

ÖKOPLANA

KLIMAÖKOLOGIE
LUFTHYGIENE
UMWELTPLANUNG

KLIMAGUTACHTEN ZUM BEBAUUNGSPLAN „ATRIO“ IN LEONBERG



Auftraggeber:

Stadtverwaltung Leonberg
Stadtplanungsamt,
Abteilung Stadtentwicklung und Umweltplanung
Belforter Platz 1
D-71229 Leonberg

Bearbeitet von:

Dipl.-Geogr. Achim Burst
Dr. Wolfgang Lähne

Mannheim, den 26. März 2018

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

Geschäftsführer:
Dipl.-Geogr. Achim Burst

Deutsche Bank Mannheim
IBAN:
DE73 6707 0024 0046 600 00
BIC: DEUTDE33
Steuernummer: 37137/44979

Inhalt		Seite
1	Aufgabenstellung	1
2	Planungsstandort und Planungsentwurf	3
3	Klimaökologische Grundlagen	4
4	Untersuchungsmethodik	6
5	Klimaökologische Funktionsabläufe	7
5.1	Strömungsgeschehen	7
5.2	Thermische Situation bei klimaökologisch relevanten Wetterlagen	8
6	Klimaökologische Auswirkungen des geplanten Bauvorhabens „ATRIO“ auf das Planungsumfeld	10
6.1	Modifikation der lokalen Kaltluftbewegungen bei Realisierung des Plan-Zustands	10
6.2	Modifikation der örtlichen Belüftung bei Realisierung des Plan-Zustands	14
6.3	Modifikation der örtlichen Lufttemperaturverhältnisse bei Realisierung des Plan-Zustands	16
7	Kurzzusammenfassung der Untersuchungsergebnisse, Bewertung und Planungsempfehlungen	18
	Quellenverzeichnis / weiterführende Schriften	24

Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1:** Lage des Planungsstandortes „ATRIO“ im Stadtgebiet von Leonberg
- Abb. 2:** Luftbild vom Planungsstandort „ATRIO“ und von dessen Umfeld
- Abb. 3:** Planungsgebiet und dessen Umfeld - fotografische Dokumentation
- Abb. 4:** Planungsstandort „ATRIO“ - Reliefsituation
- Abb. 5:** Flurkarte vom Planungsgebiet „ATRIO“
- Abb. 6:** Planungskonzept zur Umnutzung des Gärtneriegeländes, Lageplan
- Abb. 7:** Planungskonzept zur Umnutzung des Gärtneriegeländes, Schnitt A - A
- Abb. 8:** Planungskonzept zur Umnutzung des Gärtneriegeländes, fotorealistische Darstellung, Blickrichtung von Norden nach Süden
- Abb. 9:** Berechnete Windstatistik für den Planungsstandort „ATRIO“
- Abb. 10:** Häufigkeitsverteilung der Windrichtung und Windgeschwindigkeit / 04. – 09.1993, Tagsituation, Strahlungstage - Sommerhalbjahr
- Abb. 11:** Häufigkeitsverteilung der Windrichtung und Windgeschwindigkeit / 04. – 09.1993, Nachtsituation, Strahlungstage - Sommerhalbjahr
- Abb. 12:** Berechnete Kaltluftmächtigkeit in einer windstillen Strahlungsnacht, 1 Std. nach Beginn der Kaltluftbildung
- Abb. 13:** Thermalbildaufnahme 29./30.08. 2005, 20:24 – 00:56 Uhr
- Abb. 14:** Modellgebiet mit Reliefsituation – numerische Kaltluftsimulationen
- Abb. 15.1:** Ist-Zustand – Ergebnisse numerischer Kaltluftabflusssimulationen – Kaltluftfließgeschwindigkeit (2 m ü.G.), 2 Std. nach einsetzender Kaltluftbildung
- Abb. 15.2:** Ist-Zustand – Ergebnisse numerischer Kaltluftabflusssimulationen – Kaltfluthöhe, 2 Std. nach einsetzender Kaltluftbildung

- Abb. 15.3:** Ist-Zustand – Ergebnisse numerischer Kaltluftabflusssimulationen – Kaltluftvolumenstromdichte, 2 Std. nach einsetzender Kaltluftbildung
- Abb. 16.1:** Ist-Zustand – Ergebnisse numerischer Kaltluftabflusssimulationen – Kaltluftfließgeschwindigkeit (2 m ü.G.), 5 Std. nach einsetzender Kaltluftbildung
- Abb. 16.2:** Ist-Zustand – Ergebnisse numerischer Kaltluftabflusssimulationen – Kaltluflhöhe, 5 Std. nach einsetzender Kaltluftbildung
- Abb. 16.3:** Ist-Zustand – Ergebnisse numerischer Kaltluftabflusssimulationen – Kaltluftvolumenstromdichte, 5 Std. nach einsetzender Kaltluftbildung
- Abb. 17.1:** Plan-Zustand – Ergebnisse numerischer Kaltluftabflusssimulationen – Kaltluftfließgeschwindigkeit (2 m ü.G.), 2 Std. nach einsetzender Kaltluftbildung
- Abb. 17.2:** Vorher-Nachher-Vergleich – Ergebnisse numerischer Kaltluftabflusssimulationen – Veränderung der Kaltluftfließgeschwindigkeit (2 m ü.G.) durch den Plan-Zustand 2, Std. nach einsetzender Kaltluftbildung
- Abb. 17.3:** Vorher-Nachher-Vergleich – Ergebnisse numerischer Kaltluftabflusssimulationen – Veränderung der Kaltluftvolumenstromdichte durch den Plan-Zustand, 2 Std. nach einsetzender Kaltluftbildung
- Abb. 18.1:** Plan-Zustand – Ergebnisse numerischer Kaltluftabflusssimulationen – Kaltluftfließgeschwindigkeit (2 m ü.G.), 5 Std. nach einsetzender Kaltluftbildung
- Abb. 18.2:** Vorher-Nachher-Vergleich – Ergebnisse numerischer Kaltluftabflusssimulationen – Veränderung der Kaltluftfließgeschwindigkeit (2 m ü.G.) durch den Plan-Zustand 2, Std. nach einsetzender Kaltluftbildung
- Abb. 18.3:** Vorher-Nachher-Vergleich – Ergebnisse numerischer Kaltluftabflusssimulationen – Veränderung der Kaltluftvolumenstromdichte durch den Plan-Zustand, 5 Std. nach einsetzender Kaltluftbildung

- Abb. 19.1:** Ist-Zustand – Ergebnisse numerischer Strömungssimulationen 2 m ü.G., Windanströmung aus Osten (90°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
- Abb. 19.2:** Ist-Zustand – Ergebnisse numerischer Strömungssimulationen 5 m ü.G., Windanströmung aus Osten (90°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
- Abb. 20.1:** Plan-Zustand – Ergebnisse numerischer Strömungssimulationen 2 m ü.G., Windanströmung aus Osten (90°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
- Abb. 20.2:** Plan-Zustand – Ergebnisse numerischer Strömungssimulationen 5 m ü.G., Windanströmung aus Osten (90°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
- Abb. 21.1:** Vorher-Nachher-Vergleich – Ergebnisse numerischer Strömungssimulationen 2 m ü.G., Zu- bzw. Abnahme der Windgeschwindigkeit durch den Plan-Zustand. Windanströmung aus Osten (90°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
- Abb. 21.2:** Vorher-Nachher-Vergleich – Ergebnisse numerischer Strömungssimulationen 5 m ü.G., Zu- bzw. Abnahme der Windgeschwindigkeit durch den Plan-Zustand. Windanströmung aus Osten (90°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
- Abb. 22:** Ist-Zustand – Ergebnisse numerischer Lufttemperatursimulationen 2 m ü.G., Windanströmung aus Osten (90°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
- Abb. 23:** Plan-Zustand – Ergebnisse numerischer Lufttemperatursimulationen 2 m ü.G., Windanströmung aus Osten (90°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.
- Abb. 24:** Vorher-Nachher-Vergleich – Ergebnisse numerischer Lufttemperatursimulationen 2 m ü.G., Zu- bzw. Abnahme der Lufttemperatur durch den Plan-Zustand. Windanströmung aus Osten (90°) mit 1. m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.

1 Aufgabenstellung

Die Behindertenwerkstatt ATRIO Leonberg plant an der Ecke Neue Ramtelstraße / Böblinger Straße eine bauliche Erweiterung (Lage siehe **Abbildung 1**). Angedacht ist der Neubau von zwei 2-geschossigen Werkhallen und von zwei 2- bzw. 3-geschossigen Wohnhäusern.

Aktuell besteht am Planungsstandort ein Verkaufsgebäude mit angrenzenden Gewächshäusern. Die benachbarten Freiflächen sind von Wiesenflächen mit Gehölzen geprägt.

Das Planungsgebiet südlich der Neue Ramtelstraße befindet sich am Oberhang des Mühlgrabens, der in südsüdwestlicher Richtung ins Glemstal mündet. Wie vorliegende Klimauntersuchungen (*ÖKOPLANA 1993: Klimaökologische Analyse im Stadtgebiet Leonberg unter besonderer Berücksichtigung des Strömungsgeschehens*; *VERBAND REGION STUTTGART 2008: Klimaatlas Region Stuttgart*) dokumentieren, ist der Planungsstandort Teil des Kaltluftentstehungs- und Kaltluftabflussgebiets „Mühlgraben“, über das sich in Strahlungsnächten ein prägnanter Kaltluftstrom in das Glemstal entwickelt. Die abfließende Kalt- und Frischluft wird dort in den Glemstalabwind miteinbezogen und trägt damit indirekt zur günstigen Gestaltung der bioklimatischen und lufthygienischen Umgebungsbedingungen in Leonberg bei.

Es sind daher im Rahmen des anstehenden Planungsprozesses die Auswirkungen der geplanten Flächennutzungsänderung auf die lokalen klimatischen Verhältnisse (Kaltluftgeschehen, thermische Situation) zu analysieren und zu bewerten sowie Planungsempfehlungen zur Optimierung der lokalklimatischen Umgebungsbedingungen zu erarbeiten. Bewertungsgrundlage bildet u.a. die VDI-Richtlinie 3787, Blatt 5 (2003) „Lokale Kaltluft“. Demnach ist bei Kaltluftströmungen eine Verringerung der Abflussvolumina oder der Abflussgeschwindigkeit im Kaltluftzielgebiet von mehr als 10% gegenüber dem Planungsnullfall als „gravierender Eingriff“ mit nachteiligen Folgen im Kaltluftzielgebiet zu bewerten. Prozentuale Änderungen gegenüber dem Ist-Zustand zwischen 5 und 10% sind als „mäßige Auswirkung“ einzustufen. Bei Werten unter 5% sind im Allgemeinen nur „geringe klimatische Auswirkungen“ im Kaltluftzielgebiet zu erwarten.

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 mit Hilfe numerischer Modellrechnungen.
- Darstellung von Optimierungsmöglichkeiten zur Sicherung bzw. Entwicklung möglichst günstiger strömungsdynamischer, thermischer 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 Planungsstandort im Leonberger Stadtteil Ramtel befindet sich südöstlich des Kreuzungsbereichs Neue Ramtelstraße / Böblinger Straße (**Abbildung 2**). Wie **Abbildung 3** dokumentiert, bestehen derzeit am Planungsstandort ein Verkaufsgebäude mit angrenzenden Gewächshäusern und Stellplatzflächen. Die benachbarten Freiflächen sind von Wiesenflächen mit Gehölzen geprägt.

In südwestlicher Nachbarschaft grenzen Flächen des Gewerbegebiets Ramtel II an, die von großflächigen Gewerbebauten geprägt sind.

Vom Planungsstandort (ca. 403 – 410 m ü. NN) fällt das Gelände in Richtung Glemstal (ca. 370 m ü. NN) nach Südwesten ab.

Im Westen steigt das Gelände mit der Wohnbebauung Ramtel bis zum Bockberg auf ca. 459 m ü. NN an. Im Osten schließen die bewaldeten Hänge des Winterrain (Geländehöhe bis ca. 504 m ü. NN - Studentenbäumle) an (siehe **Abbildung 4**).

Das vom Architekturbüro ARC-CHITEKTEN RUTSCHMANN GOLDBACH entwickelte Planungskonzept für die bauliche Entwicklung des Gärtnergeländes (**Abbildung 5**) sieht den Neubau von zwei 2-geschossigen Werkstattgebäuden vor, die über einen Verbindungsbau miteinander verknüpft sind (**Abbildungen 6 – 8**).

Das nördliche Werkstattgebäude weist eine Länge von ca. 75 m auf. Die Breite beträgt ca. 14 m. Die Gebäudehöhe beträgt ca. 9 m (OK 413.0 m ü. NN). Mit einem Abstand von ca. 12 – 17 m folgt in südliche Richtung ein ebenfalls 2-geschossiges Gebäude (OK 413.0 m ü. NN) für die Integrationsfirma LEDA. Die Gebäudelänge zeigt einen Wert von ca. 50 m. Die Breite ist mit ca. 14 m angegeben. Zwischen Werkstattgebäude und dem Bau für die Integrationsfirma ist ein Verbindungsbauwerk angedacht.

Am Südrand sind zwei Wohngebäude (2- und 3-geschossig, OK jeweils 413.4 m ü. NN) geplant.

Die Verkehrserschließung erfolgt über die Böblinger Straße.

Ein Großteil der erforderlichen Stellplätze sollen am Nordrand (23 Stellplätze entlang der Neue Ramtelstraße) entstehen. Weitere 12 Stellplätze sind am Westrand des Planungsgebiets vorgesehen.

Die Freianlagen östlich der geplanten Baukörper sind parkartig angelegt (Therapie Feld).

3 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 „ATRIO“) 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.

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

Landnutzung	Kaltluftproduktionsrate $m^3/(m^2s)$	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)

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 $10.000 m^3/s$ 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. $1.000 m^3/s$ bewirken bzgl. der Belüftung und Abkühlungswirkung klimaökologisch bedeutsame Positivwirkungen.

Als grobe Faustregel gilt, dass die Eindringtiefe von Kaltluft je $1.000 m^3/s$ ca. $100 m$ beträgt. Bei markanter 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 der bioklimatischen Umgebungsbedingungen erkannt, gesichert und gestärkt werden.

4 Untersuchungsmethodik

Zur Beurteilung der kleinklimatischen Folgeerscheinungen der Planung erfolgt zunächst eine Bestandsaufnahme der ortsspezifischen klimaökologischen Funktionsabläufe.

Hierbei wird u.a. auf Daten und Erkenntnisse aus früheren Klimauntersuchungen (ÖKOPLANA 1993, VERBAND REGION STUTTGART 2008, LUBW) zurückgegriffen. Zudem erfolgen Berechnungen zum lokalen Kaltluftgeschehen mit dem Modell KLAM_21, Vers. 2.010 (Modellentwickler: Deutscher Wetterdienst), dem kleinräumigen Windfeld mit dem Modell MISKAM (Modellentwickler: Dr. J. Eichhorn Univ. Mainz) und zu den thermischen Umgebungsbedingungen mit dem Modellsystem ENVI-Met (Modellentwickler: Prof. Dr. M. Bruse Univ. Mainz).

Die drei angeführten Modelle entsprechen dem Stand der Technik und sind langjährig geprüft und von der VDI anerkannt.

Abschließend erfolgt auf Grundlage der klimaökologischen Analysen eine klimaökologische Bewertung.

5 Klimaökologische Funktionsabläufe

5.1 Strömungsgeschehen

Kenntnisse über das ortsspezifische Strömungsgeschehen sind zur Beurteilung der bioklimatischen und lufthygienischen Situation notwendig, da neben den thermischen Verhältnissen vor allem die bodennahe Ventilation die Auftretenshäufigkeit u.a. von Schwüle und erhöhten Immissionsbelastungen mitbestimmt.

Wie die Ergebnisse vorliegender Klimamessungen in Leonberg zeigen, wird das Strömungsgeschehen im Planungsgebiet und in dessen Umfeld durch

- die sich über den Mühlgraben und die angrenzenden vegetationsbedeckten Hangzonen entwickelnden Lokalströmungen,
- die Leitlinienwirkung des Reliefs,
- und die örtliche Flächennutzung

geprägt.

Im Planungsgebiet stellen sich im Allgemeinen großwetterlagenbedingt vermehrt südwestliche und nordöstliche Windrichtungen (=Hauptwindrichtungen) ein. Laut Berechnungen der LUBW (**Abbildung 9**) sind ca. 34% der Jahresstunden mit südwestlichen Windrichtungen verknüpft. Nordostwinde treten zu ca. 17% der Jahresstunden auf. Die mittlere Windgeschwindigkeit beträgt 2.7 m/s.

Eine vergleichbare Häufigkeitsverteilung zeigen auch die Messungen von 1993 (**Abbildung 10**). Am Stationsstandort Böblinger Straße (Planungsgebiet) bestimmen am Tag ebenfalls südwestliche und nordöstliche Winde den bodennahe Luftaustausch.

In den Nachtstunden (**Abbildung 11**) zeigt sich an der Klimamessstation Böblinger Straße, insbesondere in stadtklimatisch bedeutsamen Strahlungs Nächten, der zunehmende Einfluss talabwärts gerichteter Kaltluftströmungen (Nordost bis Ostwinde). Die Kaltluftbewegungen zeigen mittlere Fließgeschwindigkeiten von ca. 0.4 – 0.8 m/s.

Im südlichen Teilbereich des Mühlgrabens (Messstation Rotenrain) bestimmt in Strahlungs Nächten bereits der Talabwind im Glemstal die ortsspezifische Belüftungssituation. Die über den Mühlgraben nach Südsüdwesten abfließende Kaltluft wird somit über den Glemstalabwind indirekt in Richtung Leonberg/Eltingen verfrachtet, trägt aber auch wesentlich zur Begrenzung des Wärmeinseleffektes über den Gewerbeflächen südöstlich der Neue Ramtelstraße bei.

Die Entwicklung eines lokalen Kaltluftabflusses entlang des Mühlgrabens zeigen auch Kaltluftabflusssimulationen des VERBANDES REGION STUTT GART (2008). Im Bereich des Planungsgebiets „ATRIO“ wird 1 Std. nach Beginn der Kaltluftbildung eine Kaltluftmächtigkeit von ca. 10 m berechnet. Zum Vergleich: Im Glemstal beträgt die Kaltluftmächtigkeit zu diesem Zeitpunkt ca. 40 – 60 m. Hierbei wird eine windstille Situation vorausgesetzt.

Dem Planungsgebiet kommt somit als Teil des Kaltluftentstehungs- und Kaltluftabflussgebietes klimaökologische Bedeutung zu.

Zur Gewinnung weiterer vertiefender Informationen zum nächtlichen Kaltluftgeschehen (Kaltfluthöhe, Kaltluftfließgeschwindigkeit und Kaltluftvolumen) werden in Kap. 6 auf Basis eines verfeinerten digitalen Reliefmodells (DGM_5) mit dem Kaltluftabflussmodell KLAM_21, Vers. 2.010 des *Deutschen Wetterdienstes* zusätzliche Berechnungen durchgeführt.

5.2 Thermische Situation bei klimaökologisch relevanten Wetterlagen

Zur Beurteilung der thermischen Umgebungsbedingungen dient im Folgenden ein Ausschnitt aus der Thermalkarte des VERBANDES REGION STUTT GART aus dem Jahr 2008.

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 „ATRIO“ wird bei austauscharmen Strahlungswetterlagen sowohl durch die direkte Lagebeziehung zu Wiesen-, Garten- und Waldflächen als auch durch die Flächennutzung im „Gewerbegebiet Ramtel“ bestimmt.

Die **Abbildung 13** verdeutlicht das unterschiedliche Temperaturverhalten verschiedener Flächennutzungsstrukturen anhand von Ergebnissen der Abendbeobachtung (20:24 – 00:56 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 schwanken die Werte zwischen ca. 8 und 14°C (dunkel- bis hellblaue Farbtönung). Insbesondere in Kaltluftstagnationsbereichen werden niedrigere Werte registriert. Locker gehölzüberstellte Flächen bilden sich etwas wärmer ab, da in diesen Bereichen die nächtliche Ausstrahlung etwas reduziert ist. Insgesamt bildet der Bereich Mühlgraben zusammen mit der bewaldeten Hangzone Winterain ein Freiraumgefüge mit hohem thermischen Ausgleichspotenzial.

In Gewerbegebieten (z.B. Ramtel I, II, „Am Autobahndreieck“ und „Hertich“ westlich der A 81) überwiegen im Allgemeinen größere versiegelte Stellflächen und Hallenbauten, die sich am Tag intensiv aufheizen. Während bspw. Rasenflächen und Wiesen bei Lufttemperaturen um 26°C Oberflächenstrahlungstemperaturen von ca. 22 - 24°C aufweisen, werden über betonierte Arealen Temperaturen bis über 40°C registriert. Schwarze Asphaltflächen und Dächer mit Bedeckung aus dunkler Dachpappe weisen sogar Oberflächenstrahlungstemperaturen bis über 60°C auf¹.

Nach Sonnenuntergang kühlen Materialien wie Asphalt nur langsam ab. Die Thermalkarte zeigt für die Gewerbeflächen in Ramtel über größeren versiegelten Teilbereichen Oberflächenstrahlungstemperaturen zwischen ca. 16°C und 23°C.

¹ **ÖKOPLANA (1997):** Klimaökologische Untersuchungen in Bad Salzungen und Ableitung von planerischen Maßnahmen im Rahmen der Sanierung des Wohngebietes Allendorf. Mannheim.

6 Klimaökologische Auswirkungen des geplanten Bauvorhabens „ATRIO“ auf das Planungsumfeld

6.1 Modifikation der lokalen Kaltluftbewegungen bei Realisierung des Plan-Zustands

Bei der Betrachtung und Bewertung der klimaökologische Auswirkungen des Bauvorhabens „ATRIO“ auf das Planungsumfeld sind windschwache Sommer- / Hitzetage wegen ihres bioklimatischen Belastungspotenzials von besonderem Interesse. Wichtige Ausgleichsfaktoren für die im Tagesverlauf auftretenden hohen Temperaturen sind in von Überhitzung betroffenen Wohnbereichen die nächtliche Abkühlung und der Zustrom kühler Luft durch Kaltluftabflusssysteme (vgl. BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICK-LUNG 2013).

Die Bildung bodennaher Kaltluft wird durch die Abkühlung der Erdoberfläche auf Grund einer negativen Wärmebilanz verursacht. Besonders günstig für eine nächtliche Abkühlung sind windschwache Strahlungsächte.

Wie in **Tabelle 1** (Kap. 3) bereits aufgeführt, weisen Grünland/Streuobstwiesen und Ackerflächen höchste Kaltluftproduktionsraten auf. In Waldflächen, wie sie südlich des Planungsgebietes in der Hangzone Winterrain anschließen, bleibt die Luft im Bestand am Tag auf Grund der Beschattung vergleichsweise kühl. In den Nachtstunden wird im Kronendach Kaltluft gebildet. Diese sinkt in den Stammraum ab und strömt bei Hangwäldern dem Gefälle folgend zu den tiefer gelegenen Geländelagen. Infolge der reduzierten Ausstrahlung im Bestand ist die „Kaltluft“ jedoch etwas wärmer als über Wiesen und Ackerflächen. Das thermische Ausgleichspotenzial ist dennoch nicht zu unterschätzen.

Das Modell 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. Die vorgesehene Bebauung und die benachbarten Gewerbebauten werden demgegenüber als Einzelbaukörper berücksichtigt, um den detaillierten Einfluss herausarbeiten zu können.

Das betrachtete Rechengebiet (siehe **Abbildung 14**) umfasst eine Gebietsgröße von 1.9 x 1.5 km (2.85 km²), so dass der für das Planungsgebiet relevante Kaltluftfeinzugsbereich vollständig Berücksichtigung findet.

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

Ergebnisse der Modellrechnungen für den Zeitpunkt 2 Stunden nach einsetzender Kaltluftbildung:

Die **Abbildungen 15.1 – 15.3** zeigen für den gegenwärtigen Ist-Zustand die Ergebnisse der Kaltluftsimulationen 2 Stunden² 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 des Mühlgrabens/Landschaftsschutzgebiet Glemswald und im Bereich der Waldflächen des Winterrains kaltluftinduzierte Hangabwinde, die auch den Planungsstandort überstreichen, wo sie mittlere Strömungsgeschwindigkeiten von ca. 0.2 – 1.0 m/s erreichen (**Abbildung 15.1**).

Während über den Wiesenflächen entlang des Mühlgrabens mittlere Kaltluftfließgeschwindigkeiten bis über 1.0 m/s simuliert werden, bewirkt die Oberflächenrauigkeit über den Gewerbeflächen Ramtel II eine Reduktion der Strömungsgeschwindigkeit auf unter 0.5 m/s. Allein die Neue Ramtelstraße zeigt sich noch als zusätzliche Kaltluftleitbahn.

² In den Monaten Juni/Juli entspricht dies ca. dem Zeitpunkt 22:30 Uhr (MEZ)

Zu Beginn der 1. Nachthälfte wird im Planungsgebiet „ATRIO“ eine Kaltluftmächtigkeit von ca. 18 – 22 m bestimmt (**Abbildung 15.2**). Ein höhere Mächtigkeit wird zu diesem Zeitpunkt durch das beständige Abfließen der Kaltluft unterbunden.

Ermittelt man anhand der Kaltluftabflusssimulationen den in Richtung Glemstal fließenden Kaltluftvolumenstrom zwischen der Neue Ramtelstraße und der Hangzone Winterrain (Hauptabflussbahn westlich des Planungsgebiets, Profil A - A*, **Abbildung 15.2**), so ergibt sich ein Wert von ca. 1.477 m³/s. Die hiervon ausgehenden Belüftungseffekte sind laut VDI-Richtlinie 3787-Blatt 5 als gering – mäßig einzustufen.

Ergebnisse der Modellrechnungen für den Zeitpunkt 5 Stunden nach einsetzender Kaltluftbildung:

Zu Beginn der zweiten Nachthälfte (5 Stunden nach einsetzender Kaltluftbildung³) nimmt die Fließgeschwindigkeit im Ist-Zustand durch die zunehmend stabile Luftschichtung ab. Am Planungsstandort werden noch Kaltluftfließgeschwindigkeiten von ca. 0.1 - 0.2 m/s (2 m ü.G.) ermittelt. Die Kaltluft neigt an Strömungshindernissen vermehrt zu Stagnation (**Abbildungen 16.1**).

Die Windvektoren deuten darauf hin, dass im Bereich „ATRIO“ die aus östlichen Richtungssektoren zuströmende Hangkaltluft insbesondere über die Böblinger Straße und Neue Ramtelstraße talabwärts geführt wird.

Die Kaltluftmächtigkeit am Planungsstandort beträgt zu diesem Zeitpunkt ca. 20 – 29 m. Die bestehenden Gewächshäuser und die angrenzenden Gewerbebauten werden demnach überströmt (**Abbildung 16.2**).

Über das Profil A – A* (**Abbildung 16.2**), das den besonders relevanten Kaltluftabflussbereich für die Hangkaltluft unterhalb des Planungsgebietes beschreibt, fließen 5 Stunden nach einsetzender Kaltluftbildung noch ca. 1.089 m³/s Kaltluft ab. Die leichte Abnahme des Kaltluftvolumenstroms gegenüber der Situation 2 Stunden nach einsetzender Kaltluftbildung ist auf die geringere Kaltluftfließgeschwindigkeit zurückzuführen.

³ In den Monaten Juni/Juli entspricht dies ca. dem Zeitpunkt 01:30 Uhr (MEZ)

Modifikation des Kaltluftströmungsgeschehens durch den Plan-Zustand

Bei Betrachtung der Differenzendarstellung bzgl. der Kaltluftfließgeschwindigkeit zwischen Plan- und Ist-Zustand (**Abbildungen 17.1, 17.2**) wird offenbar, dass die geplante 2- bis max. 3-geschossige Bebauung nur kleinräumige Effekte hervorruft, die im Wesentlichen auf das Planungsgebiet selbst und die unmittelbare Nachbarschaft beschränkt bleiben.

Bei vorherrschenden östlichen Hangabwinden kommt es 2 Stunden nach einsetzender Kaltluftbildung im Luv der Gebäude zu Stauwirkungen, wodurch die Strömungsgeschwindigkeit um ca. 0.1 – 0.5 m/s abnimmt. An den nördlichen und südlichen Gebäudekanten kommt es durch die gebäudebedingte Labilisierung der bodennächsten Kaltluftschichten zu leichten Beschleunigungseffekten.

Bilanziert man entlang des Profils A – A* (Lage des Profils siehe **Abbildung 17.3**) die Veränderung des Kaltluftvolumenstroms durch den Plan-Zustand, so ergibt sich 2 Stunden nach einsetzender Kaltluftbildung ein Wert von -23 m³/s. Der Ausgangswert von 1.477 m³/s wird somit um ca. 1.6% reduziert.

Laut VDI-Richtlinie 3787, Blatt 5 (2003) ist bei Kaltluftströmungen eine Verringerung der Abflussvolumina oder der Abflussgeschwindigkeit von mehr als 10% gegenüber dem Ist-Zustand als „gravierender Eingriff“ mit nachteiligen Folgen im Kaltluftzielgebiet zu bewerten. Prozentuale Änderungen gegenüber dem Ist-Zustand zwischen 5 und 10% sind als „mäßige Auswirkung“ zu bewerten. Bei Werten unter 5% sind im Allgemeinen nur „geringe klimatische Auswirkungen“ im Kaltluftzielgebiet zu erwarten.

Die o.a. Reduzierung des Kaltluftvolumenstroms von 1.6% ist somit mit nur äußerst geringen klimatischen Negativeffekten verbunden, die aus klimaökologischer Sicht auf Grund deren Kleinräumigkeit zu akzeptieren sind. Eine prägnante Zunahme des Wärmeinseleffekts im Gewerbegebiet Ramtel I / II ist nicht zu erwarten. Auch eine Beeinträchtigung der kaltluftbedingten Belüftung im Bereich der Wohnbebauung nördlich der Neue Ramtelstraße ist nicht zu bilanzieren.

5 Stunden nach einsetzender Kaltluftbildung sind durch den kontinuierlichen Anstieg der lokalen Kaltluftmächtigkeit keine vermehrten Negativeffekte festzustellen. Wie die Ergebnisse der durchgeführten Kaltluftabflusssimulationen zeigen (**Abbildungen 18.1 – 18.3**), nimmt der räumliche Umfang der Strömungsmodifikationen (Stauwirkungen im Luv, Windbeschleunigungen an den Gebäudekanten und Windschatteneffekte im Lee) gegenüber der Situation in der 1. Nachthälfte ab.

Über das Bewertungsprofil A – A* ist durch den Plan-Zustand nur noch ein Verlust an Kaltluftvolumen von ca. 0.2 % zu erwarten.

Die Veränderungen der Kaltluftströmungsdynamik im Planungsgebiet führt somit in westlicher bis südwestlicher Nachbarschaft und entlang des Mühlgrabens zu keiner problematischen Minderung der lokalen Kaltluftdynamik.

6.2 Modifikation der örtlichen Belüftung bei Realisierung des Plan-Zustands

Stadtklimatisch problematische Belüftungsverhältnisse beschränken sich nicht allein auf windschwache Strahlungsnächte, auch am Tag können bei vorherrschenden Schwachwinden Stagnationseffekte zu erhöhten bioklimatischen Belastungen führen.

Nachfolgend werden daher Ergebnisse von Strömungssimulationen mit dem Windfeldmodell MISKAM analysiert und bewertet. Dabei wird eine schwache östliche Anströmung⁴ mit 1.5 m/s (10 m ü.G.) und eine leicht labile Luftschichtung den Berechnungen zu Grunde gelegt.

Das betrachtete Modellgebiet (siehe **Abbildung 19.1**) umfasst eine Ausdehnung von 454 m in West-Ost-Richtung und 314 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 m ü.G. ~ EG und 5.0 m ü.G. ~ 1. OG). Die Schnitte geben die mittlere Windgeschwindigkeit für eine 1 m mächtige Luftschicht (Höhe \pm 0.5 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.

⁴ Die Modellrechnungen beschränken sich im vorliegenden Fall auf eine Situation, bei der mit den größten Auswirkungen (Windschatteneffekte) auf die nähere Umgebung des Planungsgebiets zu rechnen ist ("Worst-Case-Betrachtung").

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.

Die Lärmschutzwand entlang der Neue Ramtelstraße ist hingegen berücksichtigt.

Deutlich erkennbar sind auf dem Bild des Ist-Zustandes (**Abbildungen 19.1, 19.2**) die Luv- und Lee-Effekte von Baukörpern, die abhängig von ihrer Höhe, Abstandsfläche zur Nachbarbebauung und Stellung zu einer mehr oder weniger großflächigen Windgeschwindigkeitsminderung führen. Auch dichte Gehölzflächen bewirken mit ihrer hohen Oberflächenrauigkeit eine Abschwächung der Belüftungsintensität.

Bei mittleren Anströmgeschwindigkeiten von 1.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G. treten strömungsparallele Straßenzüge (z.B. Neue Ramtelstraße) sowie rauigkeitsarme Oberflächenstrukturen (Wiesenflächen im Planungsumfeld) als Ventilationsachsen hervor. Hier kann der Wind vermehrt bodennah durchgreifen und die mit Wärme und u.U. mit Luftschadstoffen belasteten Luftmassen ausräumen.

Die Bestandsbebauung am Planungsstandort (Verkaufsgebäude mit angrenzenden Gewächshäusern) bildet nur ein geringes Strömungshindernis. Die Lee-Effekte beschränken sich im Wesentlichen auf das Grundstück selbst.

Die **Abbildungen 20.1** und **20.2** dokumentieren zusammen mit den Differenzendarstellungen zwischen Plan- und Ist-Zustand (**Abbildungen 21.1** und **21.2**) die Veränderung der lokalen Belüftungsverhältnisse bei Realisierung der 2- bis max. 3-geschossigen Bebauung.

Durch die zunehmende Barrierewirkung der potenziellen Baukörper kommt es in der Höhenschicht 2 m ü.G. in Gebäudeluv- und Gebäudeleelage zu einer auffallenden Windabschwächung. Der Windschatteneffekt reicht allerdings in nur einem schmalen Streifen (Breite ca. 30 m) ca. 130 m nach Westen. Eine nachhaltige Schwächung des Luftaustauschgeschehens auf der Neue Ramtelstraße, die zu einer vermehrten Akkumulation von Luftschadstoffen führen könnte, ist hieraus nicht abzuleiten. Gleiches gilt für die Höhenschicht 5 m ü.G.

Auch im Bereich der geplanten Bebauung sind ausreichende Ventiklationseffekte gegeben. Eine großflächige Neigung zu Luftstagnation mit mittleren Windgeschwindigkeiten unter 0.3 m/s ist nicht gegeben. Der verbleibende Abstand zur Bestandsbebauung „ATRIO“ westlich des Planungsgebiets ist ausreichend, um eine allseitige Umströmung der geplanten Gebäudekomplexe zu gewährleisten.

6.3 Modifikation der örtlichen Lufttemperaturverhältnisse bei Realisierung des Plan-Zustands

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

Durch die zunehmende Überbauung vegetationsbedeckter Flächen im Planungsgebiet „ATRIO“ 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 Planungsgebietes von Bedeutung, dass der von der potenziellen Bebauung und von den versiegelten Erschließungsflächen ausgehende „Wärmeineffekt“ 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 350 x 500 m (inkl. Randzellen). Die Auflösung beträgt horizontal 5 x 5 m und vertikal nicht-äquidistant 1 – 10 m. Die Ergebnisdarstellung erfolgt in Horizontalschnitten (2.0 m ü.G.).

Eine Analyse der thermischen Umgebungsbedingungen erfolgt in der Stadtklimatologie vorwiegend für die Nachtstunden, da sich im Verlauf der nächtlichen Abkühlungsphase die durch unterschiedliche Flächennutzung bzw. Oberflächenmaterialien (vegetationsbedeckte Oberflächen bzw. Baukörper) bedingten thermischen Unterschiede am stärksten ausbilden. Am Tag führt die labilere Luftschichtung über Konvektion zu einer deutlich geringeren Temperaturzonierung und einer weniger ausgeprägten horizontalen „Wärmeverfrachtung“.

Die nachfolgenden Berechnungen beziehen sich daher jeweils auf eine sommerliche windschwache Nachtsituation (23:00 Uhr).

Herrschen in den Nachtstunden östliche Hangabwinde vor, stellen sich im Ist-Zustand (**Abbildung 22**) unter dem Einfluss lokaler Kaltluft im Modellgebiet zwischen wärmsten und kühlfsten Bereichen Lufttemperaturunterschiede von max. 4.0 K ein. Niedrigste Werte (19.0 – 19.8°C) zeigen sich über dem vegetationsbedeckten Gelände südlich der ATRIO-Bestandsbebauung. Die Baum-/Wiesenlandschaft fungiert als Kaltluftproduktionsfläche und Kaltluftabflussgebiet, wodurch die lokale Abkühlung besonders intensiv ist.

Am Planungsstandort werden gegen 23:00 Uhr Lufttemperaturen zwischen ca. 19.8 und 21.4°C bestimmt.

Im Bereich der südwestlich benachbarten Gewerbebebauung sind über versiegelten Flächen bzw. im Nahbereich der Gebäudewände Lufttemperaturen von 21.4 – 23.0 °C zu bilanzieren. Eine deutlicher Überwärmung wird durch den Einfluss der einwirkenden Hangkaltluft unterbunden.

Die höchsten Lufttemperaturen werden über den großflächig versiegelten Stellflächen östlich der Tennishalle berechnet (ca. 19.4 – 20.4°C).

Die Modellergebnisse für den Plan-Zustand (**Abbildung 23**) zeigen, dass im Planungsgebiet durch die Überbauung der Vegetationsflächen / Stellplatzflächen die bodennahe Luftschicht in Strahlungs Nächten weniger intensiv abkühlt. Anhand der Differenzendarstellung zwischen Plan- und Ist-Zustand (**Abbildung 24**) wird offenbar, dass in der nächtlichen Abkühlungsphase bei vorherrschenden östlichen Hangabwinden am Planungsstandort nach Realisierung der Bebauung um 0.4 – 2.0 K höhere Lufttemperaturen zu erwarten sind. Hierbei wird im Sinne eines Worst-Case-Szenarios davon ausgegangen, dass die Erschließungswege und Parkplätze schwarz asphaltiert sind.

Durch den steten Einfluss der Hangkaltluft bleiben die o.a. Lufttemperaturmodifikationen jedoch räumlich eng begrenzt. Eine prägnante „Warmluftfahne“ geht von der geplanten Bebauung nicht aus.

Die prognostizierte Zunahme der Lufttemperatur im Bereich des Planungsgebietes führt somit zu keiner stadtklimatisch relevanten thermischen Zusatzbelastung.

7 Kurzzusammenfassung der Untersuchungsergebnisse, Bewertung und Planungsempfehlungen

Die Behindertenwerkstatt ATRIO Leonberg plant im Leonberger Stadtteil Ramtel an der Ecke Neue Ramtelstraße / Böblinger Straße eine bauliche Erweiterung. Aktuell besteht am Planungsstandort ein Verkaufsgebäude mit angrenzenden Gewächshäusern. Die benachbarten Freiflächen sind von Wiesenflächen mit Gehölzen geprägt.

Das vom Architekturbüro ARC-CHITEKTEN RUTSCHMANN GOLDBACH entwickelte Planungskonzept für die bauliche Entwicklung des Gärtnerigeländes sieht den Neubau von zwei 2-geschossigen Werkstattgebäuden vor, die über einen Verbindungsbau miteinander verknüpft sind. Das nördliche Werkstattgebäude weist eine Länge von ca. 75 m auf. Die Breite beträgt ca. 14 m. Die Gebäudehöhe ist mit ca. 9 m (OK 413.0 m ü. NN) angegeben. Mit einem Abstand von ca. 12 – 17 m folgt in südliche Richtung ein ebenfalls 2-geschossiges Gebäude (OK 413.0 m ü. NN) für die Integrationsfirma LEDA. Die Gebäudelänge zeigt einen Wert von ca. 50 m. Die Breite beläuft sich auf ca. 14 m. Zwischen Werkstattgebäude und dem Bau für die Integrationsfirma ist ein Verbindungsbauwerk angedacht. Am Südrand sind zwei Wohngebäude (2- und 3-geschossig, OK jeweils 413.4 m ü. NN) geplant.

Die Verkehrserschließung erfolgt über die Böblinger Straße.

Ein Großteil der erforderlichen Stellplätze soll am Nordrand (23 Stellplätze entlang der Neue Ramtelstraße) entstehen. Weitere 12 Stellplätze sind am Westrand des Planungsgebiets vorgesehen.

Die Freianlagen östlich der geplanten Baukörper sind parkartig angelegt (Therapie Feld).

Das Planungsgebiet südlich der Neue Ramtelstraße befindet sich am Oberhang des Mühlgrabens, der in südsüdwestlicher Richtung ins Glemstal mündet.

Wie vorliegende Klimauntersuchungen dokumentieren, ist der Planungsstandort Teil des Kaltluftentstehungs- und Kaltluftabflussgebiets „Mühlgraben“, über das sich in Strahlungsnächten (ca. 25% der Nächte im Jahr) ein prägnanter Kaltluftstrom in das Glemstal entwickelt. Die abfließende Kalt- und Frischluft wird dort in den Glemstalabwind miteinbezogen und trägt damit indirekt zur günstigen Gestaltung der bioklimatischen und lufthygienischen Umgebungsbedingungen in Leonberg bei.

Es sind daher im Rahmen des anstehenden Planungsprozesses die Auswirkungen der geplanten Flächennutzungsänderung auf die lokalen klimatischen Verhältnisse (Kaltluftgeschehen, thermische Situation) zu analysieren und zu bewerten.

Die Ergebnisse durchgeführter Kaltluftsimulationsrechnungen für den Ist-Zustand dokumentieren bereits 2 Stunden⁵ nach einsetzender Kaltluftbildung den Einfluss ausgeprägter östlicher Hangabwinde am Planungsstandort.

In dieser Kaltluftbildungsphase entstehen über den Wiesen des Mühlgrabens/Landschaftsschutzgebiet Glemswald und im Bereich der Waldflächen des Winterrains kaltluftinduzierte Hangabwinde, die auch den Planungsstandort überstreichen, wo sie mittlere Strömungsgeschwindigkeiten von ca. 0.2 – 1.0 m/s erreichen.

Während über den Wiesenflächen entlang des Mühlgrabens mittlere Kaltluftfließgeschwindigkeiten bis über 1.0 m/s simuliert werden, bewirkt die Oberflächenrauigkeit über den Gewerbeflächen Ramtel II eine Reduktion der Strömungsgeschwindigkeit auf unter 0.5 m/s. Allein die Neue Ramtelstraße zeigt sich noch als zusätzliche Kaltluftleitbahn.

Zu Beginn der ersten Nachthälfte wird im Planungsgebiet „ATRIO“ eine Kaltluftmächtigkeit von ca. 18 – 22 m bestimmt.

Ermittelt man anhand der Kaltluftabflusssimulationen den in Richtung Glemstal fließenden Kaltluftvolumenstrom zwischen der Neue Ramtelstraße und der Hangzone Winterrain (Hauptabflussbahn westlich des Planungsgebiets, Profil A-A*, **Abbildung 15.2**), so ergibt sich ein Wert von ca. 1.477 m³/s.

Bei Betrachtung der Differenzendarstellung bzgl. der Kaltluftfließgeschwindigkeit zwischen Plan- und Ist-Zustand wird deutlich, dass die geplante 2- bis max. 3-geschossige Bebauung nur kleinräumige Effekte hervorruft, die im Wesentlichen auf das Planungsgebiet selbst und die unmittelbare Nachbarschaft beschränkt bleiben.

Bei vorherrschenden östlichen Hangabwinden kommt es 2 Stunden nach einsetzender Kaltluftbildung im Luv der Gebäude zu Stauwirkungen, wodurch die Strömungsgeschwindigkeit um ca. 0.1 – 0.5 m/s abnimmt. An den nördlichen und südlichen Gebäudekanten kommt es durch die gebäudebedingte Labilisierung der bodennächsten Kaltluftschichten hingegen zu leichten Beschleunigungseffekten.

⁵ In den Monaten Juni/Juli entspricht dies ca. dem Zeitpunkt 22:30 Uhr (MEZ)

Bilanziert man entlang des Bewertungsprofils A – A* die Veränderung des Kaltluftvolumenstroms durch den Plan-Zustand, so ergibt sich 2 Stunden nach einsetzender Kaltluftbildung ein Wert von $-23 \text{ m}^3/\text{s}$. Der Ausgangswert von $1.477 \text{ m}^3/\text{s}$ wird somit um ca. 1.6% reduziert.

Laut VDI-Richtlinie 3787, Blatt 5 (2003) ist bei Kaltluftströmungen eine Verringerung der Abflussvolumina oder der Abflussgeschwindigkeit von mehr als 10% gegenüber dem Ist-Zustand als „gravierender Eingriff“ mit nachteiligen Folgen im Kaltluftzielgebiet zu bewerten. Prozentuale Änderungen gegenüber dem Ist-Zustand zwischen 5 und 10% sind als „mäßige Auswirkung“ zu bewerten. Bei Werten unter 5% sind im Allgemeinen nur „geringe klimatische Auswirkungen“ im Kaltluftzielgebiet zu erwarten.

Die o.a. Reduzierung des Kaltluftvolumenstroms von 1.6% ist somit mit nur äußerst geringen klimatischen Negativeffekten verbunden, die aus klimaökologischer Sicht auf Grund deren Kleinräumigkeit zu akzeptieren sind. Eine prägnante Zunahme des Wärmeinseleffekts im Gewerbegebiet Ramtel I / II ist nicht zu erwarten. Auch eine Beeinträchtigung der kaltluftbedingten Belüftung im Bereich der Wohnbebauung nördlich der Neue Ramtelstraße ist nicht zu bilanzieren.

5 Stunden nach einsetzender Kaltluftbildung sind durch den kontinuierlichen Anstieg der lokalen Kaltluftmächtigkeit keine vermehrten Negativeffekte festzustellen. Über das Bewertungsprofil A – A* ist durch den Plan-Zustand nur noch ein Verlust an Kaltluftvolumen von ca. 0.2 % zu erwarten.

Auch die mikroskaligen Modellstudien zur Belüftung am Tag und zu thermischen Aspekten bestätigen die Kleinräumigkeit der aus der potenziellen Bebauung „ATRIO“ resultierenden Modifikationen.

Herrschen in den Nachtstunden östliche Hangabwinde vor, zeigt sich, dass im Planungsgebiet durch die Überbauung der Vegetationsflächen / Stellplatzflächen die bodennahe Luftschicht in Strahlungsnächten weniger intensiv abkühlt. Am Planungsstandort sind in sommerlichen Strahlungsnächten um ca. $0.4 - 2.0 \text{ K}$ höhere Lufttemperaturen zu erwarten. Hierbei wird im Sinne eines Worst-Case-Szenarios davon ausgegangen, dass die Erschließungswege und Parkplätze schwarz asphaltiert sind.

Durch den steten Einfluss der Hangkaltluft bleiben die o.a. Lufttemperaturmodifikationen jedoch räumlich eng begrenzt. Eine prägnante „Warmluftfahne“ geht von der geplanten Bebauung nicht aus.

Die prognostizierte Zunahme der Lufttemperatur im Bereich des Planungsgebietes führt somit zu keiner stadtklimatisch relevanten thermischen Zusatzbelastung.

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

Da nicht sichergestellt werden kann, dass zukünftig im direkten Planungsumfeld weitere städtebauliche Entwicklungsmaßnahmen erfolgen, sollten am Planungsstandort dennoch zusätzliche klimaökologische Ausgleichsmaßnahmen Berücksichtigung finden.

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 Sicherung bzw. Pflanzung schattenwerfender Bäume auch die Oberflächenversiegelung durch Stellplätze reduziert werden. Hierzu bietet sich die Verwendung von Rasengittersteinen / Paddockplatten o.ä. an, da gegenüber Asphaltdecken und Pflasterbelägen die Aufheizung an heißen Sommertagen deutlich geringer ist (siehe Foto 1).

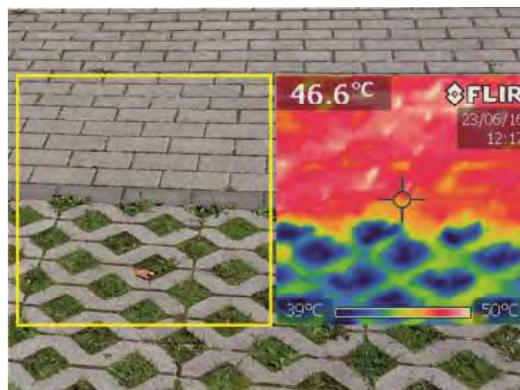


Foto 1: IR-Aufnahme von unterschiedlichen Oberflächenbelägen bei einer Lufttemperatur von 27°C (Aufnahme: ÖKOPLANA)

Auch durch die Wahl heller Fassadenfarben kann die bioklimatische Belastung im Nahbereich der Gebäude wirksam herabgesetzt werden. So führt die hohe Absorptionsfähigkeit dunkler Fassadenanstriche gegenüber weißen Fassaden an Sommertagen zu nahezu doppelt so hohen Oberflächentemperaturen.

Zudem sollten auf den Flachdächern der Hauszeilen extensive Dachbegrünungen realisiert werden (siehe ATRIO-Bestandsbebauung – **Foto 2**).



Foto 2: Dachbegrünung auf dem ATRIO-Bestandsgebäude (Aufnahme: ÖKOPLANA)

Sie wirken einer übermäßigen Aufheizung effektiv entgegen. An Sommertagen heizen sich begrünte Dachflächen im Tagesmittel um bis zu ca. 17°C weniger auf als unbegrünte Dächer. Sie weisen zudem weitere klimaökologischen Positiverffekte auf:

- Durch die geringere Aufheizung der Luft über begrünten Dächern ist die vertikale Auftriebsströmung und somit die Staubaufwirbelung geringer. Darüber hinaus bilden die Pflanzen einen Filter, in dem sich Teile des in der Luft enthaltenen Staubs absetzen. Letzteres gilt vor allem für intensiv begrünte Dächer.
- 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%.

Von nicht zu unterschätzender Bedeutung ist auch die Isolierungswirkung der Dachbegrünung. Im Sommer mindert die Dachbegrünung die Aufheizung der Innenräume. Im Winter isoliert ein Gründach zusätzlich und kann zur Senkung des Heizbedarfes beitragen.



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

Mannheim, den 26.03.2018

Quellenverzeichnis / weiterführende Schriften

- BMBAU, BUNDESMINISTERIUM FÜR RAUMORDNUNG, BAUWESEN UND STÄDTEBAU (1979):** Regionale Luftaustauschprozesse und ihre Bedeutung für die räumliche Planung. Schriftenreihe 06.032. Bonn.
- BRUSE, M. (2002/2016):** ENVI-Met - Mikroskaliges Klimamodell. Bochum.
- BRUSE, M. (2003):** Stadtgrün und Stadtklima – Wie sich Grünflächen auf das Mikroklima in Städten auswirken. In: LÖBF-Mitteilungen 1/2003. S. 66 – 70.
- 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.
- EICHHORN, J. (2009/2016):** Miskam - Mikroskaliges Klima- und Ausbreitungsmodell. Mainz.
- FRIEDRICH, J. ET AL. (2014):** Klimaanpassung in Kommunen und Regionen – eine Praxishilfe des Umweltbundesamtes. In: UVP-Report 28 (3 + 4). Hamm. S. 133 - 138
- 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 (1993):** Klimaökologische Analyse im Stadtgebiet Leonberg unter besonderer Berücksichtigung des Strömungsgeschehens. Mannheim.
- ÖKOPLANA (2002):** Klimaökologische Studie zur geplanten Änderung des Bebauungsplans „Gewerbegebiet am Autobahndreieck“ im Bereich Glems- eckstraße-Ost. Mannheim.
- ÖKOPLANA (2011):** Klimaökologische Stellungnahme zum Bauvorhaben „MAS-Bürogebäude“ im Gewerbegebiet am Autobahndreieck, Leonberg. Mannheim.
- VERBAND REGION STUTTGART (2008):** Klimaatlas Region Stuttgart. Stuttgart.

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (1996): VDI 3787, Bl. 2. Methoden zur humanbiometeorologischen 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 Lage des Planungsstandortes „ATRIO“ im Stadtgebiet von Leonberg



Projekt:
Klimgutachten zum Bebauungsplan
„ATRIO“ in Leonberg



M.:
0 200 800 m

Abb. 2 Luftbild vom Planungsstandort „ATRIO“ und von dessen Umfeld



Luftbild bereitgestellt von:
Stadt Leonberg

Projekt:
Klimgutachten zum Bebauungsplan
„ATRIO“ in Leonberg



M.:
0 50 200 m

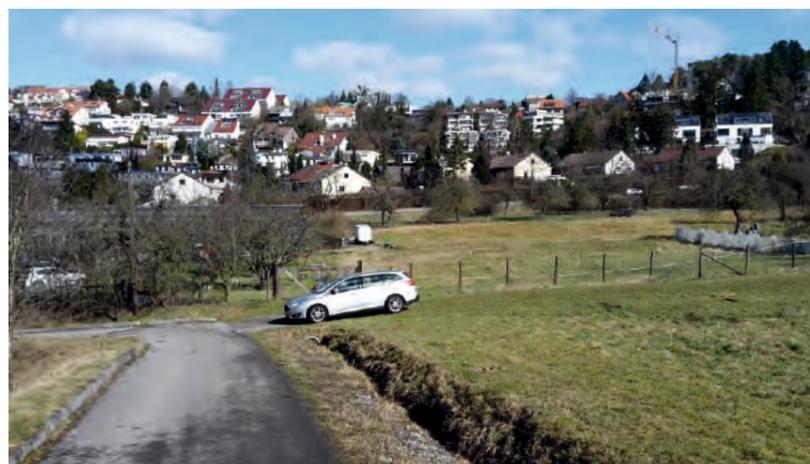
ÖKOPLANA

Abb. 3 Planungsgebiet und dessen Umfeld - fotografische Dokumentation

1



2



3



4



5

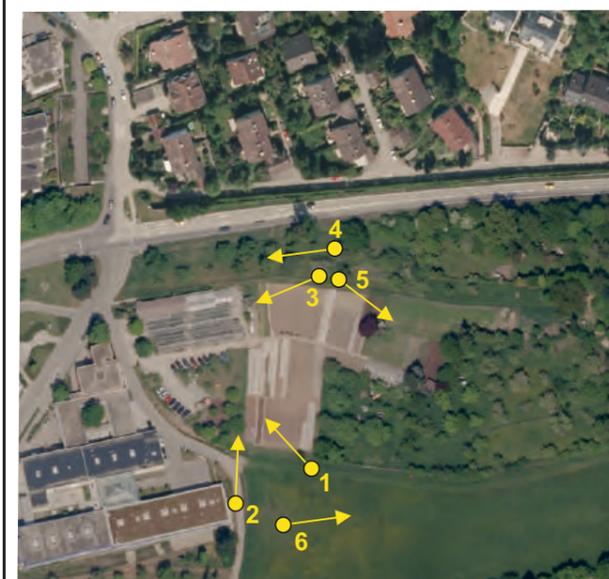


6



Luftbild bereitgestellt von:
Stadt Leonberg

Fotoaufnahmen:
ÖKOPLANA 03/2018

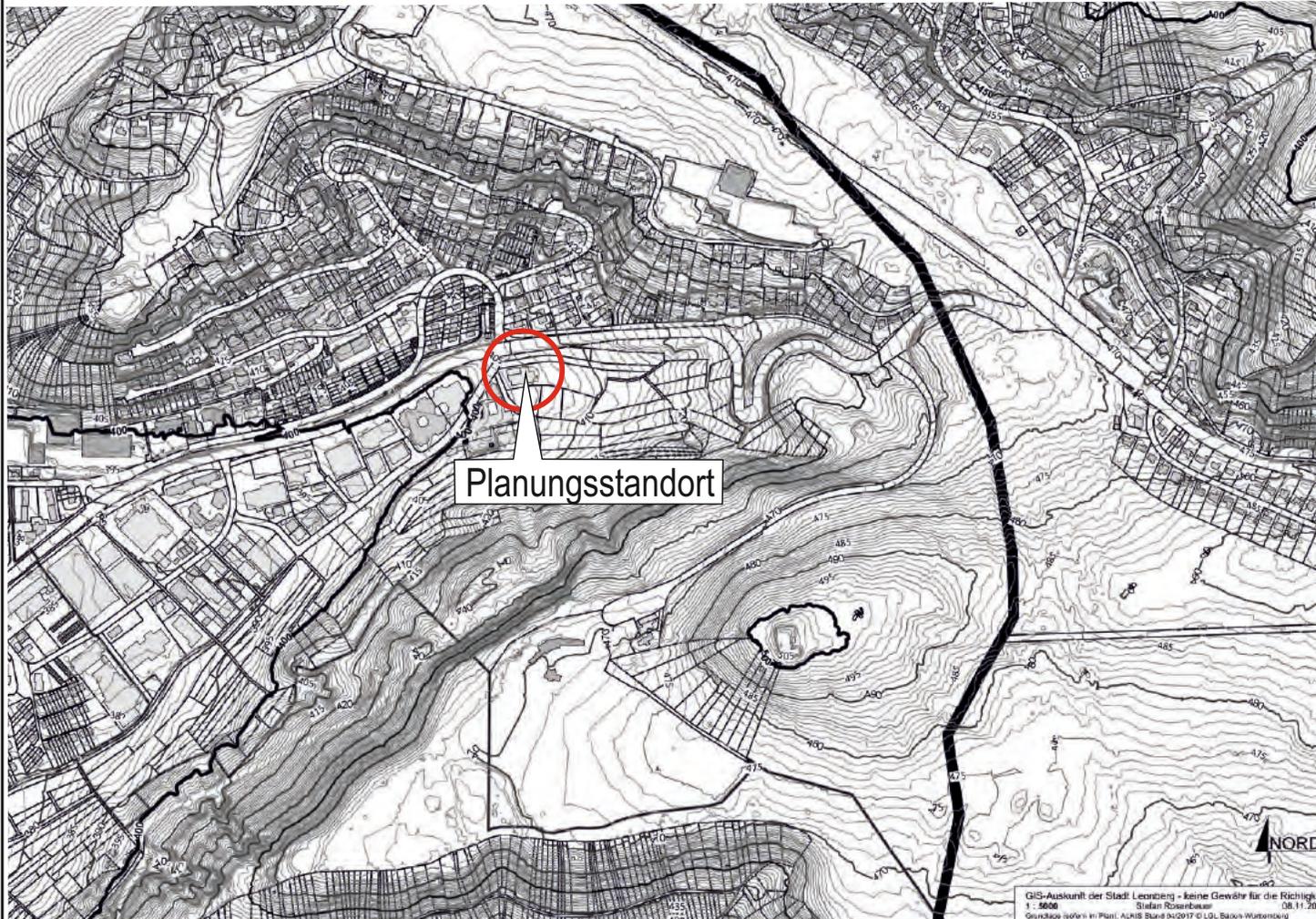


Standorte und Blickrichtungen der Fotoaufnahmen

Projekt:
Klimgutachten zum Bebauungsplan
„ATRIO“ in Leonberg

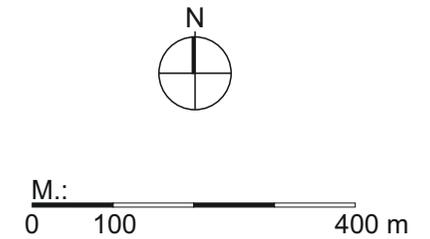


Abb. 4 Planungsstandort „ATRIO“ - Reliefsituation



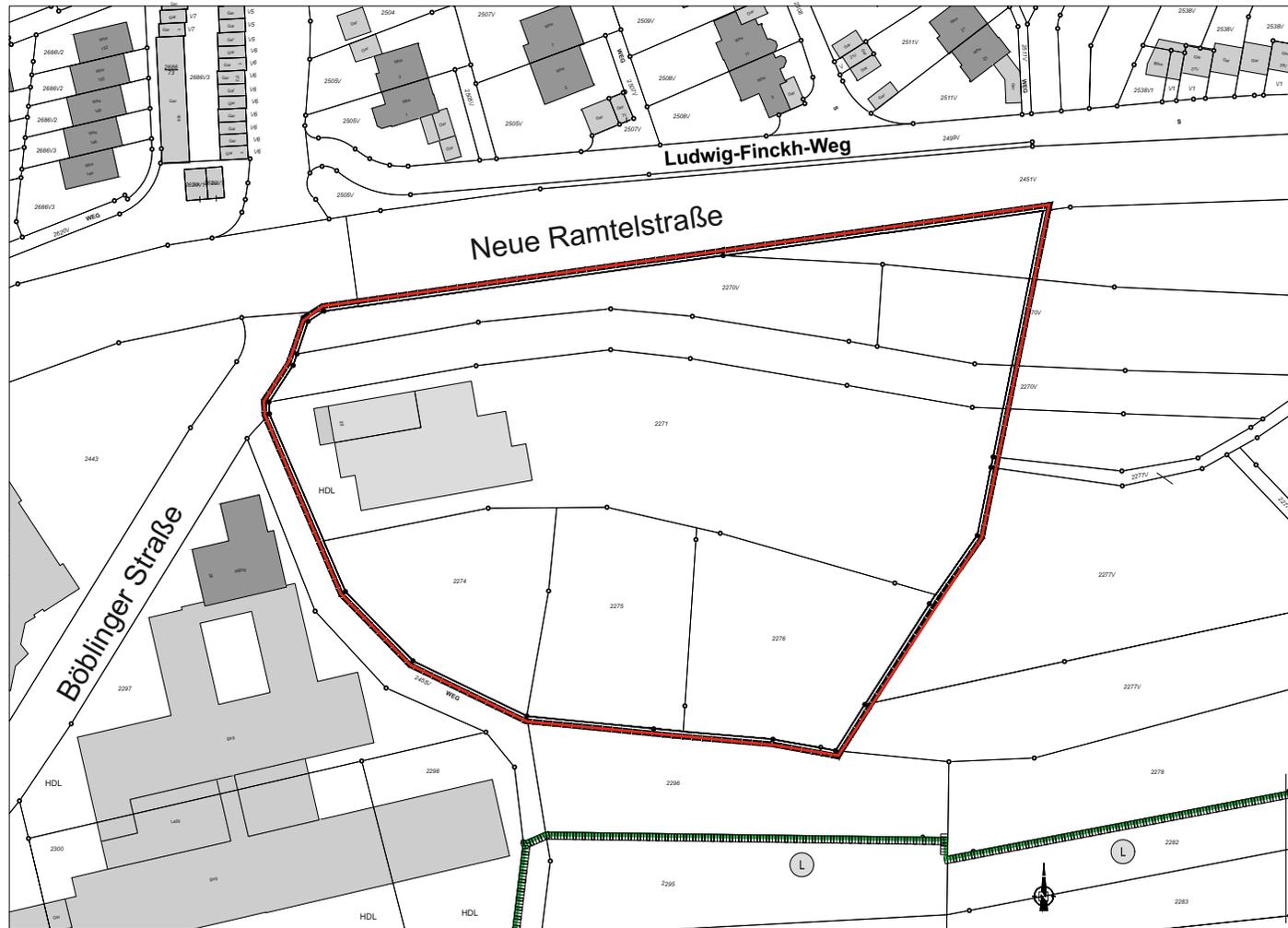
Karte bereitgestellt von:
Stadt Leonberg

Projekt:
Klimgutachten zum Bebauungsplan
„ATRIO“ in Leonberg



ÖKOPLANA

Abb. 5 Flurkarte vom Planungsgebiet „ATRIO“



Projekt:
Klimagutachten zum Bebauungsplan
„ATRIO“ in Leonberg

Grafik bereitgestellt von: Stadt Leonberg



M.: 0 20 80 m

ÖKOPLANA

Abb. 6 Planungskonzept zur Umnutzung des Gärtnereigeländes, Lageplan



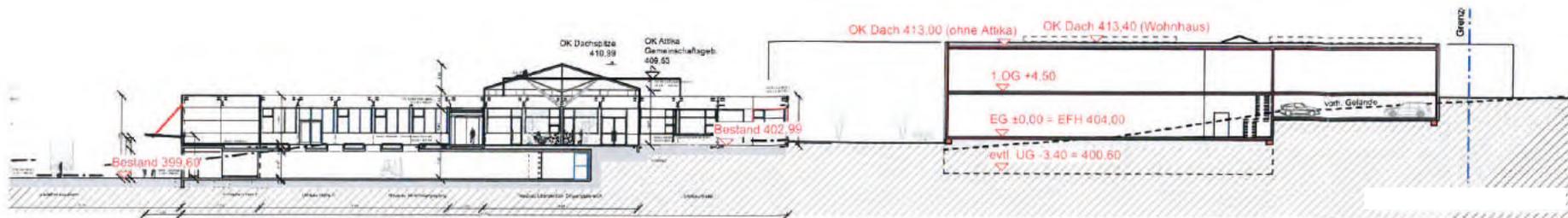
Projekt:
Klimagutachten zum Bbauungsplan
„ATRIO“ in Leonberg

Grafik: ARC-chitekten Rutschmann Goldbach



M.:
0 20 80 m

Abb. 7 Planungskonzept zur Umnutzung des Gärtnerriegeländes, Schnitt A - A



Projekt:
Klimagutachten zum Bebauungsplan
„ATRIO“ in Leonberg

Grafik: ARC-chitekten Rutschmann Goldbach

Abb. 9 Berechnete Windstatistik für den Planungsstandort „ATRIO“

Synthetisch repräsentative Ausbreitungsklassenzeitreihen Baden-Württemberg (Antriebszeitraum 2001 - 2010)

© 2014 Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg
 © 2014 Arge METCON (Pinneberg), IB Rau (Heilbronn), metSoft GbR (Heilbronn)

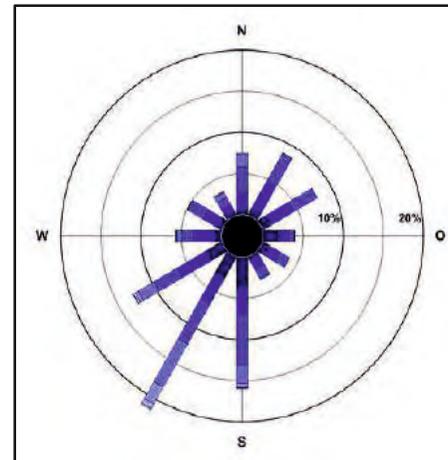
Version 2.00

Lage in Gauß-Krüger DHDN/PD (Lagestatus 100)
 Rechtswert: 3 502 500
 Hochwert: 5 406 000

Mittlere Windgeschwindigkeit:
 2.7 m/s

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

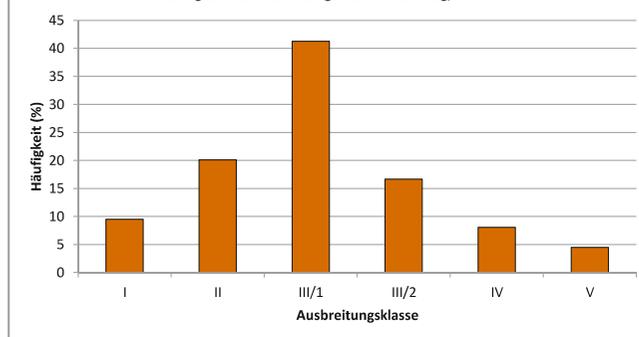
Geschwindigkeit	0-1.3	1.4-1.8	1.9-2.3	2.4-3.8	3.9-5.4	5.5-6.9	7.0-8.4	8.5-10.0	> 10.0	Summe
Richtung	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s	
346°-015°	0.73	0.89	1.17	3.04	1.47	0.21	0.00	0.00	0.00	7.51
016°-045°	0.94	1.63	2.25	3.66	0.24	0.03	0.00	0.00	0.00	8.76
046°-075°	1.44	1.77	1.38	3.29	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	7.89
076°-105°	2.01	0.81	0.49	0.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.02
106°-135°	0.96	0.57	1.06	1.25	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	3.91
136°-165°	0.53	0.61	0.67	1.21	0.18	0.02	0.00	0.00	0.00	3.22
166°-195°	3.96	1.34	1.73	6.16	2.20	0.56	0.09	0.01	0.00	16.06
196°-225°	3.17	1.69	1.78	5.61	6.07	2.38	0.65	0.16	0.00	21.51
225°-255°	2.41	2.20	1.85	3.31	2.29	0.44	0.29	0.07	0.00	12.85
256°-285°	0.88	1.56	1.09	1.44	0.62	0.12	0.08	0.03	0.00	5.83
286°-315°	0.74	0.89	1.16	2.00	0.18	0.07	0.01	0.02	0.00	5.07
316°-345°	0.59	0.38	0.44	1.12	0.66	0.17	0.00	0.00	0.00	3.36
Summe	18.36	14.34	15.07	32.80	14.01	4.02	1.12	0.29	0.00	100.00



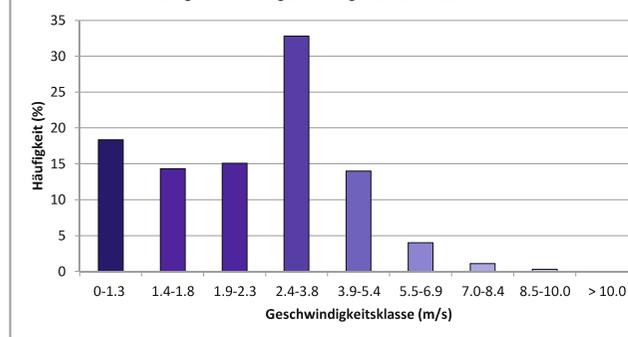
Häufigkeit der Ausbreitungsklassen nach Klug/Manier in %

Klasse	I	II	III/1	III/2	IV	V
	9.47	20.08	41.25	16.65	8.06	4.48

Häufigkeit der Ausbreitungsklassen nach Klug/Manier

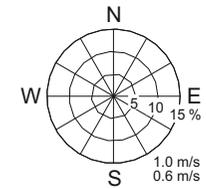
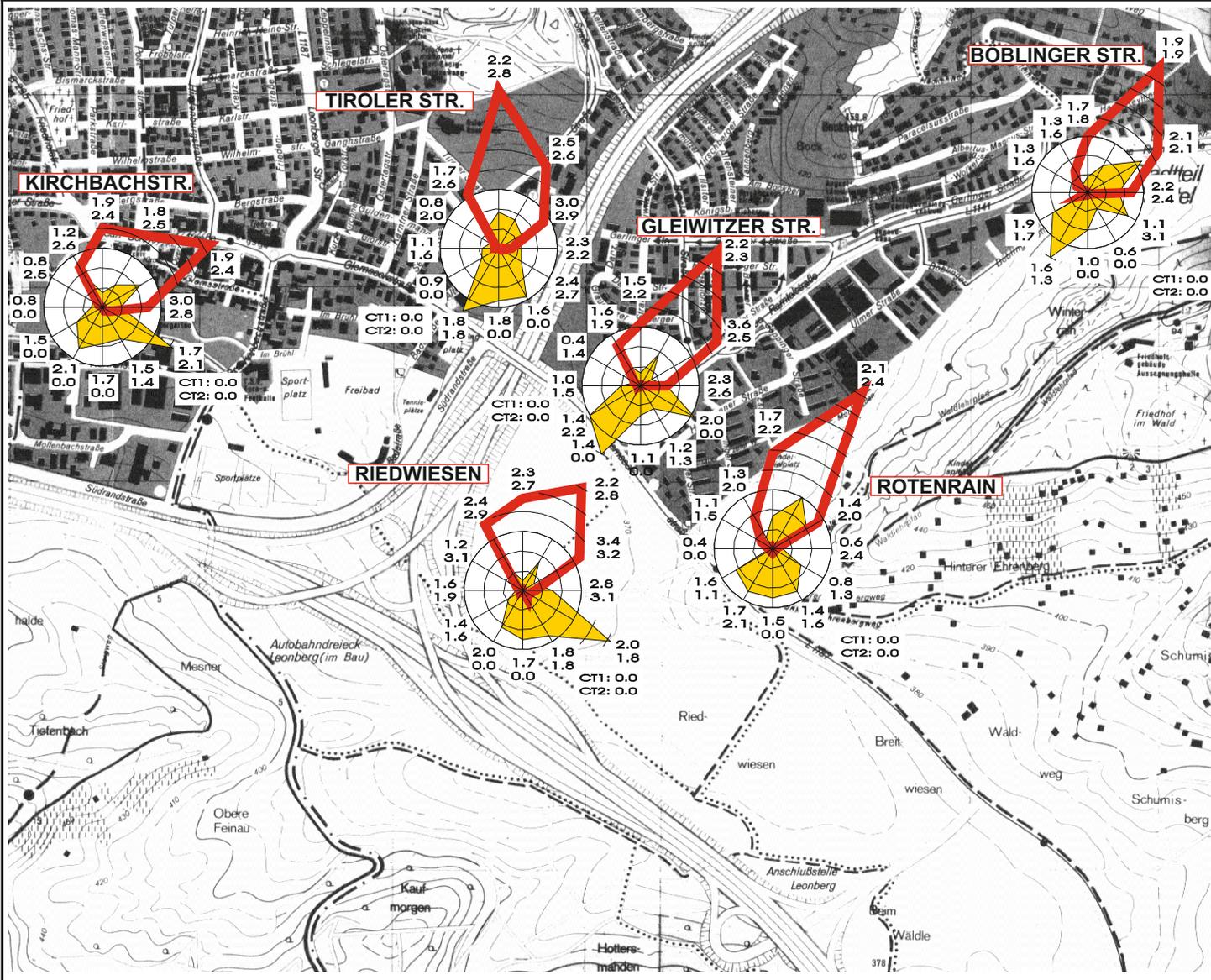


Häufigkeit der Windgeschwindigkeitsklassen nach TA Luft



Projekt:
 Klimgutachten zum Bebauungsplan
 „ATRIO“ in Leonberg

**Abb. 10 Häufigkeitsverteilung der Windrichtung und Windgeschwindigkeit / 04. - 09.1993, Tagsituation
Strahlungstage - Sommerhalbjahr**



▲ 07-12 Uhr

△ 13-18 Uhr

CT: Windstillen

Projekt:
Klimagutachten zum Bebauungsplan
„ATRIO“ in Leonberg

Messungen:
ÖKOPLANA, Mannheim

Kartengrundlage: Stadt Leonberg

**Abb. 11 Häufigkeitsverteilung der Windrichtung und Windgeschwindigkeit / 04. - 09.1993, Nachtsituation
Strahlungstage - Sommerhalbjahr**

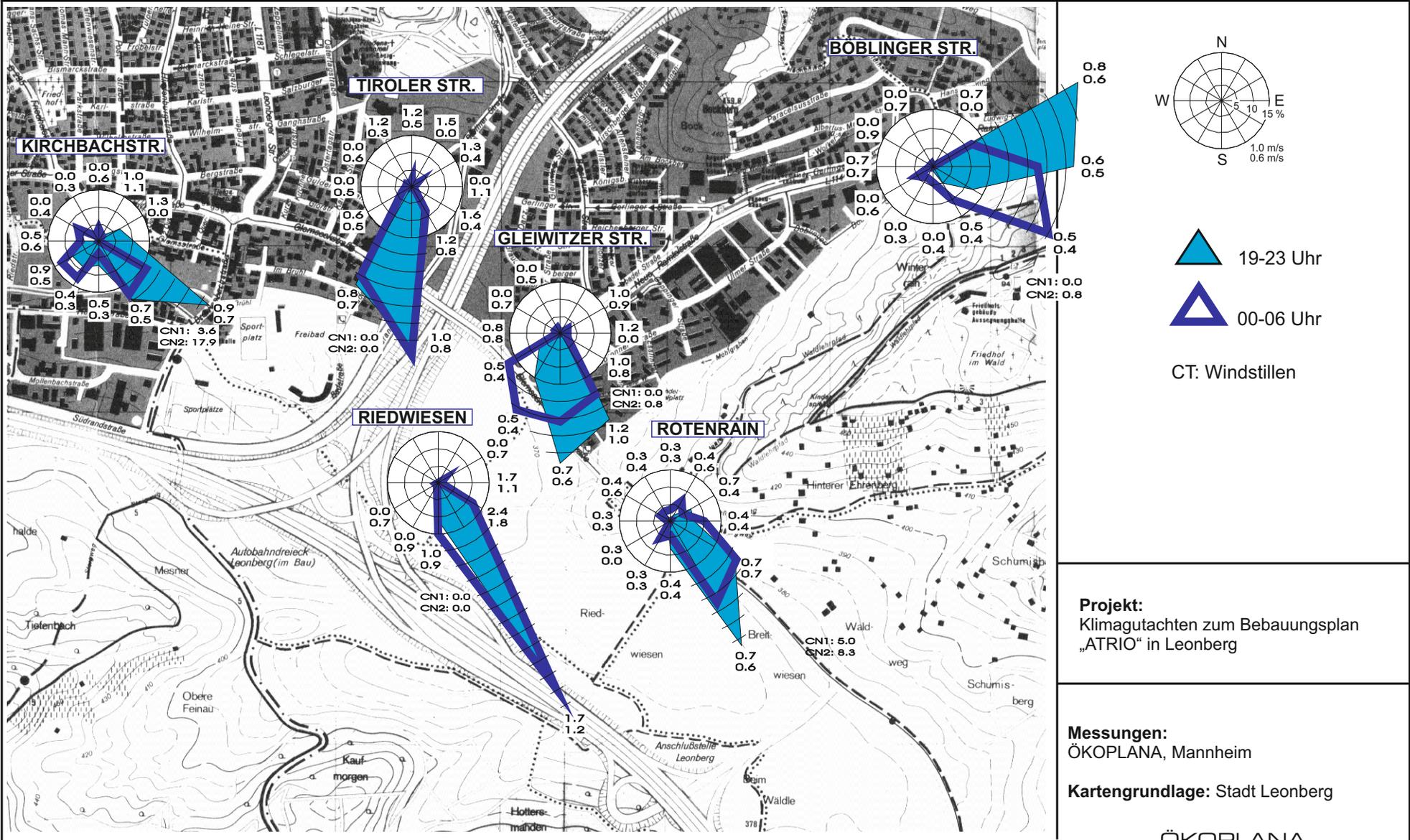
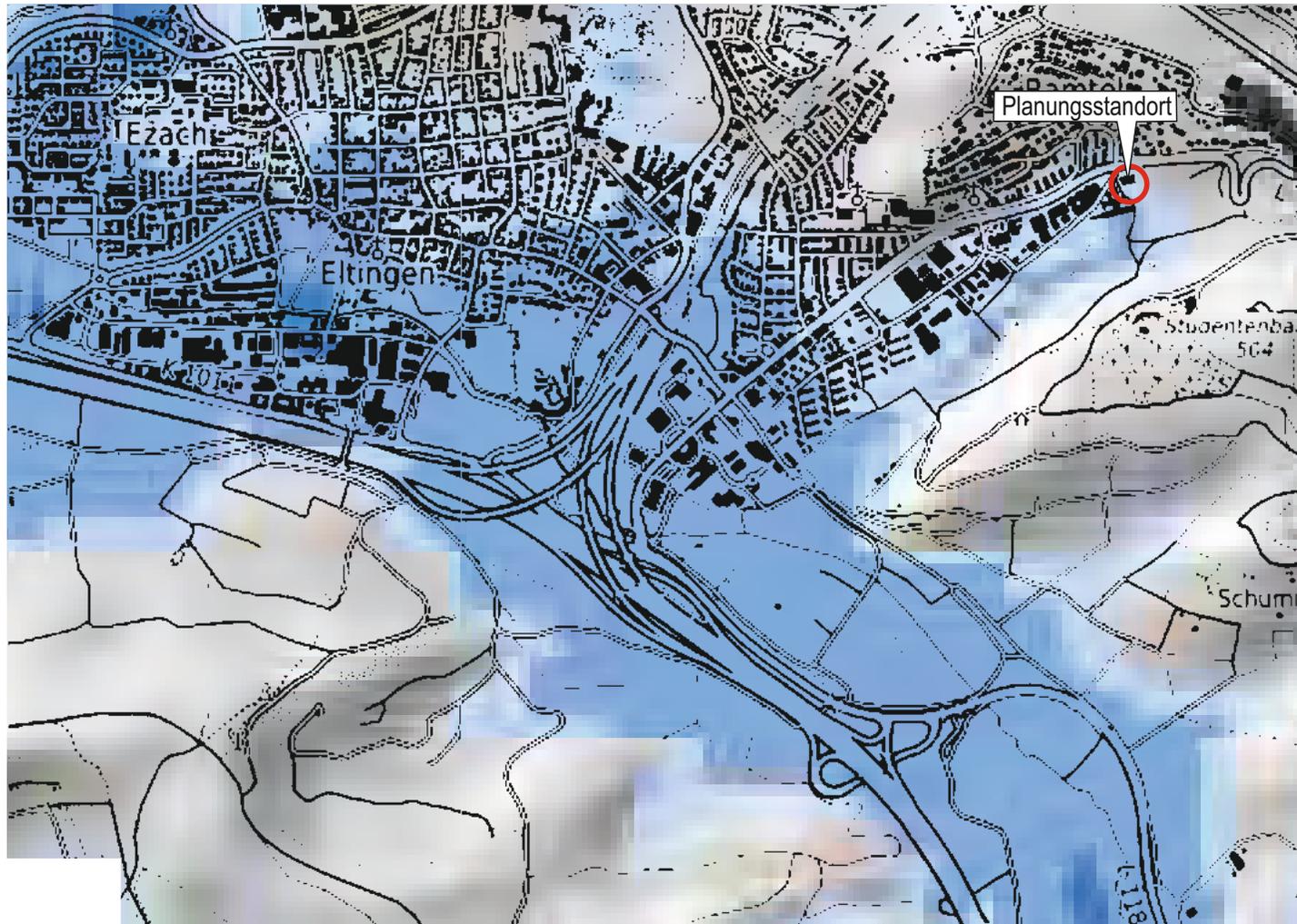


Abb. 12 Berechnete Kaltluftmächtigkeit in einer windstillen Strahlungsnacht, 1 Std. nach Beginn der Kaltluftbildung



Datenquelle:
Klimaatlas Region Stuttgart (2008)

Kaltluftschicht nach 1h

Schichtdicke in m

- < 10
- > 10 - 20
- > 20 - 40
- > 40 - 60
- > 60 - 100
- > 100 - 150
- > 150 - 300

Projekt:
Klimagutachten zum Bebauungsplan
„ATRIO“ in Leonberg

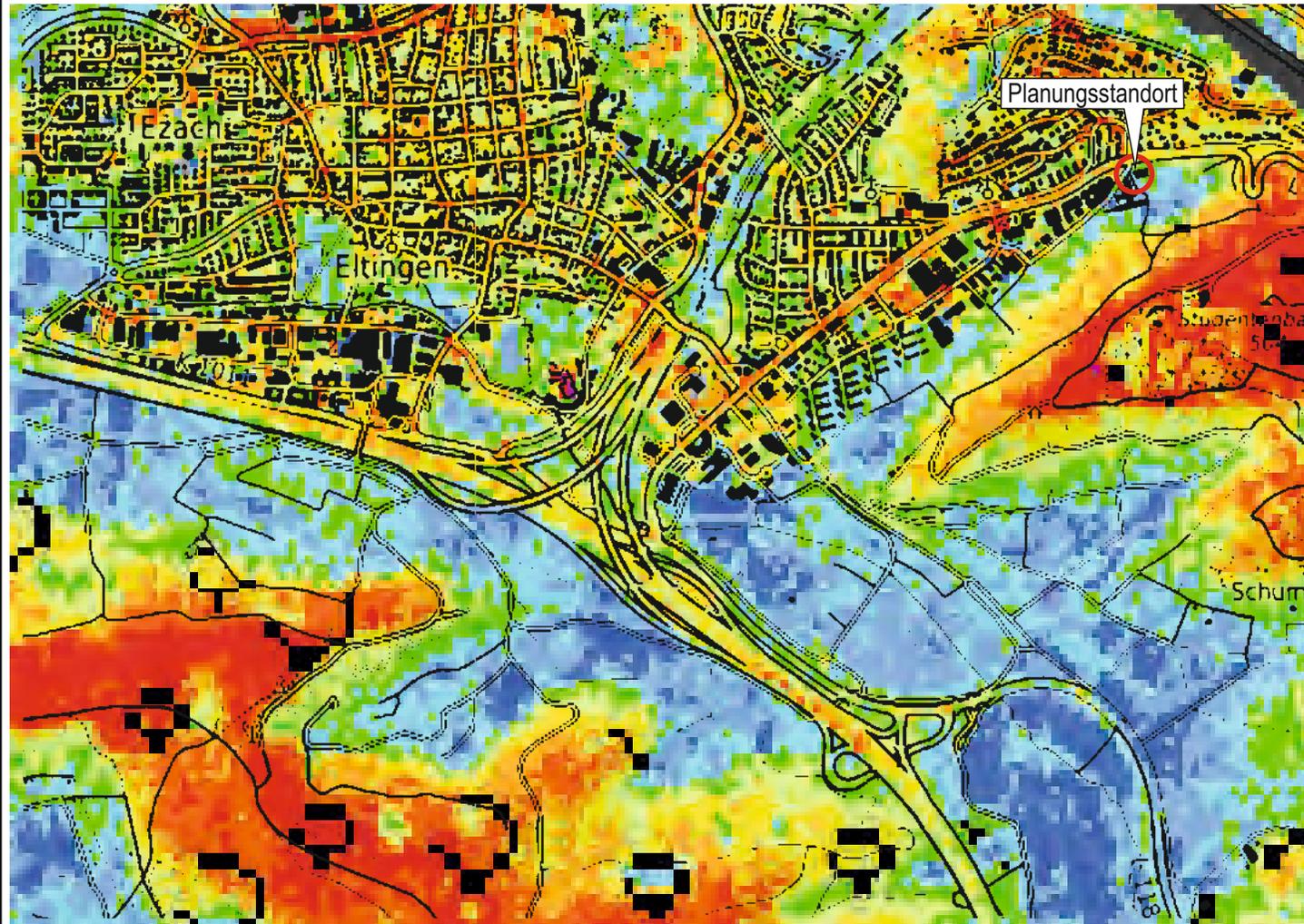


M.:
0 200 800 m

ÖKOPLANA

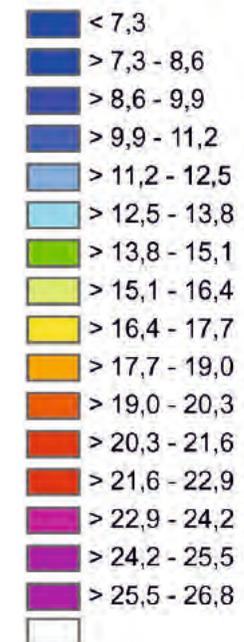
Abb. 13 Thermalbildaufnahme 29./30.08.2005, 20:24 - 00:56 Uhr

Datenquelle: Klimaatlas Region Stuttgart (2008)



Oberflächentemperaturen

°C



Projekt:

Klimagutachten zum Bebauungsplan
„ATRIO“ in Leonberg



M.:
0 200 800 m

ÖKOPLANA

Abb. 14 Modellgebiet mit Reliefsituation - numerische Kaltluftabflusssimulationen

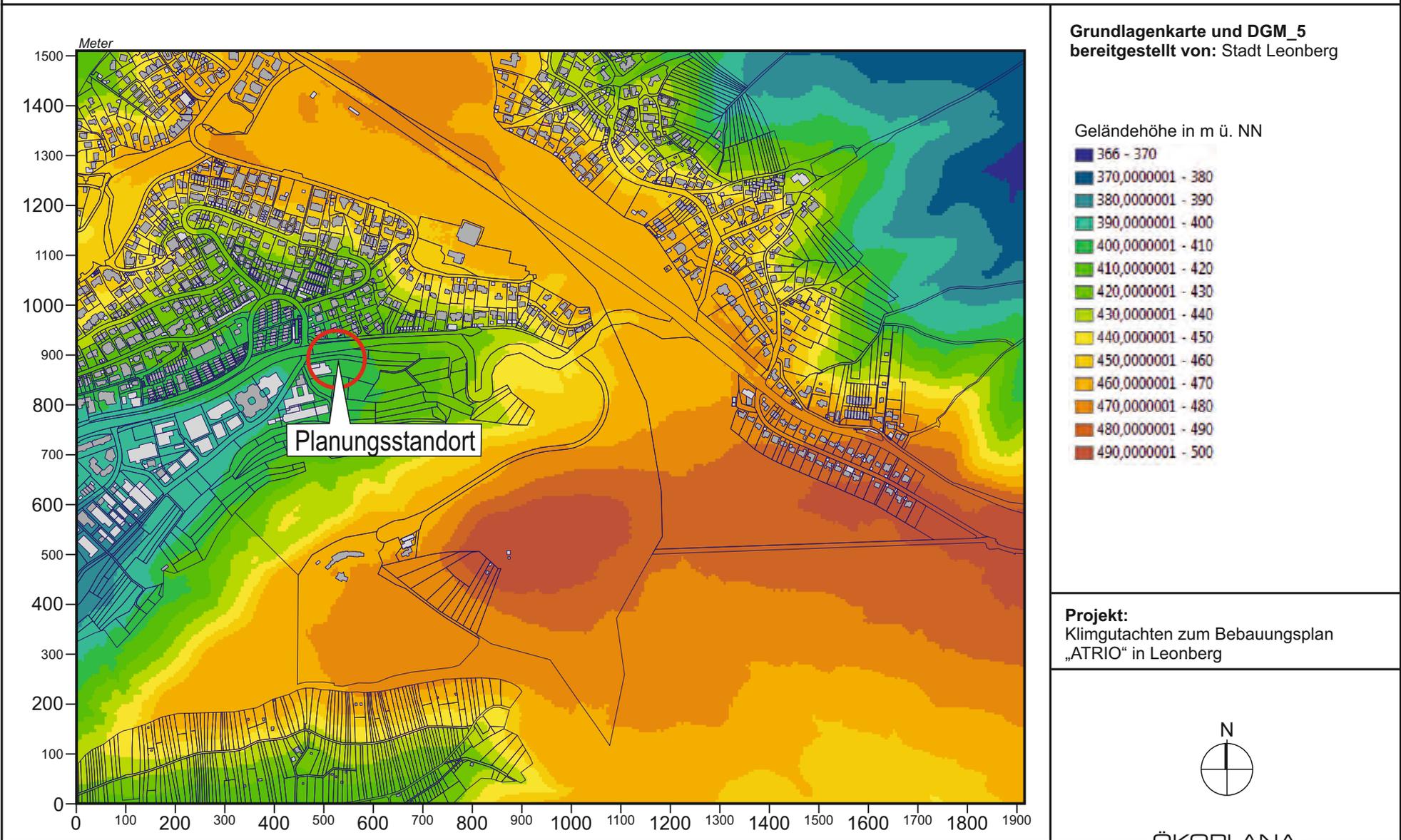
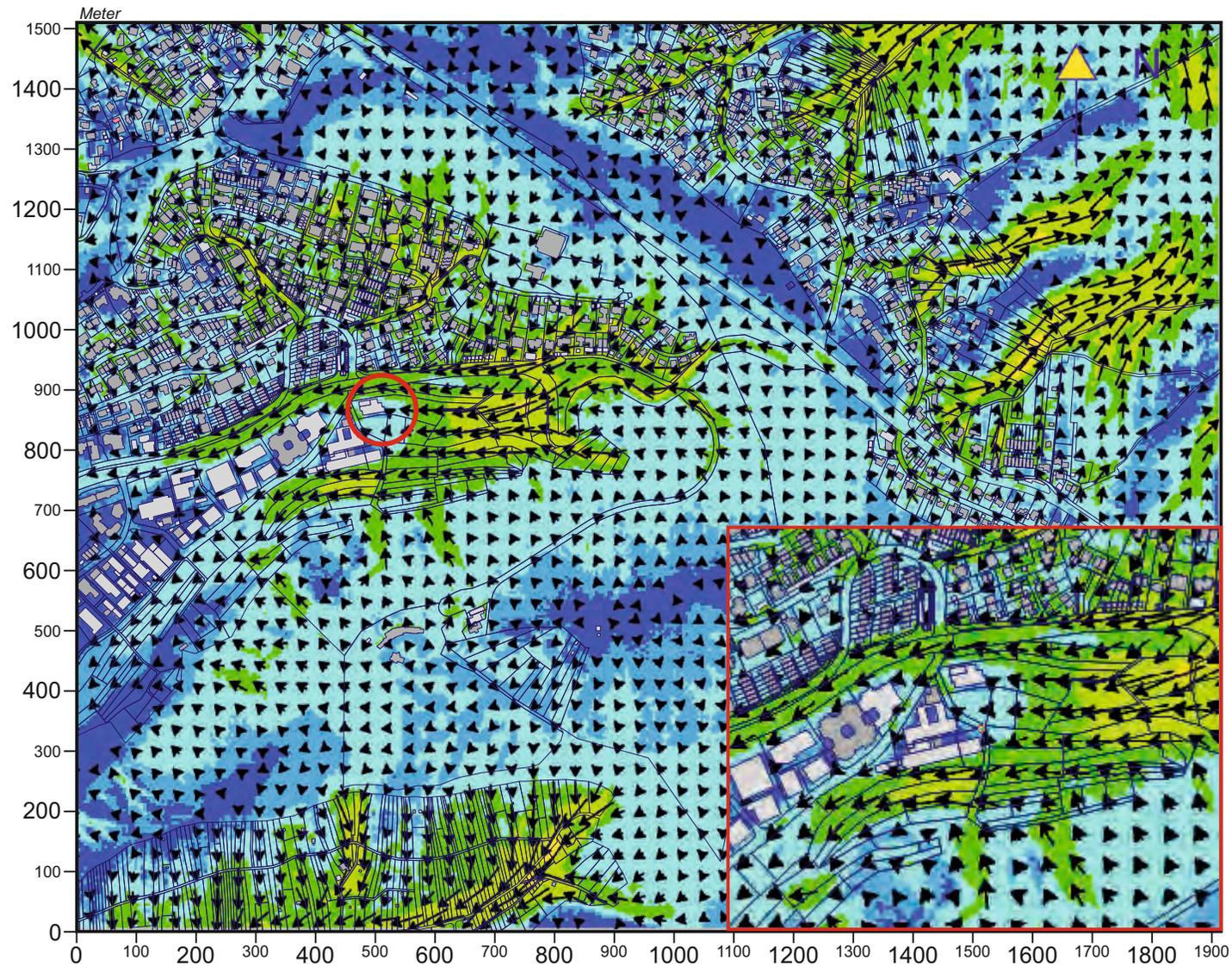


Abb. 15.1 Ist-Zustand - Ergebnisse numerischer Kaltluftabflusssimulationen - Kaltluftfließgeschwindigkeit (2 m ü.G.), 2 Std. nach einsetzender Kaltluftbildung



Karte bereitgestellt von:
Stadt Leonberg

Fließgeschwindigkeit in 2 m Höhe
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



Projekt:
Klimgutachten zum Bebauungsplan
„ATRIO“ in Leonberg



Abb. 15.2 Ist-Zustand - Ergebnisse numerischer Kaltluftabflusssimulationen - Kaltlufthöhe, 2 Std. nach einsetzender Kaltluftbildung

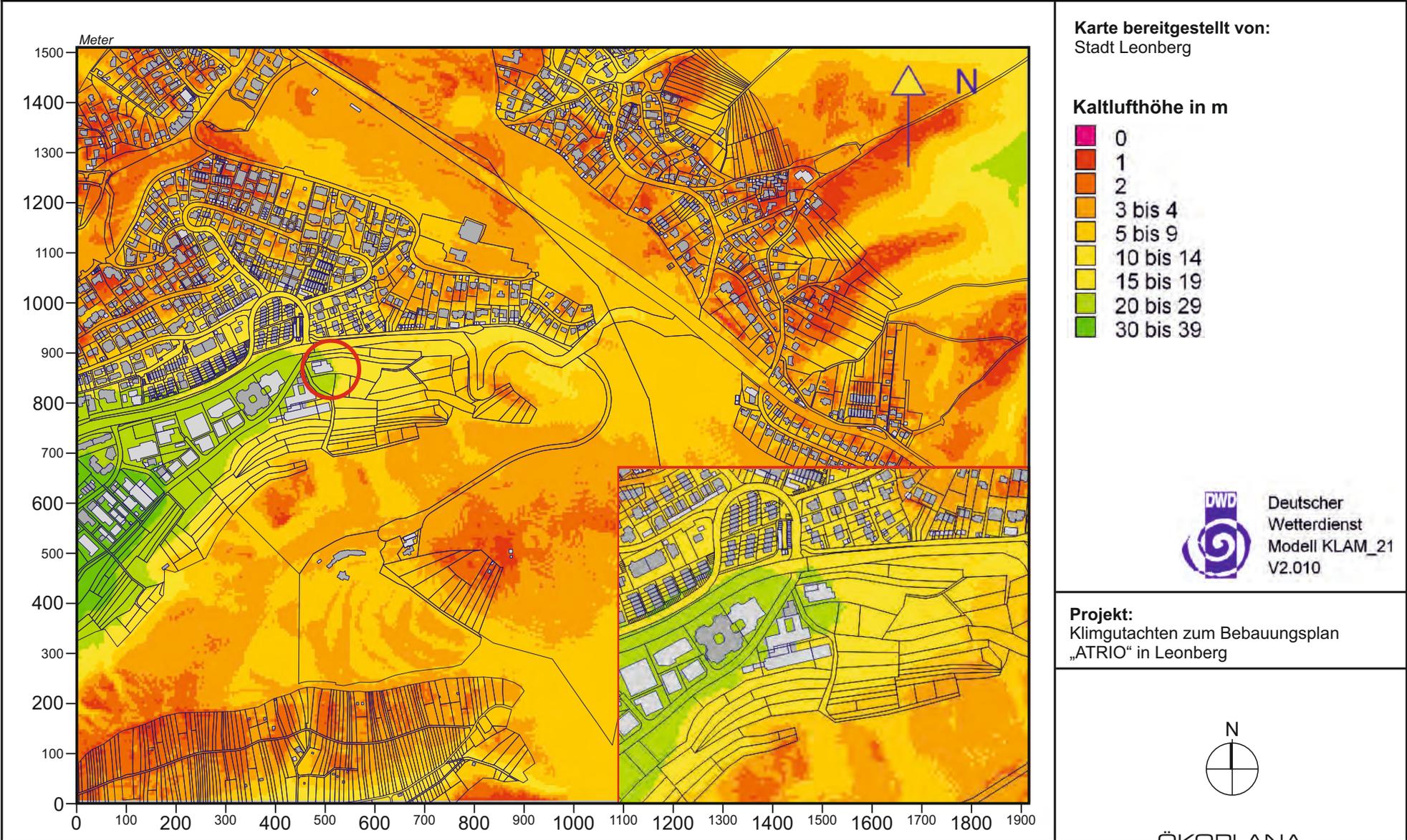


Abb. 15.3 Ist-Zustand - Ergebnisse numerischer Kaltluftabflusssimulationen - Kaltluftvolumenstromdichte, 2 Std. nach einsetzender Kaltluftbildung

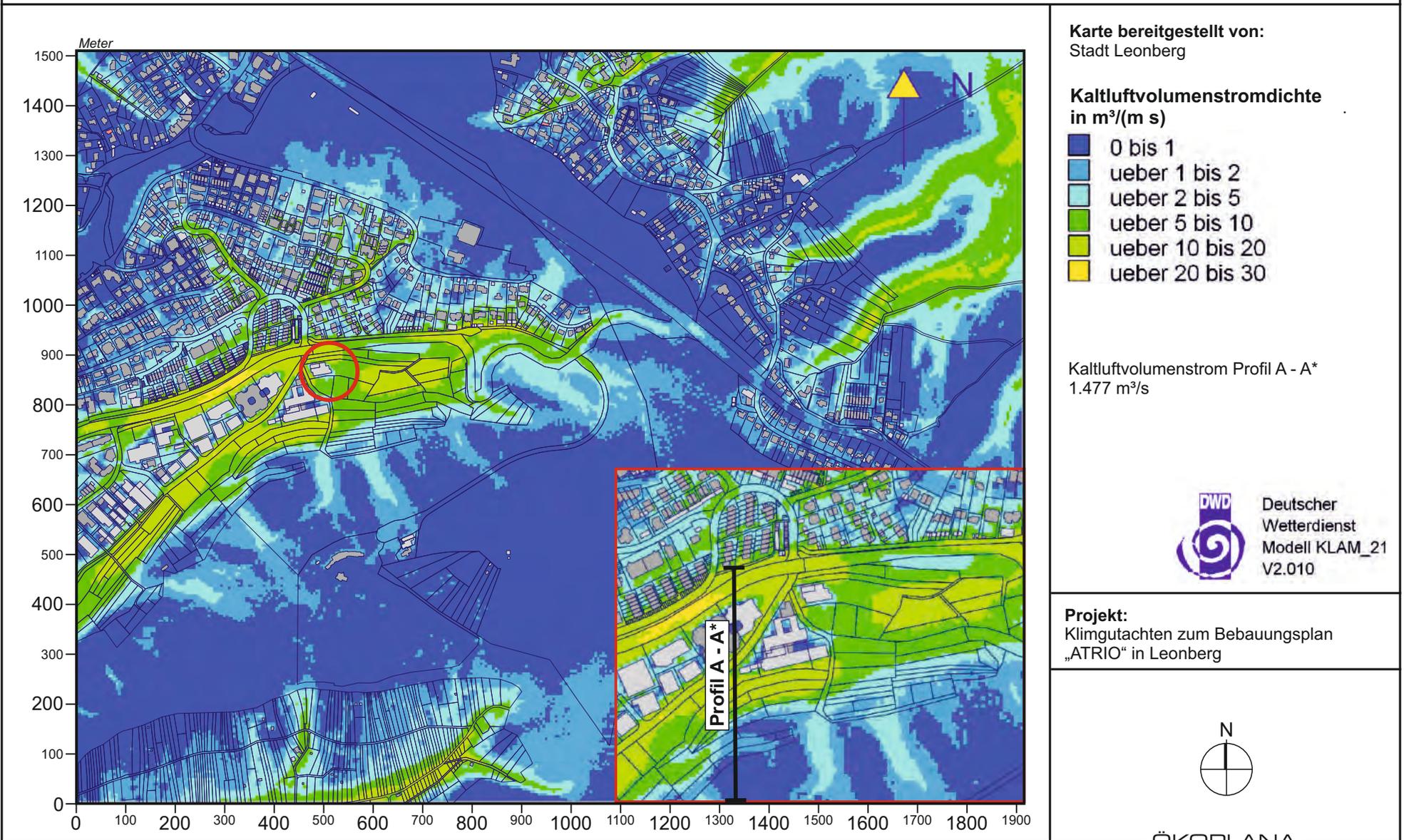


Abb. 16.1 Ist-Zustand - Ergebnisse numerischer Kaltluftabflusssimulationen - Kaltluftfließgeschwindigkeit (2 m ü.G.), 5 Std. nach einsetzender Kaltluftbildung

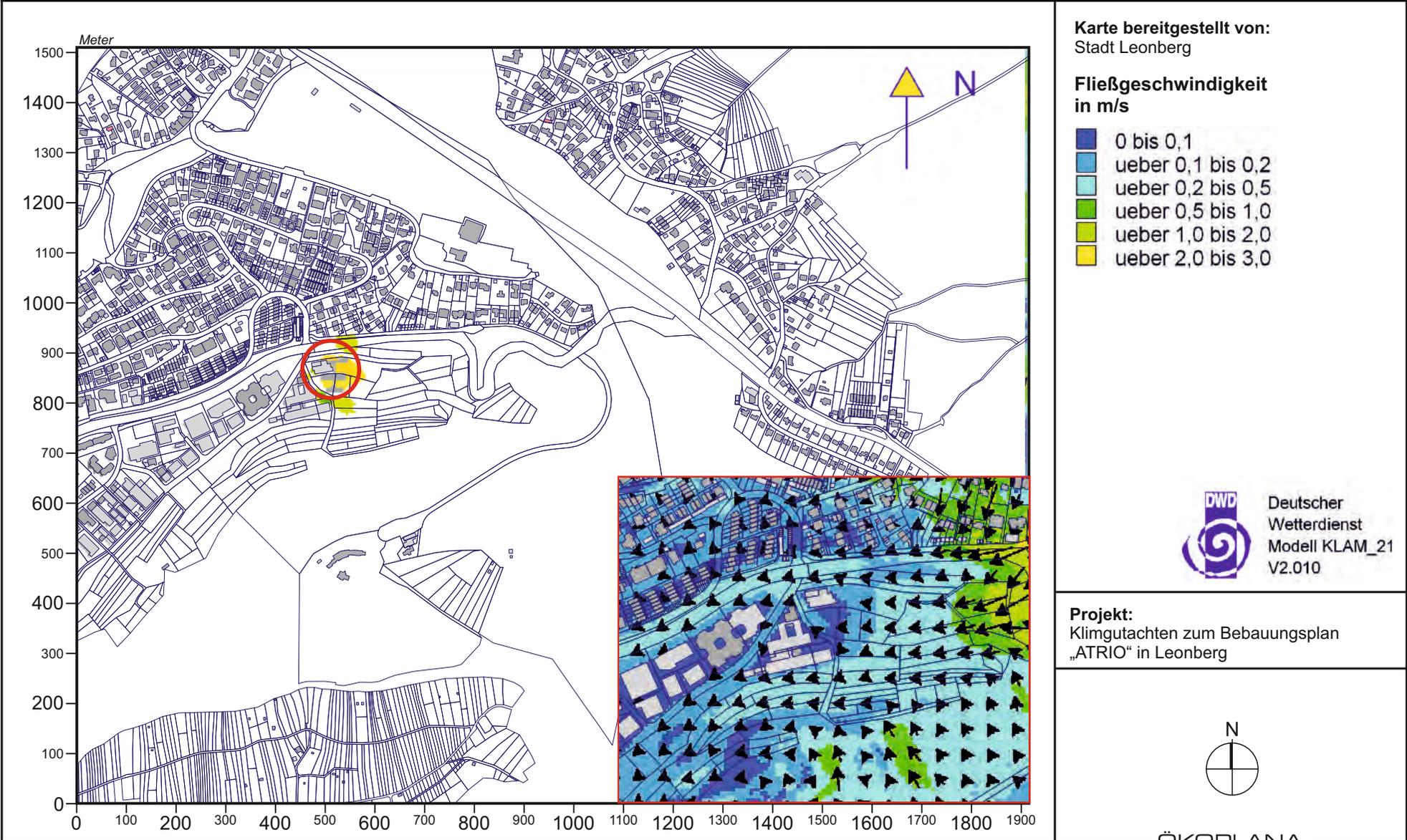
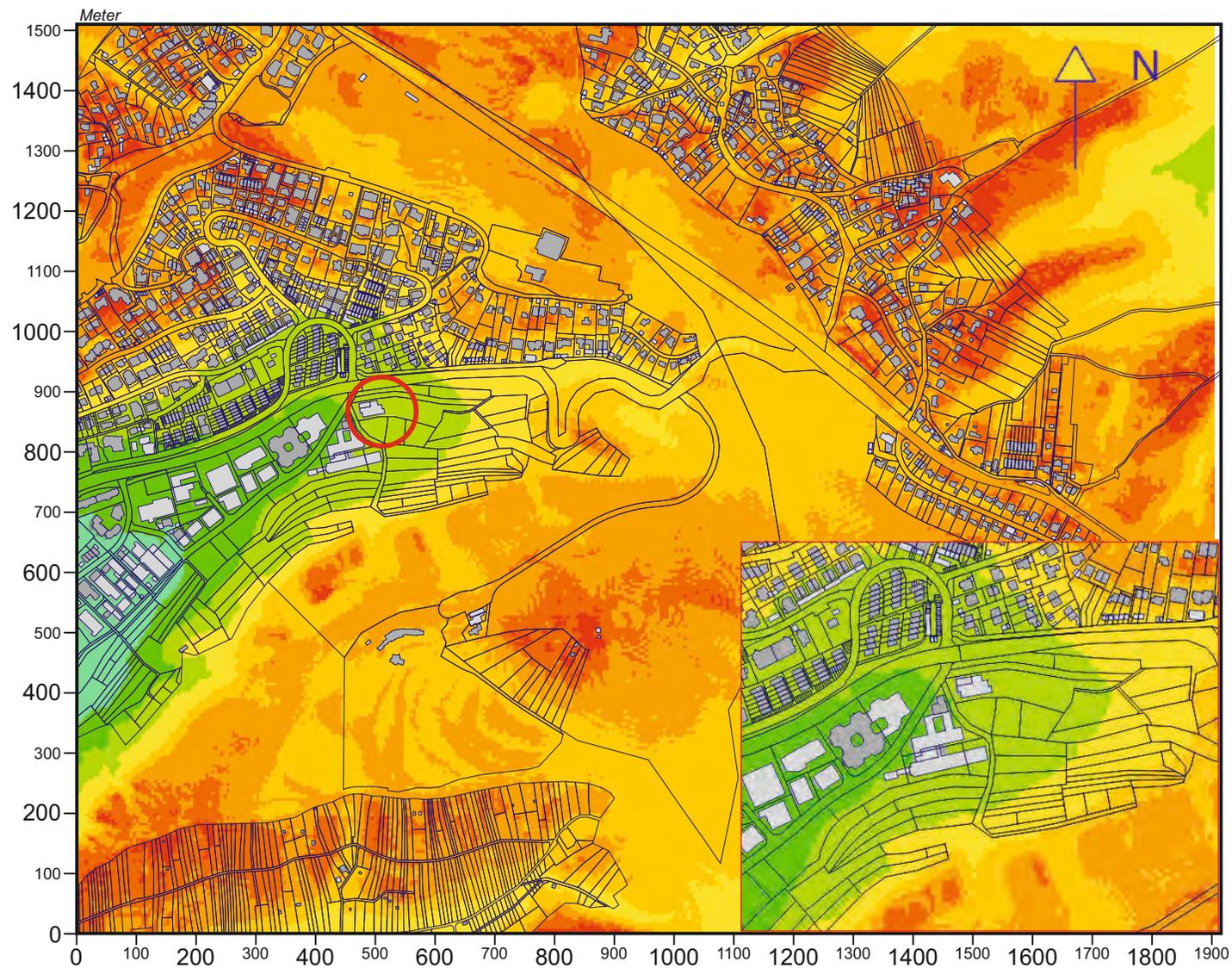
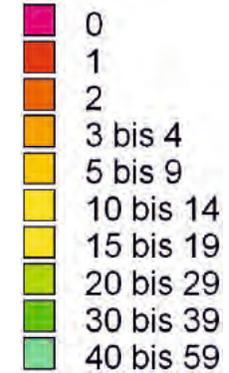


Abb. 16.2 Ist-Zustand - Ergebnisse numerischer Kaltluftabflusssimulationen - Kaltfluthöhe, 5 Std. nach einsetzender Kaltluftbildung



Karte bereitgestellt von:
Stadt Leonberg

Kaltfluthöhe in m



Projekt:
Klimgutachten zum Bebauungsplan
„ATRIO“ in Leonberg



Abb. 16.3 Ist-Zustand - Ergebnisse numerischer Kaltluftabflussimulationen - Kaltluftvolumenstromdichte, 5 Std. nach einsetzender Kaltluftbildung

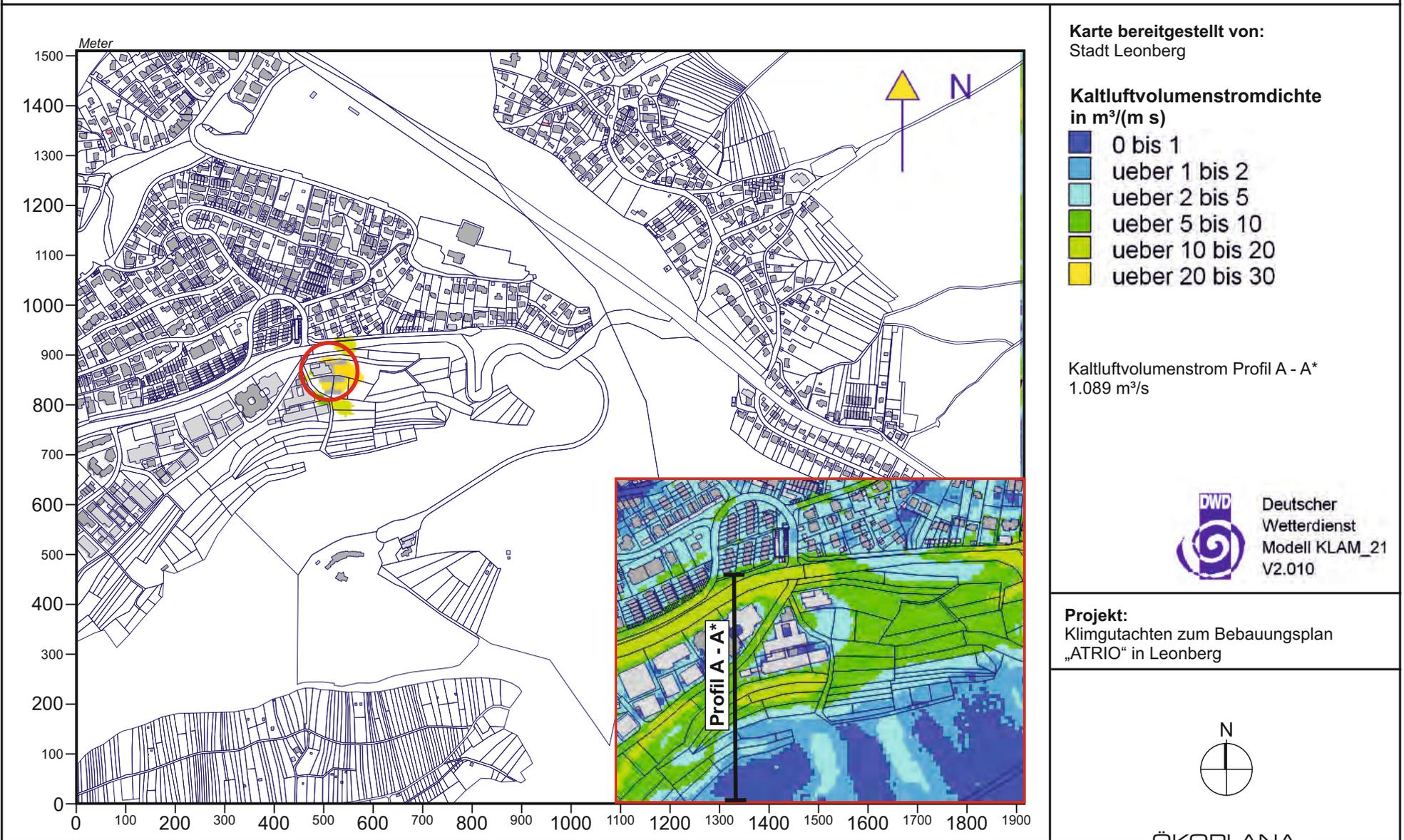


Abb. 17.1 Plan-Zustand - Ergebnisse numerischer Kaltluftabflusssimulationen - Kaltluftfließgeschwindigkeit (2 m ü.G.), 2 Std. nach einsetzender Kaltluftbildung

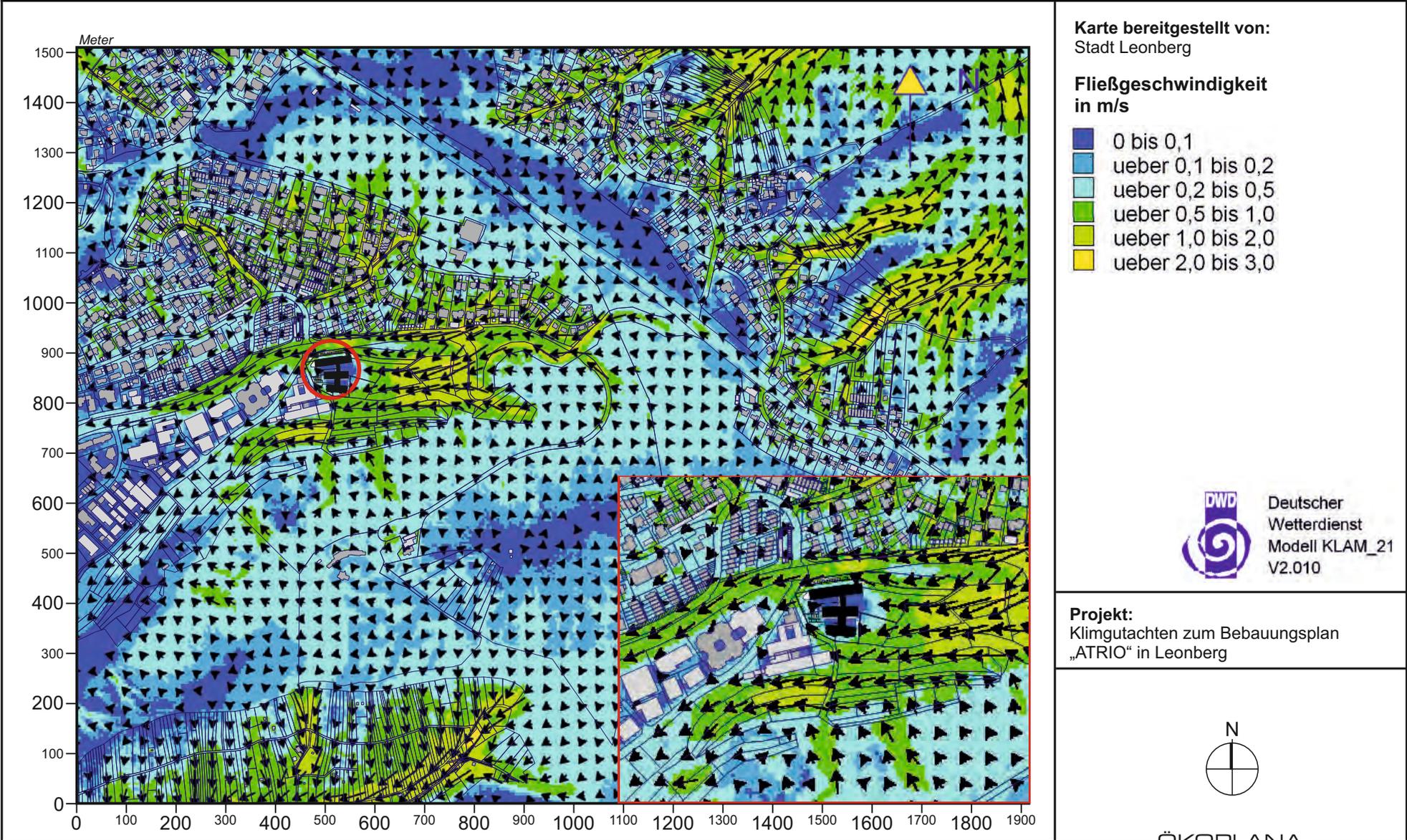
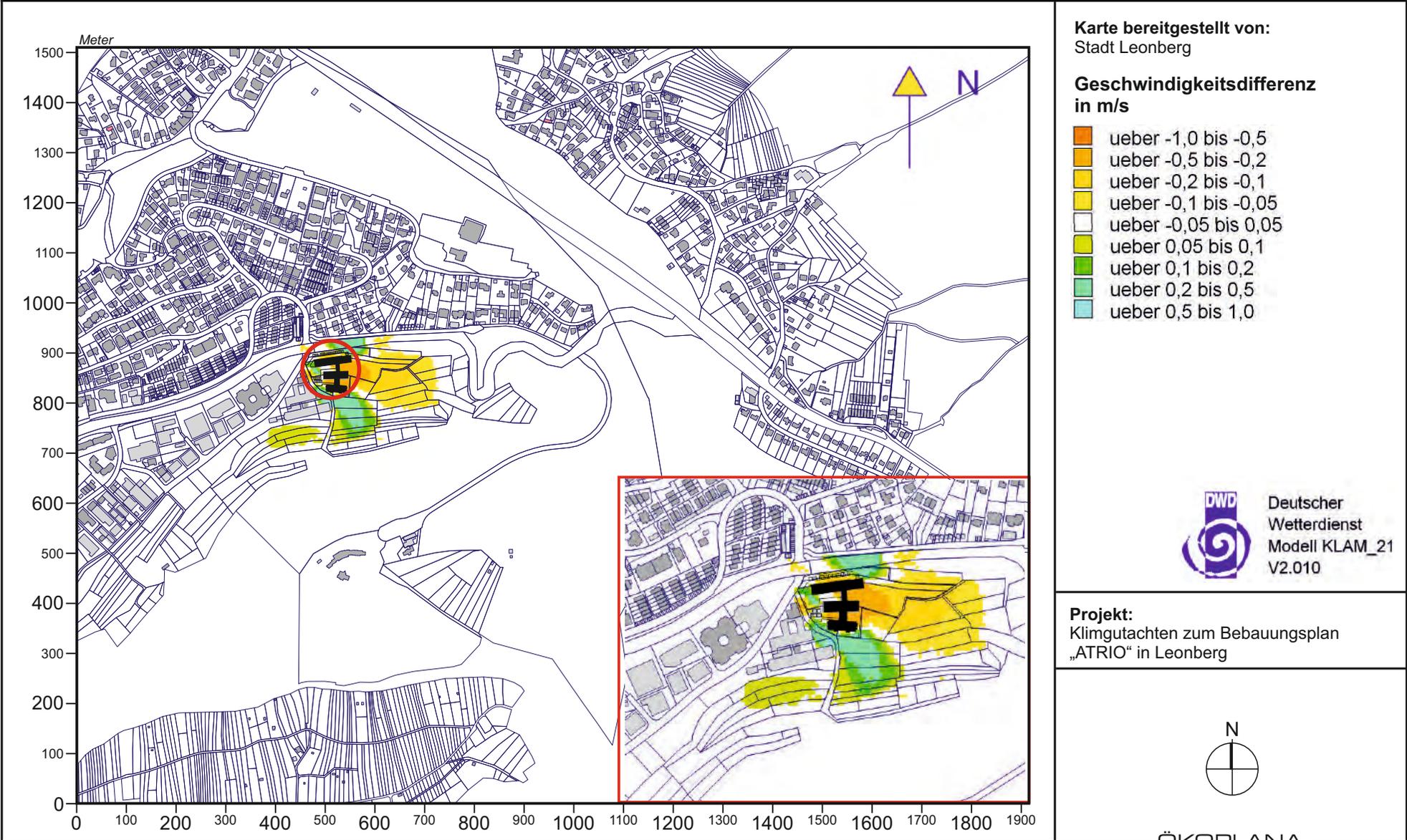


Abb. 17.2 Vorher-Nachher-Vergleich - Ergebnisse numerischer Kaltluftabflusssimulationen - Veränderung der Kaltluftfließgeschwindigkeit (2 m ü.G.) durch den Plan-Zustand, 2 Std. nach einsetzender Kaltluftbildung



**Abb. 17.3 Vorher-Nachher-Vergleich - Ergebnisse numerischer Kaltluftabflusssimulationen -
Veränderung der Kaltluftvolumenstromdichte durch den Plan-Zustand, 2 Std. nach einsetzender Kaltluftbildung**

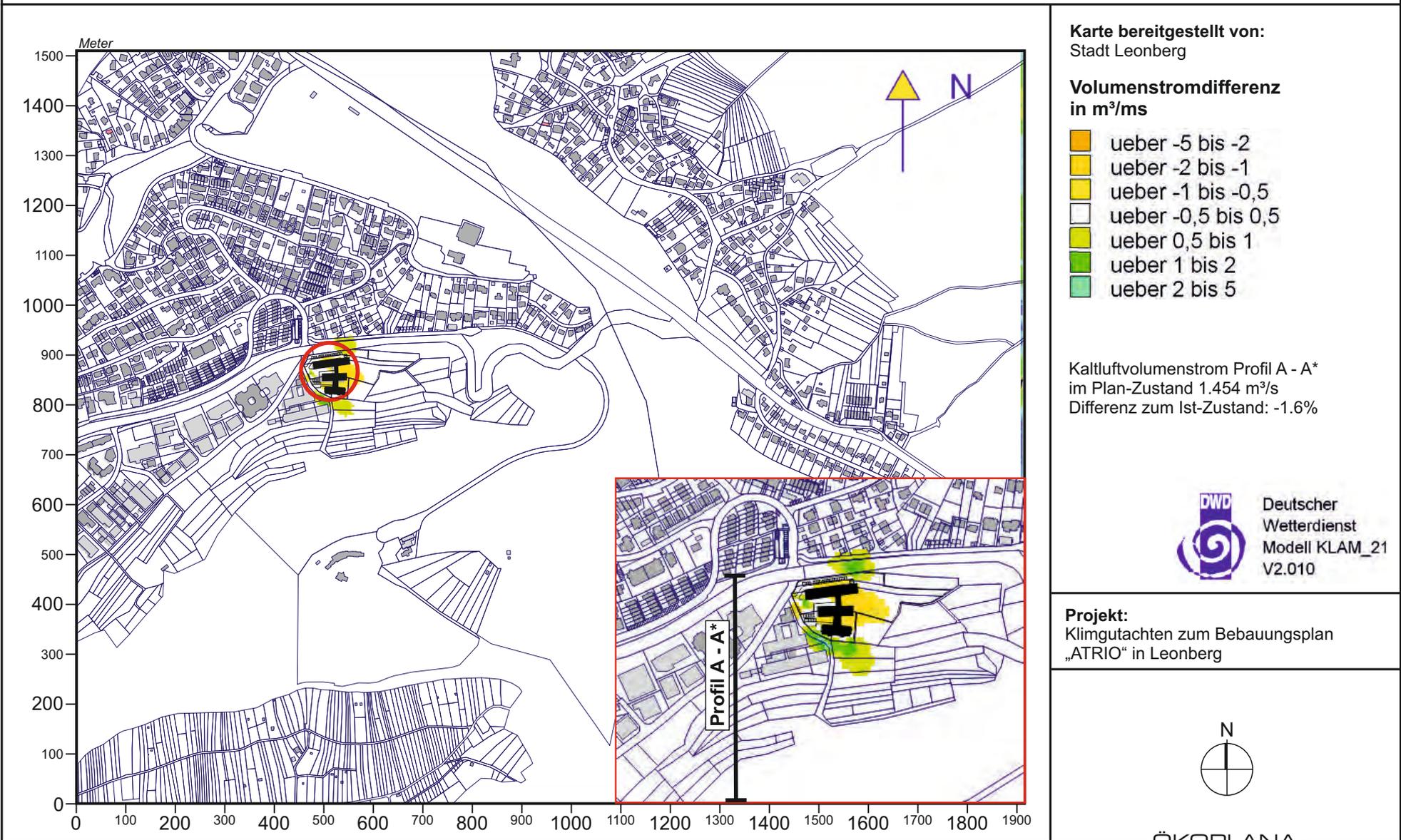


Abb. 18.1 Plan-Zustand - Ergebnisse numerischer Kaltluftabflusssimulationen - Kaltluftfließgeschwindigkeit (2 m ü.G.), 5 Std. nach einsetzender Kaltluftbildung

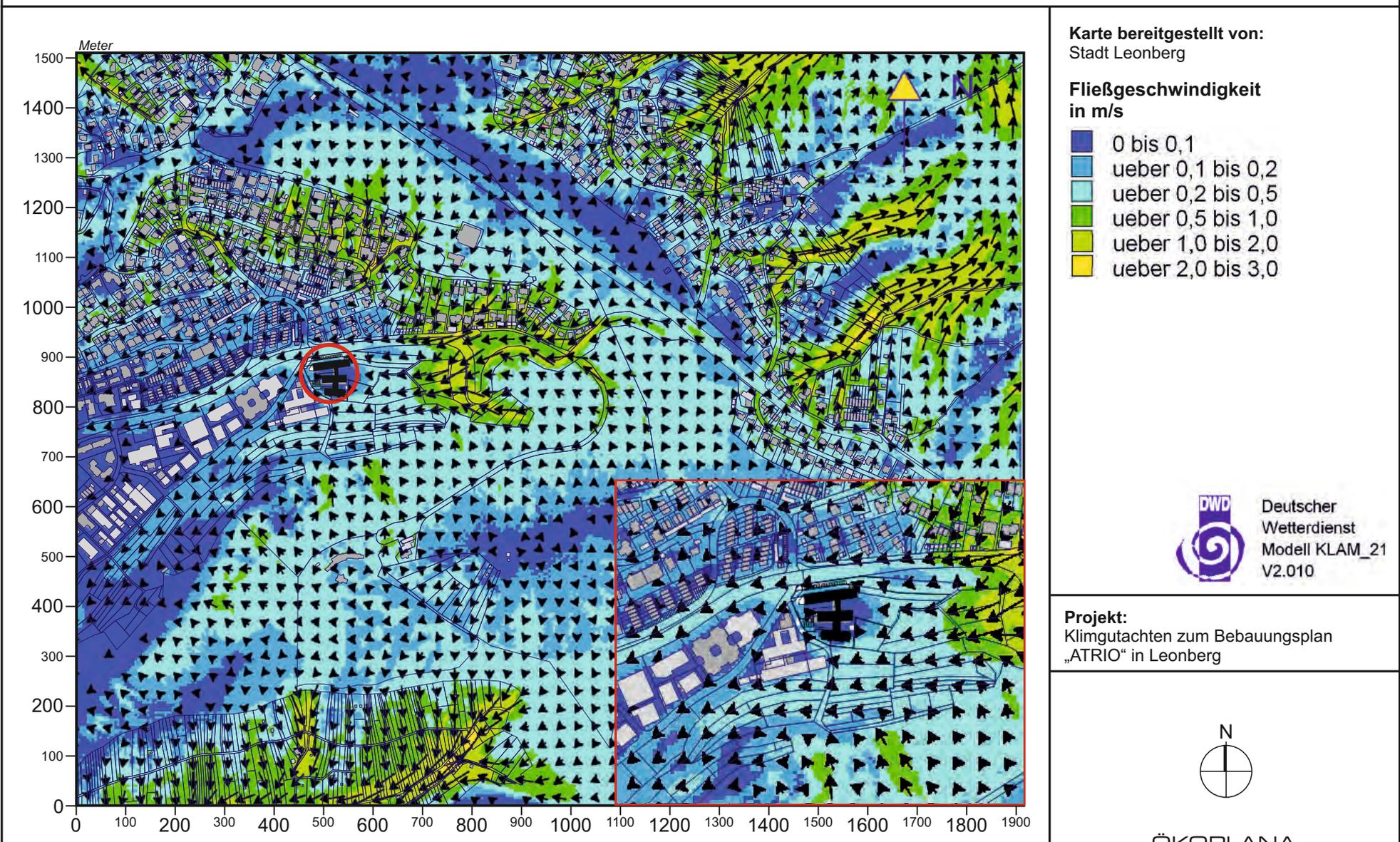
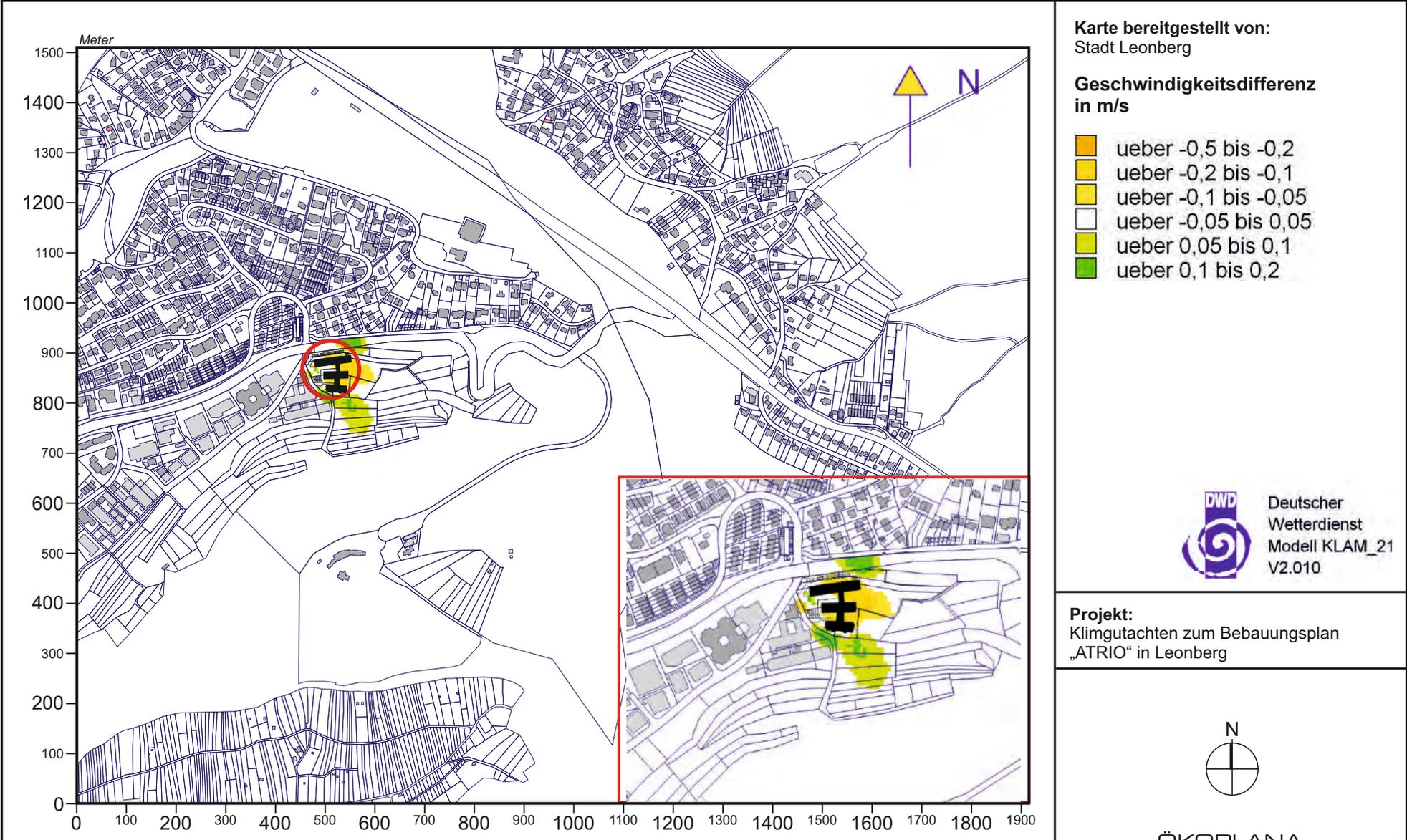
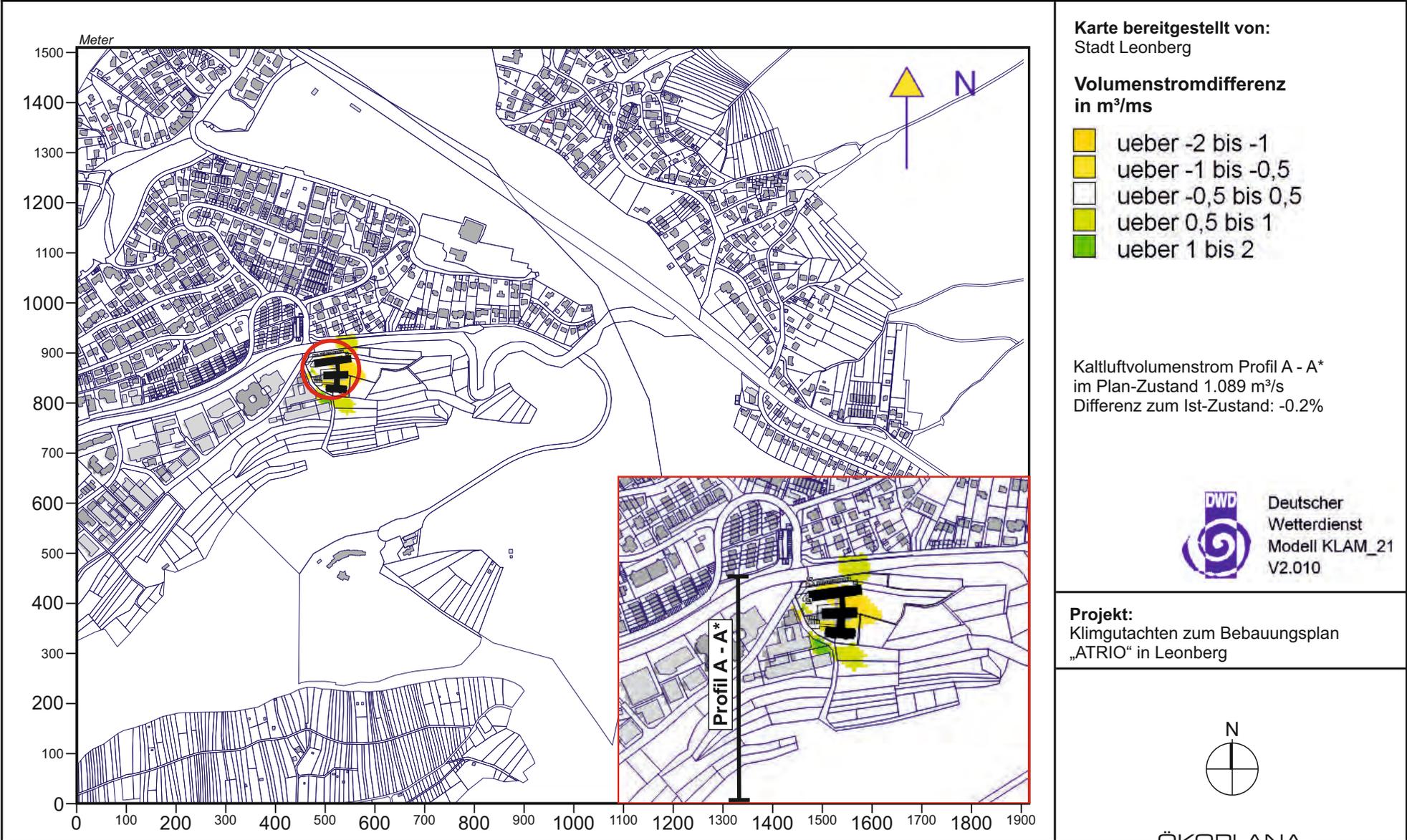


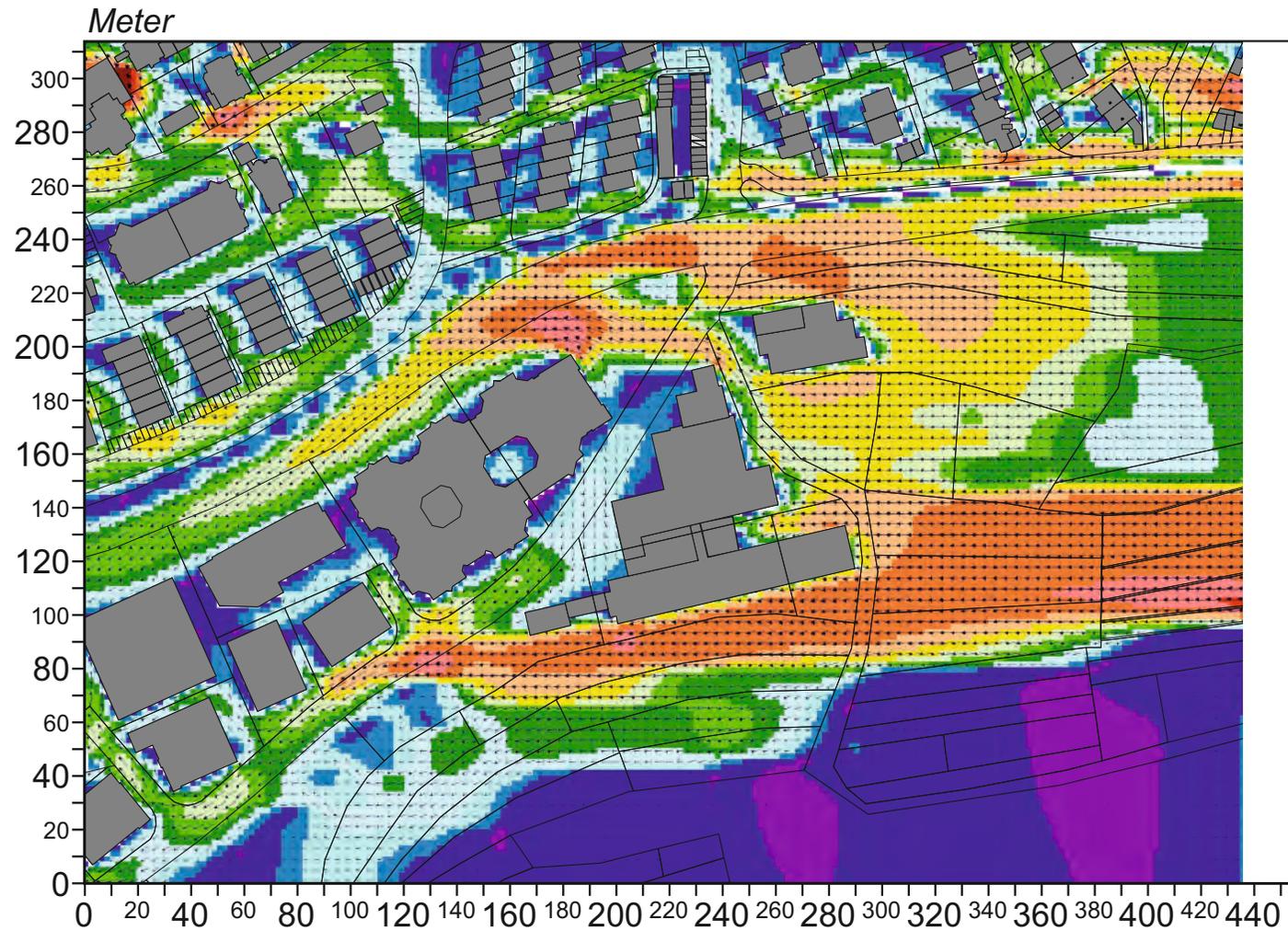
Abb. 18.2 Vorher-Nachher-Vergleich - Ergebnisse numerischer Kaltluftabflusssimulationen - Veränderung der Kaltluftfließgeschwindigkeit (2 m ü.G.) durch den Plan-Zustand, 5 Std. nach einsetzender Kaltluftbildung



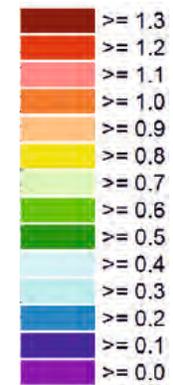
**Abb. 18.3 Vorher-Nachher-Vergleich - Ergebnisse numerischer Kaltluftabflusssimulationen -
Veränderung der Kaltluftvolumenstromdichte durch den Plan-Zustand, 5 Std. nach einsetzender Kaltluftbildung**



**Abb. 19.1 Ist-Zustand - Ergebnisse numerischer Strömungssimulationen 2 m ü.G.
Windanströmung aus Osten (90°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.**



Windgeschwindigkeit
in m/s



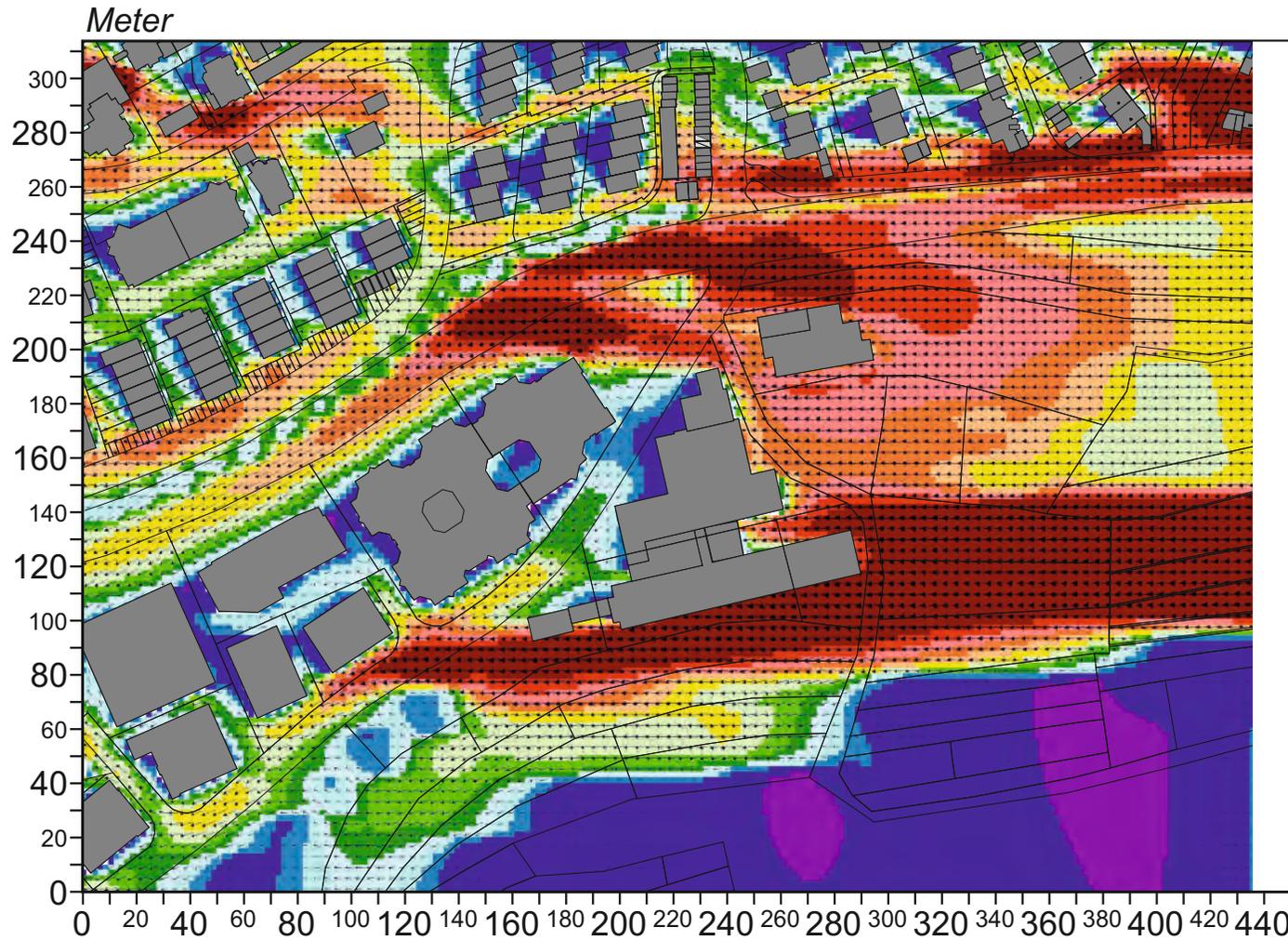
← Anströmungsrichtung

Projekt:
Klimgutachten zum Bebauungsplan
„ATRIO“ in Leonberg

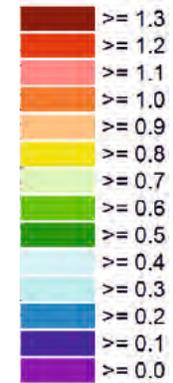


ÖKOPLANA

**Abb. 19.2 Ist-Zustand - Ergebnisse numerischer Strömungssimulationen 5 m ü.G.
Windanströmung aus Osten (90°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.**



Windgeschwindigkeit
in m/s

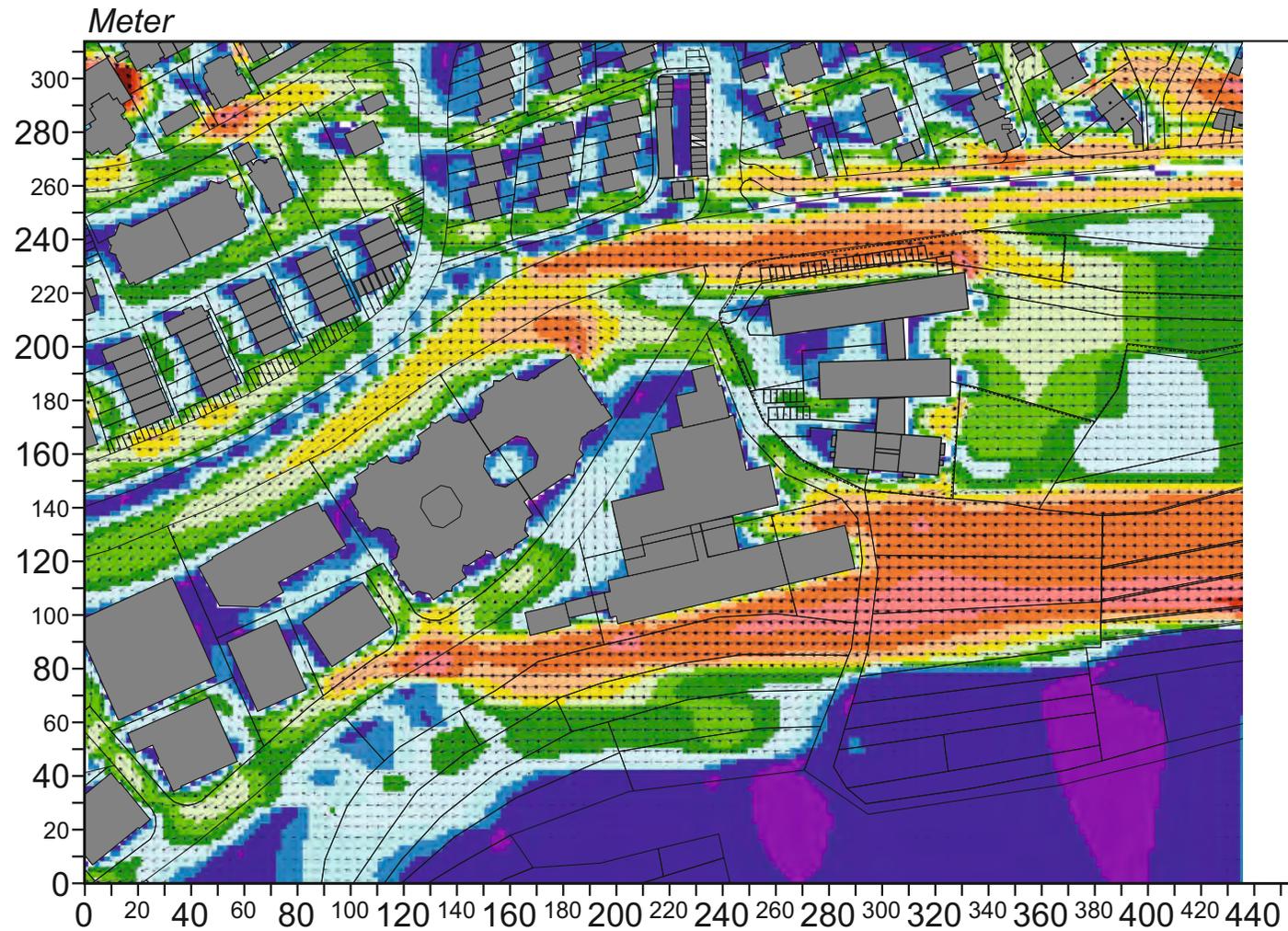


← Anströmungsrichtung

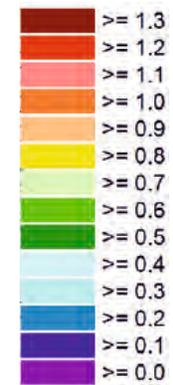
Projekt:
Klimgutachten zum Bebauungsplan
„ATRIO“ in Leonberg



**Abb. 20.1 Plan-Zustand - Ergebnisse numerischer Strömungssimulationen 2 m ü.G.
Windanströmung aus Osten (90°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.**



Windgeschwindigkeit
in m/s

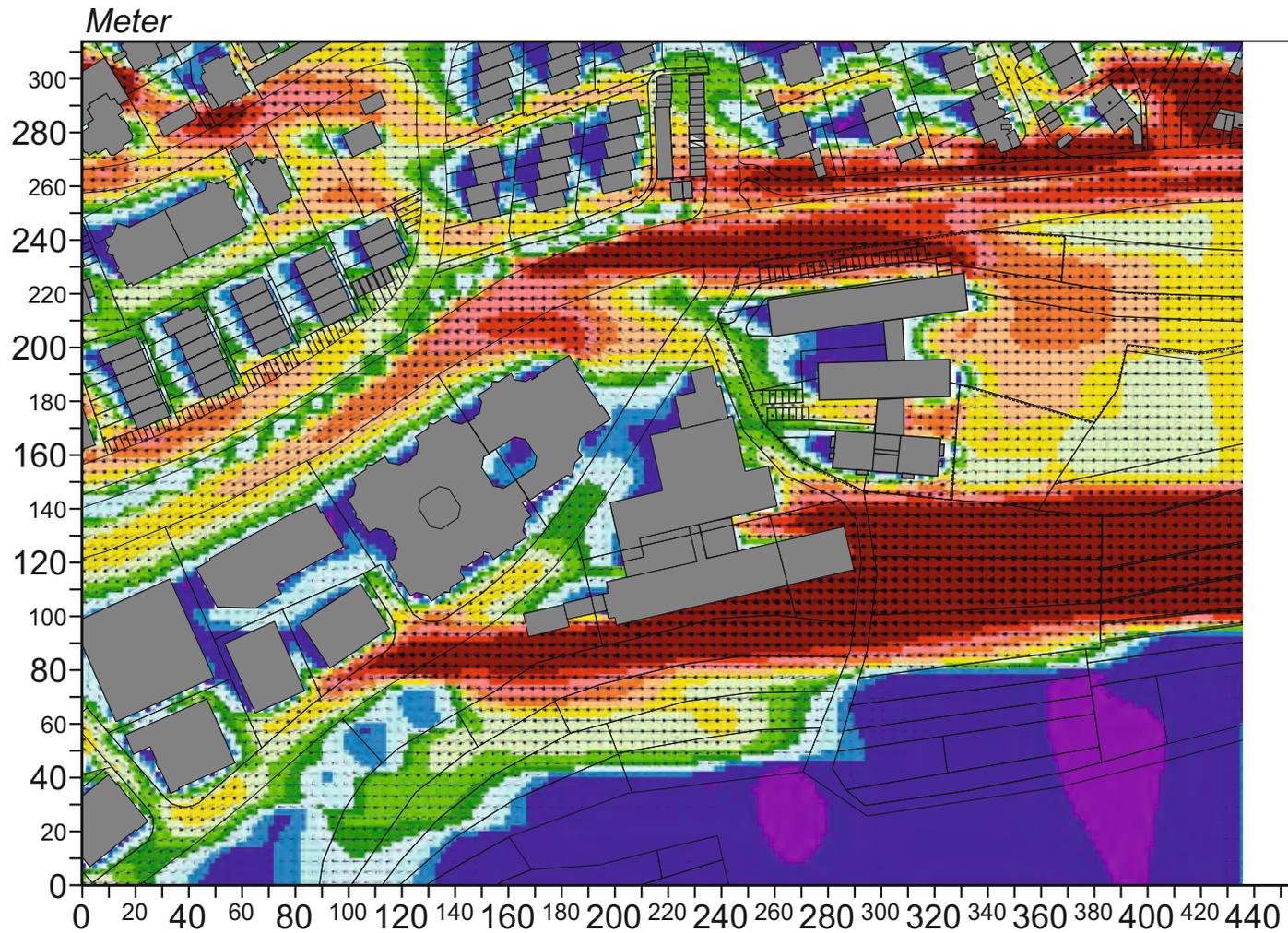


← Anströmungsrichtung

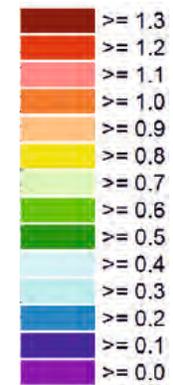
Projekt:
Klimgutachten zum Bebauungsplan
„ATRIO“ in Leonberg



**Abb. 20.2 Plan-Zustand - Ergebnisse numerischer Strömungssimulationen 5 m ü.G.
Windanströmung aus Osten (90°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.**



Windgeschwindigkeit
in m/s

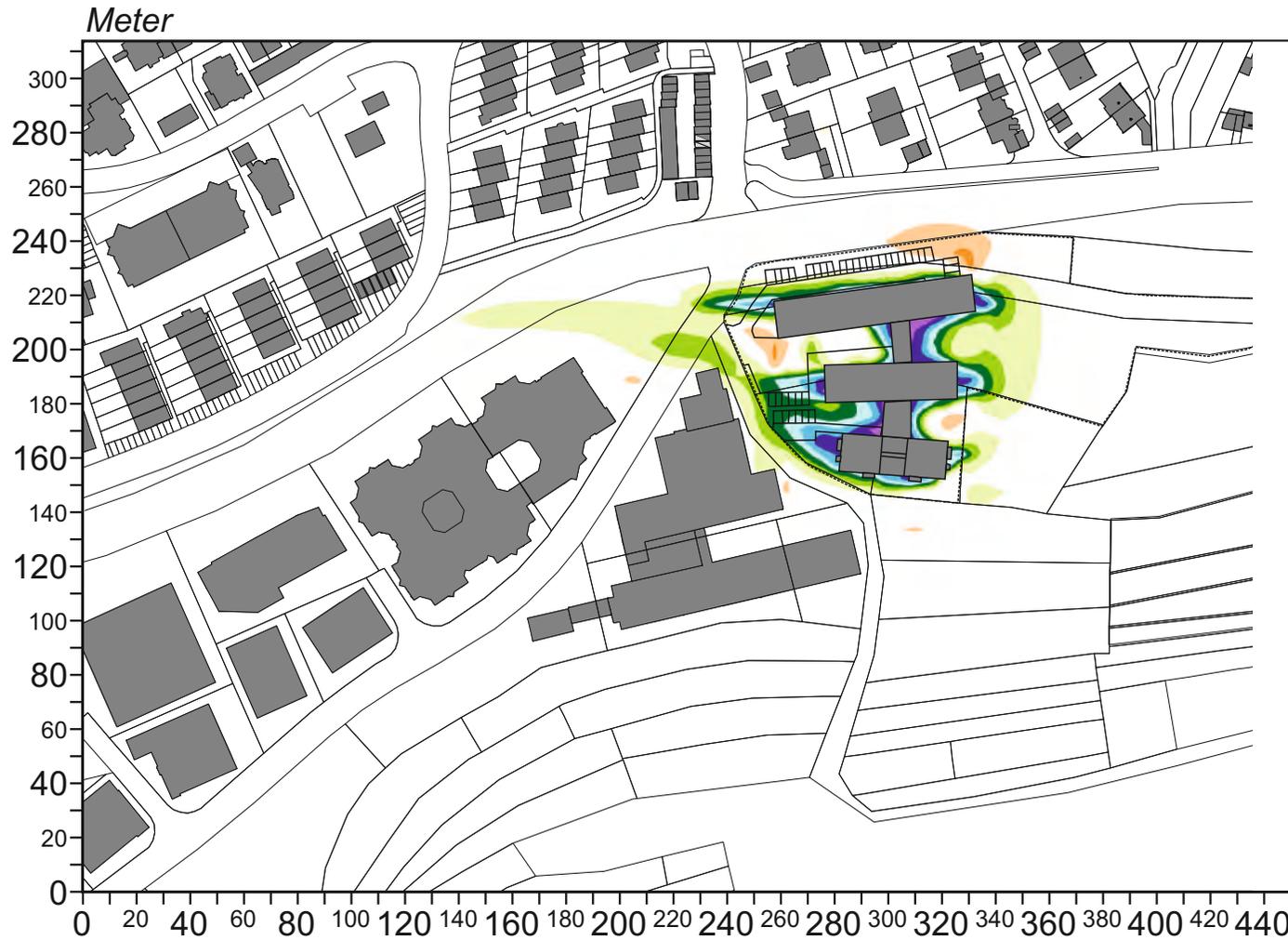


← Anströmungsrichtung

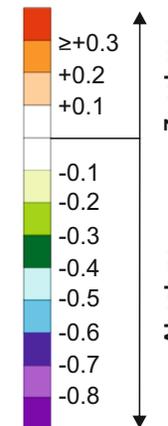
Projekt:
Klimgutachten zum Bebauungsplan
„ATRIO“ in Leonberg



**Abb. 21.1 Vorher-Nachher-Vergleich - Ergebnisse numerischer Strömungssimulationen 2 m ü.G.
 Zu- bzw. Abnahme der Windgeschwindigkeit durch den Plan-Zustand.
 Windanströmung aus Osten (90°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.**



Veränderung der
Windgeschwindigkeit
in m/s



Zunahme

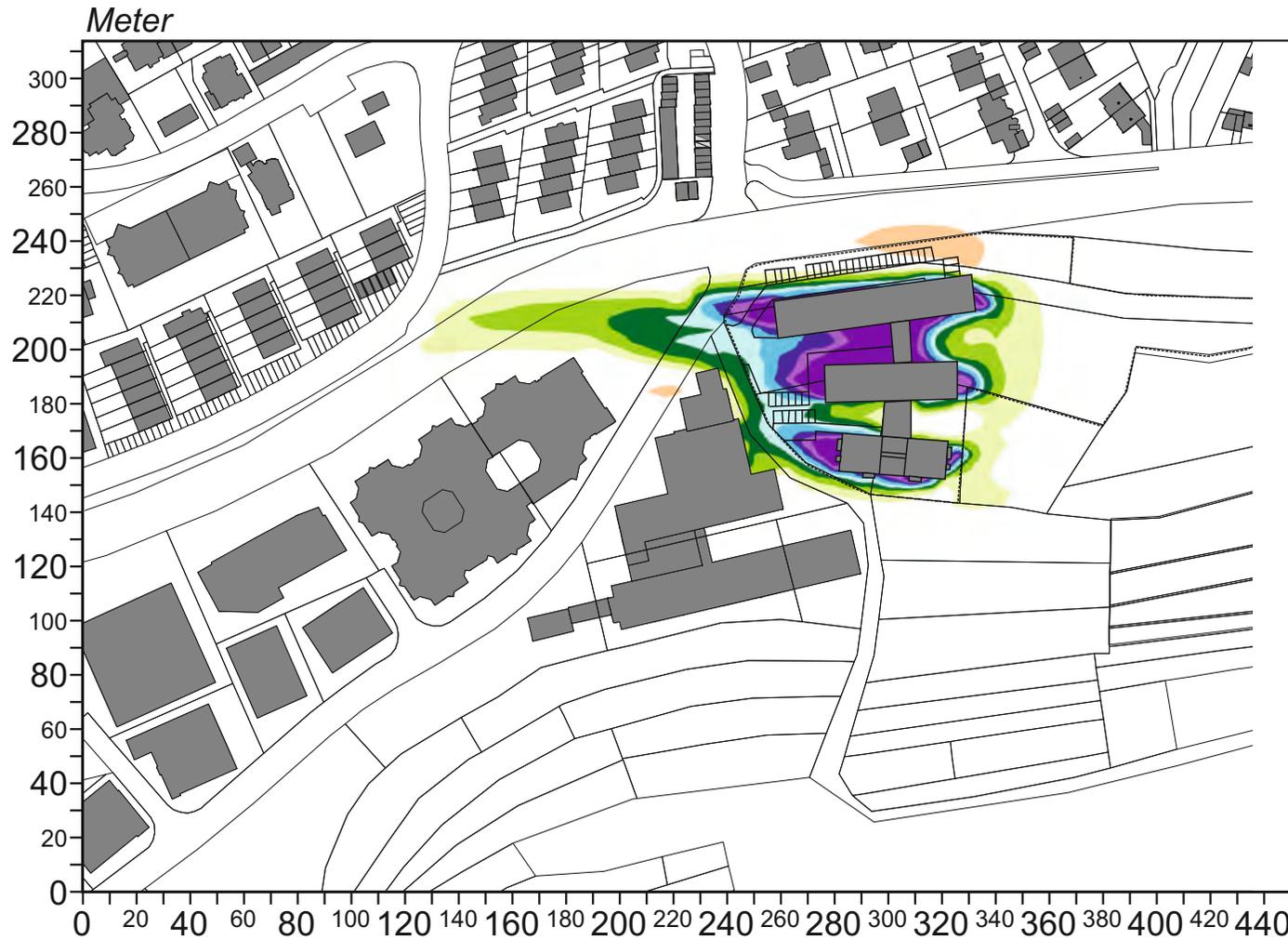
Abnahme

← Anströmungsrichtung

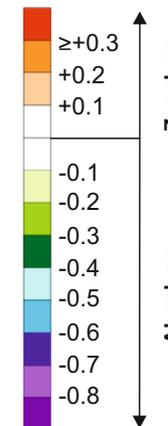
Projekt:
Klimgutachten zum Bebauungsplan
„ATRIO“ in Leonberg



**Abb. 21.2 Vorher-Nachher-Vergleich - Ergebnisse numerischer Strömungssimulationen 5 m ü.G.
 Zu- bzw. Abnahme der Windgeschwindigkeit durch den Plan-Zustand.
 Windanströmung aus Osten (90°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.**



Veränderung der
Windgeschwindigkeit
in m/s



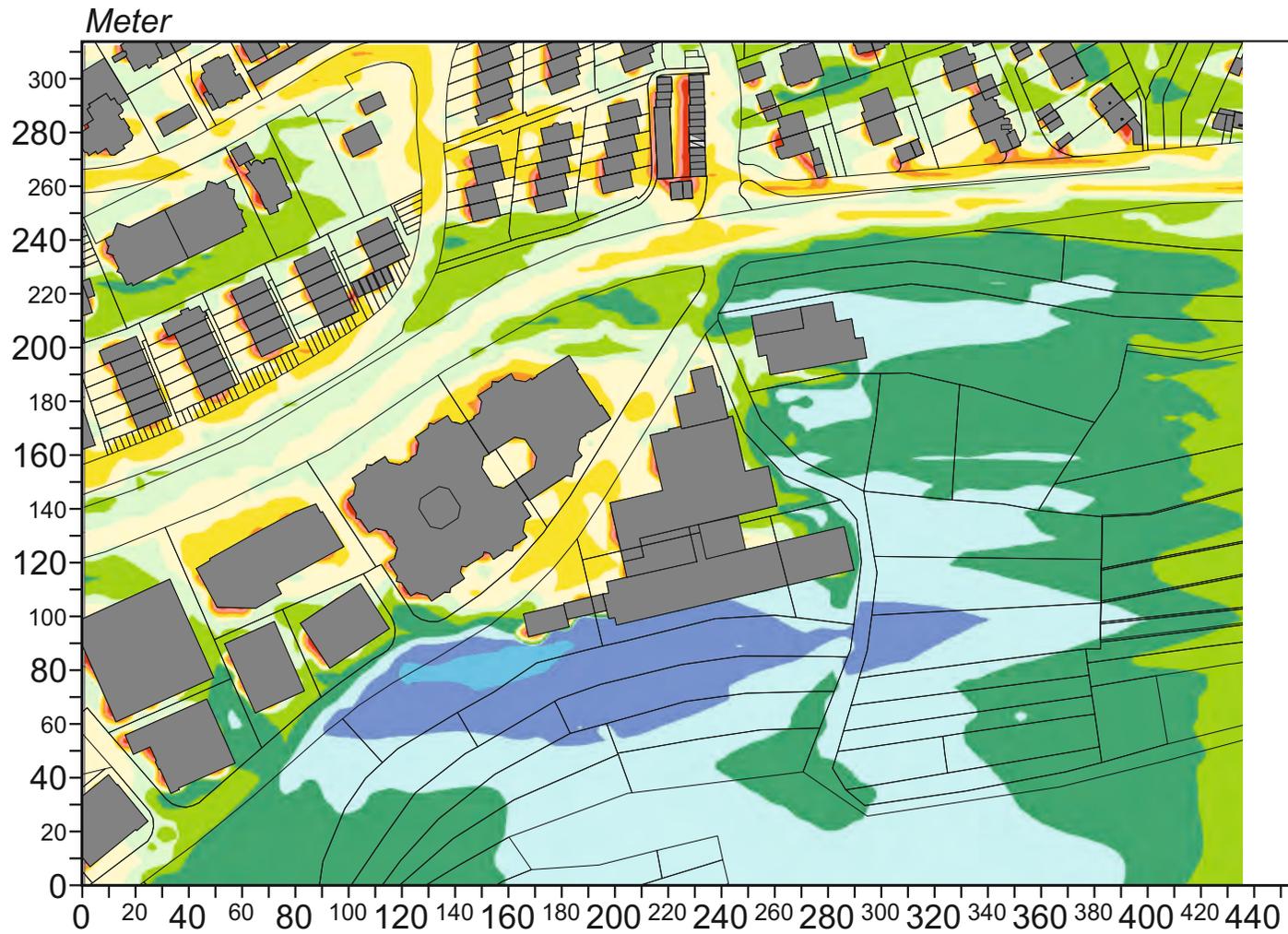
Zunahme
Abnahme

← Anströmungsrichtung

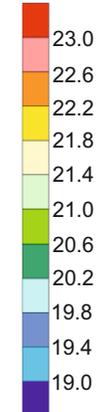
Projekt:
Klimgutachten zum Bebauungsplan
„ATRIO“ in Leonberg



**Abb. 22 Ist-Zustand - Ergebnisse numerischer Lufttemperatursimulationen 2 m ü.G.
Windanströmung aus Osten (90°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.**



**Lufttemperatur
in °C**

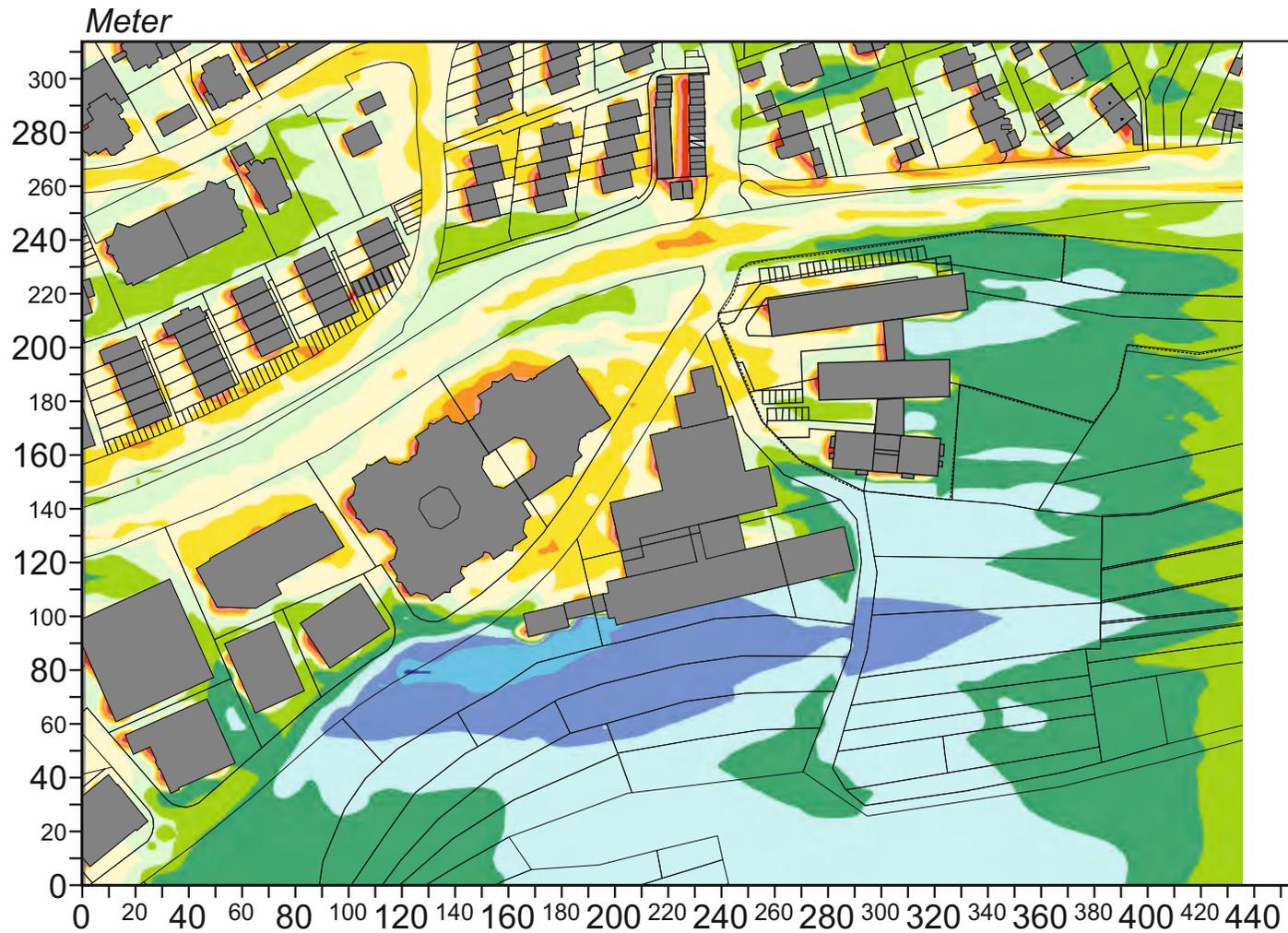


← **Anströmungsrichtung**

Projekt:
Klimgutachten zum Bebauungsplan
„ATRIO“ in Leonberg



**Abb. 23 Plan-Zustand - Ergebnisse numerischer Lufttemperatursimulationen 2 m ü.G.
Windanströmung aus Osten (90°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.**



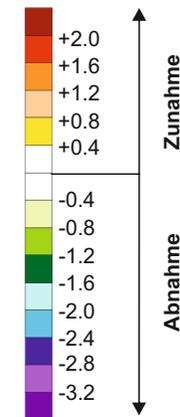
Projekt:
Klimgutachten zum Bebauungsplan
„ATRIO“ in Leonberg



**Abb. 24 Vorher-Nachher-Vergleich - Ergebnisse numerischer Lufttemperatursimulationen 2 m ü.G.
 Zu- bzw. Abnahme der Lufttemperatur durch den Plan-Zustand
 Windanströmung aus Osten (90°) mit 1.5 m/s in einer Höhe von 10 m ü.G.**



Veränderung der Lufttemperatur in K



Zunahme

Abnahme

← Anströmungsrichtung

Projekt:
 Klimgutachten zum Bebauungsplan
 „ATRIO“ in Leonberg

