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 inclusive 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.

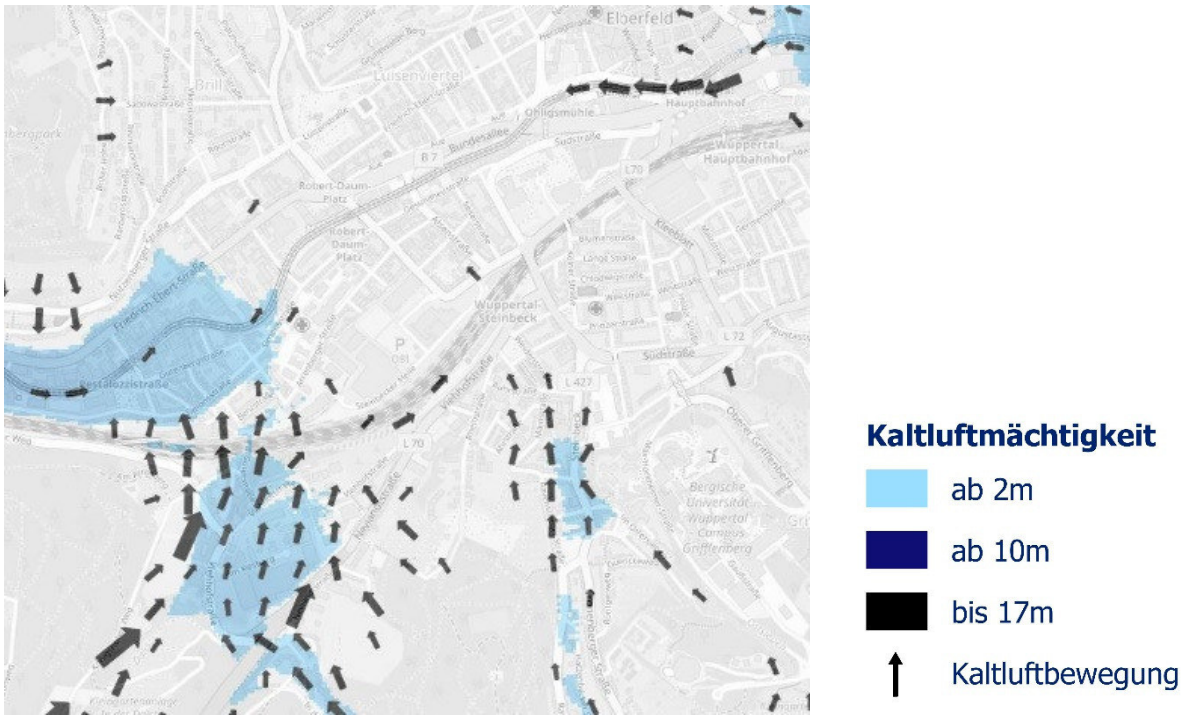


Abb. 4.2 Ausschnitt aus der Karte der Kaltluftverteilung und Fließrichtung nach 8 Stunden Simulationszeit (siehe Abb. 2.13)

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.

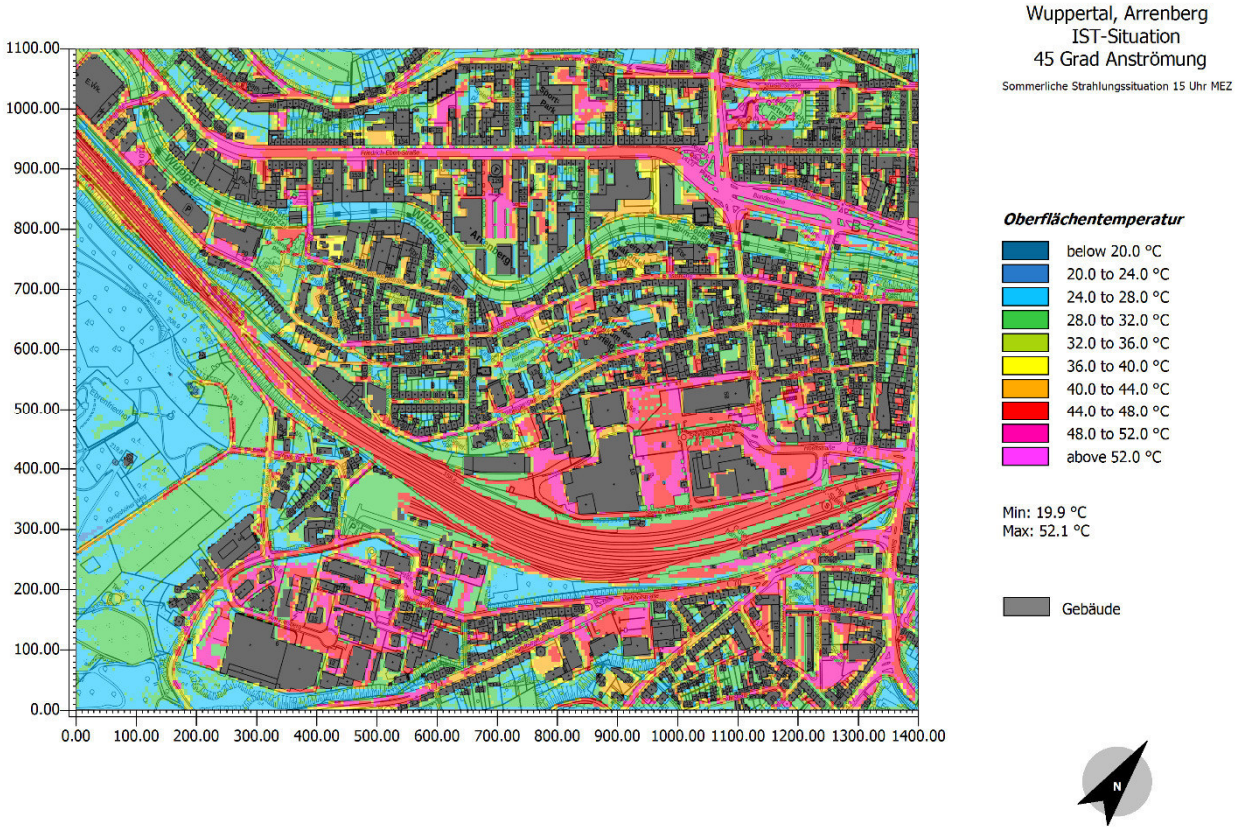


Abb. 4.3 Modellierte Oberflächentemperaturen um 15 Uhr im Modellgebiet Arrenberg im IST-Zustand

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 wiederspiegelt. 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	Belastungs-stufe	Biologische Wirkung
-3,5	sehr kalt	Extrem	Kältestress
-2,5	kalt	Stark	
-1,5	kühl	Mäßig	
-0,5	leicht kühl	Schwach	
0,0	behaglich	Keine	keine
0,5	leicht warm	Schwach	
1,5	warm	Mäßig	
2,5	heiß	Stark	
3,5	sehr heiß	Extrem	Wärmebelastung

(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.

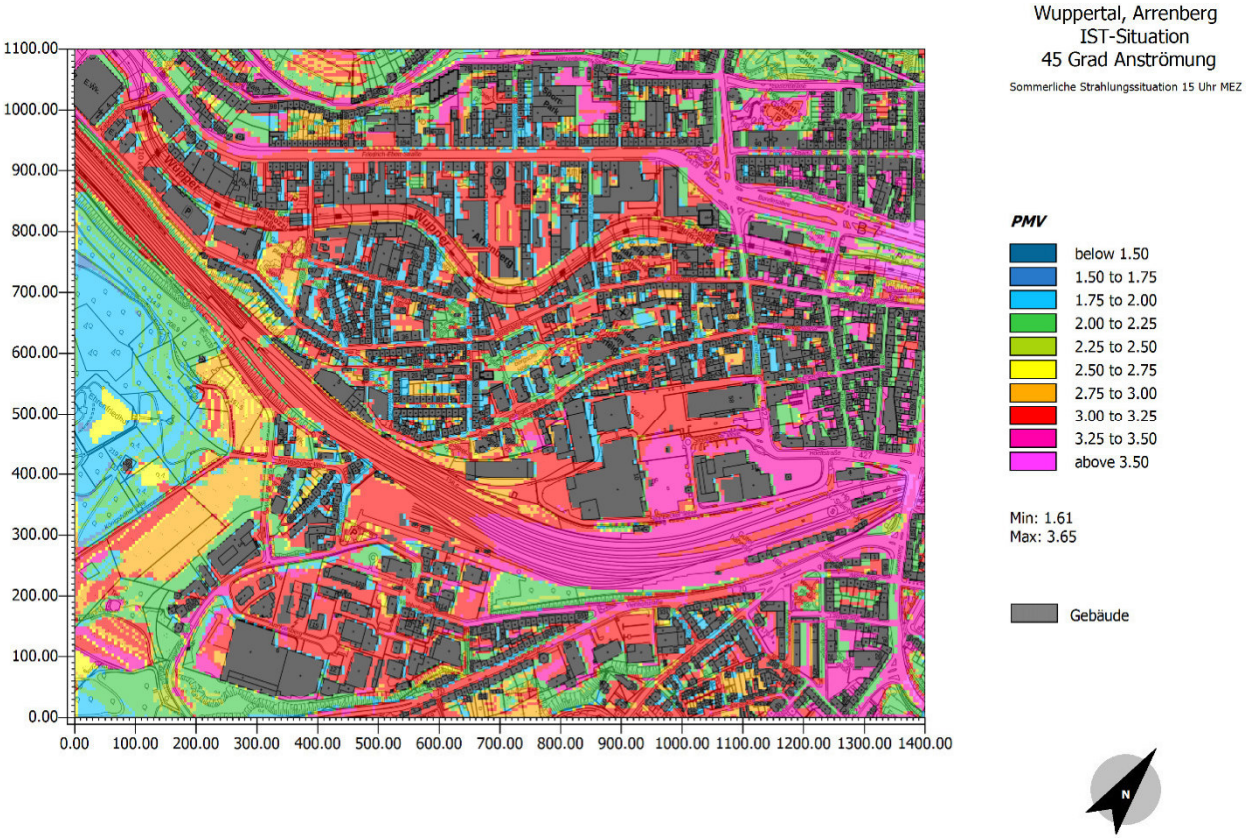


Abb. 4.4 Modellierte PMV-Werte um 15 Uhr im Modellgebiet Arrenberg im IST-Zustand

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 rauhigkeitsarmen 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.

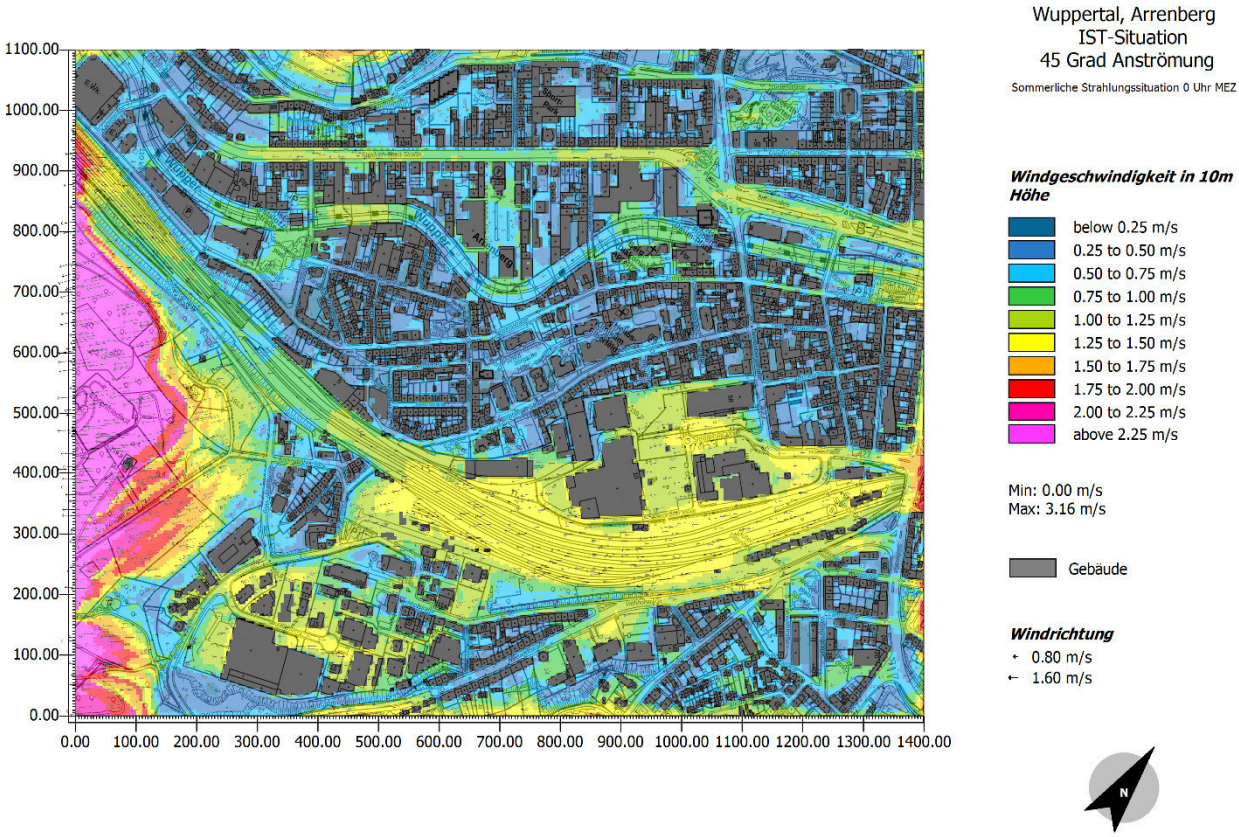


Abb. 4.5 Modellierte Windverteilung in 10 m über Grund um 0 Uhr im Modellgebiet Arrenberg im IST-Zustand, Anströmung aus Nordost

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 Tannenbergstraße.

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 Baublocke 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.

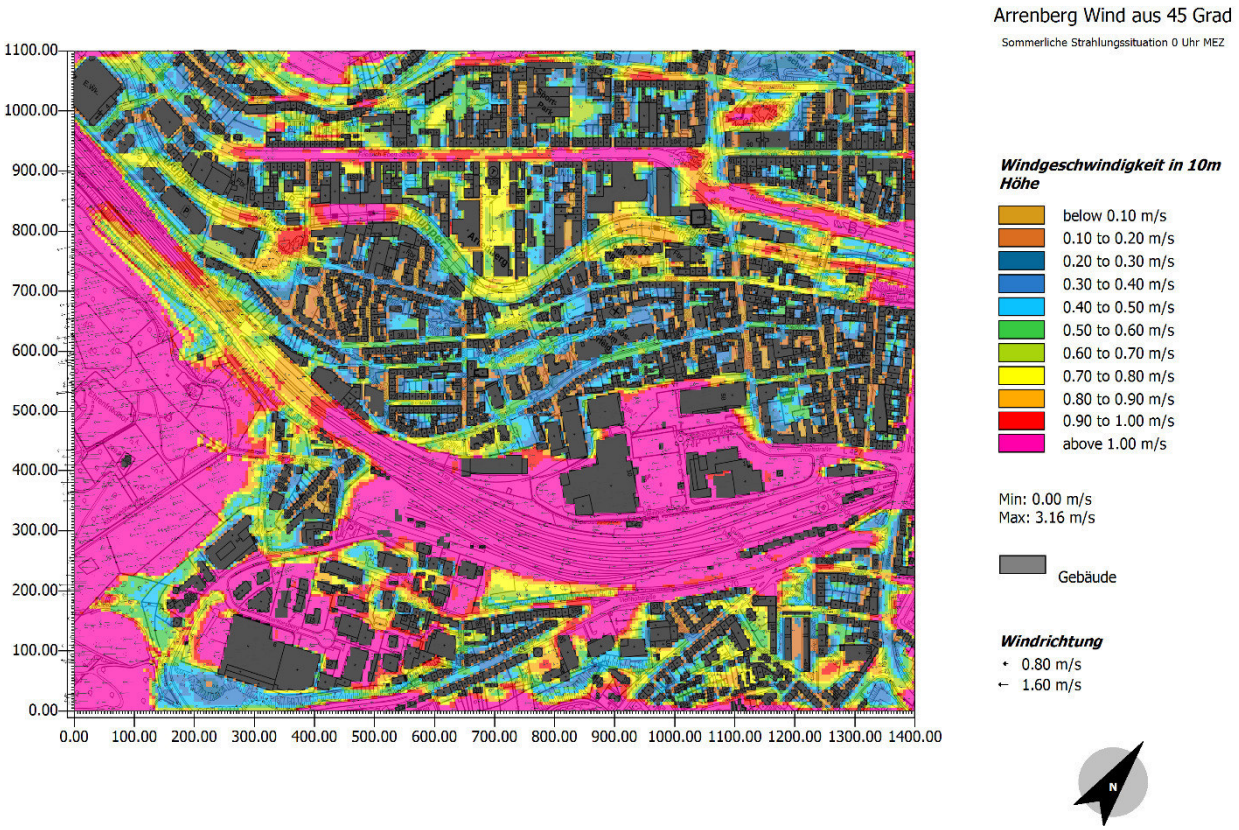


Abb. 4.6 Modellierte Schwachwindverteilung in 10 m über Grund um 0 Uhr im Modellgebiet Arrenberg im IST-Zustand, Anströmung aus Nordost

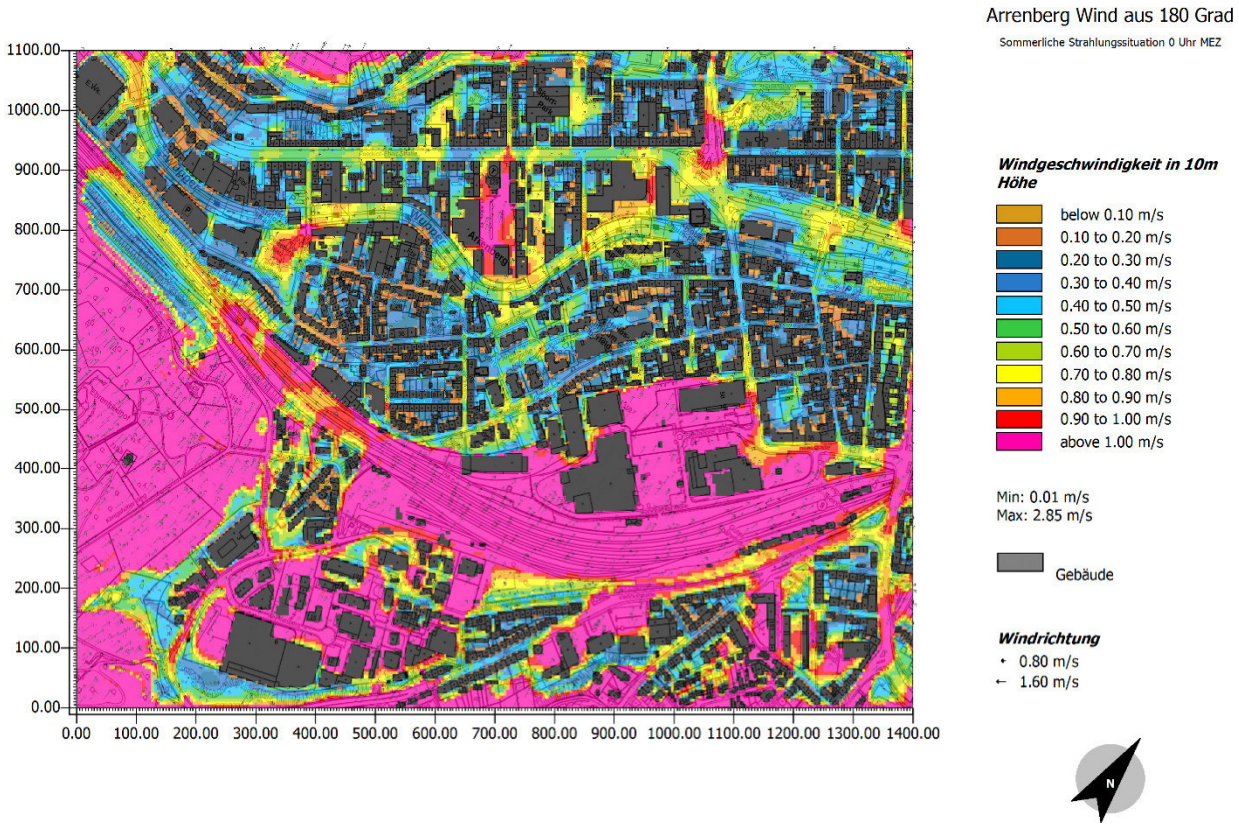


Abb. 4.7 Modellierte Schwachwindverteilung in 10 m über Grund um 0 Uhr im Modellgebiet Arrenberg im IST-Zustand, Anströmung aus Süd

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.

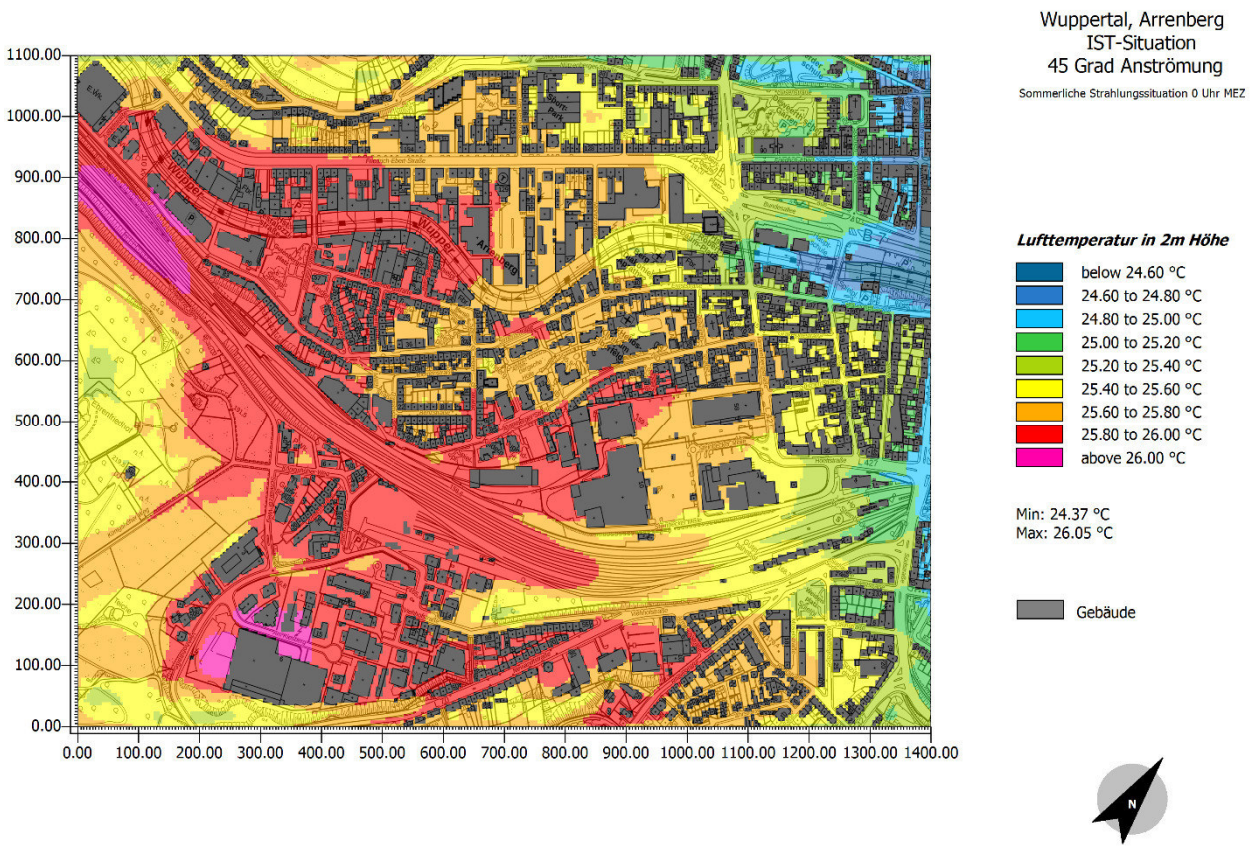


Abb. 4.8 Modellierte Lufttemperaturen in 2 m über Grund um 0 Uhr im Modellgebiet Arrenberg im IST-Zustand, Anströmung aus Nordost

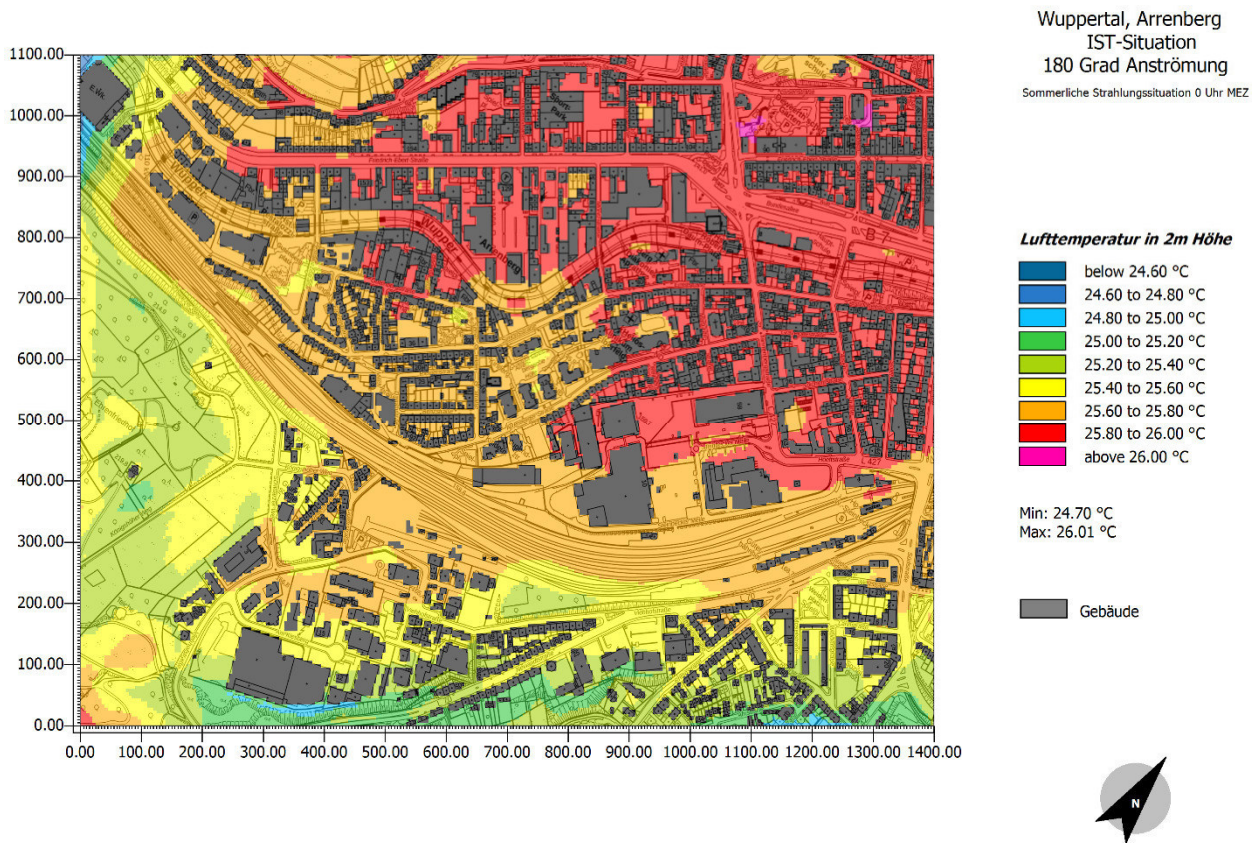


Abb. 4.9 Modellierte Lufttemperaturen in 2 m über Grund um 0 Uhr im Modellgebiet Arrenberg im IST-Zustand, Anströmung aus Süd

- 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 Hoeftstraße 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.

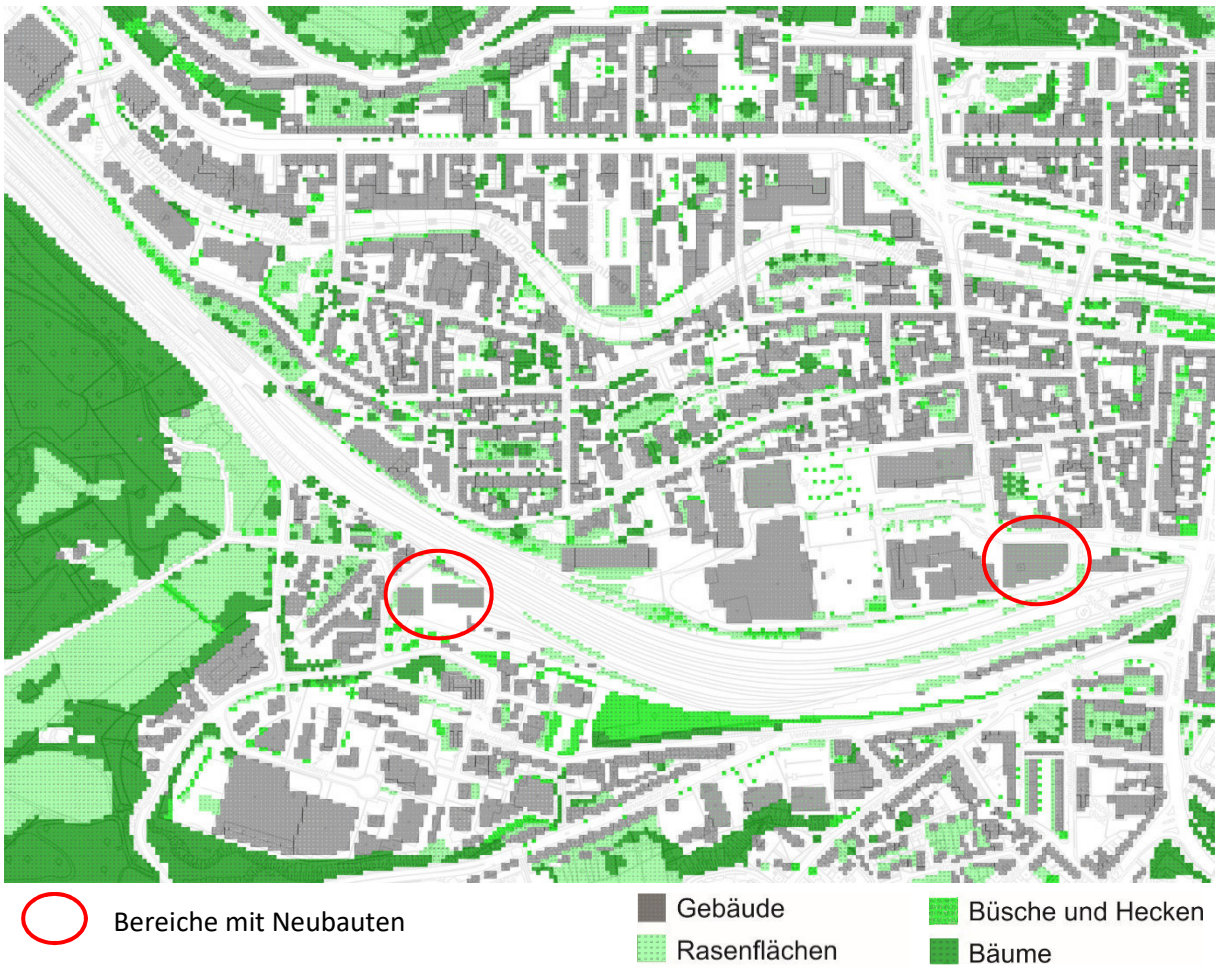


Abb. 4.10 Gebäude- und Vegetationsstruktur im Modellgebiet Arrenberg im Szenario 1

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.

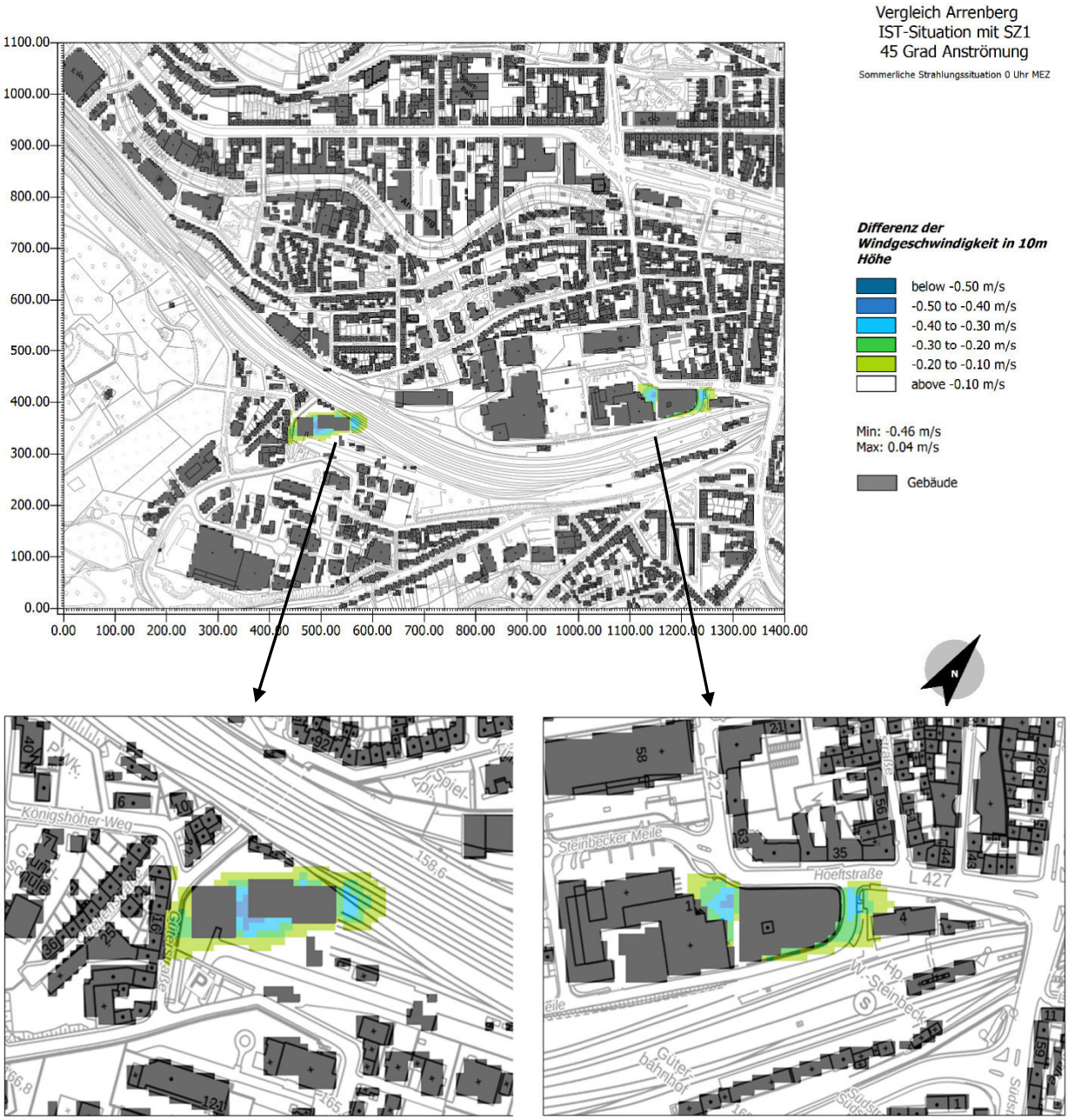


Abb. 4.11 Differenzen der Windgeschwindigkeiten in 10 m über Grund um 0 Uhr im Modellgebiet Arrenberg, Szenario 1 minus IST-Situation, Anströmung aus Nordost

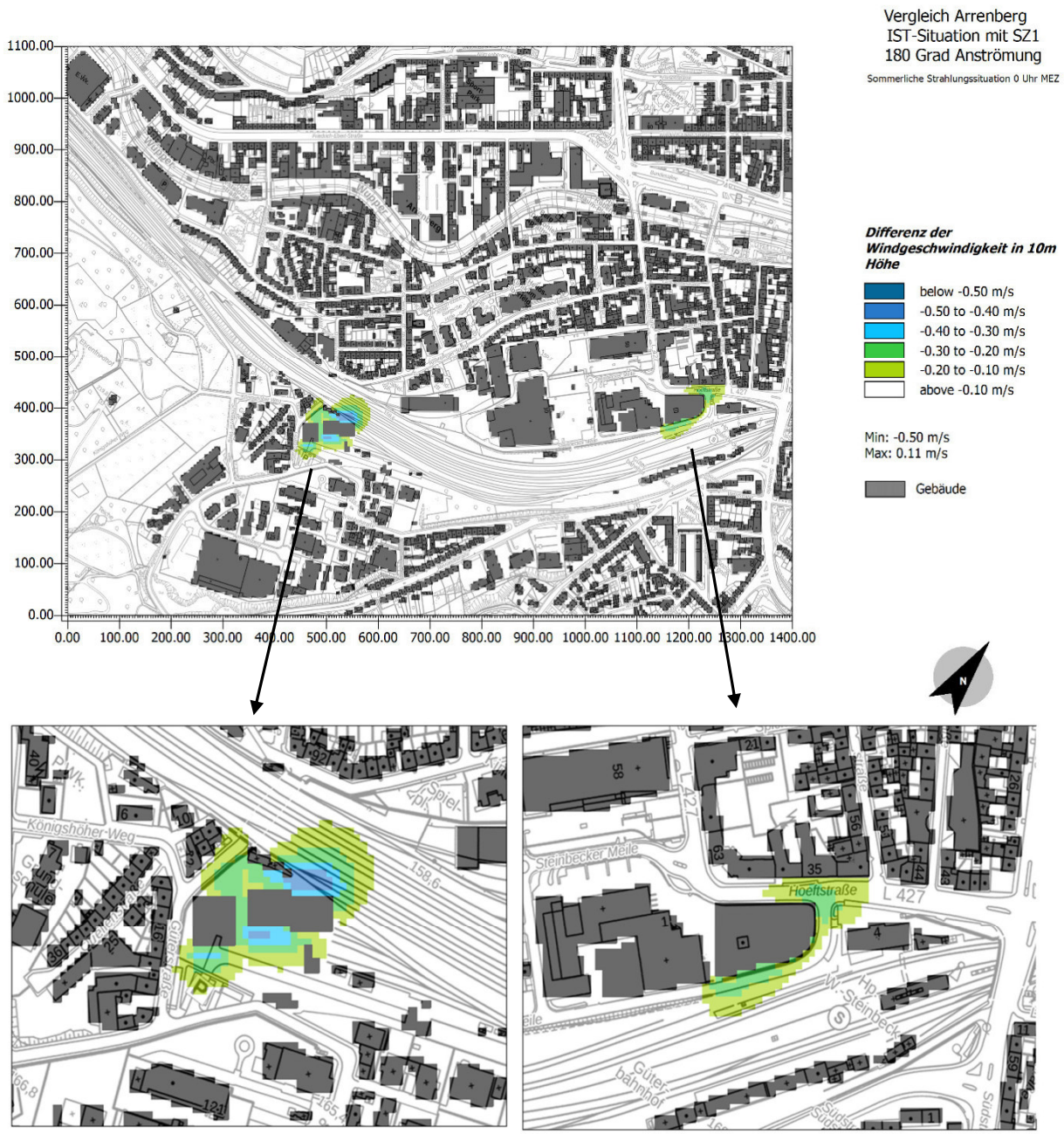


Abb. 4.12 Differenzen der Windgeschwindigkeiten in 10 m über Grund um 0 Uhr im Modellgebiet Arrenberg, Szenario 1 minus IST-Situation, Anströmung aus Süd

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 Gewerbegebietsfläche 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.

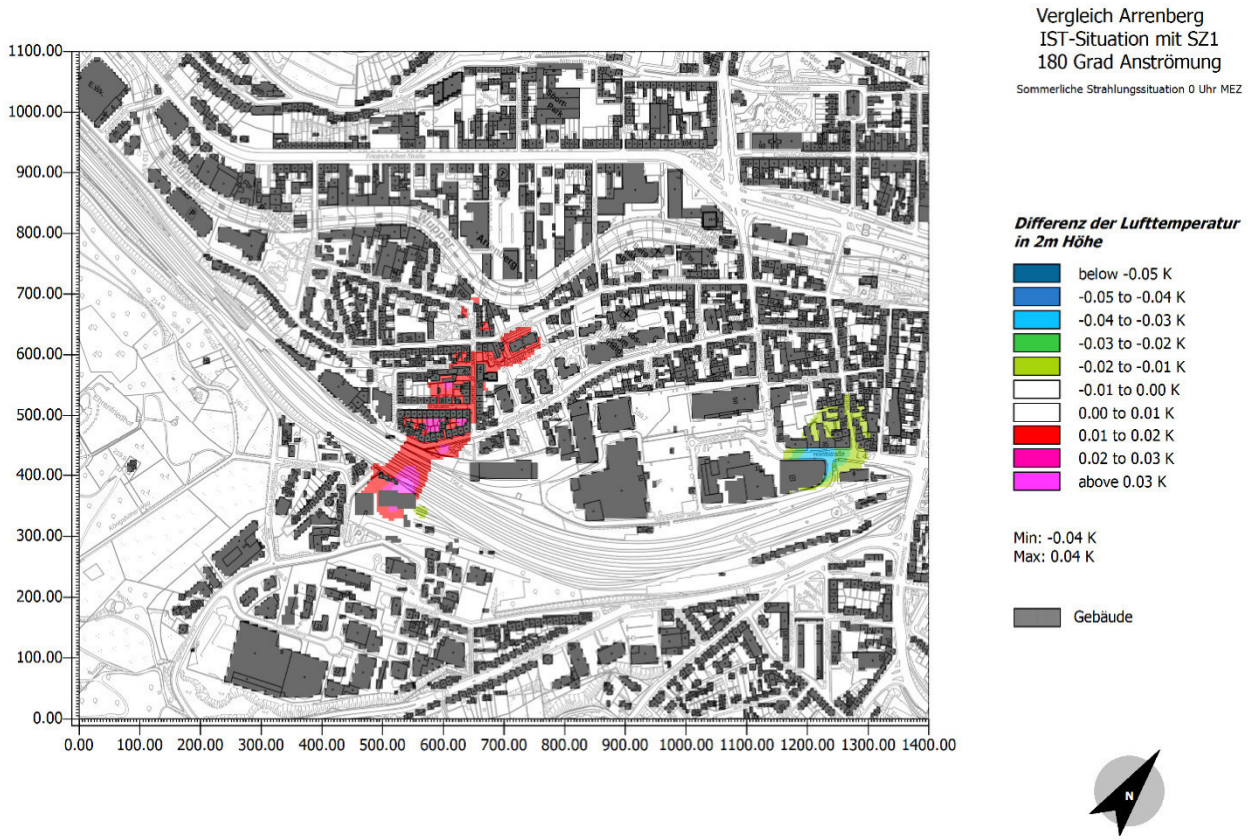


Abb. 4.13 Differenzen der Lufttemperaturen in 2 m über Grund um 0 Uhr im Modellgebiet Arrenberg, Szenario 1 minus IST-Situation, Anströmung aus Süd

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.

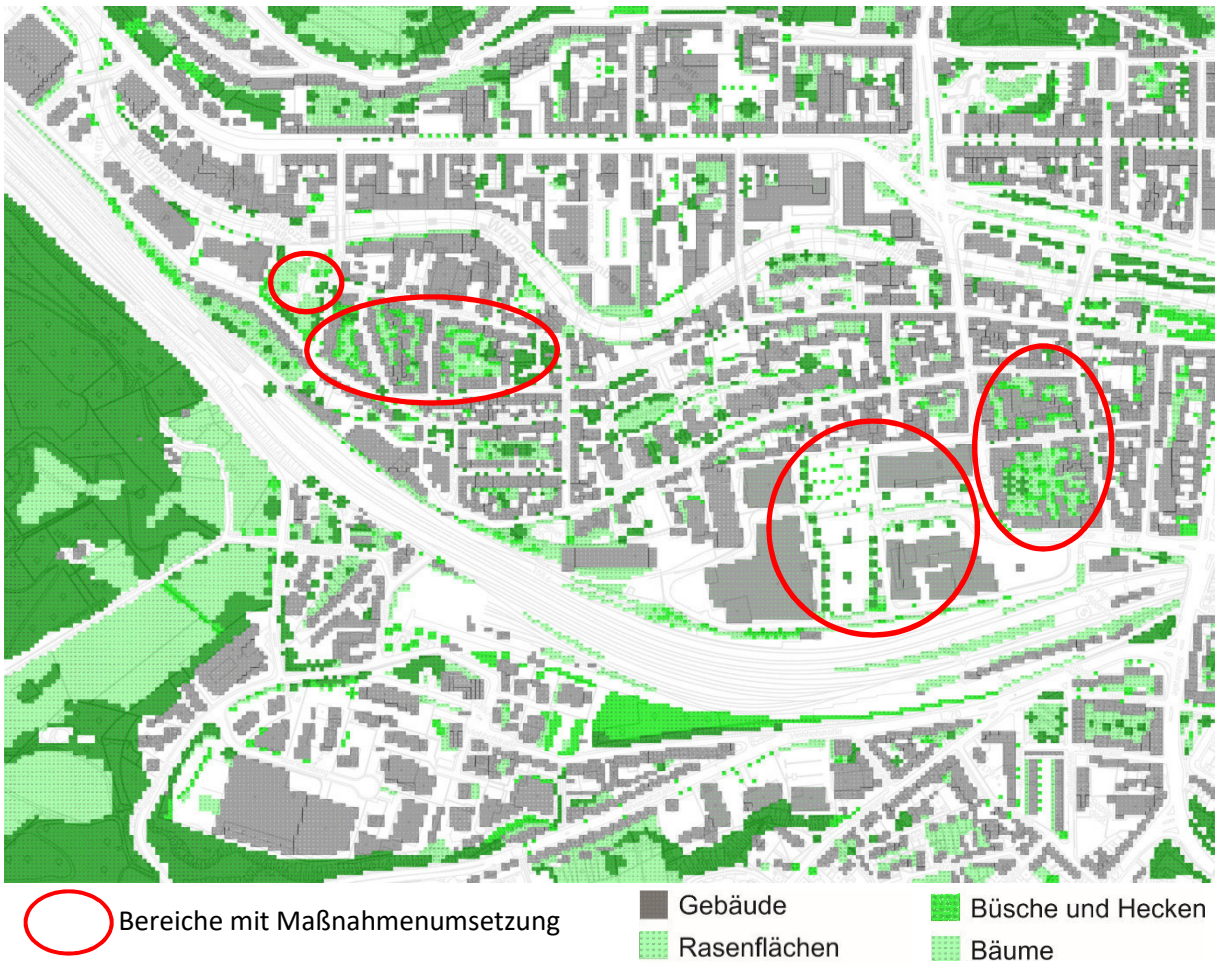


Abb. 4.14 Gebäude- und Vegetationsstruktur sowie Bereiche der Maßnahmenumsetzung im Modellgebiet Arrenberg im Szenario 2

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

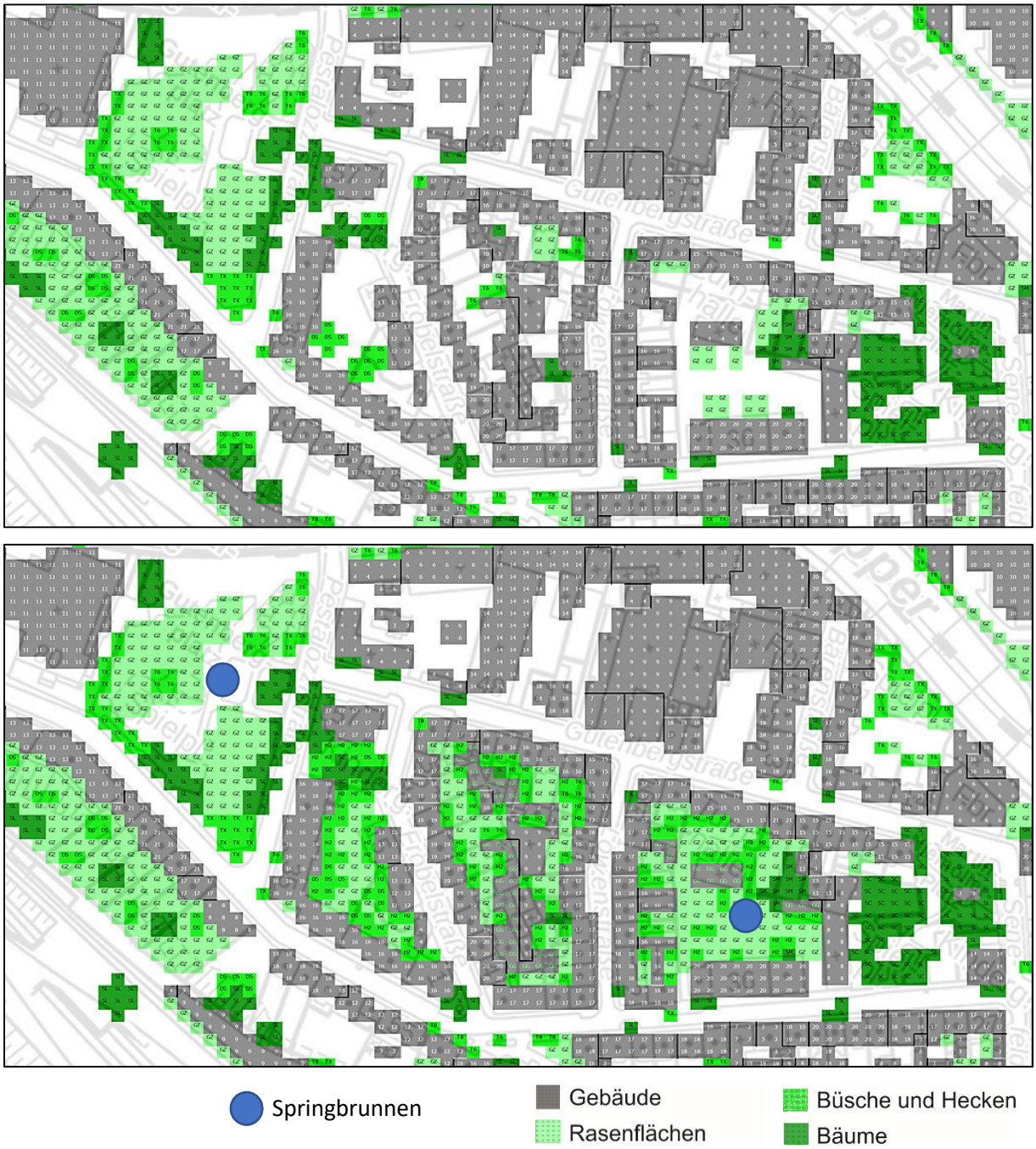


Abb. 4.15 Detailausschnitt aus dem Modellgebiet Arrenberg im Szenario 2, Bereich Gutenbergstraße oben: IST-Zustand, unten: mit Maßnahmenumsetzungen

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

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

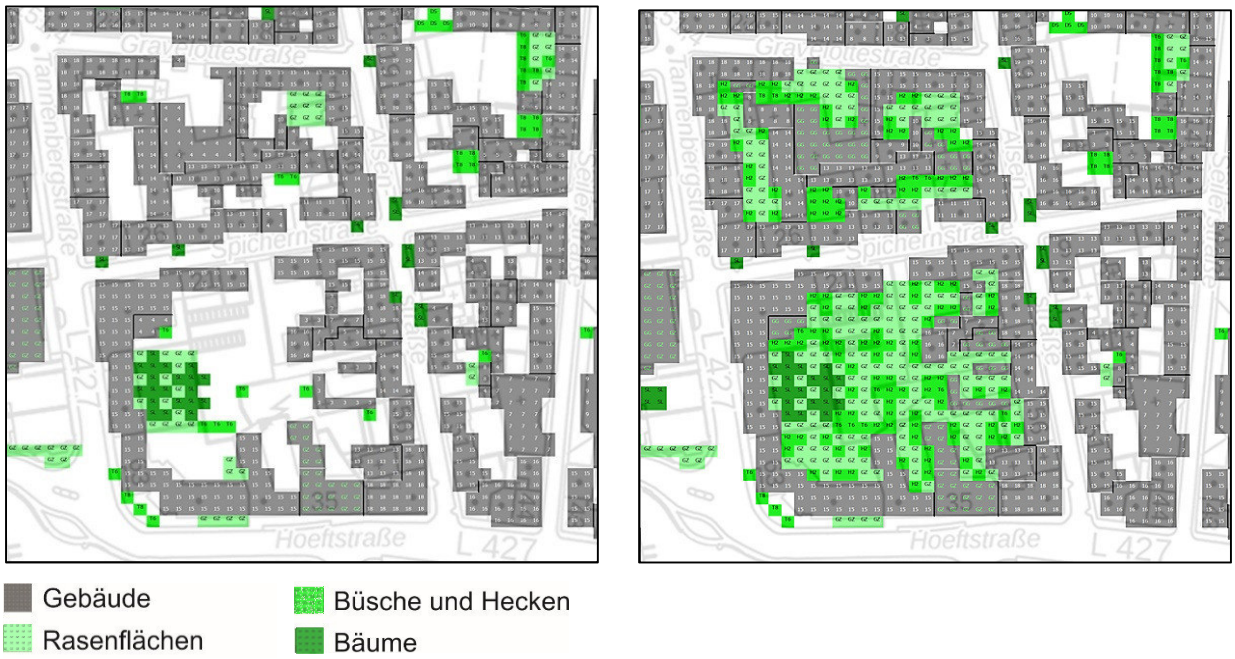
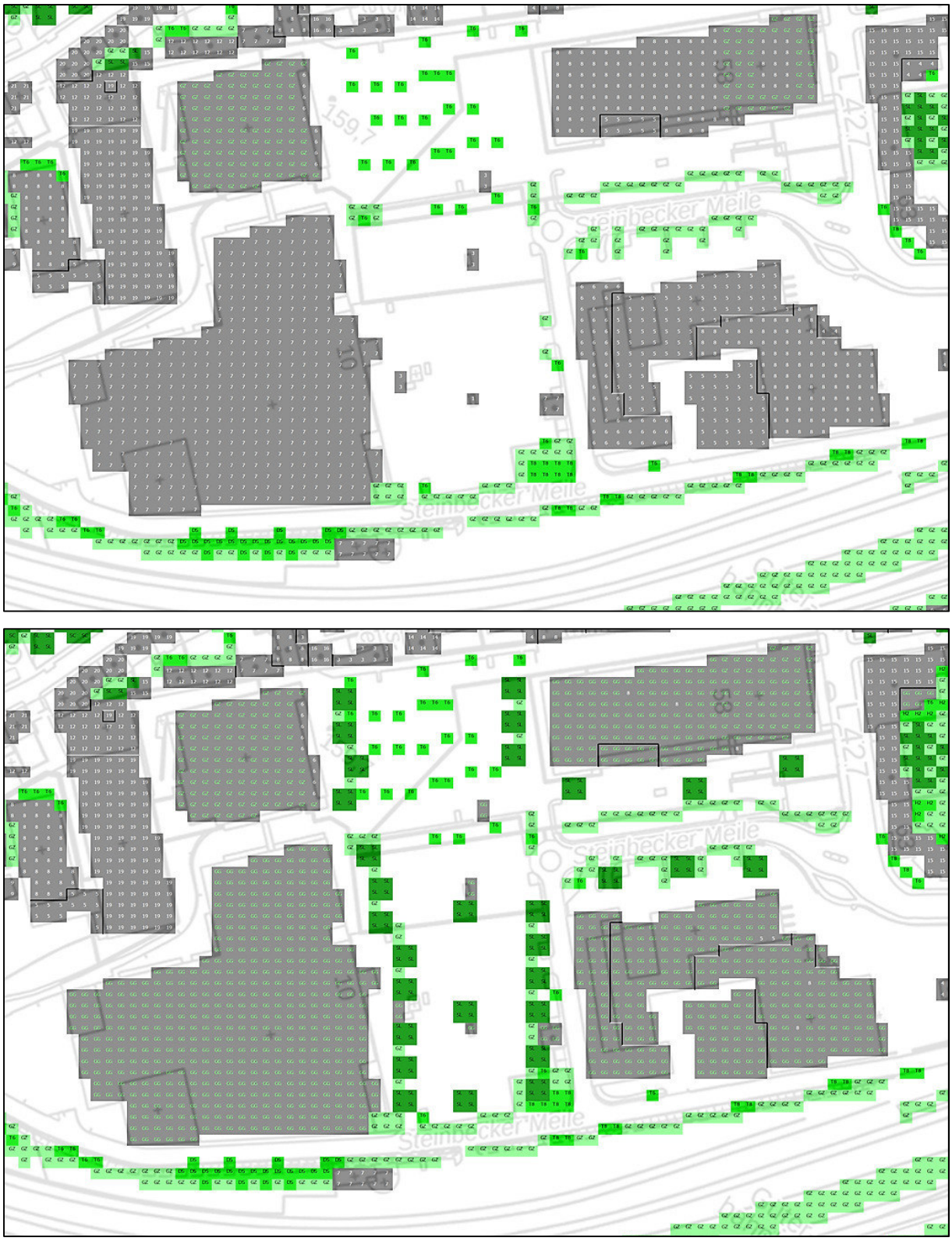


Abb. 4.16 Detailausschnitt aus dem Modellgebiet Arrenberg im Szenario 2, Bereich Alsenstraße links: IST-Zustand, rechts: mit Maßnahmenumsetzungen

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



Gebäude
Rasenflächen
Büsche und Hecken
Bäume

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

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 Ausganssituation deutlich verbessert werden.

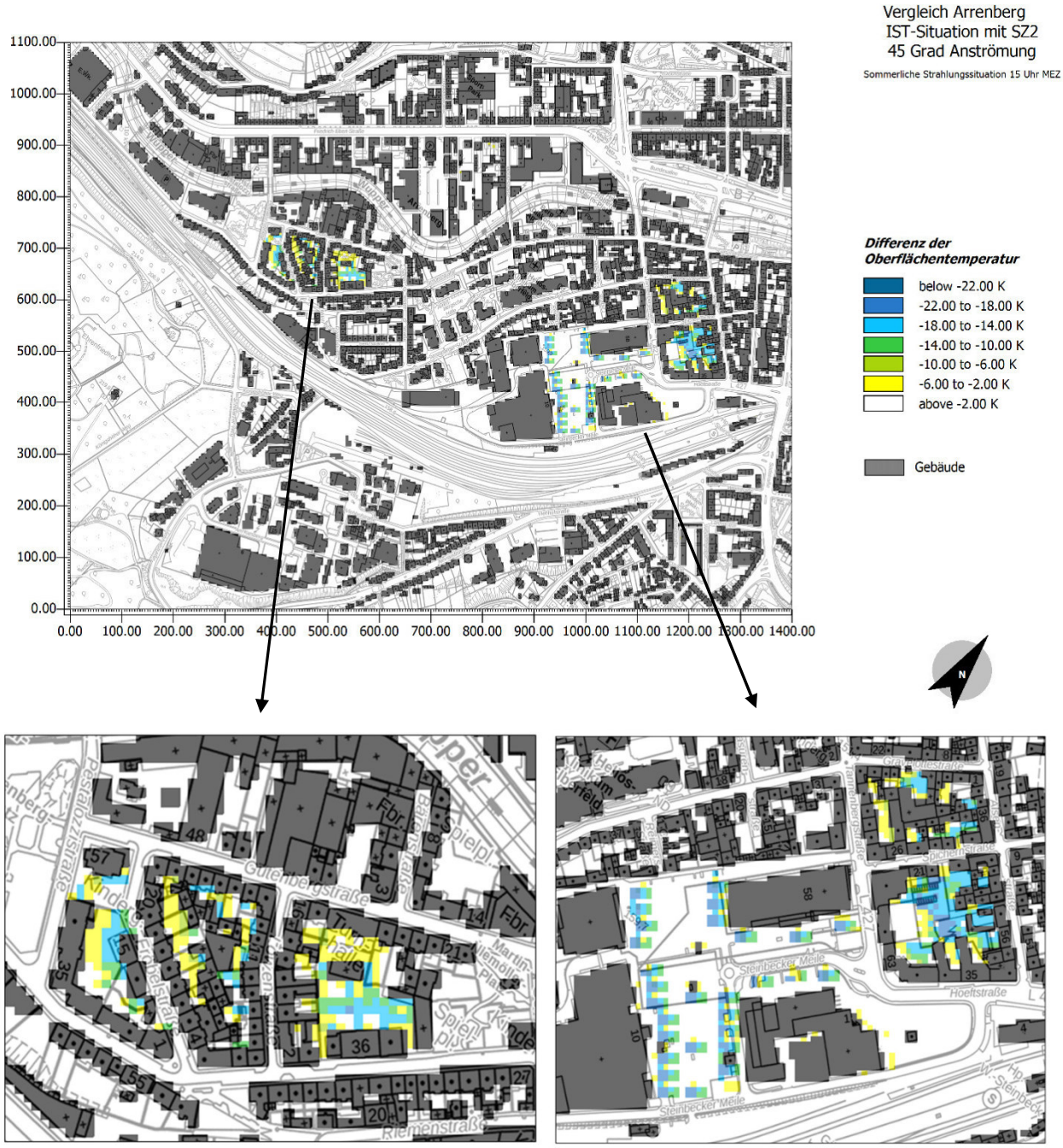


Abb. 4.18 Differenzen der Oberflächentemperaturen um 15 Uhr im Modellgebiet Arrenberg, Szenario 2 minus IST-Situation, Anströmung aus Nordost

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.

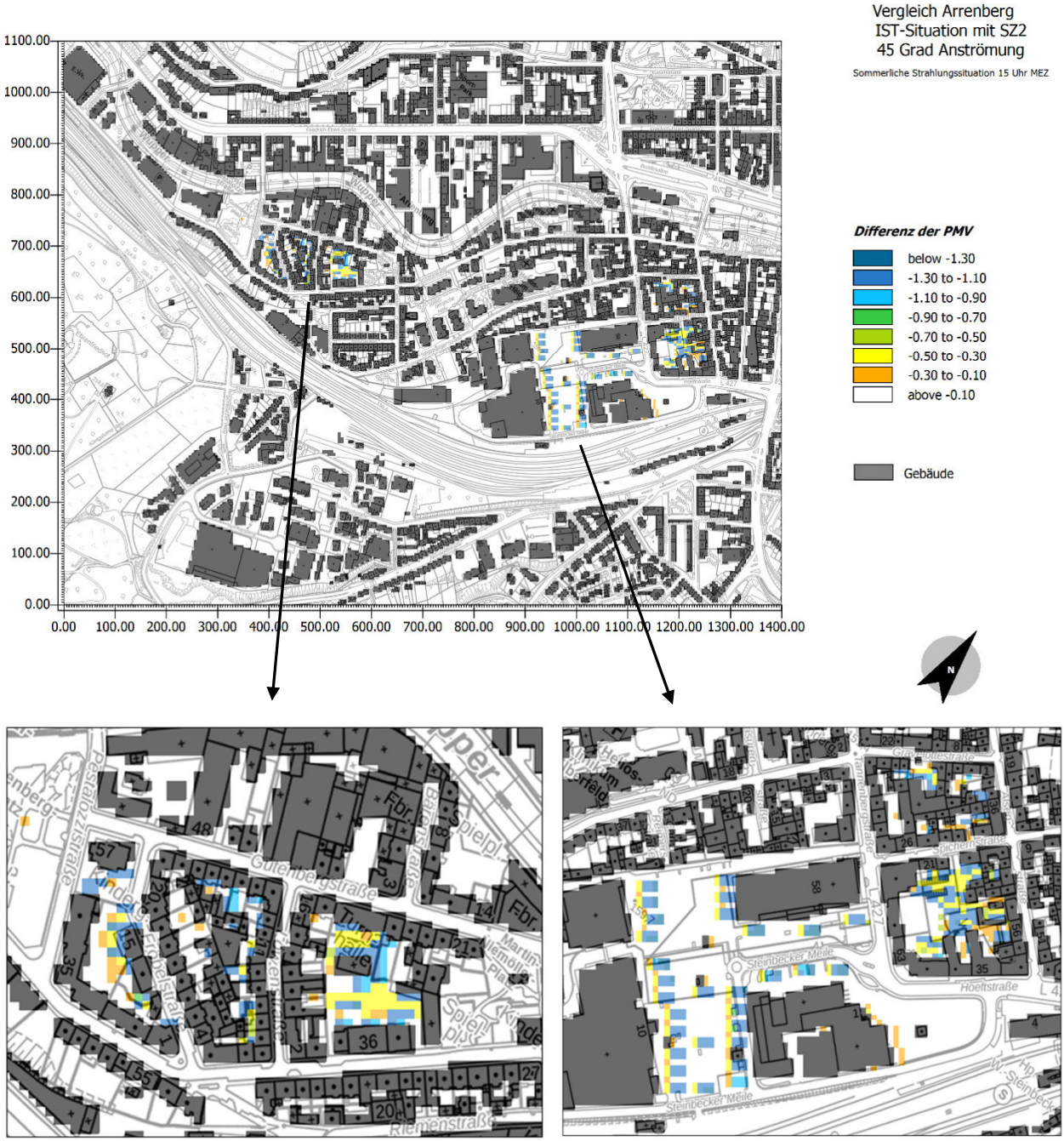


Abb. 4.19 Differenzen der bioklimatischen PMV-Werte um 15 Uhr im Modellgebiet Arrenberg, Szenario 2 minus IST-Situation, Anströmung aus Nordost

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.

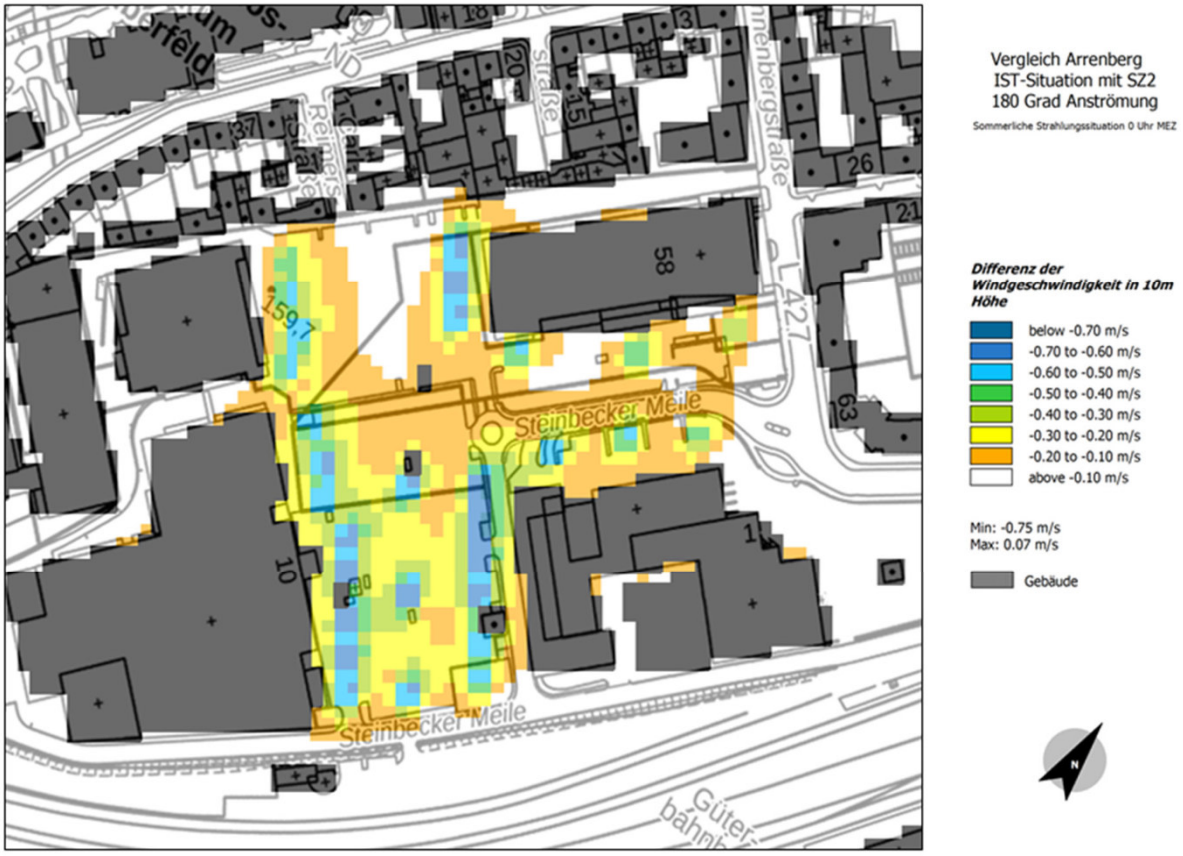


Abb. 4.20 Differenzen der Windgeschwindigkeiten in 10 m Höhe um 0 Uhr im Modellgebiet Arrenberg, Szenario 2 minus IST-Situation, Anströmung aus Süd

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

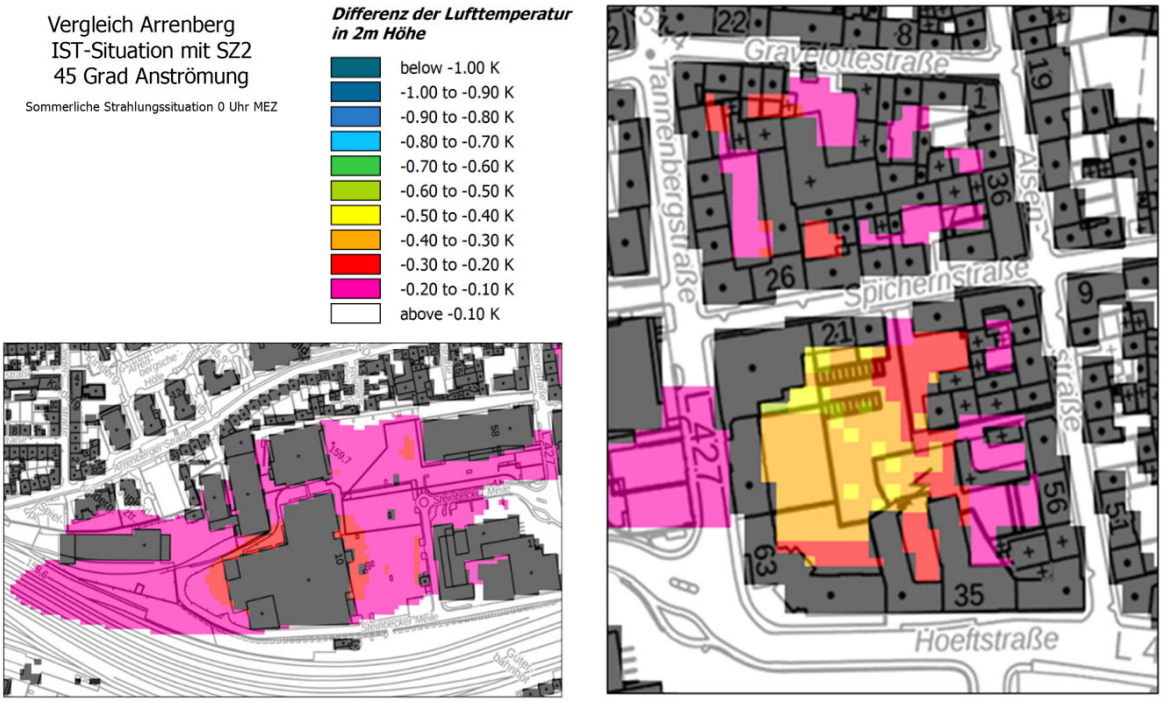


Abb. 4.21b Differenzen der Lufttemperaturen in 2 m Höhe um 0 Uhr im Modellgebiet Arrenberg, Teil Steinbecker Meile/Spichernstraße, Szenario 2 minus IST-Situation, Anströmung aus Nordost

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 Gutenbergplatz 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 gradientschwachen 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 Oberflächenrauhigkeit 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 Kimawandels 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.

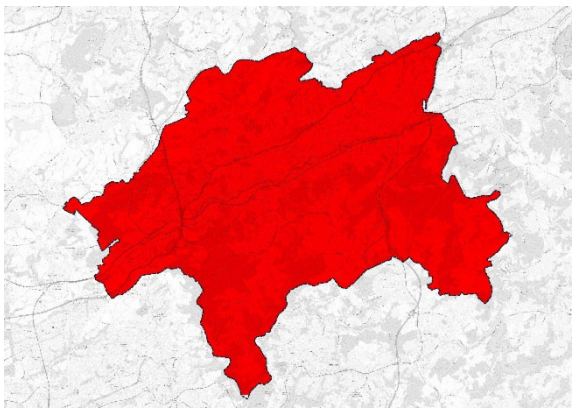
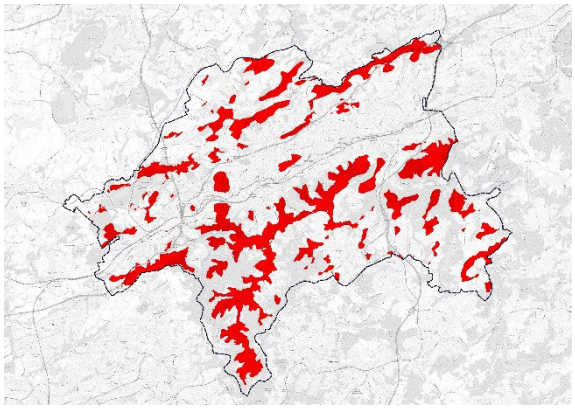
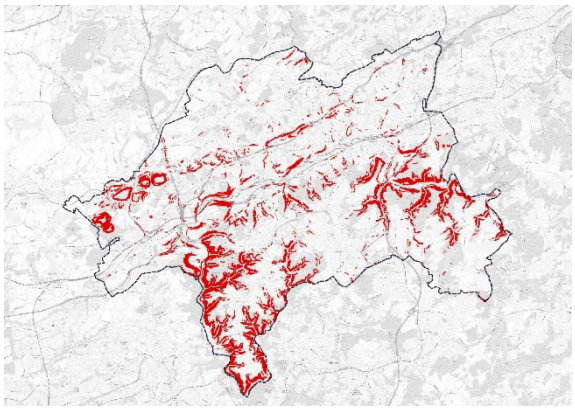
5.1 Starkwind- und Sturmgefährdung im Stadtgebiet von Wuppertal

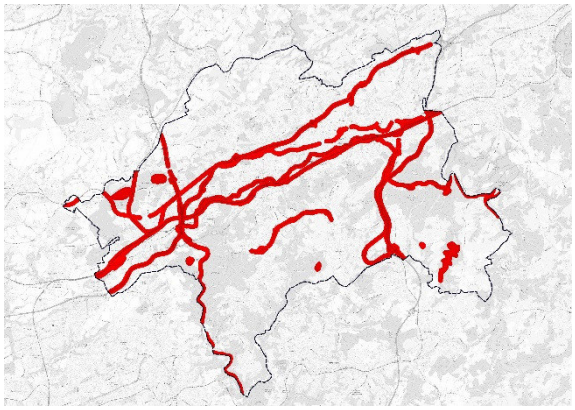
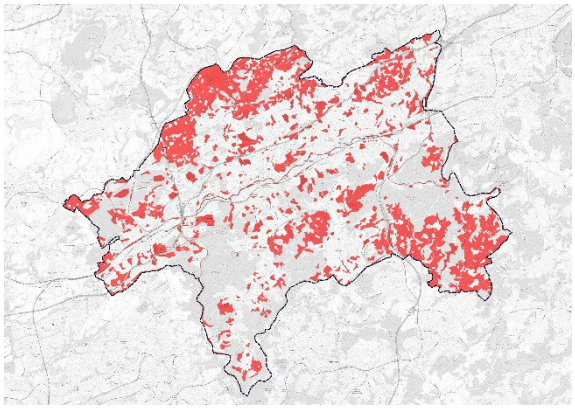
Die verschiedenen Bereiche des Wuppertaler Stadtgebietes sind entsprechend ihrer topographischen Ausgestaltung (Relief und Flächennutzung) unterschiedlich stark einer Gefährdung durch Starkwinde und Stürme ausgesetzt. Bestimmte topographische Eigenschaften können zu einer lokalen Erhöhung der Windstärke 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
- Oberflächenrauhigkeiten

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

	**1.Windgeschwindigkeit** Mittlere Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe > 2,5 m/s 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.
	**2. Kuppenlagen** Höhenlagen über dem Mittel der Umgebung > 20 m 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.
	**3. Hangneigungen** Bereiche mit einer Hangneigung von > 15 ° 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

	**4. Kanalisierungen** Breite Straßen, Bahnlinien, Flussläufe 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 Sturmwetterlagen 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.
	**5. Oberflächenrauhigkeiten** Wasser- und Freiflächen Entsprechend der Flächennutzung wird der Wind unterschiedlich stark abgebremst. „Rauhe Oberflächen“ mit einer starken Windabbremsung sind beispielsweise Gebiete mit innerstädtischer Bebauung, bei denen die Gebäudehöhe stark variiert. Weniger rauhe Oberflächen mit einer mittleren Windabbremsung sind Wälder und aufgelockerte Siedlungsgebiete. Die geringste Rauhigkeit und damit die potenziell höchsten Windgeschwindigkeiten weisen Wasserflächen sowie Wiesen-/ Weiden- und Ackerflächen auf.

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 Tallagen 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 Rauhigkeit aufeinander. Zudem wäre hier durch die starke Besiedelung 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.

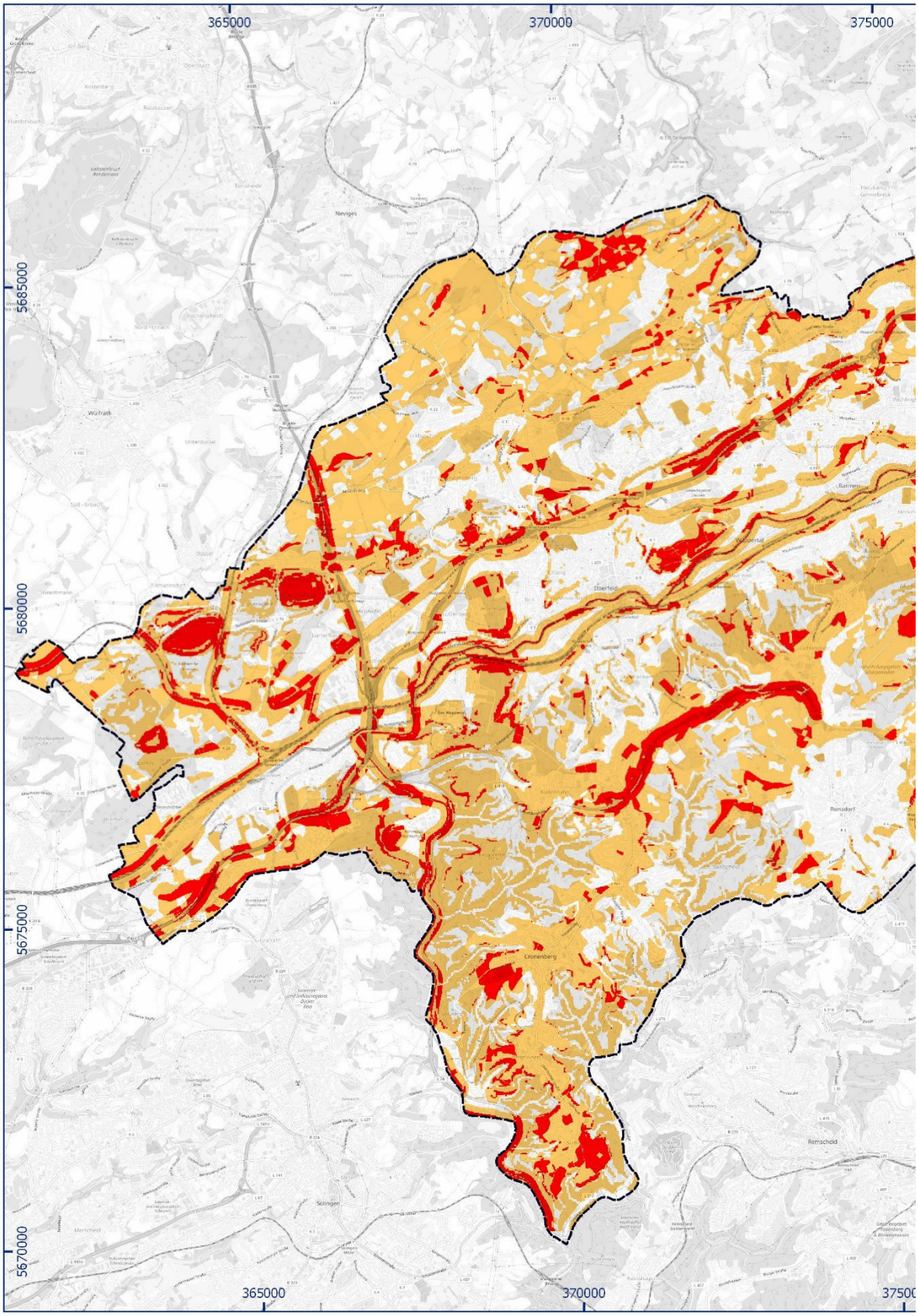
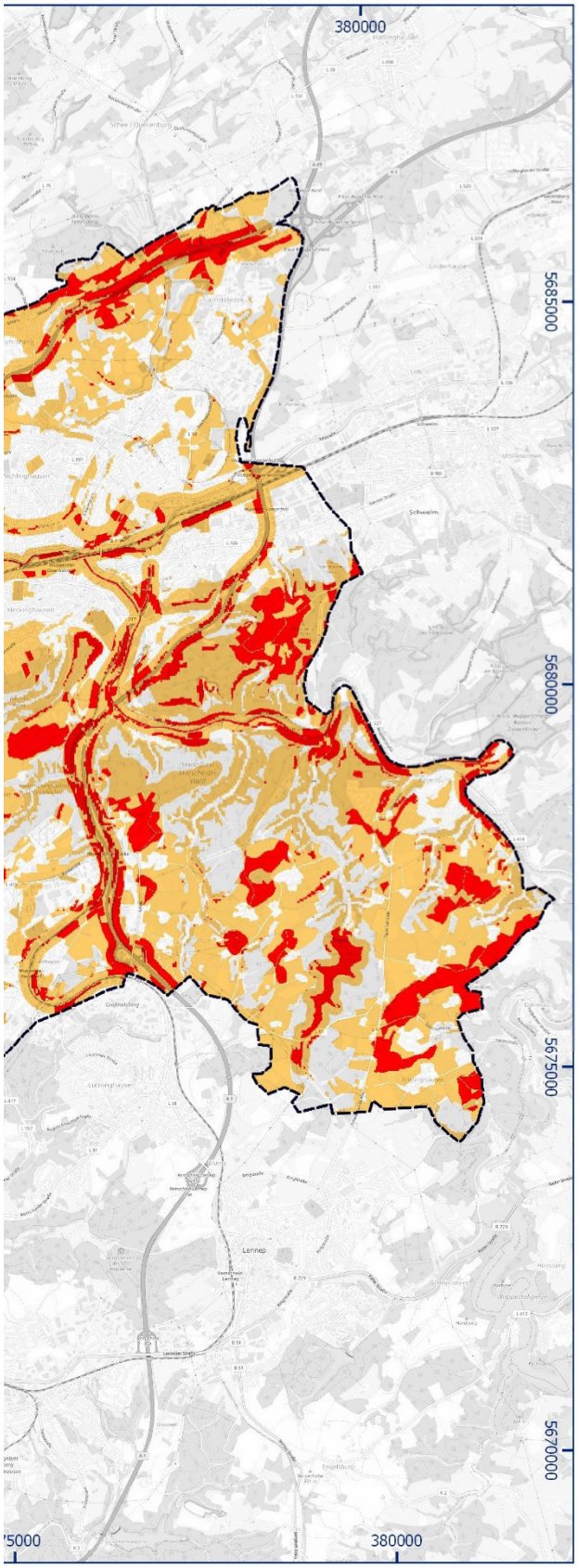


Abb. 5.1 Starkwindgefährdungskarte für die Stadt Wuppertal (Die Karte ist in hoher Auflösung auch im digitalen Anhang des Berichts einzusehen)



Stadt Wuppertal

Karte der Starkwindgefährdung

Starkwindgefährdungsbereiche

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

Stand: Oktober 2018

N W E S

1 0 1 2 km

STADT WUPPERTAL

K.PLAN Klima.Umwelt & Planung

© OpenStreetMap-Mitwirkende

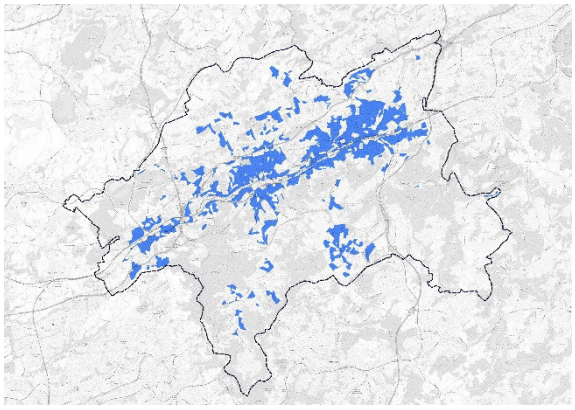
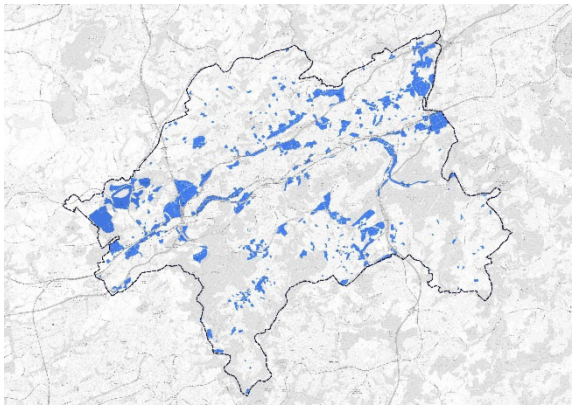
5.2 Betroffenheitsanalyse für das Themenfeld Starkwind und Sturm

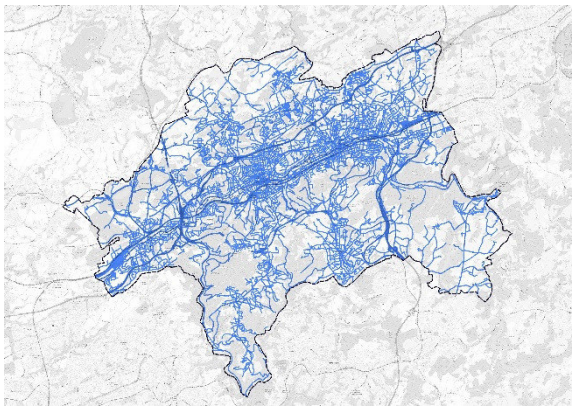
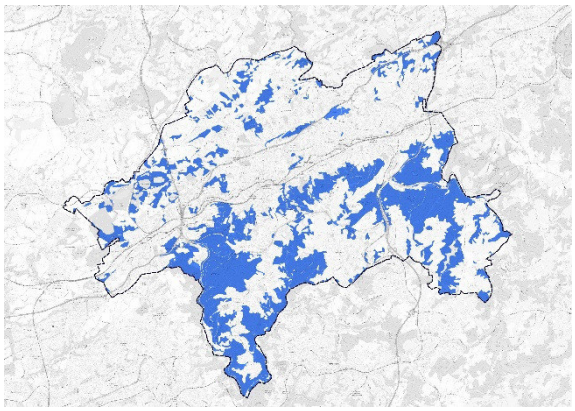
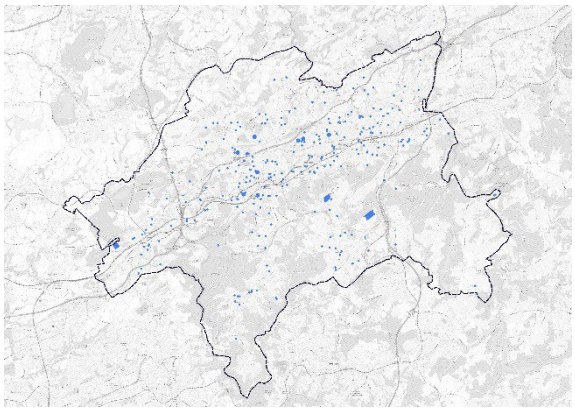
Die Anfälligkeit gegenüber Starkwind und Sturm ergibt sich aus den verschiedenen Nutzungen der Flächen im Stadtgebiet. Baustrukturen sowohl im Wohn- wie auch im Gewerbebereich können erhebliche Schäden erleiden. Besonders sensible Infrastrukturen wurden nochmal gesondert in die Analyse aufgenommen. Wald- 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

	**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.
	**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.

	**3. Verkehrswege** Straßen und Bahnlinien mit einem Puffer von 20 m 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.
	**4. Waldflächen** Nutzungstyp Wald aus der Realnutzungskarte Durch Stürme kann es in Wäldern zu großen (wirtschaftlichen) Schäden kommen. Zudem wird in Waldgebieten nach Stürmen kurzfristig die Funktion als Naherholungsraum eingeschränkt.
	**5. Sensible Infrastrukturen** Altenheime, Krankenhäuser, KiTas, Elektrizität/ Wasser, Sicherheit/ Ordnung mit einem Puffer von 50 m 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.

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.

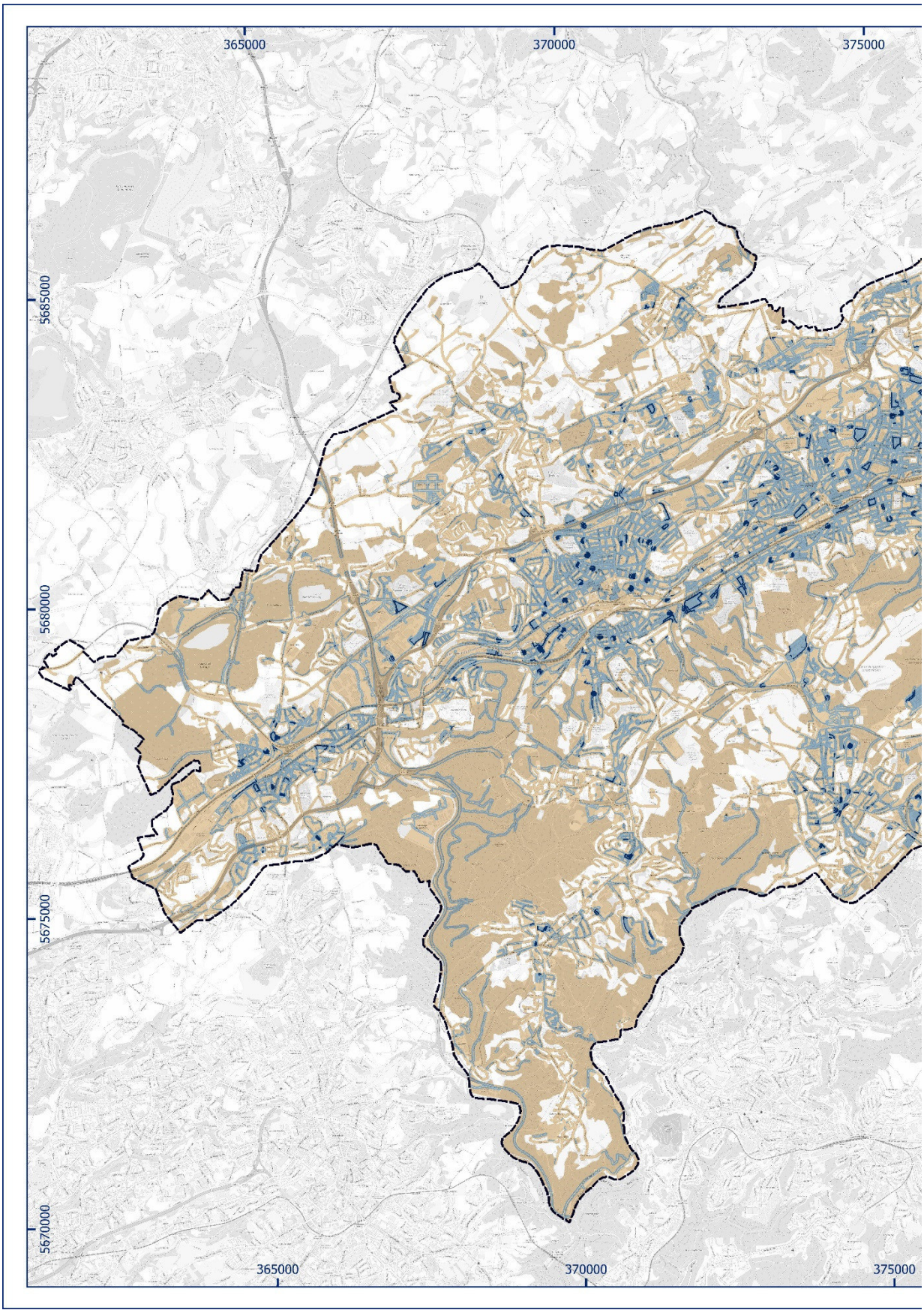
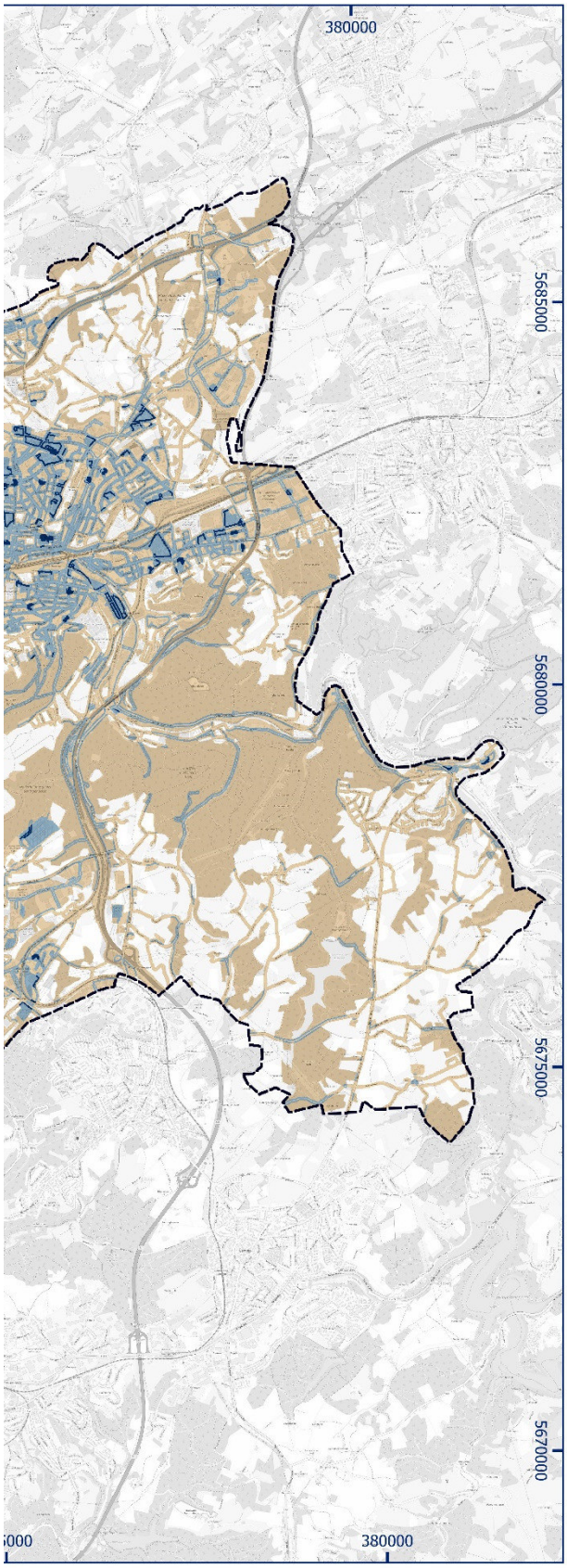


Abb. 5.2 Karte der Starkwindanfälligkeit für die Stadt Wuppertal (Die Karte ist in hoher Auflösung auch im digitalen Anhang des Berichts einzusehen)



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

N
W E
S

1 0 1 2 km

STADT WUPPERTAL

K.PLAN Klima.Umwelt & Planung

© 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).

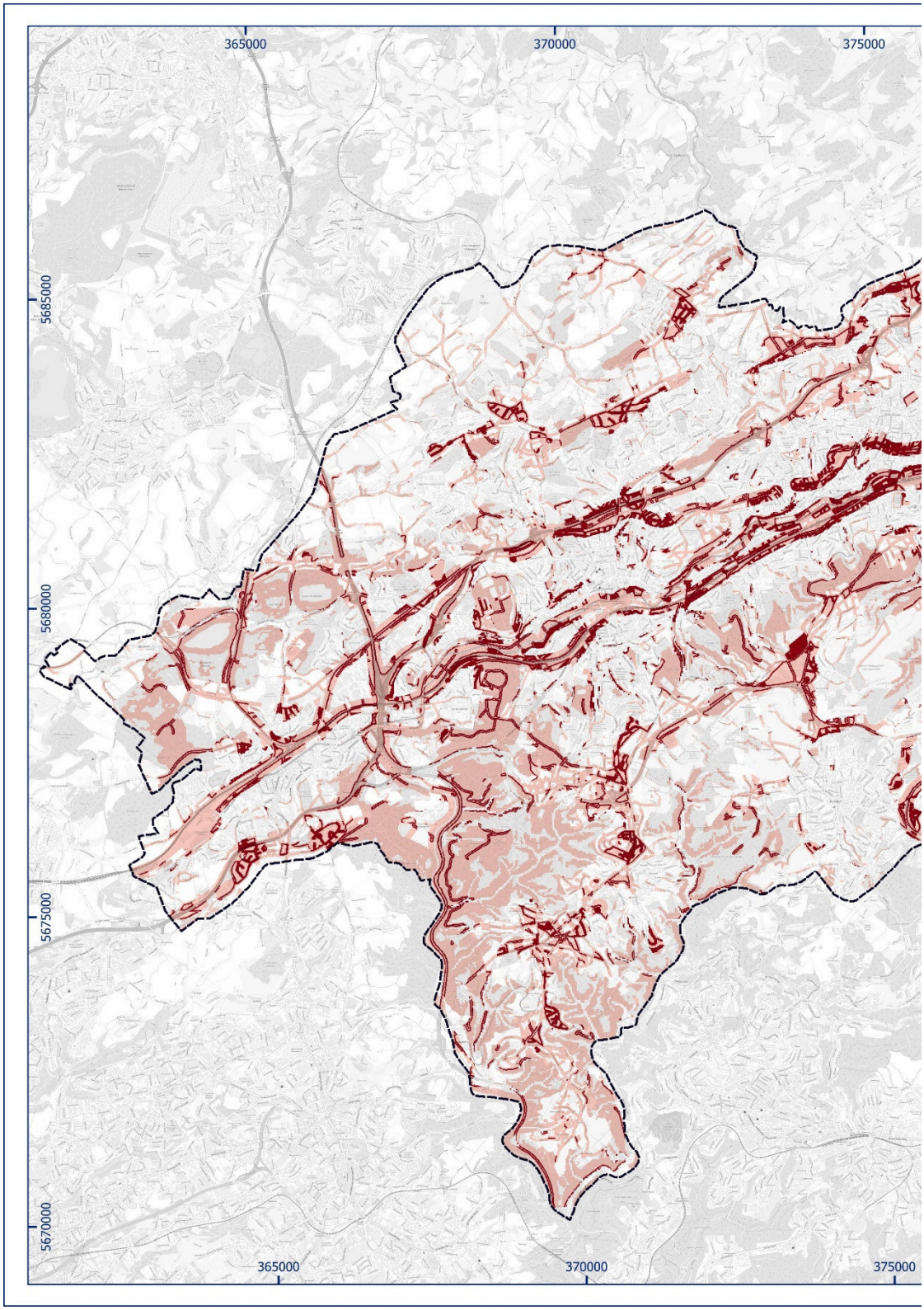
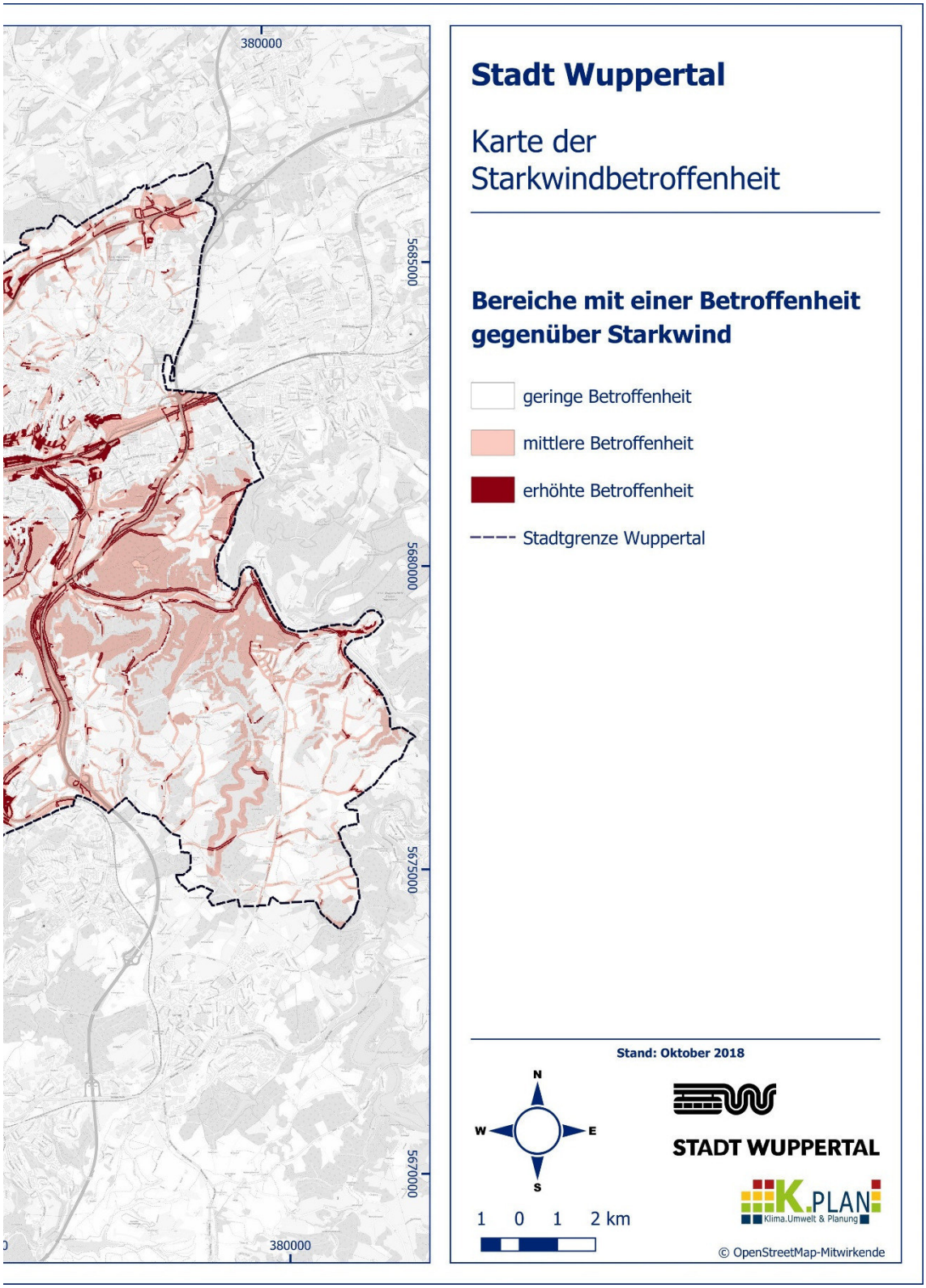


Abb. 5.3 Karte der Starkwindbetroffenheit für die Stadt Wuppertal (Die Karte ist in hoher Auflösung auch im digitalen Anhang des Berichts einzusehen)

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-agrar-sh.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 stadtklimarelevanten Luftleitbahn. In: Gefahrenstoffe – Reinhaltung der Luft 63, S. 381-386.