

ÖKOPLANA

KLIMAÖKOLOGIE
LUFTHYGIENE
UMWELTPLANUNG

KLIMAÖKOLOGISCHES GUTACHTEN ZUM BAUPROJEKT „WOHNEN AM SCHRANKENBUCKEL“ IN DER GEMEINDE BRÜHL



Auftraggeber:



Gemeindeverwaltung Brühl
Ortsbauamt
Hauptstraße 1
68782 Brühl

Bearbeitet von:

Dipl.-Geogr. Achim Burst

Mannheim, den 28. September 2020

ÖKOPLANA
Seckenheimer Hauptstraße 98
D-68239 Mannheim
Telefon: 0621/474626 · Telefax 475277
E-Mail: info.oekoplana@t-online.de

Geschäftsführer:
Dipl.-Geogr. Achim Burst

www.oekoplana.de

Deutsche Bank Mannheim
IBAN:
DE73 6707 0024 0046 0600 00
BIC: DEUTDE33

Inhalt		Seite
1	Aufgabenstellung	1
2	Planungsgebiet und dessen Umfeld	3
3	Untersuchungsmethodik	4
4	Klimaökologische Analyse des Ist-Zustandes	7
4.1	Allgemeine klimatische Bedingungen im Raum Brühl und die Folgen des Klimawandels	7
4.2	Ortsspezifisches Strömungsgeschehen und Ventilation	10
4.3	Thermische Situation bei klimaökologisch relevanten Wetterlagen	11
4.3.1	Ergebnisse der IR-Thermalkartierung Mannheim von 2009 und von kleinräumigen Oberflächentemperaturmessungen am 22.08.2019	12
4.3.2	Verteilung der Lufttemperatur im Planungsgebiet und in dessen Umfeld – Ergebnisse von Modellrechnungen und mobiler Messungen von 2019	16
4.4	Zusammenfassende Darstellung der klimaökologischen Funktionsabläufe im Planungsgebiet „Wohnen Am Schrankenbuckel“ und in dessen Umfeld	19
5	Masterplan 01/2019 und Entwicklungsschritte zum aktuellen Planungsentwurf 06/2020	21
6	Numerische Modellrechnungen zur kleinräumigen Darstellung der strömungsdynamischen und thermischen Verhältnisse im Planungsgebiet und in dessen Umfeld – Planungsentwurf 06/2020	24
6.1	Analyse der planungsbedingten Modifikation des örtlichen Windfeldes	26
6.1.1	Tagsituation – Windanströmung aus Süden (180°)	27
6.1.2	Tagsituation – Windanströmung aus Südwesten (210°)	28
6.1.3	Tagsituation – Windanströmung aus Norden (0°)	29
6.1.4	Nachtsituation – Windanströmung aus Südwesten (210°)	31
6.2	Analyse der planungsbezogenen Modifikationen der thermischen Umgebungsbedingungen	32

6.2.1	Thermische Situation an einem heißen Sommertag (16:00 Uhr) mit schwacher südwestlicher Luftströmung (210°)	34
6.2.2	Thermische Situation in einer Tropennacht (23:00 Uhr) mit schwacher südwestlicher Luftströmung (210°)	35
7	Zusammenfassung, Bewertung und Planungsempfehlungen	37
	Schriften / Quellenverzeichnis	48

Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1:** Luftbild – Lage des geplanten Bauprojekts „Wohnen Am Schrankenbuckel“
- Abb. 2:** Luftbild mit Bestandsplan vom Planungsgebiet und dessen Umfeld
- Abb. 3:** Reliefsituation im Umfeld des Planungsgebiets
- Abb. 4:** Allgemeine Windverhältnisse am Planungsstandort „Wohnen Am Schrankenbuckel“
- Abb. 5.1:** Häufigkeitsverteilung der Windrichtung und Windgeschwindigkeit. Zeitraum; März – Oktober 2013, alle Tage
- Abb. 5.2:** Häufigkeitsverteilung der Windrichtung und Windgeschwindigkeit. Zeitraum; März – Oktober 2013, Strahlungstage
- Abb. 6:** Lokale Kaltluftbewegungen in sommerlichen Strahlungsnächten (1. Nachthälfte). Ergebnisse mesoskaliger Kaltluftströmungssimulationen
- Abb. 7:** Erfassung der bodennahen Kaltluftbewegungen mit Hilfe von Rauchfahnen am 22.08.2019 (23:45 – 00:15 Uhr)
- Abb. 8:** IR-Thermalbildaufnahme vom 31.08.2009 – Abendsituation (20:00 – 21:00 Uhr)
- Abb. 9:** Oberflächentemperaturen unterschiedlicher Bodenbeläge am 22.08.2019
- Abb. 10:** IR-Aufnahme - Sportgelände
- Abb. 11:** Berechnete Lufttemperaturverteilung in einer Sommernacht (04:00 Uhr). Ergebnisse mesoskaliger Lufttemperatursimulationen.
- Abb. 12:** Messtechnik - Lufttemperaturmessfahrten
- Abb. 13:** Tagesgang der Lufttemperatur und des Windes am 22.-23.08.2019 an ausgewählten Stationsstandorten im Stadtgebiet von Mannheim
- Abb. 14:** Isothermenkarte nach Messfahrten am 22.08.2019 (21:30 Uhr)

- Abb. 15:** Isothermenkarte nach Messfahrten am 22.08.2019 (23:00 Uhr)
- Abb. 16:** Masterplan „Wohnen Am Schrankenbuckel“, Stand: 01/2019
- Abb. 17:** Städtebauliches Konzept „Wohnen Am Schrankenbuckel“, Stand: 11/2019
- Abb. 18:** Städtebauliches Konzept „Wohnen Am Schrankenbuckel“, Stand: 01/2020
- Abb. 19:** Städtebauliches Konzept „Wohnen Am Schrankenbuckel“, Stand: 06/2020
- Abb. 20:** Beispielhafter Schnitt im Bereich Germaniastraße
- Abb. 21.1:** Ist-Zustand, Ergebnisse von Strömungssimulationen. Windgeschwindigkeit und Windrichtung 2 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Süden mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
- Abb. 21.2:** Plan-Zustand, Ergebnisse von Strömungssimulationen. Windgeschwindigkeit und Windrichtung 2 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Süden mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
- Abb. 21.3:** Vorher-Nachher-Vergleich, Ergebnisse von Strömungssimulationen. Veränderung der Windgeschwindigkeit durch den Plan-Zustand 2 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Süden mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
- Abb. 22.1:** Ist-Zustand, Ergebnisse von Strömungssimulationen. Windgeschwindigkeit und Windrichtung 2 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Südwesten mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
- Abb. 22.2:** Plan-Zustand, Ergebnisse von Strömungssimulationen. Windgeschwindigkeit und Windrichtung 2 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Südwesten mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
- Abb. 22.3:** Vorher-Nachher-Vergleich, Ergebnisse von Strömungssimulationen. Veränderung der Windgeschwindigkeit durch den Plan-Zustand 2 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Südwesten mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.

- Abb. 23.1:** Ist-Zustand, Ergebnisse von Strömungssimulationen. Windgeschwindigkeit und Windrichtung 2 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Norden mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
- Abb. 23.2:** Plan-Zustand, Ergebnisse von Strömungssimulationen. Windgeschwindigkeit und Windrichtung 2 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Norden mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
- Abb. 23.3:** Vorher-Nachher-Vergleich, Ergebnisse von Strömungssimulationen. Veränderung der Windgeschwindigkeit durch den Plan-Zustand 2 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Norden mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
- Abb. 24.1:** Ist-Zustand, Ergebnisse von Strömungssimulationen. Windgeschwindigkeit und Windrichtung 2 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Südwesten mit 1.5 m/s in einer Höhe von 20 m ü.G. (Nachtsituation)
- Abb. 24.2:** Plan-Zustand, Ergebnisse von Strömungssimulationen. Windgeschwindigkeit und Windrichtung 2 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Südwesten mit 1.5 m/s in einer Höhe von 20 m ü.G. (Nachtsituation)
- Abb. 24.3:** Vorher-Nachher-Vergleich, Ergebnisse von Strömungssimulationen. Veränderung der Windgeschwindigkeit durch den Plan-Zustand 2 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Südwesten mit 1.5 m/s in einer Höhe von 20 m ü.G. (Nachtsituation)
- Abb. 25.1:** Ist-Zustand, Ergebnisse von Lufttemperatursimulationen. Lufttemperatur 2 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Südwesten mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G. Heißer Sommertag (16:00 Uhr)
- Abb. 25.2:** Plan-Zustand, Ergebnisse von Lufttemperatursimulationen. Lufttemperatur 2 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Südwesten mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G. Heißer Sommertag (16:00 Uhr)
- Abb. 25.3:** Vorher-Nachher-Vergleich. Ergebnisse von Lufttemperatursimulationen. Veränderung der Lufttemperatur 2 m ü.G. durch den Plan-Zustand. Windanströmung aus Südwesten mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G. Heißer Sommertag (16:00 Uhr)

- Abb. 26.1:** Ist-Zustand, Ergebnisse von Lufttemperatursimulationen. Lufttemperatur 2 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Südwesten mit 1.5 m/s in einer Höhe von 20 m ü.G. Warme Sommernacht (23:00 Uhr)
- Abb. 26.2:** Plan-Zustand, Ergebnisse von Lufttemperatursimulationen. Lufttemperatur 2 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Südwesten mit 1.5 m/s in einer Höhe von 20 m ü.G. Warme Sommernacht (23:00 Uhr)
- Abb. 26.3:** Vorher-Nachher-Vergleich. Ergebnisse von Lufttemperatursimulationen. Veränderung der Lufttemperatur 2 m ü.G. durch den Plan-Zustand. Windanströmung aus Südwesten mit 1.5 m/s in einer Höhe von 20 m ü.G. Warme Sommernacht (23:00 Uhr)

1 Aufgabenstellung

In der Gemeinde Brühl ist auf dem Sportgelände des FV 1918 Brühl e.V. zwischen dem Straßenzug Am Schrankenbuckel im Süden und der Germaniastraße im Norden die Entwicklung eines neuen Wohnquartiers geplant (Lage siehe **Abbildungen 1** und **2**). Neben Ein- und Mehrfamilienhäusern sind u.a. auch Sonderwohnformen und ein Seniorenzentrum geplant. Ziel ist es, ein differenziertes Wohnungsangebot mit einer möglichst vielfältigen Architektur und attraktiven Freiräumen zu schaffen.

Das aktuelle städtebauliche Konzept vom Juni 2020 der projektbezogenen Planungsgemeinschaft BAUFRÖSCHE ARCHITEKTEN UND STADTPLANER GMBH / BILGER FELLMETH ARCHITEKTEN BDA / BIERBAUM-AICHELE LANDSCHAFTSARCHITEKTEN sieht größtenteils eine 3- bis 4-geschossige (+Staffelgeschoss) Bebauung vor. Nur im Bereich des angedachten Quartiersplatzes und am Westrand des Planungsgebiets sind 5- bzw. 7-geschossige Baukörper geplant.

Die erforderlichen Pkw-Stellplatzflächen sollen vorwiegend über Tiefgaragen bereitgestellt werden. Allein im nördlichen und südwestlichen Teilbereich sind oberirdische Besucherstellplätze vorgesehen.

Wie u.a. der Klimauntersuchung des NACHBARSCHAFTSVERBANDES HEIDELBERG-MANNHEIM von 2002 zu entnehmen ist, stellen die in relativer Tieflage gelegenen Sportplatzflächen (Rasenplatz / Alfred-Körper-Stadion und Kunstrasenplatz) einen siedlungsinternen klimaökologischen Gunstraum dar. Gegenüber der benachbarten Wohnbebauung stellen sich in warmen Sommernächten über den Rasenflächen des Alfred-Körper-Stadions um ca. 4 – 5 K niedrigere Oberflächenstrahlungstemperaturen ein, die örtlich auch die Lufttemperaturen in verstärktem Maße sinken lassen. Je nach vorherrschender Windrichtung werden Teilbereiche der benachbarten Wohnbebauung von der örtlichen Kaltluft thermisch begünstigt. Zusätzlich wirken die raugkeitsarmen Sportplatzareale (Rasen- und Kunstrasenplatz) als bebauungsinterne Ventilationsflächen, über denen der Höhenwind ganztags vermehrt bodennah durchgreifen kann und dadurch den örtlichen Luftaustausch forcieren (= klimatischer und lufthygienischer Positiveffekt).

Räumliche Verknüpfungspunkte zum Freiraumgefüge südwestlich der Rohrhofer Straße bestehen in Ansätzen über die Freiflächen des Freischwimmbades Brühl und den Steffi-Graf-Park südwestlich des dammartigen Straßenzugs Am Schrankenbuckel.

Im Rahmen eines iterativen Planungsprozesses, der von sogenannten „Runden Tischen“ begleitet wurde, gab es mehrere Planungsänderungen, um u.a. den Belangen des „Klimas“ gerecht zu werden.

Im vorliegenden Gutachten wird das abschließende Planungskonzept hinsichtlich seiner Auswirkungen auf die lokalen klimatischen Verhältnisse (Windfeld, bioklimatische / thermische Umgebungsbedingungen) untersucht und bewertet. Zur qualitativen und quantitativen Bewertung der derzeitigen klimaökologischen Situation sowie zur Abschätzung des Einflusses der vorgesehenen Bebauung auf das örtliche klimatische Wirkungsgefüge werden auf Grundlage vorhandener Klimadaten [u.a. *ÖKOPLANA / GEO-NET UMWELTCONSULTING GMBH (2009) „Analyse der Klima- und immissionsökologischen Funktionen für das Gebiet der Metropolregion Rhein-Neckar“*; *NACHBARSCHAFTSVERBAND HEIDELBERG-MANNHEIM (2002): Klimauntersuchung Nachbarschaftsverband Heidelberg-Mannheim*], stichprobenartiger ortsspezifischer Messungen und meso- / mikroskaliger Modellstudien die klimaökologischen Positiv- und Negativeffekte des Ist- und Plan-Zustandes bilanziert und bewertet sowie weitere Möglichkeiten zur Optimierung der lokalen Situation bei Realisierung der vorgesehenen Bebauung aufgezeigt.

Für die Klimauntersuchung sowie für die Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse in planungsbezogene Bewertungen und Empfehlungen sind dabei folgende Schwerpunkte zu setzen:

- Vertiefende Analyse und Bewertung der ortsspezifischen klimaökologischen Funktionsabläufe unter besonderer Berücksichtigung des Strömungsgeschehens.
- Qualitative und quantitative Bestimmung und Diskussion der klimaökologischen Wechselwirkungen zwischen dem Planungsgebiet und der benachbarten Bebauung sowie der zu erwartenden thermischen / bioklimatischen Veränderungen im Planungsgebiet und in dessen Umfeld mit Hilfe numerischer Modellrechnungen.
- Ggf. Darstellung von Optimierungsmöglichkeiten zur Sicherung bzw. Entwicklung möglichst günstiger strömungsdynamischer, bioklimatischer/thermischer Umgebungsbedingungen.

Die Modellrechnungen zum klimaökologischen Prozessgeschehen werden mit den durch den VDI anerkannten Klimamodellen KLAM_21, MISKAM und ENVI-met (Programmautoren: DEUTSCHER WETTERDIENST, DR. J. EICHHORN und PROF. M. BRUSE, UNIV. MAINZ) durchgeführt. Hiermit werden mögliche klimaökologische Gunst- und Ungunsteffekte des Bestandes sowie der Neuplanung auf das Planungsumfeld analysiert und bewertet.

2 Planungsgebiet und dessen Umfeld

Der ca. 3.5 ha¹ große Planungsgebiet für das Bauprojekt „Wohnen Am Schrankenbuckel“ umfasst das Sportgelände des FV 1918 Brühl e.V. zwischen den Straßenzügen Am Schrankenbuckel im Süden, Römerstraße im Westen, Germaniastraße im Norden und Lortzingstraße im Osten.

Wie der **Abbildung 2** zu entnehmen ist, befindet sich im Süden des Sportgeländes ein Kunstrasenplatz (Höhenlage ca. 95.67 m ü. NN, siehe auch **Abbildung 3**), der im Süden, Westen und Osten von Bäumen/Gehölzen gesäumt ist.

Nördlich davon schließt das Alfred-Körber Stadion mit einem Rasensportplatz und Tartanbahnen an. Das Stadion befindet sich in einer muldenförmigen Lage. Während sich die Sportplatzfläche in einer Höhenlage von ca. 95.27 m ü. NN befindet, liegt die Germaniastraße im Norden ca. 5 m höher (ca. 100.24 m ü. NN). Auch zur Lortzingstraße im Osten und Römerstraße im Westen steigt das Gelände um ca. 5 m bzw. ca. 3 m an.

Im Südwesten des Planungsgebiets befinden sich das Clubhaus sowie asphaltierte Parkierungsflächen.

Die Erschließung des Sportgeländes erfolgt über den Straßenzug Am Schrankenbuckel, der südlich des Sportgeländes einen dammartigen Verlauf zeigt.

Südlich des Planungsgebiets befinden sich das Freibad Brühl mit seinen Grünflächen, die Schiller-Schule mit Sporthalle und Hallenbad sowie der Steffi-Graf-Park. Die Bebauung im Bereich der Römerstraße westlich des Planungsgebiets „Wohnen Am Schrankenbuckel“ wird von 2-geschossigen Wohnhäusern sowie einem 7-geschossigen Wohnhauskomplex geprägt.

Im Bereich der Germaniastraße schließen 2-geschossige Reihenhäuser an das Planungsgebiet an.

Im Osten befinden sich entlang der Lortzing- und Brahmsstraße 2-geschossige Reihen- und Mehrfamilienhäuser.

Die Wohnbebauung ist locker durchgrünt.

¹ Der Geltungsbereich des Bebauungsplangebiets beträgt insgesamt 40.427 m²

3 Untersuchungsmethodik

Zur Beurteilung der kleinklimatischen Situation und zur Erarbeitung klimatisch relevanter Planungsempfehlungen erfolgt zunächst eine Bestandsaufnahme der ortsspezifischen klimaökologischen Funktionsabläufe.

Hierbei wird auf Erkenntnisse aus vorhandenen Klimaanalysen (u.a. *ÖKOPLANA / GEO-NET UMWELTCONSULTING GMBH (2009) „Analyse der Klima- und immissionsökologischen Funktionen für das Gebiet der Metropolregion Rhein-Neckar“*; *NACHBARSCHAFTSVERBAND HEIDELBERG-MANNHEIM (2002): Klimauntersuchung Nachbarschaftsverband Heidelberg-Mannheim*) zurückgegriffen. Ergänzend finden Ergebnisse mesoskaliger Kaltluftströmungssimulationen sowie stichprobenartiger Messungen Eingang in die Analyse.

In weiteren Untersuchungsschritten werden durch eine Gegenüberstellung von Ist- und Plan-Zustand die Auswirkungen der geplanten Bebauung „Wohnen Am Schrankenbuckel“ auf die lokalen Kaltluftbewegungen, die ortsspezifische Belüftungssituation und die thermischen Umgebungsbedingungen untersucht.

Die Modellsimulationen erfolgen mit den Modellen KLAM_21, Vers. 2.012 (Kaltluftabflussmodell - Modellentwickler: DEUTSCHER WETTERDIENST)², MISKAM (Strömungsdynamik – Modellentwickler: DR. JOACHIM EICHHORN UNIV. MAINZ) und ENVI-Met (Modellentwickler: PROF. DR. M. BRUSE UNIV. MAINZ)³.

Alle Modelle entsprechen dem Stand der Technik, sind langjährig geprüft und von der VDI anerkannt.

Die Modellrechnungen zu den lokalen nächtlichen Kaltluftbewegungen für den Ist-Zustand (stabile Luftschichtung) erfolgen mit dem 2-dimensionalen Kaltluftströmungsmodell KLAM_21. Das Modell berechnet auf Grundlage eines digitalen Geländemodells und der Flächennutzung die nächtliche Dynamik von Kaltluftbewegungen.

² **DEUTSCHER WETTERDIENST (2005):** Das Kaltluftabflussmodell KLAM_21. Berichte des Deutschen Wetterdienstes Nr. 277. Offenbach a. M.

³ **GIESE-EICHHORN (2009/2016):** Handbuch zum prognostischen Strömungsmodell MISKAM. Warkernheim.
Das Rechenmodell MISKAM ist ein dreidimensionales, nichthydrostatisches Strömungsmodell, das laut eines Forschungsberichtes des Landes Baden-Württemberg die Charakteristika der Strömungs- und Konzentrationsverteilung sehr gut wiedergibt.

BRUSE, M. (2002/2019): ENVI-met - Mikroskaliges Klimamodell. Bochum.

Laut DWD (2005) hat sich das Modell in einer Vielzahl von Klimagutachten bewährt. KLAM_21 simuliert u.a. die zeitliche Entwicklung von Kaltluftfließgeschwindigkeiten, Kaltluftfließrichtungen, Kaltluftmächtigkeiten und Kaltluftvolumenströmen. Diese, ebenso wie die Reibungskoeffizienten, werden über die Art der Landnutzung gesteuert.

Es werden neun Landnutzungsklassen berücksichtigt: Dichte Bebauung, lockere Bebauung, gewerbliche Nutzungen/Sporthallen, versiegelte Flächen, unversiegelte Freiflächen, Wiesen, Gehölzflächen/Wald, Hauptverkehrsachsen, Wasser.

Da KLAM_21 als ein zweidimensionales Modell nur eine einzige Kaltluftschicht kennt, wird die Temperaturänderung mit der Höhe innerhalb dieser Schicht durch ein universelles Temperaturprofil beschrieben, das auf Kenntnissen aus empirischen Studien beruht und auf die jeweilige Situation (Kälteinhalt und Dicke der Kaltluft) an den Punkten im Rechengitter angewandt wird.

Weitere Details können der nachfolgenden Internetseite entnommen werden:

<https://www.dwd.de/>

Da die Kaltluftströmungsberechnungen auf einem 10 m – Raster basieren, wird der Plan-Zustand, bei dem zur klimaökologischen Bewertung eine feinere Auflösung erforderlich ist, mit dem Modell MISKAM simuliert, wobei die meteorologischen Eingangsdaten den KLAM-Berechnungen für den Ist-Zustand entnommen werden.

Die Simulation der örtlichen Belüftungsverhältnisse erfolgt ebenfalls mit dem 3-dimensionalen prognostischen Strömungsmodell MISKAM. Hierbei werden die Bau- und Flächennutzungsstrukturen in einem Gitter abgebildet (horizontal 2 m x 2 m, vertikal nicht-äquidistant 0.5 - 8 m). Vegetationsflächen werden über ihre Wuchshöhe, Blattflächendichte und Bedeckungsgrad definiert. Der Bedeckungsgrad wird mit 50 – 60% angesetzt.

Weitere Informationen finden sich in:

<https://docplayer.org/73084289-Miskam-giese-eichhorn-umweltmeteorologische-software-handbuch-zu-version-6-im-auftrag-von-am-spielplatz-wackernheim-tel.html>

Die thermische Situation ist ein Ergebnis aus dem vielfältigen Zusammenspiel verschiedener Flächennutzungs- und Klimaparameter. Die Klimaparameter (z.B. Feuchtigkeit, Windgeschwindigkeit, Lufttemperatur) reagieren sensibel auf Veränderungen der Flächennutzungsstrukturen. Angesichts der sehr unterschiedlichen Prozesse hat es sich als sinnvoll herausgestellt, numerische Methoden zu benutzen, um deren Einflüsse zu prognostizieren.

ENVI-met ist ein Mikroklimamodell, das auf Grundlage der numerischen Strömungsdynamik die Wechselwirkung zwischen Gebäuden, Vegetation, natürlichen und künstlichen Oberflächen in einer virtuellen Umgebung simuliert.

Dabei werden die wichtigsten atmosphärischen Prozesse nachgebildet. Die mathematischen Berechnungen beruhen nach BRUSE (1999) auf den Gesetzen der Strömungs- (Windfeld) und Thermodynamik (Temperaturberechnungen) sowie der allgemeinen Atmosphärenphysik (z.B. Turbulenzprognose). Die Bebauung wird durch einfache Basiselemente (Würfel in ENVI-met: Grid) nachgebaut / modelliert (3 m x 3 m in der Horizontalen, 0.5 - 2 m nicht-äquidistant in der Vertikalen). Alle Strukturen (z.B. Vegetation, Gebäude) werden in rechteckige Modellquader eingebettet.

Numerisch werden diese Modellquader von der Sonne beschienen und vom Wind umströmt und deren Wechselwirkungen mit den Oberflächen und Strukturen simuliert (BRUSE 2003, S. 66).

<https://www.envi-met.com>

Die erforderlichen Geländehöhen wurden vom Auftraggeber und dem LANDESAMT FÜR GEOINFORMATION UND LANDENTWICKLUNG BADEN-WÜRTTEMBERG (DGM_10) bereitgestellt.

Die Flächennutzung und Gebäudehöhen (Bestand/Planung) wurden ebenfalls vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt bzw. vor Ort kartiert.

Abschließend erfolgt auf Grundlage der klimaökologischen Analysen eine Bewertung.

4 Klimaökologische Analyse des Ist-Zustandes

Die Berücksichtigung des Siedlungs- bzw. Stadtklimas in der Bauleitplanung erfordert eine detaillierte Kenntnis der Wechselwirkungsprozesse zwischen der Flächennutzung und der Atmosphäre. Erst hierdurch können lokale Potenziale zur Verbesserung der thermischen Umgebungsbedingungen erkannt, gesichert und gestärkt werden.

Laut VDI-Richtlinie 3785, Blatt 1 (2008) soll die planungsbezogene Stadtklimatologie dazu beitragen

- den Grad der städtischen Wärmeinsel als Indiz für den thermischen Komfort/Diskomfort zu minimieren,
- die städtische Belüftung zu sichern und ggf. zu optimieren,
- die Barrierewirkungen auf den bodennahen Luftaustausch zu erkennen und ggf. zu beseitigen bzw. zu minimieren,
- die Frisch- und Kaltluftentstehungsgebiete zu sichern und ggf. zu optimieren.

4.1 Allgemeine klimatische Bedingungen im Raum Brühl und die Folgen des Klimawandels

Das Gemeindegebiet von Brühl befindet sich nach der Systematik von KÖPPEN (BLÜTHGEN, J. 1966) in der warmgemäßigten Klimazone, die im Oberrheingraben bei Mannheim durch eine hohe Anzahl an Sommertagen (Temperaturmaximum mindestens 25°C → durchschnittlich 61 Tage im Jahr/Zeitraum 1981 - 2010) und eine geringe Anzahl an Frosttagen (67 Tage im Jahr), d. h. der Tage, an denen das Temperaturminimum unter 0°C liegt, charakterisiert ist. Die Jahresmitteltemperatur beträgt ca. 11°C. Der wärmste Monat ist der Juli mit einer durchschnittlichen Lufttemperatur von ca. 20°C.

Die mittlere Anzahl der Tage mit Wärmebelastung⁴ liegt bei 35.1 – 37.5 und somit an der Spitze von Baden-Württemberg.

⁴ LUBW (2006): Zur Charakterisierung von unterschiedlichen Landschaften nach der Stärke der biometeorologischen Anforderungen an die Thermoregulation wird die Häufigkeit des Auftretens von Wärmebelastung tagsüber trotz jeweils angepasster Bekleidung benutzt.

Innerhalb der Gemarkung von Brühl kommt es durch die differenzierte Flächennutzung vor allem an windschwachen Strahlungstagen zu deutlichen Lufttemperaturgegensätzen.

Die sommerliche Wärmebelastung wird in Brühl infolge des globalen Klimawandels weiter ansteigen. Für den Raum Mannheim wird bezüglich der Monatsmittelwerte im Winter eine Erwärmung um etwa 1.9 bis 2.5 K und für die Sommermonate eine Erwärmung um etwa 1.7 bis 2.1 K prognostiziert.

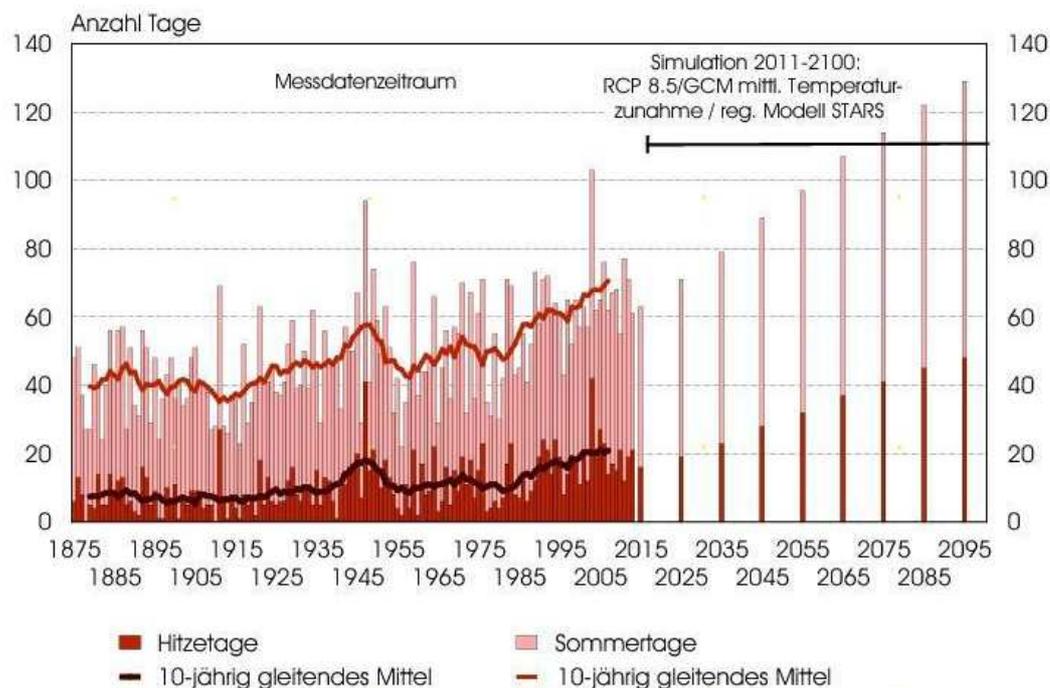
Bezogen auf den Freilandstandort der DWD-Wetterstation Mannheim-Vogelstang liegen für die lufttemperaturabhängigen Kenngröße *Sommertag* und *heißer Tag* aufbereitete Ergebnisse aus STARS für die Projektionszeiträume 2011 – 2100 sowie rückblickende Trendverläufe aus den langjährigen Messdaten im Zeitraum 1875 – 2010 vor (LÄHNE 2014).

Hinsichtlich der Anzahl der Sommertage und der heißen Tage (**Grafik 1**) zeigt der vergangene langfristige Trendverlauf zunächst bis Anfang des 20. Jahrhunderts ein relativ gleichbleibendes Niveau (im Mittel ca. 40 Sommer- bzw. ca. 8 heiße Tage) und ab den 1920er Jahren unter Schwankungen (mit Peak in den späten 1940er Jahren) eine sich seit den 1980er Jahren beschleunigende Häufigkeitszunahme. Im letzten betrachteten Dezennium (2004 - 2013) wurden im Mittel jährlich bereits ca. 70 Sommertage und ca. 21 heiße Tage registriert.

Einschränkend gilt an dieser Stelle darauf hinzuweisen, dass die Messreihe von Inhomogenitäten sowohl durch Änderungen der Messtechnik (Fensterhütte – Englische Hütte – AMDA) wie auch der Stationsstandorte geprägt ist⁵.

In Fortsetzung des jüngeren Trendverlaufs nehmen die Simulationen bis 2100 eine weitere signifikante Zunahme der Sommertage und heißen Tage an, wobei die Abschätzungen für die nähere Zukunft zunächst noch einen relativ konservativen Verlauf simulieren (2021 – 2030 im Mittel jährlich 19 heiße Tage und 70 Sommertage). Im Dezennium 2041 – 2050 gehen die Projektionen bereits von einer mittleren jährlichen Häufigkeit von ca. 84 - 94 Sommertagen und ca. 24 - 29 heißen Tagen aus. Dies entspricht der Wärmebelastungssituation im heißesten Sommer des 20. Jahrhunderts (1947).

⁵ Insbesondere die bis Anfang des 20. Jahrhunderts übliche Standardaufstellung „Fensterhütte“ an der Nordseite der Stationsgebäude bedingt an Strahlungstagen signifikant niedrigere Tagesmaxima und dementsprechend geringe Häufigkeiten der klimatischen Kenngröße.



Datengrundlage: teilhomogenisierte Reihe aus Wetterstationen Mannheim/Limburgerhof/Heidelberg-Grenzhof (DWD / Löhne)
KlimafolgenOnline - <http://klimafolgenonline.com> (Stand 09.09.2014)

Grafik 1: Trendverlauf (1875 - 2010) und Zukunftsszenario (2011 - 2100) der Anzahl der Sommer- und Hitzetage an der Wetterstation Mannheim. Aus: ÖKOPLANA / GEO-NET UMWELT-CONSULTING (2015)

Im Jahr 2018 wurden an der DWD Station Mannheim-Vogelstang bereits 109 Sommertage und 42 heiße Tage registriert. Ein derart warmer Sommer wie dieser wird somit zukünftig die Regel sein.

Die Gemeinde Brühl hat die Problematik des Klimawandels erkannt und versucht mit Hilfe des vorliegenden Klimagutachtens die erforderlichen Weichen für ein möglichst klimaökologisch verträgliches Wohnquartier zu stellen.

4.2 Ortsspezifisches Strömungsgeschehen und Ventilation

Im Planungsgebiet und in dessen Umfeld herrschen im Allgemeinen großwetterlagenbedingt südsüdöstliche bis südsüdwestliche und nordnordwestliche bis nordöstliche Windrichtungen vor. Die mittlere Windgeschwindigkeit beträgt in Brühl in freien Lagen ca. 2.5 m/s (10 m ü.G.) - Datenzeitraum 2001 – 2010. Innerhalb der Bebauung sind mittlere Windgeschwindigkeiten von ca. 1.1 – 2.1 m/s zu erwarten (**Abbildungen 4** und **5.1**).

Die Windrosen zeigen zudem, dass Windgeschwindigkeiten über 3.0 m/s, die eine intensive Durchlüftung bebauter Bereiche ermöglichen, vorwiegend mit Winden aus südsüdöstlichen bis südwestlichen Richtungssektoren verknüpft sind.

An Strahlungstagen (ca. 25% der Tage im Jahr, **Abbildung 5.2**), die siedlungsklimatisch von besonderer Relevanz sind, ist die mittlere Windgeschwindigkeit um ca. 30% reduziert. Die Barrierewirkung von Strömungshindernisse in Form von Hochbau und dichten Gehölzriegeln kommt verstärkt zum Tragen.

Während an Strahlungstagen am Tag im Bereich des Planungsgebiets noch häufig nördliche Richtungskomponenten vorherrschen, dreht der Wind nach Sonnenuntergang vermehrt zu südlichen bis südwestlichen Richtungen.

Ergebnisse mesoskaliger Kaltluftströmungssimulationen, die mit dem Modell KLAM_21 auf Grundlage eines 10 m – Rasters durchgeführt wurden, zeigen (**Abbildung 6**), dass in windschwachen Strahlungsnächten aus dem südwestlichen Freiraumgefüge über den Steffi-Graf-Park und das Schwimmbadgelände mit flurwindartigen Lokalströmungen Kalt- und Frischluft herangeführt wird. Die Strömungsgeschwindigkeit beträgt dabei in Bodennähe (2 m ü.G.) weniger als 0.5 m/s. Im Bereich des Planungsgebiets (Sportplatzgelände) kommt die Strömung im bodennahen Luftraum (ca. 0 – 4 m ü.G.) durch die muldenartige Lage vermehrt zum Erliegen, so dass sich im Laufe der Nacht ein ortsfester Kaltluftsee ausbildet, in welchem die nächtliche Abkühlung besonders intensiv ist. Die Kaltluft ist allerdings mächtig genug, um auch noch im Bereich der höher gelegenen Germaniastraße wirksam zu werden. Dies konnte im Rahmen stichprobenartiger Klimamessungen am 22.08.2019 mit Hilfe von Rauchschwadenbeobachtungen und Windgeschwindigkeitsmessungen mittels eines hochempfindlichen Hitzdrahtanemometers belegt werden (siehe **Abbildung 7**).

Zur Sicherung der kaltluftspezifischen Belüftungseffekte im Planungsgebiet und in dessen Umfeld kommen somit bebauungsinternen Ventilationsachsen in Form von Gebäudeabstandsflächen, strömungsparallelen Straßenzügen und größeren Freiräumen besondere lokalklimatische Bedeutung zu.

4.3 Thermische Situation bei klimaökologisch relevanten Strahlungswetterlagen

Das Verhalten der Lufttemperatur in Abhängigkeit von Geländere relief, Flächennutzung und Strömungsgeschehen ist ein Indiz für die Funktion des horizontalen und vertikalen Luftaustausches.

Zur Beurteilung der thermischen Umgebungsbedingungen kann auf Ergebnisse von IR-Thermalbildaufnahmen, mesoskaligen Lufttemperatursimulationen und Lufttemperaturmessfahrten zurückgegriffen werden.

Bei klimaökologisch relevanten Strahlungswetterlagen (ca. 25% der Tage im Jahr) ergeben sich im Untersuchungsraum auffallende kleinräumige Differenzierungen. Typisch für diese Situationen ist, dass sich in der Bebauung durch die Aufheizung von Baukörpern und befestigten Flächen starke Erwärmung und Wärmestaus (→ Tendenz zu bioklimatischen Belastungen) einstellen. Nach Sonnenuntergang kommt es innerhalb der Bebauung zu verzögerter Abkühlung, im Freiland hingegen zu intensiver Kaltluftproduktion vegetationsbedeckter Flächen und zur Ausbildung stabiler Luftschichtung (Bodeninversionen).

4.3.1 Ergebnisse der IR-Thermalkartierung Mannheim von 2009 und von kleinräumigen Oberflächentemperaturmessungen am 22.08.2019

Abbildung 8: Am 31.08.2009 fanden im Rahmen der Stadtklimaanalyse Mannheim 2010 (ÖKOPLANA 2010) während einer spätsommerlichen Strahlungsnacht IR-Thermalscannerbefliegungen statt (STEINICKE UND STREIFENEDER 2009), die auch das Planungsgebiet miterfassten. Dabei wurden die Oberflächentemperaturen nicht direkt, sondern über die von ihr ausgehenden langwelligen Strahlung gemessen. Die Temperatur der einzelnen Farbflächen der Thermalbilder ist damit nicht mit der Lufttemperatur in 2 m Höhe gleichzusetzen.

Die Befliegung wurde in den Nachtstunden durchgeführt, weil dann die Siedlungen gegenüber dem Freiland am stärksten überwärmt und die Lokalströmungen messbar sind. Nachts sind weder Schlagschatten noch Reflexion der Sonnenstrahlung zu berücksichtigen.

Die Interpretation der IR-Thermalbilder erlaubt es, bestimmten Raumeinheiten (z.B. Gewerbegebieten, Wohngebieten, Vegetationsflächen) ein thermisches Verhalten zuzuordnen, um Aussagen über deren Klimafunktion zu treffen.

Zur Erklärung des thermischen Verhaltens der Oberflächenelemente (z.B. unbewachsener Boden, befestigte Flächen) sind folgende Faktoren von Bedeutung:

- Höhe, Dichte und Zusammensetzung der Pflanzendecke oder Gebäude
- Strahlungshaushalt (je nach Tages- und Jahreszeit) und Lufttemperatur
- Windverhältnisse
- Wärmehaushalt des Bodens
- Wasserhaushalt des Bodens

Im Allgemeinen sind Temperaturanomalien (vom Mittel abweichendes Temperaturverhalten) an bestimmte Flächennutzungsstrukturen gebunden, die mit ihrem spezifischen thermischen Verhalten den Wärmegehalt der unteren Luftmassen ändern. Eine entscheidende Bedeutung kommt auch der Größe einer Fläche mit einem ihr eigenen Oberflächentemperaturverhalten zu. Ausgedehnte Areale mit hohen Oberflächentemperaturen besitzen einen entsprechend stärkeren Einfluss auf das Lokalklima als punkthafte "Wärmequellen".

Die Oberflächenstrahlungstemperatur wird nach Sonnenuntergang dadurch bestimmt, wie viel Tageswärme im Boden oder im Pflanzenbestand gespeichert ist und wie schnell sie an die Oberfläche geleitet wird, um die ausgestrahlte Energie zu ersetzen. Während beispielsweise in einer Straßendecke die in tieferen Schichten gespeicherte Wärme rasch an die Oberfläche nachgeleitet wird, wirkt ein Wiesen-/Rasenteppich isolierend. Die stark ausstrahlenden Grashalme kühlen die darüber lagernde Luft besonders rasch ab, so dass auf solchen Flächen nachts deutlich niedrigere Temperaturen erreicht werden. Sie stellen also eine günstige Nutzungsform für Flächen mit der Klimafunktion "Kaltluftbildung" dar.

Während der Abendbefliegung (20:00 – 21:00 Uhr) werden die niedrigsten Oberflächenstrahlungstemperaturen (ca. 16.0 – 18.5 – Dunkelgrün) großflächig über den Rasen- und Kunstrasenflächen des Sportgeländes sowie über den Rasenflächen der Hausgärten und des Freibades gemessen. Die Kaltluftproduktionsrate von Rasen/Wiesen liegt bei ca. 10 - 12 m³/m²-Std. Ein weiterer klimaökologische Positiveffekt einer derartigen Flächennutzung ist die Windoffenheit. Sie ermöglicht eine Intensivierung der bodennahen Belüftung.

Gehölzüberstellte Flächen, z.B. am Rand des Alfred-Körper-Stadions, weisen Oberflächenstrahlungstemperaturen von ca. 19.3 – 21.0 °C auf. Die höheren Temperaturwerte sind darauf zurückzuführen, dass bei der IR-Messung das Blätterdach abgetastet wird. Die im Blattraum abgekühlten Luftmassen sinken in den Stammraum ab und werden durch wärmere Luft aus höheren Luftschichten ersetzt. Daher bleibt das Blätterdach vergleichsweise warm, während der kühle Stammraum bei der IR-Thermalbildbefliegung verborgen bleibt. Im Allgemeinen ergibt sich in den flächenhaft gehölzüberstellten Bereichen folgendes thermisches Bild. Tagsüber stellt sich im Bestand infolge Absorption der Sonnenstrahlung im oberen Kronenraum / Blätterdach sowie auf Grund der Beschattung des Stammraumes ein vertikaler Temperatureaufbau ein. Die aktive Austauschfläche liegt im Kronenraum / Blätterdach, der Stammraum ist kühler und feuchter als die Umgebung, so dass sich zwischen baumüberstellten kühlen Flächen und benachbarten besonnten und damit wärmeren Freiräumen (Rasenflächen) und Bebauung Mikrozirkulationen einstellen (positiv zu wertender Luftaustausch). Nach Sonnenuntergang, wenn die freien vegetationsbedeckten Oberflächen rasch abkühlen, erfolgt die Abkühlung im Stammraum / Blätterdach vergleichsweise langsam, da die Ausstrahlung durch das Kronendach reduziert ist. Die Kaltluftproduktionsrate von Gehölzflächen kann durchschnittlich mit ca. 9 m³/m²-Std. angegeben werden.

Größere asphaltierte / betonierte Flächen (Straßenzüge, Stellplatzflächen) zeigen sich überwärmt. So weist der asphaltierte Parkplatz vor dem Clubhaus des FV 1918 Brühl e.V. Oberflächenstrahlungstemperaturen von über 21.0°C auf.

Insgesamt bildet das Planungsgebiet mit den Sportflächen bzgl. der Oberflächenstrahlungstemperaturen vor allem in den Nachtstunden eine auffallende Temperatursenke im Ortsgefüge von Brühl.

Zur Vertiefung der o.a. ortsspezifischen Verhältnisse bei den Oberflächenstrahlungstemperaturen wurden am 22.08.2019 an einem warmen Sommertag (T_{\max} ca. 28.4°C) zusätzlich Messungen durchgeführt.

Mit Hilfe einer IR-Kamera (Fa. FLIR) und einem Messgerät zur Erfassung der Oberflächenstrahlungstemperaturen (Raynger PM der Fa. Raytek) –siehe **Foto 1**– wurden die thermischen Eigenschaften der unterschiedlichen Oberflächenarten im Planungsgebiet analysiert.



Foto 1: Fotografische Dokumentation – Messtechnik zur Erfassung der Oberflächenstrahlungstemperaturen (Foto: ÖKOPLANA)

Wie **Abbildung 9** zeigt, heizen sich am Tag die Kunstrasenflächen, die Tartanbahn sowie schwarze Asphaltflächen sehr stark auf und tragen somit zu hoher Wärmebelastung bei. So werden bspw. gegen 13:00 Uhr bei Lufttemperaturen von ca. 27°C über den Kunstrasenflächen auf dem Sportplatzgelände Oberflächenstrahlungstemperaturen bis knapp 55°C registriert.

Auch Asphalt und die Tartanbahn zeigen mit Werten von ca. 46°C und 47°C extrem hohe Werte.

Etwas weniger intensiv ist die Aufheizung von grauen Beton-/Pflasterbelägen, da sie eine höhere Albedo aufweisen.

Rasenflächen zeigen bei Lufttemperaturen im besonnten Bereich Oberflächenstrahlungstemperaturen von nur ca. 32°C. Die thermische Gunstfunktion von Rasen- / Wiesenflächen wird offenbar.

Mit flacher stehender Sonne am späten Nachmittag setzt bei allen Oberflächenarten die Abkühlung ein und bei Rasenflächen sinkt die Oberflächenstrahlungstemperatur bereits gegen 17:00 Uhr unter den Lufttemperaturwert.

In den Nachtstunden trägt die Rasenfläche aber auch die Kunstrasenfläche zur Abkühlung bei, da deren Temperaturen deutlich unter die Lufttemperaturwerte sinken. Die Tartanbahn verhält sich thermisch neutral. Ihre Oberflächenstrahlungstemperatur nimmt ca. die Werte der Lufttemperatur an.

Thermische Ungunseffekte gehen aber weiterhin von Betonflächen/Pflasterbelägen und vor allem von schwarzen Asphaltflächen aus, deren Oberflächenstrahlungstemperaturen gegen 23:00 Uhr noch um ca. 5 K über der Lufttemperatur liegen.

Auch die IR-Aufnahme (**Abbildung 10**) dokumentiert die thermische Gunstwirkung des Rasensportplatzes im Vergleich zur Umgebungsbebauung. Gegenüber der Fassade des 7-geschossigen Wohnhauses in der Römerstraße zeigt der Rasenplatz um bis ca. 15 K niedrigere Temperaturen. Dabei ist allerdings, anzumerken dass diese Temperaturdifferenz einen Maximalwert darstellt, da die Rasenfläche während der Messung am 22.08.2019 beregnet wurde und somit eine erhöhte Verdunstungsleistung vorliegt.

Die Auswertung der Oberflächenstrahlungstemperaturen unterschiedlicher Oberflächenbeläge verdeutlicht, dass sich durch die Minimierung versiegelter Oberflächen in bebauten Lagen die sommerliche Wärmebelastung erheblich verringern lässt.

4.3.2 Verteilung der Lufttemperatur im Planungsgebiet und in dessen Umfeld – Ergebnisse von Modellrechnungen und mobiler Messungen von 2019

Zur Beurteilung der stadtklimatischen Ausprägung des Planungsgebietes „Wohnen Am Schrankenbuckel“ werden nachfolgend zunächst die Ergebnisse mesoskaliger Modellrechnungen zum großräumigen Lufttemperaturfeld analysiert. Die Berechnungen wurden im Rahmen eines Klimagutachtens für den VERBAND REGION RHEIN-NECKAR durchgeführt (GEO-NET UMWELTCONSULTING GMBH / ÖKOPLANA 2009).

Die Modellrechnungen mit dem Klimamodell FITNAH basieren auf einer Rastergröße von 250 x 250 m und bilden dementsprechend ein großräumiges Verteilungsbild der Lufttemperatur in einer windschwachen sommerlichen Strahlungsnacht kurz vor Sonnenaufgang (04:00 Uhr ~ Zeitpunkt der stärksten Abkühlung).

Wie **Abbildung 11** dokumentiert, zeigen sich in den Wohngebieten rund um das Planungsgebiet „Wohnen Am Schrankenbuckel“ Lufttemperaturen von ca. 17.6 – 18.5°C. Im Bereich der Gewerbebegebietsflächen nördlich der Industriestraße, die zu den wärmsten Bereichen in Brühl gehören, sind Lufttemperaturen von 19.6 – 20.5°C zu verzeichnen.

In der Mannheimer Innenstadt (Quadrate) werden zum gleichen Zeitpunkt Lufttemperaturen von ca. 21.1 – 21.5°C simuliert. Damit stellen sich in den Wohnbauflächen des Planungsumfeldes um ca. 2.6 - 3.9 K niedrigere Lufttemperaturen ein. Das Lufttemperaturniveau in Brühl bewegt sich somit deutlich unter dem der Mannheimer Innenstadt, das als hoch wärmebelastet einzustufen ist.

Zur detaillierten Erfassung der Lufttemperaturverteilung in siedlungsklimatisch besonders relevanten sommerlichen Strahlungsnächten wurden am 22.08.2019 im Gemeindegebiet von Brühl Lufttemperaturmessfahrten durchgeführt. Die Aufzeichnung der Lufttemperatur im Planungsgebiet sowie im Steffi-Graf-Park erfolgte mittels Lufttemperaturbegehungen.

Bei den mobilen Messungen wird das Messfahrzeug mit einem elektrisch ventilier-ten Psychrometer (THERM 2286-2, Fa. Ahlborn) ausgestattet (siehe **Abbildung 12**). Das rasch auf Temperaturänderungen reagierende NTC-Widerstandsthermometer besitzt eine Auflösung von 0.01 °C. Die Messhöhe beträgt 2.0 m ü.G. Bei einer mittleren Fahrgeschwindigkeit von ca. 25 km/h wird ca. alle 10 m ein Messwert erhoben. Per Tonaufzeichnung wird zeitgleich die Örtlichkeit festgehalten, um auffallende flächennutzungsbedingte Effekte nachvollziehen zu können.

Die Messungen erfolgten in den Zeiträumen 21:00 – 22:15 Uhr (korrigiert auf 21:30 Uhr) und 22:30 Uhr – 23:45 Uhr (korrigiert auf 23:00 Uhr) linienhaft auf einer vorgegebenen Fahrtroute. Am Ausgangspunkt der Messfahrten Am Schrankenbuckel Messfahrten (auf Höhe des Clubhauses) wurde ein stationäres Messgerät eingerichtet, das während der Messfahrten die Lufttemperatur kontinuierlich aufzeichnete. Diese stationären Messwerte wurden wie folgt zur zeitlichen Interpolation der mobilen Messwerte auf einen Zeitpunkt verwendet. In einem ersten Schritt wurden die während der Messfahrten am stationären Messstandort erfassten Temperaturmodifikationen ausgewertet. Hieraus resultieren Verlaufskurven der Lufttemperatur, die den zeitcodierten Werten der Messfahrt zugeordnet wurden. Diese Methodik hat als Ergebnis zur Folge, dass alle Messwerte der Lufttemperaturmessungen auf einen Zeitpunkt korrigiert werden. Zuvor fand eine Filterung verkehrsbedingter Standzeiten aus den Messdaten statt.

Die Messfahrten wurden in der 1. Nachthälfte durchgeführt, da zu diesem Zeitraum an warmen Sommertagen die Wohnungen vor dem Zu-Bett-Gehen nochmal durchgelüftet werden und somit eine rasche abendliche Abkühlung bioklimatisch wünschenswert ist.

Wie die Tagesgänge der Lufttemperatur und des Windes für ausgewählte Stationsstandorte in Mannheim⁶ (**Abbildung 13**) belegen, herrschen am 22.08.2019 ideale Verhältnisse für die siedlungsklimatischen Untersuchungen vor. Nach intensiver Erwärmung am Tag ($T_{\max} = 27.2^{\circ}\text{C}$) setzt bereits vor Sonnenuntergang nach 17:30 Uhr die Abkühlung ein und ist in der 1. Nachthälfte am stärksten. Der Wind ist extrem schwach ($< 1.0 \text{ m/s}$), wodurch sich flächennutzungs- und lagespezifische Lufttemperaturunterschiede deutlich ausprägen können.

Abbildung 14: Gegen 21:30 Uhr (Sonnenuntergang 19:31 Uhr) werden in Brühl max. Lufttemperaturunterschiede von ca. 5.5 K gemessen. Intensive Abkühlung ist im Freiraumgefüge südwestlich der Rohrhofer Straße zu bestimmen. Dort zeigen sich Lufttemperaturen von ca. 15.5 – 17.0°C. Demgegenüber ist die Abkühlung entlang der Mannheimer Landstraße durch den hohen Anteil versiegelter Flächen deutlich reduziert. Dort werden gegen 21:30 Uhr noch Lufttemperaturen bis ca. 21.0°C gemessen. Auch die Wiesen und Landwirtschaftsflächen östlich der Mannheimer Straße bilden einen siedlungsklimatisch bedeutsamen thermischen Gunst-raum (Lufttemperatur unter 17.0°C).

⁶ Die stationären Messungen erfolgten durch ÖKOPLANA im Rahmen einer Stadtklimaanalyse für die Stadt Mannheim.

Auffallend kühl (= thermischer Positiveffekt) stellen sich auch der Steffi-Graf-Park, die Grünflächen des Freischwimmbades sowie das Planungsgebiet dar. Die Grünflächen bilden innerhalb der Ortsgefüges von Brühl klimatische Gunsträume, die sich auch in der Umgebungsbebauung thermisch positiv bemerkbar machen.

Es ist anzumerken, dass während der Messungen die Sportplatzanlagen mittels Beregnungsanlagen bewässert wurden. Die dadurch entstehende Verdunstungskälte sorgt für zusätzliche Abkühlung. Ohne Beregnung würden sich die örtlichen Lufttemperaturen auf dem wärmeren Niveau der Rasenflächen im Freischwimmbad Brühl (ca. + 1.5 bis +2.0 K) bewegen.

Im Planungsgebiet mindert die muldenartige Lage den bodennahen Luftaustausch mit den benachbarten Wohngebieten, so dass bereits in der Germaniastraße, Römerstraße und Lortzingstraße gegenüber dem Rasenplatz des Alfred-Körper-Stadions um ca. 2.5 K höhere Lufttemperaturen zu erfassen sind.

Abbildung 15: Gegen 23:00 Uhr sind im Untersuchungsgebiet max. Lufttemperaturdifferenzen von ca. 5.0 K zu registrieren. Niedrige Lufttemperaturen zeigen sich wiederum im Freiland südwestlich der Rohrhofer Straße und östlich der Mannheimer Straße sowie im Steffi-Graf-Park, auf dem Freischwimmbadgelände und im Planungsgebiet. Dort sind Lufttemperaturen unter 17.0°C zu erfassen.

In der zum Planungsgebiet benachbarten Wohnbebauung sind Lufttemperaturen von ca. 16.5 – 18.0°C zu messen. Sie beschreiben das typische ortsspezifische Klimaniveau in Brühl. Zum Vergleich: In den Quadraten von Mannheim werden zeitgleich um ca. 2.0 – 3.5 K höhere Lufttemperaturen registriert (siehe **Abbildung 13**).

Die Ergebnisse der durchgeführten Lufttemperaturmessfahrten verdeutlichen somit, dass das Planungsgebiet „Wohnen Am Schrankenbuckel“ derzeit innerhalb der Ortslage Brühl als klimaökologischer Gunstraum fungiert. Die in den Nachtstunden örtlich gebildete und zusätzlich über das Freiraumgefüge südwestlich der Rohrhofer Straße herangeführte Kaltluft bildet über den Sportplatzflächen in windchwachen Strahlungsnächten einen nahezu ortsfesten Kaltluftsee. Allein durch Bewegungsimpulse lokaler/regionaler und überregionaler Luftströmungen kann die Kaltluft in die benachbarte Bebauung verlagert werden, wodurch auch dort die nächtliche Abkühlung forciert wird.

4.4 Zusammenfassende Darstellung der klimaökologischen Funktionsabläufe im Planungsgebiet „Wohnen Am Schrankenbuckel“ und in dessen Umfeld

Die Analyse der vorliegenden Klimadaten zum gegenwärtigen Ist-Zustand des Planungsgebiets weist darauf hin, dass sich über dem Planungsareal „Wohnen Am Schrankenbuckel“ und in dessen Umfeld durch die Flächennutzung (Gewerbeflächen, Ortskernbebauung, locker durchgrünte Wohnbebauung, Hauptverkehrsachsen, Parkanlagen, Wiesen und Landwirtschaftsflächen) charakteristische Lokalklimaerscheinungen ausbilden. Dies dokumentiert sich einerseits in der von der Flächennutzung abhängigen Verteilung der Lufttemperatur und andererseits im Strömungsgeschehen des Raumes, das bei klimarelevanten Strahlungswetterlagen nach Sonnenuntergang sowohl durch überregionale und regionale Luftströmungen als auch durch lokale Kaltluftbewegungen (Flurwinde) bestimmt wird.

Im Allgemeinen herrschen im Planungsgebiet und in dessen Umfeld südsüdöstliche bis südsüdwestliche und nordnordwestliche bis nordöstliche Windrichtungen vor. Die mittlere Windgeschwindigkeit beträgt in Brühl in freien Lagen ca. 2.5 m/s (10 m ü.G.). Innerhalb der Bebauung sinkt die mittlere Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Bebauungsdichte auf Werte von ca. 1.1 – 2.1 m/s.

An Strahlungstagen (ca. 25% der Tage im Jahr), die siedlungsklimatisch von besonderer Relevanz sind, ist die mittlere Windgeschwindigkeit um ca. 30% reduziert. Die Barrierewirkung von Strömungshindernisse in Form von Hochbau und dichten Gehölzriegeln kommt verstärkt zum Tragen.

Während an Strahlungstagen am Tag großwetterlagenbedingt häufig nördliche Richtungskomponenten vorherrschen, dreht der Wind nach Sonnenuntergang vermehrt zu südlichen bis südwestlichen Richtungen. Ergebnisse mesoskaliger Kaltluftströmungssimulationen verdeutlichen, dass aus dem Freiraumgefüge südwestlich der Rohrhofer Straße über den Steffi-Graf-Park und das Schwimmbadgelände mit flurwindartigen Lokalströmungen Kalt- und Frischluft herangeführt wird. Die Strömungsgeschwindigkeit beträgt dabei in Bodennähe (2 m ü.G.) weniger als 0.5 m/s.

Im Bereich des Planungsgebiets (Sportplatzgelände) kommt die Strömung im bodennahen Luftraum (ca. 0 – 4 m ü.G.) durch die muldenartige Lage vermehrt zum Erliegen, so dass sich ein ortsfester Kaltluftsee ausbildet, in welchem die nächtliche Abkühlung besonders intensiv ist. Ortsspezifische Messungen, dass die Kaltluft allerdings mächtig genug ist, um auch noch im Bereich der höher gelegenen Germaniastraße in abgeschwächter Intensität wirksam wird.

Zur Sicherung der kaltluftspezifischen Belüftungseffekte im Planungsgebiet und in dessen Umfeld kommen somit bebauungsinternen Ventilationsachsen in Form von Gebäudeabstandsflächen, strömungsparallelen Straßenzügen und größeren Freiräumen besondere lokalklimatische Bedeutung zu.

Die Ergebnisse von Lufttemperaturmessfahrten, die am 22.08.2019 in einer wind-schwachen sommerlichen Strahlungsnacht durchgeführt wurden, dokumentieren die thermische Gunstsituation am Planungsstandort. Gegenüber der benachbarten Wohnbebauung werden über dem Sportplatzgelände (= Planungsgebiet) um ca. 2 – 3 K niedrigere Lufttemperaturen gemessen. Neben der Kaltluftbildung über den Vegetationsflächen führt auch die muldenartige Lage des Geländes zu intensiver Abkühlung. Allein durch Bewegungsimpulse lokaler/regionaler und über-regionaler Luftströmungen kann die Kaltluft in die benachbarte Bebauung verlagert werden, wodurch auch dort die nächtliche Abkühlung forciert wird.

Im Zuge der geplanten Quartiersentwicklung erfolgt eine großflächige Umgestaltung des Planungsgebiets. Aus klimaökologischer Sicht muss es angesichts der Klimawandelfolgen mit erhöhter sommerlicher Wärmebelastung Ziel sein, bei der angestrebten Überbauung des Sportplatzgeländes unter Berücksichtigung des Strömungsgeschehens und dem ortsspezifischen Lufttemperaturgeschehen die Bebauung derart zu gestalten, dass in der benachbarten Wohnbebauung keine gravierende klimatische Zusatzbelastung erfolgt, die über das derzeitige ortsspezifische Niveau hinausgeht. Innerhalb des Planungsgebiets sind zudem Aufenthaltsbereiche zu gestalten, die möglichst auch an heißen Sommertagen Möglichkeiten zur Erholung bieten.

5 Masterplan 01/2019 und Entwicklungsschritte zum aktuellen Planungsentwurf 06/2020

Der Planungsprozess zur Entwicklung des vorliegenden Planungsentwurfs (Stand 06/2020) wurde von einem sogenannten „Runden Tisch“ begleitet, der sich aus Vertretern der Gemeindeverwaltung Brühl, Investoren, Architekten/Landschaftsarchitekten, Fachgutachtern, Vertretern von Interessengruppen und interessierten Bürgern zusammensetzte.

Im Rahmen des 1. Runden Tisches (23.09.2019) wurde der Masterplan „Wohnen Am Schrankenbuckel“ (Stand 01/2019) – **Abbildung 16** - diskutiert.

Der Planentwurf folgt u.a. nachfolgenden Leitgedanken:

- Autofreies Quartier mit dezentralem TG-Konzept
- Differenziertes Wohnangebot
- Vielfältige Architektur
- Attraktive Quartiersmitte
- Freiräume mit vielfältigen Nutzungsangeboten
- Bewegung im Freien (Loop = Lauf- und Spielbahn)
- Diverse Durchwegungen
- Seniorenzentrum

Der Planungsentwurf sieht im Bereich des heutigen Alfred-Körper-Stadions einen vielfältigen Mix aus 3-geschossigen Reihen-/Doppelhäusern und 3- bis 5-geschossigen (+Staffelgeschoss) Mehrfamilienhäusern vor. Die Höhenversatz zwischen Sportplatzgelände und Germaniastraße im Norden wird über die geplanten Tiefgarage weitgehend ausgeglichen. Die Zufahrt zur Tiefgarage im nördlichen Planungsteilgebiet erfolgt über die Germaniastraße.

Die Erschließung der Wohnhäuser erfolgt über einen Ringweg mit und diverse Durchwegungen.

Im Südwesten des Planungsgebiets ist der Bau eines 3- bis 7-geschossigen Seniorenzentrums geplant, das einen begrünten Innenhof aufweist und im Nordosten an einen großzügigen begrünten Quartiersplatz angrenzt. An der Römerstraße ist eine weitere Tiefgaragenzufahrt angedacht.

Im Bereich des heutigen Kunstrasensportplatzes sollen überwiegend 3-geschossige Doppel- und Mehrfamilienhäuser (+Staffelgeschoss) entstehen. Allein unmittelbar östlich des zentralen Quartiersplatzes ist aus städtebaulichen Gründen ein bis zu 5-geschossiger Hochbau vorgesehen.

Von Seiten der Klimaökologie wurden zu diesem Entwurf erste Planungshinweise formuliert:

- Bei der Planung sind in ausreichender Dimension Belüftungsachsen zu berücksichtigen, die eine vermehrte Tendenz zu Luftstagnation im Planungsgebiet und in dessen Umfeld unterbinden.
- Die Achsen können an Erschließungswege und Gebäudeabstandsflächen geknüpft sein.
- An den Übergängen zur bestehenden Nachbarbebauung ist eine abgestufte Bauhöhe von Vorteil.
- Gezielte Baumpflanzungen entlang von Erschließungswegen und im Bereich von Platzstrukturen reduzieren über ihren Schattenwurf am Tag eine intensive Wärmebelastung.
- Dach- und Fassadenbegrünungen dämpfen die Aufheizung der Gebäudehüllen und verzögern bei Starkregenereignissen den Abfluss.
- Helle Oberflächenbeläge reduzieren am Tag die Aufheizung.
- Wasserfontänen können auf öffentlichen Plätzen die klimaökologische Aufenthaltsqualität verbessern.

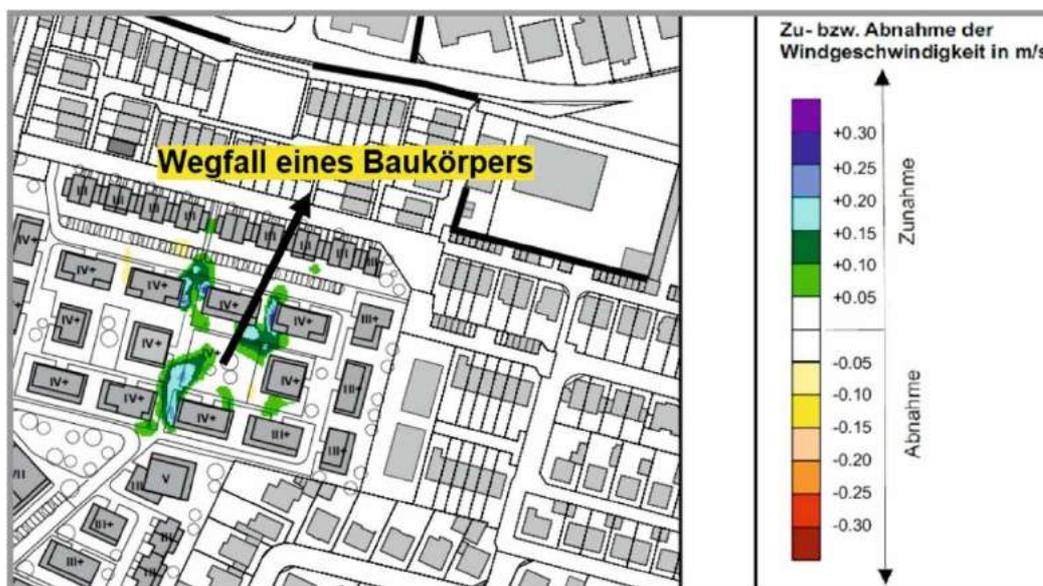
Auf Grundlage der Ergebnisse des 1. Runden Tisches wurde der Masterplan bzw. ein städtebauliches Zwischenkonzept (Stand 09/2019) überarbeitet und als städtebauliches Konzept (Stand 11/2019, **Abbildung 17**) im Rahmen des 2. Runden Tisches (20.11.2019) vorgestellt.

Modifikationen waren u.a.:

- Entfall der TG-Zufahrt an der Germaniastraße
- Verlegung der Zufahrt zu den Besucher-Stellplätzen
- Entfall eines Reihenhauses entlang der Germaniastraße
- Entfall der Zwischenbauten West und Ost zur Erhöhung des Grünflächenanteils und zur Verbesserung der Gebietsdurchlüftung
- Vergrößerte Gebäudeabstände (mindestens 7.50 m)
- Verlegung der TG-Zufahrt des Baufeldes Süd an den Straßenzug Am Schrankenbuckel
- Veränderte Gestaltung des zentralen Quartiersplatzes

Auf Grundlage der Gespräche am Runden Tisch vom 20.11.2019 wurde das städtebauliche Konzept bis zum 3. Runden Tisch am 12.02.2020 weiter fortentwickelt.

Wie **Abbildung 18** zeigt, wurde im Nordteil des Planungsgebietes in zentraler Lage ein 4-geschossiges Mehrfamilienhaus zugunsten eines zusätzlichen Sport- und Spielparks entfernt. Zudem wurden die Gebäudeabstandsflächen nördlich des zentralen Quartiersplatzes verbreitert. Mit den beiden Maßnahmen wird das Ziel verfolgt, die Gebietsdurchlüftung zu intensivieren. Die Effektivität wurde mittels Windfeld- und Lufttemperatursimulationen bestätigt (siehe **Grafik 2**).



Grafik 2: Ergebnisse numerischer Strömungssimulationen. Intensivierung der gebietsinternen Belüftungssituation durch den Wegfall eines 4-geschossigen Wohngebäudes zugunsten einer neuen Freifläche bei häufig vorherrschenden Südwestwinden (Berechnungen durch: ÖKOPLANA)

Das aktuelle Planungskonzept 06/2020 (**Abbildung 19**) zeigt gegenüber dem Planstand 01/2020 weitere klimaökologisch relevante Veränderungen:

- Zurücknahme des Staffelgeschosses auf dem nordwestlichen Gebäudeflügel des Seniorenzentrums zugunsten einer begrünten Dachlandschaft
- Veränderung der Gebäudekubatur des Gebäudes D1 östlich des zentralen Quartiersplatzes
- Verschiebung des Baukörpers B3.4 nach Norden
- Veränderung der Gebäudekubatur des Baukörpers B4.1

Abbildung 20 dokumentiert in Form eines Schnittes die verbleibende Geländestufe zwischen dem Planungsgebiet und der Germaniastraße.

6 Numerische Modellrechnungen zur kleinräumigen Darstellung der strömungsdynamischen und thermischen Verhältnisse im Planungsgebiet und in dessen Umfeld – Planungsentwurf 06/2020

Bei den Strömungssimulationen kommt das allgemein anerkannte mikroskalige, prognostische Rechenmodell MISKAM Vers. 6.3⁷ zur Anwendung.

Bei der Modellierung im Untersuchungsgebiet (Gebietsgröße 500 x 450 m zzgl. Randbereiche) werden die Bau- und Oberflächenstrukturen in einem Gitter abgebildet (Auflösung in der Horizontalen äquidistant 2 m x 2 m, in der Vertikalen nicht-äquidistant 0.5 m – 10.0 m).

Vegetationsflächen werden über ihre Wuchshöhe, Blattflächendichte und den Bedeckungsgrad definiert. Der Bedeckungsgrad wird mit 50 – 60% angesetzt. Mauern/Zäune zur Grundstückseinfriedung finden keine Beachtung.

Die Gebäude- und Geländehöhen wurden vom Auftraggeber und dem LANDESAMT FÜR GEOINFORMATION UND LANDENTWICKLUNG BADEN-WÜRTTEMBERG bereitgestellt bzw. vor Ort kartiert.

Die Modellrechnungen für den Ist- und Plan-Zustand (Planungsstand 06/2020) zur Bestimmung der bodennahen Belüftung werden für Tag- und Nachtsituationen für besonders relevante Strömungsrichtungen durchgeführt.

Als Eingangsgeschwindigkeit wird für eine windschwache Tagsituation ein Wert von 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G. vorgegeben, da die Hinderniswirkung von Hochbauten bei solchen Situationen die Belüftungseffekte u.U. zum Erliegen bringen können. Windstagnationsbereiche sind bei derartigen Situationen mit Windgeschwindigkeiten unter 0.3 m/s gekennzeichnet.

Für die Nachtsituation mit vermehrt stabiler Luftschichtung wird eine Eingangsgeschwindigkeit von 1.5 m/s in einer Höhe von 20 m ü.G. vorgegeben. Dieser Wert wurde mit den vorgeschalteten KLAM-Berechnungen bestimmt (siehe Kap. 4.2).

⁷ **GIESE-EICHHORN (1998/2016):** Handbuch zum prognostischen Strömungsmodell MISKAM. Warkernheim.
Das Rechenmodell MISKAM ist ein dreidimensionales, nichthydrostatisches Strömungsmodell, das laut eines Forschungsberichtes des Landes Baden-Württemberg die Charakteristika der Strömungs- und Konzentrationsverteilung sehr gut wiedergibt.

Die Ergebnisdarstellung erfolgt in Horizontalschnitten (2.0 m ü.G. ~ EG, Bewegungsraum des Menschen im Freien). Die Schnitte geben die mittlere Windgeschwindigkeit für eine 1 m mächtige Luftschicht (Höhe ± 0.5 m) wieder.

Zur Verdeutlichung der Strömungsmodifikationen durch den Plan-Zustand werden zusätzlich Differenzendarstellungen zum Ist-Zustand erstellt.

Die thermische Situation am Planungsstandort ist ein Ergebnis aus dem vielfältigen Zusammenspiel verschiedener Flächennutzungs- und Klimaparameter. Die Klimaparameter (z.B. Feuchtigkeit, Windgeschwindigkeit, Lufttemperatur) reagieren sensibel auf Veränderungen der Flächennutzungsstrukturen. Angesichts der sehr unterschiedlichen Prozesse hat es sich als sinnvoll herausgestellt, numerische Methoden zu benutzen, um deren Einflüsse zu prognostizieren.

Das eingesetzte Mikroklimamodell ENVI-met simuliert auf Grundlage der numerischen Strömungs- und Thermodynamik sowie der allgemeinen Atmosphärenphysik die Wechselwirkung zwischen Gebäuden, Vegetation, natürlichen und künstlichen Oberflächen in einer virtuellen Umgebung.

Die Bebauung wird durch einfache Basiselemente (Würfel in ENVI-met: Grid) nachgebaut / modelliert. Alle Strukturen (z.B. Vegetation, Gebäude) werden in rechtwinklige Modellquader eingebettet. Numerisch werden diese Modellquader von der Sonne beschienen und vom Wind umströmt und deren Wechselwirkungen mit den Oberflächen und Strukturen bestimmt (BRUSE 2003, 66).

6.1 Analyse der planungsbedingten Modifikationen des örtlichen Windfeldes

Durch die angestrebte Überbauung des Sportplatzgeländes ist nicht auszuschließen, dass sich in der benachbarten Wohnbebauung im Westen, Norden und Osten stellenweise reduzierte Belüftungsintensitäten einstellen. Eine ausreichende Belüftung ohne großflächige Ausbildung von Luftstagnationsbereichen (mittlere Windgeschwindigkeit $< 0.3 \text{ m/s}$) ist zum einen zur Begrenzung der sommerlichen Wärmebelastung erforderlich und zum anderen unterbindet eine möglichst intensive Belüftung ganzjährig die Akkumulation von Luftschadstoffen und Gerüchen.

Herrscht eine Lufttemperatur von 30°C vor, so führt bspw. über einer versiegelten Fläche mit einer mittleren Strahlungstemperatur von 40°C die Abnahme der Windgeschwindigkeit von 2.0 m/s auf 1.0 m/s zu einer Empfindungswirkung wie eine Zunahme der Lufttemperatur um knapp 1 K .

Nachfolgend wird mit Hilfe mikroskaliger Strömungssimulationen der Einfluss der geplanten Bebauung „Wohnen Am Schrankenbuckel“ auf die örtliche Belüftungssituation analysiert.

Die Modellrechnungen werden für drei besonders relevante Tagsituation und eine siedlungsklimatisch besonders relevante Nachtsituationen durchgeführt.

Vorgaben für die Tagsituationen:

- Süd-Wind (180°) mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
= Bestimmung der planungsbedingten Barrierewirkung in Hauptwindrichtung.
- Südwest-Wind (210°) mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
= Bestimmung der planungsbedingten Barrierewirkung in Richtung der Wohnbebauung an der Germaniastraße und Lortzing-/Brahmsstraße.
- Nord-Wind (0°) mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
= Sekundärmaximum der Windrichtung im Planungsgebiet.

Vorgaben für die Nachtsituationen:

- Südwest-Wind (210°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 20 m ü.G.
= Bestimmung der planungsbedingten Barrierewirkung bei vorherrschenden Kaltluftbewegungen aus südlichen Richtungssektoren.

6.1.1 Tagsituation – Windanströmung aus Süden (180°)

Wie der **Abbildung 4** zu entnehmen ist, beträgt die Häufigkeit von Nord-Winden (346° - 15°) in Brühl ca. 17% der Jahresstunden [Zeitraum: 2001 - 2010].

Legt man den Modellrechnungen den **Ist-Zustand** zu Grunde (**Abbildung 21.1**), so zeigen sich die Sportplatzflächen (Rasen- und Kunstrasenplatz) im Planungsgebiet vergleichsweise intensiv belüftet. Über den raugkeitsarmen Flächen werden mittlere Windgeschwindigkeiten von ca. 1.2 m/s bis über 1.6 m/s (2 m ü.G.) berechnet, wohingegen im Bereich der benachbarten Wohnbebauung die mittlere Windgeschwindigkeit nur Werte von 0.1 – 0.6 m/s erreicht (= sehr geringe bis mäßige Belüftungsintensität). Die Gehölze rund um das in relativer Tieflage gelegene Sportplatzgelände bilden zwar Strömungsbarrieren, die Belüftungsintensität in der direkt angrenzenden Bebauung weist dennoch insgesamt geringe bis gute Belüftungsintensitäten auf. Windstagnation bleibt in diesen Lagen auf die unmittelbaren Gebäudeluv- und leelagen begrenzt.

Im Planungsumfeld bilden die Rasenflächen des Freischwimmbades sowie strömungsparallele Straßenzüge (z.B. Lortzingstraße und Brahmsstraße) und Gebäudeabstandsflächen bevorzugte Strömungsleitbahnen, über welchen der Höhenwind verstärkt bodennah durchgreifen kann und den Luftaustausch forciert.

Großflächige Windstagnationsbereiche (Flächengröße mind. 1 ha) sind nicht zu bilanzieren.

Die Ergebnisse der Modellrechnungen für den **Plan-Zustand (Abbildungen 21.2 und 21.3)** belegen, dass die geplante Bebauung „Wohnen Am Schrankenbuckel“ gegenüber dem Ist-Zustand zwar zu einem deutlichen Rückgang der mittleren Windgeschwindigkeit führt, durch die Berücksichtigung eines feingliedrigen Netzes an Erschließungswegen und Gebäudeabstandsflächen allerdings ausreichend ventiliert bleibt. Im Bereich strömungsparalleler Gebäudeabstandsflächen und Erschließungswege stellen sich mittlere Windgeschwindigkeiten von ca. 0.6 – 1.2 m/s ein (= mäßige bis gute Belüftungsintensität). Mittlere Windgeschwindigkeiten unter 0.3 m/s, die auf sehr geringe Belüftungsintensitäten hinweisen, bleiben sehr kleinräumig auf die unmittelbaren Gebäudeluv- und leelagen beschränkt. Es stellt sich insgesamt ein ortstypisches Belüftungsniveau ein.

In der direkt östlich und westlich angrenzenden Wohnbebauung sind bei zumeist vorherrschenden Südwinden keine planungsbedingten Windgeschwindigkeitsreduktionen zu bilanzieren.

Im Bereich der Germaniastraße, die sich bei Südwinden im Lee des Planungsgebietes befindet, stehen kleinräumigen Windabschwächungen an anderer Stelle leichte Beschleunigungseffekte gegenüber. Eine zunehmende Tendenz zu Luftstagnation ist nicht festzustellen. Das ortsspezifische Belüftungsniveau bleibt ausreichend, um Wärmestaus und Luftschadstoffakkumulationen zu unterbinden.

6.1.2 Tagsituation – Windanströmung aus Südwesten (210°)

Die **Abbildung 4** dargestellte Windstatistik zeigt, dass im Planungsgebiet und in dessen Umfeld Südwestwinde (196 – 225°) mit einer Häufigkeit von ca. 15% zu verzeichnen sind. Bei derartigen Situationen ist die Barrierewirkung einer potenziellen Bebauung am Planungsstandort „Wohnen Am Schrankenbuckel“ in Richtung der Wohnbebauung im Bereich Germaniastraße / Brahmsstraße gerichtet.

Im **Ist-Zustand (Abbildung 22.1)** weist der Planungsstandort mit mittleren Windgeschwindigkeiten bis über 1.6 m/s eine gute Belüftungsintensität auf. Über den Sportplatzflächen kann der Höhenwind bodennah durchgreifen und den Luftaustausch intensivieren. Im angrenzenden Hangbereich mit z.T. dichten Gehölzbeständen ist die Windgeschwindigkeit durch die Oberflächenrauigkeit des z.T. recht dichten Bewuchses zwar reduziert, in der direkt benachbarten Wohnbebauung zeigen sich jedoch ebenfalls noch recht günstige Belüftungsverhältnisse (0.6 – 1.2 m/s).

In der Wohnbebauung entlang der Römerstraße sind stellenweise sehr geringe Belüftungsintensitäten festzustellen, was auf die z.T. dichten Gehölzbestände in den Gärten und geringe Gebäudeabstände zurückzuführen ist. Der 7-geschossige Hochpunkt in der Römerstraße wirkt strömungsdynamisch positiv. An den Gebäudedekanten kommt es durch verstärkte Auf- und Abwinde zu leichten Beschleunigungseffekten ohne allerdings Windkomfortprobleme auszulösen. Dies unterstreicht die strömungsdynamische Positivwirkung einzelner baulicher Hochpunkte im Siedlungsgefüge.

Im Bereich der Germaniastraße und östlich der Lortzing-/Brahmsstraße sind typischerweise vorwiegend geringe bis mäßige Belüftungsintensitäten (0.3 – 0.8 m/s) zu bilanzieren. Extrem windschwache Bereiche bleiben auf die unmittelbaren Windschattenbereiche der Wohngebäude beschränkt.

Mit Realisierung der **Planung (Abbildungen 22.2 und 22.3)** nimmt die Belüftungsintensität am Planungsstandort ab. Im nördlichen Planungsteilgebiet überwiegen mittlere Windgeschwindigkeiten von ca. 0.3 – 0.8 m/s (= geringe bis mäßige Belüftungsintensität). Werte in dieser Größenordnung sind auch im Bereich östlich der Lortzing-/Brahmsstraße zu bestimmen, so dass von ortstypischen Verhältnissen gesprochen werden kann.

Die im Planungsgebiet vorgesehenen Erschließungswege und Gebäudeabstandsflächen bilden mit den gewählten Breiten wirksame Belüftungsachsen in Süd-Nord-Richtung, wodurch großflächige Luftstagnationstendenzen unterbunden werden. Vor allem der zentrale Quartiersplatz weist eine strömungsdynamisch positiv wirkende „Drehscheibenfunktion“ aus. Er fungiert bei allen Windrichtungen als Belüftungsfläche für die angrenzende Bebauung.

Auch der Innenhofbereich des Seniorenzentrums zeigt günstige Be- und Entlüftungsverhältnisse. Durch den 7-geschossigen Gebäudeteil im Nordosten wird die vertikale Belüftung des Innenhofs über Auf- und Abwinde intensiviert.

Im Umfeld des neuen Wohngebiets sind bei vorherrschenden Südwestwinden allein zwischen Germaniastraße und Mannheimer Landstraße planungsbedingte Windabschwächungen zu bilanzieren (-0.2 bis -0.9 m/s). Das verbleibende Belüftungsniveau entspricht aber weiterhin den ortsspezifischen Verhältnissen. Eine großflächige Ausprägung von Luftstagnationsbereichen ist nicht zu befürchten.

6.1.3 Tagsituation – Windanströmung aus Norden (0°)

Die in **Abbildung 4** dargestellte Windrichtungsverteilung zeigt, dass am Planungsstandort am Tag neben Süd- und Südwest-Winden bevorzugt Nordwinde auftreten. Sie sind häufig mit Strahlungswetterlagen verknüpft. Ihre Häufigkeit beläuft sich im mehrjährigen Mittel auf ca. 16% der Jahresstunden. Bei derartigen Situationen befindet sich das Planungsgebiet „Wohnen am Schrankenbuckel“ im Lee der Bestandsbebauung entlang der Germaniastraße.

Die Ergebnisse der Modellrechnungen für den **Ist-Zustand (Abbildung 23.1)** dokumentieren, dass die Bestandsbebauung im Planungsumfeld aufgrund der größtenteils strömungsparallelen Ausrichtung der Straßenzüge und Gebäudeabstandsflächen großflächig gering bis mäßig (0.3 – 0.8 m/s) belüftet ist. Sehr geringe Belüftungsintensitäten treten nur kleinräumig in den unmittelbaren Gebäudeluv- und -leelagen auf. Die Sportplatzflächen fungieren trotz der relativen Tieflage des Geländes als bebauungsinterne Ventilationsflächen. Hier kann der großwetterlagenbedingte Höhenwind großflächig durchgreifen, wodurch thermischen und lufthygienische Belastungen effektiv unterbunden werden können.

Der dammartige Verlauf des Straßenzugs Am Schrankenbuckel bildet nur ein kleinräumiges Strömungshindernis. Bereits über dem Freischwimmbadgelände zeigen sich wieder gute Belüftungsverhältnisse.

Im Bereich des Clubhauses des FV 1918 Brühl e.V. bilden bei Winden aus nördlichen Richtungen das Geländere relief in Zusammenspiel mit den Gehölzen eine kleinräumige Barriere, so dass dort Windgeschwindigkeiten unter 0.6 m/s (= geringe Belüftungsintensität) überwiegen.

Im **Plan-Zustand (Abbildungen 23.2 und 23.3)** zeigt sich die vorgesehene Bebauung im nördlichen Teilbereich ausreichend belüftet. Die zwischen den 3-geschossigen Doppelhäusern angeordneten vergleichsweise niedrigen Garagen südlich der Germaniastraße ermöglichen zusammen mit der Gebietszufahrt im Westen und der Abstandsfläche zu den südlich anschließenden 3-geschossigen (+Staffelgeschoss) Mehrfamilienhäusern im Osten eine ausreichende bodennahe Ventilation. Die großflächige Ausbildung von Bereichen mit sehr geringer Belüftungsintensität (< 0.3 m/s) wird unterbunden. Der Pocket Park (Baufeld B-3) und der für Urban Gardening angedachte Freiraum kann be- und entlüftet werden. Auch der südliche Teilbereich des Planungsgebiets zeigt ein Belüftungsniveau, das sich auf einem ortstypischen Level bewegt. Wesentliche strömungsdynamische Positiveffekte gehen dabei vom zentralen Quartiersplatz aus, der auch bei vorherrschenden Nordwinden als bedeutsame bebauungsinterne Ventilationsfläche funktioniert.

Die Belüftung im Innenhofbereich des Seniorenzentrums ist zwar bei Nordwinden nur sehr gering bis gering, durch die angedachte Begrünung sind an heißen Sommertage Wärmestaus jedoch nicht zu erwarten.

Im Planungsumfeld sind entlang der Lortzingstraße und im Bereich des Freischwimmbades nur sehr geringe zusätzliche Windabschwächungen festzustellen. In kleinen Teilbereichen nimmt die mittlere Windgeschwindigkeit um ca. 0.2 – 0.6 m/s ab, ohne zusätzliche großflächige Luftstagnationstendenzen zu bewirken.

Im Bereich der Römerstraße sind demgegenüber planungsgebedingte Windbeschleunigungen zu bestimmen.

6.1.4 Nachtsituation – Windanströmung aus Südwesten (210°)

Wie in Kap. 4.1 bereits erläutert, häufen sich im Planungsumfeld bei zu siedlungsklimatischer bzw. bioklimatischer Belastung neigenden windschwachen Strahlungswetterlagen kaltluftbedingte südwestliche Lokalwinde (Flurwinde), die Kaltluft aus dem Freiraumgefüge südwestlich der Rohrhofer Straße heranführen (siehe **Abbildung 6**).

Da derartige Windströmungen zumeist wesentliche Träger der Belüftung innerhalb der Bebauung sind, ist darauf zu achten, dass deren Funktion möglichst erhalten bleibt. Klimatische Nachteile, die durch eine zu massive Bebauung entstehen können, sind in der Regel durch klimaökologische Ausgleichsmaßnahmen an anderer Stelle im Siedlungsgebiet nur bedingt auszugleichen.

Als konstante Randbedingung wird nachfolgend eine Luftströmung aus Südwesten (210°) mit einer Strömungsgeschwindigkeit von 1.5 m/s (20 m ü.G.) gewählt, um repräsentative Aussagen für schwachgradientige Hochdruckwetterlagen mit Strahlungsnächten ableiten zu können.

Die **Abbildung 24.1** zeigt die Ergebnisse der Strömungssimulationen für den **Ist-Zustand**. Durch die vermehrt stabile Luftschichtung treten im Gegensatz zur Tagsituation mit labiler Luftschichtung die Stau- und Windschatteneffekte von Strömungshindernissen (z.B. Hochbau, dichte Gehölzriegel) verstärkt hervor. Das Untersuchungsgebiet zeigt sich daher in den bebauten Teilbereichen und im Bereich von dichten Gehölzflächen meist nur sehr gering bis gering ventiliert. In den Gebäudeleelagen überwiegen Stagnationstendenzen mit mittleren Windgeschwindigkeiten unter 0.3 m/s (2 m ü.G.). Allein im Bereich strömungsparallel verlaufender Straßenzüge / Freiflächen und auch am Planungsstandort sind geringe bis mäßige bzw. gute Belüftungsintensitäten zu bilanzieren.

Im **Plan-Zustand (Abbildungen 24.2 und 24.3)** nimmt die Belüftungsintensität am Planungsstandort „Wohnen Am Schrankenbuckel“ in den Gebäudeleelagen auffallend ab, während an den Gebietsrändern durch die planungsbedingte Labilisierung der bodennahen Kaltluftschicht und den Wegfall von Teilen der z.T. dichten Hanggehölze kleinräumige Windbeschleunigungen zu bestimmen sind. Insgesamt ist die geplante Bebauung derart angelegt, dass auch in windschwachen Strahlungsnächten eine noch ausreichende Be- und Entlüftung gewährleistet bleibt. Die Belüftungsintensität entspricht den aktuellen Verhältnissen im Bereich der Wohnbebauung östlich der Lortzingstraße und kann damit als ortstypisch eingestuft werden.

Nördlich der Germaniastraße ist eine leichte Abschwächung der Belüftungsintensität durch die geplante Neubebauung nicht zu vermeiden. Das bereits o.a. ortsspezifische Belüftungsniveau wird aber auch hier nicht unterschritten. Bereiche mit sehr geringen Belüftungsintensitäten werden von intensiver ventilerten Freizonen durchsetzt, so dass auch in windschwachen Strahlungsnächten eine großflächige Luftstagnation ausbleibt.

Innerhalb des Planungsgebiets bilden die näherungsweise strömungsparallel verlaufenden Erschließungswege/-straßen effektive Luftleitbahnen. In Zusammenspiel mit dem zentralen Quartiersplatz kann eine ausreichende Gebietsbe- und Gebietsentlüftung gesichert werden.

6.2 Analyse der planungsbedingten Modifikationen der thermischen Umgebungsbedingungen

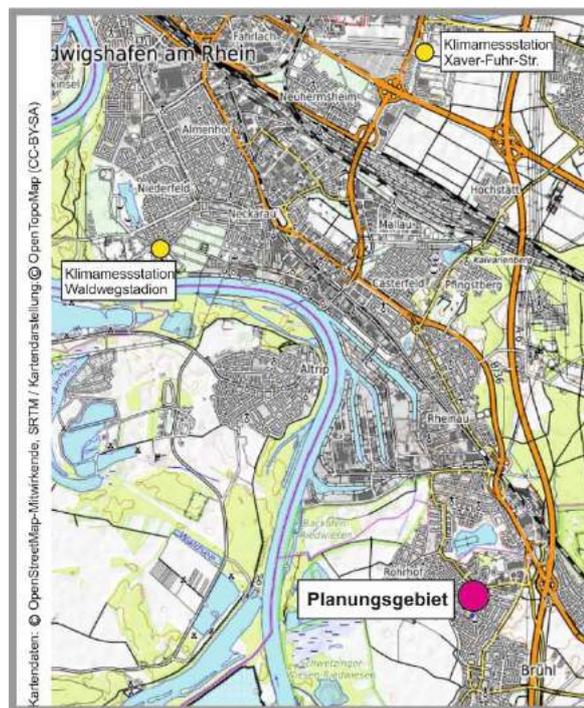
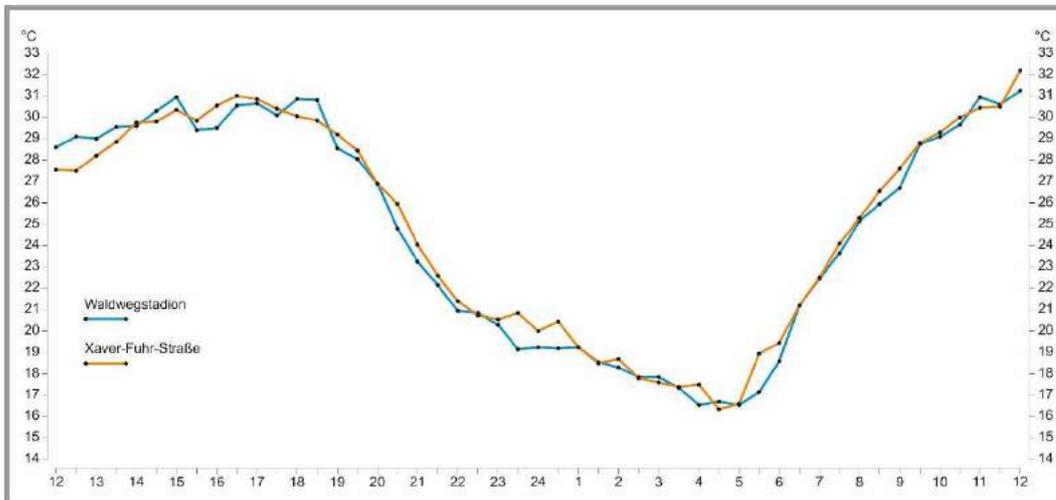
Zahlreiche Stadtklimastudien belegen, dass sich tagsüber intensiv aufgeheizte befestigte Areale nach Sonnenuntergang in den Sommermonaten nur verzögert abkühlen. Während über vegetationsbedeckten Bereichen nach Sonnenuntergang die Luft- und Oberflächentemperaturen vergleichsweise rasch sinken, bleiben versiegelte Flächen (Straßen, Parkplätze, Häuser) die ganze Nacht hindurch überwärmt. Dies bestätigen auch die ortsspezifischen Messungen vom 22.08.2019 (siehe Kap. 4.3.1)

Durch die geplanten baulichen Maßnahmen steigt im Planungsgebiet nach MVV REGIOPLAN GMBH der Anteil versiegelter Flächen durch die geplanten Straßen/Wege und Gebäude von ca. 38.4% (Ist-Zustand) auf ca. 47.1% an. Es ist anzunehmen, dass es dadurch zu einer lokalen Verzögerung und Verringerung der nächtlichen Abkühlung kommt. Auch am Tag ist eine Veränderung der thermischen Umgebungsbedingungen zu erwarten.

Angesichts des Klimawandels mit erhöhter sommerlicher Wärmebelastung (siehe Kap. 4.1) ist aus Sicht der Klimaökologie bei der baulichen Inanspruchnahme des Planungsgebiets von Bedeutung, dass der von der Bebauung und von den versiegelten Flächen ausgehende „Wärmeineffekt“ eng begrenzt bleibt und in der bestehenden Bebauung im Planungsumfeld keine großflächigen thermischen Zusatzbelastungen bewirkt.

Die nachfolgenden Berechnungen beziehen sich auf bioklimatisch besonders belastende heiße Sommertage (16:00 Uhr, Zeitpunkt der Tageshöchsttemperatur) bzw. warme Sommernächte (23:00 Uhr, Zeitpunkt an dem in Sommernächten die Wohnungen vor dem Zu-Bett-Gehen nochmals durchgelüftet werden).

Die Temperaturwerte orientieren sich dabei am nachfolgenden Tagesgang (siehe **Grafik 3**), wobei für die Tag- und Nachtsituation jeweils eine typische südwestliche Windrichtung (210°) gewählt



Grafik 3: Tagesgänge der Lufttemperatur am 22.-23.07.2019 an temporären Klimamessstationen und deren Lagen im Stadtgebiet von Mannheim (Messungen durch ÖKOPLANA)

6.2.1 Thermische Situation an einem heißen Sommertag (16:00 Uhr) mit schwacher südwestlicher Luftströmung (210°)

Die **Abbildung 25.1** zeigt für den Ist-Zustand die berechnete Lufttemperaturverteilung gegen 16:00 Uhr (Zeitpunkt der Tageshöchsttemperatur) an einem heißen Sommertag – $T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$.

Bei Lufttemperaturen im Bereich von schattenwerfenden Gehölzbeständen von ca. $30.0 - 31.0^{\circ}\text{C}$ werden über großflächig versiegelten Arealen (z.B. Stellplatzflächen an der Mannheimer Landstraße / Industriestraße) Lufttemperaturen bis 32.4°C berechnet. Auch über asphaltierten Straßenflächen, im Bereich des Kunstrasensportplatzes und der Tartanbahn im Planungsgebiet sind vergleichbare Höchsttemperaturen. Über Rasen- bzw. Gartenflächen zeigen sich Lufttemperaturen zwischen ca. $30.4 - 31.0^{\circ}\text{C}$ zu registrieren. Die thermische Gunstfunktion schattenwerfender Gehölzbestände und von Hausgärten wird ersichtlich.

Größere Lufttemperaturunterschiede werden am Tag durch den recht intensiven vertikalen Luftaustausch unterbunden.

Mit potenzieller Realisierung des neuen Baugebiets „Wohnen Am Schrankebuckel“ (**Plan-Zustand**, **Abbildungen 25.2** und **25.3**) geht durch die bauliche Inanspruchnahme des Rasensportplatzes einerseits thermisches Gunstpotenzial verloren, andererseits werden durch die Gestaltung neuer Grün-/Freianlagen und Hausgärten großflächig neue klimaökologisch wirksame Ausgleichsflächen geschaffen, die sich am Tag zusätzlich durch die Gebäudeschatten in deutlich geringerem Maße erwärmen als asphaltierte / gepflasterte Areale⁸.

Wie ein Vergleich des Plan-Zustands mit dem Ist-Zustand verdeutlicht, nimmt bei Realisierung der neuen Flächennutzungsstrukturen der Flächenanteil mit Lufttemperaturen bis über 31.0°C deutlich ab. Insbesondere durch die Gebäude- und Baumschatten werden die versiegelten Erschließungsflächen und Plätze gegenüber dem besonnten Sportplatzgelände weniger stark aufgeheizt. Die begrünten und größtenteils ausreichend ventilierten Wohnhöfe unterbinden die Ausbildung von Wärmestaus.

Die von Seiten der Stadtklimatologie empfohlene Vielfalt an Mikroklimaten unter Vermeidung von Extremen (KUTTLER 2010) wird somit im Planungsgebiet geschaffen.

⁸ Bei den Modellrechnungen werden für die Befestigung autofreier Erschließungswege und die Besucherparkplätze innerhalb des Planungsgebiets graue Pflasterbeläge angenommen.

Die baumüberstandenen Grünflächen / Quartiersplatz bilden tagsüber thermische Gunsträume mit guter Erholungsqualität.

Im Planungsumfeld ergeben sich aus der Planung keine relevanten thermischen Zusatzbelastungen.

6.2.2 Thermische Situation in einer Tropennacht (23:00 Uhr) mit schwacher südwestlicher Luftströmung (210°)

In windschwachen Strahlungsnächten machen sich im Planungsgebiet „Wohnen Am Schrankenbuckeln“ flurwindartige Kaltluftbewegungen aus dem Freiraumgefüge südwestlich der Rohrhofer Straße bemerkbar. Kaltluftleitbahnen bilden dabei der Steffi-Graf-Park und die Frei-/Grünflächen im Bereich der Schiller-Schule und dem Freischwimmbad.

Wie die Ergebnisse der Modellrechnungen für den **Ist-Zustand (Abbildung 26.1)** belegen, gelangt bei der vorgegebenen Situation Kaltluft über das Freischwimmbadgelände und den Straßenzug Am Schrankenbuckel trotz der dortigen Gehölzbestände bis zum Planungsgebiet. Durch die dort zusätzlich über den Rasenflächen entstehende Kaltluft wird die örtliche Abkühlung in den Nachtstunden deutlich forciert. Gegen 23:00 Uhr werden im Vergleich zu den asphaltierten Straßenzügen und Stellplatzflächen im Planungsumfeld um ca. 3.8 – 4.8 K niedrigere Lufttemperaturen simuliert. Dies entspricht näherungsweise auch den Ergebnissen der Lufttemperaturmessfahrten vom 22.08.2019. Durch die relative Tieflage des Sportplatzgeländes dringt die dortige Kaltluft nur in die unmittelbar angrenzende Bebauung ein.

Thermisch begünstigt zeigen sich auch die Hausgärten der Wohnbebauung im Untersuchungsgebiet. Dort zeigen sich gegenüber den wärmsten Bereichen um ca. 2.5 – 3.0 K niedrigere Lufttemperaturen.

Die **Abbildungen 26.2 und 26.3** dokumentieren die Modifikationen des nächtlichen Lufttemperaturfeldes durch die geplante Bebauung (**Plan-Zustand**).

Im Planungsgebiet nimmt die Lufttemperatur gegenüber dem Ist-Zustand zwar großflächig um ca. 0.6 – 2.4 K zu (siehe **Abbildung 26.3**), das daraus resultierende Temperaturniveau geht aber nicht über das der Bestandsbebauung im Planungsumfeld hinaus. Die Hausgärten und die begrünten Quartiersplätze kompensieren weitgehend die Wärmeabstrahlung des vorgesehenen Hochbaus.

Der zusätzliche Wärmeinseleffekt des Planungsgebiets bleibt auf den unmittelbaren Nahbereich beschränkt, was den klimaökologischen Zielvorstellungen entspricht. Allein im Bereich der Germaniastraße, der sich bei der vorliegenden Situation mit schwachen südwestlichen Kaltluftbewegungen im Lee des Planungsgebiets befindet, ist ein leichter Anstieg der Lufttemperatur im Vergleich zum Ist-Zustand nicht zu unterbinden. Die aktuelle Gunstlage am Rand des bebauungsinternen klimaökologischen Gunstraums „Sportplatzgelände“ geht verloren.

Allerdings ist das dort aus der Planung resultierende Lufttemperaturniveau nicht ortsuntypisch. Es bleibt mit den heutigen Verhältnissen in Teilbereichen der Römerstraße, Brahmsstraße und Germaniastraße (West) vergleichbar.

Durch zusätzliche Baumpflanzungen im Bereich der Parkplätze auf der Nordseite der Germaniastraße (sofern technisch machbar) und Verwendung möglichst heller Oberflächenbeläge / Rasengittersteine bei der Anlage straßenparalleler Parkplätze lässt sich das nächtliche Lufttemperaturfeld noch günstiger gestalten. Als thermisch wirksame Ausgleichsmaßnahme wäre auch an eine grünordnerische Aufwertung im Bereich der Stellplatzflächen nördlich der Reihenhäuser Germaniastraße 8-20 zu denken. Wie die Ergebnisse der Modellrechnungen aufzeigen, stellen die Parkplätze mit ihren asphaltierten Flächen bislang eine prägnante thermische Ungunstfläche dar.

7 Zusammenfassung, Bewertung und Planungsempfehlungen

In der Gemeinde Brühl ist auf dem Sportgelände des FV 1918 Brühl e.V. zwischen dem Straßenzug Am Schrankenbuckel im Süden und der Germaniastraße im Norden die Entwicklung eines neuen Wohnquartiers geplant.

Neben Ein- und Mehrfamilienhäusern sind u.a. auch Sonderwohnformen und eine Seniorenzentrum geplant. Ziel ist es, ein differenziertes Wohnungsangebot mit einer möglichst vielfältigen Architektur und attraktiven Freiräumen zu schaffen.

Im Zuge des 2019 eingeleiteten Planungsprozesses, der von einem „Runden Tisch“ mit Vertretern der Gemeinde Brühl, Investoren, Architekten/Landschaftsarchitekten, Fachgutachtern, Vertretern von Interessengruppen und interessierten Bürgern begleitet wurde, erfolgte eine schrittweise Optimierung des Masterplans (Stand 01/2019). Dabei standen neben städtebaulichen und verkehrstechnischen Aspekten auch klimaökologische Belange im Fokus.

Der daraus resultierende städtebauliche Entwurf (Stand 06/2020) der projektbezogenen Planungsgemeinschaft BAUFRÖSCHE ARCHITEKTEN UND STADTPLANER GMBH / BILGER FELLMETH ARCHITEKTEN BDA / BIERBAUM-AICHELE LANDSCHAFTSARCHITEKTEN sieht größtenteils eine 3- bis 4-geschossige (+Staffelgeschoss) Bebauung vor. Nur im Bereich des angedachten Quartiersplatzes und am Westrand des Planungsgebiets sind max. 5- bzw. 7-geschossige Baukörper geplant.

Im Nordteil des Planungsgebiets gliedern großzügige interne Grünflächen die Bebauung. Die Zufahrt zu den oberirdischen Gästeparkplätzen ist im Nordwesten über die Germaniastraße geplant. Die innere Erschließung erfolgt über autofreie Erschließungswege. Zudem ist ein sogenannter „Loop“ für Sport und Spiel vorgesehen.

Im Südteil sind 3- bis 4-geschossige Wohnhäuser (teilweise +Staffelgeschoss) sowie ein Seniorenzentrum mit einer max. 7-geschossigen Bauform geplant. Ein begrünter Quartiersplatz sowie Erschließungsstraße mit Besucherparkplätzen gliedern das Gebiet. Die verkehrliche Erschließung erfolgt über die Straßenzüge Am Schrankenbuckel und die Römerstraße. Dort sind auch die Tiefgaragen verkehrlich angeschlossen, mit deren Hilfe die erforderlichen Stellplatzflächen bereitgestellt werden. Durch die Tiefgaragen wird das Planungsgebiet „angehoben“ so dass der muldenartige Charakter des Geländes deutlich reduziert wird.

Umfangreiche Baumpflanzungen, Hausgärten/öffentliche Grünflächen sowie extensiv Dachbegrünungen bilden die grünordnerischen Elemente.

Die Analyse des ortsspezifischen Strömungsgeschehen zeigt, dass im Planungsgebiet und in dessen Umfeld im Allgemeinen Winde aus südsüdöstlichen bis süd-südwestlichen und nordnordwestlichen bis nordöstlichen Richtungen vorherrschen, wobei es innerhalb der Bebauung zu kleinräumigen Richtungsverschiebungen kommen kann. Die mittlere Windgeschwindigkeit beträgt in Brühl in freien Lagen ca. 2.5 m/s (10 m ü.G.), wobei am Tag durch den allgemein intensiveren vertikalen Luftaustausch gegenüber den Nachtstunden höhere Windgeschwindigkeiten zu erwarten sind.

An Strahlungstagen (ca. 25% der Tage im Jahr), die siedlungsklimatisch von besonderer Relevanz sind, ist die mittlere Windgeschwindigkeit um ca. 30% reduziert. Die Barrierewirkung von Strömungshindernissen in Form von Hochbau und dichten Gehölzriegeln kommt verstärkt zum Tragen.

Während an Strahlungstagen am Tag im Bereich des Planungsgebiets noch häufig nördliche Richtungskomponenten vorherrschen, dreht der Wind nach Sonnenuntergang vermehrt zu südlichen bis südwestlichen Richtungen. Dieser tagesperiodische Windrichtungswechsel ist auf flurwindartige Ausgleichsströmungen zwischen dem kühlen südwestlichen Freiraumgefüge (Schwetzinger Wiesen) und der warmen Bebauung von Brühl zurückzuführen. Diese Lokalwinde werden auch am Planungsstandort wirksam. Dies konnte mit Hilfe stichprobenhafter mobiler Wind- und Lufttemperaturmessungen am 22.08.2019 und mesoskaliger Kaltluftströmungssimulationen nachgewiesen werden. Die Strömungsgeschwindigkeit beträgt dabei in Bodennähe (2 m ü.G.) weniger als 0.5 m/s., so dass sich im Laufe der Nacht durch die muldenartige Ausprägung des Geländes ein nahezu ortsfester Kaltluftsee ausbildet, in welchem die nächtliche Abkühlung besonders intensiv ist. Die Kaltluft ist allerdings mächtig genug, um auch noch im Bereich der höher gelegenen Germaniastraße wirksam zu werden

Ergebnisse von Lufttemperaturmessfahrten vom 22.08.2019 belegen, dass sich in siedlungsklimatisch besonders relevanten sommerlichen Strahlungsnächten in Brühl max. Lufttemperaturunterschiede von ca. 5.0 - 5.5 K einstellen. Intensive Abkühlung ist im Freiraumgefüge südwestlich der Rohrhofer Straße zu bestimmen. Auch die Wiesen und Landwirtschaftsflächen im Osten von Brühl bilden einen siedlungsklimatisch bedeutsamen thermischen Gunstraum (Lufttemperatur unter 17.0°C). Höchste Lufttemperaturen sind im Umfeld des Planungsgebiets entlang der Mannheimer Landstraße zu erfassen. Durch den hohen Anteil versiegelter Flächen ist die nächtliche Abkühlung deutlich reduziert.

Auffallend kühl (= thermischer Positiveffekt) stellen sich auch der Steffi-Graf-Park, die Grünflächen des Freischwimmbades sowie das Planungsgebiet dar. Gegenüber dem Freiland südwestlich und östlich von Brühl werden dort nur um ca. 1.0 K höhere Lufttemperaturen gemessen. Die Grünflächen bilden innerhalb des Ortsgefüges von Brühl klimatische Gunsträume, die sich auch in der Umgebungsbebauung thermisch positiv bemerkbar machen.

Im Planungsgebiet mindert die muldenartige Lage den bodennahen Luftaustausch mit den benachbarten Wohngebieten, so dass bereits in der Germaniastraße, Römerstraße und Lortzingstraße gegenüber dem Rasenplatz des Alfred-Körper-Stadions um ca. 2.5 K höhere Lufttemperaturen zu erfassen sind.

Die Ergebnisse der durchgeführten Lufttemperaturmessfahrten verdeutlichen somit, dass das Planungsgebiet „Wohnen Am Schrankenbuckel“ derzeit innerhalb der Ortslage Brühl als klimaökologischer Gunstraum fungiert. Die in den Nachtstunden örtlich gebildete und zusätzlich über das Freiraumgefüge südwestlich der Rohrhofer Straße herangeführte Kaltluft bildet über den Sportplatzflächen in wind-schwachen Strahlungsnächten einen nahezu ortsfesten Kaltluftsee. Allein durch Bewegungsimpulse lokaler/regionaler und überregionaler Luftströmungen kann die Kaltluft in die benachbarte Bebauung verlagert werden, wodurch auch dort die nächtliche Abkühlung forciert wird.

Die vergleichenden Ergebnisse der Modellrechnungen (Ist- und Plan-Zustand) zum strömungsdynamischen Prozessgeschehen am Tag dokumentieren, dass die geplante Bebauung „Wohnen Am Schrankenbuckel“ gegenüber dem Ist-Zustand zwar zu einem deutlichen Rückgang der mittleren Windgeschwindigkeit führt, durch die Berücksichtigung eines feingliedrigen Netzes an Erschließungswegen und Gebäudeabstandsflächen allerdings ausreichend ventiliert bleibt. Bei zumeist vorherrschenden Winden aus südlichen bis südwestlichen Richtungssektoren stellen sich im Bereich strömungsparalleler Gebäudeabstandsflächen und Erschließungswege mittlere Windgeschwindigkeiten von ca. 0.6 – 1.2 m/s ein (= mäßige bis gute Belüftungsintensität). Mittlere Windgeschwindigkeiten unter 0.3 m/s, die auf sehr geringe Belüftungsintensitäten hinweisen, bleiben sehr kleinräumig auf die unmittelbaren Gebäudeluv- und leelagen beschränkt. Es stellt sich insgesamt ein ortstypisches Belüftungsniveau ein.

Der zentrale Quartiersplatz weist eine strömungsdynamisch positiv wirkende „Drehscheibenfunktion“ aus. Er fungiert bei allen Windrichtungen als Belüftungsfläche für die angrenzende Bebauung.

Auch der Innenhofbereich des Seniorenzentrums zeigt günstige Be- und Entlüftungsverhältnisse. Durch den 7-geschossigen Gebäudeteil im Nordosten wird die vertikale Belüftung des Innenhofs über Auf- und Abwinde intensiviert.

In der direkt östlich und westlich angrenzenden Wohnbebauung ist keine klimaökologisch relevante Windgeschwindigkeitsreduktion zu bilanzieren.

Im Bereich der Germaniastraße, die sich bei vorherrschenden südlichen bis südwestlichen Winden im Lee des Planungsgebietes befindet, stehen kleinräumigen Windabschwächungen an anderer Stelle leichte Beschleunigungseffekte gegenüber. Eine zunehmende Tendenz zu Luftstagnation ist nicht festzustellen.

Herrschen am Tag Winde aus nördlichen Richtungssektoren vor, zeigt sich die vorgesehene Bebauung „Wohnen Am Schrankenbuckel“ im nördlichen Teilbereich gut belüftet. Die zwischen den 3-geschossigen Doppelhäusern angeordneten niedrigen Garagen südlich der Germaniastraße ermöglichen zusammen mit der Gebietszufahrt im Westen und der Abstandsfläche zu den südlich anschließenden 3-geschossigen (+Staffelgeschoss) Mehrfamilienhäusern im Osten eine ausreichende bodennahe Ventilation. Die großflächige Ausbildung von Bereichen mit sehr geringer Belüftungsintensität (< 0.3 m/s) wird unterbunden. Der Pocket Park (Baufeld B-3) und der für Urban Gardening angedachte Freiraum kann be- und entlüftet werden.

Auch der südliche Teilbereich des Planungsgebiets zeigt ein Belüftungsniveau, das sich auf einem ortstypischen Level bewegt. Wesentliche strömungsdynamische Positiveffekte gehen dabei vom zentralen Quartiersplatz aus, der auch bei vorherrschenden Nordwinden als bedeutsame bebauungsinterne Ventilationsfläche funktioniert.

Im Planungsumfeld sind entlang der Lortzingstraße und im Bereich des Freischwimmbades nur sehr geringe zusätzliche Windabschwächungen festzustellen. In kleinen Teilbereichen nimmt die mittlere Windgeschwindigkeit um ca. $0.2 - 0.6$ m/s ab, ohne zusätzliche großflächige Luftstagnationstendenzen zu bewirken.

Im Bereich der Römerstraße sind sogar planungsbedingte Windbeschleunigungen zu bestimmen.

In den Nachtstunden ist im Bereich „Wohnen Am Schrankenbuckel“ durch die geplante Bebauung zwar mit einer Abschwächung der Belüftungsintensität zu rechnen, die Bebauungsstruktur ist aber derart angelegt, dass auch in windschwachen Strahlungsnächten eine noch ausreichende Be- und Entlüftung gewährleistet bleibt. Die näherungsweise strömungsparallel verlaufenden Erschließungswege/-straßen bilden im Zusammenspiel mit dem zentralen Quartiersplatz effektive Luftleitbahnen. Die Belüftungsintensität entspricht den aktuellen Verhältnissen im Bereich der Wohnbebauung östlich der Lortzingstraße und kann damit als ortstypisch eingestuft werden.

Am westlichen und östlichen Gebietsrand sind durch die planungsbedingte Labilisierung der bodennahen Kaltluftschicht und den Wegfall von Teilen der z.T. dichten Hanggehölze kleinräumige Windbeschleunigungen zu bestimmen sind.

Nördlich der Germaniastraße ist eine leichte Abschwächung der Belüftungsintensität durch die geplante Neubebauung nicht zu vermeiden. Das bereits o.a. ortsspezifische Belüftungsniveau wird aber auch hier nicht unterschritten. Bereiche mit sehr geringen Belüftungsintensitäten werden von intensiver ventilierten Freizonen durchsetzt, so dass auch in windschwachen Strahlungsnächten eine großflächige Luftstagnation ausbleibt.

Mit potenzieller Realisierung der Bauprojektes „Wohnen Am Schrankenbuckel“ werden auch die thermischen / bioklimatischen Verhältnisse modifiziert. Durch die bauliche Inanspruchnahme Sportplatzflächen geht einerseits thermisches Gunstpotenzial verloren, andererseits werden durch die Gestaltung neuer Grün-/Freianlagen und Hausgärten großflächig neue klimaökologisch wirksame Ausgleichsflächen geschaffen, die sich am Tag zusätzlich durch die Gebäudeschatten in deutlich geringerem Maße erwärmen als asphaltierte / gepflasterte Areale.

Wie vergleichende numerische Modellrechnungen zeigen, nimmt an heißen Sommertagen bei Realisierung der neuen Flächennutzungsstrukturen der Flächenanteil mit deutlich überhöhten Lufttemperaturen auffallend ab. Insbesondere durch die Gebäude- und Baumschatten werden die versiegelten Erschließungsflächen und Plätze gegenüber dem besonnten Sportplatzgelände weniger stark aufgeheizt. Die begrüntem und größtenteils ausreichend ventilierten Wohnhöfe unterbinden die Ausbildung von Wärmestaus. Die von Seiten der Stadtklimatologie empfohlene Vielfalt an Mikroklimaten unter Vermeidung von Extremen (KUTTLER 2010) wird im Planungsgebiet geschaffen.

Die baumüberstandenen Grünflächen / Quartiersplatz bilden tagsüber thermische Gunsträume mit guter Erholungsqualität.

Im Planungsumfeld ergeben sich aus der Planung keine relevanten thermischen Zusatzbelastungen.

In windschwachen Tropennächten, die bioklimatisch besonders belastend sind, nimmt die Lufttemperatur im Plan-Zustand gegenüber dem Ist-Zustand zwar großflächig um ca. 0.6 – 2.4 K zu, das daraus resultierende Temperaturniveau geht aber nicht über das der Bestandsbebauung im Planungsumfeld hinaus. Die Hausgärten und die begrüntem Quartiersplätze kompensieren weitgehend die Wärmeabstrahlung des vorgesehenen Hochbaus.

Der zusätzliche Wärmeinseleffekt des Planungsgebiets bleibt auf den unmittelbaren Nahbereich beschränkt, was den klimaökologischen Zielvorstellungen entspricht. Allein im Bereich der Germaniastraße, der sich bei der vorliegenden Situation mit schwachen südwestlichen Kaltluftbewegungen im Lee des Planungsgebiets befindet, ist ein leichter Anstieg der Lufttemperatur im Vergleich zum Ist-Zustand nicht zu vermeiden.

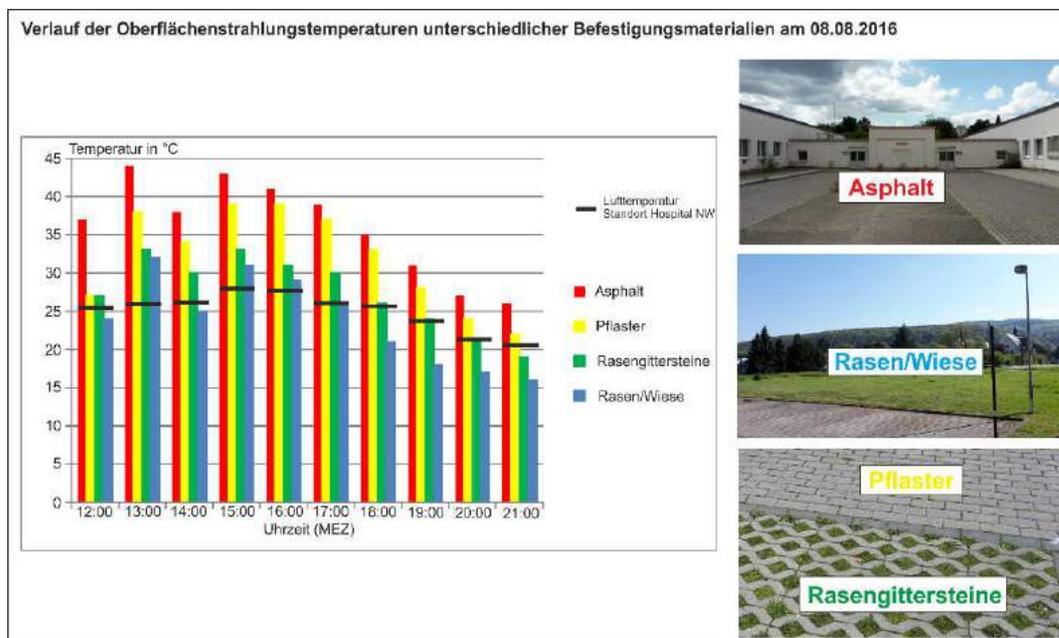
Die aktuelle Gunstlage am Rand des bebauungsinternen klimaökologischen Gunstraums „Sportplatzgelände“ geht verloren. Allerdings ist das dort aus der Planung resultierende Lufttemperaturniveau nicht ortsuntypisch. Es bleibt mit den heutigen Verhältnissen in Teilbereichen der Römerstraße, Brahmsstraße und Germaniastraße (West) vergleichbar.

Um die kleinräumige thermische Zusatzbelastung in benachbarten Wohnbebauung noch weiter zu reduzieren und in Anbetracht der Tatsache, dass als Folge des Klimawandels mit einer erheblichen Zunahme der sommerlichen Wärmebelastung zu rechnen ist, sollten neben der bereits geplanten extensiven Dachbegrünung noch weitere klimawirksame Ausgleichsmaßnahmen Beachtung finden.

Wie in den Modellrechnungen bereits berücksichtigt, sollten die autofreien Wege- und Platzflächen mit möglichst hellen Oberflächenbelägen hergestellt werden. Bei der Anlage oberirdischer Parkplätze sollten zudem Rasengittersteine (o.ä.) Anwendung finden.

Die Vorteile geringerer Bodenversiegelungen sind u.a.:

- Reduktion vom Regenwasserabfluss und Wasserspeicherung im Boden,
- erhöhte Verdunstung vom Boden,
- geringere Oberflächentemperaturen (siehe **Grafik 4**)



Grafik 4: Oberflächentemperaturen unterschiedlicher Bodenbedeckungsarten
(Aufnahme: ÖKOPLANA, AUS: GEO-NET UMWELTCONSULTING GMBH, ÖKOPLANA 2017)

Auf Plätzen sind schattenspendende Baumgruppen anzulegen ohne den erforderlichen internen Luftaustausch zu unterbinden. Der in **Abbildung 19** dargestellte Planungsentwurf entspricht hierbei weitgehend den klimatischen Erfordernissen.

Zusätzliche Baumpflanzungen sind bei künftigen Straßenbaumaßnahmen in der Germaniastraße im Bereich der Parkplätze auf der Nordseite zu empfehlen, um die dortige Wärmebelastung weiter zu minimieren.

Bei der Auswahl der Baumarten sollte auf ihre Trockentoleranz und Hitzeresistenz geachtet werden. Die **Tabelle 1** gibt eine beispielhafte Auswahl wieder.

Wissenschaftlicher Name	Deutscher Name	Trockentoleranz ^{a)}	Isoprenemission ^{b)}	Kritische Allergiepotenziale ^{c)}
<i>Acer campestre</i>	Feldahorn	++		nein
<i>Acer platanoides</i>	Spitzahorn	+		nein
<i>Carpinus betulus</i>	Hainbuche	+		ja
<i>Fraxinus excelsior</i>	Gemeine Esche	+		ja
<i>Ginkgo biloba</i>	Ginkgo	++		k.A.
<i>Plantanus x^{d)} acerifolia</i>	Ahornblättrige Platane	++	hoch	ja
<i>Populus alba</i>	Silberpappel	++	hoch	nein
<i>Populus tremula</i>	Zitterpappel	+	hoch	nein
<i>Prunus avium</i>	Vogelkirsche	++		nein
<i>Quercus petraea</i>	Traubeneiche	+	hoch	ja
<i>Quercus rubra</i>	Roteiche	+	hoch	ja
<i>Robinia pseudoacaia</i>	Gemeine Robinie	++	hoch	nein
<i>Tilia cordata</i>	Winterlinde	+		nein

^{a)} +, ++ – gute, sehr gute Trockentoleranz

^{b)} hoch – Baumart mit einer Isoprenemissionsrate > 10 µg Isopren/(g-TA·h)

^{c)} Als kritisch eingestufte Baumarten sollten nicht angepflanzt werden.

^{d)} Hybriden durch x gekennzeichnet

Tabelle 1: Trockentoleranz, Isoprenemission und Allergiepotenzial verschiedener Baumarten (VDI-Richtlinie 3787, Bl. 8 (Entwurf 2019))

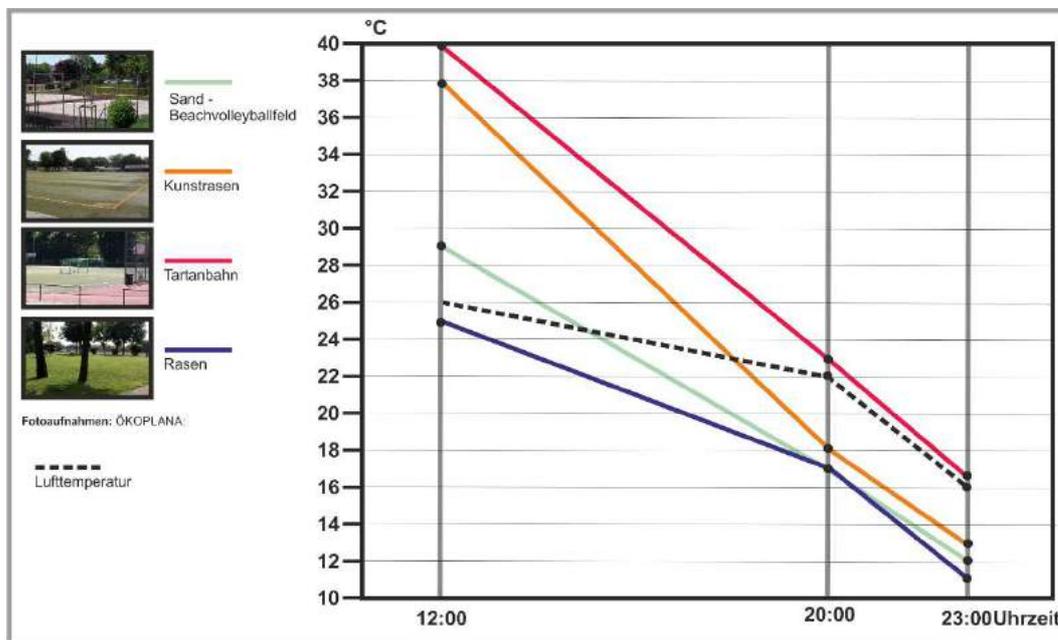
Als thermisch wirksame Ausgleichsmaßnahme außerhalb des Planungsgebiets wäre auch an eine grünordnerische Aufwertung im Bereich der Stellplatzflächen nördlich der Reihenhäuser Germaniastraße 8-20 zu denken. Wie die Ergebnisse der Modellrechnungen aufzeigen, stellen die Parkplätze mit ihren asphaltierten Flächen bislang eine prägnante thermische Ungunstfläche dar.

Sind im Bereich des Loops und den quartiersinternen Freiflächen Spielplätze / Sportflächen geplant, sollten diese möglichst naturnah, d.h. ohne versiegelte Flächen, gestaltet werden (siehe **Foto 2**).



Foto 2: Kinderspielplatz mit Sandflächen als Absturzsicherung (Aufnahmen: ÖKOPLANA)

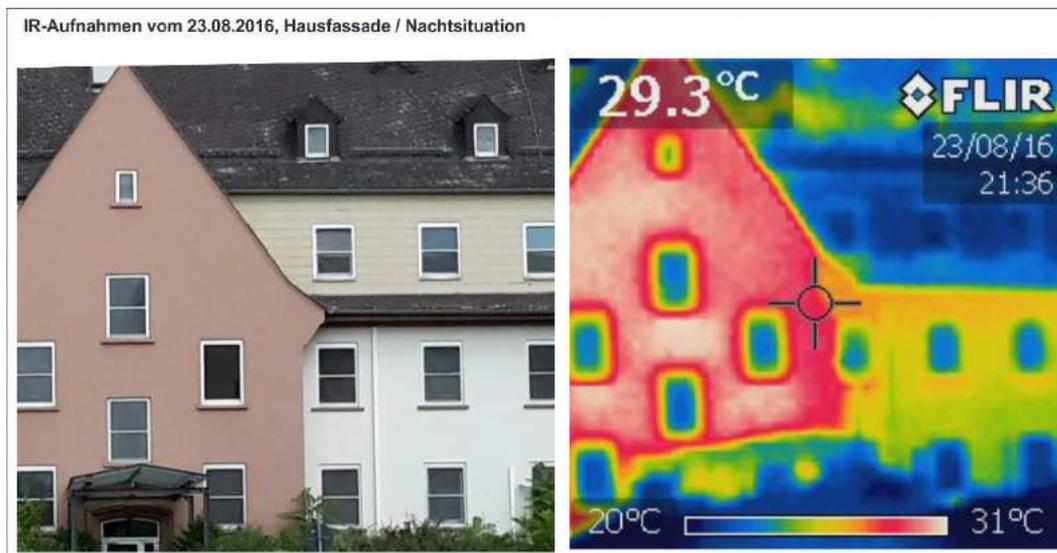
Mögliche Tartanbeläge zur Vermeidung von Sturzverletzungen sollten ggf. auf die Bereiche der Spielgeräte eng beschränkt bleiben. Wie **Grafik 5** zeigt, können sich derartige Beläge (dunkelroter/blauer Tartanbelag) an warmen Sommertagen extrem aufheizen können. Bei Lufttemperaturen von 26°C zeigen sich Oberflächentemperaturen bis 40°C (besonnt). Rasenflächen und Sandflächen zeigen bei gleichen Einstrahlungsbedingungen Werte von 25°C und 34°C.



Grafik 5: Oberflächentemperaturen unterschiedlicher Bodenbeläge an einem Sommertag (22.08.2017). Messungen in Wiesbaden durch ÖKOPLANA (ÖKOPLANA 2018)

Vergleichbare Ergebnisse zeigten die Messungen im Planungsgebiet am 22.08.2019 (**Abbildung 9**).

Auch durch die Wahl heller Fassadenfarben kann die bioklimatische Belastung im Nahbereich von Gebäuden wirksam herabgesetzt werden. So führt die hohe Absorptionsfähigkeit dunkler Fassadenanstriche gegenüber hellen Fassaden zu deutlich höheren Oberflächentemperaturen (siehe **Grafik 6**).



Grafik 6: Oberflächentemperaturen unterschiedlich heller Fassaden
(Aufnahme: ÖKOPLANA, AUS: GEO-NET UMWELTCONSULTING GMBH, ÖKOPLANA 2017)

Zusätzliche thermische Gunsteffekte können auch über Fassadenbegrünungen (**Foto 3**) erzielt werden. Zu empfehlen wären diese insbesondere an den langgestreckten Südwest- und Südostfassaden des Seniorenzentrums.

Im Vergleich zu einer unbegrünten Wand können nach PFOSE ET AL. 2013 in ca. 0.6 m Abstand zur Begrünung Lufttemperaturreduktionen bis ca. 1.3 K gemessen werden. Modellrechnungen weisen auf Maximalwerte bis ca. 3.0 K hin. Zur Begrünung bieten sich insbesondere größere Fassadenteile ohne Fensteröffnungen an. Klimatisch besonders wirksam sind Fassadenbegrünungen ab Breiten von ca. 5 m.



Foto 3: Beispielhafte Fassadenbegrünung (Bild freigegeben von: ©VERTIKO GmbH).
<https://www.vertiko.de/begrueunungen-loesungen/living-wall-outdoor/>

Die geplanten Dachbegrünungen sollten ebenfalls realisiert werden. Sie weisen nachfolgende Positiveffekte auf:

- Reduzierung der Luftschadstoffbelastung – insbesondere von Feinstaub – durch Erhöhung der schadstoffspezifischen Depositionsgeschwindigkeiten partikel- und gasförmiger Spurenstoffe. Durch die geringere Aufheizung der Luft über begrünten Dächern ist die vertikale Auftriebsströmung und somit die Staubaufwirbelung geringer.
- Dämpfung von Extremwerten der Oberflächentemperaturen durch die Verdunstungsleistung der Pflanzen. An heißen Sommertagen sind extensive begrünte Dächer um ca. 17 – 33 K kühler als unbegrünte Dächer. Bei intensiv begrünten Dächern werden ca. 62 - 67% der eingestrahnten Energie in latente Wärme umgesetzt. Diese steht dann nicht mehr zur Erwärmung der Umgebungsluft zur Verfügung. Die Lufttemperatur über den Dächern (0.5 m) ist daher um ca. 0.6 – 1.5 K kühler (PFOSER ET AL. 2013).

Die kühlende Wirkung einzelner Dachbegrünungen beschränkt sich auf die Luftmassen direkt über der Dachoberfläche. Es ist jedoch anzunehmen, dass eine Begrünung vieler Dächer auch einen signifikanten Effekt auf die Nachbarschaft aufweist.

Dachbegrünungen sind mit vielen weiteren Synergieeffekten verbunden. Hierzu zählen u.a. Reduktion des Niederschlagsabflusses, Lärminderung und die Erhöhung der Biodiversität (PFOSER ET AL. 2013).

Zur zusätzlichen kleinklimatischen Aufwertung des zentralen Quartiersplatzes nordöstlich des Seniorenzentrums könnten zusätzliche Wasserfontänen oder künstliche Wasserfälle (**Foto 4**) beitragen. Die örtliche Kühlleistung über die Verdunstungskälte des bewegten Wassers erhöht am Tag die sommerliche Aufenthaltsqualität. Sie sollten bestenfalls mit Bäumen umstellt sein, damit die Kühlwirkung der Fontänen durch die Zusatzverschattung noch erhöht werden kann.

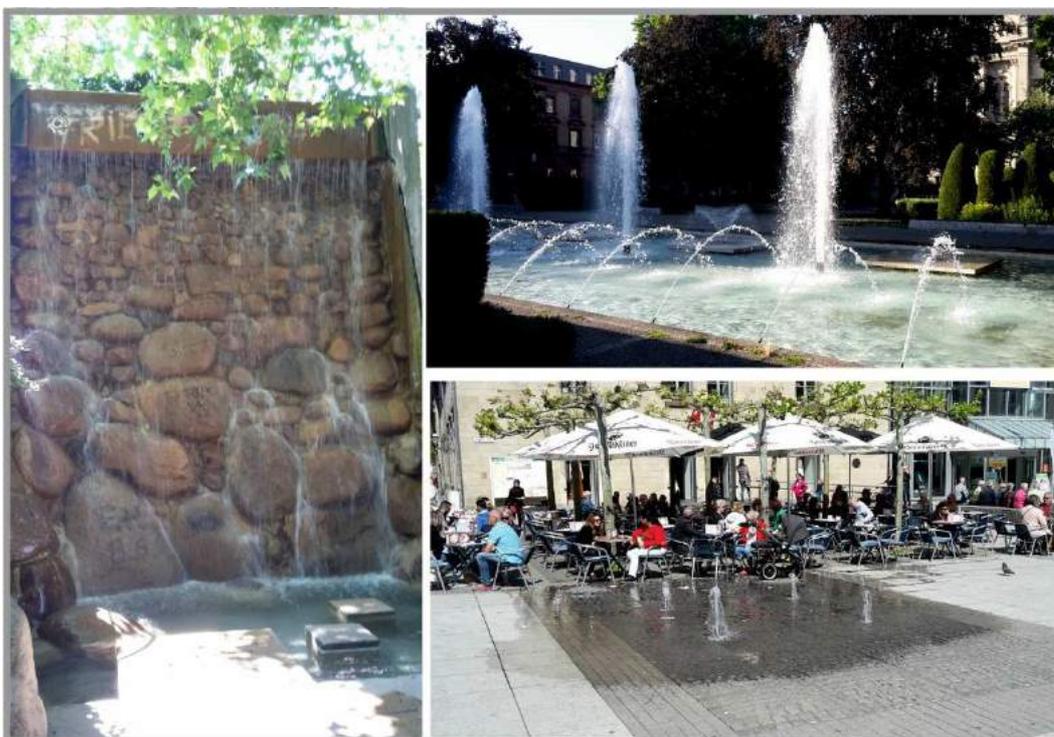


Foto 4: *Beispielhafte Planungsempfehlung – künstliche Wasserfälle / Wasserfontänen*
Fotos: ÖKOPLANA

Die o.a. Maßnahmen sind in ihrer Summenwirkung geeignet, die negativen klimaökologischen Folgeerscheinungen der planungsbedingten Oberflächenversiegelung weiter zu minimieren.

Burst

.....
gez. Achim Burst (Dipl.-Geogr.)
ÖKOPLANA

Mannheim, den 28. September 2020

Quellenverzeichnis/weiterführende Schriften

- BLÜTHGEN, J. (1966):** Allgemeine Klimageographie. 2. Aufl. Lehrbuch der Allgemeinen Geographie – Bd. II. Berlin.
- BRUSE, M. (2003):** Stadtgrün und Stadtklima – Wie sich Grünflächen auf das Mikroklima in Städten auswirken. In: LÖBF-Mitteilungen 1/2003. S. 66 – 70.
- BRUSE, M. (2002/2019):** Envi-Met - Mikroskaliges Klimamodell. Bochum.
- BUNDESGESETZBLATT (2011):** Teil I Nr. 39. Gesetz zur Förderung des Klimaschutzes bei der Entwicklung in den Städte und Gemeinden. Bonn.
- DEUTSCHER STÄDTETAG (2012):** Positionspapier Anpassung an den Klimawandel – Empfehlungen und Maßnahmen der Städte. Köln.
- DEUTSCHER WETTERDIENST (2008):** Das Kaltluftabfluss-Modell KLAM_21. Theoretische Grundlagen und Handhabung des PC-Programms. Offenbach a. M.
- FRIEDRICH, J. ET AL. (2014):** Klimaanpassung in Kommunen und Regionen – eine Praxishilfe des Umweltbundesamtes. In: UVP-Report 28 (3 + 4). Hamm. S. 133 - 138
- GEO-NET UMWELTCONSULTING GMBH / ÖKOPLANA (2009):** Analyse der klima- und immissionsökologischen Funktionen für das Gebiet der Metropolregion Rhein-Neckar auf Basis einer GIS-gestützten Modellierung von stadtklimatisch und lufthygienisch relevanten Kenngrößen mit dem 3D-Klimamodell FITNAH. Hannover. Mannheim.
- GEO-NET UMWELTCONSULTING GMBH, ÖKOPLANA (2015):** Stadtklimagutachten für die Stadt Heidelberg. Hannover, Mannheim.
- GEO-NET UMWELTCONSULTING GMBH, ÖKOPLANA (2017):** Planungsempfehlungen für die (stadt-)klimawandelgerechte Entwicklung von Konversionsflächen – Modellvorhaben Heidelberg. Reihe KLIMOPASS-Berichte. Hrsg.: LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg. Karlsruhe.
- GIESE-EICHHORN (2009/2016):** Handbuch zum prognostischen Strömungsmodell MISKAM. Wackernheim.
- IÖR (2011):** REGKLAM Ergebnisbericht. Regionales Klimaanpassungsprojekt Modellregion Dresden. Stadtstrukturabhängige Ausweisung sensibler Siedlungsräume bei thermischen Belastungen als Grundlage für die künftige Stadtentwicklung. Dresden.
- KATZSCHNER, A. (2008):** Thermische Belastungen und Gesundheit im stadtplanerischen Kontext. In: UVP-Report 22, Ausgabe 5. Hamm.

KUTTLER, W. (2010): Urbanes Klima, Teil 2. In: Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 70, Nr. 9

LÄHNE, W. (2014): Wohin bewegt sich unser Klima? Oder. Wo gibt es in Europa bereits unser zukünftiges Klima? Antwort in der Kürze: in Richtung Toulouse und Verona. In: Pollichia-Kurier 30/(4)/2014.Neustadt a.d.W.

MANN ET AL. (2000): Wasserhaushalt begrünter Dächer. In: Dach + Grün. 1/2000

NACHBARSCHAFTSVERBAND HEIDELBERG-MANNHEIM (2002): Klimauntersuchung Nachbarschaftsverband Heidelberg-Mannheim. Mannheim.

ÖKOPLANA (2010): Stadtklimaanalyse Mannheim 2010. Mannheim.

ÖKOPLANA (2014): Klimagutachten zum Wohnbauprojekt „Am Rheinauer See“ in Mannheim. Mannheim.stw

PFOSE ET AL. (2013): Gebäude, Begrünung und Energie: Potenziale und Wechselwirkungen. Interdisziplinärer Leitfaden als Planungshilfe zur Nutzung energetischer, klimatischer und gestalterischer Potenziale sowie zu den Wechselwirkungen von Gebäude, Bauwerksbegrünung und Gebäudeumfeld, Forschungsbericht, Technische Universität Darmstadt.

STEINICKE UND STREIFENEDER (2009): Thermalscannerbefliegung Mannheim. Freiburg i. Br.

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (2008): VDI 3787, Bl. 2. Methoden zur human-bio-meteorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung – Teil I: Klima. Düsseldorf.

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (2003): VDI 3787, Bl. 5. Lokale Kaltluft. Düsseldorf.

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (2019): VDI 3787, Bl. 8. Stadtentwicklung im Klimawandel. **Entwurf.** Düsseldorf.

Internetinformationen:

<https://www.deutschesklimaportal.de>

<https://www.dwd.de/>

<https://docplayer.org/73084289-Miskam-giese-eichhorn-umweltmeteorologische-software-handbuch-zu-version-6-im-auftrag-von-am-spielplatz-wackernheim-tel.html>

<https://www.envi-met.com>

<https://lubw.de>

<https://www.klimafolgenonline.com>

Abb. 1 Luftbild - Lage des geplanten Bauprojekts „Wohnen Am Schrankenbuckel“



Luftbild bereitgestellt von:
Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung
Baden-Württemberg

Projekt:
Klimaökologisches Gutachten zum
Bauprojekt „Wohnen Am Schrankenbuckel“
in der Gemeinde Brühl

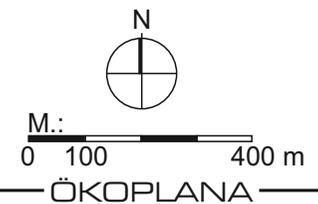


Abb. 2 Luftbild mit Bestandsplan vom Planungsgebiet und dessen Umfeld



Luftbild bereitgestellt von:
Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung
Baden-Württemberg

aufgenommen am: 02. – 16. Feb. 2017



Projekt:
Klimaökologisches Gutachten zum
Bauprojekt „Wohnen Am Schrankenbuckel“
in der Gemeinde Brühl

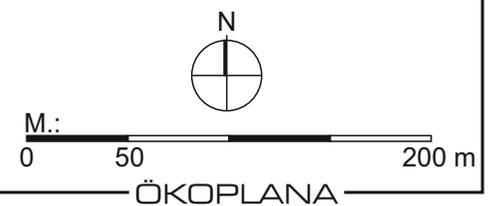
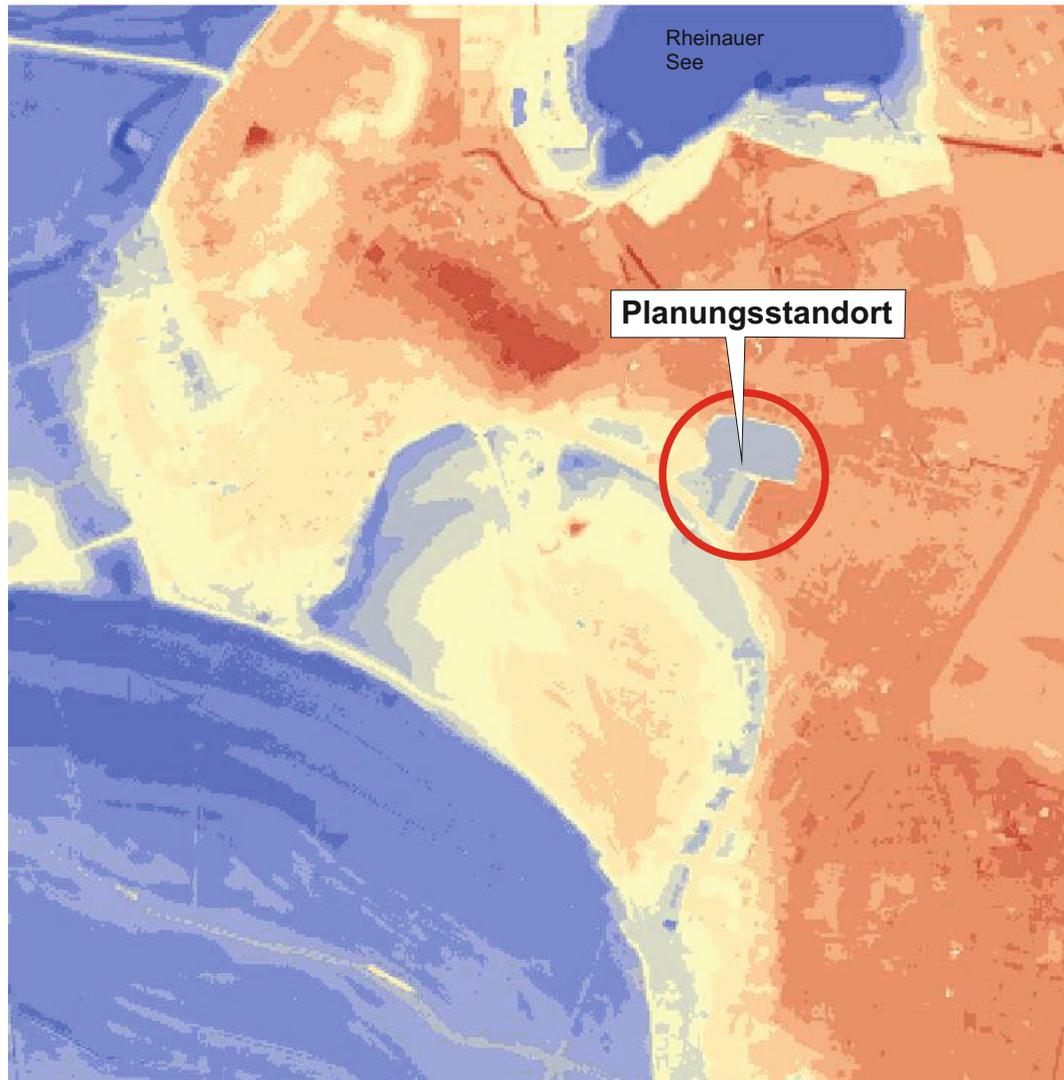
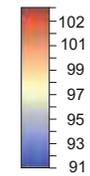


Abb. 3 Reliefsituation im Umfeld des Planungsgebiets



Reliefdaten (DGM_5) bereitgestellt von:
Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung
Baden-Württemberg

Geländehöhe in m ü. NHN



Projekt:
Klimaökologisches Gutachten zum
Bauprojekt „Wohnen Am Schrankenbuckel“
in der Gemeinde Brühl

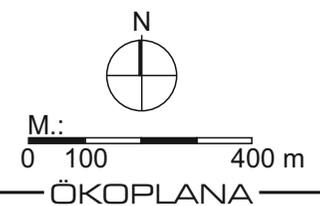


Abb. 4 Allgemeine Windverhältnisse am Planungsstandort „Wohnen Am Schrankenbuckel“

Synthetische Wind- und Ausbreitungsklassenstatistiken Baden-Württemberg (Antriebszeitraum 2001 - 2010)

© 2013 Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg
© 2013 Arge METCON (Pinneberg), IB Rau (Heilbronn), metSoft GbR (Heilbronn)

Version 2.05

Lage in UTM ETRS89

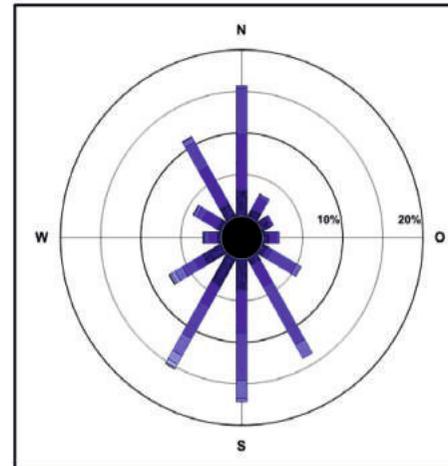
Rechtswert: 32 466 438
Hochwert: 5 472 750

Mittlere Windgeschwindigkeit:

2.5 m/s

**Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeiten (m/s) und Windrichtungssektoren (°) in %
(Klassenaufteilung nach TA Luft)**

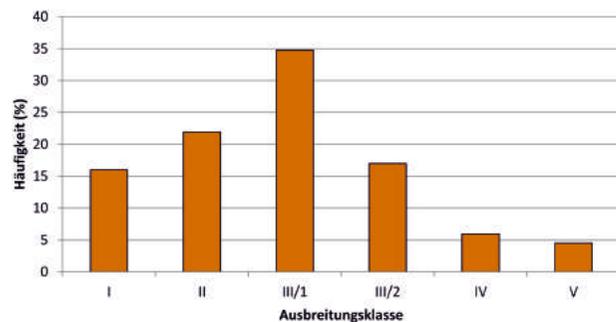
Geschwindigkeit	0-1.3	1.4-1.8	1.9-2.3	2.4-3.8	3.9-5.4	5.5-6.9	7.0-8.4	8.5-10.0	> 10.0	Summe
Richtung	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	
346°-015°	3.31	3.21	3.39	5.53	0.32	0.02	0.00	0.00	0.00	15.77
016°-045°	1.11	0.66	0.94	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.15
046°-075°	1.30	0.02	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.64
076°-105°	0.74	0.07	1.03	0.26	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	2.12
106°-135°	0.91	0.46	0.13	3.44	0.69	0.00	0.00	0.00	0.00	5.63
136°-165°	1.01	0.86	2.11	7.99	1.93	0.00	0.00	0.00	0.00	13.90
166°-195°	3.93	2.49	2.53	5.68	2.24	0.32	0.04	0.00	0.00	17.24
196°-225°	4.01	1.32	1.37	4.42	2.40	1.18	0.48	0.16	0.04	15.38
226°-255°	2.82	0.62	0.49	1.68	1.09	0.58	0.23	0.07	0.02	7.59
256°-285°	0.58	0.03	0.88	0.70	0.06	0.01	0.00	0.05	0.00	2.31
286°-315°	0.79	0.37	1.62	0.83	0.41	0.02	0.00	0.09	0.00	4.13
316°-345°	1.92	2.07	3.05	3.34	0.64	0.12	0.01	0.00	0.00	11.15
Summe	22.43	12.16	17.88	34.30	9.81	2.24	0.75	0.37	0.07	100.00



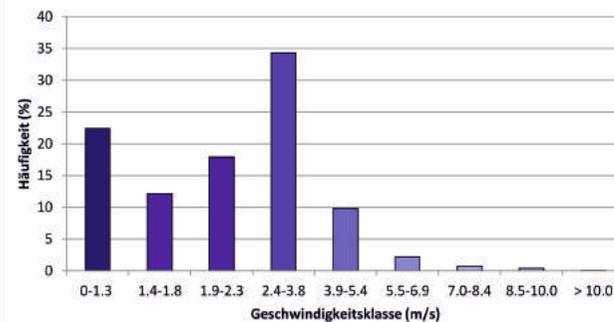
Häufigkeit der Ausbreitungsklassen nach Klug/Manier in %

Klasse	I	II	III/1	III/2	IV	V
	15.99	21.86	34.76	16.97	5.92	4.51

Häufigkeit der Ausbreitungsklassen nach Klug/Manier

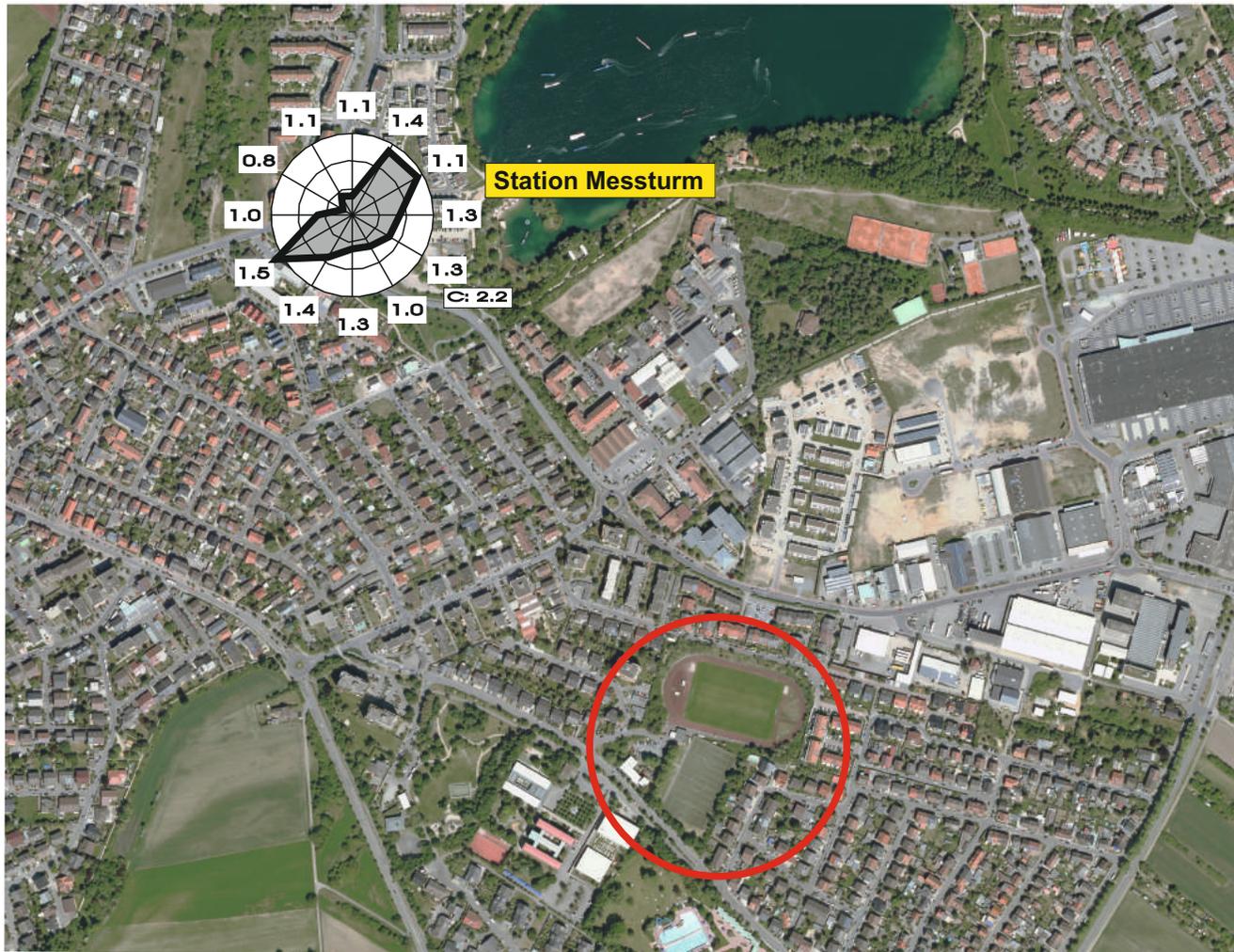


Häufigkeit der Windgeschwindigkeitsklassen nach TA Luft



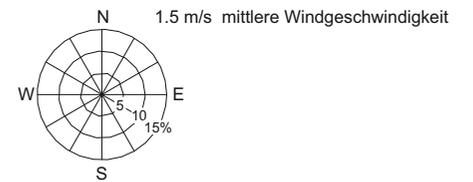
Projekt:
Klimaökologisches Gutachten zum
Bauprojekt „Wohnen Am Schrankenbuckel“
in der Gemeinde Brühl

**Abb. 5.2 Häufigkeitsverteilung der Windrichtung und Windgeschwindigkeit
Zeitraum: März - Oktober 2013, Strahlungstage**



Luftbild bereitgestellt von:
Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung
Baden-Württemberg

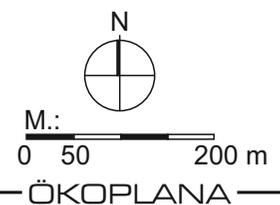
Messungen: ÖKOPLANA



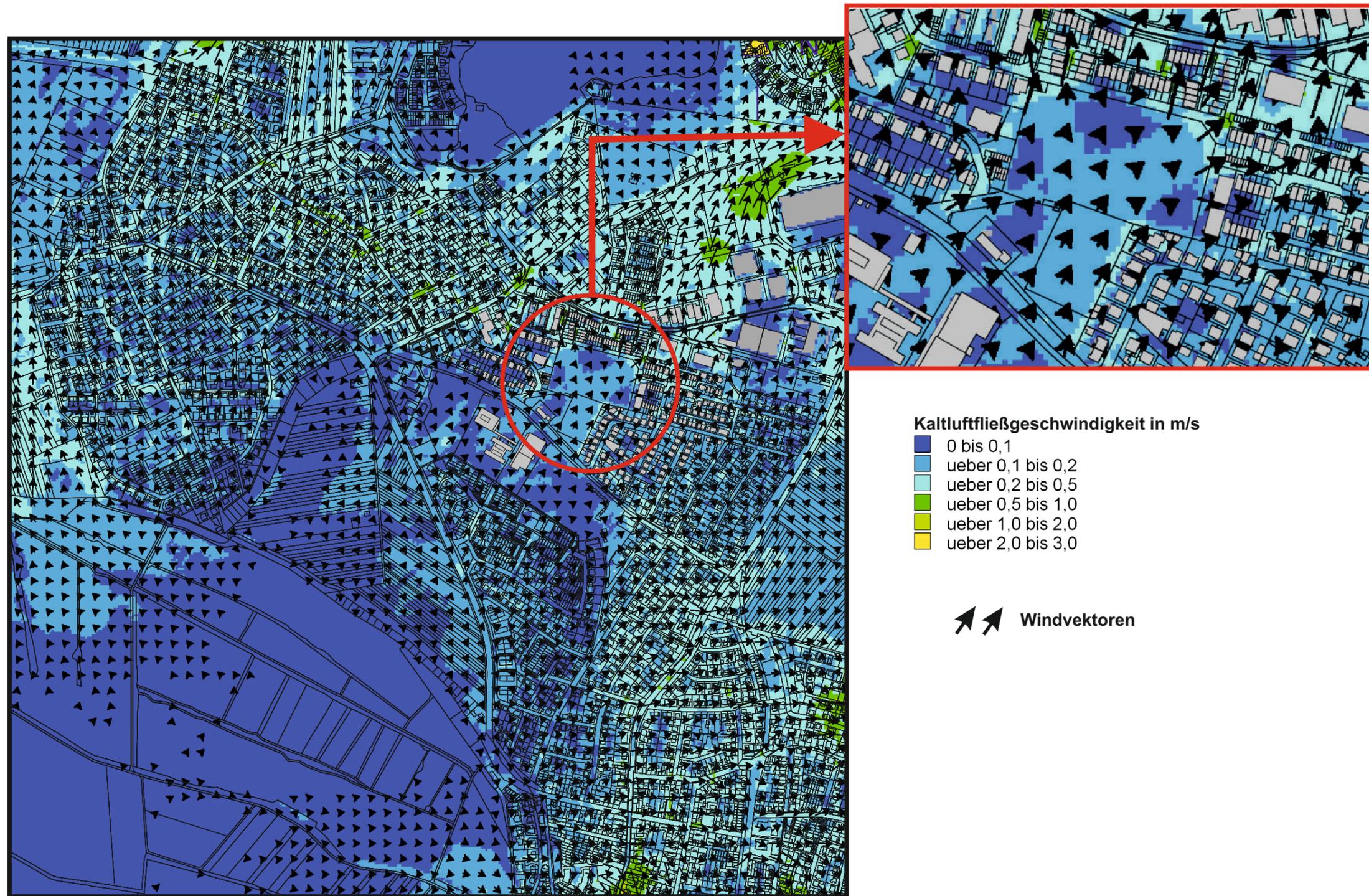
▲ 00:00 - 23:30 Uhr

○ **Planungsstandort**

Projekt:
Klimaökologisches Gutachten zum
Bauprojekt „Wohnen Am Schrankenbuckel“
in der Gemeinde Brühl



**Abb. 6 Lokale Kaltluftbewegungen in sommerlichen Strahlungsächten (1. Nachthälfte).
Ergebnisse mesoskaliger Kaltluftströmungssimulationen**



Kaltluftfließgeschwindigkeit in m/s

- 0 bis 0,1
- ueber 0,1 bis 0,2
- ueber 0,2 bis 0,5
- ueber 0,5 bis 1,0
- ueber 1,0 bis 2,0
- ueber 2,0 bis 3,0

↖ ↗ **Windvektoren**

M.:
0 100 400 m

Projekt:
Klimaökologisches Gutachten zum
Bauprojekt „Wohnen Am Schrankenbuckel“
in der Gemeinde Brühl

Grundlagenkarte bereitgestellt von:
Ortsverwaltung Brühl



**Abb. 7 Erfassung der bodennahen Kaltluftbewegungen mit Hilfe von Rauchfahnen
am 22.08.2019 (23:45 - 00:15 Uhr)**



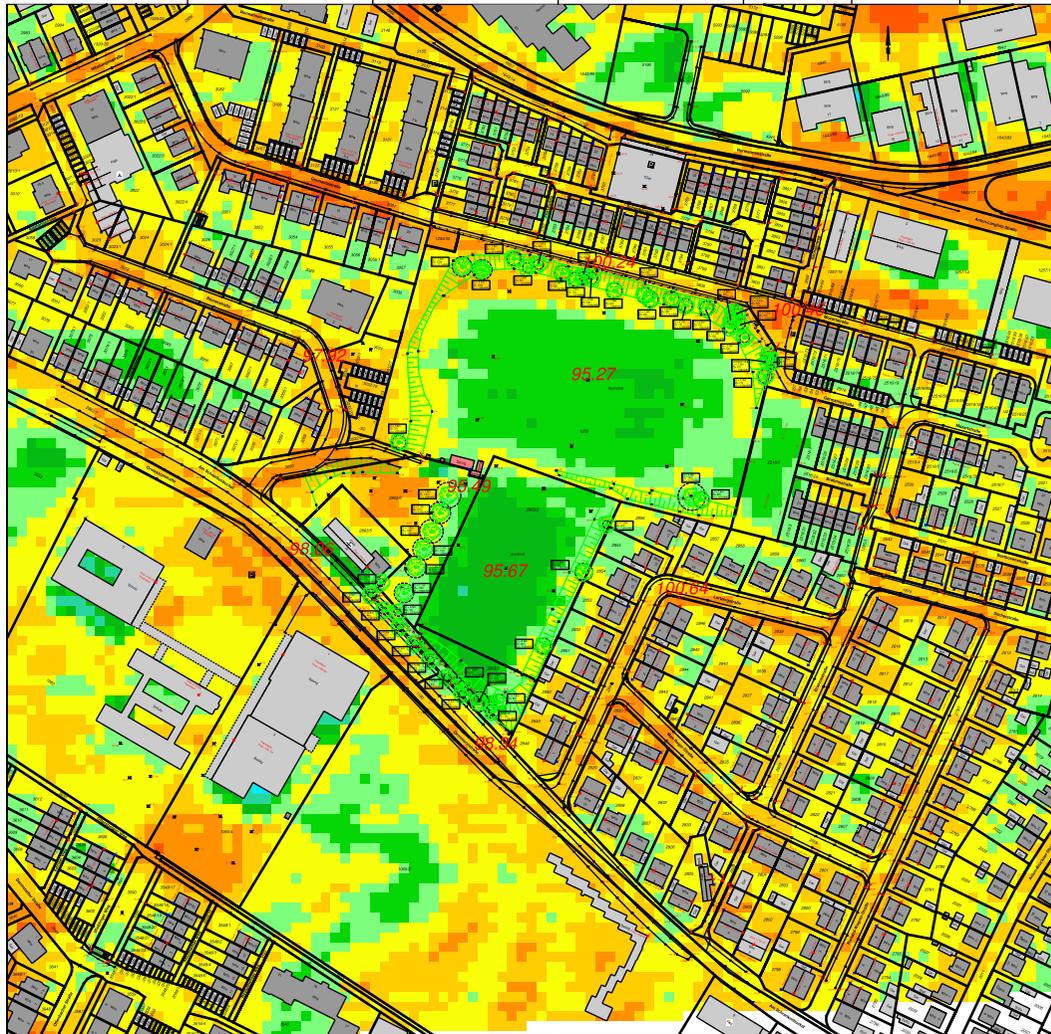
Luftbild bereitgestellt von:
Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung
Baden-Württemberg

Messungen: ÖKOPLANA

 Windrichtung
(Ausbreitungsrichtung der Rauchfahne)

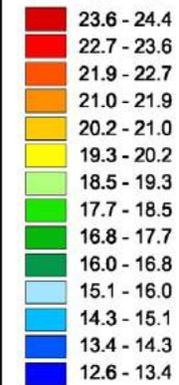
Projekt:
Klimaökologisches Gutachten zum
Bauprojekt „Wohnen Am Schrankenbuckel“
in der Gemeinde Brühl

Abb. 8 IR-Thermalbildaufnahme vom 31.08.2009 - Abendsituation (20:00 - 21:00 Uhr)



IR_Thermalbildaufnahme:
Steinicke & Streifeneder, Freiburg i. Br.

**Oberflächen-
strahlungstemperatur (°C)**



Projekt:
Klimaökologisches Gutachten zum
Bauprojekt „Wohnen Am Schrankenbuckel“
in der Gemeinde Brühl

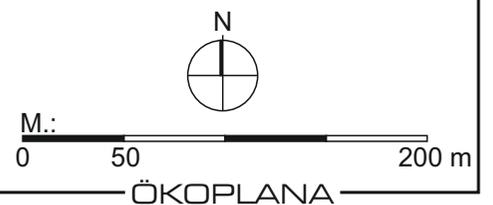
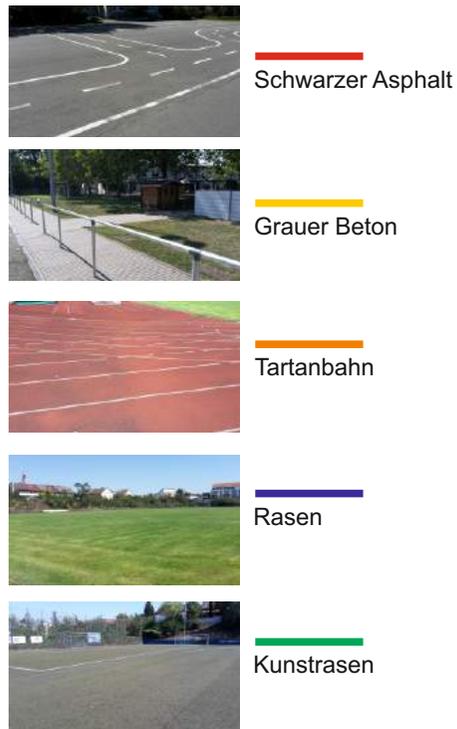


Abb. 9 Oberflächentemperaturen unterschiedlicher Bodenbeläge am 22.08.2019

Projekt:
Klimaökologisches Gutachten zum
Bauprojekt „Wohnen Am Schrankenbuckel“
in der Gemeinde Brühl



Fotoaufnahmen: ÖKOPLANA:

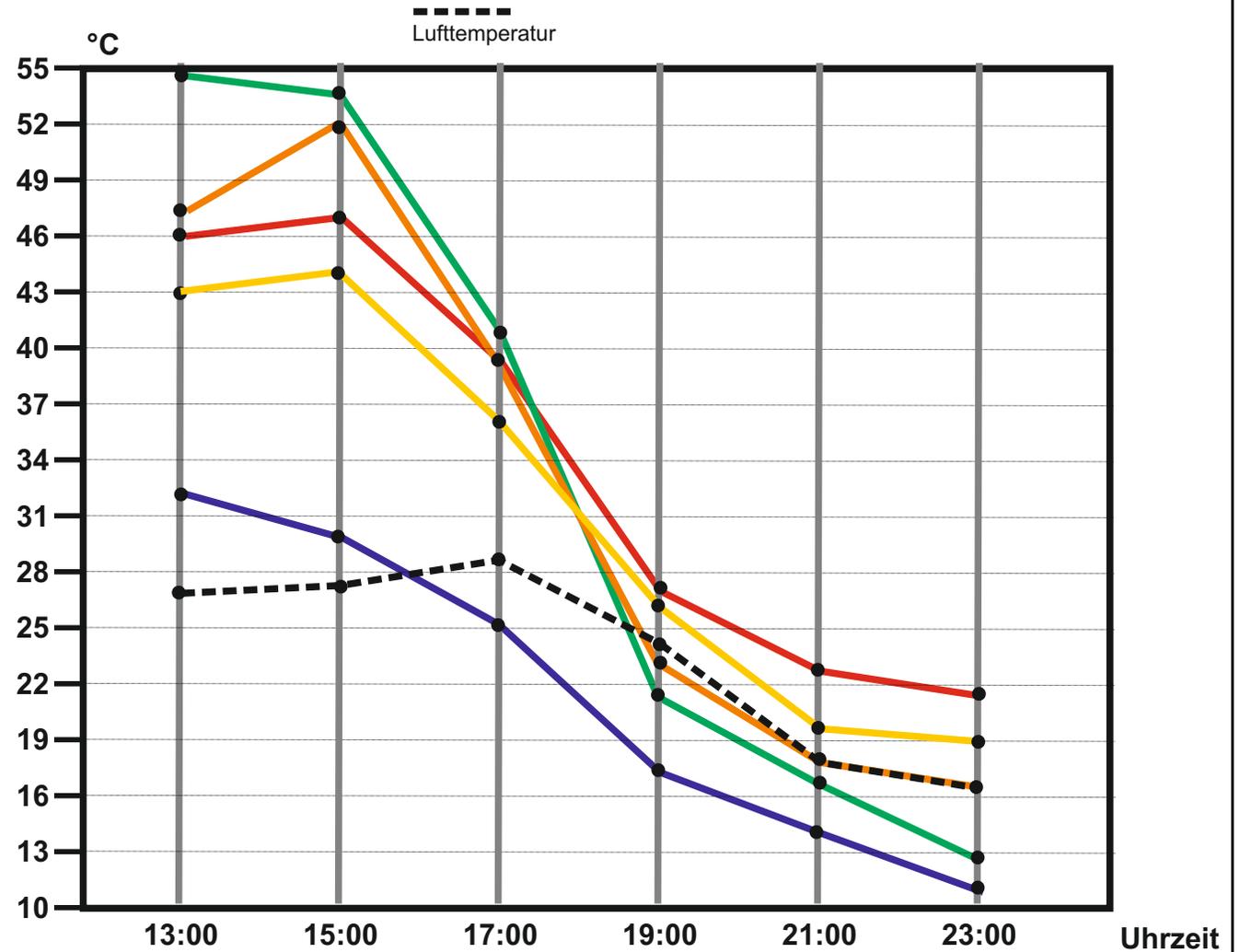
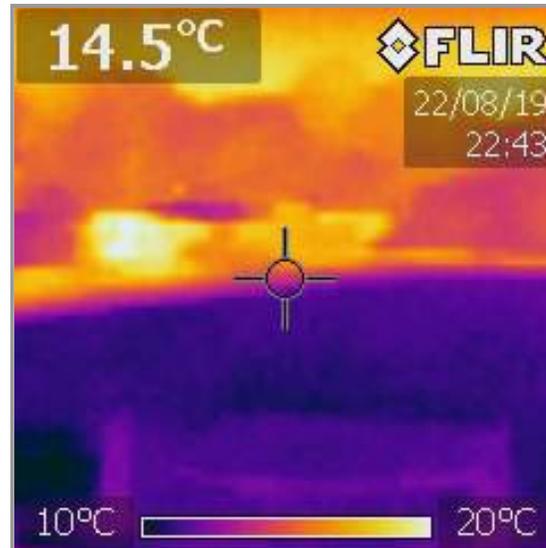
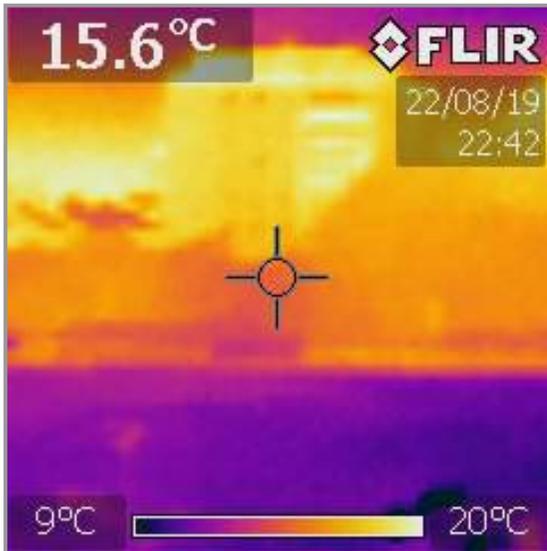


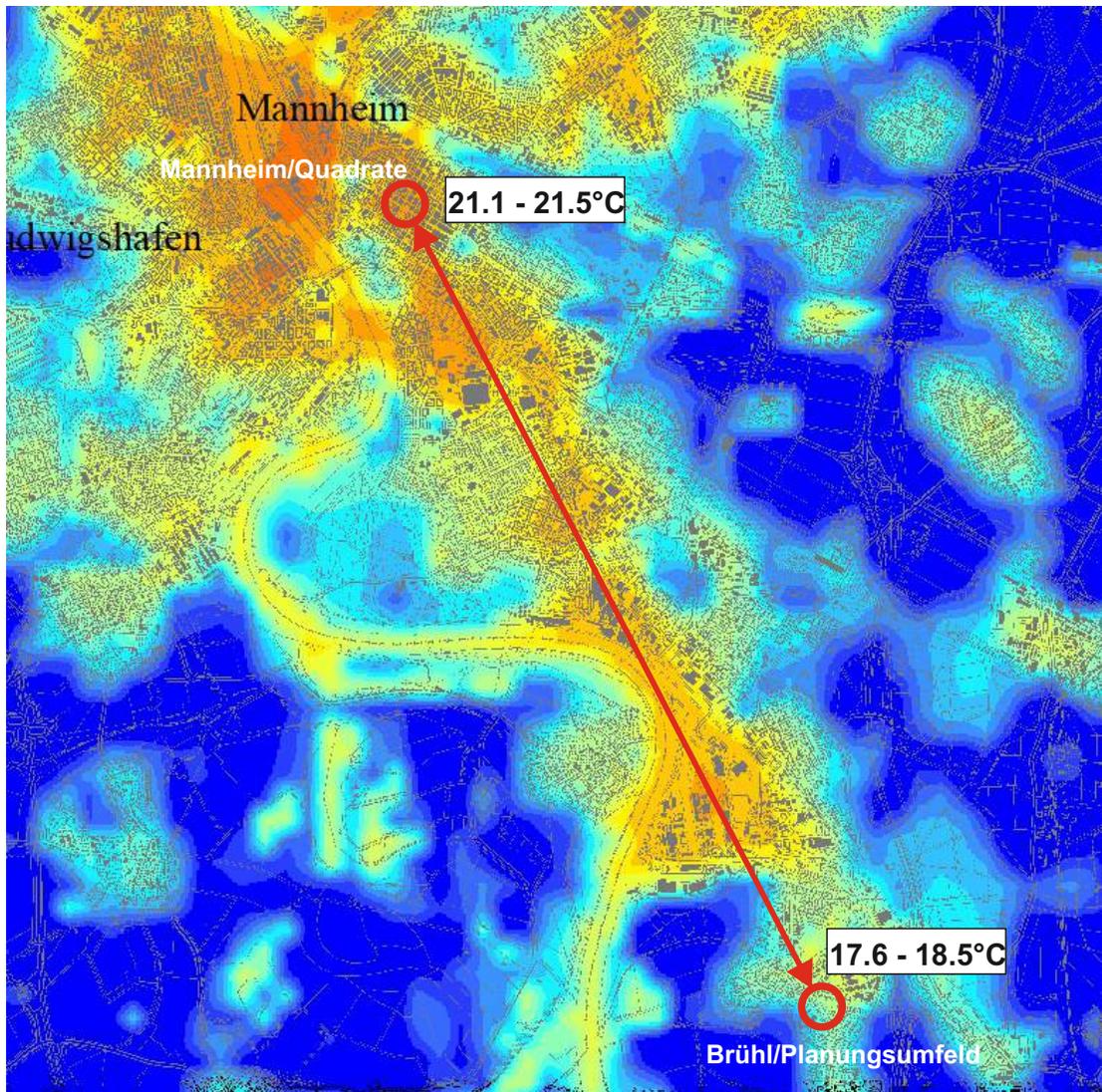
Abb. 10 IR-Aufnahme - Sportgelände



Fotos: ÖKOPLANA

Projekt:
Klimaökologisches Gutachten zum
Bauprojekt „Wohnen Am Schrankenbuckel“
in der Gemeinde Brühl

**Abb. 11 Berechnete Lufttemperaturverteilung in einer Sommernacht (04:00 Uhr).
Ergebnisse mesoskaliger Lufttemperatursimulationen**



Grafik aus:
GEO-NET Umweltconsulting GmbH / ÖKOPLANA (2009):
Analyse der klimaökologischen Funktionen für das
Gebiet der Metropolregion Rhein-Neckar.

Lufttemperatur in °C

- 14,2 - 14,5
- 14,6 - 15
- 15,1 - 15,5
- 15,6 - 16
- 16,1 - 16,5
- 16,6 - 17
- 17,1 - 17,5
- 17,6 - 18
- 18,1 - 18,5
- 18,6 - 19
- 19,1 - 19,5
- 19,6 - 20
- 20,1 - 20,5
- 20,6 - 21
- 21,1 - 21,5
- 21,6 - 22

Projekt:
Klimaökologisches Gutachten zum
Bauprojekt „Wohnen Am Schrankenbuckel“
in der Gemeinde Brühl



Abb. 12 Messtechnik - Lufttemperaturmessfahrten



Messfahrzeug mit Temperaturegeber

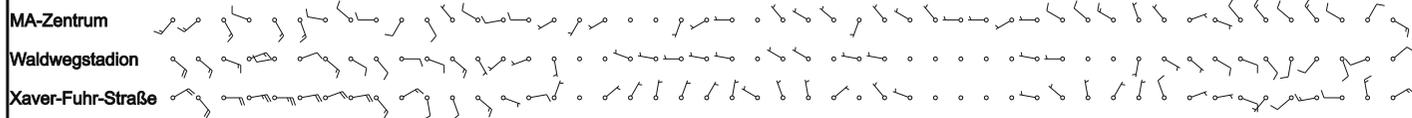
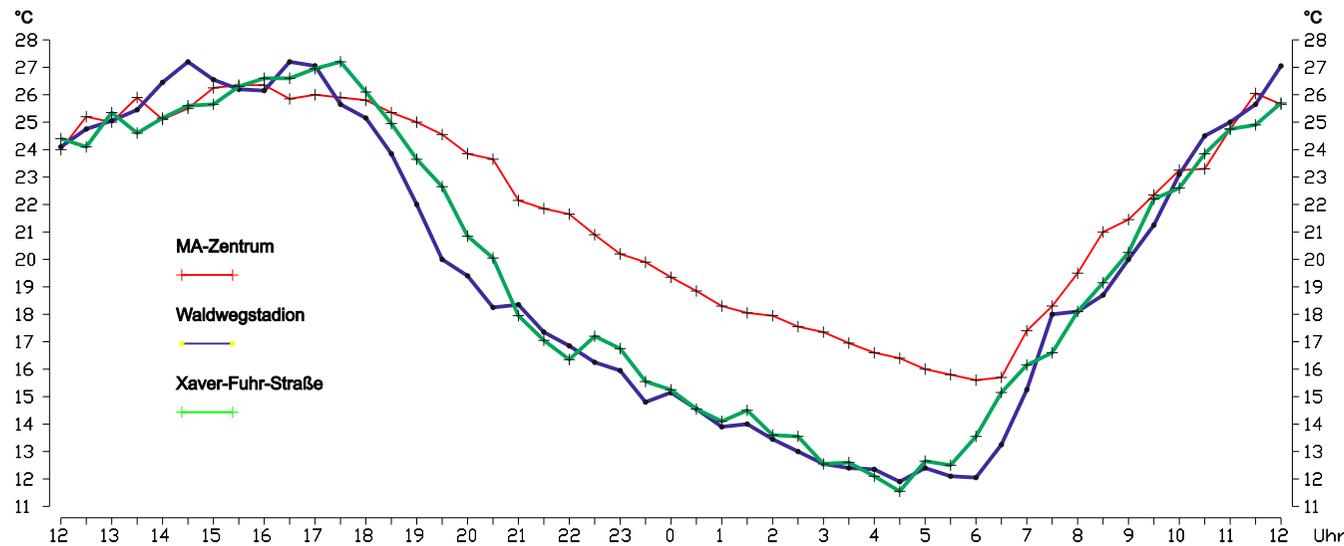
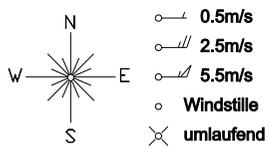
Messgerät: Ventilierter Psychrometer fer Fa. Ahlborn



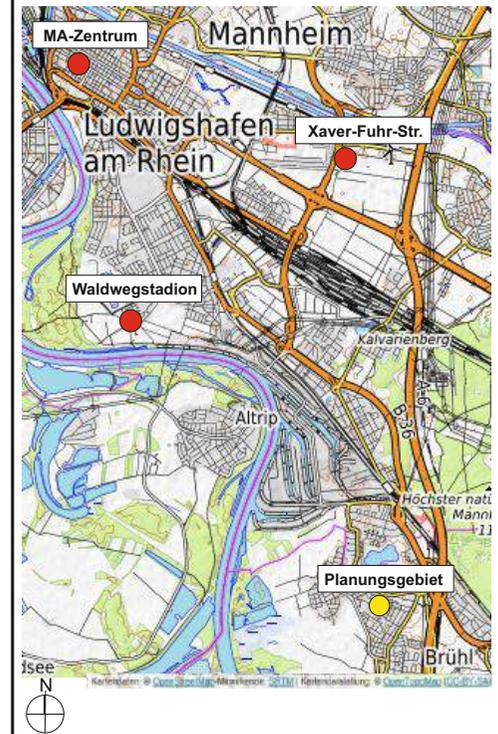
Fotos: ÖKOPLANA

Projekt:
Klimaökologisches Gutachten zum
Bauprojekt „Wohnen Am Schrankenbuckel“
in der Gemeinde Brühl

Abb. 13 Tagesgänge der Lufttemperatur und des Windes am 22.-23.08.2019 an ausgewählten Stationsstandorten im Stadtgebiet von Mannheim



Datenerfassung: ÖKOPLANA



Projekt:
Klimaökologisches Gutachten zum Bauprojekt „Wohnen Am Schrankenbuckel“ in der Gemeinde Brühl

Abb. 14 Isothermenkarte nach Messfahrten am 22.08.2019 (21:30 Uhr)

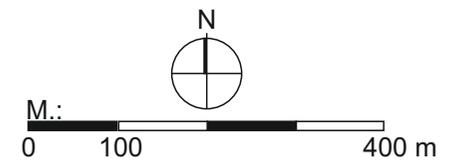


Luftbild bereitgestellt von:
Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung
Baden-Württemberg

Lufttemperatur in °C

- 20 - 21
- 19 - 20
- 18 - 19
- 17 - 18
- 16 - 17
- 15 - 16

Projekt:
Klimaökologisches Gutachten zum
Bauprojekt „Wohnen Am Schrankenbuckel“
in der Gemeinde Brühl



ÖKOPLANA

Abb. 15 Isothermenkarte nach Messfahrten am 22.08.2019 (23:00 Uhr)

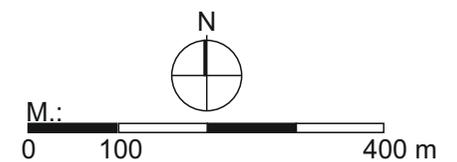


Luftbild bereitgestellt von:
Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung
Baden-Württemberg

Lufttemperatur in °C

- 19 - 20
- 18 - 19
- 17 - 18
- 16 - 17
- 15 - 16
- 14 - 15

Projekt:
Klimaökologisches Gutachten zum
Bauprojekt „Wohnen Am Schrankenbuckel“
in der Gemeinde Brühl



ÖKOPLANA

Abb. 16 Masterplan „Wohnen Am Schrankenbuckel“, Stand: 01/2019



Am Schrankenbuckel
17-wbwy/06-brühl

Masterplan
Stand 25.01.2019

Lageplan
Mallstraße 1110909



Baufrösche
Architekten und Stadtplaner GmbH
www.baufroesche.de



BILGER FELLMETH
Bilgerfellmeth & Partner
Friedrichstraße 1 · 60311 Frankfurt am Main
Tel: +49 69 978 890-0 · Fax: +49 69 978 890-20
www.bilgerfellmeth.com · mail@bilgerfellmeth.com

M.: 0 20 80 m

Projekt:
Klimaökologisches Gutachten zum
Bauprojekt „Wohnen Am Schrankenbuckel“
in der Gemeinde Brühl



ÖKOPLANA

Abb. 17 Städtebauliches Konzept „Wohnen Am Schrankenbuckel“, Stand:11/2019



Entwurf:



Baufrosche
Architekten und Stadtplaner GmbH
www.baufrosche.de

**BILGER
FELLMETH**
Architekten BDA

BIERBAUM.AICHELE.
landschaftsarchitekten

Projekt:

Klimaökologisches Gutachten zum
Bauprojekt „Wohnen Am Schrankenbuckel“
in der Gemeinde Brühl



ÖKOPLANA

Abb. 18 Städtebauliches Konzept „Wohnen Am Schrankenbuckel“, Stand: 01/2020



Entwurf:



Baufrosche
Architekten und Stadtplaner GmbH
www.baufrosche.de

**BILGER
FELLMETH**
Architekten BDA

BIERBAUM.AICHELE.
landschaftsarchitekten

Projekt:
Klimaökologisches Gutachten zum
Bauprojekt „Wohnen Am Schrankenbuckel“
in der Gemeinde Brühl



M.:
0 20 80 m

ÖKOPLANA

Abb. 19 Abschließendes städtebauliches Konzept „Wohnen Am Schrankenbuckel“, Stand: 06/2020



BGF R : ca. 38.123m²

Entwurf:



Baufrösche
Architekten und Stadtplaner GmbH
www.baufroesche.de

**BILGER
FELLMETH**
Architekten BDA

BIERBAUM.AICHELE.
landschaftsarchitekten

Projekt:
Klimaökologisches Gutachten zum
Bauprojekt „Wohnen Am Schrankenbuckel“
in der Gemeinde Brühl



ÖKOPLANA

Abb. 20 Beispielhafter Schnitt im Bereich Germaniastraße



Entwurf:



Baufrösche
Architekten und Stadtplaner GmbH
www.baufroesche.de

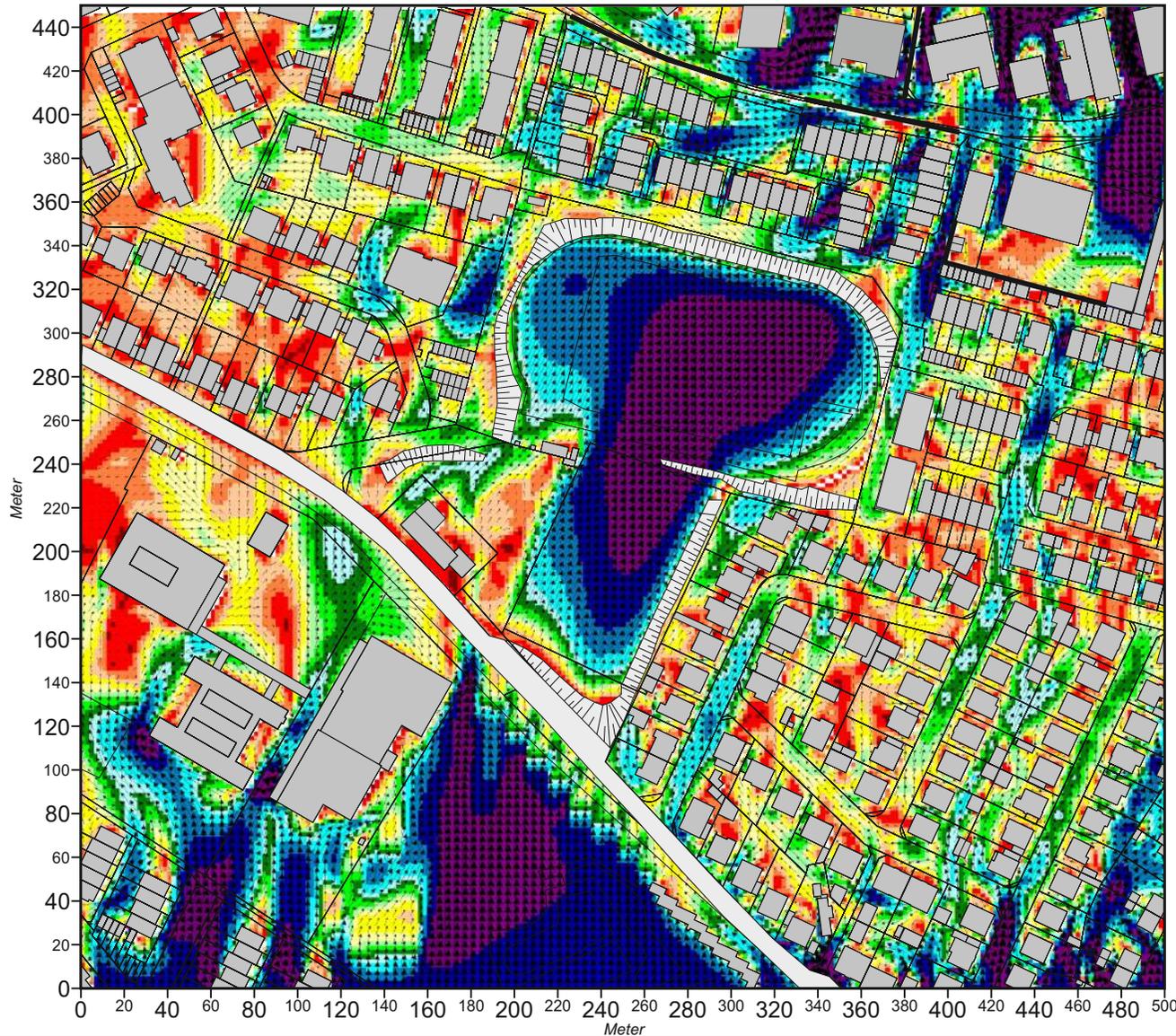
**BILGER
FELLMETH**
Architekten BDA

BIERBAUM.AICHELE.
landschaftsarchitekten

Projekt:

Klimaökologisches Gutachten zum
Bauprojekt „Wohnen Am Schrankenbuckel“
in der Gemeinde Brühl

Abb. 21.1 Ist-Zustand, Ergebnisse von Strömungssimulationen.
 Windgeschwindigkeit und Windrichtung 2 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Süden
 mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.



Grundlagenkarte bereitgestellt von:
 Ortsverwaltung Brühl

Windgeschwindigkeit in m/s

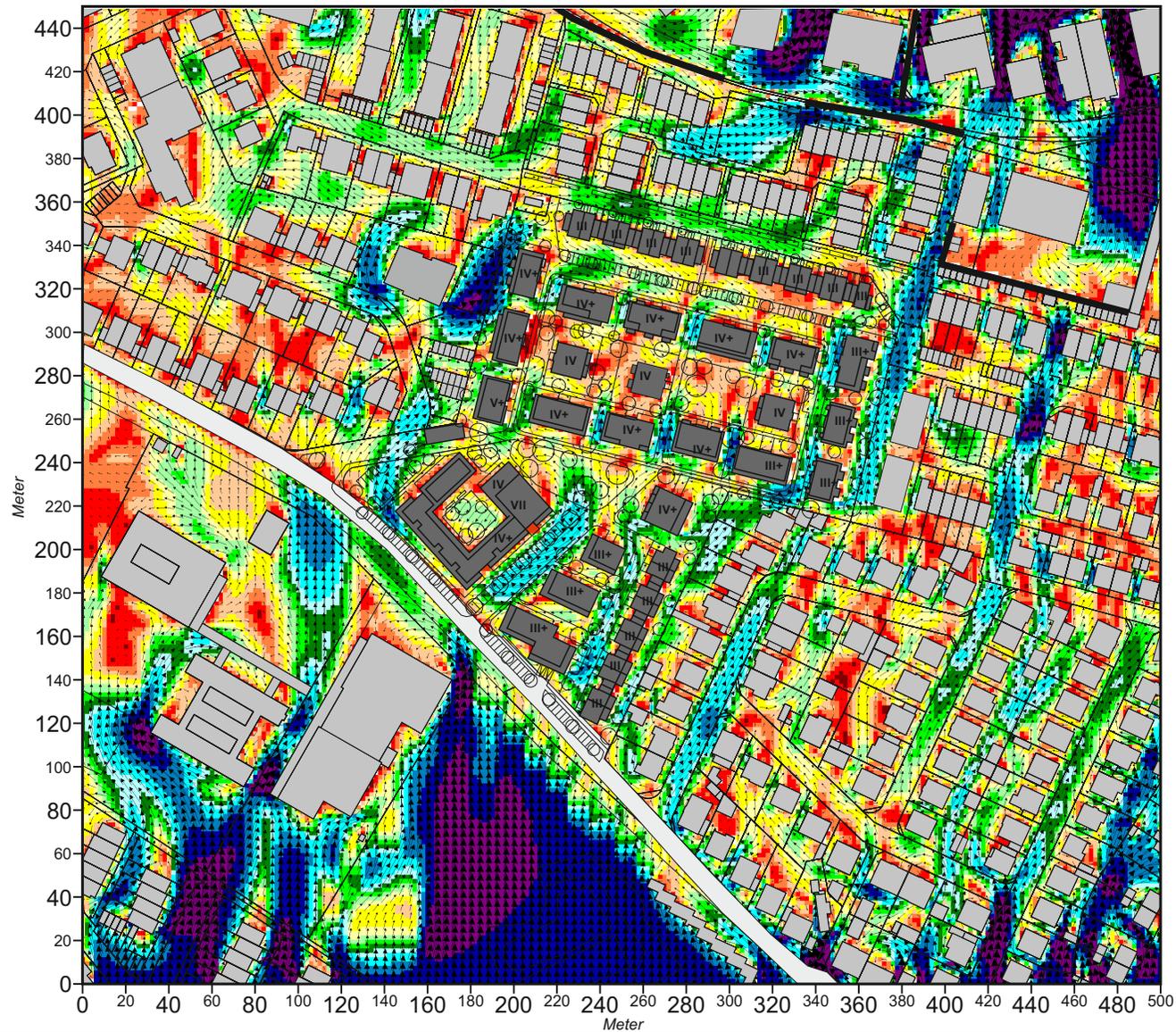
- ≥ 1.6
- ≥ 1.4
- ≥ 1.2
- ≥ 1.0
- ≥ 0.9 gute Belüftungsintensität
- ≥ 0.8
- ≥ 0.7
- ≥ 0.6 mäßige Belüftungsintensität
- ≥ 0.5
- ≥ 0.4
- ≥ 0.3 geringe Belüftungsintensität
- ≥ 0.2
- ≥ 0.1
- ≥ 0.0 sehr geringe Belüftungsintensität

- Windvektoren
- vorgegebene Anströmungsrichtung

Projekt:
 Klimaökologisches Gutachten zum
 Bauprojekt „Wohnen Am Schrankenbuckel“
 in der Gemeinde Brühl



Abb. 21.2 Plan-Zustand, Ergebnisse von Strömungssimulationen.
Windgeschwindigkeit und Windrichtung 2 m ü.G. Windanströmung aus Süden
mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.



Grundlagenkarte bereitgestellt von:
 Ortsverwaltung Brühl

Windgeschwindigkeit in m/s



Windvektoren

vorgegebene Anströmungsrichtung

Projekt:
 Klimaökologisches Gutachten zum
 Bauprojekt „Wohnen Am Schrankenbuckel“
 in der Gemeinde Brühl

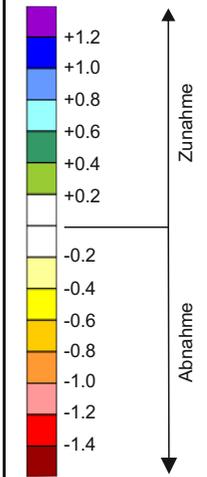


**Abb. 21.3 Vorher-Nachher-Vergleich, Ergebnisse von Strömungssimulationen.
Veränderung der Windgeschwindigkeit durch den Plan-Zustand 2 m ü.G.
Windanströmung aus Süden mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.**



Grundlagenkarte bereitgestellt von:
Ortsverwaltung Brühl

**Zu- bzw. Abnahme der
Windgeschwindigkeit in m/s**



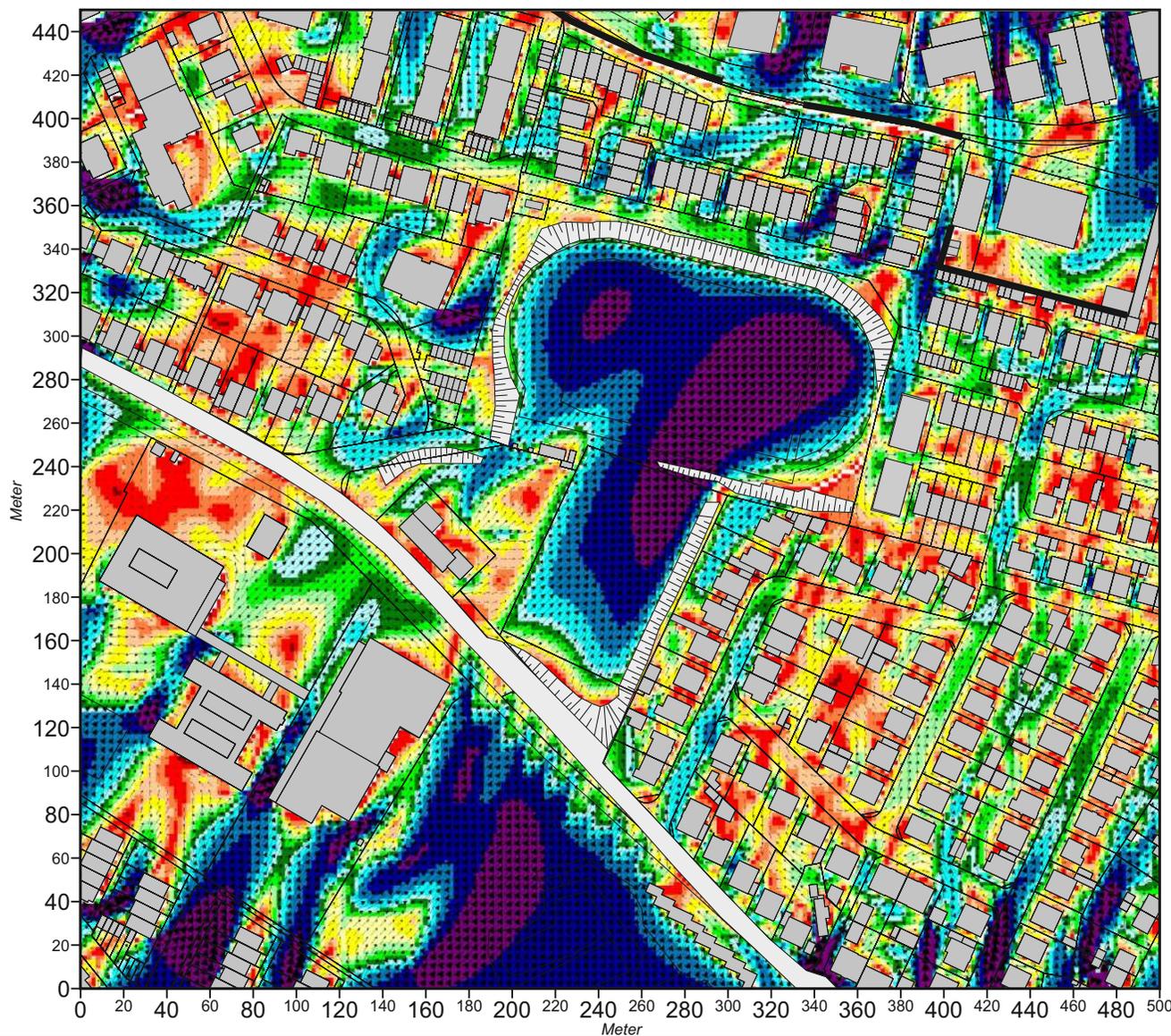
Zunahme
Abnahme

↑ vorgegebene
Anströmungsrichtung

Projekt:
Klimaökologisches Gutachten zum
Bauprojekt „Wohnen Am Schrankenbuckel“
in der Gemeinde Brühl



Abb. 22.1 Ist-Zustand, Ergebnisse von Strömungssimulationen.
Windgeschwindigkeit und Windrichtung 2 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Südwesten mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.



Grundlagenkarte bereitgestellt von:
 Ortsverwaltung Brühl

Windgeschwindigkeit in m/s



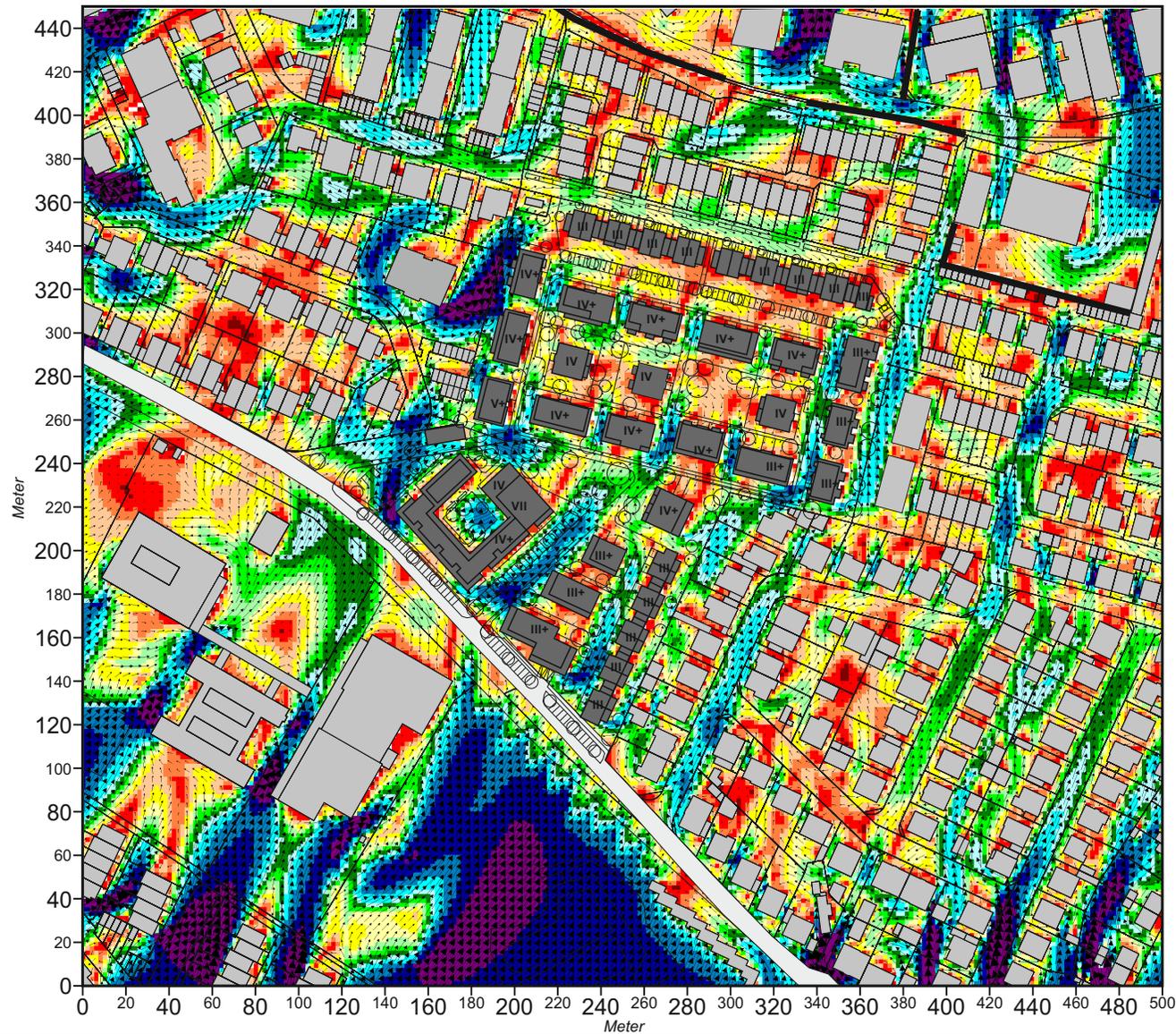
 Windvektoren

 vorgegebene
 Anströmungsrichtung

Projekt:
 Klimaökologisches Gutachten zum
 Bauprojekt „Wohnen Am Schrankenbuckel“
 in der Gemeinde Brühl



Abb. 22.2 Plan-Zustand, Ergebnisse von Strömungssimulationen.
Windgeschwindigkeit und Windrichtung 2 m ü.G. Windanströmung aus Südwesten
mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.



Grundlagenkarte bereitgestellt von:
 Ortsverwaltung Brühl

Windgeschwindigkeit in m/s

Dark Purple	>= 1.6
Dark Blue	>= 1.4
Blue	>= 1.2
Cyan	>= 1.0
Light Cyan	>= 0.9 gute Belüftungsintensität
Dark Green	>= 0.8
Bright Green	>= 0.7
Light Green	>= 0.6 mäßige Belüftungsintensität
Yellow	>= 0.5
Orange	>= 0.4
Light Orange	>= 0.3 geringe Belüftungsintensität
Red	>= 0.2
Dark Red	>= 0.1
Dark Red	>= 0.0 sehr geringe Belüftungsintensität

Windvektoren
 vorgegebene Strömungsrichtung

Projekt:
 Klimaökologisches Gutachten zum
 Bauprojekt „Wohnen Am Schrankenbuckel“
 in der Gemeinde Brühl

N

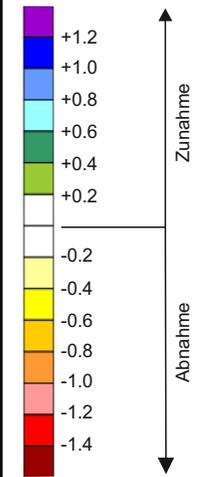
ÖKOPLANA

**Abb. 22.3 Vorher-Nachher-Vergleich, Ergebnisse von Strömungssimulationen.
Veränderung der Windgeschwindigkeit durch den Plan-Zustand 2 m ü.G.
Windanströmung aus Südwesten mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.**



Grundlagenkarte bereitgestellt von:
Ortsverwaltung Brühl

**Zu- bzw. Abnahme der
Windgeschwindigkeit in m/s**



Zunahme
Abnahme

↖ vorgegebene
Anströmungsrichtung

Projekt:
Klimaökologisches Gutachten zum
Bauprojekt „Wohnen Am Schrankenbuckel“
in der Gemeinde Brühl



Abb. 23.1 Ist-Zustand, Ergebnisse von Strömungssimulationen.
 Windgeschwindigkeit und Windrichtung 2 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Norden
 mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.



Grundlagenkarte bereitgestellt von:
 Ortsverwaltung Brühl

Windgeschwindigkeit in m/s



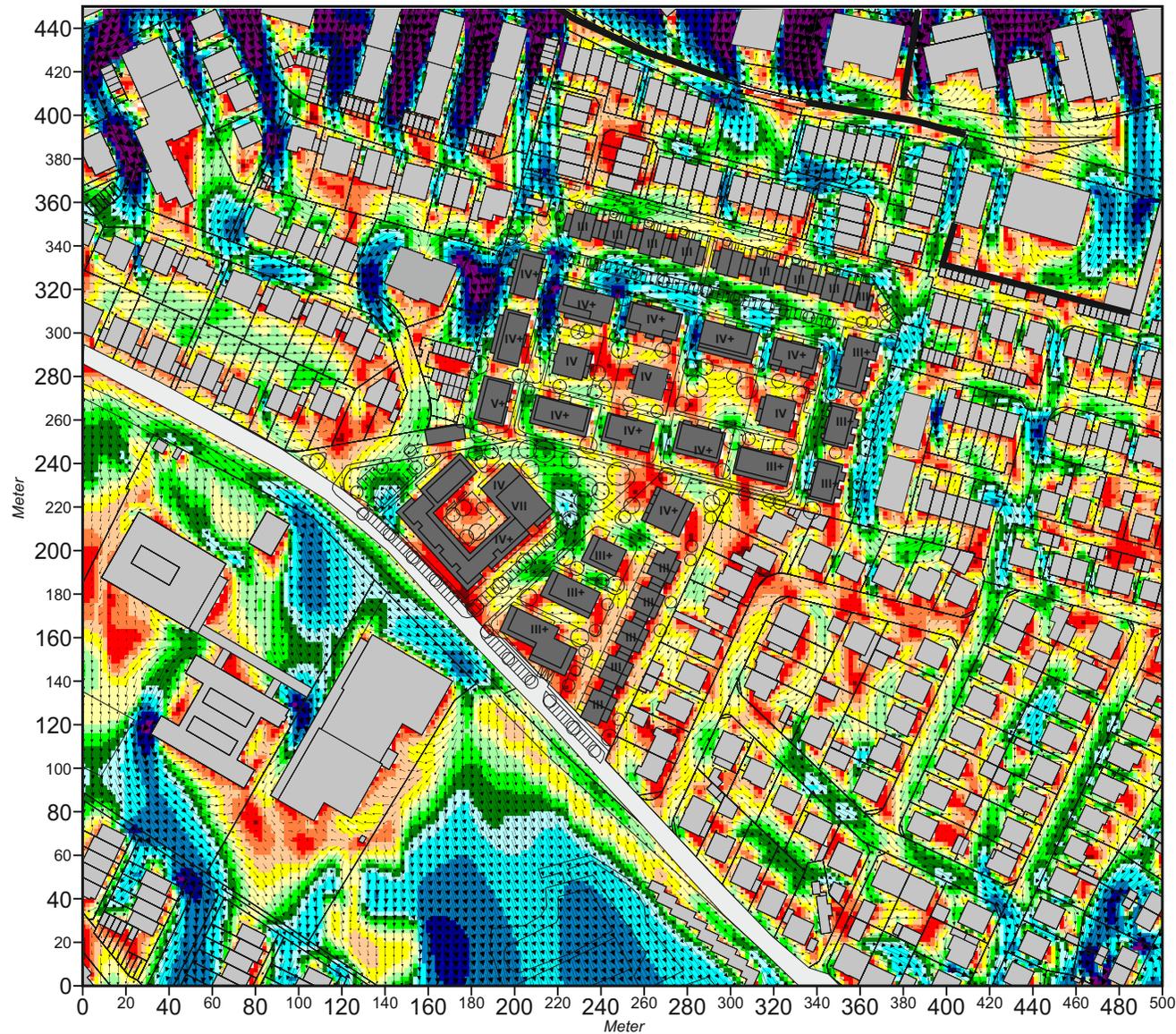
Windvektoren

vorgegebene
 Anströmungsrichtung

Projekt:
 Klimaökologisches Gutachten zum
 Bauprojekt „Wohnen Am Schrankenbuckel“
 in der Gemeinde Brühl



Abb. 23.2 Plan-Zustand, Ergebnisse von Strömungssimulationen.
Windgeschwindigkeit und Windrichtung 2 m ü.G. Windanströmung aus Norden
mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.



Grundlagenkarte bereitgestellt von:
 Ortsverwaltung Brühl

Windgeschwindigkeit in m/s



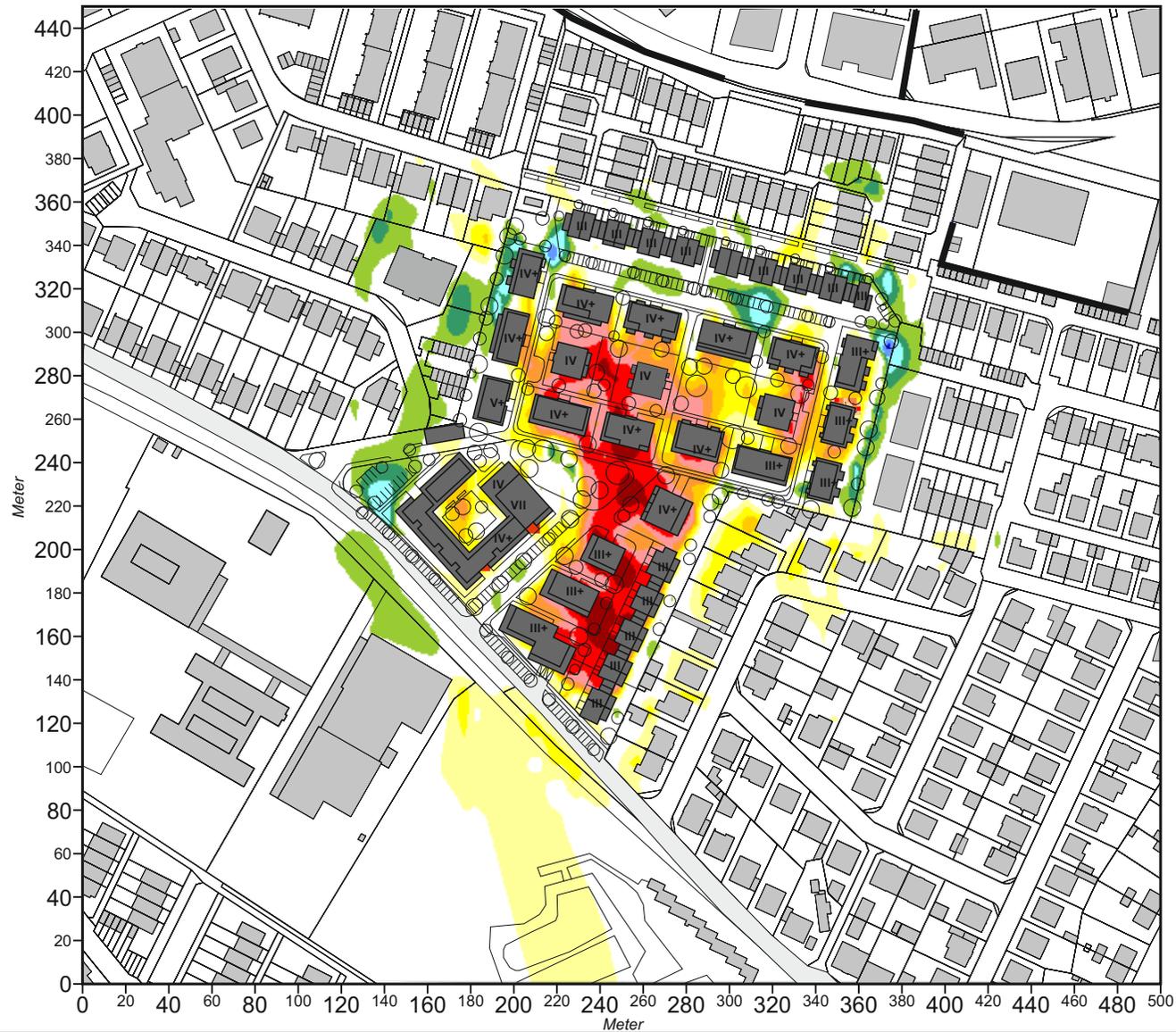
Windvektoren

vorgegebene Strömungsrichtung

Projekt:
 Klimaökologisches Gutachten zum
 Bauprojekt „Wohnen Am Schrankenbuckel“
 in der Gemeinde Brühl

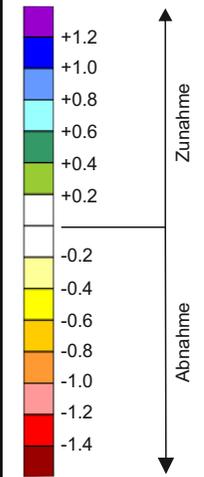


**Abb. 23.3 Vorher-Nachher-Vergleich, Ergebnisse von Strömungssimulationen.
Veränderung der Windgeschwindigkeit durch den Plan-Zustand 2 m ü.G.
Windanströmung aus Norden mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.**



Grundlagenkarte bereitgestellt von:
Ortsverwaltung Brühl

**Zu- bzw. Abnahme der
Windgeschwindigkeit in m/s**



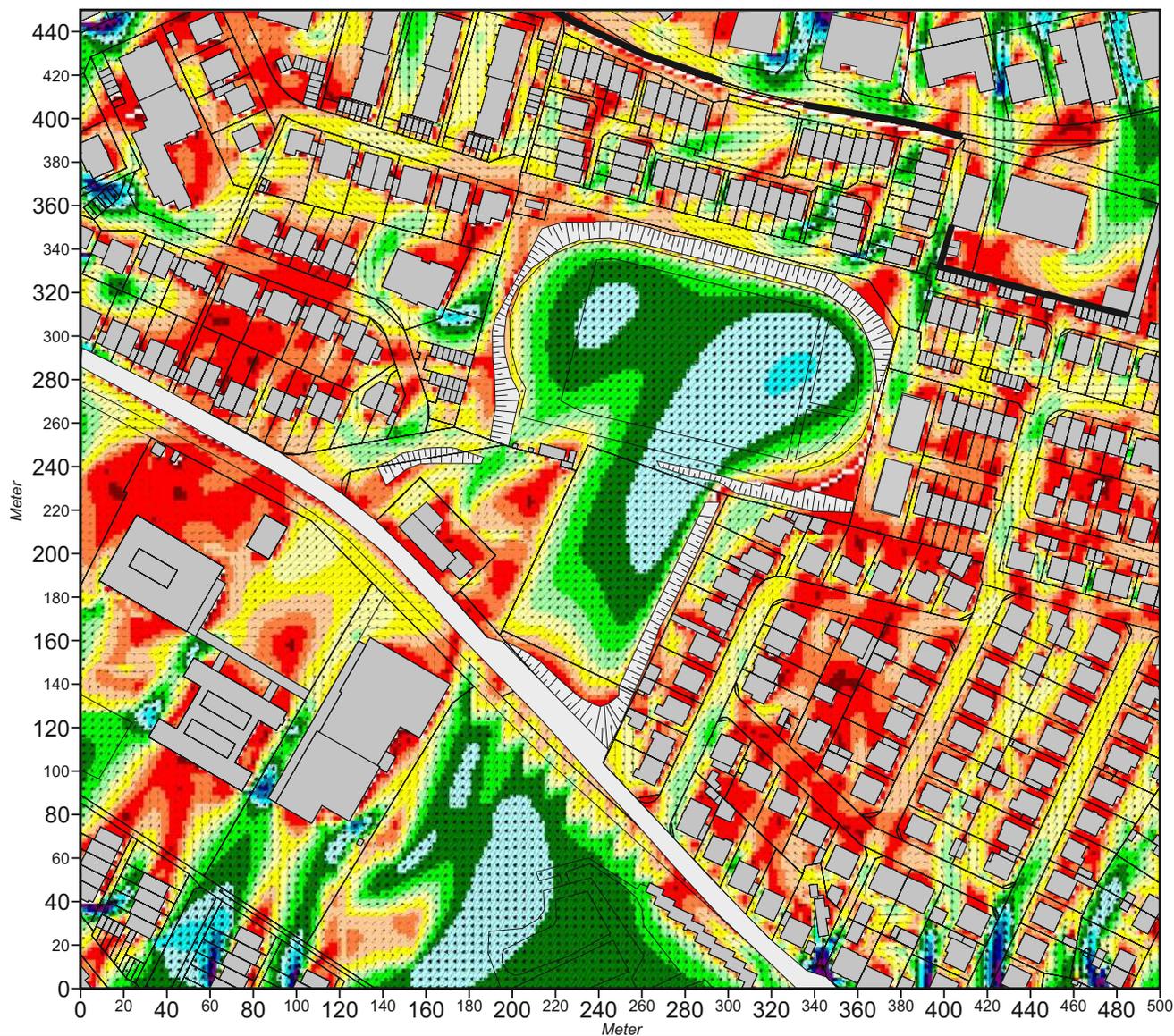
Zunahme
Abnahme

↓ vorgegebene
Anströmungsrichtung

Projekt:
Klimaökologisches Gutachten zum
Bauprojekt „Wohnen Am Schrankenbuckel“
in der Gemeinde Brühl



Abb. 24.1 Ist-Zustand, Ergebnisse von Strömungssimulationen.
Windgeschwindigkeit und Windrichtung 2 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Südwesten
mit 1.5 m/s in einer Höhe von 20 m ü.G. (Nachtsituation)



Grundlagenkarte bereitgestellt von:
 Ortsverwaltung Brühl

Windgeschwindigkeit in m/s



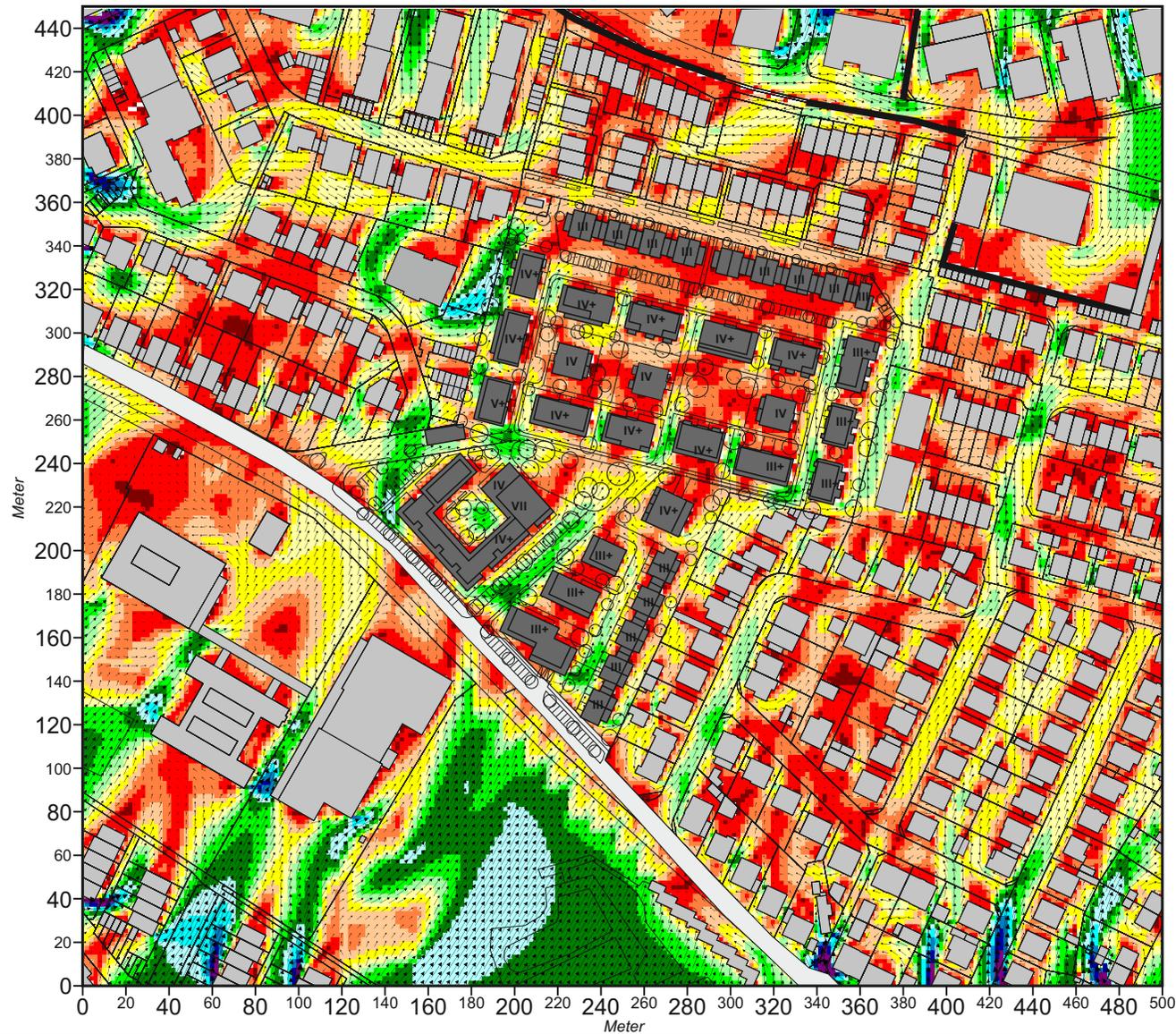
Windvektoren

vorgegebene Anströmungsrichtung

Projekt:
 Klimaökologisches Gutachten zum
 Bauprojekt „Wohnen Am Schrankenbuckel“
 in der Gemeinde Brühl



Abb. 24.2 Plan-Zustand, Ergebnisse von Strömungssimulationen.
Windgeschwindigkeit und Windrichtung 2 m ü.G. Windanströmung aus Südwesten
mit 1.5 m/s in einer Höhe von 20 m ü.G. (Nachtsituation)



Grundlagenkarte bereitgestellt von:
 Ortsverwaltung Brühl

Windgeschwindigkeit in m/s

- ≥ 1.3
- ≥ 1.2
- ≥ 1.1
- ≥ 1.0
- ≥ 0.9 gute Belüftungsintensität
- ≥ 0.8
- ≥ 0.7
- ≥ 0.6 mäßige Belüftungsintensität
- ≥ 0.5
- ≥ 0.4
- ≥ 0.3 geringe Belüftungsintensität
- ≥ 0.2
- ≥ 0.1
- ≥ 0.0 sehr geringe Belüftungsintensität

Windvektoren

vorgegebene Strömungsrichtung

Projekt:
 Klimaökologisches Gutachten zum
 Bauprojekt „Wohnen Am Schrankenbuckel“
 in der Gemeinde Brühl

N

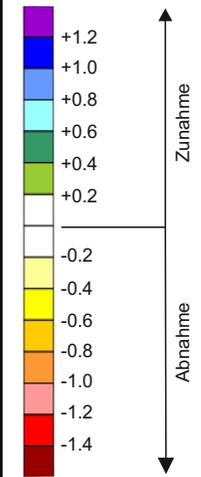
— ÖKOPLANA —

**Abb. 24.3 Vorher-Nachher-Vergleich, Ergebnisse von Strömungssimulationen.
Veränderung der Windgeschwindigkeit durch den Plan-Zustand 2 m ü.G.
Windanströmung aus Süden mit 1.5 m/s in einer Höhe von 20 m ü.G. (Nachtsituation)**



Grundlagenkarte bereitgestellt von:
Ortsverwaltung Brühl

**Zu- bzw. Abnahme der
Windgeschwindigkeit in m/s**

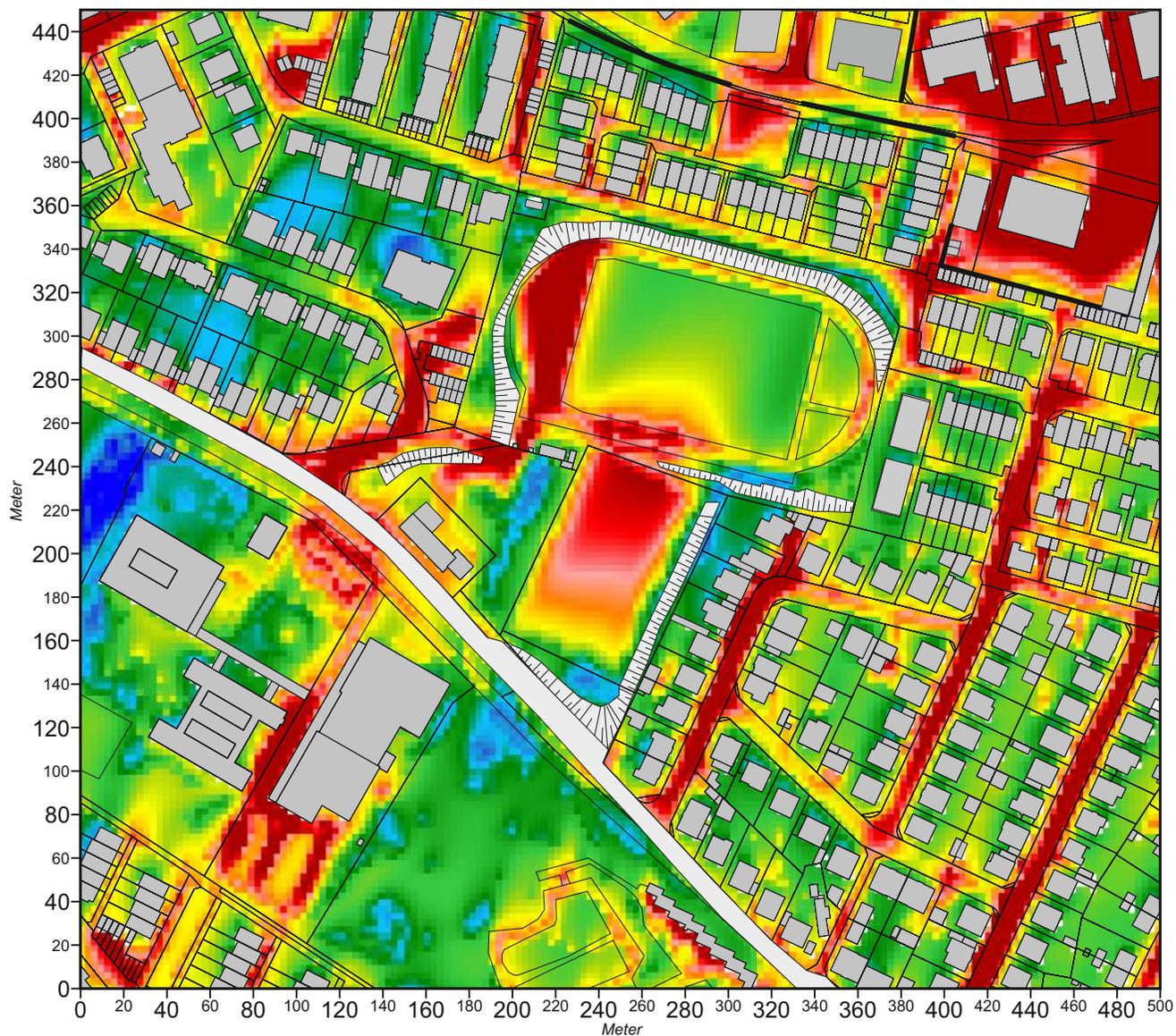


↖ vorgegebene
Anströmungsrichtung

Projekt:
Klimaökologisches Gutachten zum
Bauprojekt „Wohnen Am Schrankenbuckel“
in der Gemeinde Brühl

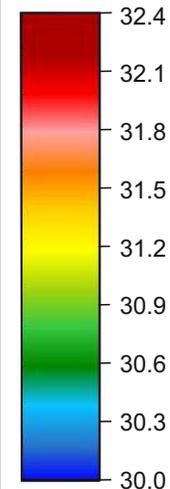


Abb. 25.1 Ist-Zustand, Ergebnisse von Lufttemperatursimulationen.
Lufttemperatur 2 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Südwesten mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
Heißer Sommertag (16:00 Uhr)



Grundlagenkarte bereitgestellt von:
Ortsverwaltung Brühl

Lufttemperatur in °C

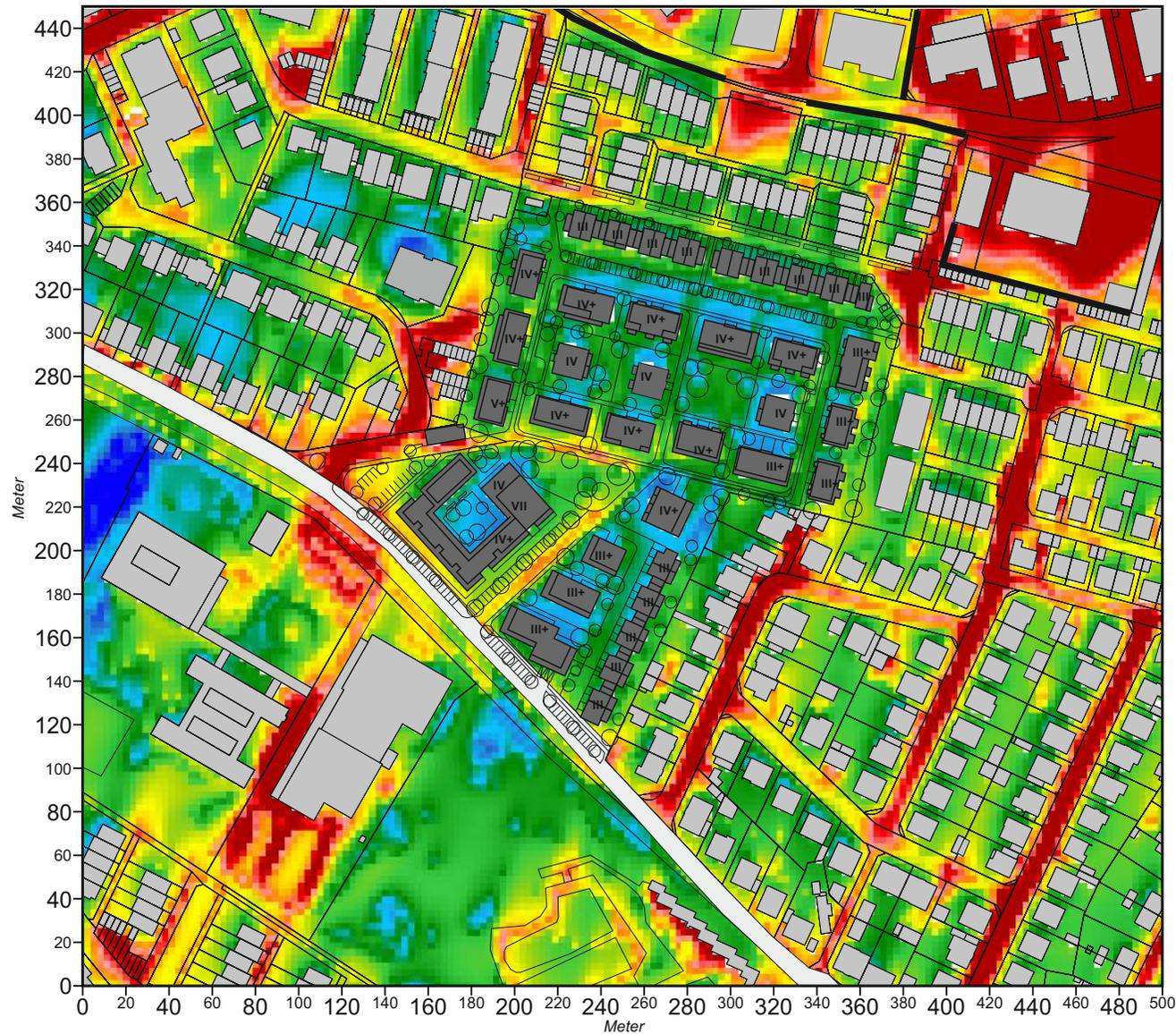


 vorgegebene
Anströmungsrichtung

Projekt:
Klimaökologisches Gutachten zum
Bauprojekt „Wohnen Am Schrankenbuckel“
in der Gemeinde Brühl

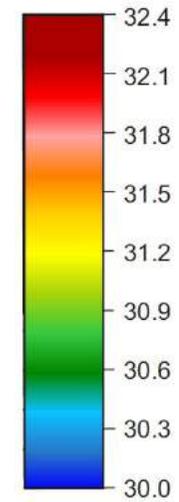


Abb. 25.2 Plan-Zustand, Ergebnisse von Lufttemperatursimulationen.
Lufttemperatur 2 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Südwesten mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
Heißer Sommertag (16:00 Uhr)



Grundlagenkarte bereitgestellt von:
 Ortsverwaltung Brühl

Lufttemperatur in °C



↖ vorgegebene
 Anströmungsrichtung

Projekt:
 Klimaökologisches Gutachten zum
 Bauprojekt „Wohnen Am Schrankenbuckel“
 in der Gemeinde Brühl



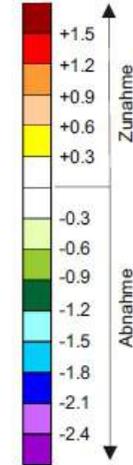
ÖKOPLANA

Abb. 25.3 Vorher-Nachher-Vergleich. Ergebnisse von Lufttemperatursimulationen. Veränderung der Lufttemperatur 2 m ü.G. durch den Plan-Zustand. Windanströmung aus Südwesten mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G. Heißer Sommertag (16:00 Uhr)



Grundlagenkarte bereitgestellt von:
Ortsverwaltung Brühl

Zu- bzw. Abnahme der
Lufttemperatur in K

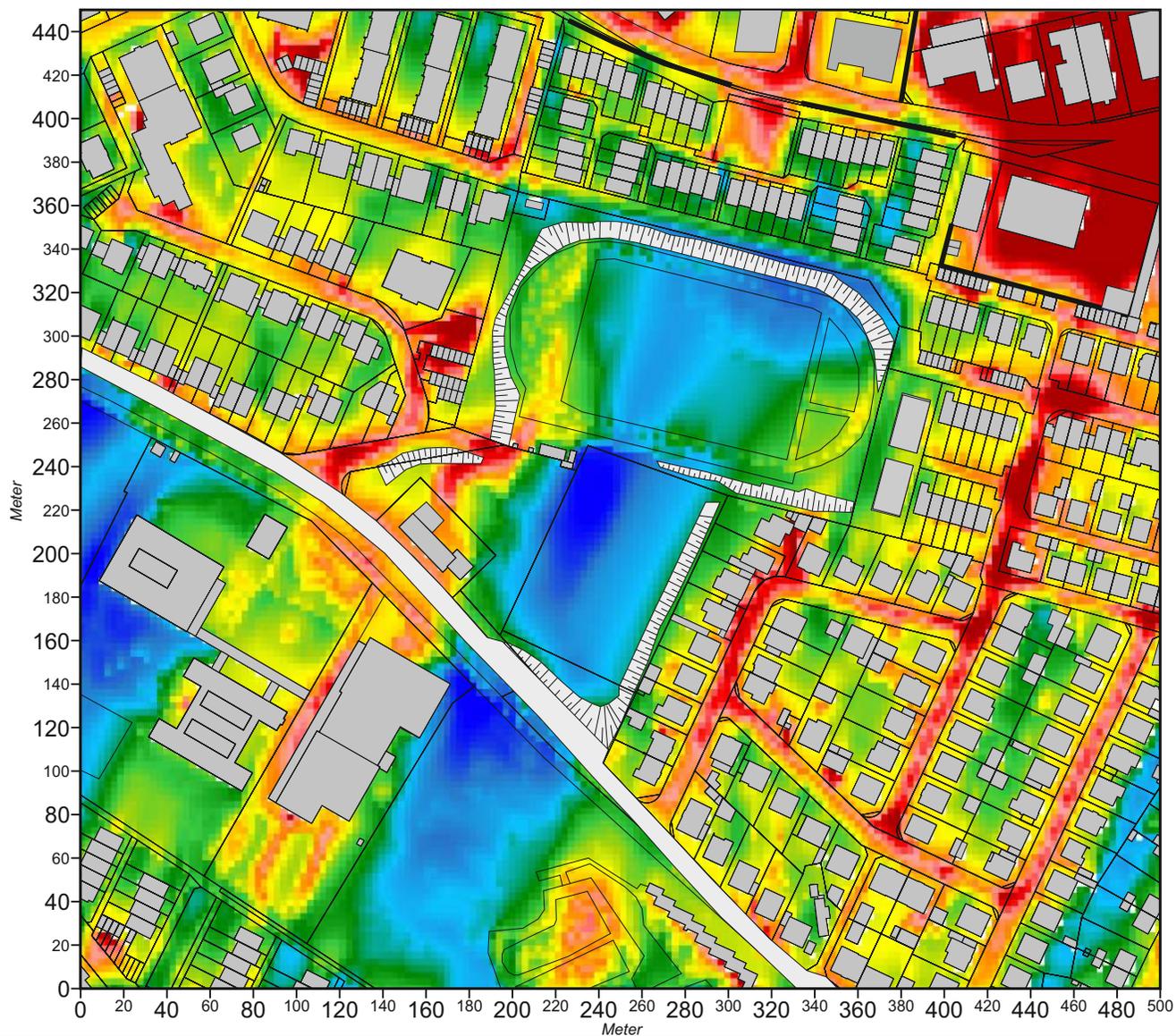


↖ vorgegebene
Anströmungsrichtung

Projekt:
Klimaökologisches Gutachten zum
Bauprojekt „Wohnen Am Schrankenbuckel“
in der Gemeinde Brühl

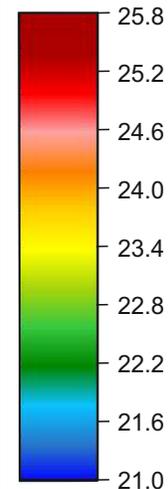


Abb. 26.1 Ist-Zustand, Ergebnisse von Lufttemperatursimulationen.
Lufttemperatur 2 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Südwesten mit 1.5 m/s in einer Höhe von 20 m ü.G.
Warme Sommernacht (23:00 Uhr)



Grundlagenkarte bereitgestellt von:
Ortsverwaltung Brühl

Lufttemperatur in °C



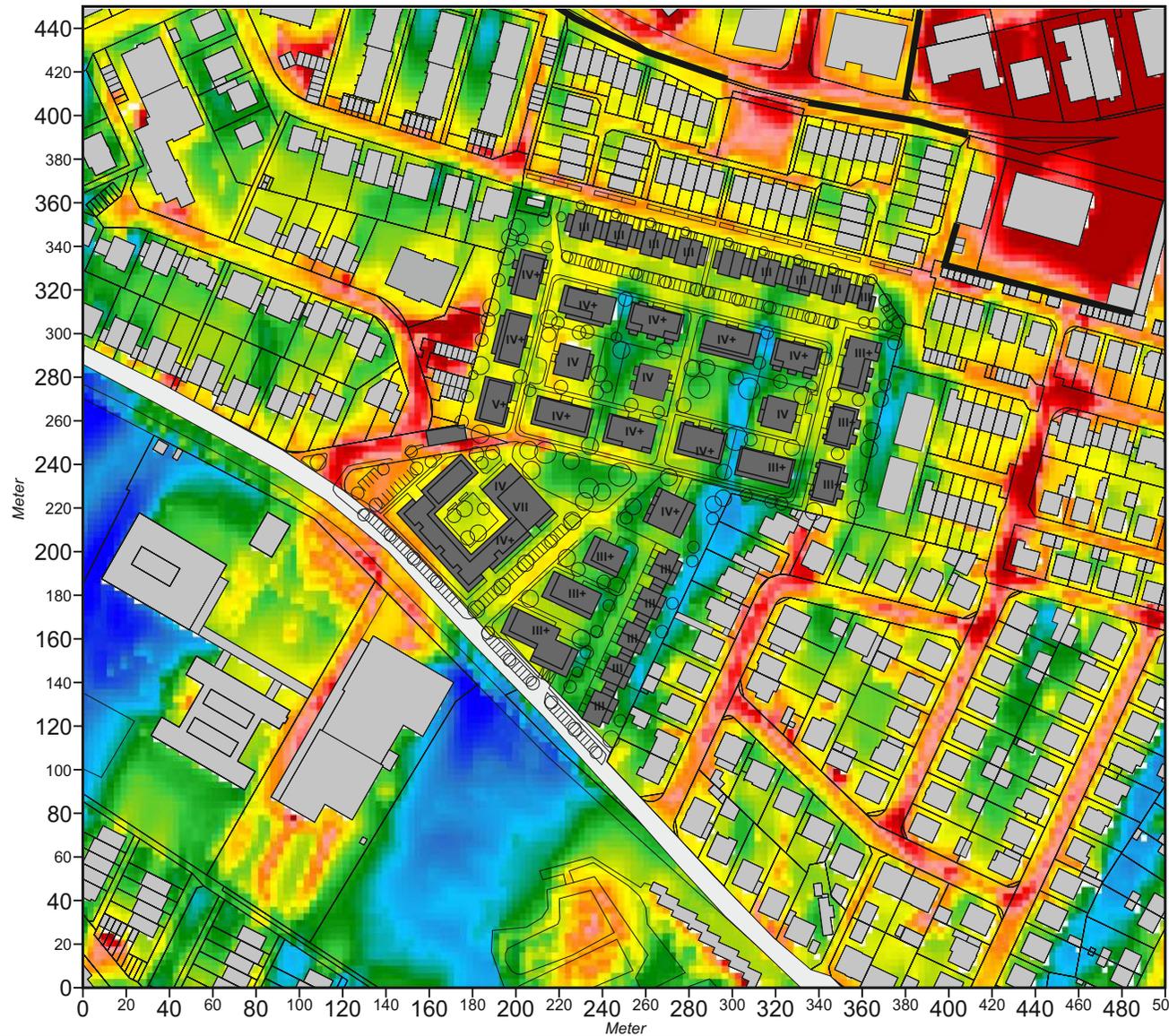
↖ vorgegebene
Anströmungsrichtung

Projekt:
Klimaökologisches Gutachten zum
Bauprojekt „Wohnen Am Schrankenbuckel“
in der Gemeinde Brühl



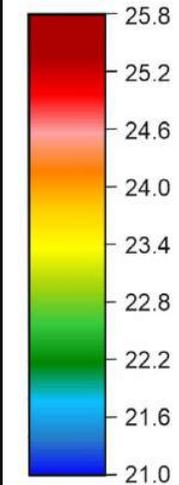
ÖKOPLANA

Abb. 26.2 Plan-Zustand, Ergebnisse von Lufttemperatursimulationen.
Lufttemperatur 2 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Südwesten mit 1.5 m/s in einer Höhe von 20 m ü.G.
Warme Sommernacht (23:00 Uhr)



Grundlagenkarte bereitgestellt von:
 Ortsverwaltung Brühl

Lufttemperatur in °C



↖ vorgegebene
 Anströmungsrichtung

Projekt:
 Klimaökologisches Gutachten zum
 Bauprojekt „Wohnen Am Schrankenbuckel“
 in der Gemeinde Brühl



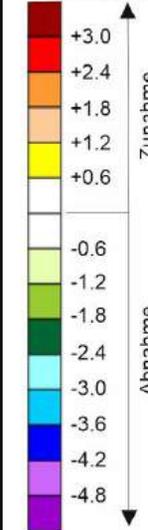
ÖKOPLANA

Abb. 26.3 Vorher-Nachher-Vergleich. Ergebnisse von Lufttemperatursimulationen. Veränderung der Lufttemperatur 2 m ü.G. durch den Plan-Zustand- Windanströmung aus Südwesten mit 1.5 m/s in einer Höhe von 20 m ü.G. Warme Sommernacht (23:00 Uhr)



Grundlagenkarte bereitgestellt von:
Ortsverwaltung Brühl

Zu- bzw. Abnahme der
Lufttemperatur in K



↖ vorgegebene
Anströmungsrichtung

Projekt:
Klimaökologisches Gutachten zum
Bauprojekt „Wohnen Am Schrankenbuckel“
in der Gemeinde Brühl

