

ÖKOPLANA

KLIMAÖKOLOGIE
LUFTHYGIENE
UMWELTPLANUNG

**Klimaökologische Stellungnahme zum
Bebauungsplanentwurf Nr. 06.02-17 (städtebaulicher Entwurf)
„Wohnen – Hinter den Gärten“ in Leonberg-Warmbronn**



Auftraggeber:

LEONBERG

Stadtverwaltung Leonberg
Stadtplanungsamt,
Abt. Stadtentwicklung und Umweltplanung
Belforter Platz 1
71229 Leonberg

Bearbeitet von:

Dipl.-Geogr. Achim Burst

Mannheim, 28. Mai 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: DEUTDE33HAN

Inhalt		Seite
1	Aufgabenstellung	1
2	Planungsgebiet und Planungsentwurf	3
3	Untersuchungsmethodik	4
4	Klimaökologische Grundlagen	5
5	Klimaökologische Funktionsabläufe	7
5.1	Strömungsgeschehen	7
5.2	Thermische Situation bei klimaökologisch relevanten Wetterlagen	10
6	Klimaökologische Auswirkungen der geplanten Bebauung Wohnen – Hinter den Gärten	12
6.1	Modifikation der örtlichen Belüftung bei Realisierung des Plan-Zustands	12
6.1.1	Windfeld, Tagsituation – Windanströmung aus Ostnord-osten (60°)	14
6.1.2	Windfeld, Nachtsituation – Windanströmung aus Ostnord-osten (70°)	15
6.2	Modifikation der örtlichen Lufttemperaturverhältnisse bei Realisierung des Plan-Zustands	17
6.2.1	Thermische Situation an einem heißen Sommertag (14:00 Uhr) mit schwacher ostnordöstlicher Luftströmung (60°)	18
6.2.2	Thermische Situation in einer sommerlichen Tropennacht (00:00 Uhr) mit schwacher ostnordöstlicher Luftströmung (70°)	19
7	Zusammenfassung, Bewertung und Planungsempfehlungen	22
	Quellenverzeichnis / weiterführende Schriften	30

Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1:** Planungsgebiet „Wohnen – Hinter den Gärten“ – topografische Lagesituation
- Abb. 2:** Planungsgebiet „Wohnen – Hinter den Gärten“ – Abgrenzungsplan
- Abb. 3:** Planungsgebiet „Wohnen – Hinter den Gärten“ – Luftbild
- Abb. 4:** Städtebaulicher Entwurf „Wohnen – Hinter den Gärten“
- Abb. 5:** Berechnete Windstatistik für die Ortslage Warmbronn
- Abb. 6:** Häufigkeitsverteilung der Windrichtung und mittlere Windgeschwindigkeit. Datenkollektiv: April – September 1992 und 1993, Sommerhalbjahre - Strahlungswetterlagen
- Abb. 7.1:** Ergebnisse von Kaltluftströmungssimulationen. Fließgeschwindigkeit und Richtung lokaler Kaltluftbewegungen in sommerlichen Strahlungsnächten 2 m ü.G., 2 Stunden nach einsetzender Kaltluftbildung
- Abb. 7.2:** Ergebnisse von Kaltluftströmungssimulationen. Kaltluftmächtigkeit, 2 Stunden nach einsetzender Kaltluftbildung
- Abb. 7.3:** Ergebnisse von Kaltluftströmungssimulationen. Kaltluftvolumenstromdichte, 2 Stunden nach einsetzender Kaltluftbildung
- Abb. 8:** IR-Thermalkarte – 29.08.2005, 20:24 – 00:55 Uhr MESZ
- Abb. 9.1:** Modellgebiet, Ist-Zustand
- Abb. 9.2:** Modellgebiet, Plan-Zustand
- Abb. 10.1:** Ist-Zustand, Ergebnisse mikroskaliger Strömungssimulationen, Tagsituation. Windrichtung und Windgeschwindigkeit 2 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Ostnordosten (60°) mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
- Abb. 10.2:** Ist-Zustand, Ergebnisse mikroskaliger Strömungssimulationen, Tagsituation. Windrichtung und Windgeschwindigkeit 5 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Ostnordosten (60°) mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.

- Abb. 11.1:** Plan-Zustand, Ergebnisse mikroskaliger Strömungssimulationen, Tagsituation. Windrichtung und Windgeschwindigkeit 2 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Ostnordosten (60°) mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
- Abb. 11.2:** Plan-Zustand, Ergebnisse mikroskaliger Strömungssimulationen, Tagsituation. Windrichtung und Windgeschwindigkeit 5 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Ostnordosten (60°) mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
- Abb. 12.1:** Vorher-Nachher-Vergleich, Ergebnisse mikroskaliger Strömungssimulationen, Tagsituation. Veränderung der Windgeschwindigkeit 2 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Ostnordosten (60°) mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
- Abb. 12.2:** Vorher-Nachher-Vergleich, Ergebnisse mikroskaliger Strömungssimulationen, Tagsituation. Veränderung der Windgeschwindigkeit 5 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Ostnordosten (60°) mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
- Abb. 13.1:** Ist-Zustand, Ergebnisse mikroskaliger Strömungssimulationen, Nachtsituation. Windrichtung und Windgeschwindigkeit 2 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Ostnordosten (70°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 20 m ü.G.
- Abb. 13.2:** Ist-Zustand, Ergebnisse mikroskaliger Strömungssimulationen, Nachtsituation. Windrichtung und Windgeschwindigkeit 5 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Ostnordosten (70°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 20 m ü.G.
- Abb. 14.1:** Plan-Zustand, Ergebnisse mikroskaliger Strömungssimulationen, Nachtsituation. Windrichtung und Windgeschwindigkeit 2 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Ostnordosten (70°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 20 m ü.G.
- Abb. 14.2:** Plan-Zustand, Ergebnisse mikroskaliger Strömungssimulationen, Nachtsituation. Windrichtung und Windgeschwindigkeit 5 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Ostnordosten (70°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 20 m ü.G.
- Abb. 15.1:** Vorher-Nachher-Vergleich, Ergebnisse mikroskaliger Strömungssimulationen, Nachtsituation. Veränderung der Windgeschwindigkeit 2 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Ostnordosten (70°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 20 m ü.G.

- Abb. 15.2:** Vorher-Nachher-Vergleich, Ergebnisse mikroskaliger Strömungssimulationen, Nachtsituation. Veränderung der Windgeschwindigkeit 5 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Ostnordosten (70°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 20 m ü.G.
- Abb. 16:** Ist-Zustand, Ergebnisse mikroskaliger Lufttemperatursimulationen, Tagsituation (14:00 Uhr). Lufttemperaturverteilung an einem heißen Sommertag 2 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Ostnordosten (60°) mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
- Abb. 17:** Plan-Zustand, Ergebnisse mikroskaliger Lufttemperatursimulationen, Tagsituation (14:00 Uhr). Lufttemperaturverteilung an einem heißen Sommertag 2 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Ostnordosten (60°) mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
- Abb. 18:** Vorher-Nachher-Vergleich, Ergebnisse mikroskaliger Lufttemperatursimulationen, Tagsituation (14:00 Uhr). Veränderung der Lufttemperaturverteilung durch den Plan-Zustand an einem heißen Sommertag 2 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Ostnordosten (60°) mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
- Abb. 19:** Ist-Zustand, Ergebnisse mikroskaliger Lufttemperatursimulationen, Nachtsituation (00:00 Uhr). Lufttemperaturverteilung in einer Tropennacht 2 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Ostnordosten (70°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 20 m ü.G.
- Abb. 20:** Plan-Zustand, Ergebnisse mikroskaliger Lufttemperatursimulationen, Nachtsituation (00:00 Uhr). Lufttemperaturverteilung in einer Tropennacht 2 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Ostnordosten (70°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 20 m ü.G.
- Abb. 21:** Vorher-Nachher-Vergleich, Ergebnisse mikroskaliger Lufttemperatursimulationen, Nachtsituation (00:00 Uhr). Veränderung der Lufttemperaturverteilung durch den Plan-Zustand in einer Tropennacht 2 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Ostnordosten (70°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 20 m ü.G.

1 Aufgabenstellung

Im Osten von Warmbronn ist zwischen den Straßenzügen Hinter den Gärten im Nordwesten und Im Gäble im Südosten eine bauliche Arrondierung geplant (Lage siehe **Abbildungen 1 und 2**). Ein erster städtebaulicher Entwurf zum Bebauungsplangebiet Nr. 06.02-17 „Wohnen – Hinter den Gärten“ sieht eine Mix aus Geschosswohnungsbau (3-geschossig) sowie Reihen- und Einfamilienhäusern (2-geschossig) vor. Die verkehrliche Erschließung ist über die Steigwaldstraße angedacht.

Nach Erkenntnissen vorliegender Klimauntersuchungen (ÖKOPLANA 1992/1993, VERBAND REGION STUTTGART 2008) entwickelt sich im Bereich der Maisgraben-Senke in siedlungsklimatisch besonders relevanten Strahlungsnächten aus der örtlich entstehenden Kaltluft und dem Kaltluftzufluss über die angrenzenden vegetationsbedeckten Hangzonen ein lokaler Kaltluftstrom, der typischerweise mittlere Windgeschwindigkeiten von ca. 0.5 – 1.0 m/s aufweist und eine durchschnittliche Kaltlufthöhe von ca. 15 – 20 m erreicht. In extrem windschwachen Strahlungsnächten sind auch Kaltlufthöhen bis ca. 40 m zu erwarten.

Da sich das Bebauungsplangebiet Nr. 06.02-17 im Einwirk- und Abflussbereich der lokalen Kaltluft befindet, sind im Rahmen der Planung die strömungsdynamischen und thermischen Folgeerscheinungen im Planungsgebiet und in dessen Umfeld zu analysieren und zu bewerten. Es ist darauf zu achten, dass baulich bedingte Barrierewirkungen und Wärmeinseleffekte räumlich eng begrenzt bleiben und in der benachbarten Bestandsbebauung das ortstypische Klimaniveau nicht überschritten wird.

Zur qualitativen und quantitativen Bewertung der derzeitigen klimaökologischen Situation sowie zur Abschätzung des Einflusses der vorgesehenen Bebauung auf das örtliche klimatische Wirkungsgefüge wird hierbei zum einen auf vorhandene Grundlagendaten (s.o.) zurückgegriffen, zum anderen werden mit Hilfe numerischer Modellrechnungen die klimaökologische Positiv- und Negativeffekte des Ist- und Plan-Zustandes vergleichend analysiert.

Für das Klimagutachten sowie für die Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse in planungsbezogene Bewertungen und Empfehlungen werden somit folgende Schwerpunkte gesetzt:

- Vertiefende Analyse und Bewertung der ortsspezifischen klimaökologischen Funktionsabläufe unter besonderer Berücksichtigung des Strömungsgeschehens.

- Qualitative und quantitative Bestimmung und Diskussion der klimaökologischen Wechselwirkungen zwischen Freiflächen und Bebauung sowie der zu erwartenden strömungsdynamischen und thermischen Veränderungen im Planungsgebiet und in dessen Umfeld mit Hilfe mikroskaliger numerischer Modellrechnungen.
- Darstellung von planerischen Möglichkeiten zur Sicherung bzw. Entwicklung möglichst günstiger strömungsdynamischer und thermischer / bioklimatischer Umgebungsbedingungen.

Mit dem Klimagutachten wird den Forderungen des BauGB und des BNatSchG Rechnung getragen. So formuliert bspw. § 1 Abs. 3 (4) des BNatSchG, dass *zur dauerhaften Sicherung der Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushaltes insbesondere (...) Luft und Klima auch durch Maßnahmen des Naturschutzes und der Landschaftspflege zu schützen sind. Dies gilt insbesondere für Flächen mit günstiger lufthygienischer oder klimatischer Wirkung wie Frisch- und Kaltluftentstehungsgebiete oder Luftaustauschbahnen;.....*

2 Planungsstandort und Planungsentwurf

Der ca. 2.1 ha große Geltungsbereich des Bebauungsplangebiets Nr. 06.02-17 „Wohnen – Hinter den Gärten“ östlich des Ortskerns von Warmbronn befindet sich in einer Höhenlage von ca. 418 – 422 m ü. NHN (siehe **Abbildung 1**).

Die Randhöhen im Norden (Kammerforst), Osten (Steigwald) und Süden (Warmbronner Kopf) steigen bis auf ca. 519 m ü. NHN, 496 m ü. NHN und 517 m ü. NHN an.

Wie der **Abbildung 3** zu entnehmen ist, befinden sich auf dem Planungsareal vorwiegend Wiesen und Ackerflächen und einzelne Bäume, die in Strahlungsnächten als Kaltluft- und Frischluftquellen fungieren. In zentraler Lage des Planungsgebiets verläuft ein Wassergraben von Südosten nach Nordwesten zum Maisgraben.

Südwestlich bis südöstlich schließt die meist 2-geschossige Bestandsbebauung von Warmbronn an.

Im aktuellen Flächennutzungsplan ist das Planungsgebiet als potenzieller Wohnstandort ausgewiesen.

Der vorgelegte städtebauliche Entwurf vom 23.04.2020 (**Abbildung 4**) sieht im 21.227 m² großen Planungsgebiet ein Nettobauland von 12.886 m² (60.7% der Fläche) vor. Öffentliche sowie private Grünflächen umfassen ein Areal von 5.012 m² (23.6% der Fläche) und Verkehrsflächen (inkl. Privatwege) bilden eine Flächengröße von 3.329 m² (15.7% der Fläche).

Im Nordwesten des Planungsgebiets sind drei 3-geschossige Bauten für Betreutes Wohnen und eine großzügige Spielfläche angedacht, die durch den von Südosten nach Nordwesten verlaufenden Wassergraben getrennt werden.

Am Nordostrand sind fünf 3-geschossige Geschosswohnungsbauten geplant.

Im Südosten bilden zwei 2-geschossige Einfamilienhäuser den Übergang zur Bestandsbebauung an der Ecke Im Gässle / Steigwaldstraße. Südwestlich des Wassergrabens mit 10 m breitem Gewässerrandstreifen sind vier 2-geschossige Einfamilienhäuser, ein 3-geschossiger Geschosswohnungsbau sowie drei 2-geschossige Reihenhausszeilen mit jeweils vier Wohneinheiten vorgesehen.

Die verkehrliche Erschließung erfolgt über die Steigwaldstraße.

Im Rahmen der grünordnerischen Ausgestaltung des Planungsgebiets sind zahlreiche Baumpflanzungen geplant.

3 Untersuchungsmethodik

Zur Beurteilung der lokalklimatischen Situation im Planungsgebiet und in dessen Umfeld sowie zur Erarbeitung klimatisch relevanter Planungsempfehlungen erfolgt zunächst eine Bestandsaufnahme der ortsspezifischen klimaökologischen Funktionsabläufe. Hierbei wird auf Klimastudien von ÖKOPLANA 1992/1993, VERBAND REGION STUTTGART 2008 und berechnete Windstatistiken der LUBW zurückgegriffen. Zur Vertiefung des kaltluftbedingten Prozessgeschehens erfolgen für den Ist-Zustand mesoskalige Kaltluftabflusssimulationen mit dem Modell KLAM_21, Vers. 2.012 (Modellentwickler: Deutscher Wetterdienst)¹.

In weiteren Analyseschritten werden mit Hilfe mikroskaliger Modellrechnungen vergleichend für den Ist- und Plan-Zustand die lokalen Belüftungsverhältnisse und die thermischen Umgebungsbedingungen untersucht. Grundlagen bilden dabei austauscharme sommerliche Hochdruckwetterlagen, bei denen die lokalen klimaökologischen Funktionsabläufe siedlungsklimatisch von besonderer Bedeutung sind.

Die mikroskaligen Modellsimulationen erfolgen mit den Modellen MISKAM (Strömungsdynamik – Modellentwickler: Dr. Joachim Eichhorn Univ. Mainz) und ENVI-Met (Modellentwickler: Prof. Dr. M. Bruse Univ. Mainz)².

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

Details zu den Klimamodellen KLAM_21, MISKAM und ENVI-met können folgenden Internetseiten entnommen werden:

<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>

¹ **DEUTSCHER WETTERDIENST (2005):** Das Kaltluftabflussmodell KLAM_21. Berichte des Deutschen Wetterdienstes Nr. 277. Offenbach a. M.

² **GIESE-EICHHORN (2009/2016):** Handbuch zum prognostischen Strömungsmodell MISKAM. Wackernheim.
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.

4 Klimaökologische Grundlagen

Städte / Siedlungen weisen im Vergleich zu den unbesiedelten Umlandbereichen im Regelfall eine Überwärmung auf. Dies wird dadurch hervorgerufen, dass tagsüber durch die Sonneneinstrahlung eine Aufheizung befestigter Flächen (Straßen, Gebäude) erfolgt. Nächtliche Abkühlungsphasen greifen hier nur unzureichend durch, da die überbauten Flächen in der Regel eine hohe Wärmekapazität, d.h. eine hohe Wärmespeicherfähigkeit besitzen. Bei der städtischen Überwärmung spricht man auch von „Wärmeinsel“. Die Luftqualität ist zudem durch Abgase aus Industrie/Gewerbe, Verkehr und Hausbrand belastet.

Bei Wetterlagen mit intensiver Höhenströmung (z.B. Nichtstrahlungswetterlagen) werden freigesetzte Wärmemengen und Abgase effizient abgeführt.

Bei austauscharmen Wetterlagen (windschwache Strahlungswetterlagen) findet dieser Austausch hingegen auf einem deutlich geringeren Niveau statt und es kommt in der Folge, insbesondere in den Sommermonaten, zu deutlich erhöhten Lufttemperaturen.

Als Folge der bebauungsbedingten Überwärmung entwickeln sich in flachem Gelände nach Sonnenuntergang über Siedlungsgebieten thermische Auftriebsströmungen, die warme (leichtere) Luftmassen in höhere atmosphärische Schichten befördern. Die aufsteigende Luft zieht bodennah kühlere Luft aus dem Umland nach und es kommt zu einer Art thermisch induzierter Belüftung des Stadtgebietes (→ Flurwinde).

In reliefiertem Gelände (Hang- und Tallagen → Planungsgebiet „Wohnen – Hinter den Gärten“) kann die abendliche Abkühlung besonders intensiv vonstatten gehen, wenn von den umgebenden Berghängen bodennah Kaltluft zuströmen kann. Voraussetzung ist eine Hangneigung von $\geq 1^\circ$. Aufgrund der vergleichsweise höheren Dichte von Kaltluft setzt sie sich dem Gefälle folgend hangabwärts in Bewegung.

Tabelle 1 vermittelt einen Eindruck von den Kaltluftproduktionsraten unterschiedlicher Flächennutzungen.

Landnutzung	Kaltluftproduktionsrate $\text{m}^3/(\text{m}^2\text{s})$	Kälteproduktionsrate W/m^2
Grünland, Ackerland	15 – 20	30
Wald	12 – 15	17 (über ebenem Gelände)
Gartenbau, Mischflächen	10 – 15	24
Siedlungsgebiete	1	0 – 8 (dichte – lockere Bebauung)
Wasseroberflächen	0	0 - -6 (flache – tiefe Gewässer)

Tabelle 1: Zuordnung von typischen Kaltluft- bzw. Kälteproduktionsraten ausgewählter Landnutzungen Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung 2013)

Voraussetzung für eine möglichst effektive klimaökologische Ausgleichsleistung durch tal- bzw. hangspezifische Kaltluftabflüsse ist eine ausreichende Größe des Kaltlufteinzugsgebietes, so dass die resultierenden Kaltluftmengen siedlungsklimatisch überhaupt von Relevanz sind. Laut VDI-Richtlinie 3787-Blatt 5 (2003) ist ein Kaltluftvolumenstrom ab etwa $10.000 \text{ m}^3/\text{s}$ erforderlich, um kleinere Siedlungen zu durchströmen. Die Eindringtiefe an Stadträndern bewegt sich typischerweise in einem Bereich bis ca. 1.000 m. Aber auch Kaltluftvolumenstrommengen ab ca. $1.000 \text{ m}^3/\text{s}$ bewirken bzgl. der Belüftung und Abkühlungswirkung klimaökologisch bedeutsame Positivwirkungen.

Als grobe Faustregel gilt, dass die Eindringtiefe von Kaltluft in markanter Form je $1.000 \text{ m}^3/\text{s}$ ca. 100 m beträgt. Bei deutlicher Barrierewirkung der Randbebauung kann die Eindringtiefe jedoch auch deutlich geringer sein.

Die o.a. Aspekte des Stadt-/Siedlungsklimas verdeutlichen, dass dessen Berücksichtigung in der Stadtplanung eine detaillierte Kenntnis der Wechselwirkungsprozesse zwischen städtischen Faktoren und der Atmosphäre erfordert. Erst hierdurch können lokale Potenziale zur Verbesserung / Sicherung der bioklimatischen Umgebungsbedingungen erkannt, gesichert und gestärkt werden.

5 Klimaökologische Funktionsabläufe

5.1 Strömungsgeschehen

Das klimaökologische Wirkungsgefüge im Planungsgebiet und in dessen Umfeld wird durch die Muldenlage im Maisgraben (Geländehöhe ca. 415 m ü. NN) zwischen den Höhenrücken Warmbronner Kopf (517 m ü. NN) im Süden Steigwald im Osten (bis ca. 496 m ü. NN) und Kammerforst im Norden (bis ca. 519 m ü. NN) geprägt.

Wie den Windfeldberechnungen der LUBW (Windrosenatlas - <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/luft/windstatistiken>) zu entnehmen ist (**Abbildung 5**), bestimmen in Warmbronn im Allgemeinen südliche bis südwestliche Luftströmungen das örtliche Luftaustauschgeschehen. Bei diesen Anströmungsrichtungen sind auch die höchsten Windgeschwindigkeiten zu erwarten. Ein Sekundärmaximum stellt sich bei nordnordöstlichen Richtungen ein. Bei vorherrschenden Nordostwinden fungieren die Wiesen und Landwirtschaftsflächen entlang des Maisgraben auf Grund ihrer geringen Oberflächenrauigkeit als Ventilationsbahn in Richtung Warmbronn.

Die Ergebnisse von Windmessungen in Warmbronn zwischen 1992 und 1993 (ÖKOPLANA 1993) dokumentieren, dass sich am Planungsstandort bei klimaökologisch relevanten Strahlungswetterlagen ein deutlich ausgeprägtes Lokalklima einstellt (**Abbildung 6**), das sich insbesondere in der Windrichtungsverteilung ausdrückt.

Tagsüber herrschen nordöstliche und südwestliche Winde vor, die mittlere Geschwindigkeiten von ca. 2.3 – 3.0 m/s erreichen (Station *Warmbronn-Ost*). An der frei exponierten Höhenstation *Engelberg* in Leonberg werden vergleichbare Windgeschwindigkeiten gemessen. Die Intensität der Belüftung in Warmbronn ist ausreichend genug, um stark erhöhte bioklimatischen Belastungen zu unterbinden.

Nach Sonnenuntergang treten südwestliche Strömungsrichtungen zurück. Im Zuge der nächtlichen Abkühlung mit intensiver Produktion bodennaher Kaltluft über vegetationsbedeckten Flächen (siehe **Tabelle 1**) entstehen ausgeprägte Bodeninversionen, die verminderten vertikalen und horizontalen Luftaustausch zur Folge haben. Diese können in den Übergangsjahreszeiten und im Winter auch am Tage andauern.

Die über den Hangzonen östlich von Warmbronn entstehende Kaltluft fließt dem Gefälle folgend zu den tiefer gelegenen Geländeteilen (Maisgraben), so dass sich ein breit angelegter Kaltluftabfluss entwickeln kann. Der Maisgraben bildet dabei eine Leitlinie, in der sich die Kaltluft sammelt und die dort als gerichteter Kaltluftstrom nach Westsüdwesten abfließt.

Der lokale Kaltluftstrom erreicht östlich der Hauptstraße meist eine Höhe von ca. 15 – 20 m. Der hieraus entlang des Maisgrabens (Profil Hauptstraße zwischen den Bereichen Eschenweg und Hinter den Gärten) resultierende Kaltluftvolumenstrom beträgt ca. 3.600 m³/s und ist für die Ortslage Warmbronn von siedlungsklimatischer Relevanz. Während extrem windschwacher Situationen ist auch ein Anstieg der Kaltluftmächtigkeit bis ca. 40 m möglich (siehe **Abbildung 6**). Der örtliche Kaltluftvolumenstrom steigt dann auf ca. 7.200 m³/s an.

Der Kaltluftabfluss vollzieht sich schubartig, wobei die Strömungsgeschwindigkeit der Kaltluft in einer Messhöhe von 10 m ü.G. Maximalwerte von ca. 1.0 m/s erreicht, meist aber um 0.5 m/s beträgt, so dass vor allem in den frühen Morgenstunden vermehrt Kaltluftstagnation beobachtet werden kann.

In den **Abbildungen 7.1 – 7.3** sind Ergebnisse ergänzender Kaltluftströmungssimulationen dargestellt.

Das Modell hierzu verwendete Modell KLAM_21 des DEUTSCHEN WETTERDIENSTES berechnet die zeitliche Entwicklung der Kaltluftströmung bei gegebener zeitlich konstanter Kaltluftproduktionsrate. Diese, ebenso wie die Reibungskoeffizienten, werden über die Art der Landnutzung gesteuert.

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

Zusammenhängende Siedlungsflächen werden als teilweise durchströmbare (poröse) Hindernisse im Modell berücksichtigt (GROSS 1989, DEUTSCHER WETTERDIENST 2007). Damit gelingt es, die Strömungsverdrängung durch die Baukörper sowie die bremsende Wirkung der Gebäude in Übereinstimmung mit Beobachtungen zu modellieren.

Das betrachtete Rechengebiet umfasst eine Gebietsgröße von 2.81 x 2.85 km (8.0 km²), so dass der für das Planungsgebiet und dessen Umfeld relevante Kaltlufteinzugsbereich vollständig Berücksichtigung findet.

Vorausgesetzt wird die für Kaltluftabflüsse optimale Situation, d.h. eine klare und windschwache Nacht.

Die **Abbildungen 7.1 – 7.3** zeigen für den gegenwärtigen Ist-Zustand die Ergebnisse der Kaltluftsimulationen 2 Stunden³ nach deutlich einsetzender Kaltluftbildung. Bioklimatisch ist dieser Zeitpunkt von besonderer Bedeutung, da tagsüber überwärmte Wohnungen vor dem Schlafengehen nochmals durchgelüftet werden und kühle Umgebungsverhältnisse die bioklimatische Entlastungswirkung intensivieren.

In dieser Kaltluftbildungsphase entstehen über den Wiesen und Landwirtschaftsflächen entlang des Maisgrabens und entlang dessen Randhöhen kaltluftinduzierte Hangabwinde, die auch den Planungsstandort überstreichen, wo sie mittlere Strömungsgeschwindigkeiten von ca. 0.1 – 0.5 m/s (2 m ü. G.) erreichen - **Abbildung 7.1**). Die Windrichtung im Planungsgebiet beträgt ca. 70 – 80°.

Die Kaltluftmächtigkeit (**Abbildung 7.2**) beläuft sich bei der hier betrachteten windschwachen Situation im Bereich „Hinter den Gärten“ auf ca. 30 – 39 m, so dass die Kaltluft die Ortskernbebauung überströmen kann. Bodennah wird sie allerdings nur dort wirksam, wo strömungsparallel verlaufende Gebäudeabstandsflächen und Straßenzüge ein bodennahes Durchgreifen ermöglichen.

In **Abbildung 7.3** ist die Kaltluftvolumenstromdichte dargestellt. Die Kaltluftvolumenstromdichte ist diejenige Kaltluftmenge in m³, die pro Sekunde durch einen 1 m breiten Streifen zwischen der Erdoberfläche und der Obergrenze der Kaltluftschicht, welcher senkrecht zur Strömung steht, fließt. Ihre Einheit ist m³/m·s.

Im Planungsgebiet entwickelt sich eine Kaltluftvolumenstromdichte von ca. 2 bis 7 m³/m·s, so dass am Südwestrand des Planungsgebiets zwischen den Straßenzügen Hinter den Gärten im Nordwesten und Im Gässle im Südosten eine Kaltluftmenge von ca. 590 m³/s in die Bestandsbebauung einströmt.

Setzt man die Faustregel an, dass die Eindringtiefe von Kaltluft je 1.000 m³/s ca. 100 m beträgt (siehe Kap. 4) so ist davon auszugehen, dass die über das Planungsgebiet abfließende Kaltluft in markanter Intensität bis zur Hauptstraße wirksam wird.

Dem Planungsgebiet kommt somit als Teil des Kaltluftentstehungs- und Kaltluftabflussgebietes im Osten von Warmbronn siedlungsklimatische Bedeutung zu.

³ In den Monaten Juni/Juli entspricht dies ca. dem Zeitpunkt 22:30 Uhr (MEZ)

5.2 Thermische Situation bei klimaökologisch relevanten Wetterlagen

Zur Beurteilung der thermischen Umgebungsbedingungen dient im Folgenden ein Ausschnitt aus der Thermalkarte des VERBANDES REGION STUTTGART aus dem Jahr 2005.

Infrarot-Thermalbilder erlauben es, bestimmten Raumeinheiten (z.B. Gewerbegebieten, Wohngebieten oder Vegetationsflächen) ein thermisches Verhalten zuzuordnen, um Aussagen über deren Klimafunktion zu treffen.

Die thermische Situation im Umfeld des Bebauungsplangebiets „Wohnen Hinter den Gärten“ wird bei austauscharmen Strahlungswetterlagen sowohl durch die direkte Lagebeziehung zu Wiesen- und Landwirtschaftsflächen als auch durch die angrenzende Ortskernbebauung von Warmbronn bestimmt.

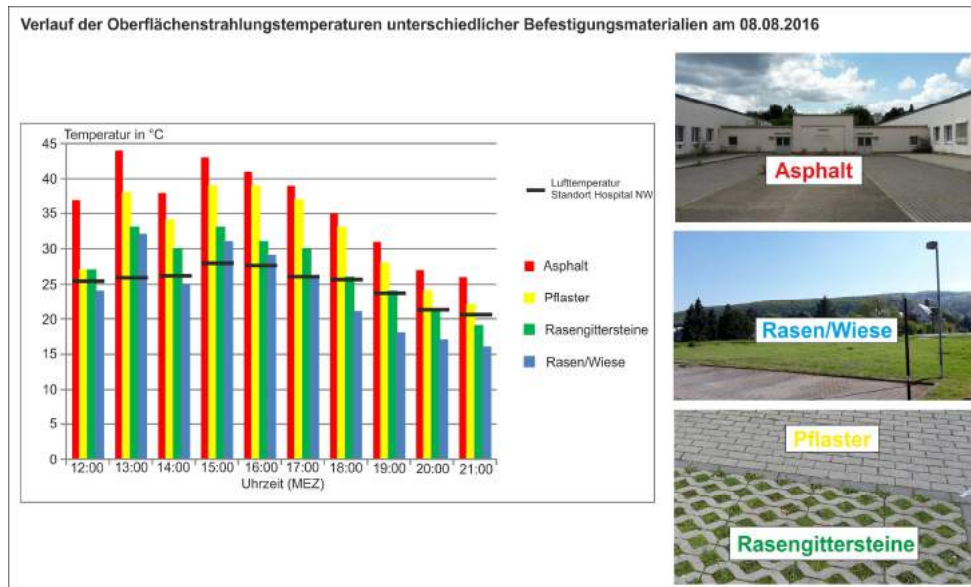
Die **Abbildung 8** verdeutlicht das unterschiedliche Temperaturverhalten verschiedener Flächennutzungsstrukturen anhand von Ergebnissen der Abendbefliegung (20:24 – 00:55 Uhr).

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“.

Im Umfeld des Planungsgebiets werden während der Abendbefliegung über den Wiesen (Kaltluftproduktionsrate ca. 15 - 20 m³/m²·Std.) auffallend niedrige Oberflächenstrahlungstemperaturen gemessen. Hier betragen die Werte ca. 8 - 11°C (dunkelblaue Farbtönung). Locker gehölzüberstellte Flächen (z.B. entlang des Maisgrabens) und abgeerntete Felder bilden sich etwas wärmer ab, da in diesen Bereichen die nächtliche Ausstrahlung etwas reduziert (Baumflächen) bzw. durch den fehlenden Vegetationsanteil (abgeerntete Ackerflächen) die Kaltluftbildung geringer ist. Insgesamt fungiert das Planungsgebiet als Freiraum mit hohem thermischen Ausgleichspotenzial.

In der angrenzenden Ortskernbebauung von Warmbronn überwiegen im Allgemeinen asphaltierte Straßenzüge und dichte Bebauung, die sich am Tag intensiv aufheizen.

Während bspw. Rasenflächen und Wiesen bei Lufttemperaturen um 28°C Oberflächenstrahlungstemperaturen von ca. 31°C aufweisen, werden über grauen Pflasterbelägen Temperaturen bis ca. 39°C registriert. Schwarze Asphaltflächen weisen sogar Oberflächenstrahlungstemperaturen bis ca. 43°C auf.



Grafik 1: Oberflächentemperaturen unterschiedlicher Bodenbedeckungsarten
(Aufnahme: ÖKOPLANA, AUS: GEO-NET UMWELTCONSULTING GMBH, ÖKOPLANA 2017)

Nach Sonnenuntergang kühlen Materialien wie Asphalt nur langsam ab. Die Thermalkarte zeigt für die Ortskernbebauung von Warmbronn über größeren Straßenzügen Oberflächenstrahlungstemperaturen zwischen ca. 14°C und 18°C.

Die unterschiedlichen Oberflächenstrahlungstemperaturen bewirken auch eine flächennutzungsspezifische Lufttemperaturverteilung. So wurden bei Profilmessfahrten am 06.05.1992 (windschwache Strahlungsnacht) zwischen dem Reitstall Hering (5.0°C, Freiland Hinter den Gärten) und dem Kreuzungsbereich Hauptstraße/Planstraße im Ortskern von Warmbronn (7.3°C) gegen 23:00 Uhr Lufttemperaturdifferenzen von ca. 2.3 K gemessen⁴.

⁴ ÖKOPLANA (1992): Klimaökologische Analyse im Bereich Leonberg-Warmbronn unter besonderer Berücksichtigung des Strömungsgeschehens.

6 Klimaökologische Auswirkungen der geplanten Bebauung „Hinter der Gärten“ auf das Planungsumfeld

6.1 Modifikation der örtlichen Belüftung bei Realisierung des Plan-Zustands

Durch die angestrebte bauliche Inanspruchnahme einer klimaökologischen Ausgleichsfläche ist nicht auszuschließen, dass sich sowohl im Planungsgebiet selbst als auch in der Bestandsbebauung stellenweise problematische Belüftungsverhältnisse einstellen. Eine ausreichende Belüftung ohne großflächige Ausbildung von Luftstagnationsbereichen ($< 0.3 \text{ m/s}$) 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 „Hinter den Wiesen“ auf die örtliche Belüftungssituation analysiert.

Bei den Modellrechnungen kommt das mikroskalige Klimamodell MISKAM zum Einsatz (siehe Kap. 3). Das betrachtete Modellgebiet (siehe **Abbildungen 9.1** und **9.2**) umfasst eine Ausdehnung von 480 m in West-Ost-Richtung und von 402 m in Süd-Nord-Erstreckung. Die Modellhöhe beträgt 100 m . Die räumliche Auflösung in x-y-Richtung liegt bei 2 m . In z-Richtung ist der Gitterabstand nicht-äquidistant und steigt von 1 m bis zur Modelloberkante auf 10 m an.

Die Ergebnisdarstellung erfolgt in Horizontalschnitten ($2.0 \text{ m ü.G.} \sim \text{EG}$ und $5.0 \text{ m ü.G.} \sim 1. \text{ OG}$). Die Schnitte geben die mittlere Windgeschwindigkeit für eine 1 m mächtige Luftschicht (Höhe $\pm 0.5 \text{ m}$) wieder. Windvektoren geben Aufschluss über die kleinräumigen Richtungsänderungen.

Höhere Vegetation (z.B. Baumbestände) wird bei den Windfeldberechnungen mit Hilfe von Rauigkeitsfaktoren berücksichtigt.

Um die besonders relevanten gebäudebedingten Strömungseffekte besser bewerten zu können, wird den Gehölzbeständen ein Blattbedeckungsgrad von nur ca. 60% zugeordnet. Vegetationsstrukturen können im Gegensatz zu Gebäudekörpern bei Bedarf relativ problemlos modifiziert werden. Mauern und sonstige Grundstückseinfriedungen finden keine Beachtung. Auch Grundstücksabgrenzungen können ggf. strömungsdurchlässig angelegt werden.

Carports werden als windundurchlässige Baukörper definiert. Die erscheint gerechtfertigt, da Carports zum eine häufig mit Fahrzeugen belegt sind und zum anderen, lammellenartige Seitenwände, zusätzliche Gegenstände sowie u.U. Begrünungen die Durchströmbarkeit deutlich mindern.

Die Modellrechnungen werden jeweils für eine besonders relevante Tag- und Nachtsituationen durchgeführt, bei der sich die Ortskernbebauung von Warmbronn im Lee (Windschatten) des Planungsgebiets befindet.

Vorgaben für die Tagsituationen:

- Ostnordostwind (60°) mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
= Hauptwindrichtung bei Strahlungswetterlagen (siehe **Abbildung 6**)

Vorgaben für die Nachtsituationen:

- Ostnordostwind (70°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 20 m ü.G.
= Strömungsrichtung der lokalen Kaltluftbewegungen (siehe **Abbildung 7.1**)

Am Tag sind die klimatischen Auswirkungen der geplanten Bebauung im Allgemeinen geringer, da der horizontale und vertikale Luftaustausch deutlich intensiver ist.

6.1.1 Windfeld, Tagsituation – Windanströmung aus Ostnordosten (60°)

Wie der **Abbildung 6** zu entnehmen ist, herrschen am Planungsstandort an siedlungsklimatisch besonders relevanten sommerlichen Strahlungstagen zumeist ostnordöstliche Windrichtungen (ca. 21% der Tagstunden an der Station Warmbronn-Ost) vor.

Legt man den Modellrechnungen den **Ist-Zustand** zu Grunde (**Abbildungen 10.1, 10.2**), so zeigt sich das Planungsgebiet und dessen Umfeld bei Windanströmungen über das östliche Freiraumgefüge gut belüftet. Die nordöstlich vorgelegte Bebauung des Reitstalls R. Hering (Hinter den Gärten 17) zeigt in den Höhenschichten 2 und 5 m ü.G. zwar deutliche Lee-Effekte, über den Freiflächen des Planungsgebiets werden jedoch noch mittlere Windgeschwindigkeiten von ≥ 1.4 m/s bilanziert.

In der z.T. dichten Ortskernbebauung von Warmbronn (Planstraße / Hauptstraße) ist eine auffallende Reduktion der Windgeschwindigkeit festzustellen.

Durch die Oberflächenrauigkeit der Bebauung überwiegen sehr geringe bis geringe Belüftungsintensitäten mit Windgeschwindigkeiten unter 0.8 m/s (2 m ü.G.) Mäßige bis gute Belüftungsintensitäten zeigen sich allein entlang strömungsparell verlaufender Straßenzüge und Gebäudeabstandsflächen.

Großflächige Windstagnationsbereiche (Flächengröße mind. 1 ha) werden in Warmbronn aber nicht bestimmt.

Die Ergebnisse der Modellrechnungen für den **Plan-Zustand** (**Abbildungen 11.1, 11.2**) dokumentieren, dass die geplante Bebauung derart strukturiert ist, dass die windschwache Zonen in den unmittelbaren Lee-Lagen von Baukörpern von Bereichen mit guter Belüftungsintensität durchsetzt werden. Die Erschließungsstraße sowie die gewählten Gebäudeabstandsflächen sind derart dimensioniert, dass eine ausreichende Be- und Entlüftung des neuen Wohngebiets gewährleistet ist. Das Belüftungsniveau entspricht den Gegebenheiten in der Bestandsbebauung von Warmbronn (z.B. Bebauung im Bereich der Wiesenstraße).

Anhand der Differenzendarstellung zum Ist-Zustand wird verdeutlicht (**Abbildungen 12.1, 12.2**), dass die Windschattenwirkung der geplanten Bebauung auf die Bestandsbebauung südwestlich des Straßenzugs Hinter den Gärten räumlich eng begrenzt bleibt.

Im Nahbereich der geplanten Wohnhäuser sind gegenüber dem Ist-Zustand zwar Windgeschwindigkeitsminderungen um bis zu ca. 90% zu berechnen, durch die strömungsgünstige Ausrichtung der Reihenhauszeilen in Südwest-Nordost-Richtung und die Sicherung von ausreichend großen Abstandsflächen zum bestehenden Bebauungsrand (u.a. mit Hilfe einer Oberflächenwasser-Retentionsfläche) sind die Windgeschwindigkeitsminderungen südwestlich des Straßenzugs Hinter den Gärten auf unter ca. 0.5 m/s (2 m ü.G.) bzw. auf unter ca. 1.0 m/s (5 m ü.G.) begrenzt. Das resultierende Belüftungsniveau im Ortskern von Warmbronn unterschreitet nicht das vorherrschende ortstypische Niveau und kann damit aus klimaökologischer Sicht akzeptiert werden. Eine markante Ausbildung von Luftstagnationsbereichen mit mittleren Windgeschwindigkeiten unter 0.3 m/s tritt nicht ein.

6.1.2 Windfeld, Nachtsituation – Windanströmung aus Ostnordosten (70°)

Wie in Kap. 5.1 bereits erläutert, entwickeln sich im Planungsumfeld bei zu siedlungsklimatischer bzw. bioklimatischer Belastung neigenden windschwachen Strahlungswetterlagen aus der Kaltluftbewegung über die Hangzonen entlang des Maisgrabens nächtliche Lokalwinde (siehe **Abbildung 7.1**), deren Ventilatoreffekte aufgrund zusätzlicher Bewegungsimpulse durch vertikal mächtigere Regionalströmungen in der Summenwirkung zu beachtlichen klimaökologischen Positivwirkungen in der Bebauung führen können.

Da derartige Windströmungen in Warmbronn in Strahlungsnächten wesentliche Träger der Belüftung innerhalb der Bebauung sind, ist darauf zu achten, dass deren Funktion möglichst erhalten bleibt. Klimatische Nachteile, die durch 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 Ostnordosten (70°) mit einer Strömungsgeschwindigkeit von 1.5 m/s (20 m ü.G.) gewählt, um repräsentative Aussagen für schwachgradientige Hochdruckwetterlagen mit Kaltluftströmungen ableiten zu können.

Die **Abbildungen 13.1** und **13.2** zeigen 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 B-Plangebiet „Hinter den Gärten“ zeigt mäßig bis gut belüftet, da die Wiesenfläche eine nur geringe Oberflächenrauigkeit aufweisen. Die über das Planungsgebiet in Richtung der Ortskernbebauung von Warmbronn fließende Kaltluft kann daher vor allem entlang strömungsparallel verlaufender Straßenzüge und Gebäudeabstandsflächen bis zur Hauptstraße vordringen. In diesem Bereich führt die recht dichte Bebauung zu einer vermehrten Aufzehrung der Kaltluft.

Im **Plan-Zustand (Abbildungen 14.1 und 14.2)** nimmt die Belüftungsintensität im Planungsgebiet „Hinter den Gärten“ auffallend ab. Dies wird vor allem durch die Differenzendarstellung zum Ist-Zustand (**Abbildungen 15.1 und 15.2**) verdeutlicht. In den Gebäudeleelagen neigt die aus Ostnordosten zuströmende bodennahe Kaltluft vermehrt zu Stagnation (mittlere Windgeschwindigkeit unter 0.3 m/s). Eine großflächige Ausbildung des Stagnationsbereichs bleibt jedoch aus, da die im Planungsentwurf vorgesehenen Erschließungsstraßen und Gebäudeabstandsflächen in größeren Teilbereich ein Durchströmen erlauben. Dies wird anhand der Windvektoren offenbar.

Eine ausreichende Be- und Entlüftung des neuen Wohngebiets ist durch die gewählte Ausrichtung der Reihenhauszeilen und der 3-geschossigen Bebauung für Betreutes Wohnen gegeben. Vorteilhaft ist auch die Sicherung der Freifläche „private Grünfläche – Zweckbestimmung Gartenbau“ im Südosten des Planungsgebiets. Sie bildet eine wirksame Belüftungsachse.

Die Auswirkungen der baulichen Inanspruchnahme der Wiesenflächen auf die Belüftungsintensität im Bereich der Bestandsbebauung bleiben räumlich eng auf die bisherige Ortsrandbebauung entlang des Straßenzugs Hinter den Gärten begrenzt. Dort nimmt die Windgeschwindigkeit in Bodennähe (2 m ü.G.) um ca. 0.1 – 0.3 m/s ab. Eine großflächige Zunahme von Luftstagnationstendenzen ist hieraus nicht abzuleiten. Dies wird auch bei Betrachtung des Windfeldes in der Höhenschicht 5 m ü.G. offensichtlich.

6.2 Modifikation der örtlichen Lufttemperaturverhältnisse bei Realisierung des Plan-Zustands

Wie die in Kap. 5.2 bereits angeführt, kühlen sich tagsüber intensiv aufgeheizte befestigte Areale nach Sonnenuntergang in den Sommermonaten nur verzögert ab. Während unversiegelte / vegetationsbedeckte Bereiche (Wiesen am Planungsstandort) rasch abkühlen, bleiben versiegelte Flächen (Straßen, Parkplätze, Häuser) die ganze Nacht hindurch überwärmt.

Durch die Überbauung der vegetationsbedeckten Flächen im Planungsgebiet „Hinter den Gärten“ geht thermisch wirksames Ausgleichspotenzial verloren, so dass in der benachbarten Bebauung mit einer Verzögerung und Verringerung der nächtlichen Abkühlung zu rechnen ist.

Aus Sicht der Klimaökologie ist bei der baulichen Inanspruchnahme des Planungsgebiets von Bedeutung, dass der von der potenziellen Bebauung und von den versiegelten Erschließungsflächen ausgehende „Wärmeinseleffekt“ sowohl von seiner Intensität als auch von seiner räumlichen Ausdehnung („Wärmeaura“) gering bzw. eng begrenzt bleibt.

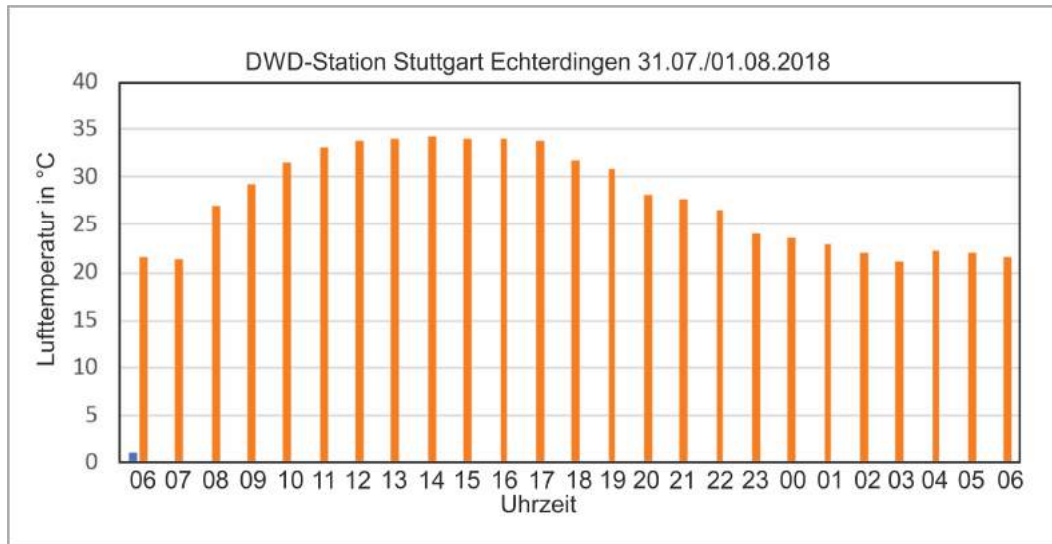
Als Bewertungsgrundlage wird nachfolgend für eine klimaökologisch besonders relevante Nachtsituation mit lokalen Kaltluftbewegungen die kleinräumige Lufttemperaturverteilung im Planungsgebiet und in dessen Umfeld simuliert. Hieraus wird die thermische Funktion unterschiedlicher Flächennutzungen ersichtlich.

Bei den 3-dimensionalen Modellrechnungen mit dem Modell ENVI-met wird über die Berechnung des Windfeldes und des Strahlungshaushaltes der Einfluss der Bebauung, versiegelter Oberflächen und unterschiedlicher Vegetationsstrukturen auf die potenzielle Lufttemperatur (1.5 m ü.G.) bestimmt. Das Rechengebiet umfasst eine Fläche von 540 x 462 m (inkl. Randzellen). Dargestellt ist ein Ausschnitt von 480 x 402 m. Die Auflösung beträgt horizontal 3 x 3 m und vertikal nicht-äquidistant 1 – 10 m

Die Ergebnisdarstellung erfolgt in Horizontalschnitten (2.0 m ü.G.).

Die nachfolgenden Berechnungen beziehen sich auf bioklimatisch besonders belastende heiße Sommertage (14:00 Uhr, Zeitpunkt der höchsten Wärmebelastung inkl. Sonneneinstrahlung) bzw. Tropennächte (00:00 Uhr).

Die Temperaturwerte orientieren sich dabei am nachfolgenden Tagesgang (siehe **Grafik 2**), wobei für die Tag- und Nachtsituation eine ostnordöstliche Windanströmung gewählt wird, da sich bei derartigen Windsituationen die Ortskernbebauung von Warmbronn unmittelbar im Lee des Planungsgebietes befindet.



Grafik 2: Tagesgang der Lufttemperatur an der DWD-Station Stuttgart Echterdingen vom 31.07./01.08.2018 – heißer Sommertag. Datenquelle: www.dwd.de

6.2.1 Thermische Situation an einem heißen Sommertag (14:00 Uhr) mit schwacher ostnordöstlicher Luftströmung (60°)

Die **Abbildung 16** zeigt für den Ist-Zustand die berechnete Lufttemperaturverteilung gegen 14:00 Uhr (Zeitpunkt der Tageshöchsttemperatur) an einem heißen Sommertag ($T_{\max} \geq 30^\circ\text{C}$).

Bei Lufttemperaturen im Bereich von schattenwerfenden Gehölzbeständen (entlang des Maisgrabens) von ca. $31.0 - 31.6^\circ\text{C}$ werden über großflächig versiegelten Arealen (z.B. im Bereich Im Gässle/Wiesenstraße) Lufttemperaturen bis 34.0°C berechnet. Die thermische Gunstfunktion größerer schattenwerfender Gehölzbestände wird offenbar. Über den Wiesenflächen des Planungsgebiets „Hinter den Gärten“ sind Lufttemperaturwerte von ca. $31.75 - 32.50^\circ\text{C}$ zu bestimmen. Hier macht sich die recht windoffene Lage und die geringe Wärmeabstrahlung der Vegetationsflächen positiv bemerkbar.

In der Ortskernbebauung von Warmbronn werden in Abhängigkeit von den Hausschatten und der Oberflächenbeschaffenheit (Gärten, versiegelte Flächen) Lufttemperaturen zwischen ca. 31.5 und 33.8°C berechnet.

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

Mit potenzieller Realisierung der geplanten Bebauung „Hinter den Wiesen“ (**Plan-Zustand, Abbildungen 17 und 18**) sind an heißen Sommertagen örtliche Lufttemperaturmodifikationen zu bilanzieren.

Im Planungsgebiet stellen sich insbesondere entlang der versiegelten Erschließungsstraßen und Zugangswege um ca. 0.25 – 1.30 K höhere Lufttemperaturen ein. Durch die zusätzlichen Baum und Hausschatten sind stellenweise aber auch Lufttemperaturabnahmen um ca. 0.5 – 0.8 K zu bilanzieren.

Die thermische Gesamtsituation stellt sich im Planungsgebiet insgesamt recht günstig dar. Die Modellergebnisse belegen damit, dass thermische Maximalbelastungen an heißen Sommertagen durch die gewählte Bau- und Flächennutzungsstruktur nur sehr kleinräumig im Bereich der Straßen- und Stellplatzflächen auftreten.

In der benachbarten Bestandsbebauung ergeben sich aus der geplanten Bebauung keine thermischen Zusatzbelastungen. Die dazwischenliegenden Hausgärten und begrünten Retentionsflächen wirken als thermisch wirksame Pufferflächen.

6.2.2 Thermische Situation in einer sommerlichen Tropennacht (00:00 Uhr) mit schwacher nordnordwestlicher Luftströmung (70°)

Wie u.a. in Kap. 5.1 bereits erläutert, setzen am Planungssandort in siedlungsklimatisch besonders relevanten Strahlungsnächten vermehrt lokal angelegte Ostnordostwinde ein, die die am Planungsstandort bislang entstehende Kaltluft vermehrt in die benachbarte Ortskernbebauung von Warmbronn verfrachten und dort die nächtliche Abkühlung forcieren.

Anhand der Modellergebnisse für den **Ist-Zustand (Abbildung 19)** zeigt sich, dass das östliche Freiraumgefüge von Warmbronn als klimaökologischer Ausgleichsraum mit intensivierter Abkühlung fungiert. Die Wiesen im Bereich des Planungsgebiets treten als vergleichsweise kühle Teilgebiete hervor. Gegenüber der baulich verdichteten und überwärmten Ortskernbebauung entlang der Hauptstraße stellen sich Lufttemperaturunterschiede bis ca. 3.8 K ein.

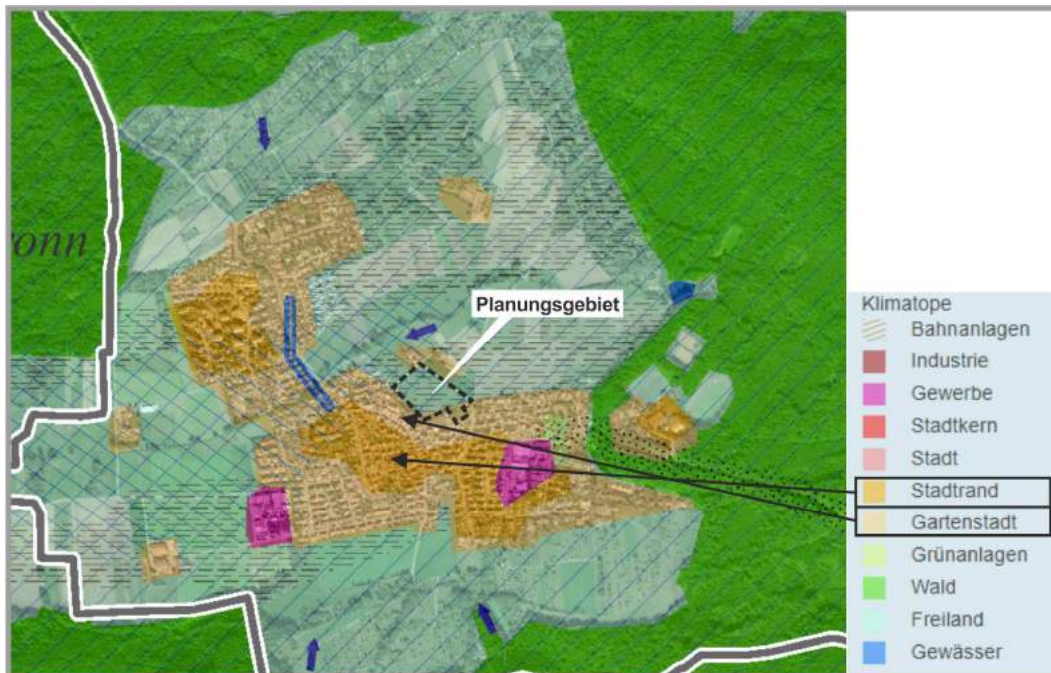
Die aus Ostnordosten zuströmende Kaltluft macht sich in der Bebauung zwischen der Planstraße im Nordwesten und dem Straßenzug Im Gässle bis zum Kreuzungsbereich Talackerstraße / Kreuzackerweg im Südwesten thermisch positiv bemerkbar. Die Eindringtiefe der lokalen Kaltluft in die Bebauung von Warmbronn südwestlich des Planungsgebiets beträgt demnach ca. 200 m.

Im **Plan-Zustand (Abbildungen 20 und 21)** steigt die Lufttemperatur am Planungsstandort durch die angedachte Bebauung um ca. 0.4 – 2.0 K an. Höchste Lufttemperaturen werden im Bereich der beiden westlichen Reihenhauszeilen simuliert. Dort zeigen sich Werte von ca. 21.6 - 22.0°C. Durch die nordöstlich vorgelagerte 3-geschossige Bebauung wird der direkte Kaltluftzustrom vermehrt unterbunden. Zudem wirken die neu versiegelten Flächen (Erschließungsstraße, Stellplatzflächen, Zugangswege) einer verstärkten Abkühlung entgegen.

Die angedachten grünordnerischen Maßnahmen (z.B. Sicherung von Hausgärten, Baumpflanzungen) können die thermische Negativwirkung der Überbauung einer Kaltluftentstehungsfläche nicht vollständig kompensieren. Ein Vergleich mit der Bestandsbebauung zeigt allerdings, dass die klimatische Situation im Planungsgebiet vergleichsweise günstig ist. Gegenüber der verdichteten Ortskernbebauung stellen sich um ca. 2.0 K niedrigere Lufttemperaturmaxima ein.

Die mit der geplanten Bebauung entstehende Warmluftfahne ist bei den in Strahlungsnächten zumeist vorherrschenden Winden aus ostnordöstlichen Richtungen zur Ortskernbebauung von Warmbronn (zwischen Planstraße im Nordwesten und Im Gässle im Südosten) gerichtet. Wie die Differenzendarstellung zum Ist-Zustand dokumentiert (**Abbildung 21**) mindern die vorgesehenen Grünstrukturen im Planungsgebiet „Hinter den Gärten“ zwar den zusätzlichen Wärmeinput der Neubebauung, es verbleibt jedoch noch eine Lufttemperaturbeaufschlagung von ca. 0.4 – 1.8 K. In schwacher Intensität (0.4 – 0.8 K) reicht die Warmluftfahne über die Hauptstraße hinweg nach Südwesten bis zur Talackerstraße.

Das resultierende Lufttemperaturniveau bewegt sich damit nur wenig über der heutigen Verhältnissen und kann in Anbetracht der insgesamt günstigen thermischen Situation in Warmbronn (siehe **Grafik 3** – Klimatopkarte des Verbands der Region Stuttgart) aus klimaökologischer Sicht noch akzeptiert werden.



Grafik 3: Ausschnitt aus der Klimatopkarte des Verbands Region Stuttgart.
Datenquelle: <http://webgis.region-stuttgart.org/Web/klimatop/>

7 Zusammenfassung, Bewertung und Planungsempfehlungen

Im Osten von Warmbronn ist zwischen den Straßenzügen Hinter den Gärten im Nordwesten und Im Gäßle im Südosten eine bauliche Arrondierung geplant.

Das ca. 2.1 ha große Bebauungsplangebiets Nr. 06.02-17 „Wohnen – Hinter den Gärten“ umfasst derzeit vorwiegend Wiesen und Ackerflächen sowie einzelne Bäume. In zentraler Lage des Planungsgebiets verläuft ein Wassergraben von Südosten nach Nordwesten zum Maisgraben.

Der vorgelegte städtebauliche Entwurf vom 23.04.2020 sieht im Nordwesten drei 3-geschossige Gebäude für Betreutes Wohnen und eine großzügige Spielfläche vor, die durch den von Südosten nach Nordwesten verlaufenden Wassergraben getrennt werden. Am Nordostrand sollen fünf 3-geschossige Geschosswohnungsbauten realisiert werden. Im Südosten bilden zwei 2-geschossige Einfamilienhäuser den Übergang zur Bestandsbebauung an der Ecke Im Gäßle / Steigwaldstraße. Südwestlich des Wassergrabens mit 10 m breitem Gewässerrandstreifen sind vier 2-geschossige Einfamilienhäuser, ein 3-geschossiger Geschosswohnungsbau sowie drei 2-geschossige Reihenhausszeilen mit jeweils vier Wohneinheiten vorgesehen. Die verkehrliche Erschließung erfolgt über die Steigwaldstraße.

Im Rahmen der grünordnerischen Ausgestaltung des Planungsgebiets sind zahlreiche Baumpflanzungen geplant.

Die Analyse des ortsspezifischen Strömungsgeschehen zeigt, dass im Planungsgebiet und in dessen Umfeld im Allgemeinen Winde aus südliche bis südwestliche Luftströmungen das örtliche Luftaustauschgeschehen bestimmen. Ein Sekundärmaximum stellt sich bei nordnordöstlichen Richtungen ein.

Die Ergebnisse von Windmessungen in Warmbronn zwischen 1992 und 1993 (ÖKOPLANA 1993) dokumentieren, dass sich am Planungsstandort bei klimaökologisch relevanten Strahlungswetterlagen ein deutlich ausgeprägtes Lokalklima einstellt, das sich insbesondere in der Windrichtungsverteilung ausdrückt.

Tagsüber herrschen nordöstliche und südwestliche Winde vor, die mittlere Geschwindigkeiten von ca. 2.3 – 3.0 m/s erreichen. An der frei exponierten Höhenstation *Engelberg* in Leonberg werden vergleichbare Windgeschwindigkeiten gemessen. Die Intensität der Belüftung in Warmbronn ist ausreichend genug, um stark erhöhte bioklimatischen Belastungen zu unterbinden.

Nach Sonnenuntergang entwickeln sich entlang des Maisgrabens lokale Kaltluftabflüsse, die bei derartigen Situation wesentliche Träger der Belüftung in Warmbronn sind.

Der lokale Kaltluftstrom aus Ostnordosten erreicht östlich der Hauptstraße meist eine Höhe von ca. 15 – 20 m. In besonders windschwachen Situationen sind auch Mächtigkeiten bis ca. 40 m möglich. Der Kaltluftabfluss vollzieht sich schubartig, wobei die Strömungsgeschwindigkeit der Kaltluft in einer Messhöhe von 10 m ü.G. Maximalwerte von ca. 1.0 m/s erreicht, meist aber um 0.5 m/s beträgt.

Die Ergebnisse ergänzender Kaltluftabflusssimulationen bestätigen die Messergebnisse und verdeutlichen, dass die Kaltluft insbesondere dort wirksam wird, wo strömungsparallel verlaufende Gebäudeabstandsflächen und Straßenzüge ein bodennahes Durchgreifen ermöglichen.

Die thermische Situation im Umfeld des Bebauungsplangebiets „Wohnen - Hinter den Gärten“ wird bei austauscharmen Strahlungswetterlagen sowohl durch die direkte Lagebeziehung zu Wiesen- und Landwirtschaftsflächen als auch durch die angrenzende Ortskernbebauung von Warmbronn bestimmt.

Ergebnissen von Thermalbildaufnahmen aus dem Jahr 2005 (VERBAND REGION STUTTGART 2008) zeigen, dass in den Nachtstunden über den Wiesen auffallend niedrige Oberflächenstrahlungstemperaturen gemessen. Hier betragen die Werte ca. 8 - 11°C (dunkelblaue Farbtönung). Locker gehölzüberstellte Flächen (z.B. entlang des Maisgrabens) und abgeerntete Felder bilden sich etwas wärmer ab, da in diesen Bereichen die nächtliche Ausstrahlung etwas reduziert (Baumflächen) bzw. durch den fehlenden Vegetationsanteil (abgeerntete Ackerflächen) die Kaltluftbildung geringer ist. Insgesamt fungiert das Planungsgebiet als Freiraum mit hohem thermischen Ausgleichspotenzial.

In der angrenzenden Ortskernbebauung von Warmbronn überwiegen im Allgemeinen asphaltierte Straßenzüge und dichte Bebauung, die sich am Tag intensiv aufheizen und in den Nachtstunden als überwärmte Areale einer forcierten nächtlichen Abkühlung entgegenstehen.

Die unterschiedlichen Oberflächenstrahlungstemperaturen bewirken auch eine flächennutzungsspezifische Lufttemperaturverteilung. So wurden bei Profilmessfahrten am 06.05.1992 (windschwache Strahlungsnacht) zwischen dem Reitstall Hering (5.0°C, Freiland Hinter den Gärten) und dem Kreuzungsbereich Hauptstraße/Planstraße im Ortskern von Warmbronn (7.3°C) gegen 23:00 Uhr Lufttemperaturdifferenzen von ca. 2.3 K gemessen, die in warmen Sommernächten noch ansteigen können.

Die vergleichenden Ergebnisse der Modellrechnungen (Ist- und Plan-Zustand) zum strömungsdynamischen Prozessgeschehen dokumentieren, dass das Planungsgebiet bei Realisierung einer Bebauung nach vorliegendem Entwurf am Tag ausreichend ventiliert ist. Die gewählten Gebäudehöhen und Abstandsflächen gewährleisten eine ausreichende Be- und Entlüftung. Das Belüftungsniveau entspricht den Gegebenheiten in der Bestandsbebauung von Warmbronn (z.B. Bebauung im Bereich der Wiesenstraße).

Die Ergebnisse der Modellrechnungen zeigen zudem, dass die Windschattenwirkung der geplanten Bebauung auf die Bestandsbebauung südwestlich des Straßenzugs Hinter den Gärten räumlich eng begrenzt bleibt. Im Nahbereich der geplanten Wohnhäuser sind gegenüber dem Ist-Zustand zwar Windgeschwindigkeitsminderungen um bis zu ca. 90% zu berechnen, durch die strömungsgünstige Ausrichtung der Reihenhauseinheiten in Südwest-Nordost-Richtung und die Sicherung von ausreichend großen Abstandsflächen zum bestehenden Bebauungsrand (u.a. mit Hilfe einer Oberflächenwasser-Retentionsfläche) sind die Windgeschwindigkeitsminderungen südwestlich des Straßenzugs Hinter den Gärten auf unter ca. 0.5 m/s (2 m ü.G.) bzw. auf unter ca. 1.0 m/s (5 m ü.G.) begrenzt. Das resultierende Belüftungsniveau im Ortskern von Warmbronn unterschreitet nicht das vorherrschende ortstypische Niveau und kann damit aus klimaökologischer Sicht akzeptiert werden. Eine markante Ausbildung von Luftstagnationsbereichen mit mittleren Windgeschwindigkeiten unter 0.3 m/s tritt nicht ein.

In den Nachtstunden nimmt bei vorherrschenden ostnordöstlichen Kaltluftbewegungen die Belüftungsintensität im B-Plangebiet „Wohnen – Hinter den Gärten“ durch die angedachte Bebauung auffallend ab. In den Gebäudelelagen neigt die aus Ostnordosten zuströmende bodennahe Kaltluft vermehrt zu Stagnation (mittlere Windgeschwindigkeit unter 0.3 m/s). Eine großflächige Ausbildung des Stagnationsbereichs bleibt jedoch aus, da die im Planungsentwurf vorgesehenen Erschließungsstraßen und Gebäudeabstandsflächen in größeren Teilbereichen ein Durchströmen erlauben. Eine ausreichende Be- und Entlüftung des neuen Wohngebiets ist durch die gewählte Ausrichtung der Reihenhauseinheiten und der 3-geschossigen Bebauung für Betreutes Wohnen gegeben. Vorteilhaft ist auch die Sicherung der Freifläche „private Grünfläche – Zweckbestimmung Gartenbau“ im Südosten des Planungsgebiets. Sie bildet eine wirksame Belüftungsachse.

In der Bestandsbebauung bleiben die Windfeldmodifikationen räumlich eng auf die bisherige Ortsrandbebauung entlang des Straßenzugs Hinter den Gärten begrenzt. Dort nimmt die Windgeschwindigkeit in Bodennähe (2 m ü.G.) um ca. 0.1 – 0.3 m/s ab. Eine großflächige Zunahme von Luftstagnationstendenzen ist hieraus nicht abzuleiten.

Die Ergebnisse der Modellrechnungen zu den thermischen Umgebungsbedingungen dokumentieren, dass sich an heißen Sommertagen bei Realisierung des neuen Wohngebiets am Tag allein entlang der versiegelten Erschließungsstraßen und Zugangswege um ca. 0.25 – 1.30 K höhere Lufttemperaturen einstellen. Durch die zusätzlichen Baum und Hausschatten sind stellenweise aber auch Lufttemperaturabnahmen um ca. 0.5 – 0.8 K zu bilanzieren.

Die thermische Gesamtsituation stellt sich am Tag im Planungsgebiet insgesamt recht günstig dar, wodurch auch in der angrenzenden Bestandsbebauung keine relevanten thermischen Zusatzbelastungen resultieren.

In siedlungsklimatisch besonders relevanten Tropennächten setzen im Planungsumfeld vermehrt lokal angelegte Ostnordostwinde ein. Im Ist-Zustand wird die über den Wiesenflächen des Planungsgebiets entstehende Kaltluft in die benachbarte Ortskernbebauung von Warmbronn verfrachtet und forciert dort die nächtliche Abkühlung. Die abkühlende Wirkung reicht zwischen der Planstraße im Nordwesten und dem Straßenzug Im Gässle bis zum Kreuzungsbereich Talackerstraße / Kreuzackerweg. Die Eindringtiefe der lokalen Kaltluft in die Bebauung von Warmbronn südwestlich des Planungsgebiets beträgt demnach ca. 200 m.

Im Plan-Zustand steigt die Lufttemperatur am Planungsstandort durch die ange dachte Bebauung um ca. 0.4 – 2.0 K an. Höchste Lufttemperaturen werden im Bereich der beiden westlichen Reihenhausezeilen simuliert. Dort zeigen sich Werte von ca. 21.6 - 22.0°C. Durch die nordöstlich vorgelagerte 3-geschossige Bebauung wird der direkte Kaltluftzustrom vermehrt unterbunden. Zudem wirken die neu versiegelten Flächen (Erschließungsstraße, Stellplatzflächen, Zugangswege) einer verstärkten Abkühlung entgegen.

Ein Vergleich mit der Bestandsbebauung zeigt allerdings, dass die klimatische Situation im Planungsgebiet vergleichsweise günstig ist. Gegenüber der verdichteten Ortskernbebauung stellen sich um ca. 2.0 K niedrigere Lufttemperaturmaxima ein.

Die mit der geplanten Bebauung entstehende Warmluftfahne ist bei den in Strahlungs Nächten zumeist vorherrschenden Winden aus ostnordöstlichen Richtungen zur Ortskernbebauung von Warmbronn (zwischen Planstraße im Nordwesten und Im Gässle im Südosten) gerichtet. Die vorgesehenen Grünstrukturen im Planungsgebiet „Hinter den Gärten“ mindern zwar den zusätzlichen Wärmeinput der Neubebauung, es verbleibt jedoch noch eine Lufttemperaturbeaufschlagung von ca. 0.4 – 1.8 K. In schwacher Intensität (0.4 – 0.8 K) reicht die Warmluftfahne über die Hauptstraße hinweg nach Südwesten bis zur Talackerstraße.

Das resultierende Lufttemperaturniveau bewegt sich damit nur wenig über der den heutigen Verhältnissen und kann in Anbetracht der insgesamt günstigen thermischen Situation in Warmbronn aus klimaökologischer Sicht noch akzeptiert werden.

Aus klimaökologischer Sicht kann somit der Planungsentwurf in vorgelegter Form unterstützt werden.

Angesichts des Klimawandels mit einer prägnanten Zunahme von heißen Sommertagen und Tropennächten sollten allerdings zusätzliche klimaökologisch wirksame Ausgleichsmaßnahmen in der Planung Berücksichtigung finden. Dies werden nachfolgend angeführt.

Wie bereits in Kap. 6.2 angeführt, kommt der thermischen Belastungssituation in den Nachtstunden in der Stadtklimatologie eine besondere Bedeutung zu. Doch auch am Tage können bei sommerlichen Hochdruckwetterlagen starke thermophysiological Belastungen auftreten. Hierfür ist, neben dem generell hohen Temperaturniveau, insbesondere die Aufheizung versiegelter Oberflächen durch die Sonneneinstrahlung in Verbindung mit ihrer erhöhten Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit verantwortlich. Maßnahmen zur Reduktion dieser Aufheizung – also im Allgemeinen zur Verringerung der Oberflächen- und Lufttemperatur durch verstärkte Beschattung und eine Erhöhung der kühlenden Verdunstung durch Pflanzen oder unversiegelte Oberflächen sind anzustreben.

Zur Gestaltung günstiger klimatischer Verhältnisse sollten daher neben der im Planungsentwurf dargestellten Pflanzung schattenwerfender Bäume auch die Oberflächenversiegelung durch Stellplätze reduziert werden. Hierzu bietet sich die Verwendung von Rasengittersteinen o.ä. an, da gegenüber Asphaltdecken und Pflasterbelägen die Aufheizung an heißen Sommertagen deutlich geringer ist (siehe Foto 1).

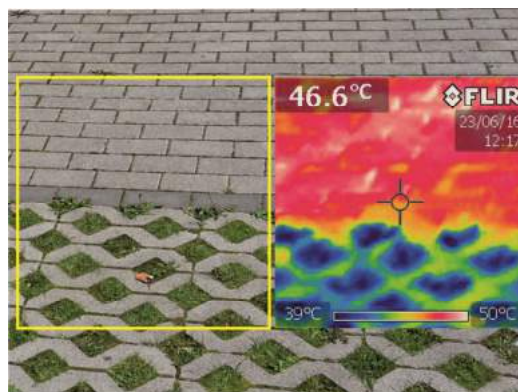


Foto 1: IR-Aufnahme von unterschiedlichen Oberflächenbelägen bei einer Lufttemperatur von 27°C (Aufnahme: ÖKOPLANA)

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 pseudoacacia</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))

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 **Foto 2**).

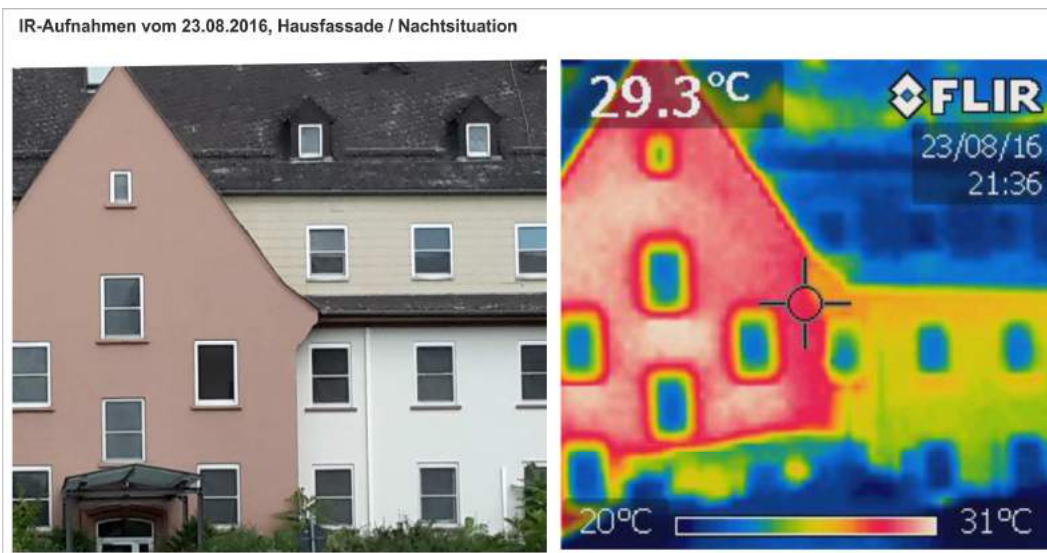


Foto 2: Oberflächentemperaturen unterschiedlich heller Fassaden (Aufnahme: ÖKOPLANA, AUS: GEO-NET UMWELTCONSULTING GMBH, ÖKOPLANA 2017)

Zusätzliche thermische Gunsteffekte können zudem über Fassadenbegrünungen erzielt werden. Zu empfehlen wäre diese an den Südfassaden der Mehrfamilienhäuser und an der Südostfassade des Gebäudekomplexes Betreutes Wohnen. Im Vergleich zu einer unbegrünten Wand können nach PFOSER 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.



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

Ein weiterer Baustein zur Minimierung thermischer Negativeffekte sind Dachbegrünungen (Flachdächer, Garagen, Carports). Sie bewirken eine 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. 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 zwar auf die Luftmassen direkt über der Dachoberfläche. Es ist jedoch anzunehmen, dass eine Begrünung vieler Dächer auch einen signifikanten Effekt auf die Nachbarschaft aufweist.

Ein weiterer Positiveffekte von Dachbegrünungen ist die Erhöhung der Wasserrückhaltefähigkeit nach Starkregen mit der dadurch bedingten Vermeidung von Abflussspitzen in der Kanalisation. Bei Extensivbegrünung beträgt der jährliche Wasserrückhalt im Mittel ca. 60% vom Niederschlag, bei Intensivbegrünung sogar bis 85%.

Die o.a. Maßnahmen sind in ihrer Summenwirkung geeignet, die negativen klimaökologischen Folgeerscheinungen der planungsbedingten Oberflächenversiegelung weiter zu minimieren und ihre räumlichen Ausdehnung enger zu begrenzen.



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

Mannheim, den 28. Mai 2020

Quellenverzeichnis / weiterführende Schriften

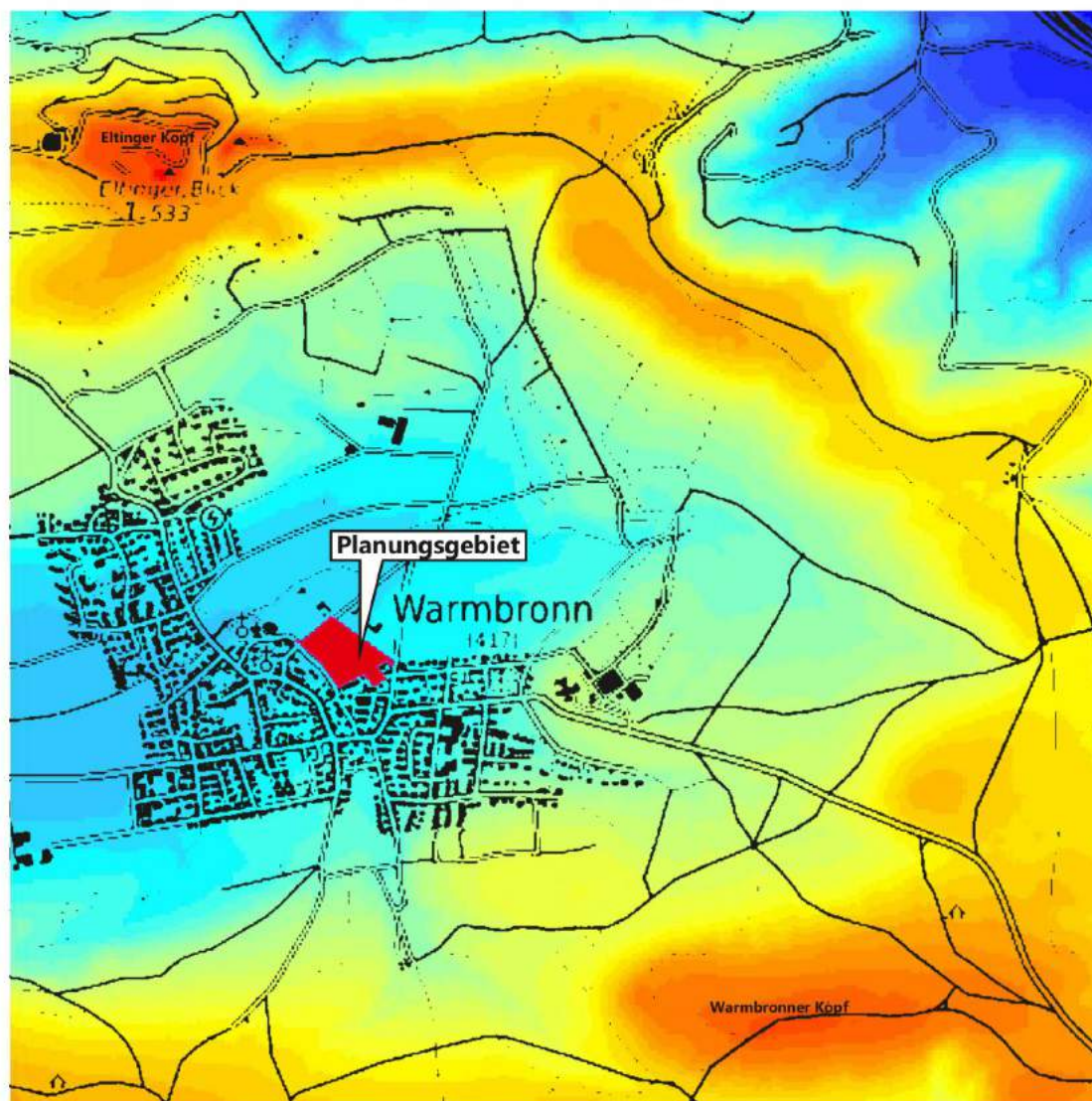
- BRUSE, M. (2003):** Stadtgrün und Stadtklima – Wie sich Grünflächen auf das Mikroklima in Städten auswirken. In: LÖBF-Mitteilungen 1/2003. S. 66 – 70.
- BRUSE, M. (2002/2019):** Envi-Met - Mikroskaliges Klimamodell. Bochum.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG (2013):** KLAMIS. Modellgestützte Klimaanalysen und –bewertungen für die Regionalplanung. Grundlagen für einen Leitfaden. Berlin.
- DEUTSCHER WETTERDIENST (2008):** Das Kaltluftabfluss-Modell KLAM_21. Theoretische Grundlagen und Handhabung des PC-Programms. Offenbach a.
- GIESE / EICHORN, J. (2009/2016):** Miskam - Mikroskaliges Klima- und Ausbreitungsmodell. Mainz.
- FRIEDRICHS, 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 (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 / EICHORN, J. (2009/2016):** Miskam - Mikroskaliges Klima- und Ausbreitungsmodell. Mainz.
- GROSS, G. (1993):** Numerical Simulation of Canopy Flows. Springer Verlag, Heidelberg.
- GROSS, G. (2012):** Numerical Simulation of greening effects for idealised roofs with regional climate forcing. In: Meteorologische Zeitschrift, Vol 21, No 2, S. 171 -181, Heidelberg.
- ÖKOPLANA (1992):** Klimaökologische Analyse im Bereich Leonberg-Warmbronn unter besonderer Berücksichtigung des Strömungsgeschehens. Mannheim.
- ÖKOPLANA (1993):** Klimaökologische Analyse im Stadtgebiet Leonberg unter besonderer Berücksichtigung des Strömungsgeschehens. Mannheim.
- ÖKOPLANA (2012):** Klimaökologische Stellungnahme zum Bebauungsplanverfahren „Kindertagesstätte“ in Leonberg-Warmbronn. Mannheim.

VERBAND REGION STUTTGART (2008): Klimaatlas Region Stuttgart. Stuttgart.

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (1996): VDI 3787, Bl. 2. Methoden zur human-biometeorologischen 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.

Abb. 1 Planungsgebiet „Wohnen - Hinter den Gärten“ - topografische Lagesituation



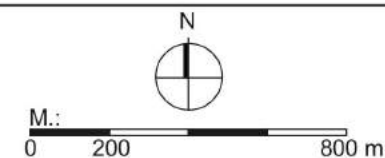
Geländehöhe ü. NHN

374 - 375	451 - 455
376 - 380	456 - 460
381 - 385	461 - 465
386 - 390	466 - 470
391 - 395	471 - 475
396 - 400	476 - 480
401 - 405	481 - 485
406 - 410	486 - 490
411 - 415	491 - 495
416 - 420	496 - 500
421 - 425	501 - 505
426 - 430	506 - 510
431 - 435	511 - 515
436 - 440	516 - 520
441 - 445	521 - 525
446 - 450	526 - 530

Kartendaten: © OpenStreetMap-Mitwirkende, SRTM /
Kartendarstellung: © OpenTopoMap (CC-BY-SA)

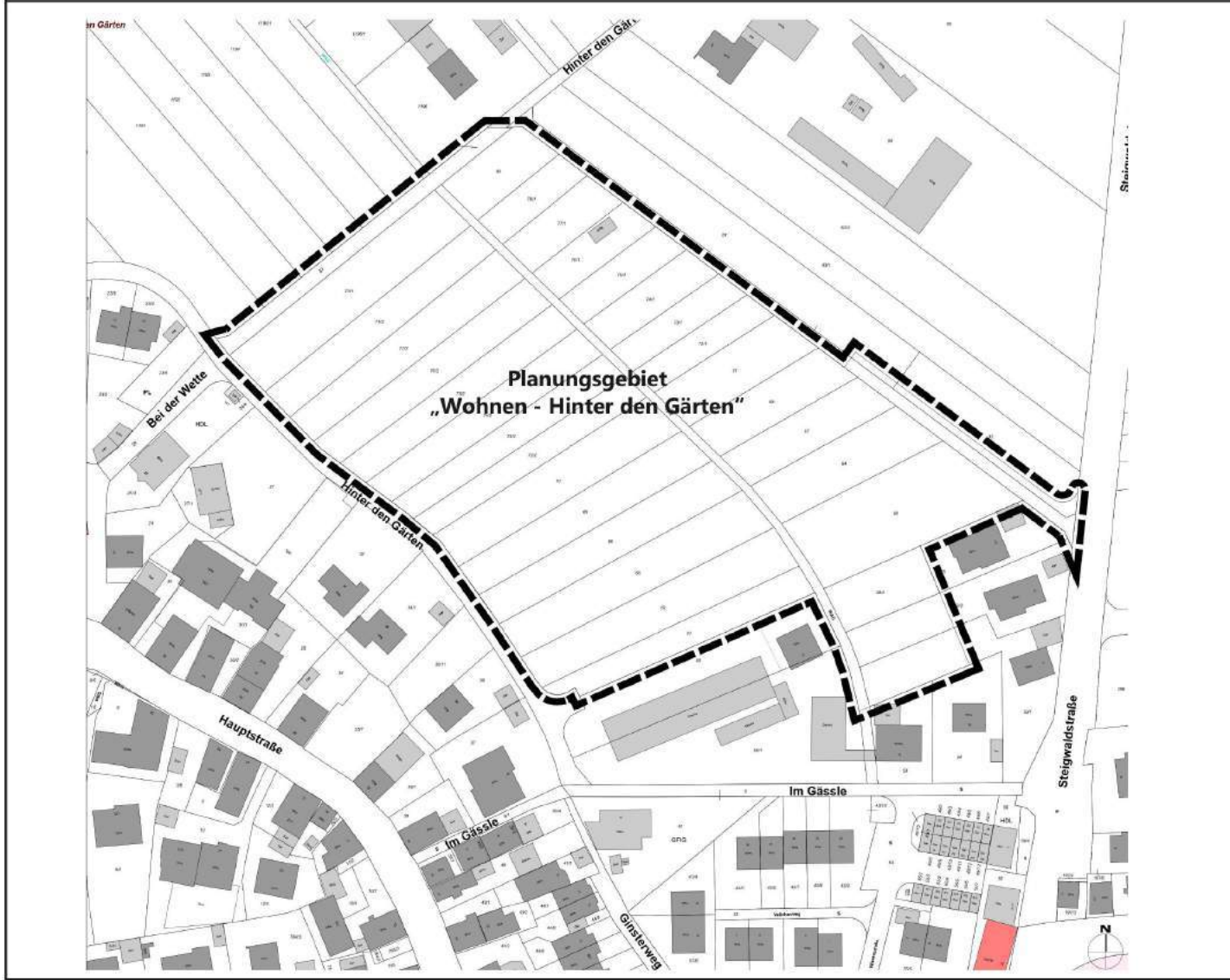
Reliefdaten (DGM_5) bereitgestellt von:
Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung
Baden-Württemberg

Projekt:
Klimaökologische Stellungnahme zum
B-Planentwurf Nr. 06.02-17 „Wohnen -
Hinter den Gärten“ in Leonberg-Warmbronn



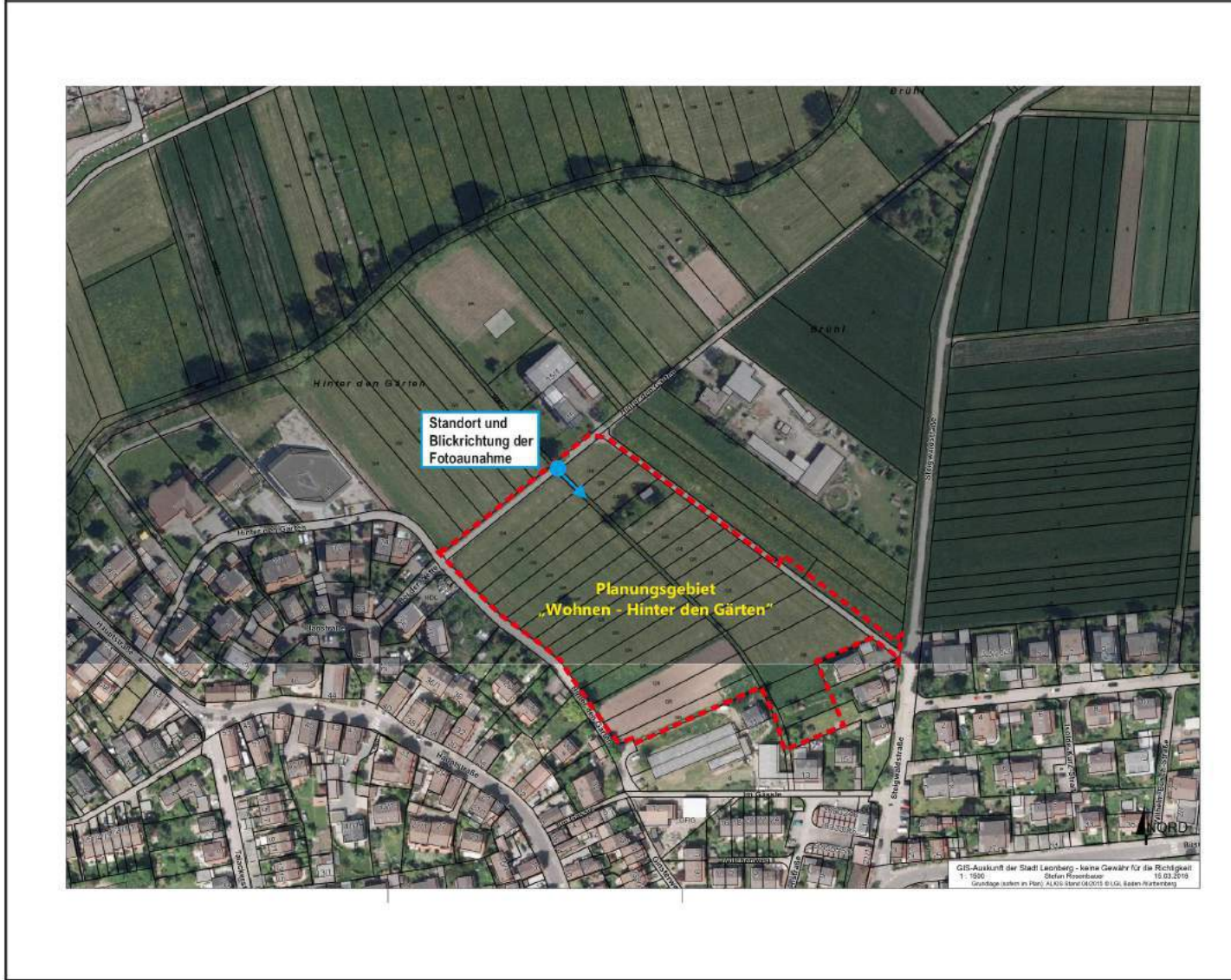
ÖKOPLANA

Abb. 2 Planungsgebiet „Wohnen - Hinter den Gärten“ - Abgrenzungsplan



Projekt:
Klimaökologische Stellungnahme zum
B-Planentwurf Nr. 06.02-17 „Wohnen -
Hinter den Gärten“ in Leonberg-Warmbronn

Abb. 3 Planungsgebiet „Wohnen - Hinter den Gärten“ - Luftbild



Projekt:
Klimaökologische Stellungnahme zum
B-Planentwurf Nr. 06.02-17 „Wohnen -
Hinter den Gärten“ in Leonberg-Warmbronn

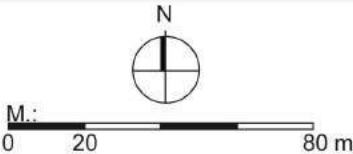


Abb. 4 Städtebaulicher Entwurf „Wohnen - Hinter den Gärten“



Grafik bereitgestellt von:
Stadt Leonberg, Stadtplanungsamt -
Abt. Stadtentwicklung und Umwelt-
planung

Projekt:
Klimaökologische Stellungnahme zum
B-Planentwurf Nr. 06.02-17 „Wohnen -
Hinter den Gärten“ in Leonberg-Warmbronn



ÖKOPLANA

Abb. 5 Berechnete Windstatistik für die Ortslage Warmbronn

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

© 2013 Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg
© 2013 Argo-METCON (Pfinneberg), IB Rau (Heilbronn), meSoft GbR (Heilbronn)

Version 2.05

Lage in UTM ETRS89

Rechtswert: 32 498 925

Hochwert: 5 401 279

Mittlere Windgeschwindigkeit:

2.2 m/s

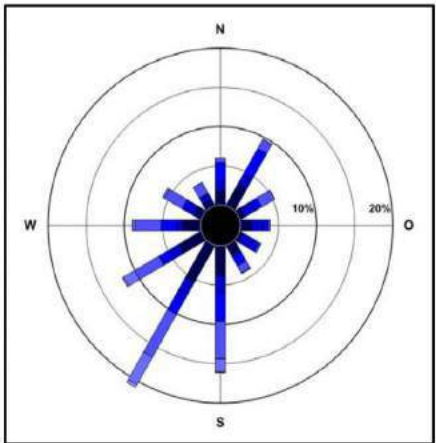
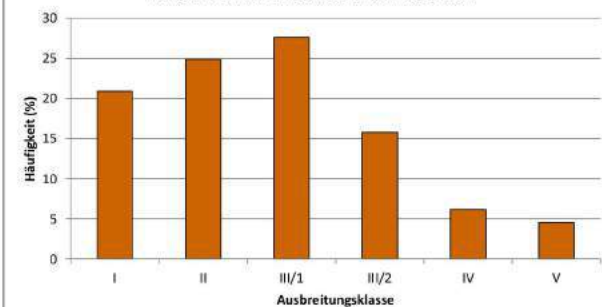
Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeiten (m/s) und Windrichtungssektoren (°) in %
(Klassenaufteilung nach TA Luft)

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°	1.87	1.24	00	2.41	0.00	0.52	0.00	0.00	0.00	6.04
016°-045°	3.20	1.51	00	3.72	0.00	1.39	0.00	0.00	0.00	9.81
046°-075°	0.85	1.42	02	1.07	0.00	1.96	0.00	0.00	0.00	5.32
076°-105°	1.53	1.60	00	0.61	0.00	0.24	0.00	0.00	0.00	3.97
106°-135°	0.53	1.72	00	0.75	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00	3.26
136°-165°	1.40	0.44	06	1.23	0.00	1.06	0.00	0.00	0.00	4.18
166°-195°	3.87	2.23	70	3.61	0.07	4.74	0.00	1.00	0.00	16.23
196°-225°	5.46	2.49	04	2.24	0.43	6.28	0.00	4.00	0.00	20.94
226°-255°	3.40	1.42	68	1.62	0.17	3.67	0.00	1.00	0.00	11.97
256°-285°	2.41	0.77	37	2.09	0.00	3.37	0.00	0.00	0.00	9.02
286°-315°	1.11	1.21	26	0.60	0.00	2.66	0.00	0.00	0.00	5.83
316°-345°	0.95	0.69	00	0.22	0.00	1.58	0.00	0.00	0.00	3.44
Summe	26.55	16.74	20.18	27.71	8.14	0.67	0.00	0.00	0.00	100.00

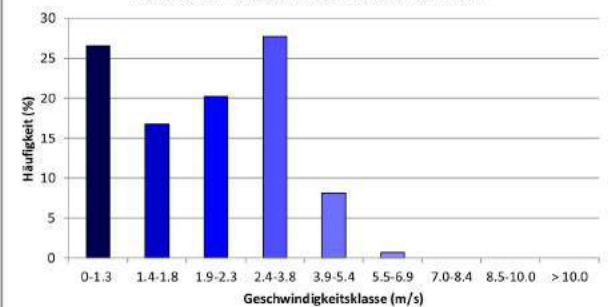
Häufigkeit der Ausbreitungsklassen nach Klug/Manier in %

Klasse	I	II	III/1	III/2	IV	V
	20.91	24.89	27.62	15.79	6.21	4.58

Häufigkeit der Ausbreitungsklassen nach Klug/Manier



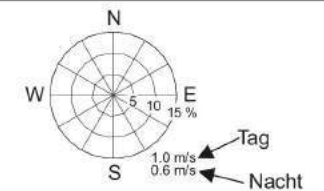
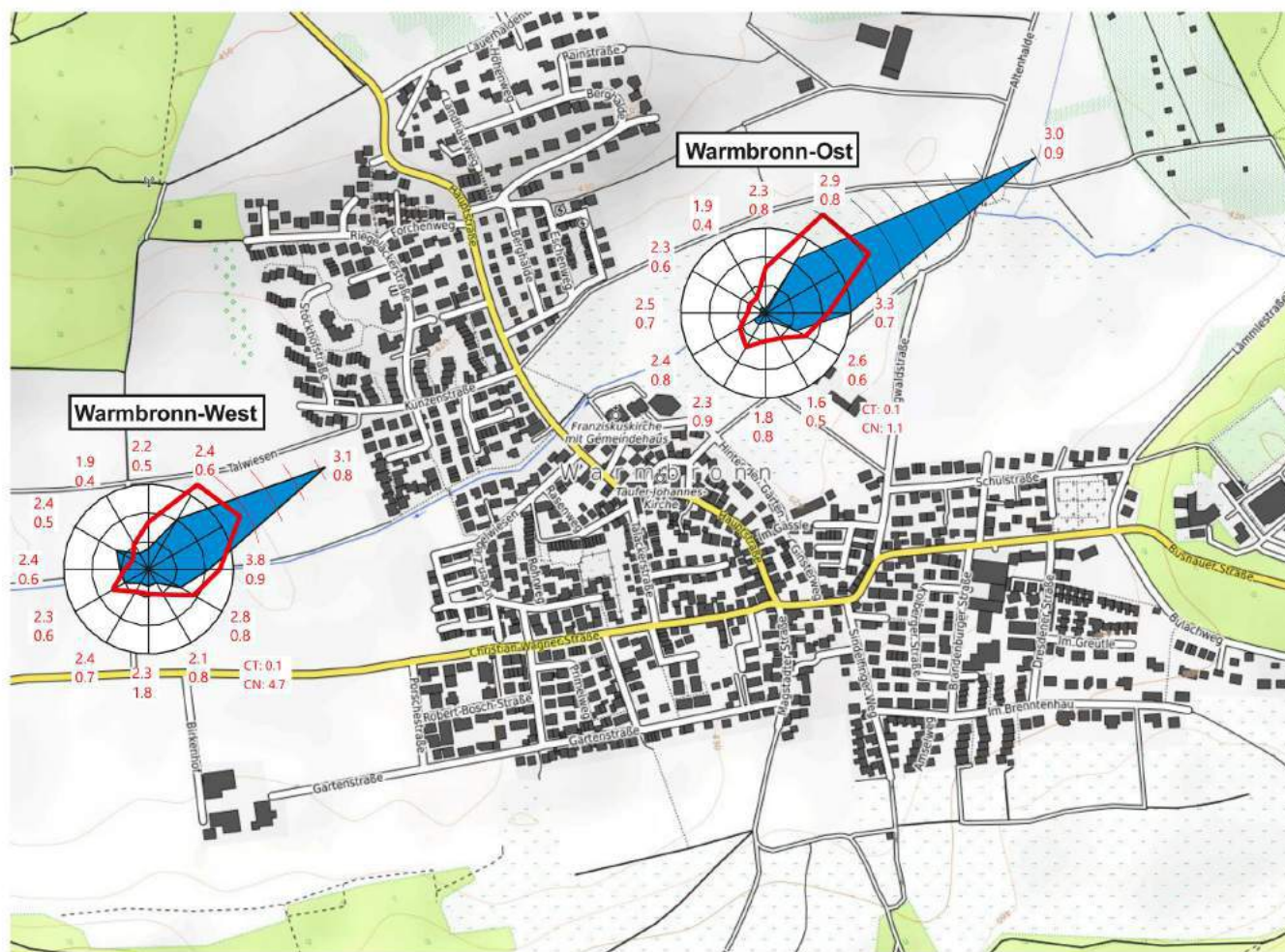
Häufigkeit der Windgeschwindigkeitsklassen nach TA Luft



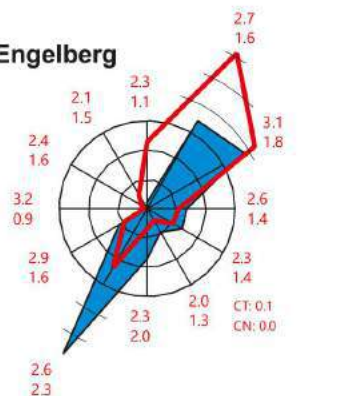
Grafik:
Windrosenatlas Baden-Württemberg - LUBW

Projekt:
Klimaökologische Stellungnahme zum
B-Planentwurf Nr. 06.02-17 „Wohnen -
Hinter den Gärten“ in Leonberg-Warmbronn

Abb. 6 Häufigkeitsverteilung der Windrichtung und mittlere Windgeschwindigkeit
Datenkollektiv: April - September 1992 und 1993, Sommerhalbjahre - Strahlungswetterlagen
 (Datenerfassung: ÖKOPLANA)

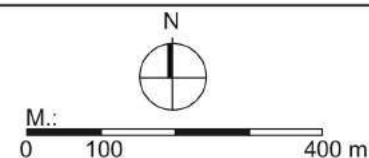


Engelberg



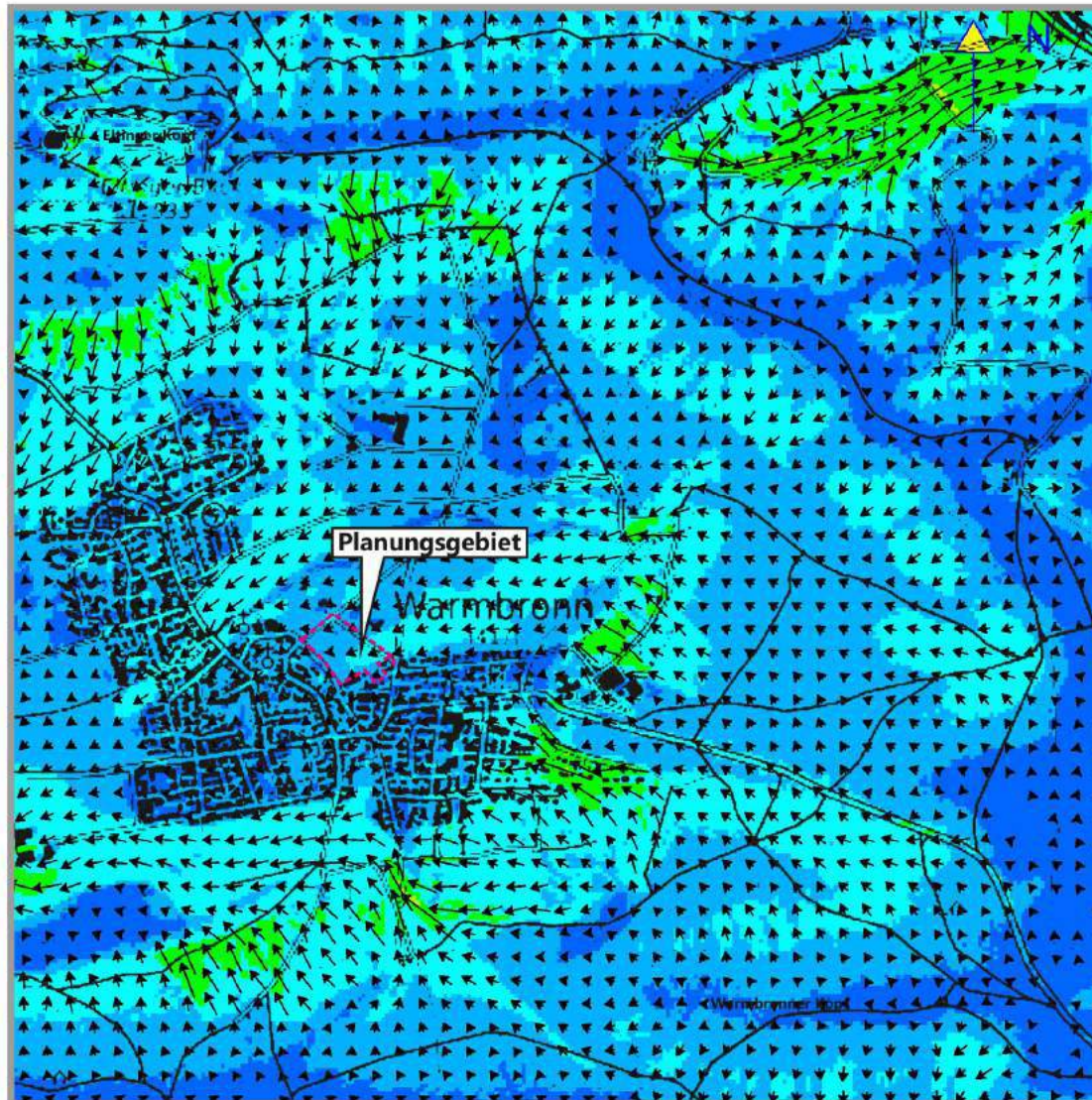
Kartendaten: © OpenStreetMap-Mitwirkende, SRTM /
 Kartendarstellung: © OpenTopoMap (CC-BY-SA)

Projekt:
 Klimaökologische Stellungnahme zum
 B-Planentwurf Nr. 06.02-17 „Wohnen -
 Hinter den Gärten“ in Leonberg-Warmbronn



ÖKOPLANA

Abb. 7.1 Ergebnisse von Kaltluftströmungssimulationen.
Fließgeschwindigkeit und Richtung lokaler Kaltluftbewegungen in sommerlichen Strahlungsnächten 2 m ü.G.,
2 Stunden nach einsetzender Kaltluftbildung



**Mittlere Windgeschwindigkeit
in m/s (2 m ü.G.)**

- 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
- ueber 3,0 bis 4,0

→ 1 m/s

Kartendaten: © OpenStreetMap-Mitwirkende, SRTM /
Kartendarstellung: © OpenTopoMap (CC-BY-SA)

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

Projekt:
Klimaökologische Stellungnahme zum
B-Planentwurf Nr. 06.02-17 „Wohnen -
Hinter den Gärten“ in Leonberg-Warmbrunn

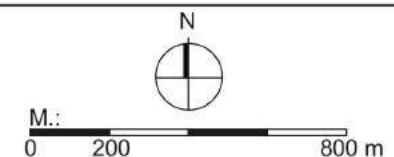
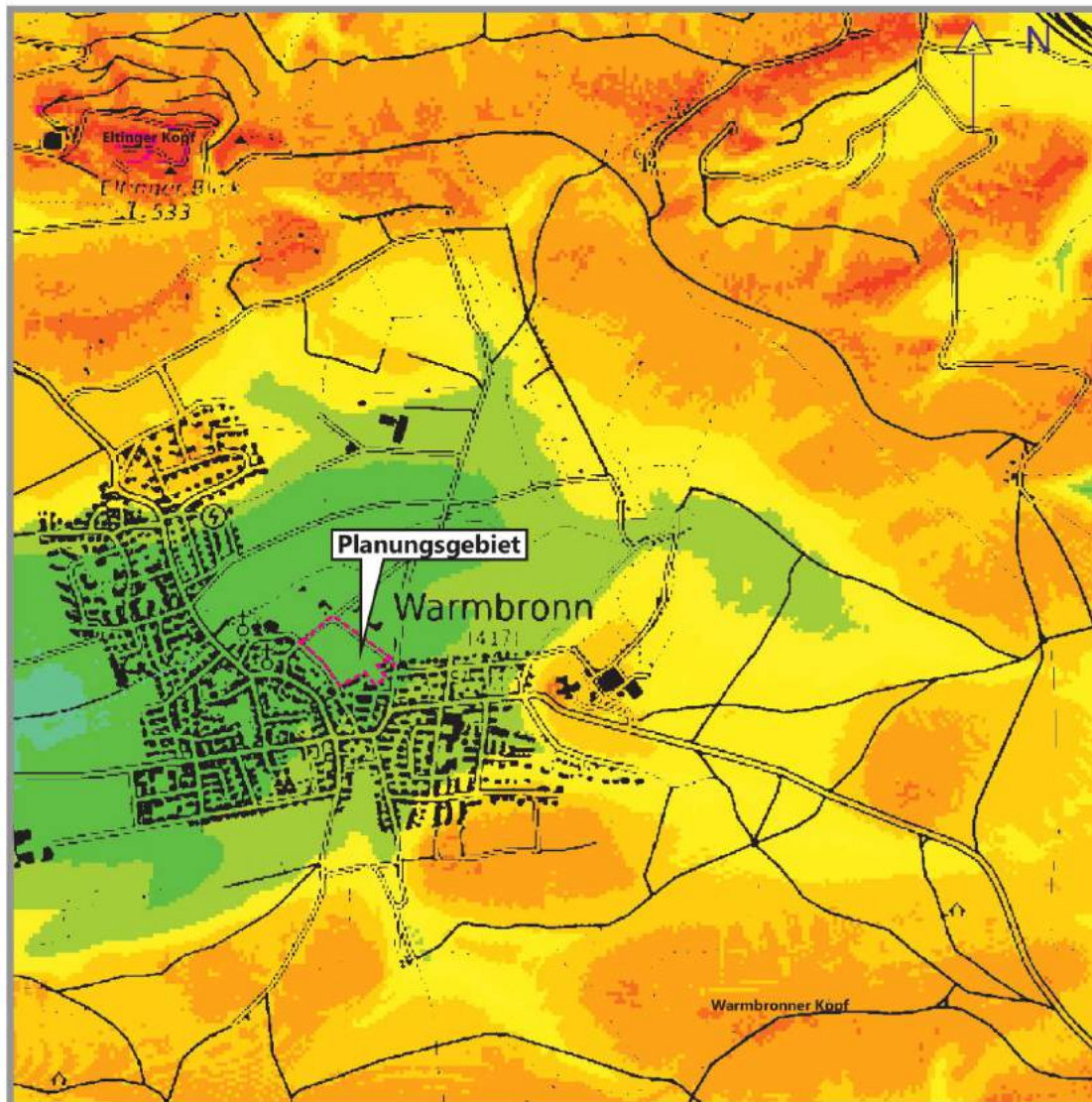


Abb. 7.2 Ergebnisse von Kaltluftströmungssimulationen.
Kaltluftmächtigkeit, 2 Stunden nach einsetzender Kaltluftbildung



Kaltluftmächtigkeit in m

- 0
- 1
- 2
- 3 bis 4
- 5 bis 9
- 10 bis 14
- 15 bis 19
- 20 bis 29
- 30 bis 39
- 40 bis 59

Kartendaten: © OpenStreetMap-Mitwirkende, SRTM /
Kartendarstellung: © OpenTopoMap (CC-BY-SA)

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

Projekt:
Klimaökologische Stellungnahme zum
B-Planentwurf Nr. 06.02-17 „Wohnen -
Hinter den Gärten“ in Leonberg-Warmbronn

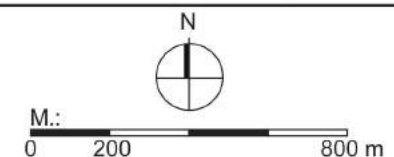
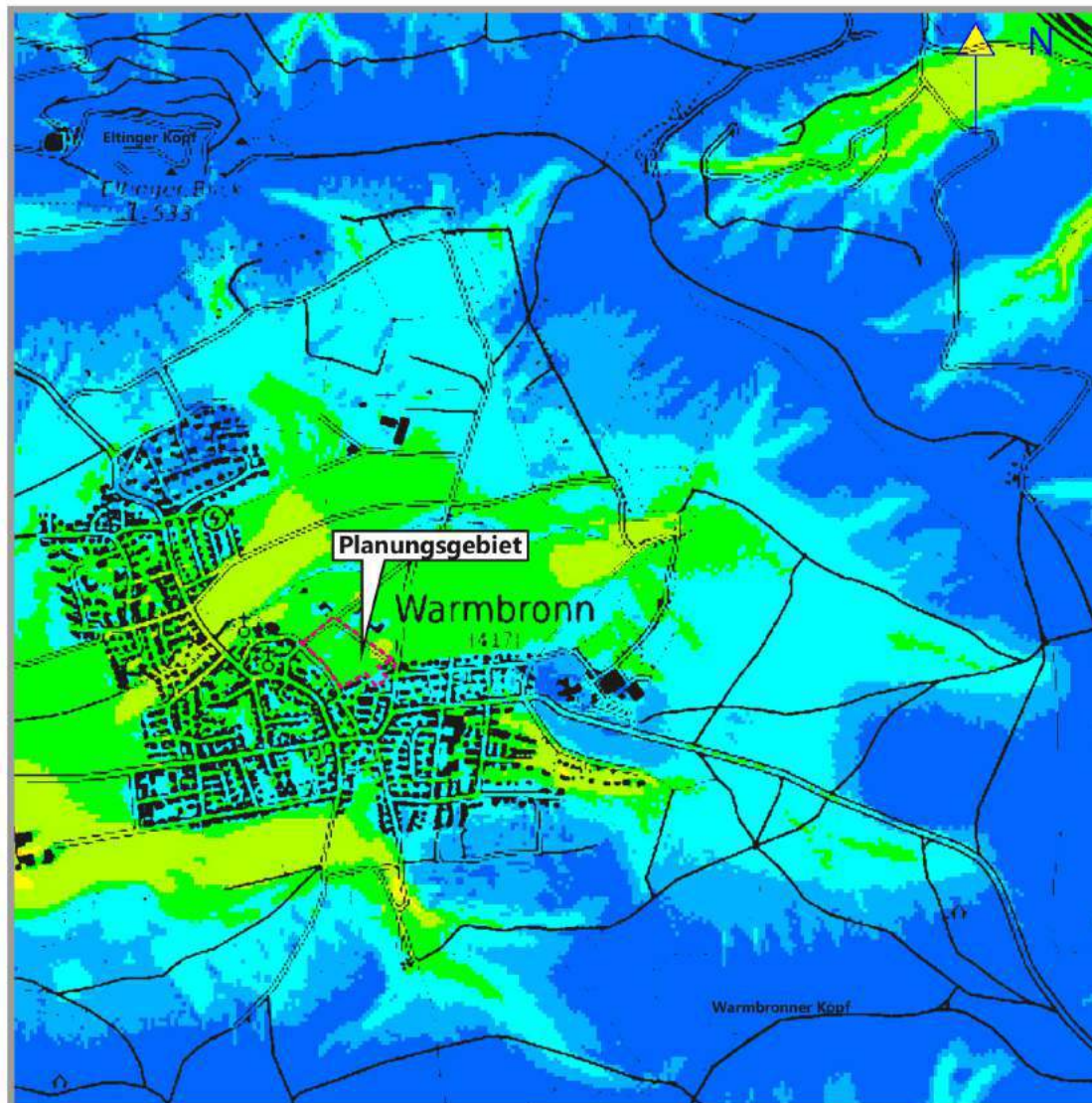


Abb. 7.3 Ergebnisse von Kaltluftströmungssimulationen.
Kaltluftvolumenstromdichte, 2 Stunden nach einsetzender Kaltluftbildung



Kaltluftvolumenstromdichte in $\text{m}^3/\text{m} \cdot \text{s}$

- 0 bis 1
- ueber 1 bis 2
- ueber 2 bis 5
- ueber 5 bis 10
- ueber 10 bis 20
- ueber 20 bis 30
- ueber 30 bis 50

Kartendaten: © OpenStreetMap-Mitwirkende, SRTM /
Kartendarstellung: © OpenTopoMap (CC-BY-SA)

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

Projekt:
Klimaökologische Stellungnahme zum
B-Planentwurf Nr. 06.02-17 „Wohnen -
Hinter den Gärten“ in Leonberg-Warmbronn

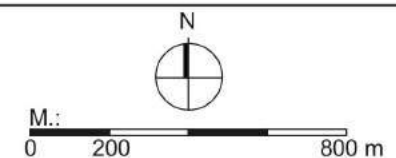


Abb. 8 IR-Thermalkarte - 29.08.2005, 20:24 - 0:55 Uhr MESZ
(Verband Region Stuttgart 2008)

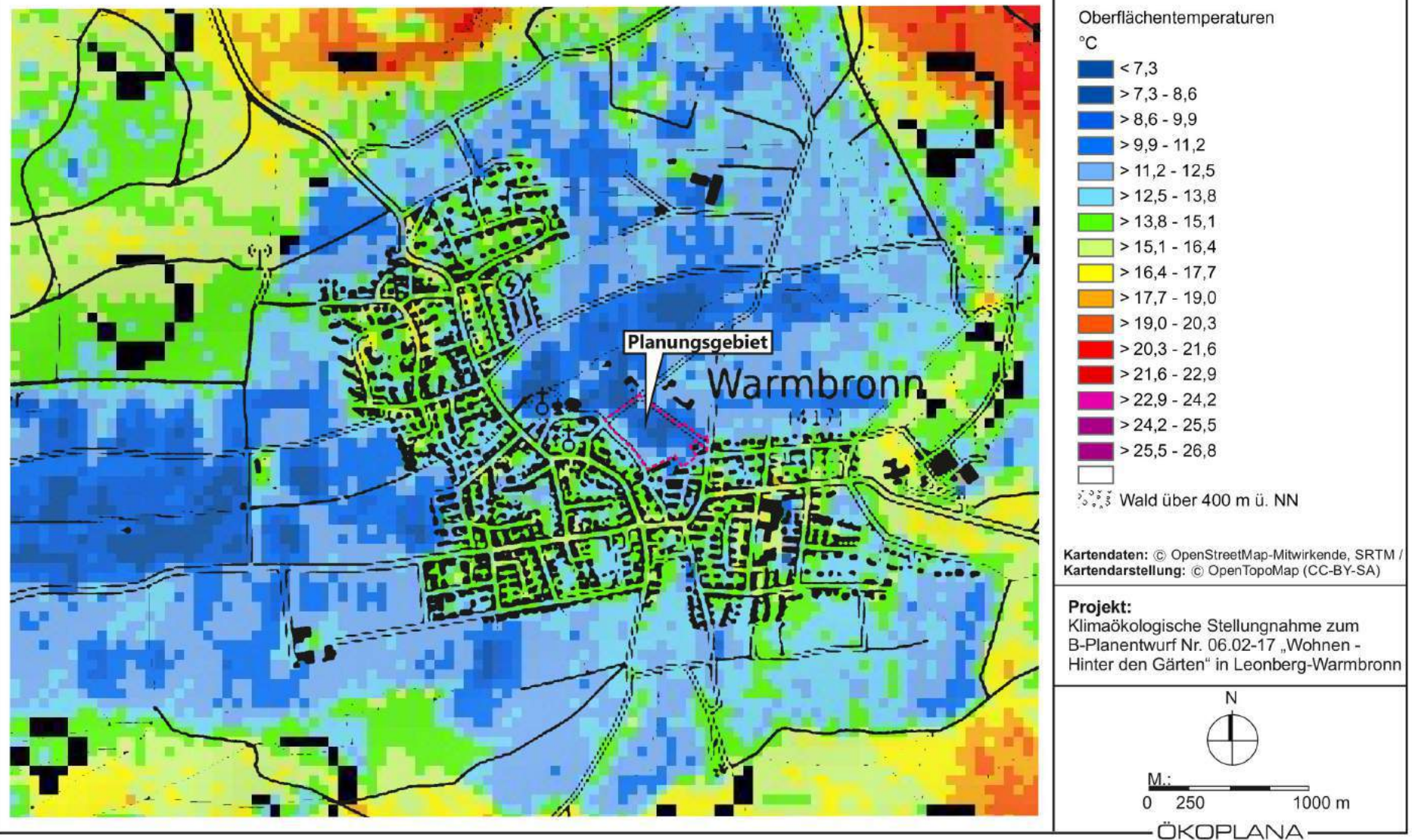
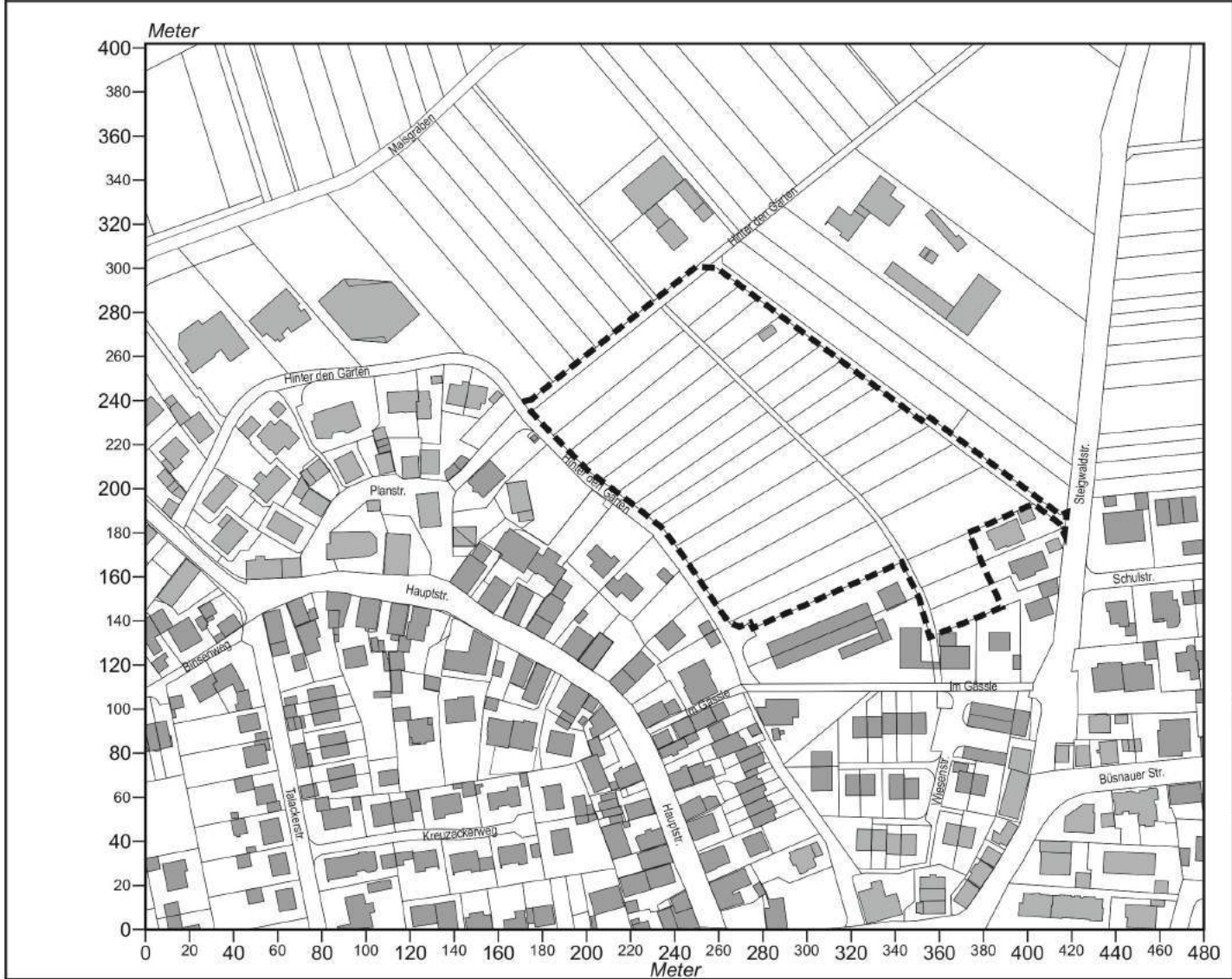


Abb. 9.1 Modellgebiet, Ist-Zustand



Projekt:
Klimaökologische Stellungnahme zum
B-Planentwurf Nr. 06.02-17 „Wohnen -
Hinter den Gärten“ in Leonberg-Warmbronn



ÖKÖRİ ANA

Abb. 9.2 Modellgebiet, Plan-Zustand



Grundkarte bereitgestellt von:
Stadt Leonberg

Projekt:
Klimaökologische Stellungnahme zum
B-Planentwurf Nr. 06.02-17 „Wohnen -
Hinter den Gärten“ in Leonberg-Warmbronn



ÖKOPLANA

Abb. 10.1 Ist-Zustand, Ergebnisse mikroskaliger Strömungssimulationen. Tagsituation. Windrichtung und Windgeschwindigkeit 2 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Ostnordosten (60°) mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.

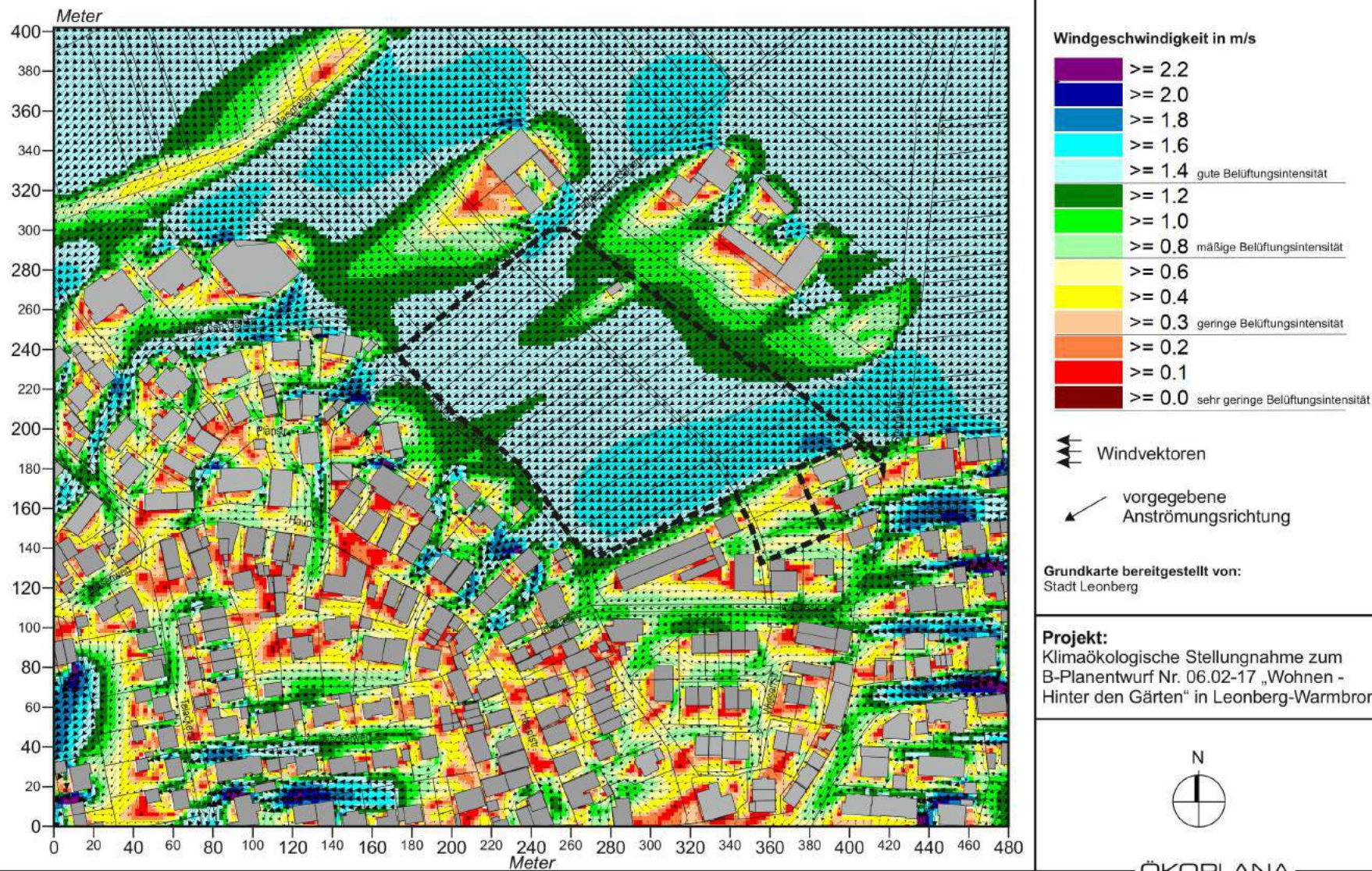


Abb. 10.2 Ist-Zustand, Ergebnisse mikroskaliger Strömungssimulationen. Tagsituation. Windrichtung und Windgeschwindigkeit 5 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Ostnordosten (60°) mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.

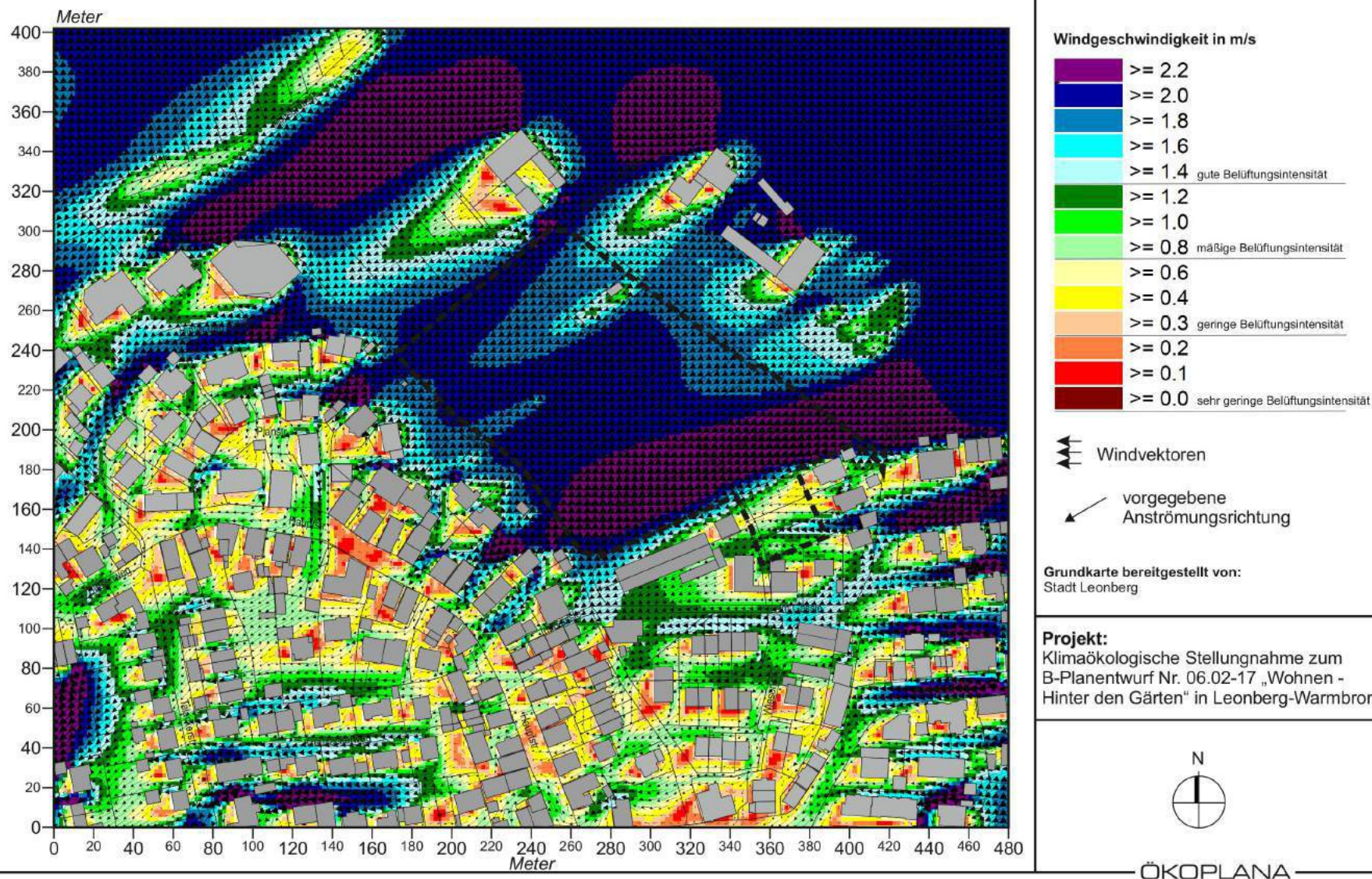


Abb. 11.1 Plan-Zustand, Ergebnisse mikroskaliger Strömungssimulationen. Tagsituation. Windrichtung und Windgeschwindigkeit 2 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Ostnordosten (60°) mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.

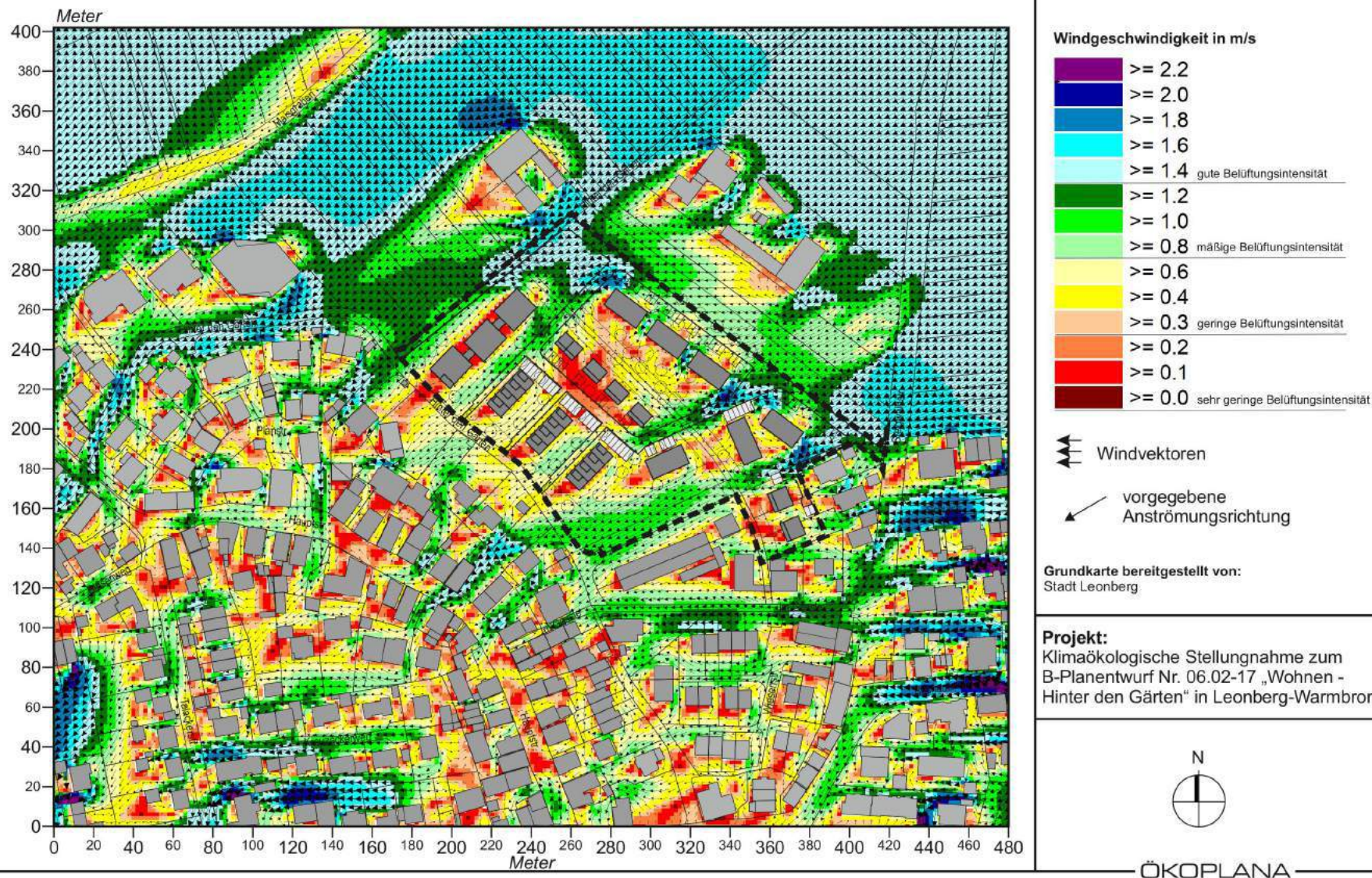


Abb. 11.2 Plan-Zustand, Ergebnisse mikroskaliger Strömungssimulationen. Tagsituation. Windrichtung und Windgeschwindigkeit 5 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Ostnordosten (60°) mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.

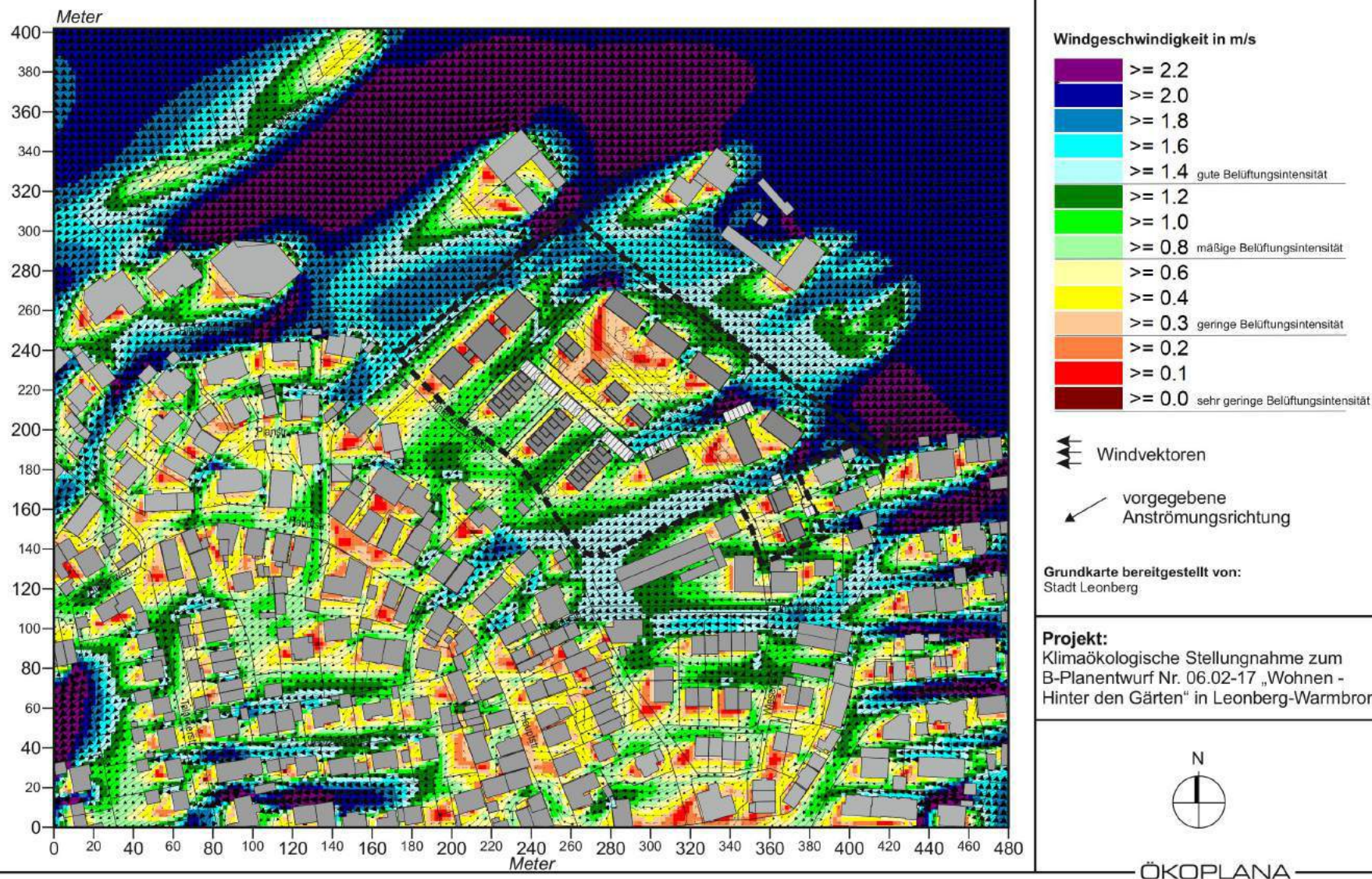
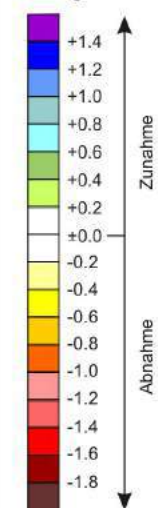


Abb. 12.1 Vorher-Nachher-Vergleich, Ergebnisse mikroskaliger Strömungssimulationen. Tagsituation.
Veränderung der Windgeschwindigkeit durch den Plan-Zustand 2 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Ostnordosten (60°) mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.



Zu- bzw. Abnahme der
Windgeschwindigkeit in m/s



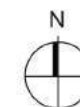
Zunahme

Abnahme

↖ vorgegebene
Anströmungsrichtung

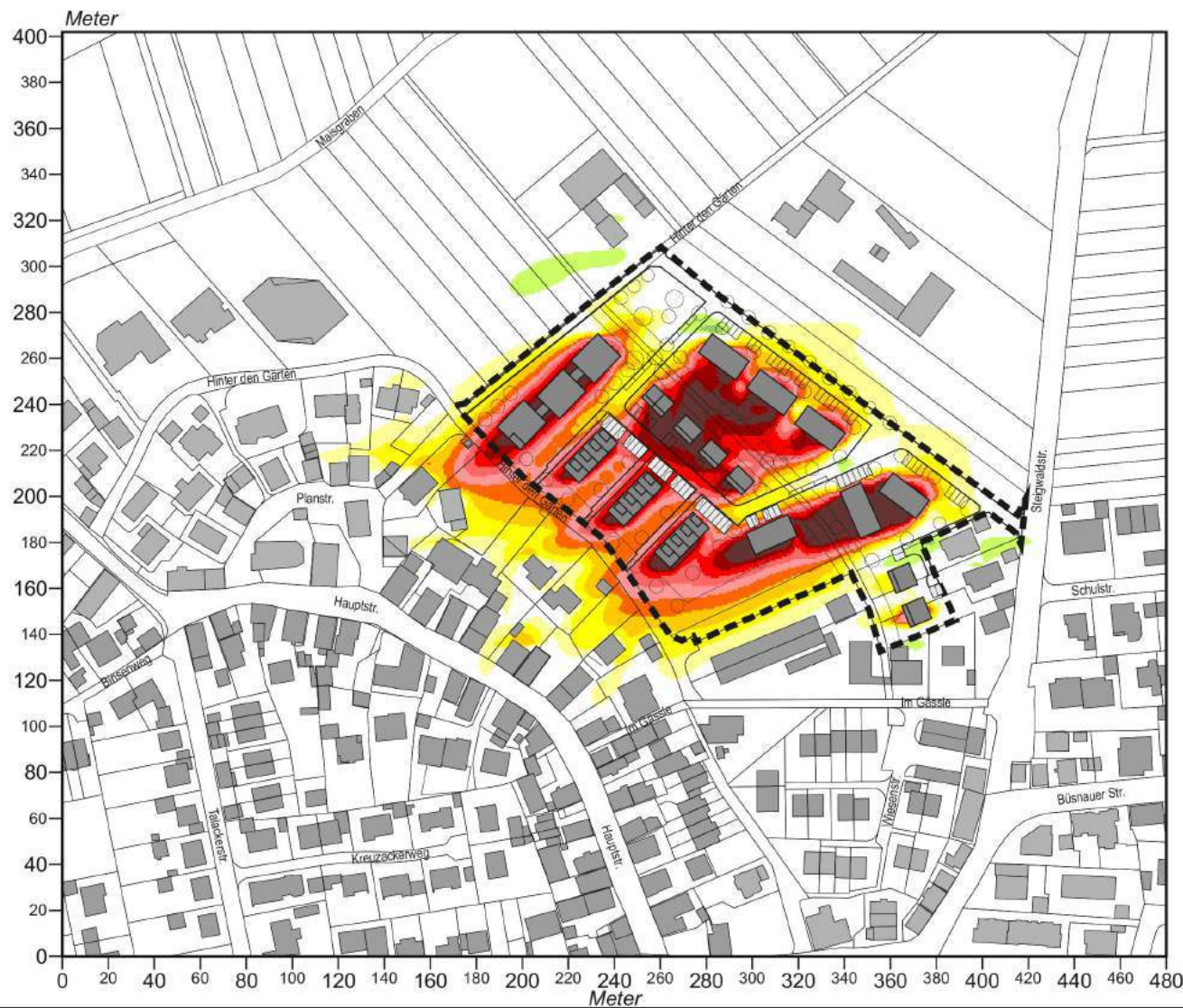
Grundkarte bereitgestellt von:
Stadt Leonberg

Projekt:
Klimaökologische Stellungnahme zum
B-Planentwurf Nr. 06.02-17 „Wohnen -
Hinter den Gärten“ in Leonberg-Warmbronn

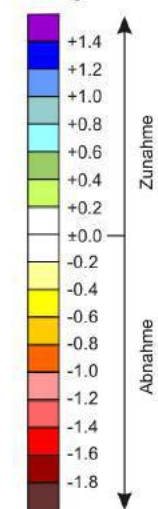


ÖKOPLANA

Abb. 12.2 Vorher-Nachher-Vergleich, Ergebnisse mikroskaliger Strömungssimulationen. Tagsituation.
Veränderung der Windgeschwindigkeit durch den Plan-Zustand 5 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Ostnordosten (60°) mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.



Zu- bzw. Abnahme der
Windgeschwindigkeit in m/s



Zunahme

Abnahme

↖ vorgegebene
Anströmungsrichtung

Grundkarte bereitgestellt von:
Stadt Leonberg

Projekt:
Klimaökologische Stellungnahme zum
B-Planentwurf Nr. 06.02-17 „Wohnen -
Hinter den Gärten“ in Leonberg-Warmbronn



ÖKOPLANA

Abb. 13.1 Ist-Zustand, Ergebnisse mikroskaliger Strömungssimulationen. Nachtsituation. Windrichtung und Windgeschwindigkeit 2 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Ostnordosten (70°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 20 m ü.G.

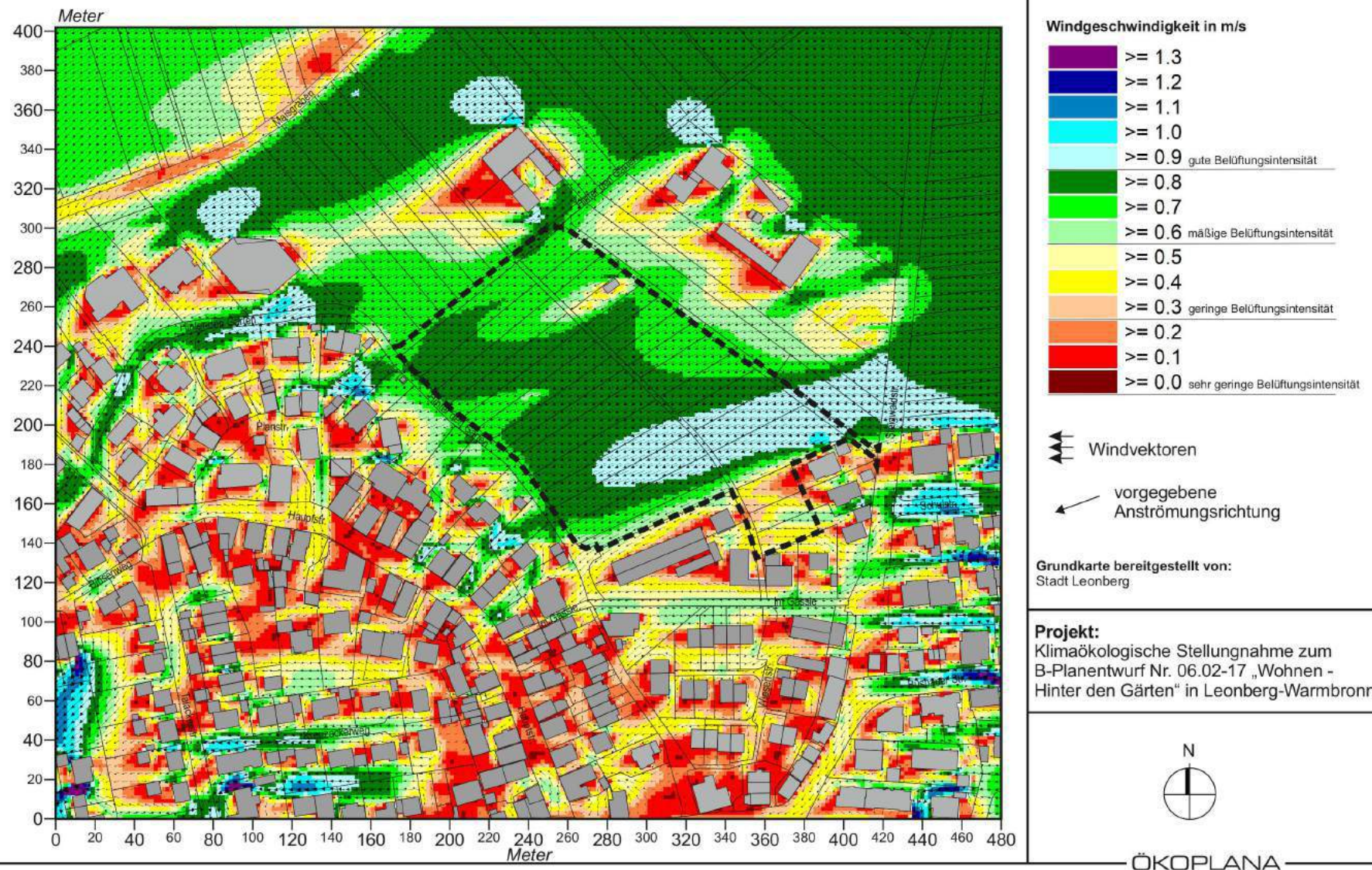


Abb. 13.2 Ist-Zustand, Ergebnisse mikroskaliger Strömungssimulationen. Nachtsituation. Windrichtung und Windgeschwindigkeit 5 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Ostnordosten (70°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 20 m ü.G.

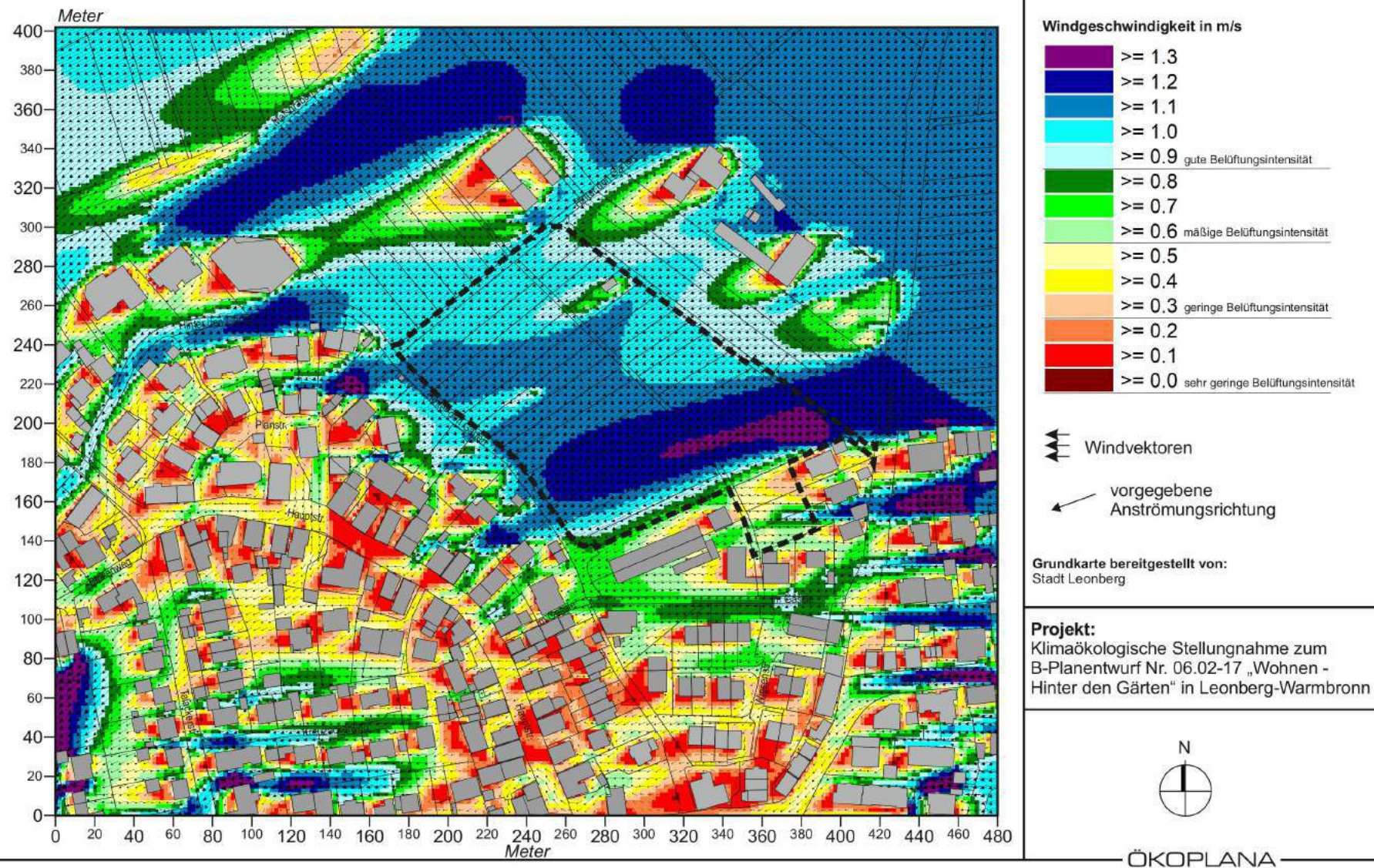


Abb. 14.1 Plan-Zustand, Ergebnisse mikroskaliger Strömungssimulationen. Nachtsituation. Windrichtung und Windgeschwindigkeit 2 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Ostnordosten (70°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 20 m ü.G.

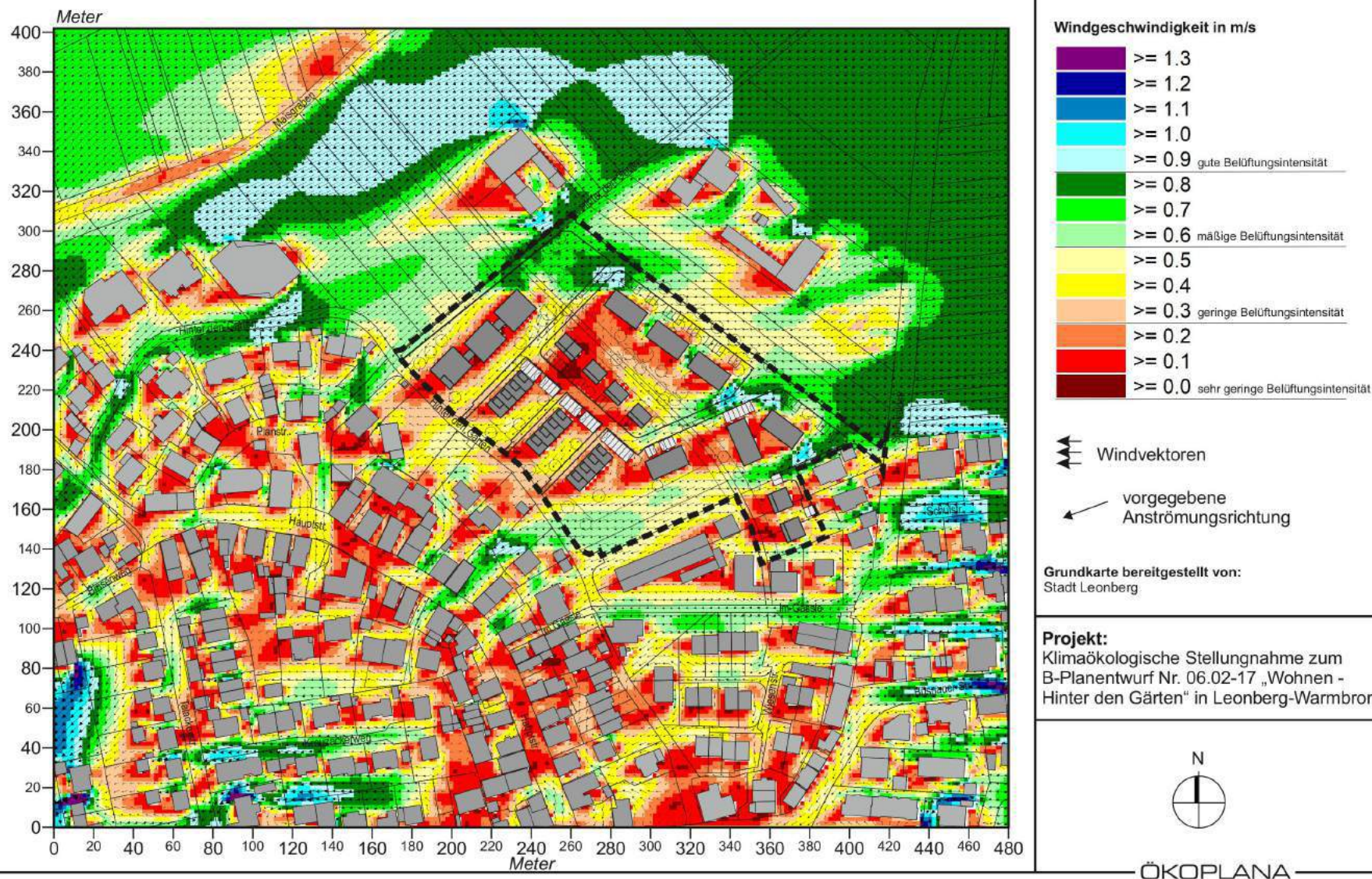


Abb. 14.2 Plan-Zustand, Ergebnisse mikroskaliger Strömungssimulationen. Nachtsituation. Windrichtung und Windgeschwindigkeit 5 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Ostnordosten (70°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 20 m ü.G.

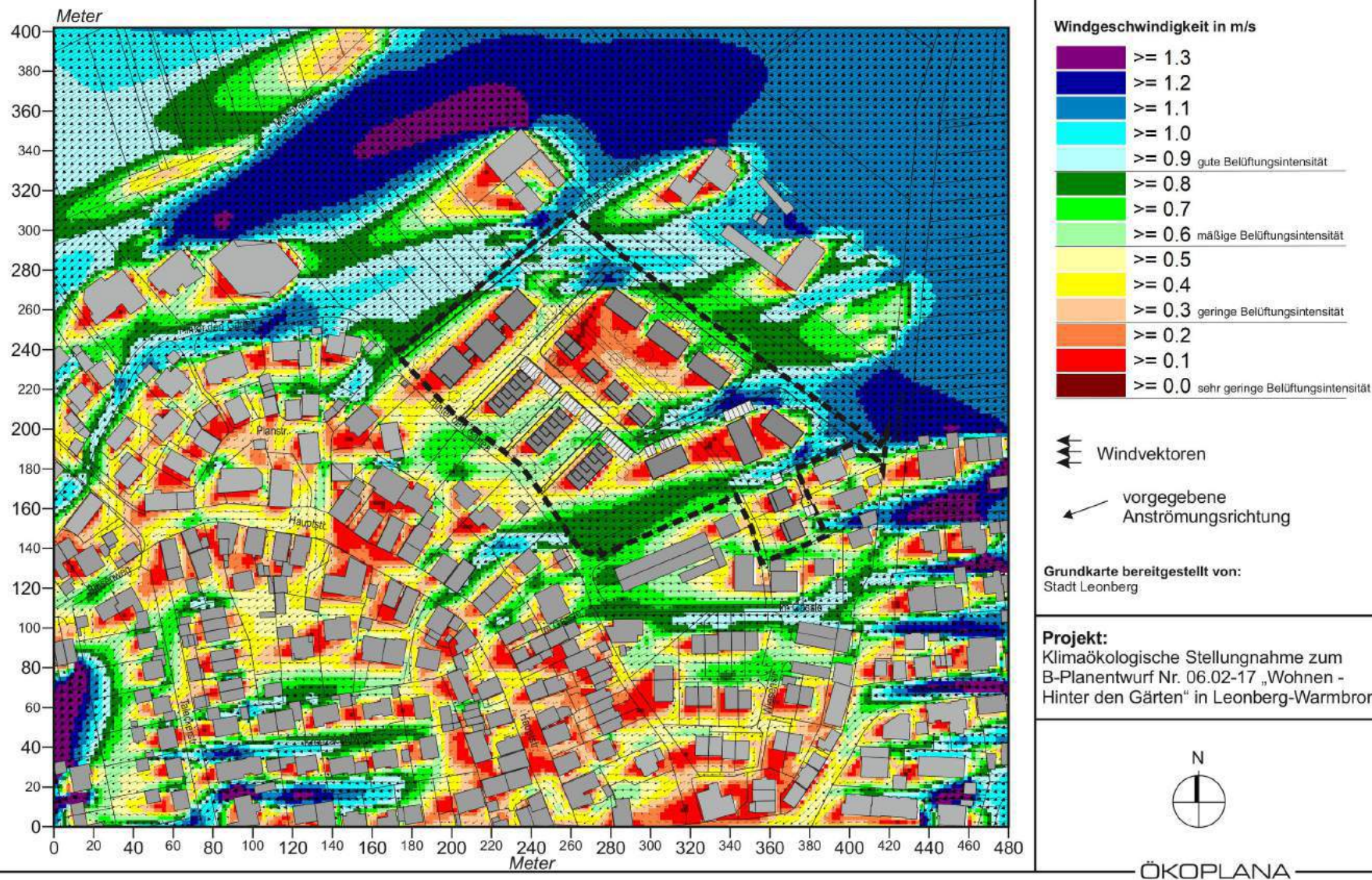
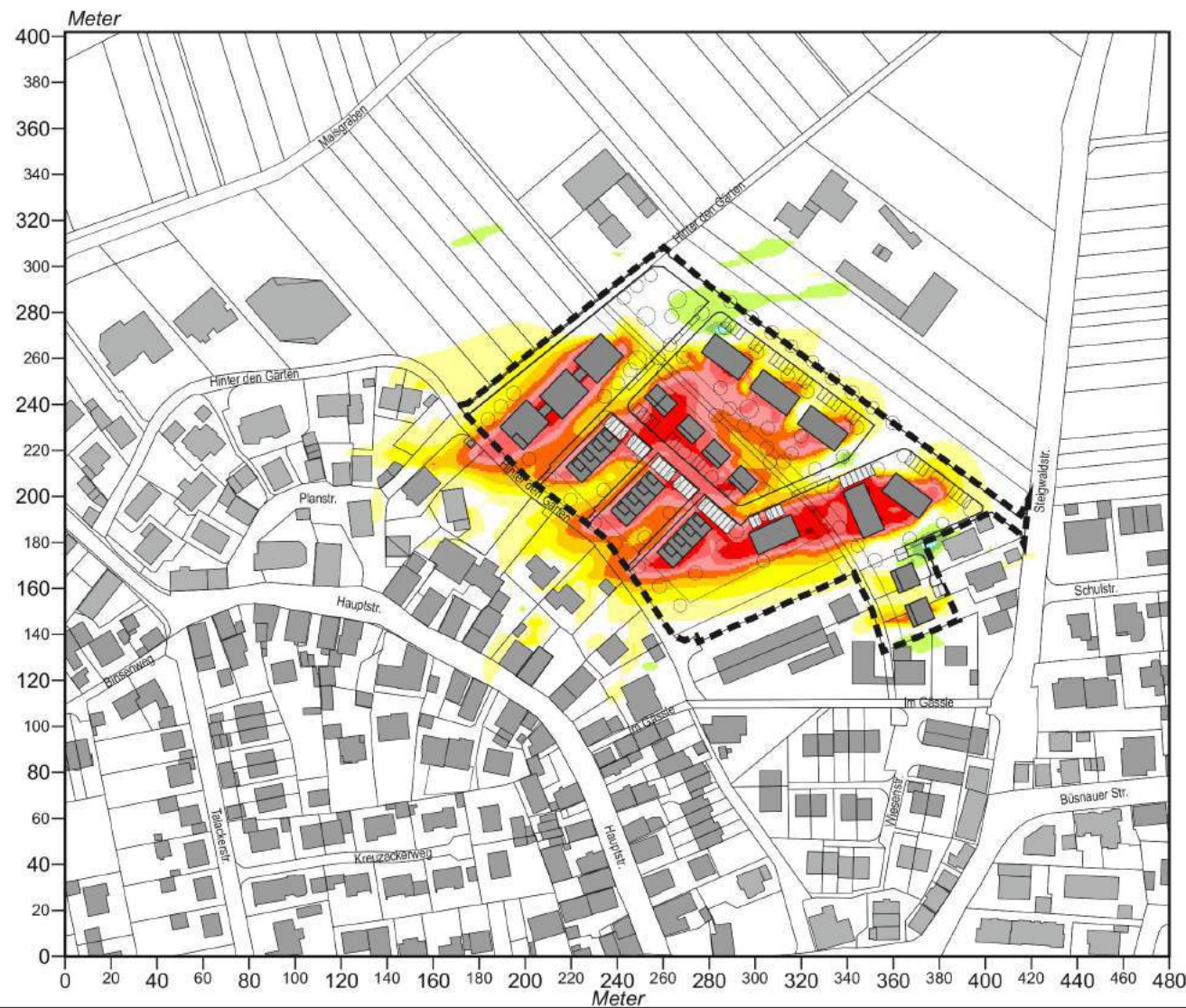
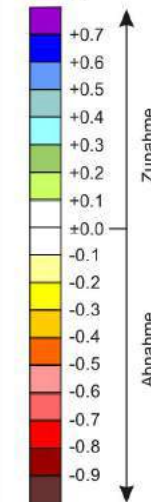


Abb. 15.1 Vorher-Nachher-Vergleich, Ergebnisse mikroskaliger Strömungssimulationen. Nachtsituation.
Veränderung der Windgeschwindigkeit durch den Plan-Zustand 2 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Ostnordosten (70°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 20 m ü.G.



Zu- bzw. Abnahme der Windgeschwindigkeit in m/s



← vorgegebene Anströmungsrichtung

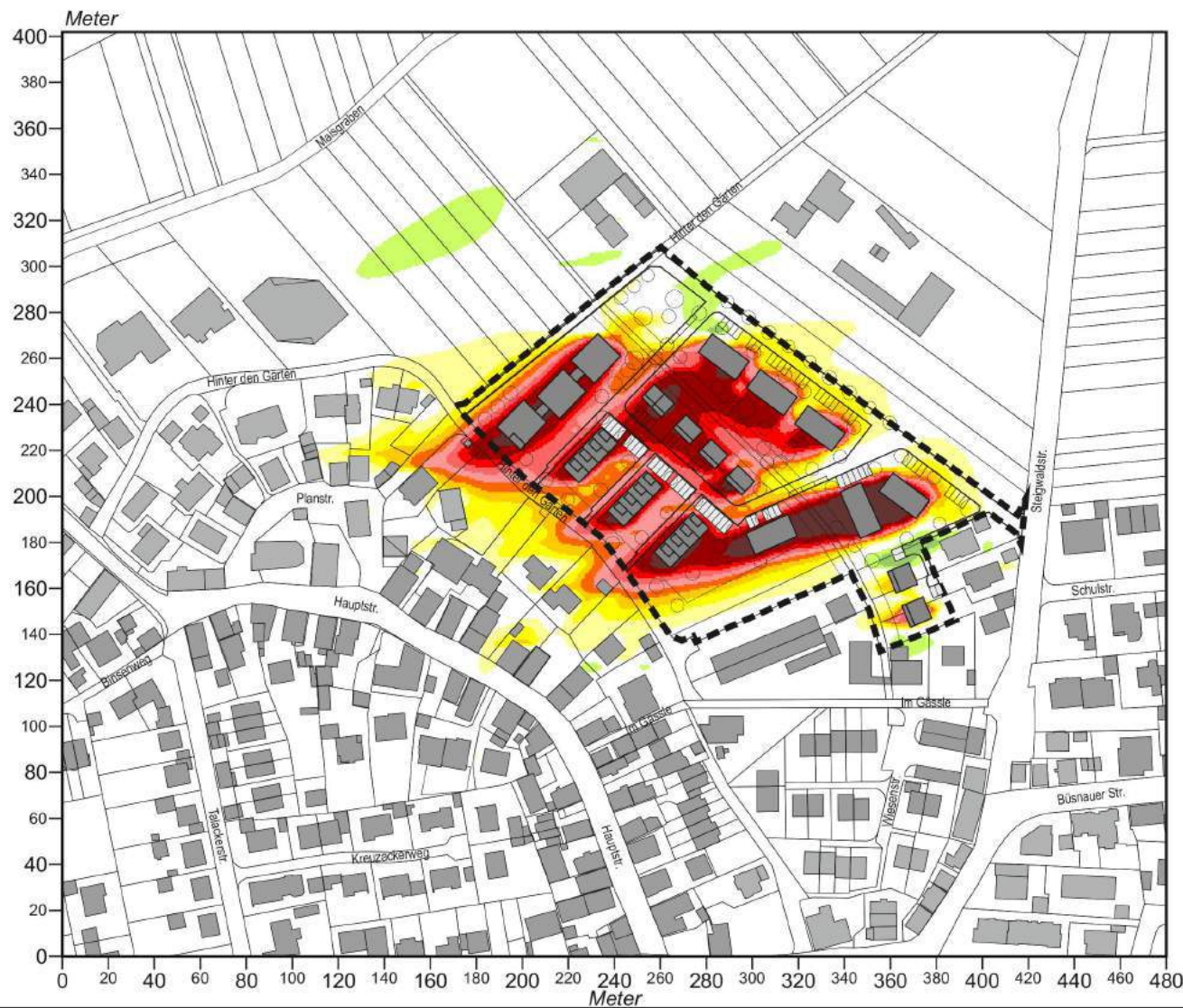
Grundkarte bereitgestellt von:
 Stadt Leonberg

Projekt:
 Klimaökologische Stellungnahme zum
 B-Planentwurf Nr. 06.02-17 „Wohnen -
 Hinter den Gärten“ in Leonberg-Warmbronn

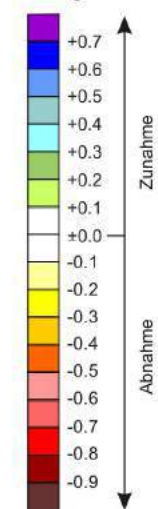


ÖKOPLANA

Abb. 15.2 Vorher-Nachher-Vergleich, Ergebnisse mikroskaliger Strömungssimulationen. Nachtsituation.
Veränderung der Windgeschwindigkeit durch den Plan-Zustand 5 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Ostnordosten (70°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 20 m ü.G.



Zu- bzw. Abnahme der
Windgeschwindigkeit in m/s



← vorgegebene
Anströmungsrichtung

Grundkarte bereitgestellt von:
Stadt Leonberg

Projekt:
Klimaökologische Stellungnahme zum
B-Planentwurf Nr. 06.02-17 „Wohnen -
Hinter den Gärten“ in Leonberg-Warmbronn

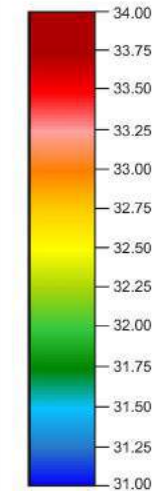


ÖKOPLANA

Abb. 16 Ist-Zustand, Ergebnisse mikroskaliger Lufttemperatursimulationen. Tagsituation (14:00 Uhr).
 Lufttemperaturverteilung an einem heißen Sommertag 2 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Ostnordosten (60°)
 mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.



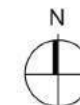
Lufttemperatur in °C



↖ vorgegebene
Anströmungsrichtung

Grundkarte bereitgestellt von:
Stadt Leonberg

Projekt:
Klimaökologische Stellungnahme zum
B-Planentwurf Nr. 06.02-17 „Wohnen -
Hinter den Gärten“ in Leonberg-Warmbronn

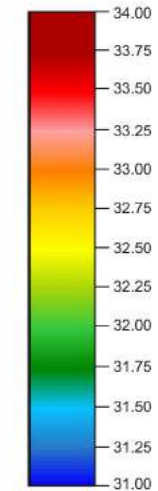


ÖKOPLANA

Abb. 17 Plan-Zustand, Ergebnisse mikroskaliger Lufttemperatursimulationen. Tagsituation (14:00 Uhr).
 Lufttemperaturverteilung an einem heißen Sommertag 2 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Ostnordosten (60°)
 mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.



Lufttemperatur in °C



↙ vorgegebene
Anströmungsrichtung

Grundkarte bereitgestellt von:
Stadt Leonberg

Projekt:
 Klimaökologische Stellungnahme zum
 B-Planentwurf Nr. 06.02-17 „Wohnen -
 Hinter den Gärten“ in Leonberg-Warmbronn



ÖKOPLANA

Abb. 18 Vorher-Nachher-Vergleich, Ergebnisse mikroskaliger Lufttemperatursimulationen. Tagsituation (14:00 Uhr). Veränderung der Lufttemperaturverteilung durch den Plan-Zustand an einem heißen Sommertag 2 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Ostnordosten (60°) mit 2.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.

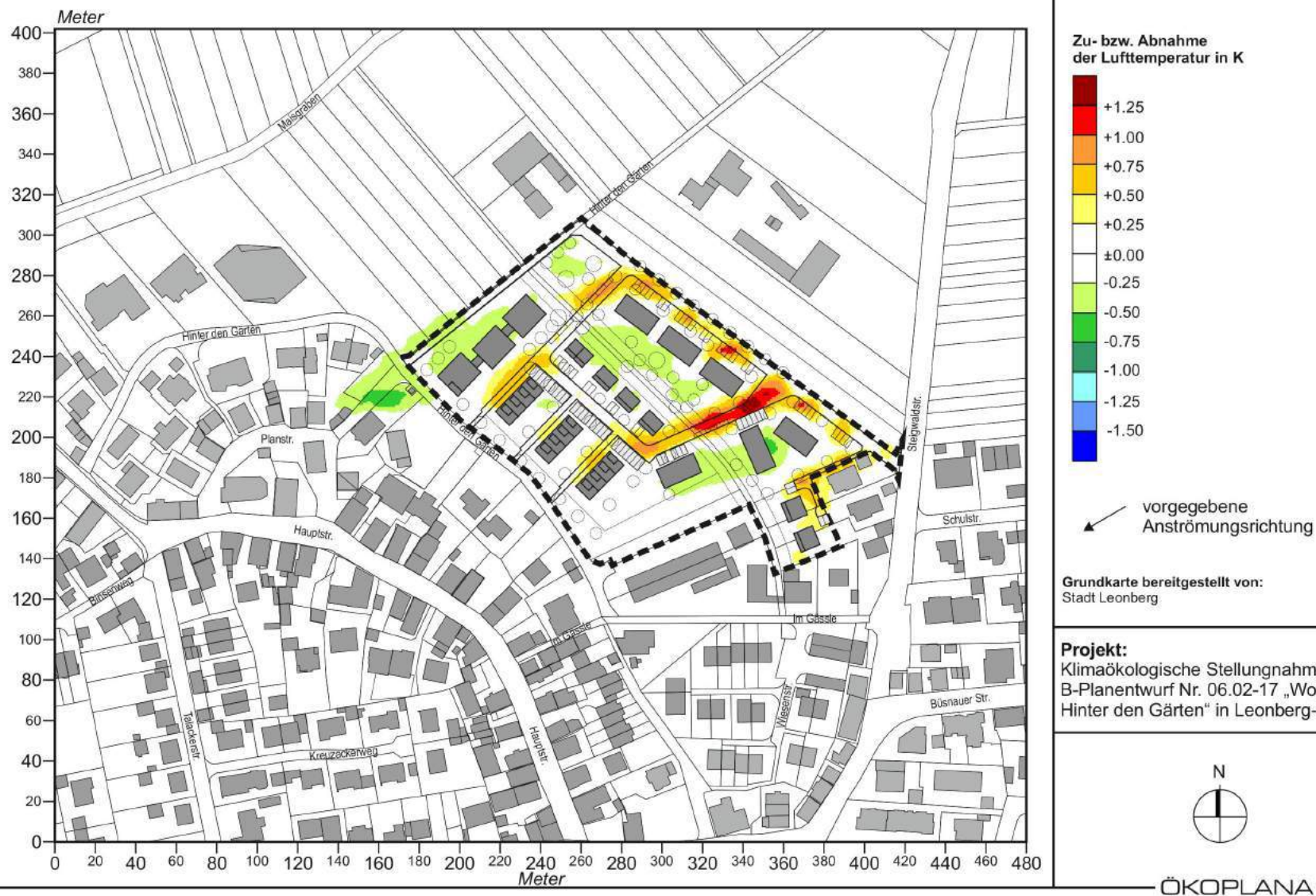
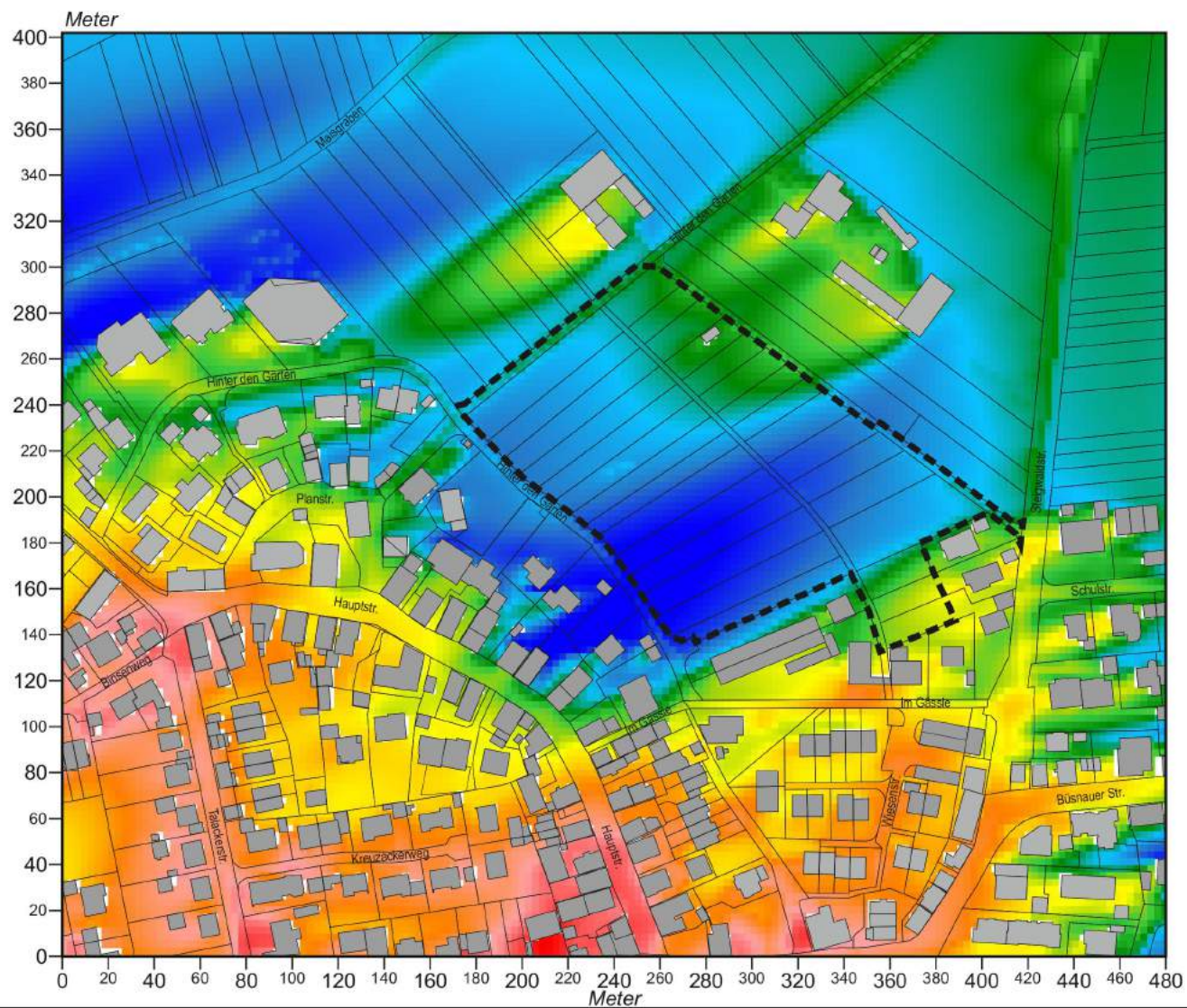
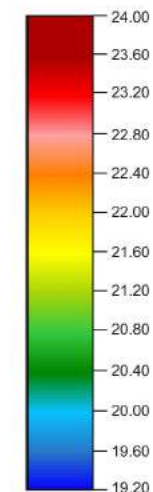


Abb. 19 Ist-Zustand, Ergebnisse mikroskaliger Lufttemperatursimulationen. Nachtsituation (00:00 Uhr).
Lufttemperaturverteilung in einer Tropennacht 2 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Ostnordosten (70°)
mit 1.5 m/s in einer Höhe von 20 m ü.G.



Lufttemperatur in °C



← vorgegebene
Anströmungsrichtung

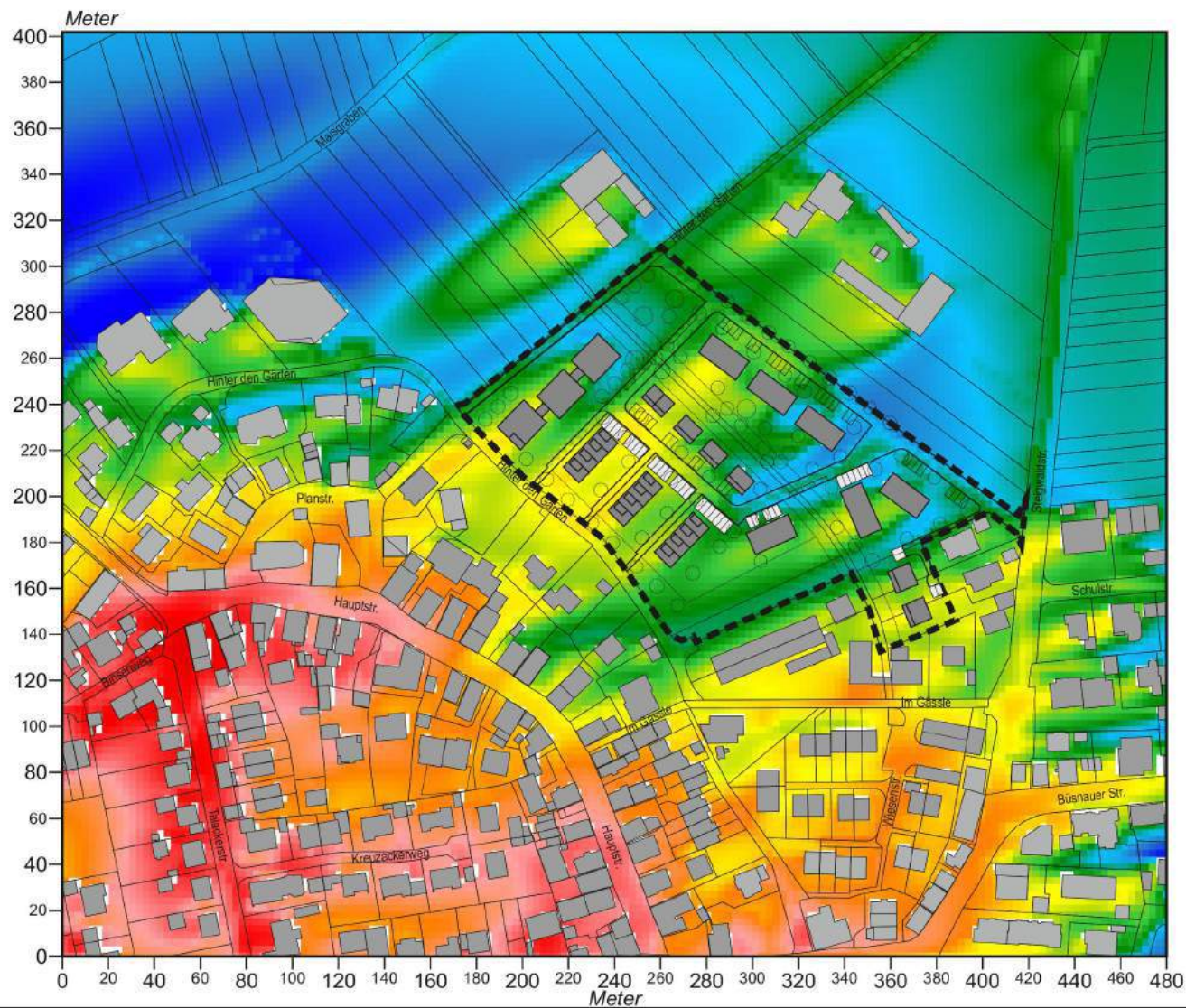
Grundkarte bereitgestellt von:
Stadt Leonberg

Projekt:
Klimaökologische Stellungnahme zum
B-Planentwurf Nr. 06.02-17 „Wohnen -
Hinter den Gärten“ in Leonberg-Warmbronn

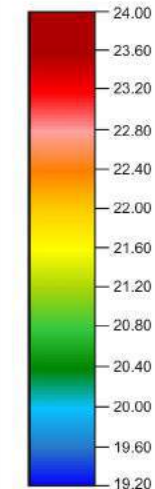


ÖKOPLANA

Abb. 20 Plan-Zustand, Ergebnisse mikroskaliger Lufttemperaturesimulationen. Nachtsituation (00:00 Uhr).
Lufttemperaturverteilung in einer Tropennacht 2 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Ostnordosten (70°)
mit 1.5 m/s in einer Höhe von 20 m ü.G.



Lufttemperatur in °C



← vorgegebene
Anströmungsrichtung

Grundkarte bereitgestellt von:
Stadt Leonberg

Projekt:
Klimaökologische Stellungnahme zum
B-Planentwurf Nr. 06.02-17 „Wohnen -
Hinter den Gärten“ in Leonberg-Warmbronn



ÖKOPLANA

Abb. 21 Vorher-Nachher-Vergleich, Ergebnisse mikroskaliger Lufttemperatursimulationen. Nachtsituation (00:00 Uhr). Veränderung der Lufttemperaturverteilung durch den Plan-Zustand in einer Tropennacht 2 m ü.G. bei einer Windanströmung aus Ostnordosten (70°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 20 m ü.G.

