straßenbegleitgrün erhalten
- Keine großflächigen Aufforstungen auf Kaltluftbildungs- und Kaltluftabflussflächen

Im Bereich der stadtklimarelevanten Kaltluftentstehungsgebiete, die über den Anschluss mit einer Luftleitbahn kühle Umgebungsluft für die überwärmten Innenstadtbereiche bereitstellen können, sollten keine großflächigen Aufforstungen stattfinden, um die Bildung und den Transport der Kaltluft nicht zu behindern. Innenstadtnahen und innerstädtischen Grünflächen sollten zur Abmilderung der Hitzebelastungen erhalten und gegebenenfalls weiterentwickelt werden. Zur Sicherung einer guten Belüftung sollten auch hier Aufforstungen vermieden werden. Innerstädtische Grünflächen sollten eine parkartige Struktur mit Einzelbäumen, Baumgruppen und Büschen aufweisen und möglichst nicht als reine

Rasenflächen angelegt oder erhalten werden. Großkronige Einzelbäume oder Baumgruppen als Schattenspendler sind auf diesen Flächen sinnvoll.

Die Funktionen der Grün- und Freiflächen sind auch im Zusammenhang mit weiteren Klimawandelfolgen zu betrachten. Trockenperioden und Stürme sollten eine Rolle spielen bei der Auswahl geeigneter Pflanzenarten zur Begrünung. Grünflächen können als multifunktionale Flächen gerade innerstädtisch einen wertvollen Beitrag zur Retention und damit zur Abschwächung der Folgen von Starkregenereignissen spielen.

Diese Schutzzone ist bei der Bauleitplanung in die Abwägung einzustellen, die Auswirkungen von Eingriffen in die betroffenen Flächen sind im Verfahren durch einen entsprechenden Fachbeitrag qualitativ und quantitativ näher zu untersuchen.

Zone 5 Gebiete der Luftleitbahnen



Eine gute Belüftungssituation in der Stadt trägt wesentlich zur Qualität ihres Mikroklimas bei. Durch einen guten Luftaustausch können überwärmte Luftmassen aus dem Stadtgebiet abgeführt und durch kühlere aus dem Umland ersetzt werden. Weiterhin können mit Schadstoffen angereicherte Luftmassen durch Frischluft ersetzt und die vertikale Durchmischung der Luft erhöht werden.

Neben der Schutzzone der stadtklimarelevanten Grün- und Freiflächen werden auch die für den Luftaustausch wichtigen Leitbahnen als Schutzzone in der Handlungskarte ausgewiesen. Sie konzentrieren sich weitgehend auf das Tal der Wupper und die randlichen Hangbereiche, die dem besiedelten Tal der Wupper zugewandt sind. Die Bereiche der Zone 5 sind aus klimatischer Sicht für die lokalen Windströmungen während austauscharmer Wetterlagen von besonderer Bedeutung. Bauliche Eingriffe in diese Bereiche werden zu Einschränkungen der lokalen thermisch induzierten Windsysteme führen. Die Folgen wären eine geringere Abkühlung in heißen Sommernächten und ein verringerter Luftaustausch, welcher unter anderem auch die Schadstoffbelastung der Luft erhöhen kann.

Maßnahmenvorschläge:

Die in der Handlungskarte ausgewiesenen Luftleitbahnen sind aufgrund ihrer Bedeutung für die klimatische Situation im Bereich der Hitzebelastungsgebiete unbedingt zu erhalten. Zur Unterstützung der Funktion von Luftleitbahnen sollten hier die folgenden Maßnahmen eingehalten werden:

- Keine weitere Bautätigkeit
- Keine zusätzlichen Emittenten, Minimierung und Optimierung durch neue Technologien
- Randliche Bebauung sollte keine Riegelwirkung erzeugen
- Hohe und dichte Vegetation (Sträucher und Bäume) als Strömungshindernis im Bereich von Luftleitbahnen vermeiden, Aufforstungen in diesen Bereichen vermeiden
- Übergangsbereiche zwischen den Luftleitbahnen und der Bebauung sollten offen gestaltet werden, um einen guten Luftaustausch zu fördern.

Zur Unterstützung der Belüpfungsfunktion wird die Anlage zusätzlicher ruhigkeitsarmer Grünzonen im Umfeld einer Luftleitbahn empfohlen. Im Haupttal der Wupper sollten die Bedingungen für ein schnelles und tiefes Einströmen der Kaltluft allgemein verbessert werden; hierzu sollte entlang der Talachse unbedingt auf weitere Strömungshindernisse verzichtet und die Entsiegelung von Flächen

angestrebt werden, dies kann schwerpunktmäßig im Rahmen einer Umnutzung von Industriebrachen oder auch in Verbindung mit Begrünungsmaßnahmen entlang der Wupper geschehen.

In den westlichen Ortslagen entlang der Talachse (speziell in Elberfeld und Arrenberg) ist bei Bauvorhaben, die mit Nachverdichtung verbunden sind, wegen der insgesamt geringer Kaltluftmengen, die hier noch ankommen, eine sorgfältige Untersuchung notwendig. Besondere Bedeutung hat hier die Freihaltung der kleinen Nebentäler und die Aktivierung des Kaltluftabflusses entlang der Wupper durch Vermeidung von Hindernissen, konzentrierte Begrünung in den Abflussbahnen und Rückbau ungünstiger Hindernisse.

Für Oberbarmen und Barmen sind kaltluftbezogene Fragen zur Zeit noch weniger kritisch, da hier ausreichend Kaltluft aus dem Tal der Wupper die Innenstadtbereiche erreicht. Allerdings gibt es Fernwirkungen, das heißt, dass bauliche Verdichtungen zu einer Aufzehrung der Kaltluft und damit zu negativen Veränderungen stromabwärts, also in Richtung Elberfeld und Arrenberg, führen können, die ggf. im Einzelnen untersucht werden sollten. Eine Innenentwicklung sollte durch Umnutzung von Flächen, Raumoptimierung und Aufstockung von Gebäuden, nicht durch Freiflächenverbrauch erfolgen.

Geeignete Maßnahmen zur systematischen Verbesserung der Kaltluftzufuhr von den Hanglagen sind vor allem der weitgehende Verzicht auf weitere Bebauung sowie eine Reduzierung aller Hindernissen in der Längsrichtung der Kaltluftströme (z.B. Entfernung bzw. Längs- statt Querausrichtung von Gebäuden oder Gehölzen).

Beispiele für planungsrechtliche Umsetzungsinstrumente und Maßnahmen

Vorhandenen Instrumente sollten ausgenutzt werden, um Klimaanpassungsmaßnahmen in Planungsprozesse zu integrieren. Flächennutzungs- und Bebauungspläne bieten im Rahmen von Änderungen beziehungsweise der Ausweisung neuer Baugebiete die Möglichkeit, bestimmte Darstellungen (FNP) oder Festsetzungen (B-Pläne) zu enthalten. Im Folgenden sind einige Beispiele aufgelistet, wie konkrete Maßnahmen in Flächennutzungspläne und B-Pläne übernommen werden können.

- 1 Um **Frei- und Frischluftflächen** zu erhalten beziehungsweise neue Frei- und Frischluftflächen zu schaffen, können in den Flächennutzungsplan (FNP) großräumige Darstellungen von nicht baulichen Nutzungen mit unterschiedlichen Zweckbestimmungen wie Parkanlagen, Dauerkleingärten, Sport-, Spiel-, Zelt- und Badeplätze sowie Friedhöfe integriert werden (nach § 5 Abs. 2 Nr. 5 BauGB). Darüber hinaus können Wasserflächen (als Flächen, die nach § 5 Abs. 2 Nr. 7 BauGB aufgrund des Hochwasserschutzes und der Regelung des Wasserabflusses freizuhalten sind) sowie landwirtschaftliche Flächen und Waldflächen (nach § 5 Abs. 2 Nr. 9 BauGB) dargestellt werden. Im B-Plan kann die Erhaltung beziehungsweise Schaffung von Frei- und Frischluftflächen über die Festsetzung der Grundfläche oder Grundflächenzahl (§ 9 Abs. 1 Nr. 1 BauGB), der überbaubaren und nicht überbaubaren Grundstücksfläche (§ 9 Abs. 1 Nr. 2 BauGB) sowie Flächen, die von der Bebauung freizuhalten sind (§ 9 Abs. 1 Nr. 10 BauGB) gesteuert werden. Ferner ist es möglich im B-Plan öffentliche und private Grünflächen wie Parkanlagen, Dauerkleingärten, Sport-, Spiel-, Zelt- und Badeplätze sowie Friedhöfe festzusetzen (§ 9 Abs. 1 Nr. 15 BauGB). Auch lassen sich Flächen für die Landwirtschaft und Waldflächen festsetzen (§ 9 Abs. 1 Nr. 18 BauGB). Besonders vorteilhaft für das Lokalklima sind **Luftleitbahnen**. Deren Erhalt beziehungsweise Schaffung können durch die oben bereits erwähnten Darstellungen und Festsetzungen zu Frei- und Frischluftflächen im FNP und in den B-Plänen ermöglicht werden. Förderlich kann in diesem

Zusammenhang auch sein, in der Begründung zum FNP (§ 5 Abs. 5 BauGB) beziehungsweise B-Plan (§ 9 Abs. 8 BauGB) besonders auf die lokalklimatische Bedeutung der betreffenden Flächen für die Frischluftversorgung des Siedlungsraumes einzugehen.

- 2 Maßnahmen wie die **Begrünung von Straßenzügen, Dächern und Fassaden** können durch das Festsetzen von Anpflanzungen und Pflanzenbindungen für einzelne Flächen oder für ein B-Plangebiet beziehungsweise Teile davon in den B-Plan integriert werden (§ 9 Abs. 1 Nr. 25 BauGB). Auf diese Weise ist es beispielsweise möglich, Stellplätze und bauliche Anlagen zu begrünen und zu bepflanzen. Durch die vorgenannten Festsetzungen nach § 9 Abs. 1 Nr. 25 BauGB lassen sich auch die Bepflanzung urbaner Räume mit wärmeresistenten Pflanzenarten mit geringem Wasserbedarf sowie der Einsatz bodenbedeckender Vegetation und die Vermeidung von unbewachsenen Bodenflächen in Bebauungspläne integrieren. Auch lassen sich auf diese Weise Hauswandverschattung und Wärmedämmung im B-Plan festsetzen.
- 3 Die Verwendung baulicher **Verschattungselemente** im öffentlichen Raum (z.B. Arkaden, Sonnensegel) lässt sich nicht direkt, sondern nur über Umwege durch das Festsetzen von Verkehrsflächen besonderer Zweckbestimmung erreichen.
Ganz konkrete Maßnahmen zur **Optimierung der Gebäudeausrichtung** können zum Beispiel die Ausrichtung von Gebäuden zur besseren Durchlüftung eines Baugebietes oder die Planung von Gebäudekomplexen mit Innenhöfen sein. Im Bebauungsplan können zu diesen Zwecken die Bauweise, die überbaubaren und nicht überbaubaren Grundstücksflächen sowie die Stellung der baulichen Anlagen festgesetzt werden (§ 9 Abs. 1 Nr. 2 BauGB).
- 4 Eine Möglichkeit zur Klimaanpassung in randlichen Bereichen der dicht bebauten, urbanen Gebieten stellt der **Rückbau versiegelter Flächen** dar. Dies kann durch die Festsetzung einer nicht baulichen Nutzung erfolgen (vgl. 1. Frei- und Frischluftflächen). Hier gilt es zu beachten, dass die Umnutzung von Brachflächen und Baulücken in nicht baulich genutzte Grundstücke in der Regel mit Entschädigungsansprüchen nach dem Planungsschadensrecht verbunden ist. Hier ist jeweils eine Einzelfallbetrachtung notwendig. Bei klimarelevanten Flächen insbesondere zur Stadtbelüftung kann ein Kauf solcher Flächen sinnvoll sein, auch in Synergie mit der Regenrückhaltung.
Rückbau- und Entsiegelungsmaßnahmen (§§ 171a – d BauGB) werden vor allem bei Stadtumbaumaßnahmen gefördert. Beispielsweise kann bei einer Neugestaltung und damit beabsichtigte Aufwertung von Verkehrsflächen die versiegelte Fläche reduziert werden. Auch das BNatSchG (Eingriffsregelung) kann herangezogen werden, da vor allem bei Baumaßnahmen die Entsiegelung von Flächen oberste Priorität hat.

3.2 Katalog der Klimaanpassungsmaßnahmen - Themenfeld Hitze

Unabhängig von den nachfolgenden Klimaanpassungsmaßnahmen, die in Form von jeweils zweiseitigen Steckbriefen beschrieben werden, gibt es verschiedene übergeordnete Aspekte, die für viele oder alle Anpassungslösungen eine Rolle spielen:

- Bei der Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen ist die Zusammenarbeit verschiedener Bereiche innerhalb der Kommune ein entscheidender und das Ergebnis beeinflussender Faktor. In vielen Kommunen finden einzelne planerische Verfahren (z. B. Bauleitplanung, wasserwirtschaftliche Planung) überwiegend getrennt oder zeitlich nachgeschaltet statt. Dementsprechend schwer ist es, unterschiedliche Belange in die jeweils anderen planerischen Verfahren einzubringen. Insbesondere die Belange derjenigen kommunalen Ressorts, die lediglich als Träger öffentlicher Belange in Planungsverfahren eingebunden sind (z. B. Gesundheitsressort), finden im Rahmen der Umsetzung nur selten Berücksichtigung. Durch eine integrierte Zusammenarbeit der verschiedenen Planungsbereiche zu einem möglichst frühen Zeitpunkt der Maßnahmenplanung besteht die Möglichkeit, die verschiedenen Belange frühzeitig zu bündeln, besser untereinander abzuwägen und möglichst in Einklang zu bringen. Die Planungskonferenz behandelt die jeweiligen Fragestellungen projektbezogen und ressortübergreifend. Schon jetzt gibt es im Wuppertaler Planungsablauf die Abfrage von Belangen anhand einer Checkliste. Hier werden die Anforderungen der Klimaanpassung zukünftig eingepflegt. Mögliche Zielkonflikte von Maßnahmen können durch eine integrierte Planung mit Beteiligung verschiedener Ressorts entschärft, Synergien aufgedeckt und genutzt werden. Durch die integrierte Zusammenarbeit verschiedener Planungsbereiche kann der Besprechungsaufwand in den Kommunen zwar anwachsen, letztlich wird die Planungsarbeit durch frühzeitige Absprachen aber erleichtert und qualitativ verbessert.
- Für einige Anpassungslösungen des Handlungskatalogs wie zum Beispiel Dachbegrünungen oder die Begrünung von Straßenzügen müssen zuvor die baulich-technischen Voraussetzungen wie Dachstatik oder der Verlauf von Leitungstrassen und Kanälen im Straßenbereich abgeklärt werden. Existierende stadtweite Grundlagen wie das Wuppertaler Gründachkataster geben erste Anhaltspunkte. Eine Grundsatzbeschluss zur Dachbegrünung ist in Vorbereitung.
- Ein effizienter Einsatz von Anpassungslösungen ist nur dann möglich, wenn man in der Lage ist, Bereiche zu identifizieren, in denen ein Handlungsbedarf besteht (z. B. über die Handlungskarte Klimaanpassung), und abzuschätzen, mit welcher Strategie und mit welchem Einsatz ein möglichst hoher Kosten-Nutzen-Quotient erreicht wird. Sollen Auswirkungen einer beabsichtigten Veränderung der Stadtstruktur durch große, komplexe Vorhaben vorausgesagt werden, ist der Einsatz eines numerischen Simulationsmodells eine sinnvolle Lösung.
- Übergeordneter Aspekt für fast alle Anpassungslösungen ist auch die Schaffung eines Bewusstseins für die Umsetzungsbereitschaft von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel. Neben der Politik sind hier auch die beteiligten Akteure und die Bürgerschaft angesprochen. Diese Überlegungen stellen grundsätzliche Voraussetzungen für eine erfolgreiche Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen dar und sollten deshalb am Anfang stehen. Neben den öffentlichen Institutionen sind auch die Bürgerinnen und Bürger aufgerufen, sich in Zukunft verstärkt mit den Fragen des Klimawandels und den Möglichkeiten zur Anpassung im eigenen Umfeld zu engagieren. Bürgerinnen und Bürger treffen Entscheidungen in ihrem privaten Umfeld und können somit einen wichtigen Beitrag zur Klimaanpassung leisten. Das eigene Haus, der eigene Garten und angrenzende Bereiche bieten dazu ein großes Betätigungsfeld. Nicht zuletzt auch gewerbliche und industrielle Investoren

können durch ihre raumbestimmenden Entscheidungen einen wichtigen Beitrag zum Gelingen des Anpassungsprozesses beisteuern. Daher sind die Information und aktive Beteiligung von Akteuren, Bürgerinnen und Bürgern sowie von privaten Einrichtungen an den Planungen und Umsetzungen für eine klimaangepasste Stadt besonders wichtig. Ziele dieser Maßnahmen sind neben der Informationsvermittlung vor allem der aktive Einbezug der Beteiligten in Planung und Umsetzung.

Das im März startende Integrierte Klimaschutzkonzept mit dem Handlungsfeld Anpassung greift den Katalog der Klimaanpassungsmaßnahmen auf, um für Wuppertal konkrete Projekte zu entwickeln. Die im Katalog der Maßnahmensteckbriefe zur Klimaanpassung zusammengestellten Klimaanpassungsmaßnahmen sind unterteilt nach unterschiedlichen Maßstabsebenen. Der farblich markierte räumliche Bezug unterscheidet:

- Maßnahmen zur Anpassung auf Stadtebene (grün, Steckbriefe S1 bis S5)
- Maßnahmen zur Anpassung auf Quartiersebene (gelb, Steckbriefe Q1 bis Q11)
- Klimaanpassungsmaßnahmen auf Gebäudeebene (blau, Steckbriefe G1 bis G5).
- Maßnahmen zur Anpassung auf Verhaltensebene (weiß, Steckbriefe M1 bis M6):
 - Stärkere Vernetzung von Politik, Akteuren und der Bürgerschaft
 - Persönliche Verhalten an die zukünftigen Klimabedingungen anpassen
 - Pläne zur Verhaltensvorsorge aufstellen.

Alle Maßnahmen werden in Form von Steckbriefen mit einer ausführlichen Beschreibung, ihren Anwendungsbereichen, eventuell auftretenden Synergien und Zielkonflikten sowie Akteuren, Kooperationspartner, Zielgruppe und Umsetzungsinstrumenten vorgestellt.

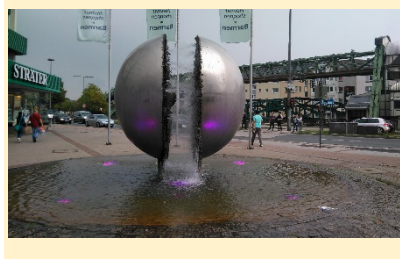
Stadtebene

Langfristig umzusetzende Maßnahmen fallen in den Bereich der Freiraumplanung. Aufgrund der sehr langsamen Geschwindigkeit eines nachhaltigen Stadtumbaus besteht hier ein hoher Handlungsdruck für die Stadtplanung. Anpassungsmaßnahmen für Veränderungen, die sich erst in der Zukunft ergeben, müssen bereits heute beginnen. Freiwerdende relevante Flächen sind im Sinne der Stadtbelüftung einer sorgfältigen Abwägung über die zukünftige Nutzung zu unterziehen.



Quartiersebene

Mittelfristig umzusetzende Maßnahmen zur Anpassung der städtischen Infrastruktur an den Klimawandel sind Begrünungs- und Entsiegelungsmaßnahmen im Straßenraum. Kurz- bis mittelfristig umsetzbar ist die Schaffung von kleineren offenen Wasserflächen im Stadtbereich. Maßnahmen einer baulichen Quartiersumgestaltung sind nur mittel- oder langfristig umsetzbar.



Gebäudeebene

Kurz- bis mittelfristig umzusetzende Maßnahmen zur Reduzierung der Hitzebelastung im städtischen Raum auf Gebäudeebene sind Dach- und Fassadenbegrünungen. Veränderungen im Gebäudedesign (Neubau), wie die Gebäudeausrichtung, Hauswandverschattung, Wärmedämmung und der Einsatz von geeigneten Baumaterialien können als mittelfristige Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel zusammengefasst werden.

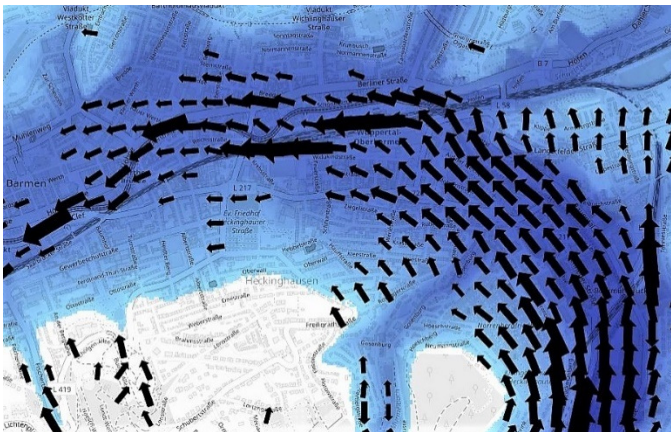


Nicht an jedem Ort innerhalb eines Siedlungsgebietes ist es aus stadtklimatischer Sicht sinnvoll, Begrünungen vorzunehmen. Zusätzlich spielt die Art der Begrünung eine große Rolle. Beispielsweise ist bei Bäumen ihre Gestalt von entscheidender Bedeutung: Bäume mit breiten, tief ansetzenden Kronen können Frischluftschneisen beeinträchtigen und somit zumindest örtlich einen negativen Effekt bewirken. Gleiches gilt für breite Strauchbeete mit relativ hochwachsenden Bodendeckern und Hecken, die ebenfalls eine Barriere für schwache Luftströmungen darstellen könnten, wenn sie andererseits auch eine günstige Staubfilterwirkung aufweisen. Das Spektrum an Arten und innerartlichen Sippen bei Begrünungsmaßnahmen in Siedlungen umfasst ein breit gefächertes Inventar, das von heimischen Waldbäumen und Heckensträuchern bis hin zu gärtnerisch generierten Sorten gebietsfremder bis exotischer Gehölzarten reicht. Aufgrund der sich ändernden klimatischen Rahmenbedingungen kann nun der Biotop- und Artenschutz bei Begrünungen eine eminentere Position einnehmen, nicht zuletzt, weil die Bedeutung von Siedlungsgebieten für diesen erkannt wurde und die Artenvielfalt von der Vielfalt an urbanen Biotopen profitiert. Hingegen ist außerhalb durch die hochgradig intensivierte Landwirtschaft für viele Arten keine Überlebenschance gegeben.

Grundsätzlich sollten die Begrünungselemente in erster Linie der thermischen und der lufthygienischen Komponente des Stadtklimas dienlich sein. Um dem Biodiversitätsschutz entgegen zu kommen, sollte dann die Schnittmenge mit entsprechenden Arten gesucht werden. Dabei muss die ökologische Anpassung an den Ist-Zustand und gleichzeitig an die anzustrebende Klimaanpassung erfolgen. Ein grundsätzliches Patentrezept existiert allerdings nicht, welches eine Allgemeingültigkeit für alle Standortssituationen selbst bei sonst maximaler Vergleichbarkeit versprechen kann. Hinzu kommt, dass bestimmte Eigenschaften von Pflanzen, die als geeignet erscheinen, andererseits hinsichtlich eines anderen Klimafaktors wiederum ungünstig sein können. So sind Bäume mit großflächigen Blättern als Feinstaubfilter zunächst günstig, eine große Blattoberfläche kann aber ein Problem für zunehmende Trockenheit sein, weil eine höhere Verdunstungsrate erzielt wird; andererseits sind Bäume mit schmalen Blättern besser widerstandsfähig gegenüber Verdunstung, fangen aber erheblich weniger Feinstaub ab. Da Ozon im Sommer zukünftig eine geringere Rolle spielen könnte, ist der Fokus auf eine gute Verdunstungsleistung und damit Kühlung der Umgebungsluft zu lenken. Schließlich existieren art- und sortenspezifische Wirkungen, die trotz laufender Forschungsprojekte und bereits existenter Arten- und Sortenlisten (für Stadt- bzw. Straßenbäume) nur teilweise bekannt sind. Es ist damit für den jeweiligen zu betrachtenden Einzelfall – der jeweilige Straßenzug, die jeweilige Siedlung – nach einer Lösung zu suchen. Baumlisten für andere Städte, wie beispielsweise Düsseldorf, sind in Wuppertal nur bedingt nutzbar. Hier spielt beispielsweise die Salzverträglichkeit von Baumarten eine größere Rolle. Die Listen geeigneter Stadtbäume werden ständig aufgrund neuer Erkenntnisse fortgeschrieben, die Nutzung der jeweils aktuellen Listen ist deshalb notwendig.

In dem folgenden „**Katalog der Maßnahmensteckbriefe zur Klimaanpassung**“ werden die einzelnen Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel jeweils als doppelseitiger Steckbrief zu einem Maßnahmenkatalog zusammengestellt. Der Katalog enthält 27 Steckbriefe mit einem jeweiligen Bezug zum Stadtgebiet von Wuppertal.


Titel	S1: Erhalt und Schaffung von Luftleitbahnen
Räuml. Bezug	Stadtebene
Relevanz	Sehr hoch
Beschreibung	<p>Luftleitbahnen verbinden Kaltluftentstehungsgebiete oder Frischluftflächen mit überwärmten städtischen Bereichen und sind somit ein wichtiger Bestandteil des städtischen Luftaustausches. Insbesondere bei austauscharmen Wetterlagen sind sie klimarelevant, da über sie geringer belastete Luftmassen in die belasteten Räume der Stadt transportiert werden (VDI 2003). Luftleitbahnen lassen sich in drei Kategorien einteilen (Weber & Kuttler 2003):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ventilationsbahnen gewährleisten einen Luftmassentransport unabhängig von der thermischen oder lufthygienischen Ausprägung. • Kaltluftbahnen transportieren kühle, aber hinsichtlich der lufthygienischen Situation nicht näher spezifizierte Luftmassen. • Frischluftbahnen leiten lufthygienisch unbelastete, thermisch aber nicht näher differenzierte Luftmassen.  <p>Wupper als Luftleitbahn (Foto: Stadt Wuppertal)</p> <p>Nach Mayer et al. (1994) sollten effiziente Ventilationsbahnen folgende Mindesteigenschaften aufweisen: eine aerodynamische Rauigkeit (Unebenheit der Oberfläche) von $\leq 0,5$ m bei einem Längen-/Breitenverhältnis von 20:1 (Länge ≥ 1000 m, Breite ≥ 50 m). Das Relief innerhalb und außerhalb eines Stadtkörpers kann im Fall von Tälern zusätzlich zu Kanalisierungseffekten führen. Hierdurch kann frische, kühle Umlandluft weit in den Stadtkörper hineingeführt werden. In Strahlungsnächten kann auch bei entgegengesetzter Strömung in der freien Atmosphäre bodennahe Kaltluft in die Bebauung vordringen und zu einer lokalen Abkühlung im Bereich der städtischen Bebauung führen.</p> <p>Häufig erschweren bereits bestehende Stadtstrukturen die Belüftung über Luftleitbahnen, so dass zumindest die Sicherung von bestehenden Belüftungszonen angestrebt werden sollte. Ein weiterer, den Austausch hemmender Faktor ist in der Wirkung von hoher und dichter Vegetation (Sträucher und Bäume) als Strömungshindernis im Bereich von Luftleitbahnen zu sehen. Hier führt die Vegetation zur Reduzierung der bodennahen Windgeschwindigkeit („Windfänger“), so dass der Austausch erschwert sein kann. Besonders nachteilig wirkt sich dieser Effekt auf strahlungsnächtliche, häufig nur schwach ausgebildete Kaltluftabflüsse aus.</p>

Erwartete Auswirkungen	<p>Hitze</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Hitzereduktion tagsüber <input checked="" type="checkbox"/> Hitzereduktion nachts <input checked="" type="checkbox"/> Versorgung mit Frischluft <input type="checkbox"/> Objektschutz
Synergien	<ul style="list-style-type: none"> - Reduzierung des Oberflächenabflusses bei Starkniederschlägen durch Versickerung auf unversiegelten Flächen, Regenrückhaltung - Flächen zur Naherholung und für den Biotop- und Artenschutz - Verbesserung der Luftqualität - Aufenthaltsqualität erhöhen
Zielkonflikte	<ul style="list-style-type: none"> - Kompakte Stadtstrukturen im Sinne der Verkehrsvermeidung (Klimaschutz) und Landschaftszersiedelung - Erhöhung der Windgeschwindigkeiten bei Sturmereignissen möglich
Akteure	❖ Planen, Umwelt, Bauen, Grünplanung, Regionalplanung
Kooperationspartner	• Flächeneigentümer, z. B. Landwirte
Zielgruppe	◆ Bewohner in dicht bis sehr dicht bebauten Stadtteilen
Umsetzungsinstrumente	<ul style="list-style-type: none"> - Darstellungen und Festsetzungen im FNP (nach § 5 Abs. 2 BauGB) und in B-Plänen (nach § 9 Abs. 1 BauGB) - Frischluftschneisen als zeichnerische Darstellung in Flächennutzungspläne übernehmen, Grünentwicklungspläne aufstellen - In der Begründung zum FNP (§ 5 Abs. 5 BauGB) beziehungsweise B-Plan (§ 9 Abs. 8 BauGB) besonders auf die lokalklimatische Bedeutung Flächen für die Frischluftversorgung des Siedlungsraumes eingehen - Ökokonto, CEF-Maßnahmen
<p>Aufgrund ihrer Lage, der geringen Oberflächenrauigkeit und der Ausrichtung können einzelne Flächen im Stadtgebiet zu einer wirkungsvollen Stadtbelüftung beitragen. Dabei spielen die reliefbedingten Kaltluftabflüsse eine entscheidende Rolle für Wuppertal.</p> <p>Beispiel: Kaltluftstrom im Bereich von Oberbarmen und Barmen</p>	
	<p>Im Haupttal der Wupper sollten die Bedingungen für ein schnelles und tiefes Einströmen der Kaltluft allgemein verbessert werden; hierzu sollte entlang der Talachse unbedingt auf weitere Strömungshindernisse verzichtet und die Entsiegelung von Flächen angestrebt werden, dies kann schwerpunktmäßig im Rahmen einer Umnutzung von Industriebrachen oder in Verbindung mit Begrünungsmaßnahmen entlang der Wupper geschehen.</p>

Titel	S2: Erhalt und Schaffung von Frischluftentstehungsflächen
Räuml. Bezug	Stadtebene
Relevanz	Sehr hoch
Beschreibung	<p>Als frischluftproduzierende Gebiete gelten vegetationsgeprägte Freiflächen wie Wälder und Parkanlagen sowie landwirtschaftlich genutzte Flächen wie Acker und Grünland. Die Entstehung von Kalt- und Frischluft über einer natürlichen Oberfläche wird durch die thermischen Stoffeigenschaften des Oberflächensubstrates bestimmt. So speichern Böden mit hoher Dichte die Wärme besser und sind daher schlechtere Kaltluftproduzenten als solche mit geringer Dichte und damit geringerer Wärmespeicherfähigkeit (VDI 2003). Feld- und Wiesenflächen kühlen stärker aus und produzieren damit mehr Kaltluft als Waldgebiete.</p> <p>Zusätzlich ist die Wirksamkeit von Frischluftflächen stark von deren Größe abhängig. Durch den Erhalt und die Schaffung zusätzlicher frischluftproduzierender Flächen und deren Vernetzung kann eine Verstärkung ihrer Wirksamkeit erzielt werden. Die Anbindung der Innenstadt an Frischluftflächen trägt zur Unterbrechung oder Abschwächung von Wärmeinseln bei und schafft stadtklimatisch relevante Regenerationsräume. Diese Anbindung über Luftleitbahnen (siehe Maßnahme S1 „Luftleitbahnen“) sollte möglichst ohne Anreicherung mit Schadstoffen erfolgen.</p>  <p>Kaltluftbildende Freiflächen am Siedlungsrand im Norden von Wuppertal, im Bereich Uellendahl (Foto: Ahlemann, K.PLAN)</p> <p>Flächen, die aufgrund des industriellen und demographischen Wandels frei werden, sollten im Rahmen der Stadtplanung auf ihre Relevanz für ein funktionierendes Stadtbelüftungssystem hin geprüft werden. Bei Wiedernutzung sollte eine klimaangepasste Planung vorgesehen werden.</p> <p>Das Leitbild der kompakten Stadt mit kurzen Wegen, das als dominierendes Siedlungsstrukturkonzept unter den städtebaulichen Leitbildern gilt, kollidiert jedoch stark mit den Maßnahmen zur Schaffung und zum Erhalt von Freiflächen, so dass hier ein Abwägungsprozess stattfinden muss. Zwischen dem Freihalten von innerstädtischen Flächen und den Zielen einer klimaschonenden Stadtentwicklung ergeben sich häufig Zielkonflikte. Eine Bebauung von Freiflächen führt zu kompakten Siedlungsstrukturen, die flächen-, verkehrs- und energiesparend sind. Andererseits wird durch die Verdichtung der Bebauung der Wärmeinseleffekt verstärkt. Eine sorgfältige Gestaltung und Vernetzung innerstädtischer Freiflächen kann den negativen Effekten der Verdichtung entgegenwirken.</p>

Erwartete Auswirkungen	Hitze <input checked="" type="checkbox"/> Hitzereduktion tagsüber <input checked="" type="checkbox"/> Hitzereduktion nachts <input checked="" type="checkbox"/> Versorgung mit Frischluft <input type="checkbox"/> Objektschutz
Synergien	- Deutliche Trennung der Stadtteile im Außenbereich - Stadtnahe Erholungsgebiete - Innerstädtischer Biotopverbund, Biodiversität - Luftreinhaltung, Retentionsfläche
Zielkonflikte	- Neuausweisung von Wohnbauflächen bei Bevölkerungszunahme - Neuausweisung von Industrie- und Gewerbeflächen
Akteure	❖ Planen, Umwelt, Bauen, Grünplanung, Regionalplanung
Kooperationspartner	• Flächeneigentümer, z. B. Landwirte
Zielgruppe	◆ Bewohner in dicht bis sehr dicht bebauten Stadtteilen
Umsetzungsinstrumente	- Verschiedene Darstellungen im FNP (nach § 5 Abs. 2 BauGB) und Festsetzungen in B-Plänen (nach § 9 Abs. 1 BauGB) - In der Begründung zum FNP (§ 5 Abs. 5 BauGB) beziehungsweise B-Plan (§ 9 Abs. 8 BauGB) besonders auf die lokalklimatische Bedeutung der betreffenden Flächen für die Frischluftversorgung des Siedlungsraumes eingehen - Biotopverbundplanung, Grünplanung
<p>Freiflächen in direkter Randlage zu den Siedlungsgebieten oder zwischen großflächigen Industrie- und Gewerbegebieten sind aufgrund ihrer sehr bedeutenden Funktion als schutzwürdig eingestuft. Freiflächen mit einer Lage direkt in einer Luftleitbahn oder mit einem direkten Anschluss an diese sind ebenfalls hoch schutzwürdig, da sie wirkungsvolle kühle Frischluft für die verdichteten Stadtteile bereitstellen können. Da in der Talachse von Wuppertal selbst keine ausgedehnten, landwirtschaftlich genutzten Flächen zur Verfügung stehen, sind die hier vorhandenen großflächigen Park-, Grün- und Kleingartenanlagen zu erhalten.</p> <p>Beispiel: Freiflächen im Bereich Steinbeck</p>	
<div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="flex: 1;">  </div> <div style="flex: 2; padding-left: 10px;"> <p>Freiflächen sind im ländlich geprägten Umland im Norden und Süden des Stadtgebietes von Wuppertal ausreichend vorhanden, um genügend kühle Frischluft für das Stadtgebiet zu produzieren. Wichtig für die Wirksamkeit dieser Frischluftflächen ist ihre Anbindung an die dicht bebauten Stadtteile in der Talachse wie das Beispiel der Freifläche mit Anschluss an Wuppertal-Steinbeck zeigt.</p> </div> </div>	
Foto: Stadt Wuppertal	

Titel	S3: Freihalten von Hängen und Luftschneisen
Räuml. Bezug	Stadtebene
Relevanz	Sehr hoch
Beschreibung	<p>Große Freiflächen mit Kaltluftproduktion und Tallagen mit Fließrichtung Stadt gelten als besonders sensible Flächen zur Stadtbelüftung, die auch bei Schwachwind zu einer Stadtbelüftung durch Kaltlufttransport beitragen. Dabei spielt die Hangneigung und die relative Lage zum Siedlungsgebiet eine wichtige Rolle für die Klimarelevanz einer Fläche. Damit Frischluft auch bei schwachen Windströmungen von außen in die Stadt gelangen kann, darf die Bebauung am Stadtrand keine abriegelnden Bebauungsgürtel bilden (Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg 2012). Hänge entlang von Kaltluftbahnen sollten von hangparalleler Riegelbebauung freigehalten werden.</p> <p>Negative Auswirkungen des Reliefs sind in Wuppertal vorhanden, dort wo die Talsohle und die Talhänge urbane Flächennutzungen aufweisen. Die Bebauung kann die bodennahe Ventilation verringern. Im ungünstigsten Fall bildet eine quer zur Talachse oder längs zur Hangausrichtung orientierte Bebauung einen Strömungsriegel (siehe Abbildung), der bei schwachen Bodenwinden eine Ventilation der leeseitigen Bebauung beeinträchtigen kann. Hangbebauungen sollten, wo nicht auf sie verzichtet werden kann, mit großen Abständen und mit niedrigen Höhen erfolgen. Die positive Wirkung von Lüftungsschneisen entsteht nur bei zusammenhängenden Freiflächen (Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg 2008). Bei Berücksichtigung dieser Aspekte ist es möglich, einen Zielkonflikt zwischen den positiven Auswirkungen von Hangbebauungen aus energetischen Gesichtspunkten für den Klimaschutz und den Anforderungen der Stadtbelüftung zu vermeiden.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div> <p>Durchlässige Hangbebauung (links) und hangparallele Zeilenbebauung mit Riegelwirkung (rechts) (Quelle: Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg 2012)</p> <p>In geringerem Maße gilt dies auch für großflächige Aufforstungen im Bereich von hangabwärts gerichteten Belüftungsbahnen. Dichter Wald kann diese Belüftung behindern, besonders nachteilig wirkt sich dieser Effekt auf strahlungsnächtliche, häufig nur schwach ausgebildete Kaltluftabflüsse aus. Einzelbäume und lichte Baumgruppen sind dagegen unschädlich für die Luftströmung.</p>

Erwartete Auswirkungen	Hitze <input checked="" type="checkbox"/> Hitzereduktion tagsüber <input checked="" type="checkbox"/> Hitzereduktion nachts <input checked="" type="checkbox"/> Versorgung mit Frischluft <input type="checkbox"/> Objektschutz
Synergien	- Luftqualität
Zielkonflikte	- Kompakte Stadtstrukturen im Sinne des Klimaschutzes - Aufforstung
Akteure	❖ Planen, Umwelt, Bauen, Grünplanung, Regionalplanung
Kooperationspartner	• Investoren, Architekten
Zielgruppe	◆ Bewohner in dicht bis sehr dicht bebauten Stadtteilen
Umsetzungsinstrumente	- Festsetzen der Stellung der baulichen Anlagen (nach § 9 (1) Nr. 2 BauGB) in B-Plänen - Festsetzen von Art und Maß der baulichen Nutzung (nach § 9 (1) Nr. 1 BauGB), konkretisiert insbesondere durch §§ 16 (3), 17, 19 BauNVO und von Mindestmaßen der Baugrundstücke und von Höchstmaßen für Wohnbaugrundstücke (nach § 9 (1) Nr. 3 BauGB) in B-Plänen - Frischluftschneisen als zeichnerische Darstellung in Flächennutzungspläne übernehmen - Biotopverbundplanung - Wettbewerbsausschreibungen - (Städtebauliche) Verträge - Gestaltungssatzungen und Gestaltungsfestsetzungen im B-Plan
<p>Die von den nördlich und südlich der Talachse gelegenen Hängen abfließende nächtliche Kaltluft kann zu einer besseren Stadtbelüftung beitragen. Deshalb sollte auf eine Riegelbebauung oder Aufforstung insbesondere im mittleren und unteren Bereich der Hanglagen verzichtet werden.</p> <p>Beispiel: Hangbebauung südlich von Unterbarmen</p>	
	<p>Im unteren Hangbereich des Wuppertales südlich von Unterbarmen reichen der ev. Friedhof Unterbarmen sowie mehrere Kleingartenanlagen in das Siedlungsgebiet hinein und stellen über hindernisarme Flächen eine gute Hangbelüftung sicher.</p> <p>Als Riegelbebauung wirken dagegen die Gebäude des Gymnasiums „Am Kothen“.</p>

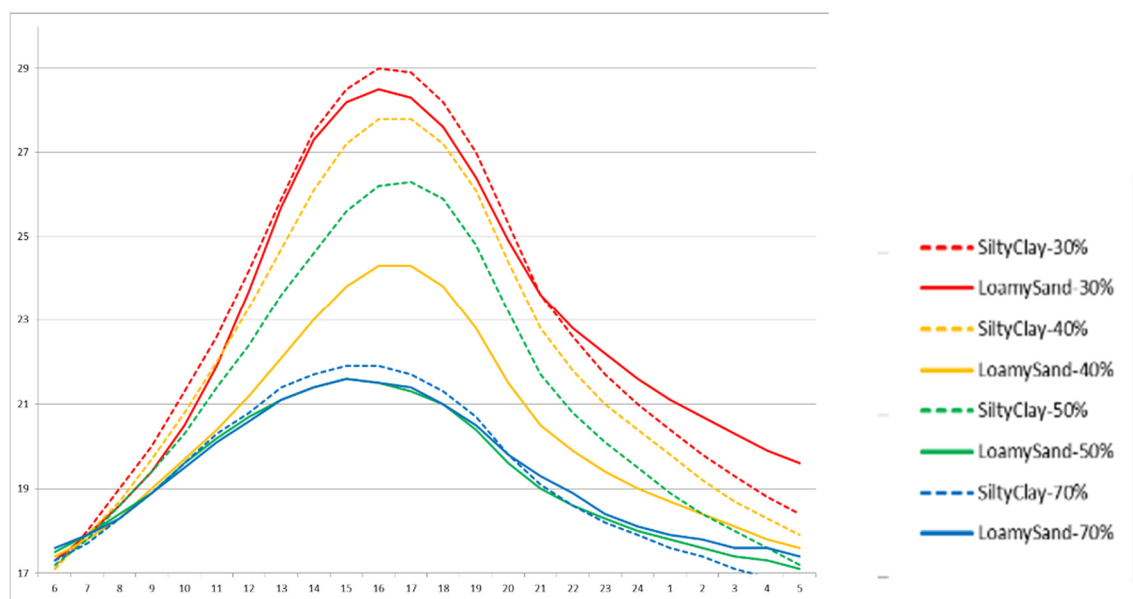
Titel	S4: Festlegen von Siedlungsgrenzen
Räuml. Bezug	Stadtebene
Relevanz	Sehr hoch
Beschreibung	<p>Um auch bei schwachen Strömungen eine ausreichende Stadtbelüftung zu gewährleisten, ist eine geringe Flächenausdehnung und Bebauungsdichte der Siedlungskörper erforderlich. So kann durch das Heranführen von Frisch- und Kaltluft aus der Umgebung die Hitzebelastung in den Innenstädten deutlich abgemildert und die lufthygienische Situation dort verbessert werden.</p>  <p>Siedlungsrand Wuppertal - Ronsdorf (Foto: Steinrück, K.PLAN)</p> <p>Im Umland einer Stadt sollten daher ausreichend Freiflächen für den Luftaustausch mit der Innenstadt zur Verfügung stehen. Insbesondere wenn nur wenige Freiflächen als Pufferraum zwischen dicht nebeneinander liegenden Stadtteilen vorhanden sind oder durch weitere Baumaßnahmen mit einer Einschränkung der Frischluftzufuhr zu rechnen ist, sollten im Ortsrandbereich Siedlungsgrenzen festgesetzt werden. Damit kann der Erhalt klimatisch wertvoller Freiräume gesichert und einer Zersiedelung des Stadtgebietes entgegengewirkt werden.</p> <p>Innerstädtische Grünzüge sollten – wo immer möglich – vernetzt werden. Zur Sicherung der Stadtbelüftung über innerstädtische Grünzüge und Frischluftschneisen können auch diese Räume durch Festsetzung von Siedlungsgrenzen freigehalten werden.</p> <p>Durch das Festsetzen von Siedlungsgrenzen werden somit folgende Ziele verfolgt:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Schutz des Außenraumes vor weitergehender Bebauung - Schutz innerstädtischer Regenerationsflächen vor zusätzlicher Bebauung <p>Eine sorgfältige Gestaltung der verbleibenden innerstädtischen Freiflächen und Stadtrandflächen kann den negativen Effekten der Verdichtung entgegenwirken.</p>

Erwartete Auswirkungen	<p>Hitze</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Hitzereduktion tagsüber <input checked="" type="checkbox"/> Hitzereduktion nachts <input checked="" type="checkbox"/> Versorgung mit Frischluft <input type="checkbox"/> Objektschutz
Synergien	<ul style="list-style-type: none"> - Kompakte Stadtstrukturen im Sinne der geringen Landschaftszersiedelung - Sicherung von Freiflächen für die Regenwasserversickerung - Grünentwicklung und Biotopverbundplanung
Zielkonflikte	<ul style="list-style-type: none"> - Ausweisung von Wohnbauflächen bei Bevölkerungszunahme - Ausweisung von Gewerbegebieten
Akteure	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Planen, Umwelt, Bauen, Grünplanung, Regionalplanung
Kooperationspartner	<ul style="list-style-type: none"> • Flächeneigentümer, z. B. Landwirte
Zielgruppe	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Bewohner in dicht bis sehr dicht bebauten Stadtteilen
Umsetzungsinstrumente	<ul style="list-style-type: none"> - Darstellen von Bauflächen und Baugebieten im FNP - Festsetzen von Art und Maß der baulichen Nutzung (nach § 9 (1) Nr. 1 BauGB), Festsetzen der Bauweise, der überbaubaren und der nicht überbaubaren Grundstücksflächen sowie der Stellung der baulichen Anlagen (nach § 9 (1) Nr. 2 BauGB) in B-Plänen - Freiraumplanung, GEP, Biotopverbundplanung - In der Begründung zum FNP (§ 5 Abs. 5 BauGB) beziehungsweise B-Plan (§ 9 Abs. 8 BauGB) besonders auf die lokalklimatische Bedeutung der betreffenden Flächen für die Frischluftversorgung des Siedlungsraumes eingehen.
<p>Um ein Zusammenwachsen der Siedlungsgebiete außerhalb des innerstädtischen Bereichs zu verhindern, sollten die Freilandbereiche zwischen den Siedlungsflächen und vor allem zwischen Siedlungs- und Gewerbegebieten vor Bebauung geschützt werden. In Wuppertal trifft dies insbesondere für die Freiflächen zwischen den Siedlungsräumen in der Talachse zu.</p> <p>Beispiel: Nordpark (Foto: Stadt Wuppertal)</p>	
<div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="flex: 1;">  </div> <div style="flex: 2; padding-left: 20px;"> <p>Der Nordpark stellt die nördliche Begrenzung der Siedlungsbereiche von Barmen und Wichlinghausen sicher. Eine konsequente Trennung der einzelnen Siedlungsflächen durch Freilandbereiche verhindert eine Ausweitung von Hitzeinseln und schwächt die Belastung in den Siedlungskernen ab. Diese Freiflächen sind vor Bebauung zu schützen.</p> </div> </div>	

Titel	S5: Aktivierung der Bodenkühlleistung
Räuml. Bezug	Stadtebene
Relevanz	Sehr hoch
Beschreibung	<p>Eine bisher wenig beachtete Möglichkeit, um der durch den Klimawandel zunehmenden städtischen Überwärmung entgegenzuwirken, ist der Schutz oder die Wiederherstellung und die gezielte Nutzung der sogenannten Kühlfunktion des Bodens. Die natürliche Kühlleistung der Böden ist durch Versiegelung, Grundwasserabsenkungen und Bodenveränderungen in vielen Städten bereits heute in großem Umfang stark reduziert. Von großer Bedeutung für die Klimaanpassung im städtischen Raum ist die Einbindung von Kaltluftproduktionsflächen und Frischluftschneisen in die Maßnahmen zur Reduktion der sommerlichen Hitzeinsel. Dabei wird von einer grundsätzlichen Kühlleistung von unversiegelten Flächen ausgegangen, und die Sicherung innerstädtischer Grünanlagen und Frischluftschneisen ist aktuell ein Thema in der Stadtplanung.</p> <p>Die gigantischen Energietransferleistungen des Bodens, die durch „Versiegelung“ unterbunden werden, lenken den Blick auf das Potential der Böden zur Kühlung der städtischen Atmosphäre. Bodenraumeinheiten mit hohen und mittleren Bodenkühlleistungen, die ehemals vorhanden waren, treten in urban geprägten Räumen kaum noch auf, bedingt durch mächtige Aufschüttungen und die heute dominierenden urban-industriellen Böden. Somit bieten die überprägten Böden Potentialflächen z.B. für Ausgleichsmaßnahmen, um der innerstädtischen Überwärmung durch Verbesserung dieser Böden auf nachhaltige Art entgegenzuwirken.</p>  <p>Profil eines typischen Stadtbodens mit sehr geringem Kühlleistungspotential (Foto: K.PLAN)</p> <p>Um einer weiteren Erwärmung der Städte entgegenzuwirken, sollten Böden mit hohen pflanzenverfügbaren Wasserspeicherleistungen und/oder Grundwasseranschluss in stadtklimatisch relevanten Frischluftschneisen und Erholungsräumen von Überbauung, Abgrabung und Aufschüttung freigehalten werden. Diese Böden wirken ganzjährig ausgleichend auf die Lufttemperaturen und kühlend in den Sommermonaten.</p>

Erwartete Auswirkungen	Hitze <input type="checkbox"/> Hitzereduktion tagsüber <input checked="" type="checkbox"/> Hitzereduktion nachts <input checked="" type="checkbox"/> Versorgung mit Frischluft <input type="checkbox"/> Objektschutz
Synergien	- Bodenschutz
Zielkonflikte	- Ausweisung von Wohn-, Gewerbe- und Industriegebieten
Akteure	❖ Fachbereiche Planen, Umwelt, Bauen, Grünplanung
Kooperationspartner	• Landwirte
Zielgruppe	◆ Bewohner in dicht bis sehr dicht bewohnten Stadtteilen
Umsetzungsinstrumente	- In der Begründung zum FNP (§ 5 Abs. 5 BauGB) beziehungsweise B-Plan (§ 9 Abs. 8 BauGB) besonders auf die lokalklimatische Bedeutung der betreffenden Flächen für die Frischluftversorgung des Siedlungsraumes eingehen. - Bodenschutzmanagement - Ausgleichsmaßnahmen

Die **Wärmespeicherkapazität** und die **Wärmeleitfähigkeit** eines Bodens spielen die entscheidende Rolle für die Aufheizung der Bodenoberfläche und damit der darüberliegenden Luftschichten. Versiegelte Böden sind deshalb in der Regel deutlich wärmer als die Luft und führen zur Aufheizung, während Freilandflächen im Laufe des Abends und der Nacht kühlend auf die Luft wirken. Die Größe der Bodenspeicherkapazität ist sehr wichtig für die Klimawirksamkeit der Böden. Wie viel Wasser den Pflanzen zur Verdunstung zur Verfügung steht, ist vom Aufbau und den Eigenschaften eines Bodens abhängig. Das Wasserspeicher- und Wasserhaltevermögen wird wesentlich von Bodenart (Körnung), Humusgehalt, Gefüge, Trockenrohdichte und dem daraus resultierenden Porenraum bestimmt.



Simulierte Tagesgänge der Lufttemperaturen (2 m Höhe) über Freiland mit Variation der Bodenart und -feuchte

Titel	Q1: Parkanlagen schaffen, erhalten und optimieren
Räuml. Bezug	Quartiersebene
Relevanz	Sehr hoch
Beschreibung	<p>Urbane Grünflächen haben eine hohe Bedeutung für das Lokalklima, da von ihnen eine kühlende Wirkung ausgeht. Tagsüber führt eine Freifläche, die idealerweise aus Wiese mit Sträuchern und lockerem Baumbestand besteht, durch Schattenwurf und Energieverbrauch aufgrund von Evapotranspiration zu einem thermisch ausgleichenden Bereich für die bebaute Umgebung. Nachts können Freiflächen durch Kaltluftbildung und Luftaustausch kühlend auf die Umgebung wirken.</p>  <p>Barmer Anlagen mit optimaler Ausgestaltung (Foto: Stadt Wuppertal)</p> <p>Untersuchungen haben gezeigt, dass Kühlungseffekte ab einer Parkgröße von 2,5 ha zu messen sind und die Reichweite der kühlenden Wirkung eines innerstädtischen Parks etwa dem Durchmesser des Parks entspricht (Upmanis et al. 1998). Eine klimatische Fernwirkung über die direkt anschließende Bebauungsreihe hinaus ergibt sich erst bei ausgedehnten Parkanlagen ab 50 ha (Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg 2012). Bei einer engen Vernetzung (Biotopverbund) tragen auch kleinere Grünflächen zur Abmilderung der Wärmeinsel bei.</p> <p>Als klimawirksame Grünflächen zählen auch große innerstädtische Friedhöfe, insbesondere wenn sie mit einem hohen Baumbestand ausgestattet sind. In Wuppertal haben auch viele der großen Parkanlagen einen dichten Baumbestand, deren Oaseneffekt der unmittelbaren Klimaverbesserung vor Ort wichtig ist für die Bevölkerung. Bei einer offenen Gestaltung der Parkanlagen zur angrenzenden Bebauung hin kann die positive Klimawirkung weiter in die Umgebung hineinwirken.</p>

Erwartete Auswirkungen	<p>Hitze</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Hitzereduktion tagsüber <input checked="" type="checkbox"/> Hitzereduktion nachts <input checked="" type="checkbox"/> Versorgung mit Frischluft <input type="checkbox"/> Objektschutz
Synergien	<ul style="list-style-type: none"> - Erweiterung der Multifunktionalität Friedhöfen und Kleingartenanlagen - Attraktivitätssteigerung von Innenstädten - Lebensqualität sichern - Naherholung, Gesundheitsvorsorge
Zielkonflikte	<ul style="list-style-type: none"> - Ausweisung von zentrumsnahen Wohnbauflächen
Akteure	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Planen, Umwelt, Bauen, Grünplanung, Regionalplanung
Kooperationspartner	<ul style="list-style-type: none"> • Barmer Verschönerungsverein, Ronsdorfer Verschönerungsverein, Flächeneigentümer, Nutzer, Naturschutzverbände, Landschaftsarchitekten
Zielgruppe	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Bewohner in den jeweils angrenzenden Stadtquartieren
Umsetzungsinstrumente	<ul style="list-style-type: none"> - Darstellen von Grünflächen wie Parkanlagen (nach § 5 (2) Nr. 5 BauGB) im FNP - Grünordnungsleitplan - Festsetzen der öffentlichen und privaten Grünflächen wie Parkanlagen (nach § 9 (1) Nr. 15 BauGB) in B-Plänen
<p>Die vorhandenen Grünanlagen in den Wuppertaler Stadtzentren sind auch aus klimatischen Gründen unersetzbar. Sie führen zu einer Abschwächung und Begrenzung der innerstädtischen Wärmeinsel ebenso wie sie Rückzugsorte an heißen Tagen darstellen. Der Erhalt der bestehenden Parkanlagen, Friedhöfe, Kleingärten und der privaten Gärten sowie deren Vernetzung untereinander und mit den Freiflächen im Außenbereich sind dringend anzustreben.</p> <p>Beispiel: Hardt-Anlagen (Foto: Stadt Wuppertal)</p>	
	
<p>Die Parkanlagen in den westlichen Stadtteilen der Talachse spielen als Kalt- und Frischluftlieferant eine wichtige Rolle, da hier die Kaltluftzufuhr aus dem Tal der Wupper geringer ist als in den östlichen Stadtteilen. Die Parks sind zu erhalten und nach außen hin offen zu gestalten. Eine wesentliche Rolle spielen die innerstädtischen Parks auch für die Naherholung der Stadtbevölkerung.</p>	

Titel	Q2: Erhalt und Schaffung von Mikrogrün
Räuml. Bezug	Quartiersebene
Relevanz	Sehr hoch
Beschreibung	<p>Neben der Bedeutung von Grünflächen als Gliederungselement in den städtischen Siedlungsräumen ist ihre Funktion als innerstädtische Ausgleichsfläche besonders hervorzuheben. Die klimatische Reichweite innerstädtischer Freiflächen variiert dabei in Abhängigkeit von der Flächengröße, ihrer Ausgestaltung mit Grün sowie ihrer Anbindung an die Bebauung. Bei einer ausreichenden Flächengröße ist eine klimaregulierende Funktion der Grünflächen gewährleistet.</p> <p>Eine besondere Funktion kommt den Grüngürteln als Trennungselement zwischen Wohngebieten und emittierenden Industrie- und Gewerbegebieten oder stark befahrenen Straßen zu. Hier bewirken sie durch eine Abstandsfunktion eine Verdünnung 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. Kleine, isoliert liegende Grünflächen, wie z. B. begrünte Innenhöfe zeigen zwar keine über die Fläche hinausreichende Wirkung, nehmen aber als „Klimaoasen“ (sogenannte „Pocket-Parks“) gerade in den dicht bebauten Innenstädten wichtige Aufgaben als lokale Freizeit- und Erholungsräume wahr.</p>  <p>Mikrogrün zwischen Treppenaufgang (Foto: Stadt Wuppertal)</p> <p>Das größte Hindernis bei der Schaffung von innerstädtischen Grünflächen ist der Platzmangel. Um mehr Vegetationsflächen zu schaffen, sollten daher auch unkonventionelle Möglichkeiten wie das Begrünen von Straßenbanketten genutzt werden. Die ökologischen Effekte von Rasen oder Vegetationsmatten erreichen bei Weitem nicht die von Bäumen und Sträuchern, führen jedoch zu einem zeitverzögerten Niederschlagsabfluss, erhöhter Verdunstung und Abkühlung.</p>

Erwartete Auswirkungen	<p>Hitze</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Hitzereduktion tagsüber <input type="checkbox"/> Hitzereduktion nachts <input type="checkbox"/> Versorgung mit Frischluft <input type="checkbox"/> Objektschutz
Synergien	<ul style="list-style-type: none"> - Attraktivitätssteigerung von Innenstädten - Lebensqualität sichern
Zielkonflikte	<ul style="list-style-type: none"> - Ausweisung von zentrumsnahen Wohnbauflächen - Pflegeaufwand
Akteure	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Fachbereiche Planen, Umwelt, Bauen, Grünplanung
Kooperationspartner	<ul style="list-style-type: none"> • Flächeneigentümer, Nutzer, Straßenbau, Naturschutzverbände
Zielgruppe	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Bewohner in dicht bis sehr dicht bebauten Stadtteilen
Umsetzungsinstrumente	<ul style="list-style-type: none"> - Festsetzen von öffentlichen und privaten Grünflächen wie Parkanlagen, Dauerkleingärten, Sport-, Spiel-, Zelt- und Badeplätze, Friedhöfe (nach § 9 (1) Nr. 15 BauGB) in B-Plänen



City von Elberfeld (Foto: Steinrücke, K.PLAN)

Aufgrund des Platzmangels in den Innenstädten von Barmen und Elberfeld können hier keine größeren Flächen entsiegelt und begrünt werden. Da in diesem Bereich aber ein auffälliger Mangel an Grünflächen herrscht, müssen auch kleinste Flächen wie Baulücken, Innenhöfe, Plätze und PKW-Stellplätze zur Begrünung genutzt werden.

Weitere Möglichkeiten bieten die Begrünungen von Straßenzügen (siehe Steckbrief Q3) und von Gebäuden (Steckbriefe G1 und G2), die möglichst in Kombination mit weiteren Begrünungen durchgeführt werden.




Begrünter Innenhof (Foto: Stadt Wuppertal)



Begrünte Straßenbankette (Foto: K.PLAN)

Titel	Q3: Begrünung von Straßenzügen
Räuml. Bezug	Quartiersebene
Relevanz	Hoch
Beschreibung	<p>Im innerstädtischen Bereich kann eine Aufheizung der Luft durch Begrünung von Straßenzügen mit Bäumen und Sträuchern vermindert werden. Der Schattenwurf der Vegetation sowie Verdunstung und Transpiration der Pflanzen reduzieren die Aufheizung der versiegelten Stadtbereiche. Im Bereich von Luftleitbahnen sollten Anpflanzungen so gewählt werden, dass sie keine Hindernisse für Kalt- und Frischluftströmungen bilden.</p> <p>Bei der Auswahl von geeigneten Straßenbäumen ist zu beachten, dass ein geschlossenes Baumkronendach in einer Straßenschlucht durch verminderten Luftaustausch zu einer Anreicherung von Luftschadstoffen im unteren Straßenraum führen kann. Auf stark befahrenen Straßen ist in der Regel nur eine einseitige Baumpflanzung entlang der Straßen, möglichst auf der Sonnenseite zu empfehlen. Es gibt auf der anderen Seite aber auch Straßenabschnitte mit einer sehr guten Durchlüftungssituation, bei denen zwei Baumreihen aus lufthygienischer Sicht unbedenklich sind.</p>  <p>Alleestraße mit wenig Verkehr (Foto: Ahlemann, K.PLAN)</p> <p>Lufthygienische Bedenken gegen eine Begrünung mit Bäumen gelten natürlich nur dort, wo sich unterhalb der Baumkrone signifikante Emissionsquellen befinden. Wenig befahrene Straßenabschnitte, Plätze und Fußgängerzonen können durch eine Begrünung mit Straßenbäumen lokalklimatisch deutlich verbessert werden.</p> <p>Bei der Auswahl der Baumarten zur Straßenbegrünung ist neben der typischen Kronenausprägung und Größe des Baumes auch die Anpassung an den Klimawandel und die Streusalzverträglichkeit zu bedenken (siehe Steckbrief Q4). Bei einer Neupflanzung sollten die Voraussetzung für eine optimale Wasserversorgung bei Trockenperioden mitgeplant und umgesetzt werden.</p>

Erwartete Auswirkungen	<p>Hitze</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Hitzereduktion tagsüber <input checked="" type="checkbox"/> Hitzereduktion nachts <input type="checkbox"/> Versorgung mit Frischluft <input type="checkbox"/> Objektschutz
Synergien	<ul style="list-style-type: none"> - Filterung von Luftschadstoffen - Aufenthalts-, Wohnqualität - Gesundheitsvorsorge
Zielkonflikte	<ul style="list-style-type: none"> - Mögliche Behinderung des Luftaustausches bei geschlossenem Kronendach - (Leitungs-)Kanäle entlang der Straßen - Straßenparallele Parkstreifen
Akteure Kooperationspartner Zielgruppe	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Planen, Umwelt, Bauen, Grünplanung, Tiefbau, Kommunale Servicebetriebe • Anwohner über Baumpartenschaften, Naturschutzverbände ◆ Bewohner in dicht bis sehr dicht bebauten Stadtteilen
Umsetzungsinstrumente	<ul style="list-style-type: none"> - Festsetzungen von Anpflanzungen und Pflanzenbindungen für einzelne Flächen/ für ein Gebiet in B-Plänen möglich (§ 9 Abs. 1 Nr. 25 BauGB) - Gestaltungssatzungen und Gestaltungsfestsetzungen im B-Plan
<p>Da sich die am stärksten ausgeprägten Hitzeinseln auf die Wuppertaler Talachse konzentriert, ist hier auch der Ort mit dem größten Handlungsdruck für Begrünungsmaßnahmen. Straßenbegrünungen sollten aber unter Berücksichtigung des aktuellen und zukünftigen Verkehrs- und damit Schadstoffaufkommens erfolgen, also die Belüftungssituation nicht einschränken. Zu kleine Bäume bei zu großem Straßenquerschnitt entwickeln allerdings keine klimatischen Verbesserungen.</p>	
	
<p style="text-align: right;">Gut ausgebildete Straßenbaumallee (Foto:K.PLAN)</p>	
<p>Im Bereich der engen Stadtstraßen sind Baumpflanzungen mit schmalkronigen, auf den innerstädtischen Plätzen mit großkronigen Einzelbäumen erforderlich. Sie kühlen im Sommer durch Schattenwurf und Verdunstung und können bei starkem Wind die Düsenwirkung abschwächen. Damit kann die Aufenthalts- und Wohnqualität in innerstädtischen Bereichen deutlich erhöht werden.</p>	

Titel	Q4: Auswahl von klimawandelangepassten Pflanzenarten
Räuml. Bezug	Quartiersebene
Relevanz	Hoch
Beschreibung	<p>Im innerstädtischen Bereichen fällt bereits die Menge an thermophilen Pflanzenarten wie Kleines und Japanisches Liebesgras und verschiedene Hirsearten auf, die eindeutige Hinweise für eine Klimaerwärmung darstellen. Allerdings sind nur vergleichsweise wenige dieser Arten geeignet, um im Rahmen eines Klimaanpassungskonzeptes maßgebliche Beiträge zu liefern.</p> <p>Bei der Auswahl von geeigneten Baumarten für die Begrünung im innerstädtischen Raum, dies gilt für eine Begrünung von Straßenzügen ebenso wie bei Parkbäumen, sind neben Faktoren wie Standortansprüchen und Verkehrssicherheit zwei Dinge zu beachten. Zum einen emittieren verschiedene Baumarten unterschiedlich große Mengen an flüchtigen organischen Stoffen, die zur Bildung von Ozon beitragen. Diese Bäume können so zu einer Erhöhung der Ozonbelastung beitragen und sind nicht zur Straßebegrünung geeignet. Eine Auswahl an Pflanzenarten, die wenig biogene Kohlenwasserstoffe emittieren, findet sich bei Benjamin und Winer (1998). 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 erfordern eine gezielte Auswahl von geeigneten Stadtbäumen für die Zukunft. Wärmeresistente Pflanzenarten mit geringem Wasserbedarf sind zukünftig besser für innerstädtische Grünanlagen geeignet. Um eine ausreichende Vielfalt mit Pflanzenarten, die eine sehr hohe Trockenstresstoleranz haben, zu erreichen, ist es notwendig, neben heimischen Arten auch Arten aus Herkunftsgebieten mit verstärkten Sommertrockenzeiten zur Bepflanzung heranzuziehen. Durch eine erhöhte Artenvielfalt im städtischen Raum kann möglichen Risiken durch neue, wärmeliebende Schädlinge vorgebeugt werden. Durch innovative Bewässerungsverfahren (siehe Q5) können im Einzelfall auch weniger trockenresistente Arten zum Einsatz kommen.</p> <p>In einer vom Bund deutscher Baumschulen (BdB) in Auftrag gegebenen Studie wurden am Lehrstuhl für Forstbotanik der TU Dresden (Roloff & Gillner 2007) 250 Gehölzarten auf ihre Eignung als Stadtbäume bei einem prognostizierten Klimawandel bewertet. Dafür wurde eine neue Klima-Arten-Matrix (KLAM) entwickelt, die Trockenstress-Toleranz und Winterhärte in jeweils 4 Abstufungen (sehr geeignet, geeignet, problematisch, sehr eingeschränkt geeignet) als entscheidende Kriterien heranzieht. Neben schon bisher im innerstädtischen Bereich verwendeten Gehölzen wurden auch nichtheimische Baumarten aus Herkunftsgebieten mit ähnlichen Wintertemperaturen und verstärkten Sommertrockenzeiten in die Bewertung aufgenommen.</p> <p>Bei den Baumarten zeigt sich vermehrt, dass eigentlich auch gut verwendbare Arten bzw. Sorten mit zunehmendem Alter schneller abgängig sein können, mindestens aber aufgrund des Trockenstresses in der Stadt früher Herbstfärbung und Blattabwurf vornehmen können. Diesem Umstand könnte man begegnen, indem man dort, wo hinreichend Platz ist, einige Jahre nach der Ursprungspflanzung bereits einen jüngeren Baum nachpflanzt. Wenn die älteren Bäume dann entfernt werden müssen, bleiben die jüngeren Exemplare und ersetzen die Altbäume.</p>

Erwartete Auswirkungen	Hitze <input checked="" type="checkbox"/> Hitzereduktion tagsüber <input checked="" type="checkbox"/> Hitzereduktion nachts <input type="checkbox"/> Versorgung mit Frischluft <input type="checkbox"/> Objektschutz
Synergien	- Biotopschutz, - Biodiversität
Zielkonflikte	- Klimaangepasste Arten sind eventuell gebietsfremde Arten (Neophyten)
Akteure	❖ Planen, Umwelt, Bauen, Grünplanung
Kooperationspartner	• Gartenbaubetriebe, Friedhofsamt, Naturschutzverbände, Landschaftsarchitekten
Zielgruppe	◆ Bewohner in dicht bis sehr dicht bebauten Stadtteilen, Stadtfauna
Umsetzungsinstrumente	- Festsetzungen von Anpflanzungen und Pflanzenbindungen für einzelne Flächen/ für ein Gebiet in B-Plänen möglich (§ 9 Abs. 1 Nr. 25 BauGB) - Gestaltungssatzungen und Gestaltungsfestsetzungen im B-Plan
<p>Die Klima-Arten-Matrix für Stadtbaumarten (Roloff & Gillner 2007) soll eine Entscheidungshilfe bei der Verwendung von Bäumen in der Stadt liefern. Eine weitere Straßenbaumliste mit fachlichen Empfehlungen wird vom Arbeitskreis Stadtbäume der Grünflächenamtsleiterkonferenz (GALK 2015) herausgegeben und aktualisiert. Es werden verschiedene Baumarten auf ihre innerstädtische Eignung für den Extremstandort Straße in verschiedenen Regionen in Deutschland getestet. Das Ziel des GALK-Arbeitskreises ist es, die Artenvielfalt in den Städten zu erhöhen und damit möglichen Risiken durch neue, wärmeliebende Schädlinge vorzubeugen (Abicht 2009).</p> <p>Neuere Erkenntnisse zur Eignung von neuen Baumarten im städtischen Raum sind auch aus Forschungsprojekten in Bayern (Stadtgrün 2021) und Schleswig-Holstein (Klimawandel und Baumsortiment der Zukunft – Stadtgrün 2025) abzuleiten.</p> <p>Für Wuppertal gelten zum Teil andere Bedingungen als für andere Städte, da hier das Problem des Streusalzes eine größere Rolle für die Auswahl geeigneter Straßenbäume spielt. Im Wuppertaler Abo-rium Burgholz werden über 100 Nadel- und Laubbaumarten angepflanzt, damit stellt es flächenmäßig den größten Anbau fremdländischer Baumarten in Deutschland dar.</p> <p>Bei der Auswahl von Bäumen muss zwischen Standorten entlang von Straßen und Standorten in Parkanlagen, Friedhöfen etc. unterschieden werden. Die Neuanpflanzung von Straßenbäumen muss sich prioritär an den Maßgaben der Klimaanpassung orientieren. Entsprechend sind hier häufig hochstämmige Bäume mit höher ansetzender, schmaler Krone geeignet. Unter Berücksichtigung der regionalen Pflanztraditionen und verwandter einheimischer Sippen seien daher entsprechende Sorten des Spitz-Ahorns (<i>Acer platanoides</i>) und der Hainbuche (<i>Carpinus betulus</i>) vorgeschlagen. Im Falle des Spitz-Ahorns handelt es sich bei der Sorte 'Columnare' um die nach GALK-Straßenbaumliste (GALK 2015) empfehlenswerteste Sorte. Bezüglich der Hainbuche ist die Sorte 'Frans Fontaine' am besten geeignet. Nach GALK (2015) sollen zwar vermehrt Spätfrostschäden auftreten können, dies konnte jedoch bei Beobachtungen an Pflanzungen als Stadt-Straßenbaum bisher nicht selbst bestätigt werden.</p> <p>Der Bewuchs auf Baumscheiben unterhalb sollte niedrig gehalten werden. Um die Biodiversität zu fördern, sind daher heimische Formen der Wilden Malve (<i>Malva sylvestris</i>) geeignet, um hier einen entsprechend niedrigen Wuchs zu erhalten. Ergänzt werden können indigene Bodendecker.</p>	

Titel	Q5: Bewässerung urbaner Vegetation
Räuml. Bezug	Quartiersebene
Relevanz	Hoch
Beschreibung	<p>Eine Kühlungsfunktion der Vegetation durch Evapotranspiration setzt eine ausreichende Wasserversorgung der Pflanzen voraus. Durch den Klimawandel verursachte geänderte klimatische Bedingungen mit zunehmender Sommerhitze in den Städten und damit verbundenen sommerlichen Trockenperioden haben erhebliche Auswirkungen auf die urbane Vegetation. Eine Möglichkeit zur Anpassung an diese neuen Bedingungen ist die künstliche Bewässerung derjenigen begrünten Flächen, auf denen während Trockenperioden zu wenig Grundwasser oder Bodenfeuchtigkeit zur Verfügung steht.</p>  <p>Künstliche Bewässerung von Grünanlagen in Kombination mit Kühlung der Umgebungsluft (Foto: Ahlemann, K.PLAN)</p> <p>Diese Lösung verursacht allerdings Konflikte mit der Sicherung der allgemeinen Wasserversorgung während längerer Trockenperioden im Sommer. Eine Alternative zur künstlichen Bewässerung von Flächenbegrünung auf sommertrockenen Standorten im urbanen Raum ist daher ggf. der Ersatz von einheimischen Arten durch Bepflanzung mit trockenresistenten Arten (siehe Steckbrief Q4).</p> <p>Auf der anderen Seite können Regenwasserspeicher als Lieferanten des notwendigen Wassers dienen und weisen damit Synergien mit der Abmilderung der Folgen von Extremniederschlägen auf.</p> <p>Für eine effektive Bewässerung von Straßenbäumen spielen die Faktoren „Baumscheibengröße“, „Speichergröße“ im Wurzelraum und „Bodendecker“ auf den Baumscheiben zur Minimierung von Verdunstungsverlusten eine entscheidende Rolle.</p>

Erwartete Auswirkungen	Hitze <input checked="" type="checkbox"/> Hitzereduktion tagsüber <input checked="" type="checkbox"/> Hitzereduktion nachts <input type="checkbox"/> Versorgung mit Frischluft <input type="checkbox"/> Objektschutz
Synergien	- Nutzung von überschüssigem Regenwasser durch Zwischenspeicherung - Kosteneinsparung - Erhalt der Artenvielfalt
Zielkonflikte	- Bewässerung in Trockenperioden notwendig, wenn wenig Wasser zur Verfügung steht
Akteure	❖ Tiefbau, Grünplanung, Gartenämter
Kooperationspartner	• Flächeneigentümer, Anwohner, Baumpartenschaften
Zielgruppe	◆ Bewohner in dicht bis sehr dicht bebauten Stadtteilen
Umsetzungsinstrumente	- Leistungsverzeichnisse im Rahmen von Vergaben - Information - Notfallpläne
<p>Die Kühlung während trockener Hitzeperioden durch Evapotranspiration der Vegetation wird vor allem im Bereich der hoch verdichteten Bebauung in der Talachse, aber auch in den Stadtteilen Ronsdorf oder Cronenberg benötigt. Während sommerlicher Trockenperioden sollte sich die Bewässerung von Parkanlagen auf diese Bereiche konzentrieren, um die Funktionen der Grünflächen zu erhalten bzw. zu optimieren.</p> <p>Beispiel: Baumrigolen zur Wasserspeicherung und Versorgung des Baums</p>  <p>Eine Möglichkeit zur besseren Versorgung von städtischen Straßenbäumen mit Wasser ist bei Neupflanzungen die Kombination des Wurzelraums mit einer Rigole, die das aus dem Straßenraum abfließende Regenwasser aufnimmt (Synergie mit der Regenwasserbewirtschaftung) und als Speicher für den Wasservorrat des Baumes dient. Erste Untersuchungen hierzu werden vom Tiefbauamt in Bochum unternommen.</p> <p>Bau einer Baumrigole für einen Straßenbaum in Bochum (Foto: K.PLAN)</p>	

Titel	Q6: Einsatz von bodenbedeckender Vegetation; Vermeidung oder künstliche Abdeckung unbewachsener Bodenflächen
Räuml. Bezug	Quartiersebene
Relevanz	Mittel
Beschreibung	<p>Zunehmende Sommerhitze in den Städten kann zur Austrocknung nichtversiegelter Flächen führen. Diese erfüllen aber eine wichtige Funktion für die Niederschlagsversickerung im urbanen Raum. Stark ausgetrocknete Böden führen beim nächsten Niederschlagsereignis dazu, dass ein größerer Teil des Wassers nicht versickern kann und deshalb oberflächlich abfließt. Dies hat negative Auswirkungen auf die Bodenerosion und die Grundwasserneubildung und erhöht das Überschwemmungsrisiko beim nächsten Starkregen.</p> <p>Die Bepflanzung solcher Flächen mit bodenbedeckender Vegetation verringert die Austrocknung des Bodens und verbessert damit das Versickerungsvermögen und die Kühlleistung des Bodens. Blumenwiesen bringen zusätzlich Vorteile für die Biodiversität und den Lebensraum für Insekten.</p> <p>Wo eine Bepflanzung nicht möglich oder sinnvoll ist, können unbewachsene Bodenflächen mit (künstlichen) Materialien wie z. B. Mulch abgedeckt werden, um die Verdunstung aus dem Boden zu verringern und die Kühlleistung zu erhalten.</p>  <p>Innerstädtische Bepflanzung mit bodenbedeckender Vegetation (Foto: Ahlemann, K.PLAN)</p>

Erwartete Auswirkungen	<p>Hitze</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Hitzereduktion tagsüber <input checked="" type="checkbox"/> Hitzereduktion nachts <input type="checkbox"/> Versorgung mit Frischluft <input type="checkbox"/> Objektschutz
Synergien	<ul style="list-style-type: none"> - Verbesserung des Stadtklimas und der Niederschlagswasserversickerung - Biodiversität
Zielkonflikte	
Akteure	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Planen, Umwelt, Bauen, Grünplanung
Kooperationspartner	<ul style="list-style-type: none"> • Flächeneigentümer, Baumpartenschaften zur Bepflanzung von Baumscheiben
Zielgruppe	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Bewohner in dicht bis sehr dicht bebauten Stadtteilen
Umsetzungsinstrumente	<ul style="list-style-type: none"> - Festsetzungen von Anpflanzungen und Pflanzenbindungen für einzelne Flächen / für ein Gebiet in B-Plänen möglich (§ 9 Abs. 1 Nr. 25 BauGB) - Gestaltungssatzungen und Gestaltungsfestsetzungen im B-Plan
<p>Diese Maßnahme der bodendeckenden Vegetation ist im gesamten Stadtgebiet sinnvoll, da sich auch Böden im Außenbereich bei sommerlichen Hitzewetterlagen tagsüber ohne Beschattung extrem stark aufheizen können.</p>	
	
<p>Ausgetrocknete Böden können insbesondere im Umfeld von Oberflächenfließwegen bei Extremniederschlagsereignissen die Versickerung verschlechtern und damit zu einer Verstärkung von oberflächlichem Wasserabfluss und Überschwemmungen führen.</p>	
<p>Dicht bewachsene Baumscheibe (Foto: Stadt Wuppertal)</p>	

Titel	Q7: Verschattung des öffentlichen Raums/ Plätze
Räuml. Bezug	Quartiersebene
Relevanz	Hoch
Beschreibung	<p>Neben den Anforderungen der Wohnbevölkerung an den Schutz vor Auswirkungen des Klimawandels ist auch der Aspekt der Beeinträchtigung der Aufenthaltsqualität und der Produktivität der arbeitenden Bevölkerung im innerstädtischen Bereich zu berücksichtigen. Eine einfache Möglichkeit, die Hitzebelastungen aufgrund direkter Sonneneinstrahlung am Tage zu verringern, ist der Einbau von Verschattungselementen. Dabei reichen die Methoden der Verschattung von Plätzen durch Bäume über Sonnensegel als Schattenspender bis hin zu Arkaden, die die Aufenthaltsqualität in stark besonnten Einkaufsstraßen erhöhen.</p>  <p>Beschatteter Platz in Elberfeld (Foto: Stadt Wuppertal)</p> <p>Darüber hinaus spielt auch die Verschattung von Orten, an denen sich Menschen gezwungenermaßen aufhalten, wie beispielsweise Haltestellen des öffentlichen Nahverkehrs, da sie hier der Hitzeeinwirkung nicht ausweichen können.</p>  <p>Begrünte Bushaltestelle in Manchester</p>

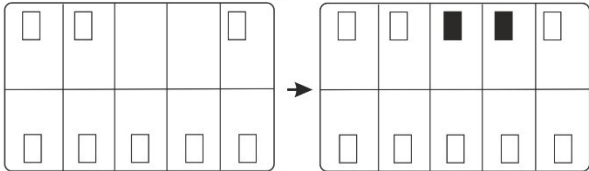
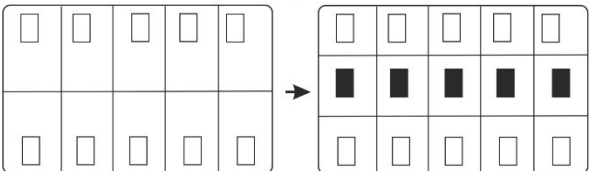
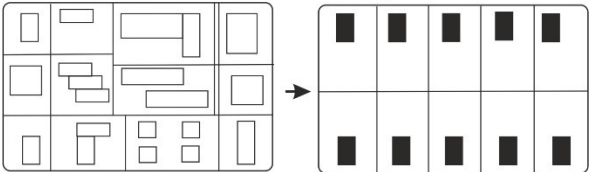
Erwartete Auswirkungen	<p>Hitze</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Hitzereduktion tagsüber <input checked="" type="checkbox"/> Hitzereduktion nachts <input type="checkbox"/> Versorgung mit Frischluft <input type="checkbox"/> Objektschutz
Synergien	<ul style="list-style-type: none"> - Steigerung der Aufenthaltsqualität und damit der Attraktivität von Innenstädten - Verbesserung von Stadtklima und Lufthygiene
Zielkonflikte	<ul style="list-style-type: none"> - möglicherweise mit Veranstaltungen, Märkte auf Plätzen
Akteure	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Planen, Umwelt, Bauen, Grünplanung, Investoren, Bauordnung
Kooperationspartner	<ul style="list-style-type: none"> • Anlieger, Eigentümer, Gewerbetreibende
Zielgruppe	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Bewohner, Beschäftigte, Nutzer in dicht bis sehr dicht bebauten Stadtteilen
Umsetzungsinstrumente	<ul style="list-style-type: none"> - Festsetzen von Anpflanzungen und Pflanzbindungen für einzelne Flächen oder für ein B-Plangebiet sowie für Teile baulicher Anlagen (nach § 9 (1) Nr. 25 BauGB) in B-Plänen - Gestaltungssatzungen und Gestaltungsfestsetzungen im B-Plan - Information von Eigentümern, Nutzern - Partizipation von Bürgern beispielsweise durch Workshops
<p>Um die Aufenthaltsqualität in den Innenstädten der Wuppertaler Stadtteile zu erhöhen, sollten die innerstädtischen Plätze und Freiflächen im Sommer ausreichend beschattet werden. Im Idealfall werden großkronige Bäume zur Verschattung genutzt. Wählt man eine Beschattung durch Bäume, hat dies gleichzeitig positive Effekte auf das Stadtklima und die Lufthygiene. Es können hierbei aber Konflikte zwischen dem Wurzelwerk der Bäume und existierenden Leitungstrassen, Verteilungsnetzen und Kanälen entstehen, weshalb dann ggf. auf bauliche Verschattungsmaßnahmen zurückgegriffen werden muss.</p> <p>Beispiel: Lauretiusplatz in Elberfeld (Foto: Stadt Wuppertal)</p>	
<div style="display: flex; align-items: flex-start;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>An heißen Sommertagen liegt die Aufenthaltsqualität im Schatten der Bäume deutlich höher als auf dem unbeschatteten Platzbereich. Der innerstädtischen Hitze kann so lokal auf kurzen Weg ausgewichen werden. Neben größeren Parkanlagen spielen diese lokalen Ausgleichsräume eine große Rolle für die Lebensqualität der Bevölkerung vor Ort.</p> </div> </div>	

Titel	Q8: Offene Wasserflächen schaffen
Räuml. Bezug	Quartiersebene
Relevanz	Hoch
Beschreibung	<p>Die Verdunstung von Wasser verbraucht Wärmeenergie aus der Luft und trägt so zur Abkühlung der aufgeheizten Innenstadtluft bei. Über eine Steigerung des Anteils von Wasser- und Grünflächen in Städten kann damit ein Abkühlungseffekt erzielt und gleichzeitig in der meist relativ trockenen Stadtatmosphäre die Luftfeuchtigkeit erhöht werden. Dabei wiegt in der Regel die positive Wirkung des Abkühlungseffektes durch die Verdunstung die Nachteile einer eventuell häufiger auftretenden Schwüle im urbanen Gebiet auf.</p> <p>Bewegtes Wasser wie innerstädtische Springbrunnen oder Wasserzerstäuber tragen insgesamt in größerem Maß zur Verdunstungskühlung bei als stehende Wasserflächen. Eine höhere Sonneneinstrahlung stellt mehr Energie zur Wasserverdunstung zur Verfügung, damit erhöht sich der Abkühlungsbetrag. Sonnige Standorte sollten deshalb die bevorzugten Standorte für geplante Brunnen werden. Im direkten Umfeld eines Springbrunnens kann die Lufttemperatur um mehrere Grad niedriger liegen als in der Umgebung. Je nach Belüftungsrichtung kann die Abkühlung bis zu 100 m Entfernung noch nachgewiesen werden.</p>  <p>Springbrunnen in der Fußgängerzone Barmen (Foto: Ahlemann, K.PLAN)</p> <p>Offene Wasserflächen haben zudem eine ausgleichende Wirkung auf die Lufttemperaturen in der Umgebung. Wasser erwärmt sich im Vergleich zur Luft verhältnismäßig langsam, dadurch sind Wasserflächen im Sommer relativ kühl und im Winter relativ warm. In der Regel sind Brunnen in der Winterzeit abgestellt.</p>

Erwartete Auswirkungen	Hitze <input checked="" type="checkbox"/> Hitzereduktion tagsüber <input type="checkbox"/> Hitzereduktion nachts <input type="checkbox"/> Versorgung mit Frischluft <input type="checkbox"/> Objektschutz	
Synergien	- Gestaltungselement, Erhöhung der Aufenthaltsqualität - Kühlung - Wasserzwischenspeicherung möglich	
Zielkonflikte	- Energieverbrauch, deshalb Nutzung von PV sinnvoll - Kostenaufwand und Sauberkeit - Nutzungskonflikte auf innerstädtischen Plätzen (Märkte etc.)	
Akteure Kooperationspartner Zielgruppe	❖ Fachbereiche Planen, Umwelt, Bauen, Grünplanung, Tiefbau • Geschäftsleute, Wasserversorger ◆ Bewohner in dicht bis sehr dicht bebauten Stadtteilen, Besucher von Innenstädten	
Umsetzungsinstrumente	- Darstellen von Wasserflächen (nach § 5 (2) Nr. 7 BauGB) im FNP - Festsetzen von Wasserflächen (nach § 9 (1) Nr. 16 BauGB), Festsetzen von Bindungen für Bepflanzungen und für die Erhaltung von Bäumen, Sträuchern und sonstigen Bepflanzungen sowie von Gewässern (nach § 9 (1) Nr. 25. b) BauGB) in B-Plänen - Gestaltungssatzungen und Gestaltungsfestsetzungen im B-Plan - (Städtebauliche) Verträge	
Bei über 800 Fließgewässern verfügt die Stadt Wuppertal über ein großes Potential zur Einbringung von Wasser in die überhitzten Innenstädte. Offene Wasserflächen in Form von Springbrunnen, Wasserzerstäubern oder kleinen Wasserläufen sind sinnvolle Maßnahmen im Bereich der aktuell vorhandenen Hitzeinseln. Hoch versiegelte Bereiche der Innenstädte können durch offene Wasserflächen auch optisch aufgewertet werden. Wasserspielplätze sind eine weitere Option im Quartier.		
Beispiele:		
		
Springbrunnen am Von-der-Heydt-Platz Fotos: Stadt Wuppertal	Offengelegter Wasserlauf in Soest Ahlemann, K.PLAN	Baumscheiben-Wasservernebler in London Steinrück, K.PLAN

Titel	Q9: Materialauswahl bei Verkehrs- und Nutzflächen																																																																														
Räuml. Bezug	Quartiersebene																																																																														
Relevanz	Hoch																																																																														
Beschreibung	<p>Wie viel Wärme in welcher Zeit bei zunehmenden Temperaturen von einem Baukörper aufgenommen wird, hängt von der Art des Stoffes ab. Asphaltierte oder gepflasterte Verkehrsflächen erwärmen sich deutlich stärker als natürliche Oberflächen. Da Straßen und Verkehrswege in Städten rund 20 % und in den Zentren der Innenstädte sogar bis zu 40 % der Fläche ausmachen, können sie erheblich zum Erwärmungseffekt beitragen.</p> <p>Zur Verringerung von Bodenerwärmungen ist daher der gezielte Einsatz von Materialien mit geringerer Wärmeleit- und -speicherfähigkeit sinnvoll. Helle Beläge auf Verkehrsflächen reflektieren im Gegensatz zu dunklem Asphalt einen größeren Anteil der eingestrahnten Sonnenenergie sofort wieder (Albedo) und können damit das Aufheizen der Stadtluft erheblich verringern.</p> <p>Die folgenden Abbildungen zeigen die Auswirkungen von verschiedenen Bodenoberflächen auf die Oberflächentemperaturen (eigene Berechnungen):</p> <div data-bbox="459 945 1449 1568" data-label="Figure"> <table border="1"> <caption>Tagesgang der Oberflächentemperatur verschiedener Oberflächen bei sommerlicher Strahlungswetterlage</caption> <thead> <tr> <th>Uhrzeit MEZ (h)</th> <th>Asphalt (°C)</th> <th>Feuchtes Gras (°C)</th> <th>Helles Pflaster (°C)</th> <th>Trockener Boden (°C)</th> <th>Wald (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>08:00</td><td>28</td><td>22</td><td>22</td><td>23</td><td>24</td></tr> <tr><td>10:00</td><td>40</td><td>26</td><td>25</td><td>28</td><td>25</td></tr> <tr><td>12:00</td><td>47</td><td>30</td><td>28</td><td>35</td><td>25</td></tr> <tr><td>14:00</td><td>49</td><td>33</td><td>30</td><td>41</td><td>26</td></tr> <tr><td>16:00</td><td>48</td><td>34</td><td>32</td><td>43</td><td>26</td></tr> <tr><td>18:00</td><td>40</td><td>32</td><td>30</td><td>35</td><td>25</td></tr> <tr><td>20:00</td><td>30</td><td>22</td><td>25</td><td>22</td><td>20</td></tr> <tr><td>22:00</td><td>25</td><td>18</td><td>22</td><td>18</td><td>18</td></tr> <tr><td>00:00</td><td>22</td><td>16</td><td>20</td><td>16</td><td>16</td></tr> <tr><td>02:00</td><td>20</td><td>14</td><td>18</td><td>14</td><td>14</td></tr> <tr><td>04:00</td><td>19</td><td>13</td><td>17</td><td>13</td><td>13</td></tr> <tr><td>06:00</td><td>26</td><td>20</td><td>21</td><td>23</td><td>21</td></tr> </tbody> </table> </div> <p>Während die Asphaltoberflächen um die Mittagszeit Temperaturen von fast 50 °C aufweisen, verhält sich helles Pflaster tagsüber ähnlich wie feuchtes Gras und erwärmt sich nur auf gut 30 °C. Nachts kühlen die natürlichen Oberflächen stärker aus. Trockener unversiegelter Boden kann zwar tagsüber mit über 40 °C sehr warm werden, hält die Wärme aber in den Nachstunden nicht. Zur nächtlichen Wärmeinsel tragen unabhängig von den Oberflächentemperaturen am Tag nur die technischen Bodenbeläge wie Asphalt und Pflaster bei.</p>	Uhrzeit MEZ (h)	Asphalt (°C)	Feuchtes Gras (°C)	Helles Pflaster (°C)	Trockener Boden (°C)	Wald (°C)	08:00	28	22	22	23	24	10:00	40	26	25	28	25	12:00	47	30	28	35	25	14:00	49	33	30	41	26	16:00	48	34	32	43	26	18:00	40	32	30	35	25	20:00	30	22	25	22	20	22:00	25	18	22	18	18	00:00	22	16	20	16	16	02:00	20	14	18	14	14	04:00	19	13	17	13	13	06:00	26	20	21	23	21
Uhrzeit MEZ (h)	Asphalt (°C)	Feuchtes Gras (°C)	Helles Pflaster (°C)	Trockener Boden (°C)	Wald (°C)																																																																										
08:00	28	22	22	23	24																																																																										
10:00	40	26	25	28	25																																																																										
12:00	47	30	28	35	25																																																																										
14:00	49	33	30	41	26																																																																										
16:00	48	34	32	43	26																																																																										
18:00	40	32	30	35	25																																																																										
20:00	30	22	25	22	20																																																																										
22:00	25	18	22	18	18																																																																										
00:00	22	16	20	16	16																																																																										
02:00	20	14	18	14	14																																																																										
04:00	19	13	17	13	13																																																																										
06:00	26	20	21	23	21																																																																										

Erwartete Auswirkungen	<p>Hitze</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Hitzereduktion tagsüber <input type="checkbox"/> Hitzereduktion nachts <input type="checkbox"/> Versorgung mit Frischluft <input type="checkbox"/> Objektschutz
Synergien	<ul style="list-style-type: none"> - Stadtgestaltung, shared spaces - Erhöhung der Aufenthaltsqualität auf Plätzen und in Fußgängerzonen
Zielkonflikte	<ul style="list-style-type: none"> - Möglicherweise höhere Kosten für hellere Asphaltmischungen - Höherer Pflegeaufwand möglich
Akteure	❖ Planen, Umwelt, Bauen, Straßenbau, Tiefbau
Kooperationspartner	• Architekten, Einzelhändler, Industrie und Gewerbe
Zielgruppe	◆ Bewohner in dicht bis sehr dicht bebauten Stadtteilen
Umsetzungsinstrumente	<ul style="list-style-type: none"> - Gestaltungssatzungen und Gestaltungsfestsetzungen im B-Plan - (Städtebauliche) Verträge
<p>Dort, wo eine Versiegelung von Flächen aus Gründen der Nutzung als Verkehrsfläche nicht vermieden werden kann, sollte auf eine hohe Albedo, also auf eine möglichst helle Farbgestaltung der Oberflächen Wert gelegt werden, um die Reflexion der Sonneneinstrahlung zu erhöhen. Damit heizen sich die Verkehrsflächen tagsüber nicht so stark auf. Diese Maßnahme spielt überall dort eine Rolle, wo versiegelte Flächen und Hitzeinseln zusammenfallen.</p>	
	
<p>Helle Pflaster im Bereich des Neumarktes (Foto: K.PLAN)</p>	
<p>Im Stadtgebiet von Wuppertal findet man viele Flächen im Bereich des Fußgängerverkehrs, die hell gepflastert sind. Zukünftig sollten weitere Nutzflächen abseits der verkehrsbedingt asphaltierten Straßen mit möglichst hellem Pflaster versehen werden. Dies betrifft beispielsweise Schulhöfe oder Parkplatzflächen von Großmärkten.</p>	

Titel	Q10: Klimasensible Nachverdichtung in hitzebelasteten Bereichen
Räuml. Bezug	Quartiersebene
Relevanz	Hoch
Beschreibung	<p>Städtebauliche Nachverdichtung vor dem Hintergrund der bundesweiten Zielvorgabe einer verstärkten Innenentwicklung bedeutet einerseits die Schonung von Flächenressourcen im Außenbereich. Auf der anderen Seite führt sie aber zu einer baulichen Verdichtung der städtischen Struktur. Dies darf in hitzebelasteten Stadtquartieren nur unter Beachtung der klimatischen Auswirkungen erfolgen, da die zunehmende Verdichtung des Stadtkörpers zu einer zunehmenden thermischen Belastung führt. Eine Nachverdichtung muss nicht zwangsläufig zu einer Bebauung einer bisher unbebauten Fläche innerhalb einer bereits bestehenden Bebauung führen. Es gibt auch Formen der Umnutzung von Flächen und Gebäuden.</p> <p>Flächenbezogene Nachverdichtung:</p> <p>Baulückenschließung</p>  <p>Blockinnenverdichtung</p>  <p>Städtebauliche Neuordnung (Abriss und Neubau)</p>  <p>Gebäudebezogene Nachverdichtung:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aufstockungen - Anbauten - Umnutzung von bestehenden Gebäuden <p>Generell können sich städtebauliche Nachverdichtungen auf das Temperatur- und Belüftungsverhältnis im Quartier auswirken. Relevant sind dabei der versiegelungsgrad sowie die Grünflächengestaltung, weniger die Gebäudehöhen. Einzelprojekte haben für sich genommen wenig Auswirkungen auf das Mikroklima, im Verbund sind aber negative Effekte auf das Klima im Quartier möglich.</p>

Erwartete Auswirkungen	<p>Hitze</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Hitzereduktion tagsüber <input checked="" type="checkbox"/> Hitzereduktion nachts <input type="checkbox"/> Versorgung mit Frischluft <input type="checkbox"/> Objektschutz
Synergien	<ul style="list-style-type: none"> - Städtebauliche Qualität - Möglichkeit der Niederschlagswasserversickerung - Naherholung
Zielkonflikte	<ul style="list-style-type: none"> - Zielvorgabe der verstärkten Innenentwicklung
Akteure	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Planen, Umwelt, Bauen, Grünplanung, Flächeneigentümer
Kooperationspartner	<ul style="list-style-type: none"> • Bewohner, Nutzer
Zielgruppe	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Bewohner
Umsetzungsinstrumente	<ul style="list-style-type: none"> - Festsetzen von öffentlichen und privaten Grünflächen wie Parkanlagen, Dauerkleingärten, Sport-, Spiel-, Zelt- und Badeplätze, Friedhöfe (nach § 9 (1) Nr. 15 BauGB) in B-Plänen - Festsetzen von Art und Maß der baulichen Nutzung (nach § 9 (1) Nr. 1 BauGB), konkretisiert insbesondere durch §§ 16 (3), 17, 19 BauNVO und von Mindestmaßen der Baugrundstücke und von Höchstmaßen für Wohnbaugrundstücke (nach § 9 (1) Nr. 3 BauGB) in B-Plänen



Hinterliegerbebauung (Post & Welters, 2006)

Bei einer Blockinnenverdichtung (Hinterliegerbebauung) geht die aufgelockerte Struktur des Quartiers verloren. Die verlorenen Freiflächen wirken nicht mehr kühlend auf die Umgebung und Retentionsraum für Niederschläge geht verloren.

Nachverdichtungsprojekte werden eher zufällig im Stadtgebiet genehmigt. Notwendig sind strategische Konzepte zur Nachverdichtung, die gesamtstädtisch und quartiersbezogen Aspekte der Klimarelevanz und Freiraumausstattung einbeziehen.

Titel	Q11: Rückbau versiegelter Flächen
Räuml. Bezug	Quartiersebene
Relevanz	Hoch
Beschreibung	<p>Der Grad der Versiegelung nimmt durch fortschreitende Siedlungstätigkeit bzw. Nachversiegelung in bestehenden Siedlungen zu (z. B. Umbau von Freiflächen in Parkplätze). Ziel der Siedlungsplanung soll sein, dass sowohl beim Gebäude- als auch beim Verkehrswegebau eine flächensparende Bauweise gewählt wird. In schon bebauten Gebieten ist eine vollständige Entsiegelung nur vertretbar, wenn die Funktion des Gebäudes bzw. des Verkehrsweges darunter nicht leidet.</p> <p>Bodenversiegelungen können durch den Einsatz von durchlässigen Oberflächenbefestigungen vermieden bzw. reduziert werden und zwar vor allem dann, wenn die Nutzungsform der Flächen nicht unbedingt hochresistente Beläge wie Beton oder Asphalt voraussetzt. Geeignete durchlässige Materialien zur Befestigung von Oberflächen sind mittlerweile für viele Anwendungsbereiche verfügbar. Zu beachten ist allerdings, dass auch der Unterbau und der Untergrund eine ausreichende Wasserdurchlässigkeit aufweisen müssen. Für Hofflächen, Terrassen, Gartenwege, Radwege, Gehwege, Zufahrtswege und Parkflächen sind wasserdurchlässige Befestigungen besonders angebracht. Geeignete Beläge sind:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Schotterrasen • Rasengittersteine • Kunststoffrasengitter • Rasenfugenpflaster • Betonpflastersteine • Kies-/Splittabdeckung • Splittfugenpflaster • Porenpflaster u. ä.



Teilentsiegelter Parkplatz (Foto: Ahlemann, K.PLAN)


Dränasphaltdecken oder Dränbetondecken sind versickerungsfähige, hohlraumreiche Decken, die auch lärmindernd wirken. Diese Befestigungen eignen sich besonders für Straßen und Wege, Markt- und Parkplätze, Rad- und Gehwege, Hof- und Lagerflächen. Ein Teil des Wassers fließt nicht oberirdisch ab und kann entweder direkt versickern oder wird in angeschlossene Versickerungsanlagen geleitet.


Erwartete Auswirkungen	<p>Hitze</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Hitzereduktion tagsüber <input checked="" type="checkbox"/> Hitzereduktion nachts <input type="checkbox"/> Versorgung mit Frischluft <input type="checkbox"/> Objektschutz
Synergien	<ul style="list-style-type: none"> - Geringere Aufheizung der Oberflächen - Möglichkeit der Niederschlagswasserversickerung mit Grundwasserneubildung - Biodiversität
Zielkonflikte	<ul style="list-style-type: none"> - Einschränkung der Nutzungsmöglichkeiten, Entschädigungsansprüche - Barrierefreiheit - Nicht möglich bei vorhandenen Bodenbelastungen
Akteure Kooperationspartner Zielgruppe	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Planen, Umwelt, Bauen, Grünplanung, Flächeneigentümer, Straßenunterhaltung • Bewohner, Nutzer ◆ Bewohner und Gewerbetreibende in hoch versiegelten Bereichen, in abflusslosen Senken und entlang von Fließwegen
Umsetzungsinstrumente	<ul style="list-style-type: none"> - Festsetzung nicht überbaubarer Grundstücksflächen bzw. Flächen, die von Bebauung freizuhalten sind (§ 9 Abs. 1 Nr. 2 und Nr. 10 BauGB) in B-Plänen - Rückbau- und Entsiegelungsmaßnahmen (§§ 171a – d BauGB) werden vor allem bei Stadtumbaumaßnahmen gefördert - Gebührensatzung (Reduzierung der Abwassergebühr bei Entsiegelung)



Steinvorgärten (Foto: K.PLAN)

Im privaten Bereich verstärkt sich aktuell die Tendenz zu versiegelten Flächen und Steinvorgärten. Damit wird das aktuell gute Klima in Einfamilienhausbereichen zukünftig gefährdet. Informationskampagnen und Gestaltungsvorgaben für zukünftige Wohnquartiere sind sinnvolle Werkzeuge, um dem entgegen zu wirken.

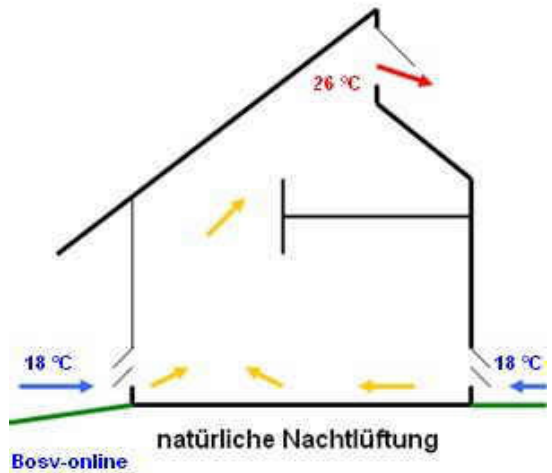
Titel	G1: Dachbegrünung
Räuml. Bezug	Gebäudeebene
Relevanz	Mittel
Beschreibung	<p>Begrünte Dächer stellen die kleinsten Grünflächen im Stadtgebiet dar. Sie haben positive Auswirkungen auf das thermische, lufthygienische und energetische Potential eines Gebäudes. Erst in einem größeren Verbund ergeben sich Auswirkungen auf das Mikroklima eines Stadtviertels. Die thermischen Effekte von Dachbegrünungen liegen hauptsächlich in der Abmilderung von Temperaturextremen im Jahresverlauf. Das Blattwerk, das Luftpilster und die Verdunstung in der Vegetationsschicht vermindern das Aufheizen der Dachfläche im Sommer und den Wärmeverlust des Hauses im Winter. Dies führt zu einer ausgeglicheneren Klimatisierung der darunter liegenden Räume. Zusätzlich ist das Dach selbst geschützt, was auf lange Sicht zu einer Kostenersparnis führen kann.</p>  <p>Flachdächer in Elberfeld ohne Grün (Foto: Ahlemann, K.PLAN)</p> <p>Ein weiterer positiver Effekt von Dachbegrünungen ist die Auswirkung auf den Wasserhaushalt. 70% bis 100% der normalen Niederschläge werden in der Vegetationsschicht aufgefangen und durch Verdunstung wieder an die Stadtluft abgegeben. Dies reduziert den Feuchtemangel und trägt zur Abkühlung der Luft in versiegelten Stadtteilen bei. Bei Starkniederschlägen werden die Spitzenbelastungen abgefangen und zeitverzögert an die Kanalisation abgegeben, wodurch das Stadtentwässerungsnetz entlastet wird.</p>  <p>Dachbegrünung von Hallen im Gewerbegebiet (Foto: Steinrücke, K.PLAN)</p> <p>Nicht nur Flachdächer, sondern auch leicht geneigte Dächer eignen sich zur Begrünung. Extensive Dachbegrünungen sind dank ihres geringen Gewichts im Unterschied zu intensiv bepflanzten Dachgärten auf fast allen Gebäuden auch nachträglich noch aufsetzbar.</p>

Erwartete Auswirkungen	Hitze <input checked="" type="checkbox"/> Hitzereduktion tagsüber <input checked="" type="checkbox"/> Hitzereduktion nachts <input type="checkbox"/> Versorgung mit Frischluft <input checked="" type="checkbox"/> Objektschutz
Synergien	<ul style="list-style-type: none"> - Angenehmes Innenraumklima - Energieeinsparung durch gedämmte Dachflächen (Grünauflage) - Rückhalt von Niederschlagswasser, Einsparung von Entwässerungsgebühren - Erhöhung der Effizienz von gleichzeitig auf dem Dach installierten Photovoltaik-Anlagen (Kühlung der Anlagen) - Biodiversität, Lebensraum für Insekten, Luftqualität - Stadtgestaltung
Zielkonflikte	<ul style="list-style-type: none"> - Statik der Dachflächen, Dachlasten - Bewässerung in Trockenperioden zum Erhalt der Kühlfunktion
Akteure Kooperationspartner Zielgruppe	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Gebäudeeigentümer, Grünplanung, Bauordnung • Landes-Förderprogramme ◆ Bewohner in dicht bis sehr dicht bebauten Stadtteilen, Gewerbetreibende
Umsetzungsinstrumente	<ul style="list-style-type: none"> - Festsetzungen von Anpflanzungen und Pflanzenbindungen für einzelne Flächen/ für ein Gebiet in B-Plänen möglich (§ 9 Abs. 1 Nr. 25 BauGB) - Information von Eigentümern - Förderprogramme auf Landesebene <p>Zur Förderung von Gründächern stehen den Kommunen unterschiedliche Instrumente zur Verfügung. Im Einzelfall können Förderprogramme des Landes für die finanzielle Bezuschussung von Dachbegrünungsmaßnahmen herangezogen werden. Neben finanziell geförderten Dachbegrünungen können bei Neubauvorhaben im Rahmen der Bauleitplanung Dachbegrünungen in Bebauungsplänen festgeschrieben werden oder im Rahmen der Eingriffs- und Ausgleichsregelung als Maßnahme zur Eingriffsminderung angerechnet werden (Holzmüller 2009). Eine Kostenersparnis bietet die Abwassergebührenordnung in Wuppertal, indem über eine um 50 % reduzierte Gebühr für die jeweilige Fläche Anreize für Dachbegrünungen geschaffen werden.</p>
	<p>Ausgangspunkt für eine Analyse der Machbarkeit von Dachbegrünungen in Wuppertal sollte das vorhandene Gründachpotenzialkataster der Stadt sein. Hier lässt sich die Eignung der jeweiligen Dachfläche sowie die potenzielle Einsparung von Abwassergebühren und die CO₂-Einsparung ablesen. Besonders große Effekte erzielen intensive Dachbegrünungen. Hier spielt aber die Frage der Statik eine größere Rolle.</p>

Titel	G2: Fassadenbegrünung
Räuml. Bezug	Gebäudeebene
Relevanz	Mittel
Beschreibung	<p>Die Begrünung von Hausfassaden wirkt ähnlich wie die Dachbegrünung positiv auf das thermische, lufthygienische und energetische Potential eines Gebäudes. Fassadenbegrünungen verbessern in erster Linie die mikroklimatischen Verhältnisse im direkten Umfeld des Gebäudes. Die thermischen Effekte von Fassadenbegrünungen bestehen in der Abmilderung von Temperaturextremen im Jahresverlauf. Das Blattwerk, das Luftpolster und die Verdunstung in der Vegetationsschicht vermindern das Aufheizen der Hauswand bei intensiver Sonneneinstrahlung und den Wärmeverlust des Hauses im Winter. Um die Wärme der winterlichen Sonneneinstrahlung nutzen zu können, kann eine Fassade mit laubabwerfenden Pflanzen (z. B. wilder Wein) begrünt werden.</p>  <p>Intensive Fassadenbegrünung mit wildem Wein (Foto: K.PLAN)</p> <p>Durch den Schutz des Blattwerks verringert sich auch die Feuchtebelastung des Mauerwerks. Schäden durch die Begrünung sind bei intaktem Mauerwerk ohne Risse nicht zu erwarten, sollte jedoch im Einzelfall geprüft werden. Alternativ können Rankgitter verwendet werden. Neben klimatischen Effekten können Fassadenbegrünungen auch positiv auf die lufthygienische Situation im Innenstadtbereich wirken, da sie Luftverunreinigungen - bei immergrünem Laub vor allem Feinstaub - herausfiltern. Insbesondere in engen Straßenschluchten ohne Platz für andere Begrünungsmaßnahmen stellen Fassadenbegrünungen eine wirkungsvolle Alternative dar.</p>

<p>Erwartete Auswirkungen</p>	<p>Hitze</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Hitzereduktion tagsüber <input checked="" type="checkbox"/> Hitzereduktion nachts <input type="checkbox"/> Versorgung mit Frischluft <input type="checkbox"/> Objektschutz
<p>Synergien</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Energieeinsparung durch Dämmwirkung der begrünten Wandflächen - Schutz des Mauerwerks vor Alterung - Verbesserung der Luftqualität durch Schadstofffilterung - Biodiversität, Lebensraum für Insekten - Positive Auswirkungen einer grünen Wand auf die Psyche - Reduzierung von Vandalismusschäden
<p>Zielkonflikte</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Verringerte Besonnung der Hauswand im Winterhalbjahr, durch Wahl von laubabwerfenden Begrünungsarten (z.B. wilder Wein) kann hier Abhilfe geschaffen werden - Pflegeaufwand
<p>Akteure</p> <p>Kooperationspartner</p> <p>Zielgruppe</p>	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Gebäudeeigentümer, Bauordnung • Landes-Förderprogramme ◆ Bewohner in dicht bis sehr dicht bebauten Stadtteilen, Gewerbetreibende
<p>Umsetzungsinstrumente</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Festsetzungen von Anpflanzungen und Pflanzenbindungen für einzelne Flächen/ für ein Gebiet in B-Plänen möglich (§ 9 Abs. 1 Nr. 25 BauGB) - Information von Eigentümern - Förderprogramme des Landes
<div style="display: flex; align-items: flex-start;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>Großflächige Fassadenbegrünung (Foto: K.PLAN)</p> <p>Diese Maßnahme ist stadtweit sinnvoll. Auch Giebelwände bieten sich zur Begrünung an. Im innerstädtischen Raum ist häufig für großräumige Begrünungen kein Platz, weshalb Fassadenbegrünungen eine mögliche Alternative darstellen.</p> </div> </div>	


Titel	G3: Gebäudeausrichtung, Ausstattung und Innenraumplanung optimieren
Räuml. Bezug	Gebäudeebene
Relevanz	Mittel
Beschreibung	<p>Während es in den heißen Klimazonen der Erde schon immer einen klimaangepassten Städtebau (z. B. enge Gassen mit Verschattung der Hauswände, helle Oberflächen) gegeben hat, ist hier in unseren Regionen ein Umdenken erforderlich. Um die künftige zusätzliche Hitzebelastung im Sommer zu verringern, sollte die Stadt- und Gebäudearchitektur angepasst werden, ohne dabei die Vorteile der Sonnennutzung - insbesondere im Winter - aus den Augen zu lassen.</p> <p>Primär geht es darum, durch eine intelligente Gebäudeausrichtung den direkten Hitzeeintrag zu reduzieren. Eine sekundäre Strategie ist es, eine guten Durchlüftung mit ihrer kühlenden Wirkung zu erreichen. Bei der Gebäudeneuplanung kann ein sommerlicher Hitzeschutz durch eine geeignete Gebäudeausrichtung erreicht werden. Die räumliche Anordnung von Gebäuden sollte dazu unter Berücksichtigung der Sonnen- und Windexposition erfolgen. Dabei ist auch auf die Jahreszeiten Rücksicht zu nehmen, so dass es sinnvoll ist, bei der Gebäudeausrichtung beispielsweise Schlafräume so einzuplanen, dass der sommerliche Hitzeeintrag minimiert wird. Diese Maßnahme zur Anpassung an den Klimawandel lässt sich lediglich bei Planungen von Neubaugebieten und nicht im Bestand anwenden.</p> <p>Im Bestand kann durch eine Umgestaltung der Fensterflächen und der Wohnraumanordnung einem Hitzeeintrag auf das Innenraumklima entgegengewirkt werden. Durch Verschattungen von außen (siehe auch Steckbrief G4) kann eine höhere Flexibilität in der Raumnutzung erreicht werden.</p>
	
	<p>Verringerung der Fensterflächen auf der Südseite eines Wohngebäudes (Foto: Steinrücke, K.PLAN)</p>


Erwartete Auswirkungen	Hitze <input checked="" type="checkbox"/> Hitzereduktion tagsüber <input checked="" type="checkbox"/> Hitzereduktion nachts <input type="checkbox"/> Versorgung mit Frischluft <input type="checkbox"/> Objektschutz
Synergien	- Energieeinsparung bei der Gebäudekühlung (z.B. Klimaanlage) im Sommer
Zielkonflikte	- Durchlüftung vs. kompakte Bebauungsstrukturen
Akteure	❖ Fachbereiche Planen, Umwelt, Bauen, Bauordnung, Investoren, Architekten
Kooperationspartner	• Privatpersonen, Wohnungsbaugesellschaften
Zielgruppe	◆ Bewohner und Gewerbetreibende in dicht bis sehr dicht bebauten Stadtteilen
Umsetzungsinstrumente	- Festsetzung der Bauweise und der überbaubaren und nicht überbaubaren Grundstücksflächen (§ 9 Abs. 1 Nr. 2 BauGB) in B-Plänen - (Städtebauliche) Verträge - Gestaltungssatzungen und Gestaltungsfestsetzungen im B-Plan - Information von Eigentümern
<p>Die Ausrichtung von Gebäuden, dies betrifft sowohl Wohngebäude wie auch Bauten in Industrie- und Gewerbegebieten, sollte sich zukünftig auch an der Besonnungs- und Belüftungssituation der Baufläche orientieren.</p> <p>Die Reduzierung des Hitzeeintrags durch direkte Sonneneinstrahlung auf das Gebäude sowie die optimale Nutzung der Kühlung durch die vorhandene Belüftung, z. B. im Umfeld von Luftleitbahnen sollte Ziel einer überlegten Gebäudeausrichtung sein. Zur Nutzung von kühler Nachluft könnten in Strömungsrichtung angebrachte Belüftungsklappen zur Passivkühlung des Hauses herangezogen werden.</p>	
 <p>Natürliche und mechanische Nachtlüftung (Abbildung: www.bosy-online.de)</p>	

Titel	G4: Hauswandverschattung, Wärmedämmung
Räuml. Bezug	Gebäudeebene
Relevanz	Hoch
Beschreibung	<p>Durch zunehmenden Hitzestress im Sommer kommt der Kühlung von Gebäuden in Zukunft eine steigende Bedeutung zu. Die Nutzung konventioneller Klimaanlage ließe den Energieverbrauch im Sommer stark ansteigen und hätte damit negative Auswirkungen auf den Klimaschutz. Der Einsatz regenerativer Energien für Klimaanlage und vor allem die Passivkühlung – beispielsweise über Erdwärmetauscher – können solche Zielkonflikte verhindern.</p> <p>Bei der Gebäudeplanung kann ein sommerlicher Hitzeschutz neben der Gebäudeausrichtung auch durch eine Hauswandverschattung mittels Vegetation, durch angebaute Verschattungselemente, sonnenstandgesteuerte Außenrollos - beispielsweise an Bürogebäuden - und mittels Wärmedämmung erreicht werden. Dabei haben viele Maßnahmen beim Hausbau, die eigentlich der Energieeinsparung und damit dem Klimaschutz dienen, auch positive Effekte auf die Klimaanpassung. Eine gute Wärmedämmung gegen Energieverluste im Winter wirkt beispielsweise auch als Hitzeschutz gegen eine übermäßige Aufheizung der Wohnungswände im Sommer. Passivhäuser mit einem hohen Potential an Energieeinsparung sind im Sommer aufgrund des serienmäßigen Lüftungssystems angenehm kühl.</p> <p>Verschattungen beispielsweise durch eine im Süden des Gebäudes angebrachte Pergola, führen im Sommer bei hochstehender Sonne um die Mittagszeit zur Verschattung, in den Morgen- und Abendstunden und im Winter erreicht die tief stehende Sonne das Haus. Diese Maßnahme lässt sich auch nachträglich zur Optimierung von Gebäuden einsetzen und damit auch im Bestand anwenden.</p>
	
	Gebäude mit Außenrollos (Mensa der RUB) (Foto: Ahlemann, K.PLAN)

Erwartete Auswirkungen	<p>Hitze</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Hitzereduktion tagsüber <input checked="" type="checkbox"/> Hitzereduktion nachts <input type="checkbox"/> Versorgung mit Frischluft <input checked="" type="checkbox"/> Objektschutz
Synergien	<ul style="list-style-type: none"> - Energieeinsparung bei der Gebäudekühlung (z.B. Klimaanlage) im Sommer - Einsatz von Photovoltaikanlagen zur Verschattung
Zielkonflikte	<ul style="list-style-type: none"> - Sturmschäden möglich
Akteure Kooperationspartner Zielgruppe	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Hauseigentümer, Wohnungsbaugesellschaften, Bauordnung, Firmeninhaber, Architekten • Mieter, Gewerbetreibende ◆ Bewohner, Beschäftigte in dicht bis sehr dicht bebauten Stadtteilen
Umsetzungsinstrumente	<ul style="list-style-type: none"> - Festsetzung der Bauweise (§ 9 Abs. 1 Nr. 2 BauGB) in B-Plänen - Information von Eigentümern/ Nutzern
<p>Diese Maßnahme spielt überall dort eine Rolle, wo eine sommerliche Hitzereduktion notwendig ist. Neben dem innerstädtischen Raum sind auch Gebäude in Industrie- und Gewerbegebieten von einer zu starken Aufheizung tagsüber bei sommerlichem Hitzewetter betroffen. Verschattungen der Gebäude kann sowohl die Aufenthaltsqualität wie auch die Arbeitsproduktivität erhöhen.</p> <p>Durch eine Verschattung der Südseitenfenster mit PV-Anlagen kann eine Synergie zum Klimaschutz erreicht werden.</p>	
	
<p>Verschattung durch PV-Anlagen (Foto: Stadt Wuppertal)</p>	

Titel	G5: Geeignete Baumaterialien verwenden																						
Räuml. Bezug	Gebäudeebene																						
Relevanz	Hoch																						
Beschreibung	<p>Durch Wärmezufuhr bzw. -abfuhr wird die Temperatur eines Körpers verändert. Wieviel Wärme pro Zeiteinheit unter Temperaturzunahme aufgenommen wird, hängt von der Art des Stoffes ab. Technogene Baumaterialien erwärmen sich deutlich stärker als natürliche Oberflächen. Insbesondere Stahl und Glas haben einen großen Wärmeumsatz, d. h. sie erwärmen sich tagsüber stark und geben nachts viel Energie an die Umgebungsluft ab. Das Gegenteil ist bei natürlichen Baumaterialien wie z. B. Holz der Fall. Um die Wärmebelastungen zu verringern, ist daher der gezielte Einsatz von Baumaterialien nach ihren thermischen Eigenschaften sinnvoll.</p> <p>Wärmeleitfähigkeit verschiedener Materialien:</p> <table> <tr> <td>Holz</td> <td>0,09 – 0,19 W/(m K)</td> </tr> <tr> <td>Glas</td> <td>0,76 W/(m K)</td> </tr> <tr> <td>Ziegel</td> <td>0,5 – 1,4 W/(m K)</td> </tr> <tr> <td>Beton</td> <td>2,1 W/(m K)</td> </tr> <tr> <td>Stahl</td> <td>15 – 58 W/(m K)</td> </tr> </table> <p>Abhängig von der Oberfläche des Materials wird ein Teil der eingestrahnten Sonnenenergie sofort wieder reflektiert (Albedo) und steht damit nicht zur Erwärmung zu Verfügung. Helle Baumaterialien erhöhen diesen Effekt, reflektieren also mehr kurzweilige Sonneneinstrahlung. Dadurch heizen sich hell gestrichene Häuser oder Straßen mit hellem Asphaltbelag weniger stark auf. Großflächig in der Stadtplanung angewandt, kann somit der Wärmeinseleffekt verringert werden (siehe auch Steckbrief Q9: Verkehrs- und Nutzflächen mit geringerer Wärmeaufnahme und -abgabe).</p> <p>Albedo verschiedenen Oberflächen:</p> <table> <tr> <td>Frischer Schnee</td> <td>70 – 95 %</td> </tr> <tr> <td>Wasserflächen</td> <td>3 – 10 %</td> </tr> <tr> <td>Sandflächen</td> <td>18 – 28 %</td> </tr> <tr> <td>Grasflächen</td> <td>10 – 20 %</td> </tr> <tr> <td>Dunkler Ackerboden</td> <td>7 – 10 %</td> </tr> <tr> <td>Asphalt</td> <td>5 - 15 %</td> </tr> </table> <p>Je heller und glatter eine Oberfläche ist, desto mehr Strahlung wird reflektiert und desto weniger stark erwärmt sich eine Fläche.</p>	Holz	0,09 – 0,19 W/(m K)	Glas	0,76 W/(m K)	Ziegel	0,5 – 1,4 W/(m K)	Beton	2,1 W/(m K)	Stahl	15 – 58 W/(m K)	Frischer Schnee	70 – 95 %	Wasserflächen	3 – 10 %	Sandflächen	18 – 28 %	Grasflächen	10 – 20 %	Dunkler Ackerboden	7 – 10 %	Asphalt	5 - 15 %
Holz	0,09 – 0,19 W/(m K)																						
Glas	0,76 W/(m K)																						
Ziegel	0,5 – 1,4 W/(m K)																						
Beton	2,1 W/(m K)																						
Stahl	15 – 58 W/(m K)																						
Frischer Schnee	70 – 95 %																						
Wasserflächen	3 – 10 %																						
Sandflächen	18 – 28 %																						
Grasflächen	10 – 20 %																						
Dunkler Ackerboden	7 – 10 %																						
Asphalt	5 - 15 %																						

Erwartete Auswirkungen	<p>Hitze</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Hitzereduktion tagsüber <input checked="" type="checkbox"/> Hitzereduktion nachts <input type="checkbox"/> Versorgung mit Frischluft <input checked="" type="checkbox"/> Objektschutz
Synergien	- Energieeinsparung bei der Gebäudekühlung (z.B. Klimaanlage) im Sommer
Zielkonflikte	- Material- und Farbgestaltungsvorgaben
Akteure	❖ Eigentümer, Wohnungsbaugesellschaften, Bauordnung, Architekten
Kooperationspartner	• Mieter
Zielgruppe	◆ Bewohner, Beschäftigte in dicht bis sehr dicht bebauten Stadtteilen
Umsetzungsinstrumente	<ul style="list-style-type: none"> - Gestaltungssatzungen und Gestaltungsfestsetzungen im B-Plan - (Städtebauliche) Verträge - Information von Eigentümern/ Nutzern
<p>Beispiel Farbton:</p>  <p>Südseite einer Hauswand mit Hitzeschaden (Foto: K.PLAN)</p> <p>Starke Aufheizungen durch den gewählten Farbton führten dazu, dass die mineralischen Putzschichten Spannungen nicht aushalten konnten und als Folge der sommerlichen Hitze aufplatzten.</p> <p>Vorgaben zur Material- und Farbgestaltung von Seiten der Stadt Wuppertal gibt es bzw. kann es geben sowohl bei Festsetzungen im Bebauungsplan als auch durch eine eigene Gestaltungssatzung zu einem Gebiet. Dementsprechend muss jeder Gebäudeeigentümer vorab klären, ob sein Gebäude gegebenenfalls von solchen Festsetzungen im Bebauungsplan oder einer Gestaltungssatzung betroffen ist. Aber auch Baudenkmäler sind bei der Materialauswahl und Farbgestaltung eingeschränkt.</p>	

Titel	M1: Integrierte Zusammenarbeit verschiedener Planungsbereiche, Vorbildfunktion der Stadt
Räuml. Bezug	
Relevanz	Hoch
Beschreibung	<p>Bei der Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen ist die Zusammenarbeit verschiedener Bereiche innerhalb der Kommune ein entscheidender und das Ergebnis beeinflussender Faktor.</p> <p>Für die erfolgreiche Umsetzung einer integrierten Zusammenarbeit ist es wichtig, dass die Stadtverwaltung als Kernakteur und Vermittler auch innerhalb ihrer eigenen Strukturen vernetzt ist. Die verschiedenen Bereiche und Ressorts müssen untereinander in stärkerem Maße miteinander im Austausch stehen und kommunizieren.</p> <p>Die Koordinierungsstelle Klimaschutz in der Stadtverwaltung Wuppertal ist eine zentrale Anlaufstelle für den Klimawandel in der Stadtverwaltung, um kommunale Aktivitäten zu initiieren und zu koordinieren. Zu den Aufgaben eines erweiterten Klimateams gehört die Erarbeitung des klima-politischen Arbeitsprogrammes mit der Aufstellung kurz-/ mittel-/ langfristiger Aufgaben, wie die Ausarbeitung und Umsetzung von konkreten Projektvorschlägen. Je nach Kapazitäten der einzelnen Fachbereiche können ein bis zwei Personen aus jedem Fachbereich als Hauptansprechperson involviert werden, diese tragen die Informationen aus dem Klimateam in ihre jeweiligen Abteilungen/ Organisationen. Die Treffen im Klimateam können je nach Bedarf mehrmals pro Jahr stattfinden.</p> <p>Den Grundstein für die verwaltungsinterne Vernetzung wird das im März 2019 startende Integrierte Klimaschutzkonzept (IKSK) mit dem Handlungsfeld der Klimaanpassung bilden.</p> <p>Die Stadt Wuppertal sollte mit dem Umgang Ihrer eigenen Liegenschaften eine Vorbildfunktion für außerstädtische Akteure und die Bürgerschaft übernehmen. Beispielsweise:</p> <ul style="list-style-type: none"> - In Zusammenarbeit mit dem Gebäudemanagement müssen die stadteigenen Gebäude auf notwendige und mögliche hitzereduzierende Maßnahmen hin untersucht werden. - Der Einsatz von PV-Anlagen (Synergien zum Klimaschutz) zur Verschattung sollte überprüft werden. <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">Verschattung durch PV-Anlagen (Foto: Stadt Wuppertal)</p>

- Der Neubau von hitzesensiblen Einrichtungen wie beispielsweise Kindertagesstätten sollte mit Klimaanpassungsmaßnahmen geplant werden



Neuanlage einer KiTa (Foto: Stadt Wuppertal)

Erwartete Auswirkungen	<p>Hitze</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Hitzereduktion tagsüber <input checked="" type="checkbox"/> Hitzereduktion nachts <input checked="" type="checkbox"/> Versorgung mit Frischluft <input checked="" type="checkbox"/> Objektschutz
Synergien	<ul style="list-style-type: none"> - Klimaangepasste und damit zukunftsfähige Umsetzung möglich - Ideenaustausch
Zielkonflikte	<ul style="list-style-type: none"> - Erhöhter Arbeitsaufwand und Abstimmungsbedarf
Akteure	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Verwaltung, Gebäudemanagement
Kooperationspartner	<ul style="list-style-type: none"> • Kommunale Unternehmen
Zielgruppe	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Bevölkerung
Umsetzungsinstrumente	<ul style="list-style-type: none"> - Informelle Planungsinstrumente - Arbeitsgruppen - Werkstattgespräche - Integriertes Klimaschutzkonzept mit dem Handlungsfeld Anpassung

Titel	M2: Akteursbeteiligung
Räuml. Bezug	
Relevanz	Hoch
Beschreibung	<p>Das Thema Klimaanpassung ist bislang in vielen Organisationen wenig präsent. Oft wird Klimaanpassung nur in Zusammenhang mit den Aspekten Energieeffizienz und Klimaschutz genannt und somit präventiv und nicht reaktiv in Hinblick auf den Klimawandel verstanden. Durch eine Akteursbeteiligung kann der Wissensstand ebenso wie das Interesse in allen Fällen erheblich gesteigert und so die Bedeutung des Themas hervorgehoben werden.</p> <p>Um eine umfassende Akteursbeteiligung erfolgreich zu gestalten, ist es in einem ersten Schritt notwendig, die in einer Stadt relevanten Akteursgruppen zu identifizieren. Kommunale Unternehmen sollten angesprochen und eingebunden werden, da sich durch ihre Kenntnisse zur örtlichen Infrastruktur gute Voraussetzungen für die Umsetzung der Klimaanpassungsmaßnahmen bieten. Die Wohnungswirtschaft, private Haushalte, Initiativen und Vereine oder Unternehmen der gewerblich-industriellen Wirtschaft können ebenfalls wichtige Partner sein. Der Fokus der Partizipationsaktivitäten im Bereich der Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel liegt auf den vier großen Akteursgruppen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Planungs- und Entwicklungsgesellschaften, Wohngebäudebereich / Wohnungsunternehmen, • Lokale Agenda, Bildungseinrichtungen, Beraternetzwerke • Private Haushalte / Bürgerschaft (siehe hierzu auch Steckbrief M3), • Industrie und Gewerbe.
	
	<p>Veranstaltung mit Akteuren (Foto: Ahlemann, K.PLAN)</p> <p>Die Vernetzung der Akteure untereinander ist ein wesentlicher Erfolgsfaktor für ihre Partizipation. Durch die Transparenz zwischen allen Mitwirkenden können Innovationen angeregt und gegenseitiges Verständnis bei Umsetzungsproblemen geweckt werden.</p>

<p>Hauptziele der Akteursbeteiligung sind:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Informierte und engagierte Akteure aus Wohnungswesen, Wirtschaft, Planung und Verwaltung • Diskussion und Feedback für potentielle Umsetzungsmaßnahmen für besonders klimasensible Gebiete mit den relevanten Akteuren <p>Methoden:</p> <p>Information → Informationsmaterialien und -medien</p> <p>Überzeugen → zielgruppenspezifische und öffentlichkeitswirksame Aktionen</p> <p>Partizipation → Bildungs- und Diskussionsveranstaltungen</p> <p>Die höchste Einbindungsintensität wird durch das Kooperieren mit den Akteuren verwirklicht. Hierbei ist es wichtig, frühzeitig Erwartungen und Einstellungen der potentiellen Kooperationspartner gegenüber den Klimaanpassungsmaßnahmen zu identifizieren, um die genauen Beiträge und Aktivitäten der einzelnen Beteiligten festlegen zu können. In einigen konfliktreichen Fällen kann ein Mediator oder Moderator den Prozess begleiten. Aus dem Zusammenschluss kompetenter Akteure ergeben sich funktionierende Netzwerke, die komplexe Fragestellungen der Klimaanpassung bearbeiten können.</p> <p>Das Integrierte Klimaschutzkonzept mit Teil Anpassung ist der nächste Schritt der Stadt Wuppertal in diese Richtung. In diesem Konzept spielt die Akteursbeteiligung eine große Rolle.</p>

Erwartete Auswirkungen	<p>Hitze</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Hitzereduktion tagsüber <input checked="" type="checkbox"/> Hitzereduktion nachts <input checked="" type="checkbox"/> Versorgung mit Frischluft <input checked="" type="checkbox"/> Objektschutz
Synergien	<ul style="list-style-type: none"> - Schnellere Umsetzung möglich - Ideenaustausch
Zielkonflikte	<ul style="list-style-type: none"> - Zusätzliche Termine für Beratungsgespräche, Diskussionsgruppen und Workshops notwendig
Akteure	❖ Wohnungswesen, Wirtschaft, Planung, Verwaltung
Kooperationspartner	• Architekten, Bürgerschaft, Wissenschaftler, Bildungseinrichtungen
Zielgruppe	◆ Planer, Investoren, Bauherren, Bevölkerung
Umsetzungsinstrumente	<ul style="list-style-type: none"> - Information der Akteure - Werkstattgespräche, Veranstaltungen - Integriertes Klimaschutzkonzept mit dem Handlungsfeld Anpassung

Titel	M3: Öffentlichkeitsarbeit und Beteiligung von Bürgerinnen und Bürgern
Räuml. Bezug	
Relevanz	Hoch
Beschreibung	<p>Der Klimawandel betrifft uns alle. Neben den öffentlichen Institutionen sind auch die Bürgerinnen und Bürger aufgerufen, sich in Zukunft verstärkt mit den Fragen des Klimawandels und den Möglichkeiten zur Anpassung im eigenen Umfeld zu engagieren. Bürgerinnen und Bürger treffen Entscheidungen in ihrem privaten Umfeld und können somit einen wichtigen Beitrag zur Klimaanpassung leisten. Das eigene Haus, der eigene Garten und angrenzende Bereiche bieten dazu ein großes Betätigungsfeld. Nicht zuletzt auch gewerbliche und industrielle Investoren können durch ihre raumbestimmenden Entscheidungen einen wichtigen Beitrag zum Gelingen des Anpassungsprozesses beisteuern.</p> <p>Daher ist die Information und aktive Beteiligung von Bürgerinnen und Bürgern sowie von privaten Einrichtungen an den Planungen und Umsetzungen für eine klimaanangepasste Stadt besonders wichtig. Ziele dieser Maßnahmen sind neben der Informationsvermittlung vor allem der aktive Einbezug der Beteiligten in Planung und Umsetzung.</p> <p>Aufgrund der knappen finanziellen und personellen Kapazitäten ist es sinnvoll, kommunikative Aktionen (Flyer, Broschüren, Rundfunkinterviews, Pressemitteilungen, soziale Netzwerke usw.) im Zusammenhang mit konkreten Ereignissen zu planen. Neben der Nutzung von Informationsmaterialien und -medien in der Öffentlichkeitsarbeit spielen zielgruppenspezifische und öffentlichkeitswirksame Aktionen eine große Rolle. Hierbei gilt der Grundsatz „Weniger ist mehr“: Die sorgfältige Vorbereitung und Durchführung einzelner Aktionen ist bedeutender als die Häufung von Aktionen. Allerdings sollte eine kontinuierliche Information(svermittlung) angestrebt werden.</p> <p>Öffentlichkeitsarbeit steht nicht für sich alleine, sondern sollte immer auch vor dem Hintergrund der Motivation zur Partizipation gestaltet werden. So kann sie genutzt werden, um ausgewählte Partizipationen anzukündigen, zu dokumentieren und zum Mitmachen anzuregen. So ist ein weiterer wesentlicher Bestandteil von Öffentlichkeitsarbeit die Durchführung von Bildungs- und Diskussionsveranstaltungen.</p>



Diskussionsergebnisse einer Bürgerpartizipationsveranstaltung (Foto: K.PLAN)

Im Integrierten Klimaschutzkonzept mit Teil Anpassung ist eine umfangreiche Bürgerpartizipation vorgesehen.

Erwartete Auswirkungen	<p>Hitze</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Hitzereduktion tagsüber <input checked="" type="checkbox"/> Hitzereduktion nachts <input checked="" type="checkbox"/> Versorgung mit Frischluft <input checked="" type="checkbox"/> Objektschutz
Synergien	<ul style="list-style-type: none"> - Schnellere Umsetzung möglich - Ideenaustausch - Akzeptanz erhöhen
Zielkonflikte	<ul style="list-style-type: none"> - Zeitaufwand
Akteure	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Bevölkerung, Verwaltung, städtische Akteure
Kooperationspartner	<ul style="list-style-type: none"> • Wissenschaft, Bildungseinrichtungen
Zielgruppe	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Bevölkerung
Umsetzungsinstrumente	<ul style="list-style-type: none"> - Information der Öffentlichkeit (Flyer, Presse) - Öffentliche Veranstaltungen, Workshops - Integriertes Klimaschutzkonzept mit dem Handlungsfeld Anpassung

Titel	M4: Ressourcenschonender Umgang mit Wasser
Räuml. Bezug	
Relevanz	Mittel
Beschreibung	<p>In südlichen Ländern, in denen bereits heute längere Trockenperioden auftreten und Wasserknappheit vorherrscht, ist es längst üblich, dass – beispielsweise in Hotels – auf das Problem der Wasserknappheit hingewiesen und ein sparsamer Umgang mit Wasser gefordert wird.</p> <p>In Nordrhein-Westfalen wird auch zukünftig die Versorgungssicherheit bei zunehmenden Hitzeperioden und höherem Spitzenverbrauch nach derzeitiger Bewertung nicht gefährdet sein. Trotzdem kann es auch hier in längeren Trockenphasen zu zeitweiligen regionalen Engpässen kommen. In solchen Phasen sollten nicht nur die Bevölkerung, sondern auch Industrie, Energieerzeugung oder die Landwirtschaft zu einem sparsamen Umgang mit Wasser aufgerufen werden, etwa indem verstärkt Brauchwasser verwendet wird. Verhaltensempfehlungen und Tipps zum sparsamen Umgang mit Wasser können z. B. über Informationsblätter verbreitet werden.</p> <p>Durch wassersparendes Verhalten in Kombination mit dem Einsatz wassersparender Armaturen lässt sich der Trinkwasserverbrauch von 122 Liter pro Person und Tag auf etwa 90 Liter reduzieren (Nolde 2013). Die Überprüfung von Dichtungen von Armaturen und Spülkästen kann die Verschwendung von Wasser durch tropfende Wasserhähne verhindern. Die Gartenbewässerung sollte früh morgens oder abends vorgenommen werden, damit möglichst wenig Wasser ungenutzt verdunstet.</p>
	
	<p>Autowäsche (Foto: Ahlemann, K.PLAN)</p>

Erwartete Auswirkungen	<p>Hitze</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Hitzereduktion tagsüber <input type="checkbox"/> Hitzereduktion nachts <input type="checkbox"/> Versorgung mit Frischluft <input checked="" type="checkbox"/> Objektschutz
Synergien	- Schutz der Ressource Wasser
Zielkonflikte	
Akteure	❖ Bevölkerung
Kooperationspartner	• Wasserversorger
Zielgruppe	◆ Bewohner
Umsetzungsinstrumente	<ul style="list-style-type: none"> - Information der Bevölkerung - Notfallpläne

Titel	M5: Warnsysteme, Maßnahmen der Informationsvorsorge
Räuml. Bezug	
Relevanz	Hoch
Beschreibung	<p>Die Hitzewellen der Jahre 2003 und 2018 haben deutlich gezeigt, welche Folgen der Klimawandels für das Leben in Städten haben kann. Über 35.000 vorwiegend ältere Menschen sind 2003 dieser Hitzewelle in Europa zum Opfer gefallen, entsprechende Zahlen werden für 2018 erwartet. Ein Hitze-Warnsystem und ein auf Hitzebelastungen zugeschnittenes Informationsmanagement können die gesundheitlichen Risiken von Hitzewellen verringern. Der Deutsche Wetterdienst hat ein deutschlandweites Hitzewarnsystem eingerichtet und verfügt damit über die Möglichkeit, Hitzewarnungen auszugeben und so vor einer Wetterlage mit hohen Temperaturen, geringen Windbewegungen und intensiver Sonneneinstrahlung zu warnen (http://www.dwd.de/DE/leistungen/hitzewarnung/hitzewarnung.html).</p> <p>NRW-spezifische Informationen zum Hitzewarnsystem des Deutschen Wetterdienstes sowie Verhaltensempfehlungen, mit deren Hilfe Gesundheitsrisiken bei extremen Hitzeereignissen vermieden werden können, liefert auch das Hitzeportal Nordrhein-Westfalen (http://www.hitze.nrw.de).</p> <p>Ein System zur Verbreitung von Hitzewarnungen über die örtliche Presse (Lokalzeitung, Lokalradio) kann darauf aufgebaut werden. Allerdings kann gerade über Printmedien keine schnelle Verbreitung von Hitzewarnungen sichergestellt werden. Hitzewarnungen müssen vor allem auch über den Aufbau und/oder die Nutzung eigener Verwaltungskanäle verbreitet werden. Im Moment kommt die bundesweite Warn-App NINA in Frage. Außerdem sollte das Thema „Hitzewarnungen“ auch noch einmal mit Grundinformationen auf der städtischen Internetseite aufbereitet werden.</p> <p>Die Bevölkerung muss in geeigneter Form über Gefährdungen, mögliche Vorsorgemaßnahmen und empfohlenes Verhalten informiert und vor Extremwetterereignissen gewarnt werden. Der Deutsche Wetterdienst gibt täglich die amtlichen Wetter- und Unwetterwarnungen heraus (siehe http://www.wettergefahren.de/warnungen/warnsituation.html). Zu den Maßnahmen der Informationsvorsorge gehören beispielsweise die Veröffentlichung von Risiko- und Gefahrenkarten, die Verbreitung von Informationsmaterialien zu persönlichen Vorsorgemaßnahmen und der Aufbau eines Netzwerkes beispielsweise mit Schulen.</p> <p>Ebenso wichtig ist es, vor allem für die ältere Bevölkerung oder für Kranke Verhaltensempfehlungen für lang andauernde Hitzewellen bereitzustellen. Neben dem Aufenthalt im Schatten und der Vermeidung extremer körperlicher Aktivitäten gehört auch die simple Aufforderung zur reichlichen Flüssigkeitsaufnahme zu den Verhaltensregeln, die als Informationsblätter insbesondere in Altenheimen und Krankenhäusern bekannt gemacht werden müssen.</p> <p>Diese Informationen sind bei vielen Kommunen und Behörden als Broschüren, Handzettel und Plakate vorhanden, aber vielen Bürgern nicht ausreichend bekannt. Diese Informationsangebote müssen insbesondere Bürger in potenziellen Risikogebieten aktiv zur Kenntnis gebracht und einfach zugänglich gemacht werden. Es ist</p>

daher zu empfehlen, dass auf die Bürger aktiv zugegangen wird, in dem man beispielsweise auf Bürgerversammlungen, in Ausstellungen oder durch Postwurfsendungen informiert. Hilfreich sind auch Lehrpfade, die Informationen zur Eigenvorsorge geben. Diese können beispielsweise mit Hilfe kleiner Info-Tafeln in innerstädtischen Parks oder in Fußgängerzonen auf positive Umsetzungen zur Klimaanpassung hinweisen oder Vorschläge für ein hitzeangepasstes Verhalten, z. B. Rasten im Schatten, machen.

Zentrales Mittel der Stadtverwaltung sollte ein „Hitzeaktionsplan“ sein, der im Steckbrief M6 näher erläutert wird.

Erwartete Auswirkungen	Hitze <input type="checkbox"/> Hitzereduktion tagsüber <input type="checkbox"/> Hitzereduktion nachts <input type="checkbox"/> Versorgung mit Frischluft <input checked="" type="checkbox"/> Schutz des Menschen
Synergien	- Gesundheitsvorsorge - Schadenminimierung
Zielkonflikte	keine
Akteure	❖ Wetterdienste, Ämter, Lokalpresse, Radio
Kooperationspartner	• Pflegedienste, Ärzte, Notfalldienste, Feuerwehr, Altenheime, Krankenhäuser
Zielgruppe	◆ Bevölkerung
Umsetzungsinstrumente	- Aktuelle Information der Bevölkerung (Presse) - Informationsmaterial (Flyer,...) - Notfallpläne

Titel	M6: Hitzeaktionsplan
Räuml. Bezug	
Relevanz	Hoch
Beschreibung	<p>Zentrales Mittel der Stadtverwaltung zum Umgang mit zukünftigen Belastungen durch Hitze sollte ein „Hitzeaktionsplan“ sein, der ein Netzwerk aufbaut mit Bildungs- und Gesundheitseinrichtungen, Quartiers- und Nachbarschaftsvereinen sowie Ordnungs- und Notfallstellen.</p> <p>Um die Gesundheit des Menschen zu schützen, müssen Präventionsmaßnahmen auf verschiedenen Ebenen initiiert werden. Dazu gehören zum Beispiel das Nutzen von Frühwarnsystemen und das rechtzeitige Aufklären der Öffentlichkeit (siehe Steckbrief M5). Besonders berücksichtigt werden müssen hier auch betroffene Einrichtungen, wie zum Beispiel Altenheime/Pflegeheime, Krankenhäuser und Kindertageseinrichtungen, um die vulnerablen Personengruppen zu erreichen. Ziel eines kommunalen Hitzeaktionsplan ist es, hitzebedingte Erkrankungen und Todesfälle durch Prävention zu vermeiden.</p> <p>Verhaltensvorsorge ist die Basis für schadensmindernde Maßnahmen, bevor die nächste Hitzeperiode beginnt. Gefährdete Menschen müssen frühzeitig informiert und das Personal bzw. betreuende Angehörige ausgebildet werden, damit im Notfall jeder Betroffene situationsbedingt korrekt handeln kann. Maßnahmen zur Verhaltensvorsorge umfassen alle Vorbereitungen für den Not- und Katastrophenfall, um eine Krise zu bewältigen. Dazu gehören u.a.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Veröffentlichungen von Informationsmaterialien zum Verhalten in Not- und Katastrophenfällen • Information durch kommunale Stellen • Bereitstellung von Infrastruktur und Material für den Ereignisfall • Organisation einer Nachbarschaftshilfe • Klärung der Zuständigkeiten innerhalb der Familie • Anlegen eines Wasservorrats <p>Die folgenden Arbeitsschritte sind zur Erstellung eines Hitzeaktionsplans durchzuführen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aufbau einer kommunalen zentralen Koordinierungsstelle (z. B. die Koordinierungsstelle Klimaschutz der Stadt Wuppertal) - Nutzung von Hitzewarnsystemen (siehe Steckbrief M5) - Aufbau und Pflege eines Kommunikationsnetzwerkes (Internet, Presse, ...) - Aufbau eines Netzwerkes mit betroffenen Einrichtungen, Vereinen, ... - Identifizieren von besonderen Risikogruppen und Belastungsschwerpunkten (z. B. unter Zuhilfenahme der Handlungskarte Klimaanpassung) - Erarbeitung von kurzfristigen Maßnahmen zur Minderung von Hitzeauswirkungen (z. B. Wasserzerstäuber zur Kühlung)

<ul style="list-style-type: none"> - Weiterbildung von Personal der Pflege- und Sozialeinrichtungen - Umsetzung von langfristigen Maßnahmen in der Stadtplanung zur Reduzierung der Hitzebelastungen.

Erwartete Auswirkungen	Hitze <input type="checkbox"/> Hitzereduktion tagsüber <input type="checkbox"/> Hitzereduktion nachts <input type="checkbox"/> Versorgung mit Frischluft <input checked="" type="checkbox"/> Schutz des Menschen
Synergien	- Gesundheitsvorsorge - Schadenminimierung
Zielkonflikte	keine
Akteure	❖ Wetterdienste, Ämter, Lokalpresse, Radio
Kooperationspartner	• Pflegedienste, Ärzte, Notfalldienste, Feuerwehr, Altenheime, Krankenhäuser
Zielgruppe	◆ Bevölkerung
Umsetzungsinstrumente	- Aktuelle Information der Bevölkerung (Presse) - Informationsmaterial (Flyer,...) - Notfallpläne

4. Mikroklimatische Untersuchungen des städtischen Quartiers Arrenberg

Beispielhaft sollen für das Quartier Arrenberg mikroskalige Modellierung durchgeführt werden. Für den Teilraum werden detailliert die Belastungspotenziale durch Hitze mittels Modellierungen untersucht. Daraus werden konkrete Vorschläge entwickelt. Durch mikroskalige Modellierungen werden für zwei Varianten die Veränderungen im Quartier, sowohl bauliche Maßnahmen wie auch Begrünung, Entsiegelung und Gestaltungselemente mit Wasser, im Hinblick auf Überhitzung und insbesondere bezüglich der Belüftung im Untersuchungsgebiet überprüft. Für das Quartier Arrenberg, das sehr dicht bebaut ist und deshalb wenig Platz für Anpassungsmaßnahmen bietet, ist bei Hitzewetterlagen die Belüftung über das Tal der Wupper und über die von Süden einmündenden Nebentäler von sehr großer Bedeutung. Zur Bewertung des Ist-Zustandes und zur Überprüfung der klimatischen Wirksamkeit von Anpassungsmaßnahmen wird das mikroklimatische Strömungsmodell ENVI-met eingesetzt (siehe auch Kapitel 2.6). Das Modell dient zur Simulation der Wind-, Temperatur- und Feuchteverteilung sowie der bioklimatischen Belastung (PMV-Index) in städtischen Quartieren. ENVI-met versetzt z. B. Stadtplaner in die Lage, die Auswirkungen von gezielten Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel innerhalb verschiedener Planungsszenarien zu simulieren und zu vergleichen, ohne dass das untersuchte Gebiet bzw. die Anpassungsmaßnahmen in der Realität existieren müssen.

4.1 Der lokalklimatische Ist-Zustand im Quartier Arrenberg

Im ersten Schritt der Fallstudie zum Quartier Arrenberg wurde ein Modell des IST-Zustandes des Untersuchungsgebietes gebaut, um einerseits bereits bekannte klimatische Belastungen im Quartier zu verifizieren und andererseits die Basis für den Vergleich mit verschiedenen Handlungsoptionen zu schaffen. Das Modellgebiet Arrenberg deckt sich nicht genau mit dem Quartier Arrenberg, da für die Modelleingabe ein rechtwinkliger Gebietsausschnitt notwendig ist.

Die Kartierungsmethodik zur Aufnahme des Modellgebietes Arrenberg wurde in vier Schritten vollzogen: die Aufnahme der Bauwerksstrukturen (Form und Höhe), die Aufnahme der Oberflächenmaterialien wie Straßen und Fußwege, die Aufnahme der Vegetation – hauptsächlich Bäume (Gestalt und Höhe) und Grünflächen - und zuletzt die Aufnahme der Geländehöhen inklusive der Luftleitbahnen. Die Kartierungen erfolgten auf der Grundlage von vorhandenem Kartenmaterial und Luftbildern sowie einer Geländebegehung. Die aufgenommenen Daten wurden dann im nächsten Schritt in das Programm ENVI-met übertragen und dort für eine virtuelle Modellierung vom Ist-Zustand des Untersuchungsgebietes und als Grundlage für Bebauungsvarianten und Umsetzungen von Anpassungsmaßnahmen verwendet.

Bei einer Größe des Untersuchungsgebietes von 1.400 m x 1.100 m wurde eine horizontale Gitterauflösung im Model von 5 m gewählt, die vertikale Auflösung betrug 2 m. Das ENVI-met Modell der Ist-Situation ist in der Abbildung 4.1 dargestellt. Die unterschiedliche Höhe der Vegetation von Rasenflächen über Büsche bis hin zu Bäumen ist in der Abbildung grob anhand der Grüntöne zu unterscheiden. Bäume und Büsche werden in Dunkel- bis Mittelgrün, Rasenflächen in Hellgrün wiedergegeben.



Abb. 4.1 Gebäude- und Vegetationsstruktur im Modellgebiet Arrenberg im IST-Zustand

Simuliert wird jeweils ein sommerlicher Strahlungstag über 24 Stunden, um eine maximale Erwärmung im Modellgebiet zu erreichen. Neben der Gebäude-, Vegetations- und Oberflächenstruktur des Modellgebietes werden meteorologischen Parameter für eine mikroskalige Modellierung des Ist-Zustandes sowie der Varianten festgelegt. Diese Werte entsprechen den typischen Ausgangsbedingungen einer sommerlichen Strahlungswetterlage mit Hitzebelastung. Sommerliche Strahlungstage sind in der Regel Schwachwindwetterlagen. Die klimatischen Besonderheiten einer Fläche zeigen sich besonders deutlich an einem sommerlichen Strahlungstag. Für alle Modellrechnungen, IST-Zustand und Szenarien, wurden die gleichen meteorologischen Startparameter festgelegt. Diese sind in der Tabelle 4.1 zusammengefasst.

Laut der jährlich herausgegebenen Luftmessberichte der Stadt Wuppertal (Müller-BBM GmbH, 2018) weist die Jahreswindrose ein primäres Maximum mit Winden aus südwestlichen Richtungen und ein sekundäres Maximum mit Winden aus Nordost auf. Schwachwinde mit $< 1,4$ m/s verteilen sich etwa gleichermaßen auf das Primär- und das Sekundärmaximum. Entsprechen der Ausrichtung der Täler im Wuppertaler Stadtgebiet können insbesondere diese Schwachwinde lokal in Richtung des Talverlaufs abgelenkt werden. In Arrenberg kommt es zeitweise zum Zusammenströmen von Kaltluft (Konvergenz mit Kaltluftstau). Dabei strömt sowohl Kaltluft aus dem Tal der Wupper oberhalb von Wuppertal aus Osten als auch solche aus dem Tal unterhalb von Wuppertal aus Westen und darüber hinaus Kaltluft aus unterschiedlichen kleinen Seitentälern zusammen; diese Kaltluftströme können sich gegenseitig

blockieren, so dass die Belüftung reduziert wird. Abbildung 4.2 zeigt einen Ausschnitt aus der Karte der Kaltluftverteilung nach 8 Stunden Simulationszeit (Ergebnisse der KLAM_21 – Modellrechnungen, siehe Abb. 2.13), die genau diese Situation im Quartier Arrenberg zum Ende einer sommerlichen Strahlungsnacht zeigt.

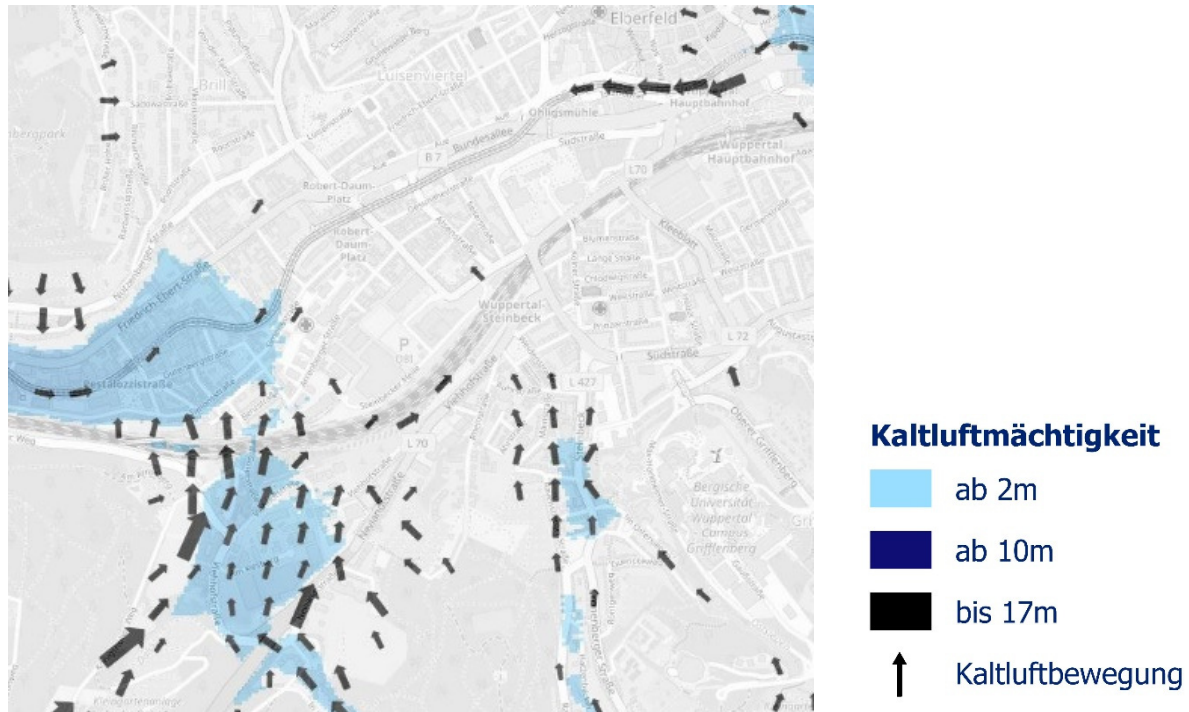


Abb. 4.2 Ausschnitt aus der Karte der Kaltluftverteilung und Fließrichtung nach 8 Stunden Simulationszeit (siehe Abb. 2.13)

Da die Belüftung durch Kaltluft im Quartier Arrenberg einen wichtigen Beitrag zur Reduzierung der sommerlichen Hitzebelastung leisten kann, wurde das Hauptaugenmerk bei der Untersuchung auf die jeweilige Belüftungssituation gelegt. Deshalb wurden im Folgenden jeweils zwei Modellrechnungen durchgeführt, einmal mit einer Anströmung aus Nordost, das entspricht dem Talverlauf der Wupper am östlichen Ende von Arrenberg, und einmal mit einer Anströmung aus Süd, das entspricht einem Kaltluftfluss aus den kleinen Seitentälern von Süden her.

Tab. 4.1 Meteorologische Startparameter für die ENVI-met Modellrechnungen

Meteorologische Startparameter 6 Uhr MEZ	Wuppertal, Arrenberg-IST, SZ1, SZ2
Modellgröße (Raster = 5m x 5m x 2m)	Horizontale Ausdehnung: 1400 m x 1100m
Lufttemperatur in 2 m über Grund	25,0 °C
Rastergröße (m)	dx = 5; dy = 5; dz = 2
Windgeschwindigkeit (in 10 m Höhe über Grund)	1,2 m/s
Windrichtung (in 10 m Höhe über Grund)	aus 45 Grad (NO) und aus 180 Grad (S)
Bodentemperatur in 10 cm Tiefe	20,0 °C

Als Ergebnisdaten der mikroskaligen Modellierungen liegen stündliche Werte der mikroklimatischen Berechnungen zur weiteren Untersuchung der Temperatur- und Windverhältnisse vor. Somit ist es möglich, die Tages- und Nachtsituation für das Modellgebiet zu analysieren und die sensiblen Bereiche zu identifizieren. Die Tagsituation wird stellvertretend mit den Werten für 15 Uhr MEZ und die Nachtsituation für 0 Uhr MEZ beschrieben. Die DWD-Standardmesshöhen für Lufttemperaturen sind 2 m über Grund, für Wind 10 m über Grund.

Eine Hitzebelastung im städtischen Raum ist immer eine Folge der starken Erwärmung der nichtnatürlichen Oberflächen wie Hauswände, Straßen und Plätze. In der Abbildung 4.3 wird dies deutlich bei der Betrachtung der Oberflächentemperaturen im Modellgebiet. Diese variieren um 15 Uhr zwischen knapp 20 °C und über 50°C. Neben den Wald- und Freiflächen südlich von Arrenberg, die im Verlauf der Nacht Kaltluft bereitstellen können, ist auch die Wasserfläche der Wupper relativ kühl. Im bebauten Bereich werden in engen Straßen und Innenhofbereichen durch Gebäudeabschattungen Oberflächentemperaturen zwischen 20 °C und 30 °C erreicht. Je nach Sonnenstand wechseln diese zeitweise nicht so stark hitzebelasteten Bereiche im Quartier. Mit hohen Oberflächentemperaturen weit über 40 °C sind die breiten Straßen, Plätze und die Flächen der Bahnlinie tagsüber stark hitzegefährdet. Insbesondere Straßenasphalt mit meist dunklen Temperaturen nimmt einen Großteil der Sonneneinstrahlung auf, erwärmt sich stark und speichert die Energie. Dies führt nicht nur zu einer starken Hitzeentwicklung am Tag, sondern mindert auch die Abkühlung im Verlauf der Nacht. Neben dem Faktor der Belüftung sind die tagsüber sehr heißen städtischen Oberflächen verantwortlich für die Entwicklung von Hitzeinseln. Ein besonderer Hotspot im Quartier Arrenberg kann somit im Bereich der sehr großen Parkplatzflächen der Fachmärkte an der Steinbecker Meile ausgemacht werden. Hier sollten durch eine Verringerung der Sonneneinstrahlung, beispielsweise durch Begrünung mit großkronigen Bäumen, die Oberflächentemperaturen am Tag abgesenkt werden.

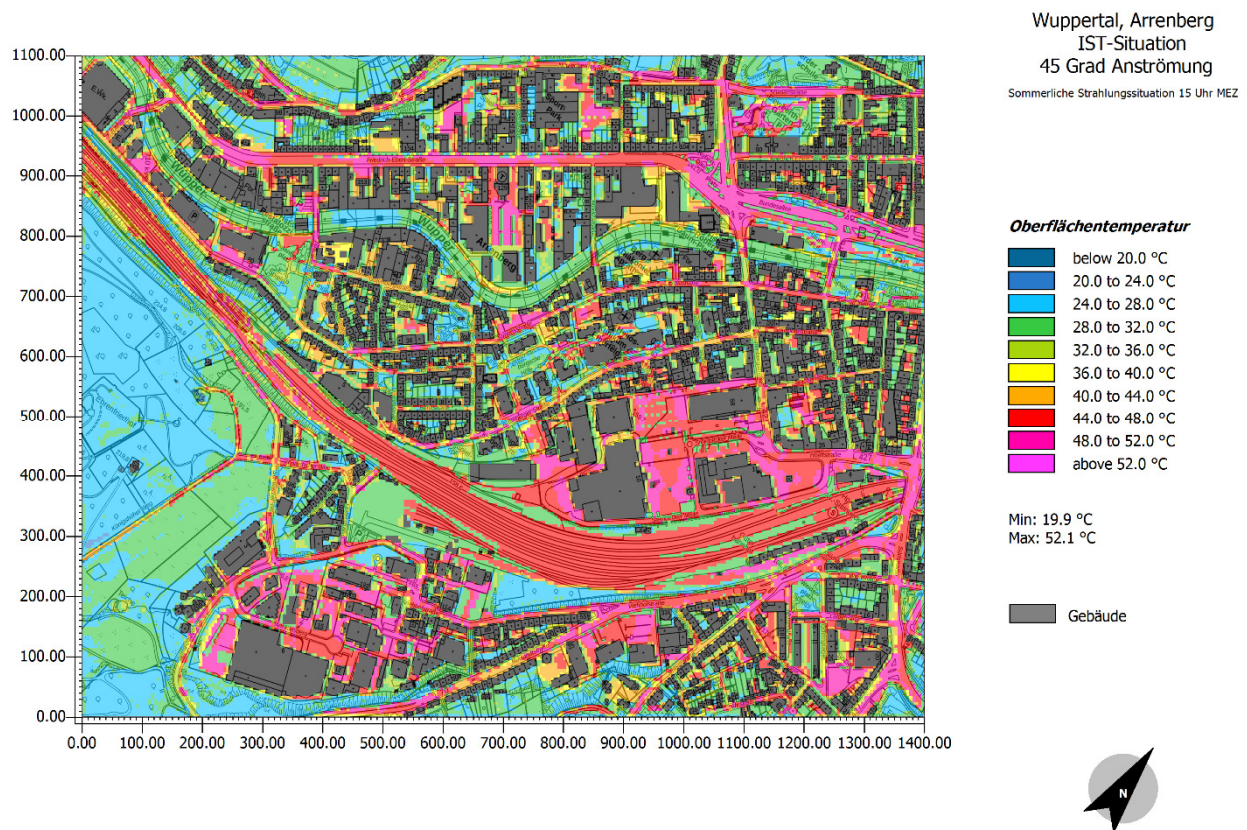


Abb. 4.3 Modellerte Oberflächentemperaturen um 15 Uhr im Modellgebiet Arrenberg im IST-Zustand

Zur Beurteilung des Bioklimas in einem städtischen Umfeld wurde der PMV-Index herangezogen. PMV, 1972 vom dänischen Wissenschaftler Ole Fanger entwickelt, steht für predicted mean vote (durchschnittliche erwartete Empfindung) und ist ein bioklimatischer Index, der die thermische Behaglichkeit oder Unbehaglichkeit eines Menschen widerspiegelt. Dieser hat sich anders als andere vergleichbare Indizes über viele Jahrzehnte bis heute als unverändert valide erwiesen. Der Bioklima-Index ist sinnvoll, da die vom Menschen empfundene Wärmebelastung bzw. die wetterbedingte Belastung des Organismus nicht alleine von der Lufttemperatur abhängt, sondern auch von anderen Einflussgrößen innerhalb des thermischen Wirkungskomplexes. Die wichtigsten Einflussgrößen, die das Empfinden im thermischen Wirkungskomplex beeinflussen und zur Berechnung des PMV herangezogen werden sind: Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit und die mittlere Strahlungstemperatur. Hinzu kommen noch die körperliche Aktivität des Menschen und der Wärmeleitwiderstand der Kleidung.

Der PMV-Wert reicht von -4 bis +4 (siehe Tabelle 4.2). Der Wert -4 wird als extrem kalt empfunden und der Wert +4 als extrem heiß. Ein neutraler thermischer Komfort wird beim Wert 0 empfunden. Dabei ist zu beachten, dass in diesem Kontext thermische Ausdrücke, wie etwa kühl, warm oder heiß in Verbindung mit dem entsprechenden PMV-Wert stehen und nicht allein mit der Lufttemperatur gleichzusetzen sind, sondern in diesem Falle eine Einordnung des Behaglichkeitsempfindens des Menschen auf der PMV-Skala darstellen.

Tab. 4.2 Werteskala der PMV-Feineinteilung

PMV	Thermisches Empfinden	Belastungsstufe	Biologische Wirkung
-3,5	sehr kalt	Extrem	Kältestress
-2,5	kalt	Stark	
-1,5	kühl	Mäßig	
-0,5	leicht kühl	Schwach	keine
0,0	behaglich	Keine	
0,5	leicht warm	Schwach	
1,5	warm	Mäßig	Wärmebelastung
2,5	heiß	Stark	
3,5	sehr heiß	Extrem	

(Quelle: Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg 2012)

In der Abbildung 4.4 sind die simulierten PMV-Werte im Quartier Arrenberg für 15 Uhr dargestellt. Nur auf wenigen, stark beschatteten Bereichen liegen die PMV-Werte unter 2,5. Damit weisen fast alle Flächen im Untersuchungsgebiet tagsüber eine starke bis extreme Wärmebelastung auf. Im Maximum werden PMV-Werte von 3,65 erreicht. Entsprechend der hohen Oberflächentemperaturen sind die breiten und sonnenbeschienenen Straßen und Plätze am stärksten bioklimatisch belastet.

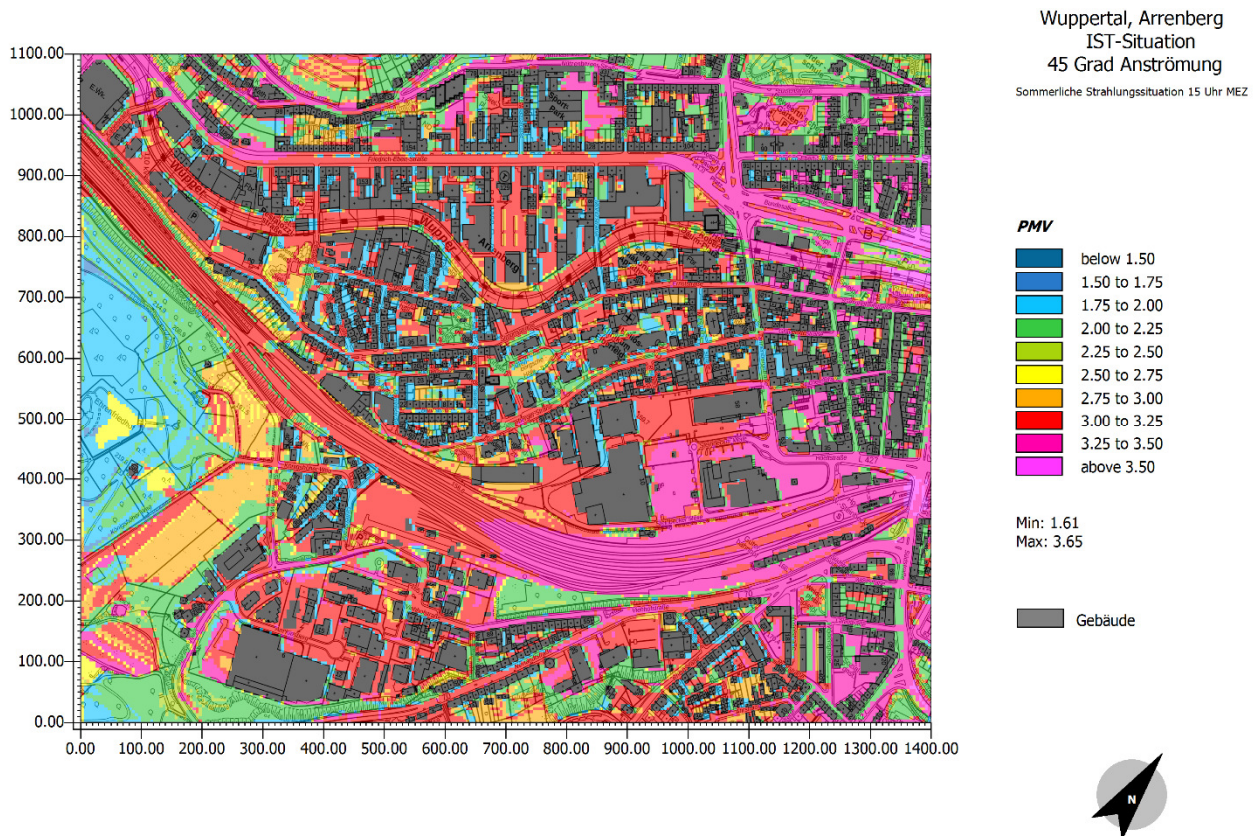


Abb. 4.4 Modellierte PMV-Werte um 15 Uhr im Modellgebiet Arrenberg im IST-Zustand

Während tagsüber die direkte Sonneneinstrahlung die größte Belastung für den Menschen darstellt, sind in der Nacht die Belüftung und die Absenkung der Lufttemperaturen die entscheidenden Faktoren zur Beurteilung der Hitzebelastung. Zur Beurteilung der Belüftung werden die Windströmungen einmal aus nordöstlicher Richtung und einmal aus Kaltluftflüssen aus südlichen Richtungen um 0 Uhr betrachtet. Insgesamt ist das Quartier Arrenberg mit Windgeschwindigkeiten, die weitgehend unter 0,5 m/s liegen, schlecht durchlüftet (Abb. 4.5). Ausnahmen bilden nur die ruhigkeitsarmen Bereiche der Gleisanlagen und die Hangbereiche südlich des Schwarzen Wegs. Hier liegen die nächtlichen Windgeschwindigkeiten noch über 1 m/s. Auch über dem Flusslauf der Wupper und entlang der B7 erreichen die Strömungsgeschwindigkeiten Werte um 1 m/s. Ab einer nächtlichen Windbewegung von über 1 m/s im bebauten Gebiet kann man von einer ausreichenden lokalen Belüftung ausgehen.

Alle bebauten Bereiche im Modellgebiet Arrenberg liegen im Hinblick auf die Belüftungssituation im windschwachen Bereich unter 1 m/s. Daraus resultiert ein entsprechender Handlungsbedarf für das Quartier Arrenberg.

4. Mikroklimatische Untersuchungen des städtischen Quartiers Arrenberg

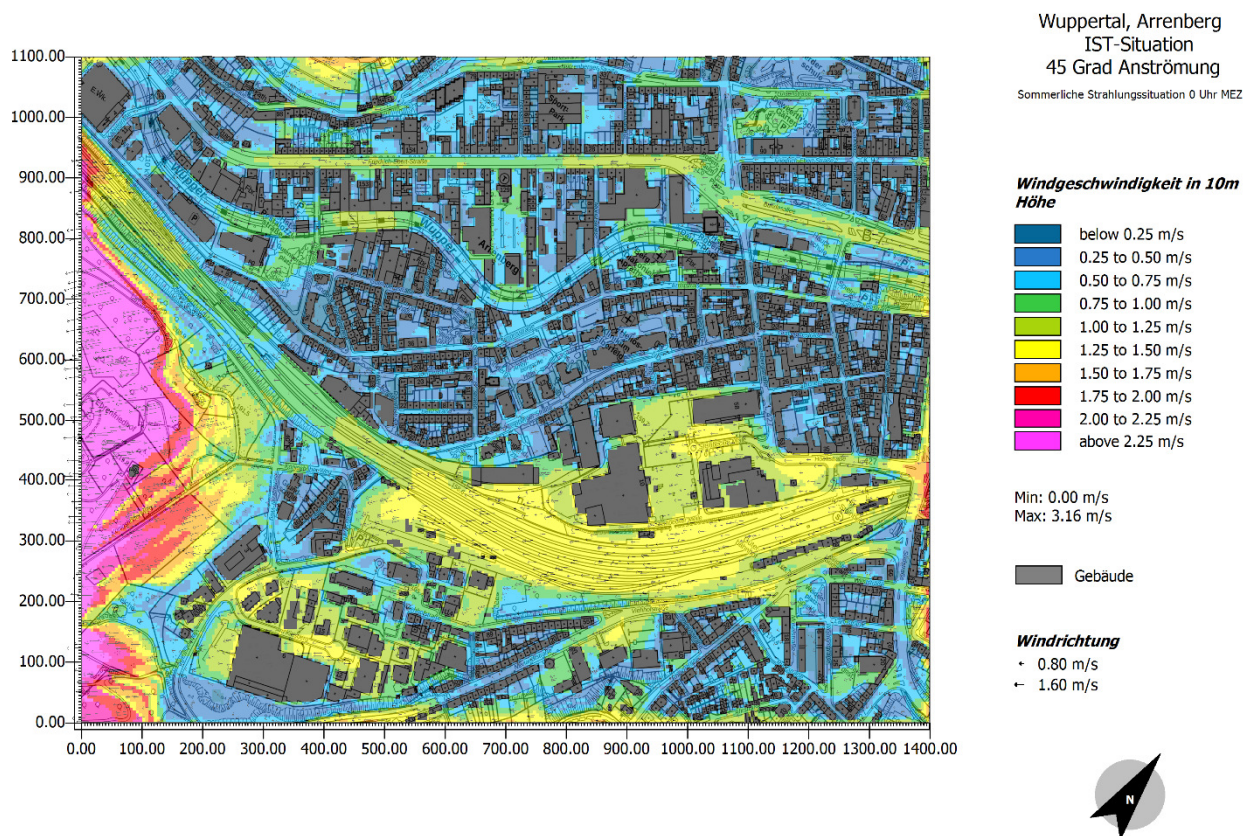


Abb. 4.5 Modellierte Windverteilung in 10 m über Grund um 0 Uhr im Modellgebiet Arrenberg im IST-Zustand, Anströmung aus Nordost

Zur besseren Beurteilung der Belüftung in den Baustrukturen wurde im Folgenden eine Abbildungsvariante gewählt, die detailliert nur die unter 1 m/s liegenden Windgeschwindigkeiten darstellt (Abb. 4.6 und 4.7). Windgeschwindigkeiten über 1 m/s werden einheitlich in lila dargestellt. So sind auf einen Blick die Belüftungsbahnen im Modellgebiet zu erkennen. Einheitlich sowohl bei einer Anströmung aus Nordost (Abb. 4.6) wie auch aus Süd (Abb. 4.7) sind dies die Gleisanlagen sowie die südlichen Hanglagen. Das Gewerbegebiet entlang der Viehhofstraße ist ebenfalls gut durchlüftet. Dies ist von Bedeutung, da über diesen Bereich Kaltluft aus den südlich gelegenen Freiflächen nach Arrenberg fließt. Wupperverlauf und B7 erlangen nur bei einer Luftbewegung aus östlichen Richtungen als Belüftungsbahn eine Bedeutung. Für einen Kaltluftzufluss aus Süden spielen sie keine Rolle. Dieser führt aber zu einer etwas verbesserten Durchlüftung der eher nord-südlich ausgerichteten Straßen im Quartier, beispielsweise der Senefelderstraße und der Tannenbergsstraße.

Setzt man voraus, dass bei einer sommerlichen Schwachwindlage nächtliche Kaltluft sowohl aus Nordost wie auch aus Süd in das Quartier Arrenberg gelangt, könnte man annehmen, dass die Belüftungssituation in diesem Stadtquartier nicht belastend ist. Allerdings werden weite Teile innerhalb der Baublöcke in Arrenberg weder von der nördlichen noch von der südlichen Strömung erreicht. Diese Bereiche sind in den Abbildungen 4.6 und 4.7 an den dunkelblauen und braunen Farben zu erkennen. Hier liegen die Windgeschwindigkeiten in 10 m Höhe über Grund bei unter 0,4 m/s und sind damit nicht mehr wahrnehmbar. Häufig betrifft dies die Innenhöfe der Blockbebauungen. Da hier eine Verbesserung der nächtlichen Abkühlung durch Luftbewegungen ohne Gebäudeabrisse kaum zu erreichen ist, müssen durch andere Maßnahmen (siehe im Folgenden das Kapitel 4.3) die Temperaturen vor Ort gesenkt werden.

4. Mikroklimatische Untersuchungen des städtischen Quartiers Arrenberg

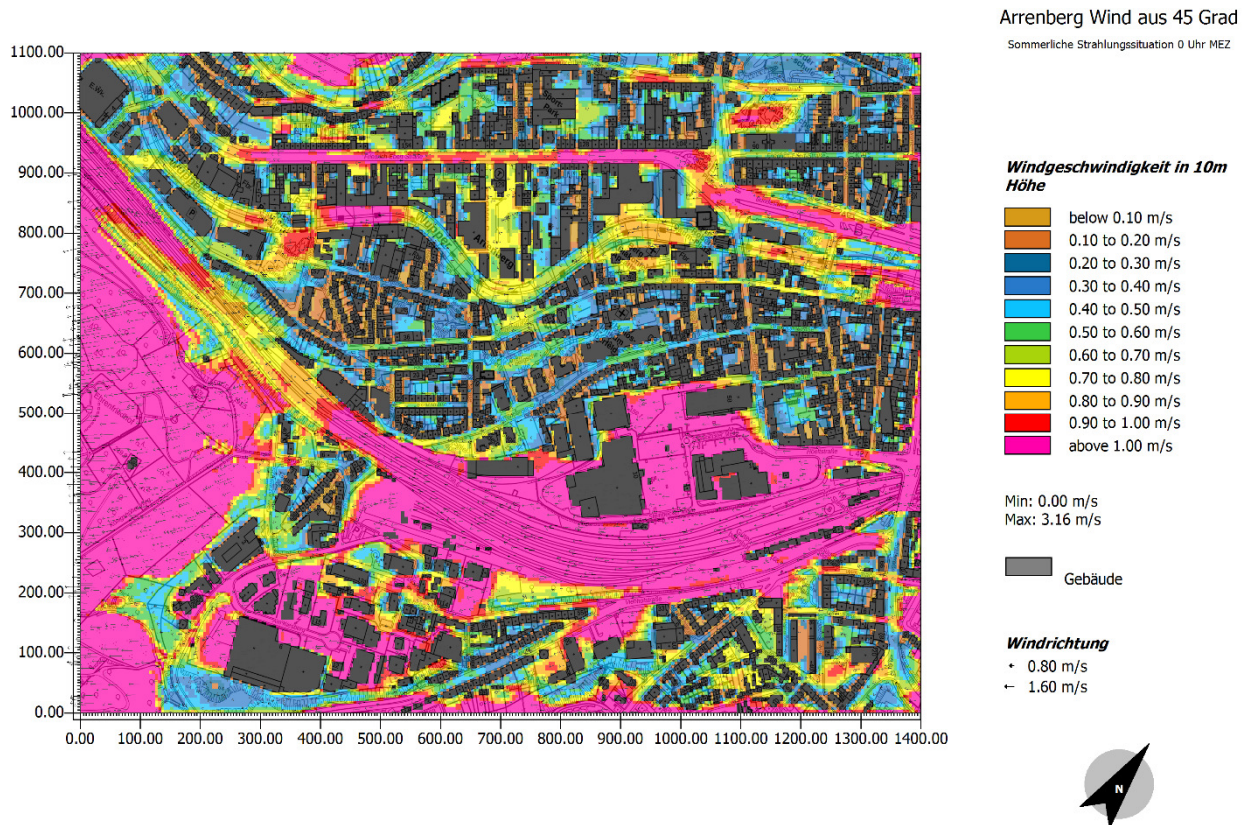


Abb. 4.6 Modellerte Schwachwindverteilung in 10 m über Grund um 0 Uhr im Modellgebiet Arrenberg im IST-Zustand, Anströmung aus Nordost

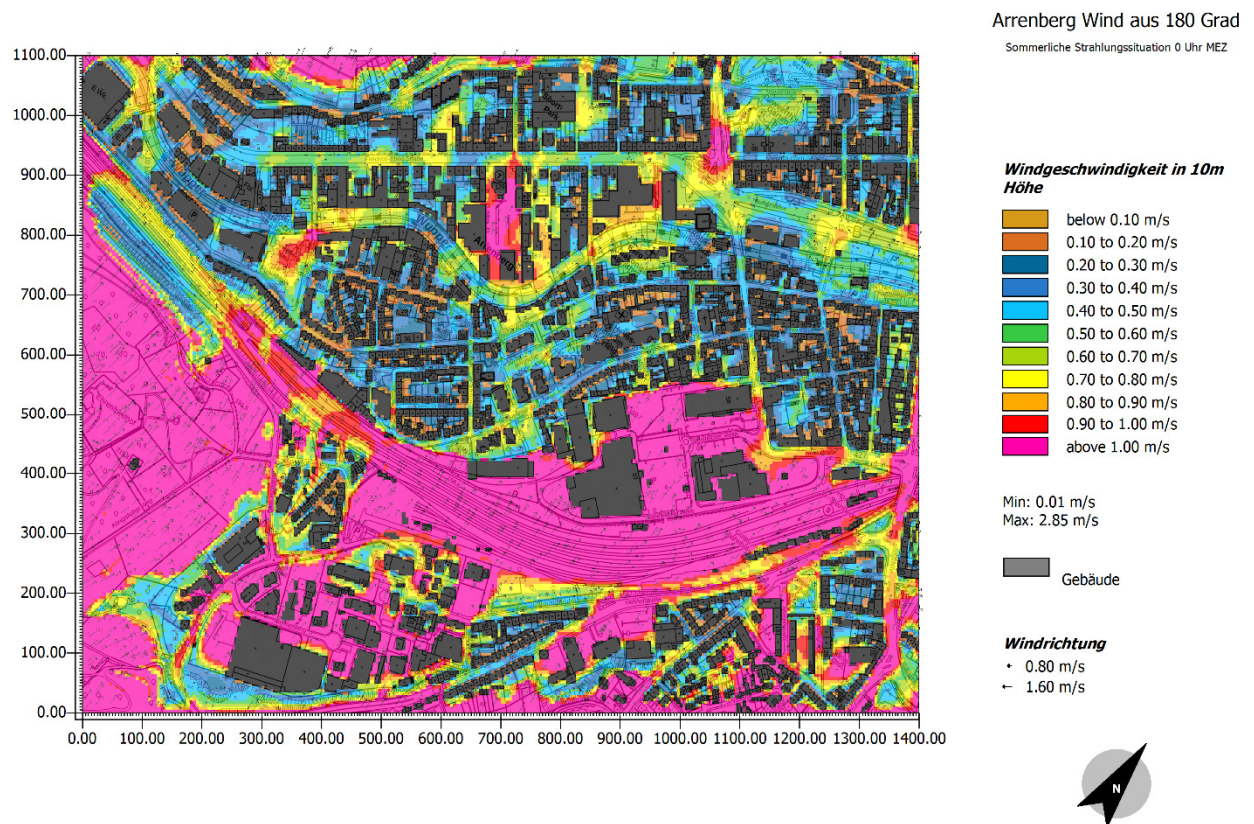


Abb. 4.7 Modellerte Schwachwindverteilung in 10 m über Grund um 0 Uhr im Modellgebiet Arrenberg im IST-Zustand, Anströmung aus Süd

Die mangelnde nächtliche Abkühlung im Quartier Arrenberg bei einer Hitzewetterlage zeigt sich bei der Betrachtung der Lufttemperaturen um Mitternacht (Abb. 4.8 und 4.9). Im gesamten Untersuchungsgebiet liegen sie zwischen 24 °C und 26 °C und stellen damit eine gesundheitliche Belastung für den Menschen dar. Sinken die Lufttemperaturen nachts für einen längeren Zeitraum nicht unter 20 °C, können gesundheitliche Schäden auftreten. Die hohen nächtlichen Lufttemperaturen sind eine Folge der tagsüber in den versiegelten und bebauten Flächen gespeicherten Wärme (siehe Abb. 4.3) und der geringen nächtlichen Windgeschwindigkeiten innerhalb der Bebauung (Abb. 4.6 und 4.7). Unterschiede in der Verteilung der Lufttemperaturen ergeben sich aber entsprechend der Richtung, aus der kühle Luft in das Modellgebiet geführt wird. Bei einer Anströmung mit relativ kühler Luft entlang des Tals der Wupper aus Nordost (Abb. 4.8) sind die nordöstlichen Bereiche des Quartiers etwas kühler. Der südliche Bereich des Modellgebietes dagegen profitiert von kühler Luft, die aus Süden über kleinere Täler herangeführt wird (Abb. 4.9). Dies gilt insbesondere für die Gewerbegebiete an der Viehhofstraße und entlang der Simonsstraße.

Bei beiden Anströmungsrichtungen erwärmt sich die kühle Luft beim Überstreichen der überhitzten bebauten Flächen, Gewerbe und auch Wohnbebauung, rasch. Das Gebiet von B7 über den Bereich Gutenbergstraße bis zur Steinbecker Meile profitiert damit weder von der nordöstlich noch von der südlichen Quartiersbelüftung. Hier ist die nächtliche Wärmebelastung am größten und Maßnahmen zur Hitzereduktion haben eine hohe Priorität.

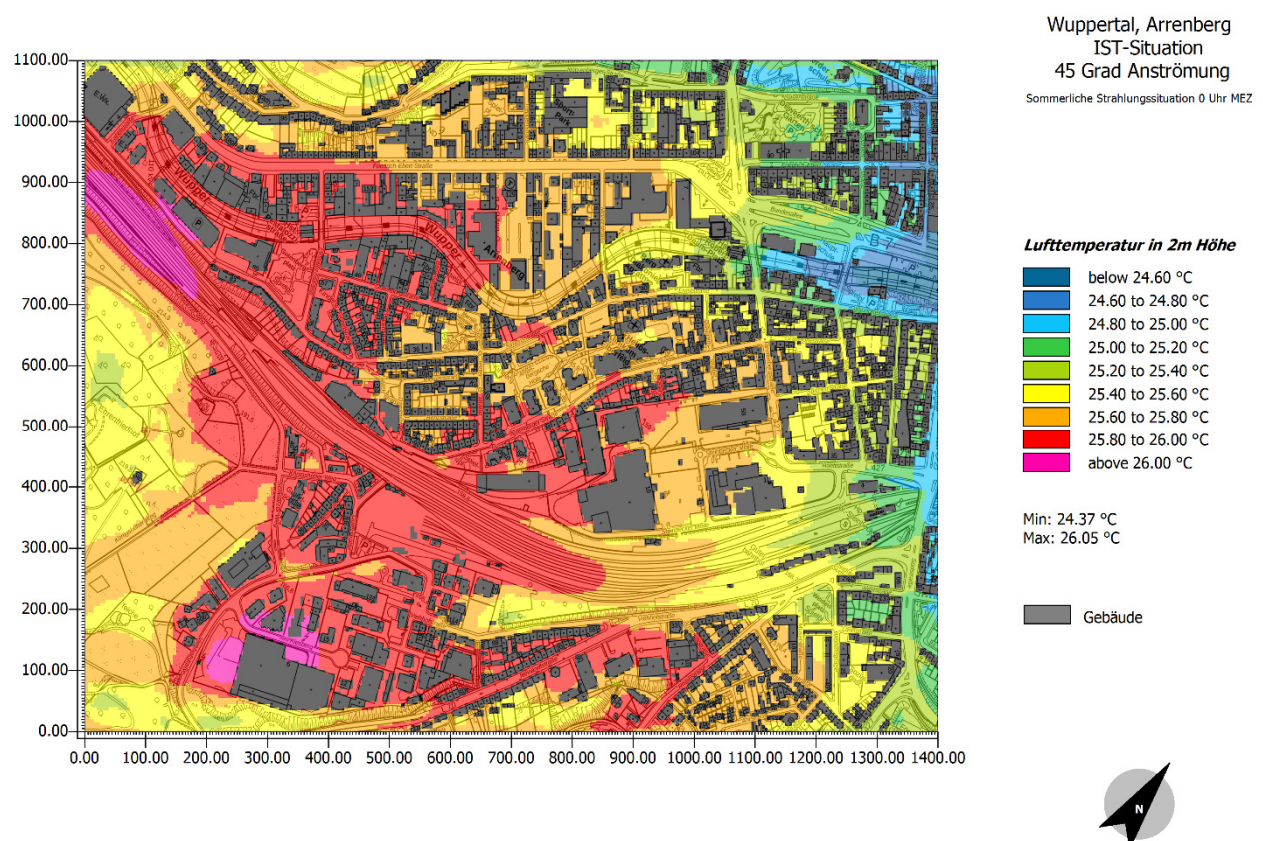


Abb. 4.8 Modellierte Lufttemperaturen in 2 m über Grund um 0 Uhr im Modellgebiet Arrenberg im IST-Zustand, Anströmung aus Nordost

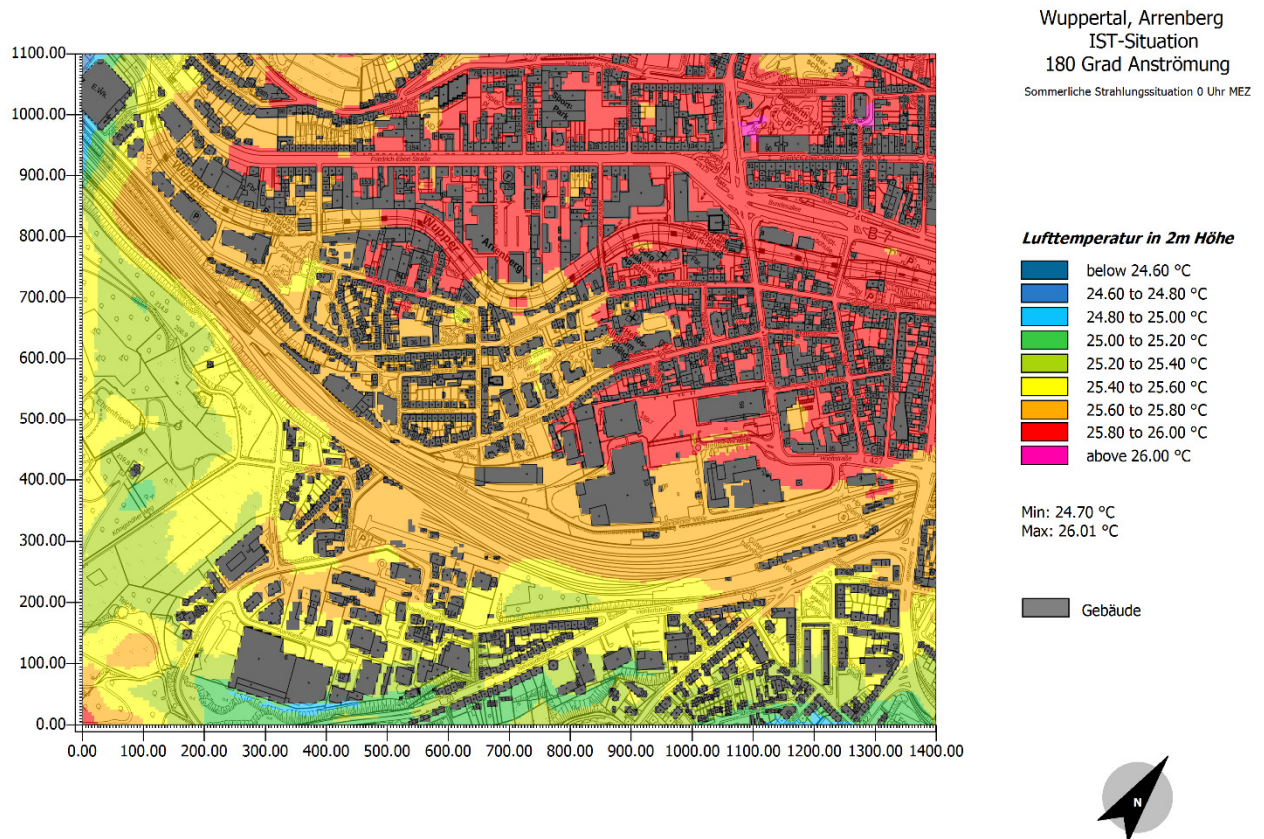


Abb. 4.9 Modellierte Lufttemperaturen in 2 m über Grund um 0 Uhr im Modellgebiet Arrenberg im IST-Zustand, Anströmung aus Süd

- ◆ Das Quartier Arrenberg zeigt sich innerhalb der dichten Bebauungsstrukturen als mangelhaft durchlüftet.
- ◆ Breite, unverschattete Straßen und versiegelte Plätze zeigen tagsüber ein sehr großes Hitzepotential.
- ◆ Eine mangelnde nächtliche Abkühlung im Quartier Arrenberg kann bei Hitzewetterlagen zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen.

4.2 Arrenberg - Szenario 1 mit Baumaßnahmen

Zunächst wurde in einem Szenario 1 (SZ1) untersucht, wie sich eine mögliche Bebauung auf die ohnehin schwache Belüftung im Quartier auswirken könnte. Dazu wurde das Modell der IST-Situation um drei 10 m hohe Gebäude erweitert, die jeweils direkt in die Anströmung der Luft aus Nordost oder Süd gesetzt wurden. Das erste Gebäude wurde auf der zurzeit als Parkplatz genutzten Fläche zwischen der Hoefstraße und der Steinbecker Meile hinzugefügt. Die beiden anderen Gebäude wurden auf der Freifläche zwischen Viehhofstraße/ Bahnstrecke und Güterstraße ergänzt (siehe Abb. 4.10). Auf den neuen Gebäuden wurde eine Dachbegrünung mit Gras angenommen. Abbildung 4.11 zeigt die vorgenommenen Veränderungen im Szenario 1 im Detail.

Schwerpunkt dieser Untersuchung lag auf der Belüftung des Quartiers. Tagsüber ergeben sich durch die neuen Baukörper nur sehr kleinräumige Unterschiede in den Oberflächentemperaturen und den bioklimatischen PMV-Werten. Durch die neuen Gebäudeschatten verringern sich diese Werte direkt am Gebäude etwas, ohne eine Fernwirkung zu erzielen.



Abb. 4.10 Gebäude- und Vegetationsstruktur im Modellgebiet Arrenberg im Szenario 1

Zur Veranschaulichung der Beeinflussung der Belüftung im Quartier wurden die Differenzen der Windgeschwindigkeiten zwischen der IST-Situation und den Modellergebnissen aus dem Szenario 1 berechnet, jeweils für die Anströmung aus Nordost (Abb. 4.11) und aus Süd (Abb. 4.12). Negative Werte bedeuten eine Abnahme der Windgeschwindigkeiten im Szenario 1.

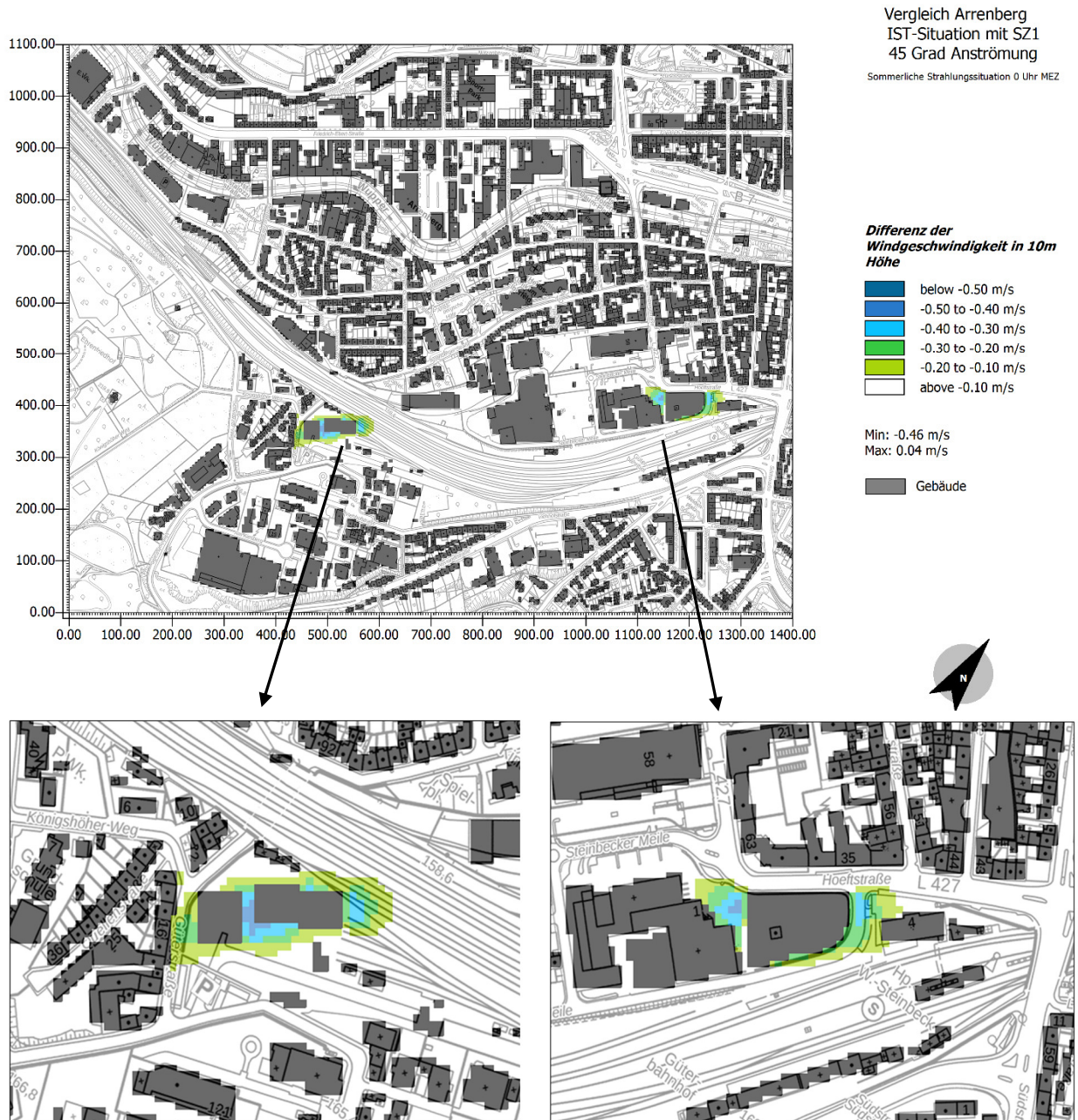


Abb. 4.11 Differenzen der Windgeschwindigkeiten in 10 m über Grund um 0 Uhr im Modellgebiet Arrenberg, Szenario 1 minus IST-Situation, Anströmung aus Nordost

4. Mikroklimatische Untersuchungen des städtischen Quartiers Arrenberg

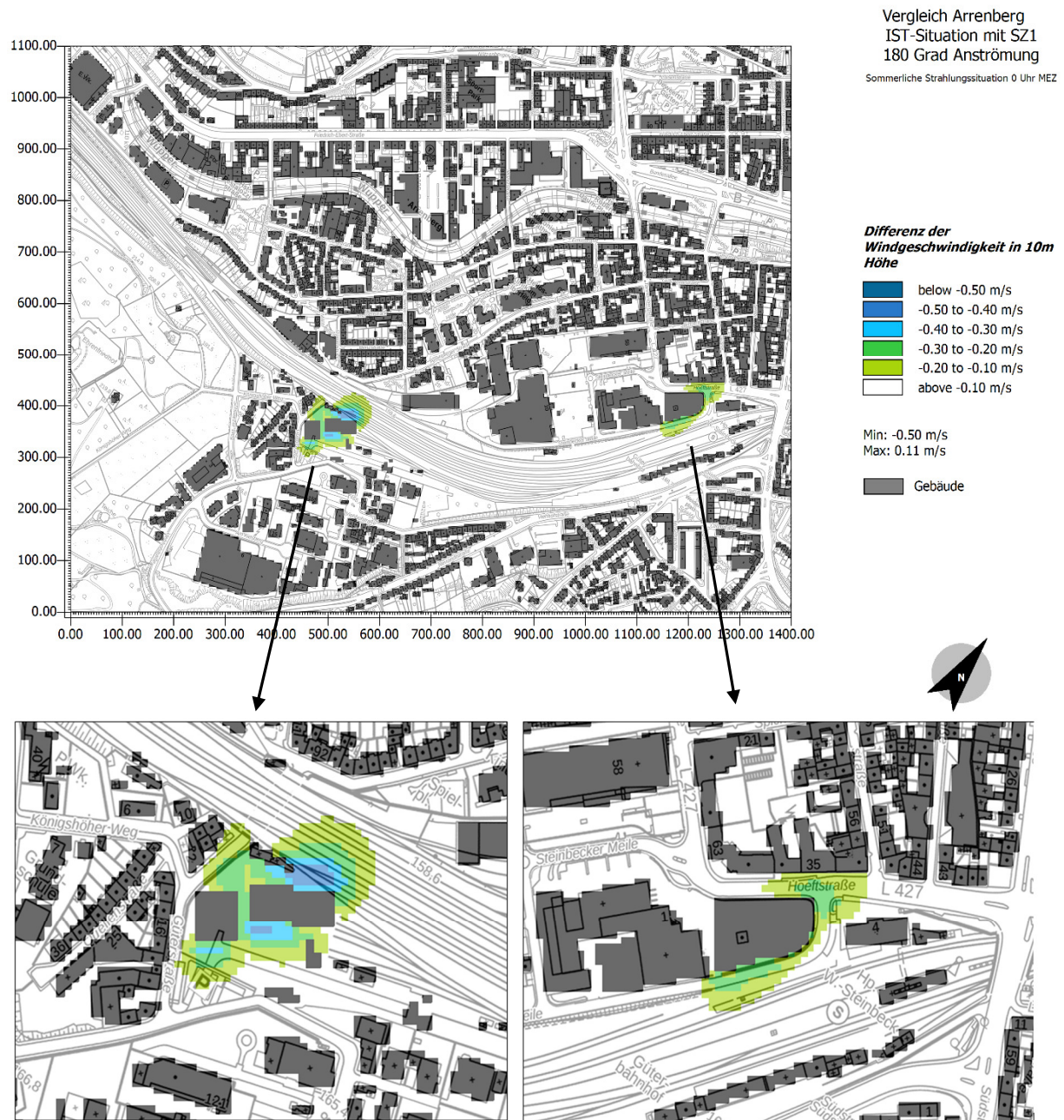


Abb. 4.12 Differenzen der Windgeschwindigkeiten in 10 m über Grund um 0 Uhr im Modellgebiet Arrenberg, Szenario 1 minus IST-Situation, Anströmung aus Süd

Bei beiden Anströmrichtungen werden die nächtlichen Windgeschwindigkeiten im Umfeld der neuen Gebäude um bis zu 0,5 m/s verringert. Dies bedeutet bei Strömungsgeschwindigkeiten von rund 1 m/s im IST-Zustand eine deutliche Verringerung der Belüftung. Im Fall der Anströmung aus Nordost reicht diese Windabschwächung aber nicht weit in das Quartier hinein. Die gute Belüftung entlang der Gleisanlagen wird nicht verändert. Damit ergibt sich auch keine nachweisbare Veränderung der nächtlichen Lufttemperaturen im Untersuchungsgebiet.

Eine etwas weiter reichende Beeinträchtigung der Windbewegungen und der Lufttemperaturen liegt bei einer Anströmung aus Süd vor. Die Luftbewegungen sind nach Überstreichen der Gewerbebegebietsfläche an der Viehhofstraße schon geschwächt und werden insbesondere durch die modellierten

Gebäude auf der Freifläche zwischen Viehhofstraße/ Bahnstrecke und Güterstraße nochmal abgebremst. Zusätzlich wird die Luft nochmal etwas erwärmt und erreicht mit etwas höheren Lufttemperaturen die angrenzende Wohnbebauung (Abb. 4.13). Die absoluten Werte der Lufttemperaturdifferenzen sind in der modellhaften Betrachtung zwar nur sehr gering, müssen aber als Hinweis auf eine mögliche Belastung des rot markierten Bereichs verstanden werden. Die Auswirkungen der verringerten Belüftung und Abkühlung durch die von Süden heranströmenden Luft sind bis weit in das Quartier Arrenberg hinein nachweisbar. Falls eine Bebauung an dieser Stelle geplant wäre, ist durch eine offenere Gebäudestellung für eine bessere Durchströmbarkeit zu sorgen. Zusätzlich muss durch Auswahl der Baumaterialien und Farben sowie durch Begrünungen, z.B. Fassaden und Dach, die Aufheizung der nächtlichen Luftströmung aus Süden vermieden werden.

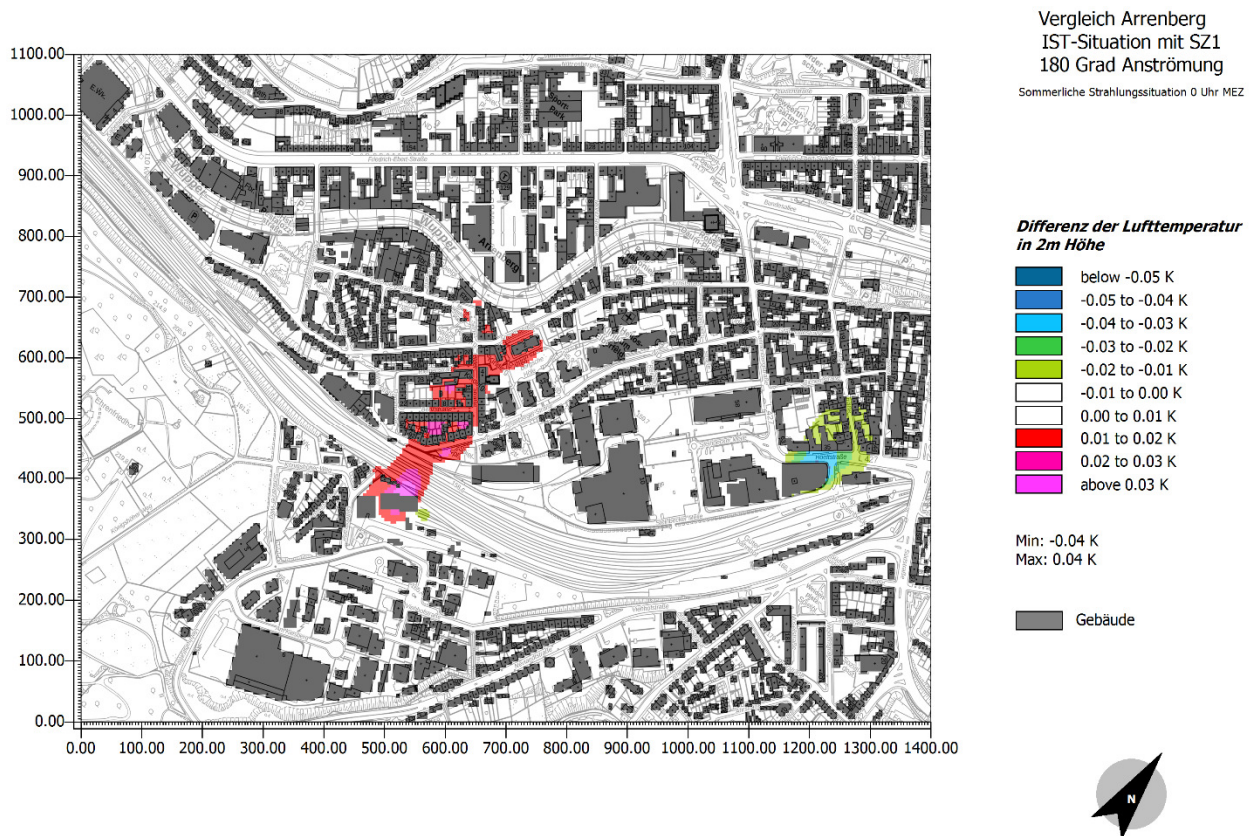


Abb. 4.13 Differenzen der Lufttemperaturen in 2 m über Grund um 0 Uhr im Modellgebiet Arrenberg, Szenario 1 minus IST-Situation, Anströmung aus Süd

Insgesamt zeigen die möglichen Bebauungen an den ausgewählten Plätzen untypisch wenig Auswirkungen. Dies ist auf die direkte Lage am Rand der Luftleitbahn der Bahngleise zurückzuführen. Im übrigen Quartiersgebiet würden sich deutlich mehr Auswirkungen bei einer zusätzlichen Bebauung ergeben, da hier die Ausgangssituationen der Belüftung viel schlechter sind.

4.3 Arrenberg - Szenario 2 mit verschiedenen Anpassungsmaßnahmen

Im Szenario 2 wurden in verschiedenen Bereichen im Quartier Arrenberg Anpassungsmaßnahmen vorgenommen, die der Hitzebelastung entgegenwirken sollen. Durch mikroskalige Modellrechnungen werden die Wirksamkeiten der Maßnahmen untersucht. Abbildung 4.14 zeigt das Modellgebiet Arrenberg im Szenario 2 mit den Bereichen, in denen Anpassungsmaßnahmen modellhaft umgesetzt wurden. Dazu wurden zwei Wohn-Mischbereiche mit Blockrandbebauung, eine Grünanlage und eine ausgedehnte Parkplatzfläche ausgewählt. Hier zeigten sich in der IST-Situation schon deutliche Hitzebelastungen und/ oder ein Belüftungsmangel.

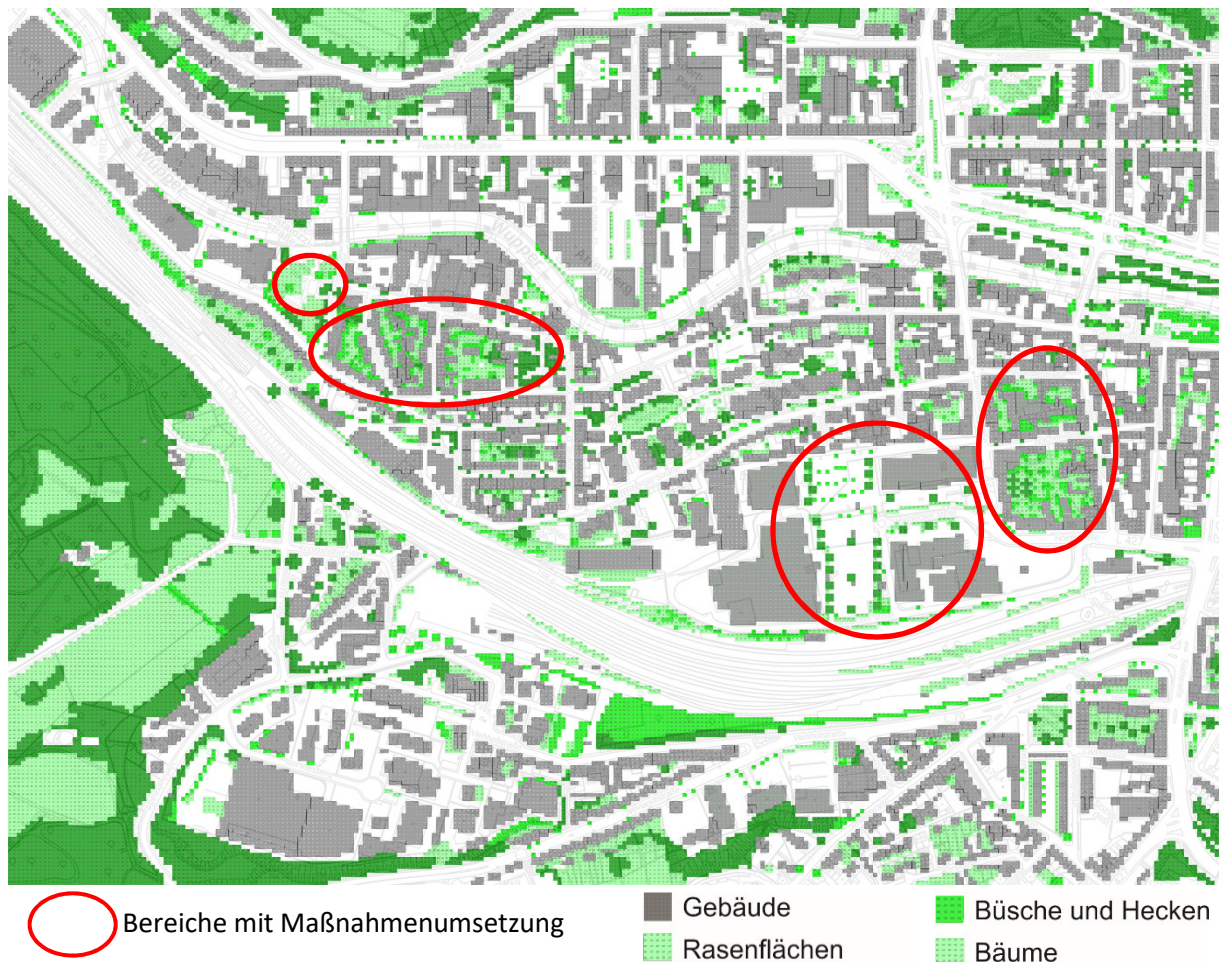


Abb. 4.14 Gebäude- und Vegetationsstruktur sowie Bereiche der Maßnahmenumsetzung im Modellgebiet Arrenberg im Szenario 2

Im Bereich der Gutenbergstraße wurden im Einzelnen die folgenden Maßnahmen umgesetzt (siehe Abb. 4.15):

Gutenbergplatz: Springbrunnen

Quartier Senefelderstraße/Simonsstraße und Pestalozzistraße/ Gutenbergstraße:

- Innenhofbegrünung mit Rasenflächen und Sträuchern
- Dachbegrünung für Gebäude bis 5 m Höhe
- Brunnen

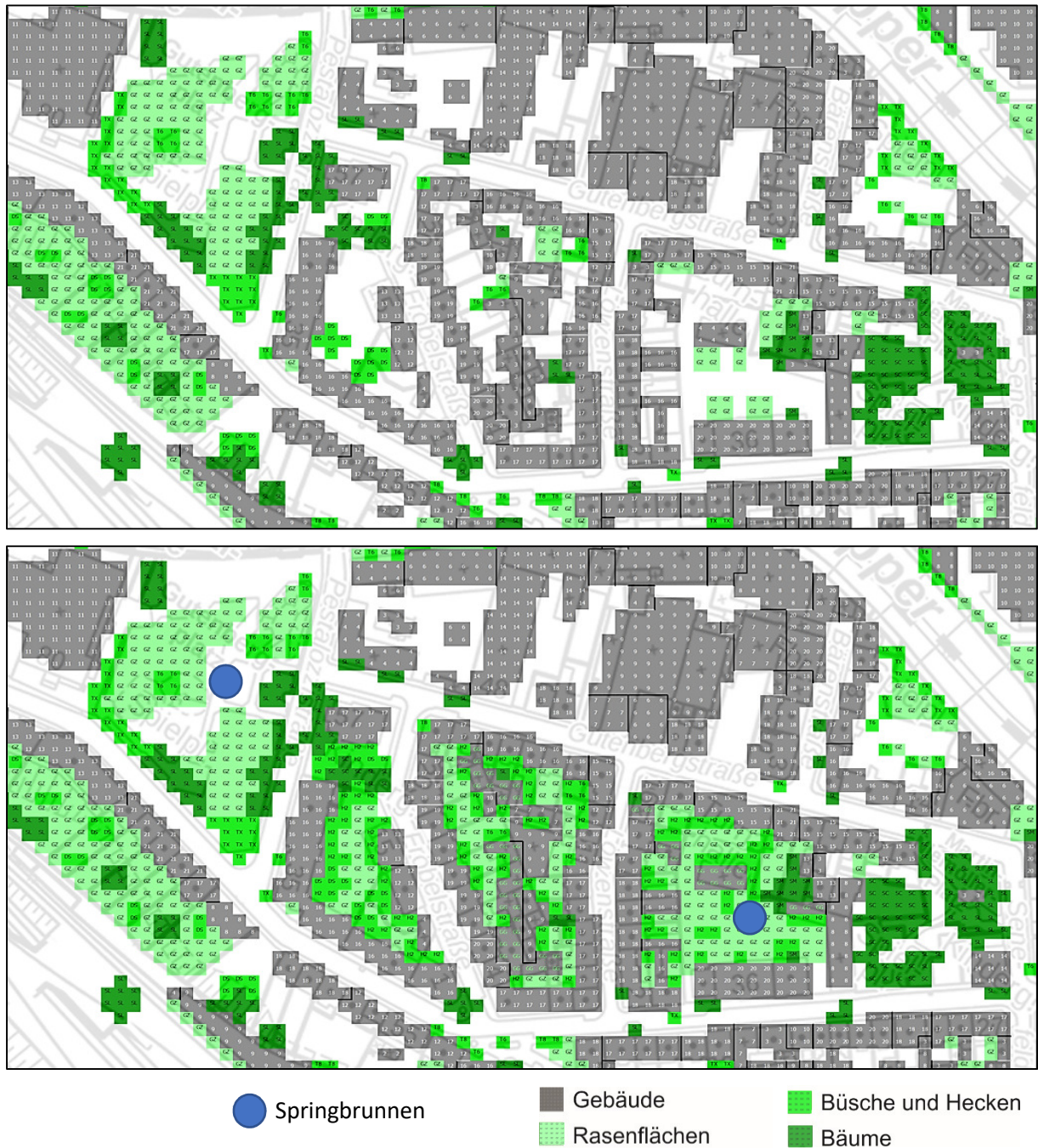


Abb. 4.15 Detailausschnitt aus dem Modellgebiet Arrenberg im Szenario 2, Bereich Gutenbergstraße
oben: IST-Zustand, unten: mit Maßnahmenumsetzungen

4. Mikroklimatische Untersuchungen des städtischen Quartiers Arrenberg

Im Quartier Alsenstraße/ Hoefstraße/ Tannenbergsstraße/ Gravelottestraße wurden im Einzelnen die folgenden Maßnahmen umgesetzt (Abb. 4.16):

- Innenhofbegrünung mit Rasenflächen und Strüchern
- Dachbegrünung für Gebäude bis 5 m Höhe

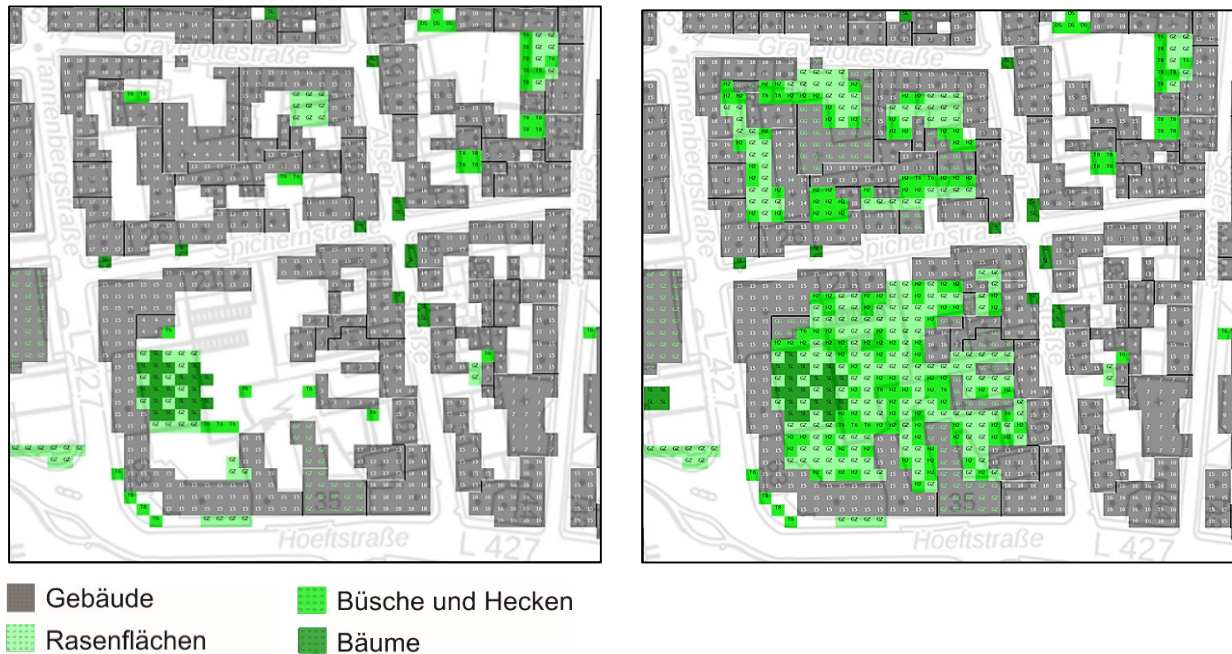


Abb. 4.16 Detailausschnitt aus dem Modellgebiet Arrenberg im Szenario 2, Bereich Alsenstraße
links: IST-Zustand, rechts: mit Maßnahmenumsetzungen

Als dritter Bereich mit Anpassungsmaßnahmen dienten die Parkplatzflächen und Gebäude der Fachmärkte an der Steinbecker Meile (Abb. 4.17):

- Die Flachdächer (bis 8 m Höhe) der Gebäudekomplexe der Fachmärkte wurden mit Dachbegrünungen ausgestattet
- Auf der Parkplatzfläche: Baumreihen mit 15 m hohen Bäumen mit dichten Baumkronen und blattfreiem Stamm
- Entsiegelung der Baumscheiben
- Grünstreifen zwischen den Bäumen mit Bodendeckern

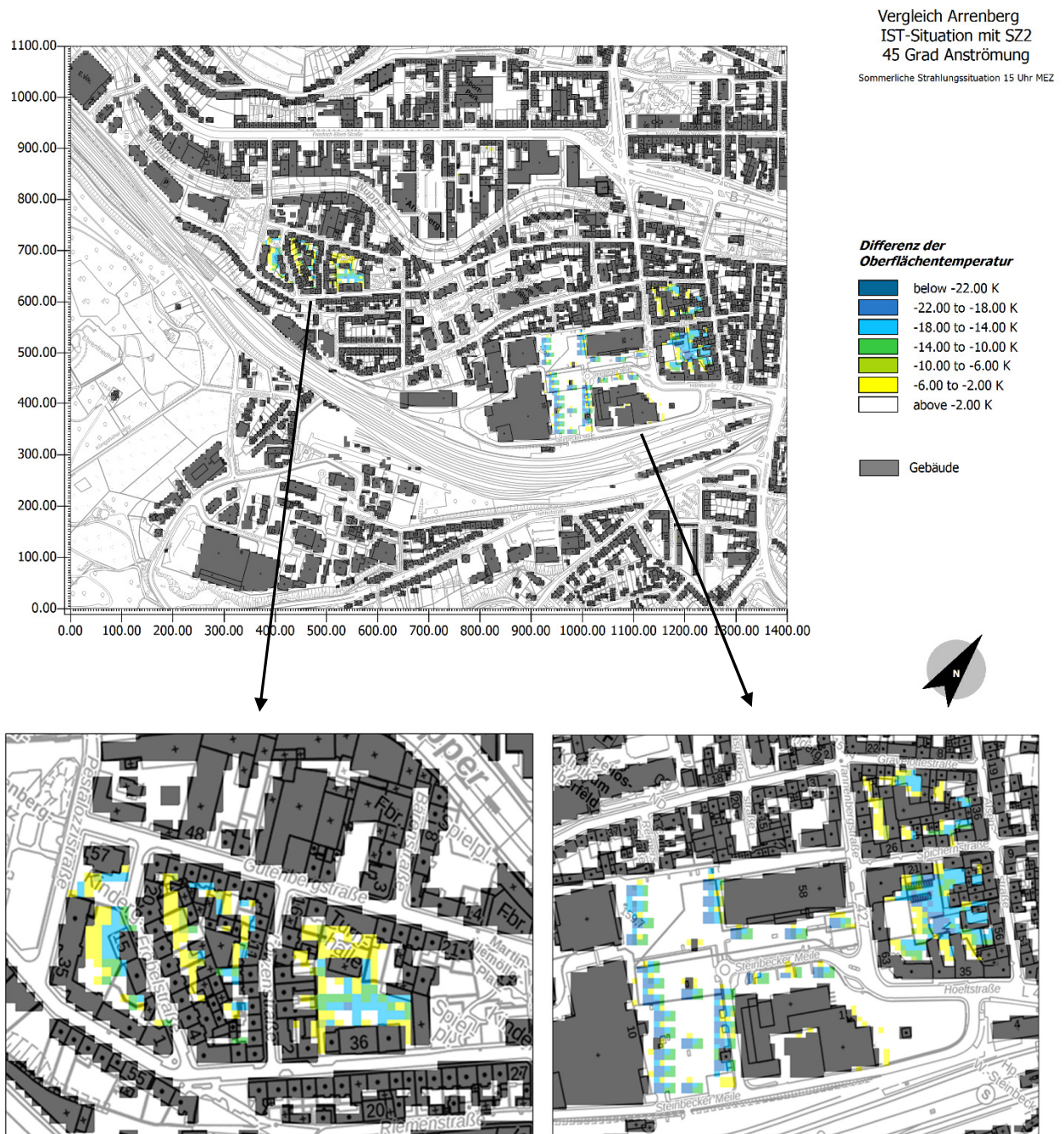
4. Mikroklimatische Untersuchungen des städtischen Quartiers Arrenberg



Abb. 4.17 Detailausschnitt aus dem Modellgebiet Arrenberg im Szenario 2, Bereich Alsenstraße
oben: IST-Zustand, unten: mit Maßnahmenumsetzungen

4. Mikroklimatische Untersuchungen des städtischen Quartiers Arrenberg

Ein wesentliches Problem im Quartier Arrenberg ist die große Hitzeentwicklung am Tag. Die im Szenario 2 integrierten Klimaanpassungen sollen durch Begrünung und Beschattung dieser entgegenwirken. Abbildung 4.18 zeigt die Abnahme der Oberflächentemperaturen um 15 Uhr. Im direkten Baumschatten liegen diese um bis zu 20 Kelvin niedriger als in der IST-Situation. Die nahezu vollständige Entsiegelung und Begrünung der Oberflächen in den Innenhöfen der Quartiersblöcke in den Bereichen Gutenbergstraße (Abb. 4.15) und Alsenstraße (Abb. 4.16) hat zu einer Abnahme der Oberflächentemperaturen um 2 bis 10 Kelvin geführt. Da heiße Oberflächen den Ausgangspunkt für eine innerstädtische Hitzebelastung bilden, konnte hier die Ausgangssituation deutlich verbessert werden.



Im Folgenden soll die Entwicklung der bioklimatischen Belastung betrachtet werden. Abbildung 4.19 zeigt die Abnahmen der PMV-Werte durch die Umsetzung der Klimaanpassungsmaßnahmen im Quartier. Hier spielt die Abschirmung vor direkter Sonneneinstrahlung die größte Rolle. Entsprechend findet man die größten Abnahmen um bis zu 1,3 Punkten unter den virtuell angelegten Bäumen, sowohl in den Innenhöfen an der Gutenbergstraße wie auch auf dem Fachmarktparkplatz an der Steinbecker Meile. Damit kann die bioklimatische Belastung von der Stufe „starke bis extreme Wärmebelastung“ im IST-Zustand auf eine mäßige bis starke Wärmebelastung gesenkt werden. Unterschiede zwischen einer Anströmung aus Nordost oder aus Süd gibt es nicht.

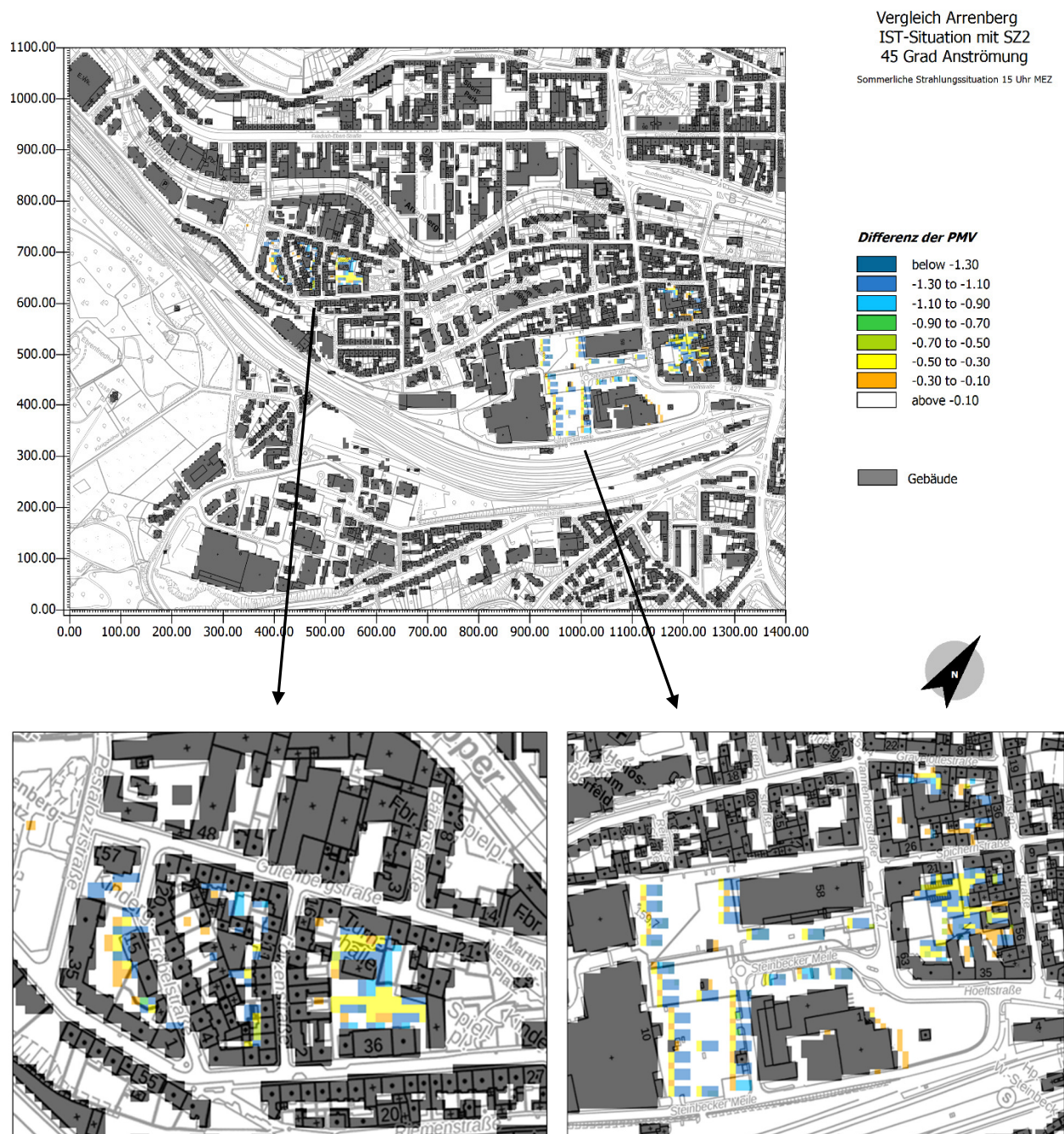


Abb. 4.19 Differenzen der bioklimatischen PMV-Werte um 15 Uhr im Modellgebiet Arrenberg, Szenario 2 minus IST-Situation, Anströmung aus Nordost

Zur Beurteilung der Wirksamkeit der modellierten Klimaanpassungsmaßnahmen ist auch die Nachtsituation wichtig. Führt die reduzierte Hitzebelastung am Tag auch zu einem verbesserten Mikroklima in der Nacht? Bäume, die tagsüber Schatten spenden, können bei Schwachwindlagen aber auch die Belüftung reduzieren. In der Abbildung 4.20 sind die Veränderungen der Windgeschwindigkeiten im Szenario 2 auf dem großen Fachmarktparkplatz an der Steinbecker Meile für den Fall der Südanströmung dargestellt, da bei dieser Belüftungssituation die negativen Auswirkungen etwas größer ausfallen. In allen Innenhofbereichen gibt es keine Veränderungen. Hier sind aufgrund der Gebäudesituation die Windbewegungen stark eingeschränkt, sodass keine weiteren Reduzierungen der Windgeschwindigkeiten auftreten. Der Bereich des großen Parkplatzes, der im Szenario 2 mit über 20 zusätzlichen Bäumen bestückt wurde, wird etwas schlechter belüftet als in der IST-Situation. Die Reduzierung der Windgeschwindigkeiten liegt großflächig nur zwischen 0,1 und 0,3 m/s, beschränkt sich ausschließlich auf den Parkplatzbereich und entwickelt keine Fernwirkung. Die Belüftung der angrenzenden Bebauung wird nicht beeinträchtigt. Da der Parkplatzbereich selbst aber mit über 1 m/s Windgeschwindigkeit in der Ausgangssituation ausreichend belüftet ist, ist die leichte Verschlechterung der Belüftung durch Baumanpflanzungen im Hinblick auf die Verbesserung der Hitzebelastungssituation zu vernachlässigen.

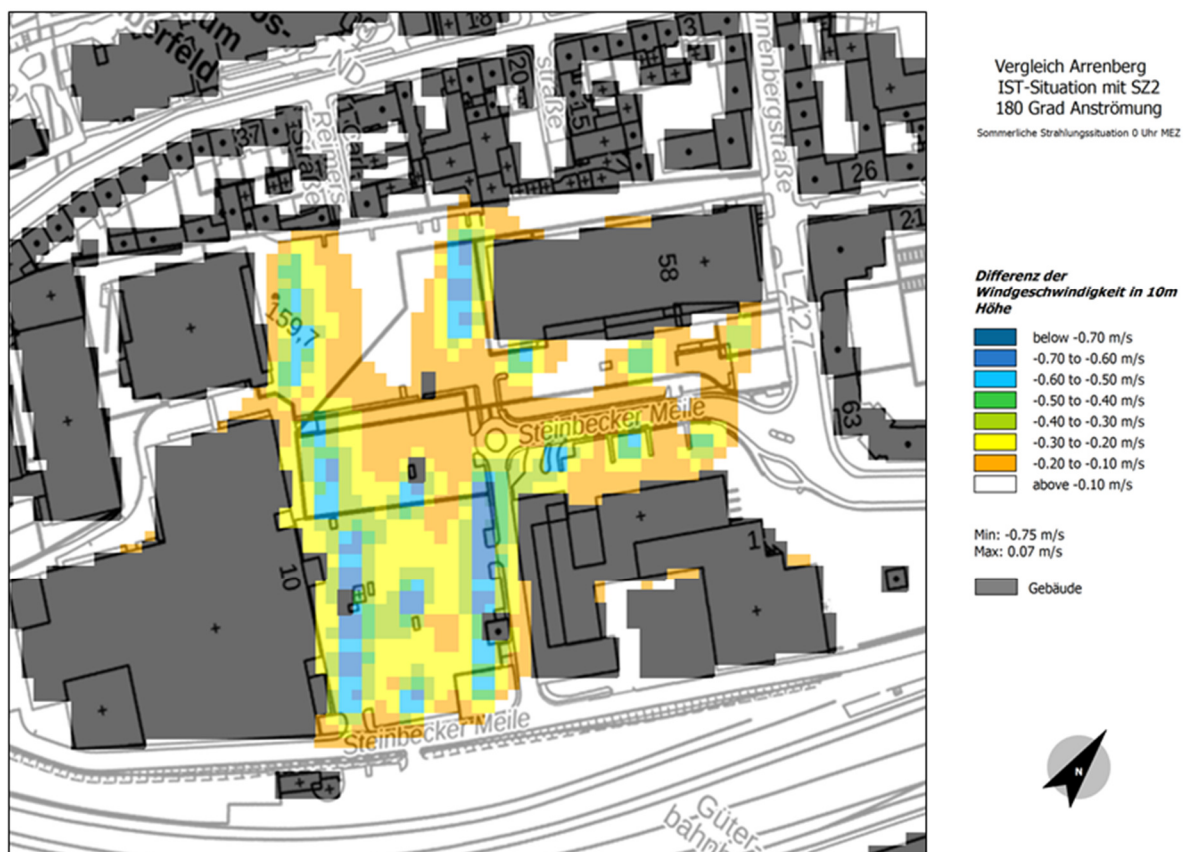


Abb. 4.20 Differenzen der Windgeschwindigkeiten in 10 m Höhe um 0 Uhr im Modellgebiet Arrenberg, Szenario 2 minus IST-Situation, Anströmung aus Süd

Die positiven Auswirkungen der Klimaanpassungsmaßnahmen im Szenario 2 auf die nächtliche Hitzebelastung im Quartier sind deutlich zu spüren. Die Abbildungen 4.21a und 4.21b für die Anströmung aus Nordost sowie 4.22 für die Anströmung aus Süd zeigen die Abnahmen der Lufttemperaturen um 0 Uhr um bis zu einem Kelvin. Dabei erreichen die Springbrunnen auf dem Gutenbergplatz und im Quartier Löwenstraße/ Simonsstraße die stärksten Auswirkungen. Entsprechend der Anströmrichtung wird

die positive Wirkung der Anpassungsmaßnahmen über die direkten Standorte hinaus um zum Teil mehrere hundert Meter in das Quartier hineingetragen.



Abb. 4.21a Differenzen der Lufttemperaturen in 2 m Höhe um 0 Uhr im Modellgebiet Arrenberg, Teil Gutenbergplatz, Szenario 2 minus IST-Situation, Anströmung aus Nordost

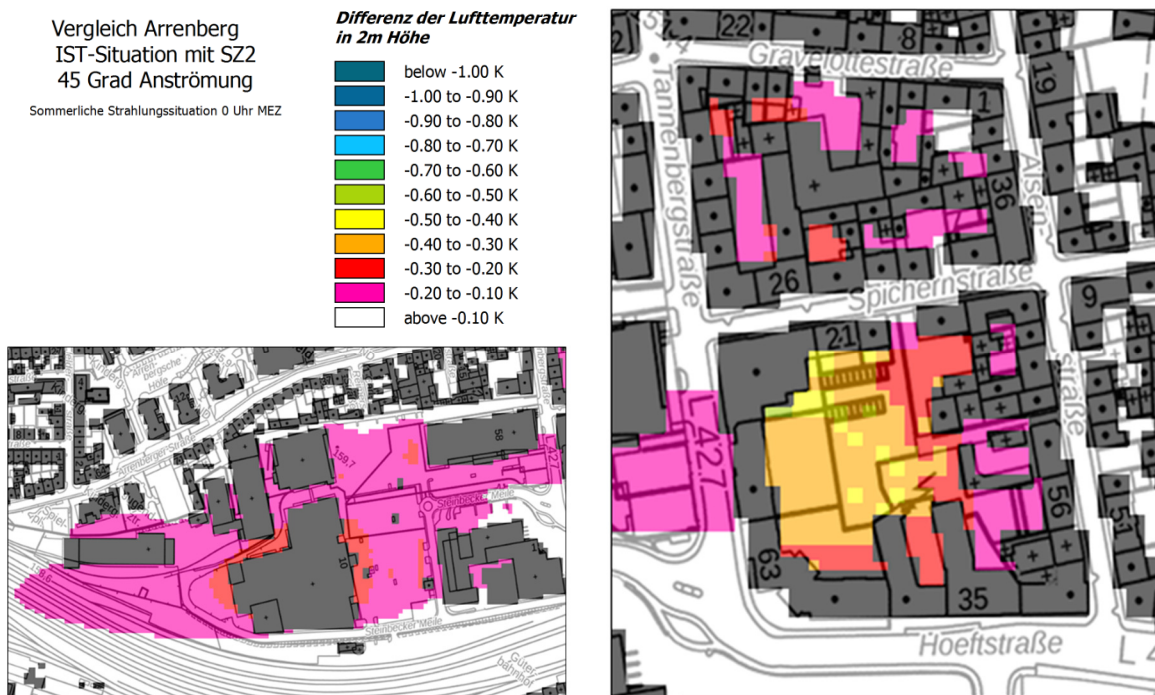


Abb. 4.21b Differenzen der Lufttemperaturen in 2 m Höhe um 0 Uhr im Modellgebiet Arrenberg, Teil Steinbecker Meile/Spichernstraße, Szenario 2 minus IST-Situation, Anströmung aus Nordost

4. Mikroklimatische Untersuchungen des städtischen Quartiers Arrenberg

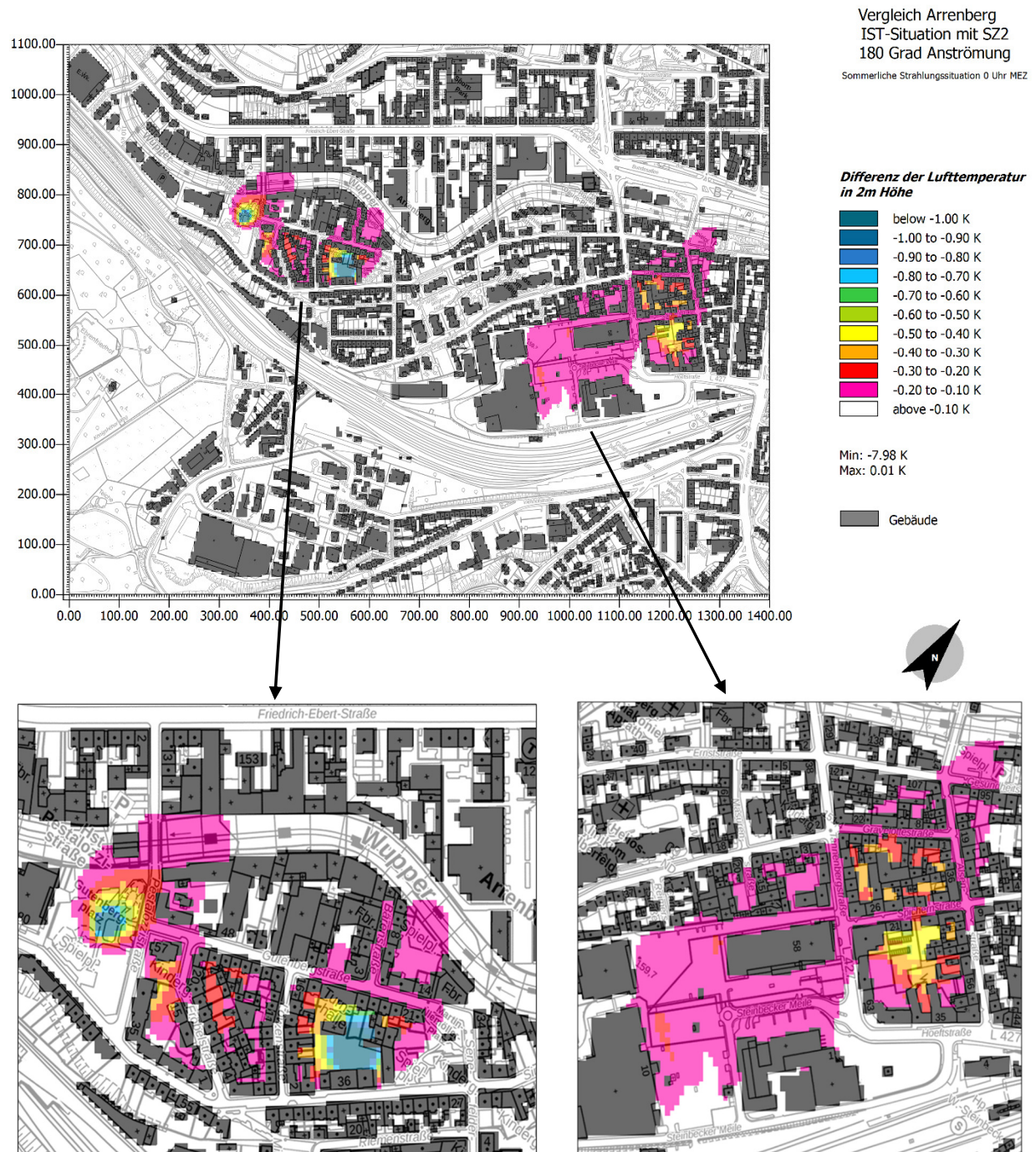


Abb. 4.22 Differenzen der Lufttemperaturen in 2 m Höhe um 0 Uhr im Modellgebiet Arrenberg, Szenario 2 minus IST-Situation, Anströmung aus Süd

- ◆ Die Wirkungen von Klimaanpassungsmaßnahmen auf offenen Plätzen wie dem Guttenbergplatz und dem Fachmarktparkplatz an der Steinbecker Meile erreichen eine größere Wirkung für die angrenzende Bebauung.
- ◆ Bewegte Wasserelemente erreichen die höchsten Abkühlungsraten.

5. Analysen zur Klimawandelbetroffenheit – Themenfeld “Starkwind und Sturm“

Das Stadtgebiet von Wuppertal wurde hinsichtlich der Gefährdungen und der Anfälligkeiten gegenüber Starkwind und Sturm untersucht. Die Windverhältnisse werden durch das Relief und die Landnutzung intensiv beeinflusst. Das wirkt sich sowohl auf die Windgeschwindigkeit als auch die Windrichtungsverteilung aus. Im Jahresmittel treten entsprechend der Lage Wuppertals in der Westwindzone großräumig Winde aus südwestlichen Richtungen am häufigsten auf. Durch die Leitfunktion des Tals der Wupper werden diese lokal auf Westwinde umgelenkt. Im Stadtgebiet treten aber an verschiedenen Standorten als Folge der jeweiligen topographischen Situation Richtungsveränderungen von mehr als 90 Grad von der Hauptwindrichtung auf. Dies wurde selbst bei hohen Windgeschwindigkeiten nachgewiesen. Umlenkungen und Kanalisierungen führen dabei zu abweichenden Windrichtungen. Bei gradientenschwachen Wetterlagen können sich eigenständige lokale und regionale Windsysteme ausbilden. In den Bereichen vom Blombachtal und oberen Wuppertal drehen die Wind bei Schwachwindlagen auf südliche Richtungen. Diese Bereiche haben eine hohe Bedeutung als Ventilationsbahnen für aus den Höhen in Richtung der verdichteten Stadtteile in der Talachse abfließende nächtliche Kaltluft. Daneben gibt es im Stadtgebiet zahlreiche kleinräumige Zirkulationen in den Hanglagen und Nebentälern der Wupper.

Die mittlere Windgeschwindigkeit steigt mit zunehmenden Geländehöhen an und ist in Kuppenlagen am höchsten. Zusätzlich beeinflusst der Neigungsgrad einer Erhebung die Windgeschwindigkeit. Je steiler die Neigung der Erhebung ist, desto höher sind die Windgeschwindigkeiten und der Wind neigt an Hängen häufiger zur Bildung von Böen. Durch Richtungsbündelungen und Kanalisierungseffekte können auch in tieferen Lagen hohe Windgeschwindigkeiten erreicht werden. Liegen Täler quer zur Windrichtung, wird die Windgeschwindigkeit reduziert. Liegen Täler hingegen parallel zur Windrichtung und verengen sie sich zusätzlich noch, so wird die Windströmung kanalisiert und die Geschwindigkeit nimmt zu.

Entsprechend der gesamtstädtischen Wind-Messungen in Wuppertal aus den Jahren 1979 bis 1981 (Ingenieurbüro Lohmeyer 2000) reichen die mittleren jährlichen Windgeschwindigkeiten von ca. 2.9 m/s im Tal bis ca. 3.8 m/s in höheren Lagen. Durch Kanalisierungseffekte können auch in Tallagen Windgeschwindigkeitsmittel von über 3,8 m/s im Jahr erreicht werden. Waldgebiete treten durch reduzierte mittlere Windgeschwindigkeiten bis unter 3 m/s hervor. Vergleichbar oder noch stärker ist der Einfluss der städtischen Bereiche. Hier können die Jahresmittelwerte der Windgeschwindigkeit auf unter 2,5 m/s zurückgehen. Städtische Baukörper stellen für den Wind Strömungshindernisse dar, die die üblichen Strömungswege ablenken. Einerseits nimmt durch diese höhere Oberflächenrauigkeit die mittlere Geschwindigkeit ab. Zugleich können kleinräumige Windböen und Düseneffekte entstehen, die durch Druck und Sogkräfte Schäden anrichten können.

- ◆ Starkwinde: Windgeschwindigkeiten ab 10,8 m/s (39 km/h)
- ◆ Sturm: Windgeschwindigkeiten ab 17,2 m/s (75 km/h)
- ◆ Der Begriff „Starkwind“ umfasst dementsprechend auch Stürme

In der Regel treten Starkwinde und Stürme bei Westwetterlagen mit durchziehenden Sturmtiefs aus dem Nordatlantik auf. Bei diesen großräumigen Tiefdruckwetterlagen können weite Bereiche der

Region von Sturm betroffen sein. Sturmwarnungen, beispielsweise des Deutschen Wetterdienstes, sagen großräumig die Zugbahnen von diesen Stürmen voraus. Daneben treten Stürme auch häufig als Begleiterscheinung von Gewittern auf. In diesem Fall handelt es sich meist um lokal begrenzte Ereignisse, die besonders schwer vorhersagbar sind.

Aussagen zur Veränderung der Häufigkeit von Sturmereignissen im Zuge des Klimawandels sind nicht eindeutig. Einzelereignisse sind hochvariabel und deshalb schwer vorhersagbar, weder kurzfristig noch auf einer langen Zeitschiene.

- ◆ Als Folge des Klimawandels sollte aber davon ausgegangen werden, dass die Häufigkeit des Auftretens von Starkwinden oder Sturm in Zukunft zunehmen wird. Dies betrifft aufgrund der zukünftig steigenden Temperaturen insbesondere die sommerlichen Gewitterstürme.
- ◆ Daher ist eine Gefährdungsanalyse des gesamten Stadtgebietes gegenüber hohen Windgeschwindigkeiten sinnvoll. Wenn auch das Auftreten von Stürmen weder zeitlich noch räumlich vorhergesagt werden kann, so beeinflussen doch verschieden strukturierte Stadtgebiete unterschiedlich stark die bei einem Sturm durchziehenden Windgeschwindigkeiten.

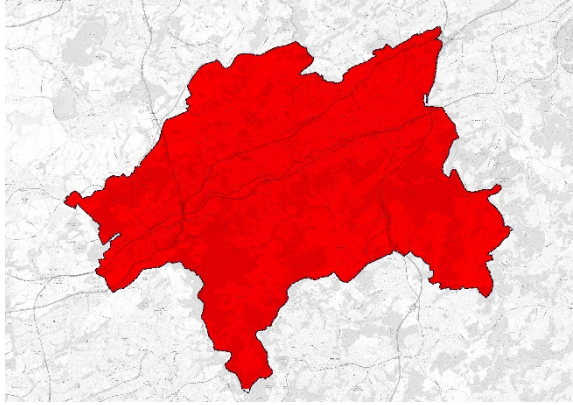
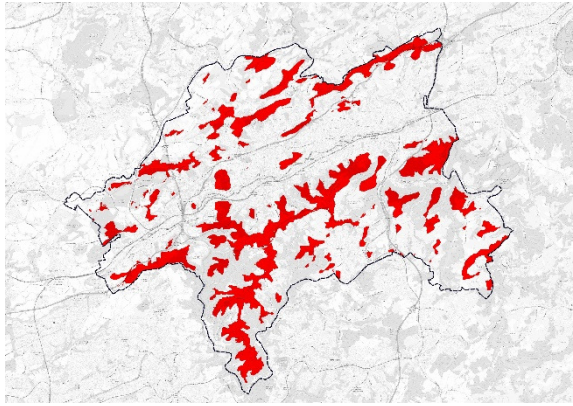
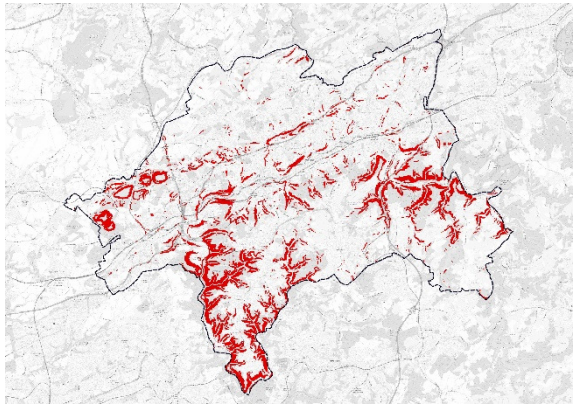
5.1 Starkwind- und Sturmgefährdung im Stadtgebiet von Wuppertal

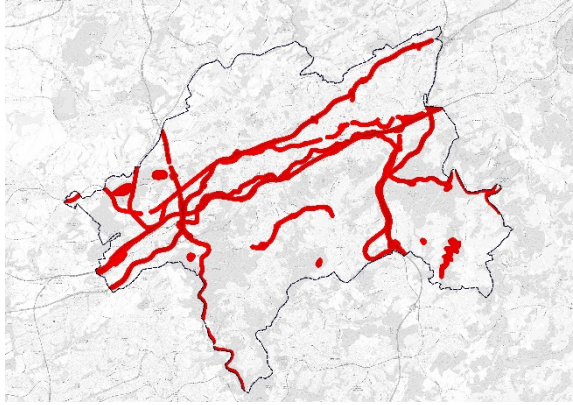
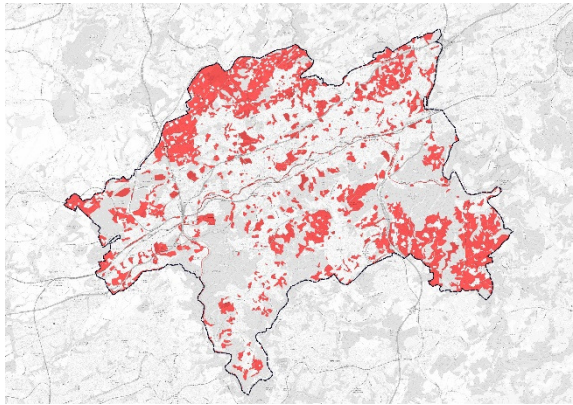
Die verschiedenen Bereiche des Wuppertaler Stadtgebietes sind entsprechend ihrer topographischen Ausgestaltung (Relief und Flächennutzung) unterschiedlich stark einer Gefährdung durch Starkwinde und Stürme ausgesetzt. Bestimmte topographische Eigenschaften können zu einer lokalen Erhöhung der Windstärke führen. Für die Ausweisung einer Gefährdung gegenüber dem Auftreten von Starkwinden oder Sturm wurden deshalb die folgenden fünf Indikatoren herangezogen:

- Jahresmittel der Windgeschwindigkeit
- Kuppenlage
- Hangneigung
- Kanalisierungsbahnen
- Oberflächenrauigkeiten

Die Beschreibung dieser Parameter und ihre räumliche Verteilung im Stadtgebiet von Wuppertal wird in der folgenden Zusammenstellung der Tabelle 5.1 dargestellt.

Tab. 5.1 Indikatoren für eine Starkwindgefährdung im Stadtgebiet von Wuppertal

	<p>1. Windgeschwindigkeit Mittlere Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe > 2,5 m/s</p> <p>Das Jahresmittel der Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe liegt in allen Wuppertaler Stadtteilen über 2,5 m/s. Daraus ergibt sich keine verstärkte oder abgeschwächte Sturmgefährdung für bestimmte Wuppertaler Stadtteile. Die topographisch bestimmten Erhöhungen oder Abschwächungen der Windströmungen werden mit den nachfolgenden Parametern berücksichtigt.</p>
	<p>2. Kuppenlagen Höhenlagen über dem Mittel der Umgebung > 20 m</p> <p>Den höchsten Einfluss auf die Erhöhung oder Abschwächung von Windströmungen hat die Oberflächengestalt. Während in Taleinschnitten, insbesondere quer zur Anströmung, und in unteren Hanglagen die Windgeschwindigkeiten abgebremst werden, erhöhen sie sich in oberen Hanglagen und Kuppenlagen. Kuppenlagen wurden anhand ihrer 20 m über dem Durchschnitt liegenden Geländehöhen abgegrenzt. Ausgedehnte Kuppenlagen findet man verbreitet im südlichen Stadtgebiet von Wuppertal.</p>
	<p>3. Hangneigungen Bereiche mit einer Hangneigung von > 15 °</p> <p>Aus dem Höhenmodell der Stadt Wuppertal in einer Auflösung von 1m x 1m wurden die Hangneigungen berechnet. Der Wind neigt an Hängen häufiger zu Ausbildung von Böen und zu einer Verstärkung der Windgeschwindigkeiten</p>

	<p>4. Kanalisierungen Breite Straßen, Bahnlinien, Flussläufe</p> <p>Weitgehend gradlinig verlaufende Längsachsen mit einer deutlich geringeren Rauhigkeit als die Umgebung können zu einer Kanalisierung des Windes und damit zu einer Zunahme der Windgeschwindigkeit führen. Was im Fall von Schwachwindlagen bei Hitzebelastungen als positiver Effekt zu bewerten ist, führt bei Sturmweverlagen zu einer deutlich erhöhten Starkwindgefährdung auf und im Umfeld dieser Längsachsen. Im Wuppertaler Stadtgebiet sind einige dieser Kanalisierungsbereiche vorhanden. Dazu gehören neben dem Flusslauf der Wupper in der Talachse die Trassen der Bahnlinien, der Autobahnen und weiterer breiter Straßen wie beispielsweise die B7.</p>
	<p>5. Oberflächenrauigkeiten Wasser- und Freiflächen</p> <p>Entsprechend der Flächennutzung wird der Wind unterschiedlich stark abgebremst. „Rauhe Oberflächen“ mit einer starken Windabbremmung sind beispielsweise Gebiete mit innerstädtischer Bebauung, bei denen die Gebäudehöhe stark variiert. Weniger rauhe Oberflächen mit einer mittleren Windabbremmung sind Wälder und aufgelockerte Siedlungsgebiete. Die geringste Rauigkeit und damit die potenziell höchsten Windgeschwindigkeiten weisen Wasserflächen sowie Wiesen-/ Weiden- und Ackerflächen auf.</p>

Durch Verschneidung dieser fünf Indikatoren kann eine Abstufung der Sturmgefährdung im Stadtgebiet von Wuppertal durchgeführt werden. Die Abbildung 5.1 zeigt die Starkwindgefährdung im gesamten Wuppertaler Stadtgebiet mit einer dreistufigen Skala. Trifft für eine Fläche nur ein Indikator zu, ist eine nur geringe Gefährdung ausgewiesen. Bei zwei Indikatoren, die die Eigenschaft der Fläche beschreiben, existiert eine mittlere Gefährdung für das Auftreten von Starkwinden oder Sturm. Treffen 3 oder mehr Indikatoren für eine Fläche zu, ist das Sturmrisiko erhöht.

Die dicht bebauten unteren Talagen weisen nur eine geringe Gefährdung für das Auftreten von sehr hohen Windgeschwindigkeiten auf. Ausnahmen bilden die Bereiche, in denen der Wind entlang der Wupper, der Bundesstraße und der Eisenbahnlinie im Talverlauf kanalisiert wird. Hier treffen Kanalisierungseffekte und eine geringe Rauigkeit aufeinander. Zudem wäre hier durch die starke Besiedlung besonders viel Infrastruktur von Schäden betroffen. Ebenfalls nur gering gefährdet für Starkwind sind die unteren Hanglagen, die bewaldet oder bebaut sind. Freiflächen in Tal- oder unteren Hanglagen und Siedlungs- und Waldflächen in oberen Hang- oder Kuppenlagen weisen eine mittlere Gefährdung für das Auftreten von Starkwinden auf. Die am stärksten gefährdeten Bereiche sind Freiflächen und Einzelhausbesiedlungen in Kuppenlagen und Bereiche entlang der Kanalisierungsachsen.

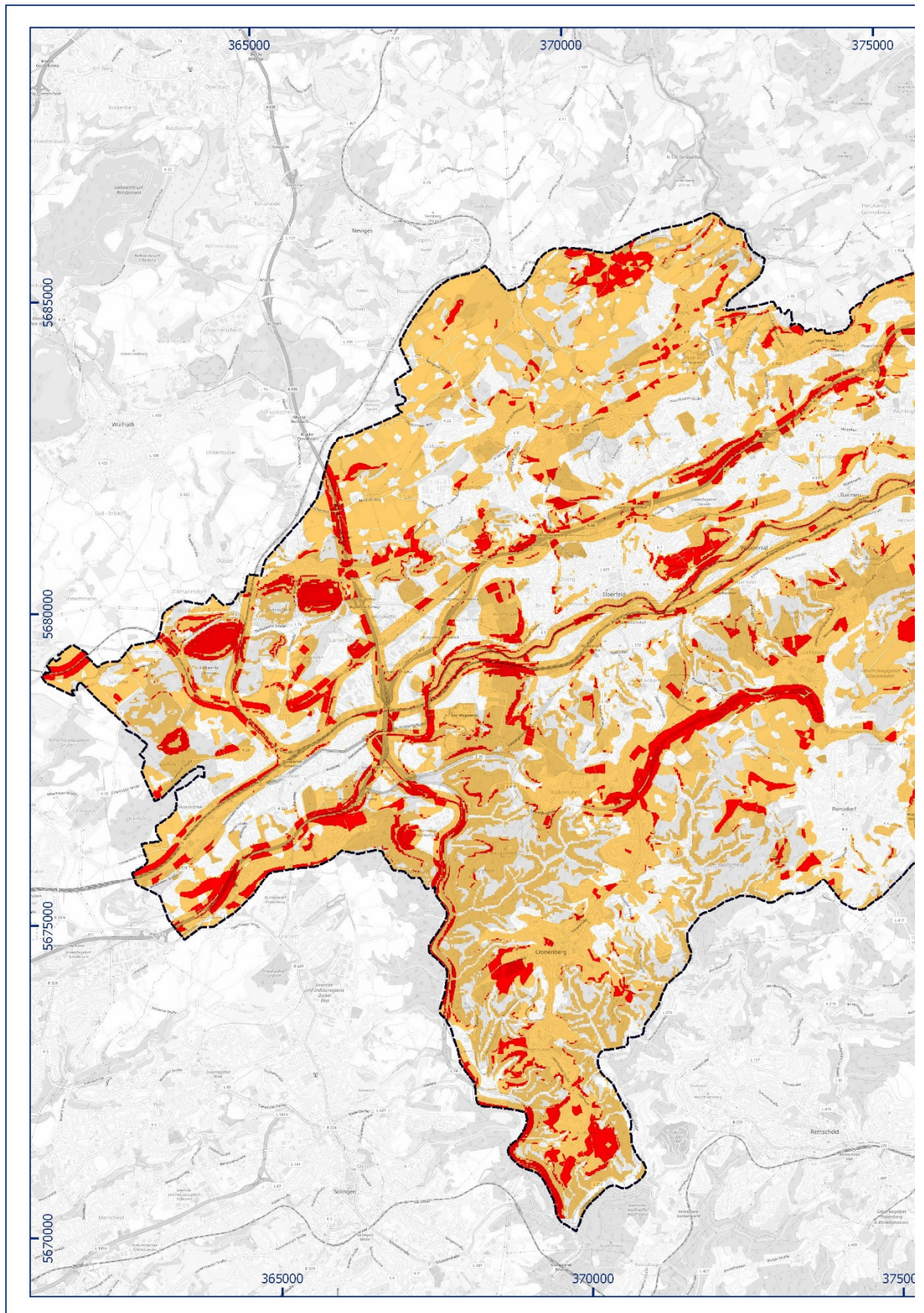
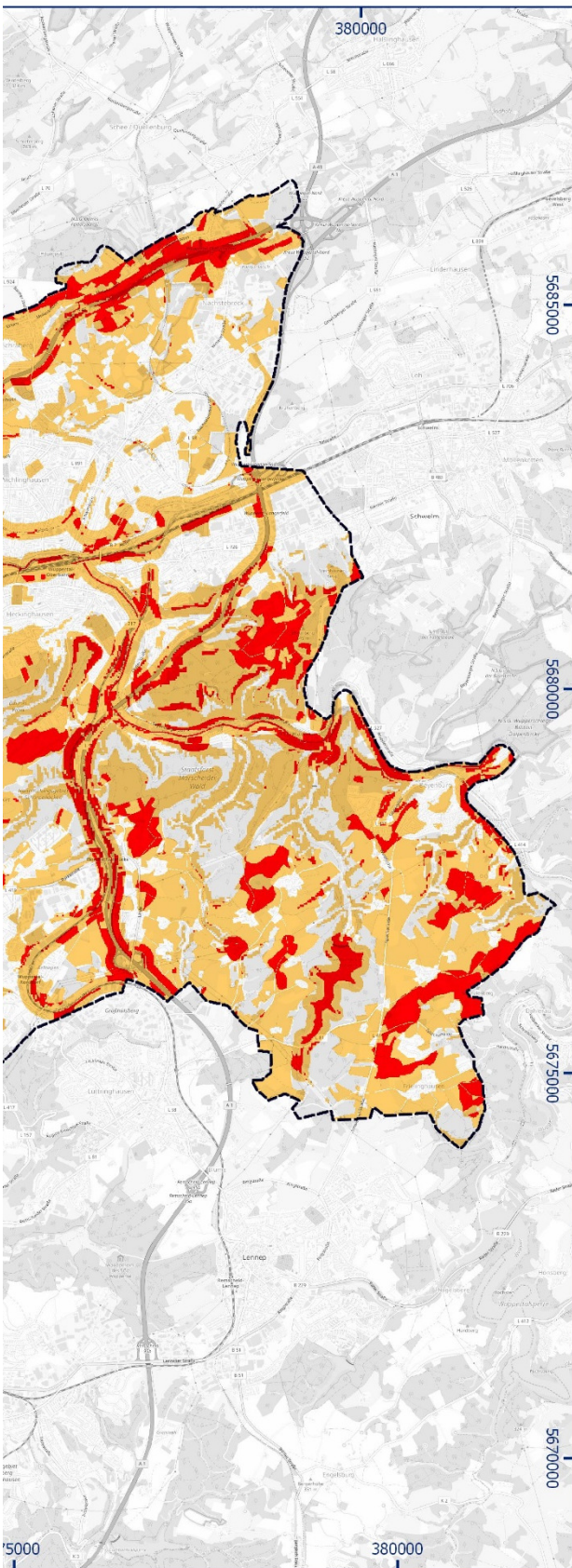






Abb. 5.1 Starkwindgefährdungskarte für die Stadt Wuppertal (Die Karte ist in hoher Auflösung auch im digitalen Anhang des Berichts einzusehen)



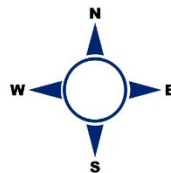
Stadt Wuppertal

Karte der Starkwindgefährdung

Starkwindgefährdungsbereiche

-  geringe Gefährdung
-  mittlere Gefährdung
-  erhöhte Gefährdung
-  Stadtgrenze Wuppertal

Stand: Oktober 2018



1 0 1 2 km



STADT WUPPERTAL



© OpenStreetMap-Mitwirkende

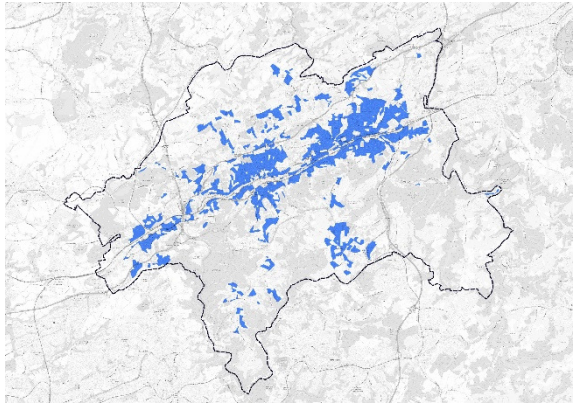
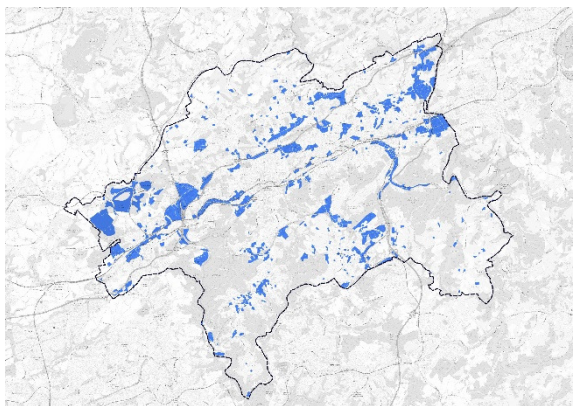
5.2 Betroffenheitsanalyse für das Themenfeld Starkwind und Sturm

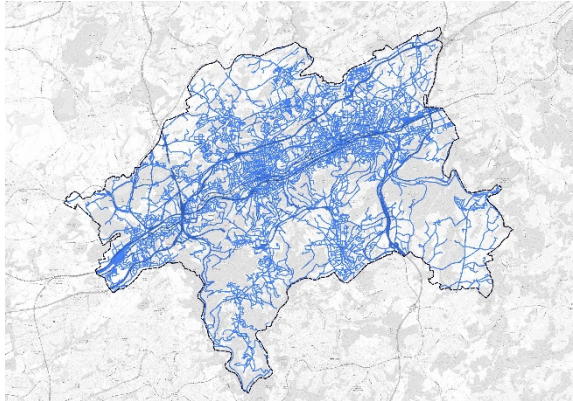
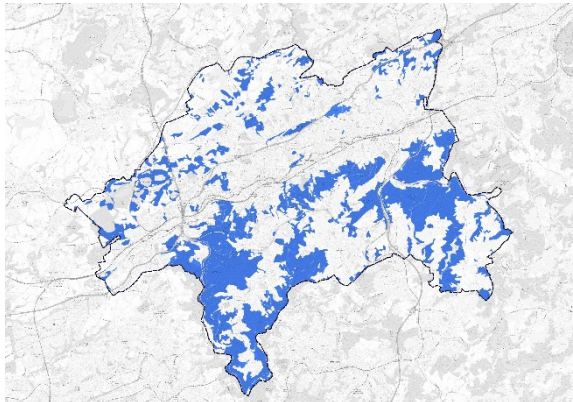
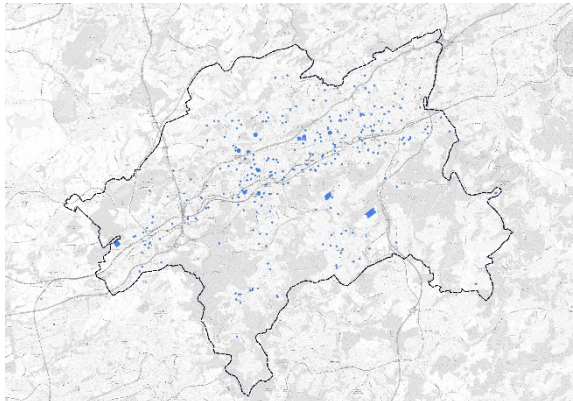
Die Anfälligkeit gegenüber Starkwind und Sturm ergibt sich aus den verschiedenen Nutzungen der Flächen im Stadtgebiet. Baustrukturen sowohl im Wohn- wie auch im Gewerbebereich können erhebliche Schäden erleiden. Besonders sensible Infrastrukturen wurden nochmal gesondert in die Analyse aufgenommen. Wald- und Straßenbäume sind ebenso sturmgefährdet. Für die Ausweisung einer Anfälligkeit gegenüber den Auswirkungen von Starkwinden oder Sturm wurden deshalb die folgenden fünf Indikatoren herangezogen:

- Bevölkerung
- Industrie- und Gewerbenutzung
- Verkehrswege
- Waldflächen
- Sensible Infrastrukturen

Die Beschreibung dieser Parameter und ihre räumliche Verteilung im Stadtgebiet von Wuppertal wird in der folgenden Zusammenstellung dargestellt.

Tab. 5.2 Indikatoren für eine Starkwindanfälligkeit im Stadtgebiet von Wuppertal

	<p>1. Bevölkerung Bevölkerungsdichte > Durchschnitt In dicht bevölkerten Siedlungsbereichen können Stürme mehr Schäden an Gebäuden und den dort lebenden Menschen ausrichten als im dünn besiedelten Umland.</p>
	<p>2. Industrie- und Gewerbenutzung Nutzungstyp Industrie/ Gewerbe aus der Realnutzungskarte Auf gewerblichen Flächen ist aufgrund der dort typischen Bauweise (z.B. Leichtbaukonstruktionen) und der wirtschaftlichen Werte von einem erhöhten Schadenspotential auszugehen.</p>

	<p>3. Verkehrswege Straßen und Bahnlinien mit einem Puffer von 20 m</p> <p>Durch Stürme können Ausfälle im Straßen- und Bahnverkehr entstehen. Das Sicherheitsrisiko für die Bevölkerung ist hier besonders hoch. Bäume, Straßenschilder und Ampelanlagen im Straßenraum können eine besondere Gefährdung darstellen. Einerseits sind sie hier durch Kanalisierungen der Luftbewegung einem stärkeren Winddruck ausgesetzt, andererseits können im engen Straßenraum größere Schäden auftreten.</p>
	<p>4. Waldflächen Nutzungstyp Wald aus der Realnutzungskarte</p> <p>Durch Stürme kann es in Wäldern zu großen (wirtschaftlichen) Schäden kommen. Zudem wird in Waldgebieten nach Stürmen kurzfristig die Funktion als Naherholungsraum eingeschränkt.</p>
	<p>5. Sensible Infrastrukturen Altenheime, Krankenhäuser, KiTas, Elektrizität/ Wasser, Sicherheit/ Ordnung mit einem Puffer von 50 m</p> <p>Die Erreichbarkeit und die Verfügbarkeit von Dienstleistungen der sozialen, der Versorgungs- und der Sicherheitsinfrastrukturen wie beispielsweise die Feuerwehr ist gerade in Extremsituationen von besonderer Bedeutung. Nutzer von Krankenhäusern, Pflegeheimen und KiTas sind eingeschränkt in ihren Möglichkeiten, einem Extremereignis zu begegnen. Eine indirekte Betroffenheit kann durch die Unterbrechung von Versorgungsketten entstehen.</p>

Durch Verschneidung dieser fünf Indikatoren zeigt sich für das Wuppertaler Stadtgebiet eine abgestufte Anfälligkeit gegenüber den Auswirkungen von Starkwind- und Sturmereignissen. Die Abbildung 5.2 zeigt die Starkwindanfälligkeiten im gesamten Wuppertaler Stadtgebiet mit einer vierstufigen Skala. Für einige Flächen im Stadtgebiet trifft keiner der Indikatoren zu, hier ist von keiner oder nur einer sehr geringen Anfälligkeit auszugehen. Trifft für eine Fläche nur ein Indikator zu, ist eine nur geringe Anfälligkeit ausgewiesen. Bei zwei Indikatoren, die die Eigenschaft der Fläche beschreiben, existiert eine mittlere Anfälligkeit gegenüber den Schäden durch Starkwind oder Sturm. Treffen drei oder mehr Indikatoren für eine Fläche zu, ist die Anfälligkeit erhöht. Die höchsten Anfälligkeiten treten in den innstädtischen Bereich im Straßenraum von Wohngebieten entlang der Talachse und im Umfeld von sozialen Einrichtungen auf.

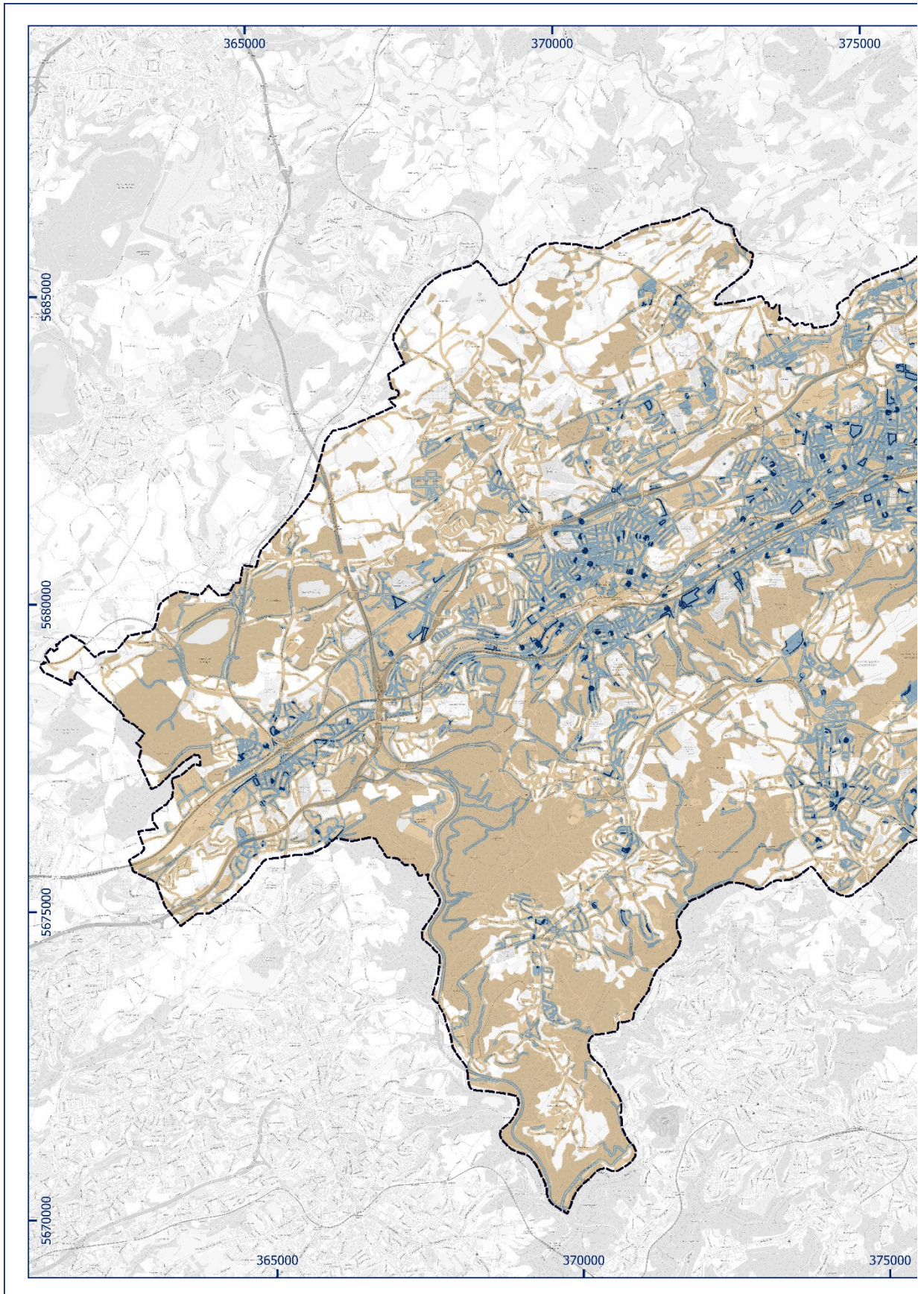
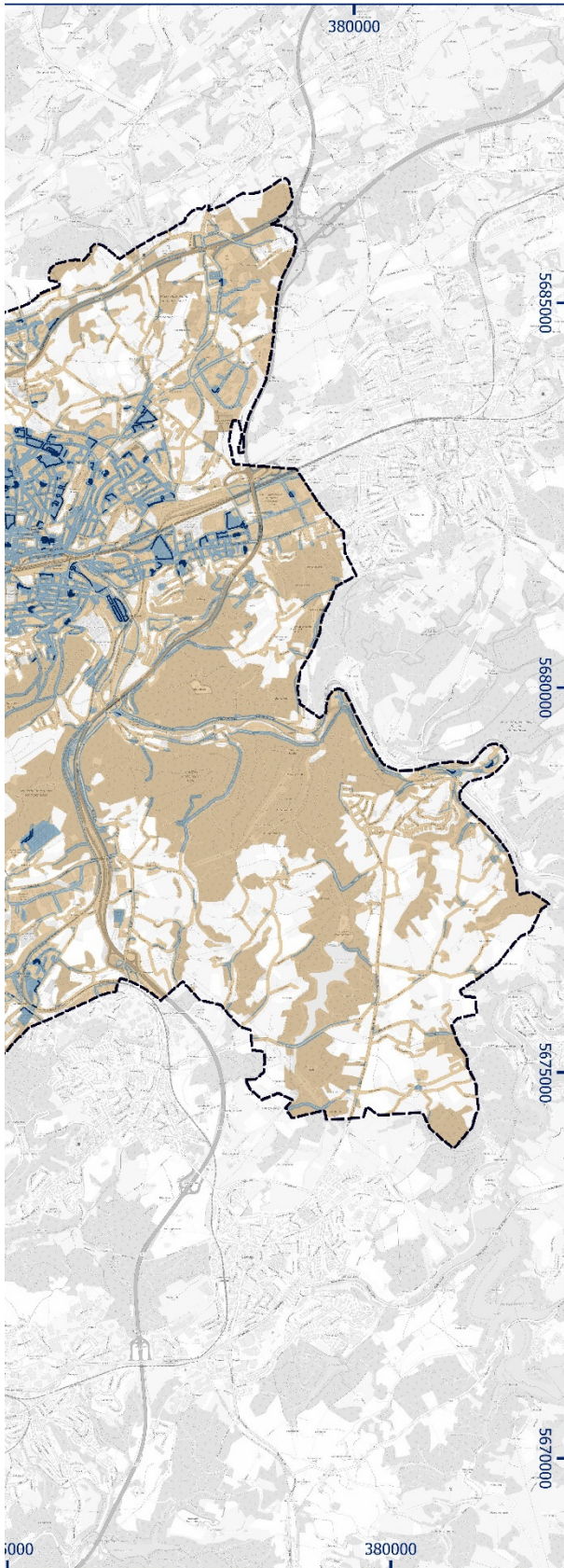







Abb. 5.2 Karte der Starkwindanfälligkeit für die Stadt Wuppertal (Die Karte ist in hoher Auflösung auch im digitalen Anhang des Berichts einzusehen)



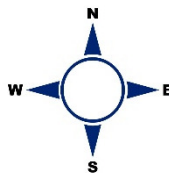
Stadt Wuppertal

Karte der Starkwindanfälligkeit

Bereiche mit einer Anfälligkeit gegenüber Starkwind

-  sehr geringe Anfälligkeit
-  geringe Anfälligkeit
-  mittlere Anfälligkeit
-  erhöhte Anfälligkeit
-  Stadtgrenze Wuppertal

Stand: Oktober 2018



STADT WUPPERTAL

1 0 1 2 km



© OpenStreetMap-Mitwirkende

Aus der Verschneidung der Karten zur Starkwindgefährdung, also dem höheren Risiko, dass Starkwinde und Stürme in einem Bereich auftreten, und der Anfälligkeit gegenüber den Auswirkungen der Stürme ergibt sich als Gesamtergebnis eine Betroffenheitskarte für das Themenfeld Starkwind (Abbildung 5.3).

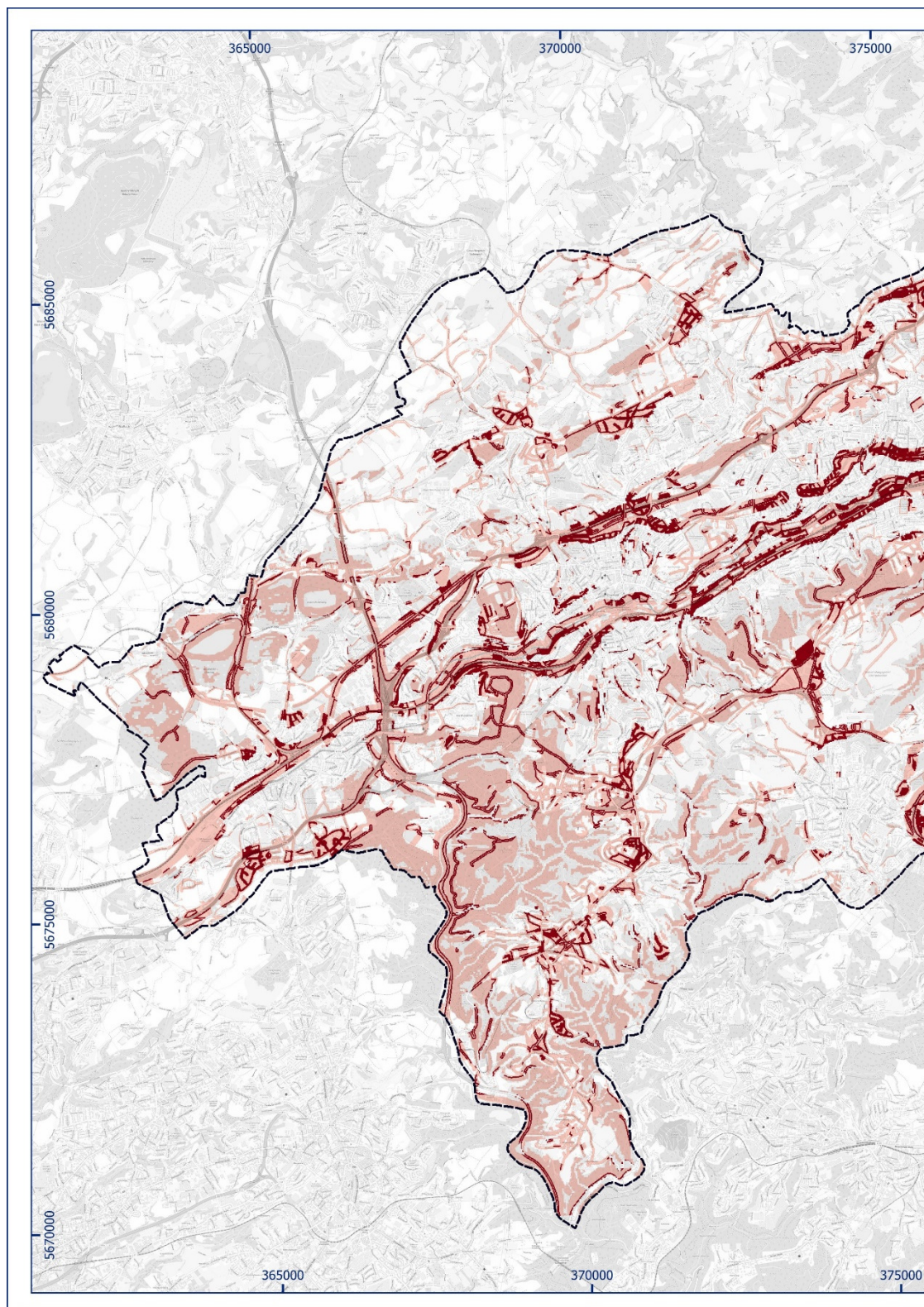
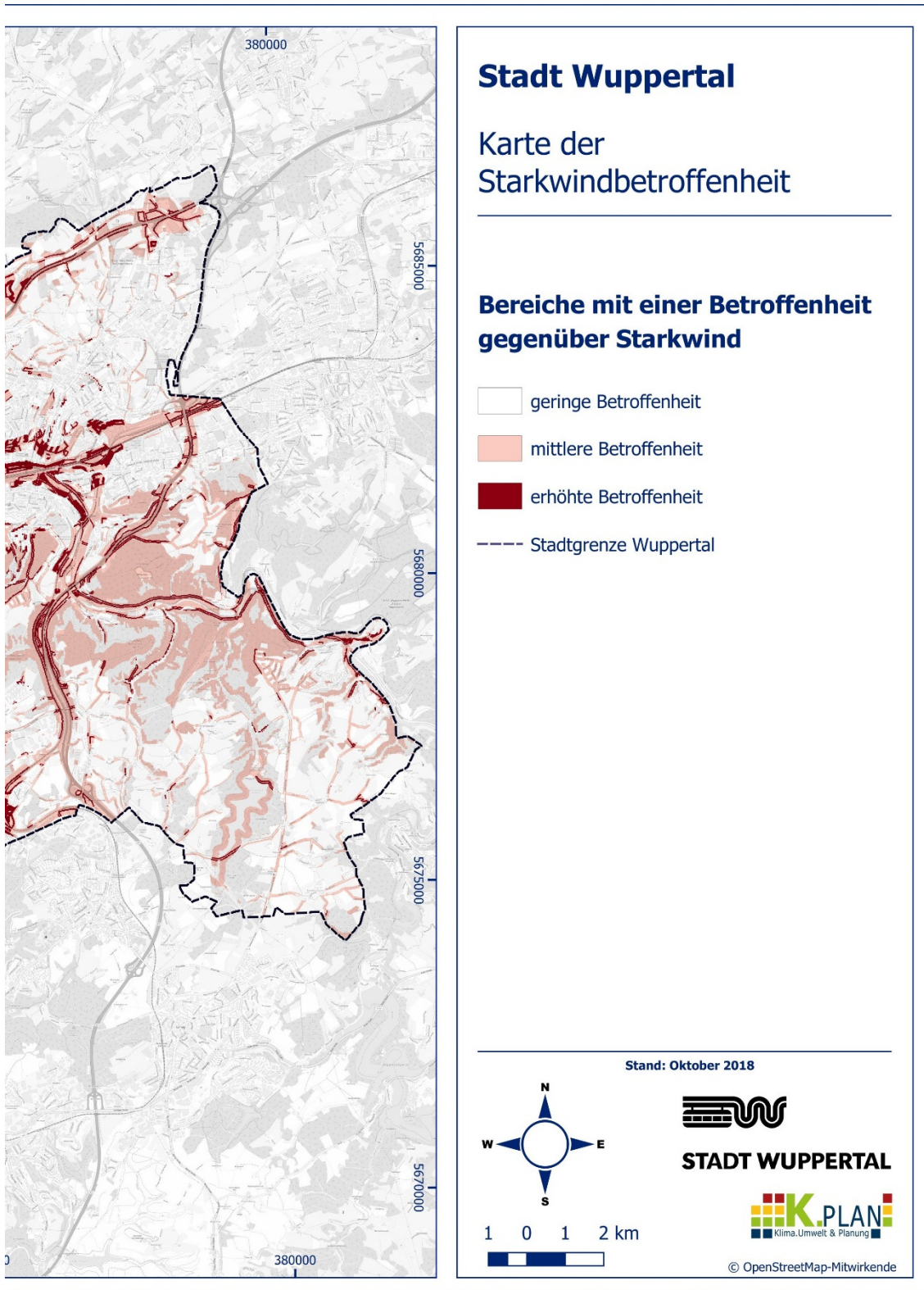


Abb. 5.3 Karte der Starkwindbetroffenheit für die Stadt Wuppertal (Die Karte ist in hoher Auflösung auch im digitalen Anhang des Berichts einzusehen)

Bereiche, in denen das Sturmrisiko nur gering ist, oder Bereiche mit einer geringen Betroffenheit gegenüber Starkwind bleiben in der Betroffenheitskarte weiß. Mittlere Betroffenheiten zeigen sich in den Waldgebieten und den Wohnvierteln der unteren Hanglagen. Erhöhte Betroffenheiten treten entlang der Talachse in Wohn-, Gewerbe- und Industriegebieten auf.



Die insgesamt recht hohe Betroffenheit der Stadt Wuppertal gegenüber Starkwind- und Sturmereignissen lässt sich durch die starke Reliefierung des Stadtgebietes mit vielen Kuppenlagen und steilen Hängen und die dichte Bebauungsstruktur und Verflechtung mit Verkehrswegen insbesondere in der Talachse des Wuppertales erklären.

Bei der Erarbeitung von Maßnahmen zur Anpassung an die Auswirkungen von Stürmen müssen folgende Aspekte einbezogen werden:

- Sicherung von Straßenbäumen (Trockenheit, Sturm)
- Anpassung von Waldbeständen an die Auswirkungen des Klimawandels (Trockenheit, Sturm)
- Sicherung von sensiblen Einrichtungen (Prüfung der Windexponiertheit, Baumaßnahmen)
- Sicherung des öffentlichen Raums (Prüfung der Windexponiertheit, Maßnahmen zum Windschutz, Sicherung von Anlagen wie Ampeln oder Straßenschildern)
- Vorsorge im privaten Bereich (Aufklärung, Information)

6. Literaturverzeichnis

- Abicht, Kerstin (2009): Fit für den Klimawandel: Artenvielfalt in der Stadt. Garten + Landschaft 7/2009, S. 13-15.
- Benjamin, M.T. & A.M. Winer (1998): Estimating the ozone-forming potential of urban trees and shrubs. Atmospheric Environment, Volume 32, Issue 1, S. 53-68.
- BESTKLIMA (2017): Abschlussbericht zum Projekt BESTKLIMA. Remscheid. Solingen. Wuppertal
- Bruse, M. (2003): Stadtgrün und Stadtklima. In: Mitteilungen der Landschaftsanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten 2003.
- ENVI-met GmbH (2016): ENVI-met. (www.envi-met.com) [12.03.2017].
- GALK (Deutsche Gartenamtsleiterkonferenz) (2015, Version vom 03.09.): GALK Straßenbaumliste. – http://www.galk.de/arbeitskreise/ak_stadtbaeume/webprojekte/sbliste/
- Holzmüller, Katja (2009): Natürlich Klimaschutz – Grüne Dächer in Düsseldorf: Finanzielle Förderung und quantitative Luftbildauswertung. In: Dachbegrünung in der modernen Städtearchitektur. Tagungsband: Internationaler Gründach-Kongress, S. 145-148. Berlin.
- Hupfer, P. & W. Kuttler (Hrsg.) (2006): Witterung und Klima. Eine Einführung in die Meteorologie und Klimatologie. 12., überarbeitete Auflage, Teubner, Stuttgart, Leipzig.
- Ingenieurbüro Lohmeyer (2000): Handlungskonzept Klima und Lufthygiene für die Stadt Wuppertal, Radebeul.
- Klimawandel und Baumsortiment der Zukunft – Stadtgrün 2025, Schleswig-Holstein: www.eip-agrarsh.de/fileadmin/innovationsprojekte/Klimawandelbaeume/BB_Klimawandelbaeume.pdf.
- Mayer, H. (1992): Planungsfaktor Stadtklima. – Münchner Forum, Berichte und Protokolle.
- Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg (2012): Städtebauliche Klimafibel Online. <https://www.staedtebauliche-klimafibel.de/?p=9&p2=2.6> [02.04.2016].
- MUNLV - Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (2009): Anpassung an den Klimawandel – Eine Strategie für Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf.
- MUNLV - Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (2010): Handbuch Stadtklima - Maßnahmen und Handlungskonzepte für Städte und Ballungsräume zur Anpassung an den Klimawandel (Langfassung), Essen.
- Müller-BBM GmbH (2018): Luftmessbericht Wuppertal 2017
- Nolde, E. (2013): Grauwasser, ein unverzichtbarer Baustein der Energiewende, in: fbr-Fachtagung 16, Darmstadt.
- Post, N. & H. Welters (2006): Innen wohnen – außen schonen. Handbuch zur Binnenentwicklung Emsdetten.
- Roloff, A. & S. Gillner (2007): Gehölzartenwahl im urbanen Raum unter dem Aspekt des Klimawandels. In: BdB (Hrsg.) Forschungsstudien: Klimawandel und Gehölze. Bonn.
- Sievers, U. (2005): Das Kaltluftabflussmodell KLAM_21. Theoretische Grundlagen, Anwendung und Handhabung des PC-Modells. In: Berichte des Deutschen Wetterdienstes Nr. 227. Offenbach am Main.

- Stadtgrün 2021 (Klimawandel-Projekt zum Thema Stadtbäumen), Bayern: www.lwg.bayern.de/landespflege/urbanes_gruen/085113/index.php
- Stadt Wuppertal (Hrsg.) (1988): Klimaanalyse Stadt Wuppertal. Bearb.: Bangert, H; Kuttler, W.; Grauthoff, M.
- Upmanis, H.; I. Eliasson; S. Lindqvist (1998): The Influence of Green Areas on Nocturnal Temperatures in a High Latitude City (Goteborg, Sweden). *Int. J. of Clim.*, 18, S.681-700.
- VDI RL 3787, Blatt 5 (2003): Umweltmeteorologie - Lokale Kaltluft. Düsseldorf.
- Weber, S. & W. Kuttler (2003): Analyse der nächtlichen Kaltluftdynamik und -qualität einer stadtklima-relevanten Luftleitbahn. In: *Gefahrenstoffe – Reinhaltung der Luft* 63, S. 381-386.